



HAL
open science

Dans le cadre de l'optimisation de l'étape de photogrammétrie du produit Phenoscale, élaboration et mise en œuvre d'un plan d'actions pour optimiser les temps de traitement des images drones tout en maintenant la qualité des résultats

Léa Cabrol

► To cite this version:

Léa Cabrol. Dans le cadre de l'optimisation de l'étape de photogrammétrie du produit Phenoscale, élaboration et mise en œuvre d'un plan d'actions pour optimiser les temps de traitement des images drones tout en maintenant la qualité des résultats. Informatique [cs]. 2024. dumas-04787779

HAL Id: dumas-04787779

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04787779v1>

Submitted on 18 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Mémoire de fin d'études

**présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur Agronome de l'Institut
Agro Montpellier**

Spécialité AgroTIC – Technologies de l'Information et de la Communication

**Dans le cadre de l'optimisation de l'étape de photogrammétrie
du produit Phenoscale, élaboration et mise en œuvre d'un plan
d'actions pour optimiser les temps de traitement des images
drones tout en maintenant la qualité des résultats.**

par Léa Cabrol

Année de soutenance : 2024

Organisme d'accueil : HIPHEN

Mémoire préparé sous la direction de : Guilhem Brunel

Maître de stage : Joss Gillet

Présenté le : 16/09/2024



Résumé

Titre

Dans le cadre de l'optimisation de l'étape de photogrammétrie du produit Phenoscale, élaboration et mise en œuvre d'un plan d'actions pour optimiser les temps de traitement des images drones tout en maintenant la qualité des résultats

Résumé

Hiphen, fondée en 2014, est une entreprise privée spécialisée dans l'analyse d'image pour l'agriculture et plus précisément dans le phénotypage à haut débit. Phenoscale est l'offre de phénotypage à haut débit par drone. Avec la croissance de la demande pour ce service, Hiphen se tourne vers l'industrialisation de Phenoscale. L'objectif est de migrer les traitements vers une technologie de cloud computing (AWS) afin de traiter un volume toujours croissant de données tout en maintenant une qualité élevée.

Le projet présenté dans ce mémoire se concentre sur l'amélioration de l'étape de photogrammétrie, qui est une phase clé de la chaîne de traitement de Phenoscale. La photogrammétrie consiste à modéliser en 3D le champ survolé par drone à partir d'images 2D, une étape cruciale pour la reconstitution précise des données de terrain. Cependant, les diagnostics réalisés ont révélé des faiblesses dans ce processus, entraînant des ralentissements, des interruptions et des interventions humaines manuelles dans le flux de traitement des données. Améliorer cette étape est donc essentiel pour optimiser le débit et assurer une compatibilité des traitements Phenoscale avec le cloud computing. Par extension, cela renforcera la compétitivité d'Hiphen.

Le mémoire détaille tout d'abord le diagnostic effectué pour identifier les problèmes spécifiques rencontrés lors de l'étape de photogrammétrie. À partir de cette analyse, des propositions d'amélioration et de standardisation ont été formulées, regroupées dans un plan d'actions structuré en trois axes principaux : l'automatisation des tâches répétitives, l'optimisation des paramètres de calcul photogrammétrique, et la formation des chefs de projets pour renforcer leurs compétences techniques. Ce plan d'actions, dont une grande partie a été mise en œuvre au cours de l'année, a déjà montré des résultats prometteurs en termes d'amélioration des performances des traitements. Une fois sa mise en œuvre finalisée, les traitements photogrammétriques de Phenoscale pourront être réalisés par un service de cloud computing.

Mots clés

Phénotypage à haut débit – Drone – Photogrammétrie – Optimisation

Pour citer ce document

Cabrol Léa, 2024. Dans le cadre de l'optimisation de l'étape de photogrammétrie du produit Phenoscale, élaboration et mise en œuvre d'un plan d'actions pour optimiser les temps de traitement des images drones tout en maintenant la qualité des résultats. Mémoire d'Ingénieur Agronome, option AgroTIC, L'Institut Agro Montpellier. 56 p.

Abstract

Title

As part of the optimization of the photogrammetry step of the Phenoscale product, development and implementation of an action plan to optimize drone image processing times while maintaining the quality of results.

Summary

Hiphen, founded in 2014, is a private company specializing in image analysis for agriculture, and more specifically in high-throughput phenotyping. Phenoscale is their drone-based high-throughput phenotyping offering. With demand for this service growing, Hiphen is turning to the industrialization of Phenoscale. The aim is to migrate processing to cloud computing technology (AWS) in order to handle an ever-increasing volume of data while maintaining high quality.

The project presented in this thesis focuses on improving the photogrammetry stage, which is a key phase in Phenoscale's processing chain. Photogrammetry involves the 3D modelling of the field overflowed by the drone from 2D images, a crucial step for the accurate reconstruction of field data. However, diagnostics have revealed weaknesses in this process, leading to slowdowns, interruptions and manual human intervention in the data processing flow. Improving this step is therefore essential to optimize throughput and ensure that Phenoscale processing is compatible with cloud computing. By extension, this will enhance Hiphen's competitiveness.

The dissertation first details the diagnosis carried out to identify the specific problems encountered during the photogrammetry stage. Based on this analysis, proposals for improvement and standardization were formulated, grouped into an action plan structured around three main axes: automation of repetitive tasks, optimization of photogrammetric calculation parameters, and training of project managers to reinforce their technical skills. This action plan, a large part of which was implemented during the year, has already shown promising results in terms of improved processing performance. Once its implementation is finalized, Phenoscale's photogrammetric processing will be able to be carried out by a cloud computing service.

Key words

High-throughput phenotyping - Drone - Photogrammetry – Optimization

To cite this document

Cabrol Léa, 2024. As part of the optimization of the photogrammetry stage of the Phenoscale product, development and implementation of an action plan to optimize drone image processing times while maintaining result quality. (Mémoire d'Ingénieur Agronome, option AgroTIC, L'Institut Agro Montpellier. 56 p.)

Remerciements

Je souhaiterais remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu et aidé dans la réalisation de mon projet de fin d'étude. Merci pour la confiance et les responsabilités qui m'ont été accordées pendant cette année en contrat de professionnalisation chez Hiphen.

Je tiens à adresser mes remerciements à Joss Gillet, mon encadrant en entreprise et directeur technique des opérations chez Hiphen. Son écoute attentive et sa vision claire de mon projet m'ont permis d'affiner mon travail et de répondre aux attentes de l'entreprise. Ses conseils précieux ont été d'une grande aide, et j'ai particulièrement apprécié notre dynamique de travail.

Je remercie également les membres de l'équipe des chefs de projets. Leur intégration et notre collaboration quotidienne ont été un véritable plaisir. Un merci tout particulier à Romain et Rhianna, anciens AgroTIC, qui ont été de véritables mentors cette année. Plus largement, je remercie toutes les personnes présentes chez Hiphen qui ont contribué à mon épanouissement professionnel.

Je suis reconnaissante envers Alexis Comar, directeur d'Hiphen, pour la confiance qu'il m'a accordée et pour avoir pris le temps de m'expliquer des points scientifiques passionnants.

Je souhaite aussi remercier Guilhem Brunel pour son implication et son accompagnement tout au long de cette année ainsi que durant l'ensemble de mon cycle d'ingénieur. Il m'a toujours soutenue dans les moments de doute et a su me guider dans la bonne direction pour la rédaction de ce mémoire. J'espère que nous aurons l'occasion de retravailler ensemble à l'avenir.

Merci à l'équipe pédagogique d'AgroTIC pour la qualité de leurs enseignements et la pertinence des cours, toujours en phase avec l'actualité. J'ai particulièrement apprécié les questionnements et discussions sur le thème de l'écoconception des solutions numériques de l'agriculture de demain.

Enfin, mes remerciements vont à ma famille et à mes ami.e.s. Merci à mes parents pour leur dévouement et leur soutien tout au long de mes études, sans lesquels ces six dernières années n'auraient pas été aussi épanouissantes. Merci à mes ami.e.s qui transforment chaque jour en une nouvelle aventure.

Table des matières

RESUME.....	2
ABSTRACT	3
REMERCIEMENTS.....	4
TABLE DES MATIERES	5
AVANT-PROPOS.....	7
SIGLES ET ACRONYMES	8
LISTE DES FIGURES.....	9
LISTE DES TABLEAUX	10
INTRODUCTION.....	11
PARTIE I : CONTEXTE ET PRESENTATION DU PROJET INGENIEUR.....	12
1. Présentation générale Hiphen et du produit Phenoscale.....	12
A. Une entreprise spécialisée dans le phénotypage à haut débit qui modernise le secteur	12
B. L'offre commerciale des produits de phénotypage à haut débit	14
C. Le produit Phenoscale : vers une industrialisation du phénotypage à haut débit par drone.....	15
i. L'offre du produit.....	15
ii. Les chef.fe.s de projets, chargés des projets Phenoscale	16
iii. Gestion multi-acteurs de Phenoscale au sein d'Hiphen	17
2. Périmètre des missions de l'alternance : Le Product Owner de Phenoscale a pour objectif d'assurer la qualité du produit.....	18
A. Le Product Owner articule la collaboration des équipes pour Phenoscale	18
B. Positionnement du projet ingénieur dans la gestion en parallèle de plusieurs projets d'amélioration des traitements des données du produit Phenoscale	19
3. Contexte et enjeux du projet ingénieur : industrialisation de l'étape de Photogrammétrie du produit Phenoscale	20
A. Qu'est-ce que la photogrammétrie ?.....	20
B. La photogrammétrie est une étape clé de la chaîne de traitement de Phenoscale	22
C. Les enjeux de l'industrialisation de la photogrammétrie pour Phenoscale.....	22
4. Problématique.....	23
PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE	24

Table des matières

1. Etat de l'existant de l'étape de photogrammétrie de Phenoscale : identification des points d'amélioration.....	24
A. Une acquisition drone de qualité est un facteur de réussite pour la photogrammétrie	24
B. Un module de traitement de la photogrammétrie semi-automatique	25
i. Détection des cibles des GCPs.....	28
ii. Initialisation	29
iii. Alignement	29
iv. (Uniquement pour vols avec GCPs) Identification et ajout des GCPs dans la scène 3D.....	30
v. Optimisation du positionnement des points homologues	31
vi. (optionnel) Point Cloud	32
vii. Génération du Modèle Numérique d'Élévation (DEM)	33
viii. Génération et exportation orthoimage et positions des caméras.....	33
C. Plateforme d'enregistrement des lancements de module HCC	34
D. Synthèse de l'analyse de l'état de l'existant et de l'identification des points d'améliorations	36
2. Un plan d'actions optimisant et automatisant l'étape de photogrammétrie.....	37
A. Démarche détaillée d'une proposition technique d'optimisation de l'étape de photogrammétrie : conception de pré-paramétrages d'entrée pour le module de photogrammétrie.....	38
B. Synthèse du plan d'actions pour optimiser et automatiser la photogrammétrie de la chaîne de traitement Phenoscale tout en renforçant les compétences des chef.fe.s de projets	40
3. Objectif du flux du traitement photogrammétrique	42
PARTIE III : MISE EN ŒUVRE DU PLAN D' ACTIONS	42
1. Progression d'avancement des actions à mettre en œuvre	42
2. Détails de la réalisation technique du sondage des actions manuelles, première action pour concevoir des pré-paramétrages	43
3. Exemple d'outil spécifié et restant à développer : page web de validation de la photogrammétrie ..	45
PARTIE IV : DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES DE L'OPTIMISATION DU TRAITEMENT PHOTOGRAMMETRIQUE	48
1. Bilan et analyse critique du travail réalisé.....	48
2. Perspectives sur l'industrialisation de Phenoscale	49
3. Bilan sur cette année en contrat de professionnalisation à Hiphen	50
CONCLUSION	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
ANNEXES	53

Avant-Propos

Ce mémoire est le fruit de mon expérience professionnelle au sein de l'entreprise Hiphén durant cette année de professionnalisation, dans le cadre de l'obtention de mon diplôme d'ingénieure agronome spécialisée en technologies de l'information et de la communication. Ce contrat a suivi un stage de 6 mois en tant que chargée de projets, puis un CDD d'un mois en tant que cheffe de projets.

Pour la rédaction de ce mémoire, une IA générative telle que ChatGPT a été utilisée pour aider à la syntaxe, à la reformulation, et à la correction orthographique.

Sigles et acronymes

2D : Deux dimensions

3D : Trois dimensions

API : Application Programming Interface – Interface de programmation d'application

AWS : Amazon Web Services

CEO : Chief Executive Officer – Directeur général

COO : Chief Operating Officer – Directeur des opérations

CTO : Chief Technical Officer – Directeur technique

DEM : Digital Elevation Model – Modèle d'élévation numérique

GCP : Ground Control Point – Point de recalage

GNSS : Global Navigation Satellite System - Système global de navigation par satellite

HCC : Hiphen Command Center

IT : Information Technology – Technologie

MVS : Multi-View stereo – Stéréo multi-vues

NAS : Network Attached Storage

PO : Product Owner – Chef de produit

R&D : Recherche et Développement

RGB : Red, Green Blue – RVB pour Rouge Vert Bleu

RTK : Real Time Kinetic

SDK : Software development kit – Kit de développement logiciel

SfM : Structure from Motion – Structure à partir du mouvement

VBA : Visual Basic for Application

Liste des figures

Figure 1 - Photo illustrant la différence entre le blé au caractère "tige courte" à gauche et "tige longue" à droite. Les deux variétés ont été plantées côte à côte le même jour. Photographie prise à Sonora en 1957. (Mann 2018).....	11
Figure 2 - Croissance et développement d'Hiphen depuis 2014	12
Figure 3 - Organigramme des équipes d'Hiphen réparties en 5 services : Recherche et Développement (R&D), Informatique (IT), Direction, Chef.fe.s de projets (PM) et Commerciale (Sales)	13
Figure 4 - L'offre commerciale d'Hiphen.....	14
Figure 5 - Le produit Phenoscale	15
Figure 6 - Essai variétale de blé constitué de différentes variétés	15
Figure 7 - Plateforme Cloverfield et ses fonctionnalités. De gauche à droite : téléversement des données, consultation des résultats, parcourir le glossaire, tableau de bord des analyses, gestion des parcelles et suivi du traitement des essais en temps réel.	16
Figure 8 - Schéma simplifié de la chaîne de traitement suivie par les chef.fe.s de projets des données drones de Phenoscale	17
Figure 9 - Le product owner un rôle d'interface entre les équipes	18
Figure 10 - Positionnement du projet ingénieur parmi les projets d'améliorations de Phenoscale	19
Figure 11 - Répartition du temps de travail en fonction des projets lors de l'alternance	20
Figure 12 - Positionnement de l'étape de photogrammétrie dans la chaîne de traitement Phenoscale	21
Figure 13 - Schéma fonctionnel de la génération d'une orthoimage géoréférencée à partir d'images 2D par stéréo photogrammétrie	21
Figure 14 - Illustration du recouvrement requis lors de l'acquisition	24
Figure 15 - Schématisation du fonctionnement d'un module chez Hiphen.....	25
Figure 16 - Schéma des étapes des différents processus du module de photogrammétrie.	27
Figure 17 - Détection des GCPs selon les différents cas de nature d'image et de forme de GCP	28
Figure 18 - Détection des points homologues à gauche. Drone décrit par ses coordonnées géographiques et ses trois angles de rotations à droite (DJI, s. d.)	30
Figure 19 - Comparaison d'un nuage de points épars et d'un nuage de points dense d'un même vol drone sur une culture de tournesol. Les deux images ont été prises avec le même point de vue.	32
Figure 20 - Exemple d'un DEM généré depuis un nuage de points dense sur une culture de tournesol.	33
Figure 21 - Synthèse de l'étape de photogrammétrie et des leviers d'amélioration identifiés	36
Figure 22 - Plan d'actions optimisant les temps de traitement des images drones pour l'étape de photogrammétrie	41
Figure 23 - Synthèse des propositions techniques et du plan d'action faisant évoluer le flux de traitement photogramétrique (schéma disponible en Annexe)	42
Figure 24 - Introduction du formulaire dans le flux de travail.....	44
Figure 25 - Capture d'écran de la spécification d'une partie de la page de validation du traitement photogramétrique.....	47
Figure 26 - Exemple de fiche explicative d'un indicateur de qualité à destination d'un développeur...47	

Liste des tableaux

Tableau 1 - Présentation des missions nouvellement assurées par le product owner	18
Tableau 2 - Caractéristique clés enregistrées dans la base de données lors du lancement d'un module	34
Tableau 3 - Critères et contraintes cadrent les choix des solutions techniques envisagées	38
Tableau 4 - Progression des actions à mettre en œuvre en août 2024	43
Tableau 5 - Tableau des indicateurs de qualité de la photogrammétrie	46

INTRODUCTION

Et si la longueur d'une tige pouvait sauver un pays d'une crise alimentaire ? C'est le défi relevé par Norman Borlaug, agronome et scientifique, à travers **l'amélioration des variétés** de blé au Mexique dans les années 1940. Produisant une variété de blé aux longues tiges, favorisant la verse et les maladies, le pays se trouvait au bord de la crise alimentaire. En dix ans, Borlaug et une équipe du CIMMYT¹ ont fixé les caractères « tige courte » et « résistance à la rouille » sur de nouvelles variétés, triplant ainsi les rendements de blé dans les années 1960 (Mann 2018).

"Données supprimées : Non conforme RGPD"

Pendant cette décennie, l'équipe a mené des sélections minutieuses sur le terrain, ciblant des **traits phénotypiques** comme la tige courte, la résistance aux maladies (i.e.

Figure 1 - Photo illustrant la différence entre le blé au caractère "tige courte" à gauche et "tige longue" à droite. Les deux variétés ont été plantées côte à côte le même jour. Photographie prise à Sonora en 1957. (Mann 2018)

rouille) ou la floraison précoce. Chaque plante était contrôlée manuellement, rendant le **processus chronophage** et ajoutant des délais dans le processus d'innovation. (Mann 2018)

Aujourd'hui, la **crise climatique** menace la productivité globale des cultures, s'ajoutant aux crises alimentaires contemporaines. En réponse au dérèglement climatique, la FAO² préconise une évolution vers l'intensification durable et l'agroécologie (HLPE, s. d.), où **l'innovation variétale** joue un rôle clé. L'INRAE³ mène alors divers travaux de recherches visant à développer des variétés plus adaptées à une **gestion agroécologique des systèmes de cultures**. (Gascuel-Odoux et al. 2022)

L'amélioration variétale, comme en témoigne l'expérience de l'équipe de Norman Borlaug, reste un long processus. Le livre blanc de l'INRAE et de l'Inria sur l'agriculture numérique présente le **phénotypage à haut débit** comme une solution prometteuse pour accélérer ces processus. Ces technologies permettent de recueillir rapidement des données massives et précises, facilitant une caractérisation non destructive des plantes à grande échelle. Grâce à l'intégration de **drones, satellites, phénomobiles** et **algorithmes d'intelligence artificielle**, ce qui nécessitait autrefois plusieurs mois peut désormais être réalisé en quelques heures, libérant ainsi les experts des tâches manuelles laborieuses pour se concentrer sur l'analyse des résultats et la prise de décisions éclairées. (Bellon-Maurel et al., s. d.)

L'entreprise française **Hiphen**, fondée en 2014, est un acteur clé dans le domaine du phénotypage à haut débit. Spécialisée dans **l'analyse d'image pour l'agriculture**, elle fournit des solutions avancées aux secteurs de la recherche, de la production de semences et de l'agro-industrie, rendant ces technologies accessibles et pratiques pour les professionnels.

Face à une demande croissante pour ses solutions, Hiphen envisage de **mettre à l'échelle** ses processus pour absorber l'augmentation du volume de données à traiter.

Mon projet d'ingénieur s'inscrit dans ce contexte et vise à optimiser la chaîne de traitement des données acquises par drones chez Hiphen. J'ai mené un diagnostic complet, élaboré un plan d'actions, et mis en œuvre des améliorations pour accroître l'efficacité et soutenir l'augmentation du débit.

