

Carrefours

de l'innovation
agronomique
2010

Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation.

Françoise Vertès, Marie-Hélène Jeuffroy, Eric Justes
Pascal Thiébeau, Michael Corson, INRA

Jeudi 9 décembre 2010

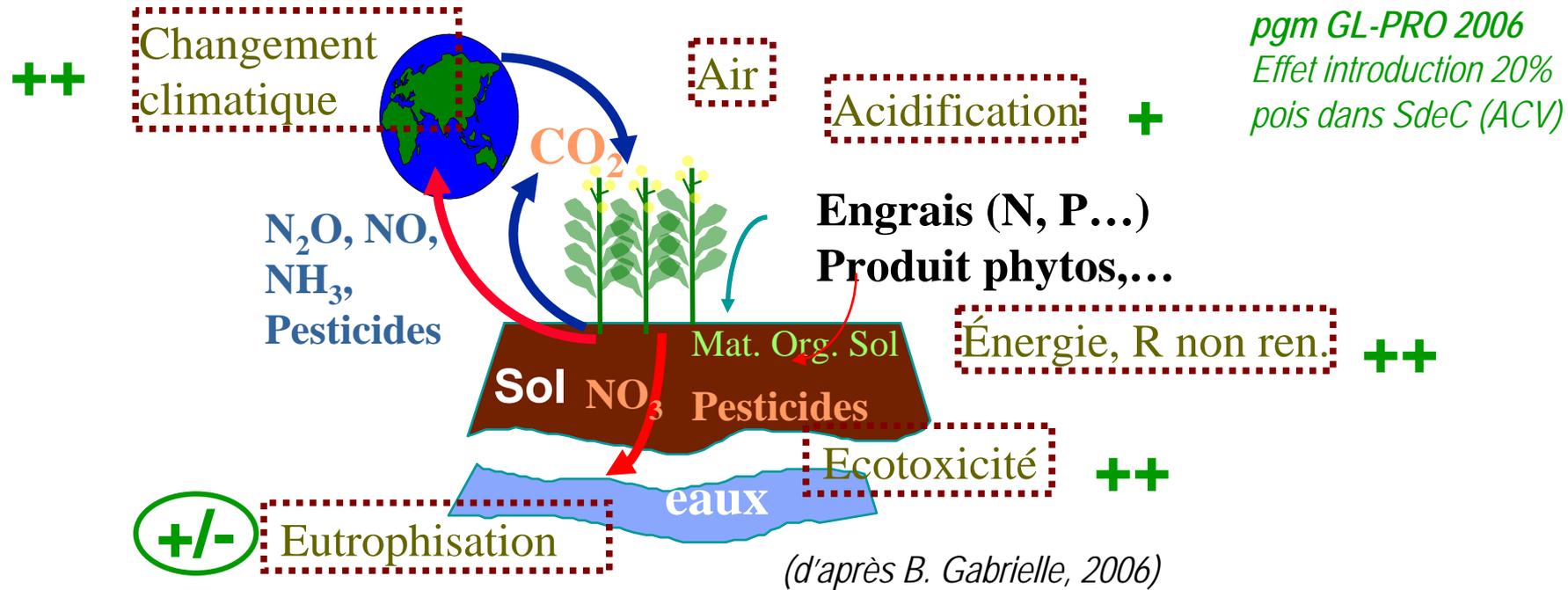


Légumineuses et
agriculture durable

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Les systèmes de culture actuels posent des problèmes environnementaux



- L'intégration des légumineuses dans les SdeC vise d'abord à réduire l'usage d'engrais, grâce à l'autonomie de nutrition par fixation symbiotique
- C'est sur l'impact eutrophisation (ACV, très lié à N dans les SdeC) que le bénéfice est le moins significatif, mais différents bénéfices N



Plan



Introduction : Légumineuses et azote

- Flux d'azote à l'échelle de la parcelle – année
- Les flux d'azote dans les successions de cultures
- Bénéfices liés à l'azote à l'échelle exploitation agricole

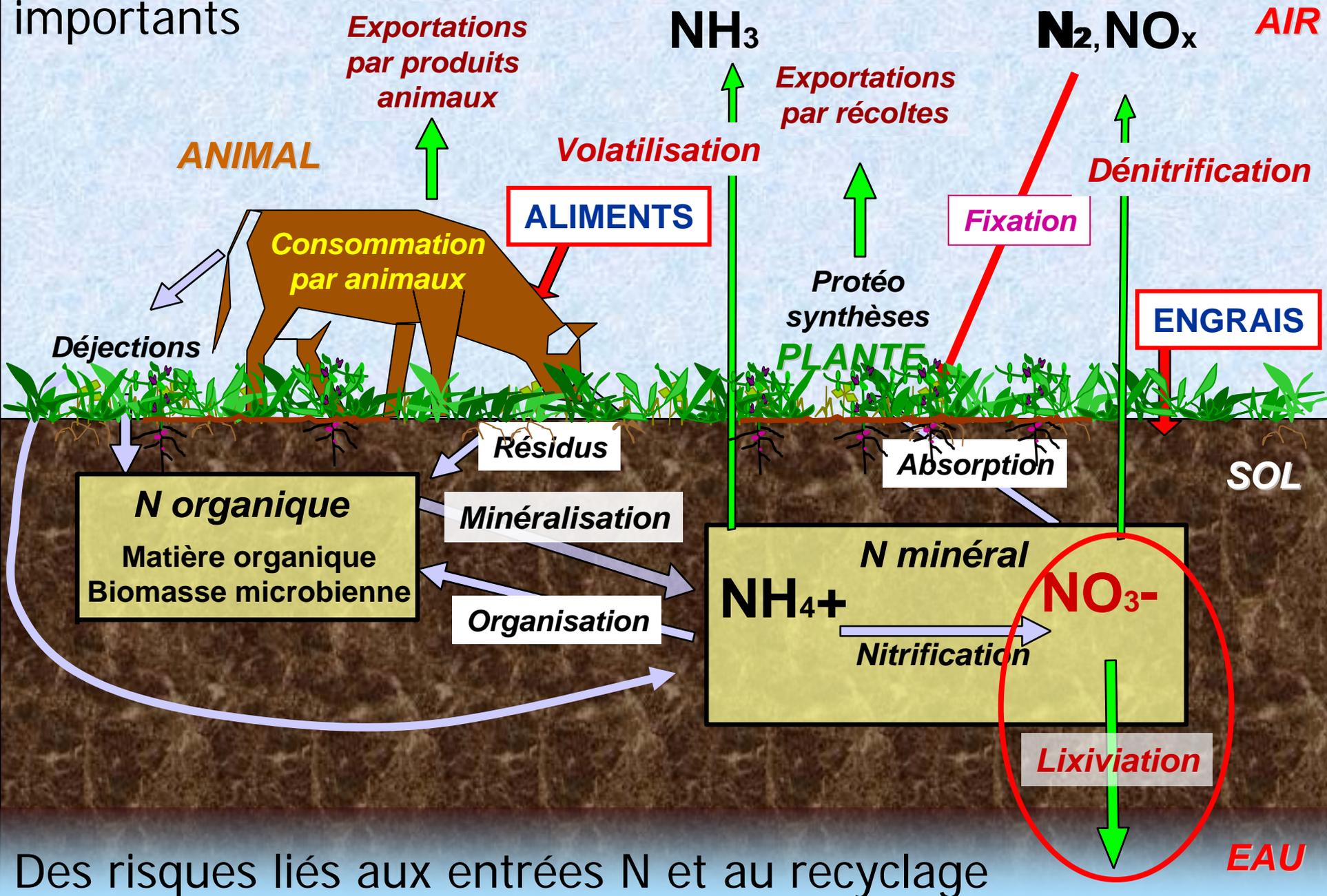
Conclusions

Légumineuses et
agriculture durable

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Le cycle de l'azote en prairies : des flux multiples et importants



