



# Vers une pomme de terre sans phytos ? Défis et enjeux pour la recherche et les filières

3ème Carrefour Plants de Pomme de Terre  
Organisé par l'UMT InnoPlant<sup>2</sup> .14-15 octobre 2020, Paris



INRAE



## Pilotage de la culture de pomme de terre à l'aide de données issues de capteurs au champ, de drones et de satellites

Recherches réalisées en Belgique et potentialités d'application dans la pratique

**F. Ben Abdallah, D. Goffart, Q. Limbourg**



INRAE

# Les capteurs optiques en pomme de terre de consommation

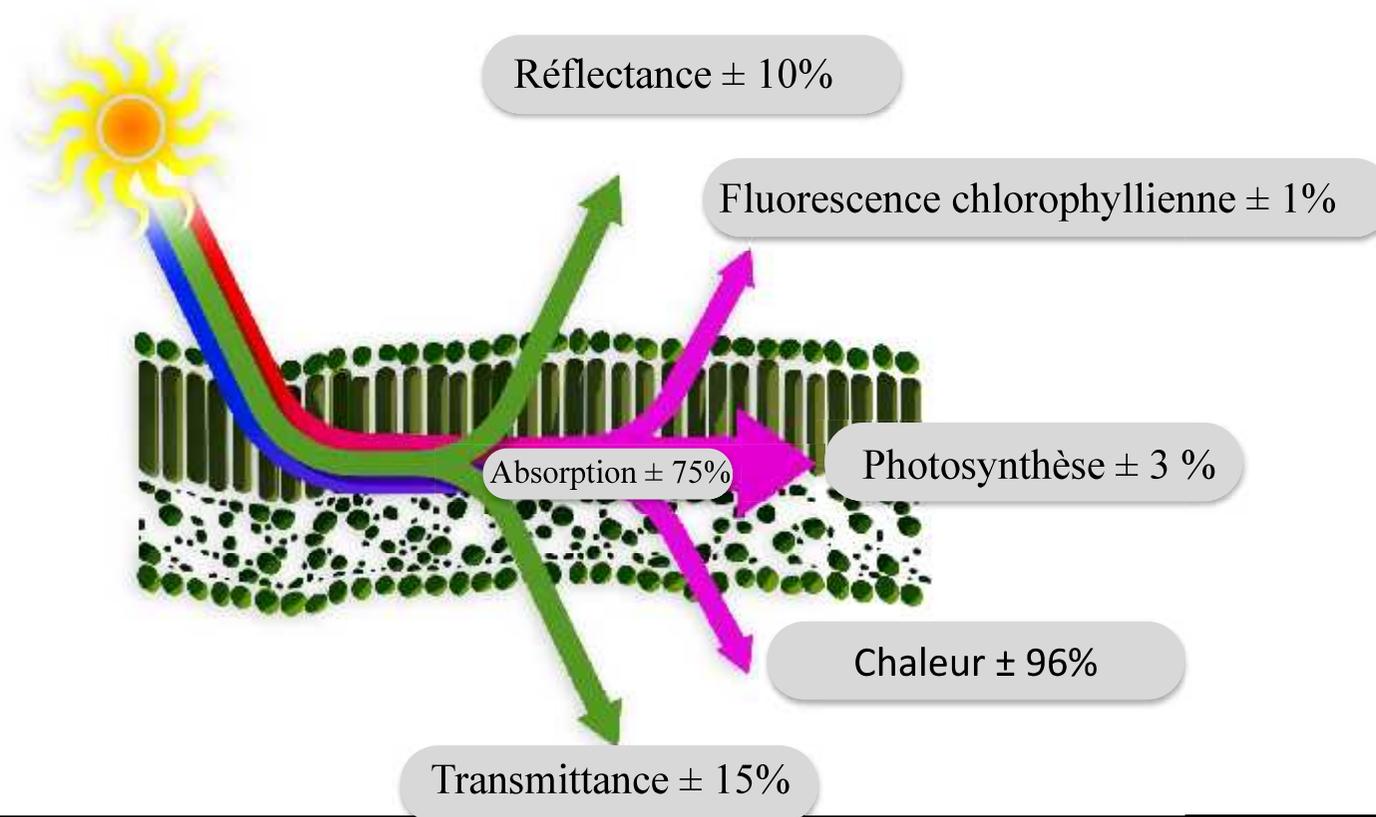
Suivi de la végétation à différentes échelles :

- Au sol : capteurs de contact, capteurs de télédétection rapprochée (outils manuels et outils embarqués sur tracteurs)
- Drones : capteurs optiques multispectraux et hyperspectraux
- Satellite : capteurs optiques multispectraux (ex : Sentinel-2) et radar (ex : Sentinel-1)



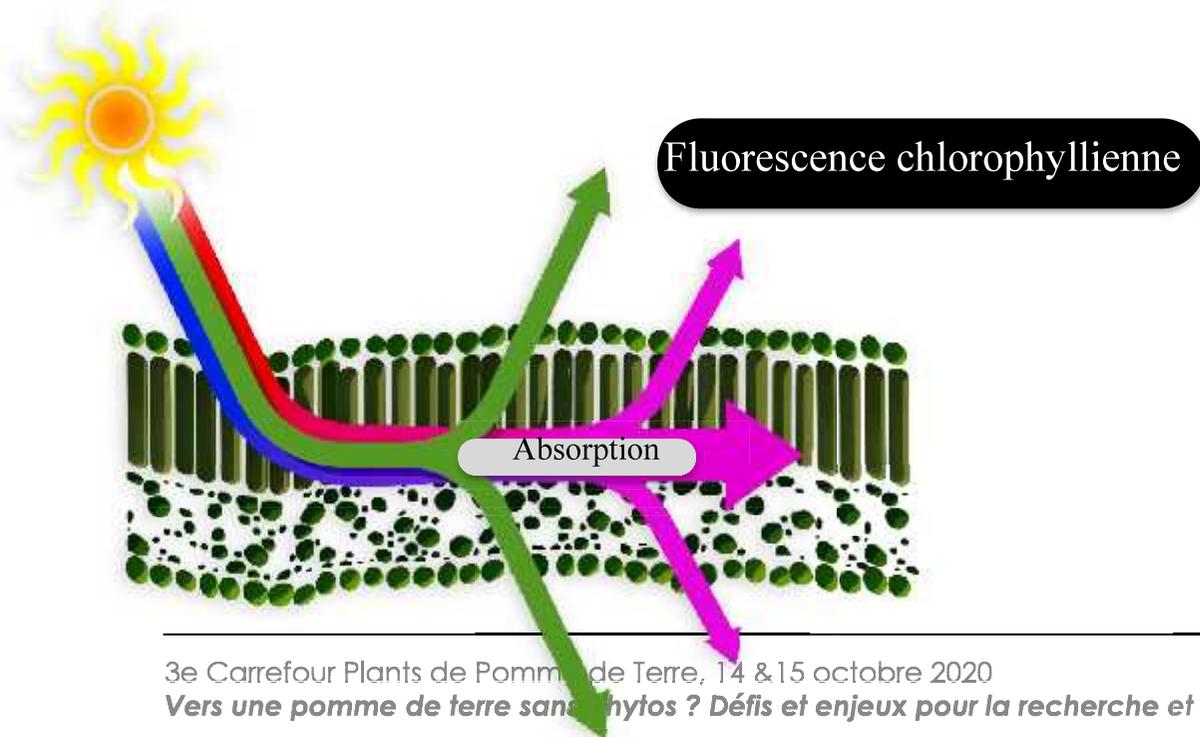
# Les capteurs optiques et les signatures spectrales

