



Évaluation des performances des associations graminées-légumineuses

Elise Pelzer, Nicolas Hombert, David Makowski

13 juin 2013

UMR Agronomie

Elise.Pelzer@grignon.inra.fr



Association d'espèces

Culture simultanée de deux espèces ou plus dans un même espace

(Willey et al, 1979)

Diversité d'associations

– Associations annuelles de deux cultures de rentes

- Céréales : blé tendre/dur (hiver/printemps), orge, triticales...
- Légumineuses : pois (hiver/printemps), féverole, vesce...

– Associations pluriannuelles de deux cultures (associations prairiales)

- Légumineuse comme plante de service (non récoltée)
- Couverture permanente du sol (SCV)
- Agroforesterie

Diversité de débouchés : **grains**, fourrage, énergie



Pois-blé, grain



Triticale-vesce-pois-avoine, fourrage



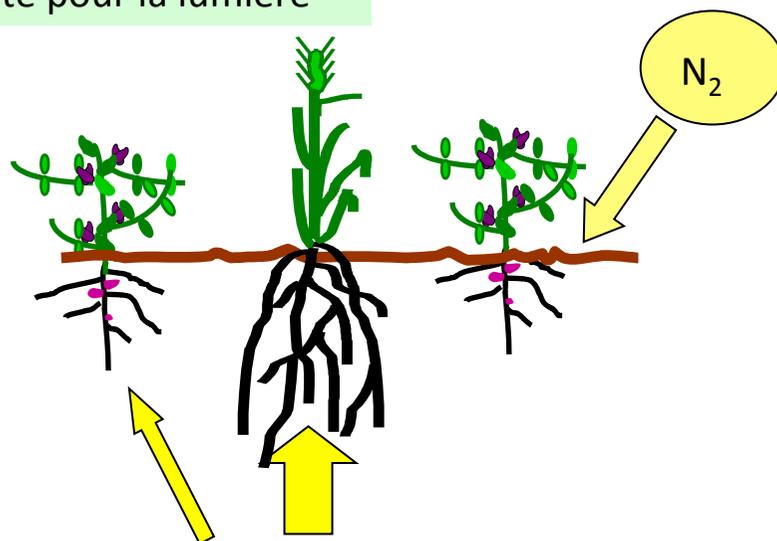
Triticale-vesce, bioénergie



Associations annuelles céréales-légumineuses

- Utilisation optimale des deux sources d'azote : minérales et atmosphériques

Complémentarité pour la lumière



Optimisation de la fixation symbiotique chez la légumineuse

Rq : cas des associations annuelles : pas/peu de transfert direct de la légumineuses vers la céréale

Compétitivité de la graminée (système racinaire)

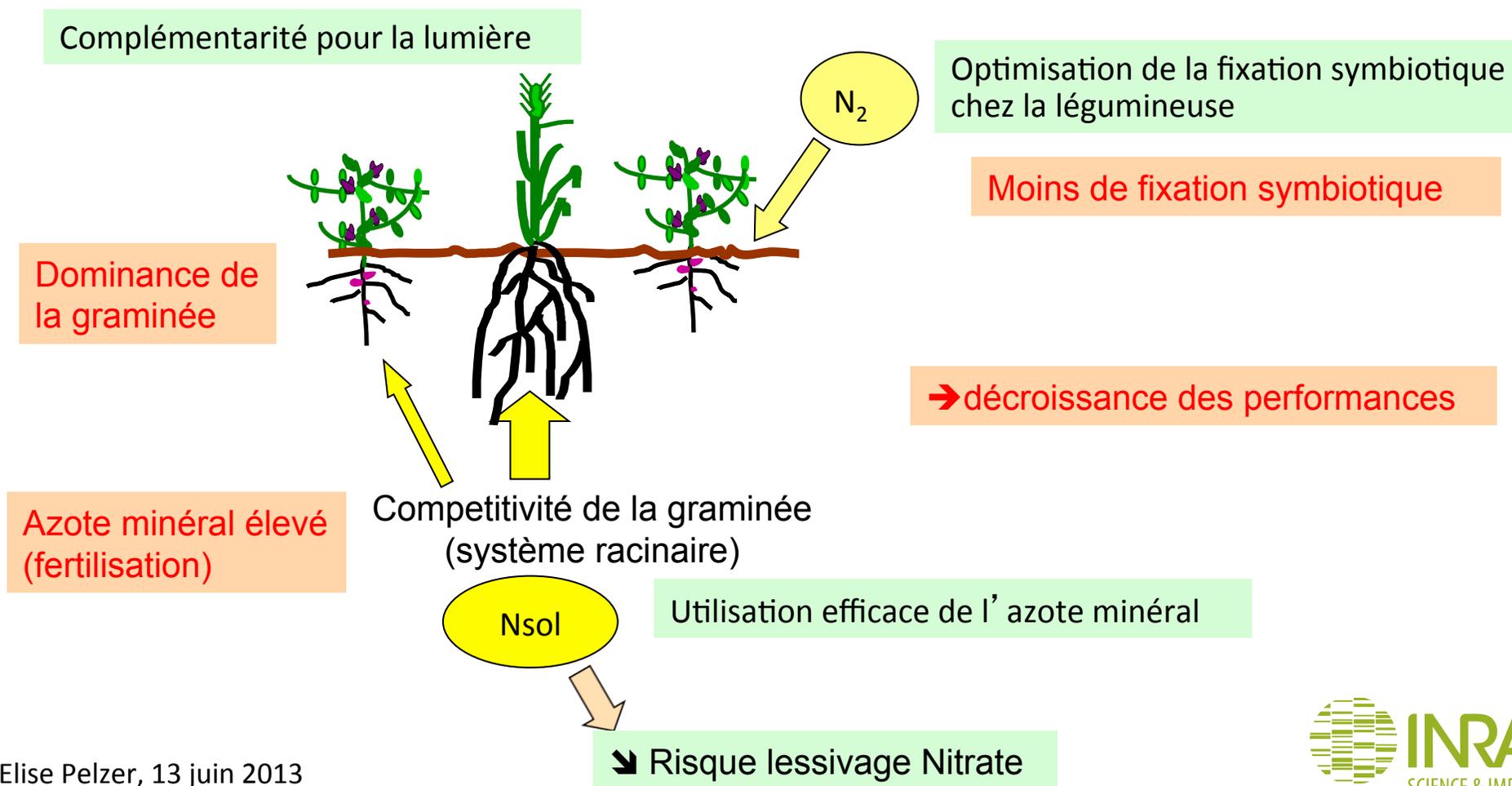
Utilisation efficace de l'azote minéral

↘ Risque lessivage Nitrate



Associations annuelles céréales-légumineuses

- Utilisation optimale des deux sources d'azote : minérales et atmosphériques





Associations annuelles céréales-légumineuses

Performances attendues

- Agronomiques

Liées à utilisation optimales des 2 sources de N

- Rendement
- Qualité (ex : taux de protéines)

- Environnementales

Liées à réduction de la fertilisation azotée

- Pertes nitrates / légumineuses pures
- Émissions GES (CO₂ et N₂O)
- Coût énergétique de production