Des risques liés aux entrées N et au recyclage

La fixation symbiotique

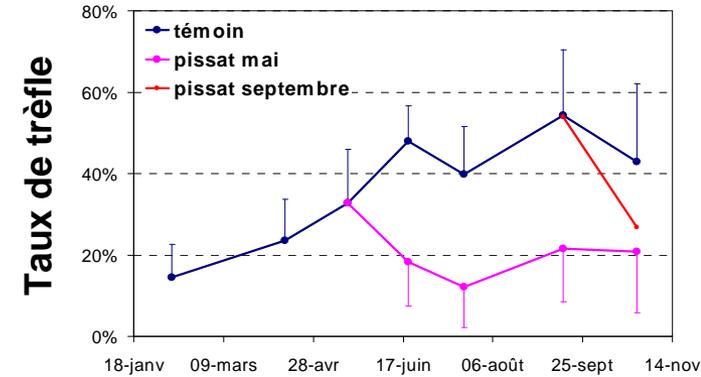
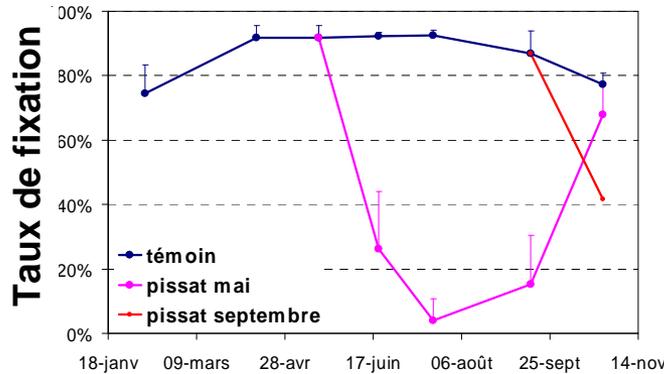
- Sans facteur limitant important, la fixation est ajustée à la croissance des légumineuses, conduisant à une nutrition azotée optimale.
- Les taux de fixation varient entre genres de 30 à 100 % (légumineuses à graines < légumineuses prairiales)
- Pour une plante, la fixation peut être affectée par :
 - la disponibilité d’N minéral dans le sol
 - un stress hydrique (limitant l’activité des nodosités),
 - des tassements du sol (réduction nb de nodosités, enracinement superficiel)
 - l’état des nodosités (sitones, pourritures...)
- Des entrées d’azote fixé dans le système de près de 150 kg N/ha/an en moyenne (60-250)



La présence de légumineuses modifie t'elle le risque de lixiviation ?

- Des facteurs de risques :
 - Sous culture protéagineux : des reliquats entrée de l'hiver supérieurs (+ 30kg/ha) à ceux sous céréale à paille, en lien avec l'enracinement faible et la maturité précoce
 - De l'herbe riche en N → augmentation des rejets N
- Autres facteurs, « faux risques »
 - Des résidus (pailles et racines) plus riches en N que ceux des céréales et une rhizodéposition importante
 - mais avec des ratios C/N assez élevés et donc une minéralisation lente (*Nicolardot et al, 1996*)
- Un atout : le pouvoir tampon de la fixation symbiotique : N min sol → réduction fixation

Mécanismes de régulation en prairie



3 mécanismes de régulation : le **taux de fixation** (court terme), le **taux de trèfle** (court et moyen terme) et l'**absorption N de la graminée associée**
→ régulation interannuelle par le N sol (*Schwinnig & Parsons, 1996*) et « oscillations » du % trèfle blanc selon N sol (cycles de 3-5 ans)

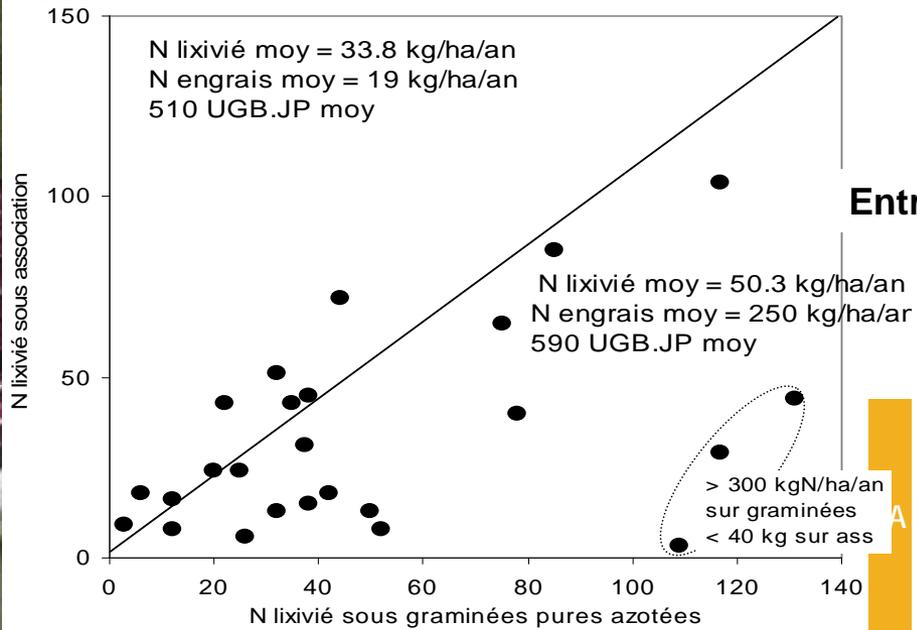
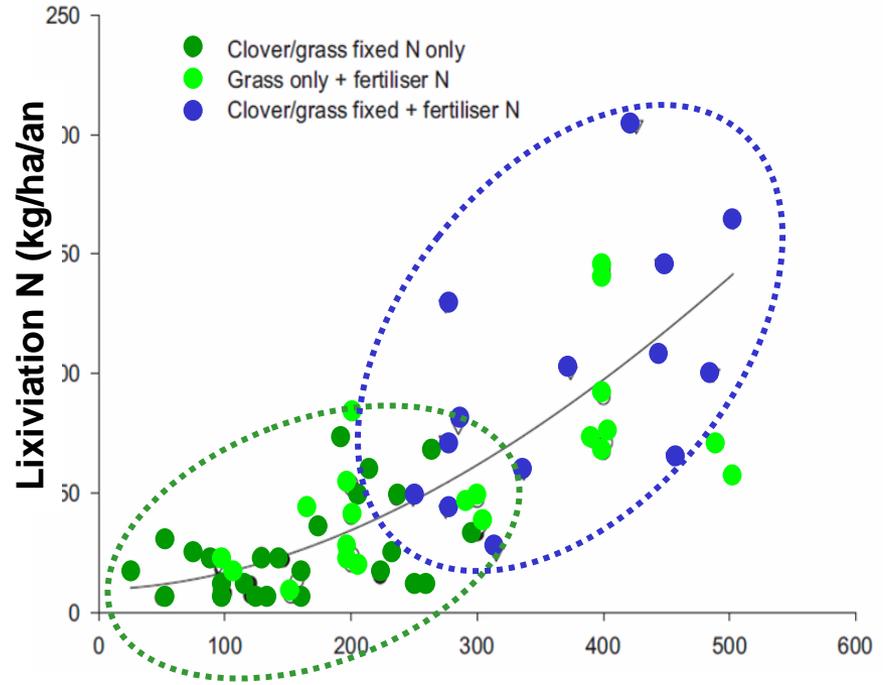
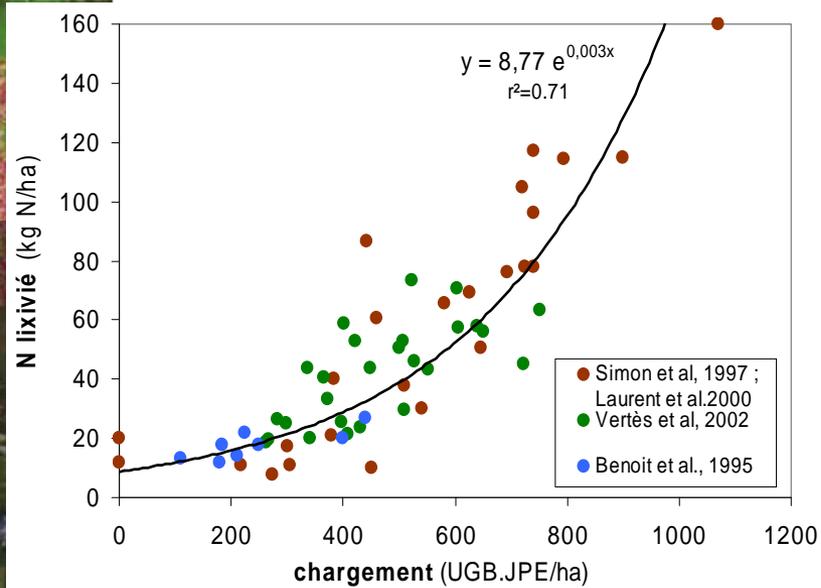
Bien qu'on observe l'effet négatif de l'apport d'azote sur le taux de trèfle, la fertilisation des associations est souvent peu différente des graminées pures (-15%, *enquête Agreste pratiques agricoles 2006*)

