

150 ANS



Données satellitaires : usages, potentialités et limitations

Yannick Curnel

Unité « Agriculture, Territoire et intégration technologique »

Cycle de formation WALDIGIFARM « Fertilisation assistée par satellites en Wallonie »

Partie 1 – « Des satellites aux cartes »



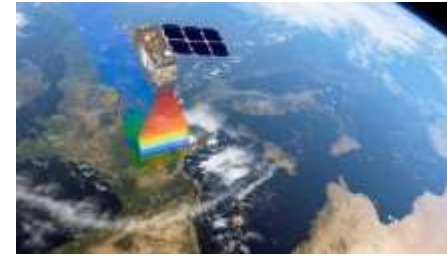
Distillerie de Biercée (Thuin) – 08/02/2022



Téledétection active vs passive (rappel)

Un satellite = un vecteur et un « capteur »

Un capteur peut être **actif** (émetteur/récepteur) ou **passif** (récepteur)

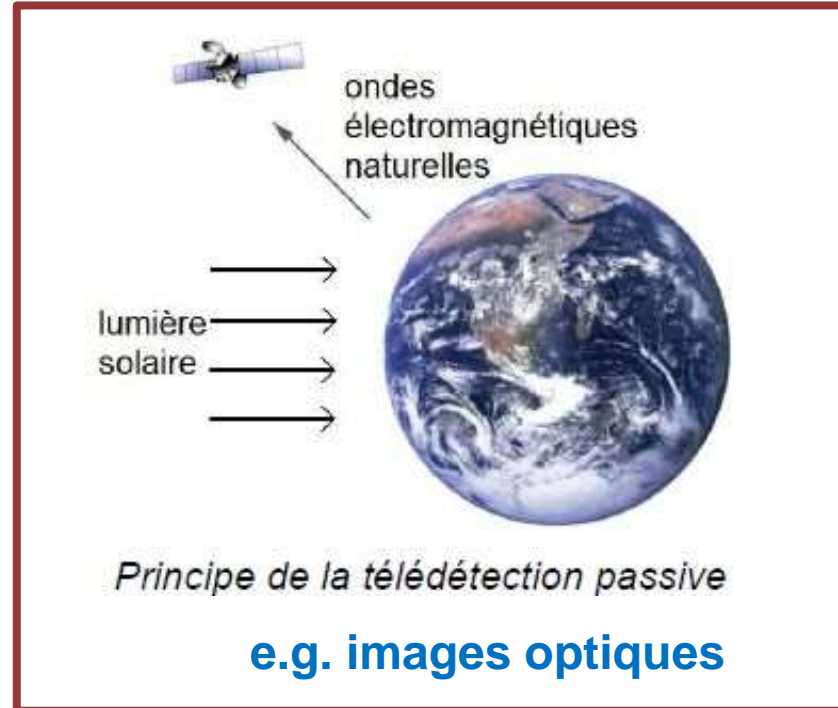


Instrument MSI embarqué dans le satellite Sentinel-2
source : Airbus Defence and Space



Principe de la télédétection active

e.g. images radar



Principe de la télédétection passive

e.g. images optiques

Les images optiques
sont celles
principalement
utilisées en
fertilisation azotée

Téledétection active vs passive

★ : Vous êtes ici

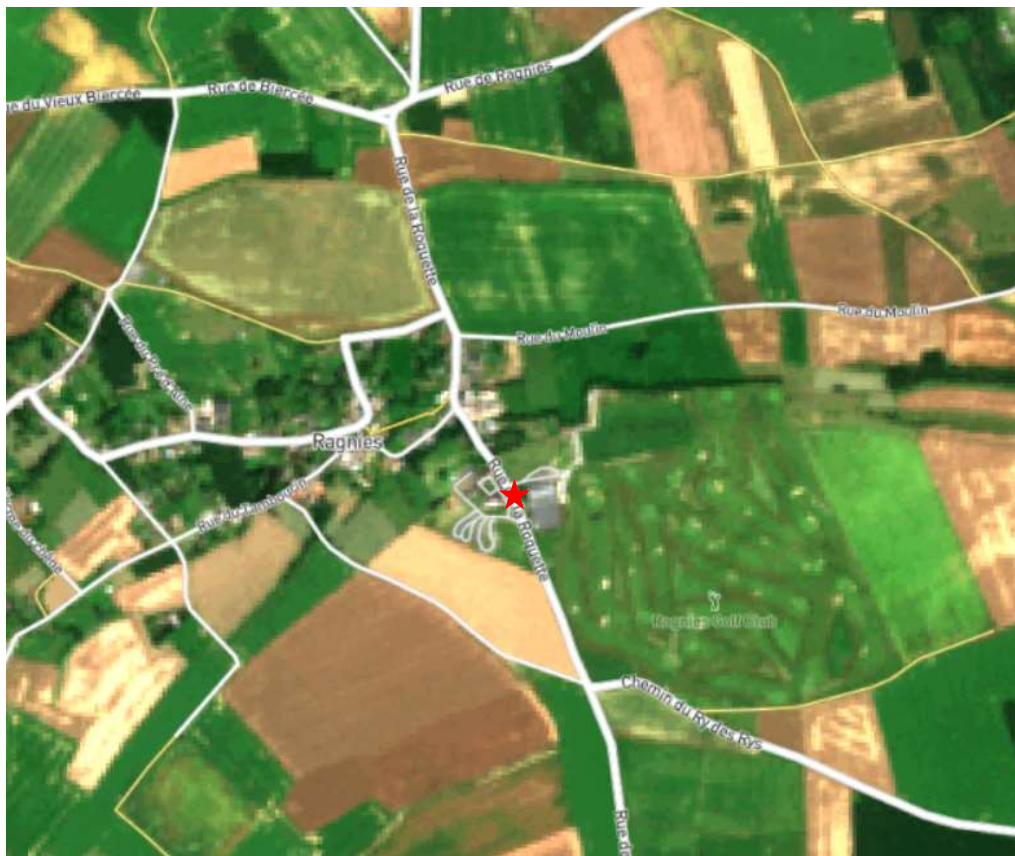


Image (RGB) Sentinel-2 du 21/07/2021
Image optique (passif)

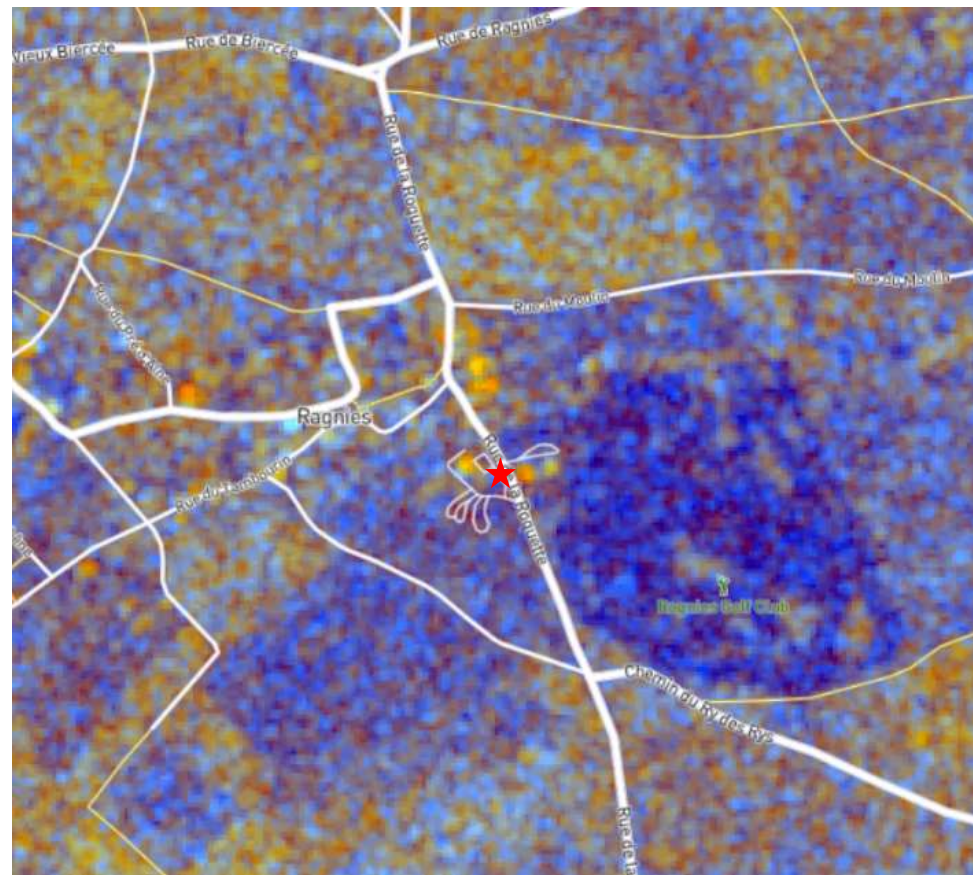
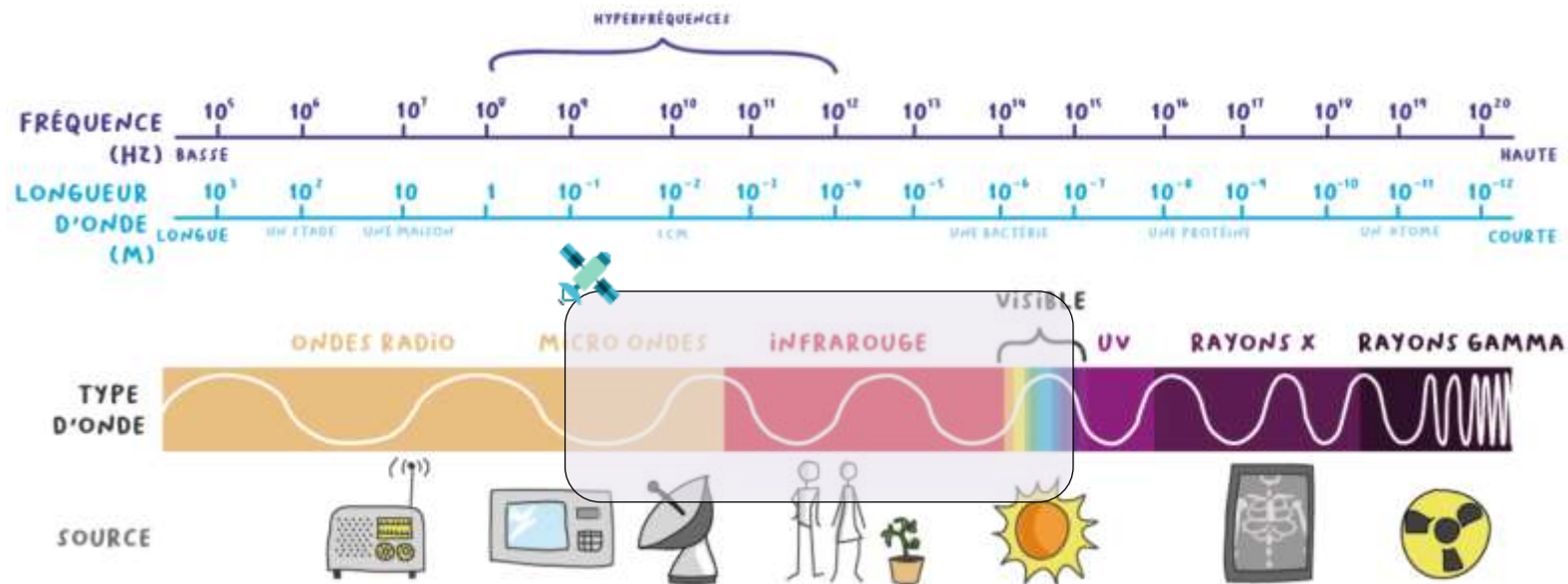