Utilisation du devenir de la lumière lorsqu'elle impacte la feuille /canopée



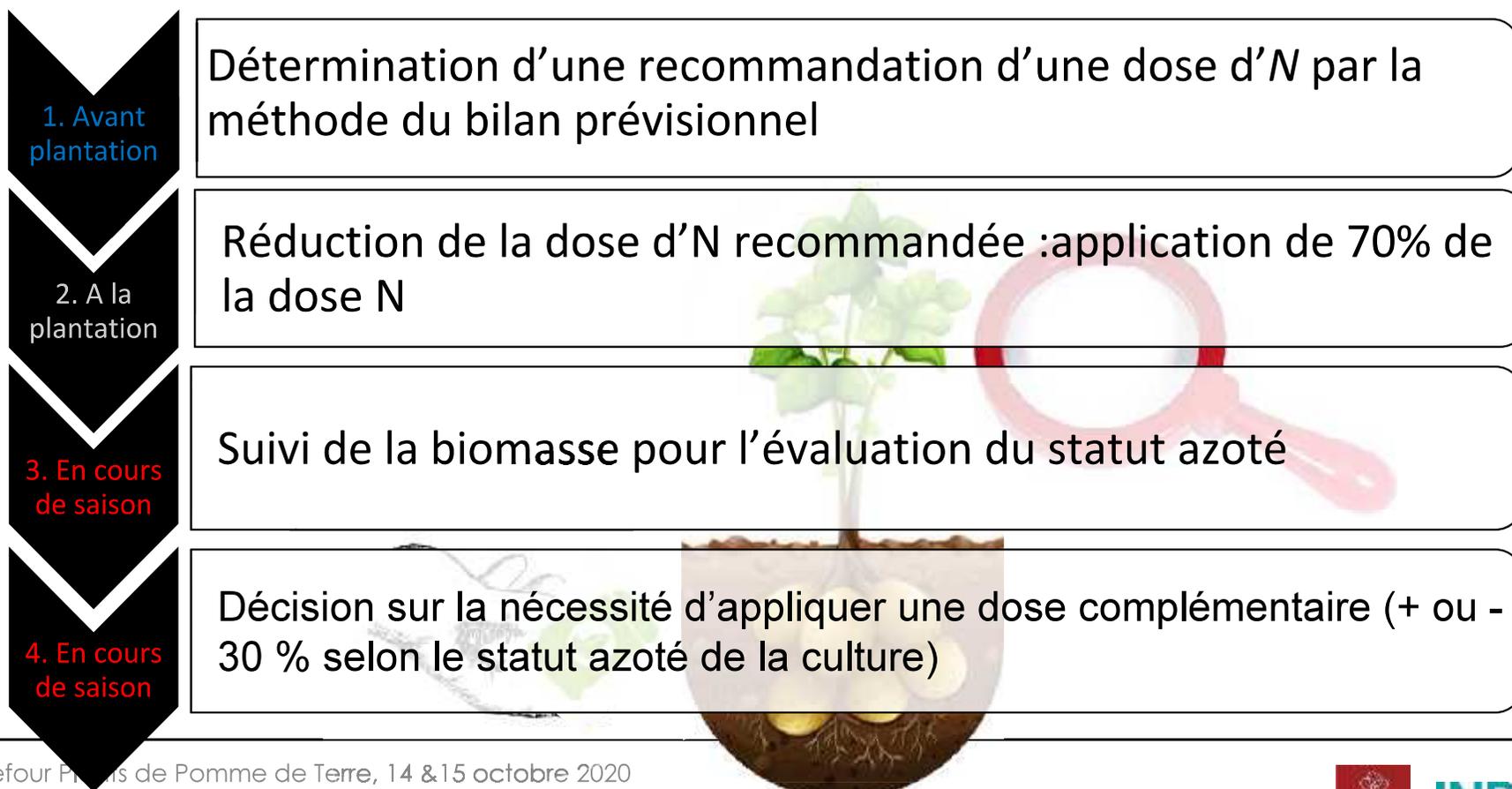
# Capteurs au sol - Les fluorimètres

1. Indicateur flavonoïdes
2. Indicateurs chlorophylle
3. Indicateurs combinant chlorophylle et flavonoïdes

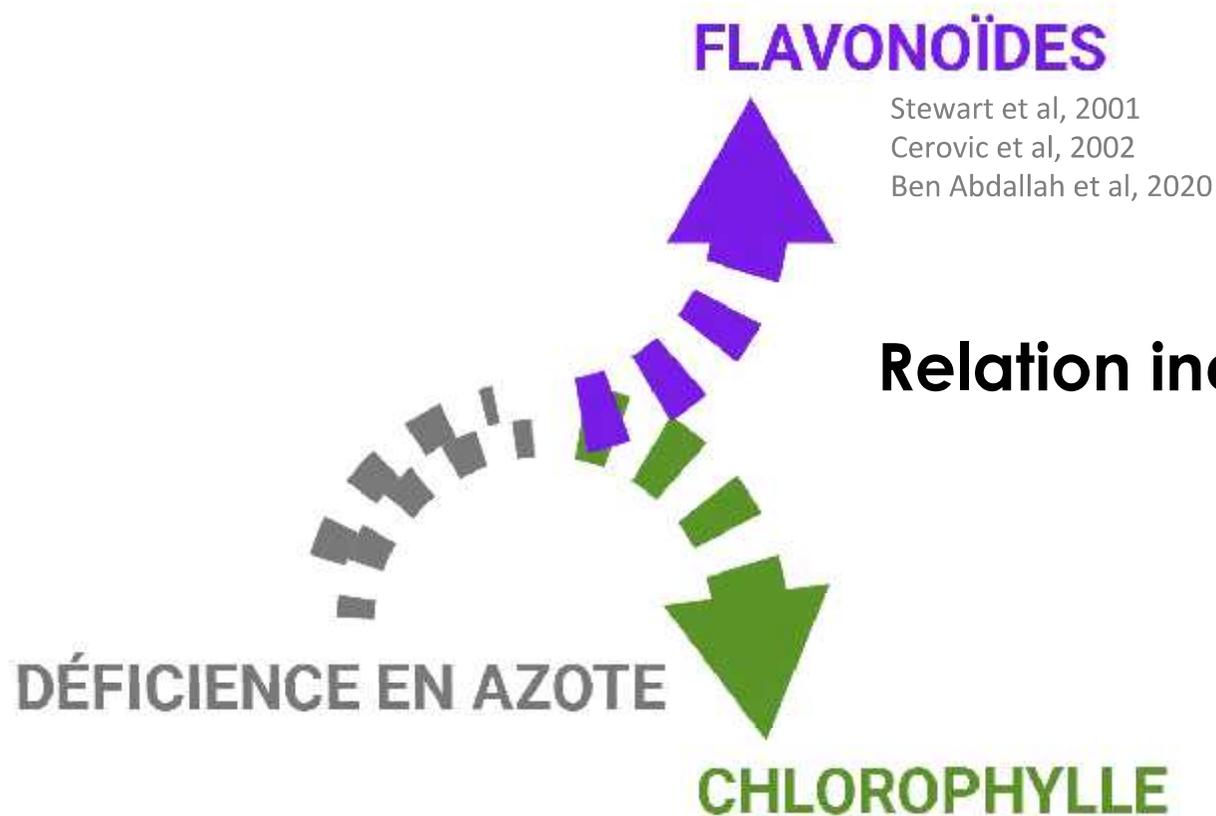


# Capteurs au sol - Suivi du statut azoté

## Raisonnement annuel de la fertilisation azotée en pomme de terre



# Les fluorimètres- Suivi du statut azoté



Stewart et al, 2001  
Cerovic et al, 2002  
Ben Abdallah et al, 2020

## Relation indicateurs et statut azoté

# Les fluorimètres- Suivi du statut azoté

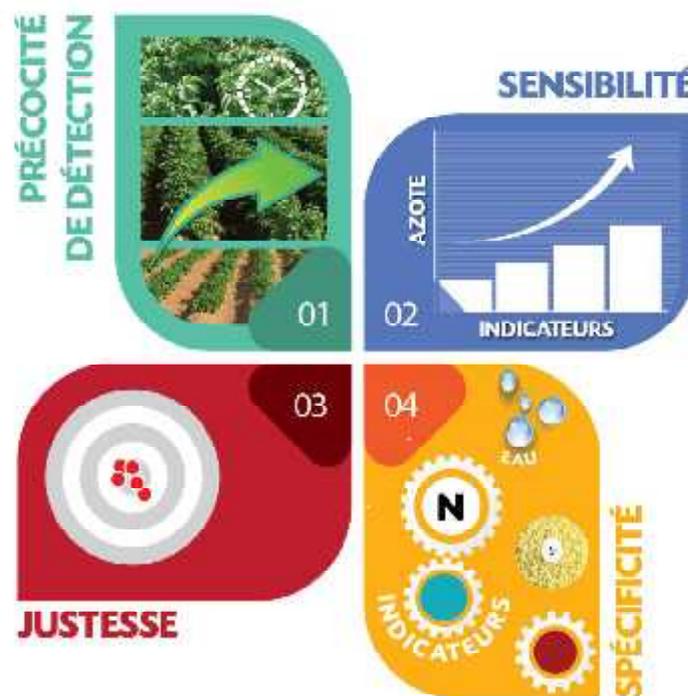
Comparaison des mesures de fluorescence chlorophyllienne, de transmittance et de réflectance, sur 2 variétés Bintje et Charlotte 3 années d'expérimentations et 6 Niveaux d'N



Les flavonoïdes , mesurés par fluorescence chlorophyllienne sont intéressants pour l'évaluation du statut azoté de la culture

# Les fluorimètres- Suivi du statut azoté

Potentialités et limitation des indicateurs flavonoïdes seuls ou combinés à la teneur en chlorophylle

