

*Présentation originale réalisée dans le cadre de la journée d'étude sur  
l'Agriculture de Précision  
Organisée par la Chambre de commerce Tuniso-Belgo-Luxembourgeoise*



# Agriculture de Précision, Modèle de culture & Phytotechnie

- Dr Ir Benjamin Dumont -  
- Ainsi que toutes les personnes impliquées dans ce projet -

*Tunis, Tunisie, 10 Mars 2017*

## ➤ ***Contexte général***

- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
- Collecter l'information
- Prévion des rendements
- Optimisation du management de l'azote
- Conclusion

# Contexte général



1945

→ Vision **productiviste** de l'agriculture

1960

→ Vision **réductionniste** de l'agriculture - Révolution verte

# Contexte général



1945

→ Vision **productiviste** de l'agriculture

1960

→ Vision **réductionniste** de l'agriculture - Révolution verte

1980

→ **Agriculture de Précision** – €€€

# Contexte général



1945

→ Vision **productiviste** de l'agriculture

1960

→ Vision **réductionniste** de l'agriculture - Révolution verte

1980

→ **Agriculture de Précision** – €€€

1990

→ **Directive Européenne Nitrate 91/676/EEC**

# Contexte général



1945

→ Vision **productiviste** de l'agriculture

1960

→ Vision **réductionniste** de l'agriculture - Révolution verte

1980

→ **Agriculture de Précision** – €€€

1990

→ **Directive Européenne Nitrate 91/676/EEC**

Présent

→ Besoin de concilier **économie** et **environnement**

# Contexte général



1945

→ Vision **productiviste** de l'agriculture

1960

→ Vision **réductionniste** de l'agriculture - Révolution verte

1980

→ **Agriculture de Précision** – €€€

1990

→ **Directive Européenne Nitrate 91/676/EEC**

Présent

→ Besoin de concilier **économie** et **environnement**

Futur

→ Besoin d'**outil** d'aide au **processus décisionnel**

- Contexte général

- ***L'expérimentation numérique***

- La modélisation agronomique

- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)

- Collecter l'information

- Préviation des rendements

- Optimisation du management de l'azote

- Conclusion



# Expérimentation agronomique



Questionnement  
Problématique



Hypothèses



Expérimentation



Analyse



Conclusion  
Décision  
Recommandation

# Expérimentation agronomique



Questionnement  
Problématique

Hypothèses

**Expérimentation**

Analyse

Conclusion  
Décision  
Recommandation

{  
Référence absolue  
Couteux  
Energivore  
Spécifique  
Peu-transférable

## Drone/Satellite



- Couverture spatiale élevée
- Résolution temporelle faible
- “Instantané”
- Diagnostique



## Drone/Satellite



- Couverture spatiale élevée
- Résolution temporelle faible
- “Instantané”
- Diagnostique



© Can Stock Photo - csp3087267

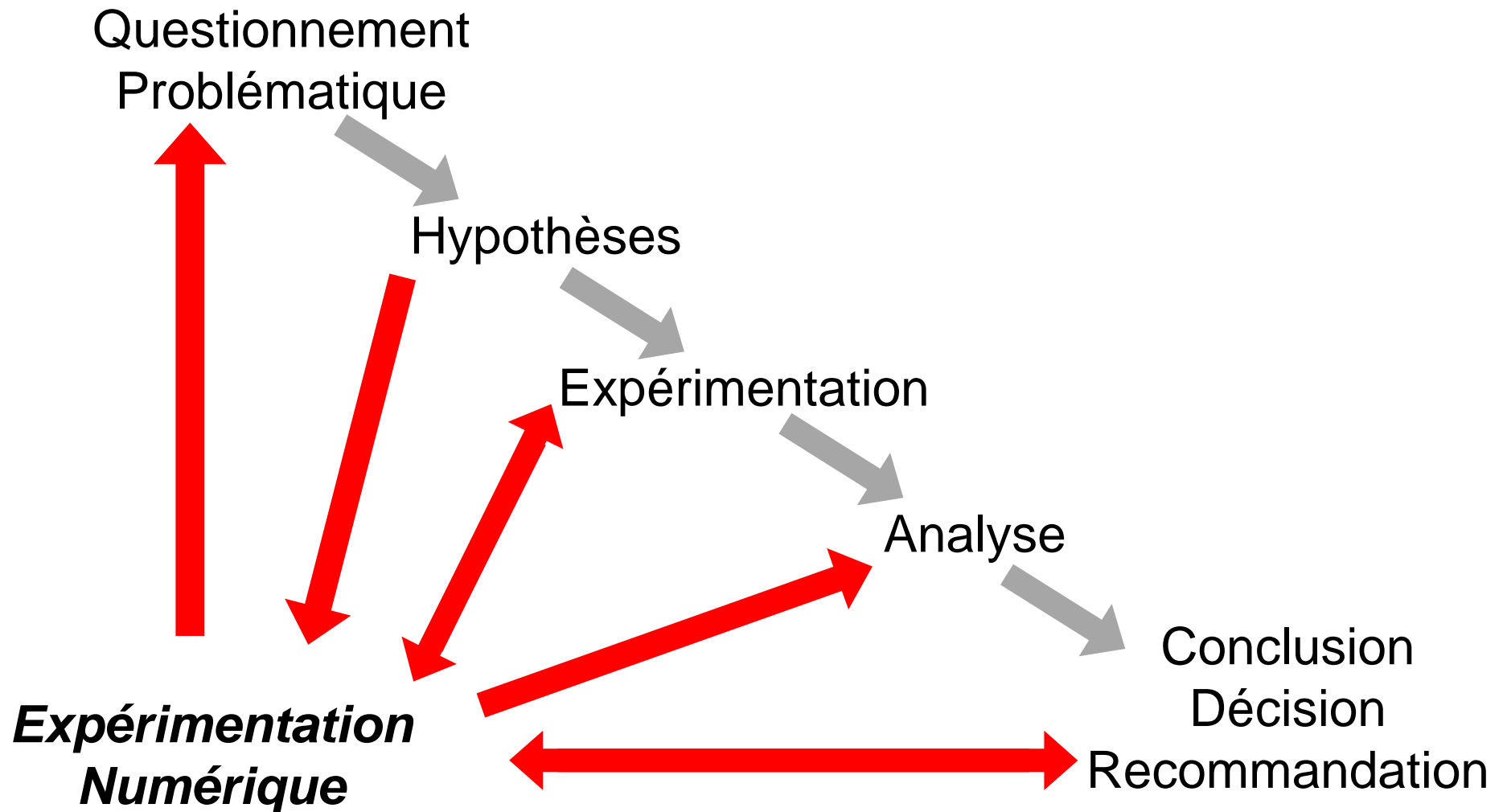
## Modèle sol-culture



- Représente l'Agro-Ecosystème
- Dynamique du système
- Comprendre les causes
- Analyser les conséquences

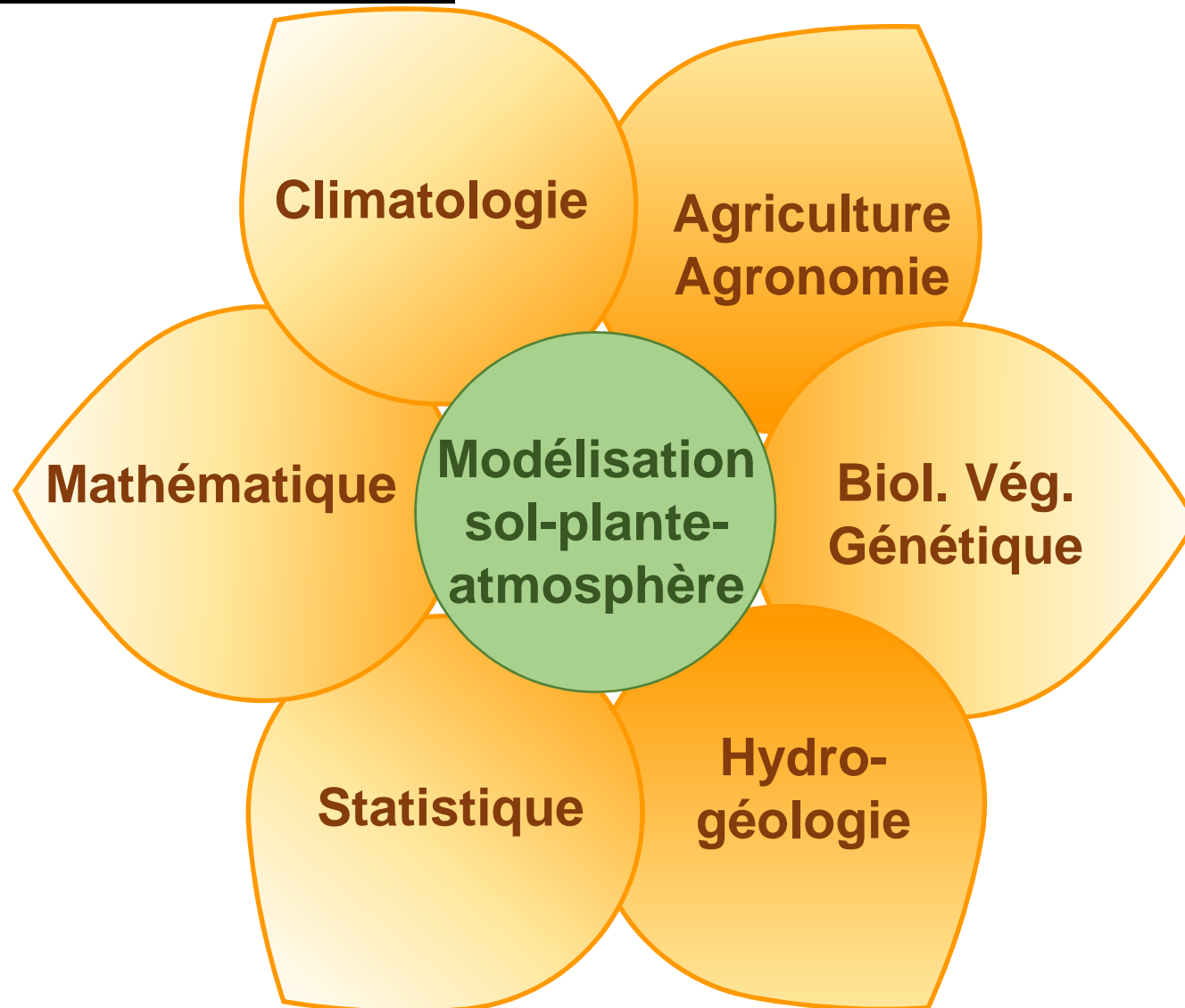


# Expérimentation agro-numérique

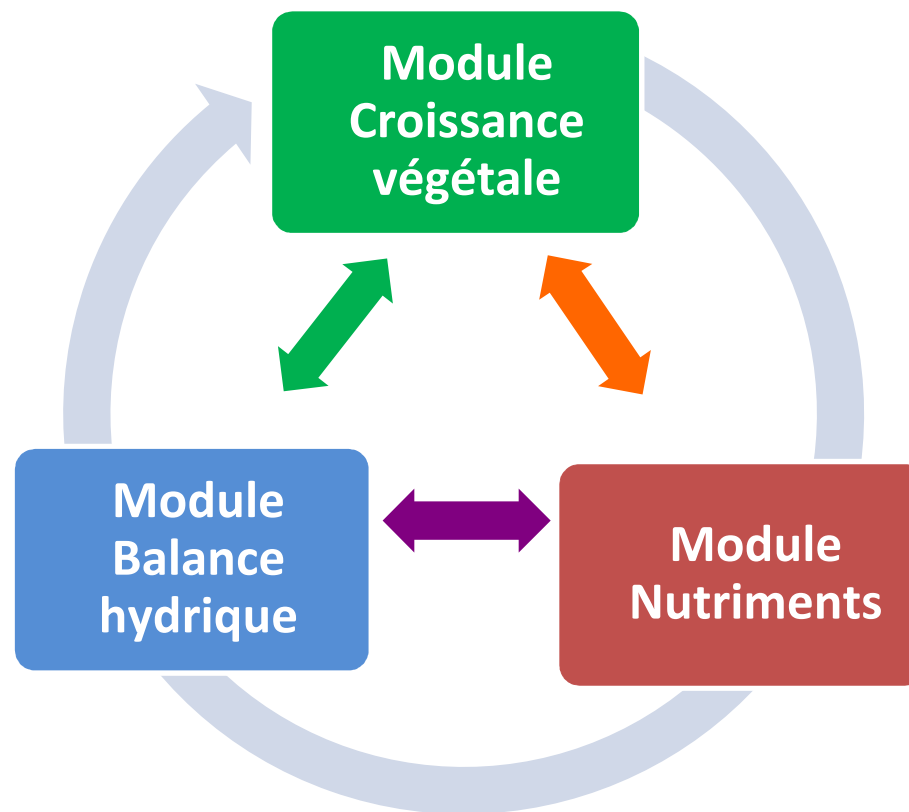


- Contexte général
- L'expérimentation numérique
  - ***La modélisation agronomique***
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
- Collecter l'information
- Préviation des rendements
- Optimisation du management de l'azote
- Conclusion

