



Projet IDROC :

Intégration de l'imagerie drone dans la certification forestière des écosystèmes tropicaux forestiers

Contrat C151

Rapport d'activités 1

Janvier – Septembre 2019

Bénéficiaire : Nature +

Partenaires : Sunbirds, Gembloux Agro-Bio Tech, IFO/Interholco, Pallisco



Associés : CEA, CIRAD



Sébastien Bauwens (Nature +)

Laurent Rivière (Sunbirds)

Charles Bracke (Nature+)

Table des matières

Rapport Technique du Projet

1	Contexte et objectif de l'intervention	3
2	Evolution du projet pendant la période d'activités.....	5
3	Résultats des activités menées pendant la période d'activités.....	6
3.1	Calendrier effectif	6
3.2	Volet 1 (activités 6.1.1 à 6.1.7) - Etablissement d'un protocole "modèle" d'acquisition d'images drone transposable dans différentes entreprises	9
3.2.1	Les démarches et l'acheminement du drone dans l'entreprise.....	9
3.2.2	L'identification des sites pilotes d'étude.....	14
3.2.3	L'adaptation et la configuration des drones aux besoins de l'étude	17
3.2.4	La définition de plans de vol sur base des informations cartographiques de l'entreprise forestière.....	21
3.2.5	Premiers vols d'essais	24
3.2.6	Formation drone	26
3.2.7	Vols d'acquisition d'images sur d'importantes surfaces.....	27
3.2.8	Résultats attendus / acquis.....	28
3.3	Volet 2 (activités 6.1.8) - Développement d'un outil informatique de prétraitement des données drones.....	30
3.3.1	Outils de prétraitement des données drones	30
3.3.2	Résultats attendus / acquis.....	31
3.4	Volet 3 (activités 6.1.9 à 6.1.11) - Développement d'outils d'aide à la planification avec de l'imagerie drone	33
3.4.1	Production de supports cartographiques dérivés d'imagerie drone	33
3.5	Volet 4 (activités 6.1.12) - Développement d'un système standardisé de suivi des perturbations de la canopée	34
3.5.1	Relevés terrain de validation des données drone	34
3.5.2	Développement d'une chaîne de traitement et d'indices d'écocertification	34
3.6	Volet 5 (activité 6.1.13) - Communication sur l'apport de technologie drone en gestion forestière tropicale	41
4	Programme prévisionnel des activités	41
5	Annexes	43

Rapport Technique du Projet

1 Contexte et objectif de l'intervention

Afin d'évaluer le réel potentiel de l'imagerie drone pour répondre à certaines exigences légales et de certification du bassin du Congo, une étude pilote, qui regroupe des acteurs opérationnels et de terrain, est nécessaire.

En réponse à cette nécessité, le Projet IDROC (Intégration de l'imagerie drone dans la certification forestière des écosystèmes tropicaux forestiers) vise à développer une solution de télédétection drone qui permet :

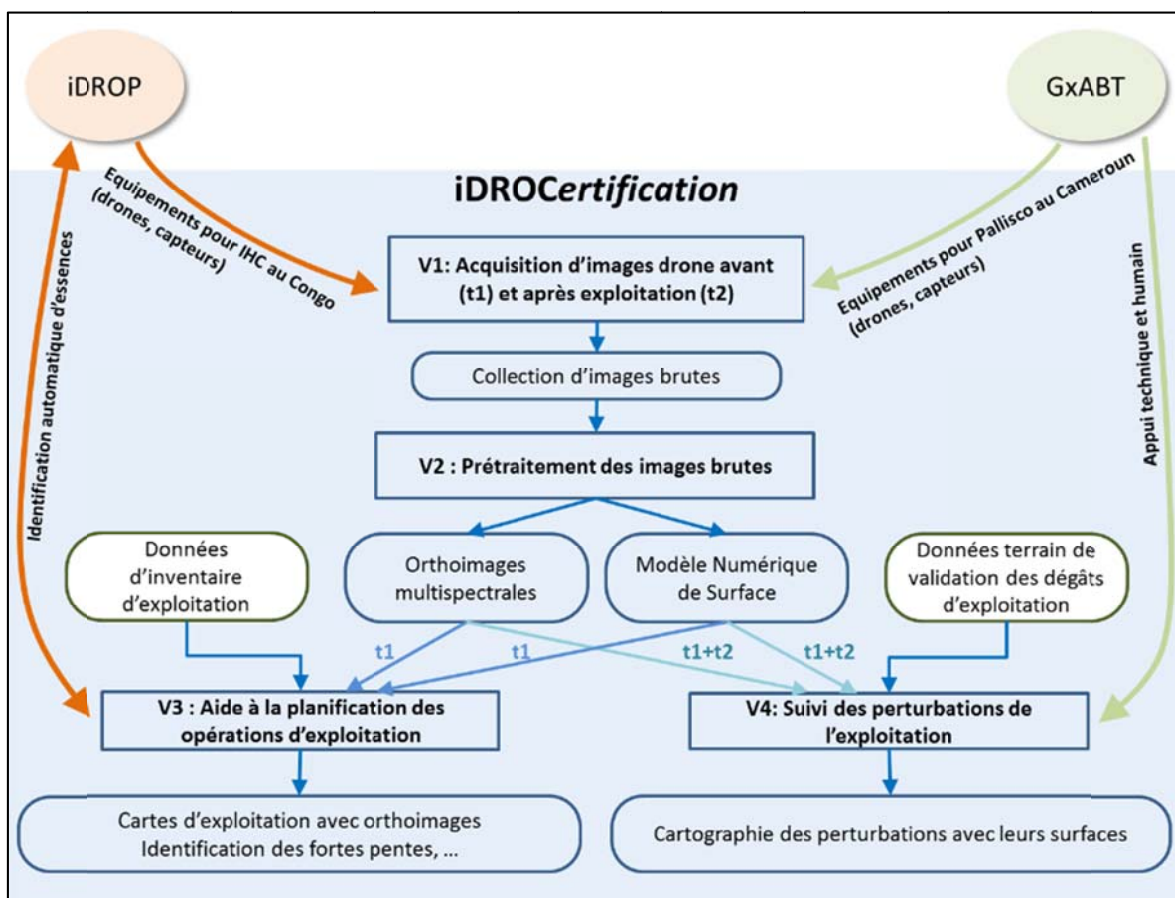
- une aide à la planification des opérations d'exploitation :
 - Le survol de grandes surfaces forestières prochainement exploitées par un drone permettra de déceler des éléments contraignants pour la planification du réseau routier tels que des escarpements rocheux, des fortes pentes, des salins, marrais et de larges rivières. De même, ces éléments pourront être exploités dans le cadre de l'identification des zones de forêt à Haute Valeur de Conservation (HVC). La détermination et la géolocalisation de certaines essences commerciales phares serviront à enrichir les opérations d'inventaire déjà réalisées dans les entreprises forestières.
- un suivi des perturbations du couvert forestier (suivi post-exploitation et surveillance) :
 - Une meilleure connaissance des perturbations du couvert forestier suite aux opérations d'exploitation permet d'évaluer la qualité des interventions réalisées et, par conséquent, de les améliorer par la suite. L'outil de détection des perturbations du couvert forestier pourra également servir à surveiller l'absence de perturbations du couvert en dehors des zones d'exploitation ou comme outil de suivi des « zones essentielles » (core areas) des IFL. Les produits cartographiques standardisés qui seront générés pourront être utilisés dans le cadre d'audit d'écocertification.
- une communication ciblée (EFIR, IFL, etc.) sur l'apport de la technologie drone au sein des entreprises forestières :
 - Les résultats concrets qui seront produits lors de cette intervention et leurs coûts seront communiqués aux entreprises forestières, aux auditeurs d'écocertification, ainsi qu'à des membres de l'administration forestière au travers d'une présentation lors d'un atelier de restitution mettant en valeur les informations drone utilisables dans le cadre d'écocertification et la manière d'intégrer cette technologie dans les entreprises forestières (coûts, réglementations nationales, connaissances techniques, ...).

La mise en œuvre du projet IDROC se déroule au travers des cinq volets suivants :

- 1) Etablissement d'un protocole "modèle" d'acquisition d'images drone transposable dans différentes entreprises forestières (V1) ;
- 2) Développement d'un outil informatique de prétraitement des données drones (V2) ;
- 3) Développement d'outils d'aide à la planification avec de l'imagerie drone (V3) ;
- 4) Développement d'un système standardisé de suivi des perturbations de la canopée (V4) ;
- 5) Communication sur l'apport de technologie drone en gestion forestière tropicale (V5).

Les travaux sont réalisés sur deux sites pilotes. Le principal site se situe dans la concession forestière d'IFO/**Interholco** au Nord de la République du Congo et le site secondaire se trouve au sein de la concession forestière de **Pallisco** au Sud du Cameroun.

La figure ci-dessous présente les principales étapes techniques contenues dans ce projet.



Déroulement technique de iDROCertification. iDROP est un projet financé par la Région Occitane et GxABT est la faculté Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) qui mène des recherches drone dont certaines à Pallisco au Cameroun.

2 Evolution du projet pendant la période d'activités

Le projet IDROC fait l'objet du contrat C151 avec le PPECF signé le 17/01/2019 avec l'ASBL Nature +. Les partenaires de mise en œuvre sont la société Sunbirds, les organismes de recherches Gembloux Agro-Bio Tech, Commissariat à l'énergie atomique (CEA) Tech et CIRAD. Les entreprises forestières partenaires et bénéficiaires sont les entreprises forestières IFO / Interholco au Congo et Pallisco au Cameroun.

La période de mise en œuvre du Projet est de 40 mois amenant à la clôture du Projet pour le 16/05/2022 au plus tard.

Le présent rapport constitue le premier rapport d'activités semestriel du Projet IDROC couvrant les activités menées par les partenaires. Il reprend les activités menées pour le Volet 1 visant l'acquisition des premières images drones, détaille le programme d'activités pour les Volets 2 à 5 et donne des perspectives de développement opérationnel au vu des premières images acquises.

3 Résultats des activités menées pendant la période d'activités

3.1 Calendrier effectif

Lors de ces neuf premiers mois, les activités du projet ont principalement découlé des trois premières missions d'acquisition d'imagerie drone. Ces trois missions ont été réalisées sur les deux sites du projet et ont eu lieu chez IFO-IHC au Congo en février et en août-septembre, et chez Pallisco au Cameroun en juillet. Le rapport a été rédigé de manière à pouvoir intégrer la deuxième mission réalisée au Congo. Par conséquent, ce premier rapport d'activités semestriel est rédigé neuf mois après le début du projet.

