

Applications des Drones en Expérimentation Agronomique

FRANTZ BOUDET

SYLPHAGRO S.A.S



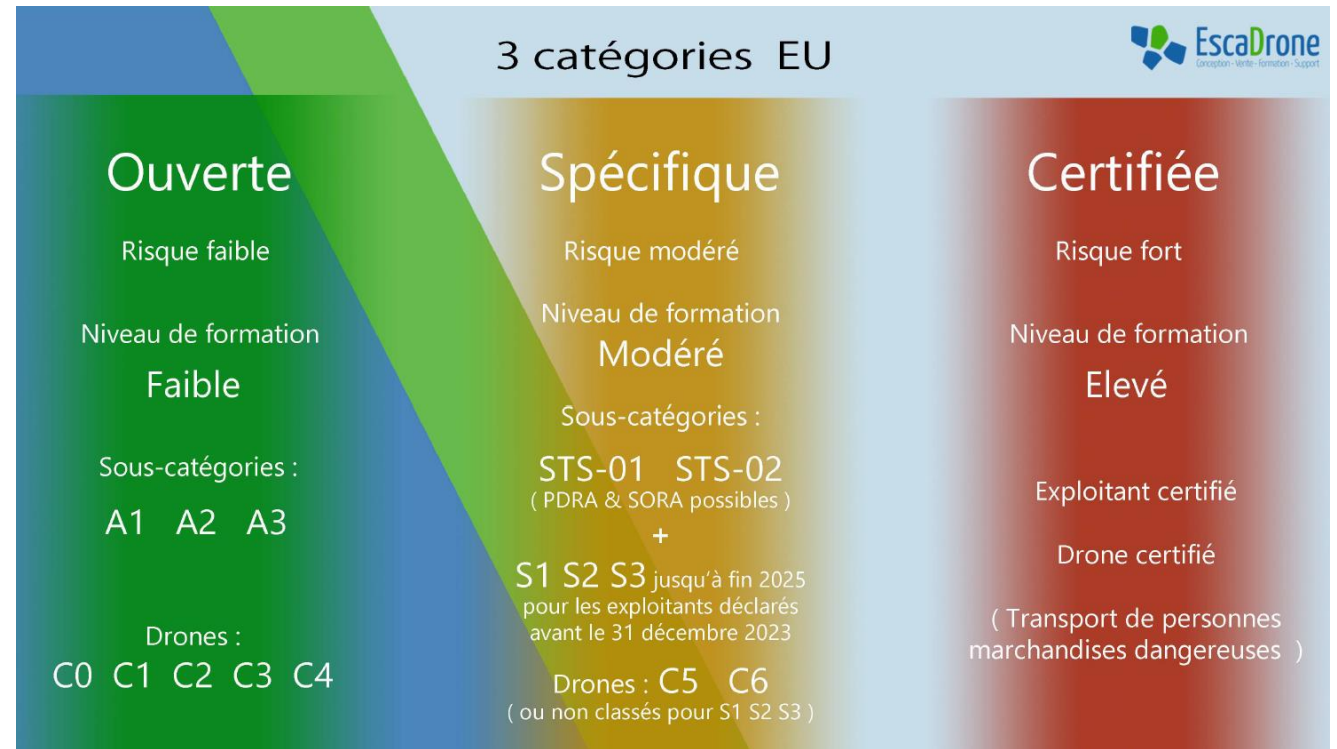
Réglementation - Safety first!

Une **phase de transition** entre les réglementations française et européenne du 1/01/2024 au 31/12/2025 pendant laquelle les 2 sont possibles

Une logique différente

- **Réglementation française** en fonction de l'activité (loisir, professionnelle, expérimentation)
- **Réglementation européenne** en fonction du niveau de risque (distance des tiers, poids du drone, vol en vue ou pas, épandage ou largage)

En conséquence, la majorité des drones d'observation au champ peuvent voler en **catégorie ouverte** (pas de Manex, formation réduite)