## Une science transversale



## Modélisation Sol-Plante

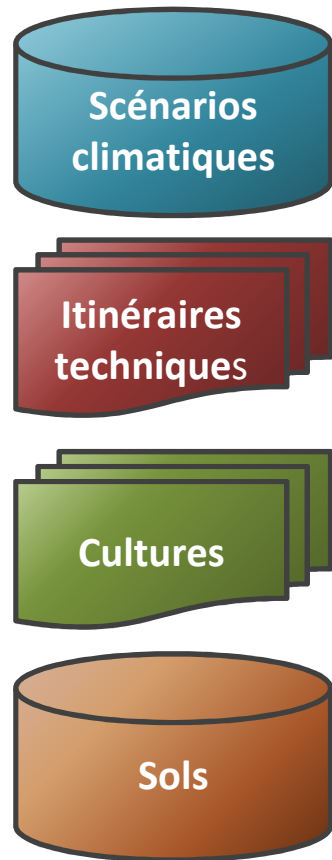




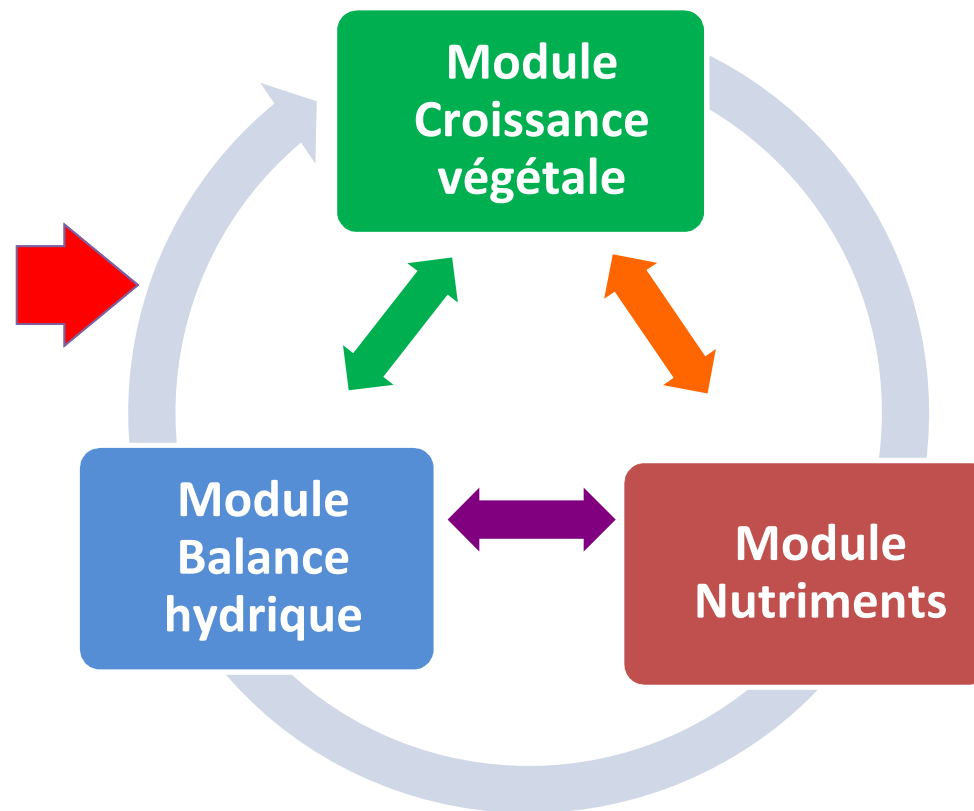
# Fonctionnement du modèle de culture



## Données d'entrée



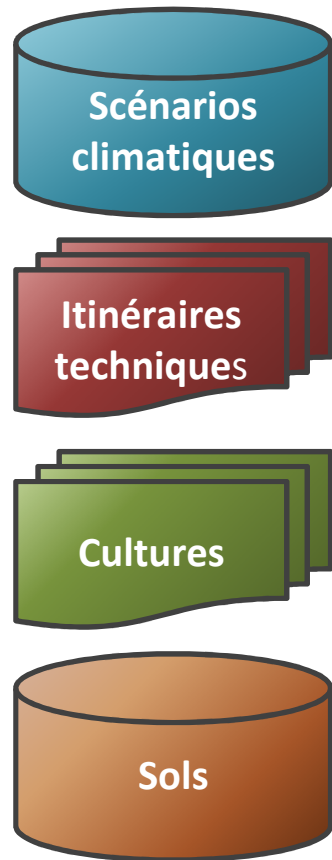
## Modélisation Sol-Plante



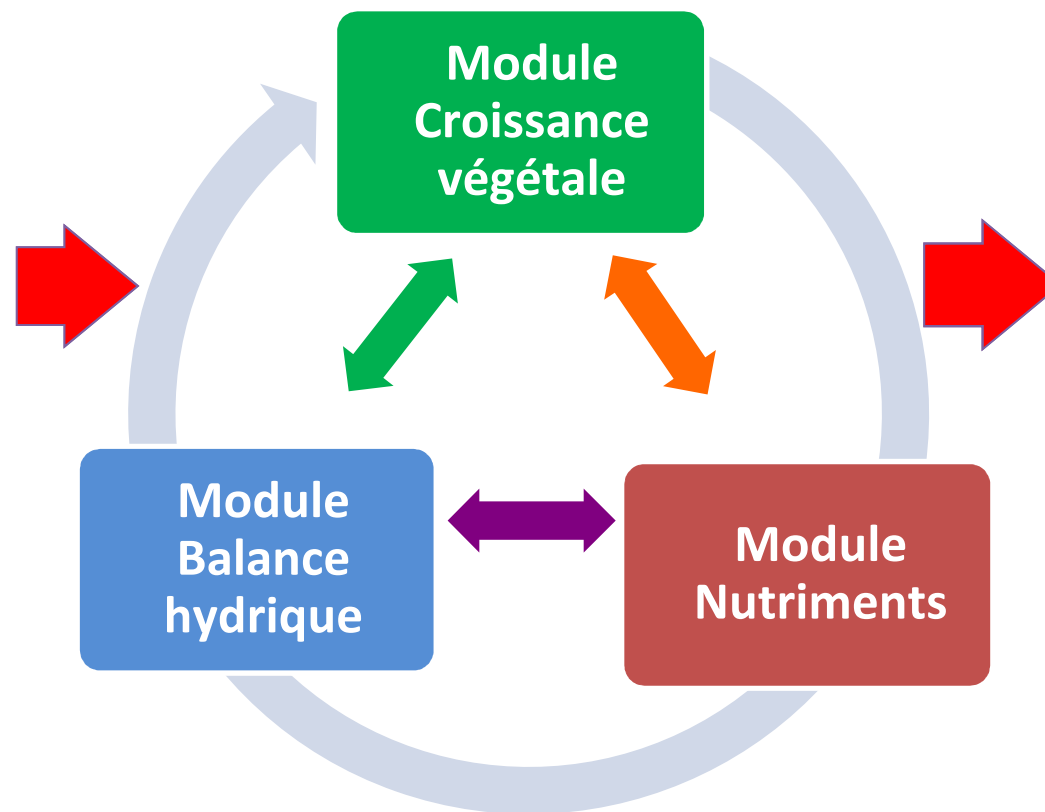
# Fonctionnement du modèle de culture



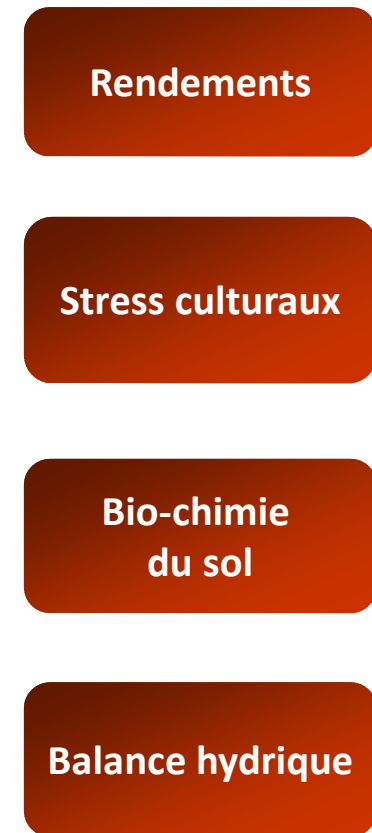
## Données d'entrée



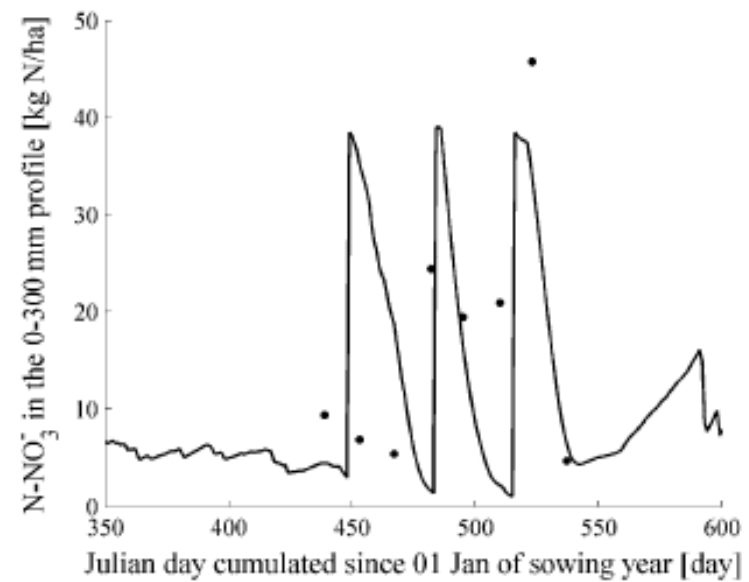
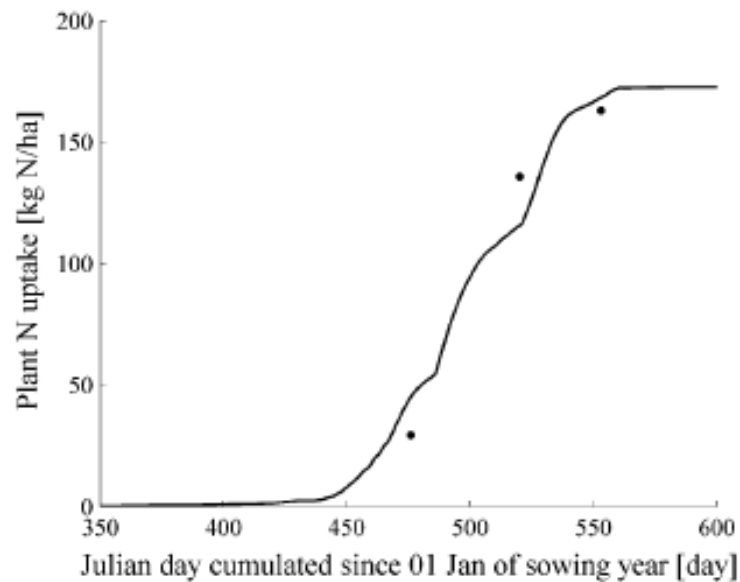
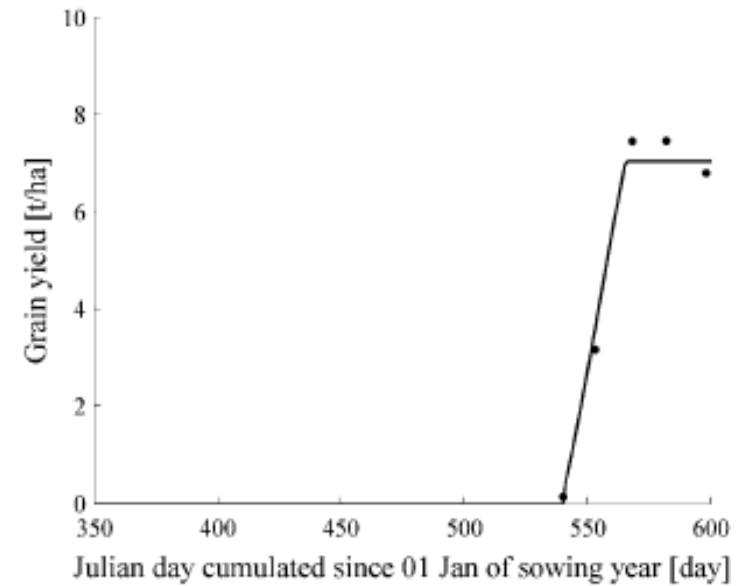
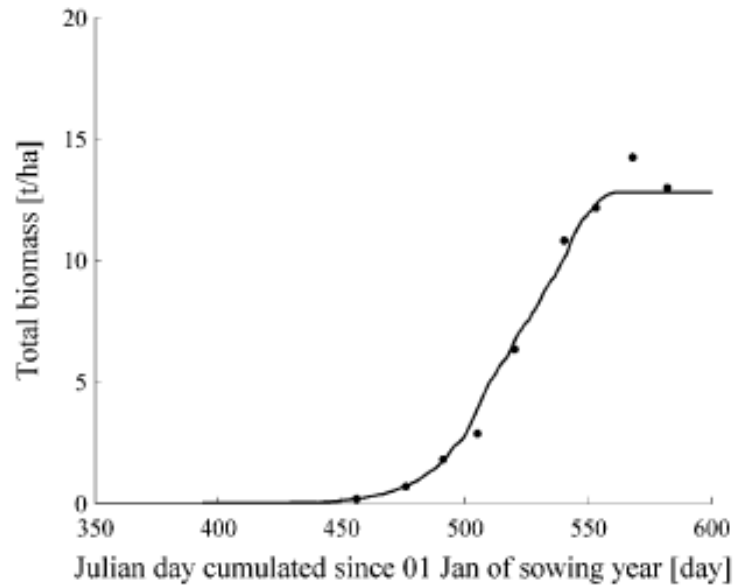
## Modélisation Sol-Plante



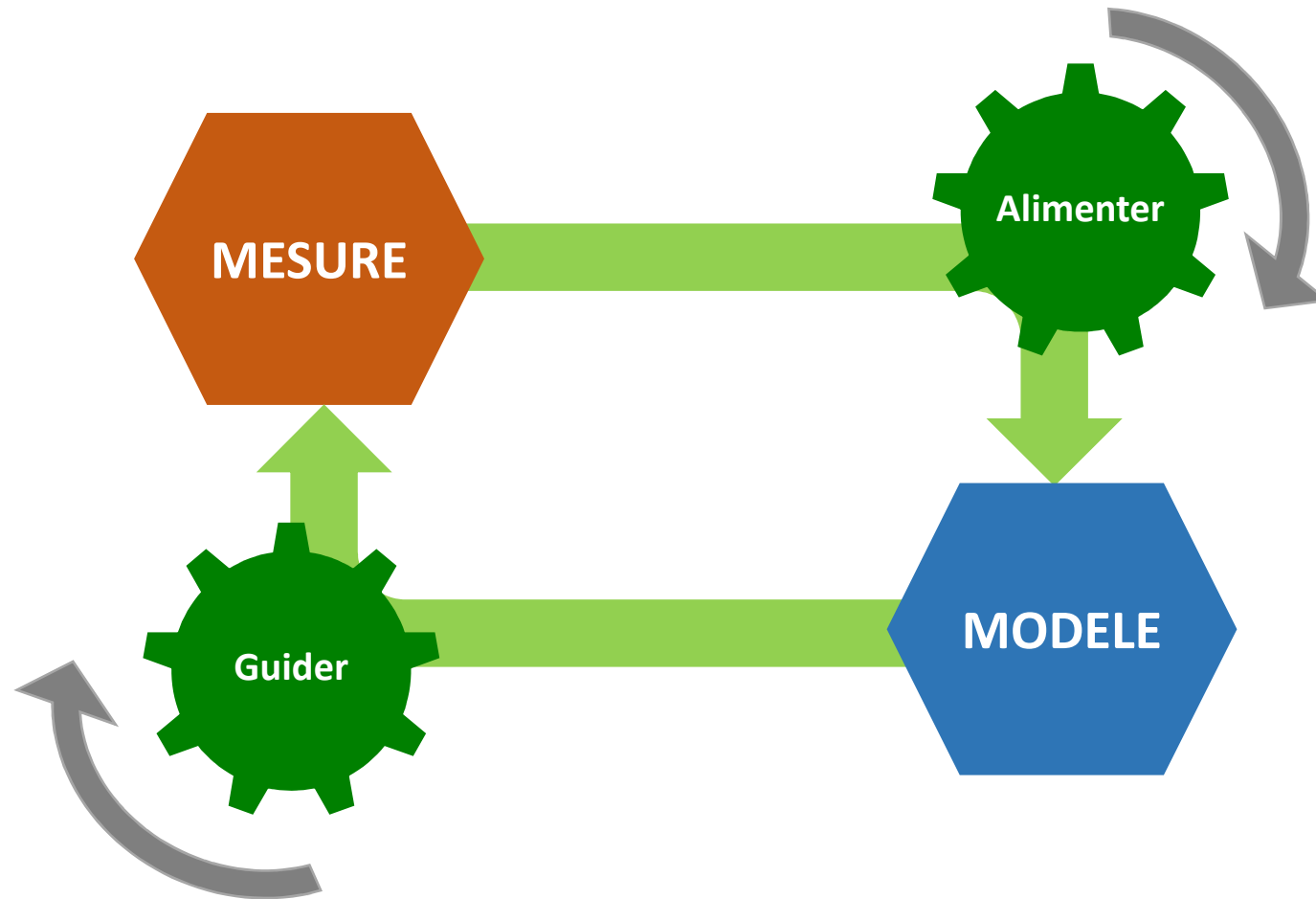
## Données sortie



# Evaluation du modèle

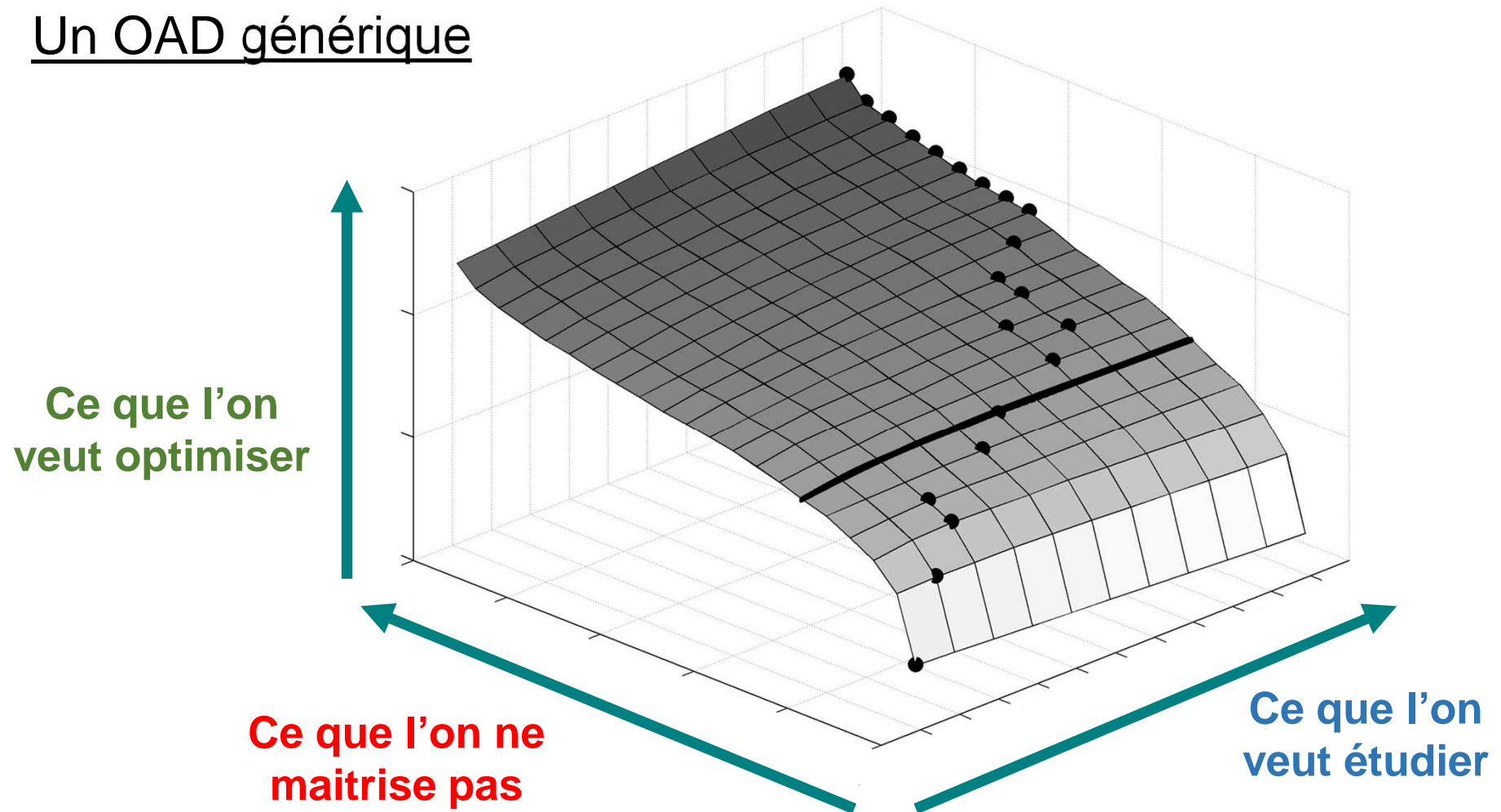


## Synergie Modélisation-Expérimentation



- Contexte général
- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- ***Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)***
- Collecter l'information
- Préviation des rendements
- Optimisation du management de l'azote
- Conclusion

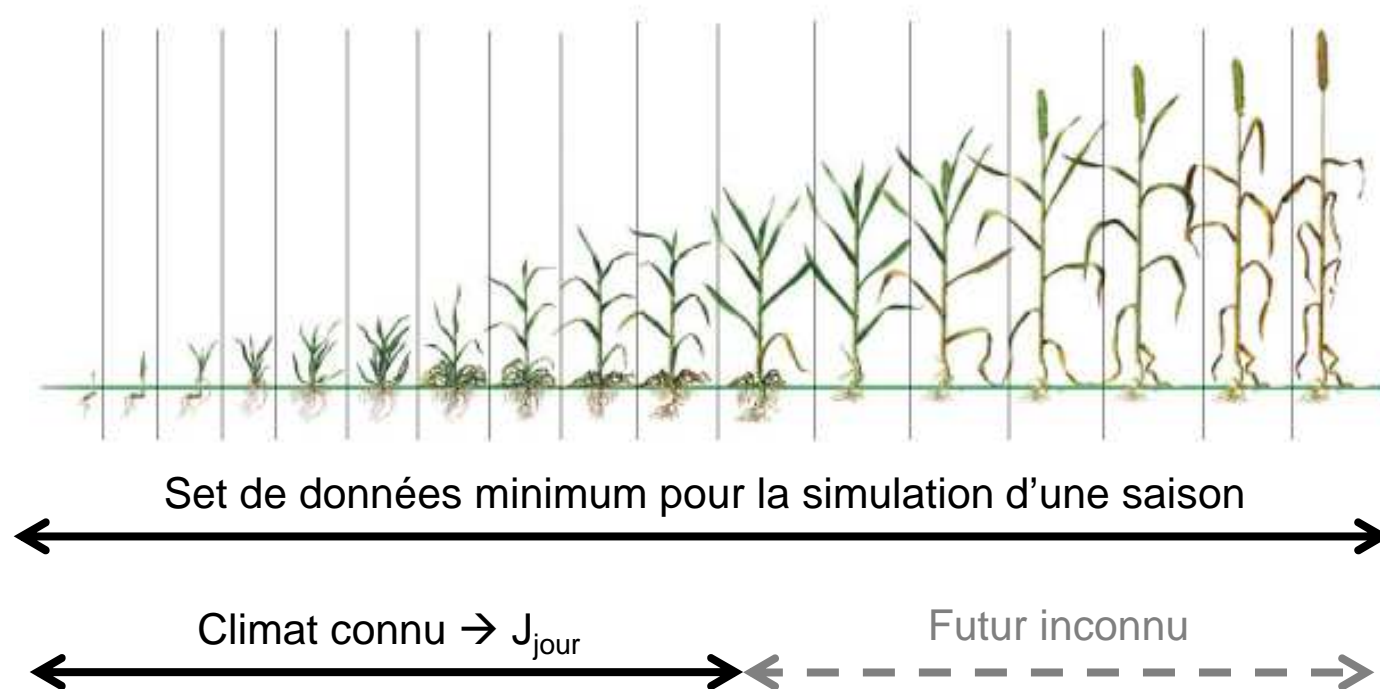
## Un OAD générique



## Scenarii climatiques

### Ce que l'on ne maîtrise pas :

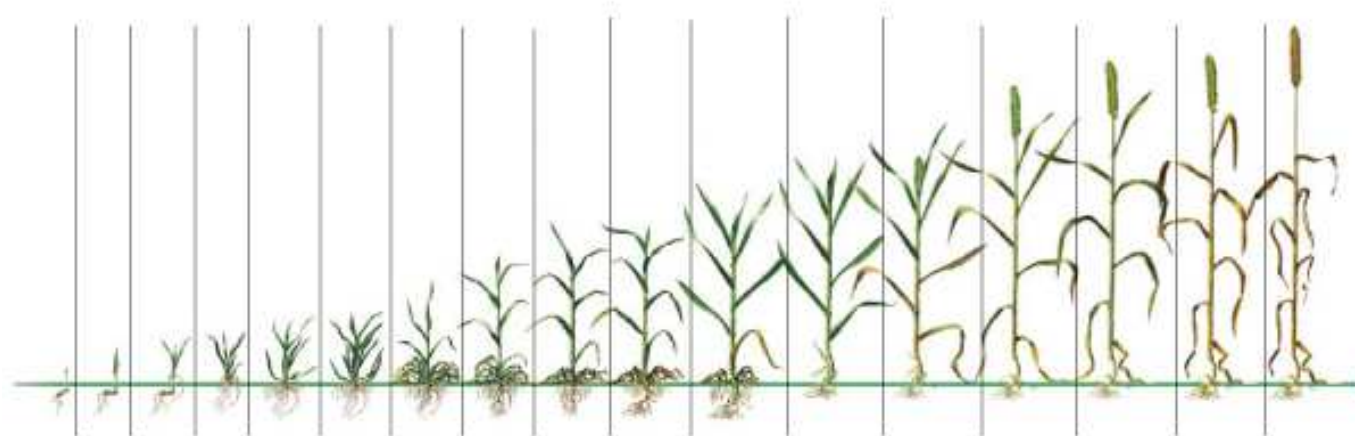
- Le type de sol → Peut être **PARAMETRISÉ** via **carte sols**
- Le climat



## Scenarii climatiques

### Ce que l'on ne maîtrise pas :

- Le type de sol → Peut être **PARAMETRISÉ** via **carte sols**
- Le climat → Peut être **EXPLORÉ**

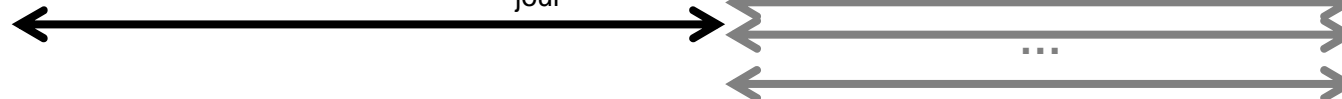


Set de données minimum pour la simulation d'une saison



**Possibilités**

Climat connu → J<sub>jour</sub>





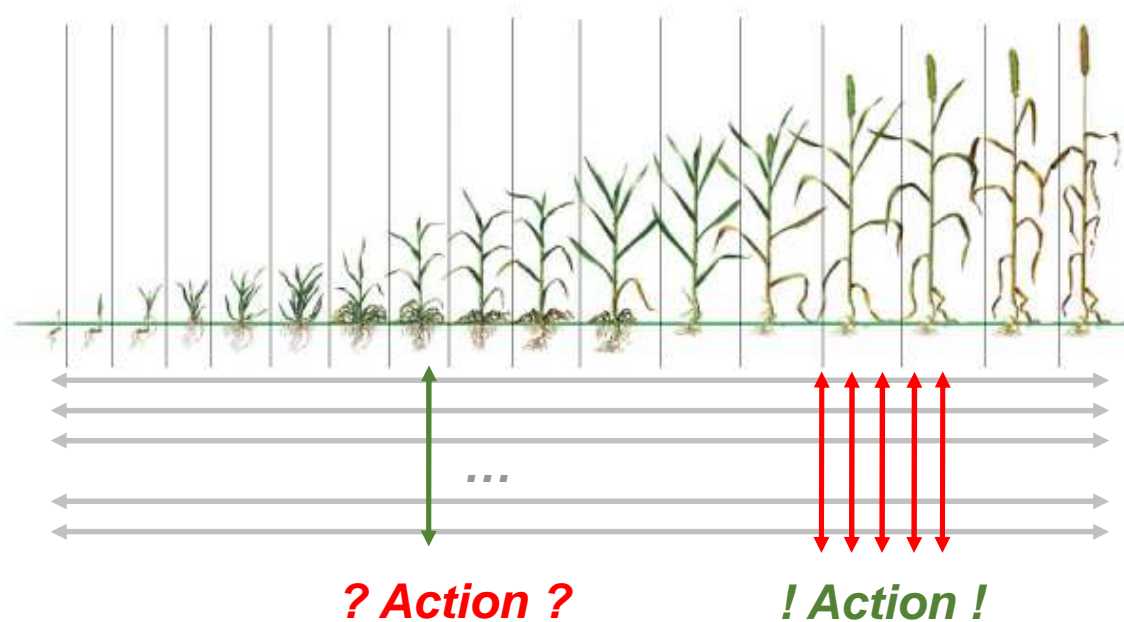
# Développer un outil de recherche



Scenarii climatiques

Scenarii Mgt

Ce que l'on maîtrise :



