

# Réduction des pertes en production agricole, via la prise en compte de la variabilité inter-parcellaire et la zonation des parcelles, à l'aide de capteurs sur satellites ou drones

## *Application au cas de l'azote en céréales, en pomme de terre et en maïs*



Jean-Pierre GOFFART,  
Viviane PLANCHON, Yannick CURNEL, Amaury LE CLEF (CRA-W)  
Cindy DELLOYE, Thomas DE MAET, Pierre DEFOURNY (UCL)  
Isabelle PICCARD, Anne GOBIN, Q. DONG (VITO)  
Joost WELLENS, Julien MINET, Bernard TYCHON (ULg Arlon)

## Principales sources de perte d'azote au champ

- Lessivage du nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )
- Volatilisation d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ )
- Emission de  $\text{N}_2$  et d'oxydes d'azote ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ : GES)

*Intensité de ces pertes fonction essentiellement de l'efficacité d'utilisation par les cultures de l'azote des engrais appliqués*

**Accroître l'efficacité agronomique de N !!!**  
*(= kg produit par kg d'engrais appliqué)*

## Que recherche-t-on pour y arriver ?



Des méthodes plus performantes  
pour déterminer la dose optimale d'engrais azoté (**Nopt**)

***Au final, pour maximiser le revenu financier net (RN)  
de l'agriculteur en réduisant ses coûts liés aux engrais  
(et à la stratégie de fertilisation au sens large)***

$$\text{RN} = (\text{Y} \times \text{G}) - (\text{N} \times \text{Np}) - (\text{autres frais variables et fixes})$$

Y= Rendement en grains (kg/ha)

G= prix de vente du grain (€/kg) (0,135 €)

N = quantité d'azote appliqué (kg N/ha)

Np = prix de l'engrais (€/kg N) (1€)

(Rmq: (N x Np) peut aussi inclure aussi les coûts liés à la stratégie de fertilisation)

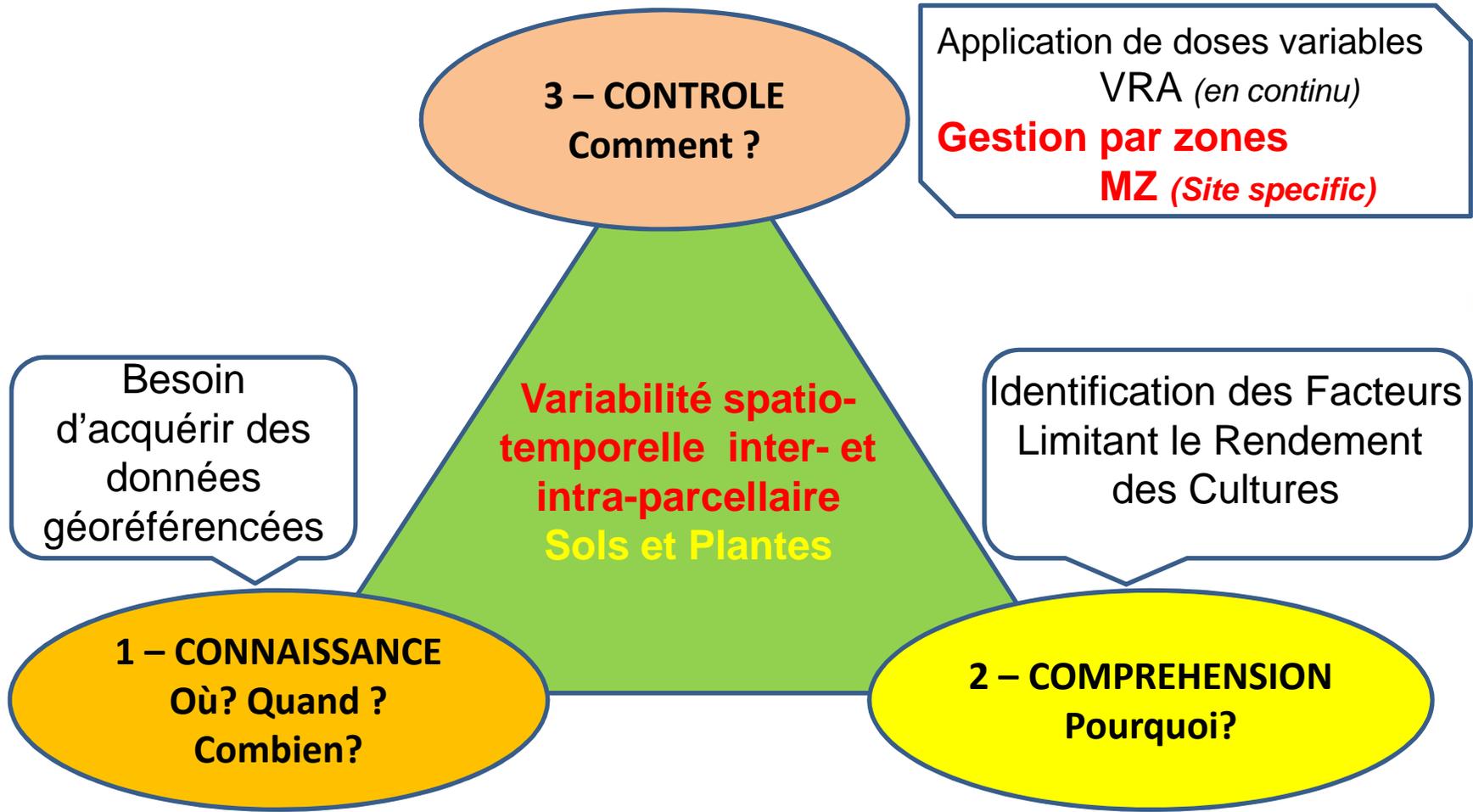
**Nopt**, pour une même culture et une même variété,  
varie:

- entre années
- entre champs
- au sein d'un même champ

à cause de:

- de la **variabilité spatiale** des propriétés du sol
- de la **variabilité temporelle** des conditions de croissance des cultures, liées aux variations des conditions météorologiques (amplifiées par le changement climatique)

# “Maîtriser” la variabilité en trois étapes



# Gestion de l'azote par zones homogènes et stables spatialement et temporellement au sein d'une parcelle

**Une zone homogène  
= zone à potentiel de rendement déterminé**

Il est démontré que :

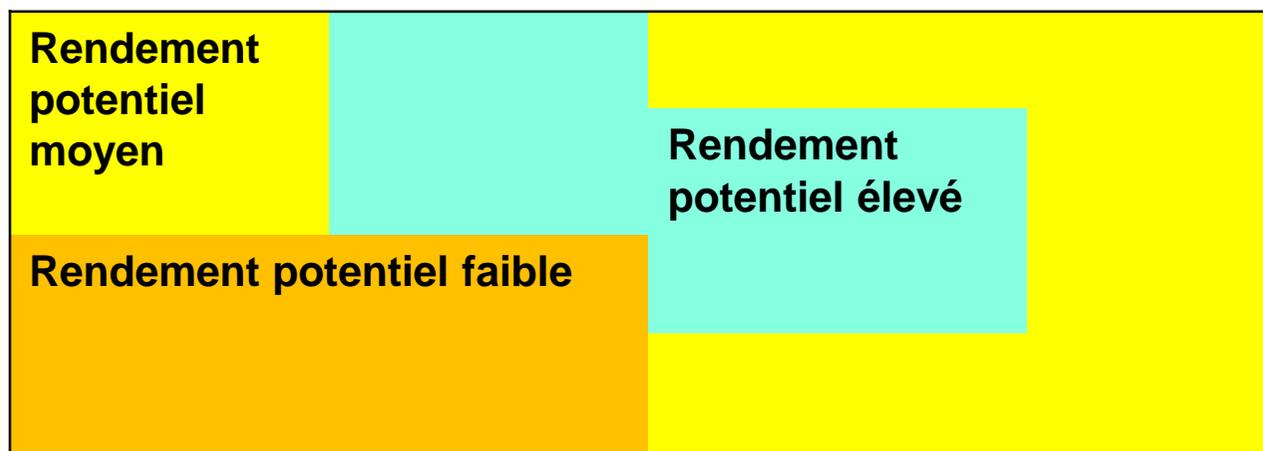
- Une dose unique d'azote sur l'ensemble de la parcelle ne maximise pas le revenu financier
- La modulation des doses d'engrais azoté par zone permet de maximiser le revenu net moyen, et de réduire les pertes d'azote par lessivage lorsque l'on arrive à la meilleure réponse de la culture à l'azote dans chaque zone  
(réponse fct de la disponibilité en eau, de la culture, de la variété)

# Illustration de l'intérêt de la zonation d'une parcelle pour moduler l'azote



Parcelle de 13,6 ha - Venise - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	Argile %	Limon %	Sable %	M.O. %	Densité sol (g/cm <sup>3</sup> )	Cond. Elect. µS/cm	N % (2005)
<b>Zone 1</b>	6,9	21,4	71,7	0,7	1,6	415,8	0,061
<b>Zone 2</b>	15,1	32,2	52,7	1,0	1,5	633,4	0,092
<b>Zone 3</b>	29,6	37,1	33,4	1,1	1,7	462,0	0,069



Centre wallon de Recherches agronomiques

# Effet de la modulation de l'azote sur des zones à potentiels de rendements différents



13,6 ha - Maïs grain, Venise, 2006 à 2008 - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	2006	Valeur Moyenne Années 2007 et 2008				
	Rdt t/ha					
<b>Zone 1</b>	5,15					
<b>Zone 2</b>	7,32					
<b>Zone 3</b>	9,21					
<b>Moyenne sur la parcelle</b>	7,23					

Centre wallon de Recherches agronomiques

# Effet de la modulation de l'azote sur des zones à potentiels de rendements différents



13,6 ha - Maïs grain, Venise, 2006 à 2008 - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	2006	Valeur Moyenne Années 2007 et 2008				
	Rdt t/ha	Apport N	kg N/ha			
<b>Zone 1</b>	5,15	Modulé (1,9 ha)	<b>170</b>			
		Unif. (1,9 ha)	<b>240</b>			
<b>Zone 2</b>	7,32	Modulé (3,71 ha)	<b>220</b>			
		Unif. (2,45 ha)	<b>240</b>			
<b>Zone 3</b>	9,21	Modulé (1,93 ha)	<b>200</b>			
		Unif. (1,73 ha)	<b>240</b>			
<b>Moyenne sur la parcelle</b>	7,23	Modulé (7,53 ha)	<b>202</b>			
		Unif. (6,07 ha)	<b>240</b>			

Centre wallon de Recherches agronomiques

# Effet de la modulation de l'azote sur des zones à potentiels de rendements différents



13,6 ha - Maïs grain, Venise, 2006 à 2008 - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	2006	Valeur Moyenne Années 2007 et 2008				
	Rdt t/ha	Apport N	kg N/ha	Rdt (t/ha)		
<b>Zone 1</b>	5,15	Modulé (1,9 ha)	<b>170</b>	5,4		
		Unif. (1,9 ha)	<b>240</b>	5,8		
<b>Zone 2</b>	7,32	Modulé (3,71 ha)	<b>220</b>	8,6		
		Unif. (2,45 ha)	<b>240</b>	8,3		
<b>Zone 3</b>	9,21	Modulé (1,93 ha)	<b>200</b>	8,7		
		Unif. (1,73 ha)	<b>240</b>	9,6		
<b>Moyenne sur la parcelle</b>	7,23	Modulé (7,53 ha)	<b>202</b>	7,76		
		Unif. (6,07 ha)	<b>240</b>	7,95		