- Économiques

Liées à réduction des intrants, mais dépend valorisation (tri)



Objectif de la méta-analyse

Nombreuses études sur les associations annuelles céréales-légumineuses dans le monde

- ➔ Aucune synthèse globale quantitative n'a été réalisée pour quantifier leurs performances agronomiques et environnementales

Objectif de l'étude :

- ➔ Quantifier les performances des associations annuelles céréales-légumineuses en fonction de la fertilisation azotée



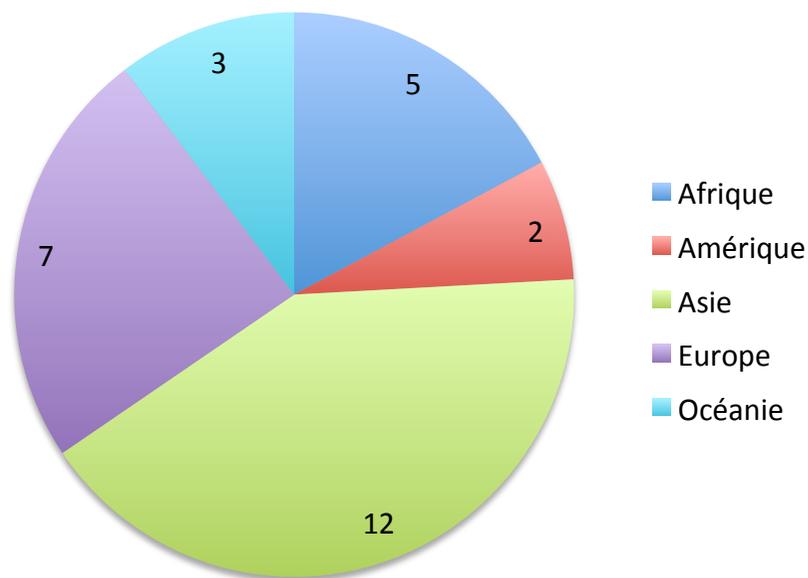
Recherche bibliographique

- Recherche bibliographique
 - Equation de recherche dans 4 bases de données (Web of science, CAB, Food science and technology, MEDLINE)
(« nitrogen » or « N ») and « intercrop* »
 - Sélection des articles traitant des associations annuelles céréales-légumineuses
 - Sélection des articles faisant varier le niveau de fertilisation azotée



Recherche bibliographique

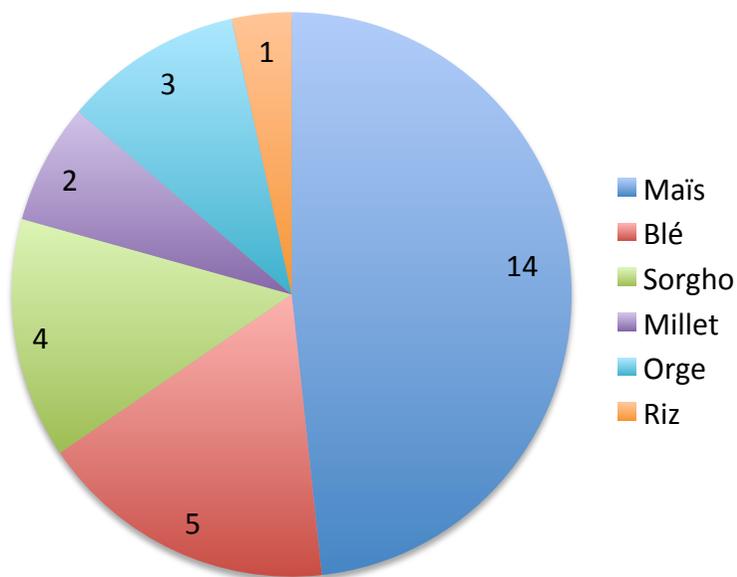
- 28 articles trouvés
 - Zones géographiques
 - Tous les continents sont représentés





Recherche bibliographique

- 28 articles trouvés
 - Espèces de céréales représentées
 - Diversité des espèces
 - On retrouve les espèces majoritairement cultivées dans le monde (FAO 2010)
 - Riz peu étudié car peu propice à l'association



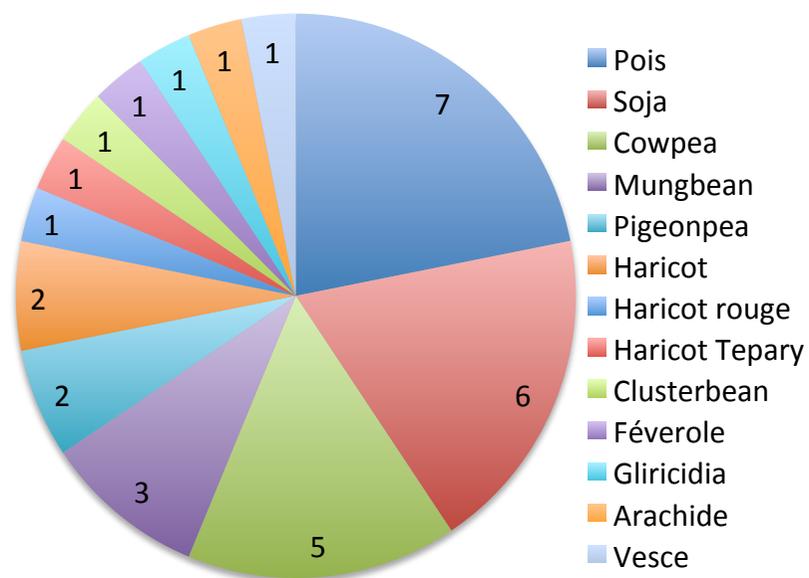
Espèces	Surfaces cultivées en graminées (ha)
Blé	216 974 683
Maïs	164 104 519
Riz	153 652 007
Orge	47 892 680
Sorgho	40 508 600
Mils	35 126 976
Avoine	9 054 956
Seigle	5 327 477
Triticale	3 926 078

Données FAOSTAT 2010



Recherche bibliographique

- 28 articles trouvés
 - Espèces de légumineuses représentées
 - Diversité des espèces (encore plus que les céréales)
 - On retrouve les espèces majoritairement cultivées dans le monde (FAO 2010)