Légumineuses et
agriculture durable

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Lixiviation sous prairies : effet du trèfle blanc

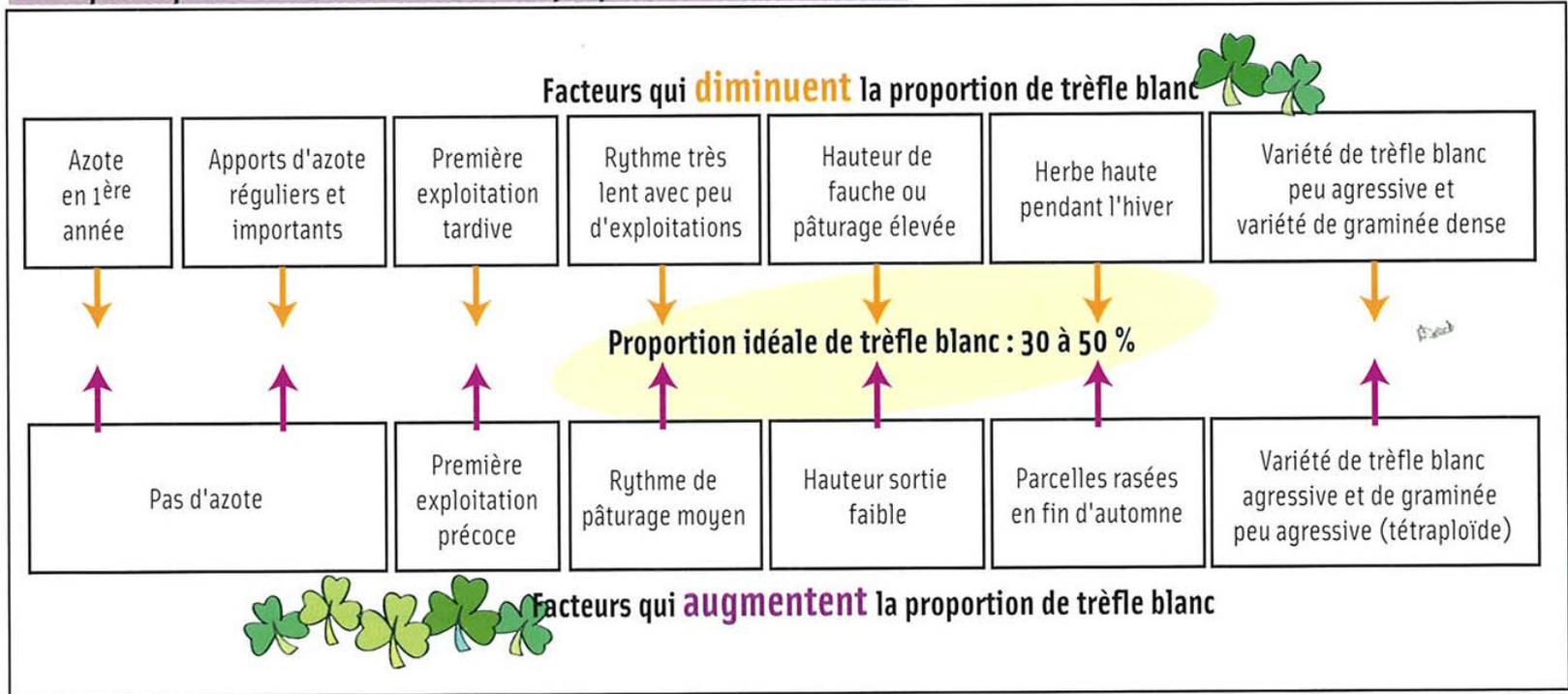


Entrées totales d'azote (ferti + fixation + restitutions) kgN/ha

Les mécanismes de régulation correspondent à une faible réduction (5-10%) de la lixiviation sous prairie, à chargement équivalent.

Comment gérer l'équilibre graminée-légumineuse ?

Principales possibilités d'influencer la proportion de trèfle blanc



Associations Graminées - Trèfle blanc

Le pâturage gagnant

2005

collection synthèse



INSTITUT DE L'ÉLEVAGE

pour un optimum à la fois
agronomique, zootechnique
et environnemental ...

..... + ou - maîtrisable

ALIMENTATION
CULTURE
ENVIRONNEMENT

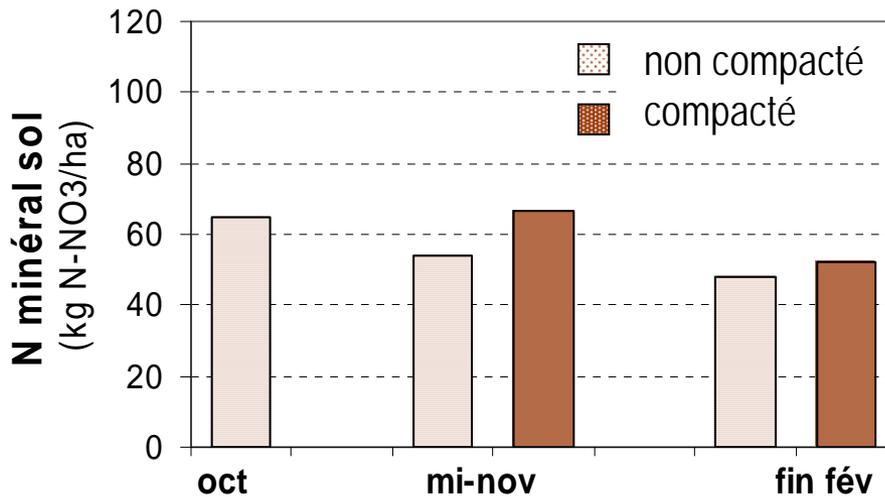


Flux d'azote à la parcelle-année

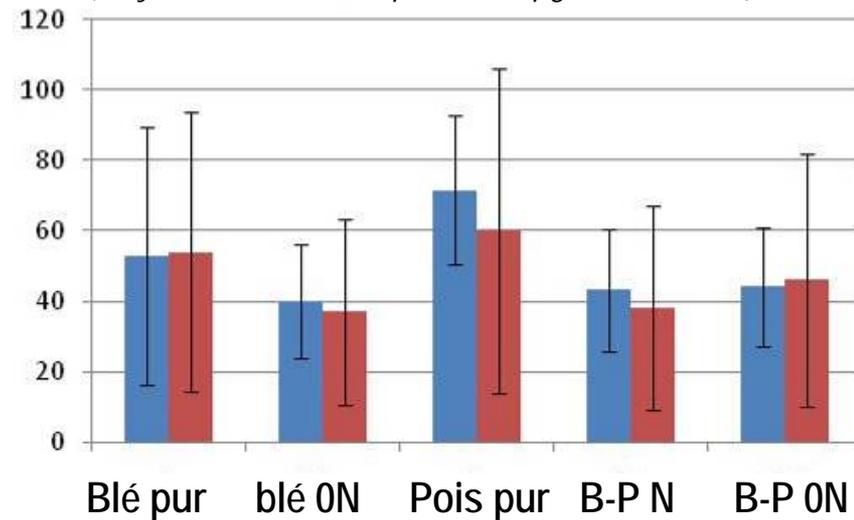
Reliquats post culture sous pois



Effets Date de semis et Compaction du sol sur l'azote sol à la récolte du pois (moy 2 essais x 2 ans)