Centre wallon de Recherches agronomiques

# Effet de la modulation de l'azote sur des zones à potentiels de rendements différents



13,6 ha - Maïs grain, Venise, 2006 à 2008 - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	2006	Valeur Moyenne Années 2007 et 2008			
	Rdt t/ha	Apport N	kg N/ha	Rdt (t/ha)	Rev. Net (€/ha)
<b>Zone 1</b>	5,15	Modulé (1,9 ha)	<b>170</b>	5,4	617
		Unif. (1,9 ha)	<b>240</b>	5,8	559
<b>Zone 2</b>	7,32	Modulé (3,71 ha)	<b>220</b>	8,6	963
		Unif. (2,45 ha)	<b>240</b>	8,3	890
<b>Zone 3</b>	9,21	Modulé (1,93 ha)	<b>200</b>	8,7	981
		Unif. (1,73 ha)	<b>240</b>	9,6	1079
<b>Moyenne sur la parcelle</b>	7,23	Modulé (7,53 ha)	<b>202</b>	7,76	<b>861</b>
		Unif. (6,07 ha)	<b>240</b>	7,95	849

Centre wallon de Recherches agronomiques

# Effet de la modulation de l'azote sur des zones à potentiels de rendements différents



13,6 ha - Maïs grain, Venise, 2006 à 2008 - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	2006	Valeur Moyenne Années 2007 et 2008				
	Rdt t/ha	Apport N	kg N/ha	Rdt (t/ha)	Rev. Net (€/ha)	N lessivé (kg N/ha)
<b>Zone 1</b>	5,15	Modulé (1,9 ha)	<b>170</b>	5,4	617	13,5
		Unif. (1,9 ha)	<b>240</b>	5,8	559	14,5
<b>Zone 2</b>	7,32	Modulé (3,71 ha)	<b>220</b>	8,6	963	13,9
		Unif. (2,45 ha)	<b>240</b>	8,3	890	14,2
<b>Zone 3</b>	9,21	Modulé (1,93 ha)	<b>200</b>	8,7	981	14,7
		Unif. (1,73 ha)	<b>240</b>	9,6	1079	15,3
<b>Moyenne sur la parcelle</b>	7,23	Modulé (7,53 ha)	<b>202</b>	7,76	<b>861</b>	14,7
		Unif. (6,07 ha)	<b>240</b>	7,95	849	14,6

Centre wallon de Recherches agronomiques

# Effet de la modulation de l'azote sur des zones à potentiels de rendements différents



13,6 ha - Maïs grain, Venise, 2006 à 2008 - B. Basso & B. Dumont, 2016.

	2006	Valeur Moyenne Années 2007 et 2008				
	Rdt t/ha	Apport N	kg N/ha	Rdt (t/ha)	Rev. Net (€/ha)	N lessivé (kg N/ha)
<b>Zone 1</b>	5,15	Modulé (1,9 ha)	<b>170</b>	5,4	617	13,5
		Unif. (1,9 ha)	<b>240</b>	5,8	559	14,5
<b>Zone 2</b>	7,32	Modulé (3,71 ha)	<b>220</b>	8,6	963	13,9
		Unif. (2,45 ha)	<b>240</b>	8,3	890	14,2
<b>Zone 3</b>	9,21	Modulé (1,93 ha)	<b>200</b>	8,7	981	14,7
		Unif. (1,73 ha)	<b>240</b>	9,6	1079	15,3
<b>Moyenne sur la parcelle</b>	7,23	Modulé (7,53 ha)	<b>202</b>	7,76	<b>861</b>	14,7
		Unif. (6,07 ha)	<b>240</b>	7,95	849	14,6

Centre wallon de Recherches agronomiques

**Modulation = Economie de 38 kg N/ha et maximisation du revenu net moyen**

# Enseignements pratiques de ce qui est connu



Viser une bonne utilisation de l'azote des engrais, et donc éviter le gaspillage des engrais azotés, est possible via une **approche en deux phases**:

## **Stratégique** (échelle pluriannuelle)

Délimiter les zones à potentiel de rendement élevés, moyens et faibles au sein de chaque parcelle

## **Tactique** (échelle annuelle)

Moduler les apports en azote, entre ces zones, à l'aide d'outils d'aide à la décision, simples et à réponse rapide mais robuste et pertinente, pour décider a priori de la dose Nopt à appliquer dans chaque zone

C'est dans ce contexte que les infos issues d'images satellite ou de drones peuvent être utiles,