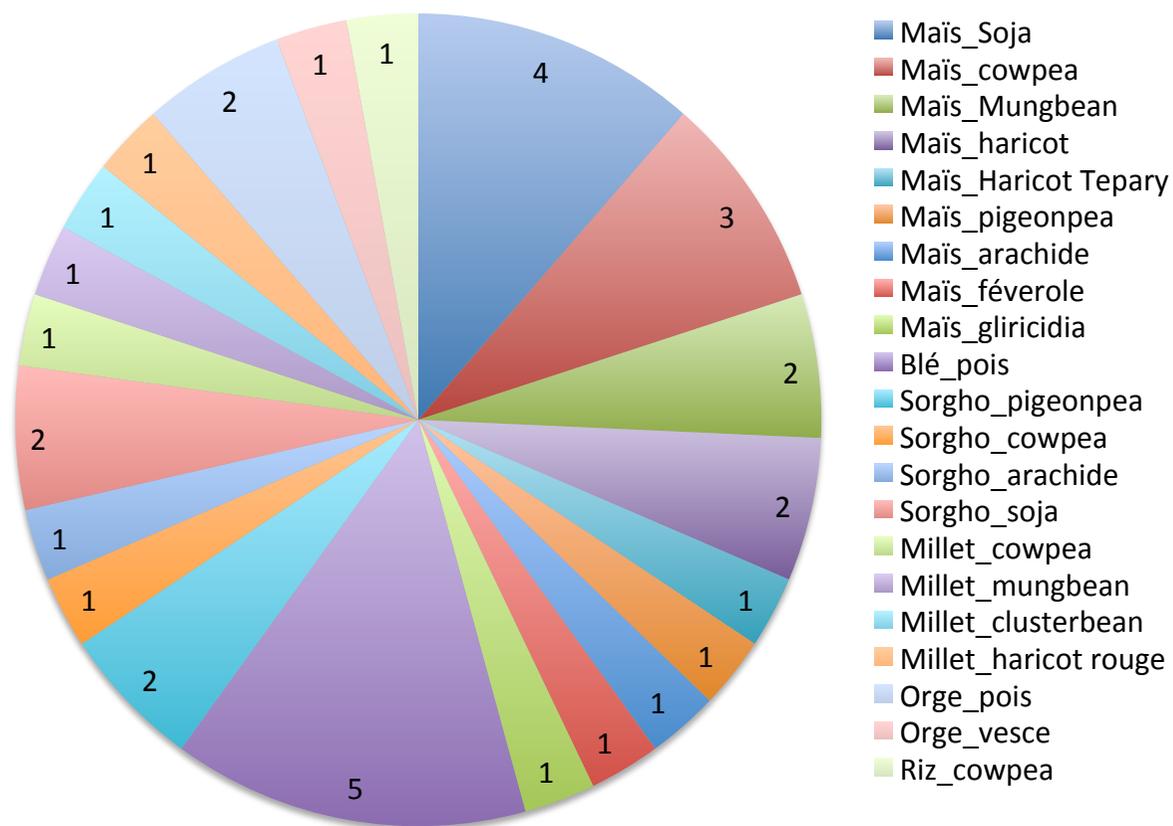
	Surface cultivées en légumineuses (ha)
Soja	102 386 923
Pois	35 712 110
Haricots	31 624 983
Arachides	24 069 708
Lentilles	4 189 502
Fèves	2 559 773
Lupins	779 284
Vesces	504 465

Données FAOSTAT 2010



Recherche bibliographique

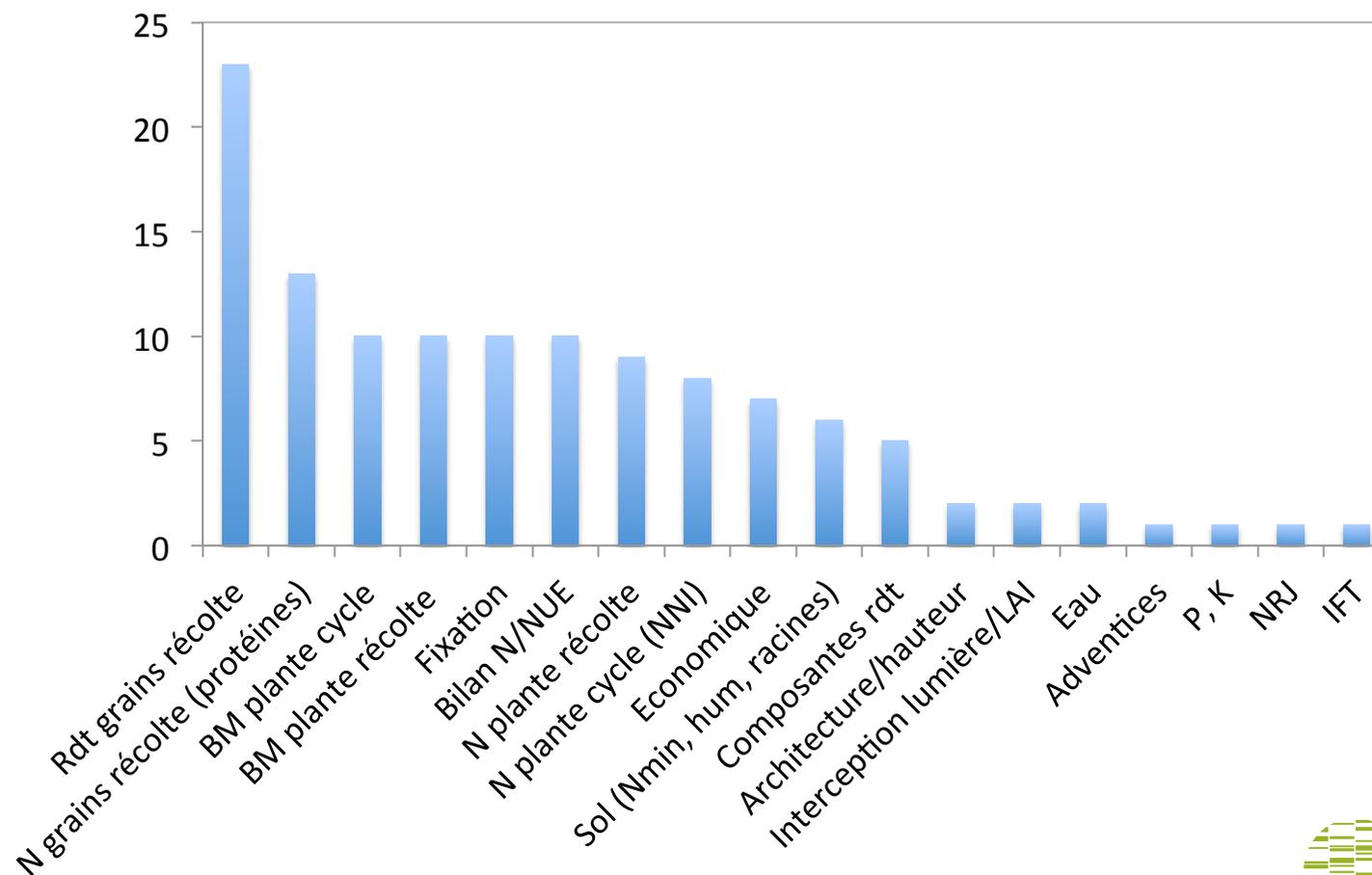
- 28 articles trouvés
 - Grande diversité d'associations





Recherche bibliographique

- 28 articles trouvés
 - Variables de réponses étudiées : surtout rendement et développement/croissance plante, impacts environnementaux peu étudiés



