

journée CEPP/ collectifs 30000

09/03/2018

Peut-on concilier un faible usage de pesticides, une bonne performance économique et environnementale?

*Analyse d'un réseau national de fermes de
démonstration Ecophyto*

Martin Lechenet

Directeurs de thèse:

Nicolas Munier-Jolain

David Makowski

Encadrant:

Guillaume Py

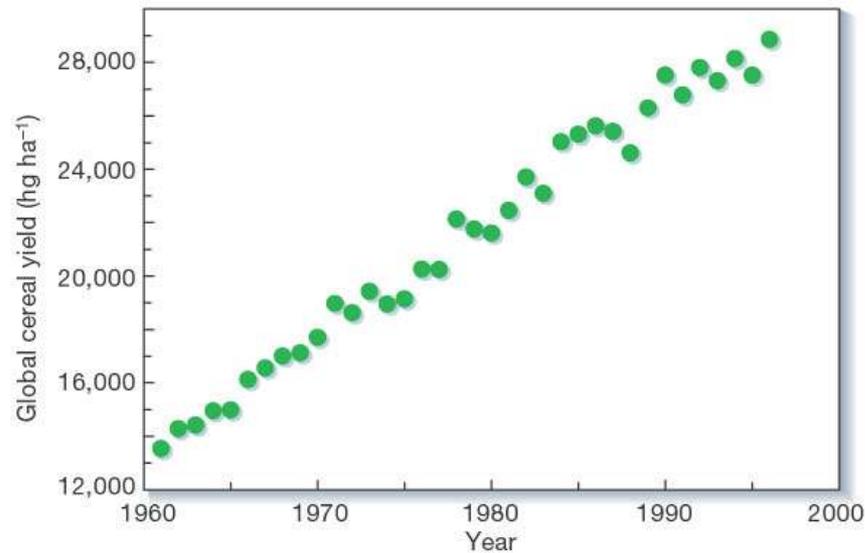


Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

UMR Agronomie - Grignon

Durabilité: un enjeu majeur pour l'humanité

- Nourrir durablement une population humaine croissante *Tilman et al., 2011*
- Forte augmentation des rendements et de l'offre alimentaire par individu *Matson et al., 1997*



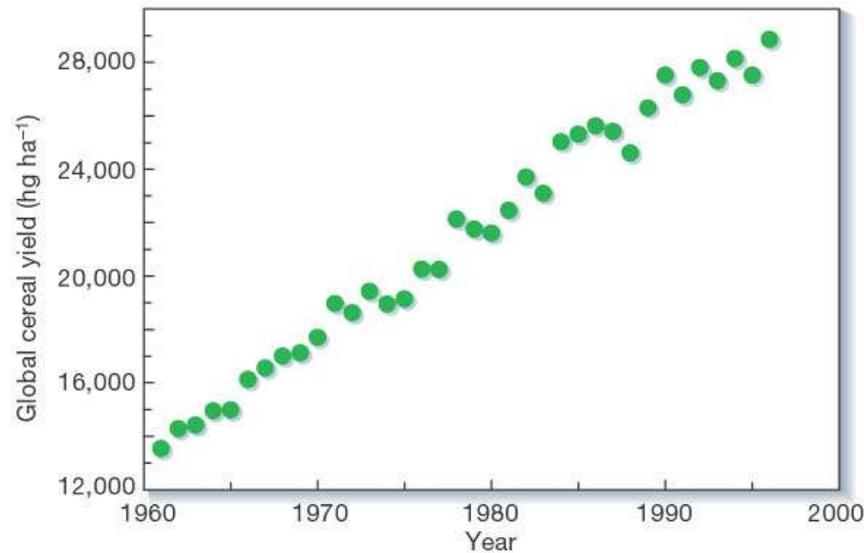
Tilman et al., 2002

Durabilité: un enjeu majeur pour l'humanité

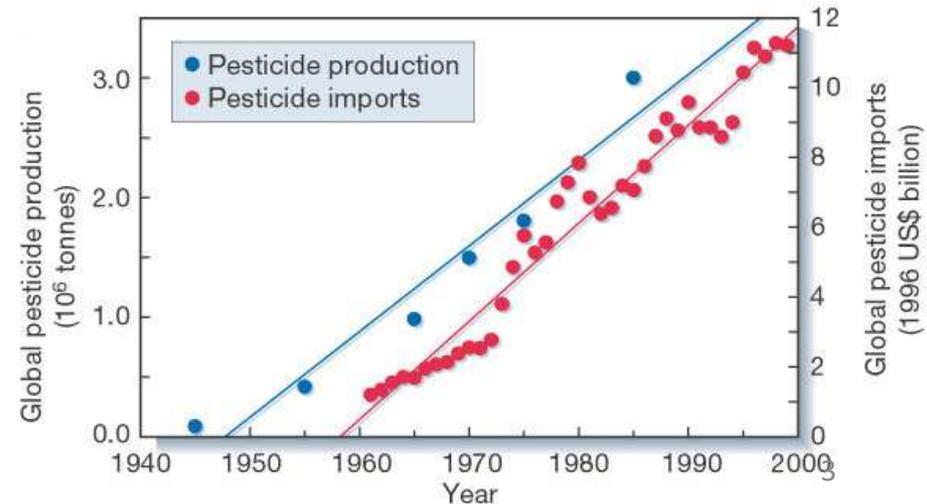
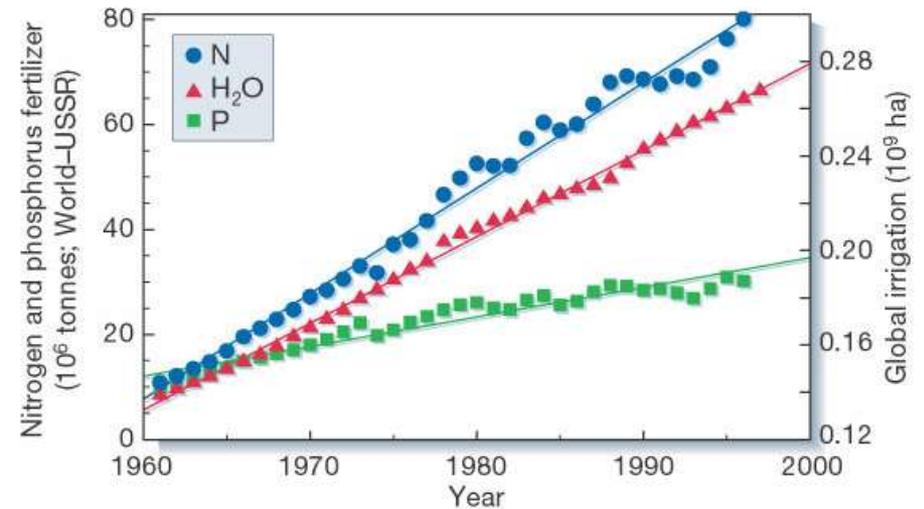
- Simplification des systèmes agricoles

Matson et al., 1997

- Forte augmentation de l'utilisation d'intrants agricoles



Tilman et al., 2002

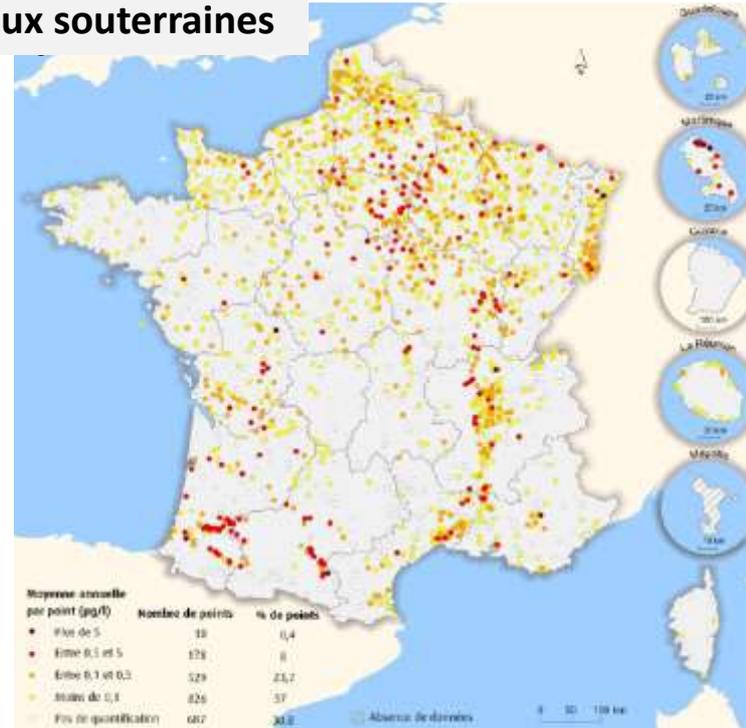


La problématique pesticides en France

- Craintes sur les conséquences des pollutions aux pesticides

Beketov et al., 2013; Wilson & Tisdell, 2001

Eaux souterraines



Agences et Offices de l'eau , 2013

La problématique pesticides en France

**Réduire la dépendance de
l'agriculture aux pesticides?**

La problématique pesticides en France

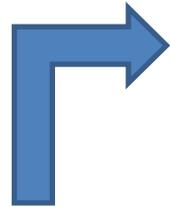


-50%
d'ici 2025

La problématique pesticides en France



-50%
d'ici 2025



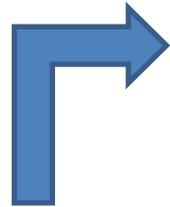
Agriculture Biologique



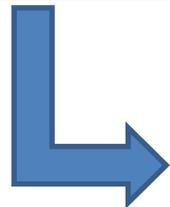
La problématique pesticides en France



-50%
d'ici 2025



Agriculture Biologique

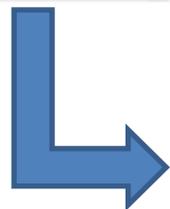


Stratégies économes en pesticides

La problématique pesticides en France



-50%
d'ici 2025



Stratégies économes en pesticides

La Protection Intégrée des cultures *Barzman et al., 2015; Lamichhane et al., 2015*

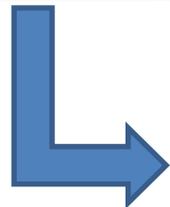
▶ **Réflexion sur la maîtrise des bioagresseurs à l'échelle du système de culture**

> Combinaison des techniques mises en œuvre à échelle pluriannuelle

La problématique pesticides en France



-50%
d'ici 2025



Stratégies économes en pesticides

¿ **Quelles conséquences ?**

Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- **Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?**



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- **Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?**
- **Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?**



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- **Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?**
- **Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?**
- **Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles?**



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- **Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?**
- **Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?**
- **Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles?**
- **Quelles conséquences d'une transition généralisée des systèmes de culture vers une moindre dépendance aux pesticides?**

I

II

III

IV

DEPHY-Ferme, un réseau national de fermes de démonstration Ecophyto

- Un réseau national de fermes de démonstration multifilières

Mis en place en 2010

- 1000 exploitations en grandes cultures et polyculture-élevage

- Une diversité de **situations de production**

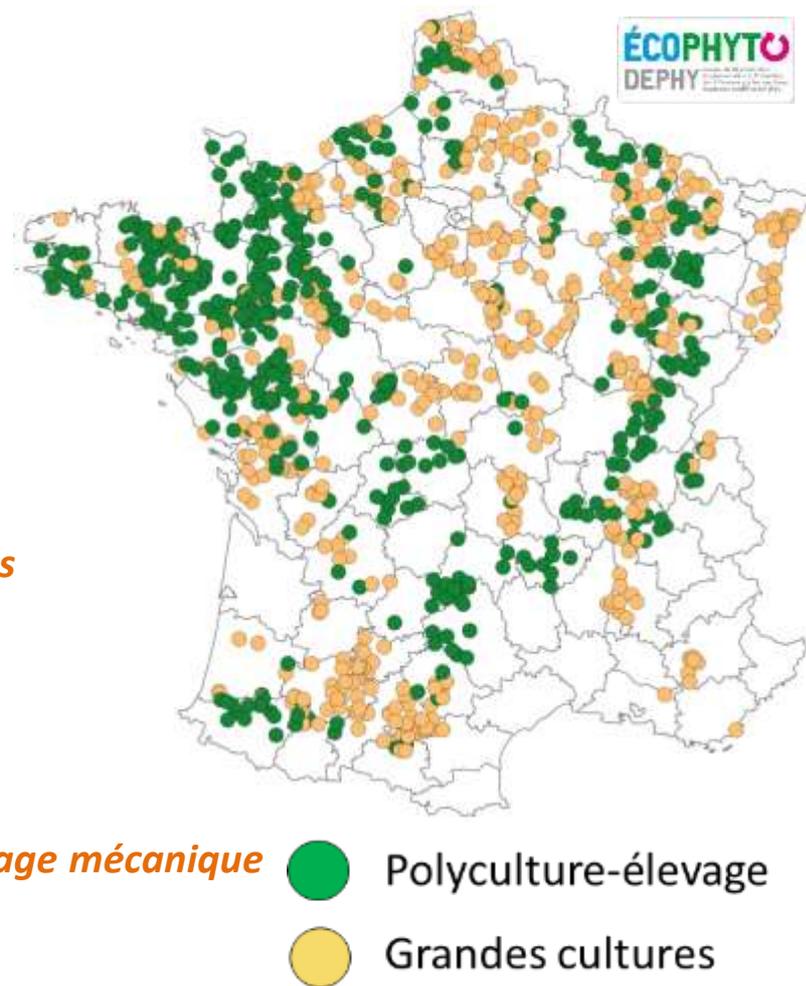
> Contexte biophysique et socio-économique qui influence les performances de l'exploitation

Aubertot et Robin, 2013

- Des stratégies contrastées

> Succession culturale, travail du sol, choix variétal, désherbage mécanique

> Dépendance aux pesticides



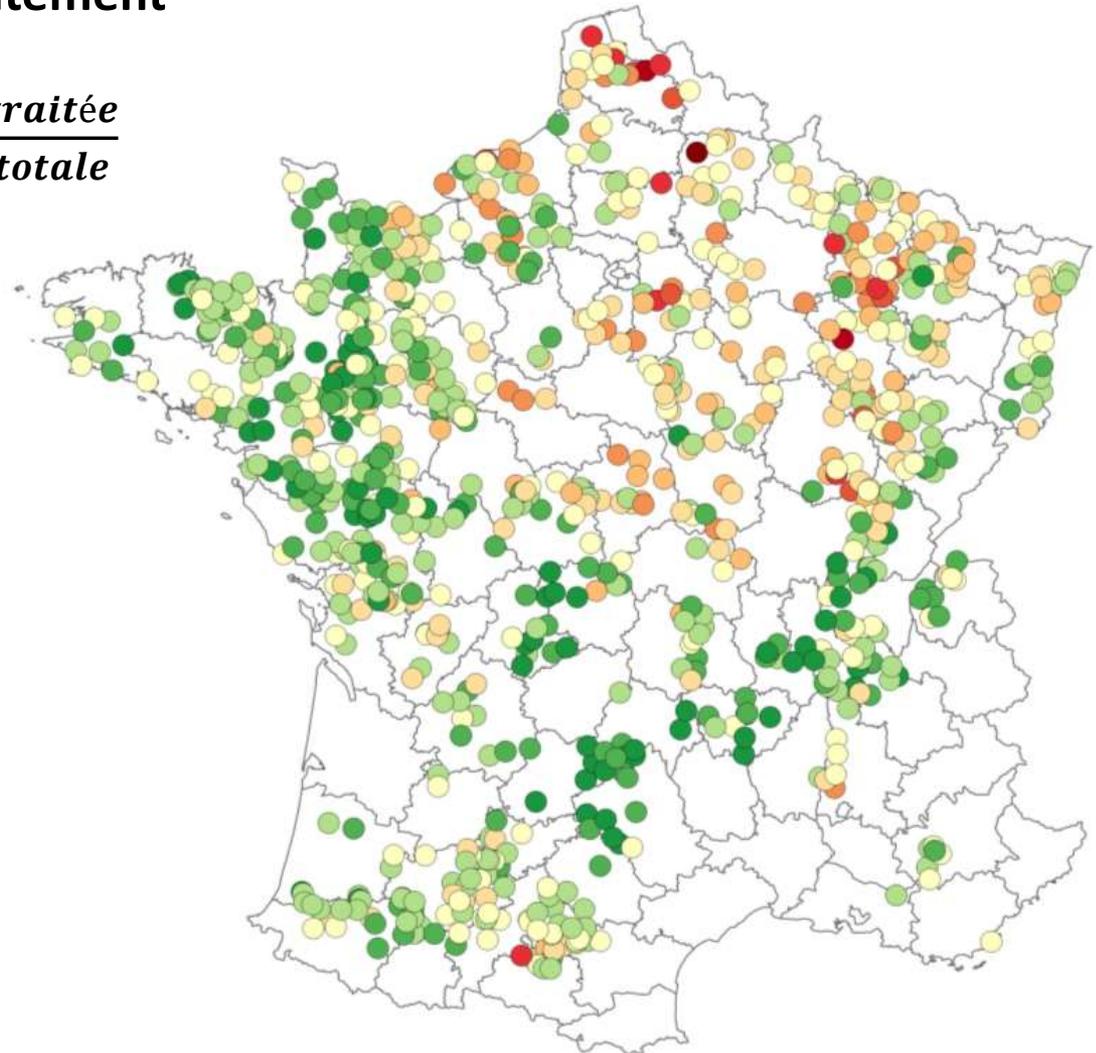
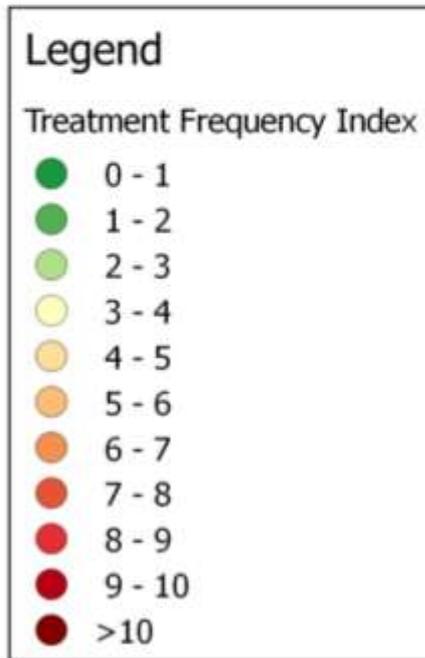
DEPHY-Ferme, un réseau national de fermes de démonstration Ecophyto

- Jeu de données descriptives des fermes à leur entrée dans le réseau
3 années entre 2008 et 2012
- Collecte de données sur chaque exploitation
 - ▶ Variables descriptives du contexte de l'exploitation
> Sol, présence d'élevage, accès à l'irrigation
 - ▶ Succession culturale
 - ▶ Itinéraires techniques
 - ▶ Rendements et critères de qualité de la récolte
- **Caractériser** les systèmes de culture
- **Evaluer** le niveau d'usage de pesticides et les performances

Un large gradient sur la dépendance aux pesticides

IFT = Indice de Fréquence de Traitement

$$\text{IFT} = \frac{\text{Dose appliquée}}{\text{Dose de référence}} \times \frac{\text{Surface traitée}}{\text{Surface totale}}$$



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- **Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?**
- Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?
- Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles?
- Quelles conséquences d'une transition généralisée des systèmes de culture vers une moindre dépendance aux pesticides?



