



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

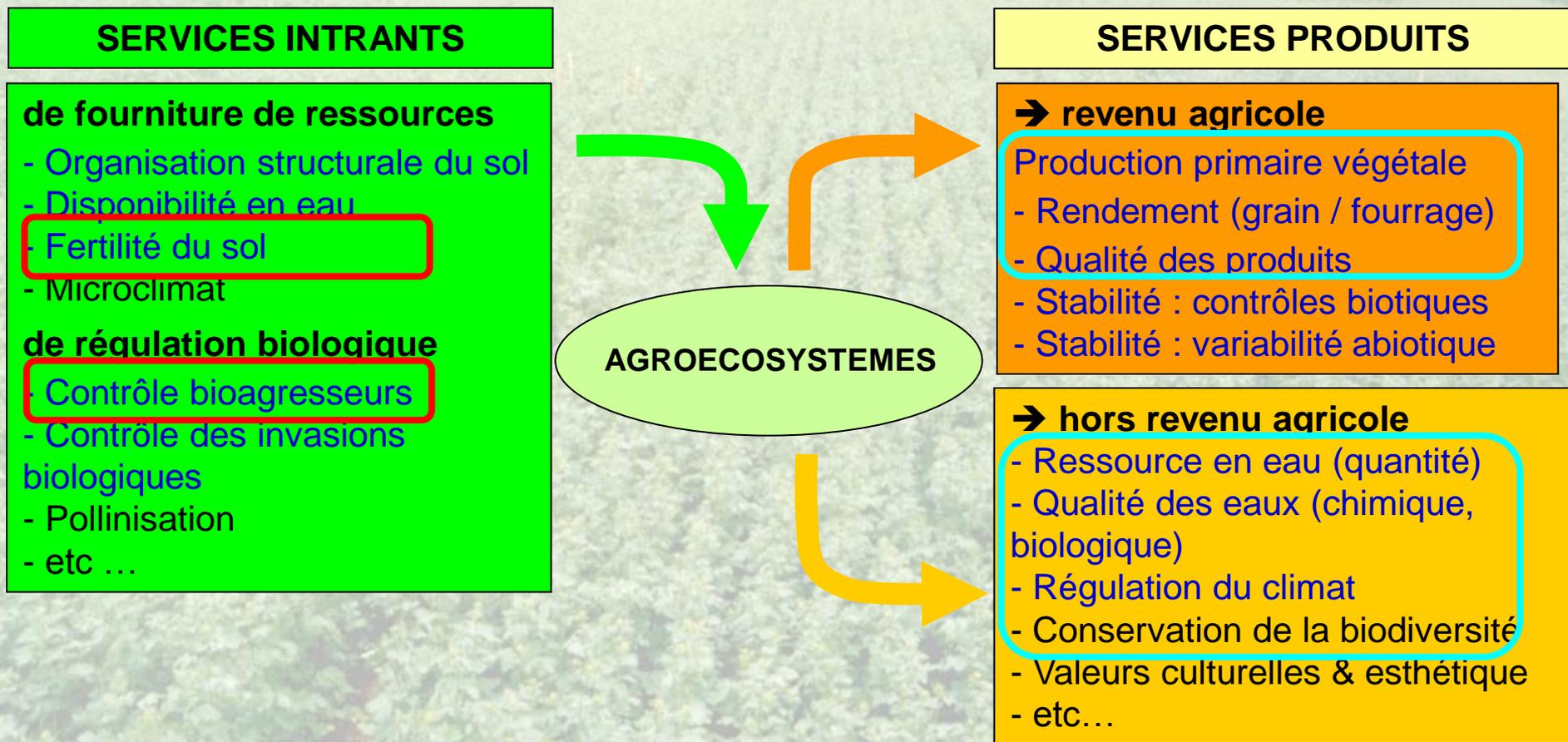


Schéma conceptuel de l'organisation des services écosystémiques
(ESCo Agriculture & Biodiversité, Le Roux et al., 2008 - Modifié d'après Zhang et al. (2007))

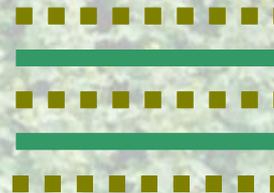


Une culture associée, c'est quoi ?

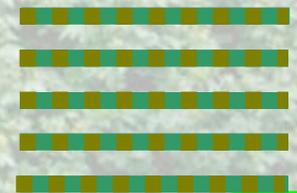
Il s'agit de la culture simultanée de deux espèces ou plus, sur la même surface, pendant une période significative de leur croissance (Willey, 1979)



Rangs alternés



Mélange sur le rang

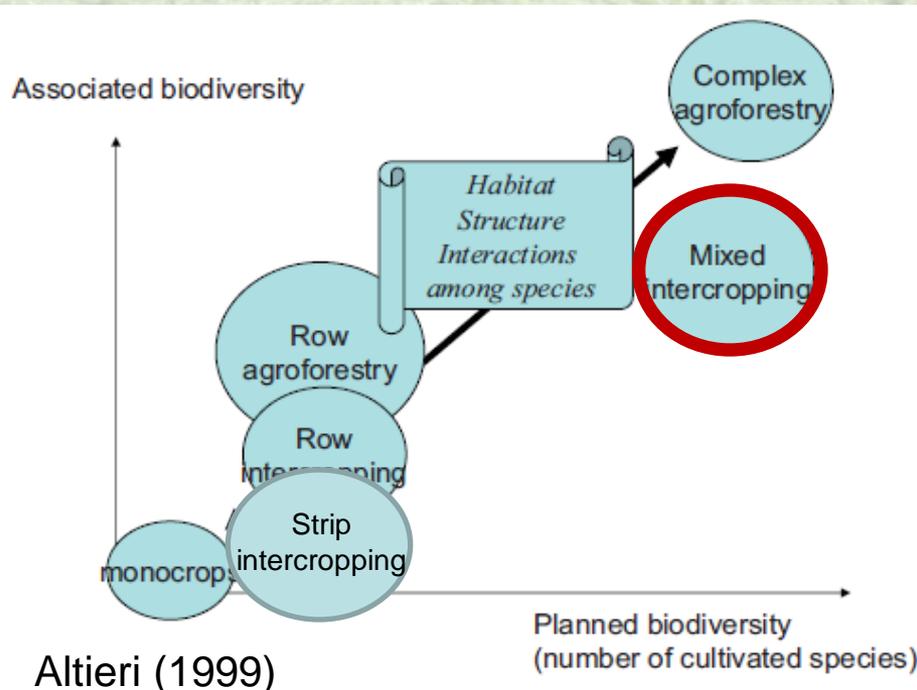


Ou



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 génotypes
- **Indicateurs** de performance : **LER** (Land Equivalent Ratio), **IA**, **IE**, ... (Bedoussac et Justes, 2011)

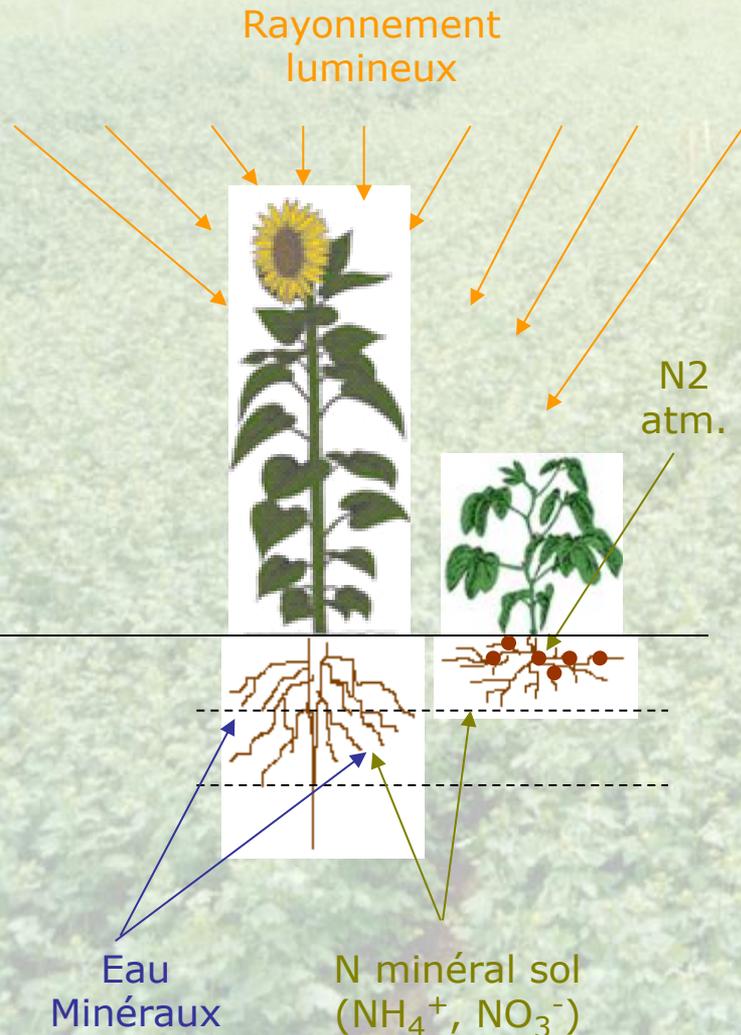
Principes, intérêts et limites

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 NO_3^- / Lég
- Réduction des GES.

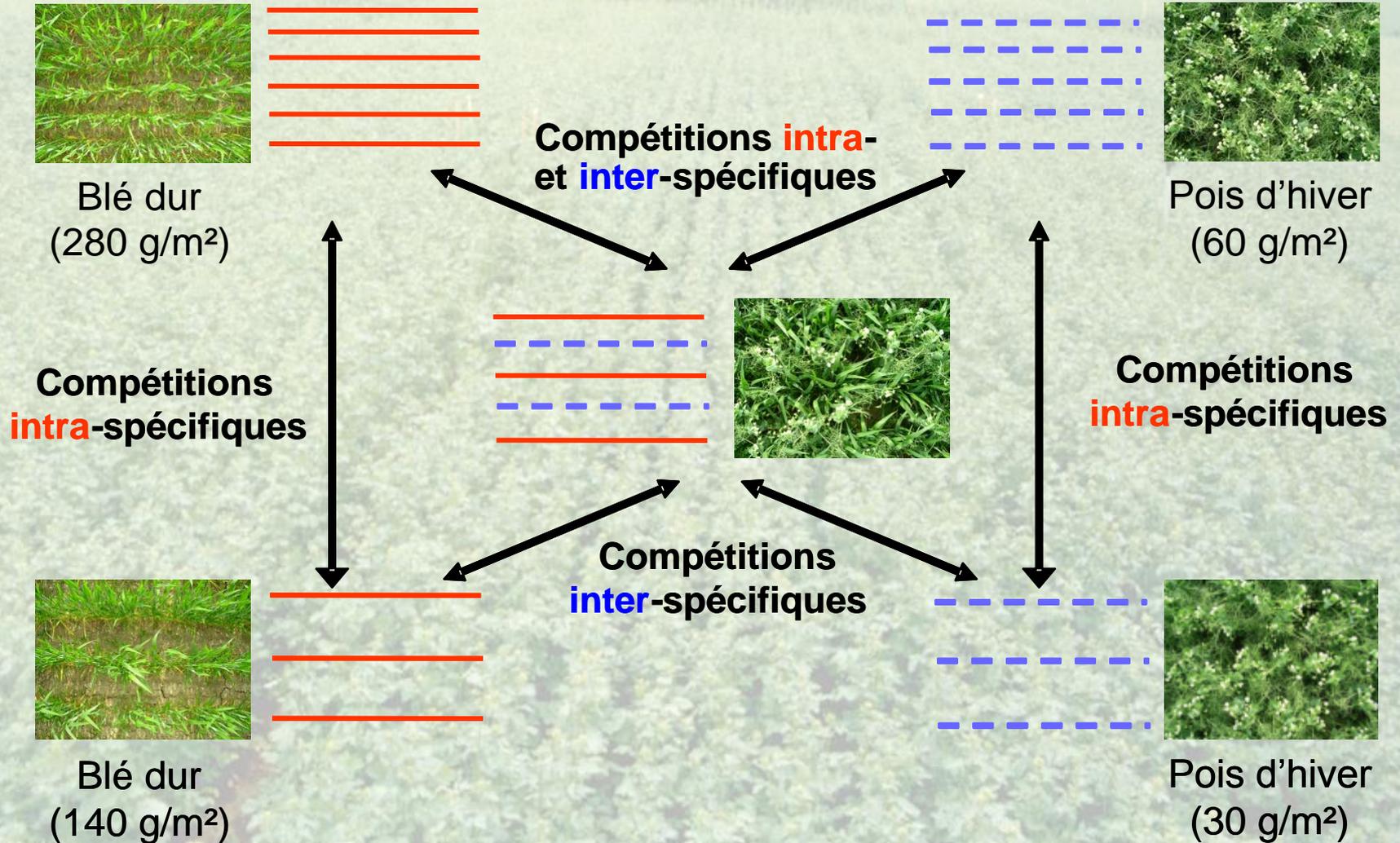
→ Concevoir des itinéraires techniques réalistes et performants pour différents objectifs

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

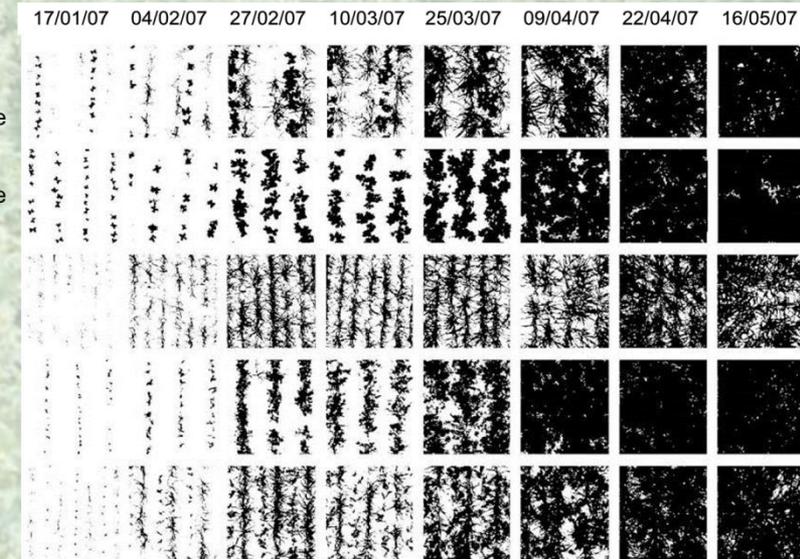
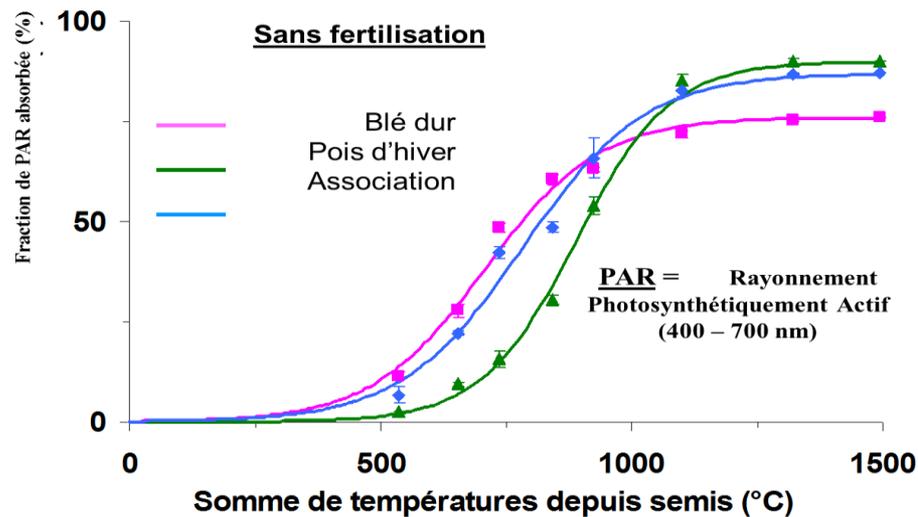
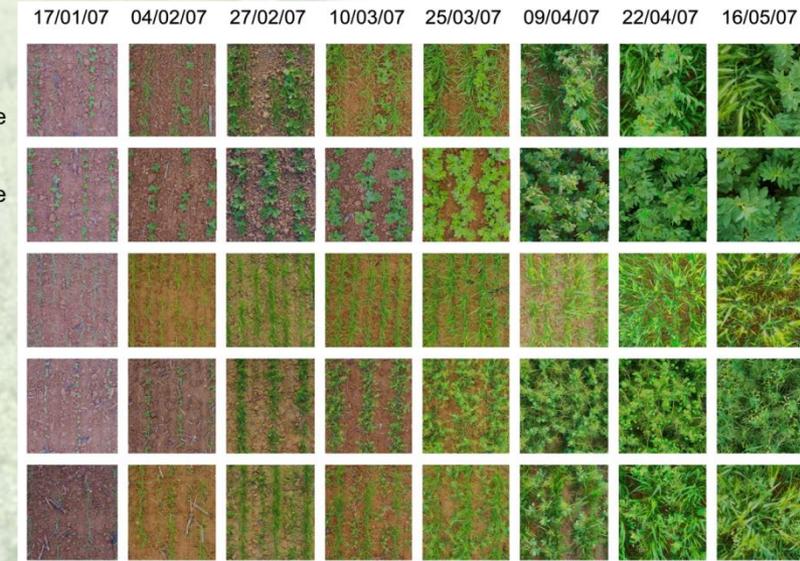


Cadre conceptuel d'analyse des interactions

Adapté d'après Cruz et al. (1997)



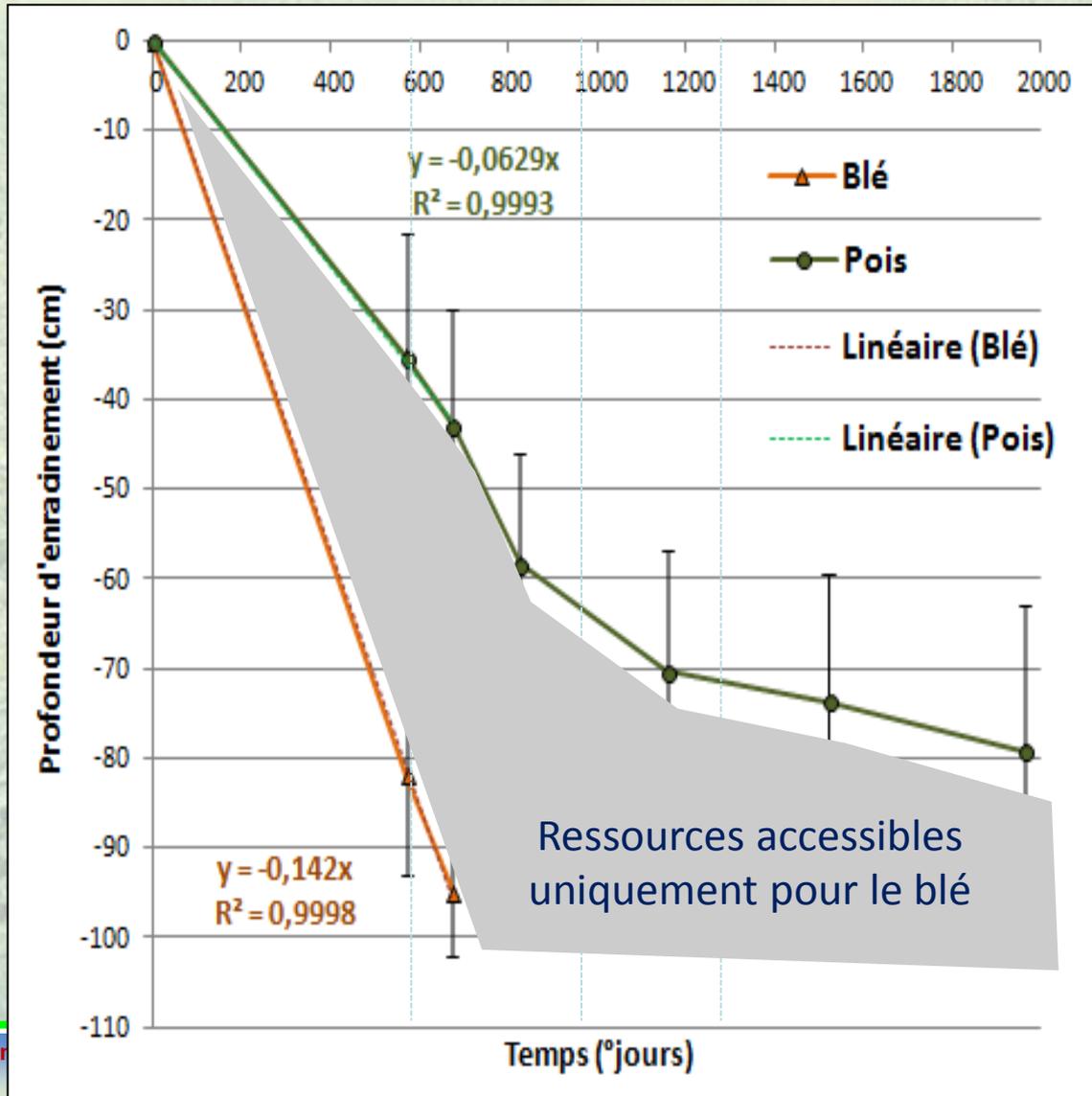
Complémentarité pour l'usage des ressources : l'exemple de l'absorption de la lumière (400-700 μm)



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

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

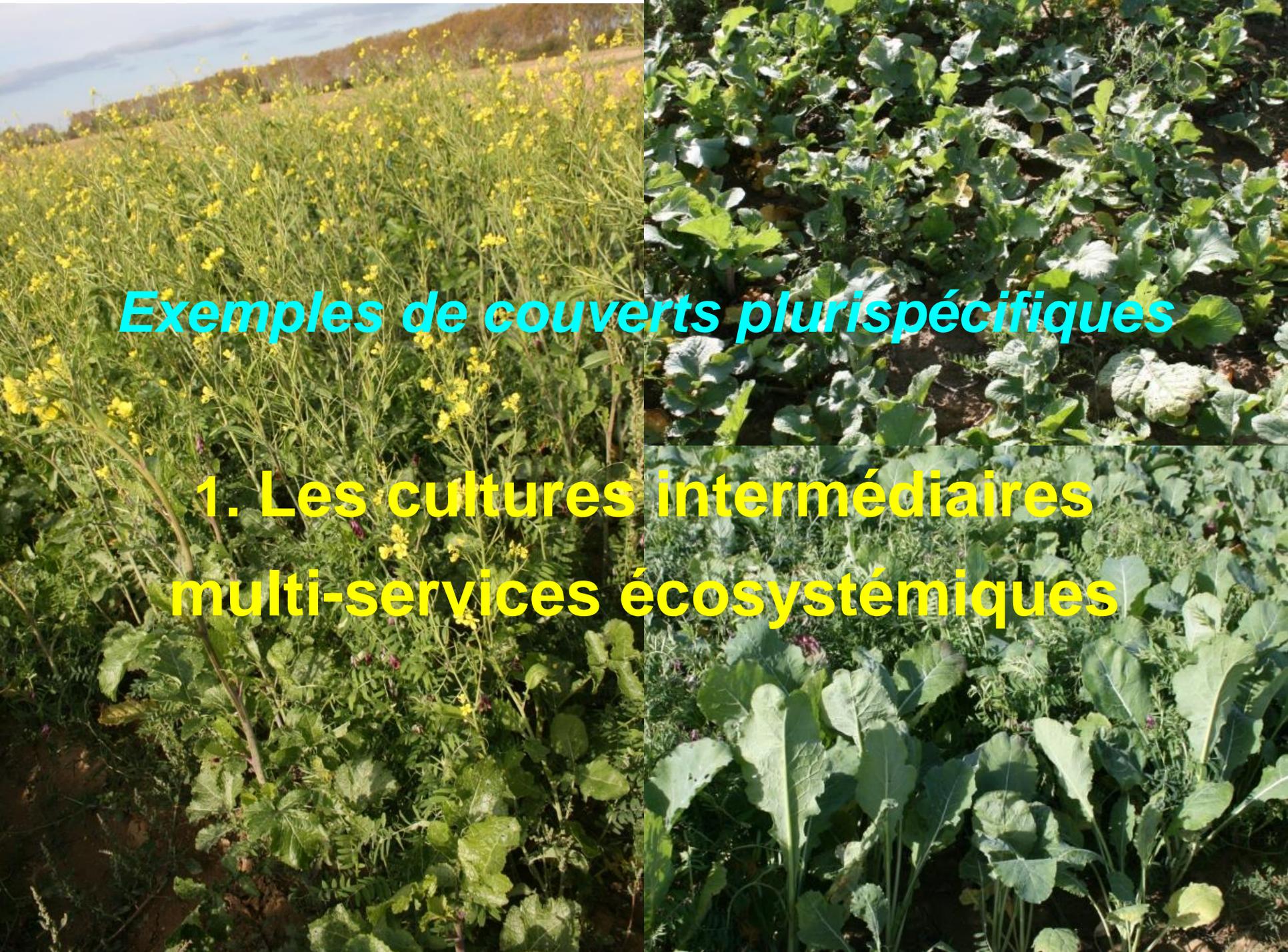
(thèse B. Kammoun)



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**

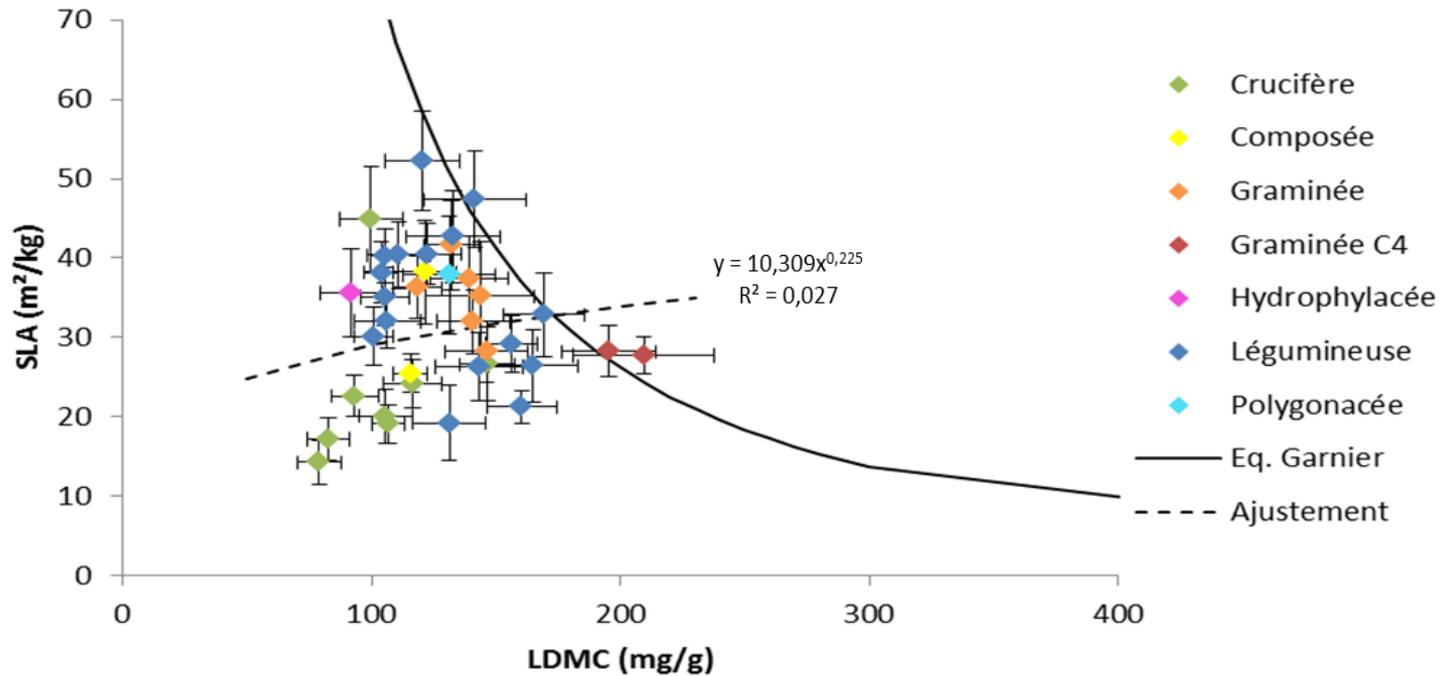
Les services écosystémiques rendus par les cultures intermédiaires

- **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 N₂, LER, populations ravageurs...



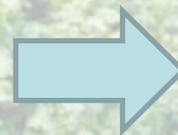
2) Caractérisation des conditions permettant la valorisation des interactions positives :

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

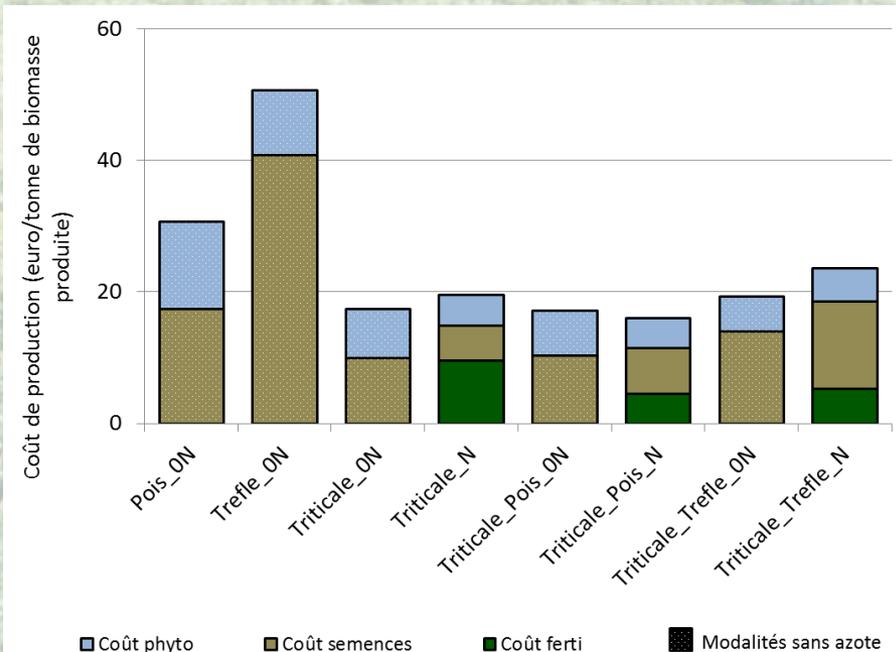
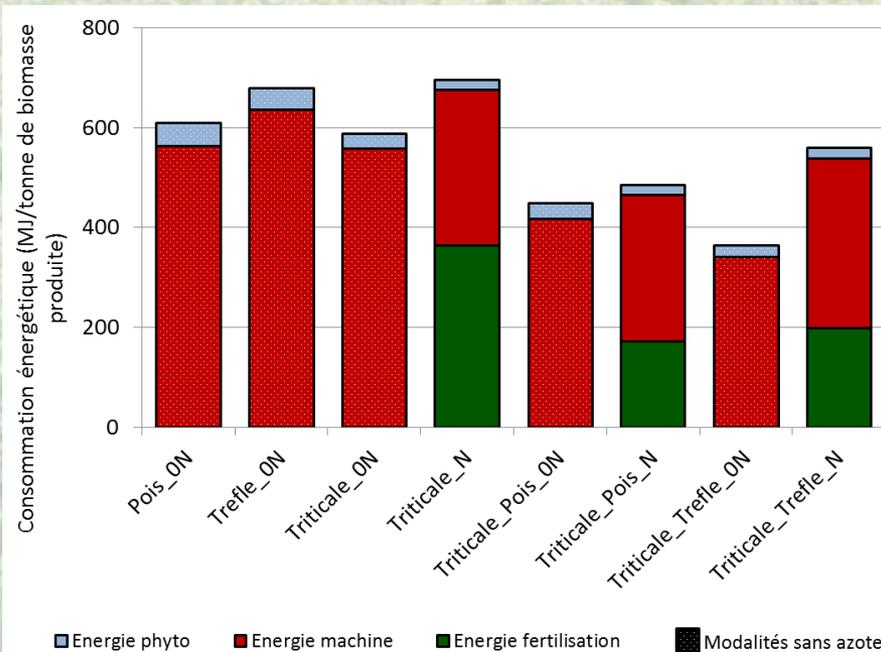
Sélection des caractéristiques a priori intéressantes pour les services recherchés



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)

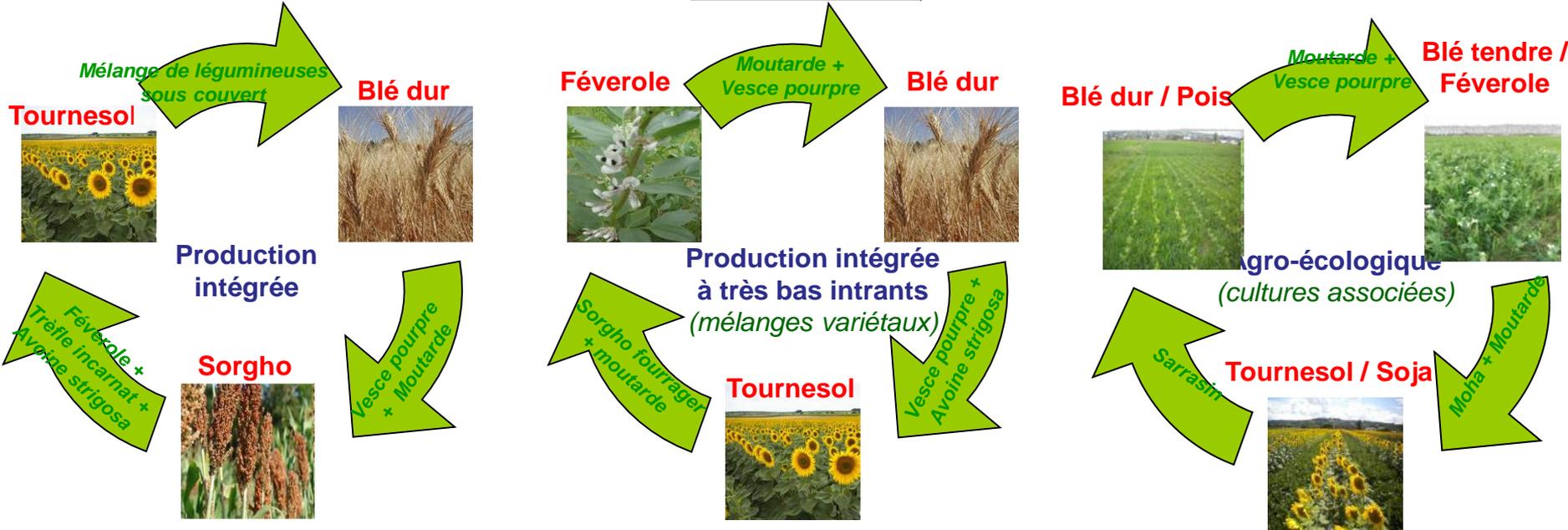
Objectif : Comment valoriser les ressources naturelles abiotiques et biotiques via un système de production intégrée permettant de limiter les dommages dus aux bioagresseurs tout réduisant l'impact des produits phytosanitaires ?

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 NO₃ (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