Ce mémoire se concentrera sur le produit Phenoscale, en détaillant les améliorations apportées aux processus.

¹ Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé

² The Food and Agriculture Organization

³ L'Institut National de la Recherche pour l'Agriculture et l'Environnement

PARTIE I : CONTEXTE ET PRESENTATION DU PROJET INGENIEUR

1. Présentation générale Hiphen et du produit Phenoscale

A. Une entreprise spécialisée dans le phénotypage à haut débit qui modernise le secteur



Figure 2 - Croissance et développement d'Hiphen depuis 2014

Le phénotypage est la science qui caractérise les attributs sanitaires, structurels et physiques de la plante. La hauteur ou le taux de chlorophylle sont par exemple des traits phénotypiques qui décrivent une plante. Cette caractérisation peut se faire sur le terrain par des experts. Toutefois, les surfaces à évaluer augmentant et les technologies d'analyses devenant plus performantes, **le phénotypage manuel présent peu à peu ses limites.** La caractérisation des plantes à l'aide de nouvelles technologies dite phénotypage à haut débit (soit high-throughput phenotyping en anglais), se développe pour accompagner les techniques traditionnelles. L'évaluation se fera à l'aide de divers capteurs embarqués sur différents types de véhicules (roveur, drone ...).

Alexis Comar devient **spécialiste** de cette technique lors de son doctorat à l'institut technique Arvalis (Comar et al. 2012). A la suite de son post-doc, il rend opérationnel ses travaux de recherche en créant en 2014 l'entreprise **Hiphen**. Son objectif est de **moderniser le secteur** du phénotypage à haut débit. Le nom de la start-up est directement lié à son activité : Hiphen, pour HIgh throughput PHENotyping ou Phénotypage haut-débit en français.

En 2016, le premier produit de Hiphen est créé : **Airphen**. Cette caméra multispectrale à 6 longueurs d'onde permet de calculer des indices de végétation grâce à une chaîne de traitement automatique développée par Hiphen. **Ce premier effort de standardisation** pour l'acquisition de données se fait rapidement rattraper par les drones et caméras embarquées disponibles sur le marché. Ils deviennent de meilleure qualité et plus abordables. Par conséquent, avec cette évolution du marché, **Hiphen se spécialise dans le traitement des données et non plus dans l'acquisition.**

En 2020, la création de la plateforme **Cloverfield** concrétise cette stratégie, en offrant aux partenaires et clients de Hiphen une **plateforme web où ils peuvent déposer leurs données d'acquisition.** Ce flux d'information est envoyé sur les serveurs de Hiphen pour traiter les données. **L'industrialisation progressive du traitement de données provoque un besoin de ressources humaines dotées de diverses qualifications.** Ainsi, en 2024, Hiphen est composé d'une **équipe de trente talents**, avec un éventail de compétences qui s'étend de l'agronomie à l'informatique. Cette équipe réactive permet de répondre et de s'adapter aux besoins des clients. En 2023, la première version de la **plateforme de traitement**

Hiphen Command Center (HCC) a été déployée. Cette plateforme marque une étape vers une **standardisation** du traitement de données de phénotypage à haut débit.

"Données supprimées : Non conforme RGPD"

Figure 3 - Organigramme des équipes d'Hiphen réparties en 5 services : Recherche et Développement (R&D), Informatique (IT), Direction, Chef.fe.s de projets (PM) et Commerciale (Sales)

En gardant le cap vers une modernisation du phénotypage à haut débit, Hiphen **coopère** étroitement avec des unités de recherches de l'INRAE, des instituts techniques comme Arvalis et Terres Inovia. En 2018, cette coopération est officialisée par l'adhésion **d'Hiphen à l'UMT CAPTE**. L'objectif de l'Unité Mixte Technologique est de rassembler et de renforcer les connaissances des diverses parties prenantes afin de concevoir des outils et des méthodes visant à optimiser l'utilisation des capteurs et de la télédétection en agriculture.

La création de HIPHEN Corp aux Etat Unis et l'acquisition de l'entreprise **Slantrange**, respectivement en 2022 et 2023 sont les deux derniers événements marquant la croissance de Hiphen. Cela a permis à l'entreprise de **s'approprier leurs technologies** et de **développer son portefeuille clients**.

Le phénotypage à haut débit est un domaine **récent** et qui connaît une **évolution rapide**. Hiphen et ses talents participent à sa **structuration et industrialisation**.

B. L'offre commerciale des produits de phénotypage à haut débit

Pour répondre aux diverses problématiques des clients, Hiphén a développé plusieurs produits utilisant différents types de technologies et de systèmes d'acquisition. Cette diversité permet de couvrir un large éventail de cas d'usage et de proposer une offre complète pour le marché du phénotypage à haut débit. Cette offre commerciale peut être décrite de la façon suivante :

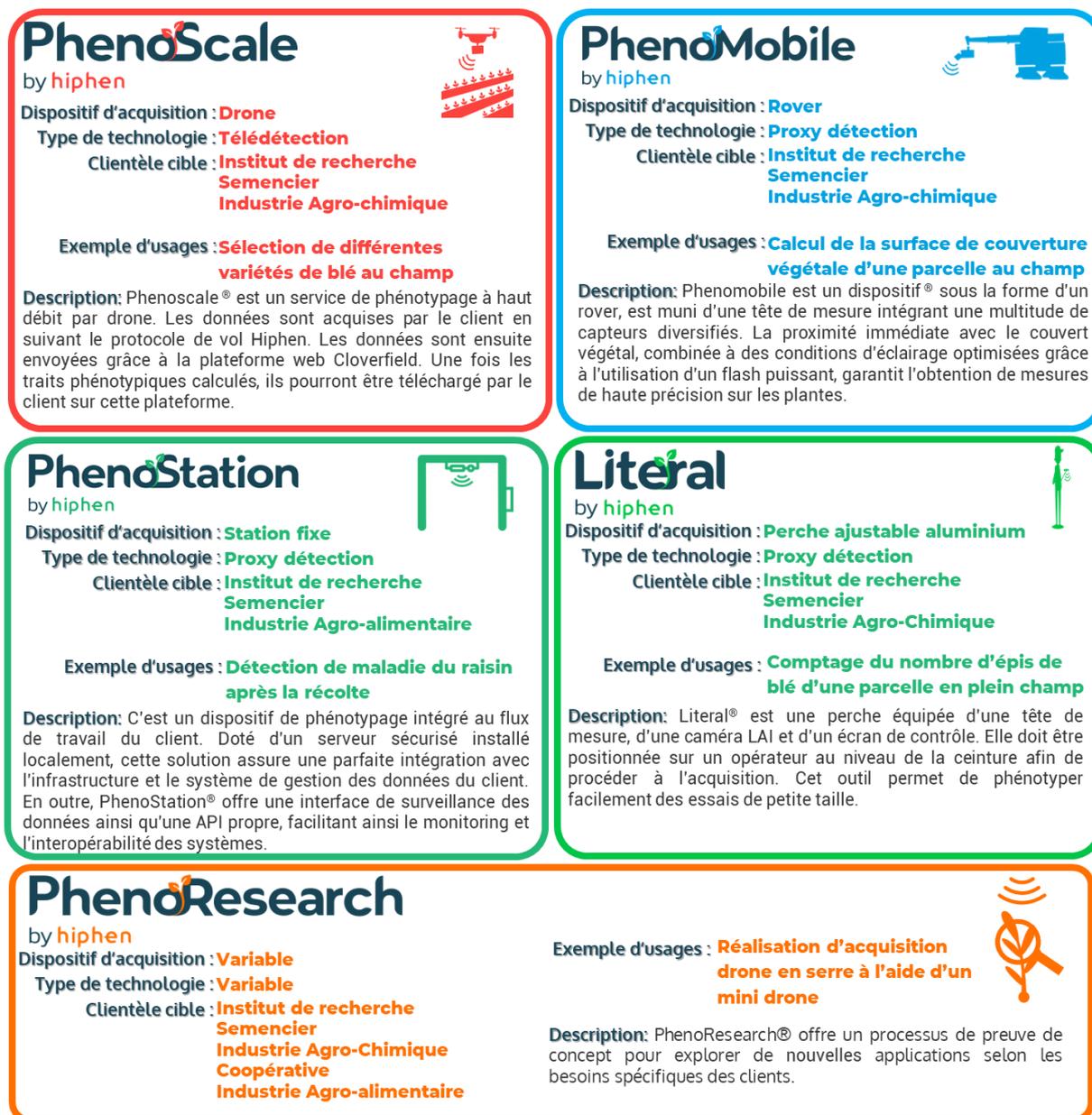


Figure 4 - L'offre commerciale d'Hiphén

C. Le produit Phenoscale : vers une industrialisation du phénotypage à haut débit par drone

Phenoscale est le produit pour lequel j'ai travaillé tout au long de cette année de professionnalisation. Toutes mes missions ont été en lien avec ce produit. **Par la suite, ce mémoire de fin d'étude ne se concentrera que sur ce service.** Ainsi, une présentation plus détaillée de Phenoscail va suivre.

i. L'offre du produit

Le produit Phenoscail est un service de phénotypage à haut débit par drone. Il permet de compléter les techniques traditionnelles de caractérisation des plantes, d'accélérer la prise de décision et de dématérialiser les données.

Les semenciers, agro-industriels et chercheurs, clients de ce service, conduisent des essais comparant différentes variétés en plein champ. Un essai est un champ expérimental divisé en plusieurs parcelles, chacune étant semée avec une unique variété. L'objectif des clients peut être de sélectionner une nouvelle variété ou de répondre à une question de recherche en particulier.



Figure 5 - Le produit Phenoscail

Pour atteindre cet objectif, la meilleure variété, c'est-à-dire le génotype présentant les meilleures performances pour un ou plusieurs traits phénotypiques donnés (hauteur, couleur, nombre de fleurs, nombre d'épis, etc.), doit être identifiée. Les essais sont répartis dans différentes localisations à travers le monde afin d'observer le comportement des variétés dans divers environnements. Traditionnellement, pour répondre à ce besoin, les essais étaient suivis par des relevés manuels des traits, et les experts analysaient ces données pour identifier les variétés offrant, par exemple, les meilleurs rendements au cours de la saison.

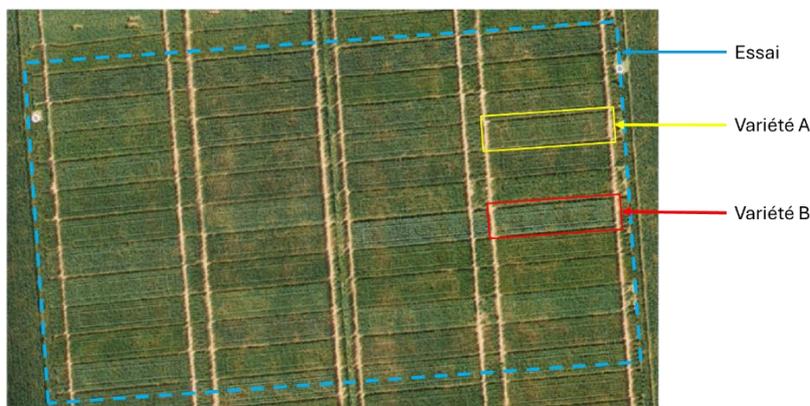


Figure 6 - Essai variétale de blé constitué de différentes variétés

Grâce au phénotypage à haut débit proposé par Hiphen, le processus de sélection des variétés peut être simplifié et accéléré. Cela permet non seulement de rendre le schéma de sélection plus efficace, mais aussi d'affiner l'identification de la meilleure variété, ce qui peut potentiellement accélérer sa mise sur le marché.

L'analyse et l'identification des variétés les plus performantes se font via la plateforme client: **Cloverfield**. Cette plateforme propose un ensemble de fonctionnalités conçues pour accompagner les clients dans leur prise de décision, **en facilitant la sélection de la meilleure variété parmi l'ensemble de leurs essais répartis à travers le monde.** Sur Cloverfield, les images capturées par drone sont

téléversées, et chaque trait phénotypique est calculé automatiquement. Les résultats sont ensuite mis à disposition pour chaque parcelle, permettant aux clients de réaliser leur sélection en fonction des divers traits phénotypiques disponibles (Annexe 1) et d'identifier la variété qui répond le mieux à leurs critères de sélection.



Figure 7 - Plateforme Cloverfield et ses fonctionnalités. De gauche à droite : téléversement des données, consultation des résultats, parcourir le glossaire, tableau de bord des analyses, gestion des parcelles et suivi du traitement des essais en temps réel.

Accélérer, faciliter et rassembler en un lieu la prise de décision des utilisateurs de Phenoscale représente un avantage. **Cet enjeu a attiré de plus en plus de clients pour qu'en 2023 le service compte plus d'une cinquantaine d'entreprises et d'universités de recherche. Pour répondre à la demande, Phenoscale est constamment amélioré afin que le traitement de données ait une cadence industrielle.**

ii. Les chef.fe.s de projets, chargés des projets Phenoscale

Les chef.fe.s de projets sont chargés des projets clients de Phenoscale. Ils gèrent les campagnes de phénotypage avec les clients, de la définition du protocole au traitement des données, à la validation des résultats et à la présentation des conclusions. De plus, ils analysent les mesures agronomiques produites dans le cadre des projets afin de produire des livrables analytiques qui répondent aux problématiques de recherche des clients.

Lors du traitement des données, les chef.fe.s de projets ont un rôle d'opérateur. Pour extraire les traits phénotypiques ils exécutent la chaîne de traitement de Phenoscale. Elle consiste en une séquence de modules à exécuter de façon ordonnée. Lors de mon alternance, les modules étaient lancés à l'aide d'un Excel rassemblant les commandes à exécuter en VBA (Visual Basic for Application). Leur retour sur l'utilisation des modules implique qu'ils collaborent étroitement avec les équipes IT et R&D. Les résultats ainsi générés sont validés par un contrôle statistique et humain sur la plateforme de validation Hiphen Command Center (HCC).



Figure 8 - Schéma simplifié de la chaîne de traitement suivie par les chef.fe.s de projets des données drones de Phenoscale

Comme il a été mentionné dans la partie précédente ([Partie 1. C. i.](#)), la demande pour le service Phenoscale augmente. L'équipe d'Hiphen est consciente que l'exécution semi-automatique de chaque module de la chaîne de traitement est un frein pour livrer rapidement les résultats. **Dans ce contexte, une nouvelle version de HCC est en développement afin qu'en plus de la validation des résultats, l'ensemble des traitements et de la gestion des projets soit réalisé sur la plateforme.** La chaîne de traitement sera automatisée et le service pourra atteindre une productivité industrielle. Les chef.fe.s de projets étant en contact avec les clients, ils pourront allouer plus aisément du temps pour les analyses des résultats et la relation client.

iii. Gestion multi-acteurs de Phenoscale au sein d'Hiphen

À l'échelle de l'entreprise, Phenoscale est le produit le plus ancien proposé par Hiphen. Par conséquent, sa gestion a évolué avec la croissance de l'entreprise. D'abord dirigé par Alexis Comar (CEO) et Rafael Benicio (COO), puis avec l'aide de Joss Gillet (CTO), Rémy Casubolo (Directeur IT) et Jeremy Labrosse (Directeur R&D), il est aujourd'hui géré par plusieurs acteurs à la fois. Le point faible d'une telle organisation était la perte d'informations entre les acteurs. Cela générerait souvent un retard de livraison pour les clients. Dans ce contexte multi-acteurs, le comité de direction (membres précédemment cités) a émis le besoin de faire évoluer la gestion de Phenoscale en créant le poste de **Product Owner**.

L'essentiel de la présentation

Hiphen est en croissance dont l'un des éléments de cette réussite est **Phenoscale**. Pour garder le cap, Phenoscale doit être mis à niveau. Son **industrialisation** passe par une évolution de sa gestion (**product owner**) et par une amélioration de sa chaîne de traitement (**HCC**) pour livrer des **traits phénotypiques** dans de meilleurs délais et en maintenant leur qualité. L'objectif est de répondre à la demande et de rester compétitif sur le marché du **phénotypage à haut débit**.

2. Périmètre des missions de l'alternance : Le Product Owner de Phenoscale a pour objectif d'assurer la qualité du produit

A. Le Product Owner articule la collaboration des équipes pour Phenoscale

Suite au besoin d'évolution de la gestion de Phenoscale émis par Hiphen, j'ai occupé au cours de mon contrat de professionnalisation, le rôle de Product Owner (PO) (qui peut être traduit par chef de produit) au sein de l'équipe des Chef.fe.s de projets.

Le rôle de PO s'apparente au rôle de chef d'orchestre, il coordonne le jeu des différents groupes d'instruments (DIGITAL PARTNERS, s. d.).

Chez Hiphen, ce rôle a pour objectif d'assurer la satisfaction des clients Phenoscale en articulant la collaboration des équipes informatiques (IT), R&D, chef.fe.s de projets et la direction. C'est un **poste hybride** où il faut à la fois **comprendre les demandes agronomiques des clients et visualiser leur réalisation informatique.**

Étant à l'interface entre les quatre services, j'ai participé à la coordination des ressources et savoir faire des équipes techniques afin d'atteindre les ambitions d'industrialisation de Phenoscale. Pour ce faire, les missions anciennement assurées par les acteurs du comité de direction m'ont peu à peu été confiées. Le tableau suivant résume les missions et responsabilités qui m'ont été transmises :

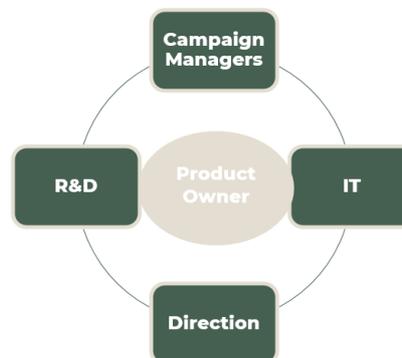


Figure 9 - Le product owner un rôle d'interface entre les équipes

Manager	Service	Missions maintenant assurées par le PO
Directeur informatique	IT	<ul style="list-style-type: none"> Support technique Identification des points de faiblesse de la chaîne de traitement Spécification des améliorations à apporter à la chaîne de traitement
Directeur R&D	R&D	<ul style="list-style-type: none"> Support technique Accompagnement au déploiement de nouveaux traits phénotypiques auprès des CMs Spécification des besoins clients Assurer le déploiement des nouveautés en respectant le calendrier Participer aux réunions de début de campagne avec le client Participer à la gestion de la stratégie de Machine Learning
Directeur Technique (CTO)	Direction	<ul style="list-style-type: none"> Accompagnement à l'analyse de données de fin de campagne Gestion des tickets de support technique des CMs Planification du déploiement des améliorations techniques de la chaîne de traitement
Directeur des Opérations (COO)	Direction	<ul style="list-style-type: none"> Attribution des contrats aux chef.fe.s de projets Gestion du traitement des contrats par les chef.fe.s de projets Accompagnement des livrables clients Supervision des objectifs clients Formation des nouvelles recrues

Tableau 1 - Présentation des missions nouvellement assurées par le product owner

B. Positionnement du projet ingénieur dans la gestion en parallèle de plusieurs projets d'amélioration des traitements des données du produit Phenoscale

Le nombre de clients de Phenoscale étant croissant ces dernières années les enjeux de fluidifier et d'accélérer les traitements tout en gardant la qualité sont cruciaux. L'objectif est de rendre industriel les traitements et de limiter les actions manuelles non standardisées.

Trois leviers, positionnés à différentes étapes de la chaîne de traitement, ont été identifiés par l'équipe pour répondre à cette demande. Chaque levier a été à l'origine de l'initiation de plusieurs projets internes chez Hiphen. Les missions que j'ai réalisées concernent une étape en particulier de la chaîne de traitement de Phenoscale : la **photogrammétrie**. **L'objectif est d'automatiser, standardiser et optimiser cette étape**. La stratégie entreprise par Hiphen pour l'atteindre est de migrer les traitements des données grâce à une solution de cloud computing (Wikipédia, s. d.) directement intégrée à la nouvelle version de la plateforme de gestion des projets Phenoscale : Hiphen Command Center ([partie I. 1. C. ii.](#)).