Reliquats d'N min sol sous blé et pois, purs ou associés (avec ou sans N, 2006 et 2007, (moyennes réseau de parcelles, pgm ADAR 202)



Des reliquats assez élevés sous pois pur (50-70 kg),
Une meilleure utilisation de l'N sol par un association gram-lég, avec des reliquats analogues à ceux d'un blé non fertilisé

Légumineuses et agriculture durable

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



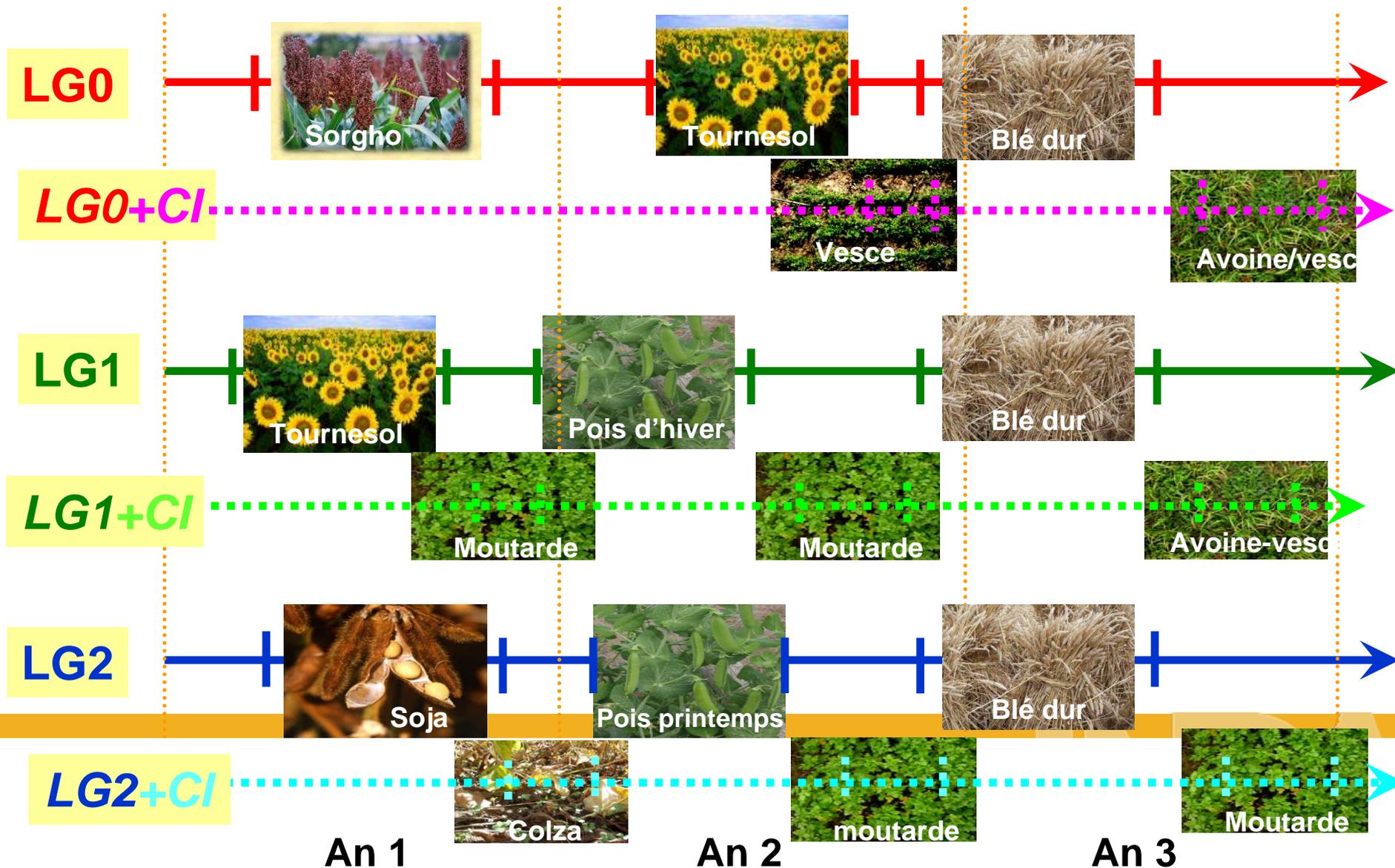
Des risques maîtrisables à l'échelle de la succession culturale

Concevoir des SdeC visant à maximiser les bénéfices de la fixation N_2 par les légumineuses
(Justes 2009)

Objectifs : proposer 2 voies de recherche pour concevoir de tels SdeC, dans des systèmes à bas intrants, en visant également la réduction des impacts environnementaux + acquérir des références

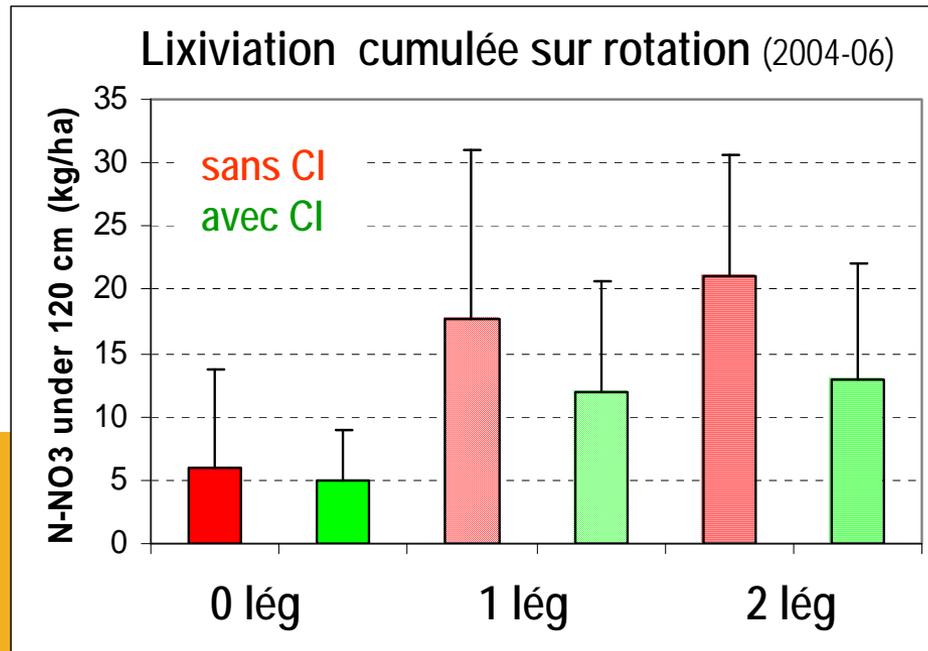
1. conception et l'évaluation de **prototypes de systèmes de culture incluant des légumineuses**, en utilisant des expérimentations moyen terme couplé à de la modélisation des cultures sur la durée de la rotation
2. Étudier le **potentiel des intercultures** pour améliorer la production globale (ratio d'équivalence en surface) et la teneur en protéine du blé dur