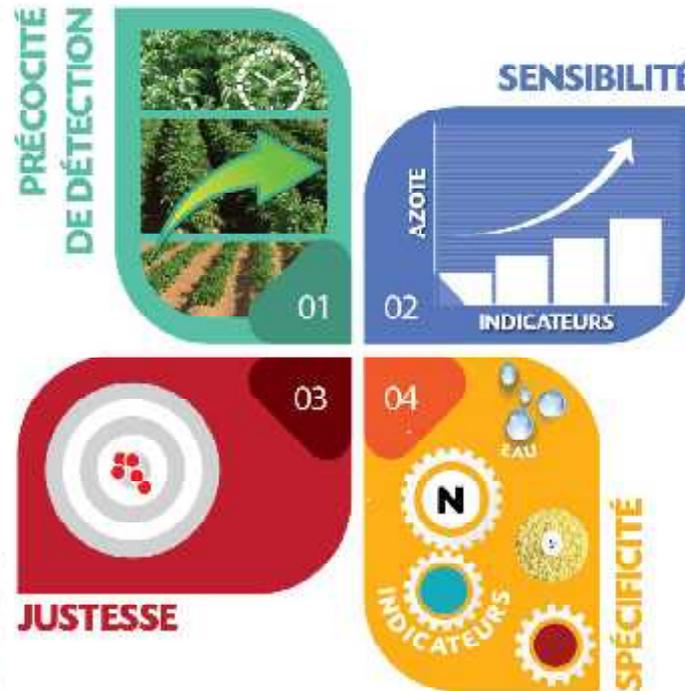


# Les fluorimètres- Suivi du statut azoté

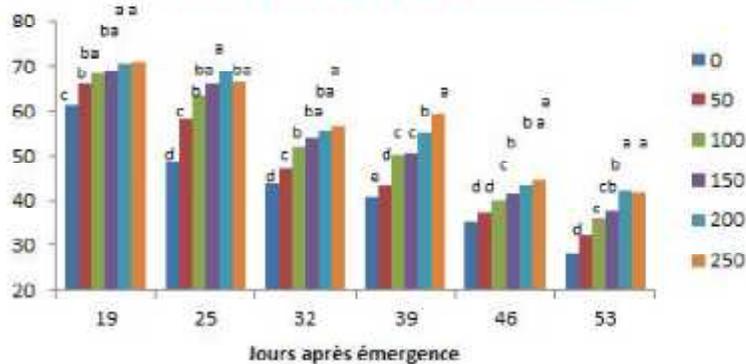
Potentialités et limitation des indicateurs flavonoïdes seuls ou combinés à la teneur en chlorophylle

**Réponse précoce** de la déficience en azote des flavonoïdes (entre 7 et 25 JAE) plus rapide que les mesures de réflectance ou de transmittance

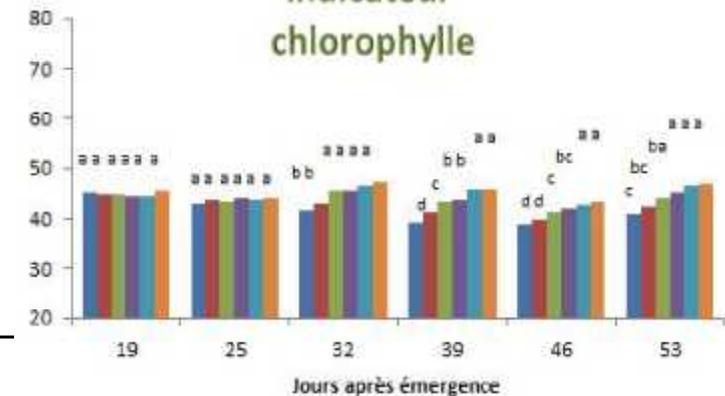
**Sensibilité de réponse** avec une bonne discrimination entre les niveaux d'azote testés pour l'ensemble des dates de mesures



Indicateur combinés chlorophylle et flavonoïdes



Indicateur chlorophylle



15 octobre 2020

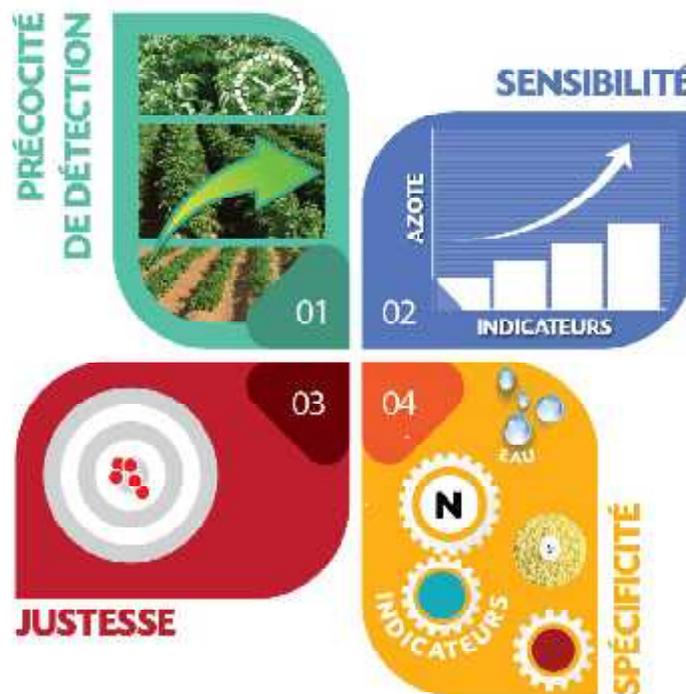
vers une pomme de terre sans phytos : vers et en jeu pour la recherche et les filières

# Les fluorimètres- Suivi du statut azoté

Potentialités et limitation des indicateurs flavonoïdes seuls ou combinés à la teneur en chlorophylle

**Bonne justesse de la mesure**  
évaluée sur base de **corrélation**  
avec :

1. La teneur en azote la plante entière
2. La teneur en azote de la biomasse aérienne
3. L'indice de nutrition azotée



Vs.