Au niveau organisationnel, notons que les activités de terrain chez IFO-IHC sont effectuées par Sunbirds et Nature + pour la première mission et par Sunbirds uniquement pour la deuxième mission, tandis que chez Pallisco, elles sont réalisées par Nature + et Gembloux Agro-Bio Tech pour la première mission. Les activités réalisées lors de ces neuf premiers mois ont porté sur (tableau 1):

- L'acheminement des deux drones Tigerwings de Sunbirds au Congo (activité menée par IFO-IHC et Sunbirds). Gembloux Agro-Bio Tech avait déjà lancé les démarches d'acheminement du drone Talon au Cameroun avant le début du projet ;
- L'identification des sites pilotes chez IFO-IHC au Congo et chez Pallisco au Cameroun (activité menée par Nature + et Sunbirds) ;
- La réalisation des premières configurations et adaptations des drones durant les premières missions sur les deux sites d'études. Cependant, ces activités ont été prolongées par la suite, car de nouveaux types de drones ont été retenus suite à ces premières expériences (développement d'un nouveau drone Manta VTOL par Sunbirds et acquisition de nouveaux drones VTOL par Nature + et Gembloux Agro-Bio Tech ;
- La réalisation des premiers vols d'essais par Sunbirds et Nature + ;
- La définition des plans de vol et l'acquisition d'images drones sur l'entièreté des sites pilotes par Nature + et Sunbirds ;
- Une formation d'initiation au traitement des données drone a été dispensé à du personnel de Pallisco par Nature + lors de la première mission au Cameroun ;
- La mise en place des outils de traitement des données drones a été effectué chez Nature + et Sunbirds. Les données drones des deux premières missions ont été traitées par Nature + et Sunbirds ;
- Le développement d'un protocole et la récolte de données de dégâts d'exploitation sur le terrain ont été réalisés chez Pallisco par Gembloux Agro Bio Tech et Nature +. Ces premières informations permettront la mise en place d'un système standardisé de suivi des perturbations de la canopée ;
- Des échanges et communications avec les sociétés d'exploitation forestières hôtes ont lieu de manière continue afin d'adapter au mieux la technologie drone à leurs besoins.

Tableau 1 : Calendrier des activités menées lors des neufs premiers mois du projet iDROCertification.

Volet	Activités	Site	2019											
			janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.		
1	Démarches et acheminement du drone	IFO	■											
		Pallisco												
1	Identification des sites pilotes d'étude	IFO												
		Pallisco												
1	Adaptation et la configuration des drones aux besoins de l'étude	IFO			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Pallisco												
1	Définition de plans de vol	IFO												
		Pallisco												
1	Premiers vols d'essais	IFO												
		Pallisco												
1	Formation drone	IFO												
		Pallisco												
1	Vols d'acquisition d'images sur d'importantes surfaces	IFO												
		Pallisco												
2	Développement d'un outil informatique de prétraitement des données drones	IFO												
		Pallisco												
3	Développement d'outils d'aide à la planification avec de l'imagerie drone	IFO												
		Pallisco												
3	Production de supports cartographiques dérivés de l'imagerie drone	IFO												
		Pallisco												
4	Développement d'un système standardisé de suivi des perturbations de la canopée	IFO												
		Pallisco												
5	Communication sur l'apport de technologie drone en gestion forestière tropicale	IFO												
		Pallisco												

Le tableau 2 reprend le nombre d'hommes-jours qui ont été utilisé, au travers de la subvention octroyée par PPECF, pour réaliser les activités de ces neufs premiers mois et le tableau 3 synthétise l'utilisation des ressources humaines prévues dans la cadre de la subvention.

Tableau 2 : Répartition des hommes-jours utilisés pour la réalisation des activités des neufs premiers mois du projet iDROC au travers de la subvention octroyée par PPECF.

Activité	01/19	02/19	03/19	04/19	05/19	06/19	07/19	08/19	09/19
SB - Drone-imagerie		36						4	42
SB - Suivi scientifique et technique		0	6	6	6	6		9.5	5
N+ - Drone-imagerie	2	13	2	1	1	3	26	5	5
N+ - Suivi technique et coordination	2	1	2.5	1	1	1		2.5	1.5

Tableau 3 : Bilan de l'utilisation actuelle des ressources humaines octroyées par la subvention PPECF.

	Nb de jours initialement prévus à charge du PPECF	Nb de jours actualisés à charge du PPECF	Nb de jours affectés (30/09/2019)	Nb de jours restants
Sunbirds - Drone-imagerie (Laurent Rivière, Olivier Chenoz, Florian Viguié, Julien Olé)	35,00	82,00	82,00	0,00
Sunbirds - Suivi scientifique et technique (Laurent Rivière, Florian Viguié)	22,00	38,50	38,50	0,00
CIRAD - Technicien botaniste	21,00	0,00	0,00	0,00
CIRAD - Conseils scientifique	0,50	0,00	0,00	0,00
CEA - Conseils scientifique	2,00	0,00	0,00	0,00
CEA - drone-imagerie	40,00	0,00	0,00	0,00
N+ - Drone-imagerie (Sébastien Bauwens, Samuel Quevauvillers, Chloé Dupuis)	120,00	120,00	58,00	62,00
N+ - Suivi technique, scientifique, logistique et coordination (Charles Bracke)	33,00	33,00	12,50	20,50

L'Annexe XII "Liste du personnel affecté à l'action" du contrat C151 est modifiée comme suit pour le personnel Sunbirds :

- Florian Viguié prend le relais de Stéphane Massot suite au départ de ce dernier ;
- Olivier Chenoz et Julien Olé viennent compléter l'équipe en tant que pilotes de drone expérimentés étant capables de gérer les manœuvres délicates lors des phases d'atterrissage et de décollage en forêt en évitant la canopée.

A budget constant, la répartition des jours de travail entre Sunbirds, le CIRAD et le CEA est également revue, car :

- le volume de travail de Sunbirds a été plus important, principalement concernant le suivi technique, la valorisation des données et le reporting ;
- les ressources prévues pour le CIRAD et CEA, initialement prévue sur les fonds PPECF, ont pu être prises en charge par le projet IDROP.

3.2 Volet 1 (activités 6.1.1 à 6.1.7) - Etablissement d'un protocole "modèle" d'acquisition d'images drone transposable dans différentes entreprises

Ce premier volet est mené conjointement par Nature + et SUNBIRDS avec l'appui de Gembloux Agro-Bio Tech, CEA Tech, CIRAD.

Trois missions d'acquisition d'images ont été menées pendant la période d'activités :

- Deux missions chez IFO/IHC au Congo ;
- Une mission chez Pallisco au Cameroun.

Les deux premières missions, de chaque site, visaient à collecter les données drones avant exploitation. La deuxième mission chez IFO/IHC a permis de collecter les données drones après exploitation sur le site d'étude.

3.2.1 Les démarches et l'acheminement du drone dans l'entreprise

Acheminement des drones sur le site d'IFO

Afin de faire transiter les 2 drones Sunbirds de type Tigerwing sur le site d'IFO, il a été choisi de transporter l'ensemble du matériel dans trois cartons. Ces cartons ont voyagé par avion, en soute, en même temps que l'équipe comme bagages en soute. Afin de garantir le succès de la mission, ces derniers contenaient non seulement les drones, mais aussi un kit complet de maintenance ainsi que des pièces de rechanges.

Les contenus des cartons étaient les suivants :

Carton 1	Carton 2	Carton 3
Fuselage	Fuselage	Batteries 4S
Ailes	Ailes	Radio Spektrum
Stab	Dérives	Chargeur Sony + 3 batteries
Hélices	Hélices	RFD
Sony RX100	Sony RX100	Clé d'ailes
Batterie 4S	Batterie 4S	Tube de queue carbone
	Support mousse RedEdge	Antenne
		Trépied
		Scotch armé
		Scotch téflon
		Scotch blanc
		Servos
		Câbles Seagull
		Avionics (mRo, Drotek, gaine)
		ESC
		Fer à souder + étain
		Câbles USB
		Carte SD 64Go
		Chargeur LiPo
		Stab CONGO2



Figure 1 : Cartons arrivés à l'hôtel de Brazzaville au Congo.

Afin de transporter les batteries conformément à la réglementation des compagnies aériennes, nous nous sommes répartis l'ensemble d'entre elles en bagages à main. S'agissant de batteries LiPo de 10 000mAh, nous pouvions en transporter maximum deux par personne.

L'acheminement de ces batteries n'a posé aucun problème durant l'ensemble du trajet.

Durement le vol intérieur Brazzaville-Ouessou, nous avons rencontré des problèmes de bagages en soute. L'avion étant déjà surchargé, l'équipage a décidé de n'embarquer aucun bagage sans prévenir les passagers. Nous sommes donc arrivés à l'aéroport de Ouessou sans le matériel. Afin de le récupérer, une personne d'IFO se trouvant à Brazzaville a dû charger l'ensemble des cartons et bagages dans un véhicule et faire l'ensemble du trajet de nuit pour arriver le lendemain.

En conclusion, l'acheminement des cartons en bagages en soute est une solution simple et fonctionnelle ; elle est peu coûteuse et permet d'avoir le matériel disponible dès notre arrivée sur le site. Afin de pallier aux problèmes liés au vol interne, une marge de temps devra être prévue par sécurité afin d'éviter un retard de planning. Les batteries, quant à elles, devront systématiquement transiter en bagages à main.

Le même protocole a été utilisé pour la deuxième mission. Nous avons cette fois deux cartons contenant à la fois le drone VTOL ainsi que les pièces détachées. Du matériel de maintenance et de l'équipement électronique ont été placés dans une valise. L'acheminement s'est cette fois passé sans encombre. Etant donné que les vols internes Brazzaville-Ouessou étaient annulés pour cause d'assurance. Nous avons fait le trajet par voiture avec l'ensemble du matériel.



Figure 2 : Montage du drone VTOL sur le site d'IFO 1/2



Figure 3 : Montage du drone VTOL sur le site d'IFO 2/2



Figure 4 : Valise de transport du matériel (équipement et maintenance)



Figure 5 : Carton utilisé pour le transport du drone

Acheminement des drones sur le site de Pallisco

Etant donné les événements terroristes qui ont eu lieu au Nord du Cameroun, il a été préféré d'acheminer le drone Talon de Gembloux Agro-Bio Tech par bateau, via les containers de Pallisco. Le drone a donc été acheminé, via DHL, au port de Seté (France), lieu d'embarcation des containers de Pallisco. Le trajet en bateau a pris moins d'un mois jusqu'à Douala, mais les démarches douanières pour d'autres produits présents dans le container ont bloqué le contenu du container, dont le drone, pendant environ un mois. Le drone est donc arrivé de Gembloux (Belgique) à Pallisco après environ trois mois.