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

I Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?

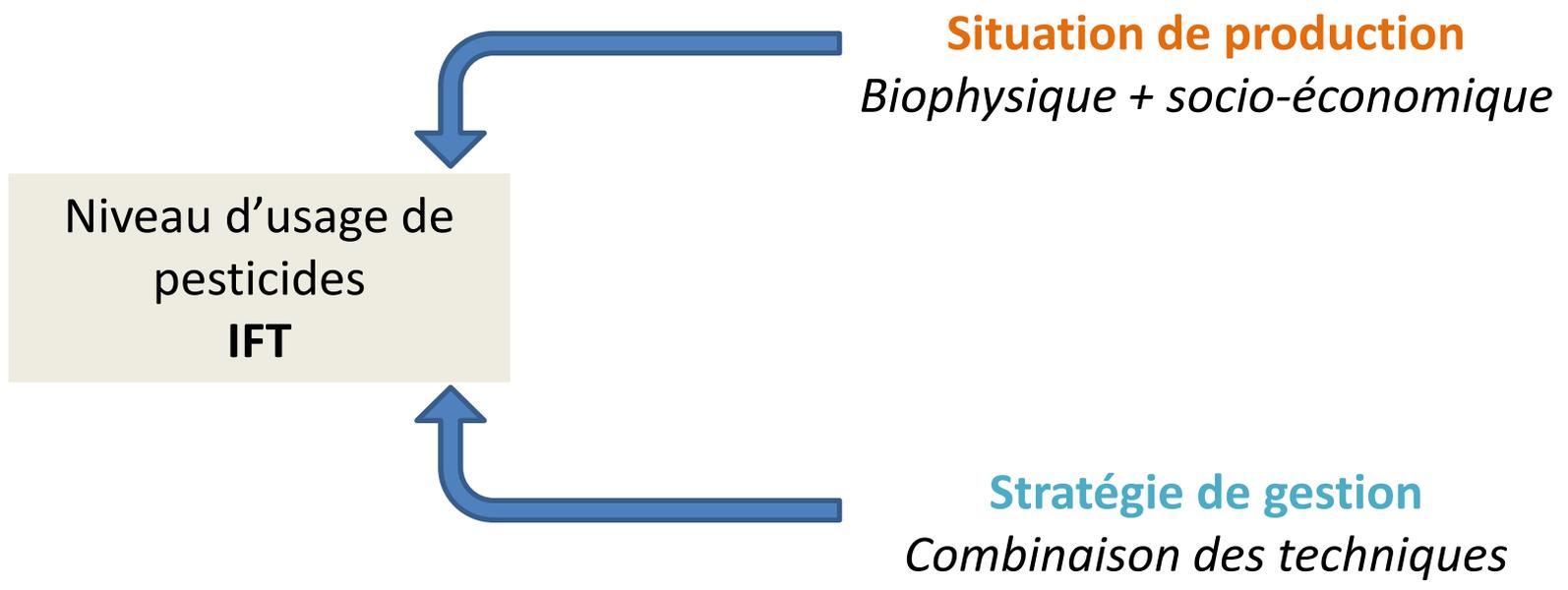
➤ *Qui sont-ils? Où sont-ils? Quelles techniques mobilisent-ils?*

Hypothèses

- ▶ stratégies économes en pesticides = combinaisons de techniques
- ▶ stratégies économes en pesticides = différentes d'une situation de production à l'autre
- ▶ Faible usage de pesticides ← diverses stratégies dans une situation

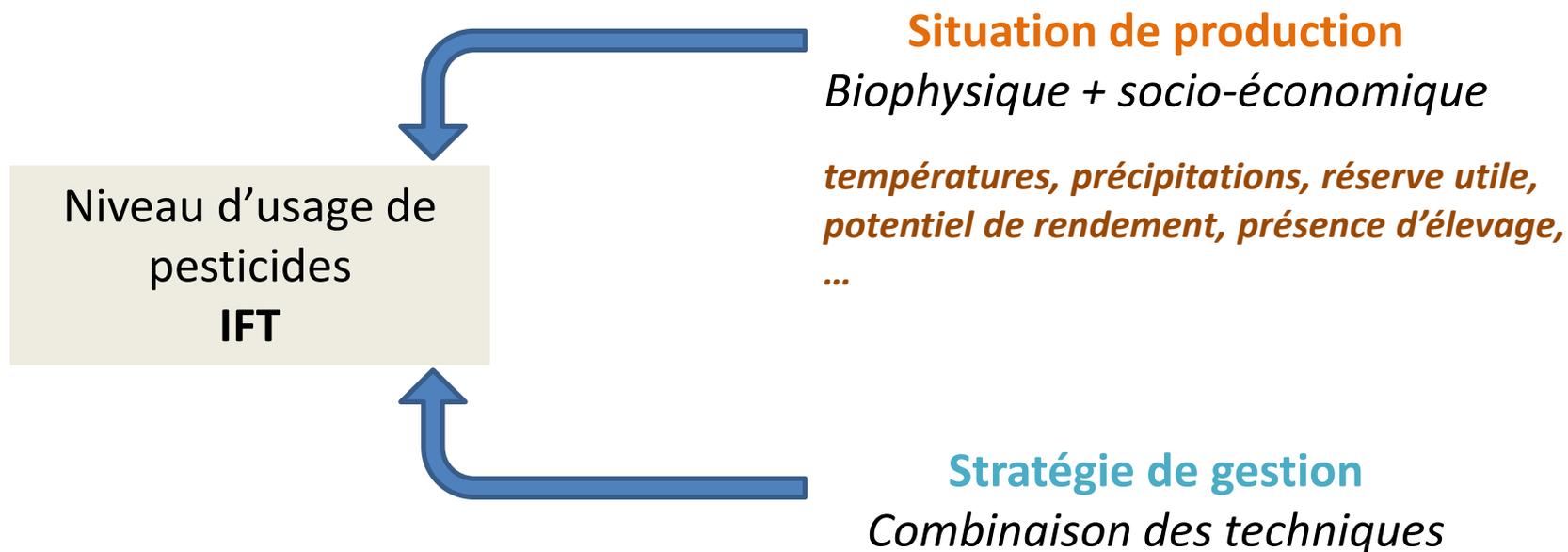
Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

▶ Quels facteurs explicatifs?



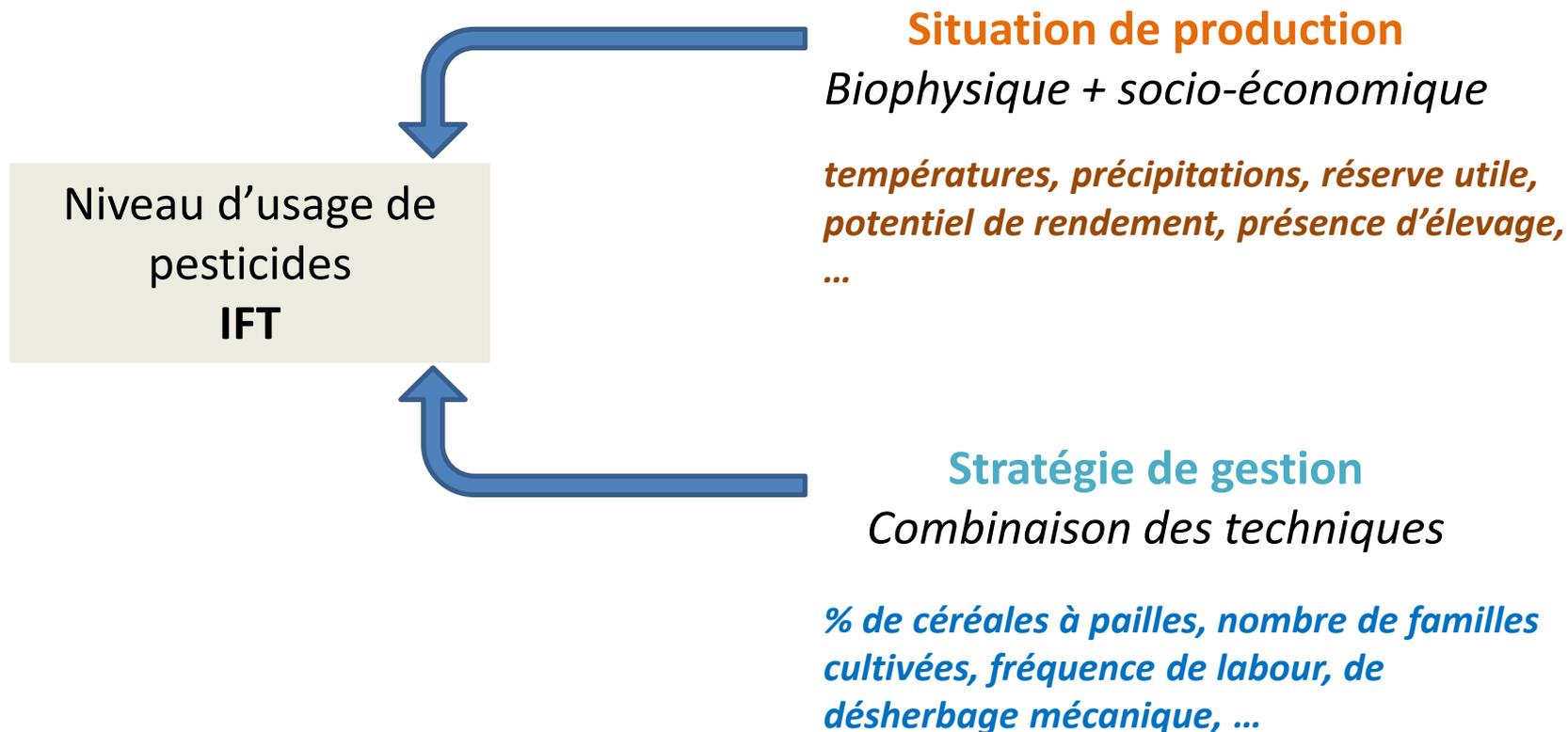
Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

▶ Quels facteurs explicatifs?



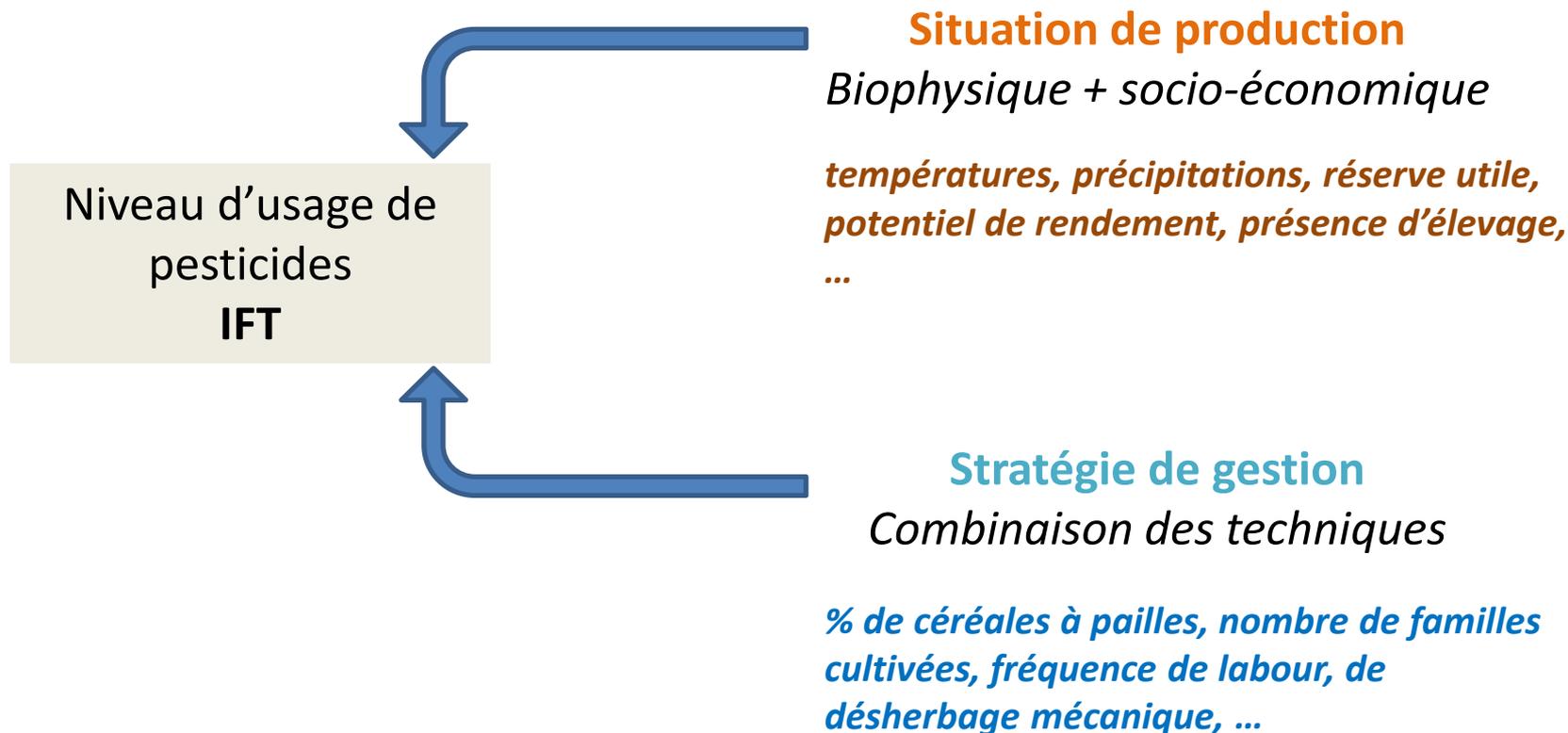
Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

▶ Quels facteurs explicatifs?



Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

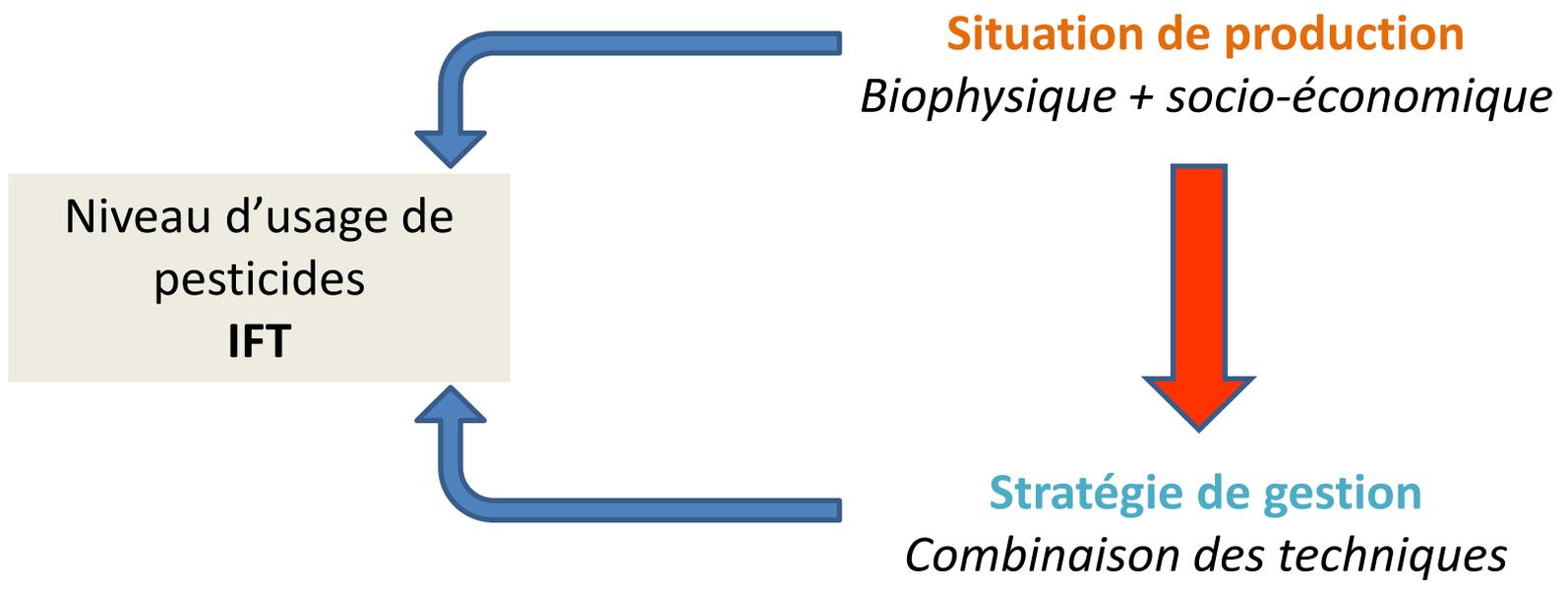
Quels facteurs explicatifs?



~300 variables → effet combiné

Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

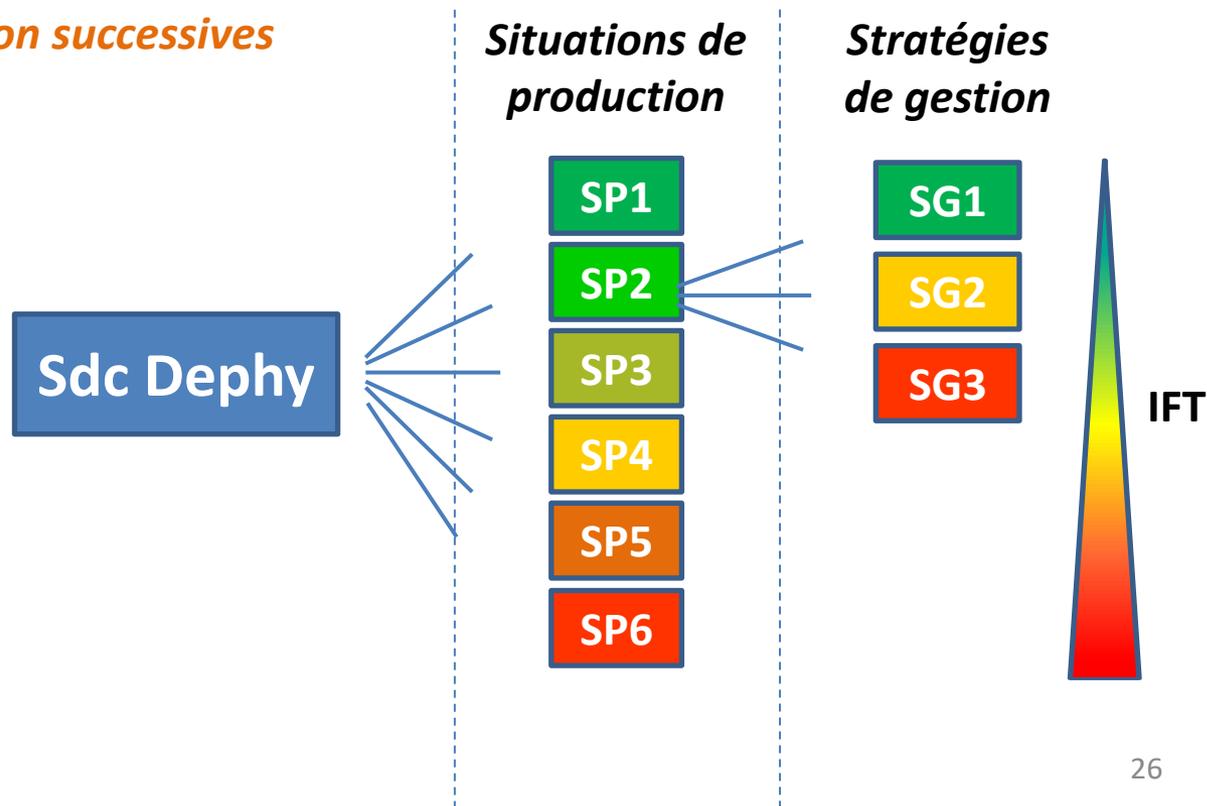
▶ Quels facteurs explicatifs?