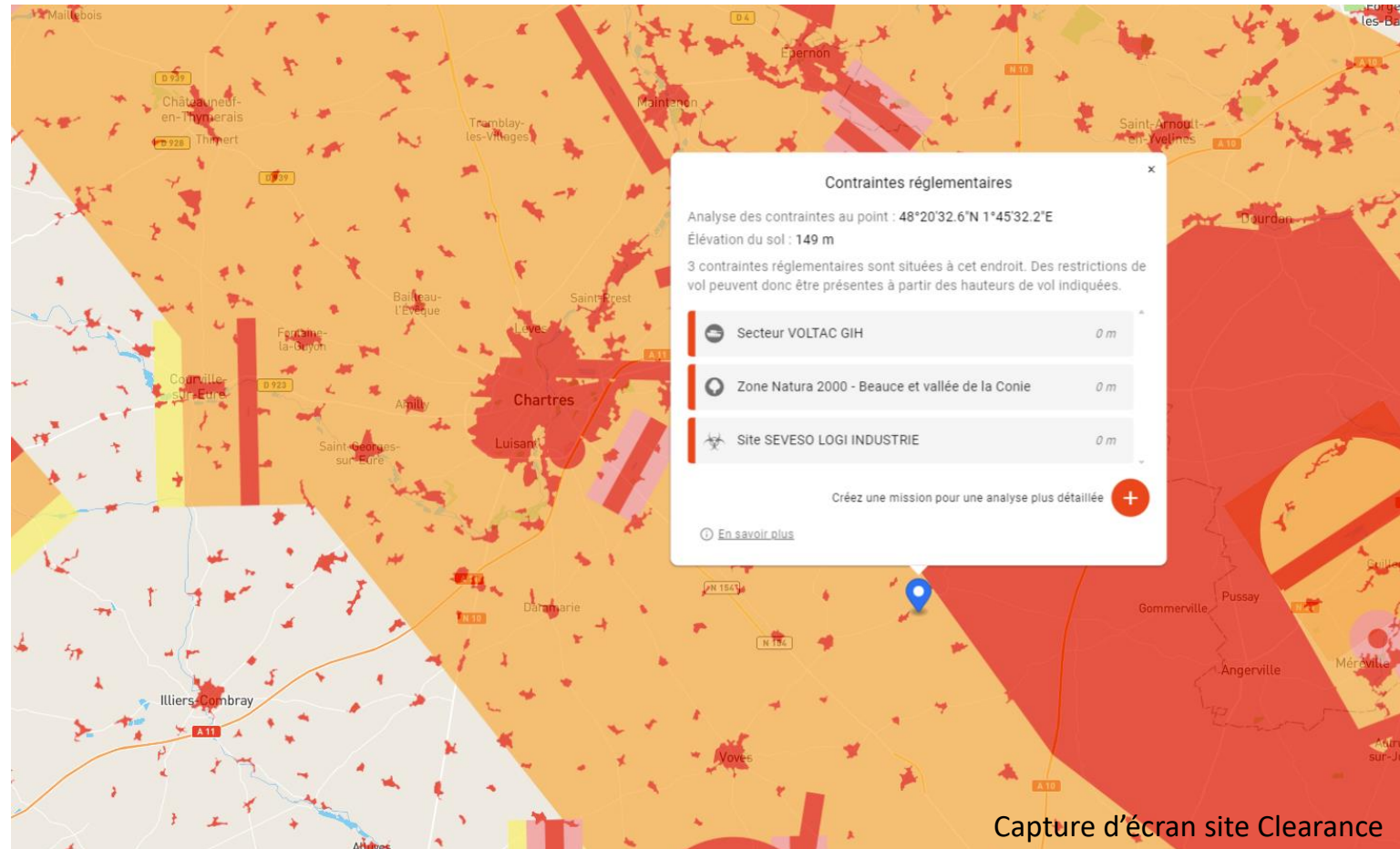
Réglementation - Safety first!

Au niveau national toutefois, le changement de réglementation ne modifie pas les **restrictions de vol** à proximité de zones sensibles

- Agglomérations
- Aérodromes, héliports
- Zones militaires
- Espaces réglementés (centrale nucléaire, prison, site industriel...)
- Parcs nationaux et réserves naturelles

Les notifications ou demandes d'autorisations sont à adresser aux autorités compétentes

Les sites spécialisés en préparation de vols comme **Drone Keeper** ou **Clearance** facilitent la prise en compte de ces contraintes et la réalisation des démarches administratives



Capture d'écran site Clearance

La télédétection

La lumière émise par le **soleil** (influence de la hauteur sur l'horizon), est transmise au travers de l'**atmosphère** (importance de la couverture nuageuse et de sa constance)

La lumière est absorbée et réfléchiée différemment par le **sol** et la **végétation**

Le **drone** ou **satellite** capture les longueurs d'ondes réfléchies par ces éléments

En dehors du domaine **visible** (400 à 700nm), ce sont les **infrarouges** entre 700 et 2500nm qui nous intéressent le plus pour l'analyse de la végétation