- ➔ Déterminer le moment le plus opportun pour une action donnée
  - ➔ Déterminer l'action la plus adaptée à un instant donné

Scenarii climatiques

Scenarii Mgt

Critères décision

## Ce que l'on veut optimiser :

- Critère agronomique
  - Rendement maximal

Scenarii climatiques

Scenarii Mgt

Critères décision

## Ce que l'on veut optimiser :

- Critère agronomique
  - Rendement maximal
- Critère agro-économique
  - Revenu marginal net ~ f(rendements, intrants)

$$MNR = \underbrace{(Y_I \cdot P_G)}_{\text{Revenus}} - \underbrace{(Q_I \cdot P_I)}_{\text{Dépenses}}$$

$Y_I$  = Rendement sous intrant I [ton.ha<sup>-1</sup>]

$P_G$  = Prix de vente grain [€.ton<sup>-1</sup>]

$Q_I$  = Quantité d'intrants I [kg.ha<sup>-1</sup>]

$P_I$  = Prix achan de l'intrant I [€. kgN<sup>-1</sup>]

Scenarii climatiques

Scenarii Mgt

Critères décision

## Ce que l'on veut optimiser :

- Critère agronomique
  - Rendement maximal
  
- Critère agro-économique
  - Revenu marginal net
  
- Critère agro-économico-environnemental
  - Amélioration de la ***fertilité des sols***
  - Optimisation de ***l'utilisation des nutriments***
  - Optimisation des ***ressources en eau***

# Développer un outil de recherche

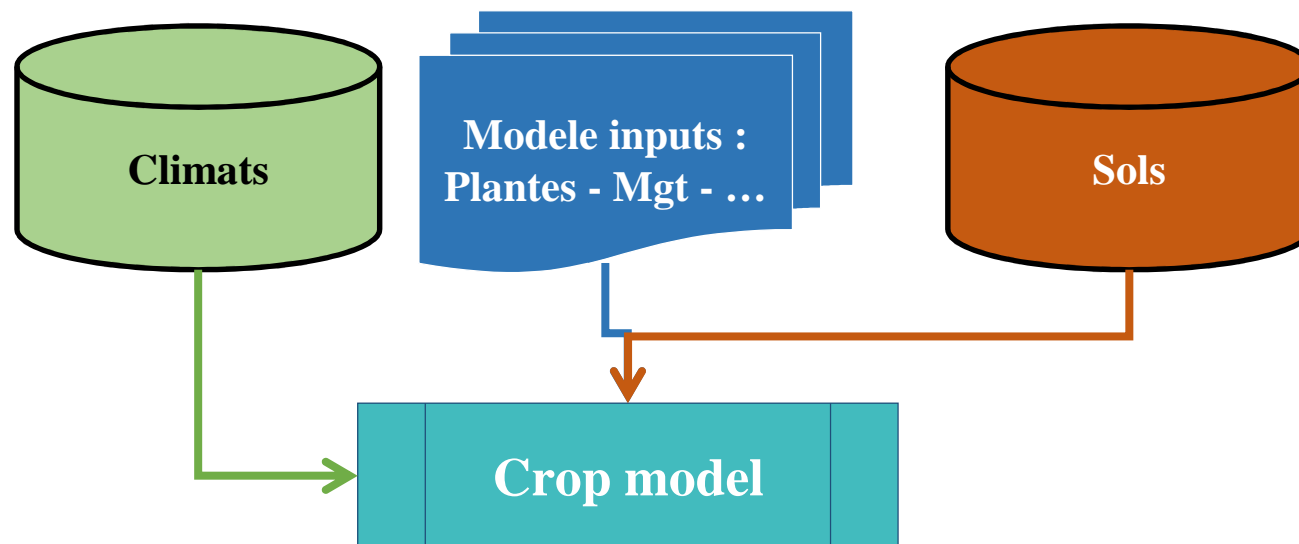


Scenarii climatiques

Scenarii Mgt

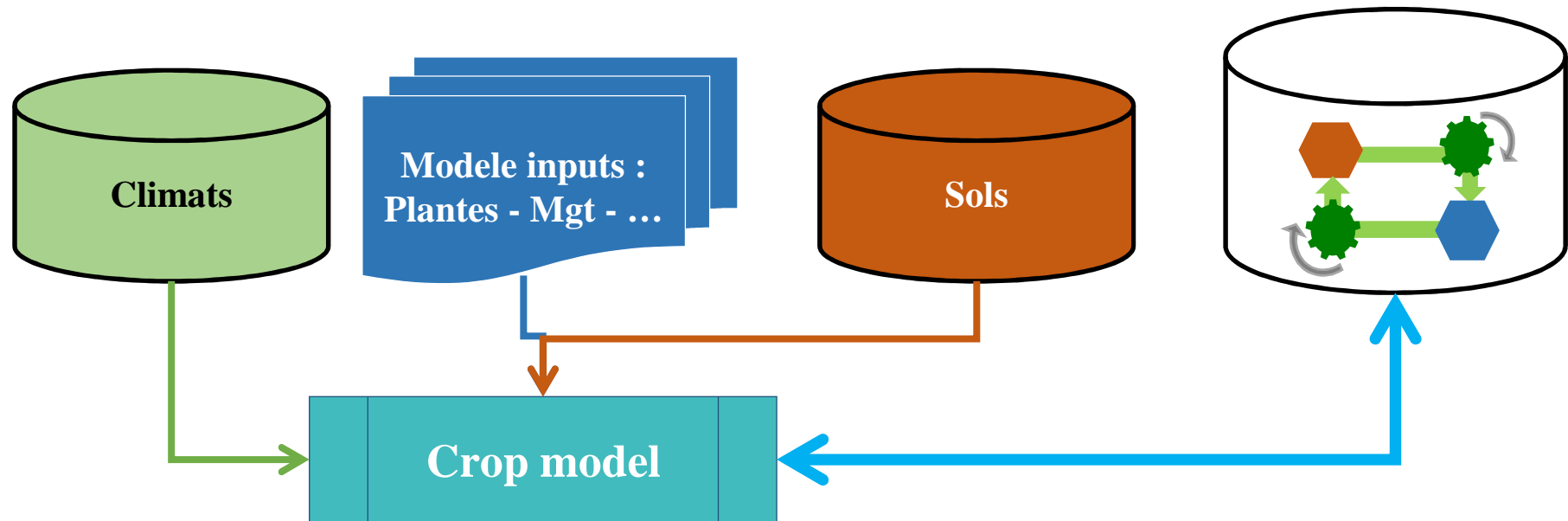
Critères décision

OAD



- Contexte général
- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
  - ***Collecter l'information***
- Préviation des rendements
- Optimisation du management de l'azote
- Conclusion

# Développer un outil de recherche



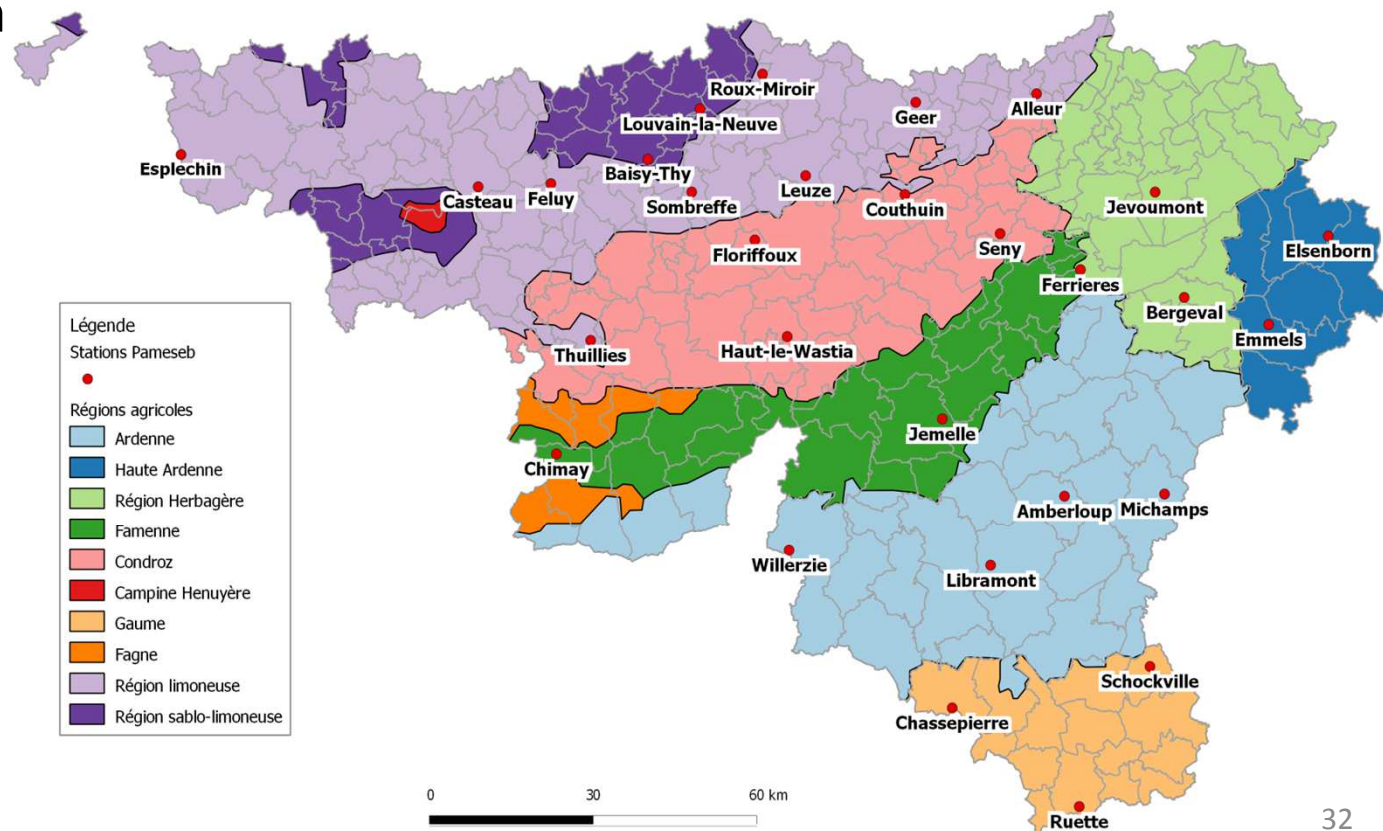
# Les outils disponibles

Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

## Base de données climatiques: Pameseb

- 30 stations
- Maille ~30 km

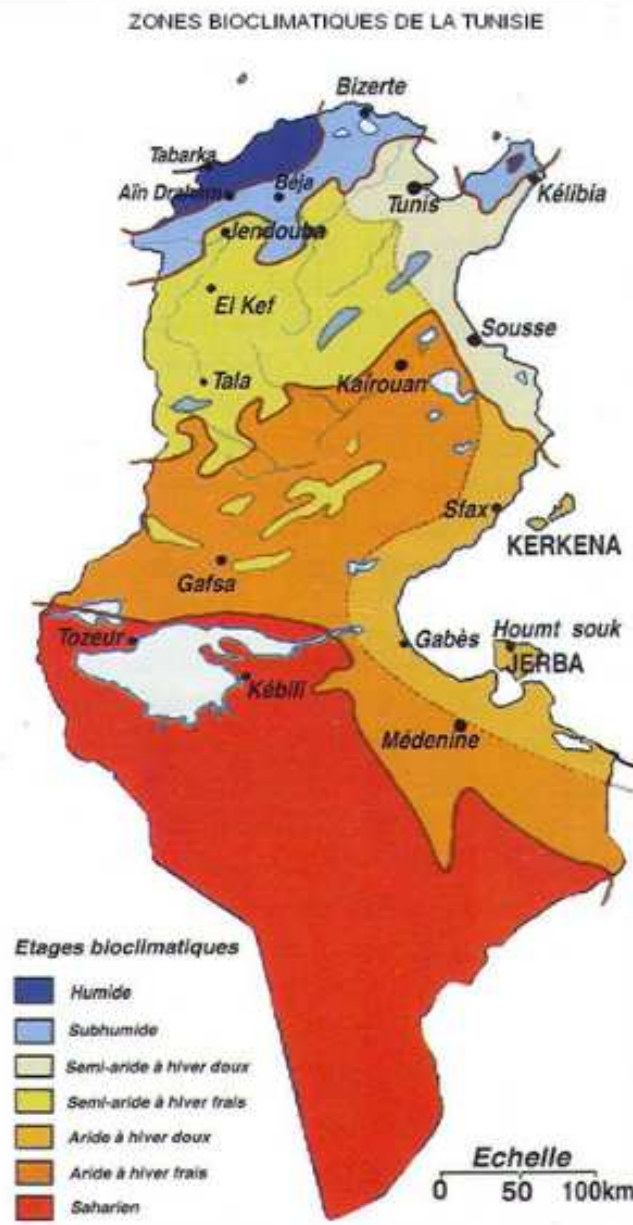




# Les outils disponibles

E  
Ch

ées



Les zones bioclimatiques en  
**Tunisie**

<http://www.environnement.gov.tn/index.php?id=98>

# Les outils disponibles

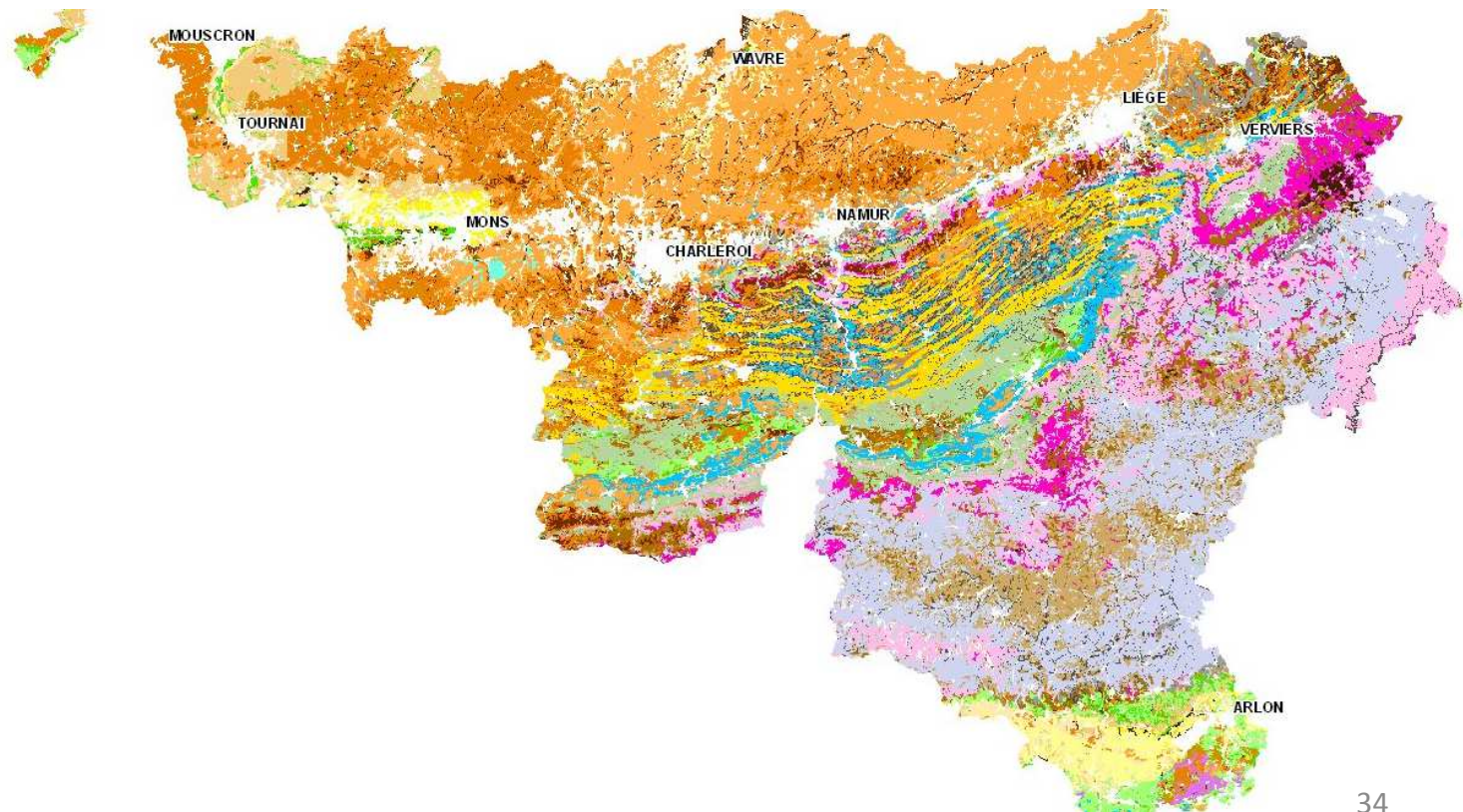
Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

Base données  
sols

## Base de données sols: CNSW

- 6000 unités de sol
- 500.000 plages de sol

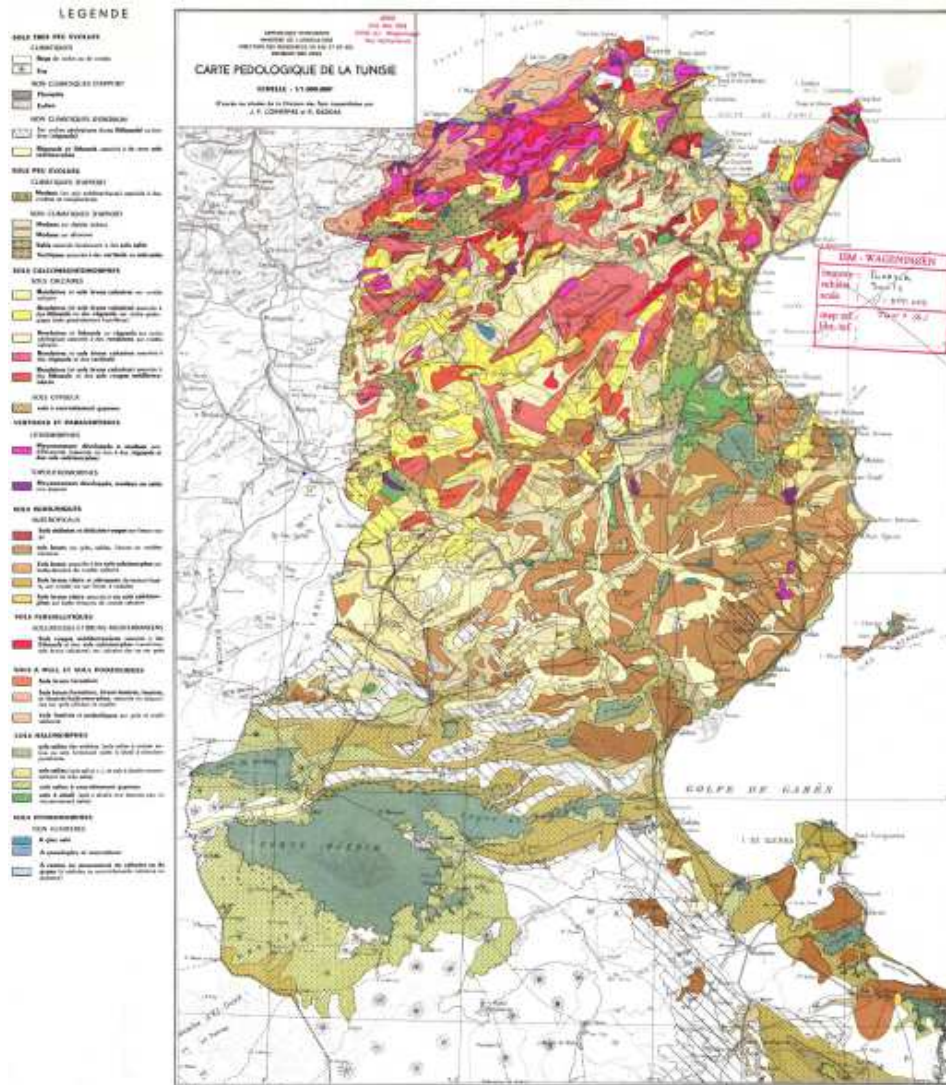


# Les outils disponibles

Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

Base données  
sols



La carte pédologique de la  
**Tunisie**

[http://h05-prod-vm15.jrc.it/images/Eudasm/Africa/images/maps/download/PDF/afr\\_tnped.pdf](http://h05-prod-vm15.jrc.it/images/Eudasm/Africa/images/maps/download/PDF/afr_tnped.pdf)