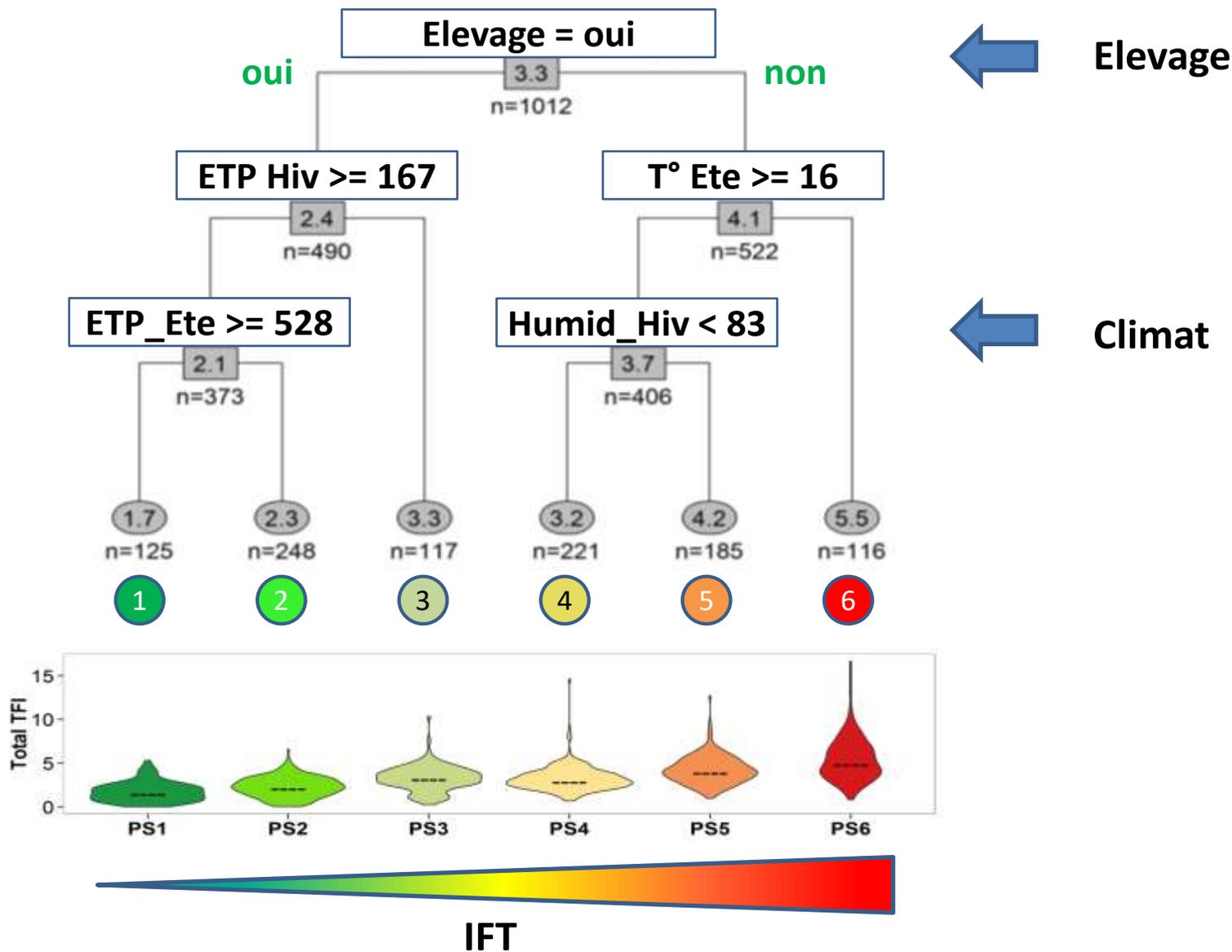
▶ Situation de production = **filtre** sur les stratégies
Aouadi et al., 2015

Une analyse par segmentation séquentielle de l'IFT

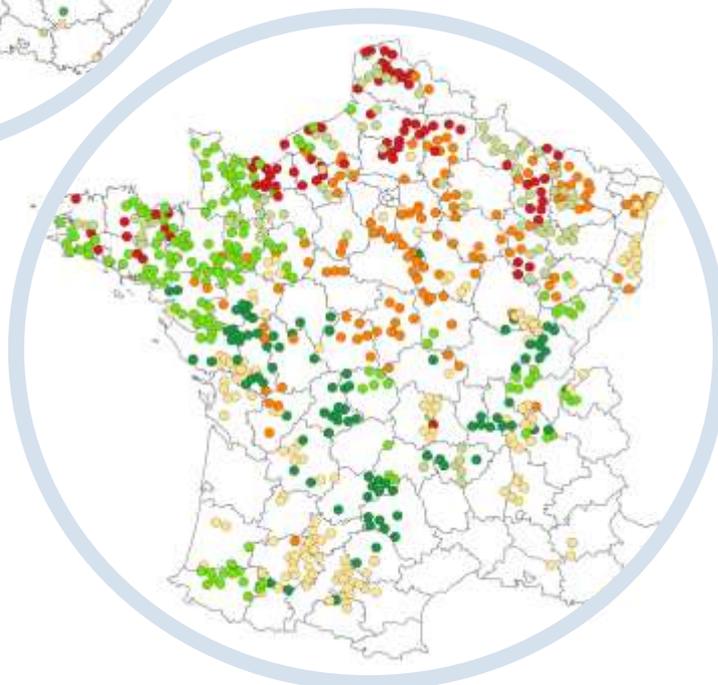
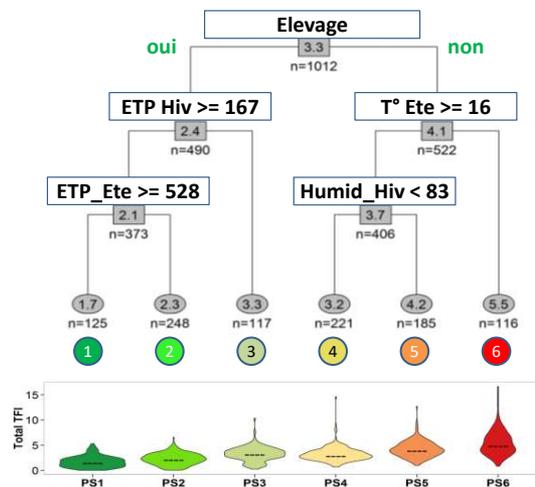
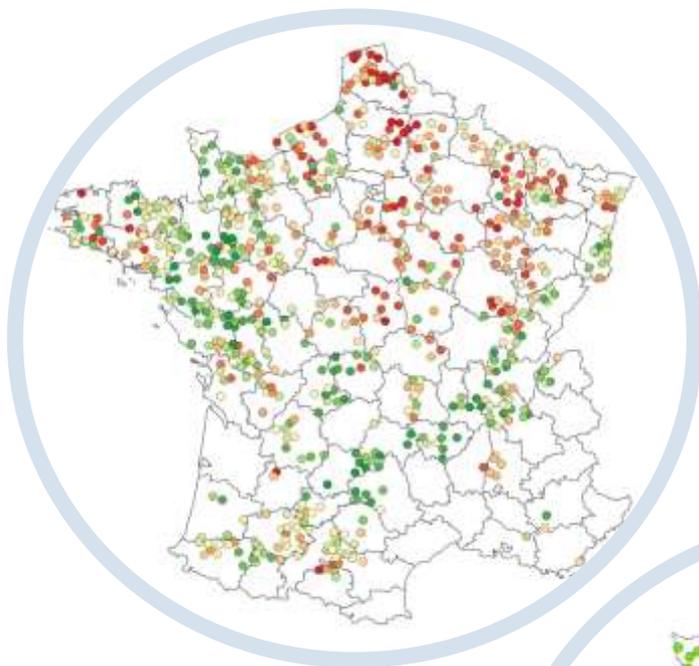
- ▶ Méthode CART *Breiman et al., 1984*
 - > *Découpages successifs = arbres de régression*
 - > *Identification de profils à faible et fort usage de pesticides*
- ▶ Approche emboîtée *Ouellette et al., 2012*
 - > *2 vagues de segmentation successives*



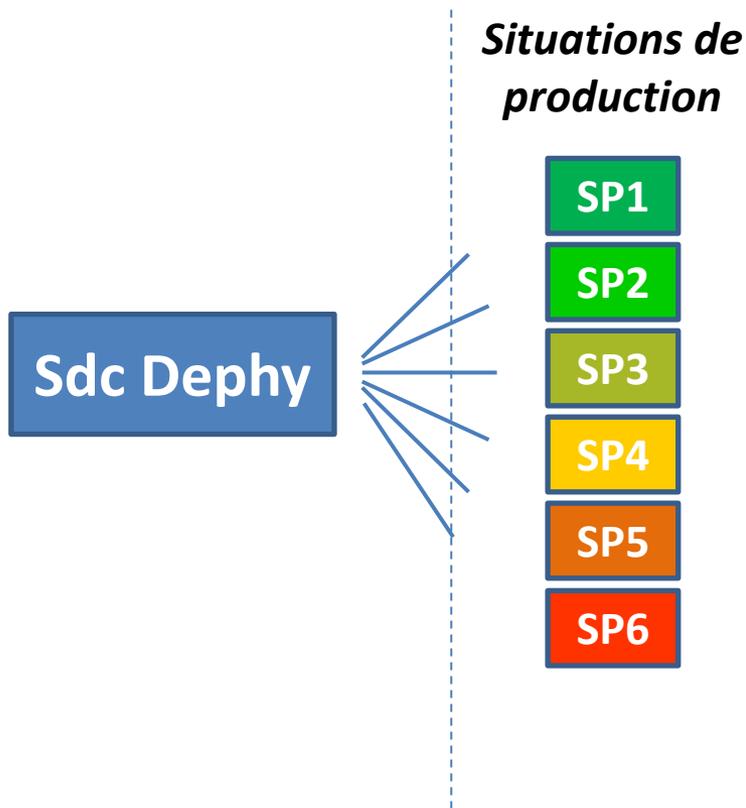
Une première vague de segmentation sur les variables du contexte



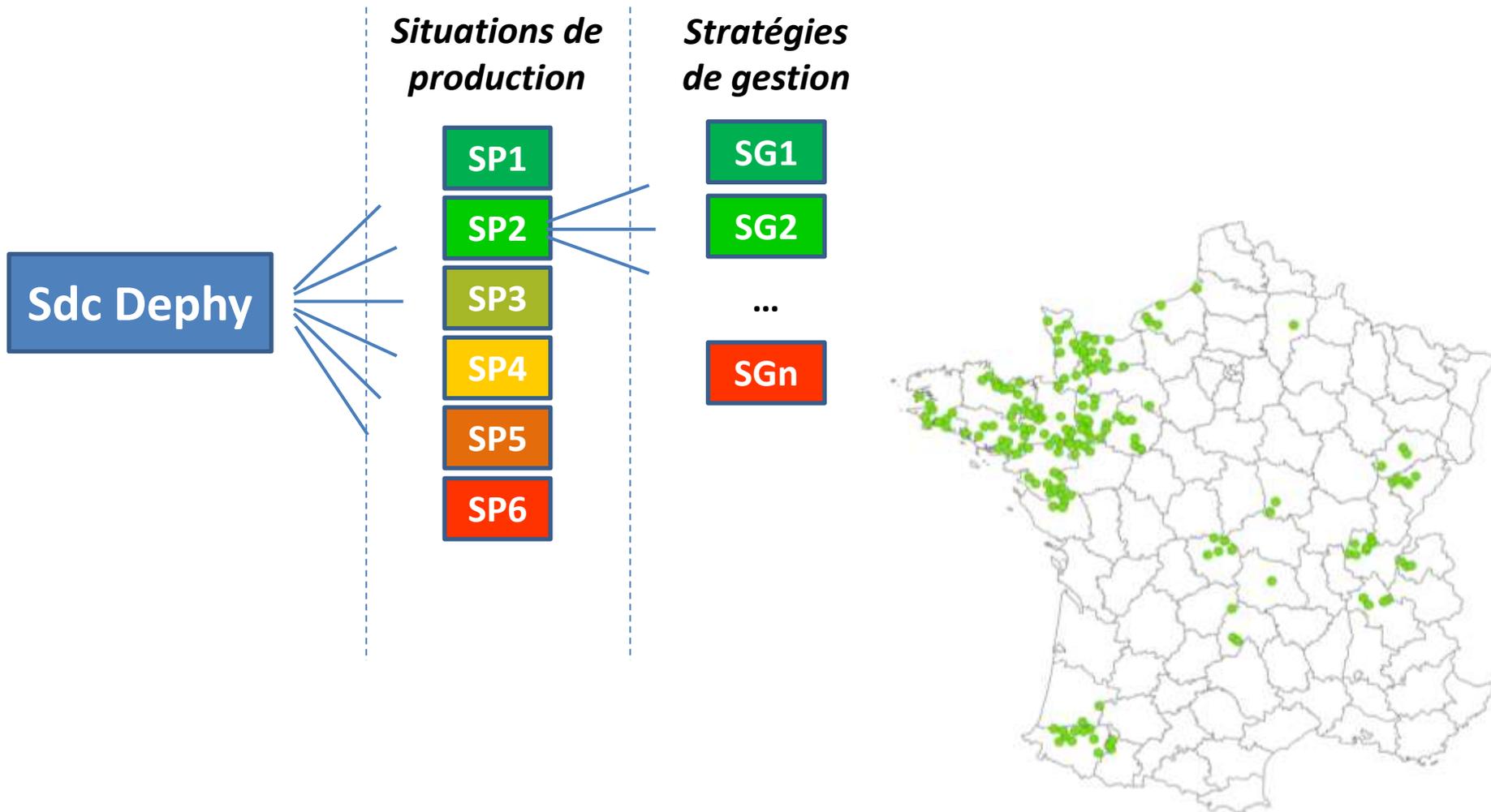
Une première vague de segmentation sur les variables du contexte