Essai expérimental (INRA Toulouse, 2003), pour étudier les effets des légumineuses à graine en rotation et en dérobée sur l'efficacité d'utilisation de N et la fertilité des sols à moyen terme



Principaux acquis *(Justes, 2009)*

- Pois de printemps mieux adapté que Pois d'hiver dans Syst bas intrants (sud France) : moins sensible aux maladies et ravageurs
- Rendement de blé dur plus élevé après pois d'hiver : **confirme effet bénéfique d'une légumineuse à graine en culture précédente**
- Relargage d'N de la culture dérobée pas toujours suffisant pour compenser la compétition pour N min du sol entre pois et semis du blé : **augmenter fertilisation N pour un même objectif de production**

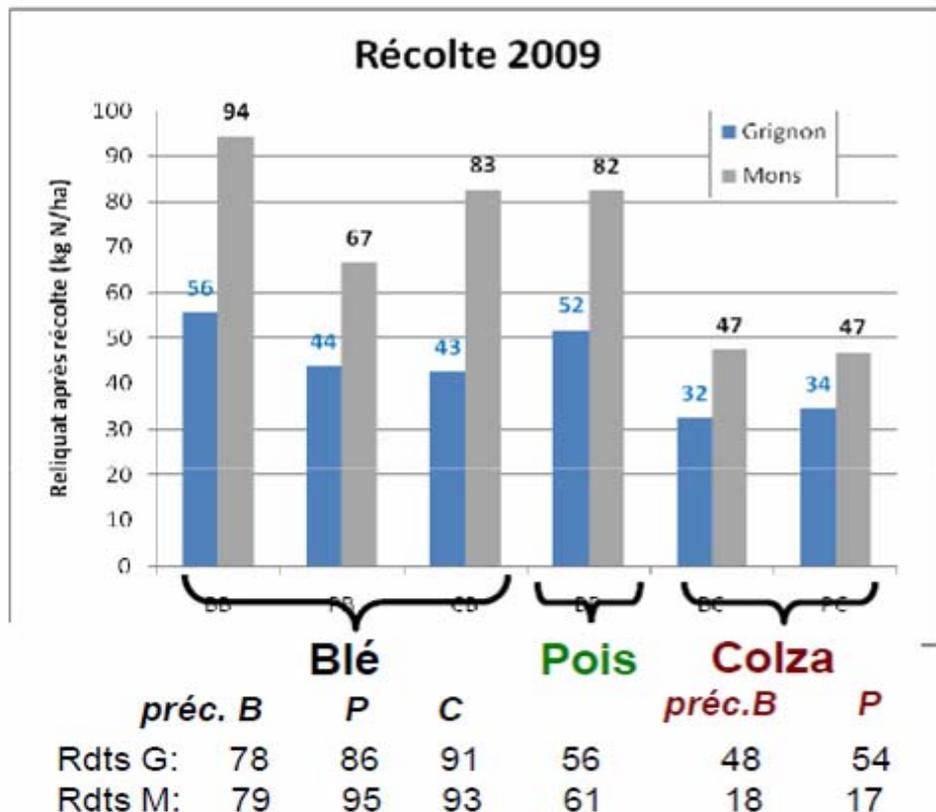


- Pois augmente pertes (pas soja)
- Cultures Intermédiaires efficaces (moutarde) pour **↘** lixiviation
- Engrais vert n'augmente pas le risque de lixiviation
- **Il ne suffit pas d'introduire des légumineuses à graines, il faut adapter tout le SdeC, pour bien valoriser la fixation N₂**

Essai Pois Colza Blé (Grignon et Mons)



- Reliquats azotés post-récolte



- Des rendements plus élevés
- des reliquats post récolte plus faibles derrière le blé "précédent pois" que le blé "précédent blé"
- Des résultats à confirmer

Flux d'azote à la parcelle-rotation

Bénéfices N liés à la luzerne



- dans des successions blé/betterave

Réduit la concentration moyenne (10 ans) de l'eau drainée est de 20,8 mg/l de N-NO₃, contre 27,2 mg/l dans la rotation blé-betterave (Muller et al., 1993).

- Implantée sous couvert de pois protéagineux :
 - Bénéfices : « support » pour le pois, des pailles, et de la réduction des risques de lixiviation

	UFL (pailles)/kg	PDIE (g:kg	N sol 0-100 cm
Pois pur	0,65-0,73	74-111	91,2
Pois + Luzerne	0,72-0,75	87-123	48,6
Luzerne pure			30,2

- semée sous couvert de blé :
 - Contribue à l'alimentation azotée de la céréale et absorbe l'azote reliquat + production fourrages et effet positif pour culture de printemps suivante)

Stockage d'azote (C) dans les sols

- En lien avec le bilan N
 - En cultures
 - le pois prélève plus d'N au sol qu'il n'en restitue (*Carroué 2004*) → pas d'augmentation à moyen terme du pool de MOS
 - Il faudrait > 70% de fixation pour avoir un bilan positif, et les indices de récolte élevés ré
 - En prairies pérennes, la présence de légumineuses (trèfle, lotier) augmente le stockage de N et C dans les sols comparé à des peuplements de graminées (*De Deyn et al., 2009*)

À l'échelle de la rotation et du système de culture

Des risques maîtrisables et des pistes d'amélioration:

- Pour les prairies avec des gestions appropriées (peu d'apports N, fauche / pâturage, combinaisons d'espèces, choix variétaux,)
- Pour les cultures avec des CI en interculture longue (avant ou après protéagineux) voire 2ème culture si récolte précoce (après pois d'hiver)
- Meilleure gestion de la fertilisation à l'échelle de la rotation
- *Amélioration de l'exploration racinaire certaines espèces (nouvelles variétés chez le pois)*

Quels bénéfices N liés aux légumineuses aux échelles exploitation, Bassins, ...

- Les bénéfices environnementaux liés à l'azote apparaissent limités à l'échelle parcellaire, et sont plus significatifs sur la successions culturale
- quels bénéfices émergent à des échelles plus larges ?
 - au niveau exploitation ?
 - Expérimentations systèmes (agro-zootechniques / émissions N)
 - Comparaisons Bilans N et impact eutrophisation calculé dans l'ACV
 - Au niveau d'un territoire ? exemple du bassin de la Seine (*Billen et al., 2009*)

Comparaison de systèmes de production laitiers

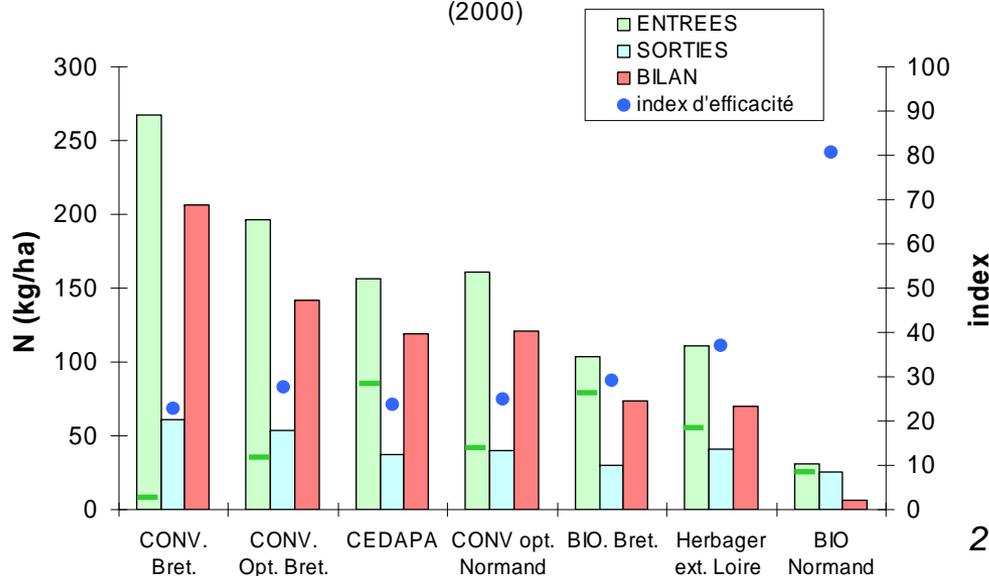
production laitiers

Les systèmes laitiers basés sur les associations sont d'abord herbagers, puis en recherche d'autonomie et de coûts de production réduits
 → souvent moins intensifs (à l'animal en NZ, à l'animal et à l'ha en Europe) systèmes SFEI, Bio