# Les outils disponibles

Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

Base données  
sols

Monitoring  
environnemental

## Le monitoring environnemental :



# Les outils disponibles

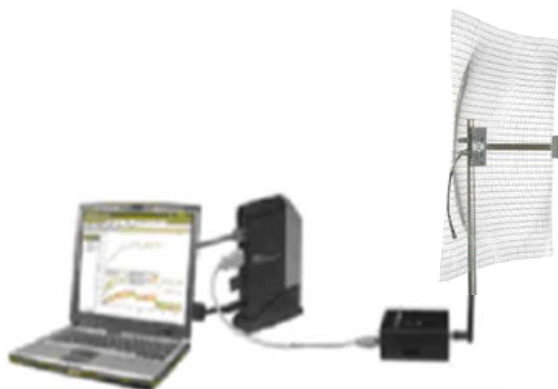
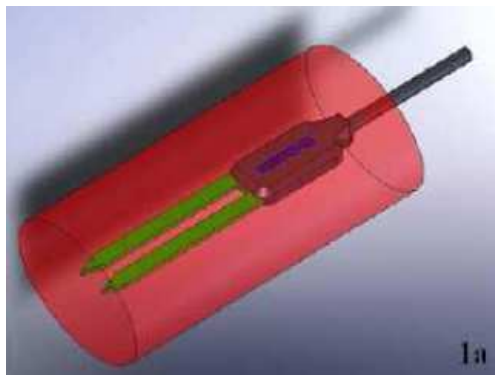
Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

Base données  
sols

Monitoring  
environnemental

## eKo Pro series Crossbow



# Les outils disponibles

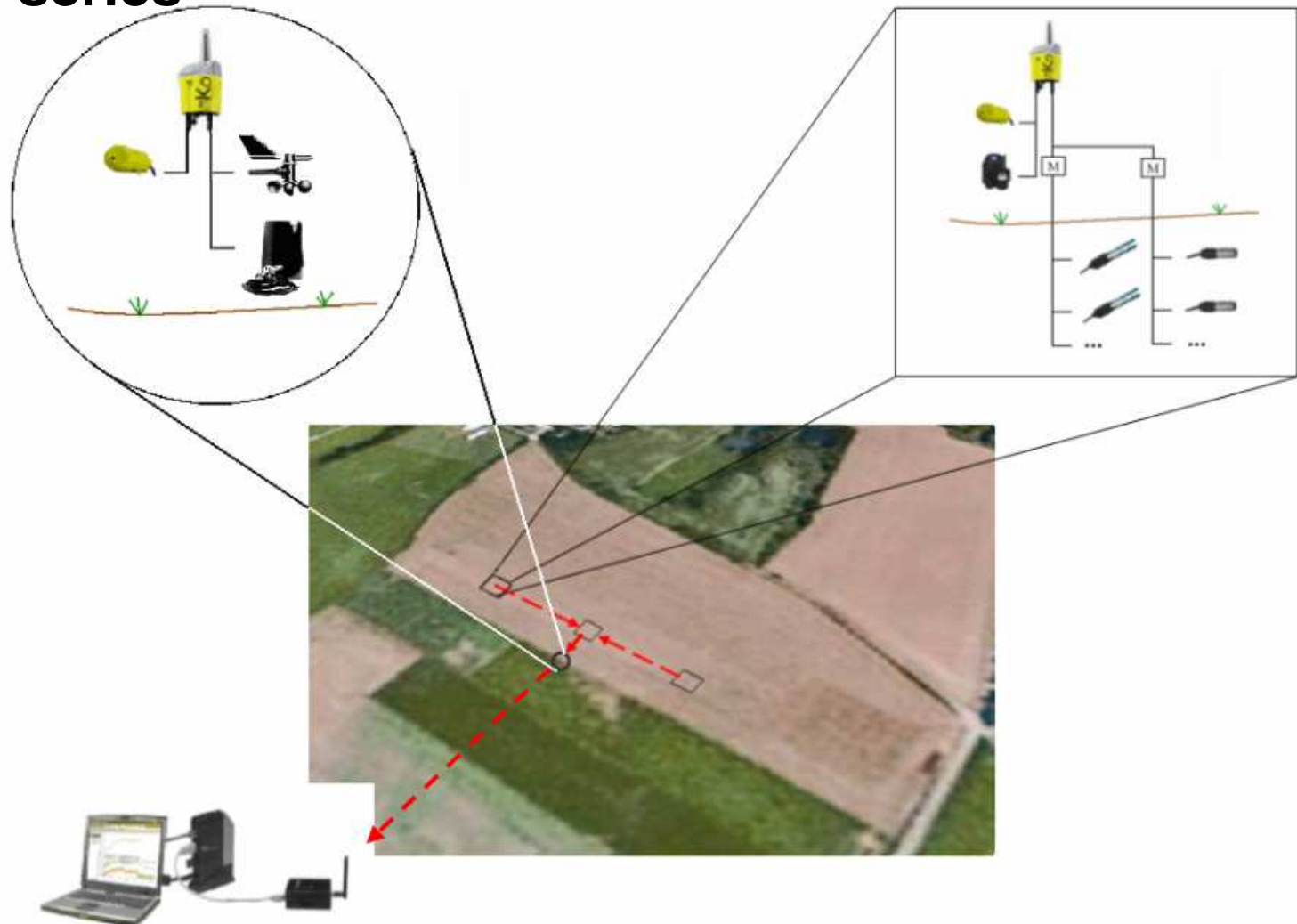
Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

Base données  
sols

Monitoring  
environnemental

## L'eKo Pro series en pratique





# Les outils disponibles

Expérimentation  
Champ/ECOTRON

Base de données  
climatiques

Base données  
sols

Monitoring  
environnemental

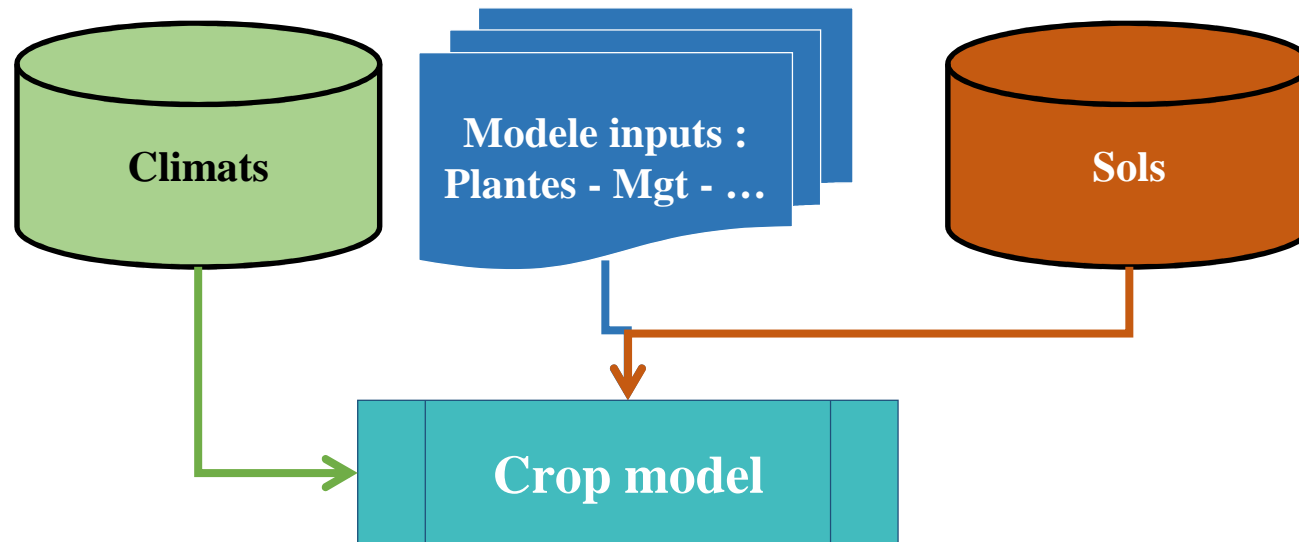
## L'eKo Pro series en pratique



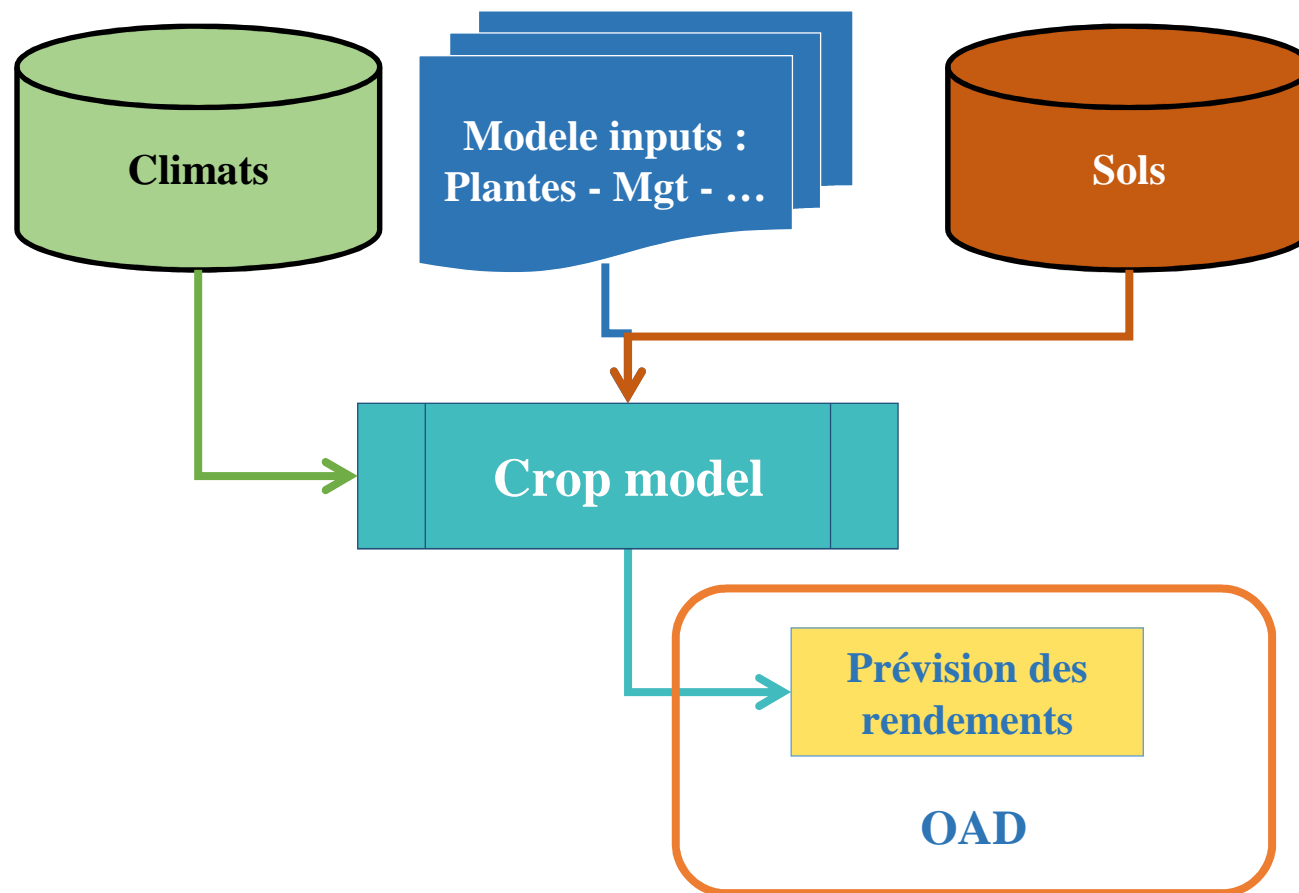
- Contexte général
- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
- Collecter l'information
- ***Prévision des rendements***
- Optimisation du management de l'azote
- Conclusion



# *Développer un outil de recherche*



# Développer un outil de recherche



# Approche 'Climat moyen'

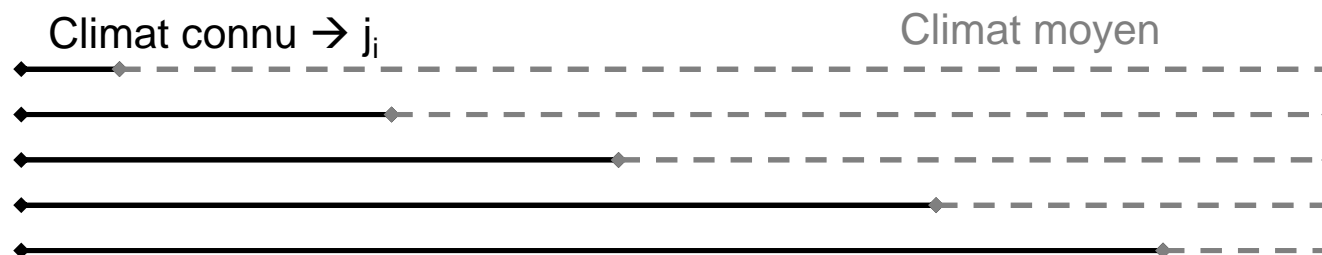


Simulations temps réel

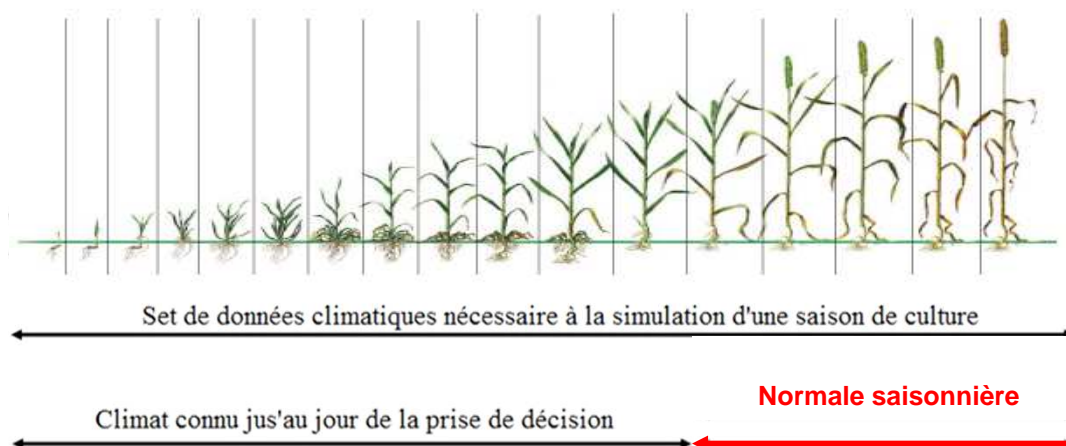
Climat moyen

## La normale saisonnière:

→ Combinaison évolutive des données



→ Simulation du **potentiel de rendement restant** à la culture



# Approche 'Climat moyen'

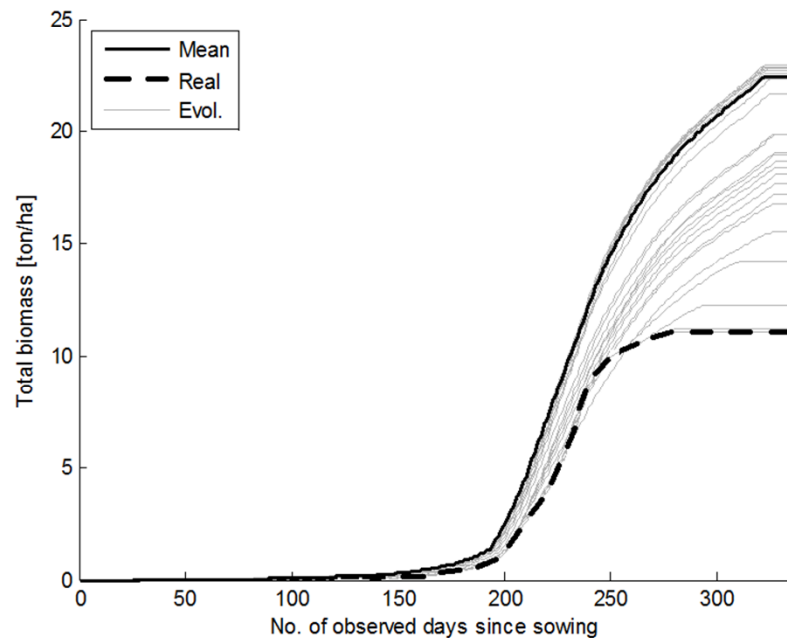


Simulations temps réel

Climat moyen

## Mise en oeuvre sur une année donnée (2005-2006)

- Simulations climat **moyen** complet → climat **réel** complet
  - Climat réel mesuré → Effet du stress
  - Climat futur moyen → Conditions de croissance optimales



# Approche 'Climat moyen'

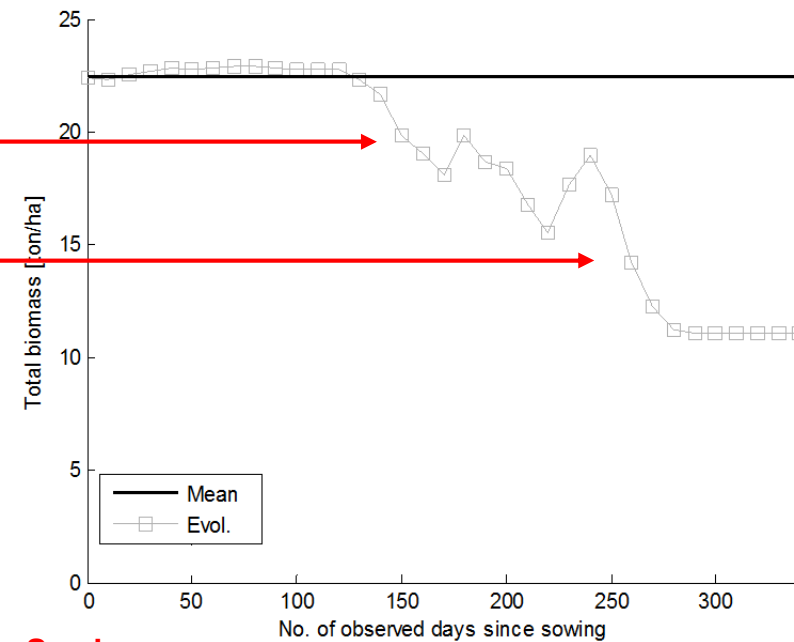
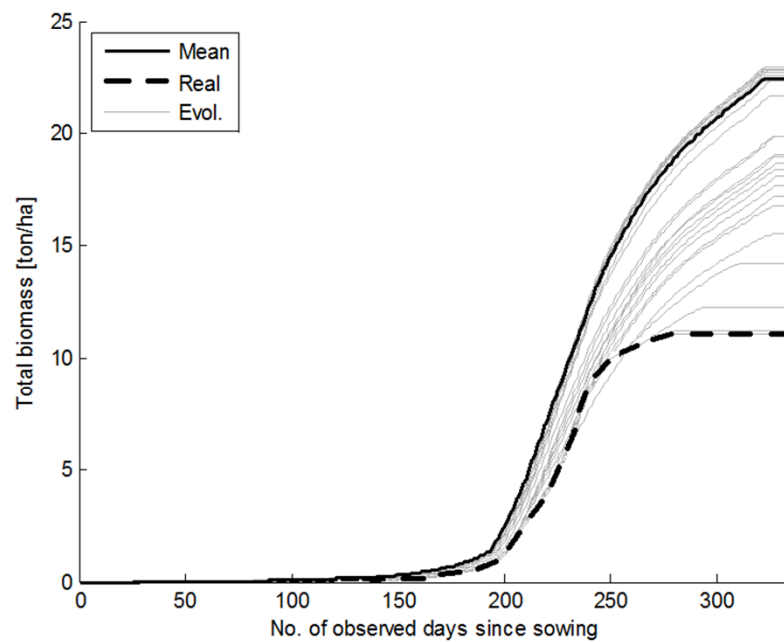


Simulations temps réel

Climat moyen

## Mise en oeuvre sur une année donnée (2005-2006)

- Simulations climat **moyen** complet → climat **réel** complet
  - Climat réel mesuré → Effet du stress
  - Climat futur moyen → Conditions de croissance optimales



# Approche 'Climat moyen'

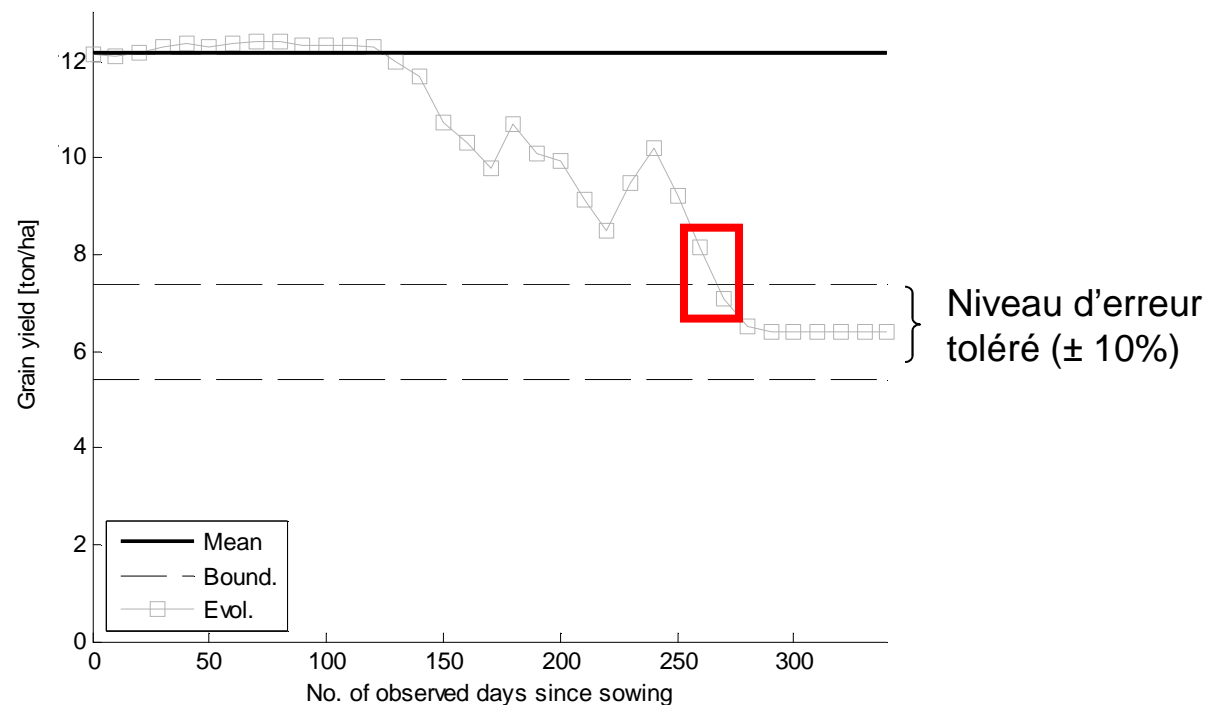


Simulations temps réel

Climat moyen

## Mise en oeuvre sur la totalité de la base de données

- Associer un niveau d'erreur à la prédiction ( $\pm 10\%$  rendement final)
  - ➔ Selection du premier jour possible pour la prédiction