tant pour la phase stratégique

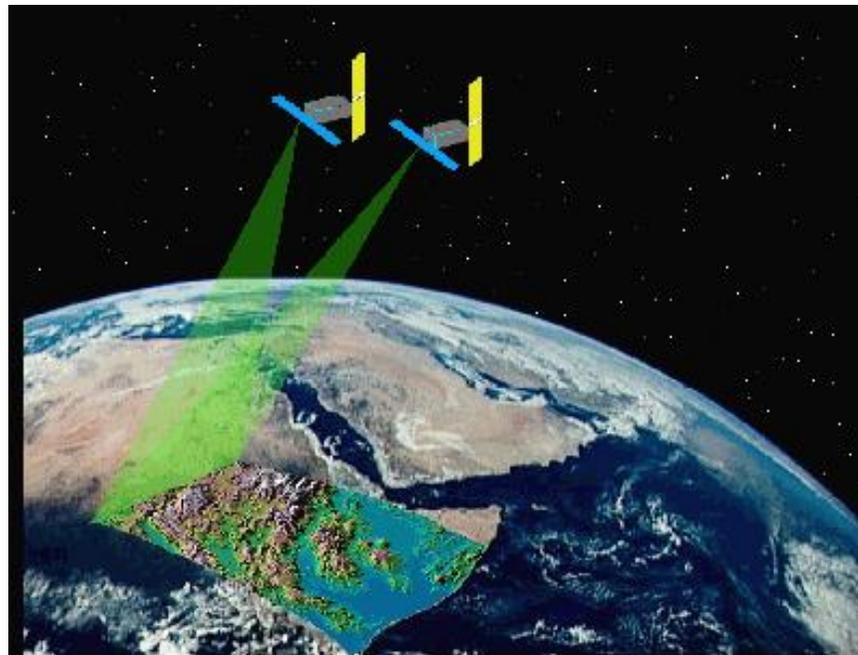
que pour la phase tactique



## Téledétection spatiale...

- **Imagerie satellitaire ( permet de voir toutes les parcelles sur un territoire)**

*Landsat, Spot, Proba-V, Sentinel, Deimos, Rapid-Eye, RadarSat, ...*



# Secteur en pleine (ré)- évolution - Pourquoi?



Au niveau européen pour l'observation de la terre	Jusqu'à présent	A partir de 2015 satellite <b>SENTINEL 2</b>
Résolution spatiale <i>(taille des pixels)</i>	10 à 300 m	10 à 60 m
Résolution temporelle <i>(fréquence de passage)</i>	10 - 25 jours	(5) à 10 jours
Taille des images	60 x 60 km	<b>290 x 290 km</b>
Capacité d'analyse de la végétation d'une parcelle	5 à 6 bandes spectrales	13 bandes spectrales
Coût d'acquisition des images	2.000 à 4.000€/image	<b>Accès GRATUIT</b>

Walloon Agricultural Research Centre

+ développement rapide actuel de micro et nano satellites



## ..... ou télédétection aérienne

- **Imagerie drones légers (sur quelques hectares)**

*Aile fixe ou multicoptère + capteurs optiques*



- **Imagerie par avion (sur une zone ou région)**

*Vols APEX  
avec capteurs optiques*



# Approche stratégique BELCAM / VISA



## Comment définir des zones au sein d'une parcelle ?

### Combinaison de:

- Couches d'information dans des SIG (carte numérique des sols, ...)
- Analyses chimiques et physique du sols
- Télédétection spatiale et aérienne (du sol et de la végétation)
- Cartes successives de rendement
- Modèle numérique de terrain (pente et paysage)

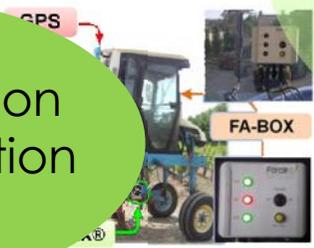
# Collecte des données (VISA)



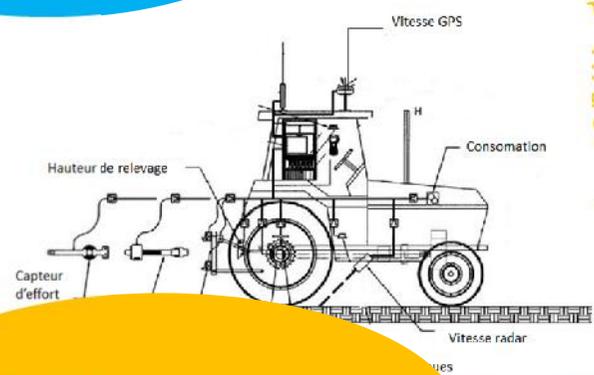
Caractérisation de la récolte



Caractérisation de la végétation

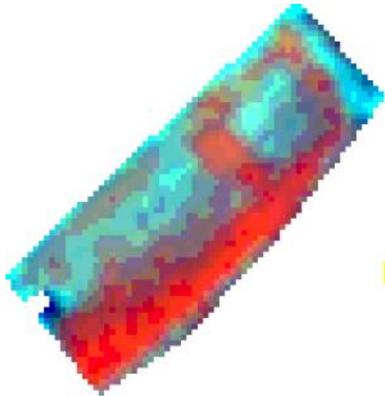


Caractérisation du sol

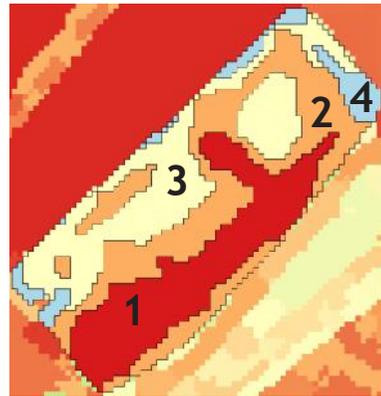
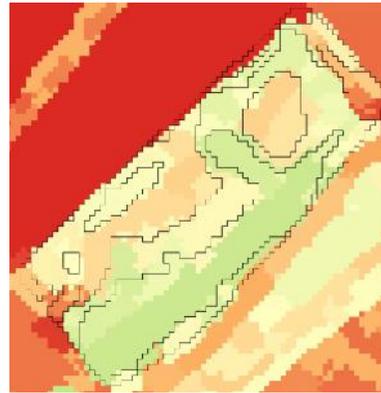
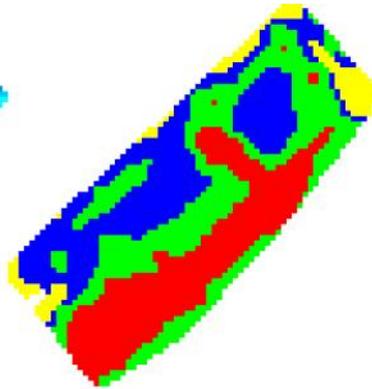