Une seconde vague de segmentation sur les variables de stratégie

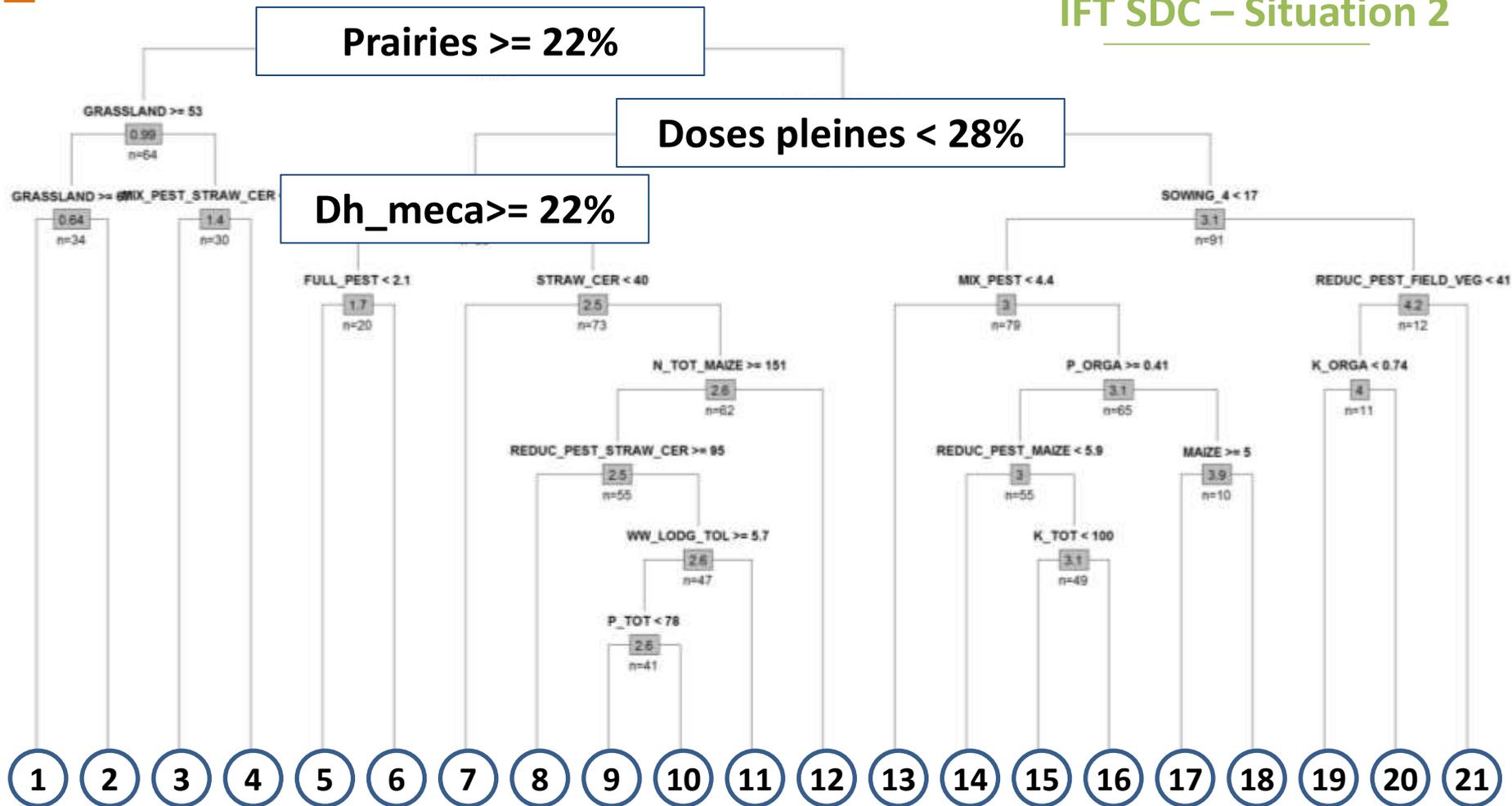


Une seconde vague de segmentation sur les variables de stratégie



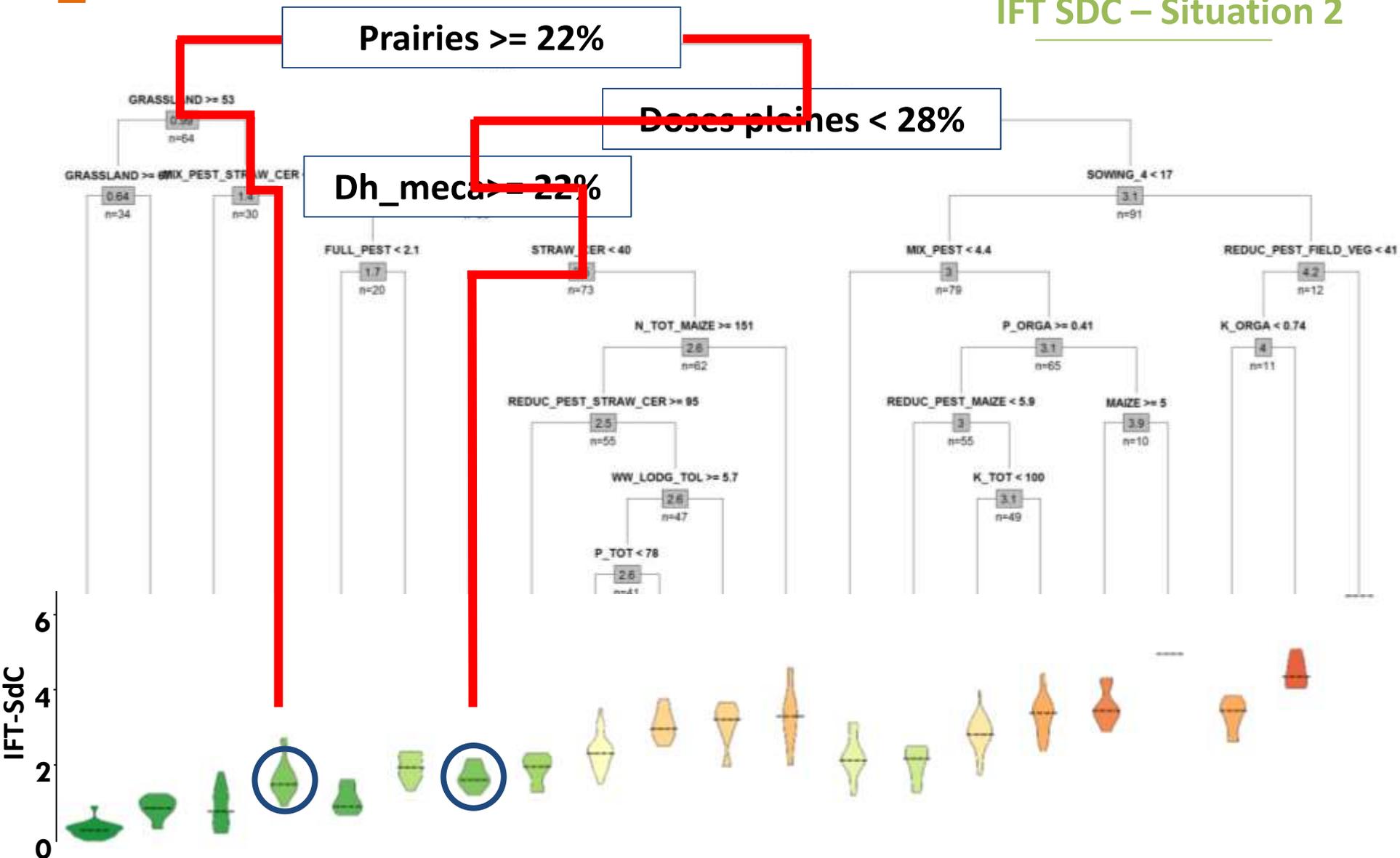
Une seconde vague de segmentation sur les variables de stratégie

IFT SDC – Situation 2



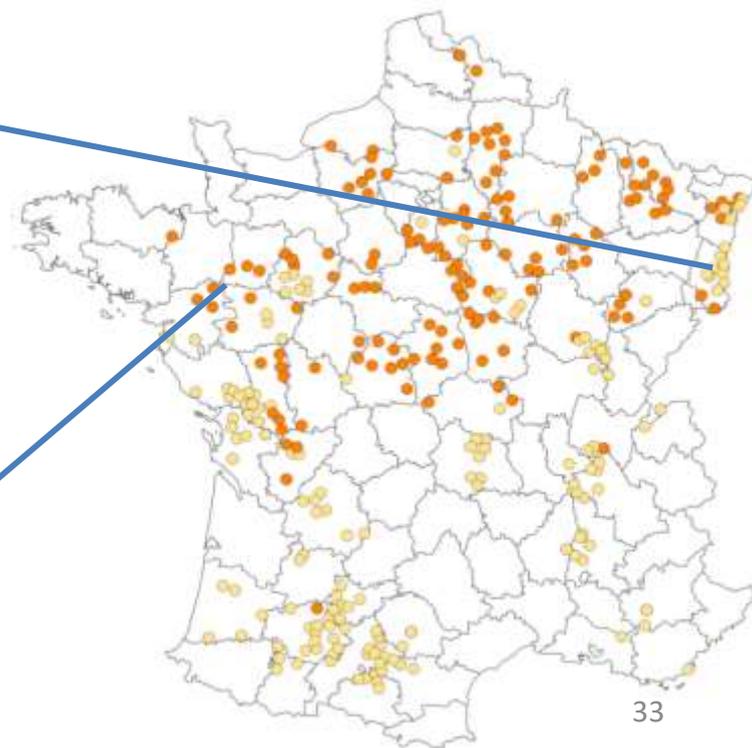
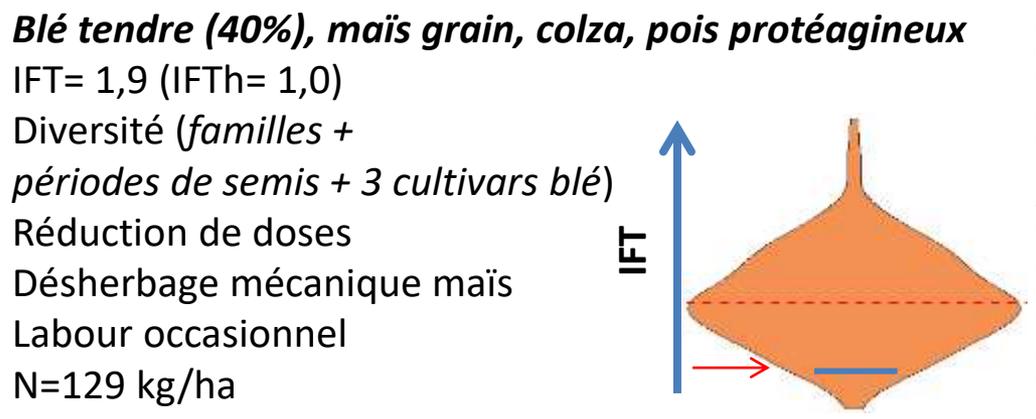
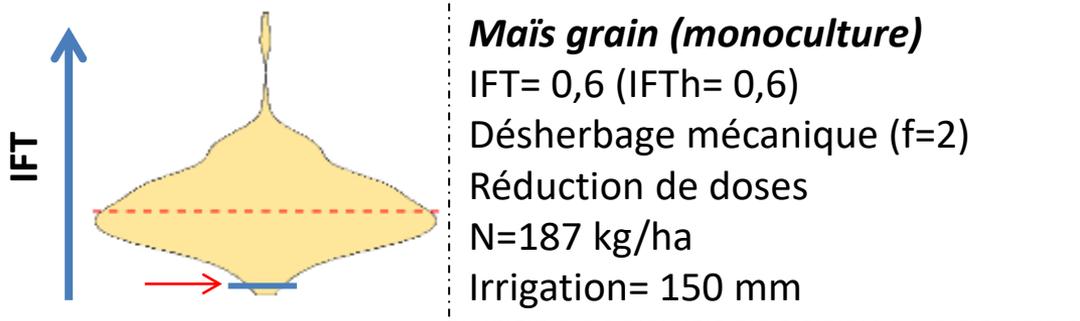
Une seconde vague de segmentation sur les variables de stratégie

IFT SdC – Situation 2



Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

- ✓ stratégies économes en pesticides = combinaisons de techniques
- ✓ stratégies économes en pesticides = différentes d'une situation de production à l'autre
- ✓ Faible usage de pesticides ← diverses stratégies dans une situation



Quels facteurs associés à un faible vs. fort niveau d'usage de pesticides?

- ▶ **54 profils de stratégie de gestion = 73% de la variabilité de l'IFT**
Forte influence de la composition de l'assolement
- ▶ **IFT blé** → 13 profils de stratégie
IFT maïs → 15 profils de stratégie

- Diversité des cultures
(familles cultivées + périodes de semis)
- Travail du sol
- Réductions de dose

Facteurs discriminants transversaux

- Désherbage mécanique
- Date de semis
- Diversité + résistance variétale en blé

Facteurs discriminants ponctuels

Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?
- **Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?**
- Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles?
- Quelles conséquences d'une transition généralisée des systèmes de culture vers une moindre dépendance aux pesticides?

I

II

III

IV

Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

II Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?

➤ *Y a t-il un antagonisme entre un faible usage de pesticides, une forte productivité et une forte rentabilité à l'échelle du système de culture?*

Analyse de la relation IFT x performance

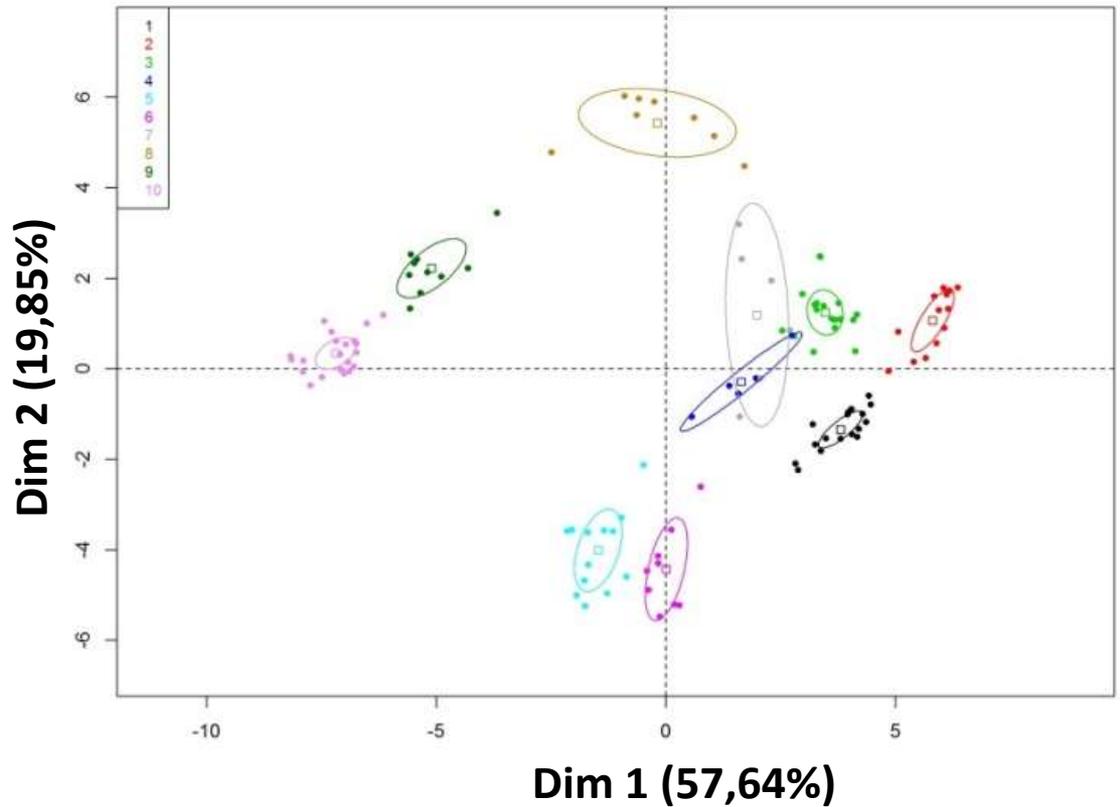
Productivité énergétique (GJ/ha)

Rendements convertis en énergie (pouvoir calorifique) puis exprimés à l'échelle système

Rentabilité (€/ha)

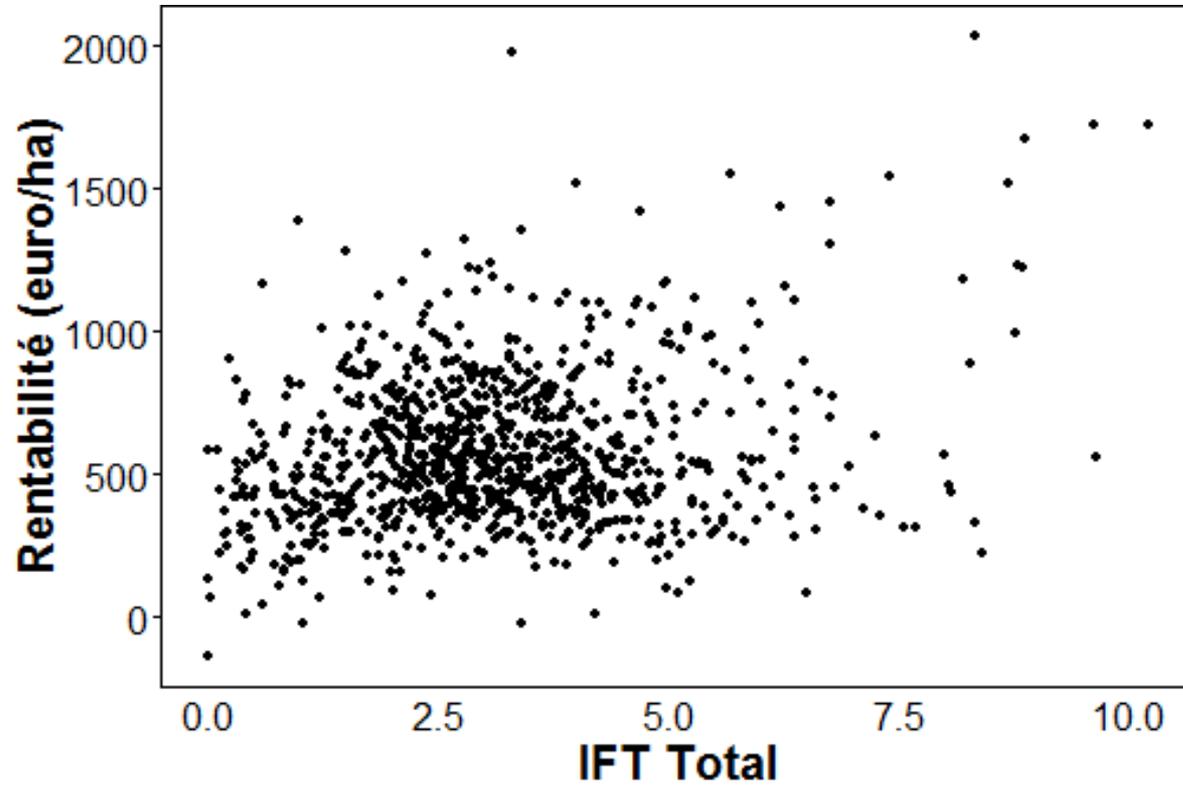
Marge semi-nette= produit brut – charges

- Semences
- Fertilisants
- Pesticides
- Carburant
- Mécanisation
- Irrigation

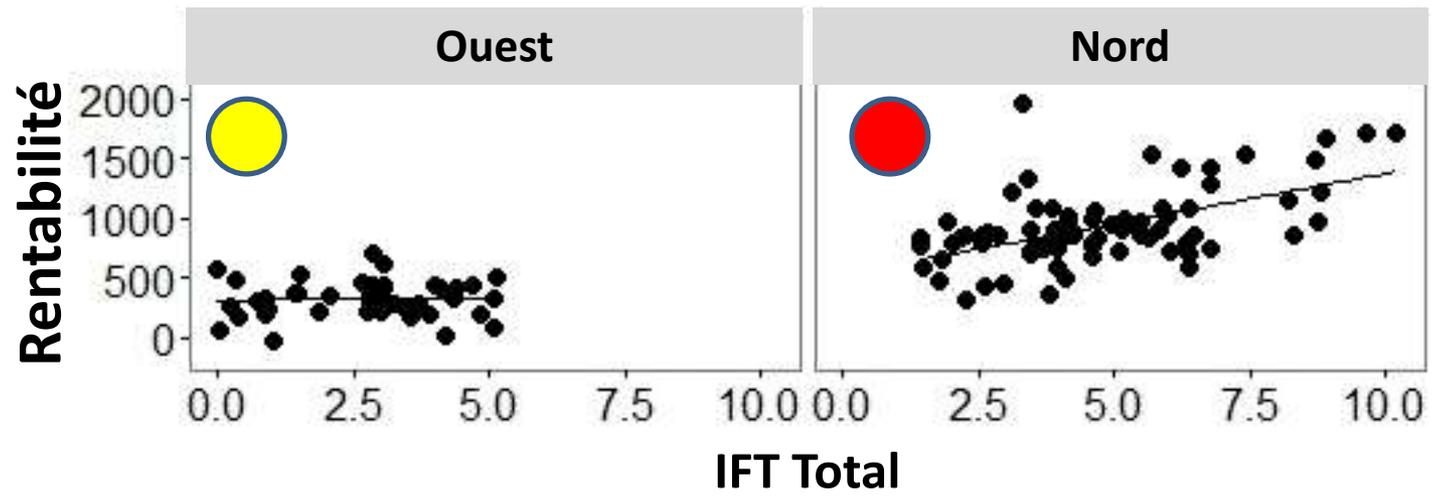


10 scénarios de prix
Identifiés par ACP-CAH

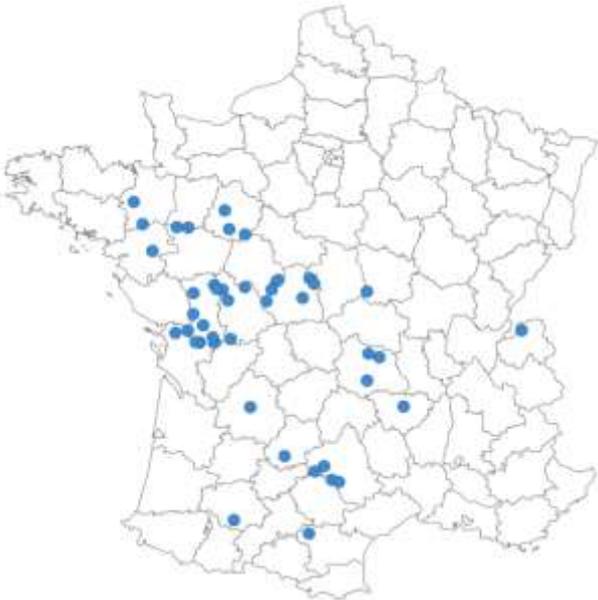
Quelle échelle d'analyse?