Cette solution d'acheminement est à privilégier dans le cas du Cameroun si le temps n'est pas une contrainte, car le drone peut arriver dans la société forestière avant qu'une mission d'acquisition soit planifiée.

Plusieurs batteries LiPo de 7 000 mAh, un kit de maintenance ainsi que des pièces de rechanges ont été acheminés par les deux experts Nature+ lors de la première mission d'acquisition. Les règles de l'International Air Transport Association (IATA) concernant le transport de batteries contenant du lithium¹ dans des avions passagers restreignent le nombre de batteries transportable par voyageur à 15 si elles ne dépassent pas la valeur 100 Wh et à deux si elles ont une valeur comprise entre 100 et 160 Wh.



Figure 6 : Cartons du drone Talon acheminé en container, par bateau, au Cameroun.

¹ <https://www.helicomicro.com/2018/05/17/voyager-avion-drone-batteries-regles-2018-iata/>

3.2.2 L'identification des sites pilotes d'étude

Identification des sites pilotes chez IFO

Deux sites pilotes ont été identifiés pour la première mission à IFO. Le premier site a été le dispositif de suivi de croissance des arbres. Servant de parcelle de recherche, cette zone de 200 ha est facile d'accès et permet de réaliser les premiers vols en gardant une certaine réactivité en cas d'imprévu (possibilité de rapidement revenir à la base si nécessaire). Les différents vols réalisés sur cette petite parcelle permettent de rapidement itérer afin d'affiner le protocole d'acquisition des données (préparation et planification des vols, altitude optimale, vitesse, résolution des images, overlap). Une fois l'ensemble des paramètres définis, nous pouvions passer à la seconde zone pour de la cartographie haute échelle.

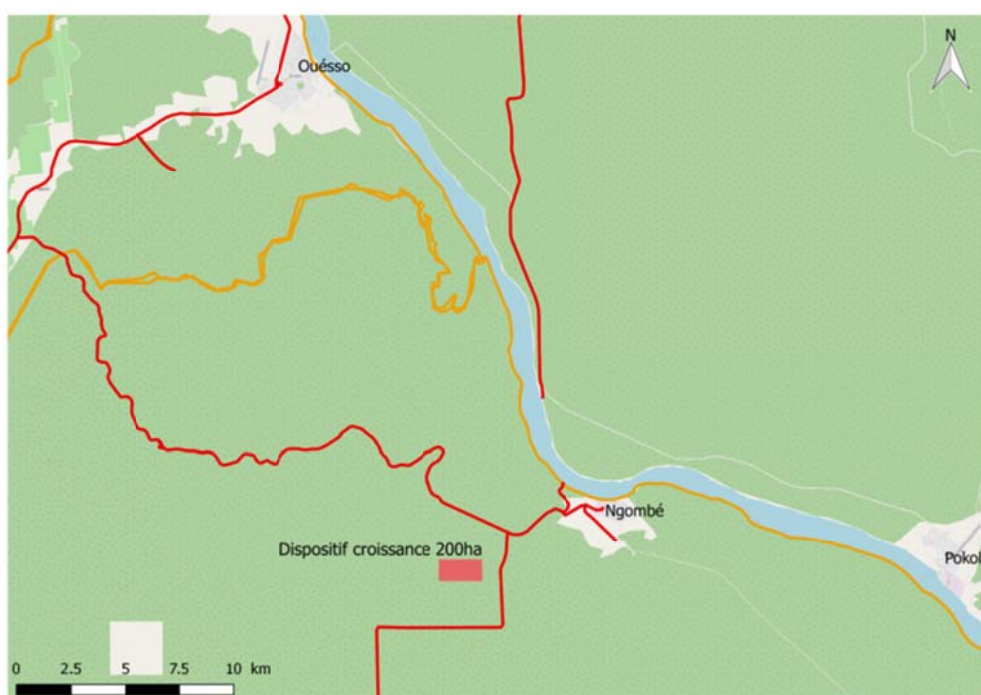


Figure 7 : Localisation du dispositif de 200 ha de suivi de croissance.

Le second site est un dispositif de 3000 ha de l'assiette annuelle de coupe 2019. Il a été défini de manière à reprendre un maximum de types de forêts présents dans l'AAC 2019. Le dispositif contient également un baï qui peut servir de référence pour la calibration spectrale du capteur multispectral. L'emplacement du dispositif prenait également en compte la contrainte d'accessibilité du dispositif pour effectuer les relevés terrains nécessaires dans le cadre du projet iDROC (identification de l'espèce, géolocalisation, description du houppier et mesure du diamètre). Le dispositif a donc été placé de manière à ce que des routes s'y trouvent. La couche cartographique des routes datait cependant de plusieurs semaines, l'ouverture de routes supplémentaires ont donc eu lieu dans le dispositif avant les vols drone iDROC. Ces routes devront donc être prises en compte de manière indirecte dans le cadre de la détection des perturbations de l'exploitation forestière.

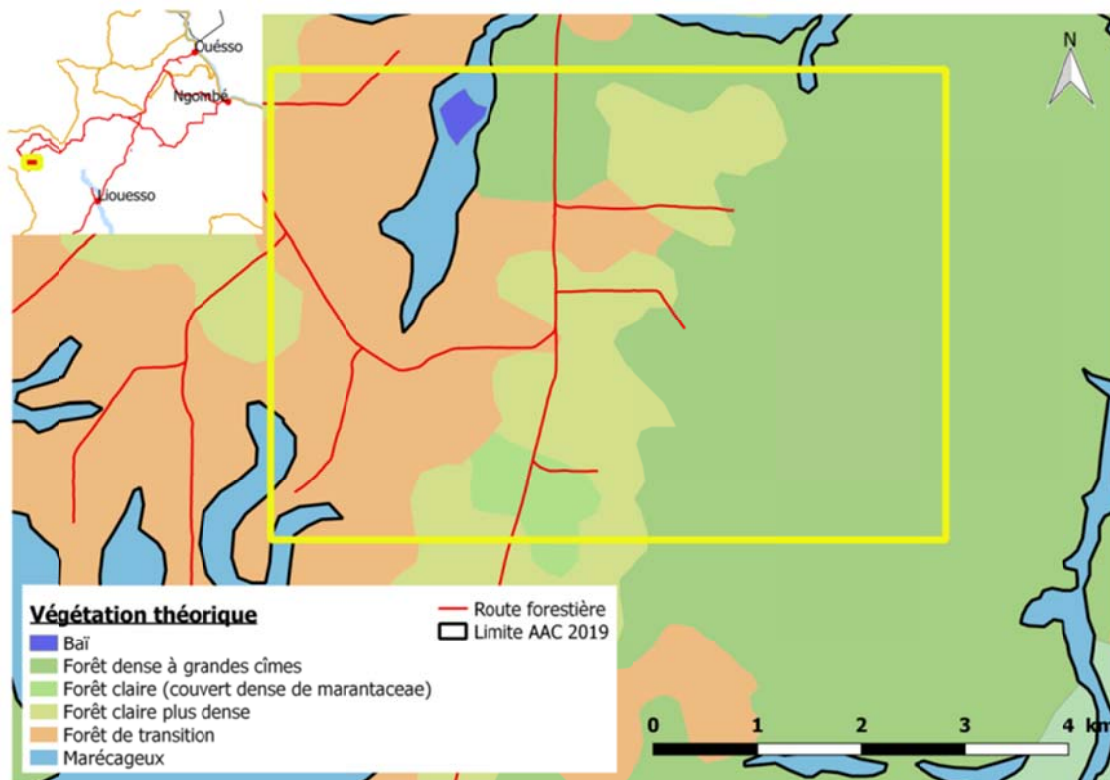


Figure 8 : Dispositif de 3 000 ha situé dans l’assiette annuelle de coupe 2019 et survolé par drone. Les vols drones de cette mission ont été réalisés avant l’exploitation des arbres et un second survol est planifié après l’exploitation et l’évacuation des grumes.

Identification des sites pilotes chez Pallisco

Le site d’essais était la base-vie de Pallisco dont le terrain de foot a servi comme piste de décollage/atterrissage. Le site pilote identifié chez Pallisco est l’AAC 2019 se situant dans l’UFA 10 030 & 10 031 où se trouve la base-vie de Makalaya (figure 9). L’ACC 2019 de Makalaya a été sélectionnée car elle se trouve dans une forêt dense à canopée fermée avec relief contrasté. De plus, un dispositif de suivi de la croissance de Dynaffor se situe dans la partie Sud de l’AAC avec des parcelles de mesures d’arbres en plein. Ce dispositif et ces parcelles permettront une analyse fine de la relation entre les dégâts d’exploitation détectés par drone et les dégâts relevés sur le terrain.