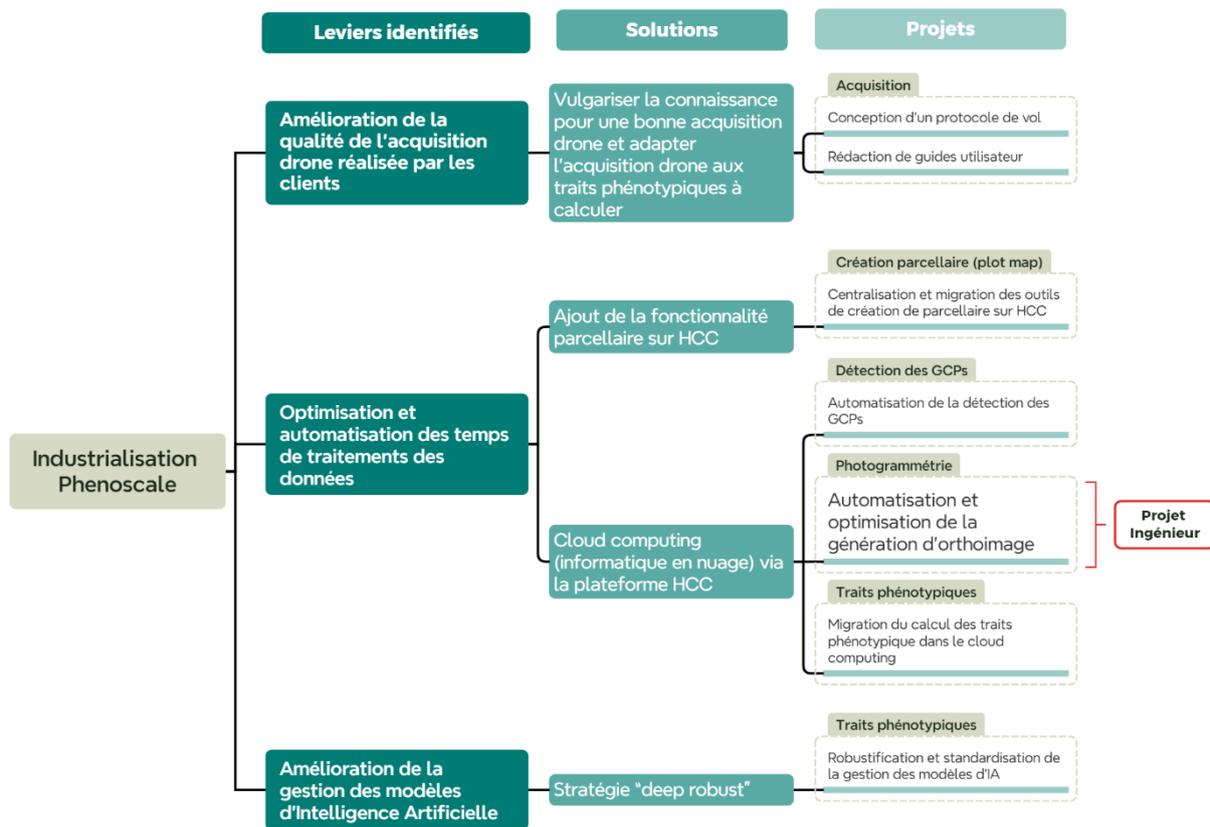


Figure 10 - Positionnement du projet ingénieur parmi les projets d'améliorations de Phenoscale

En tant que Product Owner, j'ai dû intervenir dans chaque projet. La répartition du temps de travail alloué à chaque projet est présentée par le diagramme suivant :

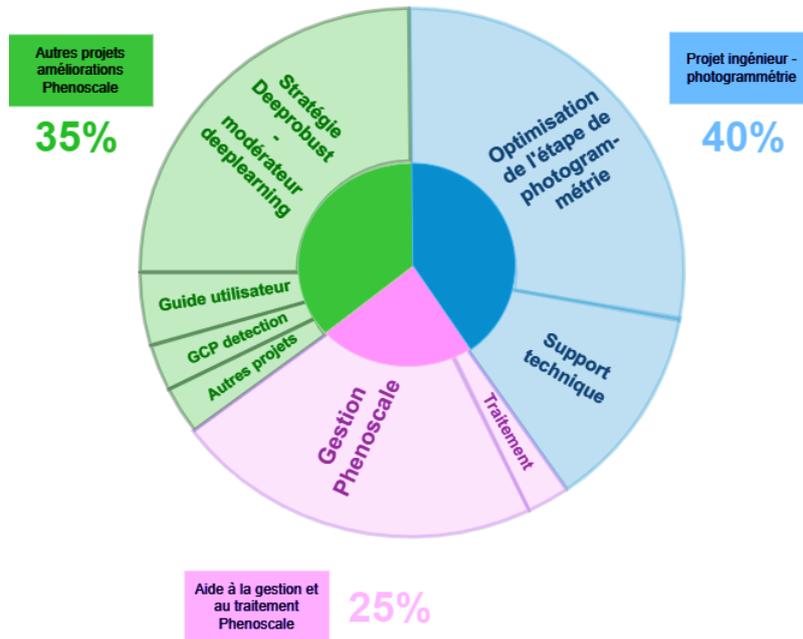


Figure 11 - Répartition du temps de travail en fonction des projets lors de l'alternance

Dans la suite de ce mémoire, seul le projet d'optimisation et automatisation de l'étape de photogrammétrie sera développé car il permet d'illustrer une démarche ingénieur.

3. Contexte et enjeux du projet ingénieur : industrialisation de l'étape de Photogrammétrie du produit Phenoscale

Les enjeux du projet ingénieur sur l'industrialisation de l'étape de photogrammétrie définissent les objectifs à atteindre au cours de cette année. Il est important de les identifier afin que le projet réponde aux attentes d'Hiphen.

A. Qu'est-ce que la photogrammétrie ?

Une fois les images de l'acquisition drone de l'essai du client reçues sur les serveurs Hiphen, les chef.fe.s de projets valident leur qualité puis exécutent la chaîne de traitement.

PARTIE I : CONTEXTE ET PRESENTATION DU PROJET INGENIEUR



Figure 12 - Positionnement de l'étape de photogrammétrie dans la chaîne de traitement PhenoScale

La troisième étape de ce processus est la photogrammétrie, une technique permettant de transformer des images en deux dimensions (2D) en une scène virtuelle en trois dimensions (3D). Les parcelles de cultures capturées par drone peuvent être observées sous différents angles sur les photographies. L'identification d'un même objet sur plusieurs images, et donc sous diverses perspectives, permet de positionner les images 2D de manière relative les unes par rapport aux autres, aboutissant ainsi à la reconstruction de l'essai survolé en 3D sous la forme d'un nuage de points. Cette technique de reconstruction est plus précisément désignée sous le terme de **stéréo photogrammétrie reposant sur le principe de stéréo vision**. Par la suite, les images sont assemblées entre elles sous forme de mosaïque afin de générer une image unique de la scène survolée : **une orthoimage géoréférencée**. Ce processus permet d'obtenir les coordonnées géographiques précises de chaque point des images, en prenant en compte les distorsions de la caméra. Cette étape sera décrite avec plus de détail dans la partie ([II.1.B](#))

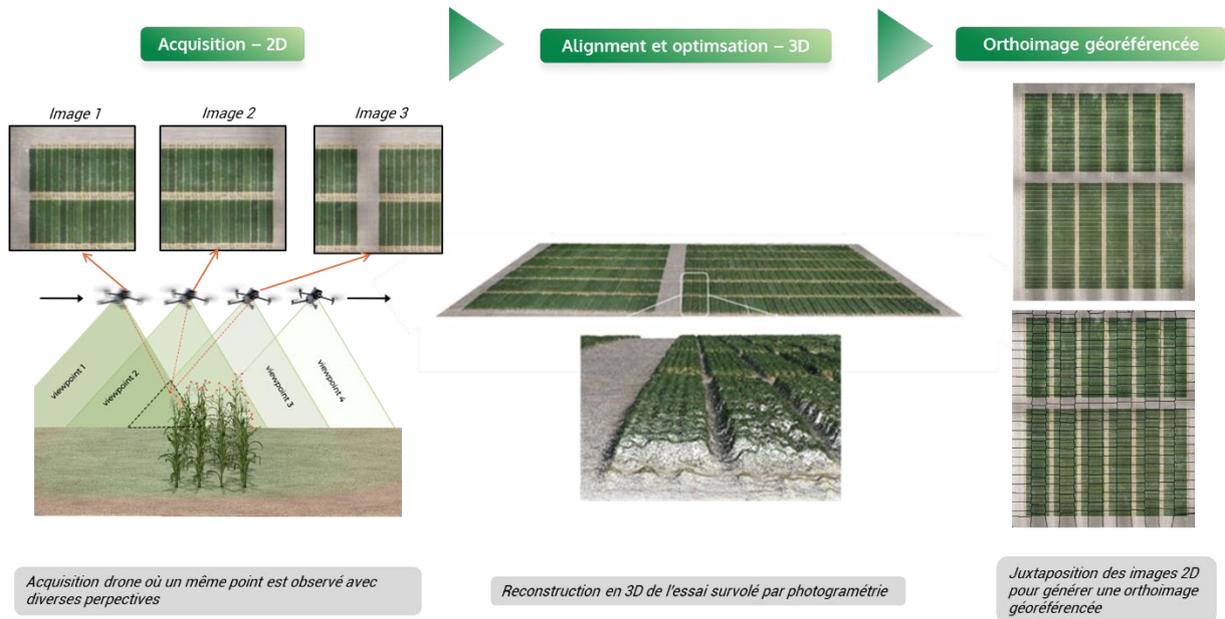


Figure 13 - Schéma fonctionnel de la génération d'une orthoimage géoréférencée à partir d'images 2D par stéréo photogrammétrie

B. La photogrammétrie est une étape clé de la chaîne de traitement de Phenoscale

La photogrammétrie est une étape indispensable dans le traitement des données drone. L'orthoimage géoréférencée permet aux clients de visualiser l'entièreté du site survolé avec leur drone. Seulement, cette génération n'a pas qu'un but esthétique. Lors de ce processus, différents paramètres sur les positions des images d'origines peuvent être récoltés et stockés pour la suite des traitements comme : l'angle de vue de la caméra, l'estimation au sol de l'empreinte de l'image, coordonnées géoréférencées de la caméra, altitude, matrice de transformations... Ces informations, seront ensuite réinjectées dans l'extraction de la meilleure image brute (voir Figure 8 - Schéma simplifié de la chaîne de traitement suivie par les chef.fe.s de projets des données drones de Phenoscale – étape 8) délimitant les parcelles au sein de l'essai.

La photogrammétrie est une étape charnière pour récupérer des informations cruciales pour la suite des traitements. Sans celle-ci, aucun résultat ne peut être livré. **La validation de cette étape garantie, dans 98% des cas, des résultats de qualité.**

C. Les enjeux de l'industrialisation de la photogrammétrie pour Phenoscale

Le processus de photogrammétrie conditionne majoritairement les temps de traitements

Comme cela a pu être mentionné précédemment, Phenoscale compte plus de 40 projets et ce chiffre est en augmentation. Cette croissance se traduit par une augmentation concomitante du volume de données, avec une estimation de plus de 2 000 vols à traiter annuellement. Le nombre d'images par vol varie entre 200 et 10 000, en fonction de la surface de l'essai survolé et de la résolution nécessaire pour le calcul des traits phénotypiques, ce qui détermine également l'altitude de vol.

Dans la partie [3. B.](#), il a été souligné que chaque vol et son lot d'images doivent impérativement être traités par l'étape de photogrammétrie. Pour réaliser les calculs, le temps machine nécessaire peut être de 30 min à 6h. Le temps de traitement est d'autant plus long qu'il y a d'images. Par conséquent, le temps machine étant difficilement compressible, il impose un délai entre la réception des données et leur livraison. L'étape de photogrammétrie, la plus chronophage du processus de traitement de Phenoscale, conditionne donc en majorité les délais de livraison. Il peut être noté, que les délais sont aussi soumis à d'autres facteurs comme l'attente de réception d'informations clients ou les calculs des traits phénotypiques ou alors conception du parcellaire.

Le manque d'optimisation de cette étape ajoute des délais dans la livraison

Seulement, il s'ajoute à ces temps de traitement incompressibles des interruptions lors du processus ou des délais par manque d'automatisation. En réaction, les temps de livraisons peuvent être multipliés par deux ou trois, où la cause principale étant une mauvaise optimisation de l'étape de photogrammétrie. Les principales sources de ces retards incluent l'absence de lancement automatique de la chaîne de traitement dès réception des données clients, les interruptions des calculs pour 98 % des vols traités, dues à divers problèmes détaillés dans la section [II.1.](#), et la nécessité d'interventions humaines pour compléter le traitement.

Ces interruptions et interventions entraînent en moyenne une multiplication par deux ou trois du nombre de lancements du traitement photogramétrique par vol. Ainsi, le client doit patienter plusieurs heures, voire plusieurs jours supplémentaires pour recevoir les données. Pour Hiphen, cela génère un "embouteillage" dans le flux de traitement des données. Toutefois, les contrats avec les clients prévoient des délais de livraison allant de 5 à 30 jours. Malgré ces difficultés, les données sont livrées dans les délais contractuels, avec seulement 1 à 2 % des vols non livrés.

L'objectif de l'industrialisation de Phenoscale est clair : un seul lancement automatique du module de photogrammétrie par vol avec une validation standardisée de l'étape.

4. Problématique

Hiphen est un acteur de la modernisation du phénotypage à haut débit par drone. L'entreprise accumulant les contrats se retrouve face à une charge de traitement importante et inédite. Les processus de traitement, qui étaient suffisants pour un nombre de contrats finis, deviennent peu à peu dépassés par le nouveau débit demandé. Dans ce contexte, Hiphen entreprend l'optimisation globale des chaînes de traitement de Phenoscale. Ayant le rôle de Product Owner de Phenoscale, ma mission principale est d'élaborer et d'orchestrer le plan d'actions pour l'amélioration des performances de Phenoscale. Ainsi, la problématique de ce projet d'ingénieur, qui sera illustrée avec l'exemple de l'étape de photogrammétrie, est :

Dans le cadre de l'optimisation de l'étape de photogrammétrie du produit Phenoscale, comment élaborer et mettre en œuvre un plan d'actions pour optimiser les temps de traitement des images drones tout en maintenant la qualité des résultats ?

L'essentiel du contexte

- **Phenoscale** est le produit de **phénotypage** par drone de Hiphen. La demande du service en croissance témoigne de son succès. Pour être prêt à assurer un **flux de livraisons plus important**, la chaîne de traitement doit être améliorée.
- Le rôle de **Product Owner** (chef d'orchestre) étant à l'interface des équipes IT, R&D et de chef.fe.s de projets doit **articuler l'avancement des projets d'amélioration de Phenoscale**. Sa vision d'ensemble du produit permet de guider les développements vers toujours plus de satisfaction clients.
- La **photogrammétrie** est une **étape cruciale de la chaîne de traitement**. Sans elle, les traits phénotypiques ne pourront pas être livrés. Cette étape semi-automatique et non optimisée est une **cause de l'augmentation des délais de traitement Phenoscale**. Une mise à jour de celle-ci devient alors nécessaire.
- L'enjeu principal de ce projet est de réduire **les temps de traitement des images drones** tout en maintenant la qualité des résultats. Il s'agit d'optimiser la chaîne de traitement pour répondre efficacement à la demande croissante tout en préservant l'excellence du service fourni aux clients. Seulement, quel est le **plan d'actions** à appliquer et quelles sont les technologies à envisager ?

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

1. Etat de l'existant de l'étape de photogrammétrie de Phenoscale : identification des points d'amélioration

La première mission de l'alternance, incluant la préparation d'une réunion établissant un état des lieux des performances des traitements nommé le **Happy Prod Café** et les entretiens préparatifs, a permis de dresser un état rapide des processus de traitement Phenoscale. Cette étape initiale a révélé les points d'attention majeurs, notamment la nécessité de formations, et a offert une vision globale des défis à surveiller. Elle a constitué la première étape vers un état des lieux plus approfondi de l'étape de photogrammétrie, une étape cruciale de la chaîne de traitement, et a jeté les bases pour les améliorations à venir.

A. Une acquisition drone de qualité est un facteur de réussite pour la photogrammétrie

Enjeu de l'acquisition

La photogrammétrie suit l'étape de réception des données acquises par le télépilote. L'enjeu est de recevoir ces données le plus rapidement possible et de garantir leur qualité. Si l'acquisition présente des défauts, la photogrammétrie, qui est indispensable, ne pourra pas aboutir. Pour cela, les chef.fe.s de projets envoient à tous les télépilotes (clients directs ou prestataires) un protocole de vol à suivre pour acquérir des images RGB (Red – Green – Blue) et/ou multispectrales (MS) respectant les prérequis d'Hiphen.

Protocole de vol

Le respect de ce protocole permet de recevoir des photos à la bonne altitude de vol, avec un angle de vue au nadir (objectif de la caméra vers le sol) et un recouvrement de 80 %, c'est-à-dire qu'un même objet dans le champ sera visible sur plusieurs photos. Si le client dispose de Ground Control Points (GCP) – Points de Recalage, le protocole indique au télépilote le nombre de points à placer sur le terrain. Il doit relever les coordonnées géographiques (système de coordonnées WGS 84) du centre des cibles des GCP avec un système RTK (Real Time Kinematic). Les coordonnées seront rassemblées dans un fichier CSV à transmettre à Hiphen. Si les GCP sont absents, le client doit activer son dispositif RTK sur le drone pour que la position des images acquises soit géoréférencée avec la plus grande précision possible.

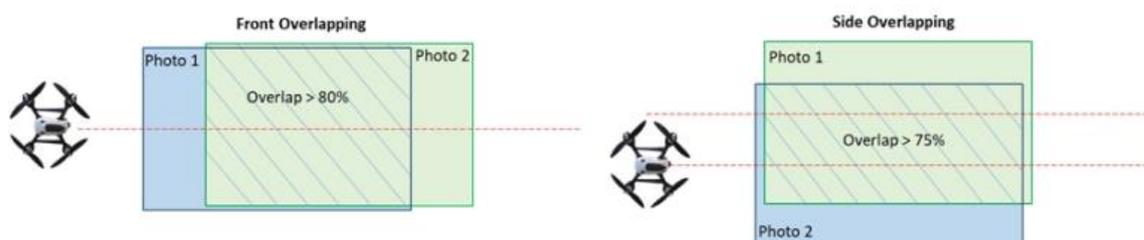


Figure 14 - Illustration du recouvrement requis lors de l'acquisition

Téléversement des images sur Cloverfield

Ensuite, le client téléverse (upload) ses données sur la plateforme Cloverfield sous forme d'une « upload session » (session de téléversement). À cette étape, le client doit transmettre son fichier contenant les coordonnées des GCP et peut transmettre d'autres fichiers et indications utiles pour le traitement. Les données envoyées sont automatiquement enregistrées sur la plateforme interne Hiphen Command Center (HCC) et parallèlement stockées en local sur un NAS (Network Attached Storage). Un rapport d'acquisition est ensuite généré.

Validation du rapport d'acquisition

Ce rapport est analysé par les chef.fe.s de projets pour fournir un retour au télépilote aussi rapidement que possible. L'objectif est d'informer l'opérateur si ses images sont d'assez bonne qualité pour le traitement photogrammétrique ou s'il doit effectuer un nouveau vol. Ce retour peut se faire par mail ou directement sur la plateforme Cloverfield dans un onglet dédié nommé « Monitoring ». Une capture d'écran de la page web de monitoring est disponible en [annexe 2](#).