Quelle échelle d'analyse?



Quelle échelle d'analyse?



Hypothèse

La relation entre le niveau d'usage de pesticides et la performance dépend de la situation de production.

Analyse de la relation IFT x performance

Rentabilité = α IFT + βn [situation de production] + γn [interactions IFT x situation de production]

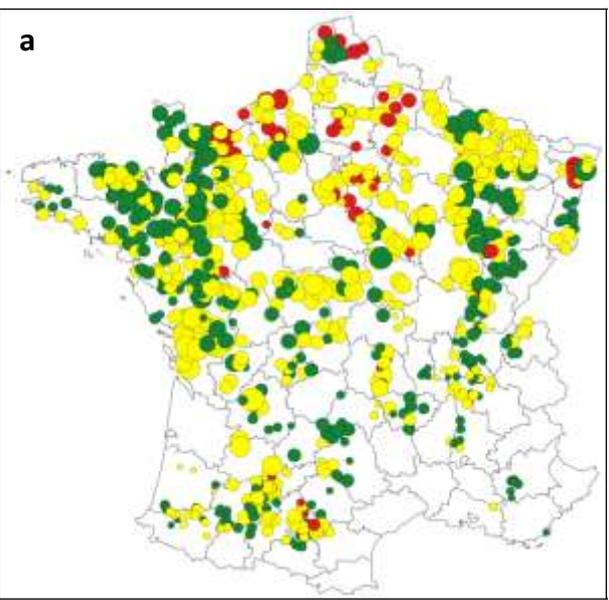
Rentabilité = IFT [$\alpha + \gamma n$ [situation de production]] + βn [situation de production]

Effet marginal de l'IFT (€/point d'IFT)

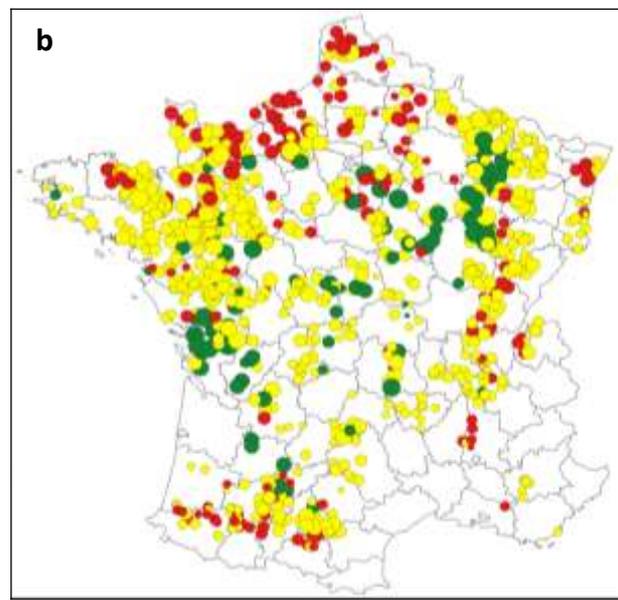
- ▶ Une pente pour chaque situation de production soit **une pente par site**
- ▶ Méthode Lasso = régression pénalisée
Tibshirani, 1996
- ▶ Calcul d'une précision d'estimation de la pente par **bootstrapping**

Analyse de la relation IFT x performance

✦ *IFT x Productivité*



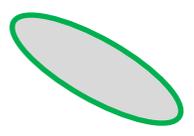
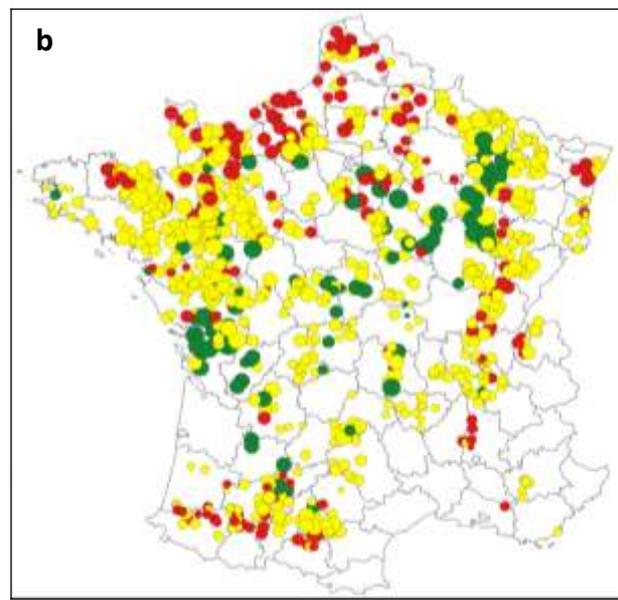
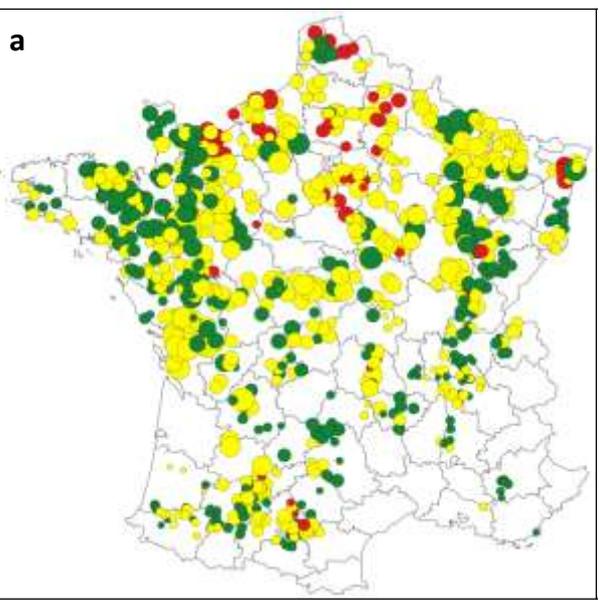
✦ *IFT x Rentabilité*



Analyse de la relation IFT x performance

✦ *IFT x Productivité*

✦ *IFT x Rentabilité*

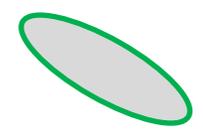
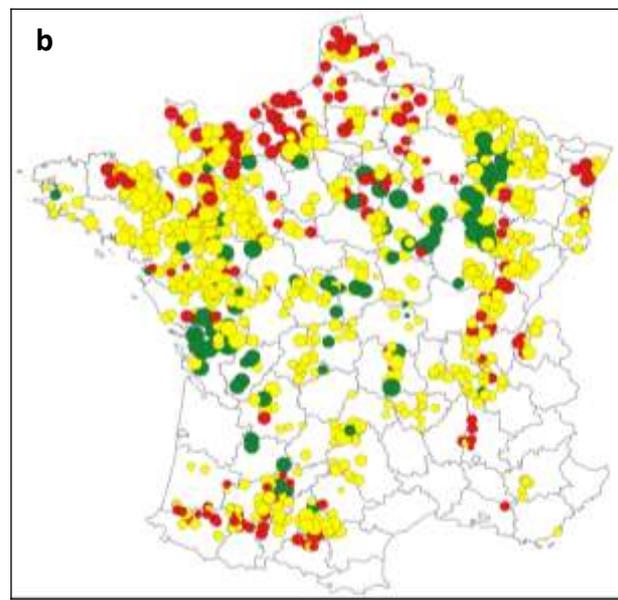
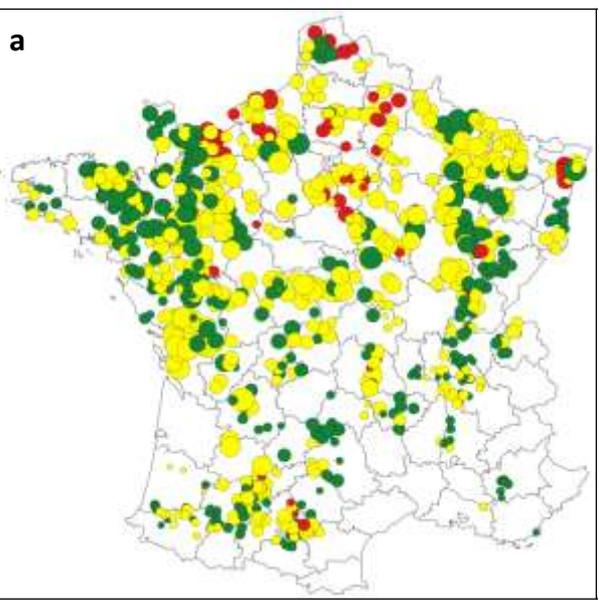


Relation négative
Concordance

Analyse de la relation IFT x performance

✦ *IFT x Productivité*

✦ *IFT x Rentabilité*



Relation négative
Concordance

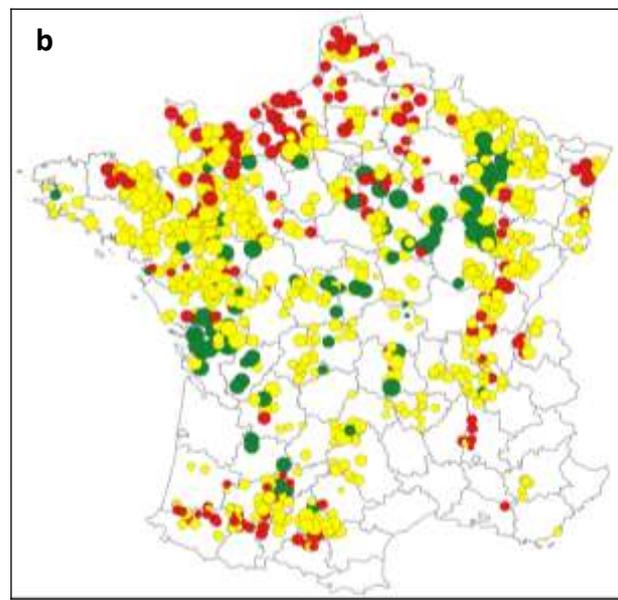
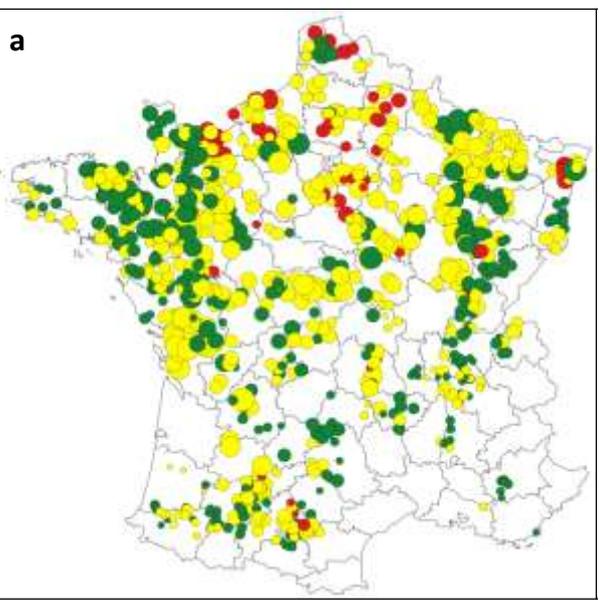


Pas de relation

Analyse de la relation IFT x performance

✦ *IFT x Productivité*

✦ *IFT x Rentabilité*



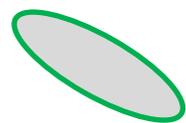
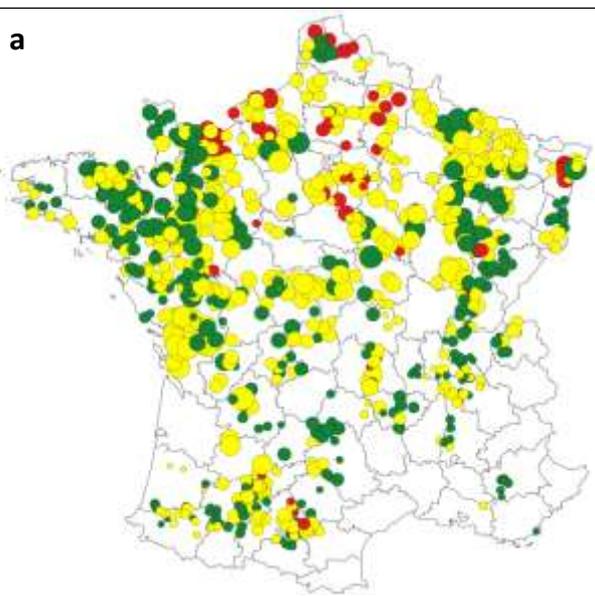
Legend for correlation types:

- Relation négative **Concordance** (Green oval)
- Pas de relation (Yellow oval)
- Relation positive **Antagonisme** (Red oval)

Analyse de la relation IFT x performance

✦ *IFT x Productivité*

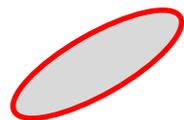
✦ *IFT x Rentabilité*



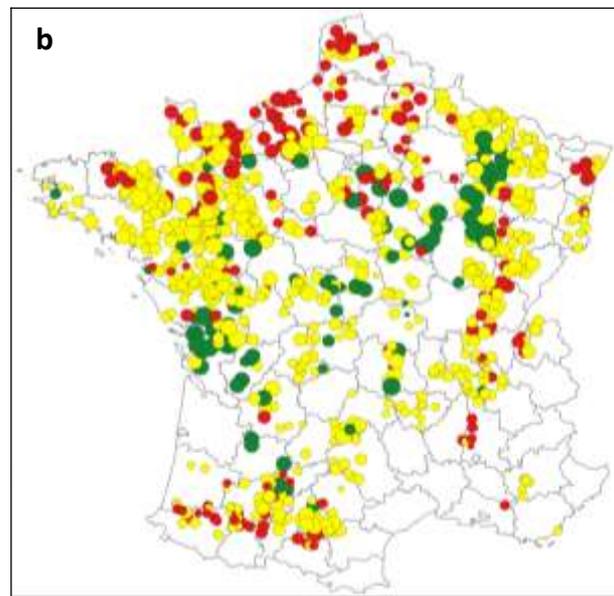
Relation négative
Concordance



Pas de relation



Relation positive
Antagonisme



6%



*céréaliers
forts potentiels
betterave-pdt*

39%

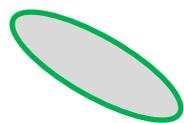
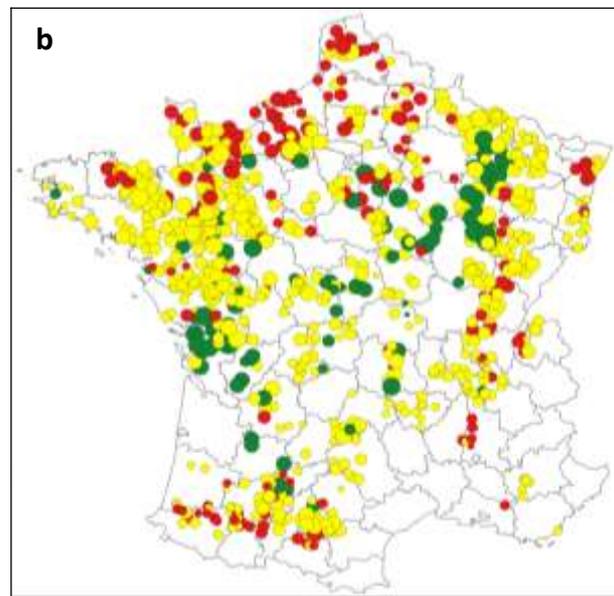
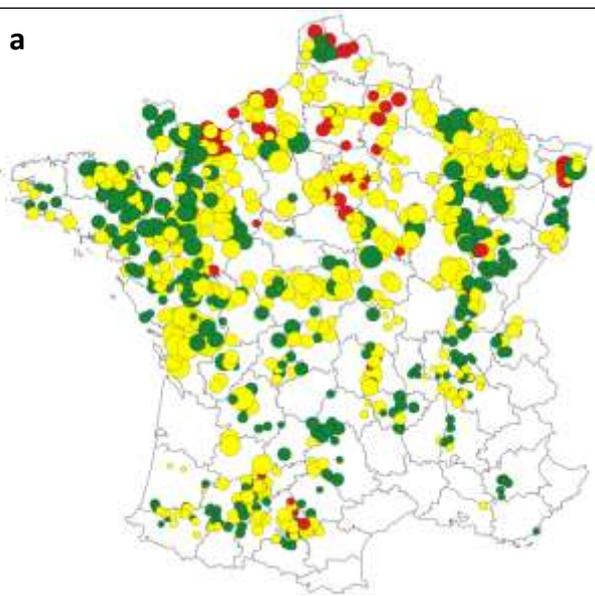


*éleveurs
potentiels moyens
prairies + maïs*

Analyse de la relation IFT x performance

IFT x Productivité

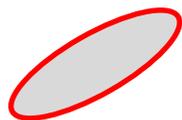
IFT x Rentabilité



Relation négative
Concordance



Pas de relation



Relation positive
Antagonisme

6%



*céréaliers
forts potentiels
betterave-pdt*

39%



*éleveurs
potentiels moyens
prairies + maïs*

22%



*forts potentiels
betterave
pdt
maïs semence*

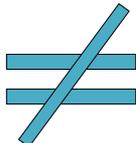
11%



*céréaliers
potentiels moyens
colza blé orge
faibles marges*

Evaluation du potentiel de réduction de la dépendance aux pesticides

▶ Relation ***IFT x performance*** dépend de la situation de production

▶ Faible IFT  Faible productivité **77% des situations**
Faible rentabilité

▶ **23% des situations**
Cultures industrielles à fort IFT et forte valeur ajoutée

Evaluation du potentiel de réduction de la dépendance aux pesticides

▶ Relation ***IFT x performance*** dépend de la situation de production

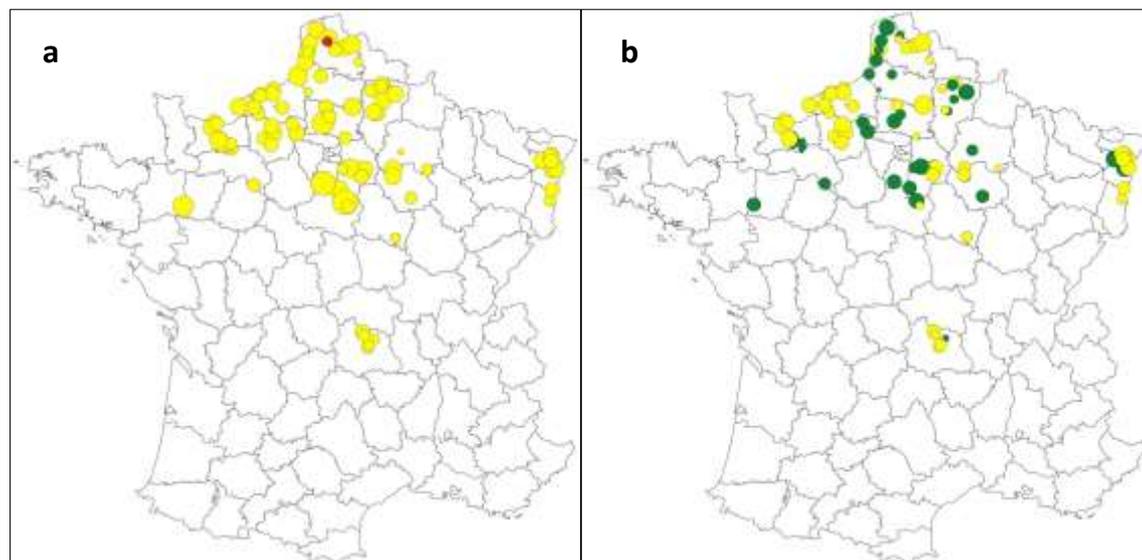
▶ Faible IFT  Faible productivité
Faible rentabilité **77% des situations**

▶ **23% des situations**
Cultures industrielles à fort IFT et forte valeur ajoutée

Cas de la Betterave

IFT x productivité

IFT x rentabilité



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides? **I**
- Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables? **II**
- **Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles? **III****
- Quelles conséquences d'une transition généralisée des systèmes de culture vers une moindre dépendance aux pesticides? **IV**

Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

III Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles?