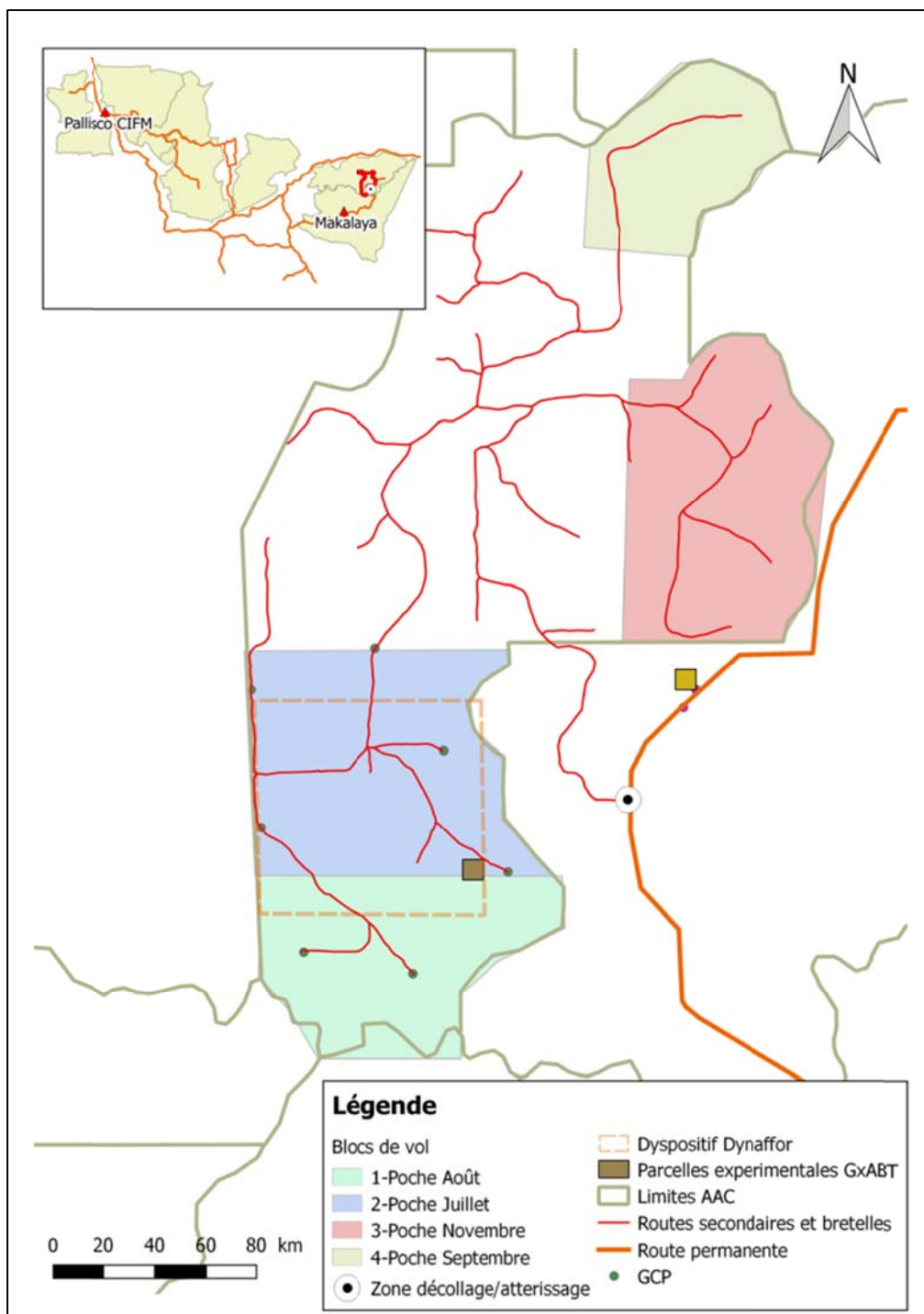


Figure 9 : Site d'étude, chez Pallisco au Cameroun, survolé par drone pour répondre aux objectifs du projet iDROC. Le site est l'AAC 2019 de l'UFA 10030&10031 dans laquelle 4 blocs de vols ont été réalisés lors de la première mission.

3.2.3 L'adaptation et la configuration des drones aux besoins de l'étude

De nombreux paramètres ont été pris en compte pour proposer une solution drone adaptée au contexte des entreprises forestières en milieu tropical. Ces paramètres sont listés dans le tableau 4 ci-dessous.

En début de projet, un choix important a porté sur le type de drone à déployer pour les premières missions : voilure fixe ou voilure tournante (figure 10). Les drones à voilure tournantes (multicopter) ont l'avantage de décoller verticalement, ce qui permet le décollage du drone dans un espace assez restreints (5-10 m x 5-10 m). Par contre, l'endurance de ce type de drone est de 20 à 30 minutes. L'objectif de cartographier des grandes surfaces forestières au travers du projet iDROC est difficilement atteignable avec ce type de drone qui permet le survol de 1 à 2 ha/vol.

Le drone à ailes fixes a l'avantage de pouvoir couvrir d'importantes superficies en un vol (entre 100 et 700 ha/vol). Par contre, il est nécessaire de pouvoir disposer d'un espace dégagé de plus de 100 à 150 m de long et de 25 à 50 m de large pour décoller et faire atterrir le drone. Certaines routes forestières permettent d'obtenir cet espace. Le choix s'est donc porté sur l'usage de drones à ailes fixes de petites envergures : le Tigerwing chez IFO et le Talon chez Pallisco.



Figure 10 : A) drone à voilures tournantes (multicopter), B) Tigerwing, un drone à voilure fixe.

Suite aux premières missions, les adaptations majeures qui sont actuellement en cours portent sur le remplacement des drones à voilures fixes par de nouvelles sortes de drones : les drones VTOL (Vertical Takeoff and landing, figure 7) ; et l'usage de positionnement PPK. Les raisons de ces adaptations sont décrites ci-dessous.

Les premiers vols avec les drones à voilure fixe (Tigerwing et Talon) sur chaque site ont été réalisés par des pilotes de drones expérimentés et chevronnés. Malgré cela, il s'est avéré que les drones à ailes fixes sont compliqués à mettre en œuvre à partir des pistes forestières. En effet, les phases de décollage et d'atterrissage sont les moments les plus délicats et risqués d'une mission drone complète. Or les conditions de visibilité sur des pistes forestières sont régulièrement limitées et l'espace nécessaire pour ces phases délicates sont difficilement rencontrées. Afin de permettre un usage du drone plus autonome par les entreprises et réduire les risques de crash du drone, le développement de solution drone de type VTOL sont en cours pour la suite du projet.



Figure 11 : Drone VTOL (Vertical Takeoff and landing) développé par Sunbirds.

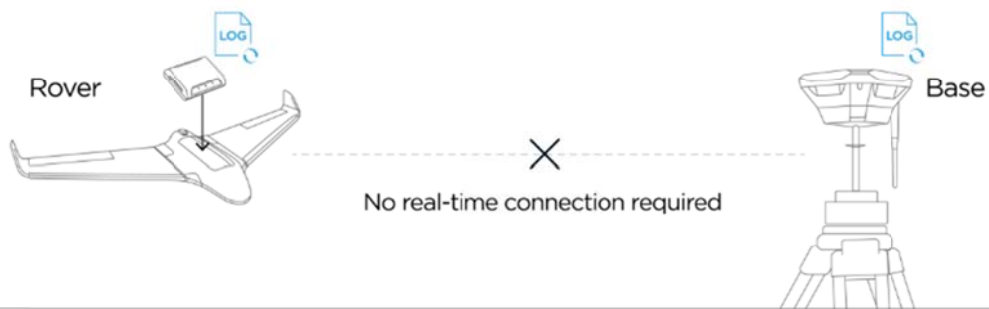
Le relevé de points géographiques (GCP: Ground control point) au sol est une étape particulièrement chronophage et énergivore. Il faut disposer des cibles sur le sol à plusieurs endroits du site (figure 12), les géolocaliser avec un gps, repérer ces cibles sur les images drones avant de générer les produits orthophoto. Afin de ne plus avoir besoin de GCP, nous avons intégré la technologie PPK aux drones. Ce qui permettra de considérablement faciliter les opérations par la suite.

Le PPK est une technologie de positionnement par satellite qui fonctionne avec deux modules : une base située au sol et un module « rover » situé dans le drone (figure 13). Durant le vol du drone, la base et le rover enregistrent leurs données de positionnement. Une fois la mission terminée, ces données sont alors croisées pour obtenir des géolocalisations avec une précision centimétrique alors qu'usuellement la précision comporte une erreur de +/- 5m. La technologie PPK ne nécessite pas de communication entre la base et le rover et n'a pas besoin de cible disposée au sol. Le gain de temps en opération est donc conséquent.



Figure 12 : Cibles pour les points de contrôle géographique (GCP).

① In the field



② In the office

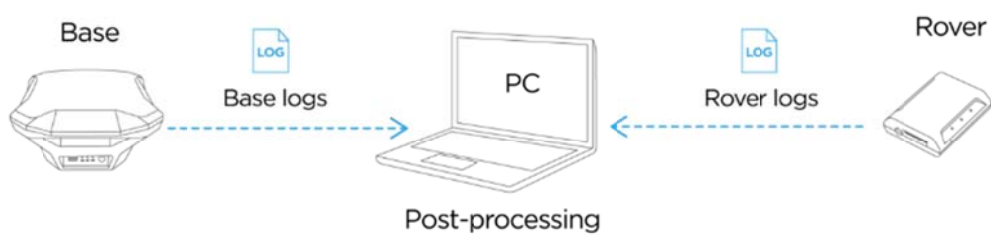


Figure 13 : Fonctionnement de la technologie PPK

Tableau 4 : Liste des adaptations et configurations réalisées sur les drones.

Adaptations et configurations réalisées	Description
Utilisation d'une structure EPO	<p>Les routes forestières sont extrêmement poussiéreuses et étroites. Les atterrissages de drones à aile fixe peuvent donc parfois être violents (frottements sur la route, atterrissage dans la végétation etc.) L'EPO est une mousse solide et particulièrement résistante. Elle est idéale pour les environnements hostiles comme les forêts. Les structures des drones ont donc du être adaptées en conséquence pour répondre aux besoins des exploitants. Les versions précédentes de nos drones étaient en fibre de verre, matière moins durable et plus cassante. Nous avons donc dû tester plusieurs modèles en EPO (qualités aérodynamiques, capacité d'emport, endurance) et décider du modèle final pour les opérations.</p>
Précision géo-localisation des images	<p>Afin de réaliser les mesures les plus précises possibles (de l'ordre du centimètre), une bonne géo-localisation des images drones est indispensable. Il a été demandé d'améliorer la précision des coordonnées de géo-référencement des images capturées pour l'obtention de meilleurs résultats. Afin d'améliorer cette précision, nous avons donc du retravailler la chaîne complète de communication des données GPS depuis le drone jusqu'à la station sol en passant par le logiciel de geotagging permettant d'intégrer les coordonnées des photos. Nous avons ainsi pu augmenter la précision des coordonnées des photos.</p>
Planification du plan de vol	<p>Les premiers vols haute altitude (500m) nous ont permis de conclure que certaines adaptations étaient nécessaires lors de la planification des plans de vol. Les surveys réalisent des virages de plus grande amplitude et doivent en conséquence être adaptés pour que les trajectoires du drone soit propres. Typiquement, un plan de vol mal défini peut mener à des situations où le drone reste bloqué à un endroit car il n'a pas réussi à atteindre son Waypoint. Nous avons donc reconfiguré le logiciel de vol pour qu'il soit parfaitement adapté au terrain.</p>
Interface utilisateur et documentation	<p>La transmission du savoir-faire drone à IFO étant une étape clé du programme, il est impératif que tout le workflow soit simple et épuré. Dans ce sens, un bon nombre d'adaptation ont été réalisées pour faciliter l'utilisation des drones :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simplification de la planification des missions • Documentation de l'utilisation des drones par des vidéos (https://www.youtube.com/channel/UCIzztmOIwqgKRseU3K6Yh9g/videos) • Simplification du montage du drone • Procédures de vérification automatique de missions (détection d'obstacles)

	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des procédures de sécurité (perte de liaison, Geofence, niveau de batteries)
Test différents porteurs	<p>Afin de garantir les meilleures opérations, différents types de modèles d'avions ont été évalués pour une configuration en vol optimale sur le site. Les porteurs testés ont été les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Type avion en EPO • Type aile volante EPO petite taille • Type aile volante EPO grande taille
Mise en œuvre du drone VTOL	<p>La canopée état dense, elle rend les routes forestières très étroites et difficiles d'accès pour les phases de décollage et d'atterrissage. Pour cette raison, le VTOL (Vertical Takeoff and landing) est la solution la plus adaptée pour opérer en toute simplicité et en toute sécurité. Les vecteurs aériens ont donc été adaptés pour intégrer cette fonctionnalité.</p>
Benchmarking et intégration de la technologie PPK	<p>La prise de GCP (Ground control point) au sol est une étape particulièrement chronophage et énergivore. Il faut disposer des cibles sur le sol à plusieurs endroits du site, les géolocaliser, repérer ces cibles sur les images drones avant de générer les produits orthophoto. Afin de ne plus avoir besoin de GCP, nous avons intégré la technologie PPK aux drones. Ce qui permettra de considérablement faciliter les opérations par la suite.</p>

3.2.4 La définition de plans de vol sur base des informations cartographiques de l'entreprise forestière

Définition des plans de vol sur le site d'IFO

Le protocole d'acquisition des images RGB retenu pour les besoins de iDROC est le suivant : recouvrement des images de 70 % en latéral et de 80 % en longitudinal et une hauteur de vol de 500 m par rapport au lieu de décollage (figures 14 et 15). La résolution « pixel » des images RGB obtenu est de 12 cm et neuf vols étaient nécessaires pour couvrir le site de 3 000 ha.