Leviers d'amélioration identifiés :

Le protocole de vol peut être long à parcourir. L'enjeu d'une bonne acquisition n'est pas toujours intuitif pour le client/télépilote. De plus, le rapport d'acquisition peut être laborieux à examiner pour les chef.fe.s de projets. Les indicateurs clés manquent de clarté pour faciliter la prise de décisions. Ainsi, deux leviers sont identifiables :

- **Vulgariser les enjeux de la photogrammétrie pour le client**
- **Etablir de meilleurs indicateurs de qualité de l'acquisition pour le rapport**

B. Un module de traitement de la photogrammétrie semi-automatique

Une fois le rapport d'acquisition validé, le traitement photogrammétrique des images pourra débiter grâce à un module de calcul dédié. Celui-ci permet d'obtenir les informations nécessaires pour la suite des traitements mentionnés dans la partie [1.3.B](#), comme la position des caméras et leurs matrices de transformation, l'estimation de l'altitude des objets (via le Digital Elevation Model (DEM)) et l'orthoimage. Lors de son lancement, une suite d'étapes est initiée automatiquement. Dans cette sous-partie, son fonctionnement sera détaillé.

Qu'est-ce qu'un module ?

La chaîne de traitement de Phenoscale consiste en une séquence de modules lancés par les chef.fe.s de projets. Un module est une partie autonome d'un programme développé par un membre de l'équipe R&D ou IT. À Hiphen, chaque module prend un ensemble de fichiers d'entrée, effectue une suite de calculs, puis enregistre les résultats sous forme de divers fichiers (.PNG, .tiff, .csv, .geojson, etc.). Chaque module est développé de façon à respecter les standards Hiphen afin qu'ils puissent se lancer en chaîne sans qu'il y ait d'intervention manuelle.

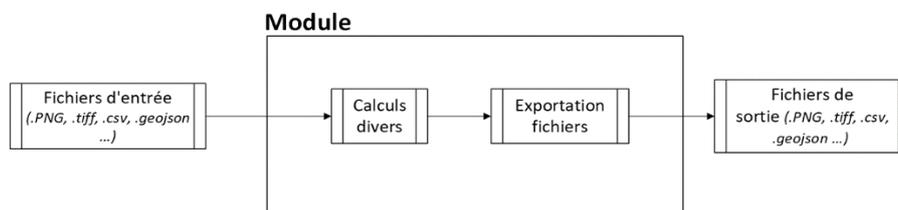


Figure 15 - Schématisation du fonctionnement d'un module chez Hiphen

En fonction des objectifs des modules, les technologies utilisées pour leur développement sont diverses. Dans le cas du module de photogrammétrie, l'API (Python) du logiciel Agisoft Metashape a été utilisée. Ce logiciel réalise l'ensemble des calculs complexes de l'étape de photogrammétrie (Agisoft LLC, s. d.-a). Dans la chaîne de traitement d'Hiphen, le module de photogrammétrie peut aussi être communément nommé : « process » ou « phenoscript ».

Comment le module est-il exécuté par les chefs de projet ?

Pour chaque contrat, les chefs de projet disposent d'un fichier Excel conçu spécifiquement pour le traitement des données. Ce fichier intègre des fonctionnalités codées en VBA par le directeur de l'IT. En tant qu'opérateurs, les chefs de projet n'ont qu'à cliquer sur la cellule correspondant au module à utiliser. Le module est ensuite lancé automatiquement dans un gestionnaire de tâches Microsoft : System Center - Orchestrator. Les modules sont installés et mis à disposition sur 8 ordinateurs disposant des composants hardware permettant le traitement d'images. Ils sont accessibles à distance via le logiciel Splashtop.

Le module de photogrammétrie est une succession de plusieurs étapes :

Le module de photogrammétrie est un programme complexe de la chaîne de traitement Phenoscale. En réalité, celui-ci exécute automatiquement à la suite plusieurs programmes et fonctionnalités qui peuvent être décrits selon les étapes de la figure suivante (Voir [Annexe](#) pour consulter schéma en ligne):

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

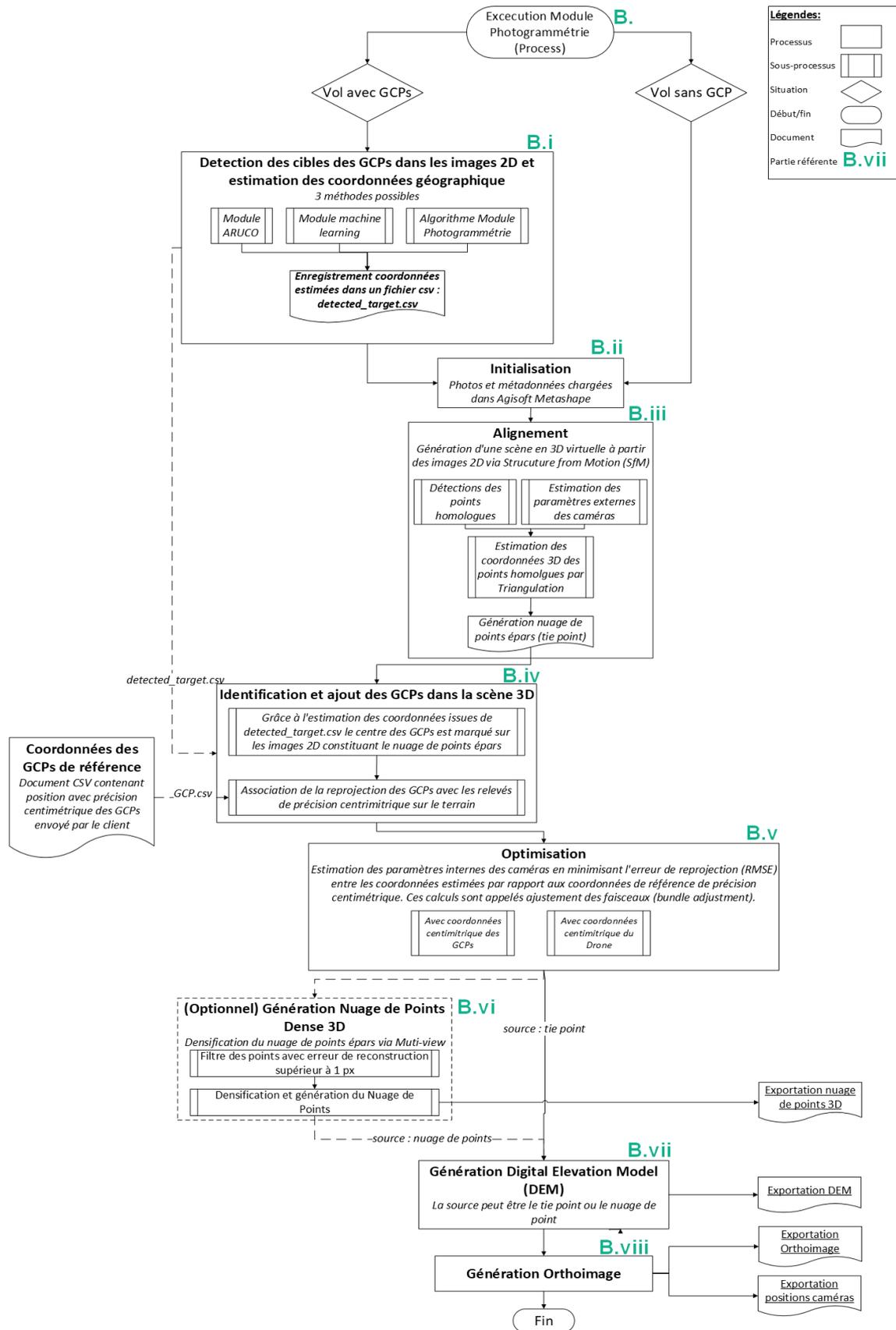


Figure 16 - Schéma des étapes des différents processus du module de photogrammétrie.

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

Dans les paragraphes suivants, chaque étape sera brièvement décrite et les points d'amélioration seront identifiés. **De plus, les chiffres marqués d'un astérisque * ont été récoltés lors de la mise en œuvre du plan d'actions de l'amélioration l'étape de photogrammétrie de Phenoscale du 3 février 2024 au 30 mai 2024 (II. 2. et III. 2.).**

i. Détection des cibles des GCPs

Cette étape a pour objectif de trouver le centre des cibles des GCPs dans les images envoyées et d'estimer leurs coordonnées géographiques. La détection est réalisée de trois façons différentes chez Hiphen selon les situations (voir Figure 17 - Détection des GCPs selon les différents cas de nature d'image et de forme de GCP). Peu importe la technique utilisée, la sortie du module sera toujours la même : un fichier CSV regroupant les noms des images où un GCP est détecté et les coordonnées géographiques estimées de celui-ci. Ces informations seront utilisées après l'étape d'alignement. Une fois le nuage de points épars obtenu grâce aux coordonnées estimées, le centre de la cible du GCP est identifié au sein de la scène 3D virtuelle.

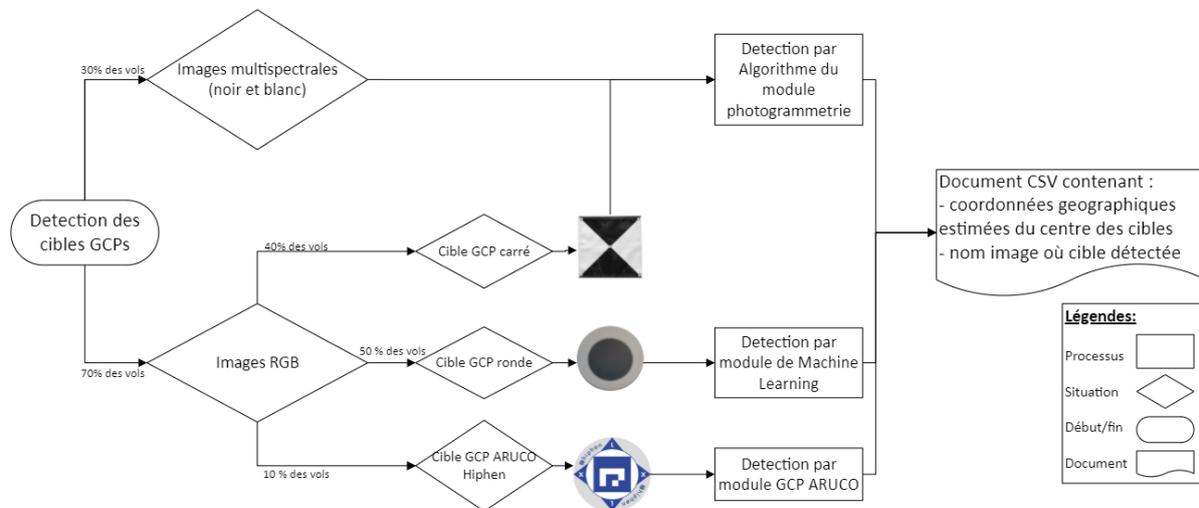


Figure 17 - Détection des GCPs selon les différents cas de nature d'image et de forme de GCP

Leviers d'amélioration identifiés :

Lorsque tous les centres de GCP ne sont pas détectés, les GCPs manquants ne peuvent pas être automatiquement identifiés et ajoutés dans la scène reconstruite virtuellement en 3D. Si le nombre de GCPs dans le fichier client (relevé des coordonnées avec précision RTK sur le terrain) est supérieur au nombre de GCPs identifiés dans la reconstruction virtuelle, le module de photogrammétrie signale une erreur (« *provided GCP coordinates could not be matched on any marker, you will have to set coordinates manually* »). **Le processus est alors interrompu**, et une action manuelle est nécessaire pour reprendre le traitement. Cette intervention peut être assez chronophage et, selon le nombre de GCPs manquants et la difficulté de les retrouver dans le champ, elle peut durer de 15 à 45 minutes par vol. Sur une période de 16 semaines, **pour 358 vols traités avec GCP, dans 78 %* des cas**, les GCPs n'ont pas été automatiquement détectés.

Les sources identifiées des défauts de détection des GCPs sont les suivantes :

- **Méthode par module de machine learning :**
 - Le modèle associé n'a pas été entraîné avec des données récentes (plus représentatives des vols reçus actuellement) depuis 2 ans.
 - Le modèle n'a jamais été entraîné avec des détectés de GCPs carrés.
- **Méthode algorithme du module photogrammétrie :** Problème de détection lorsque le GCP est moins visible dans le champ.
- **Méthode ARUCO :** Pas encore déployée de façon industrielle et temps de traitement très long.

ii. Initialisation

Les photos et leurs métadonnées sont chargées par API dans le logiciel Agisoft Metashape telles que :

- *Système de coordonnées de référence : WGS 84 (EPSG : 4326)*
- *Distance focale, centre optique ... (paramètres internes)*
- *Tangage, roulis, louvoisement ... (paramètre externe)*
- *Longueur d'onde des différentes bandes multispectrales*
- *GSD – Ground Sample Distance (distance d'échantillonnage au sol)*
- *Coordonnées (latitude, longitude) du drone lors du cliché*
- *Précision RTK du GNSS*

Levier d'amélioration identifié :

Le chargement des coordonnées avec une précision centimétrique (RTK) est optionnel, les chef.fe.s de projets doivent rajouter une commande manuellement pour que cette information soit prise en compte.

iii. Alignement

Le module de photogrammétrie lance l'opération d'alignement dans le logiciel Agisoft Metashape. Cette opération permet de générer une reconstruction en 3D virtuelle de la scène survolée par drone à partir des images 2D. Si le protocole de vol a été respecté (II.1. A.), le jeu d'images 2D présente un chevauchement de 80 % entre elles, ce qui implique qu'un même objet sera visible sur plusieurs images avec un point de vue différent. Cette caractéristique sera exploitée par la technique de stéréo photogrammétrie associée à la méthode de structure from motion (SfM) – « structure acquise à partir d'un mouvement ». Grâce à cette technique et au chevauchement des images, des points homologues dans les images seront détectés (algorithme SIFT) et les paramètres externes de la caméra seront estimés. Les points homologues sont des points remarquables et identifiables sur plusieurs images différentes ; ce sont ces points qui seront reconstitués dans la scène 3D. Les paramètres externes de la caméra permettent de modéliser l'orientation et la position des caméras et ainsi de raffiner la position des points homologues. (P2I (Pôle Image et Instrumentation), s. d.-b; s. d.-a) Les paramètres externes sont :

- **Position (X, Y, Z) :** Coordonnées du centre optique de la caméra dans le système de coordonnées WGS 84.
 - **Orientation (ω, φ, κ) :** Les angles qui décrivent l'orientation de la caméra dans l'espace, souvent appelés angles de rotation ou angles d'Euler : tangage, roulis, louvoisement.
 - **Focale (f) :** La distance entre le centre optique de la caméra et le plan de l'image (exprimée en mm).
- ➔ **Les paramètres de l'alignement pour détecter les points homologues et estimer les paramètres externes peuvent être modifiés manuellement par l'opérateur.**

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

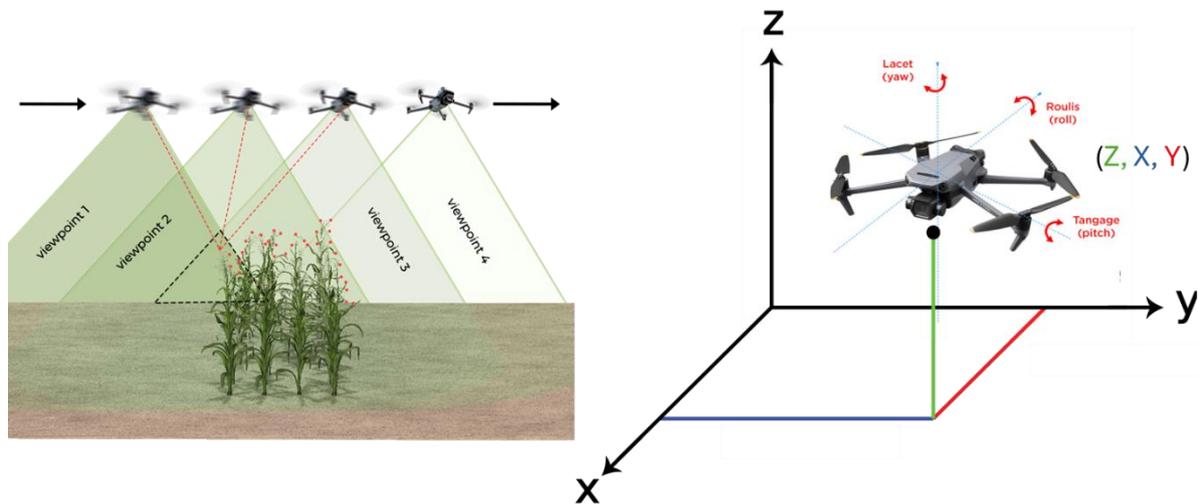


Figure 18 - Détection des points homologues à gauche. Drone décrit par ses coordonnées géographiques et ses trois angles de rotations à droite (DJI, s. d.)

Par la suite, le logiciel effectue la triangulation pour estimer la position des points homologues dans la reconstruction 3D. Le résultat de l'alignement grâce au processus SfM est un nuage de points clairsemé composé des coordonnées 3D des objets de la scène.

➔ **La triangulation ne peut pas être modifiée par les opérateurs.**

Leviers d'amélioration identifiés :

Pour 422 vols reçus, **10 %* des vols traités ont été interrompus en raison de problèmes d'alignement**. Les chefs de projet doivent alors effectuer des actions manuelles dans le logiciel pour ajuster les paramètres d'alignement. Ces erreurs d'alignement soulignent plusieurs points à améliorer :

- **Absence d'adaptabilité du module de photogrammétrie :** Les paramètres d'alignement par défaut ne sont pas performants dans toutes les situations.
- **Insuffisances dans la maîtrise technique des opérateurs :** entraîne des délais dans le déblocage des situations.
- **Absence de traçabilité des actions :** Il n'y a pas de suivi des actions effectuées dans le logiciel Agisoft Metashape pour résoudre ces problèmes.
- **Limitation de la cause d'interruption du module :** le module s'interrompt dans ces cas-là avec un message d'erreur qui n'indique pas qu'il y a un problème d'alignement mais qui est lié au fait que les GCPs n'ont pas été trouvés automatiquement

iv. (Uniquement pour vols avec GCPs) Identification et ajout des GCPs dans la scène 3D

Grâce à l'estimation des coordonnées issues du fichier *detected_target.csv*, créé par l'une des trois méthodes de détection des GCPs ([II.1.B.i](#)), le centre de chaque GCP est marqué sur les images 2D constituant le nuage de points épars. Le client, lors de l'envoi des données, a transmis un fichier *CSV* regroupant les mesures précises des coordonnées des centres des GCPs (effectuées à l'aide d'un GNSS RTK). Lors de cette étape, le module de photogrammétrie associe les GCPs marqués dans la reconstruction avec les coordonnées réelles des GCPs. Si la position estimée d'un GCP diffère de plus de 1,5 pixel par rapport à la position réelle, le marqueur de ce GCP est supprimé. Par la suite, l'étape d'optimisation aura pour objectif de minimiser l'erreur de reprojection entre la position estimée et la position réelle des GCPs.

Leviers d'amélioration identifiés :

Le module de photogrammétrie s'interrompt sur 78%* des vols ici car les GCPs n'ont pas tous été détectés lors de l'étape de détection des GCPs. Toutefois, il se pourrait que le seuil de 1.5 pixel d'erreur de reprojection entre position estimée et réelle puisse être trop restrictif.

v. Optimisation du positionnement des points homologues

À cette étape, le nuage de points épars a été construit et, s'ils sont présents, les GCPs ont été ajoutés dans la scène 3D et associés aux coordonnées précises "réelles" relevées sur le terrain. Ainsi, la prochaine étape pour le module de photogrammétrie est de lancer automatiquement l'optimisation dans Agisoft Metashape. Le principe est d'utiliser la technique d'ajustement des faisceaux pour estimer les paramètres internes de la caméra. (P2I (Pôle Image et Instrumentation), s. d.-a) Ces derniers modélisent la lentille et ses distorsions. L'estimation est validée par le module lorsque l'erreur moyenne de reprojection entre la position estimée et réelle des GCPs est inférieure à 5 cm. Dans le module de photogrammétrie, les paramètres internes sélectionnés pour être optimisés sont par défaut $f, c_x, c_y, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2$.