Réduction des excédents de bilan
 Forte efficacité d'utilisation de N

		N ^{elle} Zélande ON	NZ. 410N
Entrées N	Fixation	170 (90 à 220)	50 (25 à 135)
	Engrais + effluents	0	410
	aliments	0	41
Sorties N	Produits	78 (68 à 83)	114 (90 à 135)
	Pertes par lixiviation	30 (12 à 74)	130 (110 à 150)
	Pertes par volatilisation	15 (15 à 17)	68 (47 à 78)
	Autres pertes (dénit...)	3 à 7	13 à 34
Excédent de bilan		92	387
Efficacité utilisation N (produit/entrées)		0.46	0.23

Bilans apparents N dans les fermes laitières de l'Ouest (2000)

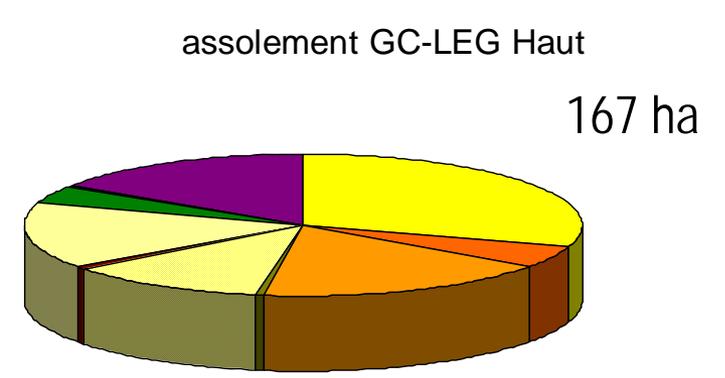
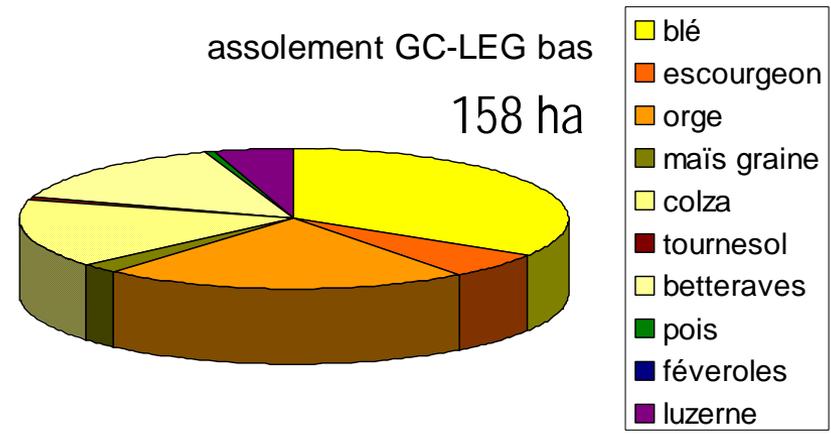


*d'après Ledgard et al., 2009, Vertès et al., 2002 ; Simon et al., 2000 ; Bossuet et al., 2006

Bénéfices Azote à l'exploitation

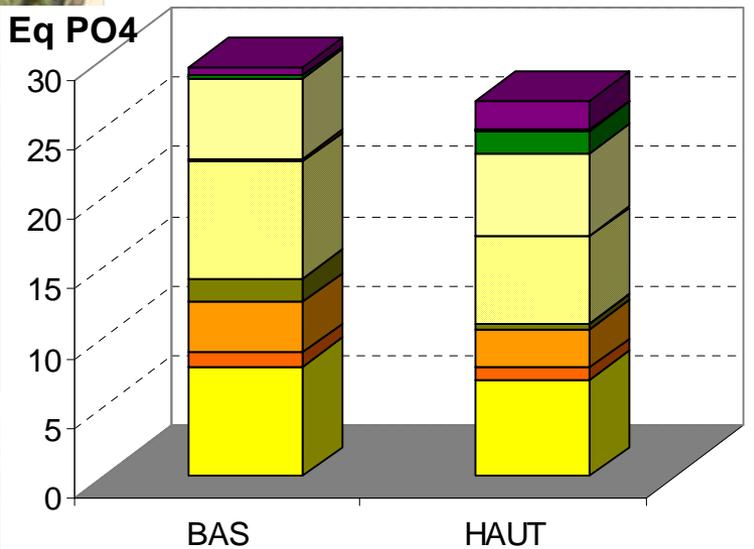
Évaluation impact eutrophisation

exploitations types « grandes cultures », réseau CDER Champagne

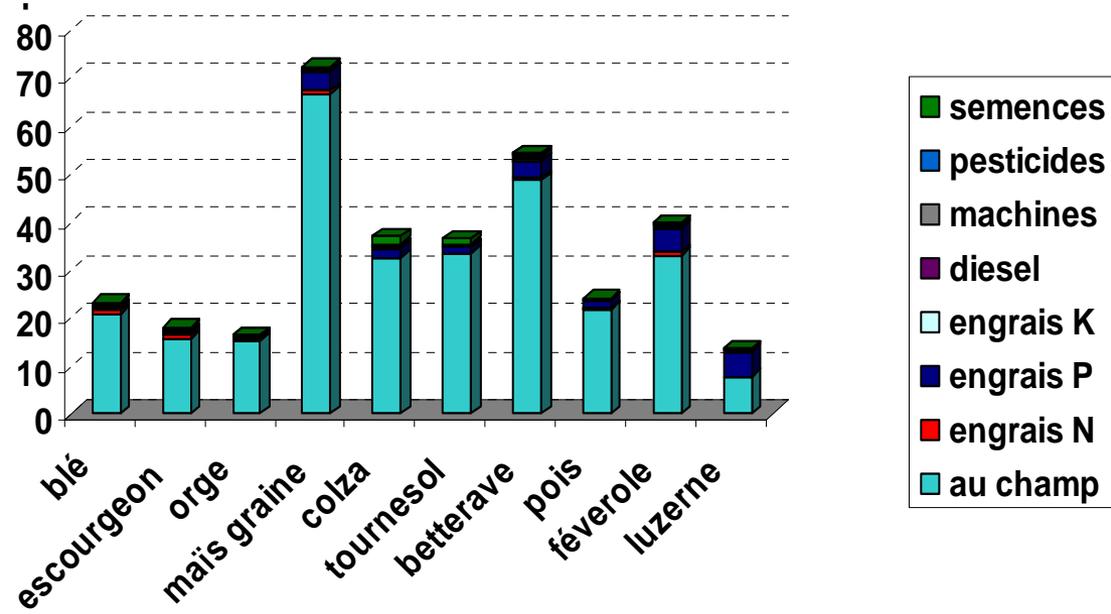


- blé
- escourgeon
- orge
- maïs graine
- colza
- tournesol
- betteraves
- pois
- féveroles
- luzerne