Figure 14 : Les 9 Plans de vol utilisés pour cartographier les 3000ha de l'assiette annuelle de coupe 2019 de chez IFO. Réalisé avec Belvedere (Sunbirds)

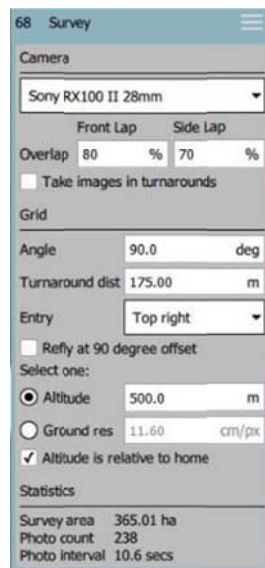


Figure 15 : Paramétrage des Surveys de l'assiette de coupe IHC 2019. Réalisé avec Belvedere (Sunbirds)

Définition des plans de vol sur le site de Pallisco

Le protocole d'acquisition d'images retenu à Pallisco est le suivant : recouvrement des images de 75 % en latéral et de 80 % en longitudinal et une hauteur de vol de 400 m par rapport au lieu de décollage (lieu qui se trouvait à une altitude équivalente au point le plus haut de la zone d'étude). La résolution « pixel » des images RGB est de 11 cm et quatre vols étaient nécessaires pour couvrir 2 000 ha de l'AAC (figure 16 et 17).

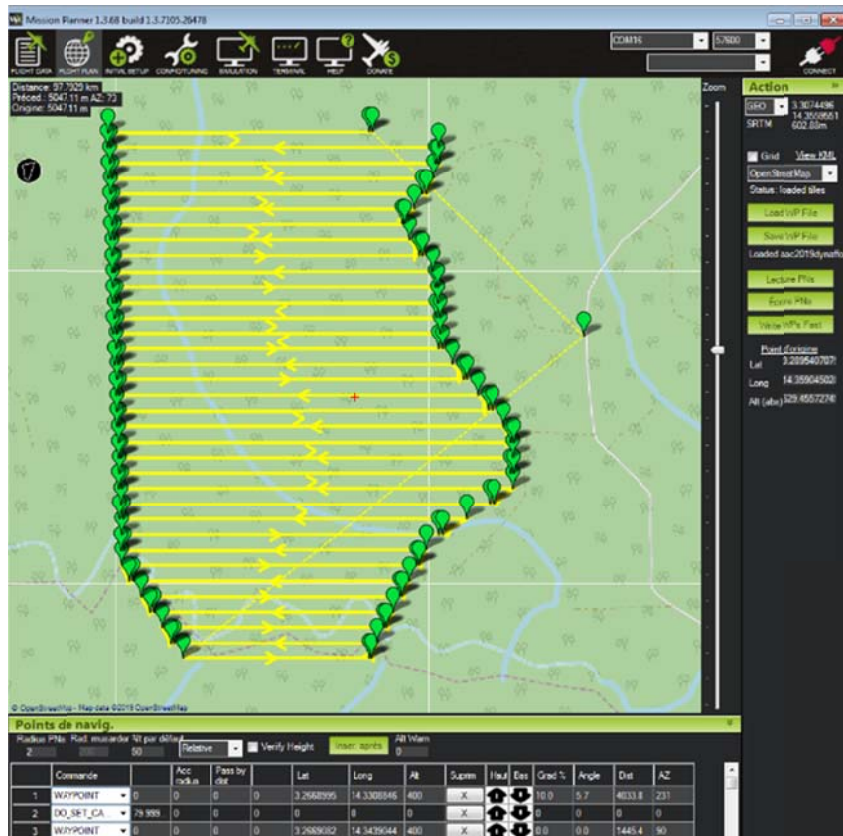


Figure 16 : Exemple du plan de vol généré pour cartographier le Sud de l’AAC 2019 de Makalya-Pallisco-Cameroun. Réalisé avec Mission Planner (opensource).

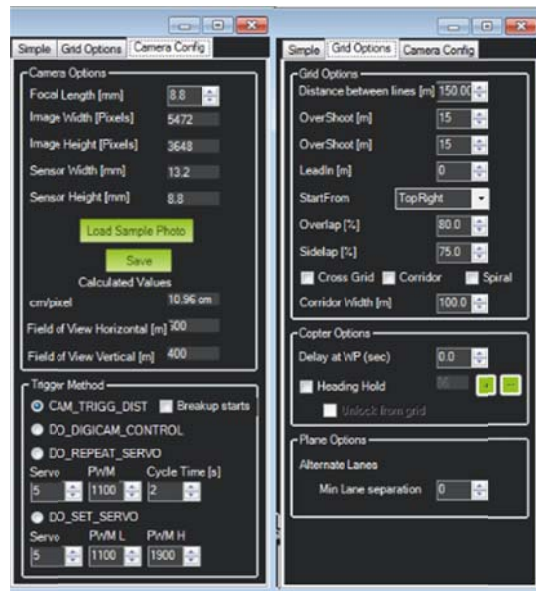


Figure 17 : Paramètres utilisés dans les plan de vol chez Pallisco – Cameroun.

3.2.5 Premiers vols d'essais

Premiers vols sur le site d'IFO

Les tout premiers vols drone ont eu lieu sur la piste d'avion de la base vie d'IFO. Une fois le matériel acheminé, nous avons jugé nécessaire de réaliser une batterie de tests afin de s'assurer que les deux drones fonctionnaient correctement (figure 18).



Figure 18 : A gauche, dernières vérifications avant le premier décollage des drones Sundbirds. A droite, retour sans encombre du drone après le premier vol.

Il nous semble impératif de réaliser ces premiers vols d'essai sur la base vie pour plusieurs raisons :

- Le matériel ayant voyagé, il peut avoir subi de dégradations liés à des chocs et vibrations ;
- Il est important pour l'équipe drone de réaliser une première mission de préparation dans des conditions réelles avant d'aller en forêt, ceci afin de garantir la maîtrise et la fluidité des opérations une fois sur l'assiette annuelle ;
- Si des opérations de maintenance doivent avoir lieu à cause du transport, les réparations seront directement identifiées lors de ces premiers essais. Il n'y aura donc pas de perte de temps lié à un déplacement inutile sur l'assiette de coupe.

Par la suite, l'ensemble des campagnes de vol ont été réalisées en forêt.



Figure 19 : Première mission drone avec Sunbirds, le CEA, le CIRAD, IFO et Nature+



Figure 20 : Lancement du drone lors d'une mission en forêt.

Premiers vols sur le site de Pallisco

Les premiers vols d'essais ont été réalisés sur le terrain de football de la base vie de Midourou-Pallisco. Plusieurs réglages ont été réalisés sur le drone à aile fixe Talon de Gembloux Agro-Bio Tech pour assurer des décollages stables dans les conditions atmosphériques et d'humidité locale. Suite aux réglages, le drone a permis acquisition d'images du site de Mindourou (figure 21).



Figure 21 : Orthoimage de 160 ha du site Pallisco à Mindourou (le terrain de foot qui a servi de zone de décollage/atterrissage est dans le bas de l'image).

3.2.6 Formation drone

Au sein du projet iDROC, les formations drone ont pour objet d'initier des employés des entreprises forestières au pilotage de drones et au prétraitement des données. Etant donné que la solution drone définitive n'est pas encore retenue, il n'y a pas eu de formation en pilotage de drone pour le moment. Par contre, une première initiation au traitement des données drone a été réalisée chez Pallisco. L'entreprise avait au préalable identifié des employés pour suivre cette formation (tableau 5).

Tableau 5 : Nom des employés ayant participé à la première initiation au traitement des données drones.

Nom	Fonction dans l'entreprise
Yannick Nkoulou	Responsable Recherche et boisement
André Egnégué	Responsable inventaire -planification

3.2.7 Vols d'acquisition d'images sur d'importantes surfaces

Acquisition chez IFO

Une superficie de 3000 ha a été cartographiée lors de la première mission en février 2019 et 10 000 ha ont été cartographiés lors de la seconde mission en septembre 2019. Dans les 10 000 ha survolés se trouvaient les 3 000 ha déjà cartographiés lors de la première mission. Par conséquent, nous disposons actuellement de 3000 ha avec des images avant et après exploitation. Ces données seront traitées de manière à répondre aux activités du volet 3 et 4 du projet (planification et suivi des perturbations de la canopée).

Les performances totales atteintes à la fin des campagnes d'acquisition IDROP/IDROC sont les suivantes :

- 18 000ha cartographiés dont 6000ha sur le site IDROC
- Plus de 100 vols réalisés dont 16 vols sur le site IDROC
- 3400km parcourus dont 800km sur le site IDROC
- 70h de vol cumulées dont 14h de vol sur le site IDROC

Les résultats obtenus prouvent à quel point l'outil drone peut être intéressant pour l'aide à la planification des opérations d'exploitation et pour le suivi des perturbations d'exploitation.



Figure 22 : Les photos aériennes géo-localisées permettent de mesurer la largeur des routes, des pistes de débardage ainsi que les trouées. Les surfaces exploitées peuvent être localisées et mesurées avec précision.