# Approche 'Climat moyen'

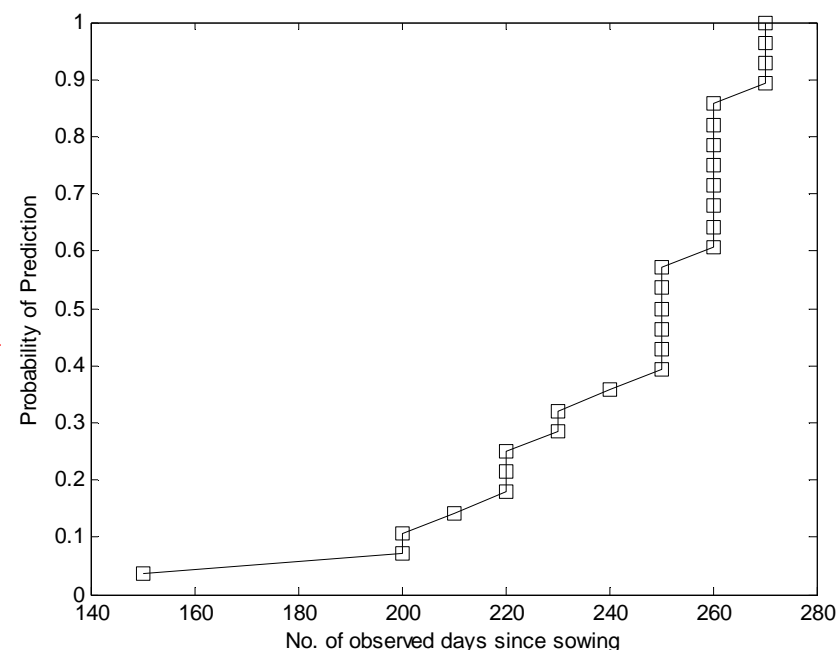
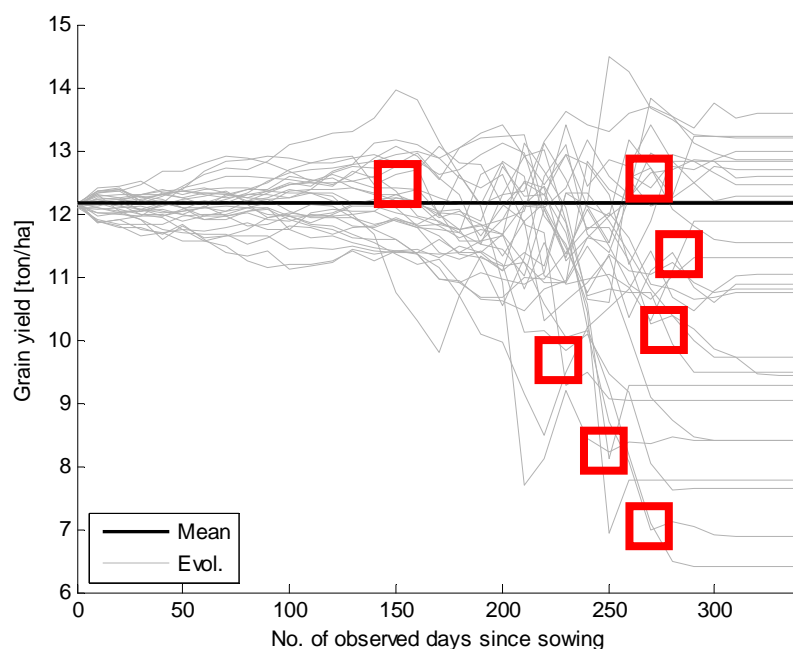


Simulations temps réel

Climat moyen

## Mise en oeuvre sur la totalité de la base de données

- Selection du premier jour possible pour la prédiction ( $\pm 10\%$  rendement final)
- Distribution de probabilité cumulée et détermination du risque



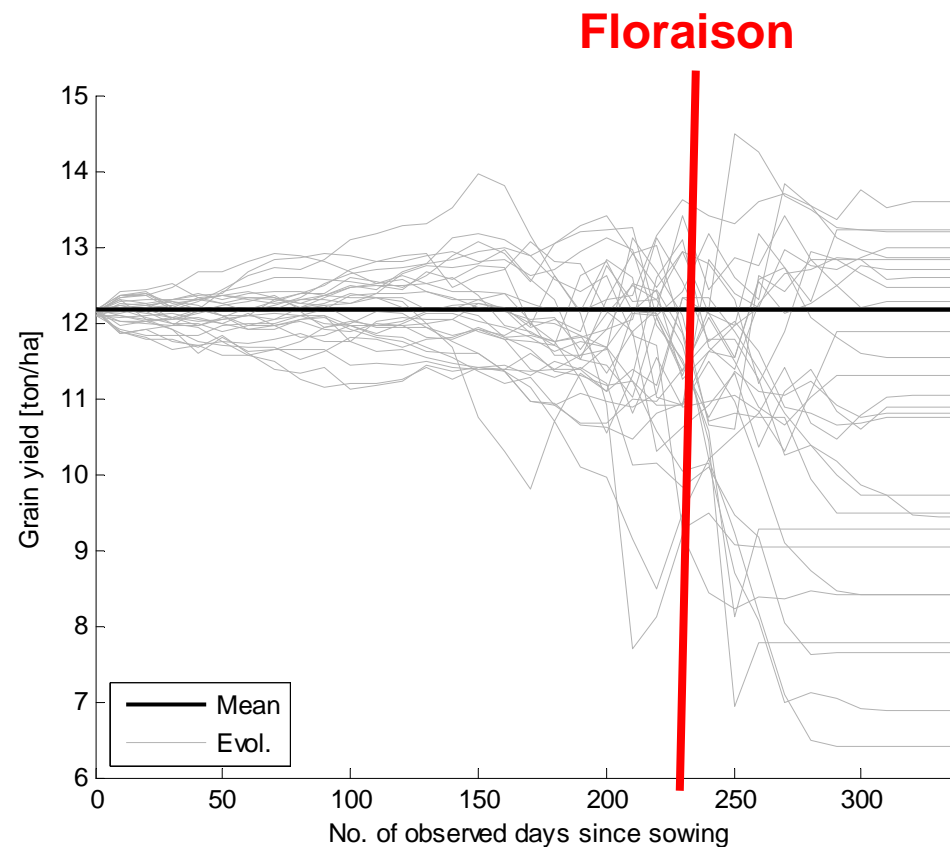
Probabilité	0.95	0.90	0.75	0.50
Rdt Grain $\pm 1.0t/ha$	19 Juillet	19 Juillet	09 Juillet	28 Juin

Simulations temps réel

Climat moyen

## Impact agronomique

- Avant la floraison → Capacité de compensation forte
- Après la floraison → Remplissage du grain



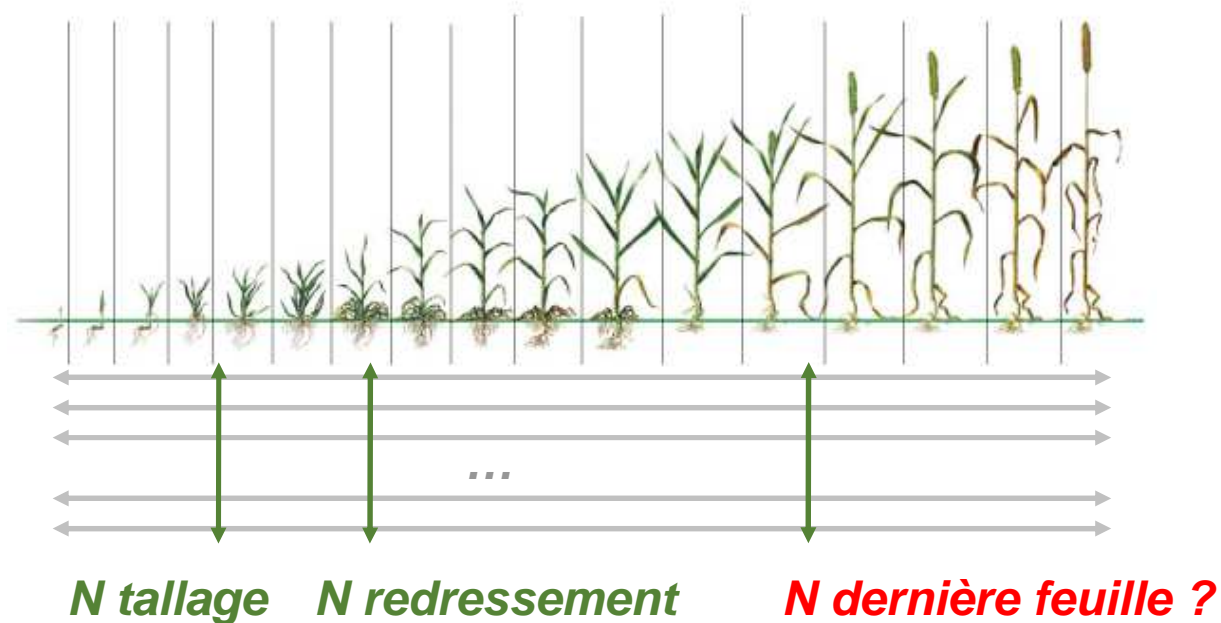


- Contexte général
- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
- Collecter l'information
- Préviation des rendements
  - ***Optimisation du management de l'azote***
- Conclusion

# Développer un outil de recherche

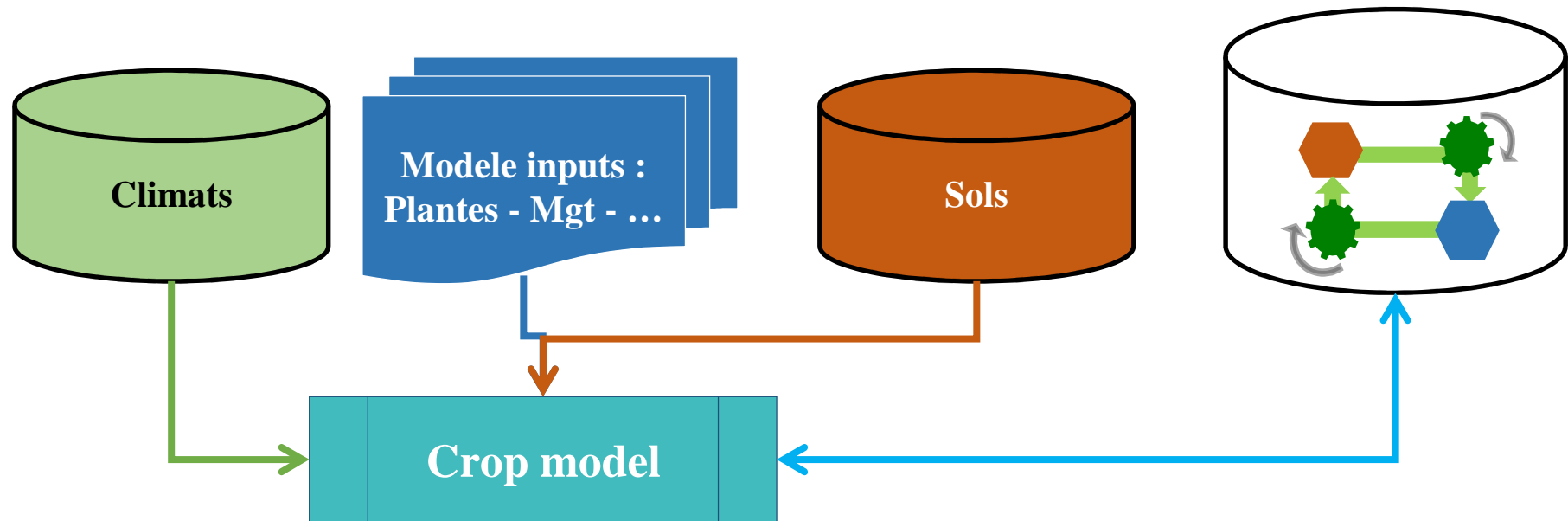


Optimiser la fertilisation azotée :

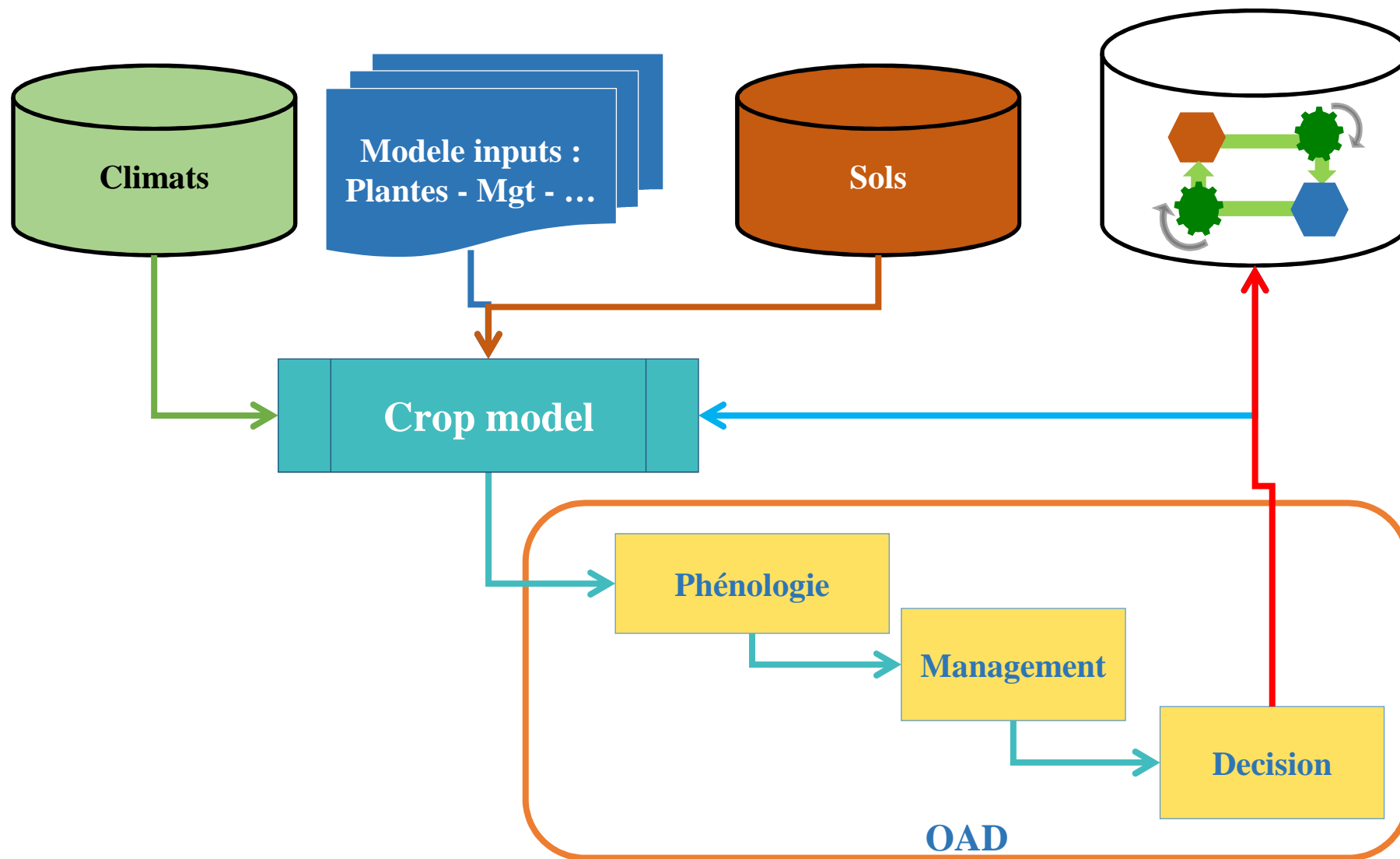


→ Etudier l'effet de la dose de fertilisant azoté appliqué à la dernière feuille

# Développer un outil de recherche



# Développer un outil de recherche



## Avant la floraison

- Capacité de compensation forte
- Focus sur stade ZS39 (Flag-leaf) du blé d'hiver

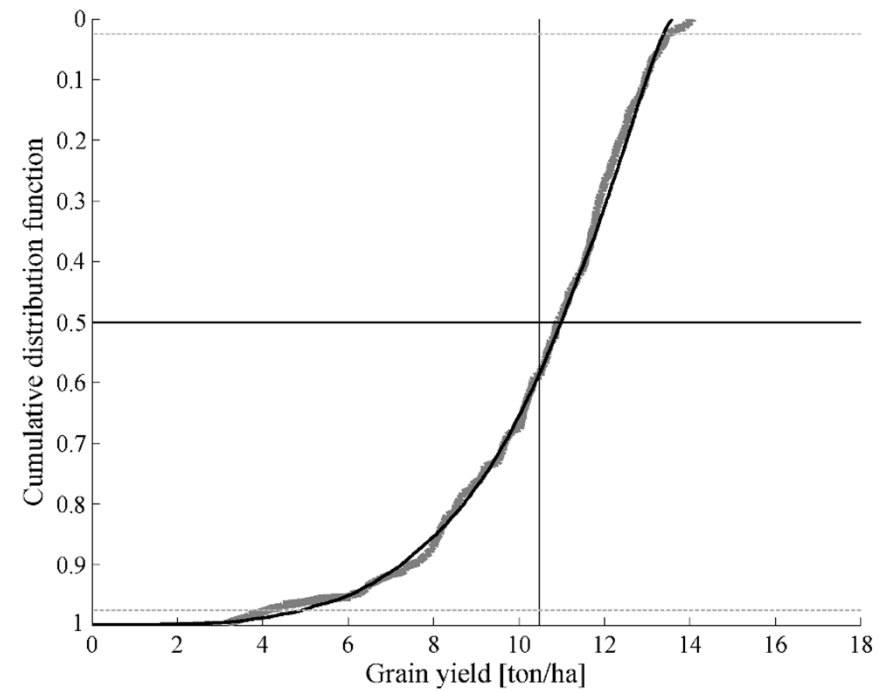
**Table 1**

Fertilisation calendar for simulated nitrogen management practices.