Impact eutrophisation / exploitation



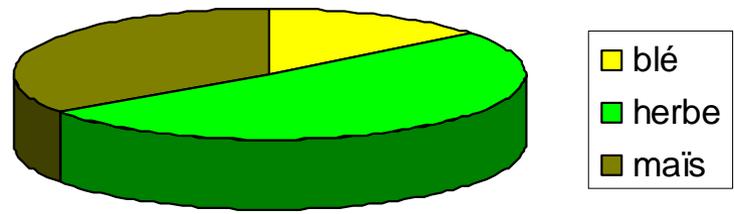
répartition des postes par culture



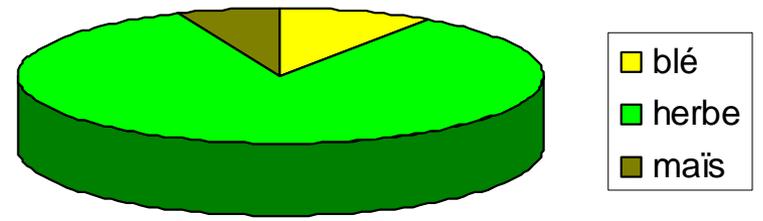
Évaluation impact eutrophisation

exploitations types laitières (3 types, réseau Etre Bretagne)

assolement Lait : maïs - herbe
54.4 ha



assolement Lait : herbe - Lég bas = 10%
Lég haut = 30%
61.6 ha



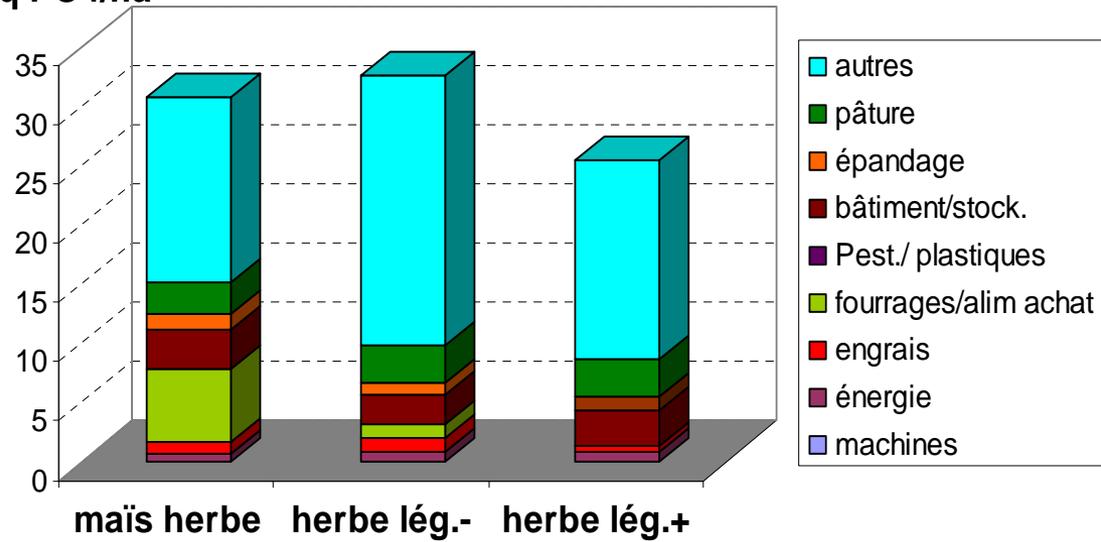
Bilan apparent N: maïs herbe = 67.8 (63.9) /ha SAUtot

Herbe-Lég bas = 69.4 (47.2) /haSAUtot

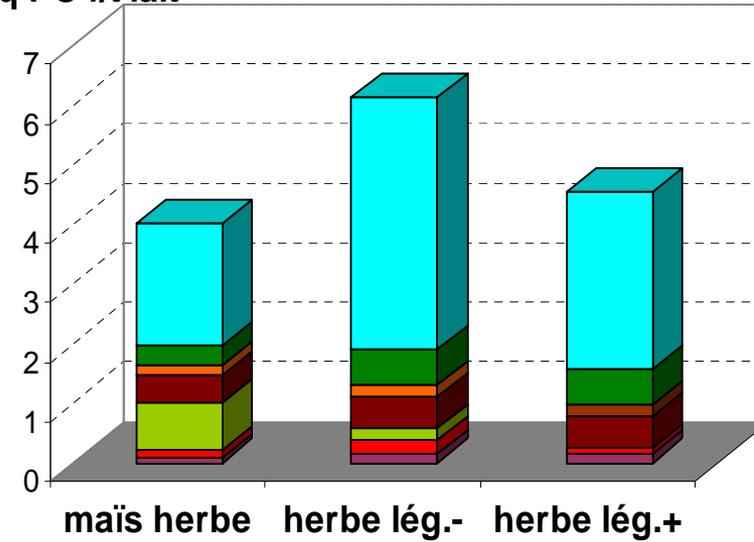
Herbe-Lég haut = 49.6 (-17) /ha SAUtot

Impact eutrophisation / type d'exploitation 1) par ha SAU 2) par 1000 l lait

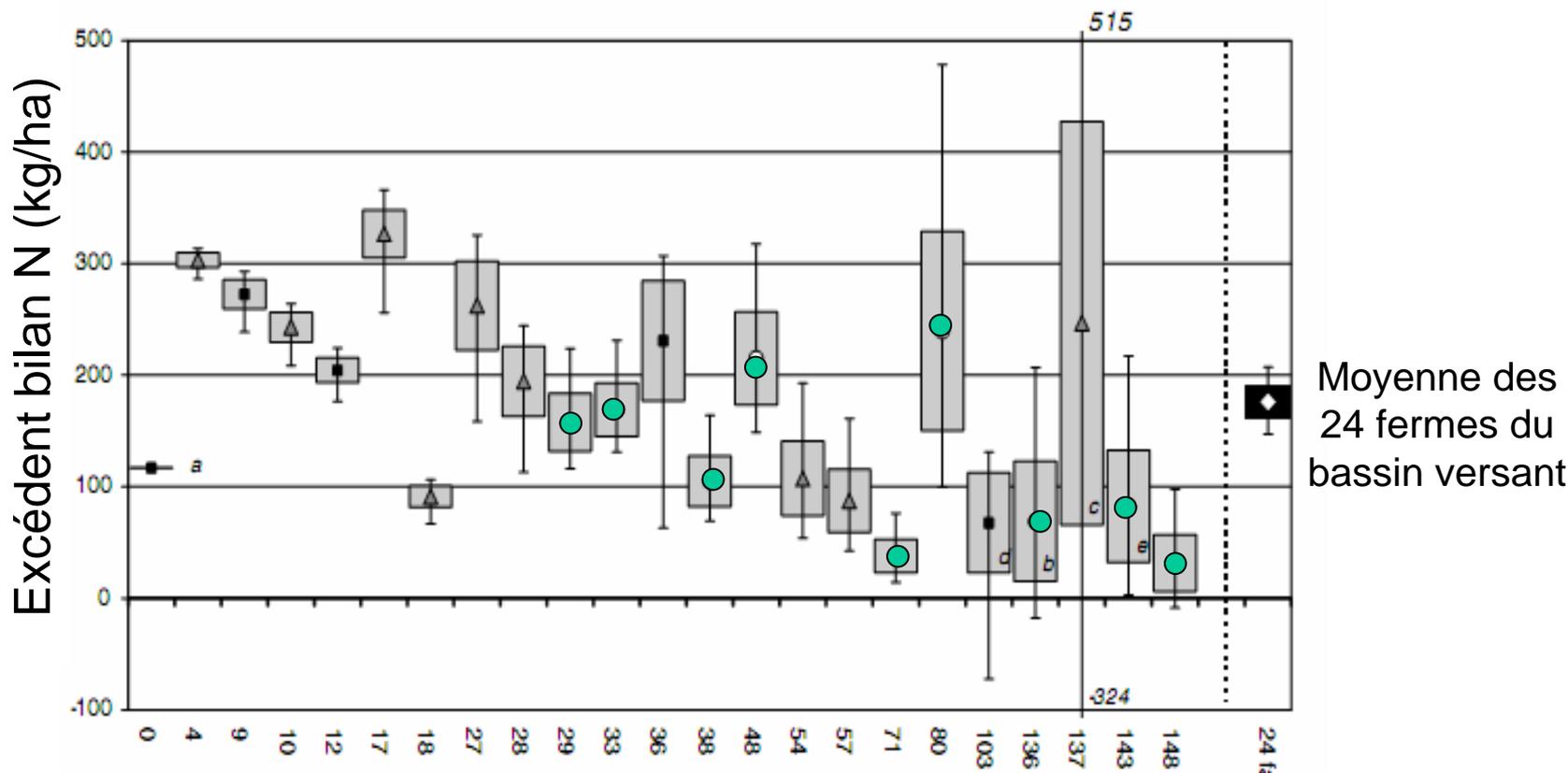
Eq PO4/ha



Eq PO4/t lait



Incertitudes (Monte Carlo): sur la biomasse de légumineuses, sur la fixation (Payraudeau et al, 2005)