- Distance focale (f) : Ce paramètre fait également partie des paramètres internes et représente la distance entre le centre optique de la caméra et le plan de l'image. Il est essentiel pour convertir les mesures de pixels en unités réelles.
- Point principal (c_x, c_y) : Les coordonnées du point principal, qui est l'intersection de l'axe optique et du plan de l'image. Il représente le centre de l'image.
- Paramètres de distorsion de l'objectif : La distorsion de l'objectif peut être due à des imperfections dans les objectifs de l'appareil photo. La distorsion radiale (k_1, k_2, k_3) et la distorsion tangentielle (p_1, p_2) sont des paramètres couramment utilisés pour modéliser ces distorsions.

➔ Les paramètres de l'optimisation des paramètres internes peuvent être modifiés manuellement par l'opérateur.

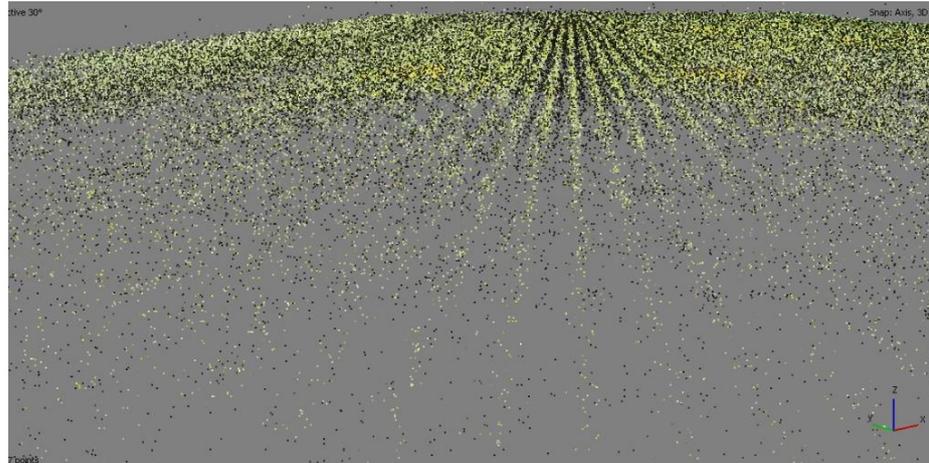
Leviers d'amélioration identifiés :

Le module de photogrammétrie **s'interrompt sur 36 %* des vols** à l'étape d'optimisation. L'interruption se produit lorsque l'erreur de reprojection moyenne entre la position estimée et réelle des GCPs dépasse 5 cm. Les chefs de projets doivent alors ouvrir manuellement le logiciel Agisoft Metashape et effectuer une série d'actions visant à réduire cette erreur moyenne de reprojection. Ces erreurs d'optimisation soulignent plusieurs points à améliorer:

- **Limitation de la cause d'interruption du module :** Si l'erreur de reprojection est inférieure à 5 cm mais que l'estimation des paramètres est aberrante (d'après documentation Agisoft), par exemple une distance focale estimée trois fois supérieure à celle inscrite dans les métadonnées des images, le module ne s'interrompt pas. De plus, en l'absence de GCPs et avec un géoréférencement par GNSS RTK, la vérification de reprojection ne se produit pas. **Cela peut entraîner la génération d'un nuage de points épars avec des paramètres internes incorrects, affectant l'estimation de la hauteur des caméras et la position des points homologues.**
- **Insuffisances dans la maîtrise technique des opérateurs :** Les opérateurs parviennent à réduire l'erreur de reprojection mais valident parfois des paramètres internes incorrects par manque de connaissance. **L'estimation des paramètres internes a été vérifiée sur seulement 21 %* des vols** (du 3 février 2024 au 30 mai 2024).
- **Absence de traçabilité des actions :** Il n'y a pas de suivi des actions effectuées par les chefs de projet dans le logiciel Agisoft Metashape pour résoudre ces problèmes.
- **Absence d'adaptabilité du module de photogrammétrie :** Les paramètres d'optimisation par défaut ne sont pas performants dans toutes les situations.

vi. (Optionnel) Point Cloud

*Nuage de points épars
d'un champ de
tournesol*



*Nuage de points dense
d'un champ de
tournesol*



Figure 19 - Comparaison d'un nuage de points épars et d'un nuage de points dense d'un même vol drone sur une culture de tournesol. Les deux images ont été prises avec le même point de vue.

Le nuage de points dense est généré lorsque le chef de projet l'a indiqué au lancement du module de photogrammétrie. Lorsque c'est le cas, le module lance une étape de filtre dans le logiciel Agisoft Metashape du nuage de points épars, les points homologues avec une grande erreur de reprojection sont supprimés. Ensuite, la génération du nuage de points dense est lancée. Cette construction utilise la technique de Multi-View stereo (MVS) pour densifier le nuage de points épars (généré lors de l'alignement). Le résultat de cette étape est la génération et l'exportation du nuage de points dense. Celui-ci est utilisée pour mesurer la hauteur des cultures.

Leviers d'amélioration identifiés :

Les leviers identifiés pour cette étape sont similaires à ceux identifiés pour l'étape d'alignement. De cette façon, ils peuvent être énumérés rapidement :

- **Absence d'adaptabilité du module de photogrammétrie**
- **Insuffisances dans la maîtrise technique des opérateurs**
- **Absence de traçabilité des actions**

vii. Génération du Modèle Numérique d'Élévation (DEM)

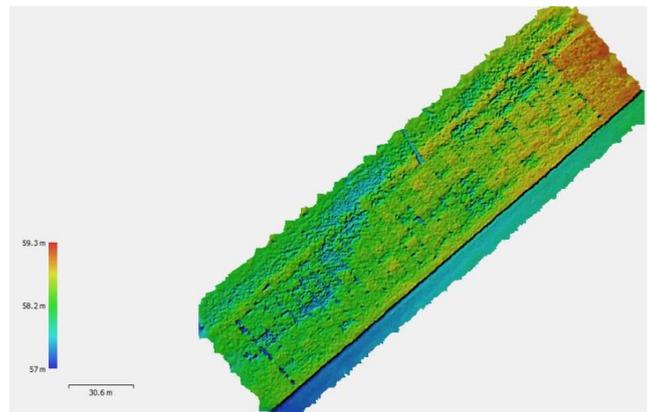


Figure 20 - Exemple d'un DEM généré depuis un nuage de points dense sur une culture de tournesol.

Le DEM représente une interpolation de l'altitude estimée de chaque point homologue généré lors de l'étape de l'alignement. Le fichier généré est un raster avec une échelle de couleur représentant l'élévation. Le DEM peut être créé à partir du nuage de points épars ou du nuage de points dense. Le premier sera moins précis que le second étant densifié par la technique MVS.

Levier d'amélioration identifié :

Le DEM est principalement utilisé pour les modules et calculs qui suivent l'étape de photogrammétrie. Il permet notamment de connaître plus précisément l'altitude des images drones. **Le DEM a été consulté sur 23%* des vols par les chef.fe.s de projets.** Cela peut s'expliquer par un manque d'accessibilité de ce document et une méconnaissance de son utilité.

viii. Génération et exportation orthoimage et positions des caméras

Les résultats attendus du module de photogrammétrie sont :

- Fichier .XML : La position estimée des caméras lors du vol drone et leurs matrices de transformation.
- Fichier type Raster .TIF: Estimation de l'altitude des objets présents dans la scène (essai) via un Digital Élévation Model (DEM) - Modèle numérique d'élévation.
- Fichier type Raster .TIF: La reconstruction de la scène survolée (essai) via une orthoimage.
- Fichier .LAS: (Optionnel) Une reconstruction dense en 3D de la scène via un nuage de points dense.

Cette dernière étape du module permet d'exporter l'ensemble des fichiers nécessaires pour les prochains traitements de la chaîne. Les positions des caméras estimées sont enregistrées dans un fichier XML. Plusieurs orthoimages sont générées par le logiciel Agisoft Metashape, une par défaut à 10 mm de résolution et une seconde à la résolution la plus fine possible. **Une photogrammétrie de qualité est cruciale pour le bon déroulement des prochains processus.**

Leviers d'amélioration identifiés :

D'un point de vue technique cette étape fonctionne bien. La faiblesse de cette dernière étape réside dans sa validation. Les chef.fe.s de projets **valident 100% des vols par une évaluation visuelle** de la qualité de l'orthoimage et du nuage de points épars (et nuage de points dense). Aucun indicateur objectif et standard de qualité n'existe. Cette évaluation visuelle a un double effet négatif :

- **Chronophage** : les opérateurs ouvrent manuellement le logiciel Metashape pour vérifier la qualité du nuage de points épars et celle de l'orthoimage (parfois validation sur Qgis)
- **Non standardisée** : pour 32% des vols, seule une validation visuelle est effectuée, les paramètres internes et externes ne sont pas vérifiés. Aucune procédure de validation n'existe et aucun indicateur de qualité n'est vraiment connu. Cela peut avoir comme conséquence de passer à côté d'une mauvaise estimation des paramètres internes et externes de la caméra ...

C. Plateforme d'enregistrement des lancements de module HCC

La plateforme Hiphen Command Center (HCC) enregistre la réception des données et tous les lancements des modules dans une base de données. Elle existe en deux versions : « ancienne » et « nouvelle ». L'ancienne version de HCC est toujours utilisée pour valider les traitements par les chefs de projet via une interface adaptée. La nouvelle version de HCC, en cours de développement par l'équipe IT, n'est pas encore dotée de toutes ses fonctionnalités. En septembre 2023, elle est utilisée uniquement pour créer les campagnes et les protocoles de vol.

Brièvement mentionné dans la partie [I.1.C.ii.](#), l'objectif de l'amélioration globale de Phenoscale est de migrer toutes les actions de traitement, validation et gestion vers le « nouveau » HCC. Pendant mon année d'alternance, ces fonctionnalités étaient limitées et ainsi, l'« ancien » HCC fut majoritairement utilisé. À chaque lancement de module, des informations techniques caractérisant le vol et le processus sont envoyées à HCC i.e. la base de données, qui enregistre des caractéristiques clés telles que (un exemple est disponible en [Annexe](#)) :

<u>Caractéristiques du vol :</u>	Date de fin
Contrat	Code de succès
Site	returnCod = 0 → terminé avec succès
Date du vol	returnCod >= 1 → terminé en erreur
System (RGB/MS)	returnCod = null → interrompu par l'utilisateur
<u>Caractéristiques du module lancé</u>	Log : message affiché lorsque le module a terminé
Environnement de travail	Validation du module
Nom du module	Commentaire de validation
Ligne de commande	
Liste d'arguments optionnels	
Date de début	

Tableau 2 - Caractéristique clés enregistrées dans la base de données lors du lancement d'un module

Bien que ces informations soient stockées en base de données, elles permettent d'analyser de façon limitée les problèmes de lancement rencontrés et évoqués dans la partie précédente [II.1.B.](#) Il est à noter qu'aucune information contextuelle sur l'acquisition n'est stockée, comme la culture, le type de drone, la marque de l'appareil, l'altitude de vol, etc. Pourtant, toutes ces informations sont disponibles dans les métadonnées des images et Cloverfield. De plus, les messages d'erreur et les ReturnCode associés sont rapidement limités.

- Un même ReturnCode peut avoir plusieurs significations. Par exemple, le return code 3 renvoie les deux erreurs suivantes :
 - ReturnCode 3 - Error: Document.save(): editing is disabled in read-only mode
 - ReturnCode 3 - RuntimeError: provided GCP coordinates could not

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

be matched on all markers, you will have to set coordinates manually

- L'erreur ne permet pas d'identifier clairement le problème, un message signalant un problème de détection de GCP peut en réalité être liée à un problème d'alignement.

Enfin, HCC permet de visualiser ces informations uniquement à l'échelle d'un vol. Il n'est pas possible de voir l'ensemble des processus (de photogrammétrie et autres) à l'échelle d'un site d'essai ou d'un contrat.

Leviers d'amélioration identifiés :

Bien que certaines informations sur le fonctionnement du module, telles que les codes d'erreur ou les messages terminaux, soient enregistrées, d'autres informations manquent. Dans les parties [Alignement](#), [Optimisation](#) et [Point Cloud](#) il a été constaté que le module de photogrammétrie peut s'interrompre pour des problèmes sans messages d'erreur pertinents et que les actions des chefs de projet pour achever le processus ne sont pas enregistrées. Ces lacunes d'information soulignent les points d'amélioration suivants :

- **Implémentation d'une traçabilité des actions des chefs de projet** : Enregistrer les actions effectuées par les chefs de projet pour résoudre les interruptions.
- **Améliorer la précision des messages d'erreurs**
- **Ajout de métadonnées sur l'acquisition des vols** : Enregistrer des métadonnées permettrait d'établir des liens entre le contexte des vols et les interruptions du module.
- **Outil de visualisation des données à une échelle macroscopique** : Fournir aux directeurs un outil pour visualiser les données globales afin de les aider à prioriser les actions à entreprendre.

D. Synthèse de l'analyse de l'état de l'existant et de l'identification des points d'améliorations

Il est important de rappeler que malgré ces problèmes identifiés, la chaîne de traitement est fonctionnelle et permet de livrer des résultats de qualité aux clients. Ce point positif peut être aussi vu comme une contrainte majeure, car cela veut dire qu'il faudra améliorer cette étape tout en maintenant le débit et la qualité de livraison actuelle.

Les multiples insuffisances du traitement photogrammétrique de Phenoscale ont pour conséquence principale la nécessité de relancer le module, entraînant ainsi une prolongation des délais de traitement. Suite à l'analyse de l'existant, les dysfonctionnements ont pu être identifiés, quantifiés, et localisés au sein des processus photogrammétriques. La figure ci-dessous présente une vue d'ensemble de cette analyse. (Un lien est disponible en [Annexe](#) pour afficher la figure)

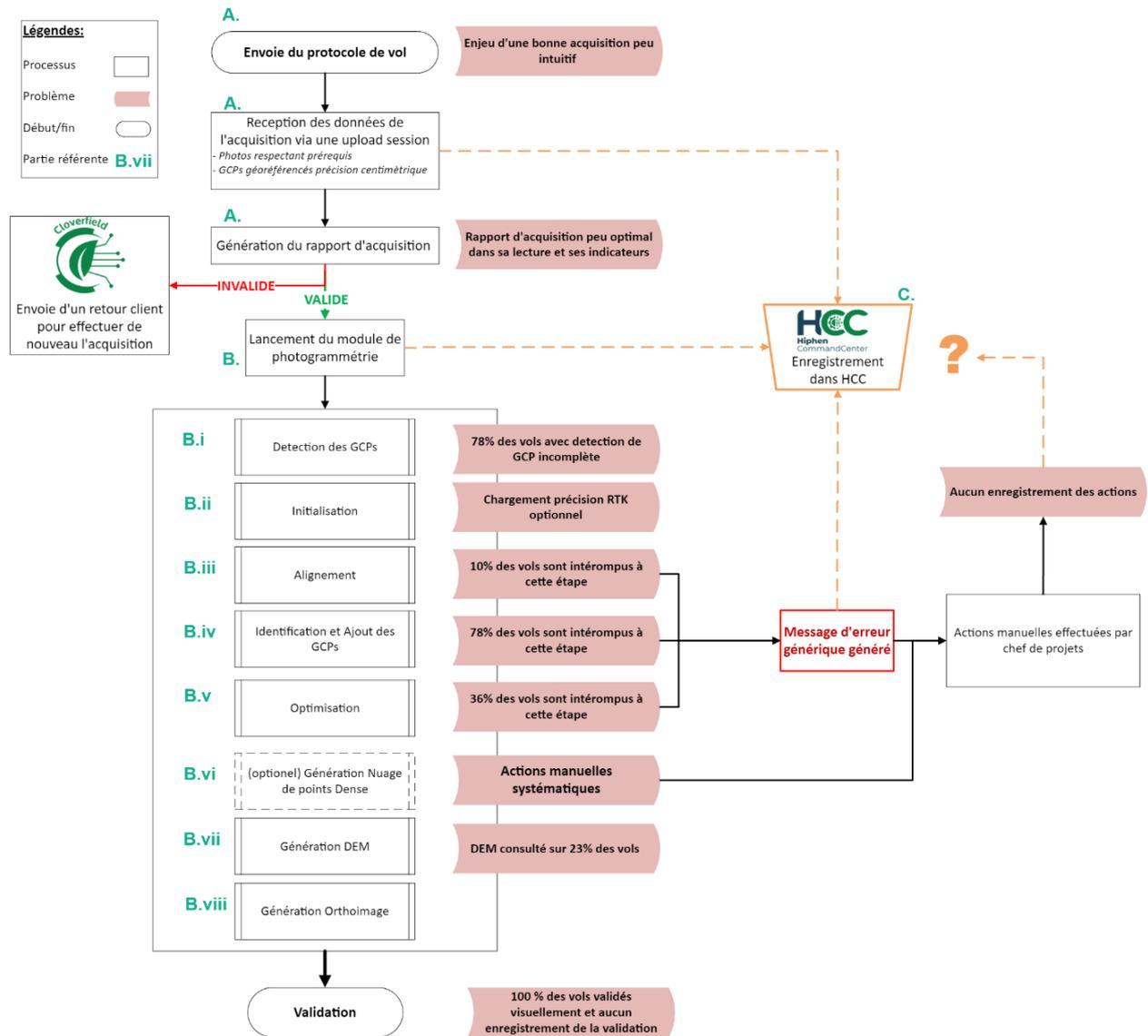


Figure 21 - Synthèse de l'étape de photogrammétrie et des leviers d'amélioration identifiés

Les éléments à retenir de l'analyse de l'existant

Cette vision d'ensemble permise par la précédente analyse, met en évidence **les axes d'améliorations à suivre pour atteindre les objectifs d'industrialisation de Phenoscale et augmenter la productivité de la chaîne de traitement.**

Constats	Axes d'amélioration
<p>Interventions humaines pour réaliser des tâches répétitives et simples comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Ajout de GCP</i> - <i>Choix de différents paramétrages</i> - <i>Lancement du module</i> - <i>Chargement coordonnées centimétriques</i> 	<p>Automatisation de ces tâches afin qu'elles fonctionnent d'elles-mêmes.</p>
<p>L'optimum de temps de traitement n'est pas atteint. Il y a une perte de temps dû à des procédures non optimales ou peu standardisées</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Validation de l'étape de photogrammétrie non standard</i> - <i>Paramétrages d'alignement/densification non flexible</i> - <i>Impertinence des messages d'erreur</i> - <i>Rapport d'acquisition laborieux</i> 	<p>Optimisation de l'étape de photogrammétrie : identification d'indicateurs de performance de la photogrammétrie afin de déterminer les paramètres optimaux en fonction du contexte du vol, d'établir une validation standard de l'étape et de mettre en place une traçabilité plus fine.</p>
<p>Insuffisances dans la maîtrise technique des opérateurs.</p>	<p>Former les chef.fe.s de projets afin de renforcer leurs compétences sur cette technologie.</p>

2. Un plan d'actions optimisant et automatisant l'étape de photogrammétrie

Hiphen entreprend de migrer l'ensemble des traitements vers sa plateforme interne, Hiphen Command Center (HCC), en exploitant la technologie de cloud computing d'Amazon Web Services (AWS). Plus particulièrement pour l'étape de photogrammétrie, l'objectif est de rendre le processus **entièrement automatisé**, se déclenchant dès la réception d'une upload session, sans nécessiter d'intervention des chefs de projet.

Pour atteindre cet objectif, les **trois axes identifiés – automatisation, optimisation et formation –** doivent être concrétisés dans un **plan d'actions** comprenant diverses **propositions techniques**.

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET
AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

Pour chaque axe, des solutions techniques répondant aux problèmes identifiés précédemment seront proposées. Le **besoin** de l'entreprise a été analysé à partir du **diagnostic** effectué lors de l'évaluation initiale. Ensuite, les solutions disponibles ont été examinées en fonction des ressources **et des critères propres à Hiphen**. Puis, des **solutions techniques optimales conciliant ces besoins avec les contraintes et atouts spécifiques de l'entreprise ont été formulées**. Ces ressources et critères sont résumés dans le Tableau 3 - Critères et contraintes cadrent les choix des solutions techniques envisagées.