Fertilisation calendar (according to Zadoks stage and Julian day)				
	Tiller	Stem ext.	Flag-leaf	
Zadoks	23	30	39	
Julian day	445	475	508	
Fertilisation rate (in kg N ha <sup>-1</sup> )				
Treat.#	Tiller	Stem ext.	Flag-leaf	Total
M60-1	60	60	0	120
M60-2	60	60	10	130
M60-3	60	60	20	140
M60-4	60	60	30	150
...	...	...	...	...
M60-11	60	60	100	220

**Exemple de resultats : 60-60-60 kgN.ha<sup>-1</sup>**

CDF distribution



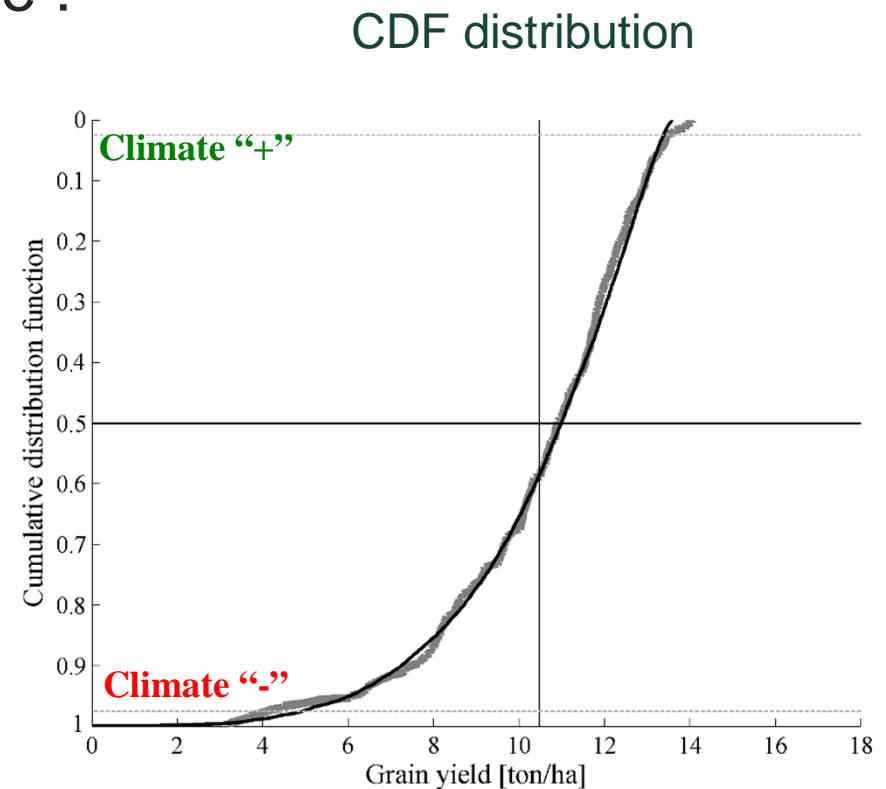
## Exemple de resultats : 60-60-60 kgN.ha<sup>-1</sup>

- En termes de gestion du risque :

→ Climat le + défavorable  
est celui qui a  
le + de chances  
de se produire

→ Climate '+' = Probabilité 0

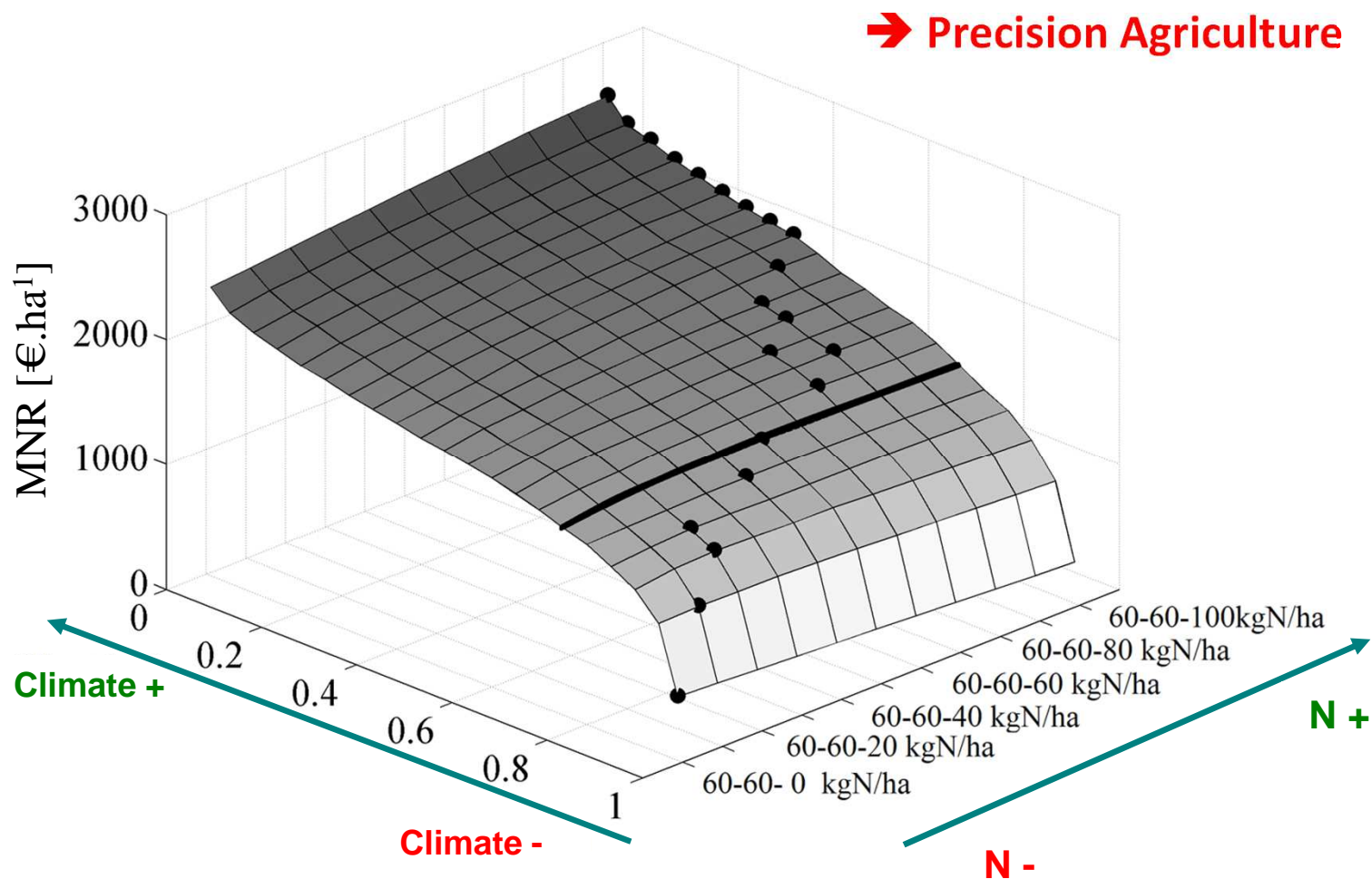
→ Climate '-' = Probabilité 1



# Optimiser l'azote



- Une courbe de réponse 3D *spécifique au site de mesure*

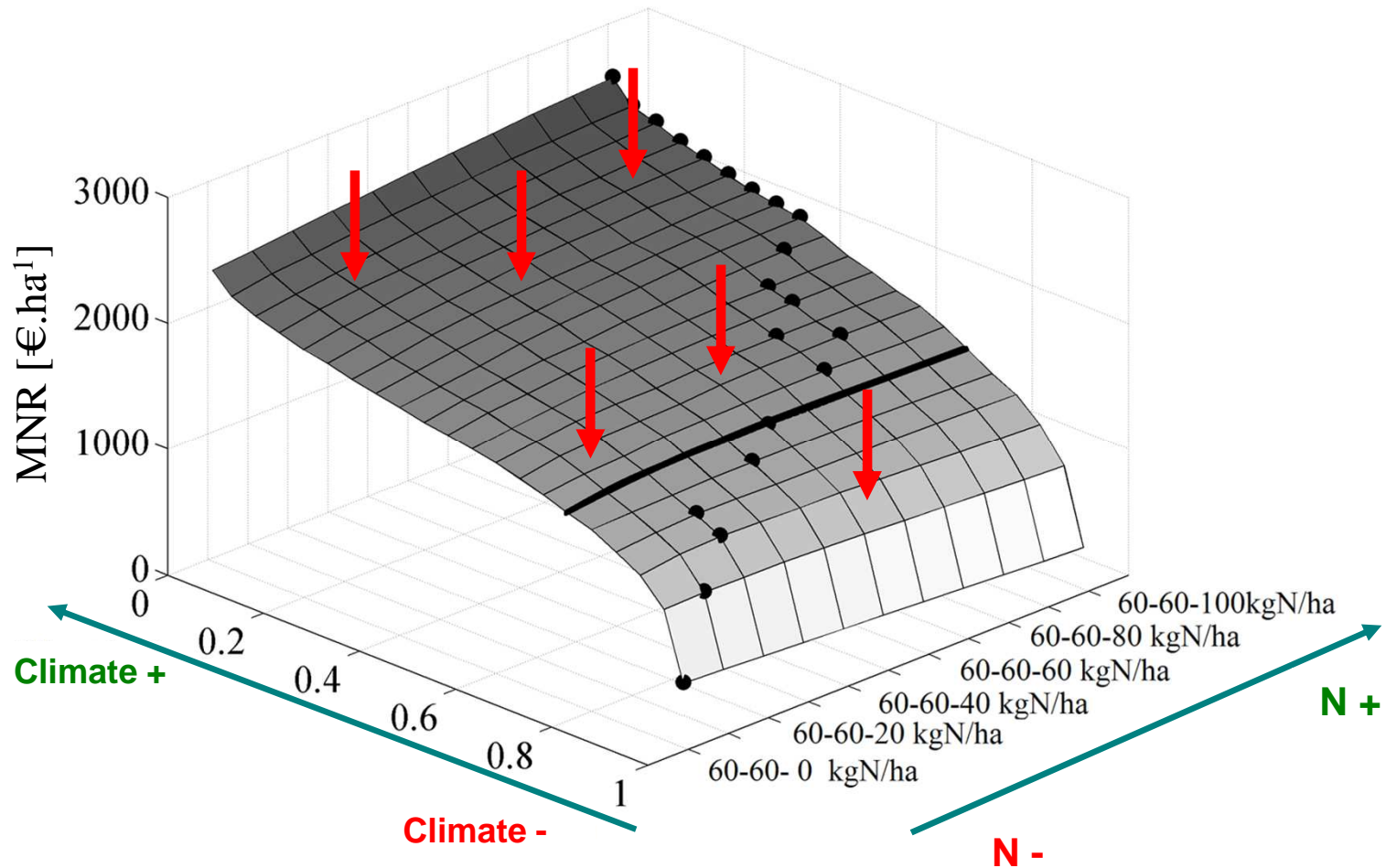




# Optimiser l'azote



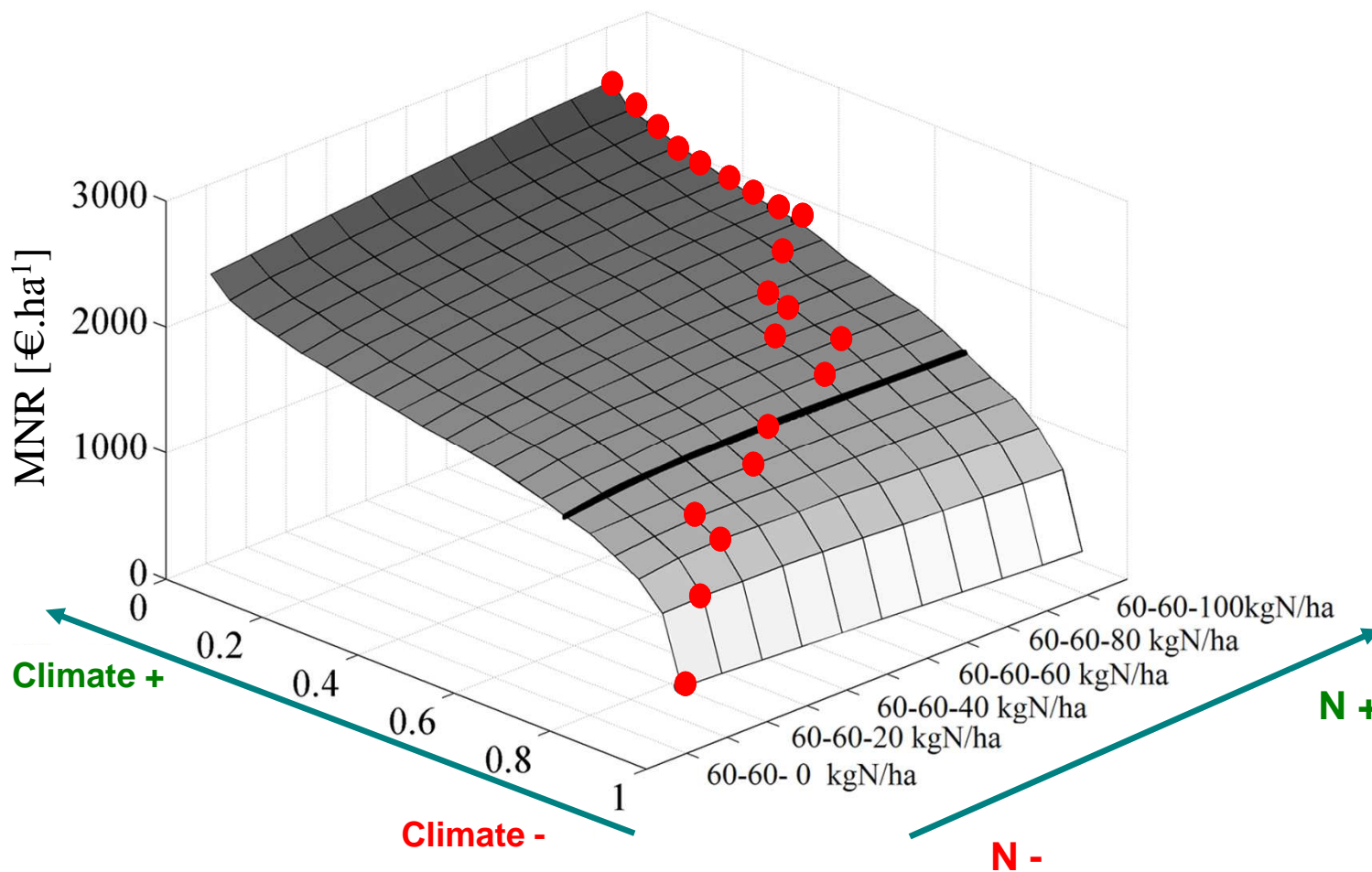
➤ Le futur est inconnu → la position sur la surface est inconnue



# Optimiser l'azote



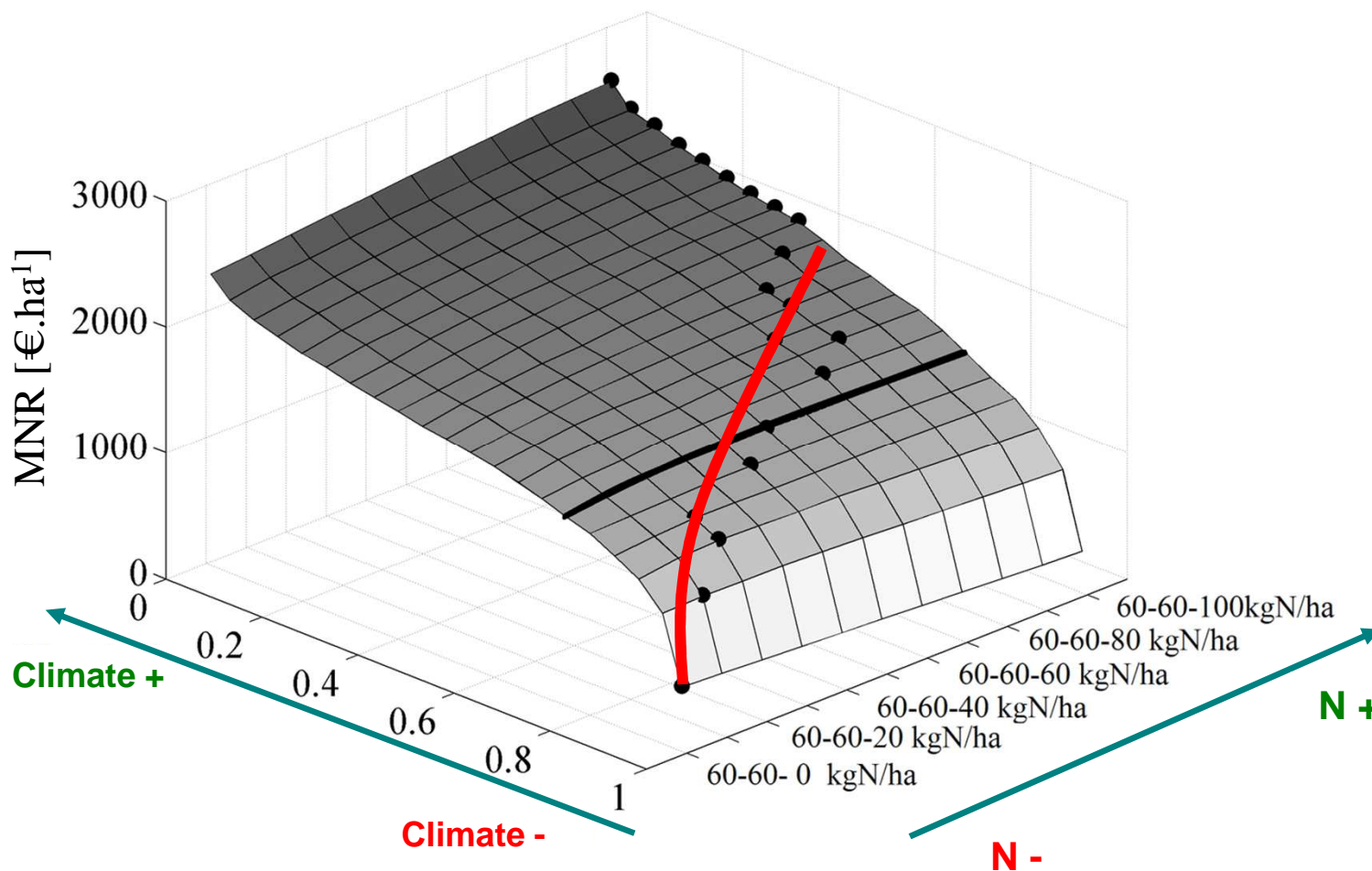
- Pour chaque probabilité climatique il existe une dose N optimale



# Optimiser l'azote

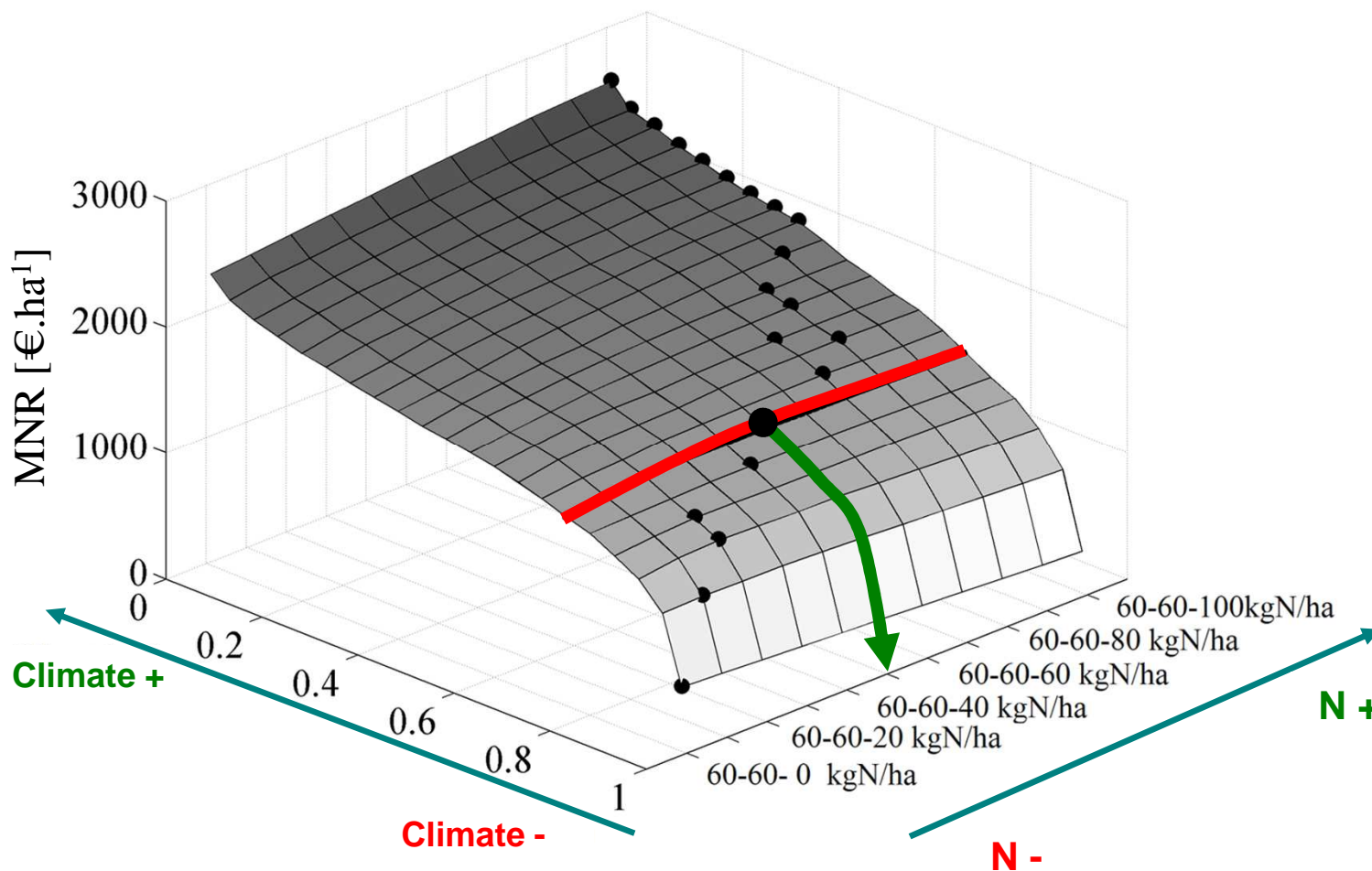


- La relation Nopti – Climat est linéaire (dans l'espace 2D)