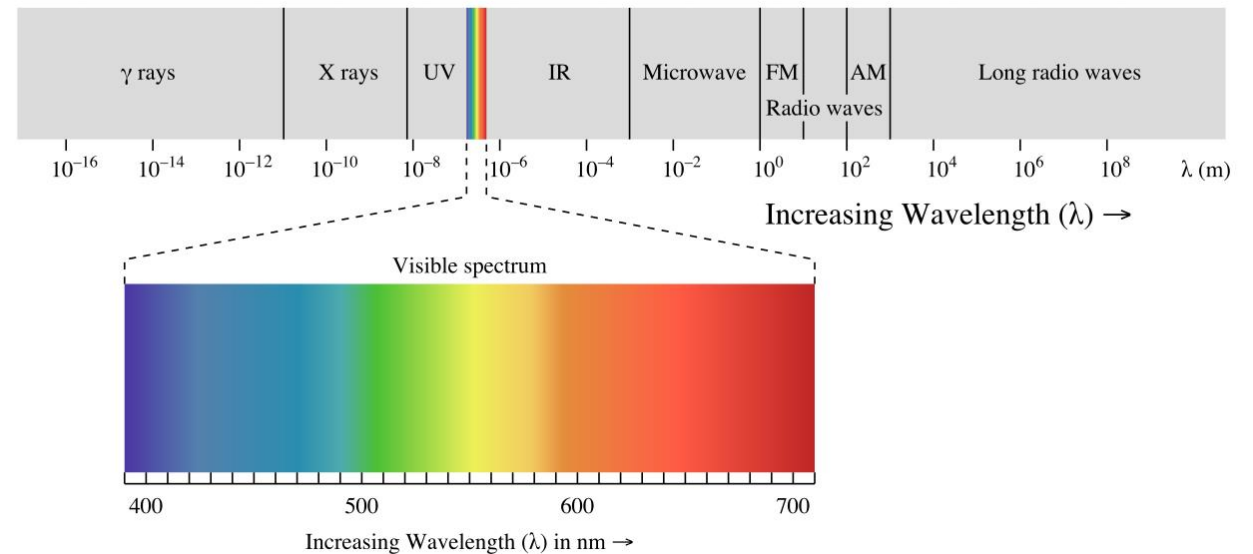
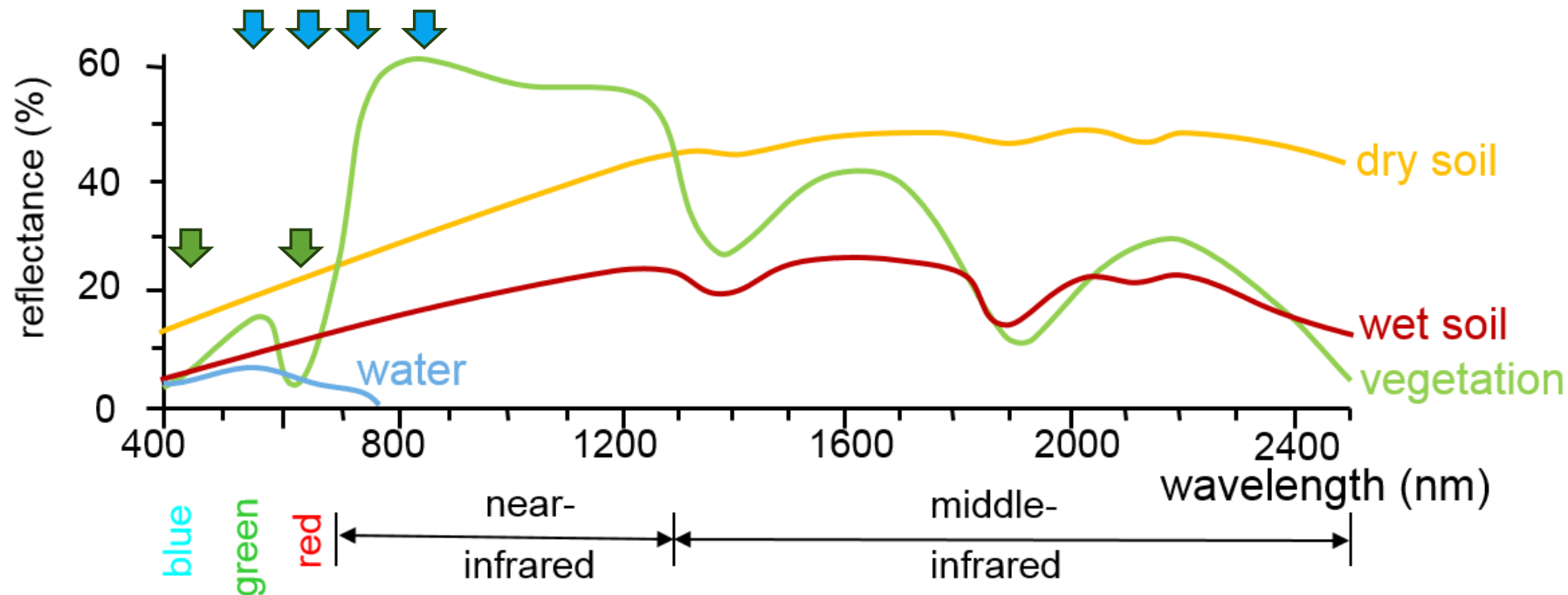


Figure: MOOC Wageningen

Les signatures spectrales

En télédétection, on mesure la quantité de lumière réfléchie ou **réflectance** en fonction de la longueur d'onde. La courbe de réflectance spectrale qui en résulte est appelée **signature spectrale**



↓ **Capteur MS Mavic 3M**
Vert (G) à 560 nm
Rouge (R) à 650 nm
Red Edge (RE) à 730 nm
Infrarouge Proche (NIR) à 860 nm

↓ **Absorption Chlorophylles**
Chlorophylle a
430nm (bleu) et 664nm (rouge)
Chlorophylle b
460nm (bleu) et 647nm (rouge)