Pour illustrer cette démarche, un exemple de solution permettant d'optimiser les traitements photogrammétriques sera détaillé. Ce même raisonnement a été appliqué pour élaborer les huit solutions proposées, qui seront ensuite présentées sous forme de schéma récapitulatif (Figure 22 – Plan d'actions optimisant les temps de traitement des images drones).

Thème	Nature	Description
Qualité	Critère	Les solutions choisies d'être implémentées doivent permettre de garder la même qualité de résultat. Particulièrement, lors de leur implémentation aucune baisse de performance pour des raisons techniques ou humaines ne sera tolérée.
	Critère	Les solutions devront être compatibles avec le logiciel Agisoft Metashape. Celui-ci est maîtrisé par l'équipe, les développements sont déjà opérationnels avec et les licences d'utilisation ont déjà été acquises.
Technique	Critère	Des bases de données sont déjà implémentées dans l'entreprise. Plusieurs plateformes sont aussi développées et fonctionnelles. Les solutions doivent tirer au maximum profit des technologies déjà mises en place. Aucun développement depuis zéro ne doit être envisagé en premier lieu.
	Atout	L'ensemble des membres d'Hiphen dispose d'un compte Microsoft Office avec un grand nombre d'applications disponibles.
	Atout	Les membres de l'équipe de l'IT et de la R&D sont familiarisés avec l'outil de gestion de projets Jira. D'autres outils sont utilisés comme Postman, MySQL, PostGres, Draw.io, Python, Javascript, React, Figma, Darwin V7, Leaflet ...
	Atout	Les membres de l'équipe chef.fe.s de projets sont familiarisés avec l'outil Pipedrive de gestion de clients et Qgis ...
	Atout	Les membres de l'équipe chef.fe.s de projets sont familiarisés avec l'outil Pipedrive de gestion de clients et Qgis ...
Délais	Contrainte	Les solutions techniques devront être implémentées en même temps que le traitement avec le cloud computing soit, en juillet.
Pérennité	Critère	Les solutions devront être compatibles avec la direction technique de la boîte, c'est-à-dire avec le cloud computing.
Ressource humaine	Contrainte	Peu de personnes (deux) maîtrisent le sujet de la photogrammétrie chez Hiphen et pourront servir d'appui pour cet axe d'amélioration.
Ressource technique	Contrainte	Aucune ressource sur les actions manuelles des utilisateurs n'existe.
	Contrainte	Aucune documentation technique sur la photogrammétrie n'existe en interne.
Budgétaire	Contrainte	Il est préférable, si des développements informatiques sont nécessaires, qu'ils soient réalisables par un membre de l'équipe de l'entreprise. Le recours à un ou des prestataires est peu envisageable.

Tableau 3 - Critères et contraintes cadrent les choix des solutions techniques envisagées

A. Démarche détaillée d'une proposition technique d'optimisation de l'étape de photogrammétrie : conception de pré-paramétrages d'entrée pour le module de photogrammétrie.

Formalisation
besoin

Il a été identifié que le module de photogrammétrie s'interrompt lors des étapes d'alignement, d'optimisation et de génération de nuage de points dense à cause d'une sous performance des paramètres par défaut dans certaines situations. Il est important de souligner que ces paramètres sont efficaces dans la plupart des cas. L'état de l'existant à bien mis en évidence un **manque d'adaptabilité** et non une défaillance constante des paramètres par défauts.

Analyse des critères de l'entreprise

La contrainte de compatibilité des solutions envisagées avec les technologies existantes limite toutes propositions de changement de logiciel de traitement des calculs photogrammétrie. Autrement dit, il faut que la solution soit compatible avec le logiciel Agisoft Metashape. Bien que Pix4D, son principal concurrent, soit plus intuitif, Metashape a été choisi pour sa librairie native en Python, ses temps de calculs plus courts permis par une meilleure optimisation des algorithmes et une grande flexibilité sur la quantité et qualité des données. (Mettler 2019; Pugh et al. 2021) Etant donné de la spécialisation du logiciel pour la photogrammétrie, aucun autre logiciel n'est envisagé par Hiphen pour réaliser ce travail.

L'un des atouts de Metashape est qu'il dispose d'un **panel d'options** pour chaque étape de la photogrammétrie et notamment celles identifiées spécifiquement comme problématique dans l'état de l'existant. Pour l'instant sous exploitées par les paramétrages par défaut, trouver de meilleures combinaisons d'options en fonction du contexte de vol permettrait d'améliorer les performances du module.

À l'avenir, les traitements se réaliseront dans le cloud en utilisant le service de plateforme proposée par Amazon Web Service (AWS). Les modules développés par Hiphen seront mis en ligne sur le cloud Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) sous forme d'application. (Amazon, s. d.) Les codes seront adaptés à ce nouvel environnement de travail, mais les technologies utilisées resteront les mêmes. Ainsi, l'API du logiciel Agisoft Metashape pourra toujours être appliquée. Cette migration de technologie permettra d'automatiser l'exécution de l'ensemble de la chaîne de traitement Phenoscale. En prenant en compte ce point, exploiter le panel d'options de Metashape et planifier des développements pour adapter le module de photogrammétrie existant est une **stratégie durable**.

Les développements pourront être assurés par un ingénieur logiciel de l'équipe IT ayant déjà développé diverses fonctionnalités avec Agisoft. **Hiphen dispose donc de ressources humaines compétentes et d'infrastructures techniques existantes pour engager des développements d'amélioration du module photogramétrique.** Ainsi, l'appel à un prestataire extérieur n'a pas à être envisagé et donc les coûts de développements pourront être réduits.

Proposition
technique

Ce dernier argument budgétaire permet de proposer la solution technique suivante : **conception d'un ensemble de « pré-paramétrages » adaptés en fonction du contexte de vol.** Un pré-paramétrage consistera en une combinaison précise d'options offertes par Metashape. Le module de photogrammétrie devra être exécuté en fonction des paramètres du pré-paramétrage. Chaque pré-paramétrage sera associé à un contexte de vol, un couple, ou plusieurs couples, cultures et drones. La combinaison pré-paramétrage / contexte de vol sera enregistrée en base de données HCC.

La mise en œuvre d'une telle solution technique nécessitera plusieurs actions associées à leur technologie de réalisation.

- **Sondage** des actions manuelles effectuées par les chef.fe.s de projets. Le pack Microsoft Office étant à disposition par l'ensemble des collaborateurs d'Hiphen, l'outil **Form** de Microsoft sera utilisé pour récolter les procédures manuelles. La synchronisation dans One Drive, la conversion dans un format Excel et la standardisation des réponses permettent d'implémenter rapidement une technologie qui répond au besoin. La mise en œuvre sera développée partie [III. 2](#).
- **Etude** des fonctionnalités et des options proposées par Metashape.
- **Etude** des meilleures combinaisons sur le logiciel Metashape avec un jeu de données représentatif
- **Conception** d'un arbre de décision afin de guider l'opérateur dans le choix du pré-paramétrage. Pour le concevoir un logiciel de conception de Wireframe pourra répondre au besoin. Le logiciel visio de Microsoft peut être envisagé, comme Draw.io ou alors Figma.
- **Etablissement** d'une liste de pré-paramétrages en fonction du contexte de vol

B. Synthèse du plan d'actions pour optimiser et automatiser la photogrammétrie de la chaîne de traitement Phenoscale tout en renforçant les compétences des chef.fe.s de projets

Suivant le même raisonnement, les huit solutions techniques permettant d'optimiser et d'automatiser les traitements photogrammétriques de Phenoscale ont pu être formulées : voir *Figure 22* – Plan d'actions optimisant les temps de traitement des images drones pour l'étape de photogrammétrie.

De la même manière que pour la solution des pré-paramétrages, un ensemble de propositions techniques ont été réfléchies en réponse aux problèmes initiaux identifiés dans la chaîne de traitements.

PARTIE II : DE L'EXISTANT A L'ETABLISSEMENT D'UN PLAN D' ACTIONS POUR OPTIMISER ET AUTOMATISER L'ETAPE DE PHOTOGRAMMETRIE DE PHENOSCALE

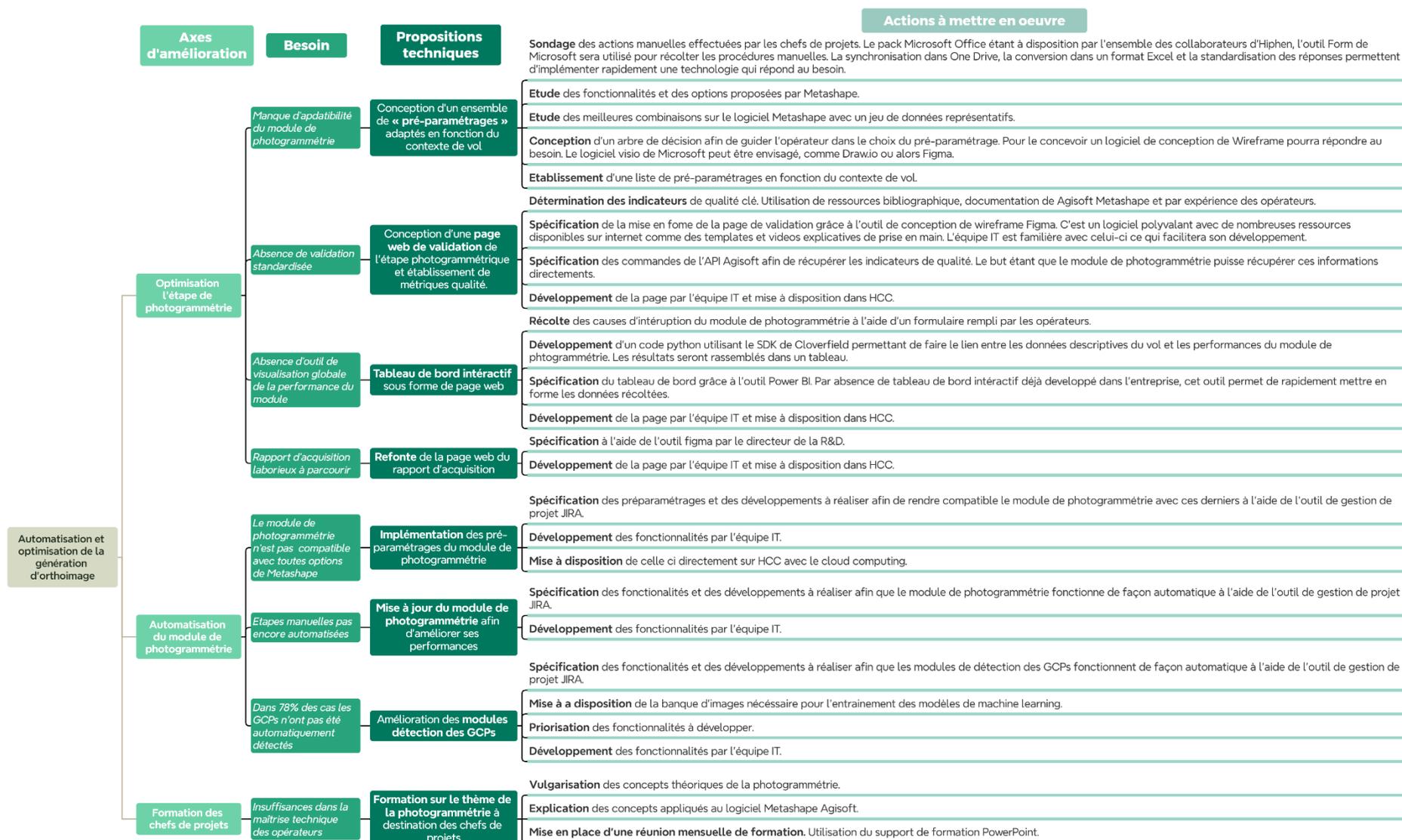


Figure 22 – Plan d'actions optimisant les temps de traitement des images drones pour l'étape de photogrammétrie

3. Objectif du flux du traitement photogrammétrique

Le plan d'actions précédent une fois mise en œuvre permettra de faire évoluer le flux de traitement photogrammétrique. Le schéma suivant reprend la structure de la Figure 21 - Synthèse de l'étape de photogrammétrie et des leviers d'amélioration identifiés, il permet d'illustrer le flux de traitement mis à jour en fonction des propositions techniques proposées.

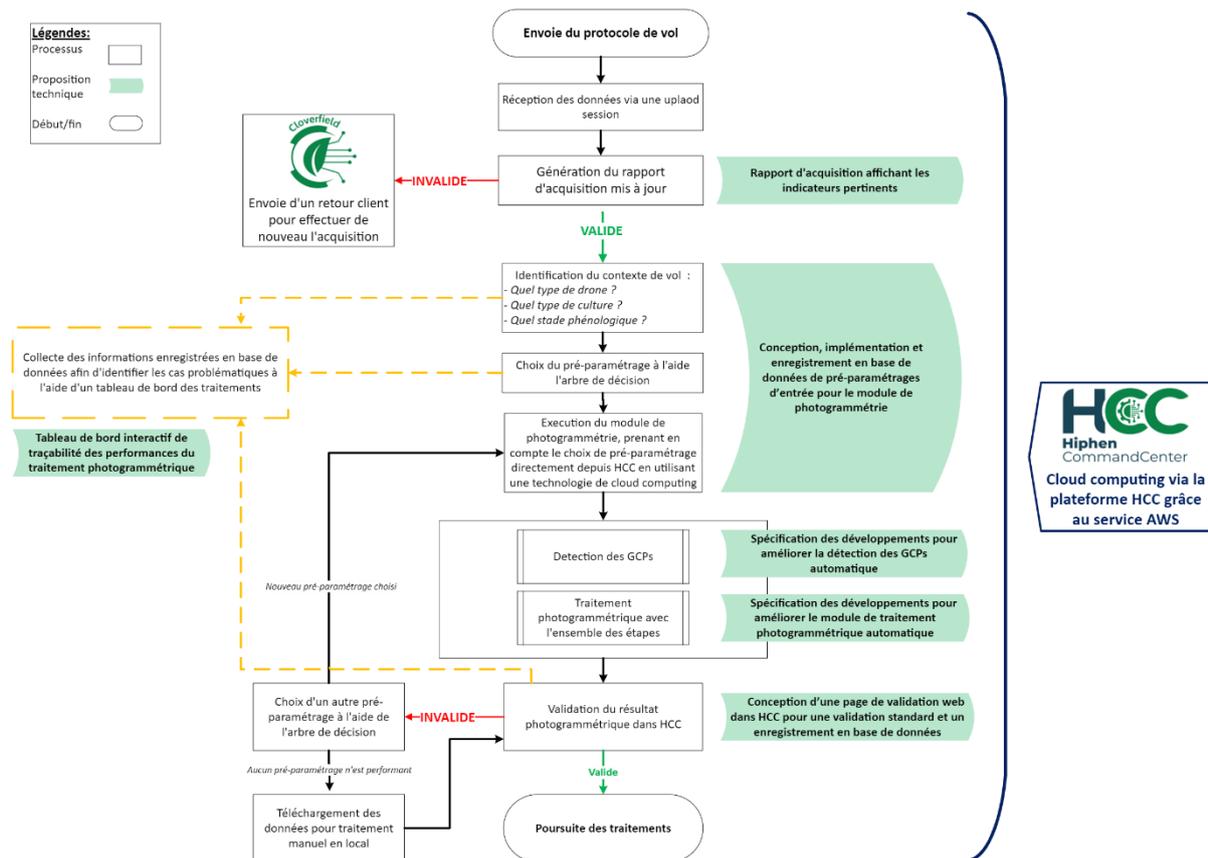


Figure 23 - Synthèse des propositions techniques et du plan d'action faisant évoluer le flux de traitement photogrammétrique (schéma disponible en [Annexe](#))

PARTIE III : MISE EN ŒUVRE DU PLAN D' ACTIONS

1. Progression d'avancement des actions à mettre en œuvre

La mise en œuvre des actions précédemment énoncées peut être classée en trois grandes catégories:

- **Spécification technique** : Rédaction d'un document décrivant les exigences, la conception et les fonctionnalités d'un produit ou d'un système. Elle sert de plan directeur aux développeurs le produit final répond aux spécifications souhaitées. (Wikipedia, s. d.-b)
- **Réalisation** : Ensemble d'opérations à faire dans le but de créer un objet (virtuelle) ou élément.
- **Développement et déploiement informatique** : conception et mise en service des fonctionnalités spécifiées.

En août 2024, l'avancement des propositions techniques est résumé dans le Tableau 4 - Progression des actions à mettre en œuvre en août 2024. Bien que chaque catégorie ait ses particularités en termes d'outils et de méthodes de mise en œuvre, la suite de cette section détaillera une action de spécification et une de réalisation. Le développement et le déploiement informatique, étant pris en charge par l'équipe IT, ne seront pas abordés dans ce mémoire.

Proposition technique à mettre en œuvre	Progression actions mises en œuvre
<i>Conception d'un ensemble de « pré-paramétrages » adaptés en fonction du contexte de vol</i>	 4/5
<i>Conception d'une page web de validation de l'étape photogrammétrique et établissement de métriques qualité.</i>	 3/4
<i>Tableau de bord interactif sous forme de page web</i>	 2/4
<i>Refonte de la page web du rapport d'acquisition</i>	 2/2
<i>Implémentation des pré-paramétrages du module de photogrammétrie</i>	 1/3
<i>Mise à jour du module de photogrammétrie afin d'améliorer ses performances</i>	 1/2
<i>Amélioration des modules détection des GCPs</i>	 3/4
<i>Formation sur le thème de la photogrammétrie à destination des chef.fe.s de projets</i>	 3/3

Tableau 4 - Progression des actions à mettre en œuvre en août 2024

2. Détails de la réalisation technique du sondage des actions manuelles, première action pour concevoir des pré-paramétrages

Objectif de la proposition technique

Des pré-paramétrages pour le traitement photogrammétrique en fonction du contexte de vol doivent être conçus. Actuellement, les chef.fe.s de projets sont les premiers à disposer d'informations internes qui établissent le lien entre les options optimales du logiciel Metashape et les différents contextes de vol.

Lorsque le module de traitement photogrammétrique s'interrompt, les chef.fe.s de projets interviennent manuellement pour ajuster les paramètres et finaliser l'opération en fonction du contexte spécifique du vol. Cependant, ces interventions ne sont pas enregistrées, ce qui empêche d'optimiser les processus futurs. Pour lever le voile sur ces pratiques une traçabilité doit être implémentée.

Choix outil de mise en œuvre

Plusieurs solutions technologiques ont été envisagées pour atteindre cet objectif. Le tableau suivant résume ces options, évaluées en fonction des critères spécifiques à cette tâche.

Critères	Excel Office	Forms Office	Développement d'une application
Facilité et rapidité d'implémentation avec les outils interne existants	✓	✓	✗
Interface utilisateur intuitive (minimise le temps d'apprentissage et les erreurs utilisateur).	✓	✓	?
Saisie rapide et efficace : Les utilisateurs doivent pouvoir remplir l'outil rapidement, avec des informations claires et des réponses principalement sous forme de listes de choix pour limiter les saisies libres.	✓	✓	?
Informations demandées claires et illustrées (possibilité d'ajouter des illustrations ou des images pour plus de clarté.)	✗	✓	✓
Automatisation de l'ouverture dès que le module de photogrammétrie est lancé (minimise les oublis de renseignement)	✗	✓	✓
Identification des vols en cours de traitement	✓	✓	✓
Utilisation du SDK Cloverfield : Les informations renseignées doivent être suffisantes pour utiliser le SDK de Cloverfield et retrouver les détails contextuels du vol, mais l'utilisateur ne doit saisir que le vol traité.	✓	✓	✓
Facilité de mise à jour : L'outil doit être facilement modifiable pour répondre aux évolutions des besoins ou pour intégrer des améliorations.	✗	✓	✓
Suivi et reporting : L'outil doit permettre un suivi facile des informations saisies et pouvoir générer des rapports pour les analyses ultérieures.	✗	✓	✗

Le formulaire

L'outil Forms a été sélectionné pour tracer les actions manuelles des chef.fe.s de projets, car il répond à tous les critères requis.