- Sélectionner la dose qui surpasse les autres la majorité du temps

Following Basso et al., 2011



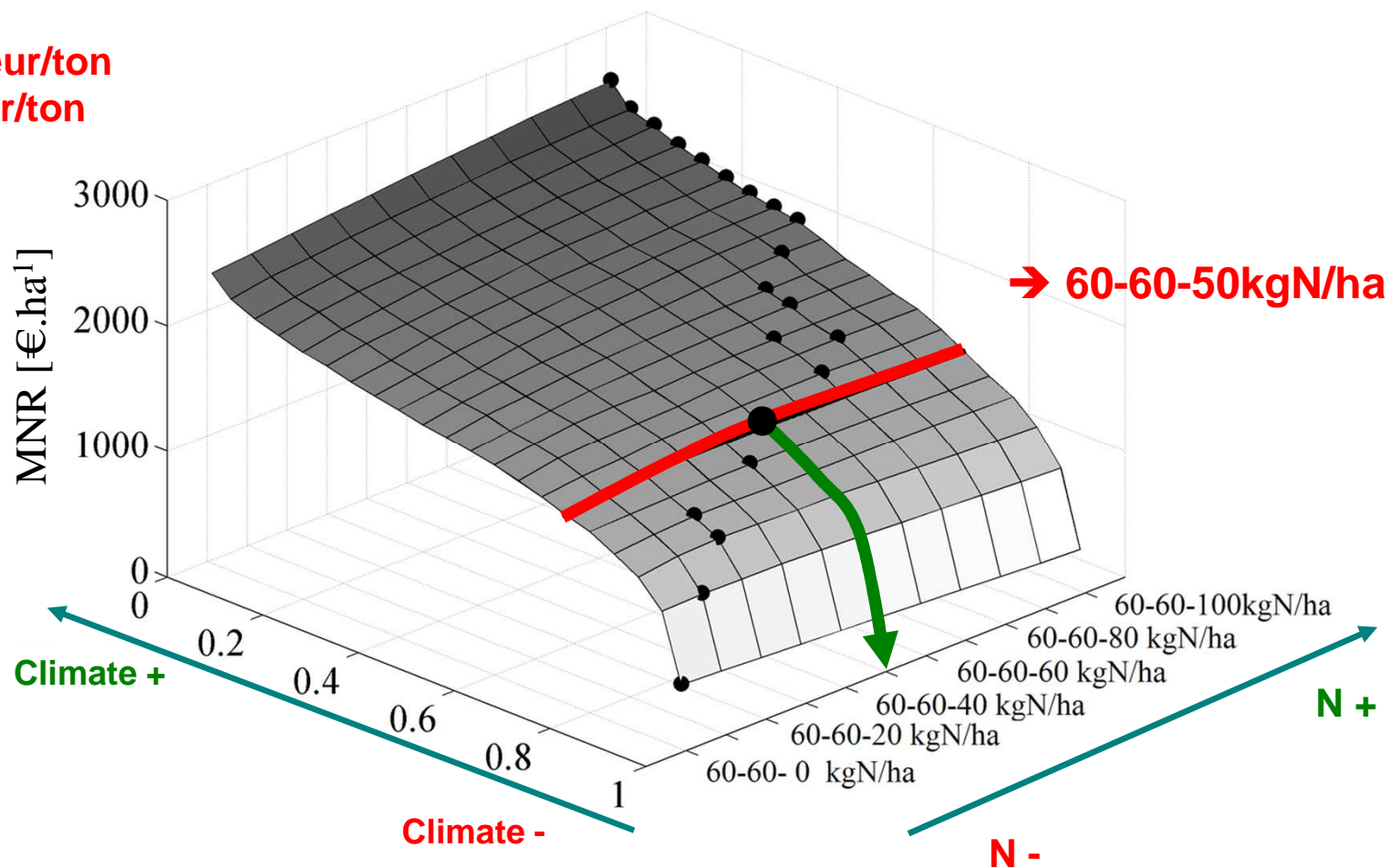
# Optimiser l'azote



## ➤ Optimisation sur base d'un critère agro-economique

**Gp = 200eur/ton**

**N = 300eur/ton**

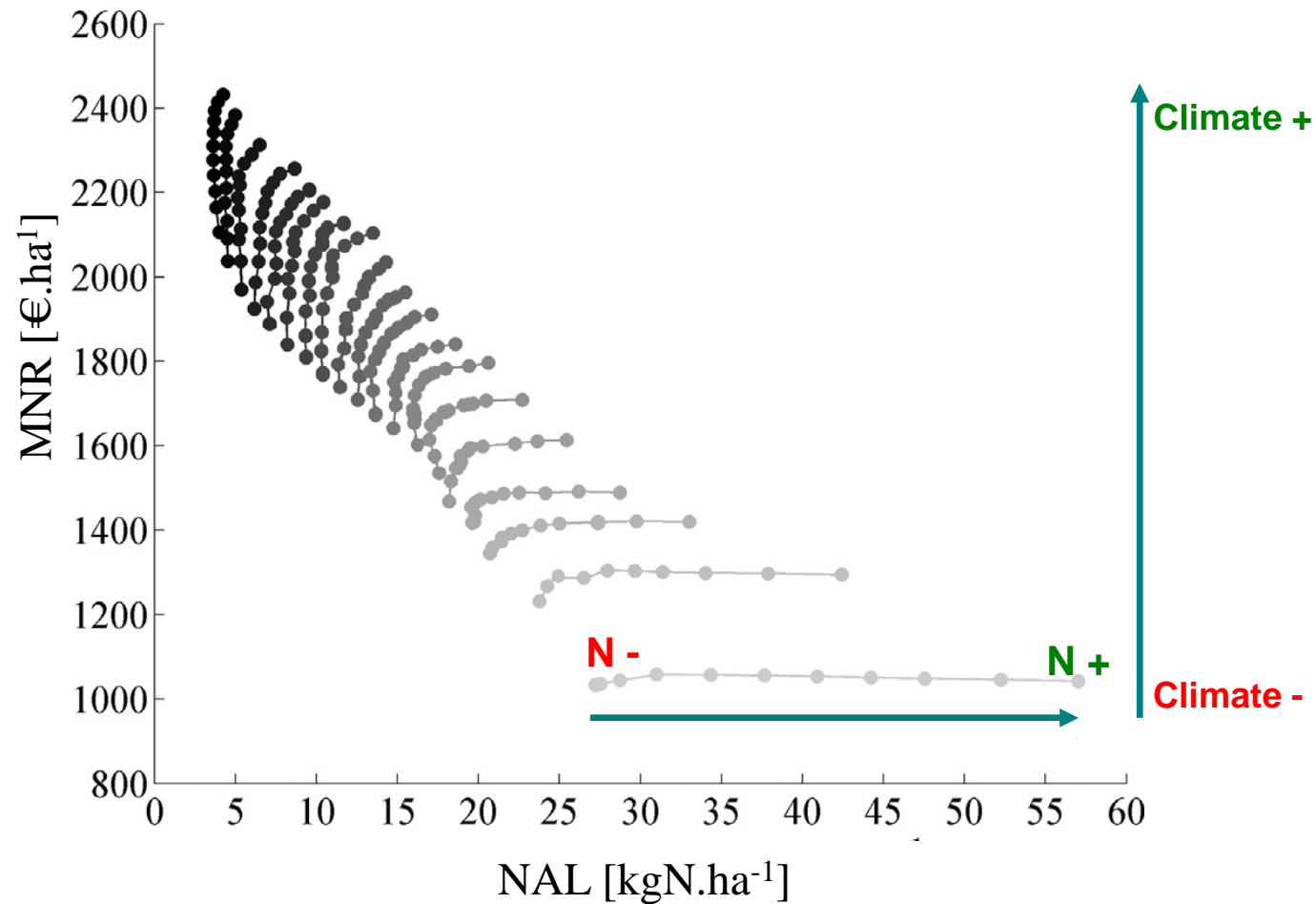




# Optimiser l'azote



## ➤ Quid de la composante environnementale ?

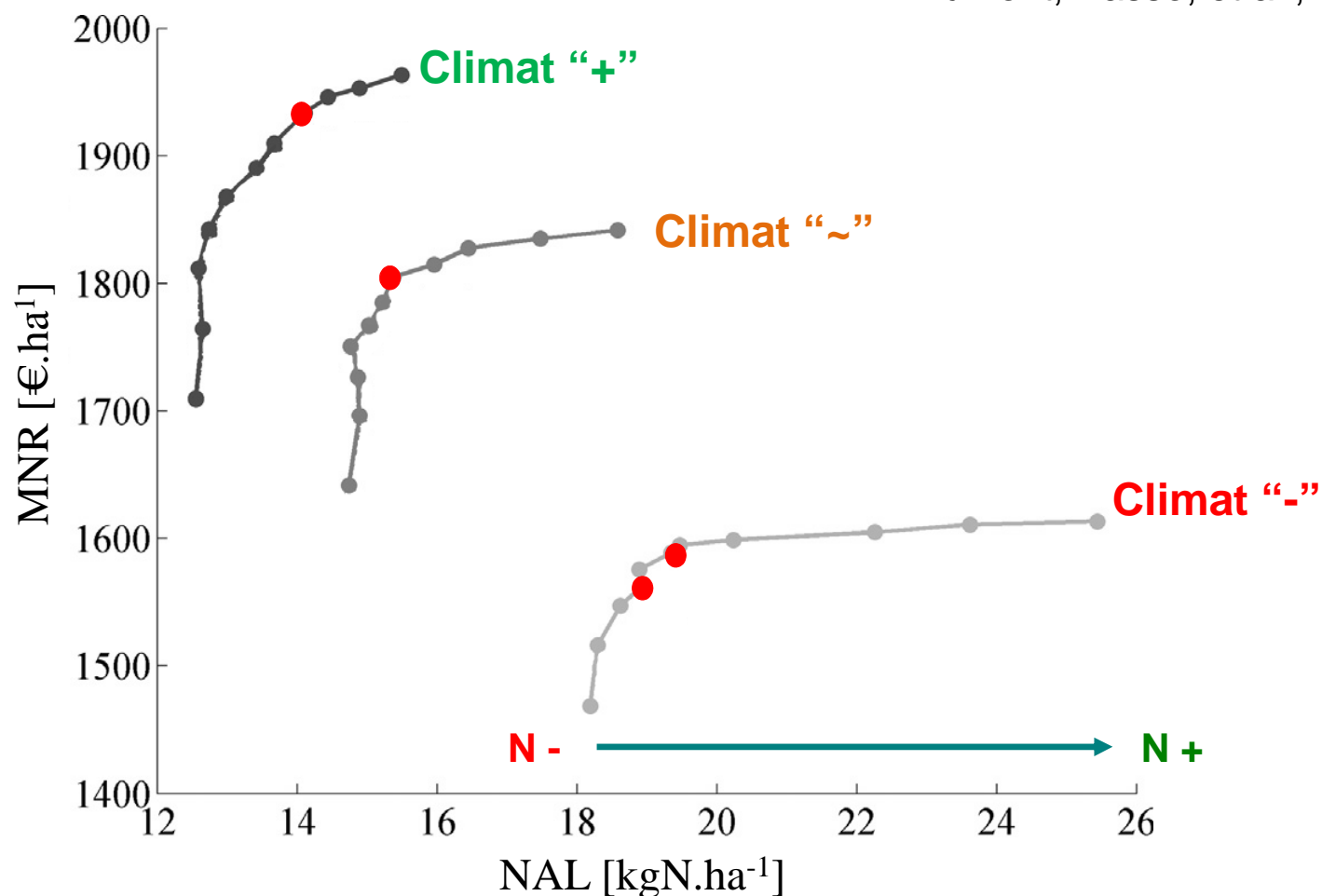


# Optimiser l'azote



## ➤ Optimisation sur base d'un critère agro-econ.-environnemental

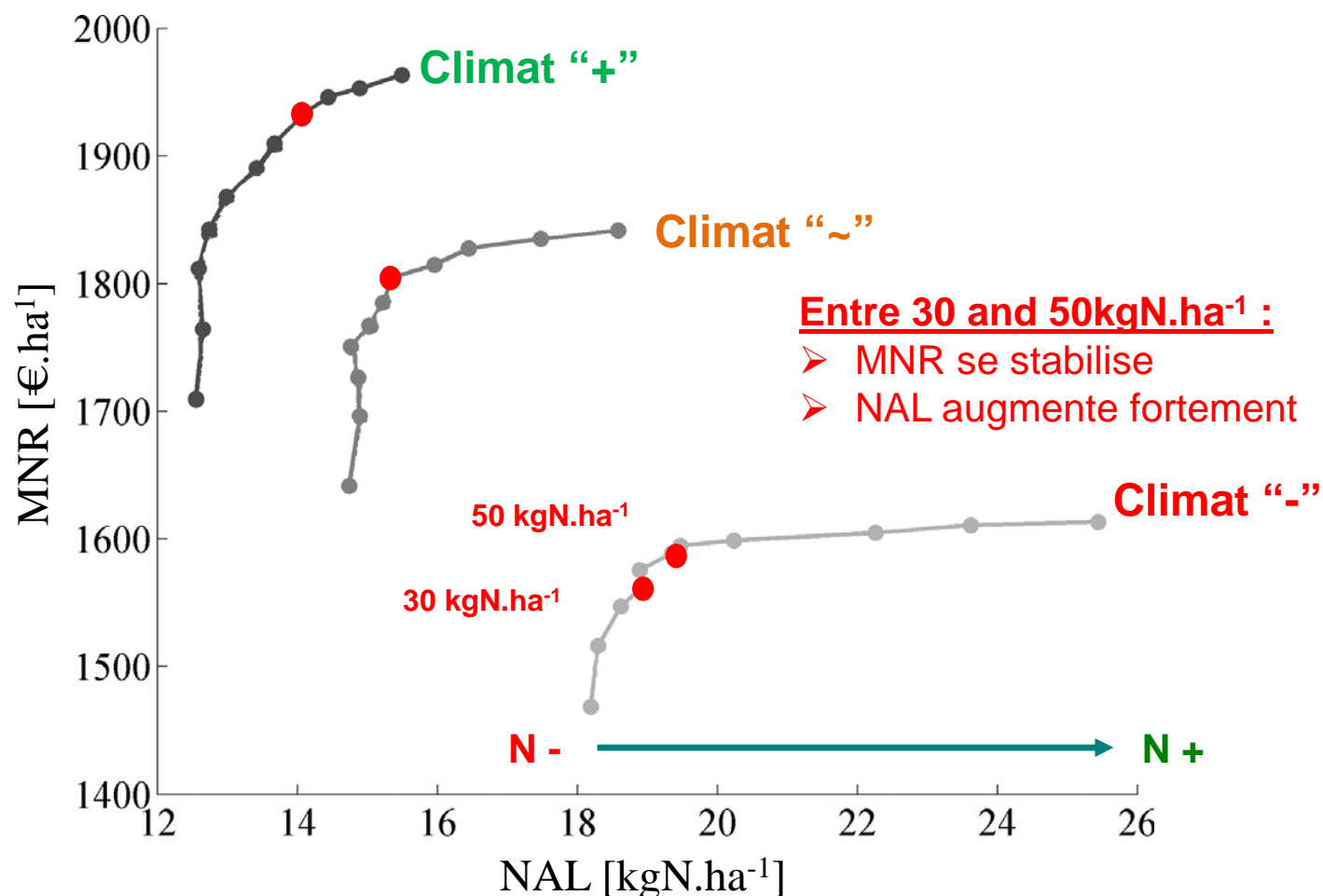
Dumont, Basso, et al., 2015



# Optimiser l'azote



## ➤ Optimisation sur base d'un critère agro-econ.-environnemental





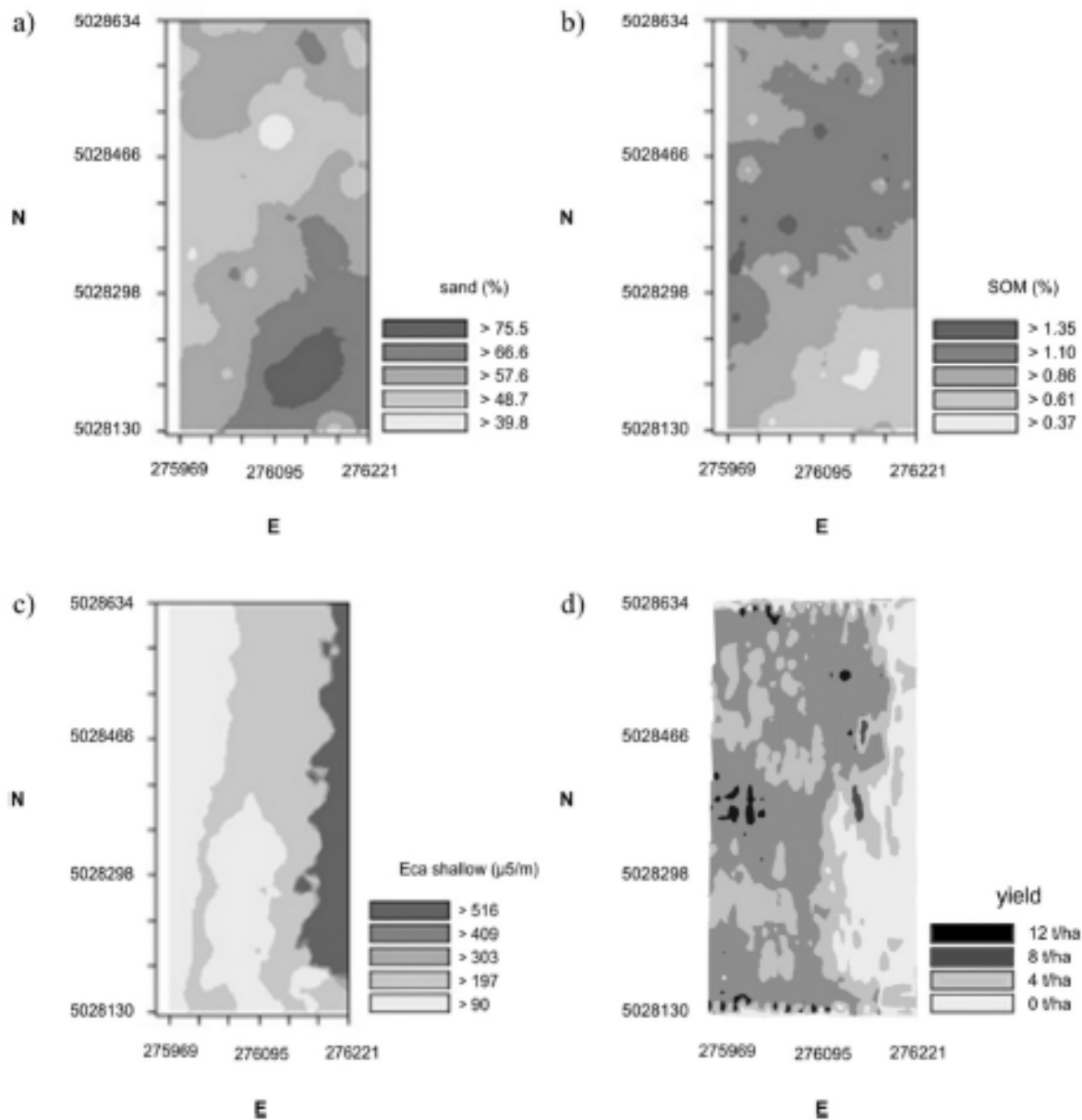
- Contexte général
- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
- Collecter l'information
- Préviation des rendements
  - ***Spatialisation du management de l'azote***
- Conclusion



## ➤ **Utiliser différentes sources d'information**

- Texture des sols
- Propriétés des sols (conductivité, matière organique, etc.)
- Carte des rendements (moissonneuse de précision, etc.)
- Imagerie drone (Indice de végétation, etc.)

# Délimitation de zones homogènes





## ➤ **Utiliser différentes sources d'information**

- Texture des sols
- Propriétés des sols (conductivité, matière organique, etc.)
- Carte des rendements (moissonneuse de précision, etc.)
- Imagerie drone (Indice de végétation, etc.)

## ➤ **Synthétiser l'information**

- Analyse temporelle
- Analyse spatiale
- Définition de zones homogènes

# Délimitation de zones homogènes

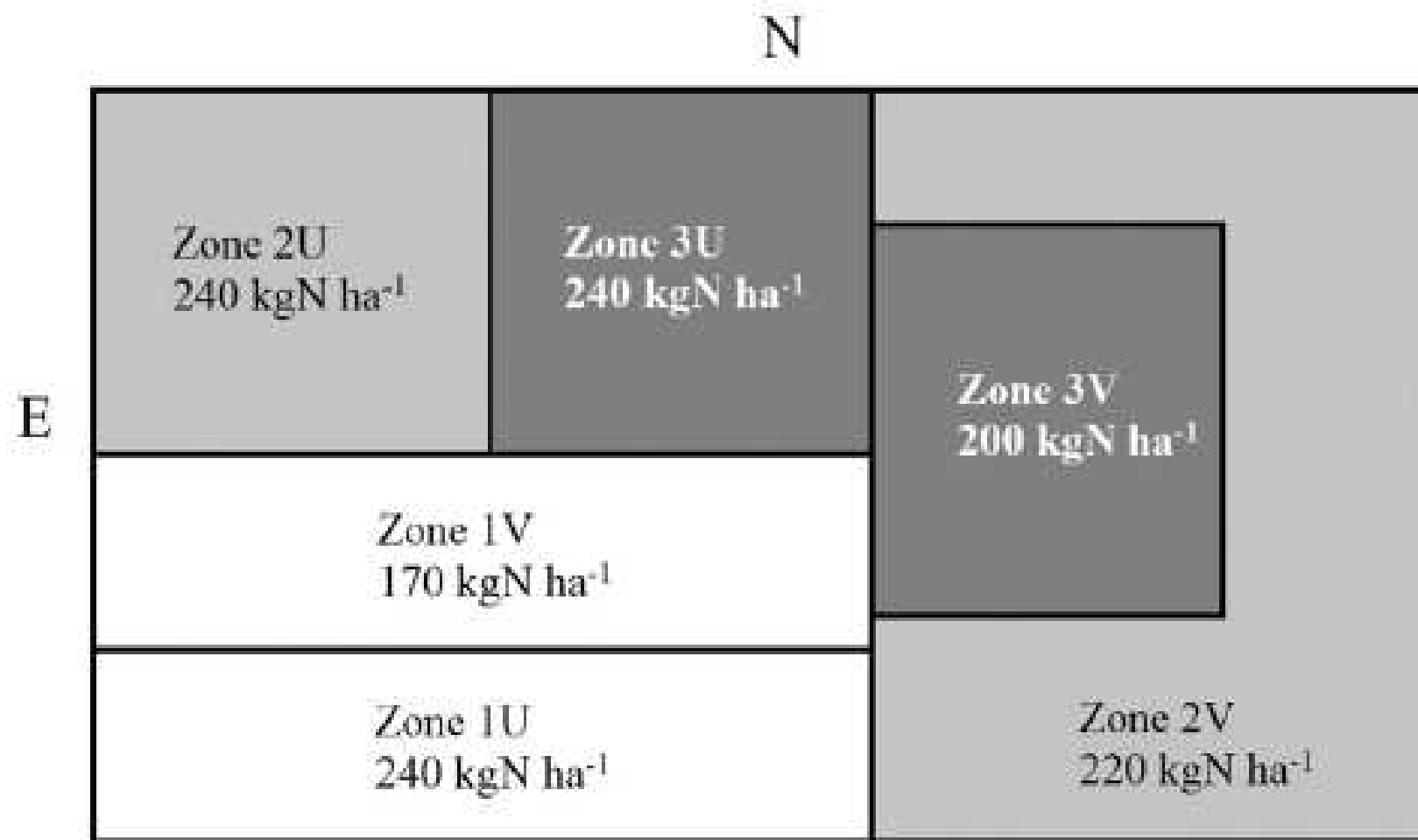


Fig. 2. Delineation of uniform management zones; N was applied on each zone as variable application (V) and as uniform application (U). Below each zone is reported the amount of N applied.