Image (GRD) Sentinel-1 du 21/07/2021
Image radar (actif)

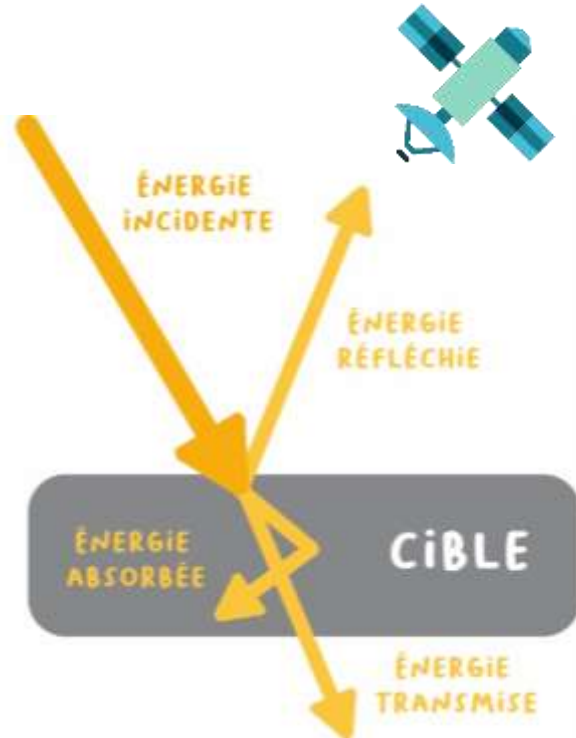
Notions de télédétection spatiale (optique)

- Le soleil émet un rayonnement (« énergie ») qui se propage sous forme **d'ondes**
- Ce rayonnement et les différentes ondes qui le composent sont représentés sous la forme d'un **spectre électromagnétique**. Les ondes sont caractérisées par leurs longueurs d'onde et leurs fréquences (les 2 sont inversement proportionnelles)



source: "Fiche "Comprendre une image satellitaire" GéoBretagne, texte et illustrations GIS BreTel"

Notions de télédétection spatiale (optique)



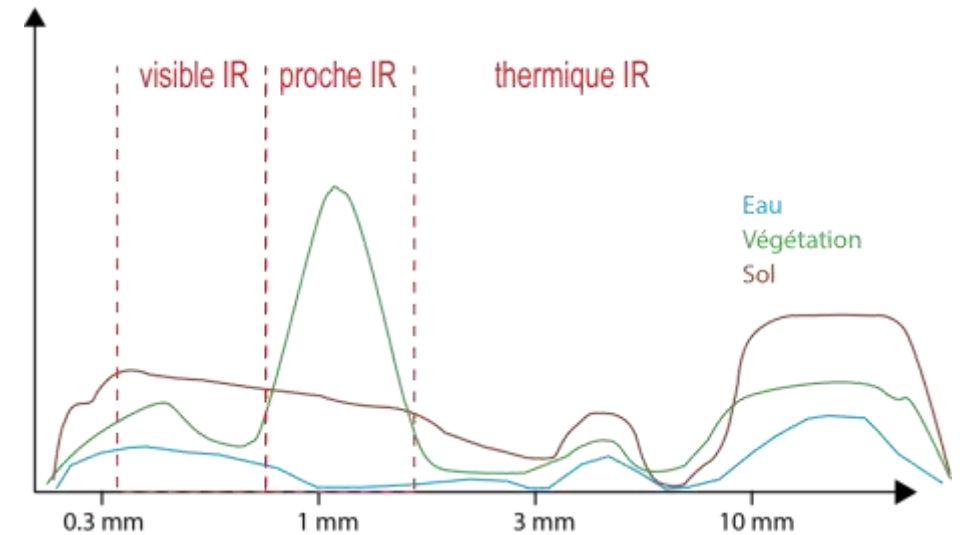
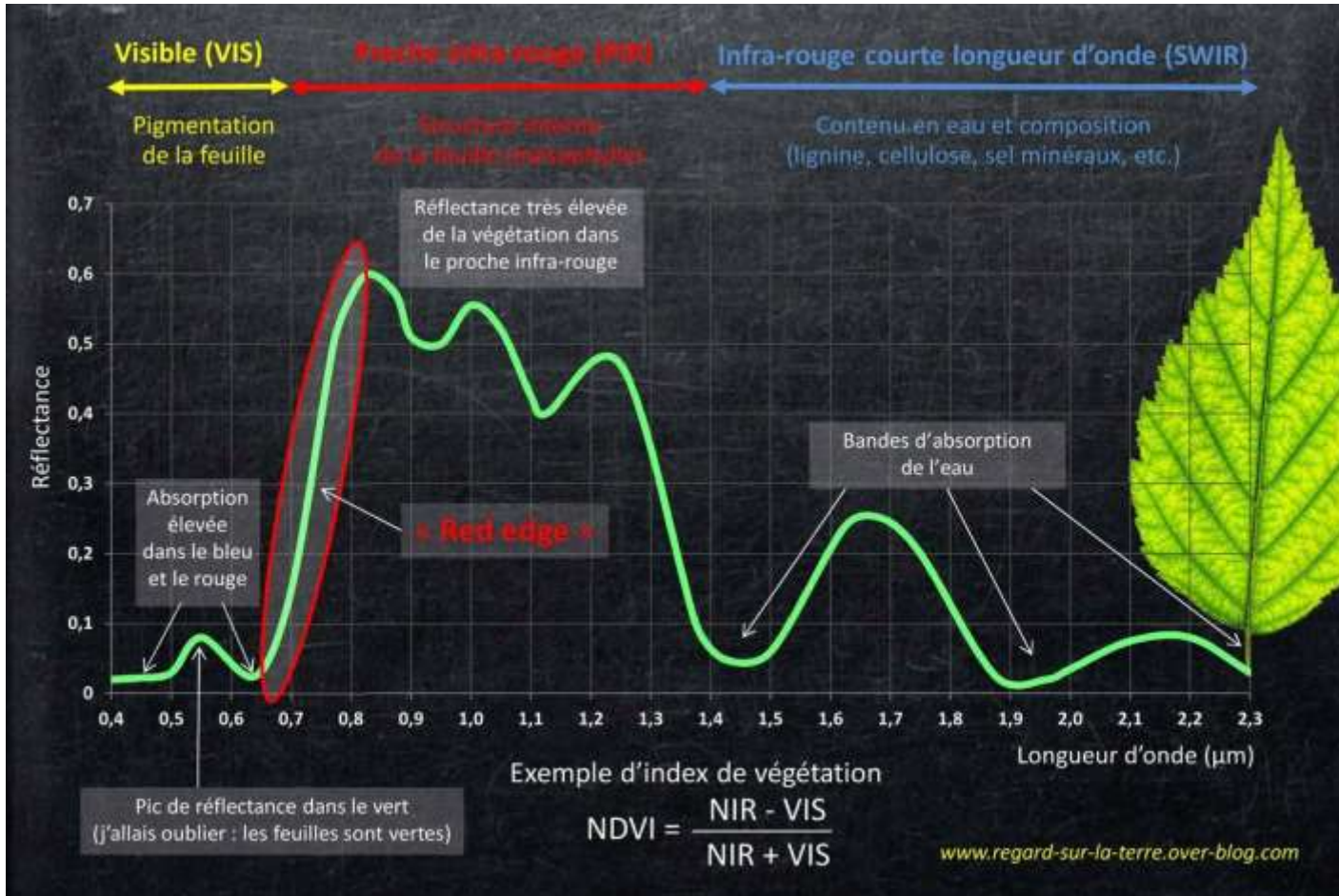
Source: "Fiche "Comprendre une image satellitaire"
GéoBretagne, texte et illustrations GIS BreTel"

- Le rayonnement solaire arrivant sur une plante est :
 - en partie **absorbée** (~**75%**)
 - 3% pour la photosynthèse,
 - 96% dissipé,
 - 1% fluorescence chlorophyllienne
 - en partie transmise (~**15%**)
 - en partie réfléchi (~**10%**)



Les satellites mesurent la part de l'énergie réfléchi

Signature spectrale



Source: eo.belspo.be

Chaque cible a sa signature propre !