Méthode de référence



[N] plantes entières

Indicateurs foliaires	Corrélation		
	Indicateur	Corrélation	Signif.
Chlorophylle / Flavonoïdes	NBI-R	0,86	***
	NBI	0,82	***
	HNT/FLV	0,87	***
Flavonoïdes	FLV	-0,83	***
	FLAV	-0,86	***
Chlorophylle	G	0,02	ns
	R	0,5	***
	HNT	0,54	***

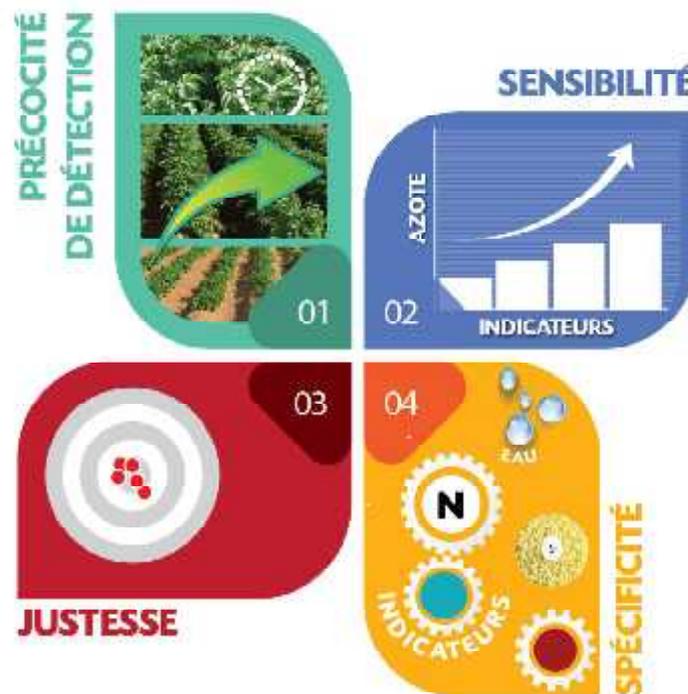
# Les fluorimètres- Suivi du statut azoté

Potentialités et limitation des indicateurs flavonoïdes seuls ou combinés à la teneur en chlorophylle

Réponse précoce

Sensibilité de réponse

Bonne justesse de la mesure



**Manque de spécificité:**  
indicateurs foliaires ne sont pas exclusivement reliés à la fourniture en azote (effet variété, année et date de mesure)

# Les fluorimètres- Autres travaux et perspectives

- Utilisation des mesures de la fluorescence pour le diagnostic sanitaire des plantes: exemples de projets en cours
  - **BeetPhen** en betterave sucrière pour l'évaluation quantitative des maladies foliaires
  - **First** en pommes terre pour l'évaluation de la résistance au mildiou et de l'efficacité d'utilisation de l'azote
- Étude des potentialités des mesures de la fluorescence chlorophyllienne couplées aux mesures de réflectance embarquées (sur un tracteur ou un drone) ou à l'échelle satellitaire:
  - Prise en compte de la variabilité intraparcellaire
  - Indicateurs physiologiques + indicateurs de la végétation

# Défanage - Objectifs

- Optimiser le défanage des pommes de terres en apportant la dose de défanant adaptée à l'endroit où elle est nécessaire.
- Démontrer l'utilisation pratique des technologies basées sur l'imagerie (images satellitaires, images aériennes (drones), images de capteurs embarqués), et de technique d'agriculture de précision.
- Contribuer à l'amélioration de l'image de l'agriculture wallonne, et de la culture de pomme de terre en particulier en montrant la réduction de l'impact environnemental possible par la technologie.

# Défanage

- Utilisation d'image multi-spectrale pour réaliser des cartes d'hétérogénéité d'indice de végétation (NDVI)
- Le type de capteur est toujours similaire mais le vecteur de transport est différent
  - Tracteur (Greenseeker, Yara, etc.)
  - Drone
  - Satellite
- Utilisation d'un algorithme pour transformer l'indice de végétation en dose de défanant