Acquisition chez Pallisco

Lors de la première mission à Pallisco en juillet 2019, une superficie de 2000 ha a été survolée au sein de l’AAC 2019 de Makalaya. Le dégagement des routes étant fort limité au sein de l’AAC, il a été nécessaire de réaliser les acquisitions à partir d’une route principale de la concession se situant à l’Est de l’AAC (figures 5 et 16). Le survol de 3 000 ha supplémentaires était planifié, cependant le drone a été endommagé suite à un atterrissage difficile sur une route faiblement dégagée.



Figure 23 : Routes secondaires d’exploitation au sein de l’AAC 2019 de Makalaya à Pallisco.

3.2.8 Résultats attendus / acquis

Les résultats attendus dans le premier volet du projet ont globalement été atteints (tableau 6). La formation portant sur l’initiation au vol drone et au traitement des données doit encore être réalisée chez IFO et finalisée chez Pallisco.

Tableau 6 : Atteintes des résultats attendus du Volet 1 de iDROC.

Résultats attendus	Site	Résultats acquis lors de cette période d'activités
Réception des drones dans les entreprises forestières	IFO	Acheminement des drones par avion de passagers. Les drones accompagnaient les experts Sunbirds lors de leur vol international. Les drones ont été acheminé en voiture de Brazzaville à Ngombé (IFO).
	Pallisco	Acheminement des drones de Sété (Fr) à Doula (Cam) par un container bateau de la Pallisco. Les drones ont ensuite été acheminés en voiture entre Douala et Mindourou (Pallisco).
Documents d'autorisation de vols	IFO	Autorisations obtenues du Ministère de l'Intérieur et du Ministère des eaux et forêts. Nous avons subi une courte situation de blocage auprès du Ministère des eaux et forêt qui demandait une compensation financière et matérielle pour l'obtention des autorisations. Il s'est avéré que la demande n'était pas légitime étant donné que les opérations menées n'ont pas de vocation commerciale mais sont bien des activités de recherche.
	Pallisco	Les vols ont été autorisés par les autorités compétentes.
Drones opérationnels	IFO	Les drones sont arrivés sans dommage à la base vie et ont pu voler dès leur arrivée.
	Pallisco	Les drones sont arrivés sans dommage à la base vie et ont pu voler dès leur arrivée.
Deux membres du personnel des entreprises forestières seront formés à piloter et à prétraiter les données drones	IFO	Nous avons pour objectif d'identifier les personnes à former lors de la seconde mission en Septembre
	Pallisco	Deux membres du personnel de Pallisco ont été initiés au traitement des données drone. Ils ont également participé aux essais de vol drone. Une formation au pilotage est envisagée lors de la seconde mission à Pallisco.
Survols de 3 000 ha à 5 000 ha de forêt par site	IFO	3495 ha et 10 000 ha ont été cartographiés lors de la première mission et la seconde mission respectivement.
	Pallisco	2000 ha ont été cartographiés lors de la première mission.

3.3 Volet 2 (activités 6.1.8) - Développement d'un outil informatique de prétraitement des données drones

3.3.1 Outils de prétraitement des données drones

Le mode opératoire pour l'exploitation des données drones peut se structurer en 3 étapes :

1. **Acquisition des données drones** : Lors de cette étape, le drone a un plan de vol prédéfini et le parcours automatiquement, il prend des photos à intervalle régulier et enregistre les coordonnées de ces dernières dans un fichier dédié.
2. **Géoréférencement des images** : Dans la deuxième étape, les images sont toutes géoréférencées grâce aux coordonnées enregistrées précédemment par le drone. Elles sont alors exploitables par l'outil de prétraitement. Cette étape est assurée par le logiciel Belvédère développé par Sunbirds dans le cas de données acquises chez IFO et un logiciel spécifique développé par GxABT dans le cas des données acquises chez Pallisco. Cette étape permet donc d'intégrer les positions GPS sauvegardées par le drone dans les images correspondantes. Plus d'informations ici : <https://youtu.be/NiHqOzc9wyI>.
3. **Prétraitement des données** : Grâce à l'outil Metashape Pro, les images sont utilisées pour générer des orthophotos géoréférencées permettant de réaliser des mesures en 3 dimensions : longueur, largeur, hauteur de terrain (cf Figure 26). Des modèles d'élévation peuvent également être générés (cf Figure 27). Plus d'informations ici : <https://youtu.be/hpT9GKiDIU0>

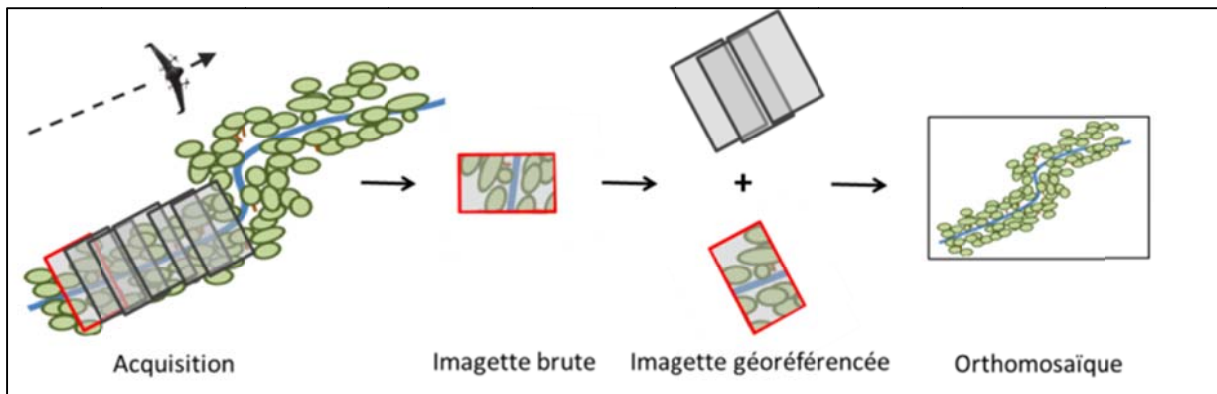


Figure 24 : Illustration du mode opératoire de pré-traitement des données drones

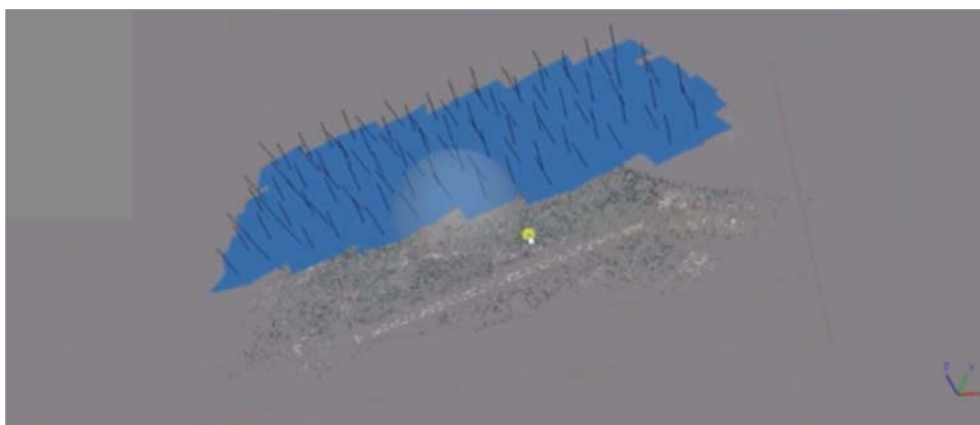


Figure 25 : Illustration de Metashape Pro, permettant de générer les Orthophotos et les modèles d'élévation. Les photos sont assemblées pour générer une carte de l'ensemble de la zone survolée.

Les produits de ces prétraitements sont centralisés dans une plateforme web de visualisation dont l'adresse web est communiquée par e-mail aux partenaires ainsi que l'identifiant et le mot de passe.

3.3.2 Résultats attendus / acquis

L'ensemble des résultats attendus lors de ce premier période d'activités a été réalisé (tableau 7).

Tableau 7 : Résultats attendus et acquis dans le volet 2 du projet iDROC.

Résultats attendus	Site	Résultats acquis
Orthomosaïques et MNS avant exploitation	IFO	Les produits sont générés et consultables sur la plateforme web de visualisation.
	Pallisco	Les produits sont générés et consultables sur la plateforme web de visualisation.
Orthomosaïques et MNS après exploitation	IFO	Ils seront produits dans les 6 prochains mois d'activités
	Pallisco	Ils seront produits au troisième semestre du projet, suite à la seconde mission d'acquisition.
Protocole de traitement	Général	Les vidéos seront actualisées au deuxième semestre du projet.



Figure 26 : Exemple des 3000ha cartographiés sur le site d'IFO disponibles sur la plateforme web de visualisation.

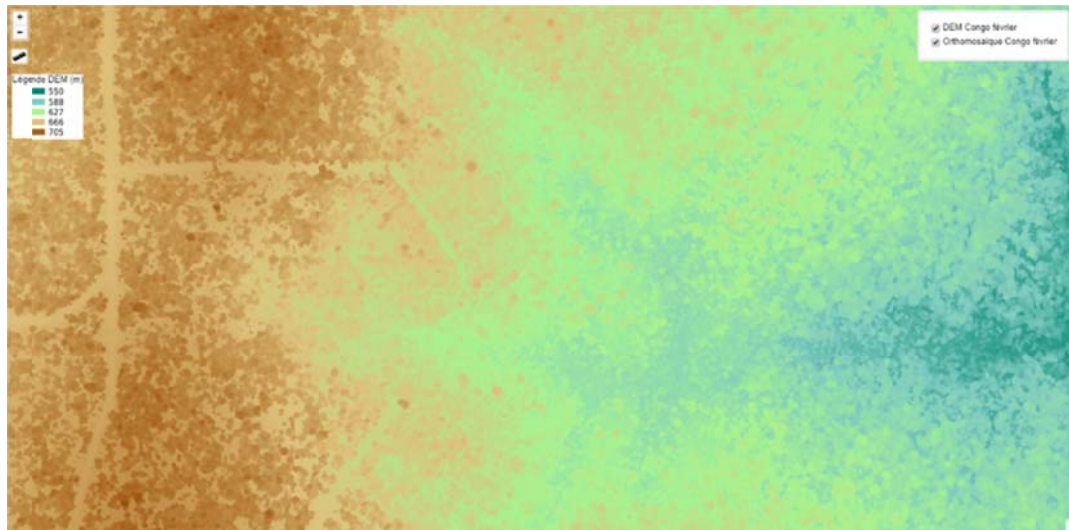


Figure 27 : Exemple des 3000ha cartographiés sur le site d'IFO disponibles sur la plateforme web de visualisation – modèle d'élévation de terrain



Figure 28 : Exemple de carte obtenue sur le site de Pallisco disponible sur la plateforme web de visualisation.