Bénéfices Azote à l'exploitation

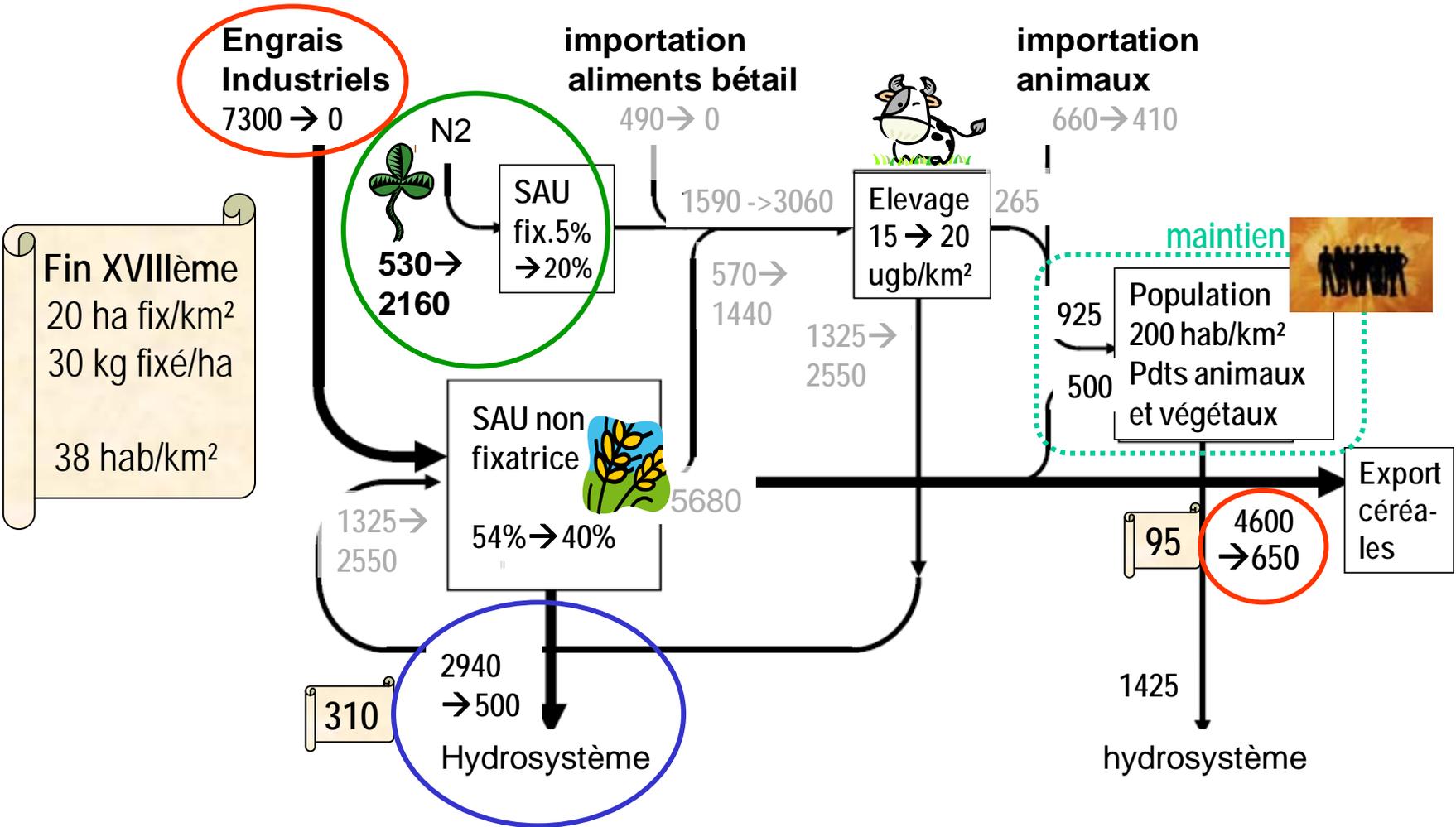
Légumineuses et agriculture durable

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Flux d'azote dans le bassin de la Seine : passé, présent et passage en bio

d'après Billen, 2010, séminaire Cascade Azote



Bassin de la Seine, 2005
kgN/km²/an

Legumineuses et
agriculture durable

AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Conclusions -Perspectives



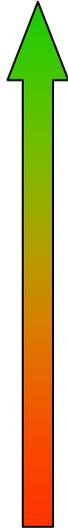
- Une économie directe et indirecte d'engrais, sans augmenter le risques de lixiviation
- Des postes mal connus (rhizodéposition, racines, contribution au stockage long terme de MOS)
- la pérennité des prairies complexes (% trèfle)
- des SdeC innovants à concevoir, tester, améliorer
 - Méthologie : réseaux + expérimentation + modèles
 - meilleure compréhension et modélisation des relations de compétition / facilitation (Semis de céréales dans couvert permanent petites légumineuses, Carof, 2008)
- Des outils d'évaluation multicritères (MASC, ACV,...) pour aider au choix de SdeC durables
- Une approche système transdisciplinaire pour trouver les clés d'une meilleure intégration des légumineuses dans des SdeP durables



Il y en a pour tous les goûts (d'après Huyghe, 2010)

aux sols humides, séchants, acides

Fléole
Fétuque élevée
Ray-grass (RGA-RGI)
Lotier
Trèfle violet
Trèfle blanc
Dactyle
Brome
Luzerne
Sainfoin



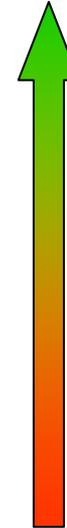
Luzerne
Dactyle
Sainfoin
Fétuques
Brome
Lotier
Trèfle blanc
Ray-grass
Trèfle violet
Fléole

Trèfle violet
Trèfle blanc
Lotier
Luzerne
Sainfoin



à la chaleur, au froid

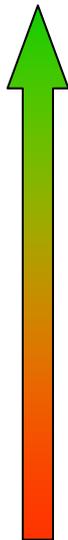
Luzerne
Sainfoin
Brome
Dactyle
Fétuque élevée
Lotier
Trèfle blanc
Ray-grass
Fléole
Trèfle violet



Fléole
Dactyle
Fétuque élevée
Luzerne
Trèfle blanc
Lotier
Trèfle violet
Ray-grass
Brome
Sainfoin

Pâturage ensilage/enrubannage foin

RGA
Trèfle blanc
Lotier
Dactyle
Fétuque élevée
Fléole
Brome, RGI
Trèfle violet
Sainfoin
Luzerne



RGI, Brome
Fétuque élevée
Lotier
Trèfle blanc
Dactyle
Fléole
RGA
Trèfle violet
Sainfoin
Luzerne

Fléole
Fétuque élevée
Luzerne
Sainfoin
Dactyle
RGI, Brome
RGA
Lotier
Trèfle blanc
Trèfle violet

Des aptitudes → des choix
Diversité variétale

Merci de votre attention