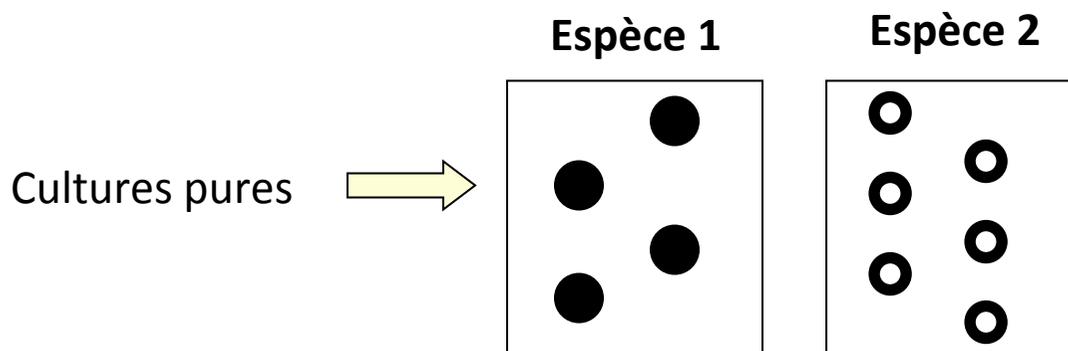


Objectif de la méta-analyse

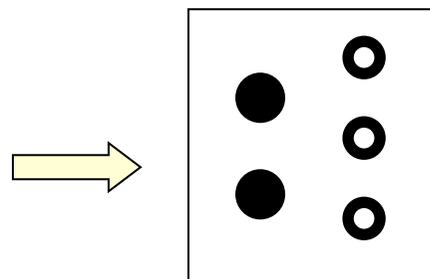
Sous-objectif

➔ Quantifier l'effet de la fertilisation azotée sur le rendement des associations céréales-légumineuses

Articles avec associations substitutives 50-50



Substitutive (*replacement*) : on remplace des plantes d'une espèce par des plantes d'une autre espèce



50% densité semis espèce 1 - 50% densité semis espèce 2



Articles sélectionnés

- 9 articles, données expérimentales supplémentaires

Country	Papers	Species	Number of experimental units
Denmark	Hauggaard-Nielsen et al. 2001	Spring barley-pea	48
	Jensen, 1996	Spring barley-pea	8
	Ghaley et al. 2005	Spring wheat-pea	3
France	Bedoussac et al. 2009	Winter durum wheat-pea	7
	Pelzer et al. 2012	Winter soft wheat-pea	14
	Pelzer, non-published data	Winter soft wheat-pea	3
Brazil	Cardoso et al. 2007	Maize-common bean	6
Philippines	Chowdhury et al. 1994	Maize-mungbean	4
Iran	Mohsenabadi et al. 2008	Winter barley-vetch	3
Zambia	Siame et al. 1998	Maize-bean (<i>Phaseolus</i>)	20

- Unité expérimentale : combinaison site*année*variétés*dose N (même dose sur céréale et association)
- Jensen 1996 non pris en compte dans LER et calculs de marge car manque les rendements par espèce dans l'association



Indicateurs étudiés

- LER : surface relative en culture pure nécessaire pour obtenir le même rendement (grain, biomasse...) qu'en association (Willey, 1979)
- $LER = LER(C) + LER(L)$

$$LER(C) = \frac{Y_{IC}(C)_X}{Y_{SC}(C)_X} \quad LER(L) = \frac{Y_{IC}(L)_X}{Y_{SC}(L)_0}$$

LER(C)/LER(L): LER partiels céréale/légumineuse

$Y_{IC}(C)_X$: rdt céréale association, fertilization X (inclu X=0)

$Y_{SC}(C)_X$: rdt céréale pure, fertilization X

$Y_{IC}(L)_X$: rdt légumineuse association, fertilization X

$Y_{SC}(L)_0$: rdt légumineuse pure non fertilisée

- $LER > 1$: il faut plus d'une unité de surface en cultures pures pour produire la même chose qu'une unité de surface en association
- $LER(C)/(L) > 0,5$: culture en association produit plus que $\frac{1}{2}$ culture pure



Indicateurs étudiés

- Ratio rendements : comparaison, pour une même surface, du rendement en grains en association (1 ha association) et du rendement en grains en culture pure (0.5 ha céréale, 0.5 légumineuse)

$$Ratio_{Yield} = \frac{Y_{IC}(C)_X + Y_{IC}(L)_X}{\frac{1}{2}(Y_{SC}(C)_X + Y_{SC}(L)_0)}$$

$Y_{IC}(C)_X$: rdt céréale association, fertilization X (inclu X=0)

$Y_{SC}(C)_X$: rdt céréale pure, fertilization X

$Y_{IC}(L)_X$: rdt légumineuse association, fertilization X

$Y_{SC}(L)_0$: rdt légumineuse pure non fertilisée

- Ratio > 1 : association plus productive que cultures pures sur une unité de surface



Indicateurs étudiés

- Ratios marges : comparaison, pour une même surface (1 ha), du gain économique entre une association et culture pure (céréale cultivée seule sur 1 ha, ou céréale et légumineuses cultivées seules sur 0,5+0,5 ha)

$$Ratio1_{Margin} = \frac{Y_{IC}(C)_X * P(C) + Y_{IC}(L)_X * P(L) - C_{sorting} - X * C_N}{Y_{SC}(C)_X * P(C) - X * C_N}$$

$$Ratio2_{Margin} = \frac{Y_{IC}(C)_X * P(C) + Y_{IC}(L)_X * P(L) - C_{sorting} - X * C_N}{\frac{1}{2} (Y_{SC}(C)_X * P(C) + Y_{SC}(L)_0 * P(L) - X * C_N)}$$

$Y_{IC}(C)_X$: rdt céréale association, fertilization X (inclu X=0) ; $Y_{SC}(C)_X$: rdt céréale pure, fertilization X

$Y_{IC}(L)_X$: rdt légumineuse association, fertilization X ; $Y_{SC}(L)_0$: rdt légumineuse pure non fertilisée

P(C) prix vente céréale (100-150-200 €/t) ; P(L) prix vente légumineuse (130-180-230 €/t) ; quelques soient les espèces de céréales et légumineuses

C_N : coût engrais N (1-1.5-2 €/kg) ; $C_{sorting}$: coût de tri (15€/t)

- Ratio > 1 : marge association plus élevée que marge cultures pures



Analyses statistiques

- Analyse graphique LER(C)/LER(L) (Bedoussac et al. 2011)
- Régression quantile (Koenker and Bassett, 1978; Cade and Noon, 2003; Makowski et al. 2010)
 - Variables de réponse : LER, ratio rendement et ratios marge
 - Facteurs explicatif : dose fertilization N
 - Relation linéaire
 - Quantiles 0.25, 0.5, 0.75
 - Fonction rq package quantreg de R (Koenker, 2005)