3.4 Volet 3 (activités 6.1.9 à 6.1.11) - Développement d'outils d'aide à la planification avec de l'imagerie drone

Les données cartographiques provenant des entreprises forestières ont été compilées. La mise en concordance des données de l'entreprise avec les données drone a été initiée et seront prolongées lors des deux prochains semestres.

3.4.1 Production de supports cartographiques dérivés d'imagerie drone

Cette activité sera approfondie au cours des prochains semestres (voir section 4-Programme prévisionnel des activités). La figure 29 ci-dessous présente un exemple sur l'apport des données drones pour identifier le passage optimal d'un pont.

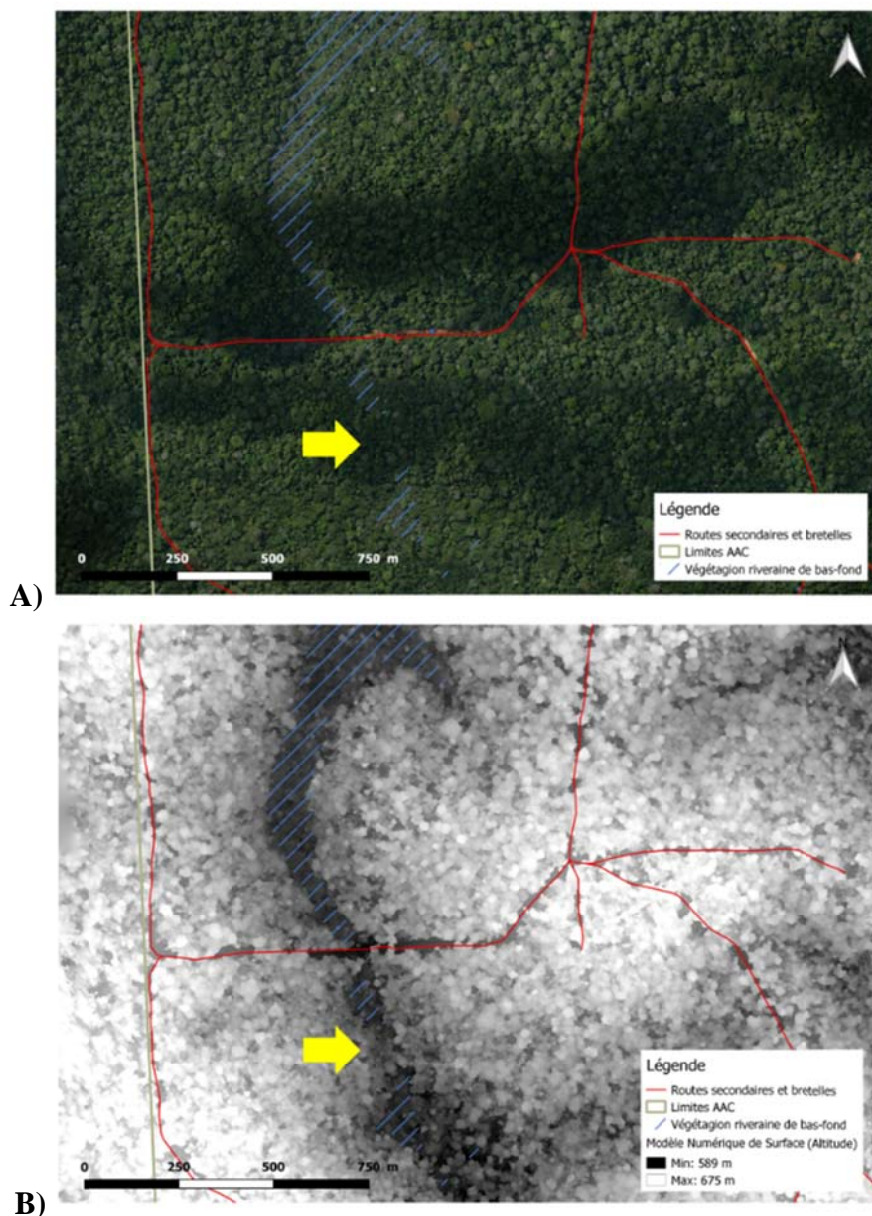


Figure 29 : A) Orthophotomosaic présentant le tracé actuel des routes et la végétation riveraine de bas-fond. La flèche jaune présente un passage potentiel de la route entre les deux versants. Ce passage ne présente pas de végétation riveraine, synonyme de présence probable de marécage. B) Modèle Numérique de Surface qui permet de distinguer, au niveau de la flèche jaune, que le bas-fond est moins plat qu'ailleurs (plus faible probabilité d'eau stagnante) et que les versants sont plus proches de part et d'autre du cours-d'eau, ce qui est favorable à la construction d'un pont.

3.5 Volet 4 (activités 6.1.12) - Développement d'un système standardisé de suivi des perturbations de la canopée

Le développement de critères standardisés de suivi des perturbations de la canopée nécessite le développement d'une chaîne de traitement automatisé qui extrait toutes les zones perturbées. Afin de s'assurer que les produits de cette chaîne de traitement soient corrects, il est nécessaire de réaliser une phase de validation des produits générés. Une fois que le processus est validé, des indices d'écocertification pourront être produits afin d'avoir des critères objectifs d'écocertification.

3.5.1 Relevés terrain de validation des données drone

La première mission d'acquisition d'images drone chez Pallisco (Cameroun) a été mis à profit pour la réalisation de mesures terrain des dégâts d'exploitation qui servira lors de la phase de validation. En effet, ces mesures permettront de valider les cartes des zones perturbées qui seront générées. Un protocole de terrain de relevé des dégâts d'exploitation a été réalisé (voir annexe) et les principales caractéristiques des dégâts d'exploitation relevés sur le terrain sont résumées dans le tableau 8 ci-dessous. Ces informations sont disponibles sous format cartographique de manière à pouvoir être croisé avec les cartes des zones perturbées qui seront générés suite au second vole chez Pallisco

Tableau 8 : Caractéristiques des ouvertures réalisées pour l'exploitation forestière chez Pallisco. Les trouées sont caractérisées par une surface (en m²) tandis que les autres ouvertures sont définies par leurs largeurs en mètre.

Type d'ouverture	Kilomètre parcourus	Nombre de mesures	Largeur (m)/ Surface (m ²)
Routes	2,5	54	7,7 (±0,3)
Bretelle	3,69	79	6,2 (±0,2)
Piste de débardage	10,8	573	4,2 (±0,08)
Trouées	/	30	537 (±85)

3.5.2 Développement d'une chaîne de traitement et d'indices d'écocertification

La récente acquisition d'images drones post-exploitation sur le site de IFO va permettre le lancement de l'activité de développement d'une chaîne de traitement pour détecter les perturbations de la canopée liées à l'exploitation forestière. Les produits générés par cette chaîne de traitement seront mis en relation avec certains critères d'écocertification. Les figures ci-dessous présentent des exemples d'indicateurs quantitatifs objectifs d'exploitation forestière à impact réduit qui pourraient être générés. Le chronogramme de réalisation des livrables de ce volet sont présentés à la section 4-Programme prévisionnel des activités.

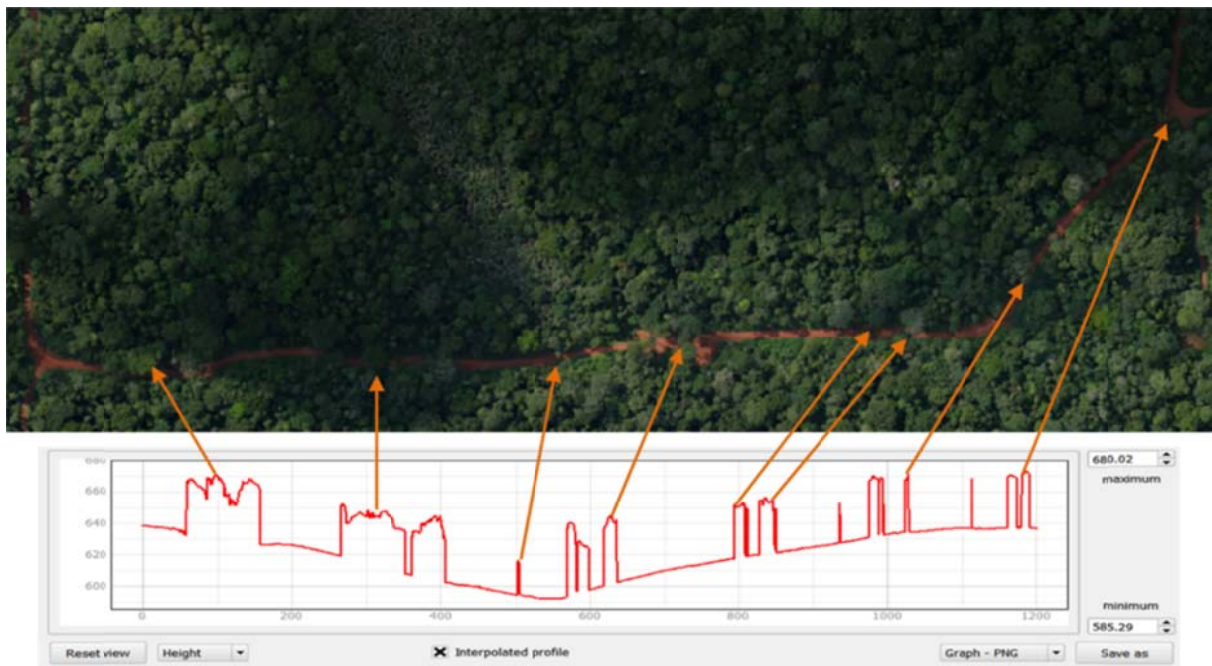


Figure 30 : Exemple de l’emprise des houppiers sur le profil longitudinal d’une voirie secondaire généré à partir du Modèle Numérique de Surface. Le rapport entre la longueur d’houppier superposant la route et la longueur de la route serait un bon indicateur quantitatif attestant de pratiques d’Exploitation Forestière à Impact Réduit (EFIR).