# Défanage - Capteurs



Source : Yara



Source : Trimble

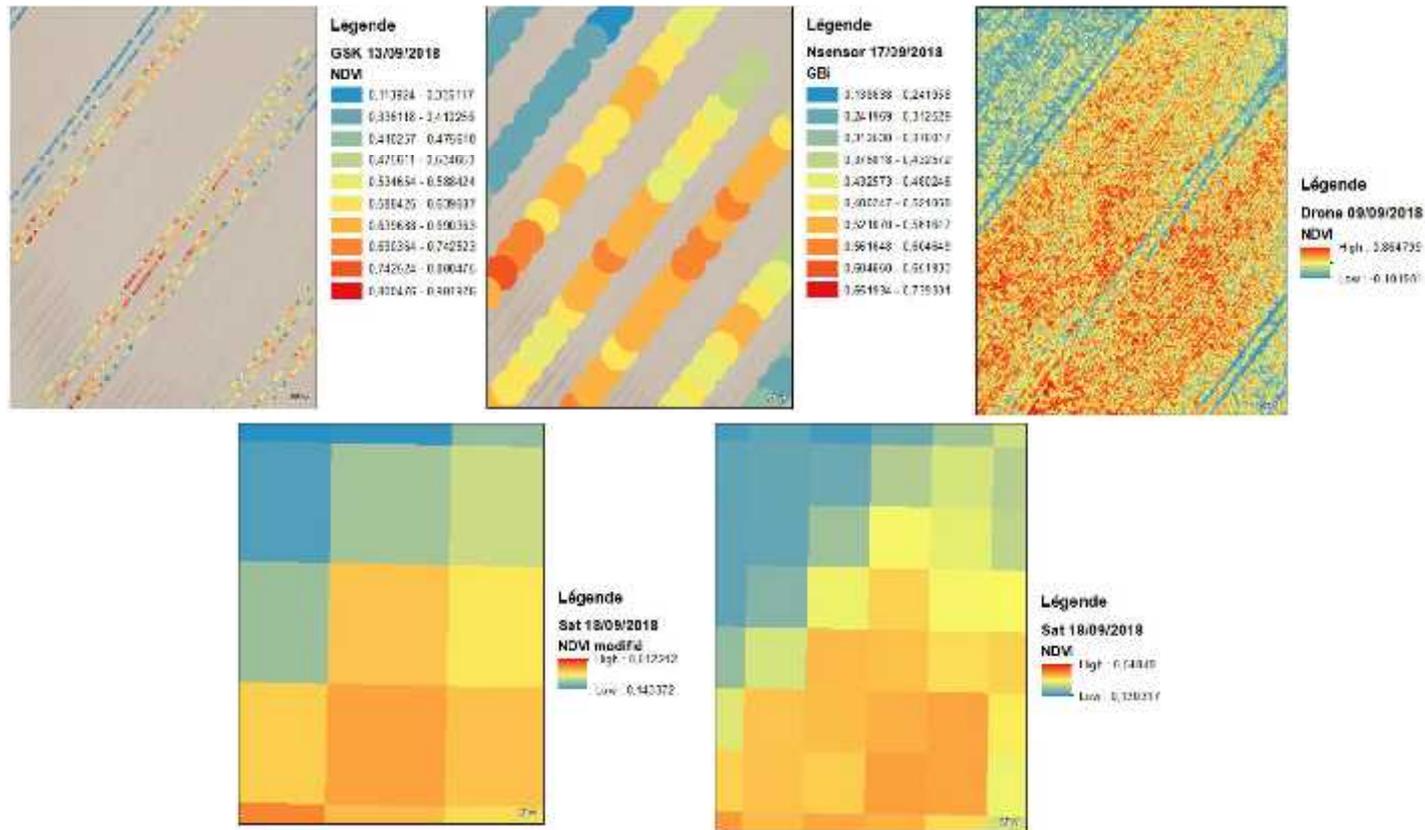


Source : Airinov

# Défanage - Comparaison

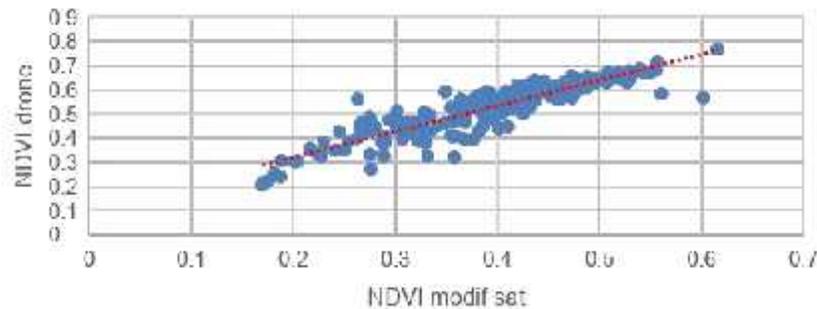
	Drone	Satellite	GSK	Nsensor
Couverture nuageuse	\	--	\	\
Sensibilité au vent	--	\	\	\
Passage supplémentaire	-	+	-	-
Position de la mesure	+	+	\	\
Traitement de données	-	-	\	\
Coûts	-	++	-	-
Surface prise en compte	++	++	-	+
Accessibilité	-	-	+	+