A chaque lancement du module de photogrammétrie, celui-ci sera automatiquement ouvert. Le formulaire a été conçu en anglais pour s'aligner sur la politique linguistique de l'entreprise et peut être consulté en [Annexe 5](#). Son intégration dans le flux de travail a été présentée lors d'une réunion, où le moment précis de son utilisation a été clarifié.

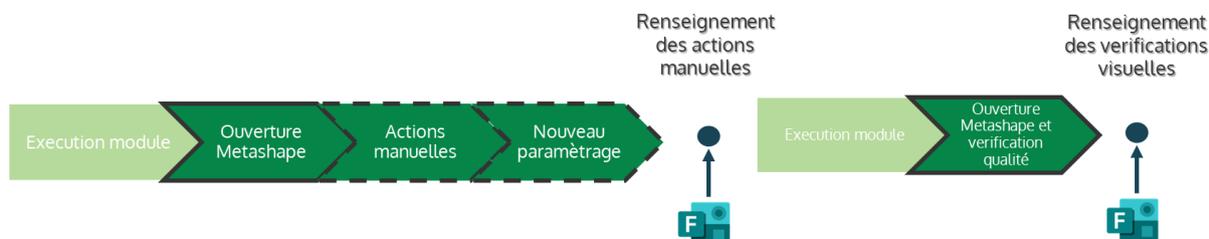


Figure 24 - Introduction du formulaire dans le flux de travail

Résultats et conclusions

Du 3 Février au 30 mai, soit 16 semaines, le formulaire a été déployé. Des renseignements sur 422 vols traités ont été récoltés. Les actions manuelles renseignées pour chaque vol ont ensuite été automatiquement contextualisées à l'aide du SDK Cloverfield, intégré dans un script Python. Les résultats ont été analysés avec l'outil PowerBI permettant une plus grande interactivité avec les données.

Cette phase de collecte des actions manuelles a permis :

- De réaliser une **analyse quantitative** détaillée de l'existant, présentée dans la [partie II.1](#).
- De spécifier un **pré-paramétrage pour le survol d'arbres fruitiers** (pré-paramétrages détaillés en [Annexe 6](#)). Celui-ci s'ajoute aux six pré-paramétrages identifiés lors de l'action « étude des meilleures combinaisons sur le logiciel Metashape avec un jeu de données représentatif. »
- De spécifier **neuf tickets JIRA pour le développement d'améliorations du module** (détaillés en [Annexe 7](#)).
- D'identifier **des métriques clés à implémenter** dans la page web de validation de la photogrammétrie.

3. Exemple d'outil spécifié et restant à développer : page web de validation de la photogrammétrie

Objectif de la proposition technique

L'étape de photogrammétrie est actuellement validée visuellement en ouvrant de logiciel Metashape. La conséquence est que des traitements photogrammétriques sont validés alors que des indicateurs de qualité clés sont incohérents. De plus, la validation visuelle dans le logiciel Metashape ne pourra plus être réalisé une fois le cloud computing mis en place. Ainsi, la page de validation doit permettre d'évaluer objectivement la qualité du traitement à l'aide de métriques clé.

Qu'est-ce qu'un indicateur de qualité photogrammétrique ?

Un indicateur de qualité photogrammétrique est un élément de mesure qui permet d'estimer de manière fiable la qualité ou des variations de qualité du traitement photogrammétrique. Il permet de qualifier un critère attestant de la qualité. Par exemple, le nombre de points homologues détectés est un indicateur de qualité de la reconstruction 3D de la scène survolée.

Un indicateur de qualité prend tout son sens lorsqu'il est comparé à une valeur de référence, qui peut être la valeur spécifiée dans le protocole de vol, la valeur enregistrée lors d'un vol précédent ou des valeurs contenues dans les métadonnées. Si la comparaison de l'indicateur avec sa référence dépasse un certain seuil, la qualité du résultat photogrammétrique peut être remise en question.

Etablissement des indicateurs de qualités

Une fois cette définition posée, les critères de choix des indicateurs devront être :

- Disponibilité d'une valeur de référence
- Résultat disponible dans l'infrastructure actuelle
- Pertinence
- Facilité de compréhension et d'interprétation
- Possibilité d'affichage dans une interface web

Etablir des indicateurs de la qualité de la reconstruction 3D de la scène survolée sans validation visuelle de celle-ci a représenté un réel défi. Ils ont été identifiés et sélectionnés en fonction des critères précédemment listés, en s'appuyant sur la littérature, l'expérience, les sondages et la documentation de Metashape (Eickeler, Borrmann, et Mistre 2018; Agisoft LLC, s. d.-a). Les seuils d'évaluation de la qualité des métriques ont été inspirés par la littérature. Lorsqu'ils n'étaient pas disponibles, une valeur arbitraire a été choisie en se basant sur l'expérience d'Hiphen en

photogrammétrie. Ces seuils pourront être ajustés ultérieurement.

Ainsi, les indicateurs ont été classés en quatre catégories et sont détaillés dans le Tableau 5 - Tableau des indicateurs de qualité de la photogrammétrie suivant.

Catégorie	Indicateur	Description
Qualité de l'Acquisition	Contexte du vol	Informations sur le vol : type de drone, images, culture, stade phénologique
	Nombre d'images sélectionnées	Nombre d'images retenues après validation du rapport d'acquisition
	Taille des données	Poids des données téléchargées
	Altitude de vol	Altitude du vol comparée à celle prévue par le protocole
	Distance d'échantillonnage au sol	Distance d'échantillonnage comparée au protocole de vol
	Carte de recouvrement	Évaluation de la qualité du recouvrement
Qualité de l'Alignement	Images alignées	Nombre d'images alignées avec succès
	Estimation des paramètres externes	Comparaison des angles d'orientation estimés et des métadonnées
	Points homologues détectés	Nombre de points détectés comparé à une autre date
	Modèle d'élévation numérique	Affichage du modèle d'élévation numérique
Qualité de l'Optimisation	RMSE des coordonnées d'images	Comparaison des coordonnées X-Y-Z des images avec les métadonnées
	RMSE des coordonnées des GCPs	Comparaison des coordonnées X-Y-Z des GCPs avec les géoréférences
	Paramètres internes estimés	Comparaison des paramètres internes estimés avec les métadonnées
Qualité du Nuage de points dense	Points 3D générés	Nombre de points 3D détectés comparé à une autre date

Tableau 5 - Tableau des indicateurs de qualité de la photogrammétrie

Spécification de la mise en forme des indicateurs de qualité dans une page web

Figma est un outil puissant pour spécifier et développer des interfaces web de manière efficace et collaborative. Ses fonctionnalités avancées ont conduit à son choix pour la conception de la page web de validation du traitement photogramétrique.

La spécification de cette page, consultable Figure 25 – Capture d'écran de la spécification d'une partie de la page de validation du traitement photogramétrique, est structurée de la manière suivante :

- Elle intègre les quatre catégories d'indicateurs identifiées.
- Elle décrit en détail les interactions prévues entre les différents composants.
- Les indicateurs sont représentés graphiquement à l'aide de figures ou de composants spécifiques. Pour chaque indicateur, une fiche explicative (voir Figure 26 - Exemple de fiche explicative d'un indicateur de qualité à destination d'un développeur) est fournie aux

développeurs, comprenant :

- L'objectif métier de l'indicateur.
- La description technique de l'indicateur.
- La commande API Metashape nécessaire pour collecter les données estimées et de référence.(Agisoft LLC, s. d.-b)
- Le seuil de qualité à appliquer ainsi que les règles associées.

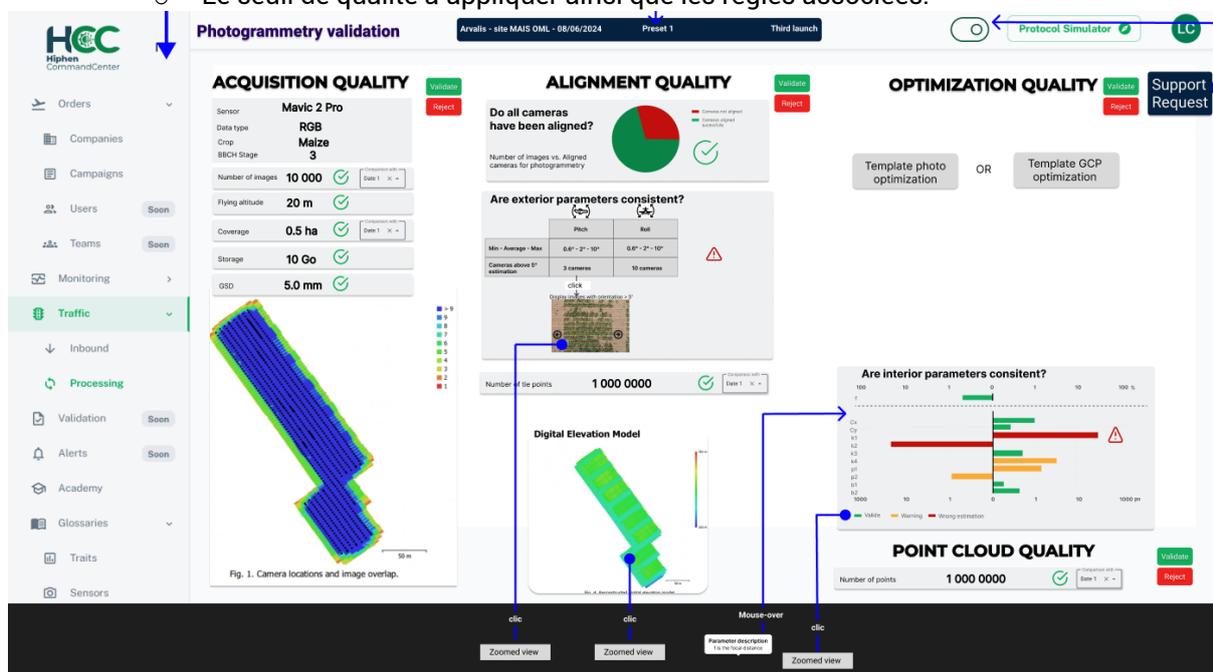


Figure 25 – Capture d'écran de la spécification d'une partie de la page de validation du traitement photogrammétrique

Number of images vs. Aligned cameras for photogrammetry

Objective

Spot if cameras didn't align in the photogrammetry process

Description

Cameras aligned successfully (%) : $\text{aligned cameras} / \text{number of cameras} * 100$

Cameras not aligned (%) : $(\text{number of cameras} - \text{aligned cameras}) / \text{number of cameras} * 100$

Metashape API

number of cameras = `len(doc.chunk.cameras)`

aligned cameras = `len([camera for camera in chunk.cameras if camera.type == Metashape.Camera.Type.Regular and camera.enabled])`

Validation

Cameras aligned successfully = 100% 

Camera aligned successfully != 100% 

Figure 26 - Exemple de fiche explicative d'un indicateur de qualité à destination d'un développeur

L'essentiel de la mise en œuvre

- **Plus de 50 % des actions prévues** ont été mises en œuvre cette année pour optimiser les traitements photogrammétriques.
- **Les actions manuelles effectuées par les chefs de projet ont été identifiées et documentées.** Elles ont été intégrées dans la chaîne de traitement, soit sous forme de pré-paramétrages, soit en spécifiant un ticket JIRA pour automatiser la tâche dans le module.
- **Des indicateurs de qualité photogrammétrique ont été définis.** Une page spécifique pour valider l'étape de photogrammétrie, basée sur le modèle des pages de validation HCC, a été élaborée.

PARTIE IV : DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES DE L'OPTIMISATION DU TRAITEMENT PHOTOGRAMMETRIQUE

1. Bilan et analyse critique du travail réalisé

Le travail présenté a porté sur l'amélioration d'une étape clé du traitement des données issues de drones, tel que proposé par le service Phenoscale. Dans le cadre de l'industrialisation des processus chez Hiphen, ce projet visait spécifiquement à optimiser le traitement photogrammétrique.

L'objectif étant clairement défini, il restait à identifier les étapes nécessaires pour y parvenir. La question centrale était de déterminer quels éléments de la chaîne de traitement photogrammétrique nécessitaient des améliorations. Une analyse approfondie de l'existant a permis de répondre à cette question, en identifiant et en quantifiant les faiblesses du processus. Cette analyse a principalement reposé sur un sondage des chefs de projets, les opérateurs clés de la chaîne de traitement Phenoscale. En contextualisant automatiquement les renseignements des opérateurs avec des outils internes, les lacunes de traçabilité de suivi des lancements des modules HCC ont pu être outrepassés.

Cependant, il convient de noter que le recours à un sondage a introduit un biais humain, aboutissant parfois à des informations incomplètes ou à des oublis de saisie. Le manque de maîtrise des opérateurs se traduit en une difficulté d'identification précise des actions réalisées pour finaliser le traitement. Par conséquent, une sous-estimation des résultats présentés lors de l'analyse de l'existant (II.1.) est ainsi plus que probable. Cette limite souligne l'importance d'améliorer la formation et la traçabilité des données. *In fine*, cette analyse a permis de clarifier la faisabilité des améliorations à apporter à l'étape de photogrammétrie de Phenoscale, constituant ainsi une réussite majeure du projet.

Sur la base des résultats de cette analyse, un plan d'action et des propositions techniques ont été élaborés. L'enjeu était de concilier à la fois les besoins, critères et contraintes de l'entreprise pour proposer des solutions techniques optimales. L'introduction de pré-paramétrages des traitements photogrammétriques en fonction des contextes de vol représentera une avancée particulièrement adaptée au cloud computing. Cette approche permettra de libérer les chefs de projet de tâches chronophages. Pour affiner ces pré-paramétrages, une étude plus approfondie sur l'estimation des paramètres internes modélisant la distorsion des lentilles de caméra en fonction des drones utilisés pourrait être envisagée. De plus, le choix des pré-paramétrages se fait pour l'instant à l'aide d'un arbre de décision, une prochaine amélioration sera d'identifier automatiquement le contexte de vol et d'attribuer le bon pré-paramétrage.

À ce jour, 70 % des actions planifiées ont été mises en œuvre pour atteindre l'objectif d'amélioration de la photogrammétrie. La principale difficulté rencontrée réside dans la coordination avec le planning de l'équipe IT, qui tend à repousser les délais de déploiement. Cette situation a eu pour conséquence de sous-estimer l'ampleur des actions réalisables dans le cadre du projet. J'aurais pu réaliser plus d'actions par moi-même si j'avais eu conscience du temps réellement à ma disposition. Les tâches restantes concernent principalement des développements informatiques basés sur les spécifications établies. Un enjeu clé sera de chiffrer les temps de développement nécessaire afin qu'ils s'intègrent dans le planning déjà chargé des développeurs. Les spécifications devront être soigneusement étudiées par le directeur du pôle IT et le chef des opérations techniques, avec des échanges réguliers pour affiner les spécifications en fonction des retours techniques des développeurs.

Les actions menées ont eu un impact à court et à long terme. À court terme, elles ont permis de renforcer les compétences des chefs de projet, d'automatiser certaines tâches manuelles et de

soutenir la résolution de problèmes techniques. Mon implication en tant qu'expert technique de Phenoscale lors des réunions clients est un support pour l'équipe. À plus long terme, les spécifications élaborées contribueront à l'amélioration continue du processus photogrammétrique. Globalement, ce travail a permis de réaliser les traitements photogrammétriques dans de meilleures conditions cette année.

Grâce à mes capacités d'organisation et d'anticipation, j'ai pu prendre des responsabilités pendant l'année et assurer mon rôle d'interface entre les différents services. J'ai acquis une compréhension approfondie de Phenoscale, de la valeur livrée aux clients jusqu'au traitement technique des données. Les directeurs de services m'ont intégrée dans les processus de prise de décision, ce qui témoigne de la reconnaissance de mon expertise grandissante.

2. Perspectives sur l'industrialisation de Phenoscale

Tout d'abord, ce projet d'amélioration du traitement photogrammétrique de Phenoscale a permis de développer et de mettre en œuvre une méthodologie rigoureuse pour établir un plan d'action visant à optimiser le processus. Cette méthodologie pourrait être étendue à d'autres projets visant à industrialiser Phenoscale.

L'implémentation des solutions d'amélioration proposée combinée au service de cloud computing accélèrera significativement les traitements des données drones. Les chef.fe.s de projets auront du temps libéré et cela offrira l'opportunité de se concentrer davantage sur l'analyse des données et l'accompagnement des clients dans la résolution de leurs problématiques.

Par ailleurs, l'impact environnemental de la migration vers le cloud computing peut être discuté. Rappelons-le, actuellement, **Hiphen utilise huit ordinateurs dédiés au traitement local des données** drone pour le service Phenoscale. Ces machines sont **toujours** allumées, même si elles ne sont pas utilisées, et refroidies avec un système de ventilation. Elles consomment de l'énergie en continu, même lorsqu'elles ne sont pas pleinement utilisées, ce qui n'est ni économiquement ni écologiquement optimal.

Migrer vers le cloud computing permettrait à Hiphen d'utiliser des serveurs plus puissants et mieux optimisés, avec des coûts basés sur l'utilisation réelle des ressources. Cela pourrait réduire les dépenses liées à l'achat, à l'entretien des machines, et à la consommation d'énergie, tout en offrant une flexibilité pour gérer les pics d'activité. (IAEME et Achar 2022)

Cependant, cette transition vers le cloud computing soulève une question qui me **tient à cœur** : **quel est l'impact environnemental de cette technologie ?** Les data centers, bien qu'efficaces en termes de performance, sont connus pour leur **consommation énergétique élevée**, notamment en raison des besoins de refroidissement et de la consommation électrique des serveurs. L'empreinte carbone des data centers peut être significative, surtout si l'énergie utilisée **n'est pas d'origine renouvelable**. (Monserrate 2022; IAEME et Achar 2022)

Passer au cloud computing présente de nombreux avantages en terme économique, de sécurité et opérationnelle (Bolla et al. 2014). Cette technologie maximise le ratio d'utilisation des machines, lorsqu'elles ne sont pas utilisées par Hiphen, par mutualisation d'autres utilisateurs pourront s'en servir. Seulement, dans les conditions de crise climatique actuelle, nous nous devons être vigilant qu'en à l'impact environnemental d'une telle transition. Il se peut que le résultat soit une diminution de l'impact environnemental par rapport aux ordinateurs installés en local. Les études sur ce sujet ne sont pas toutes catégoriques sur les conséquences. Dans tous les cas, une première piste est de se renseigner sur la provenance de la source d'énergie du data center, est-elle renouvelable ? Une seconde piste est de réaliser une veille technique des solutions de cloud computing plus « vert ». (IAEME et Achar 2022) En fonction de ces critères, l'adoption du cloud computing à la place des huit ordinateurs de production actuels pourrait soit réduire, soit accroître l'impact environnemental du traitement des données chez Hiphen.

3. Bilan sur cette année en contrat de professionnalisation à Hiphen

Le bilan de cette année de professionnalisation est très positif. Ayant eu sept mois d'expérience préalablement chez Hiphen (6 mois de stage et 1 mois de CDD), j'ai pu directement être opérationnelle dans mes missions sans période d'adaptation à l'entreprise ou aux outils. Mon rôle dans l'entreprise avait été bien défini avant mon arrivée et j'ai pu rapidement remplir toutes mes fonctions. La principale difficulté cette année a résidé dans la gestion et la répartition de mon temps de travail entre les différents projets exposés dans la partie [1.2.B](#). Il n'était pas toujours évident de consacrer suffisamment de temps au projet d'amélioration de la photogrammétrie.

La diversité de mes tâches m'a permis de monter en compétences sur plusieurs aspects. Techniquement, j'ai maintenant une bonne compréhension de la technique de photogrammétrie, mais aussi dans l'utilisation de Power BI ou dans l'utilisation d'une API. Mes compétences en gestion et organisation du travail se sont également renforcées. De plus, j'ai pu améliorer mes soft skills, notamment en participant à l'encadrement de deux stagiaires dans le traitement des données Phenoscale, ce qui a affiné mes compétences en management. En prenant progressivement part aux réunions avec les clients, j'ai également amélioré mes compétences en relation client.