# ELEMENTS DE ZONATION PAR IMAGE SATELLITE SUR LA VEGETATION (POMME DE TERRE, BINTJE, RÉGION DE GEMBLOUX, 2015)

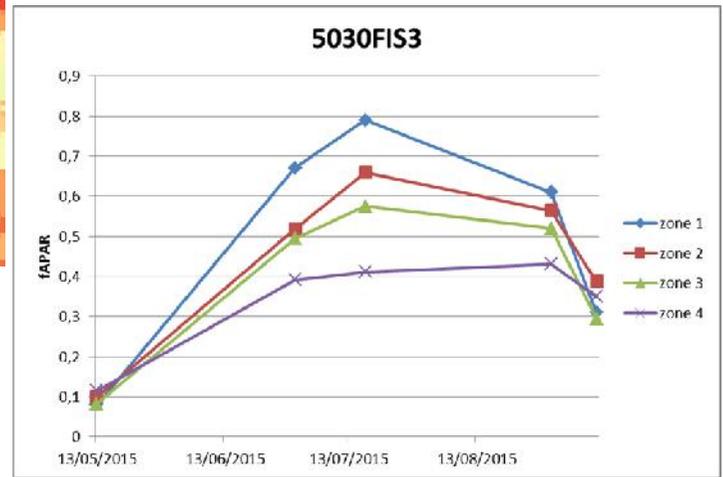
RGB (NIR, RedEdge, Red)



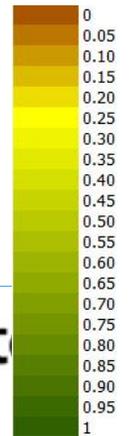
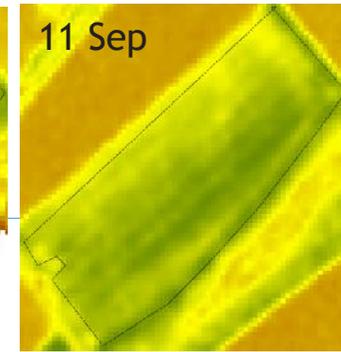
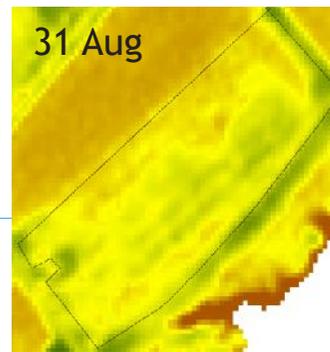
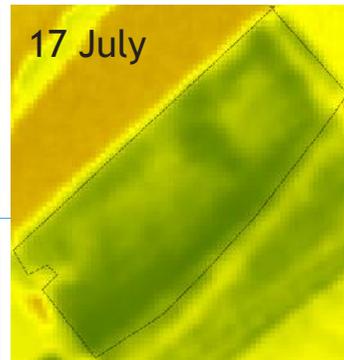
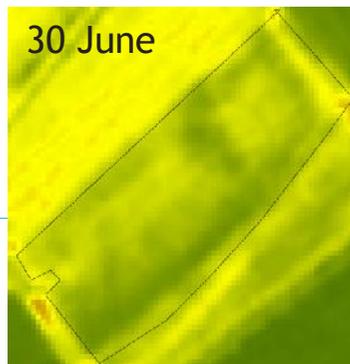
Premiers résultats



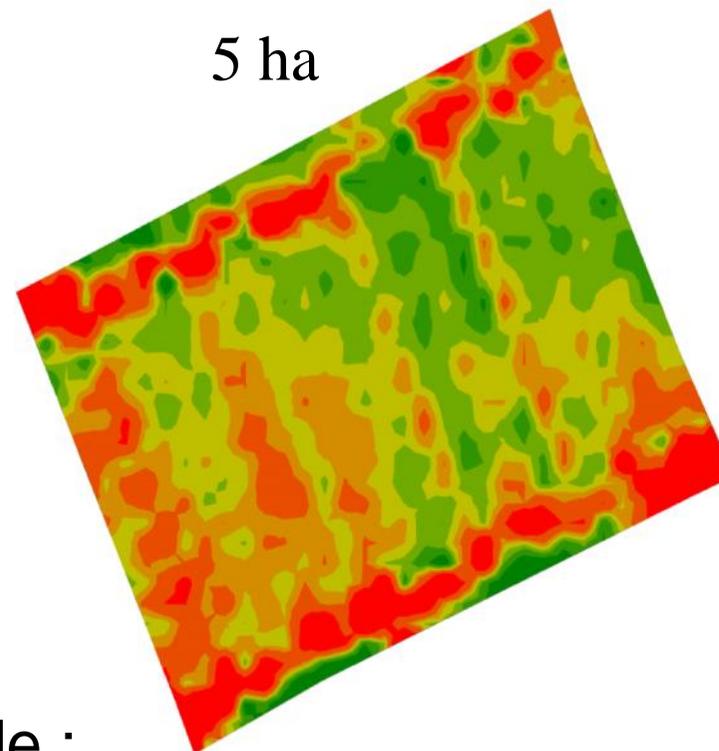
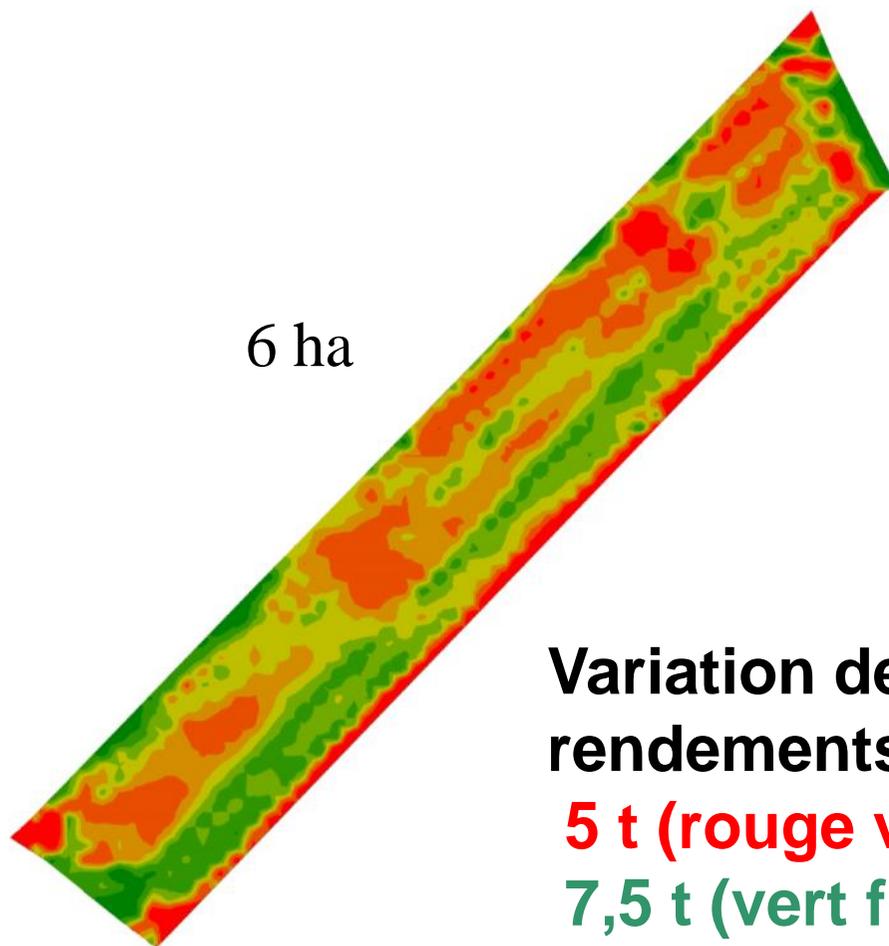
Après analyse