Figure 31 : Mesures de l’impact de la construction des routes sur la canopée, mesure des trouées

Pont à culée canadienne



Figure 32 : Photos géolocalisées des ponts à culée canadienne

Ponceau



Figure 33 : Photo d'un ponceau

Orthomosaïque

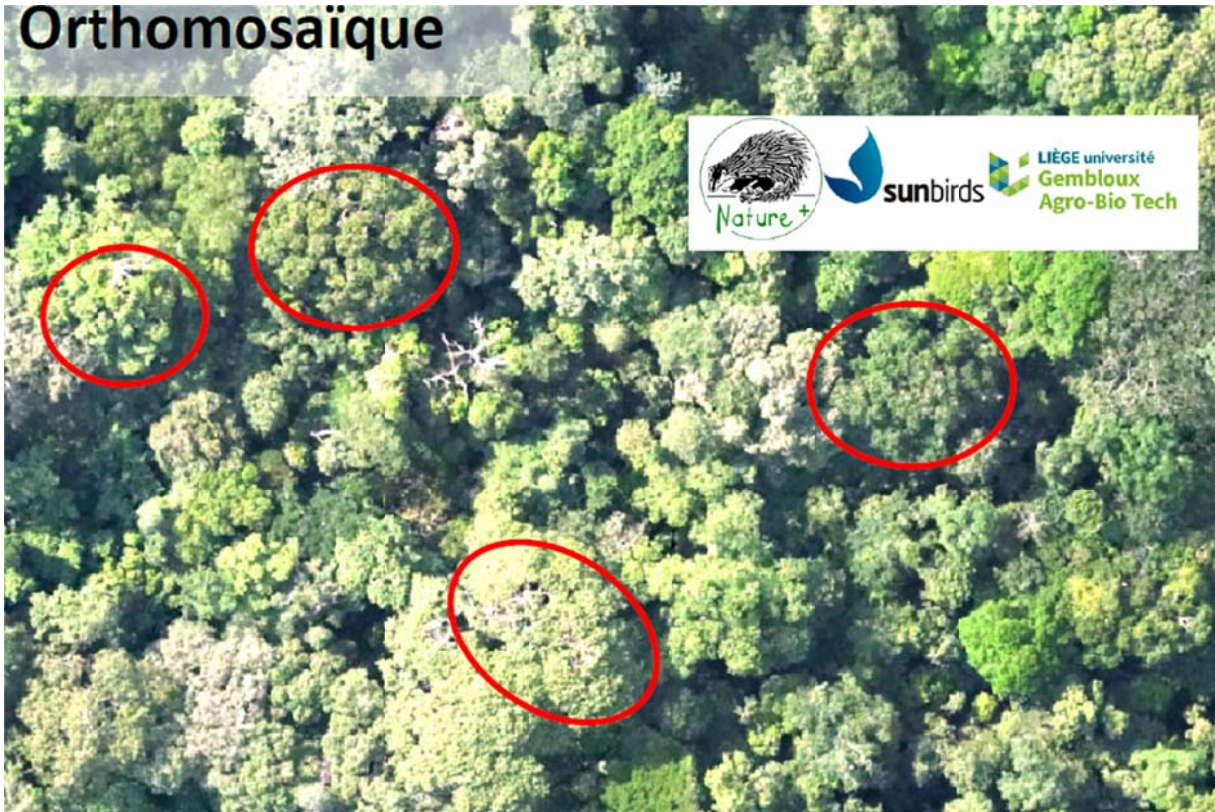


Figure 34 : Carte avant exploitation (orthophoto)



Figure 35 : Carte après exploitation (orthophoto)



Figure 36 : Les photos géolocalisées drones permettent de facilement évaluer la largeur des routes



Figure 37 : Exemple de mesures réalisées grâce à l'outil drone



Figure 38 : L'impact d'exploitation est directement visualisable par les images obtenues par drone



Figure 39 : 370ha d'exploitation cartographiée par drone – l'impact d'exploitation est directement visible (1/2)



Figure 40 : 370ha d'exploitation cartographiée par drone – l'impact d'exploitation est directement visible (2/2)



Figure 41 : Zoom sur les 370ha cartographiés – Le niveau de détails est très élevé

3.6 Volet 5 (activité 6.1.13) - Communication sur l'apport de technologie drone en gestion forestière tropicale

Pour le cinquième semestre du projet, un document mettant en valeur les informations drone utilisables dans le cadre d'écocertification et la manière d'intégrer cette technologie dans les entreprises forestières (coûts, réglementations nationales, connaissances techniques, ...). Ce document comprendra une grille synthétique mettant en relation les informations provenant de l'imagerie drone et les indicateurs d'écocertification. Ce document sera diffusé aux parties prenantes concernées. Le consortium prévoit la restitution des travaux du projet en s'appuyant sur un atelier sous régional axé sur la certification de forêts du bassin du Congo.

4 Programme prévisionnel des activités

La période de réalisation des prochaines activités est détaillée dans le tableau 9. Les livrables sont détaillés dans le tableau 10 avec les justificatifs de ces livrables ainsi que les semestres dans lequel ils seront réalisés. Les semestres sont définis par la remise des rapports d'activité au bailleur (le premier semestre débute en janvier 2019, le second semestre en octobre 2019, le 3^{ème} semestre en janvier 2020, le 4^{ème} semestre en août 2020 et le 5^{ème} en janvier 2021).

Tableau 9 : Chronogramme des prochaines activités du projet IDROC.

Activités		2020												2021				2022																					
		Q4			Q1			Q2			Q3			Q4		Q1		Q2																					
		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M						
Volet 1 : Protocole d'expérimentation sur site																																							
1.1.	Acheminement des drones et capteurs multispectraux	IFO																																					
		Pallisco																																					
1.4.	Adaptation et configuration du système drone-capteur aux conditions locales	IFO																																					
		Pallisco																																					
1.5.	Ajustement des paramètres de plan de vol	IFO																																					
		Pallisco																																					
1.6.	Vols d'essais et analyses	IFO																																					
		Pallisco																																					
1.7.	Formation	IFO																																					
		Pallisco																																					
1.8.	Vols de production (vols avant et après exploitation d'une AAC+1 vol correctif)+pts gps	IFO																																					
		Pallisco																																					
Volet 2 : Prétraitement des données drones																																							
2.1.	Ajustement logiciel	2 sites																																					
2.2.	Production d'orthophotos et de MNS	2 sites																																					
Volet 3 : Aide à la planification des opérations d'exploitation																																							
3.1.	Création d'une base de données géographique	2 sites																																					
3.2.	Production de supports cartographiques dérivés de l'imagerie drone	2 sites																																					
Volet 4 : Suivi des perturbations forestières																																							
4.1.	Relevés terrain pour validation des données drone	Pallisco																																					
4.2.	Développement d'une chaîne de traitement	2 sites																																					
4.3.	Développement d'indices pour l'écocertification	2 sites																																					
Volet 5 : Communication sur drone-gestion forestière																																							
5.1.	Organisation d'un atelier																																						

Tableau 10 : Délivrables attendus détaillés avec les justificatifs qui s’y rapportent et le semestre de réalisation (le 1^{er} semestre débute en janvier 2019, le second en octobre 2019, le 3^{ème} en janvier 2020,...)

Volets du projet iDROC	Délivrables attendus	Détails (d) et justificatifs (j)	Période de réalisation	
			Pallisco	IFO
V1 - Protocole d'expérimentation sur site	- Réception des drones dans les entreprises forestières	j :Rapport d'activités	Réalisé N+	Réalisé SB
	- Documents d'autorisation de vols	j :Rapport d'activités	Réalisé N+	Réalisé SB
	- Drones opérationnels	d : Drone ailes fixes, j :Rapport d'activités, j :Rapport d'activités	Réalisé N+	Réalisé SB
		d : Drone VTOL, j :Rapport d'activités	3 ^{ème} semestre (N+)	3 ^{ème} semestre (SB)
		d : Drone solaire, j :Rapport d'activités	/	4 ^{ème} semestre (SB)
	- Deux membres du personnel des entreprises seront formés	J :Attestation formation & fiche présence	3 ^{ème} semestre (N+)	3 ^{ème} semestre (SB)
- Survols de 3 000 ha à 5 000 ha de forêt par site	d : Vol avant exploitation, j : plateforme de visualisation ²	Réalisé N+	Réalisé SB	
	d :Vol après exploitation, j : plateforme visualisation ²	3 ^{ème} semestre (N+)	Réalisé SB	
V2 - Prétraitement des données drone	- Orthophotos et MNS avant et après exploitation des deux sites d'étude	d : Ortho et MNS avant exploitation j : plateforme de visualisation ²	Réalisé N+	Réalisé N+
		Ortho et MNS après exploitation j : plateforme visualisation ²	3 ^{ème} semestre (N+)	2 ^{ème} semestre (SB)
	- Protocole de traitement	j :Vidéo youtube + résumé dans Rapport d'act.	2 ^{ème} semestre (SB)	
V3 - Aide à la planification	- Une base de données géographique par site dont le géoréférencement est validé	j: plateforme de visualisation ² et cartes dans rapport d'act	3 ^{ème} semestre (N+)	
	- Une base de données botanique des clés d'identification des essences forestières	j : Synthèse de la méthodologie et des résultats iDROP	4 ^{ème} semestre (SB)	
	- Protocole d'intégration de l'imagerie drone dans le travail de planification de la cellule d'exploitation	j :Rapport d'activités	4 ^{ème} semestre (SB et N+)	
	- Rapport sur les développements algorithmiques réalisés pour la détection automatique des essences et des autres éléments paysagers	j : Synthèse méthodologique et des résultats iDROP	4 ^{ème} semestre (SB)	
	- Produits cartographiques générés de manière automatique (ex : carte des pentes)	d : Carte des pentes, j : plateforme visualisation ²	4 ^{ème} semestre (N+)	
d : tracé des routes détecté automatiquement, j : plateforme visualisation ²		4 ^{ème} semestre (SB)		
V4 – Suivi des perturbations forestières	- Cartes des ouvertures de canopées sur 3 000 ha à 5 000 ha/site	j : plateforme visualisation ²	4 ^{ème} semestre (GxABT et N+)	
	- Document mettant en valeur les informations pour l'écocertification	j :Rapport d'activités	4 ^{ème} semestre (N+)	
	- Procédure de traitement des données	j :Vidéo youtube + résumé dans Rapport d'act.	4 ^{ème} semestre (N+)	
V5 - Communication drone - gestion forestière tropicale	- Document mettant en valeur les informations drone utilisables dans le cadre d'écocertification et la manière d'intégrer cette technologie dans les entreprises forestières (coûts, réglementations nationales, connaissances techniques, ...)	j : Slides illustratives	4 ^{ème} semestre (N+ et SB)	

² Plateforme web de visualisation qui a été communiquée aux partenaires.

5 Annexes

1. Rapport de mission 1 IFO Février 2019
2. Rapport de mission 2 Pallisco Juillet 2019
3. Protocole de mesures de dégâts d'exploitation