Je ressens une grande satisfaction quant à mon utilité au sein de l'équipe production, un sentiment particulièrement valorisant. Les chef.fe.s de projet m'ont aidé à me sentir légitime dans mon rôle, et les retours positifs sur les formations que j'ai animées en sont une preuve. Grâce à ces formations, j'ai pu réduire le besoin d'interventions techniques, ce qui témoigne de l'impact immédiat de cette montée en compétence.

La relation de confiance établie avec les chef.fe.s de projets renforce ma légitimité dans l'équipe. Je suis devenue un point de référence, non seulement pour des questions techniques, mais aussi pour l'organisation du travail et les conseils agronomiques sur les données clients.

Ainsi, cette année m'a permis de gagner en confiance en moi. La mise en œuvre des améliorations du flux de traitement photogramétrique, avec le soutien constant de l'équipe IT, m'a rassurée sur ma capacité à m'auto-former. Je peux affirmer que je suis fière du travail réalisé cette année, et mon statut d'ingénieur semble être reconnu par l'entreprise.

CONCLUSION

Cette expérience au sein d'Hiphen m'a permis de mobiliser mes compétences acquises durant ma formation d'ingénieur, mais aussi d'approfondir le domaine du phénotypage à haut débit par drone. Travailler avec l'équipe, la technologie et les clients du service Phenoscale a été extrêmement enrichissant et formateur.

Les traits phénotypiques calculés avec la chaîne de traitement Phenoscale sont une valeur ajoutée pour les divers clients d'Hiphen. Par exemple, ils permettent d'objectiver et accélérer la sélection variétale des sélectionneurs. En conséquence, la demande pour ce service augmente, entraînant une hausse des volumes de données à traiter.

Hiphen, pour augmenter les débits, souhaite rendre plus industrielle la chaîne de traitements de Phenoscale. La troisième étape du processus consiste à modéliser en 3D le champ survolé par drone à partir des images 2D, un processus appelé photogrammétrie. Le diagnostic réalisé cette année a permis de mettre en évidence les faiblesses de cette étape, qui ralentissaient le flux de traitement des données.

Ce diagnostic a marqué la première phase vers **l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan d'actions optimisant les temps de traitements photogrammétrique des images drones tout en maintenant la qualité des résultats (Problématique)**. À l'issue de celle-ci, trois axes d'amélioration ont été formulés. Le premier concerne l'automatisation des tâches répétitives. Le second axe vise l'optimisation des paramètres de calcul photogrammétrique ainsi que la standardisation de la validation de la qualité. Enfin, le troisième axe porte sur le renforcement des compétences des chefs de projet, opérateurs de la chaîne de traitement, par le biais de formations ciblées.

Pour chacun des axes, diverses propositions et solutions techniques ont été émises. Cela a donné lieu à l'élaboration d'un plan d'actions détaillé, dont 70 % a été mis en œuvre au cours de cette année de professionnalisation. Toutes les améliorations apportées ont permis d'optimiser et de standardiser le traitement photogrammétrique. Grâce à leur montée en compétence, les chefs de projet maîtrisent désormais mieux ce processus et sont capables d'assurer en autonomie la qualité des reconstructions 3D.

Ces spécifications définissent en détail l'outil de validation de la qualité photogrammétrique, les actions automatisables dans le module de traitement, ainsi que l'implémentation d'une meilleure adaptabilité du module. Une fois ces développements implémentés, la validation de la qualité des reconstructions 3D ne se fera plus visuellement, mais s'appuiera sur la performance des indicateurs de qualité photogrammétriques. Les interventions humaines ne seront plus nécessaires grâce à l'automatisation des tâches. Et enfin, les paramètres de reconstruction 3D s'ajusteront en fonction du type de capteur, type de culture et stade phénologique. Ainsi, l'objectif d'un seul lancement du module de photogrammétrie par vol avec une validation standardisée sera alors atteint.

Finalement, le travail accompli a clarifié la voie vers l'industrialisation de Phenoscale. Le gain de temps de traitement sera mis à profit dans l'analyse des données livrées selon les problématiques client. Les compétences d'analyse scientifique des chef.fe.s de projets seront ainsi revalorisées.

Au-delà du projet d'optimisation de la photogrammétrie, l'organisation de la gestion de Phenoscale a évolué. Le product owner, poste que j'ai occupé cette année, articule désormais plus efficacement la collaboration entre les équipes pour apporter toujours plus de valeur aux clients. Le travail des équipes IT, R&D et des chefs de projet est désormais mieux synchronisé.

Références bibliographiques

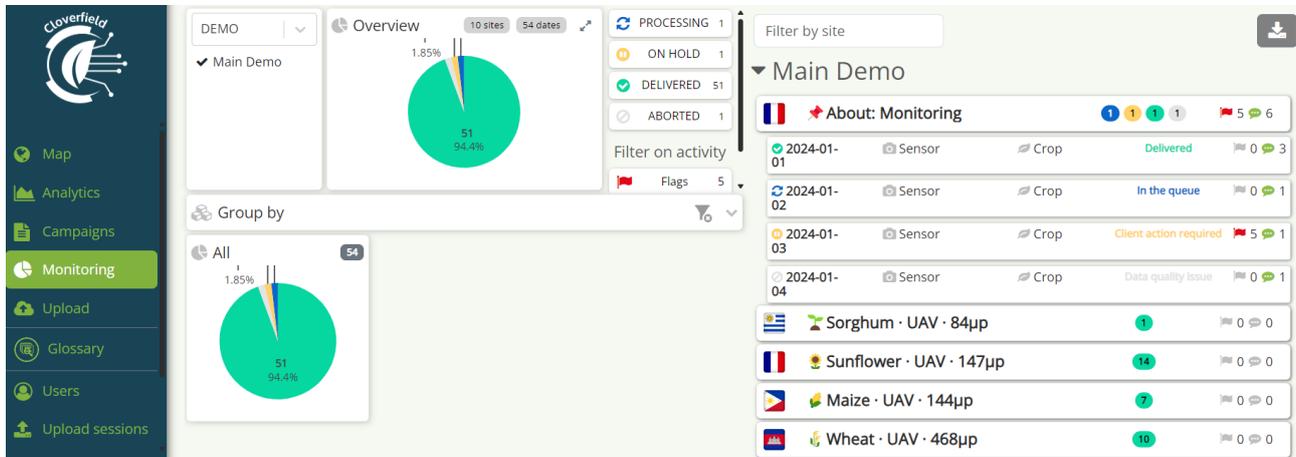
- Agisoft LLC. s. d.-a. « Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 2.1 ». https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_en.pdf.
- . s. d.-b. « Metashape Python Reference ». https://www.agisoft.com/pdf/metashape_python_api_2_1_1.pdf.
- Amazon. s. d. « Qu'est-ce que le cloud computing ? » https://aws.amazon.com/fr/what-is-cloud-computing/?nc1=f_cc.
- Bellon-Maurel, Veronique, Ludovic Brossard, Frédérick Garcia, Nathalie Mitton, et Alexandre Termier. s. d. « Agriculture et numérique ». *janvier 2022*, 151.
- Bolla, Raffaele, Chiara Lombardo, Roberto Bruschi, et Sergio Mangialardi. 2014. « DROPv2: energy efficiency through network function virtualization ». *IEEE Network* 28 (2): 26-32. <https://doi.org/10.1109/MNET.2014.6786610>.
- Comar, Alexis, Philippe Burger, Benoit De Solan, Frédéric Baret, Fabrice Daumard, et Jean-François Hanocq. 2012. « A Semi-Automatic System for High Throughput Phenotyping Wheat Cultivars in-Field Conditions: Description and First Results ». *Functional Plant Biology* 39 (11): 914. <https://doi.org/10.1071/FP12065>.
- DIGITAL PARTNERS. s. d. « Product Owner, indispensable chef d'orchestre de l'ère digitale ! » <https://www.linkedin.com/pulse/product-owner-indispensable-chef-dorchestre-de-/>.
- DJI. s. d. « Mouvements drone & nacelle-caméra ». <https://boutique.dji-paris.com/blog/les-mouvements-de-la-camera-dans-l-espace-n37>.
- Eickeler, Felix, A. Borrmann, et Arnaud Mistre. 2018. « Defining Quality Metrics for Photogrammetric Construction Site Monitoring ». In *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, édité par Jan Karlshøj et Raimar Scherer, 1^{re} éd., 147-53. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429506215-19>.
- Gascuel-Oudou, Chantal, Françoise Lescourret, Benoit Dedieu, Cécile Detang-Dessendre, Philippe Faverdin, Laurent Hazard, Isabelle Litrico-Chiarelli, et al. 2022. « A Research Agenda for Scaling up Agroecology in European Countries ». *Agronomy for Sustainable Development* 42 (3): 53. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00786-4>.
- HLPE. s. d. « Sustainable Agricultural Development for Food Security and Nutrition: What Roles for Livestock? » 2016.
- IAEME, et Sandesh Achar. 2022. « CLOUD COMPUTING: TOWARD SUSTAINABLE PROCESSES AND BETTER ENVIRONMENTAL IMPACT », octobre. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/NKYHR>.
- Mann, Charles C. 2018. *The Wizard and the Prophet: Two Remarkable Scientists and Their Dueling Visions to Shape Tomorrow's World*. First edition. New York: Alfred A. Knopf.
- Mettler, Olivier. 2019. « Comparatif Pix4D mapper VS Agisoft Metashape ». <https://www.flyingeye.fr/comparatif-pix4dmapper-vs-agisoft-metashape/>.
- Monserrate, Steven Gonzalez. 2022. « The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage ». *MIT Case Studies in Social and Ethical Responsibilities of Computing*, n° Winter 2022 (janvier). <https://doi.org/10.21428/2c646de5.031d4553>.
- P2I (Pôle Image et Instrumentation), réal. s. d.-a. *Cours - Principe de la Photogrammétrie Structure-from-Motion (SfM)*. (Youtube.com). <https://www.youtube.com/watch?v=bjr57WI-QKs&t=5s>.
- , réal. s. d.-b. *Cours - Principe théorique de la stéréo-photogrammétrie*. (Youtube.com). <https://www.youtube.com/watch?v=nwDSElhAr5o>.
- Pugh, N. Ace, Kelly R. Thorp, Emmanuel M. Gonzalez, Diaa Eldin M. Elshikha, et Duke Pauli. 2021. « Comparison of Image Georeferencing Strategies for Agricultural Applications of Small Unoccupied Aircraft Systems ». *The Plant Phenome Journal* 4 (1): e20026. <https://doi.org/10.1002/ppj2.20026>.
- Wikipedia. s. d.-a. « Cloud computing Informatique en nuage ». In . https://fr.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing.
- . s. d.-b. « Spécification (norme technique) ». In . [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%A9cification_\(norme_technique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%A9cification_(norme_technique)).

Annexes

Annexe 1 - Liste des traits phénotypique proposés par Hiphen

[HIPHEN - PHENOTYPING PORTFOLIO \(HIPHEN-PLANT.COM\)](https://hiphen-plant.com)

ANNEXE 2 - PAGE DE MONITORING DE CLOVERFIELD



ANNEXE 3 - EXEMPLE D'INFORMATIONS ENREGISTREES DANS LA BASE DE DONNEES HCC

```
{
  "company": " ",
  "contract": " ",
  "site": " ",
  "mission": " ",
  "systemModel": "UAV RGB",
  "processes": [
    {
      "module": "Photogrammetry",
      "version": "1.6.6",
      "parameters": [
        "phenoscript",
        "process",
        "-c",
        "--dense-cloud",
        "--export-point-cloud"
      ],
      "startDatetime": "2022-06-01T14:50:39.000Z",
      "endDatetime": "2022-06-01T14:54:42.000Z",
      "returnCode": 0,
      "log": "2022/06/01 16:54:42:phenodrone.core.timing:INFO photogrammetry process took 0:04:02.397958",
      "granularity": null,
      "validationStatus": null,
      "validationComment": null
    }
  ]
}
```

ANNEXE 4 - FIGURES EN LIGNE

Logigramme photogrammétrie : <https://drive.google.com/file/d/1SXL3lmj7YoG1-p5XCLqHIRCLeZAGbtOT/view?usp=sharing>

Synthèse de l'état de l'existant : <https://drive.google.com/file/d/10SE1WdyiycHre-X7YobpWKQADizEplzp/view?usp=sharing>

Plan d'actions : https://drive.google.com/file/d/1WHLnGnzVL_2mNaXyriHqfMlbOmaaB18M/view?usp=sharing

Flux de travail objectif : https://drive.google.com/file/d/1VRcSy_koULboJcHNoiY-FVTkjUYiniat/view?usp=sharing

ANNEXE 5 - FORMULAIRE DE TRAÇABILITE DES ACTIONS MANUELLES DES CHEF.FE.S DE PROJETS

Photogrammetry tracking

Here's a tracking form to help you manage the photogrammetry step of Phenoscale processing.

The aim is to report the reason for opening the Metashape project and the actions performed.

The form must be filled in each time the module Phenoscript - process is run.

Bonjour, Léa. Lorsque vous soumettez ce formulaire, le propriétaire verra votre nom et votre adresse e-mail.

* Obligatoire

1. Insert the path of the flight that you are processing:

*Exemple: O:\inrae_toulouse\toulouse_2023_av\AV\2023_uegcie_pois_hiver_p1\2023-06-13 **

2. Is it the first time that you run Phenoscript - Process for this flight? *

- Yes, it is the first time
- No, it's at least the second time

4. Did you open the metashape Project? *

- Yes, I opened the Metashape Project
- No, I didn't open the Metashape Project

5. Was the orthoimage generated correctly? *

- Yes, the orthoimage has been generated correctly (this orthoimage will be delivered to the client)
- No, the module phenoscript - process hasn't generated the orthoimage at all OR has generated the orthoimage with distortions

6. Did you open the Metashape project to examine the quality of ... ?

- Tie point
- Point cloud
- DEM
- Orthoimage
- Calibration parameters
- Autre

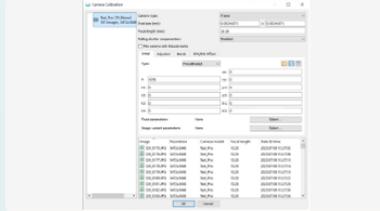
Annexes

7. Did you open the metashape Project to add the GCPs? *

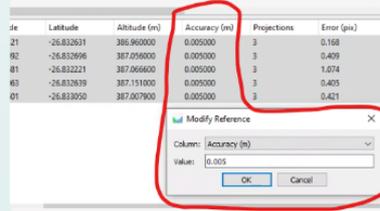
Yes

No

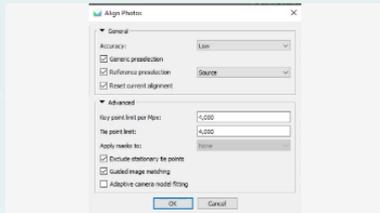
8. Did you open the metashape project to modify ...?



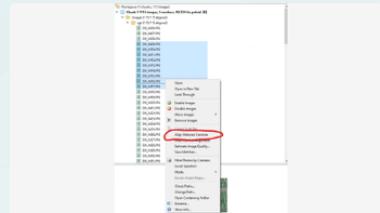
Camera calibration parameters (fix or unfix parameters in the calibration panel tool)



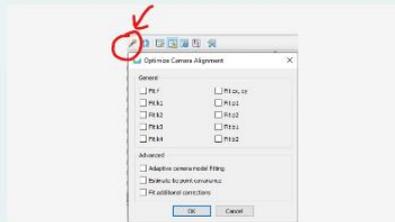
Markers (GCPs) accuracy



Run another alignment



Try to align some cameras



Optimize Camera Alignment (Magic wand)



Saving the adjusted camera calibration parameters to load them into the "initial" panel of the camera calibration parameters

Autre

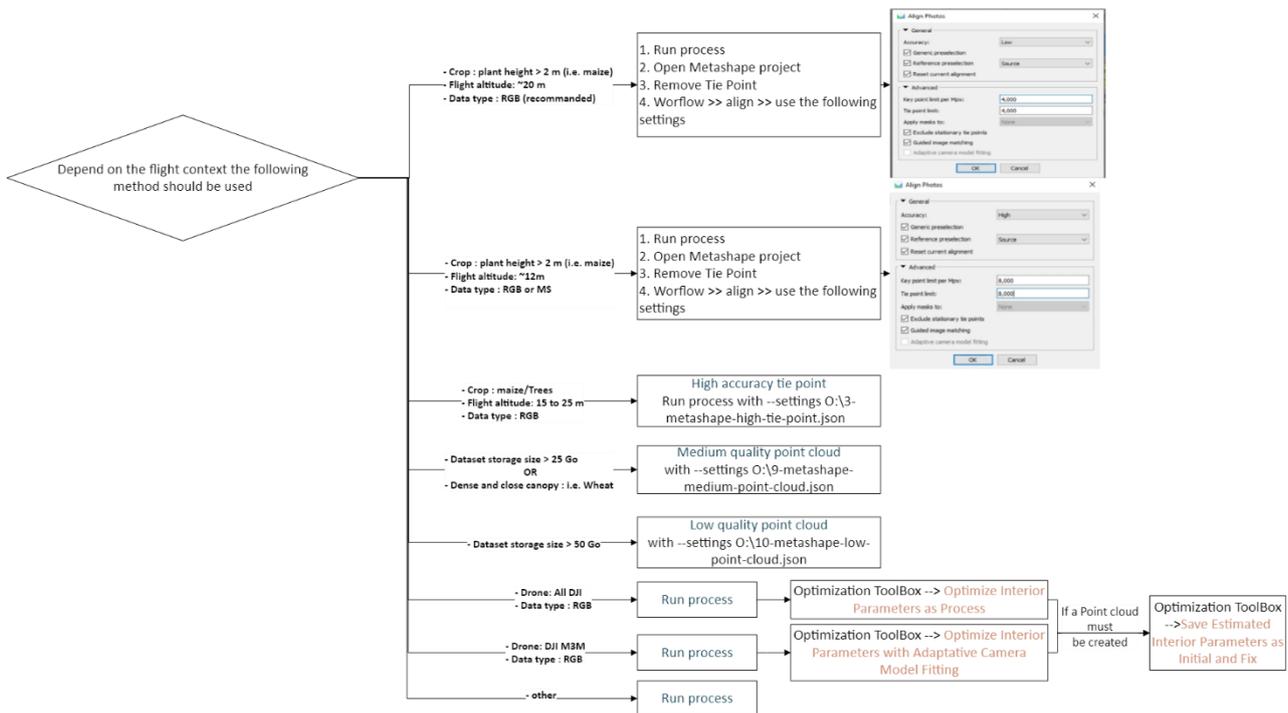
9. Feel free to write any comment.

Entrez votre réponse

Envoyer

Annexes

ANNEXE 6 - PRE-PARAMETRAGES ELABORES



<https://drive.google.com/file/d/1F4ynDrBngJ9kRAW1Gg6wNyqqq1gJXMNZ/view?usp=sharing>

ANNEXE 7 - TICKETS JIRA SPECIFIANT LES DEVELOPPEMENTS A REALISER POUR AMELIORER LE MODULE DE PHOTOGRAMMETRIE

- SE-1174 Ajouter dans le fichier settings le paramètre "guided images"
- SE-1175 Générer le dem et l'orthoimage depuis le tie point
- SE-1162 [photogram] Improve DJI RGB calibration
- SE-1189 Ajouter dans le fichier settings le paramètre "adaptive camera model fitting"
- SE-1190 Ajouter dans le fichier settings les paramètres de l'optimisation après alignement.
- SE-1214 Add aruco detection into calibration panel (MAPIR and Sentera)
- SE-1220 Ajouter dans le fichier settings le paramètre "hole filling" pour la génération d'une orthoimage
- SE-1221 Compatibilité avec la détection de GCP aruco
- SE-1222 Récupérer les paramètres optimisés dynamiquement lors de la création de dense cloud