fAPAR



# ELEMENTS DE ZONATION PAR CARTES DE RENDEMENT (ORGE D'HIVER, RÉGION DE GEMBOLOUX, RÉCOLTE 2016)



Variation des rendements de :  
**5 t (rouge vif)** à  
**7,5 t (vert foncé)**

Projet VISA  
Quentin Limbourg  
Roxane Drion  
Gaëtan Dubois

## Approche tactique Belcam



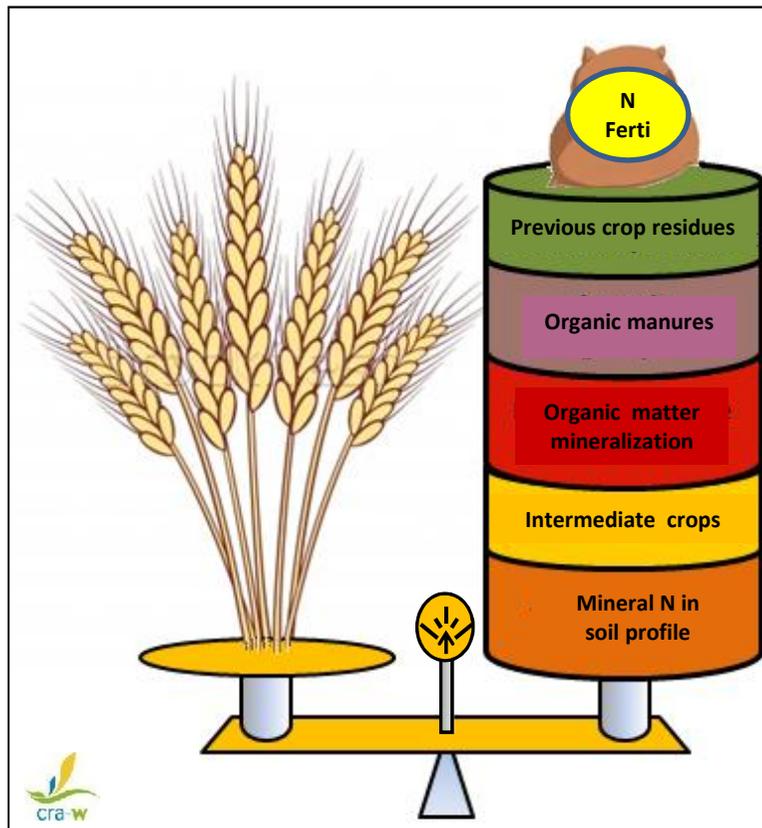
Dans chaque parcelle et dans chaque zone homogène  
d'une parcelle hétérogène

- 1. Etablissement dose N recommandée par le bilan N prévisionnel sortie hiver/printemps
- 2. Suivi du statut azoté de la biomasse en cours de saison pour déterminer:
  - ❖ 3<sup>ème</sup> fraction N pour le froment d'hiver
  - ❖ Apport complémentaire N pour la pomme de terre

# 1. Bilan prévisionnel en azote établi en février/mars à l'échelle de chaque parcelle ou de chaque zone

Besoins en N

Fournitures en N



## Situation actuelle

Données  
fournitures basées  
sur

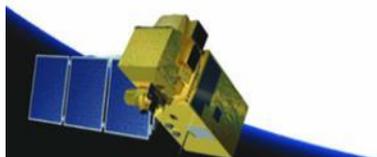
- Info sur la parcelle provenant des agriculteurs
- Tables de paramètres standard