Figure : MOOC Wageningen

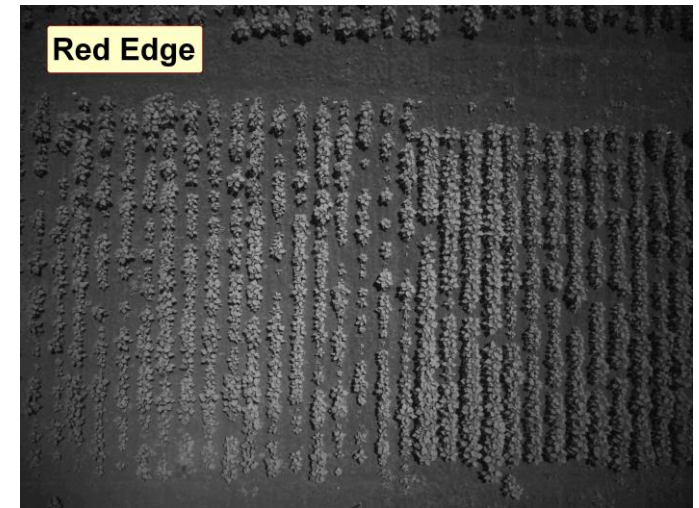
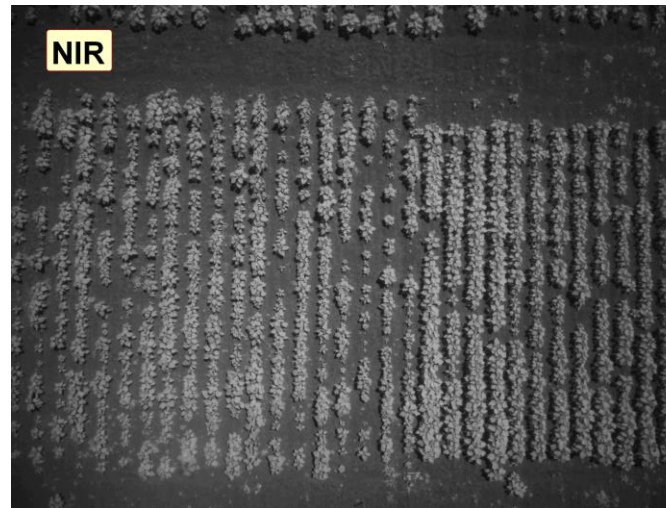
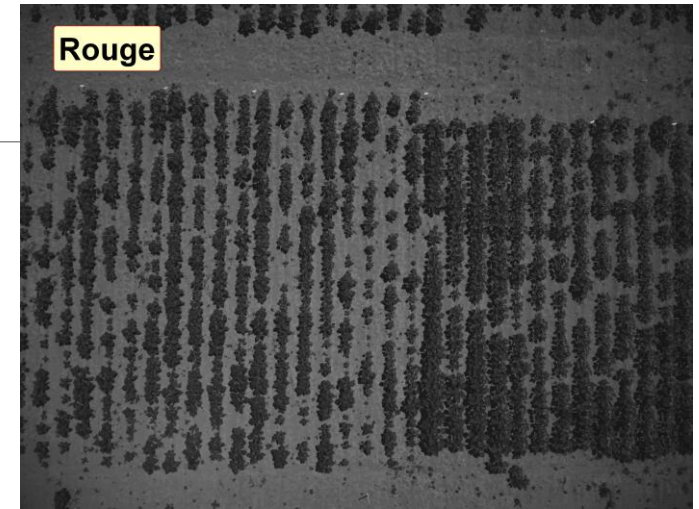
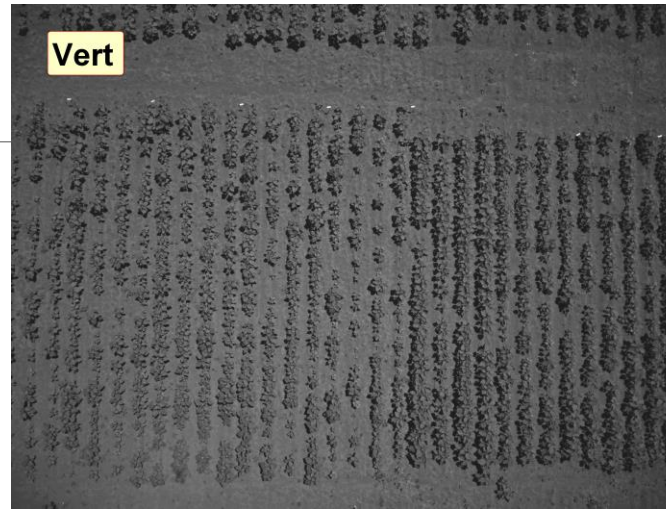
RVB et Multispectral



Illustration : essai tournesol en visible et multispectral avec le drone DJI Mavic 3M

Les plantes apparaissent très sombres dans le rouge (pic d'absorption des chlorophylles)

La réflectance des plantes augmente rapidement au passage dans le proche infrarouge (Red Edge et NIR)



Acquisition : les capteurs pour drones

Type de capteur	Caractéristiques principales	Exemples d'applications
RVB	Bandes spectrales Rouge Verte et Bleues Résolution élevée Similaire aux observations visuelles Coût faible	Suivi cultural Détection de mauvaises herbes Couverture foliaire
Multispectral	Bandes spectrales dans visible et infrarouge Résolution moyenne Coût moyen	Etat sanitaire Etat nutritionnel Mesure biomasse
Hyperspectral	Résolution spectrale élevée (100 bandes), spatiale faible Coût très élevé	Identification de maladies
Thermique	Résolution faible Mesure complexe Coût élevé	Gestion de l'irrigation Etat hydrique du sol Etat sanitaire
LiDAR	Mesure active: Laser scanne en 3D la structure du couvert végétal Coût très élevé	Forêts, vergers

Vecteurs d'acquisition – Satellite vs Drone

	Satellite	Drone
Avantages	Très larges surfaces couvertes Coût (dépendant du service, de gratuit à élevé)	Haute à très haute résolution (centimétrique à millimétrique) Moins sensible à la météo Fréquence de passage déterminée par l'exploitant
Inconvénients	Basse résolution (métrique à décimétrique) (Satellites Pleiade Néo = 30cm RVB, 1,2m en multispectral) Dépendant de la couverture nuageuse Fréquence de passage variable et contrainte	Surface couverte limitée Coût moyen

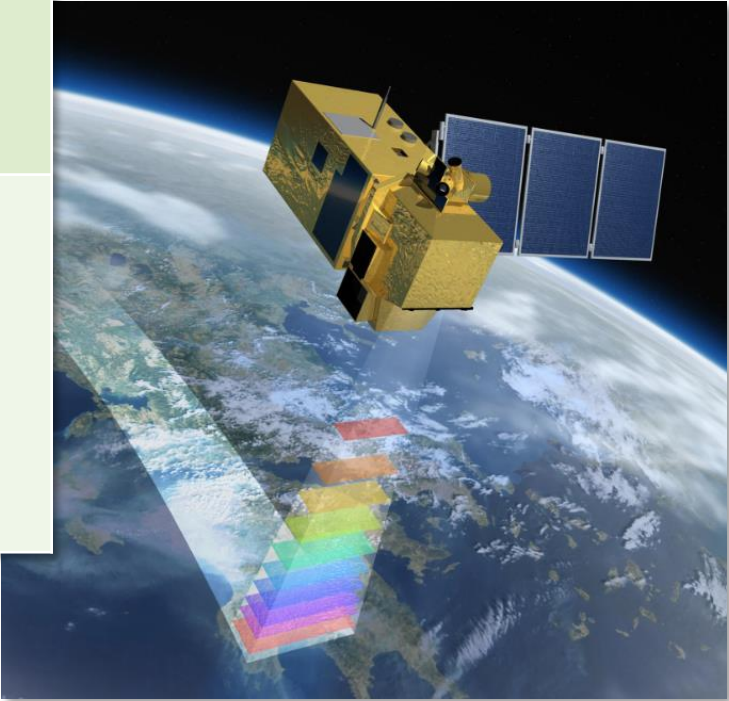


Image: CNES

Vecteurs d'acquisition – Voilures fixes vs Multicoptères

	Voilures fixes	Multicoptère
Avantages	Larges surfaces couvertes Rapidité Grande autonomie	Manœuvrabilité, décollage vertical Compacité Charges lourdes possibles Vol basse vitesse et faible altitude Coût, de faible à élevé
Inconvénients	Coût élevé Aire de décollage et atterrissage Pilotage + complexe	Surface couverte limitée Autonomie limitée



Image: Solvi.ag

Acquisition : le vol

Objectif: créer une **orthomosaïque** du champ survolé

- L'orthomosaïque est une **image** haute résolution, provenant de l'assemblage après **correction** géométrique et colorimétrique d'un grand nombre d'images (centaines ou milliers)
- L'orthomosaïque contient les informations de **géolocalisation** en 3D de chaque point du champ, et permet donc de visualiser à la demande une vue en 2D ou en 3D
- Ces données sont stockées dans un fichier .TIFF (Tagged Image File Format) qui comprend en plus des images toutes les informations nécessaires au positionnement dans l'espace



Image: DJI

Acquisition : le vol

- Les **paramètres du vol** déterminés par le télépilote (zone à survoler avec marges, hauteur, vitesse, chevauchement des images, paramètres de prise de vue...) sont saisis dans un logiciel sur PC, tablette ou la télécommande du drone en fonction de la configuration du système
- Le **vol** est réalisé en mode **automatique**, sous la surveillance permanente du télépilote
- De façon à assurer un **assemblage optimal** des images, le vol est programmé pour que les images se chevauchent de 70 à 80%, dans le sens du déplacement du drone (frontlap) et latéralement (sidelap)
- Technologie **RTK** : autorise le gain d'un facteur 100, de métrique à centimétrique, sur la précision du positionnement vs systèmes de localisation type GPS seuls
- Les images stockées par le drone durant le vol sont vérifiées et sauvegardées à la fin du vol