# Défanage - Comparaison

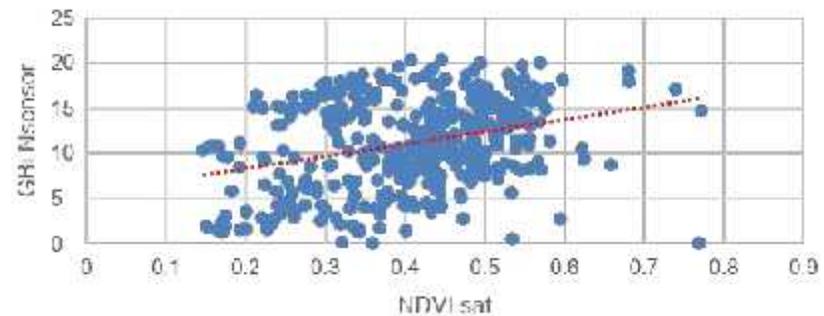


# Défanage - Comparaison

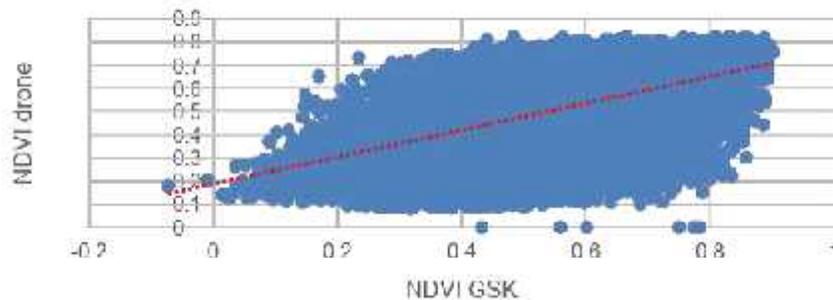
Drone VS satellite: NDVI



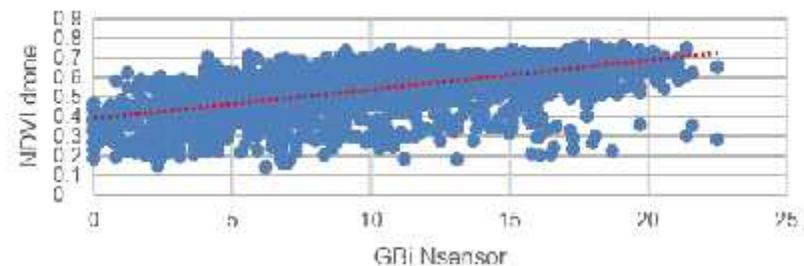
Satellite VS Nsensor



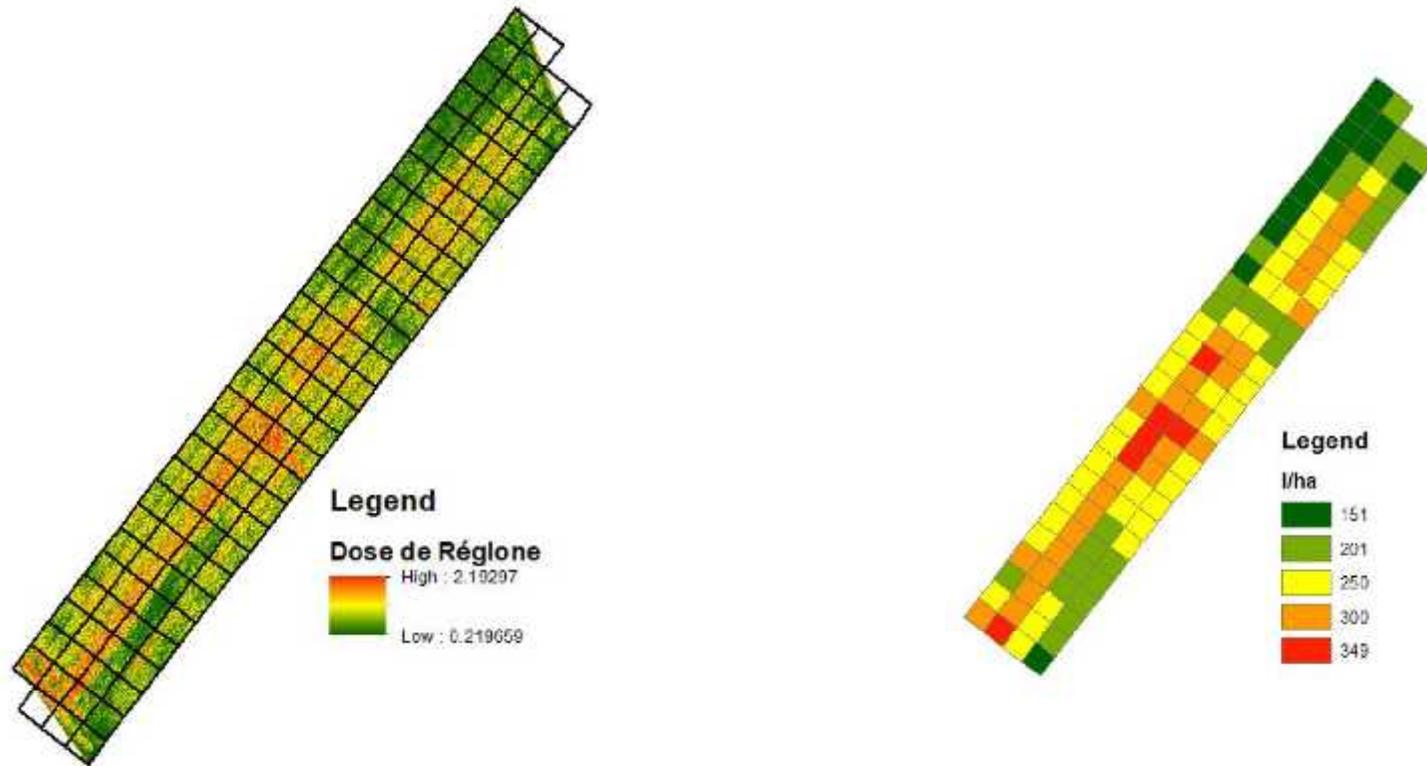
Drone VS GSK: NDVI



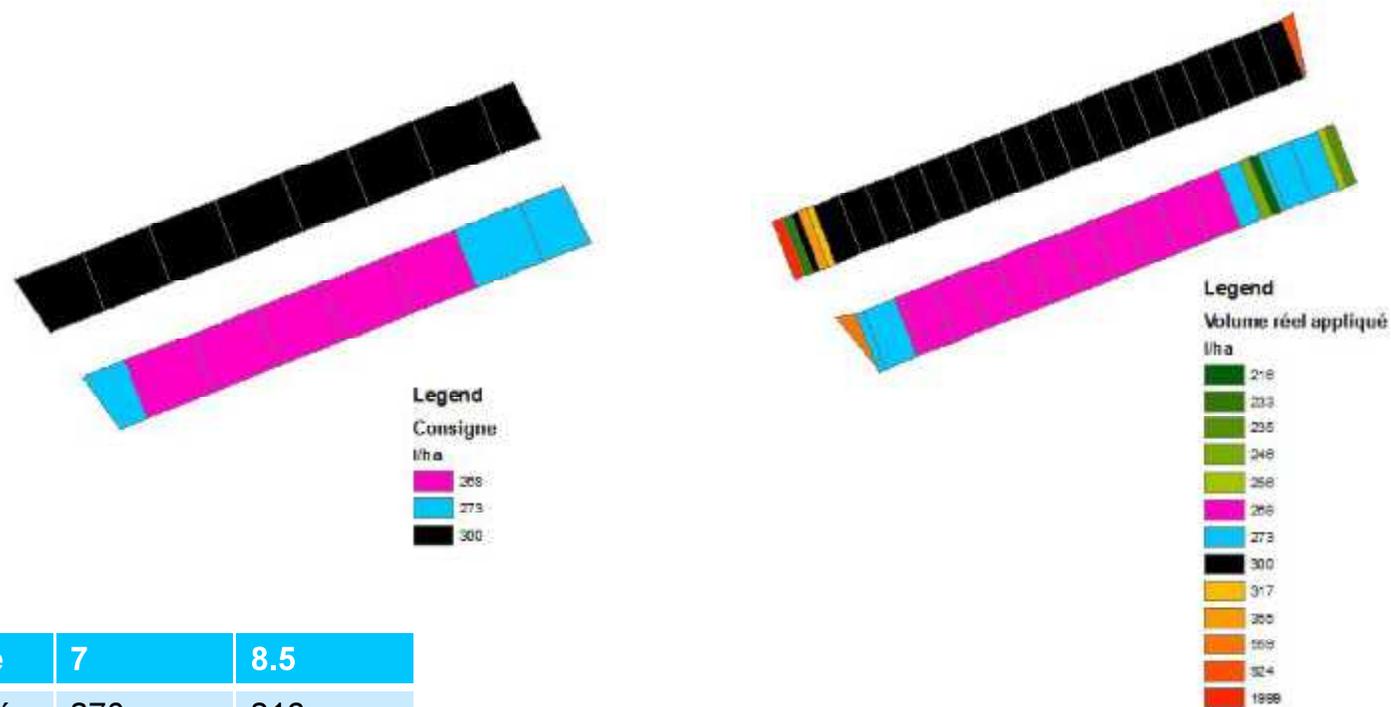
Drone VS Nsensor: indice biomasse



# Défanage - Carte de modulation



# Défanage - Carte de modulation



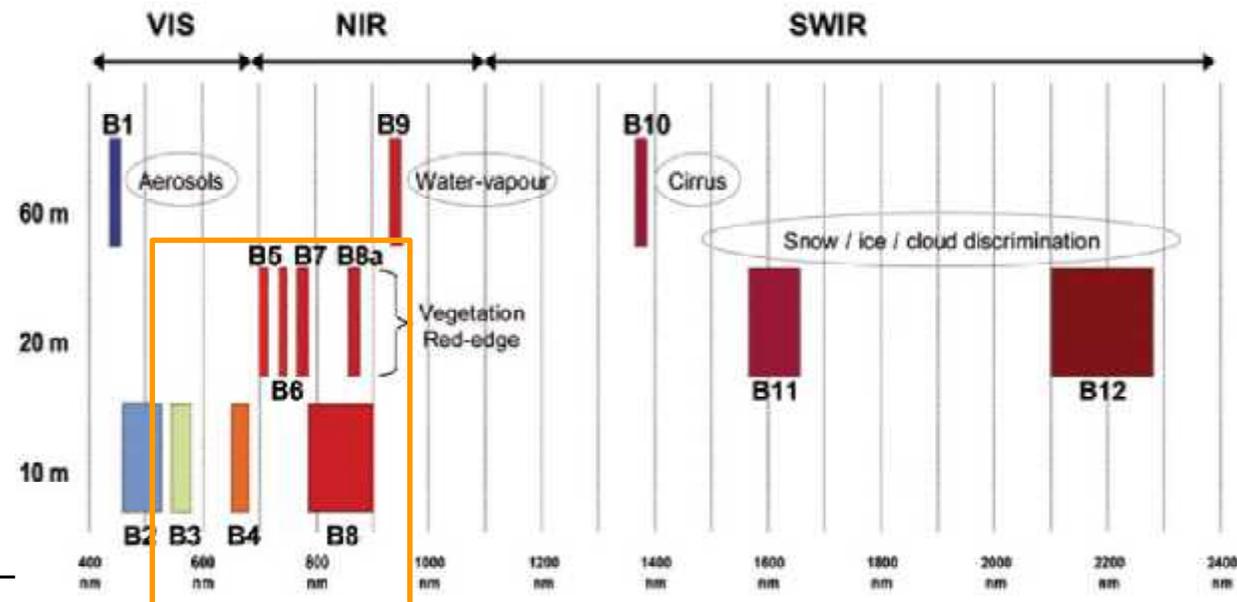
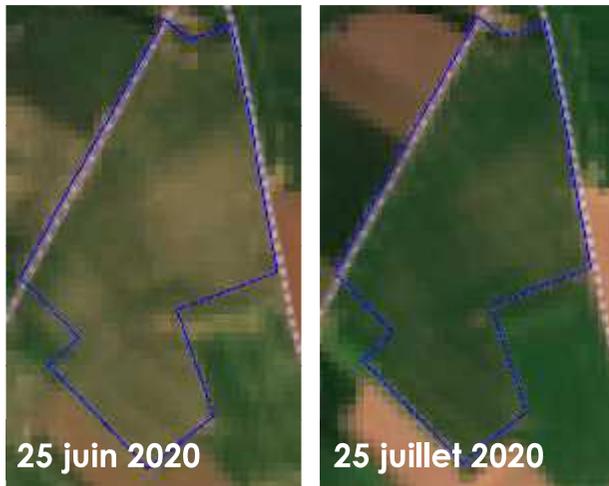
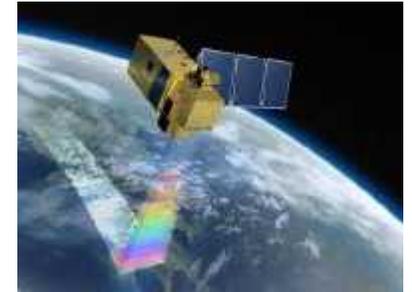
<b>Vitesse</b>	<b>7</b>	<b>8.5</b>
Quantité	270	216
Pression	3	3.6