➤ *Quelle relation entre le niveau d'usage de pesticide et la multiperformance?*

Méthode?

- ▶ *Quels indicateurs de performance pour mesurer la durabilité?*
- ▶ *Quelle stratégie d'agrégation?*

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité* → €/ha/an
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*

Evaluer la multiperformance

Economique

- Rentabilité
- Sensibilité à la volatilité des prix



Coefficient de variation (%) de la rentabilité

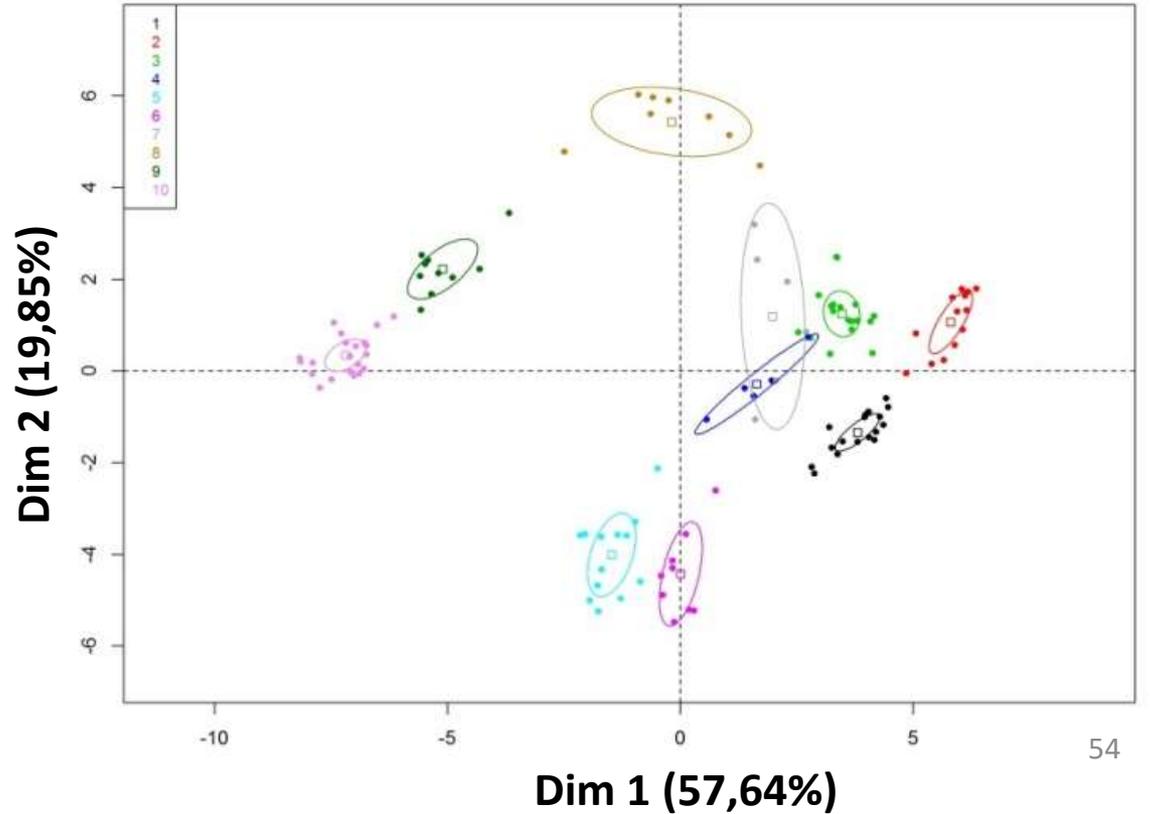
-10 scénarios de prix contrastés

Environnemental

- Impact pesticides
- Pertes d'azote
- Consommation d'énergie

Social

- Productivité
- Charge de travail critique



Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*



I-Phy (Indigo®)

- Impacts eaux de surface
- Impacts eaux souterraines
- Impacts air

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*



I-N (Indigo®)

- Lixiviation NO₃
- Volatilisation NH₃
- Emissions N₂O

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*



Somme des consommations d'énergie indirectes (Gj/ha/an):

- Fertilisants
- Fuel
- Mécanisation
- Semence
- Pesticides
- Irrigation
- Séchage (maïs grain)

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*



Somme des contenus calorifiques des cultures (Gj/ha/an)

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*



**Proportion de la charge de travail
annuelle qui dépasse un seuil critique (%)**

tient compte de la disponibilité réelle sur
certaines périodes de l'année
type de sol, climat

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*

Evaluer la multiperformance

Economique

- *Rentabilité*
- *Sensibilité à la volatilité des prix*

Environnemental

- *Impact pesticides*
- *Pertes d'azote*
- *Consommation d'énergie*

Social

- *Productivité*
- *Charge de travail critique*



Multiperformance

▶ Data Envelopment Analysis
Charnes, Cooper and Rhodes (1978)

Evaluer la multiperformance

Economique

- Rentabilité
- Sensibilité à la volatilité des prix

Environnemental

- Impact pesticides
- Pertes d'azote
- Consommation d'énergie

Social

- Productivité
- Charge de travail critique

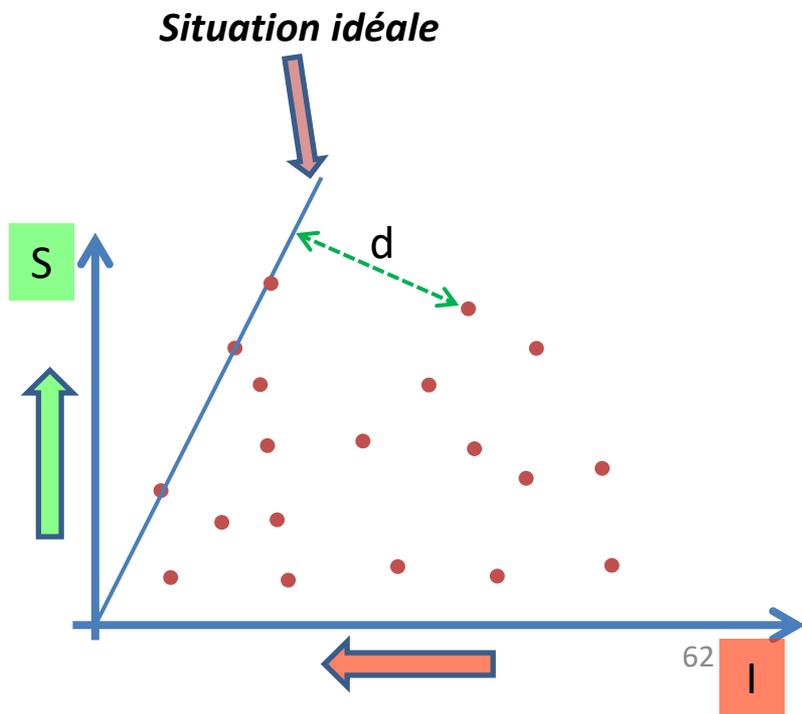
DEA



Multiperformance

▶ Data Envelopment Analysis
Charnes, Cooper and Rhodes (1978)

▶ Calcul d'une inefficience relative **d** pour chaque système de culture dans un espace multidimensionnel



Evaluer la multiperformance

Economique

- Rentabilité
- Sensibilité à la volatilité des prix

Environnemental

- Impact pesticides
- Pertes d'azote
- Consommation d'énergie

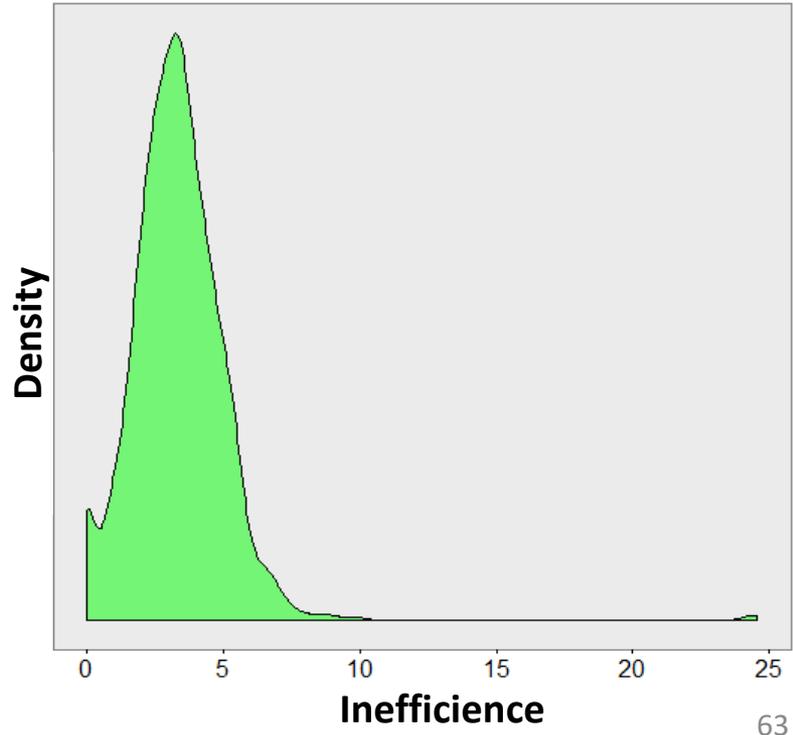
Social

- Productivité
- Charge de travail critique

DEA



Multiperformance

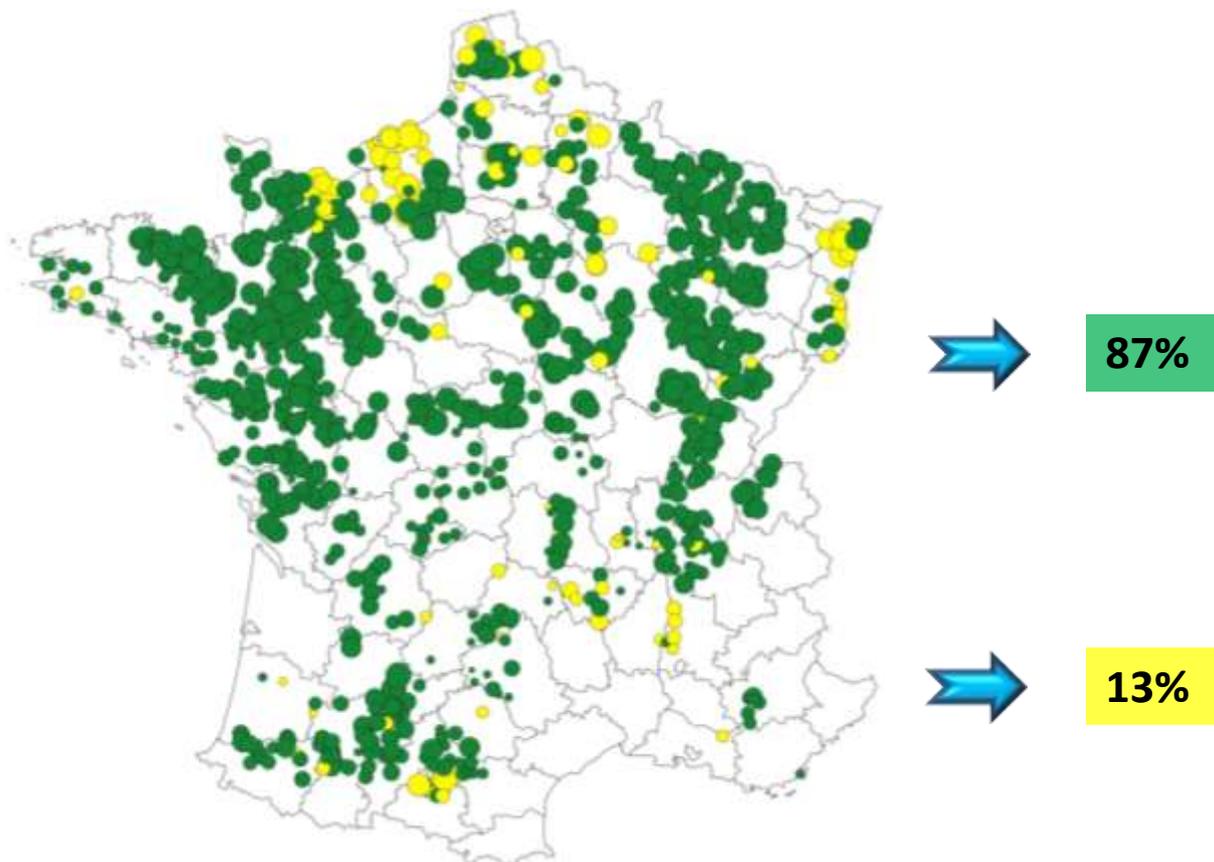


Analyse de la relation IFT x inefficiences

- ▶ Analyse de la relation IFT x Inefficiences
en fonction des caractéristiques de la situation de production

Analyse de la relation IFT x inefficiency

- ▶ Analyse de la relation IFT x Inefficiency
en fonction des caractéristiques de la situation de production



Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

- Quelles sont les caractéristiques des systèmes de culture économes en pesticides?
- Les systèmes de culture économes en pesticides sont-ils aussi productifs et rentables?
- Les stratégies économes en pesticides contribuent-elles à une plus grande durabilité des systèmes agricoles?
- **Quelles conséquences d'une transition généralisée des systèmes de culture vers une moindre dépendance aux pesticides?**

I

II

III

IV

Quelle faisabilité d'une réduction de la dépendance aux pesticides en grandes cultures?

IV Quelles conséquences d'une transition généralisée des systèmes de culture vers une moindre dépendance aux pesticides?



Quelles conséquences pour le paysage agricole français?

Volumes de production, répartition des productions, évolution des pratiques



Quelles conséquences pour la France?

Balance commerciale, autonomie énergétique, autonomie protéique

→ *Travail réalisé par Chloé Saglibene*

Méthode?



Comment simuler une transition à partir des données du réseau?

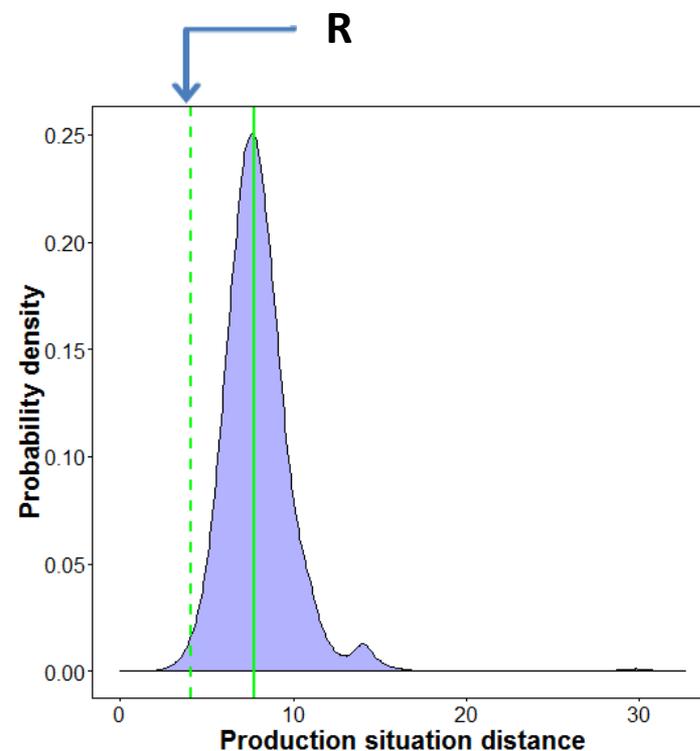
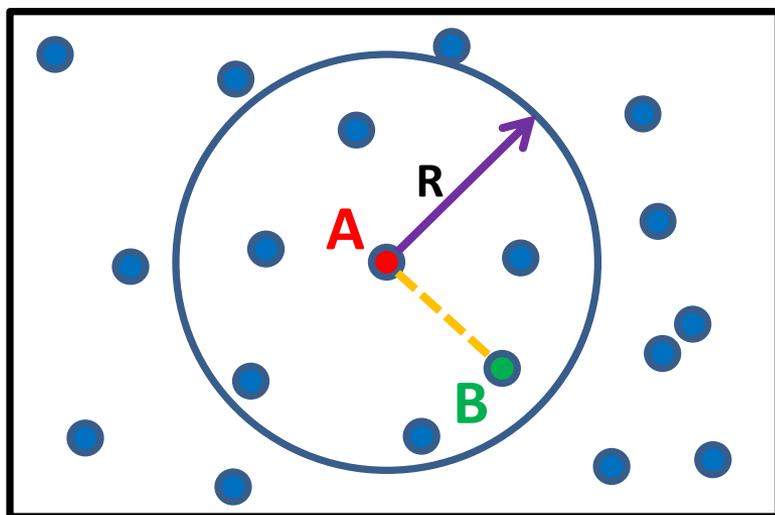


Comment extrapoler le réseau à la France?