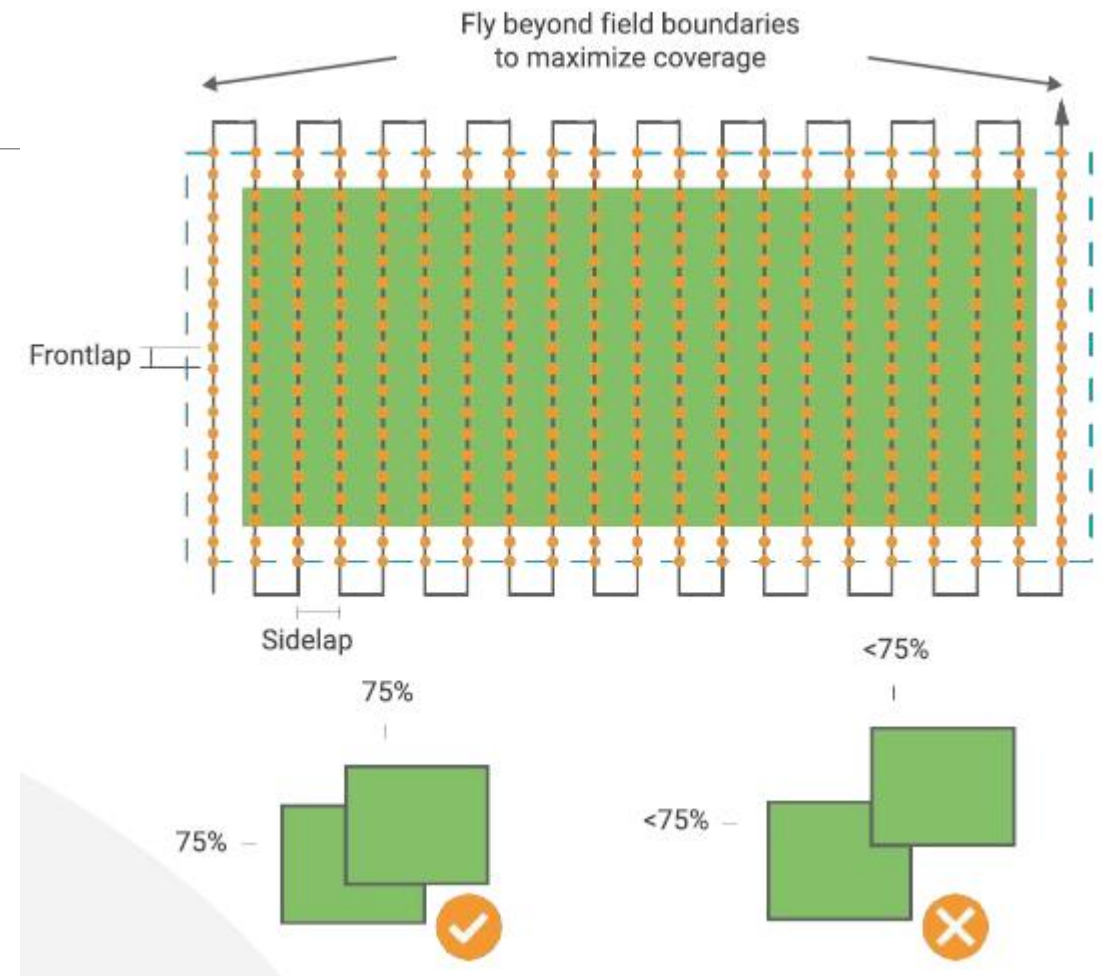
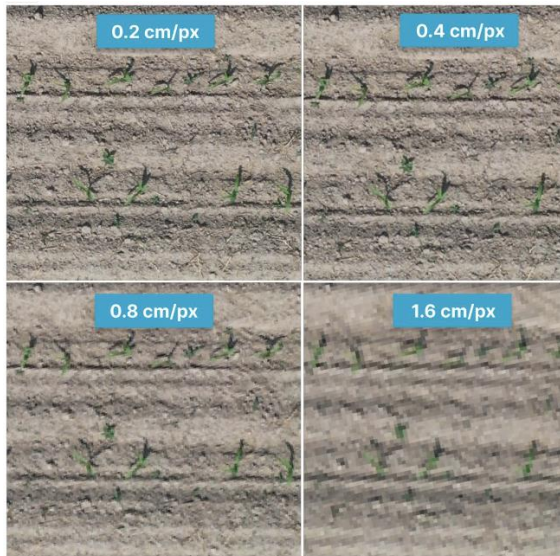
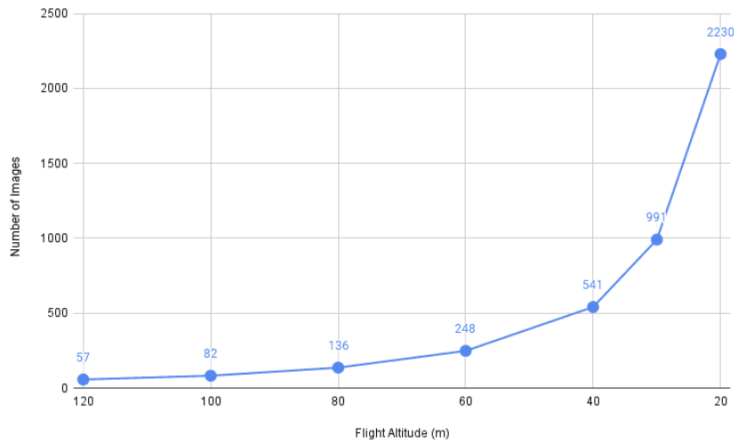


Figure : Solvi.ag

Number of Images at Different Altitudes for a 10 ha Field with DJI Phantom 4 Pro



Jeunes plants
de maïs
observés avec 4
valeurs de GSD

Acquisition : résolution spatiale

La **résolution au sol** est mesurée par le **GSD** (Ground Sample Distance)

Le GSD est l'écart entre les centres de 2 pixels de l'image, c'est-à-dire la taille d'un seul pixel. Il représente la quantité de détails de la scène réelle capturée par pixel de l'image

Le GSD doit être adapté au phénotypage visé. Un GSD faible = plus de détails de la culture, mais aussi...