# Défanage - Résultat

			<u>Classique</u> L/ha	<u>Modulé</u> L/ha	<u>Economie</u> <u>produit en</u> <u>volume</u>	<u>Economie</u> <u>€/ha</u>
<b>2018</b>	<b>Fontane</b>	<b>Reglone</b>	1,50	1,15	16%	4,9 €/ha
		<b>Spotlight</b>	1,00	0,95		
<b>2018</b>	<b>Bintje</b>	<b>Reglone</b>	3,25	2,63	19%	5,0 €/ha
<b>2019</b>	<b>Bintje</b>	<b>Reglone</b>	2,00	0,83	59%	9,4 €/ha
		<b>Spotlight</b>	1,00	0,62	38%	14,6 €/ha
<b>2019</b>	<b>Fontane</b>	<b>Reglone</b>	3,00	1,18	61%	14,5 €/ha
		<b>Spotlight</b>	1,00	0,84	16%	6,1 €/ha
		<b>Gojai</b>	0,80	0,72	10%	3,1 €/ha

# Satellite - Sentinel-2

- Réflectance à **12 longueurs d'ondes** => calcul d'indices de végétation
- Résolution spatiale = **10 mètres** (minimum)
- Résolution temporelle = **5 jours**
- Disponible **gratuitement**
- Image sur toute la parcelle => Prise en compte de l'**hétérogénéité** intra-parcellaire
- Limitation principale = couverture nuageuse



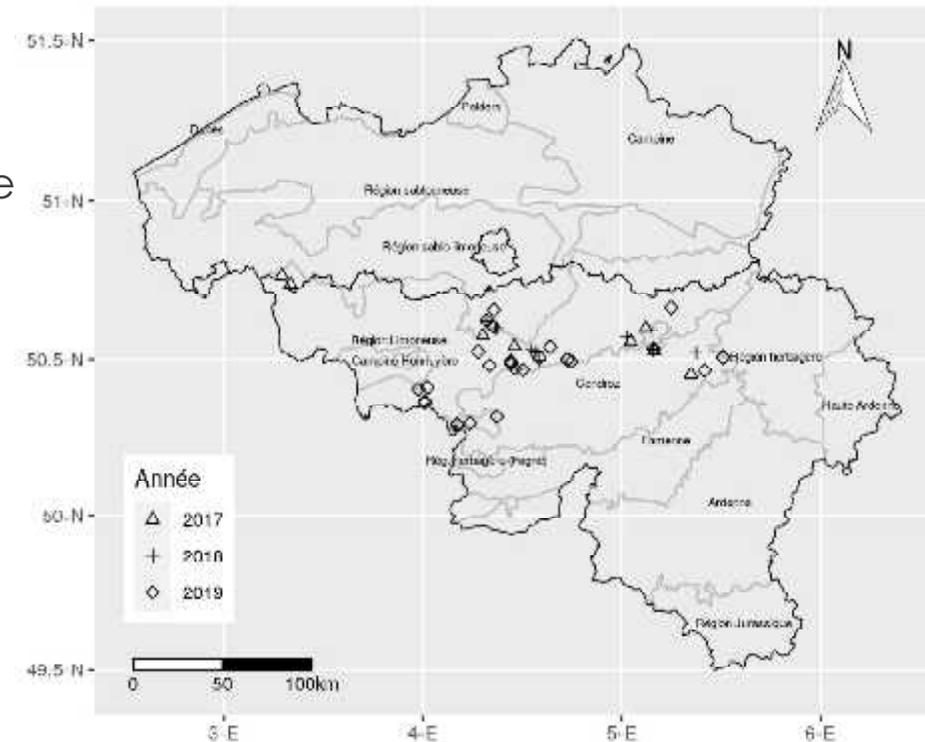
3e Carrefour Plants de Pomme de Terre, 14 & 15 octobre 2020

Vers une pomme de terre sans phytos ? Défis et enjeux pour la recherche et les filières

# Satellite - Sentinel-2 et fertilisation azotée

Expérimentation menée sur l'**évaluation du statut azoté** en cours saison (en situation réelle)

- Données collectées sur **3 ans**
- 40 à 60 unités d'échantillonnage par an
- **Biomasse** et teneur en **azote** (par IR en labo)
- Situations météorologiques et pédologiques contrastées
- Variétés **Bintje** et **Fontane** (+ Challenger)

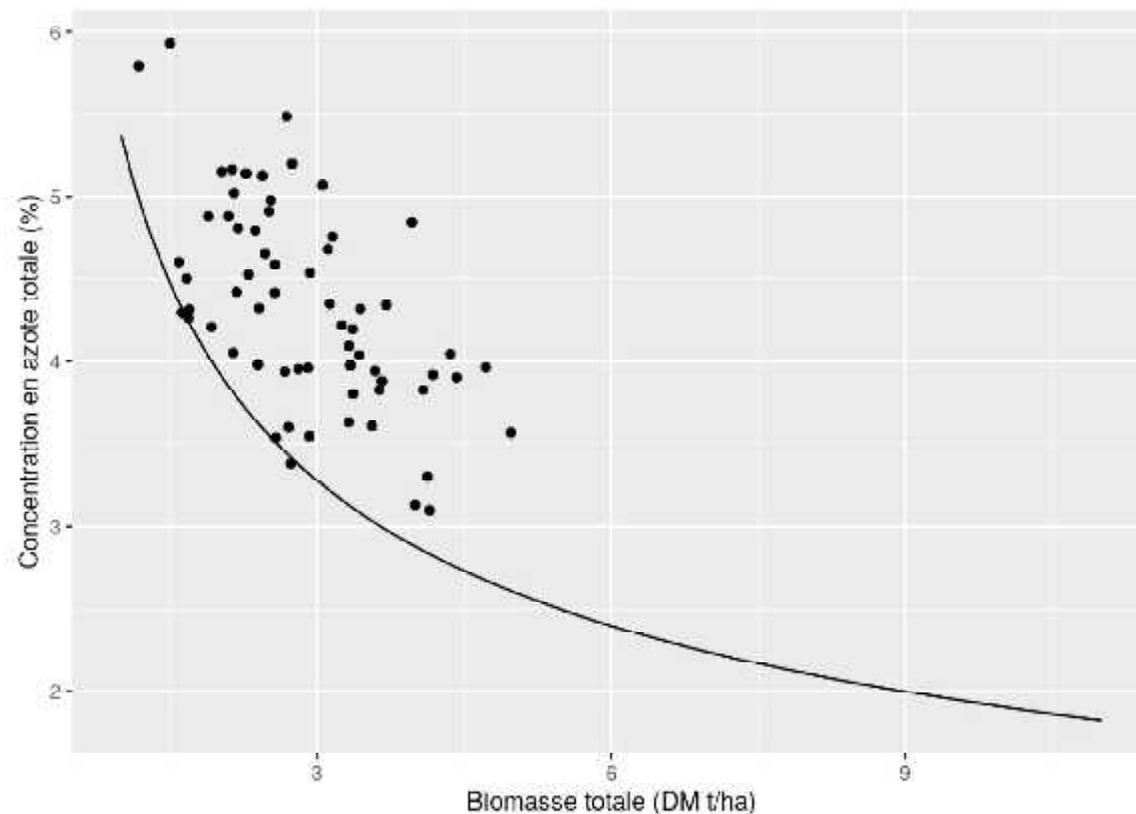


# Satellite - Sentinel-2 et fertilisation azotée

Statut azoté observé en pratique sur la **courbe de dilution** de la Bintje :