Simulation d'une transition

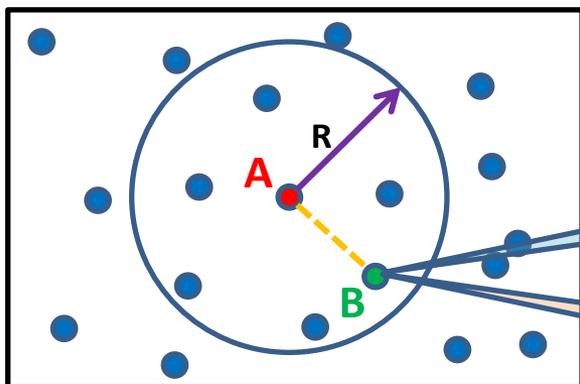
- ▶ Un système de culture **A** pourrait adopter les pratiques d'un système **B** issu d'une situation de production similaire
- ▶ Espace des situations de production à *n dimensions*

Espace des situations de production (2D)



Simulation de 2 scénarios de transition

Espace des situations de production (2D)



Scénario Ecophyto

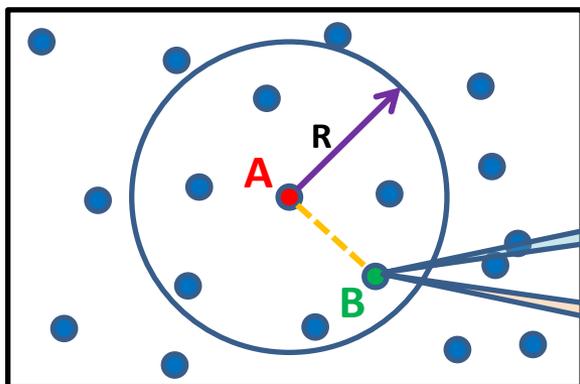
- > *plus économe en pesticides*
- > *au moins aussi rentable*

Scénario Multiperformance

- > *Le plus multiperformant*

Simulation de 2 scénarios de transition

Espace des situations de production (2D)



Scénario Ecophyto

- > plus économe en pesticides
- > au moins aussi rentable

Scénario Multiperformance

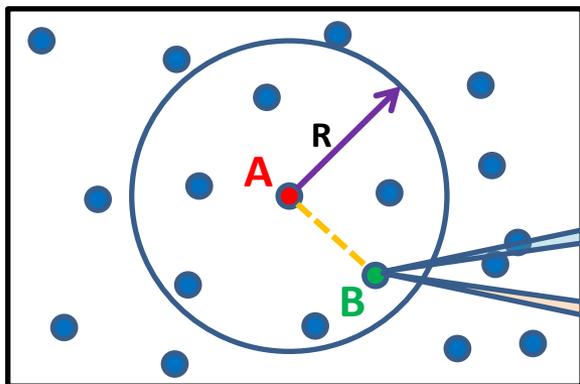
- > Le plus multiperformant



Pratiques + Performances

Simulation de 2 scénarios de transition

Espace des situations de production (2D)

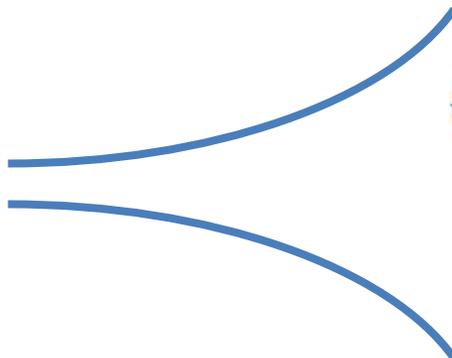


Scénario Ecophyto

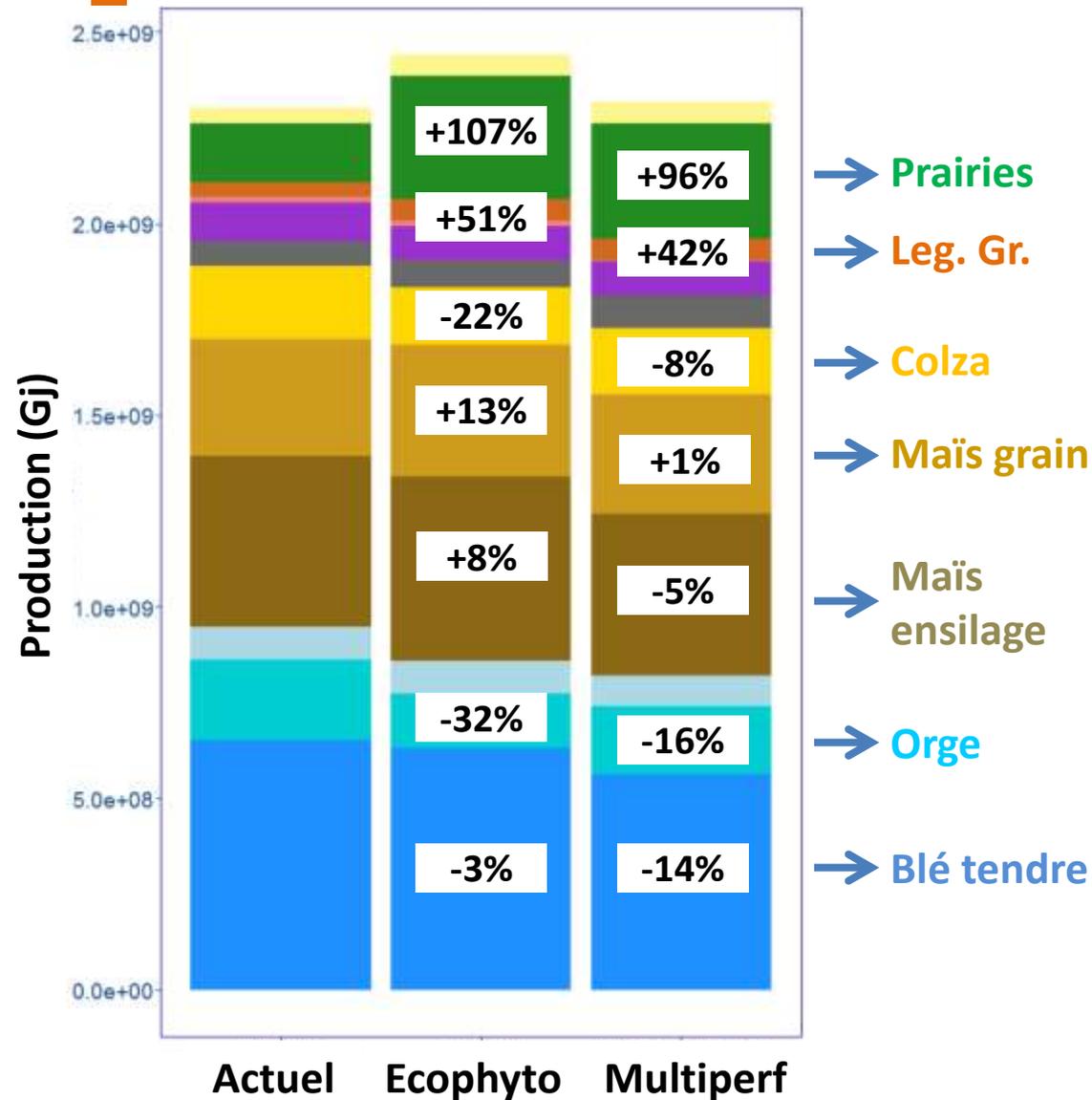
- *plus économe en pesticides*
- *au moins aussi rentable*

Scénario Multiperformance

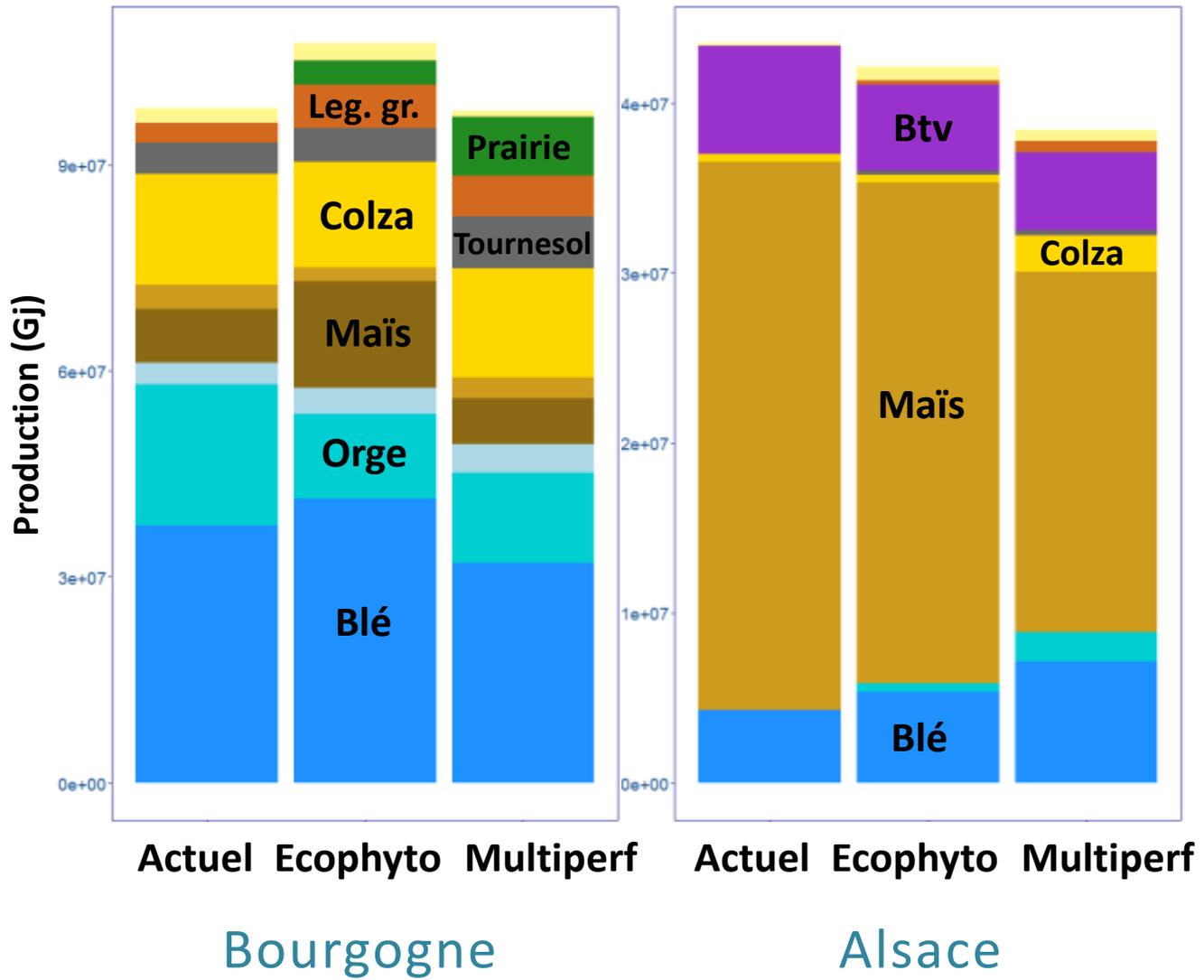
- *Le plus multiperformant*



Evolution des volumes de production nationaux



Evolution des volumes de production régionaux



Evolution des performances

Scénario Ecophyto

Scénario Multiperformance

Multiperformance

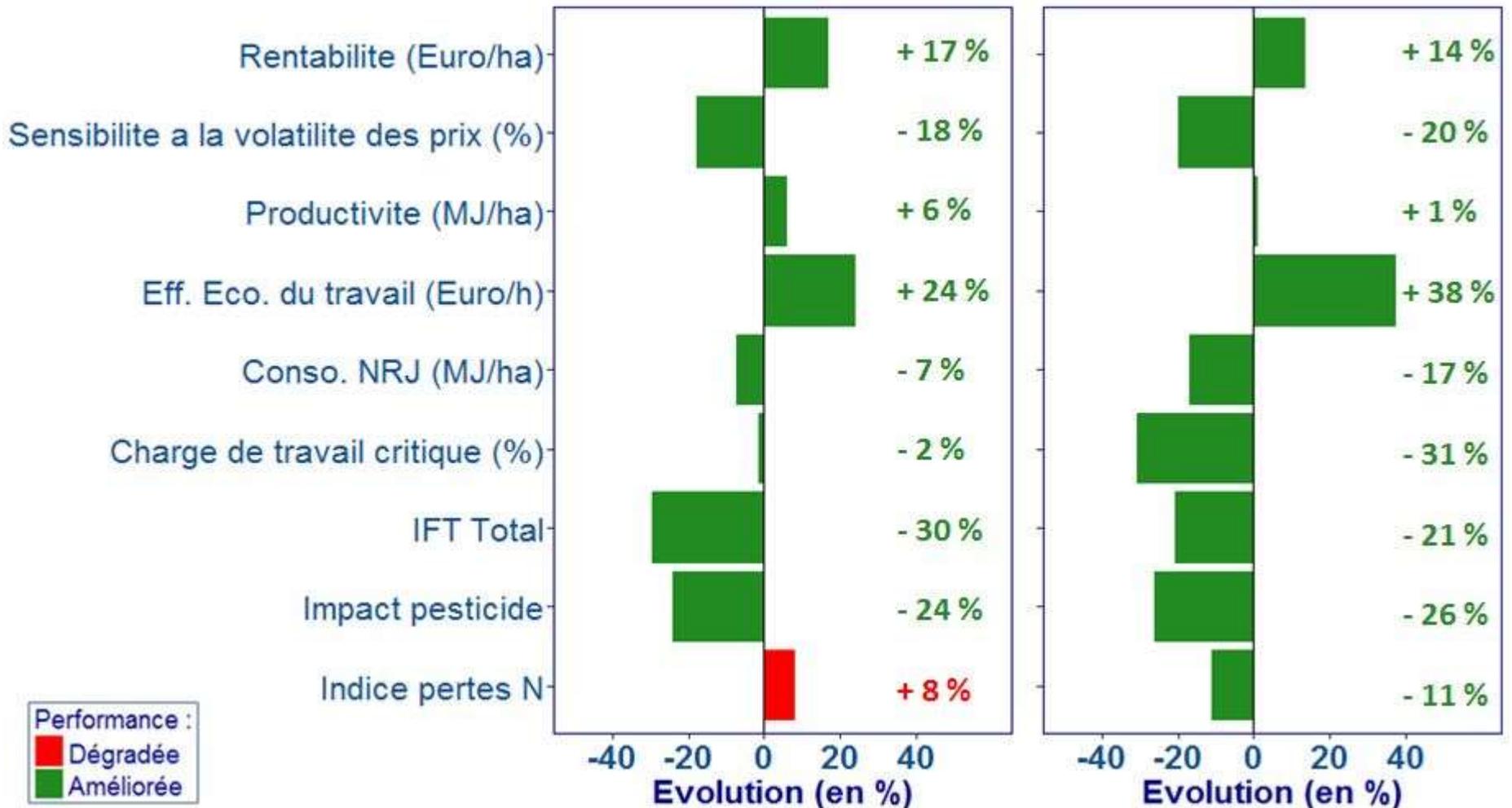
+ 23%

+ 48%

Evolution des performances

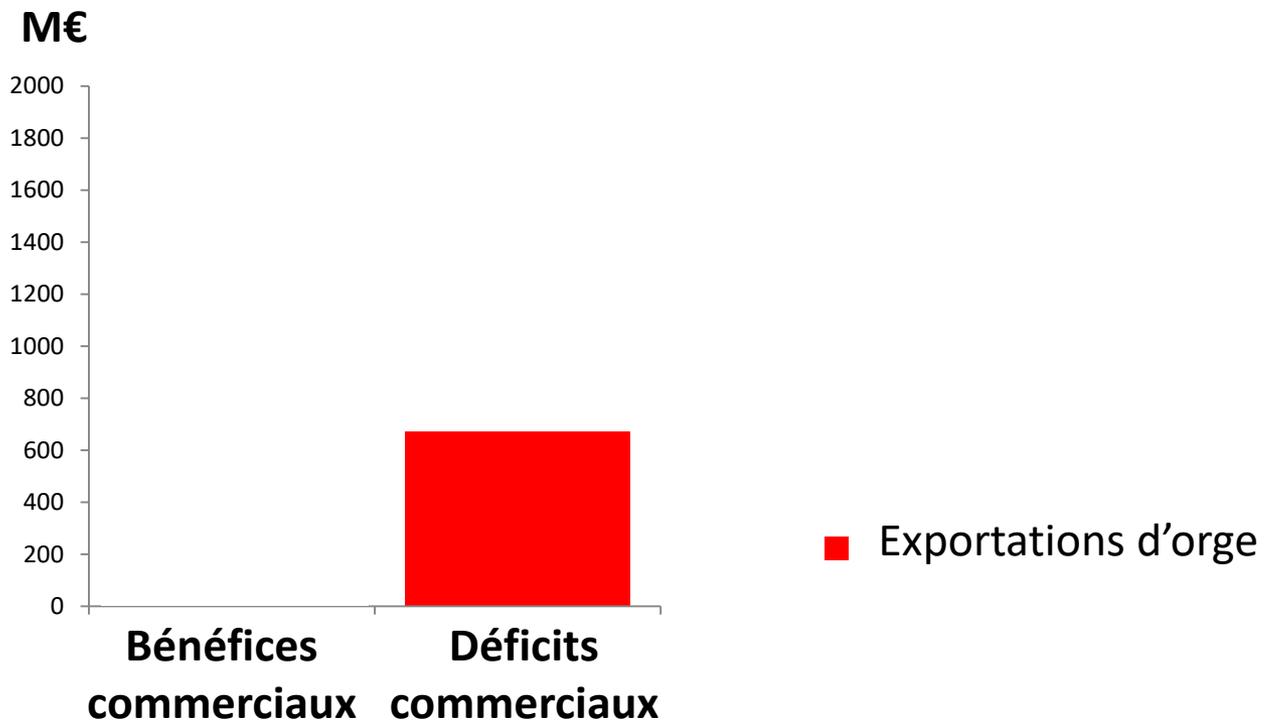
Scénario Ecophyto

Scénario Multiperformance



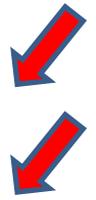
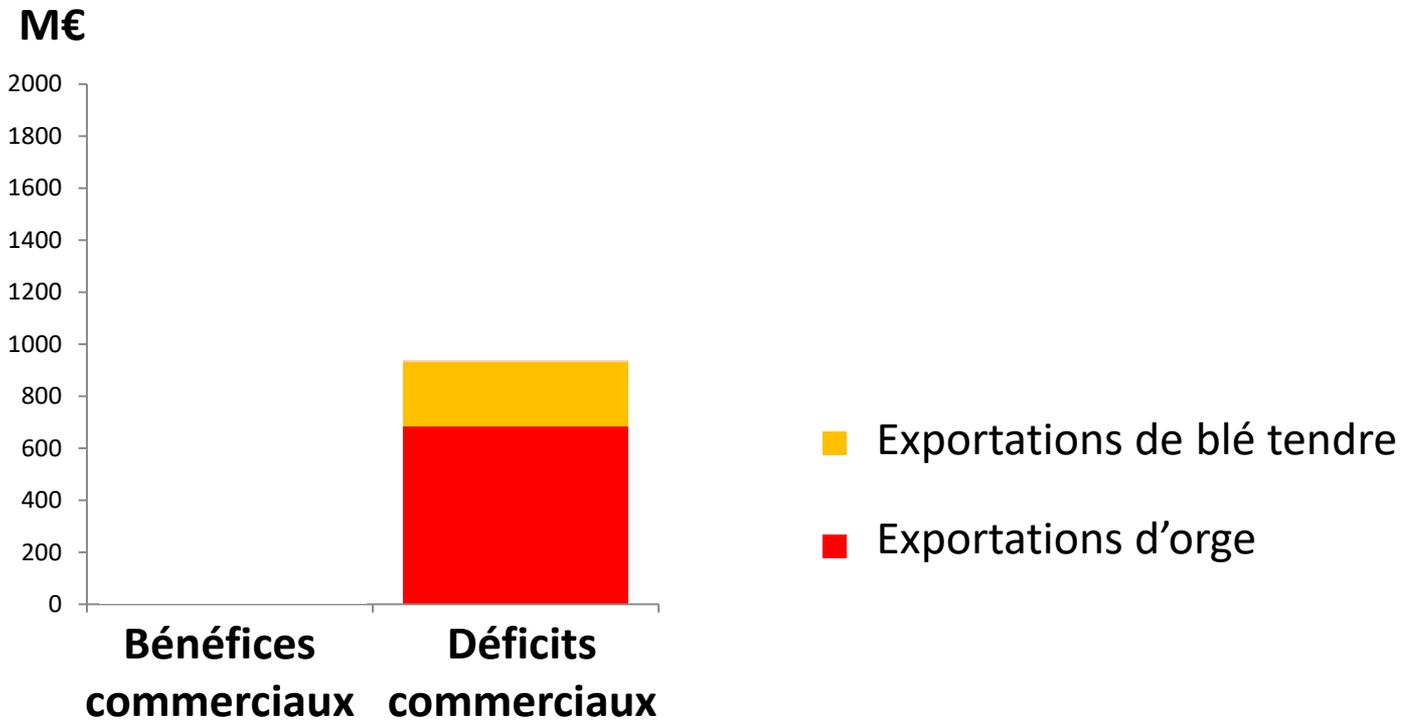
Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto



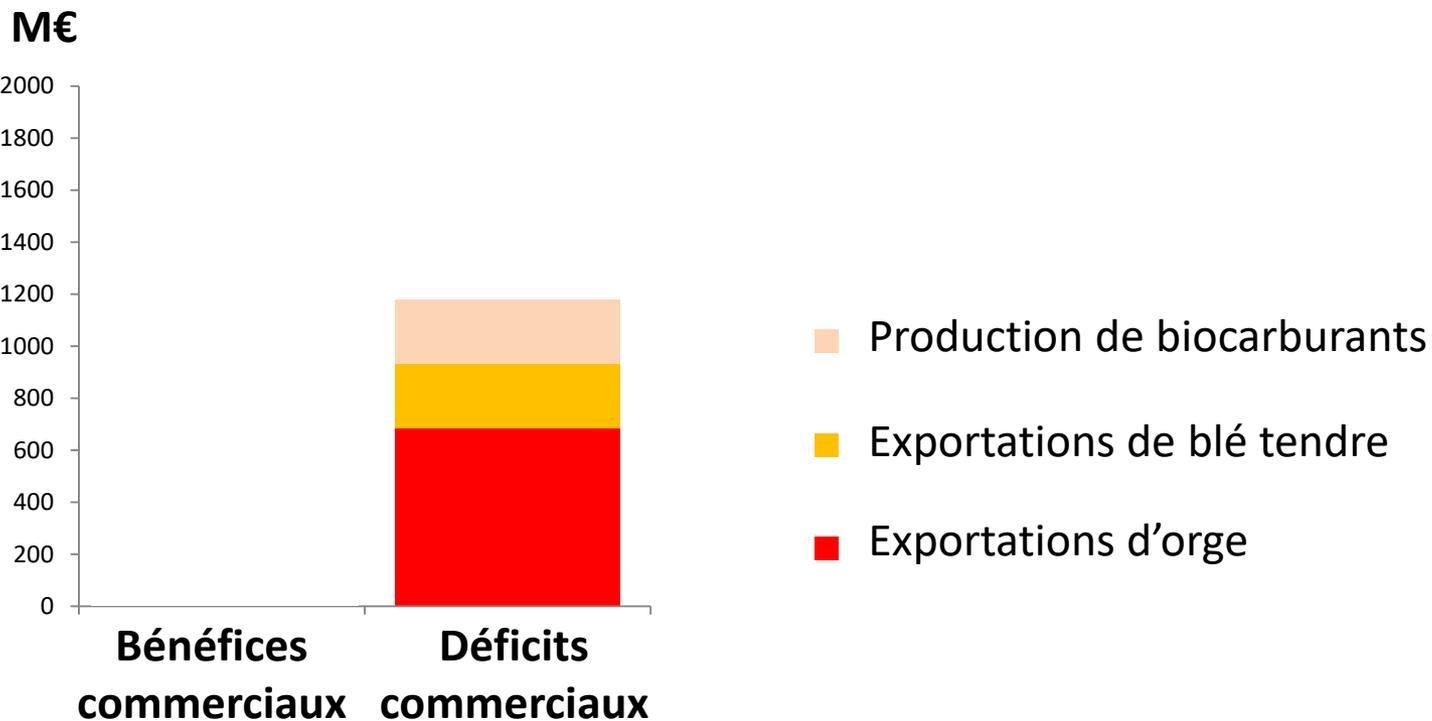
Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto



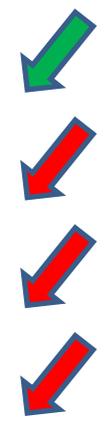
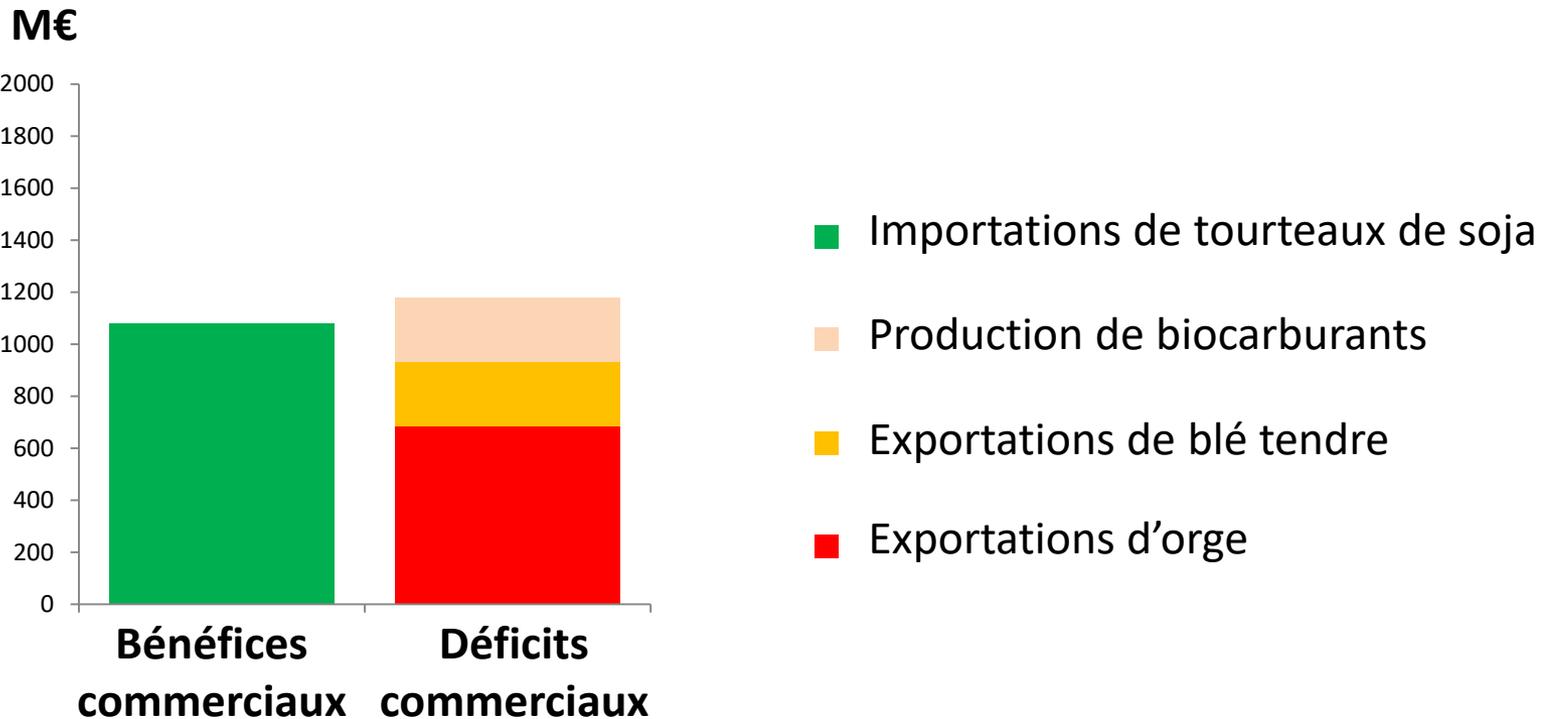
Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto



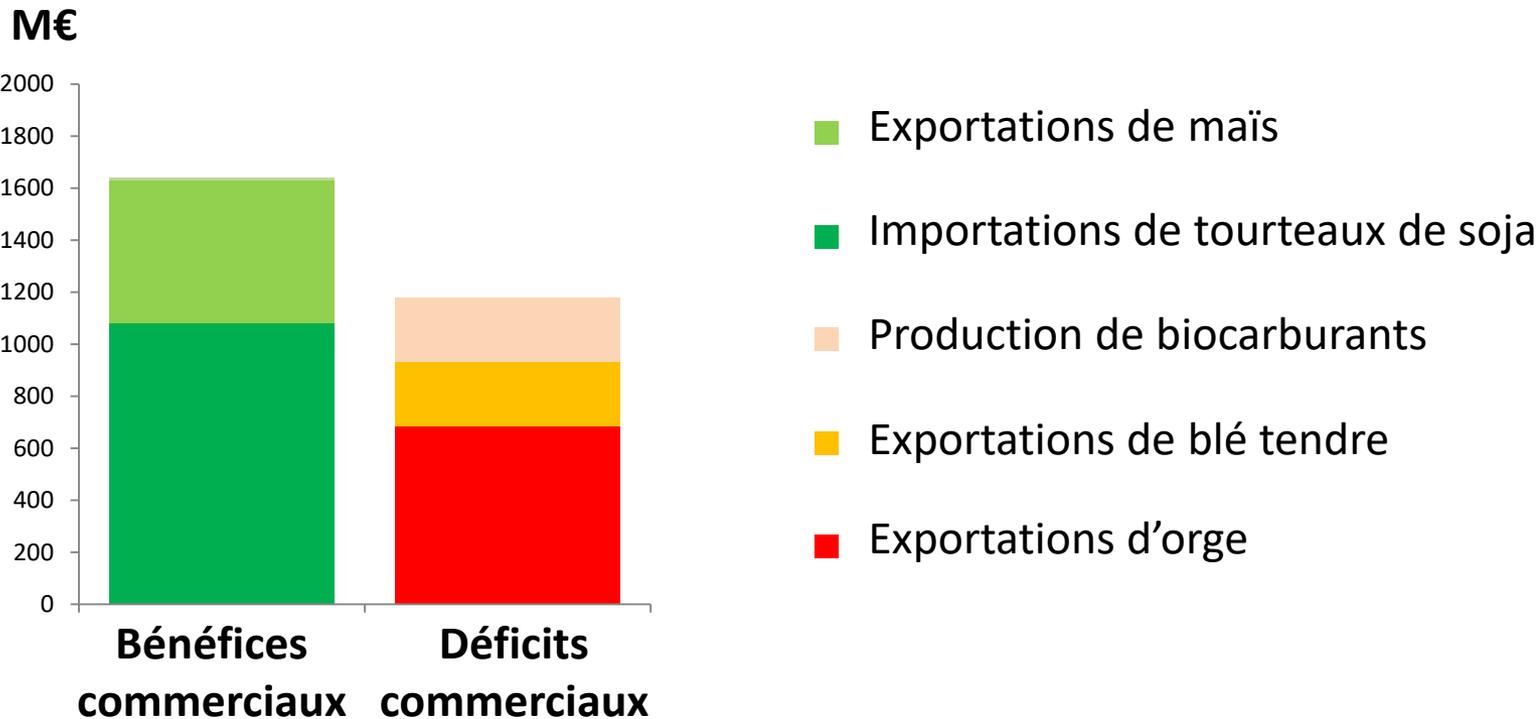
Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto



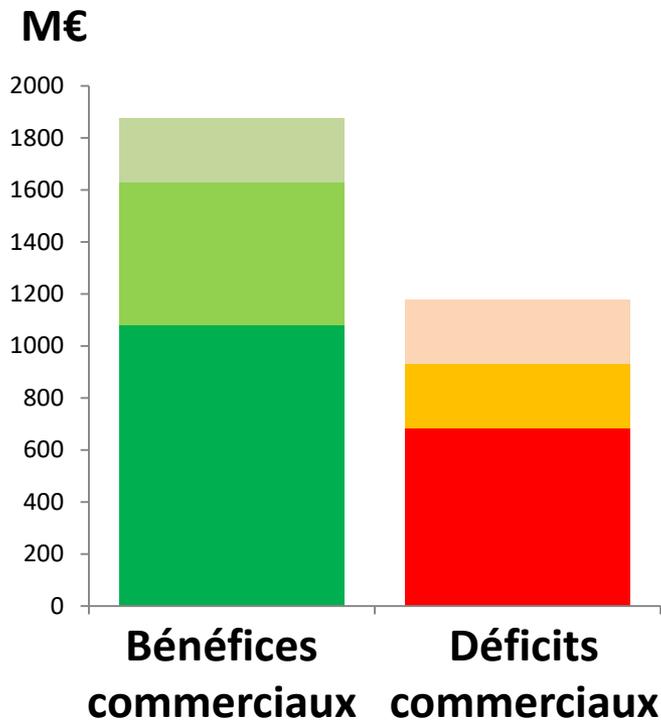
Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto

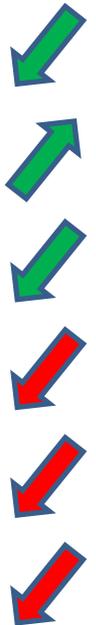


Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto

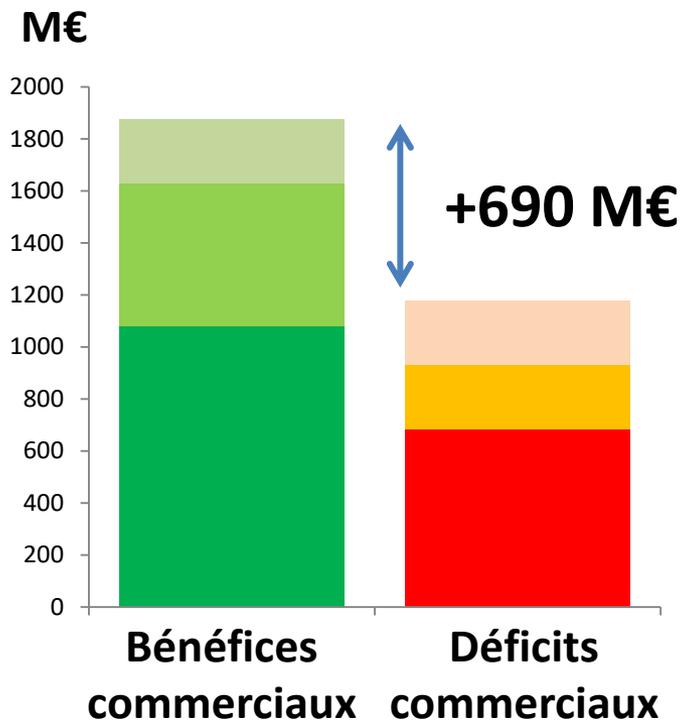


- Importations d'énergies fossiles
- Exportations de maïs
- Importations de tourteaux de soja
- Production de biocarburants
- Exportations de blé tendre
- Exportations d'orge

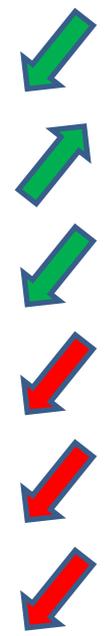


Evolution de la balance commerciale

Scénario Ecophyto



- Importations d'énergies fossiles
- Exportations de maïs
- Importations de tourteaux de soja
- Production de biocarburants
- Exportations de blé tendre
- Exportations d'orge



Synthèse

- ▶ Des stratégies existent pour réduire l'usage de pesticides!
- ▶ Elles sont productives et rentables dans la plupart des situations
- ▶ Faible IFT = **durabilité +**
- ▶ Faible IFT = **balance commerciale +**
autonomie protéique +
autonomie énergétique +

> *Validation du potentiel du plan Ecophyto*

> *Reduction d'usage de pesticides = une opportunité pour la transition agroécologique?*



Importance de la prise en compte de la variabilité des situations de production

Synthèse

▶ Réduire l'usage de pesticide ne passe pas par un retrait des applications de pesticides '**toutes choses égales par ailleurs**'



Reconception parfois en profondeur des systèmes de culture!

> aversion au risque

Meynard et al., 2013



Relocalisation des productions?

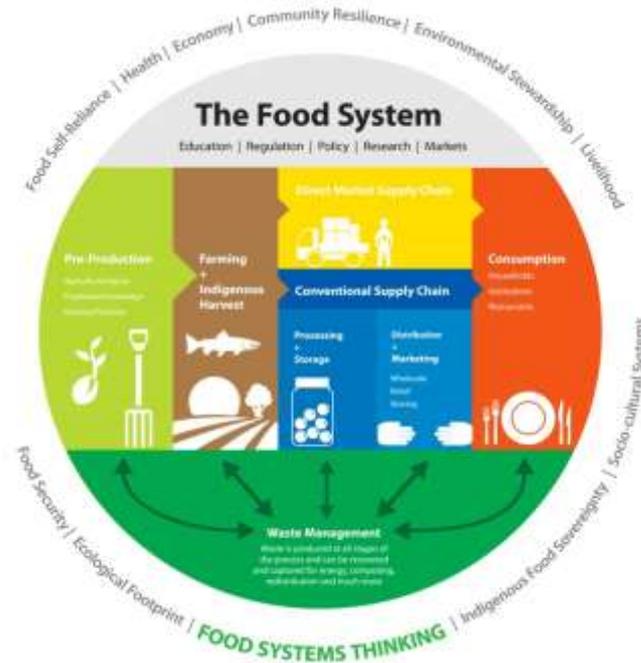
Synthèse

▶ Réduire l'usage de pesticide ne passe pas par un retrait des applications de pesticides **'toutes choses égales par ailleurs'**

➤ **Reconception parfois en profondeur des systèmes de culture!**
> **aversion au risque**
Meynard et al., 2013

➤ **Relocalisation des productions?**

¿ **Débouchés ?**



Limites/Perspectives

- ▶ D'autres variables explicatives restent à intégrer à l'analyse
Décisionnel, tolérance, composantes sociales, biodiversité, paysage, pressions biotiques,
- ▶ Ce travail concerne des systèmes de culture actuels!
intégration de systèmes de culture en rupture avec la réalité agricole?
- ▶ La multiperformance n'intègre qu'une gamme restreinte d'indicateurs
Quelle hiérarchie dans les critères de performance en fonction des objectifs?
- ▶ Pas d'intervalle de confiance sur les conséquences des scénarios de transition
Bootstrap sur les simulations de transition
Analyse de la sensibilité au rayon de recherche



Merci de votre attention!



UMR Agronomie - Grignon



Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche