



# Cultures associées et cultures intermédiaires plurispécifiques :

*une application des principes de l'agro-écologie pour valoriser les ressources naturelles et produire divers services écosystémiques*



**Eric Justes, Elise Pelzer,**

**L. Bedoussac, P. Cruz, M-H. Jeuffroy, E-P. Journet, B. Kammoun, M. Lorin, H. Tribouillois, M. Valantin-Morison**

**UMR INRA-INPT AGIR (Toulouse), UMR INRA-APT Agronomie (Grignon)**

**Département Environnement et Agronomie**



# Les services écosystémiques de l'agriculture : des agro-écosystèmes performants mobilisant l'agro-écologie

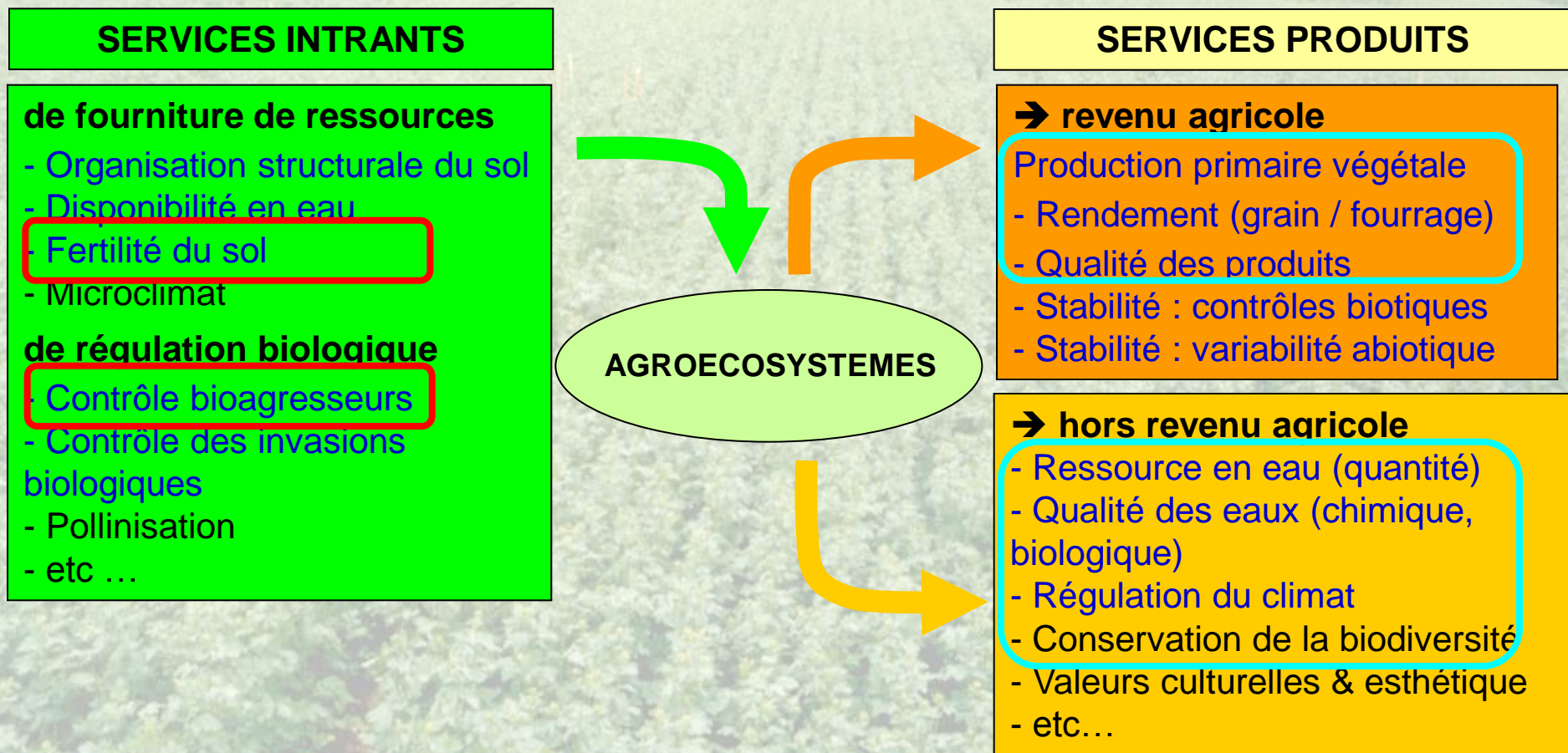
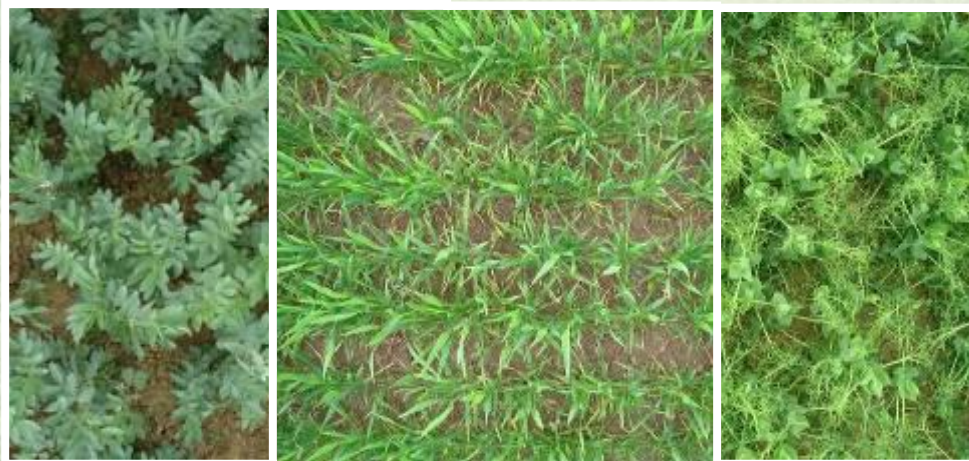


Schéma conceptuel de l'organisation des services écosystémiques  
(ESCo Agriculture & Biodiversité, Le Roux et al., 2008 - Modifié d'après Zhang et al. (2007))



# Une culture associée, c'est quoi ?

*Il s'agit de la culture simultanée de deux espèces ou plus, sur la même surface, pendant une période significative de leur croissance (Willey, 1979)*



**Rangs alternés**



**Mélange sur le rang**

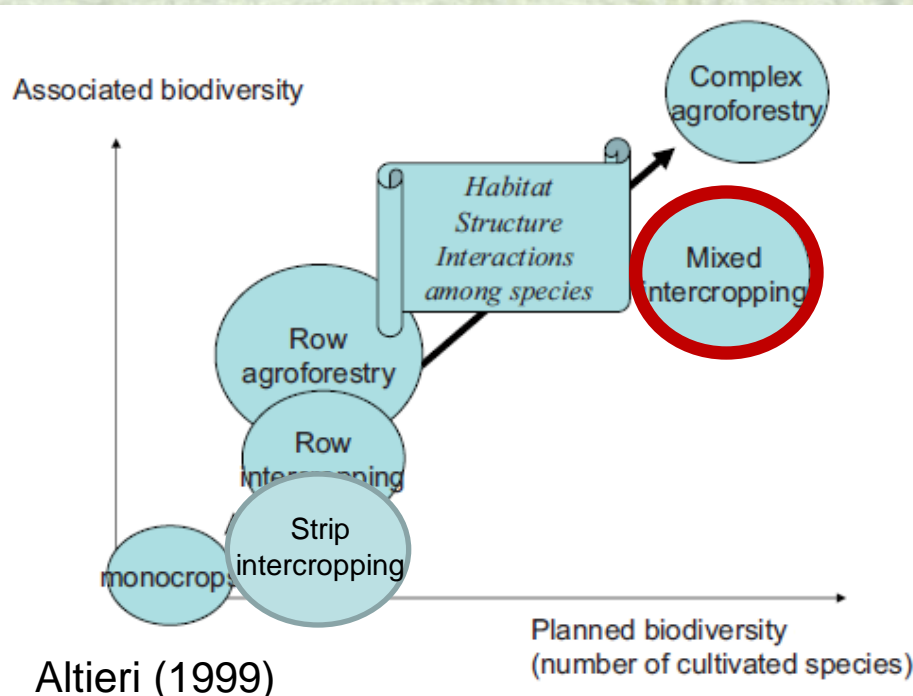


**Ou**



# Cadres conceptuels et indicateurs mobilisés

- **Production intégrée** (e.g. El Titi, 1992 ; Frangenberg, 2000) : réduction des intrants et maintien de l'efficacité économique
  - Agriculture durable à Hautes Performances Economique et Environnementale
- **Agro-écologie** (e.g. Altieri, 1999; Dalgaard *et al.*, 2003) et « **Intensification écologique de l'agriculture** » (e.g. Griffon, 2006; 2007)
  - **Ingénierie agro-écologique** : contribuer à la conception de prototypes de systèmes de culture maximisant les services éco-systémiques



## Concept, Outils, indicateurs mobilisés :

- Analyse du fonctionnement en dynamique des couverts : interactions **intra vs. interspécifiques**, **compétition vs. facilitation** (complémentarité de niche)
- Mobilisation du concept de **trait fonctionnel** (Garnier *et al.*, ; SLA, LMDC, LNC, SF) , **Triangle CSR** (Grime, 1977) **Leaf economics spectrum** (Wright, 2004) pour screening d'espèces et de géotypes
- **Indicateurs** de performance : **LER** (Land Equivalent Ratio), **IA**, **IE**, ... (Bedoussac et Justes, 2011)

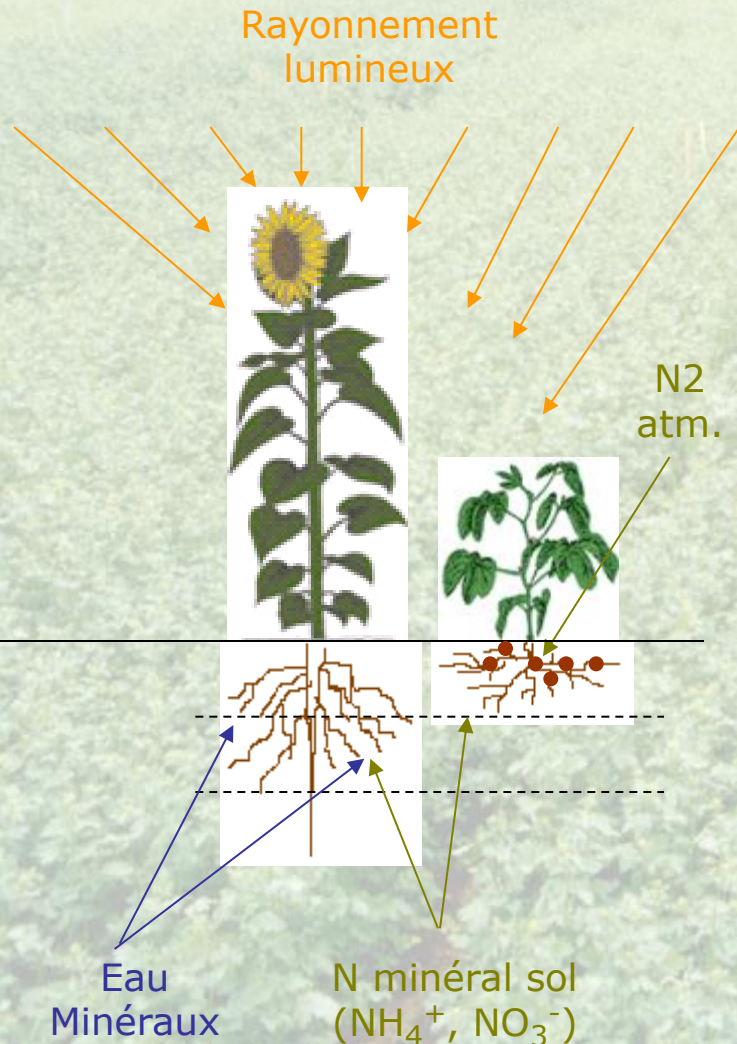
# Principes, intérêts et limites

**Complémentarité entre les espèces permettant une meilleure valorisation des ressources du milieu (eau, lumière, azote, ...)**

- Meilleure qualité des grains de blé
- Meilleur rendement global
- Meilleure stabilité du rendement
- Réduction potentielle de bio-agresseurs
- Réduction des risques de lixiviation  $\text{NO}_3^-$  / Lég
- Réduction des GES.

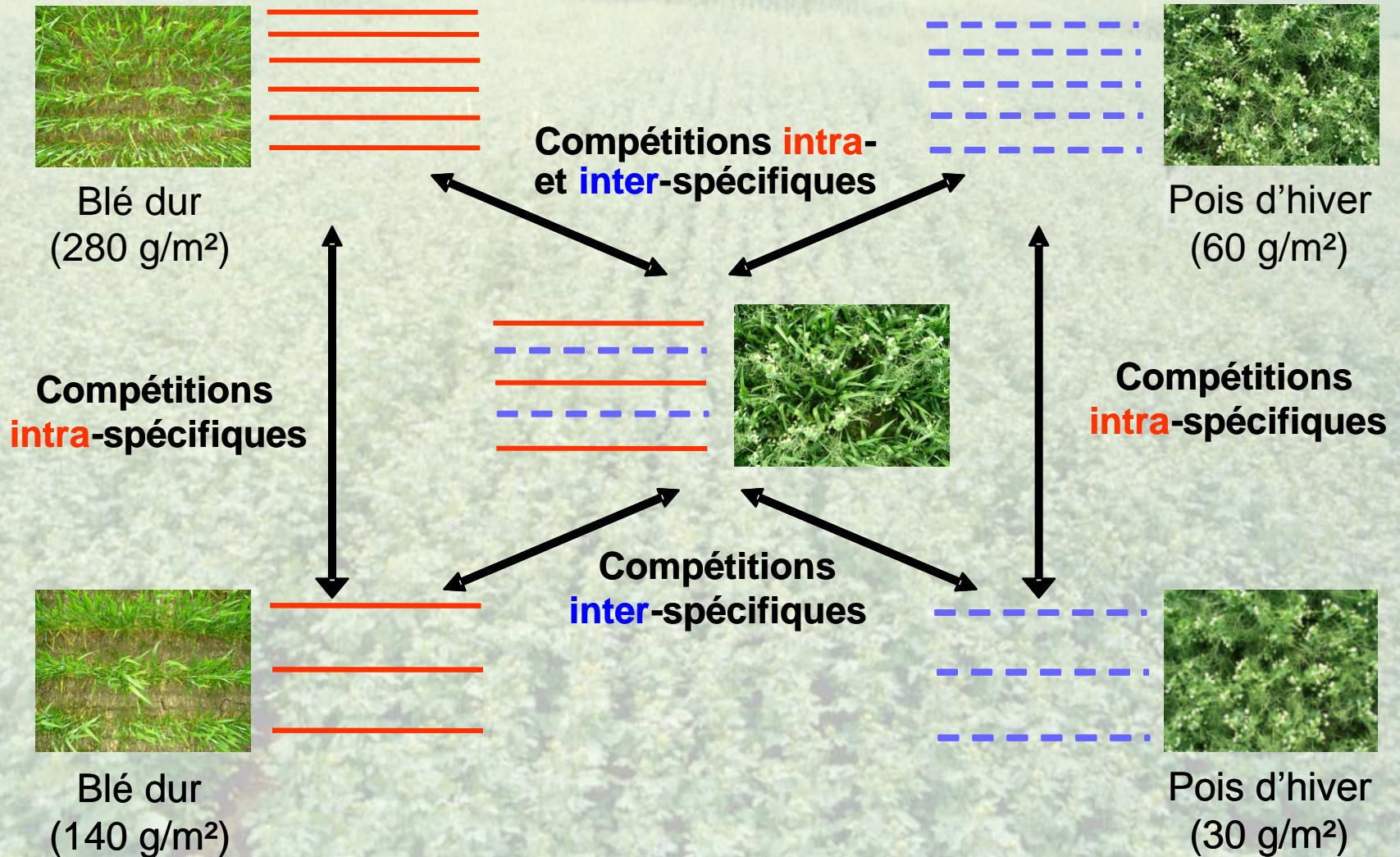
→ Concevoir des itinéraires techniques réalistes et performants pour différents objectifs

- Quelles espèces et variétés associer ?
- Quelles dates, densités, structures de semis ?
- Quelle fertilisation, protection phytosanitaire ?

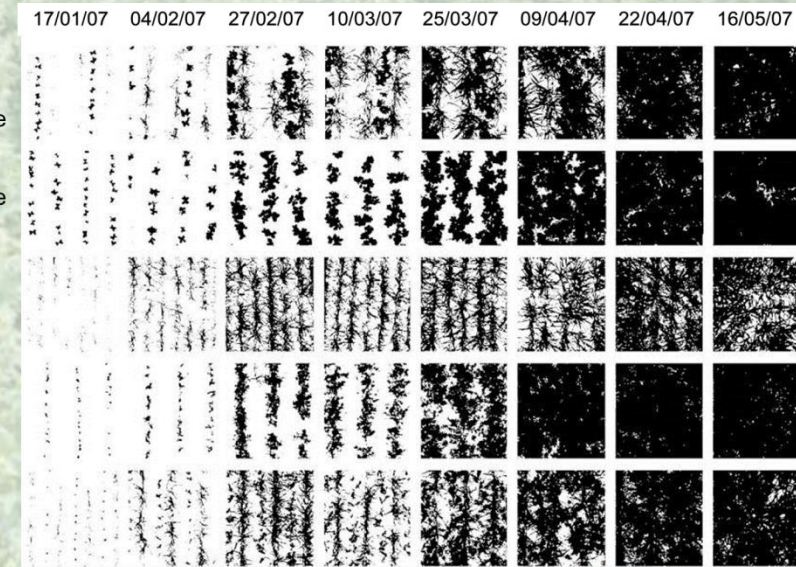
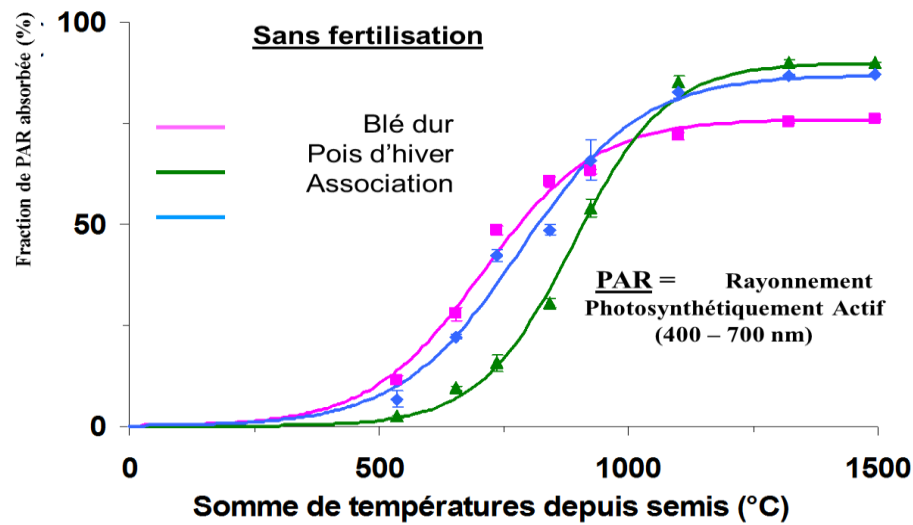
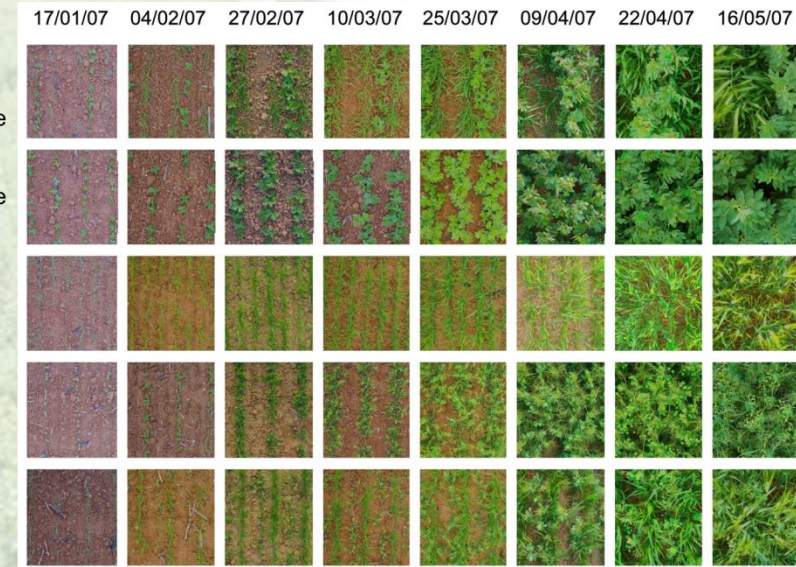


# Cadre conceptuel d'analyse des interactions

Adapté d'après Cruz et al. (1997)



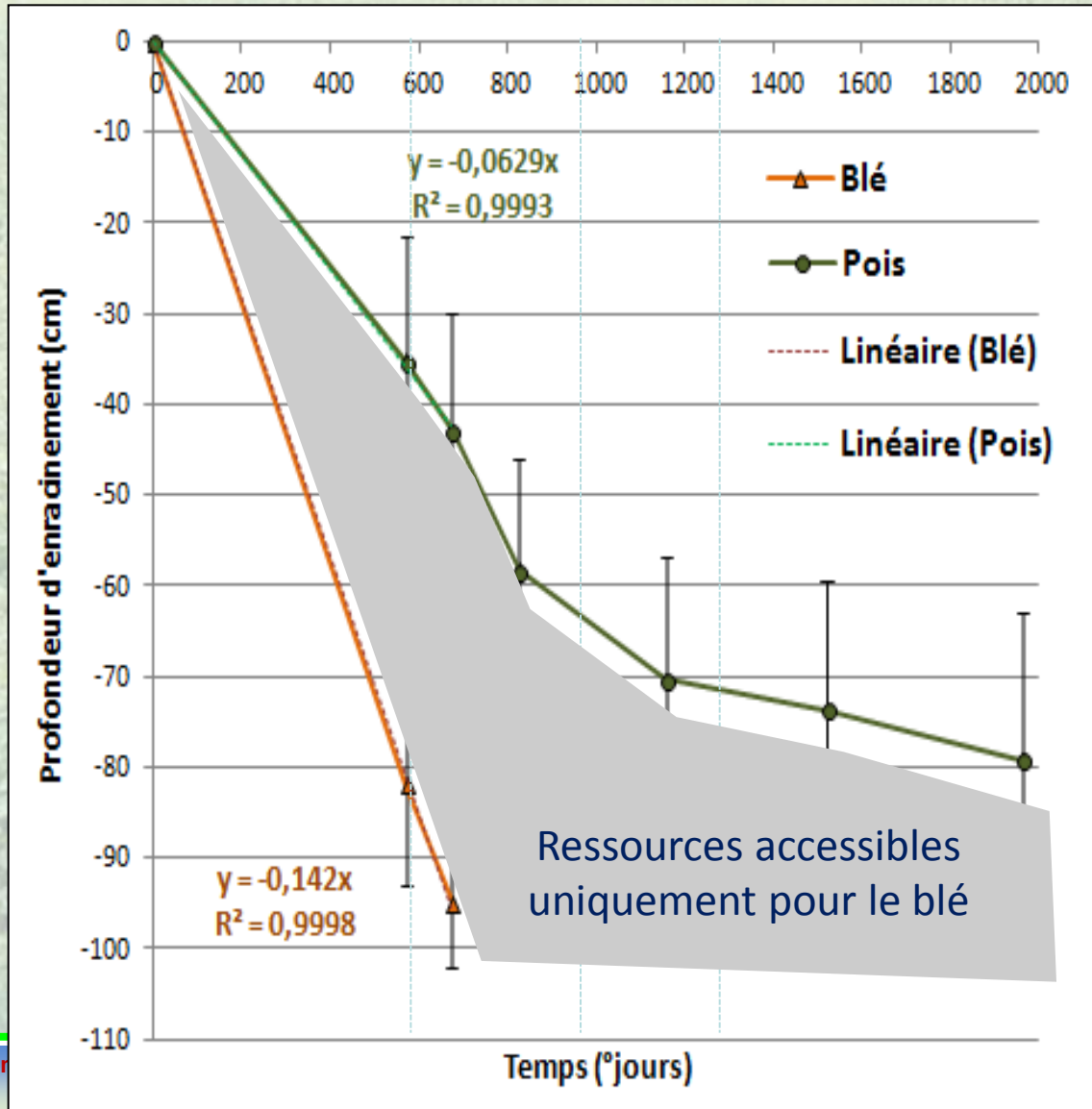
# Complémentarité pour l'usage des ressources : l'exemple de l'absorption de la lumière (400-700 $\mu\text{m}$ )



# Complémentarité pour l'usage des ressources : l'exemple de la dynamique différenciée de l'enracinement

Données INRA, UMR AGIR, Toulouse, en cours de valorisation

(thèse B. Kammoun)



## Exemple de l'association Blé dur – pois d'hiver

- Complémentarité de niche pour l'exploration souterraine
- Dynamique de développement racinaire est un critère clé
- Existe-t-il des différences variétales ?







*Exemples de couverts plurispécifiques*

**1. Les cultures intermédiaires  
multi-services écosystémiques**

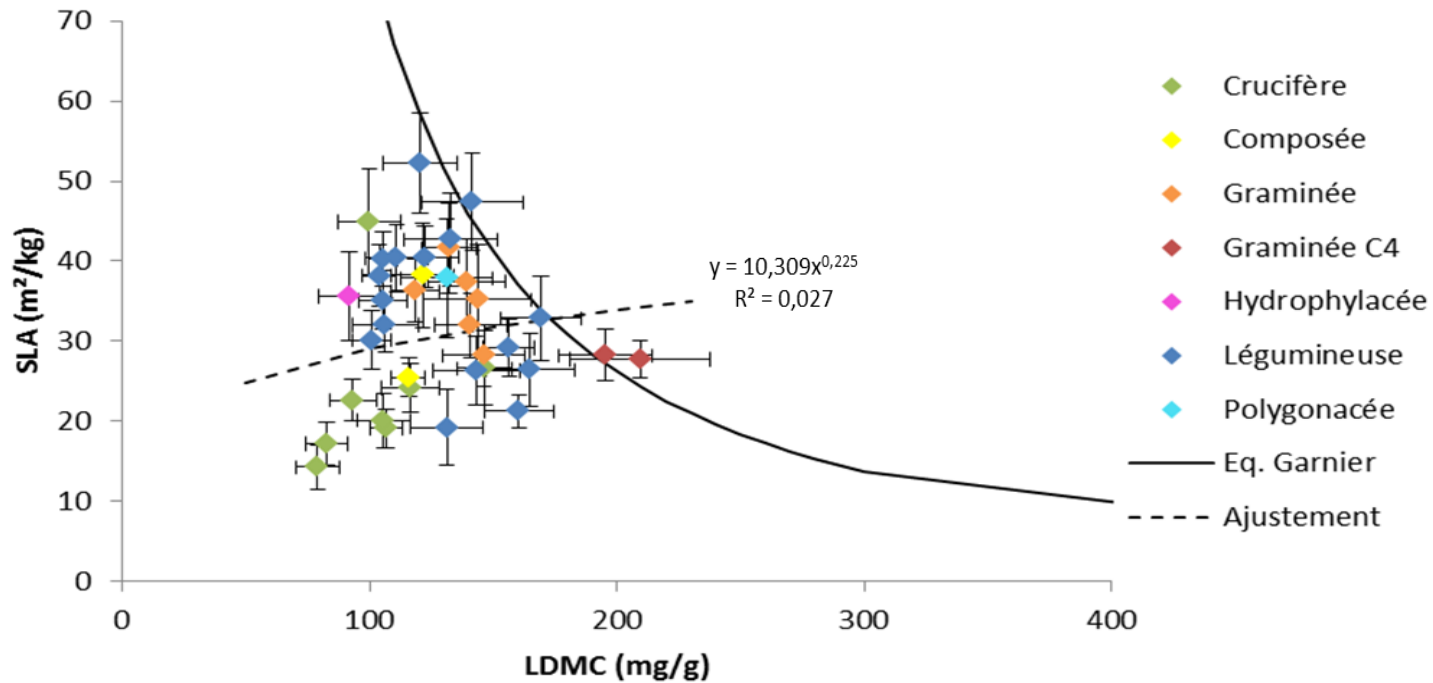
# Les services écosystémiques rendus par les cultures intermédiaires

- **Culture de couverture** (cover crop) : culture intermédiaire dont l'objectif est de couvrir le sol pour limiter l'**érosion**
  - **Engrais vert** (green manure) : culture dont l'objectif est **d'enrichir le sol en azote** (contribution de la fixation symbiotique des légumineuses)
  - **CIPAN** (catch crop) : culture intermédiaire dont l'objectif est de réduire les **fuites de nitrate** en interculture
  
  - **Régulation des bioagresseurs** : adventices, ravageurs, maladies (biofumigation et/ou allélopathie)
  - **Recyclage des éléments minéraux autres que l'azote**
  - **Effet améliorant des propriétés physiques du sol**
  - **Stockage de carbone dans les sols et du bilan de GES ...**
- Une culture intermédiaire peut **remplir plusieurs fonctions écosystémiques avec + ou -** d'efficacité en fonction de l'espèce et son itinéraire technique (densité, date semis et date de destruction)



# Stratégies acquisition/conservation des ressources

H. Tribouillois et al. (INRA, AGIR, Toulouse) : travaux de thèse en cours



Positionnement des espèces de CI sur la relation  $SLA=f(LDMC)$  (Garnier et al., 2001) : SLA (Specific Leaf Area) élevée et LDMC (Leaf Dry Matter Content) faible → **stratégie d'acquisition rapide des ressources ... mais un manque de sensibilité et de précision pour différencier les espèces cultivées**

**Crucifères** présentent des SLA et LDMC faibles → contradiction avec la relation établies sur des espèces d'écosystème naturel → **Effet domestication ?**

**... qui a produit une dé-corrélation des traits fonctionnels**





**Exemples de couverts plurispécifiques**



**2. Les cultures associées pour produire des graines**



**Une large gamme de possibilités déjà évaluées**

**Association  
tournesol - soja**

**Association  
triticale - fèverole**

**Association  
blé dur - pois**

# Conception et évaluation d'itinéraires techniques de cultures associées : démarche pour des résultats actionnables

## 1) Analyse fonctionnelle des cultures associées (station recherche) :

interactions inter-spécifiques en dynamique (compétition, complémentarité de niche, facilitation), taux fixation N<sub>2</sub>, LER, populations ravageurs...



## 2) Caractérisation des conditions permettant la valorisation des interactions positives :

système de culture, niveau des ressources (eau, N, P), facteurs biotiques ...



## 3) Modélisation conceptuelle et numérique des interactions en dynamique :

hiérarchiser les effets, prévoir les inversions de dominance et les performances agronomiques



**6) Nouvelles questions** : Choix variétal sur critères spécifiques (précocité, dureté des grains ? Quel effet précédent ?

→ **progrès du machisme agricole ?**



**5a) Evaluation des performances agronomiques des itinéraires**

- chez agriculteurs en AB  
- en station expérimentale

**5b) Analyse des freins et verrous à l'adoption des CA à 2 niveaux :**

- technique/éco et intérêt agriculteurs  
- logistique/éco et organismes stockeurs (Coop)



**4) Conception d'itinéraires de cultures associées par expertise (compréhension du fonctionnement) et par simulation pour divers objectifs**

2 CA types : blé – légumineuses graines & tournesol - soja

# Analyse des services écosystémiques rendus par les plantes de service dans un couvert colza-légumineuse

M. Valantin-Morison et M. Lorin (INRA, Agronomie, Grignon) : travaux en cours



**Des légumineuses gélives semées en même temps que le colza**  
2 types de services écosystémiques étudiés

Compétition vis-à-vis des adventices durant l'automne

Restitution de l'azote capté ou absorbé par les légumineuses au colza au cours du printemps



# Utilisation du concept de trait pour choisir les espèces

Féverole



Gesse



Lentille



Fénu grec



## Screening de légumineuses candidates

Large gamme d'attributs pour les traits mesurés

Mise en relation des traits mesurés (hauteur, vitesse de croissance, C/N...) et des performances obtenues

Pois fourrager



Vesce commune



Trèfle d'Alexandrie



Compréhension des mécanismes mis en jeu

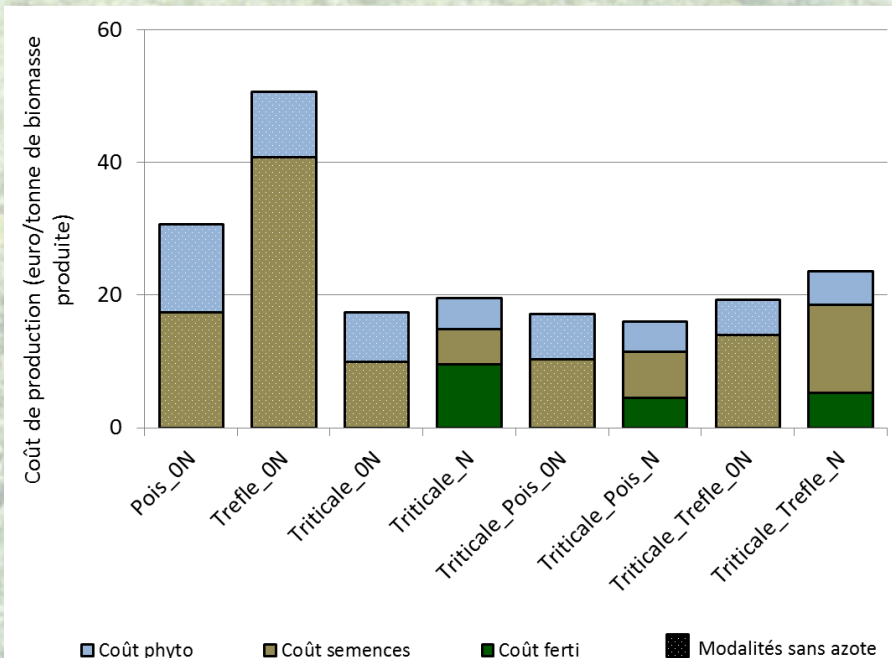
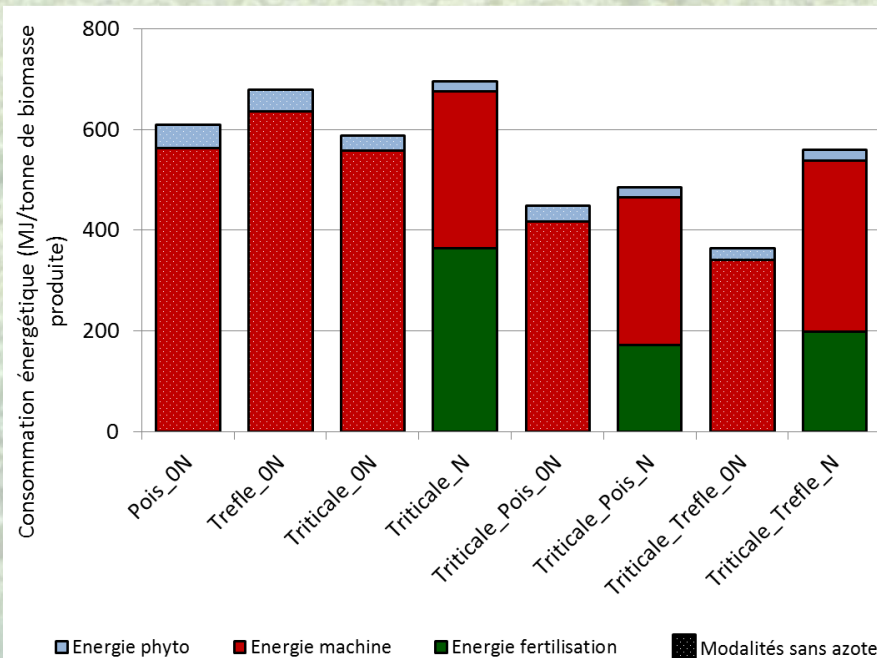
Sélection des caractéristiques a priori intéressantes pour les services recherchés



# Les cultures associées pour de la biomasse énergétique

E. Pelzer et al. (INRA, Agronomie, Grignon) : travaux en cours

- Production sans engrais de synthèse si possible (couteux en énergie pour sa fabrication)
- Mélange légumineuse-graminée (céréale)
- Bilan énergétique et pouvoir méthanogène dépendent de la biomasse et de la composition biochimique du couvert récolté
- Choix d'espèces et itinéraires techniques à optimiser / bilan énergétique







**3. Re-conception des systèmes de culture basés sur les principes de l'agro-écologie et des peuplements plurispécifiques**



# Exemple des prototypes SdC (INRA Auzeville)

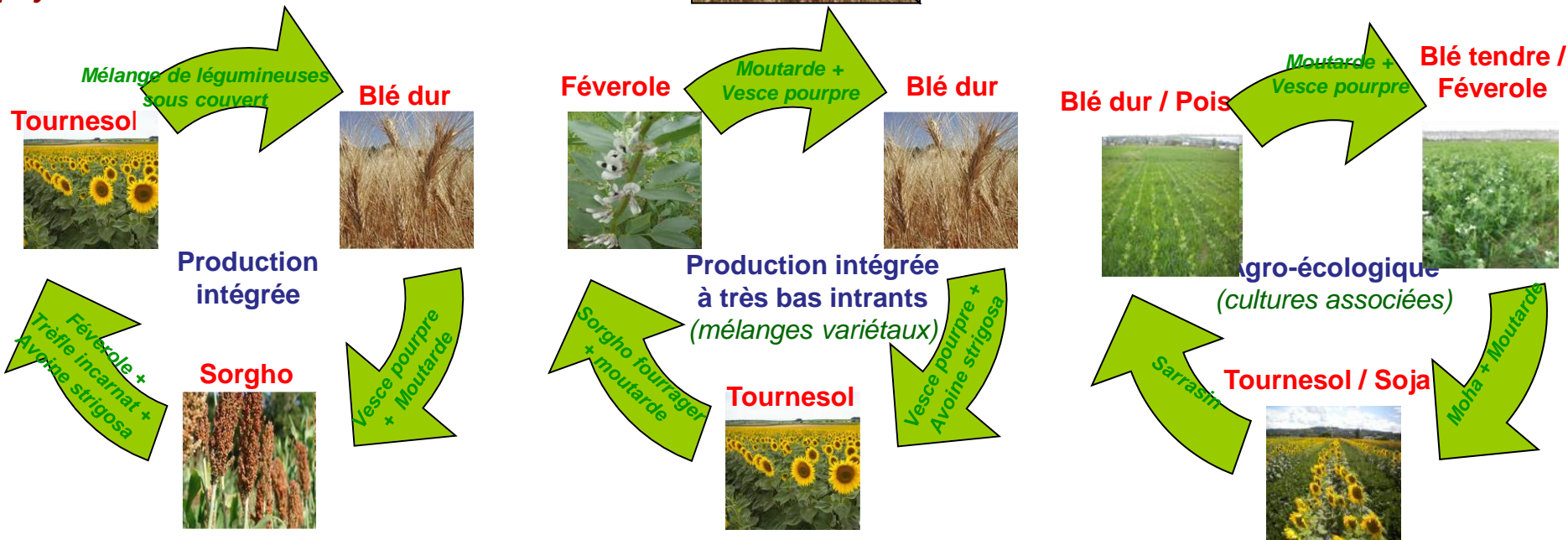
**Objectif :** Comment valoriser les ressources naturelles abiotiques et biotiques via un système de production intégrée permettant de limiter les dommages dus aux bioagresseurs tout réduisant l'impact des produits phytosanitaires ?

**Blé dur – tournesol** (Référence régionale Midi-Pyrénées)



**3 rotations**

avec ou sans cultures intermédiaires  
= 6 prototypes de SdC



**Production intégrée (PI 2018) :**  
Cultures pures, monovariétales  
- Objectif Ecophyto 2018 (sans CI)  
- & Réduire les fuites NO<sub>3</sub> (avec CI)

**PI à très bas intrants (TBI) :**  
Cultures pures, pluri-variétales  
- Tendre vers 0 phyto en culture (sans CI)  
- & Réduire les engrais azotés (avec CI)

**Agro-écologique (AE) :**  
Cultures associées  
- Objectif 0 phyto (sans CI)  
- & Tendre vers une autonomie en azote (avec CI)

MicMac-Design

Modelling for Integrated Crop  
Management in low input farming,  
Assessment and Cropping system Design



AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
ANR

<http://www6.inra.fr/micmac-design>

Coordinateur : É Justes (INRA, AGIR)  
Assistant-coordonateur : G Véricel

# Merci de votre attention

Merci à Grégory Véricel  
Didier Raffaillac, Michel Labarrère,  
Eric Bazerthe et André Gavaland (UE INRA)  
et l'équipe de l'UE Versailles-Grignon