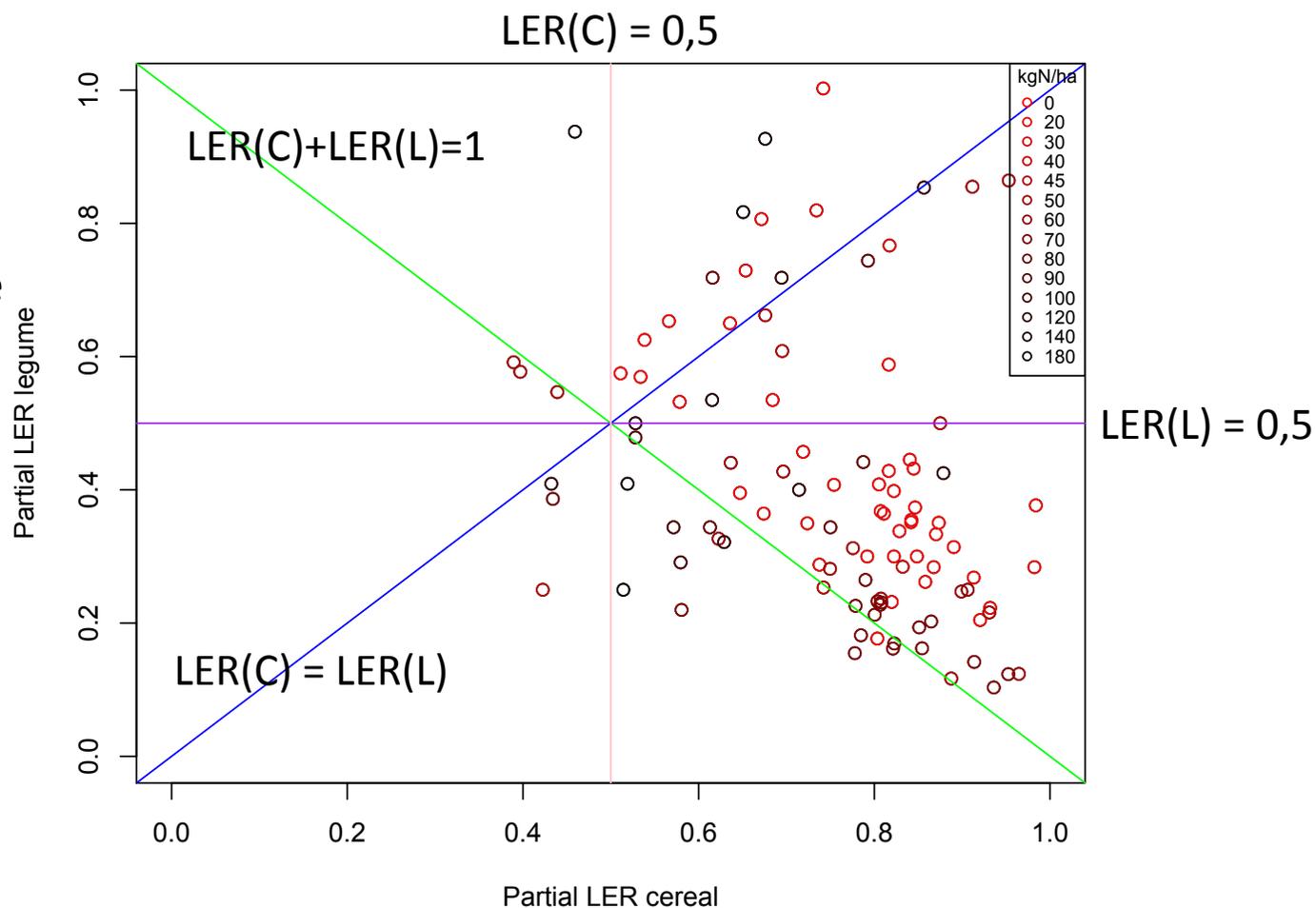
LER

Le plus souvent,
quelque soient espèces
et doses N

- LER > 1
- LER(C) > 0,5 alors que LER(L) < 0,5
- LER(C) > LER(L)

$$LER(C) = \frac{Y_{IC}(C)_X}{Y_{SC}(C)_X}$$

$$LER(L) = \frac{Y_{IC}(L)_X}{Y_{SC}(L)_0}$$





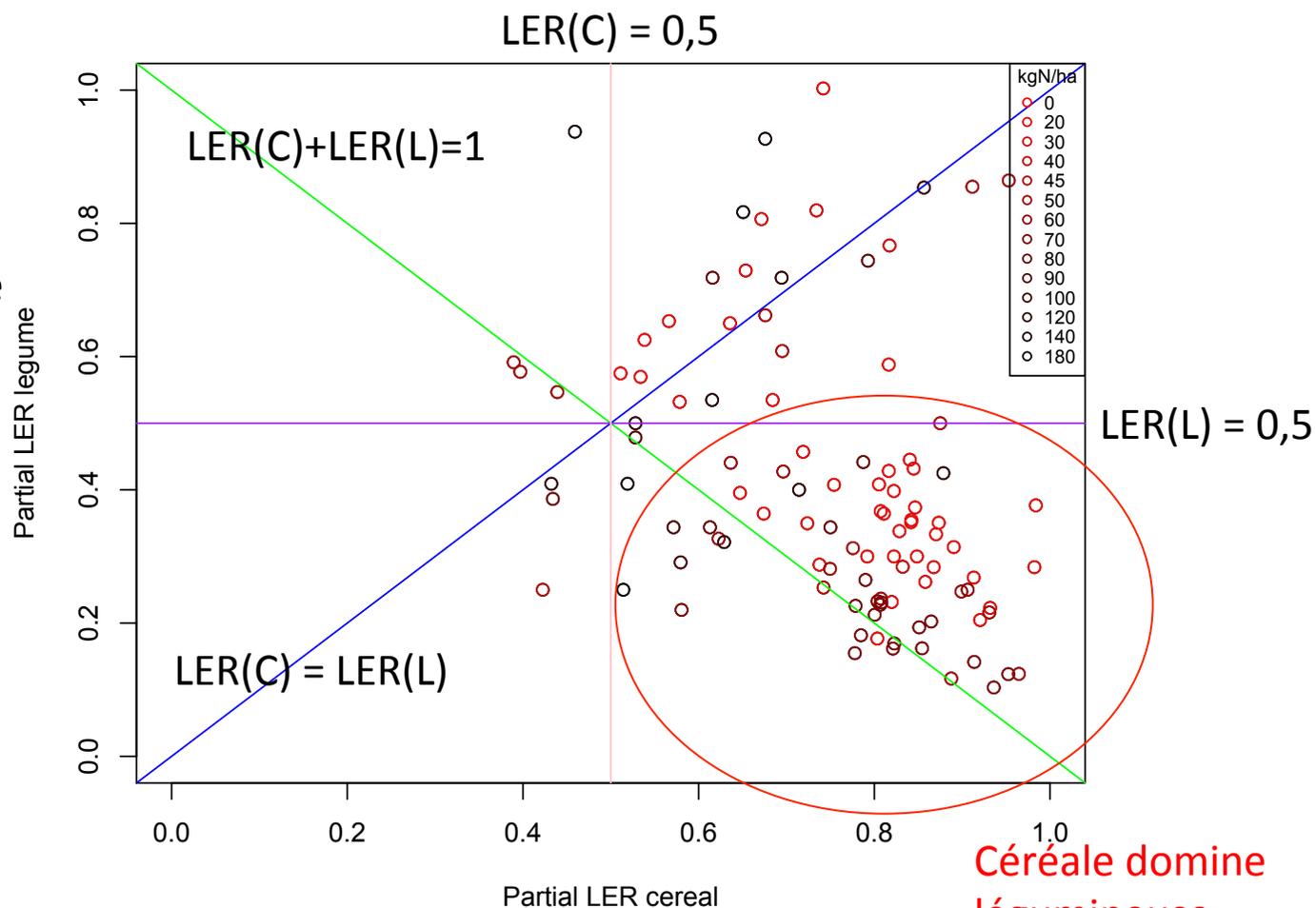
LER

Le plus souvent,
quelque soient espèces
et doses N

- LER > 1
- LER(C) > 0,5 alors que LER(L) < 0,5
- LER(C) > LER(L)