Signature spectrale

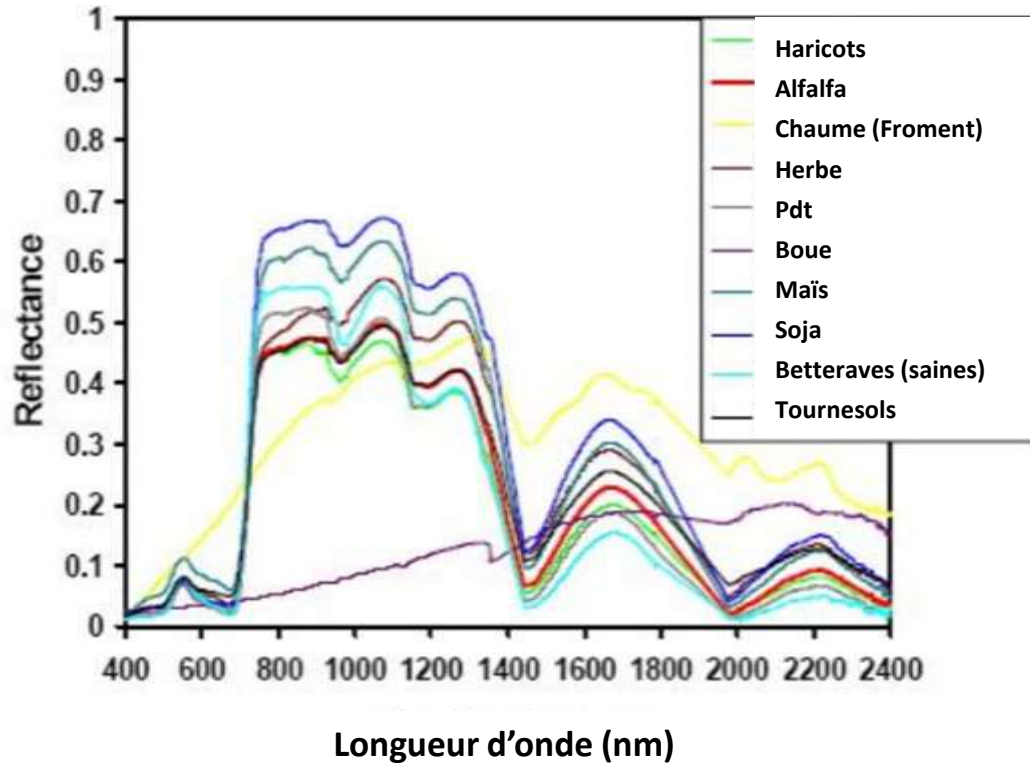
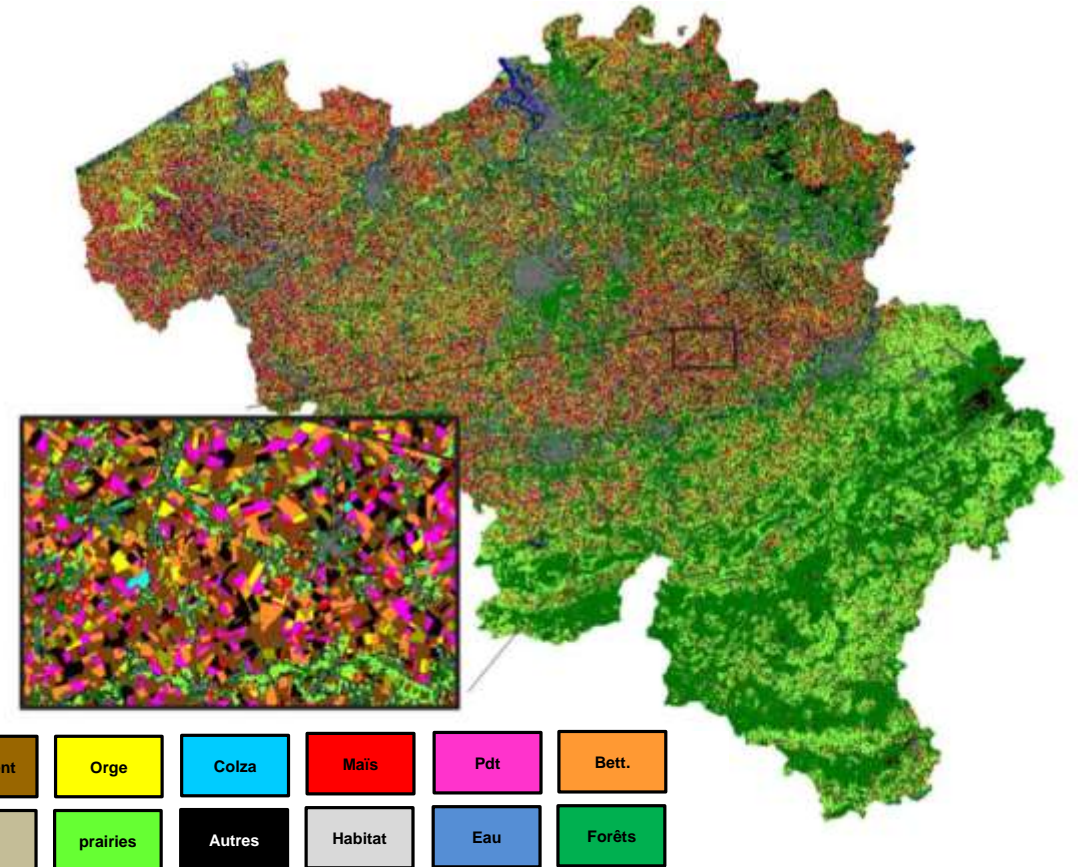


Figure 2. Spectral signatures of crops and soil (Kyllo, 2003).

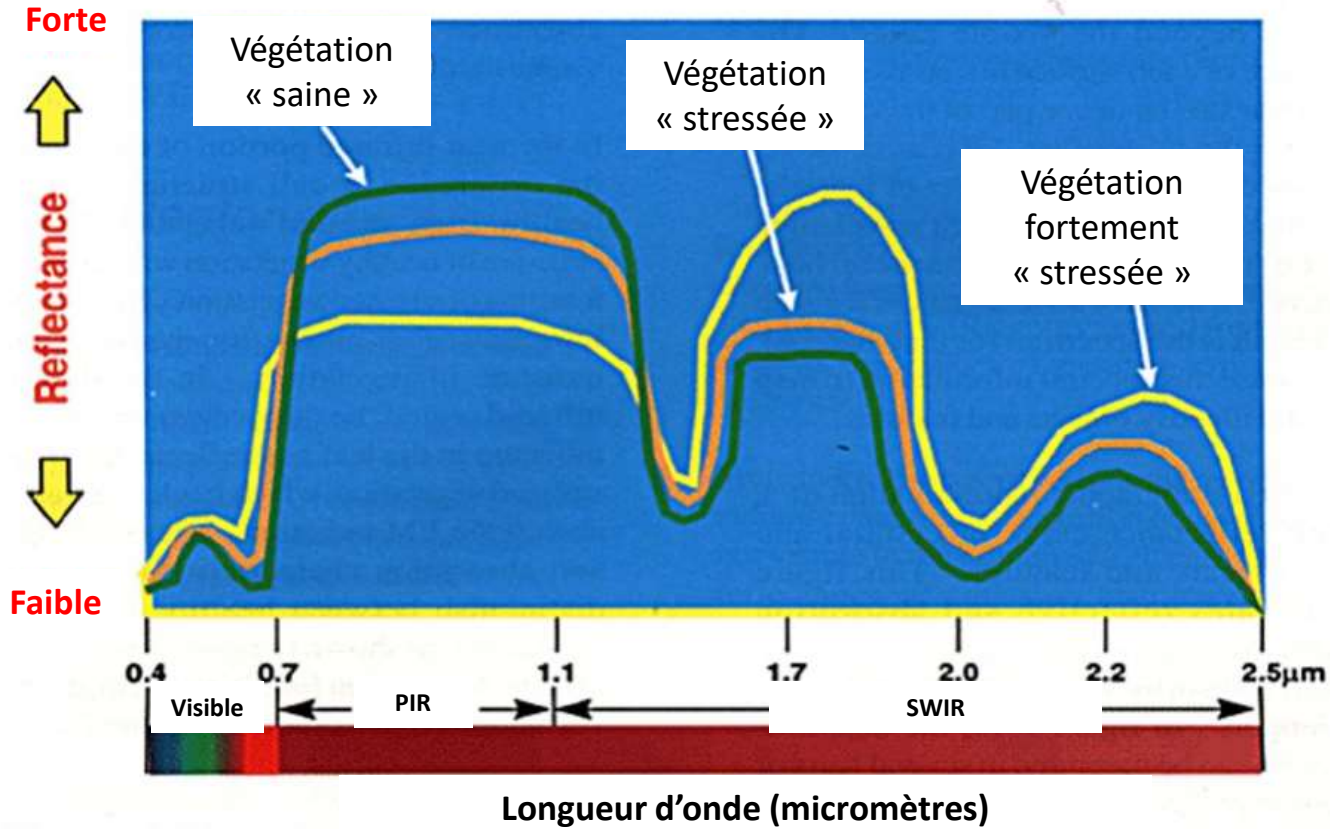
Rem: + différences phénologiques

Exemple de valorisation: *Classification des cultures*

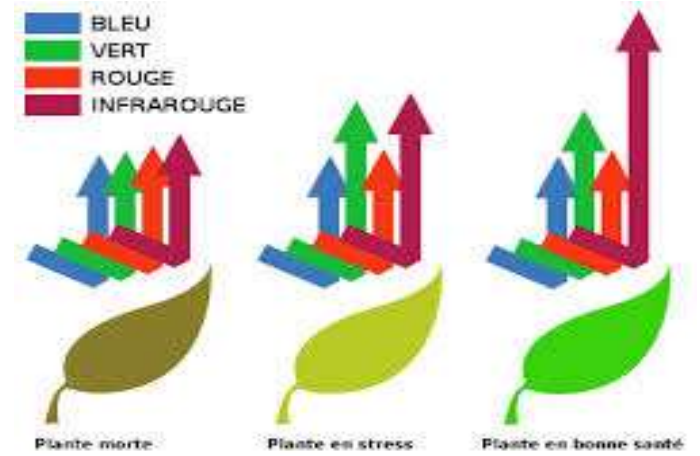
(+ radar)



Indices de végétation



Le NDVI est l'indice de végétation le plus souvent utilisé (indicateur de **biomasse**)



Réflectance d'un couvert

SAIN

EN STRESS

50% PIR

8% R

40% PIR

30% R

NDVI = 0,72

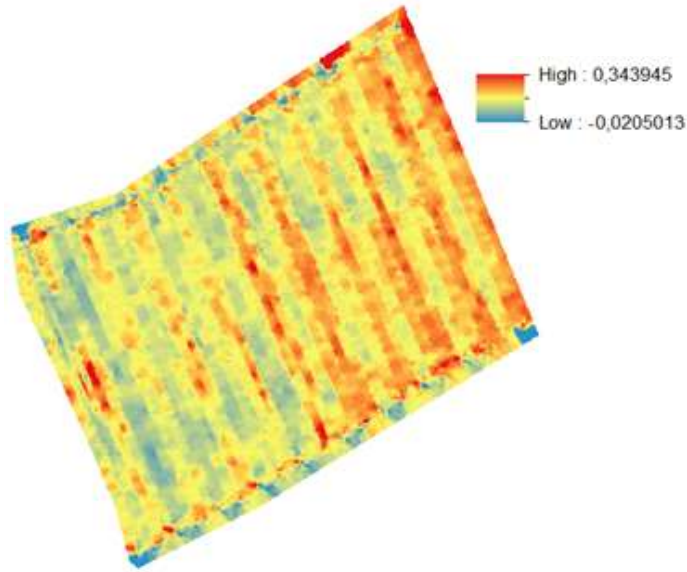
NDVI = 0,14

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

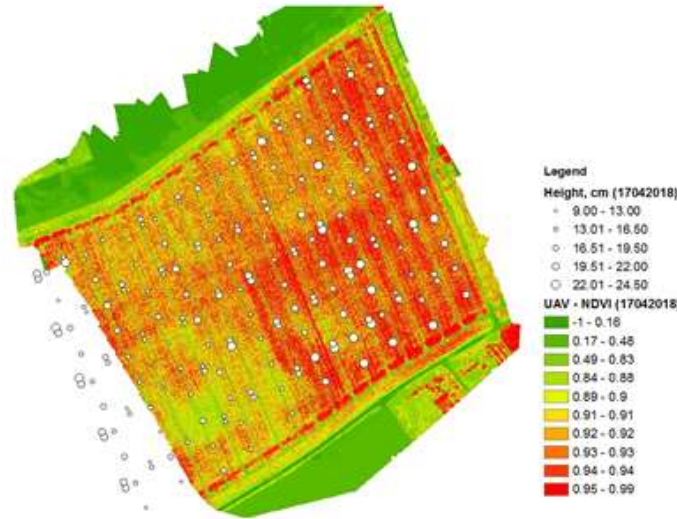
R = Réflectance dans le rouge

PIR = Réflectance dans le proche infra-rouge

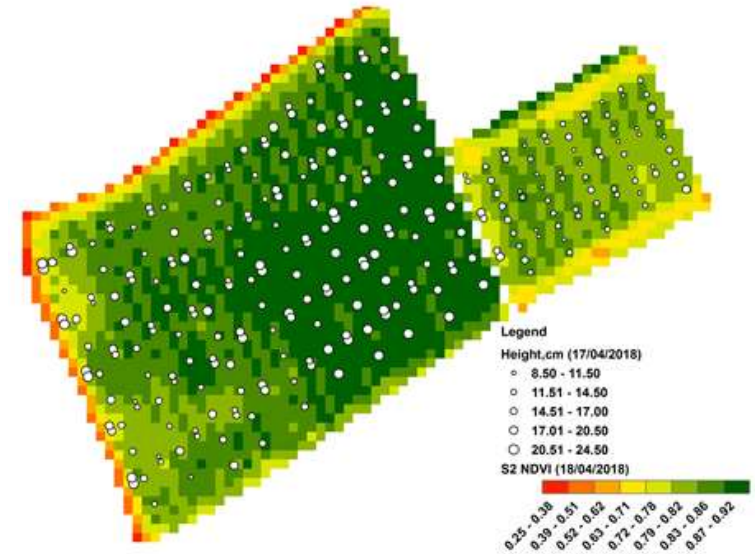
Indices de végétation (NDVI)