## ➤ **Utiliser différentes sources d'information**

- Texture des sols
- Propriétés des sols (conductivité, matière organique, etc.)
- Carte des rendements (moissonneuse de précision, etc.)
- Imagerie drone (Indice de végétation, etc.)

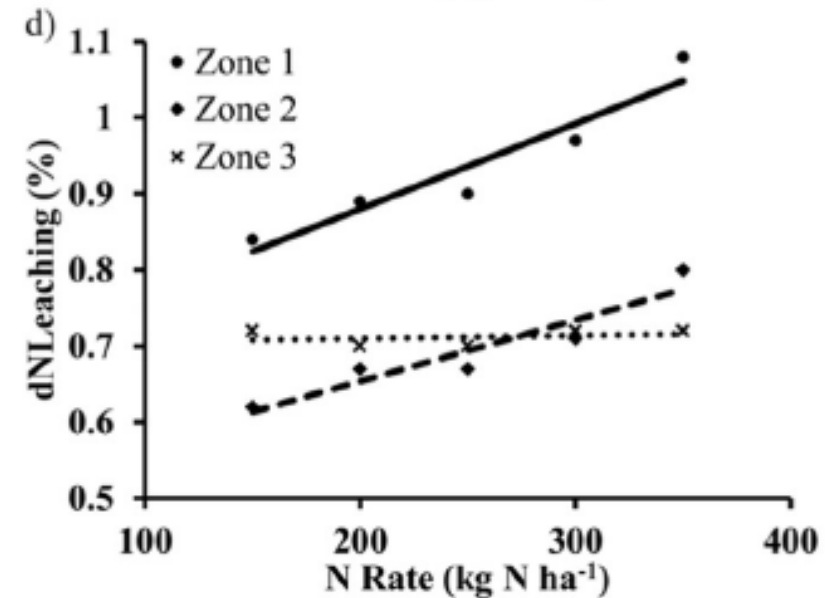
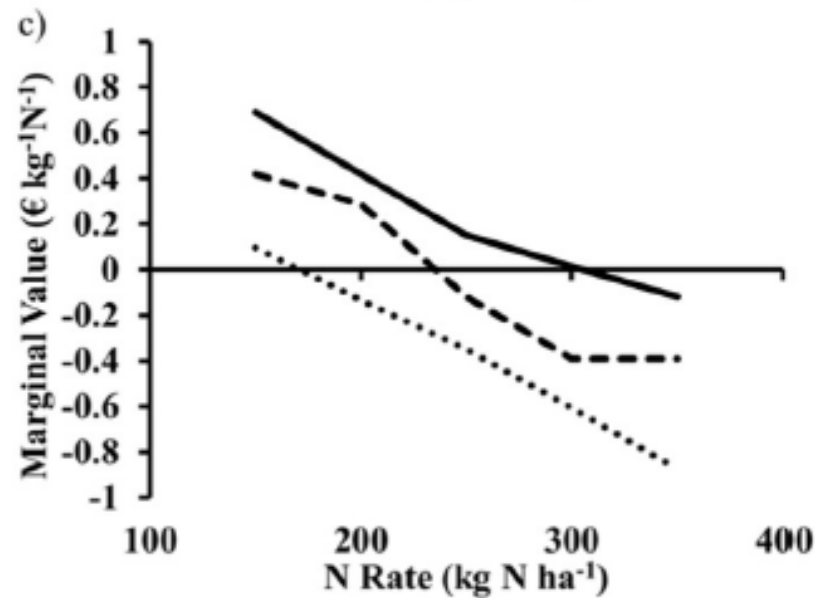
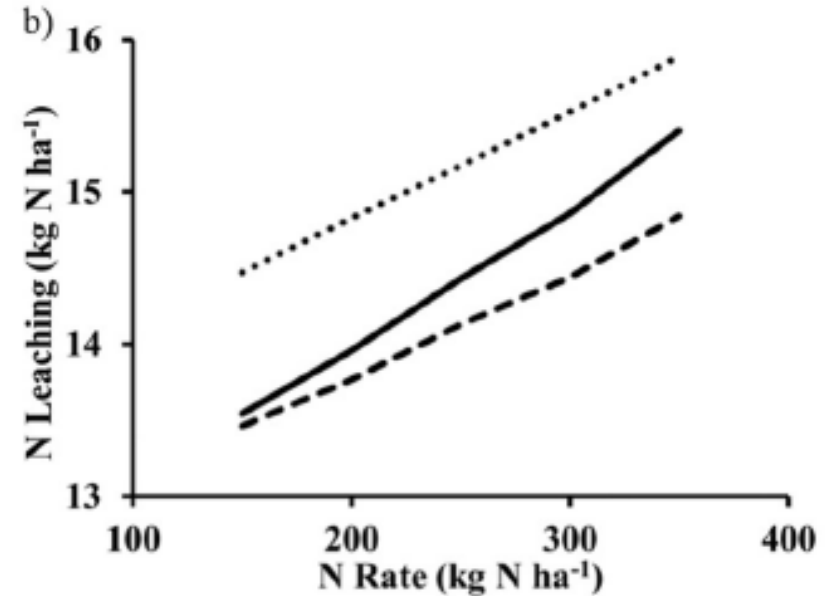
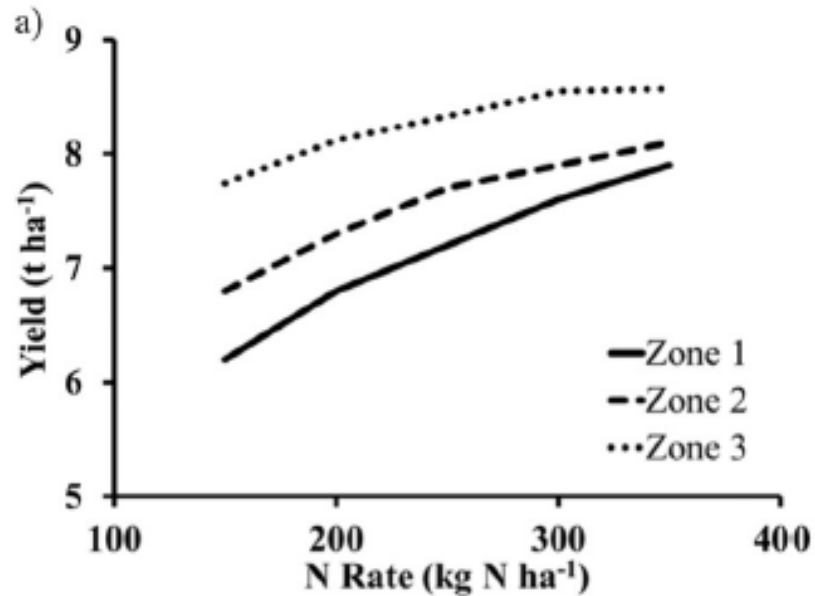
## ➤ **Synthétiser l'information**

- Analyse temporelle
- Analyse spatiale
- Définition de zones homogènes

## ➤ **Déterminer la dose N la plus adaptée**

- Analyse temporelle par zone
- Détermination de l'optimum

# Délimitation de zones homogènes



# Délimitation de zones homogènes

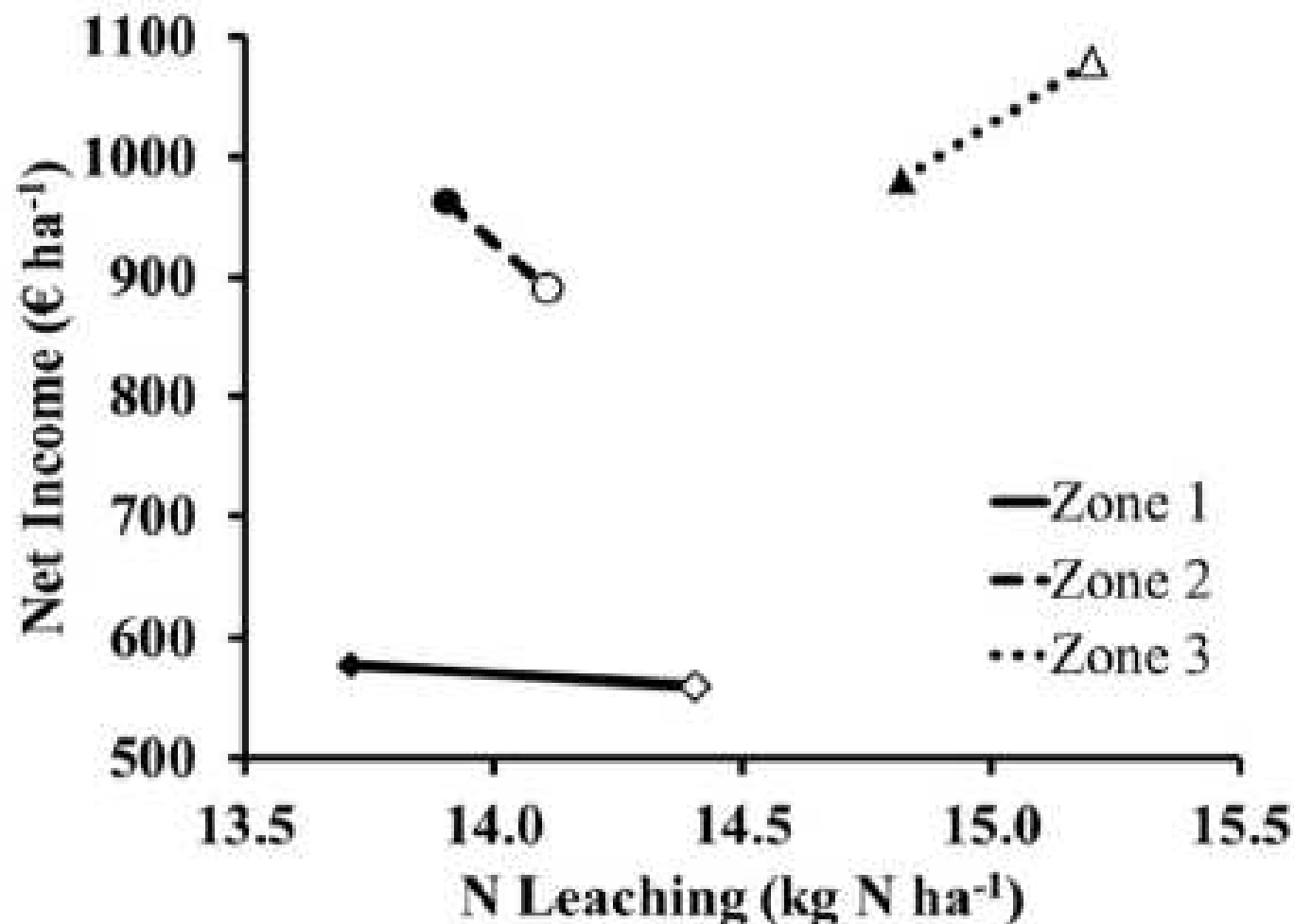


Fig. 6. Relationship between observed net return and simulated N leaching for Zone 1 (diamonds), Zone 2 (circles), and Zone 3 (triangles) for variable (black symbols) and uniform (white symbols) N.



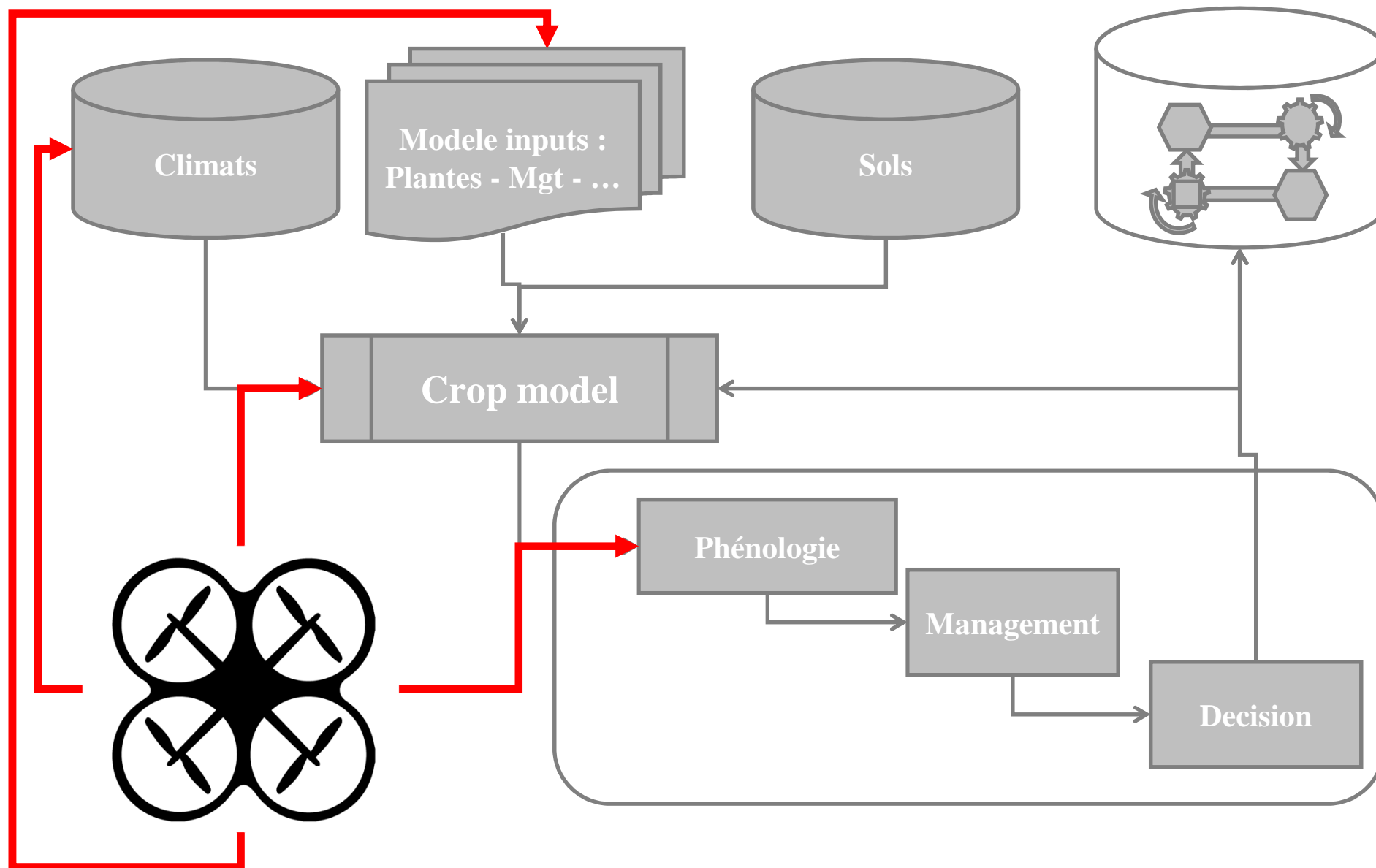
- Contexte général
- L'expérimentation numérique
- La modélisation agronomique
- Développement d'un outil d'aide à la décision (OAD)
- Collecter l'information
- Préviation des rendements
- Optimisation du management de l'azote

➤ ***Conclusion***

## Les approches développées :

- Sont **Génériques** par rapport à la culture et au modèle de culture
- Sont **spécifiques au site** et sont conçues pour prendre en compte les variabilités **Inter-** et **Intra-annuelles**
- Permettent à chacun de gérer le **Niveau de Risque**
- Considèrent des critères **Agro-Economico-Environnementaux**
- Aident au **Processus décisionnel** via une **Préconisation en temps-réel**
- Peuvent aisément être couplées avec des systèmes d'acquisitions de type **Remote Sensing** permettant d'**Améliorer les Simulations** dans le **Temps** (suivi végétation) et dans l'**Espace** (spatialisation)

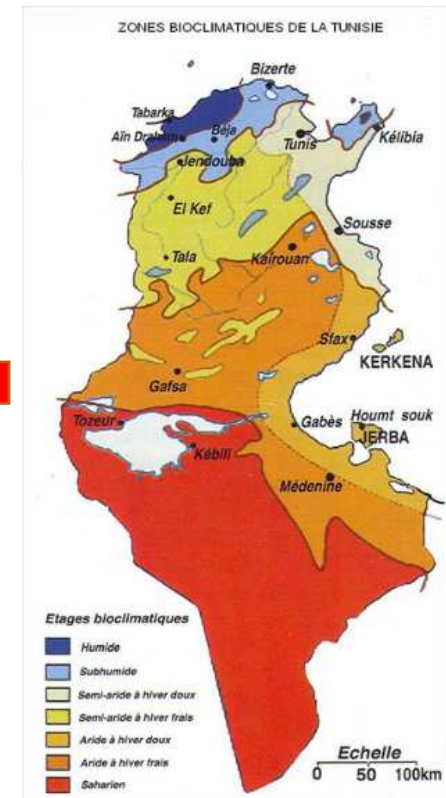
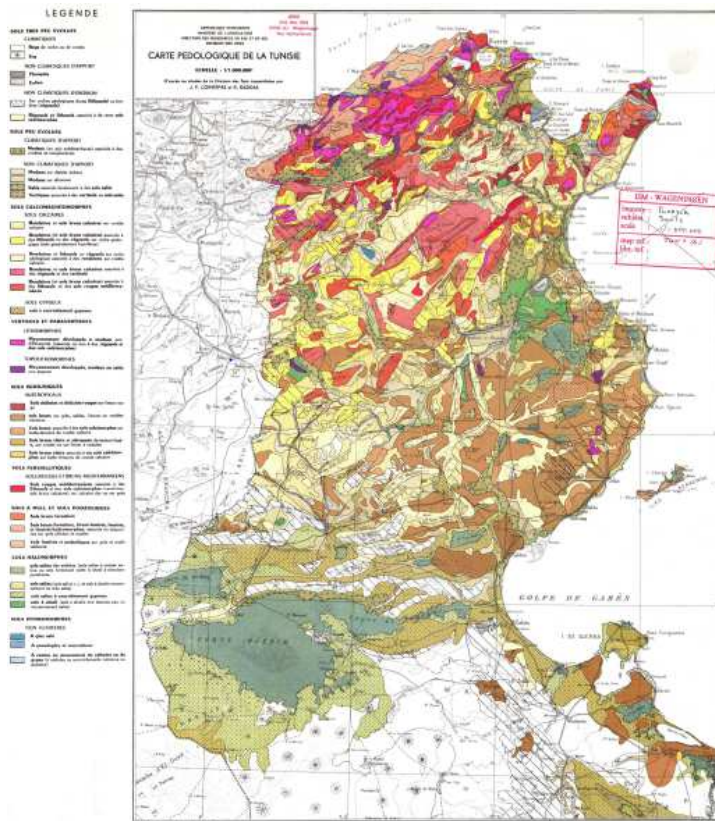
# Conclusion



# Conclusion



À l'heure actuelle, tous les **outils** sont disponibles en **Tunisie** pour implémenter une **agriculture de précision** qui repose sur la modélisation agronomique, qui permette **de maximiser les rendements** et de **préserver l'environnement**



*Présentation originale réalisée dans le cadre de la journée d'étude sur  
l'Agriculture de Précision  
Organisée par la Chambre de commerce Tuniso-Belgo-Luxembourgeoise*



Agriculture de Précision,  
Modèle de culture &  
Phytotechnie

***Merci pour votre attention  
?? Questions ??***

- Dr. Ir. Benjamin Dumont -  
- Ainsi que toutes les personnes impliquées dans ce projet -

*Tunis, Tunisie, Mars 2017*