$$LER(C) = \frac{Y_{IC}(C)_X}{Y_{SC}(C)_X}$$

$$LER(L) = \frac{Y_{IC}(L)_X}{Y_{SC}(L)_0}$$



Céréale domine
légumineuse





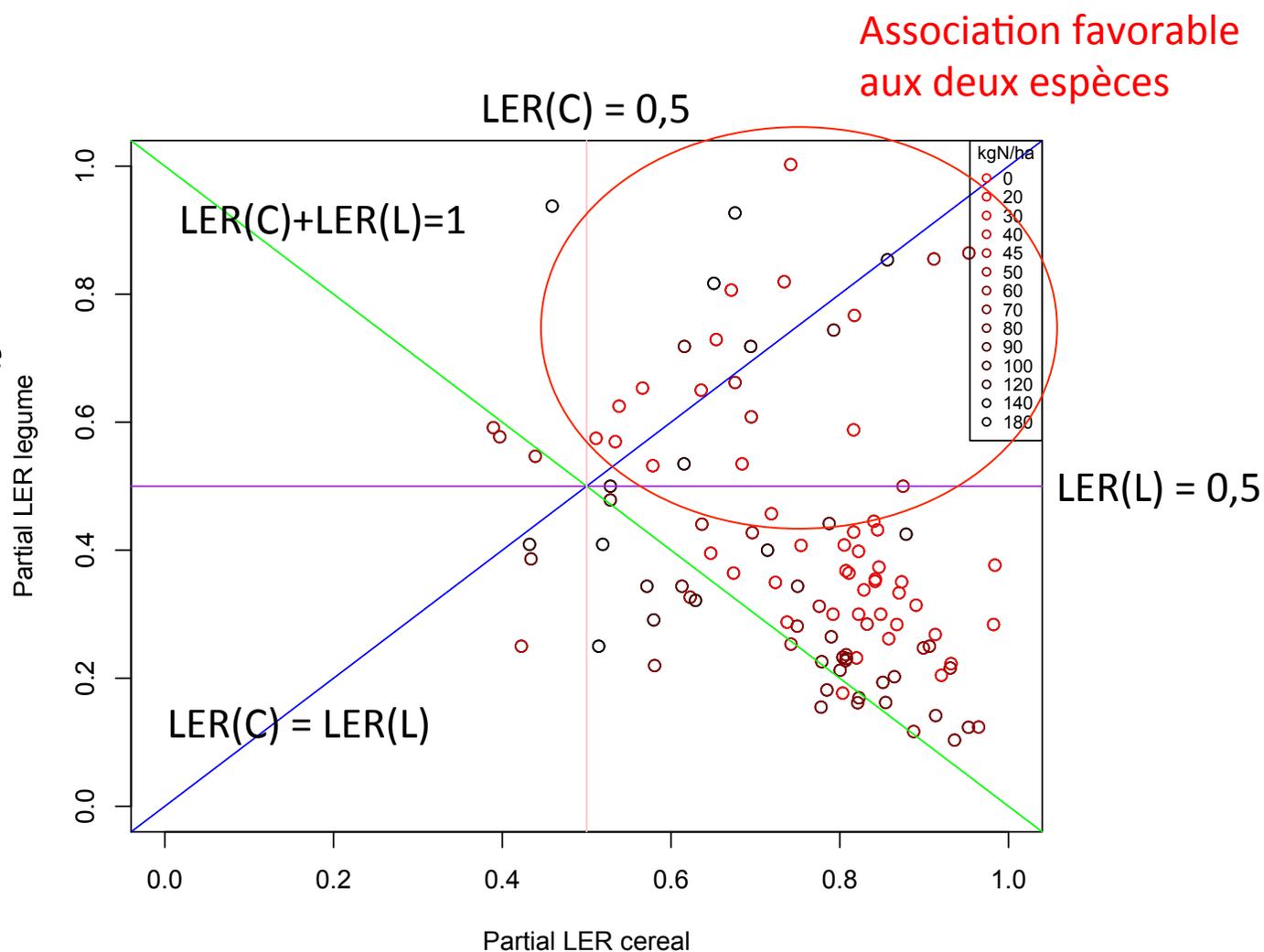
LER

Le plus souvent, quelque soient espèces et doses N

- LER > 1
- LER(C) > 0,5 alors que LER(L) < 0,5
- LER(C) > LER(L)