- Vol plus long, plus de changements de batteries nécessaires
- Plus de photos à stocker et à traiter (voir graphique)

Figures : Solvi.ag

Orthomosaïque

L'assemblage logiciel des images enregistrées dans le rayonnement visible ou proche infrarouge permet donc de créer une **représentation 2D** corrigée de haute précision ...

Ci-contre: orthomosaïque complète et zoom dans l'image avec un GSD = 0,41cm/pixel



Orthomosaïque

... sans oublier que le fichier .TIFF contient en plus des images toutes les informations nécessaires au positionnement dans l'espace des points de l'image, permettant par exemple une **représentation 3D**

Ci-contre: image 3D calculée avec DJI Terra



Traitement d'image : Agriculture de précision

Certains **logiciels de photogrammétrie**, en plus des applications dans les domaines de l'architecture ou des travaux publics, proposent des outils pour l'agriculture de précision

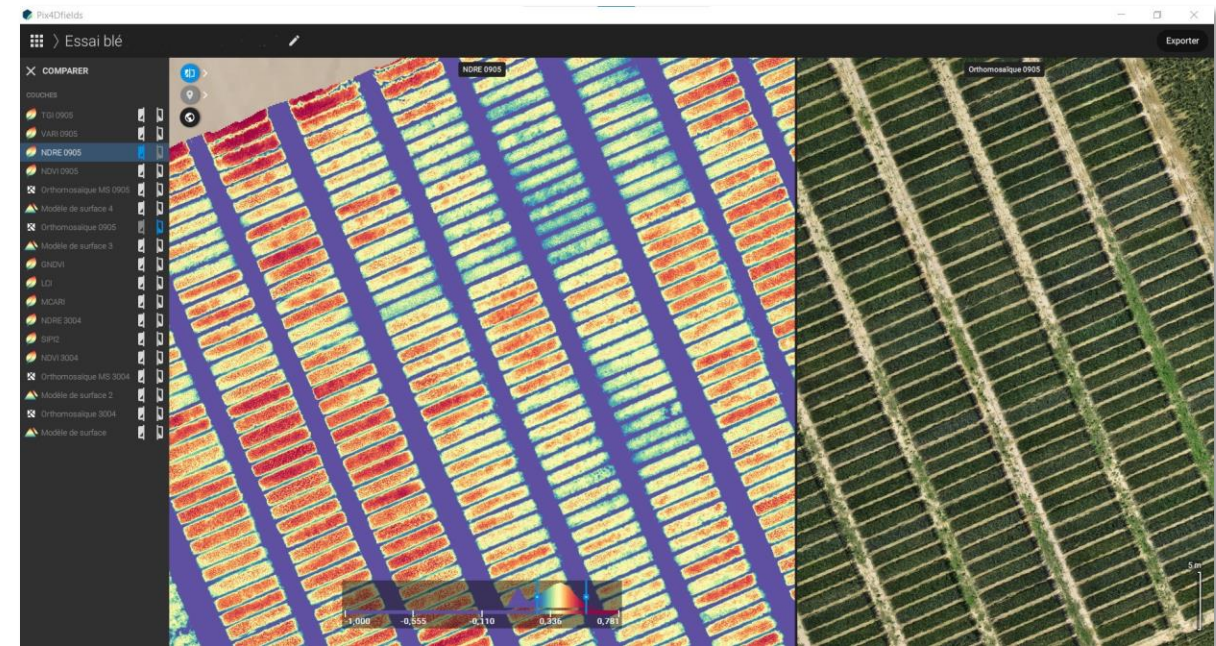
C'est le cas de **Pix4DFields**, logiciel de l'éditeur Pix4D qui propose

- Calcul rapide et sans connexion internet d'une orthomosaïque
- Calcul et visualisation d'indices de végétation
- Outils (dont IA) pour délimitation de zones
- Cartes de modulation de fertilisation ou traitement

Le logiciel **DJI Terra** a de même une version agricole, avec des fonctionnalités moins élaborées que Pix4D à ce stade

A noter aussi les **plateformes internet pour l'agriculture de précision** qui proposent aux agriculteurs des conseils en matière de fertilisation, irrigation, traitements et désherbage à partir de données météo, satellites et drones (par ex. Abelio, Agrodron, L'avion jaune, Wanaka...)

Ces solutions ne sont toutefois pas adaptées à l'analyse d'essais en micro-parcelles



Capture d'écran Pix4DFields

Traitement d'image : Plateformes d'analyse d'essais

Plusieurs sociétés proposent des **plateformes web** pour traiter de A à Z les images capturées par un drone, et délivrer une grande variété de données

Alteia

Agremo

Cloverfield (Hiphen)

MapEO (Vito)

Pheno-Inspect

Solvi

On retrouve des **services communs** pour ces plateformes qui, dans le détail, ont des fonctionnements différents

- Import des images brutes (ou d'orthomosaïque issue d'un autre logiciel)
- Construction de l'orthomosaïque sur le site
- Vectorisation des micro-parcelles
- Visualisation et export des analyses par micro-parcelle

solvi



hiphen
Agricultural Imaging Solutions

 **agremo™**



Alteia

 **MAPEO**
PHENOTYPING

Quels avantages des notations par drone?