Hauteur de culture estimée (17/04/2018)



NDVI (UAV) -17/04/2018



NDVI (S2) -18/04/2018

(! Inversion de la couleur dans les échelles)

Indices de végétation (NDVI)

Le NDVI est un indicateur intéressant mais présente **quelques limitations** :

- Saturation lorsque la couverture végétale est importante
- Influence de la réflectance du sol (surtout en début de saison)
- Influence de l'angle de prise de vue / l'exposition au soleil (variation en fonction de la date de prise de vue)

De nombreux autres indices ont été développés (corrigeant l'effet du sol, etc)

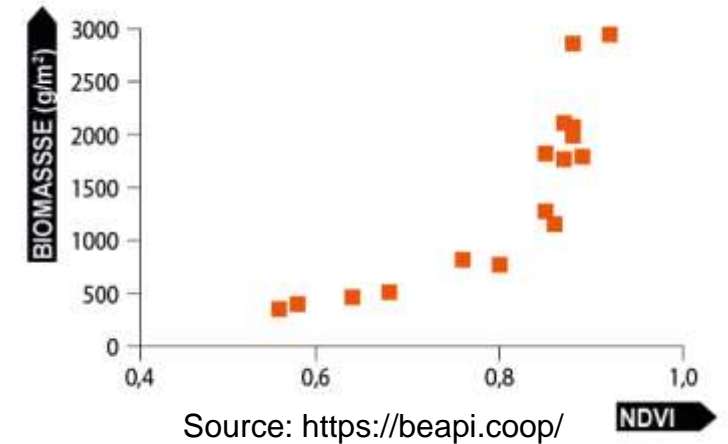
- e.g. 249 indices répertoriés pour Sentinel-2 (www.indexdatabase.de)

Le choix de l'indice en fonction de l'objectif

- e.g. NDWI sensible au contenu en eau de la végétation (plus pertinent que le NDVI pour le suivi des sécheresses).

$$NDWI = \frac{PIR - SWIR}{PIR + SWIR}$$

SWIR : bandes d'absorption de l'eau

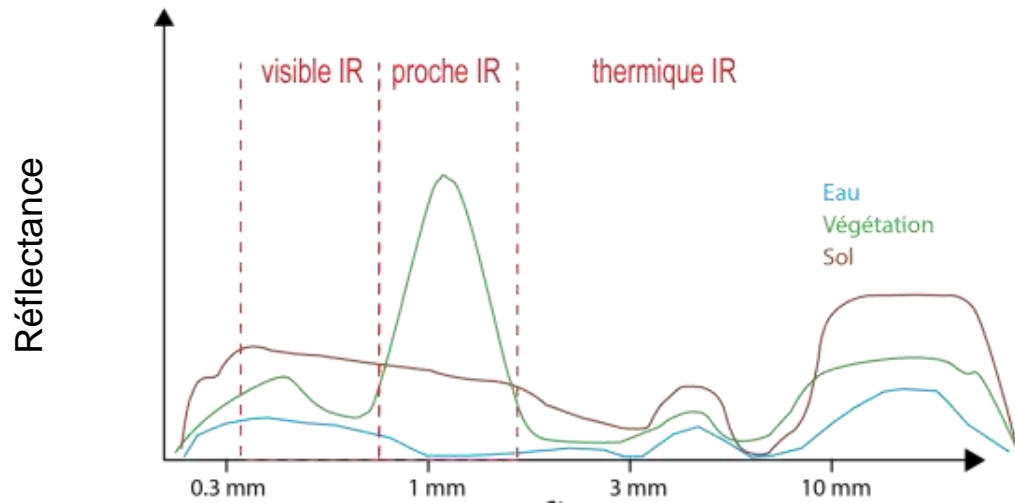


Quelques exemples d'indices de végétation

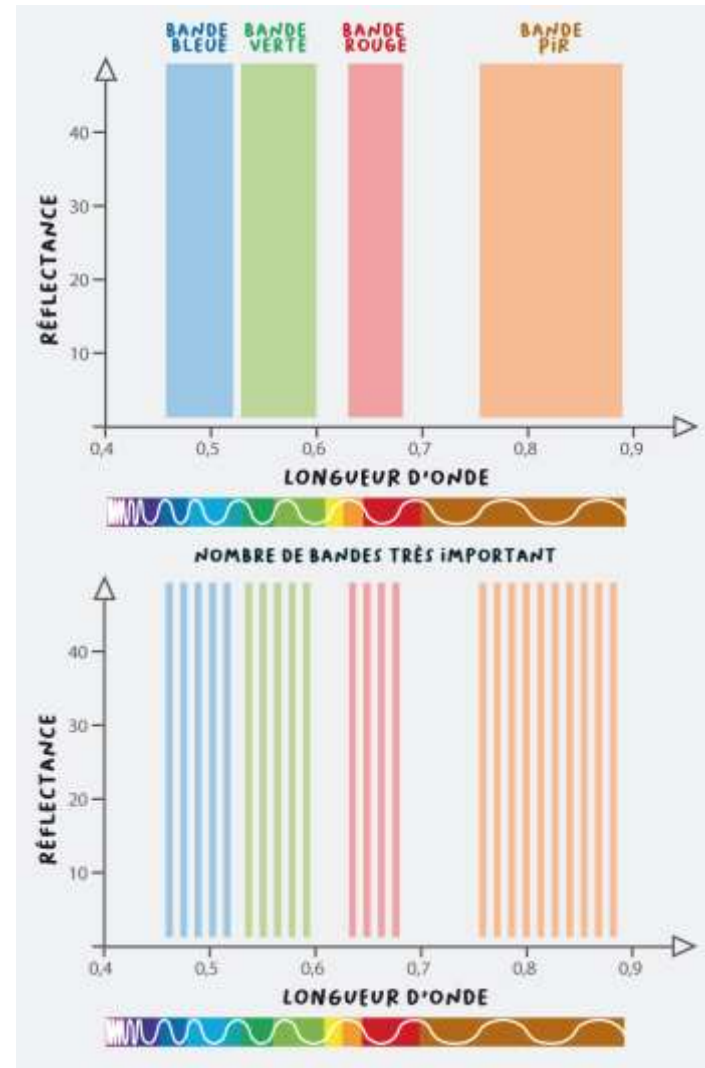
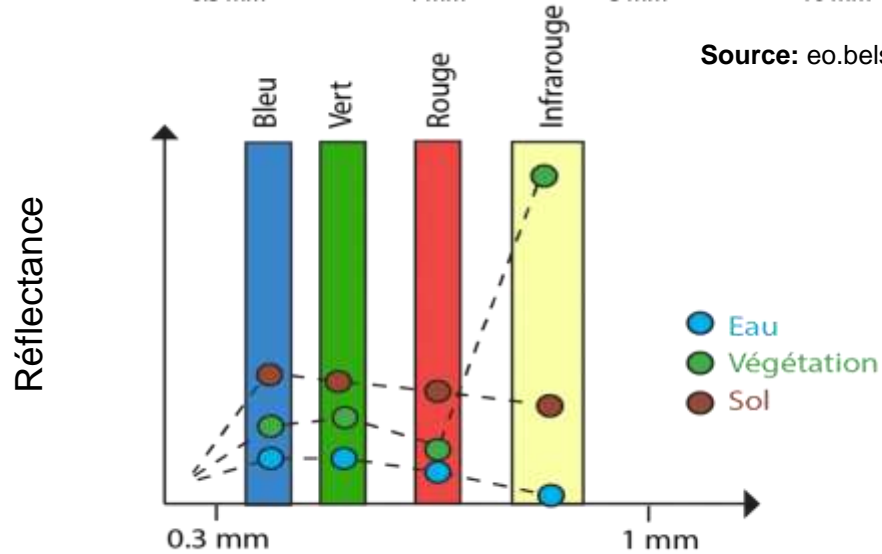
Catégorie	Nom de l'indice	Formule	Variable(s) suivie(s)
Variables biophysiques des plantes	Indices difference	$R_{800} - R_{550}$ $\log(1/R_{737})$	Biomasse Chlorophylle
	Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)	$MSAVI = (2 \times (R_{NIR} + 1) - ((2 \times R_{NIR} + 1)^2 - 8 \times (R_{NIR} - R_{red}))^{1/2})/2$	LAI
	Transformed Soil Adjusted Vegetative Index (TSAVI)	$TSAVI = a(R_{NIR} - aR_{red} - b)/(R_{red} + aR_{NIR} - ab)$	LAI, Biomasse
	Visible Atmospherically Resistant Indices (VARI)	$VARI_{green} = (R_{green} - R_{red})/(R_{green} + R_{red})$ $VARI_{red\ edge} = (R_{red\ edge} - R_{red})/(R_{red\ edge} + R_{red})$	Pourcentage de végétation verte
Indices 'chlorophylle de la canopée ou des feuilles'	Chlorophyll Indices	$CI_{green} = (R_{NIR}/R_{green}) - 1$	LAI, GPP, chlorophylle
	Modified Chlorophyll and Reflectance Index (MCARI)	$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550})] \times (R_{700}/R_{670})$	Chlorophylle (canopée)
Contenu en eau	Water Balance Index (WBI)	$WBI = R_{970}/R_{900}$ or R_{905}/R_{980}	Contenu en eau
	Normalized Difference Water Content (NDWI)	$NDWI = (R_{800} - R_{680})/(R_{800} + R_{680})$	

Source: Hatfield *et al.* (2019), Applications of Vegetative Indices from Remote Sensing to Agriculture: Past and Future, *Inventions* 2019, 4, 71; doi:10.3390/inventions4040071

Multispectral versus hyperspectral



Source: eo.belspo.be



Multispectral:

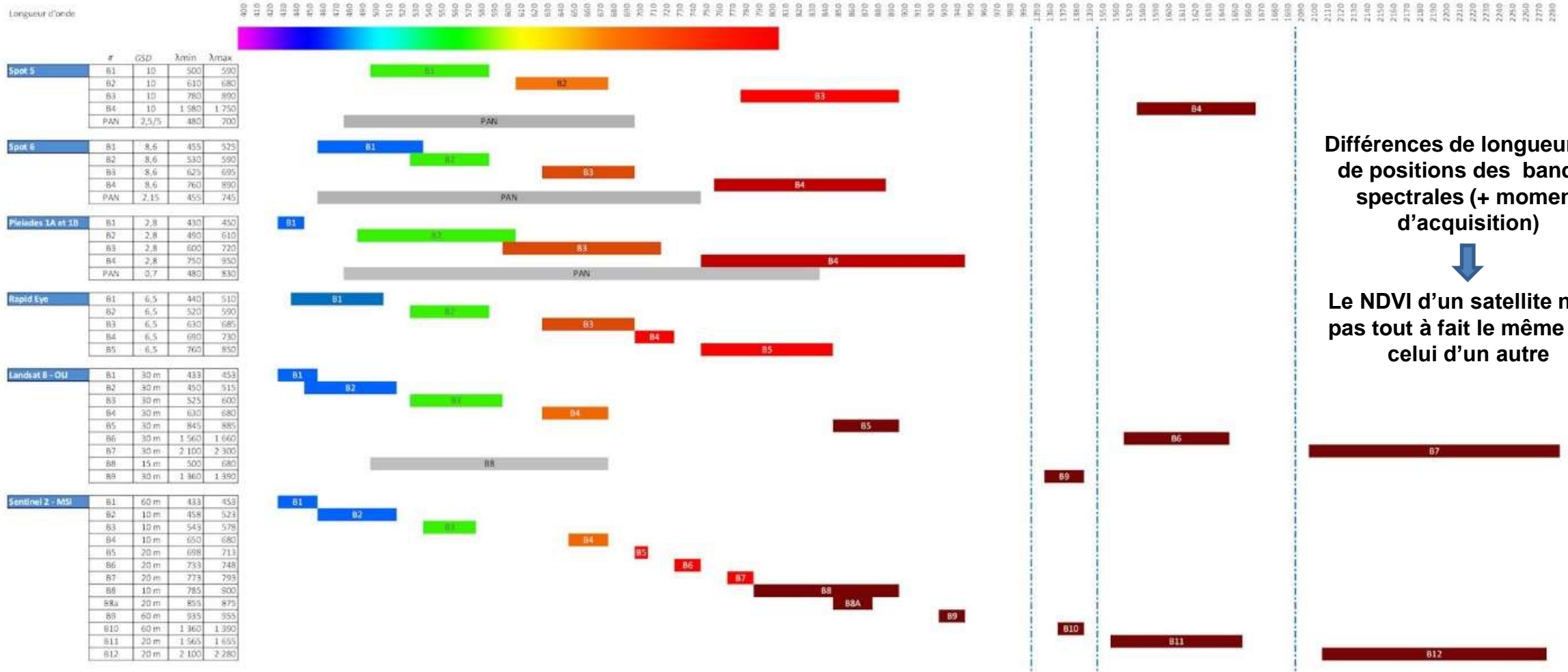
Quelques bandes spectrales souvent larges

Hyperspectral:

Un grand nombre de bandes spectrales fines

→ possibilité de discrimination accrue

Différences de bandes spectrales (satellites)



Différences de longueurs et de positions des bandes spectrales (+ moment d'acquisition)



Le NDVI d'un satellite n'est pas tout à fait le même que celui d'un autre

Source: <http://un-regard-sur-la-terre.org>

Variables biophysiques

Estimées sur base de modèles décrivant le transfert et l'interaction de la radiation au sein de la canopée et se basant sur des lois physiques.

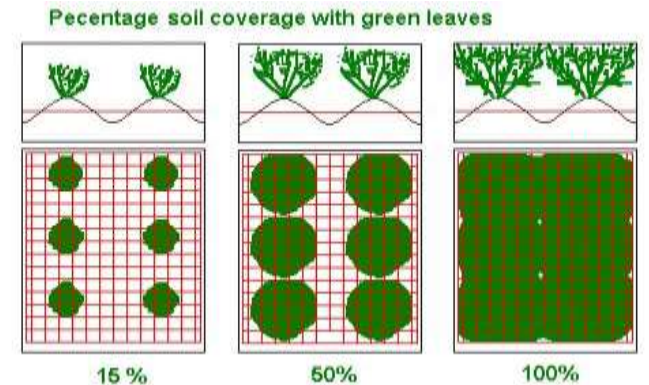
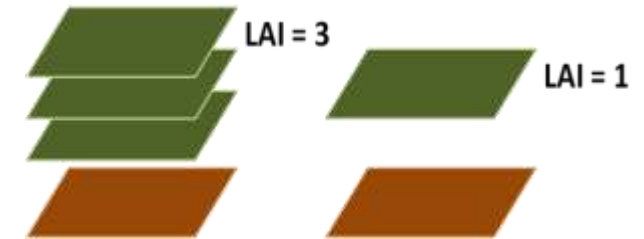
Les variables biophysiques les plus fréquemment utilisées sont :

LAI (« *Leaf Area Index* » ou *indice de surface foliaire*): Estimation de la surface de feuille verte par unité de surface de sol (m^2/m^2)

fcover : Fraction du sol couverte par la végétation verte (quantification de l'étendue spatiale de la végétation). Variable indépendante de la direction de l'ensoleillement et sensible à la quantité de végétation

fAPAR: Fraction du rayonnement solaire absorbée par les feuilles vivantes pour l'activité de photosynthèse. Le FAPAR dépend de la structure de la canopée, des propriétés optiques des éléments de la végétation, des conditions atmosphériques et de la configuration angulaire.

Les variables biophysiques sont de très bon candidats pour remplacer les indices de végétation classiques pour la surveillance des écosystèmes.



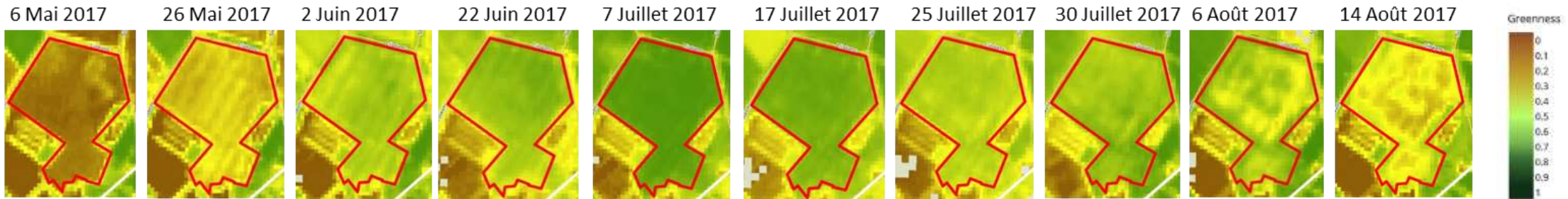
Suivi de la biomasse en cours de saison



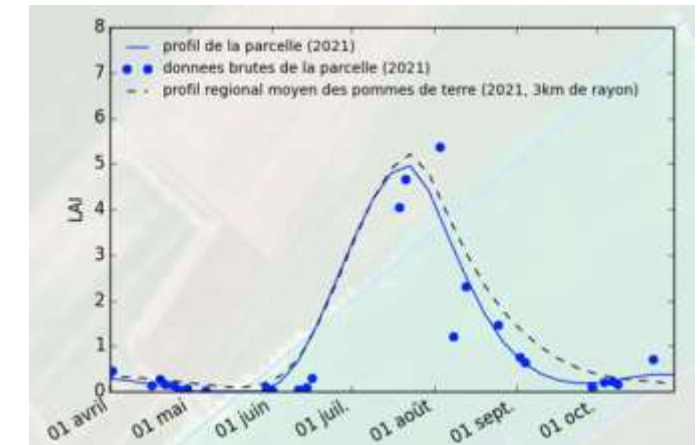
Émergence →

Sénescence →

récolte: 20 Août 2017



- La croissance est-elle normale ?
- Variabilité intra-parcellaire?
 - échantillonnages plus pertinents (par zone)
 - évolution vers une **gestion intra-parcellaire des intrants (MVZ)**
 - utile pour une sélection de parcelles (données historiques)



Suivi de la biomasse en cours de saison

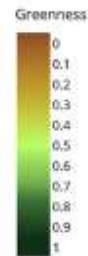
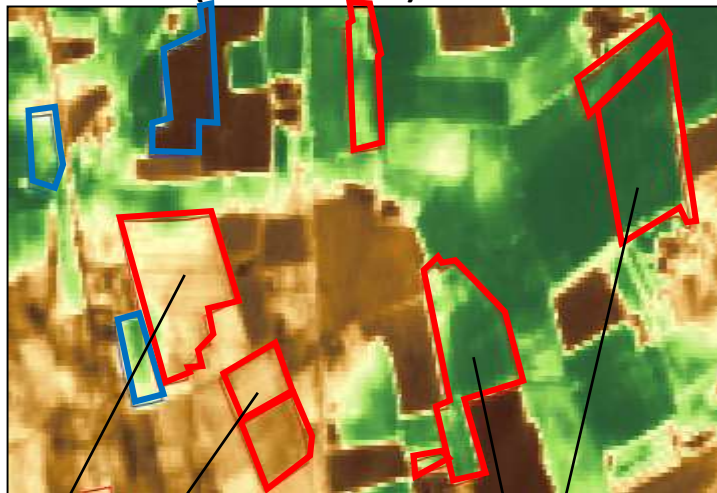


Comparaison de parcelles:

- optimiser les visites de terrain
- planning / logistique (récolte)

Variétés précoces (en bleu) vs. tardives (en rouge)

Sentinel-2 (22 août 2016)

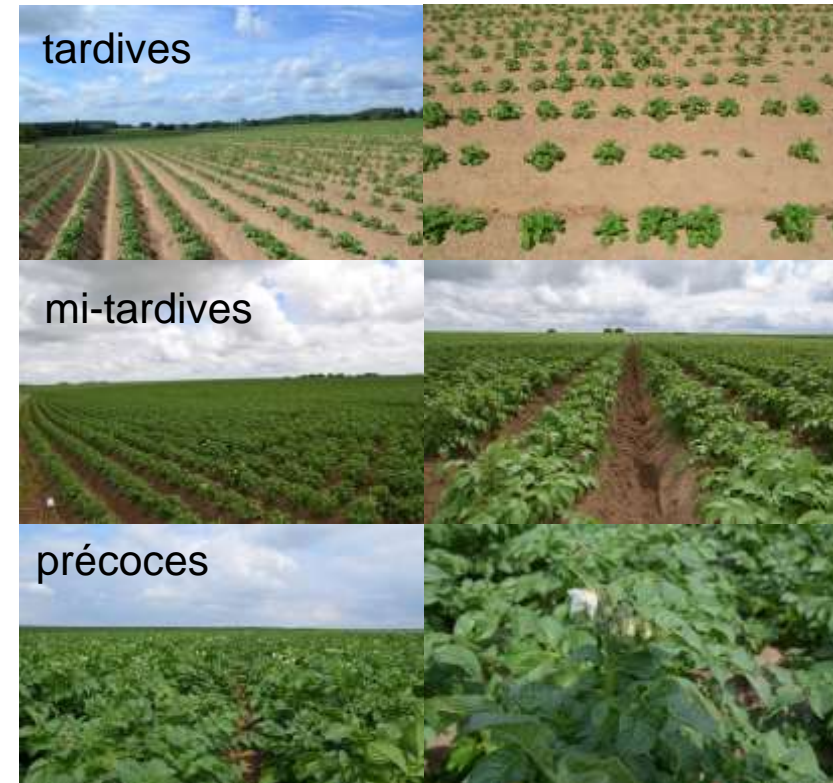


Sénescence plus avancée

Toujours "vert"

Est-ce que la sénescence a débuté?

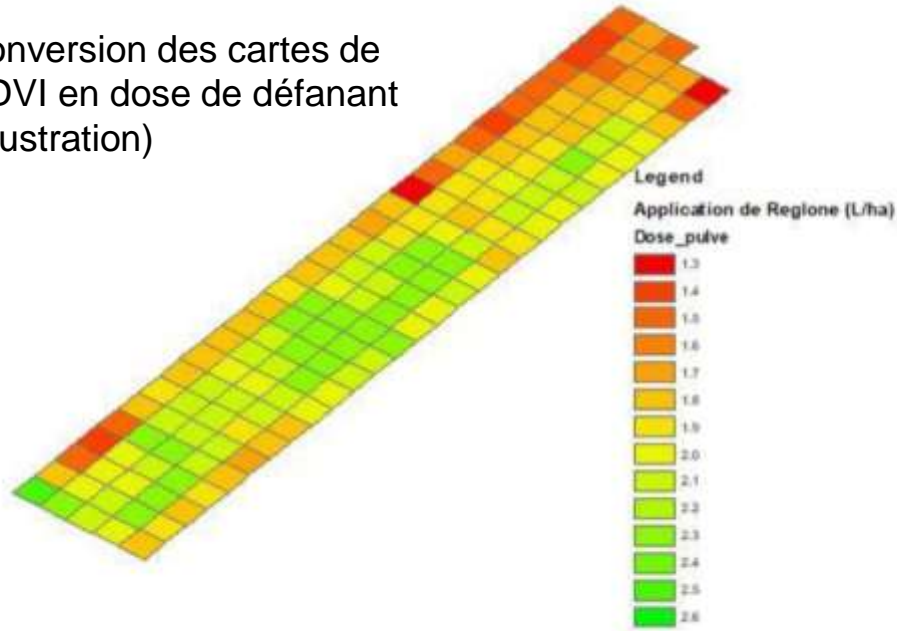
Est-ce que le défanage a été réalisé ?



Gestion du défanage

Culture de pomme de terre – Errage – 28 Août 2018

Conversion des cartes de NDVI en dose de défanant (Illustration)



Position ~ :
50°25'44.82"N
4°16'44.79"E
(Carnières)

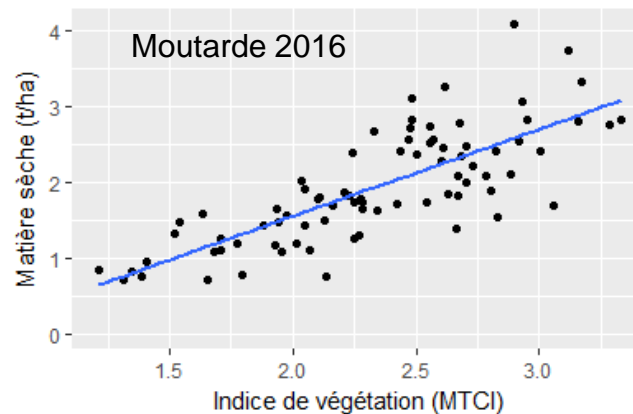
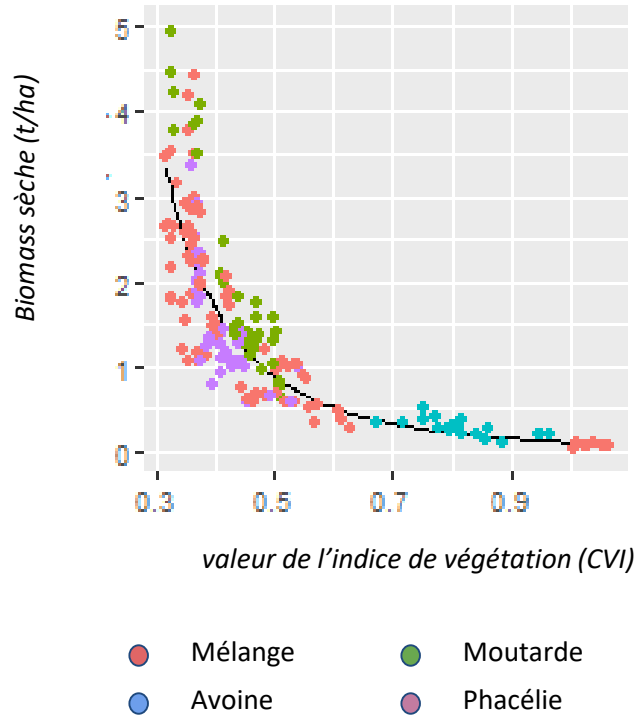
Une réduction de 33 – 50 % d'utilisation de défanant est envisageable grâce aux images satellitaires



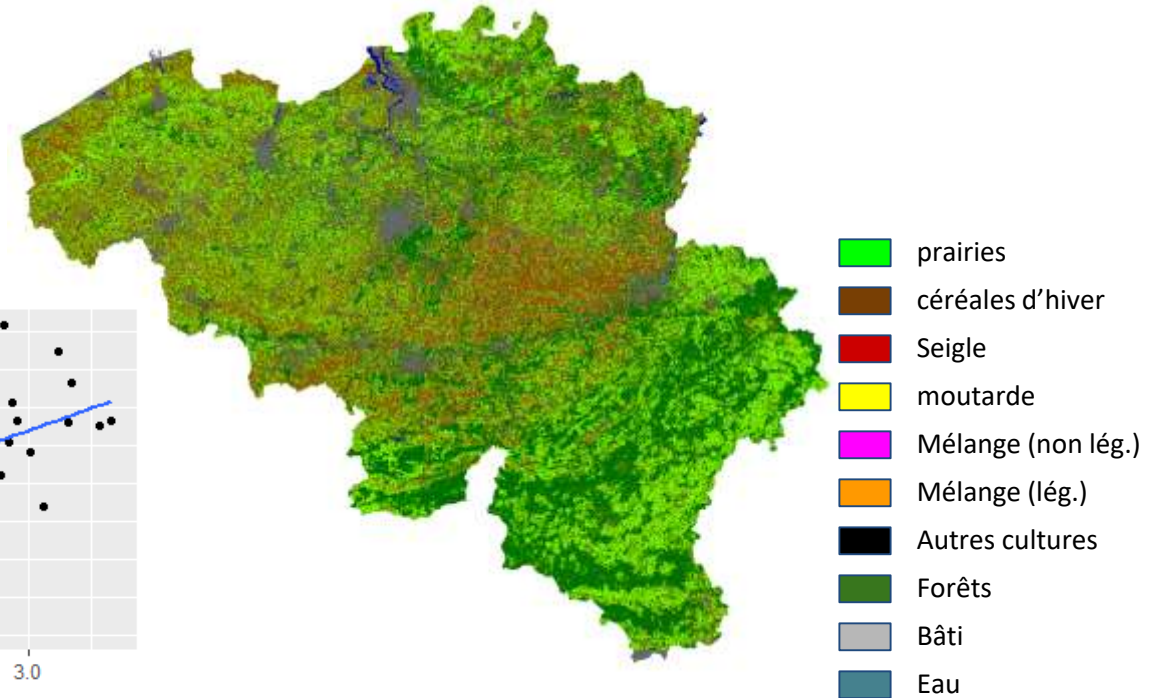
Base : Image du 16.08.2018

Suivi de la biomasse en cours de saison

Estimation d'éléments du bilan azoté prévisionnel

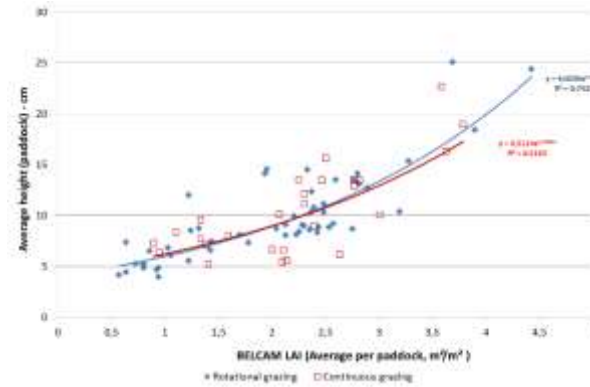
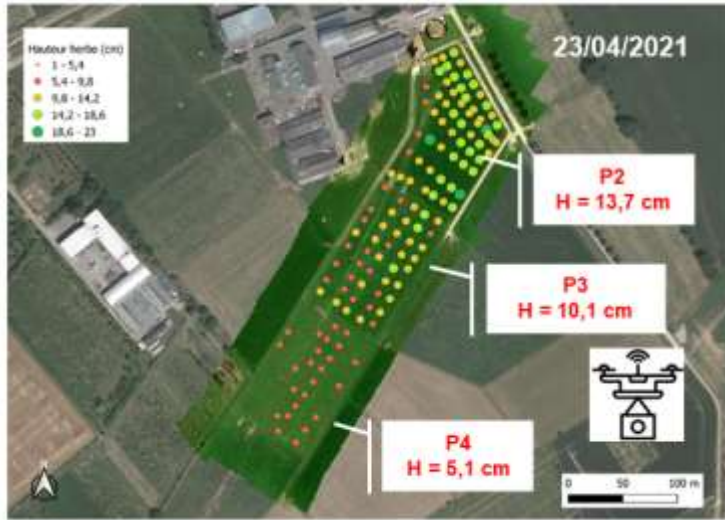


Carte(s) des couverts hivernaux

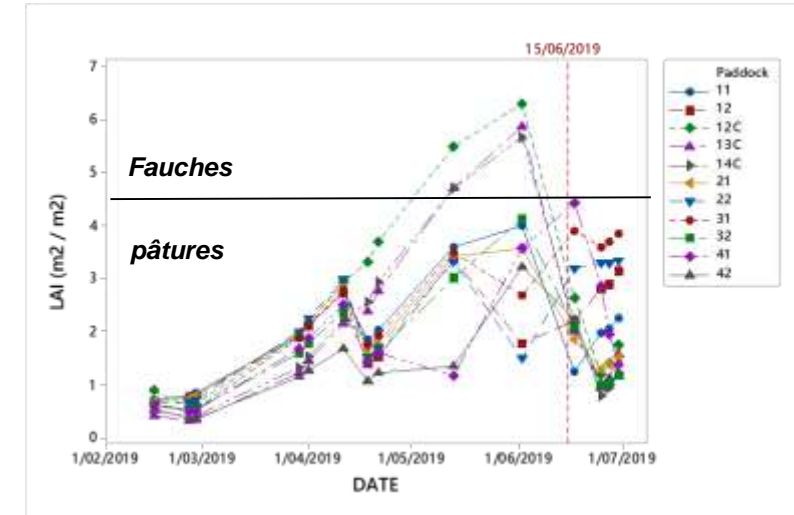
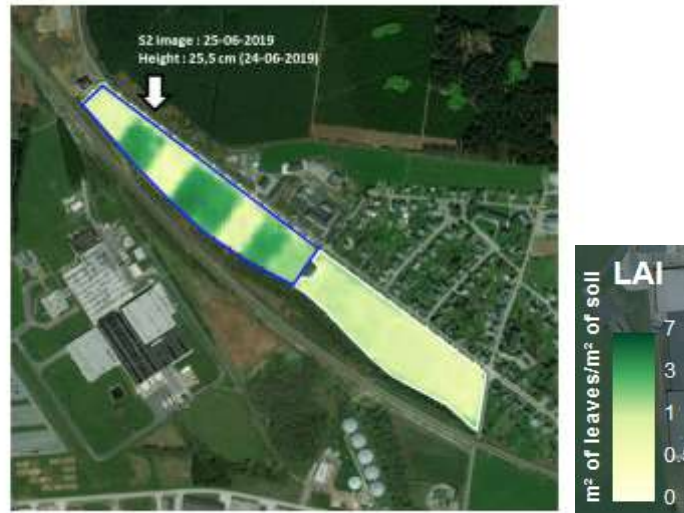


Goffart, D., Curnel, Y., Planchon, V., Goffart, J.P. & Defourny, P. (2021). Field-scale assessment of Belgian winter cover crops biomass based on Sentinel-2 data. *European Journal of Agronomy*, (126) 126278

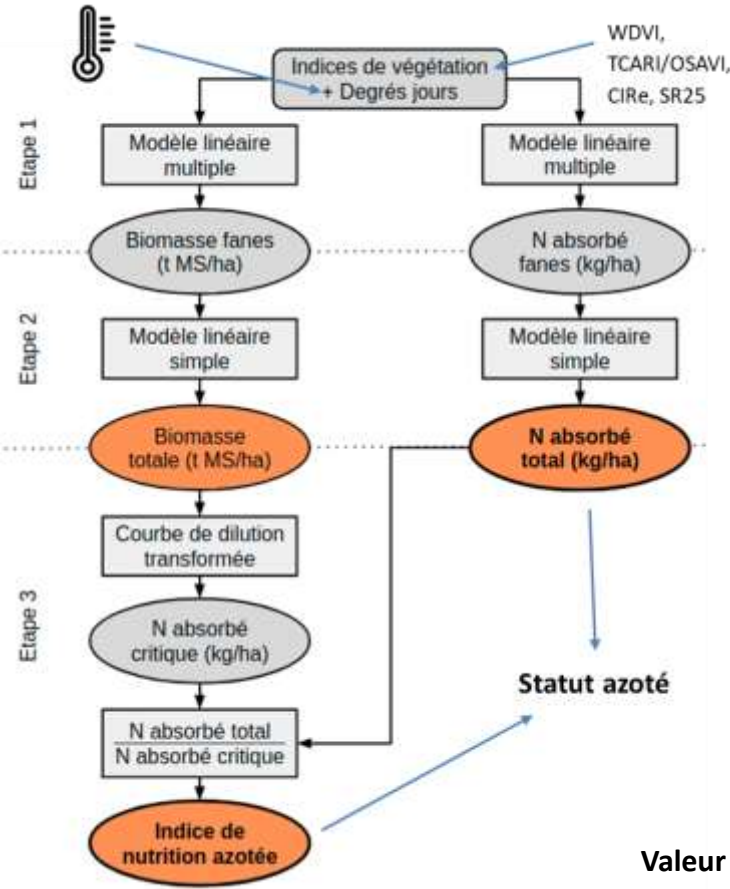
Suivi de la biomasse en cours de saison



Suivi de la gestion des parcelles prairiales



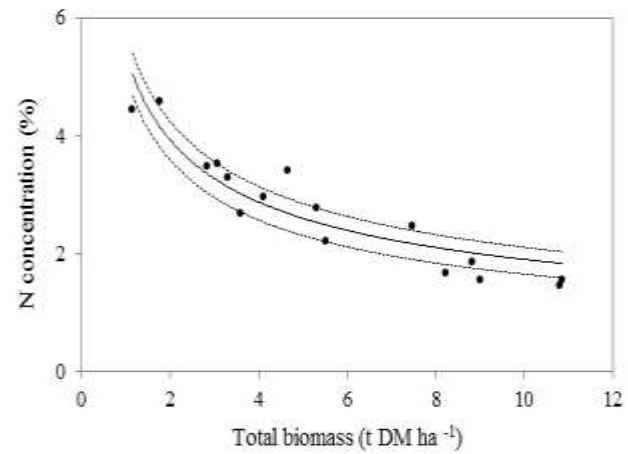
Suivi du statut azoté



Indice de nutrition azotée (NNI)

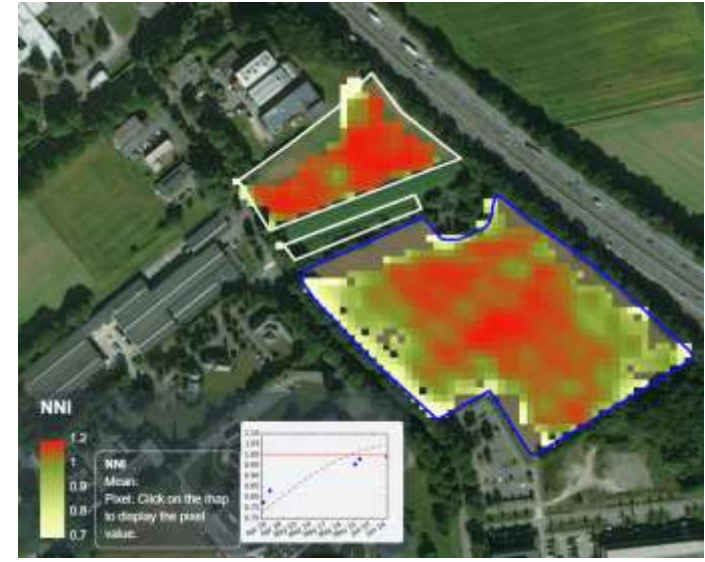
$$NNI = \frac{Na}{Nc}$$

Na = Azote Absorbé
Nc = Azote critique



Courbe de dilution de l'azote critique pour la Bintje en Belgique.
(Source : Ben Abdallah *et al.*, 2016)

Valeur utilisable directement pour calculer une dose complémentaire sur base d'un objectif de rendement

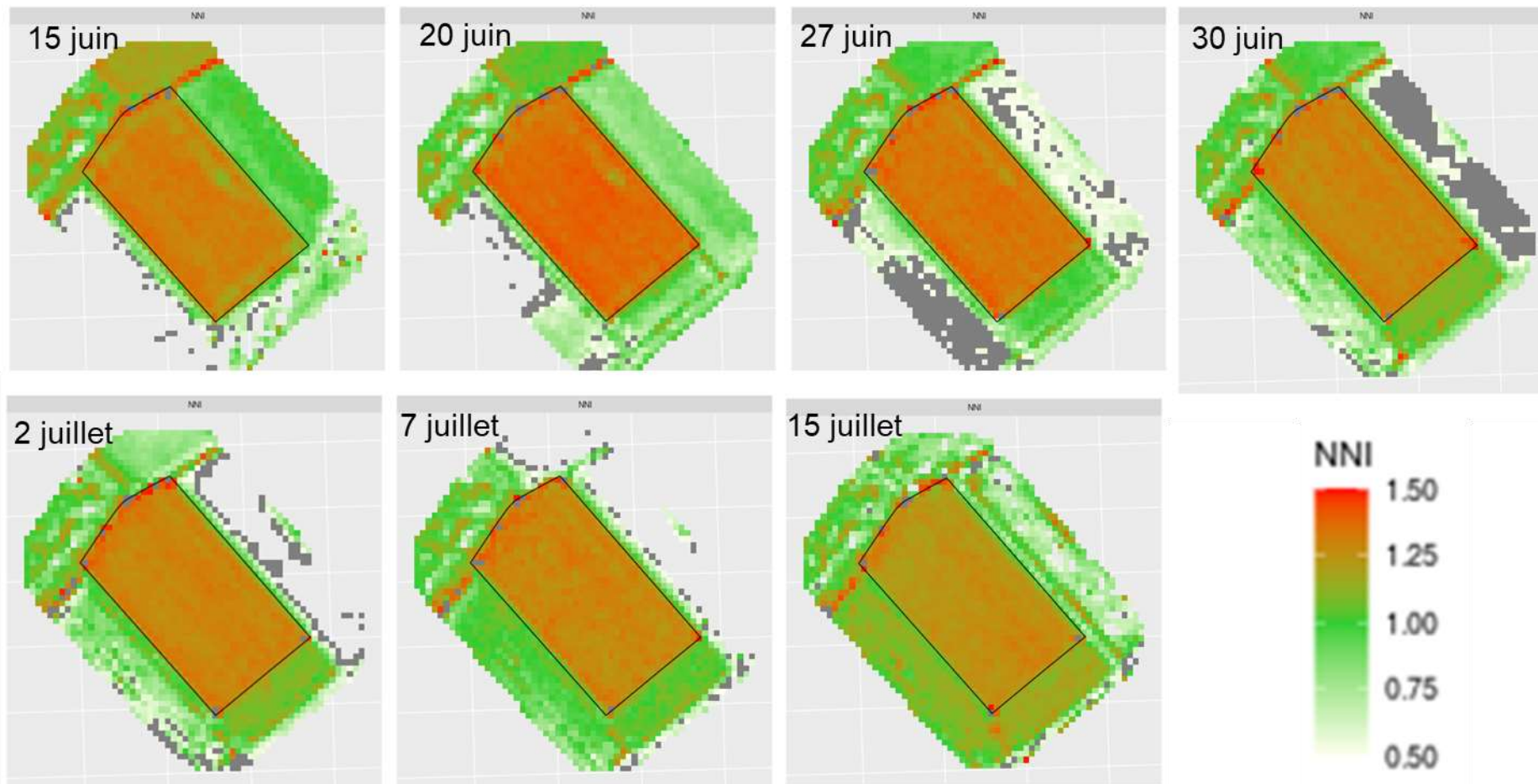


- NNI > 1 : sur-fertilisation
- NNI = 1 : teneur en N assurant une croissance optimale
- NNI < 1 : sous-fertilisation

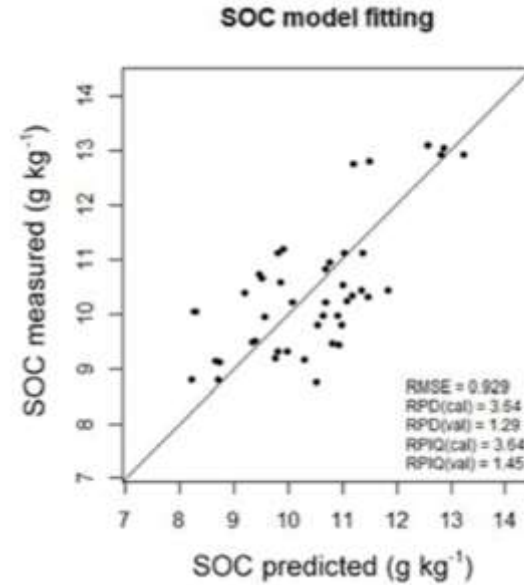
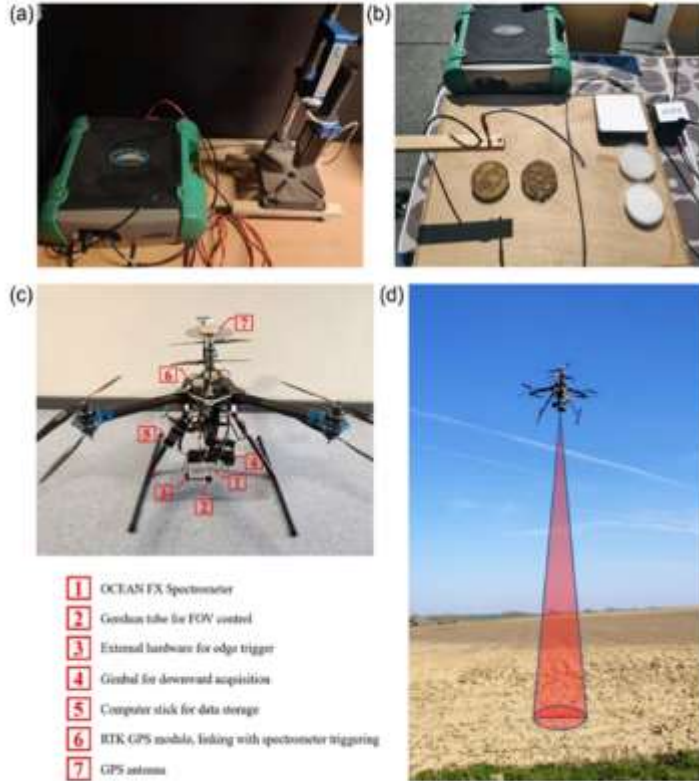
Suivi du statut azoté