$$LER(C) = \frac{Y_{IC}(C)_X}{Y_{SC}(C)_X}$$

$$LER(L) = \frac{Y_{IC}(L)_X}{Y_{SC}(L)_0}$$



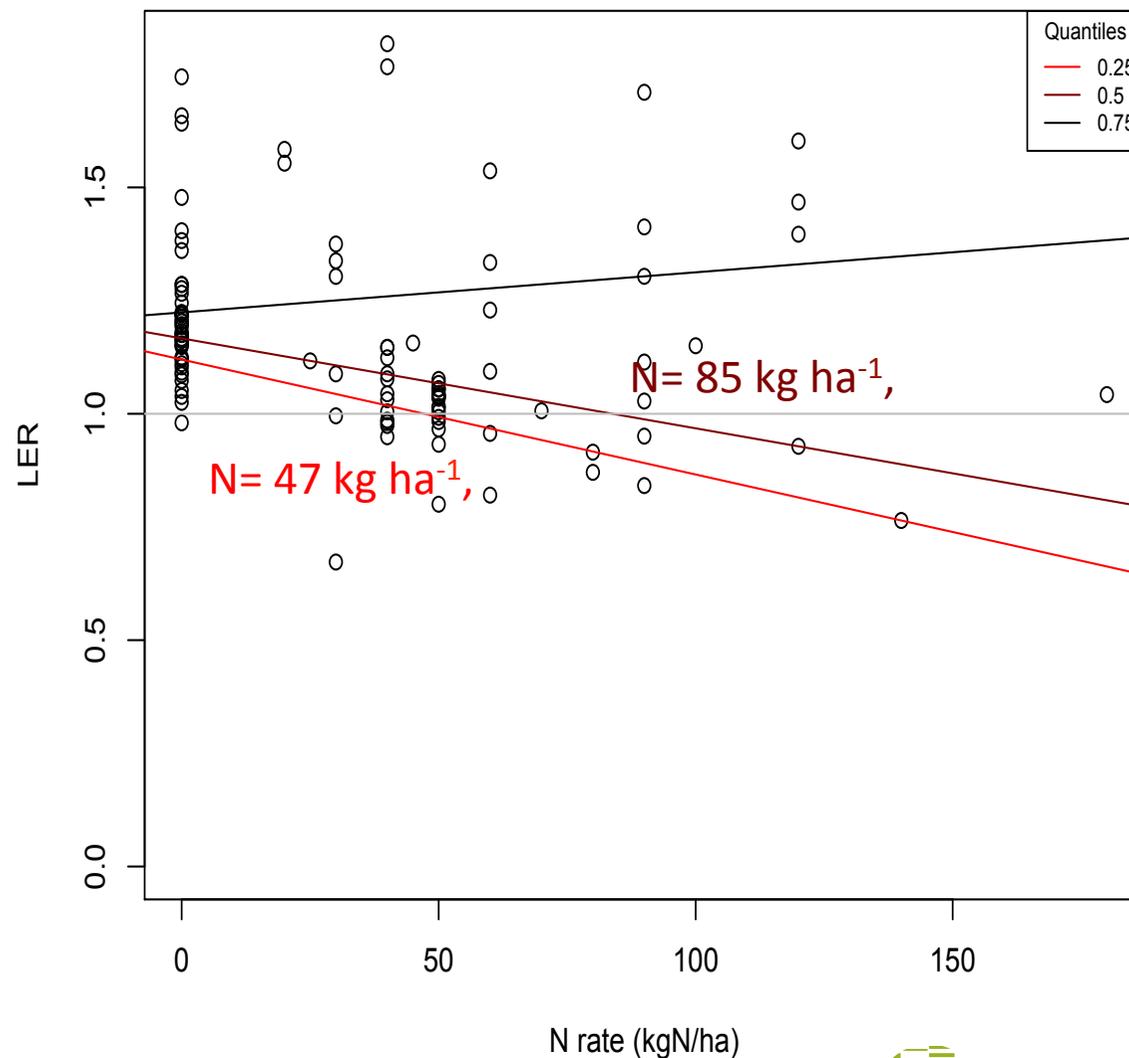


LER

- Forte variabilité des résultats, même pour une dose d'azote donnée
- Souvent, $LER > 1$, en particulier dans les situations moins/non fertilisées
- Dose N < 45 kg/ha → probabilité > 75% d'obtenir un $LER > 1$

$$LER(C) = \frac{Y_{IC}(C)_X}{Y_{SC}(C)_X}$$

$$LER(L) = \frac{Y_{IC}(L)_X}{Y_{SC}(L)_0}$$

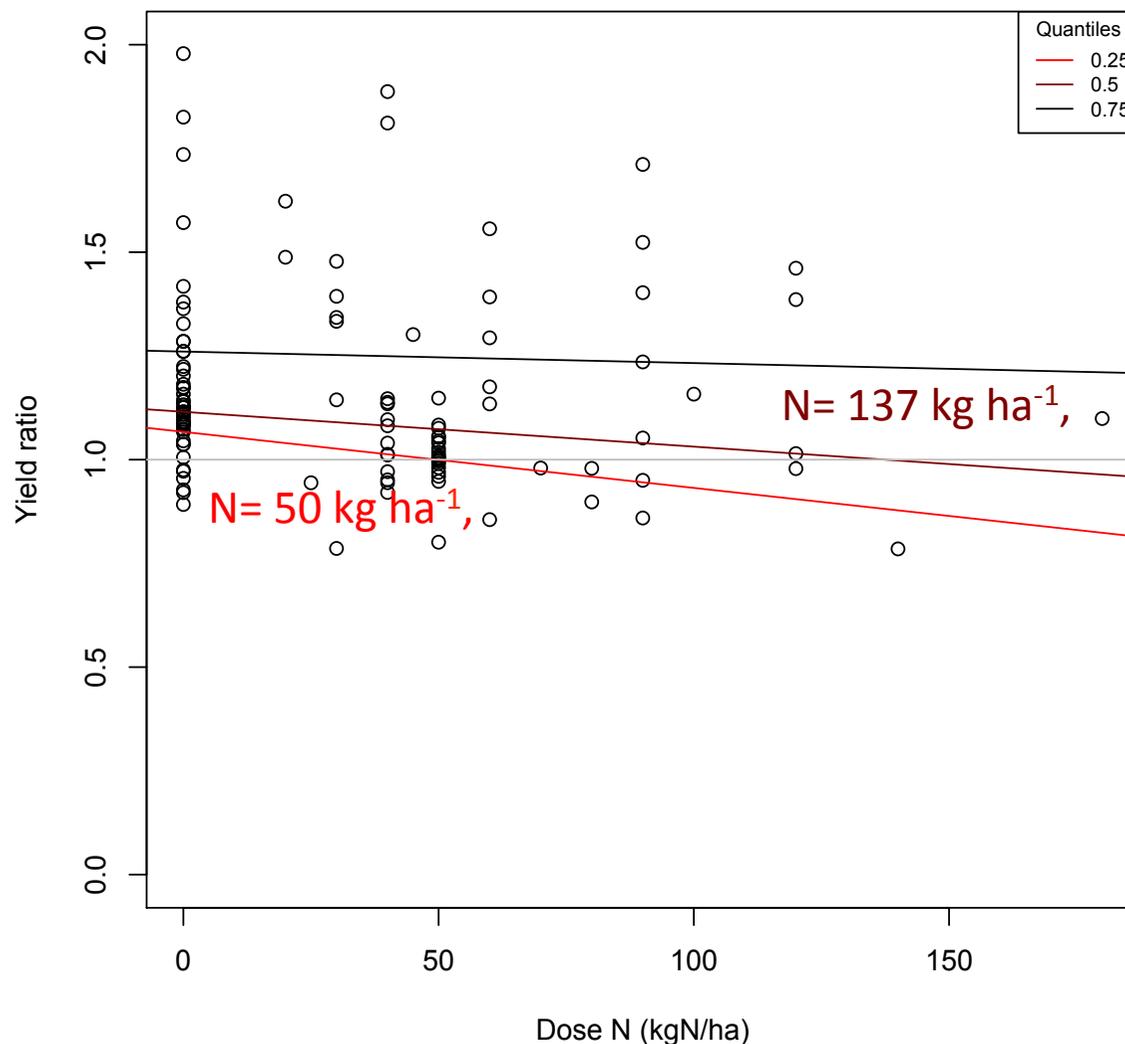




Ratio Rendement

- Ratio moyen 1.15, médiane 1.09, 1^{er} quartile 1
- Forte variabilité des résultats, même pour une dose d'azote donnée
- Souvent, ratio > 1, en particulier dans les situations moins/non fertilisées
- Dose N < 50 kg/ha → probabilité > 75% d'obtenir un ratio > 1

$$Ratio_{Yield} = \frac{Y_{IC}(C)_X + Y_{IC}(L)_X}{\frac{1}{2}(Y_{SC}(C)_X + Y_{SC}(L)_0)}$$





Ratio marge / céréale pure

Proportion de situations où ratio >1

	100/130 € t ⁻¹	150/180 € t ⁻¹	200/230 € t ⁻¹
N = 1 € kg ⁻¹	41.7%	47.2%	51.9%
N = 1.5 € kg ⁻¹	41.7%	47.2%	51.9%
N = 2 € kg ⁻¹	42.6%	47.2%	51.9%

- Céréale pure plutôt plus intéressante économiquement que association
- Peu de différences selon le coût de l'engrais N
- Prix de vente élevé plus favorable à l'association / céréale pure