**Grande incertitude  
sur la valeur des  
infos!**

## Résultats attendus dans Belcam

Infos plus fiables **via images satellites** et autre sources

- **Précédent cultural**
- **Culture CIPAN / SIE**
- **Devenir des résidus**
- **Texture du sol**
- ***Application d'engrais de ferme.***



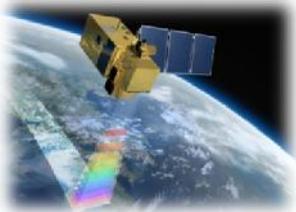


# 2. Evaluation du statut en azote de la culture en cours de saison...



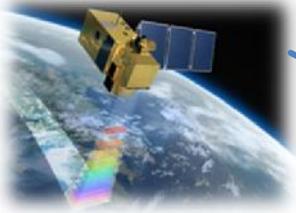
Téledétection  
par satellites

Indicateur statut en N:  $INN = N\% \text{ mesuré} / N\% \text{ critique}$



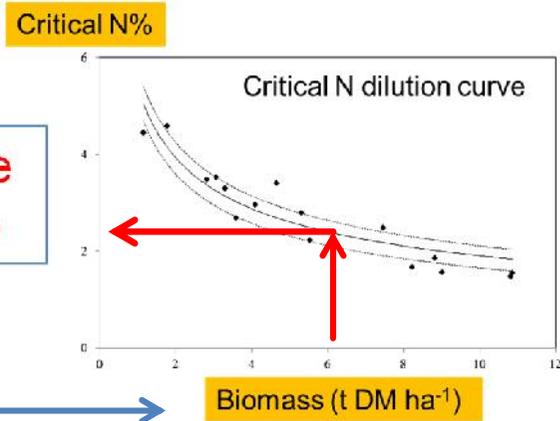
Teneur en chlorophylle  
des feuilles

N% mesuré



Indice de  
surface  
des feuilles  
LAI

Biomasse  
produite



N% critique

Modèles de simulation de croissance des cultures  
(fct sol, température, disponibilités en eau)

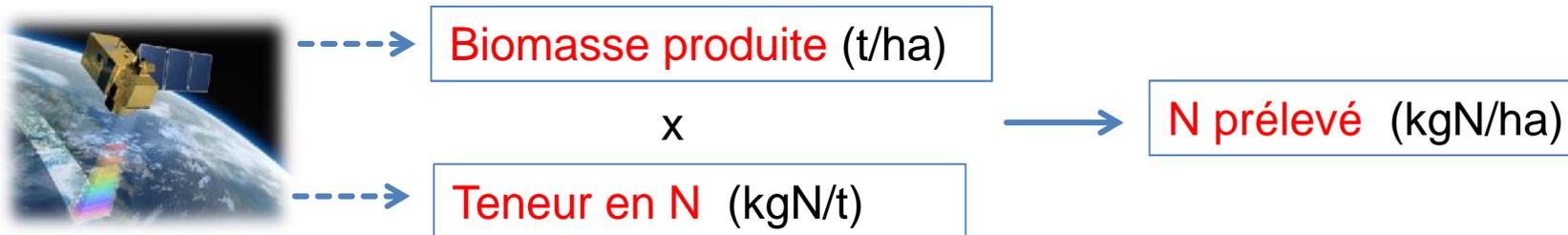
INN



# ... pour décider du complément en azote à apporter



- Troisième apport (dernière feuille) en froment (en mai)
- Apport complémentaire en pomme de terre (en juin/juillet)



$$\text{Complément N (kg N / ha)} = \text{N total requis} - \text{N prélevé}$$

Froment : 3,5 kg N pour 100kg grains  
Pomme de terre: 5 kg N pour 1 tonne tubercules

(Valeurs indicatives)



## Partenariat et système de collaboration possible via le 'farmsourcing'

**Objectif = accélérer la boucle de circulation de l'information** entre les agriculteurs, les Centres pilotes en Wallonie et les Centres techniques en Flandre, les développeurs et les chercheurs pour améliorer le transfert des connaissances via une **plate-forme informatisée et interactive sur le web regroupant l'ensemble des données géolocalisées.**

Centre wallon de Recherches agronomiques

# Plate-forme informatisée et interactive sur le web regroupant l'ensemble des données géolocalisées.



The screenshot displays the BELCAM web interface. On the left, a sidebar titled 'Mes parcelles' lists various agricultural plots. Below it, the 'Informations générales' section shows a list of field activities (Travaux au champ) including fertilization and sowing. The main area is a satellite map of a rural landscape with several parcels outlined in white and one highlighted in red. The BELCAM logo is visible at the bottom center of the map area.

Page appartenant à Cindy Delloye

**Mes parcelles**

- Bintje Comijn rue des
- Ramelot et Abbée
- Bladziekteproef Koksij
- Bladziekteproef Zweve
- Champ de Leyde G
- Ernage Bintje Van de F
- Grand Bordia
- Hassel
- Isières
- Melles
- NETTINES FH CRAW
- Nandrin. Bintje de Ma

**Informations générales**

**Travaux au champ (4)**

- Fertilisation**  
Engrais de synthèse ammonitrate  
75 unités d'azote par ha  
12 May 2016
- Fertilisation**  
Engrais de synthèse N40  
150 litres par ha  
3 Apr 2016
- Fertilisation**  
Engrais de synthèse ammonitrate  
55 unités d'azote par ha  
1 Mar 2016
- Semis**  
Blé d'hiver Anapolis 350 plantes/ha  
14 Oct 2015

belcam

Collaboration CP/CT  
Échanges via la  
plate-forme  
BELCAM

Centre wallon de Recherches agronomiques





Page appartenant à Jean-Pierre Goffart

Mes parcelles

- Visible
- Near infrared

# Image Sentinel 2 (visible)



Visible: Les images satellites sont présentées dans le visible, c'est à dire en couleurs réelles telles qu'on les perçoit sur une photographie.