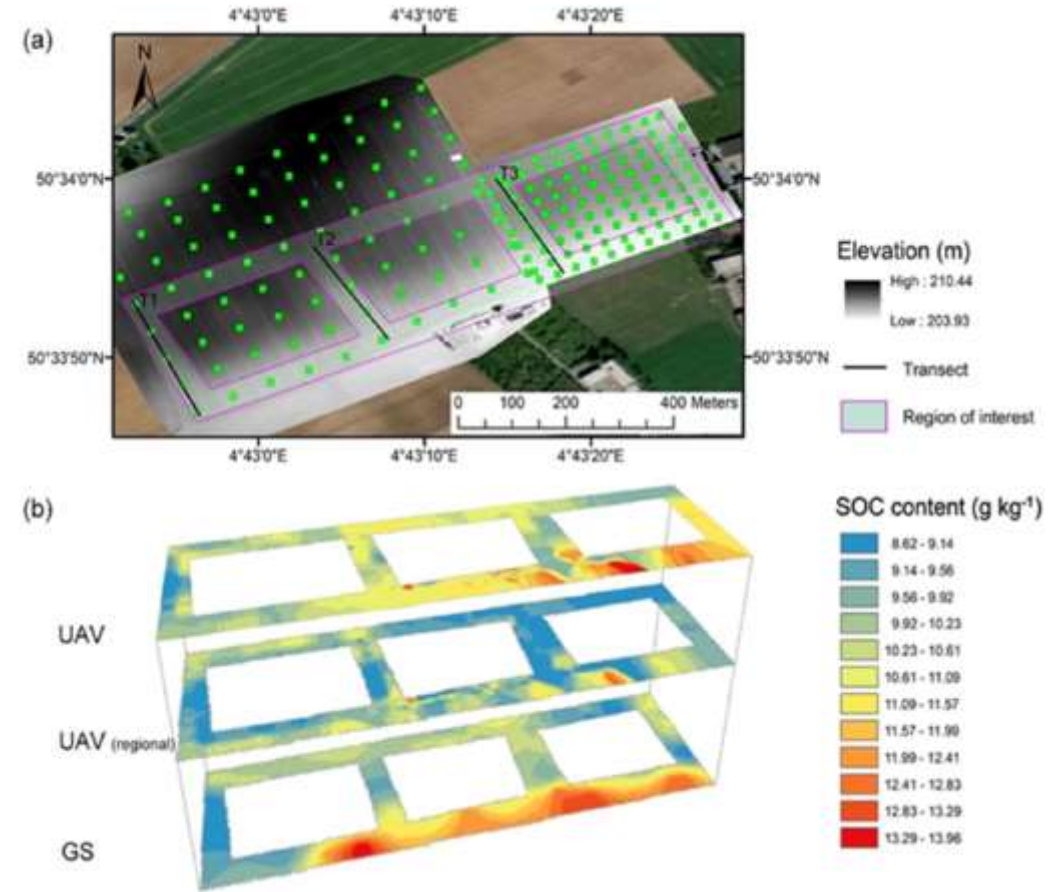
Evolution du NNI pour une parcelle en 2018



Suivi du carbone organique du sol



Estimation du COS sur base du spectromètre FX embarqué sur UAV et calibré sur la librairie spectrale LUCAS



Les 3 étapes pour l'estimation du COS sur base du spectromètre FX embarqué sur UAV:

- a) Librairie spectrale en laboratoire
- b) Télédétection rapprochée en extérieur
- d) Télédétection UAV

Plateforme BELCAM

Produits *et* services issus du satellitaire accessibles gratuitement



Conclusions

- L'information satellitaire permet le suivi et la gestion des parcelles agricoles à large échelle:
 - Suivi de la biomasse
 - Suivi du statut azoté
 - Suivi de la matière organique du sol
 - ...
- Le choix du capteur (satellite) et de l'indice de végétation / variable biophysique dépend de l'objectif, de l'échelle (e.g. parcelle ou région), etc
- Des limitations / incertitudes existent (e.g. saturation de l'indice, absence d'informations à des moments clés suite à une couverture nuageuse important, etc.) → synergies entre capteurs satellitaires et/ou embarqués sur drone
- Les données de terrain et le retour des utilisateurs sont fondamentaux dans un processus d'amélioration continue
- Le CRA-W contribue au développement de produits et services issus du satellitaire et est disponible pour accompagner les agriculteurs dans la compréhension de ces informations

Merci de votre attention !

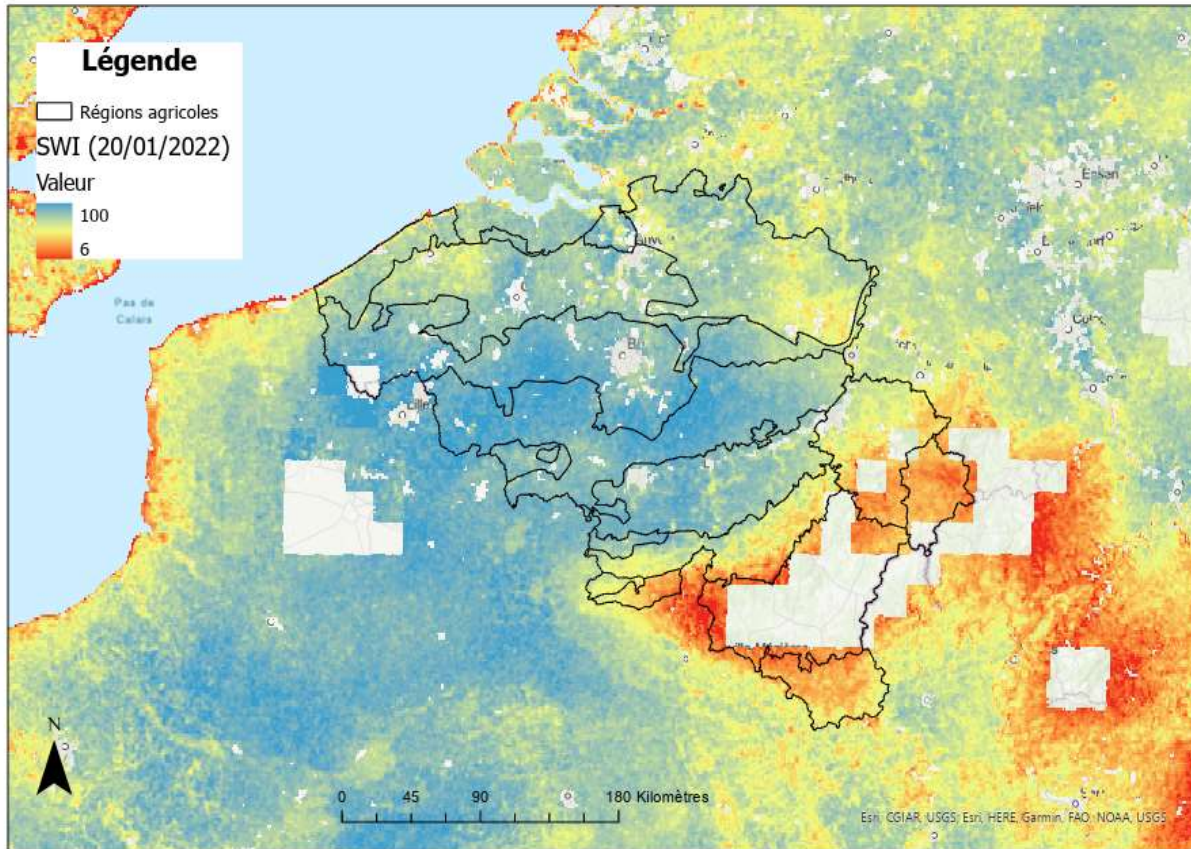
Anniversaire du Centre
wallon de Recherches
agronomiques

*150 ans de recherche au service de
l'agriculture & de la société*



Suivi de l'humidité du sol

Indicateur SWI (Soil Water Index) basé sur des images radar (METOP A+B, Sentinel-1 A+B)



Contexte: Engorgement en eau des sols (hiver 2022) rendant de nombreuses opérations agricoles compliquées (épandage des tas de fumier dans les délais prévus par la législation en vigueur) → demande de dérogation

Comparaison du SWI au 20/01/2022 avec le SWI à la même date en 2017 (conditions sèches)

Région Agricole	N	Minimum		Maximum		Moyenne		Ecart-type		Médiane	
		2017	2022	2017	2022	2017	2022	2017	2022	2017	2022
Ardenne	1912	43,5	64,5	73,0	85,0	56,9	75,1	4,7	3,3	56,5	75,0
Campine	5732	58,0	76,5	81,5	93,0	68,8	86,2	4,1	2,8	68,5	86,5
Campine Hennuyère	65	67,0	88,0	79,0	92,5	72,0	90,0	2,6	1,1	72,0	90,0
Condroz	3936	58,0	78,0	84,5	94,5	72,9	89,8	4,4	2,5	73,0	90,0
Famenne	2649	46,5	66,0	78,5	93,5	62,6	82,3	5,9	4,3	63,0	82,5
Haute Ardenne	1087	45,0	70,0	66,0	81,0	54,4	76,0	3,7	1,9	54,5	76,5
Rég. herbagère (Fagne)	529	61,5	79,0	80,5	93,5	70,9	86,9	3,7	3,8	71,0	87,0
Région Jurassique	1614	47,5	68,5	70,5	86,0	58,2	77,6	4,0	2,9	58,5	77,5
Région Limoneuse	7388	65,5	79,0	87,0	96,0	79,1	91,8	3,5	2,2	79,5	92,5
Région herbagère	2399	46,5	66,0	76,0	90,0	59,6	80,4	4,9	3,7	59,0	81,0
Région sablo-limoneuse	7759	55,0	78,0	85,0	97,5	73,4	90,9	4,7	2,3	73,0	91,0
Région sablonneuse	5255	54,5	77,0	83,0	94,5	68,5	88,4	3,5	2,3	68,5	88,5
Dunes&Polders	1739	47,0	67,5	86,5	95,0	71,7	87,3	5,1	3,4	72,5	88,0