Réaliser plus rapidement les notations existantes

- En faire plus, plus systématiquement

Standardiser les notations

- Supprimer l'effet notateur
- Appliquer la même méthode pour toutes les équipes et toutes les géographies

Les données de base sont sauvegardées

- Possibilité de recalculer les notations en cas de doute
- Valider a posteriori un nouvel algorithme

Explorer de nouveaux caractères

- Exploiter les informations en dehors du spectre visible

Les 2 diapositives suivantes compilent des notations pouvant être réalisées à partir d'images de drone

Les caractéristiques générales des données d'entrée et méthodes de traitement d'images sont précisées

Panorama des analyses

	Notation	Données d'entrée et méthodes
Qualité parcellaire	Comptages de plantes	Images RVB haute résolution Algorithmes d'Intelligence Artificielle (IA) pour identifier les plantes
	Mesures de manques	
	Effets de bordure	
	Distinction de mauvaises herbes	
	Note de qualité parcellaire	
Stades précoces	Vigueur	Images RVB + MS Résolution moyenne
	% couverture	
Phase végétative	Indices de végétation	Images RVB + MS Résolution moyenne
Floraison	Détection de l'épiaison	Images RVB Apport de l'IA selon culture
	Quantification de l'épiaison	
	% de floraison	

Panorama des analyses

	Notation	Données d'entrée et méthodes
Stress biotiques	Détection indirecte via des indices de végétation + expertise champ	
	Détection directe via des images RVB très haute résolution	
Stress abiotiques	Stress thermique	Images RVB + MS + thermique
	Stress azote	
Accidents de végétation	Verse	Images RVB + MS
	Green snap	
Hauteur et Biomasse	Hauteur	Images RVB + MS Haute précision du positionnement, RTK + GCP (points de contrôle au sol)
	Hétérogénéité de hauteur	
	Biomasse	
Avant récolte	Classes de maturité	Images RVB + MS
	Sénescence	
	Stay green	
Maturité	Comptage d'épis ou autres organes	Images RVB très haute résolution Apport de l'IA

Indices de Végétation - Principes

Très souvent mis en œuvre en agriculture de précision et en analyse d'essais, l'**indice de végétation** (IV) est un calcul spectral effectué à l'aide des différentes bandes de nos données sources (une orthomosaïque dans ce cas). Il résulte d'un ensemble d'opérations à partir des différentes bandes spectrales (couches) d'une image

Exemple : **Excess Green (ExG)** – Distingue le sol de la végétation

- Indice calculé à l'aide de données RVB
- Pour chaque pixel de l'image, les bandes rouge, verte et bleue ont une valeur entre 0 et 255. Dans la figure ci-contre à gauche, nous avons une image composée de 4 pixels, avec les valeurs de chaque bande
- Formule de $\text{ExG} = 2 \times G - (R + B)$
- Dans la matrice calculée, à droite, le pixel en haut à gauche prend la valeur: $\text{ExG} = 2 \times 210 - (90 + 44) = 286$
- Dans cette nouvelle matrice on peut filtrer les valeurs de pixels > seuil de façon à mettre en évidence la végétation



Source : MOOC Wageningen

Les Indices de Végétation - Exemples

Abbréviation	Nom	RVB/MS	Formule	Applications
GLI	Green Leaf Index	RVB	$(2 \times G - R - B) / (2 \times G + B + R)$	Différencie sol et végétation Indicateur de la teneur en Chlorophylle
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index	RVB	$(G - R) / (G + R - B)$	Accentue les zones de végétation sur les images en RGB Peu sensibles aux différences d'éclairage et aux conditions atmosphériques
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	MS	$(NIR - R) / (NIR + R)$	Le plus courant des IV Bonne mesure de la santé et de la biomasse des plantes en milieu de saison, sature en fin de développement. Peu sensible aux conditions d'éclairement
NDRE	Normalized Difference Red Edge	MS	$(NIR - Redge) / (NIR + Redge)$	La bande Red-Edge est très sensible aux teneurs en chlorophylle moyennes à fortes Bon indicateur de santé des plantes de milieu à fin de développement Pour mesurer le stress azoté, et créer des cartes d'application d'azote à taux variables
OSAVI	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	MS	$((1 + 0,16) \times (NIR - R)) / (NIR + R + 0,16)$	Prend en compte la réflectance du sol Utile à un stade précoce de développement, pour évaluer la qualité de levée

Pour aller plus loin

MOOC de Wageningen

<https://www.wur.nl/en/show/drones-for-agriculture-prepare-and-design-your-drone-uav-mission.htm>

DB Indices de végétation

<https://www.indexdatabase.de/info/idb.php>



Online

**MOOC Drones for Agriculture:
Prepare and Design Your Drone
(UAV) Mission**

SYLPHAGRO

Le site Internet www.Sylphagro.fr

- Articles
- Bibliographie
- Matériel
- Prestations

Des news sur [LinkedIn](#)

www.linkedin.com/in/frantz-boudet-3244b720