- Faible proportion à une valeur idéale de concentration en azote
- Grosse proportion au-dessus de la valeur critique

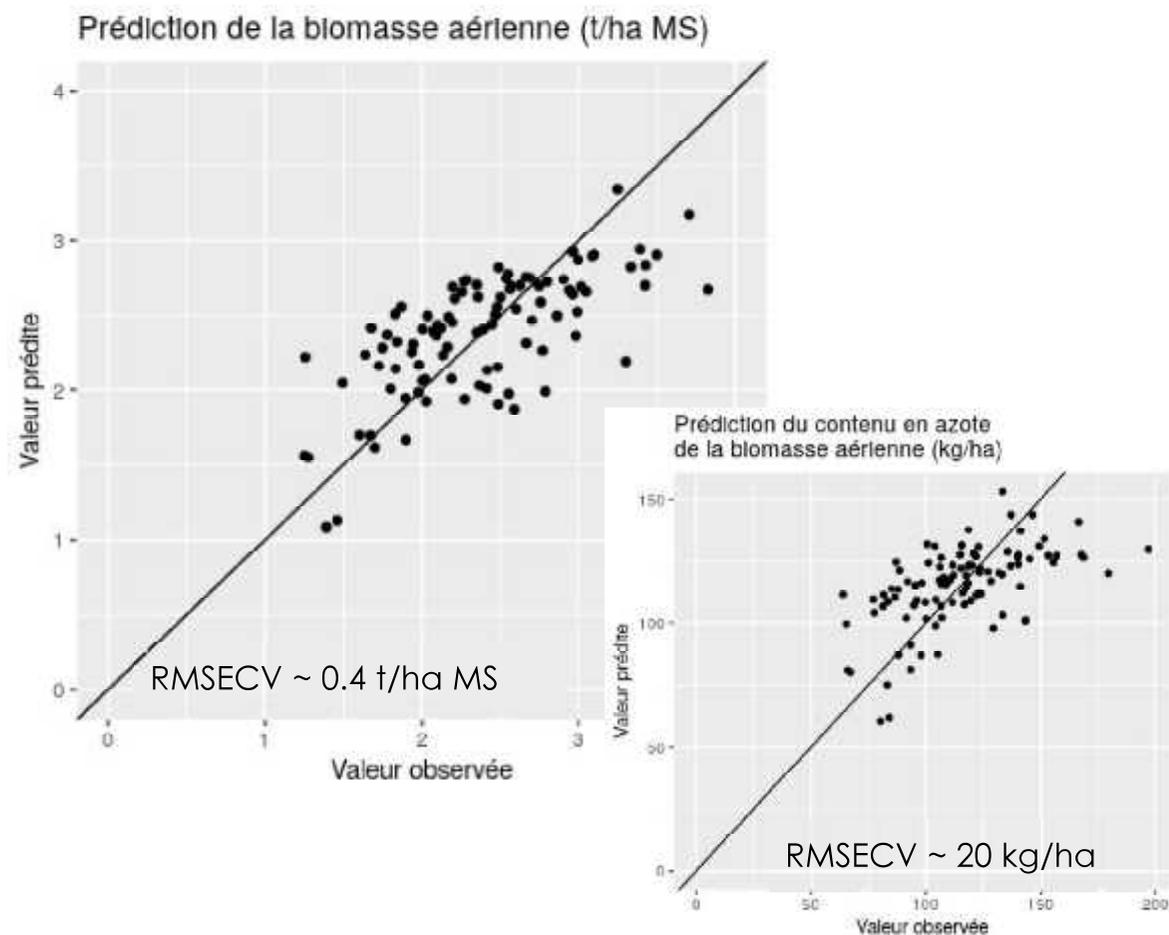
⇒ Concentration en azote (et donc fertilisation) plus que suffisante dans la plupart des cas



# Satellite - Sentinel-2 et fertilisation azotée

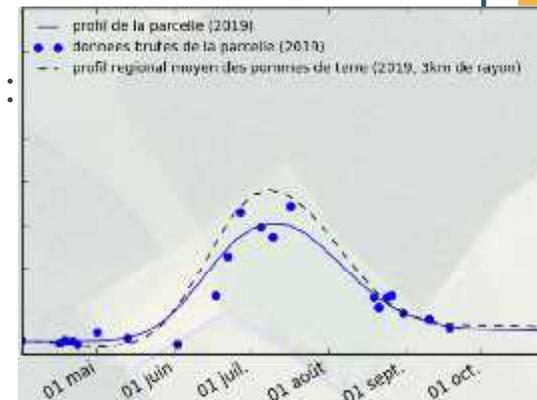
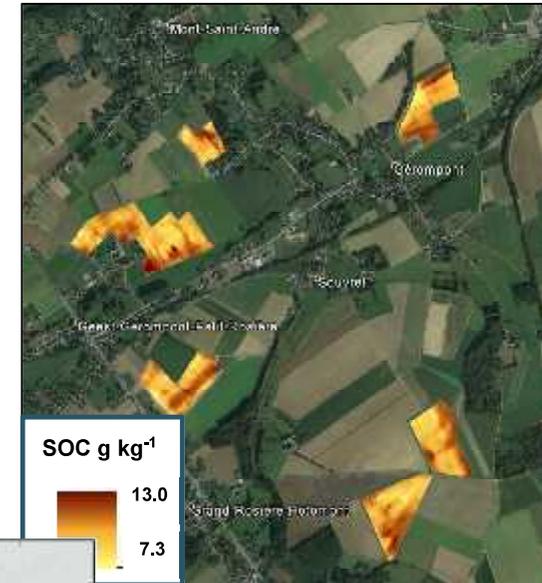
Premiers résultats et réflexions :

- Modèles combinant l'utilisation de plusieurs indices de végétation
- Ajout des degrés jours cumulés depuis la date de plantation : essentiel pour améliorer les résultats surtout pour l'estimation de la biomasse car explique la variation inter-annuelle
- Ajout de la balance hydrique : moins essentiel
- Effet variété non marqué



# Satellite - Autres travaux et perspective

- Amélioration de la recommandation azotée en début de saison (méthode du bilan) :
  - Estimation de la biomasse de la culture intermédiaire pour améliorer l'estimation de l'apport d'azote à la culture suivante
  - Estimation de la matière organique (reflectance du sol nu) pour prendre en compte l'hétérogénéité intra-parcellaire dans l'estimation de la minéralisation
- Potentiel principal de Sentinel-2 pour le suivi phyto :
  - Suivi temporel de la biomasse → Détection des changements pour détecter une anomalie et la cibler





**Merci de votre attention !**