Proche infra-rouge: Quand on inclut le proche infra-rouge, la végétation sur l'image apparait rouge. L'intensité du rouge est directement liée au développement de la végétation. Plus le rouge est foncé, plus la végétation est dense. Le sol nu dans les champs apparait dans les tons jaunes-bruns et les routes en gris.





Page appartenant à Jean-Pierre Goffart

Mes parcelles

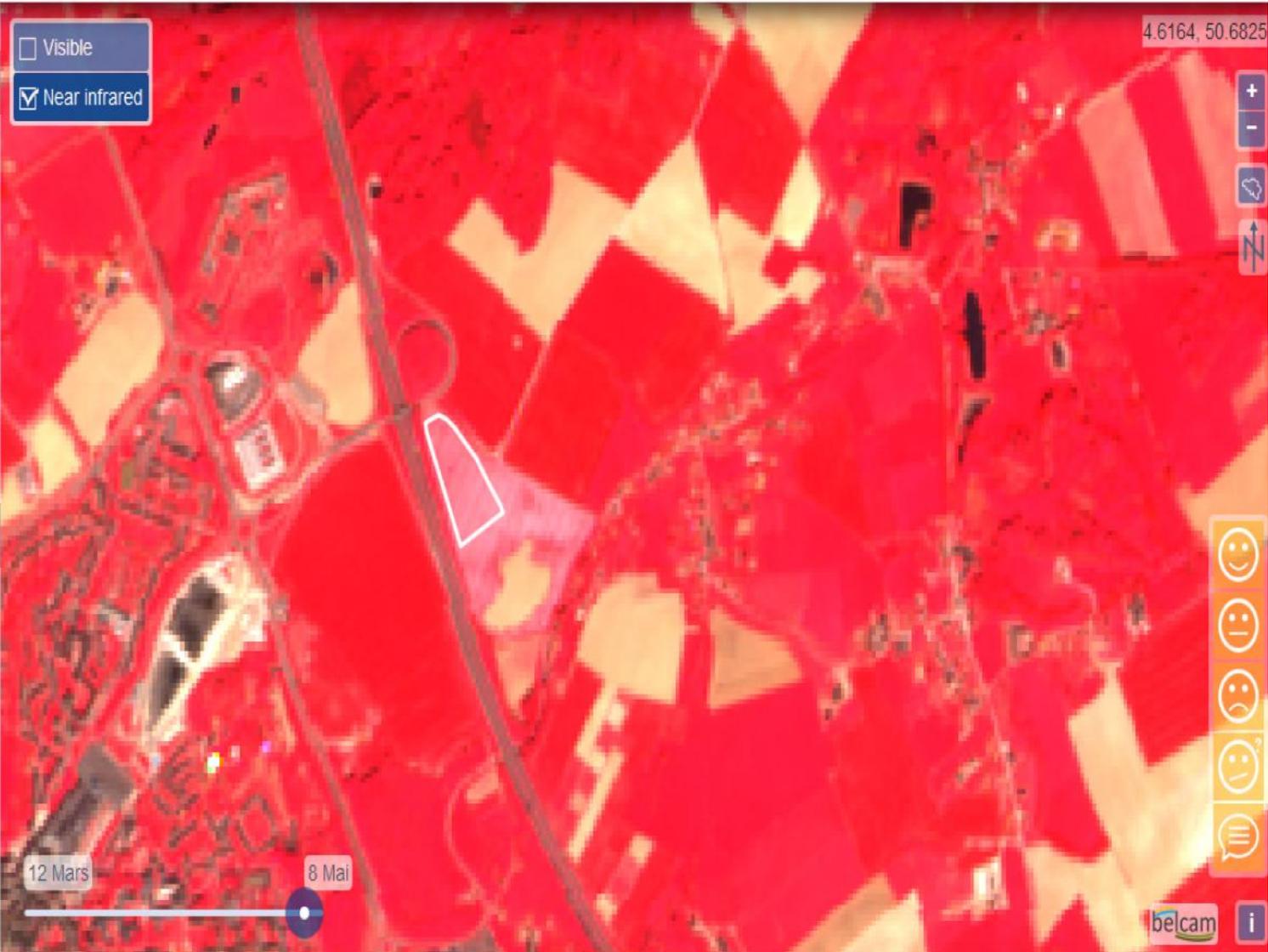
# Image Sentinel 2 (proche infra-rouge)



Visible: Les images satellites sont présentées dans le visible, c'est à dire en couleurs réelles telles qu'on les perçoit sur une photographie.

Proche infra-rouge: Quand on inclut le proche infra-rouge, la végétation sur l'image apparait rouge. L'intensité du rouge est directement liée au développement de la végétation. Plus le rouge est foncé, plus la végétation est dense. Le sol nu dans les champs apparait dans les tons jaunes-bruns et les routes en gris.

Visible  
 Near infrared



# Conclusion



## Deux questions :

- ❑ 1. La modulation, inter et intra-champs, des doses d'engrais azoté au sein des parcelles agricoles wallonnes est-elle nécessaire et utile sur le plan économique et environnementale ?
- ❑ 2. Si oui, quelle approche, entre VRA et MZ, est la mieux adaptée à la situation du parcellaire agricole wallon?
  - *Réponse 1: Oui (selon le degré d'hétérogénéité de la parcelle)*
  - *Réponse 2: Une combinaison des deux, selon la faisabilité technico-économique des méthodes retenues*

A circular view of a green field, possibly a golf course, with the text "Merci pour votre attention" overlaid in white. The field is lush and green, with some brown patches of earth visible. The text is centered and reads "Merci pour votre attention".

**Merci pour votre  
attention**