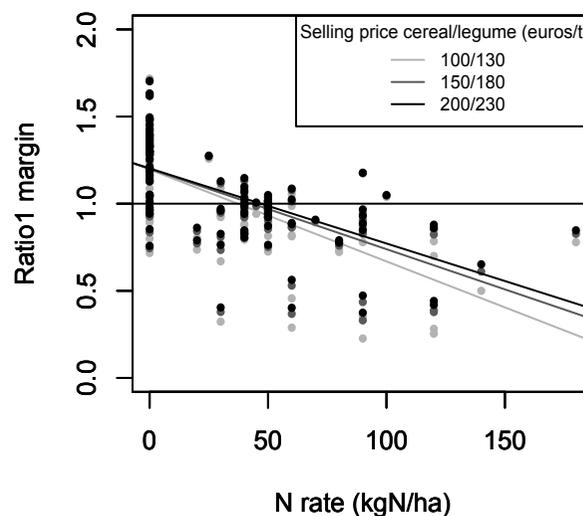
$$Ratio1_{Margin} = \frac{Y_{IC}(C)_X * P(C) + Y_{IC}(L)_X * P(L) - C_{sorting} - X * C_N}{Y_{SC}(C)_X * P(C) - X * C_N}$$



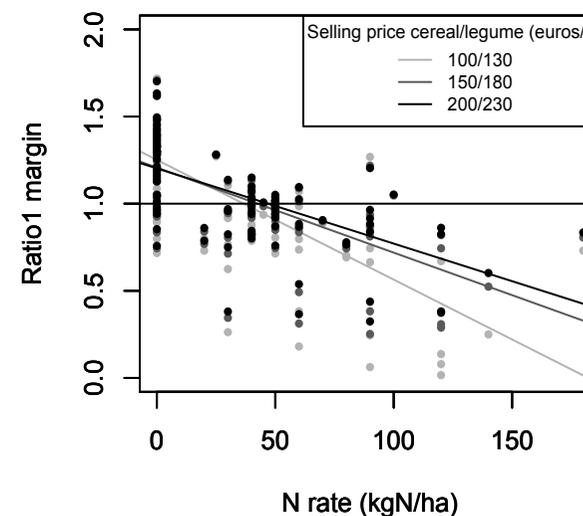
Ratio marge / céréale pure

- Céréale pure plus intéressante que association pour doses N élevées (quelque soient coût N et prix vente)
- Quantile 0.5 : dose N = 33-47 kg ha⁻¹ (fonction coût N et prix vente), 50% situations avec ratio < 1 et 50% avec ratio > 1

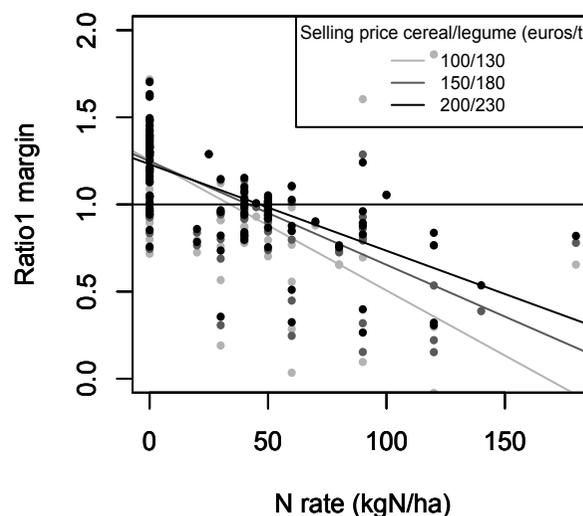
Nitrogen cost: 1 euro



Nitrogen cost: 1.5 euro



Nitrogen cost: 2 euro





Ratio marge / céréale + légumineuse pures

Proportion de situations où ratio >1

	100/130 € t ⁻¹	150/180 € t ⁻¹	200/230 € t ⁻¹
N = 1 € kg ⁻¹	50.0%	56.5%	59.3%
N = 1.5 € kg ⁻¹	45.4%	52.8%	57.4%
N = 2 € kg ⁻¹	40.7%	49.1%	54.6%

- Association plutôt plus intéressante économiquement que cultures pures
- Coût N élevé défavorable à l'association comparée aux deux cultures pures
- Prix de vente élevé plus favorable à l'association / céréale et légumineuse pures

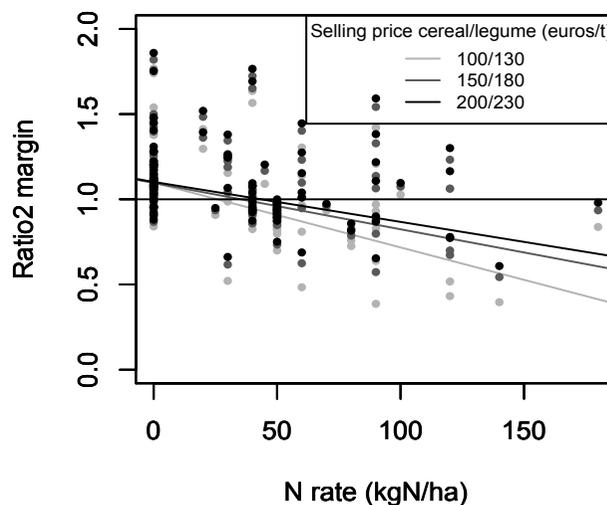
$$Ratio2_{Margin} = \frac{Y_{IC}(C)_X * P(C) + Y_{IC}(L)_X * P(L) - C_{sorting} - X * C_N}{\frac{1}{2}(Y_{SC}(C)_X * P(C) + Y_{SC}(L)_0 * P(L) - X * C_N)}$$



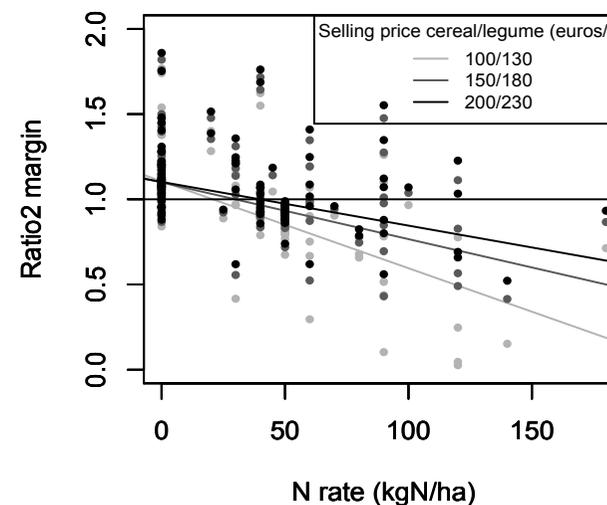
Ratio marge / céréale + légumineuse pures

- Céréale et légumineuses pures plus intéressantes que association pour doses N élevées (quelque soient coût N et prix vente)
- 0.5 quantile : dose N = 18-44 kg ha⁻¹ (fonction coût N et prix vente), 50% situations avec ratio < 1 et 50% avec ratio > 1
- Seuils un peu plus élevés à prix vente élevés et coût N faible

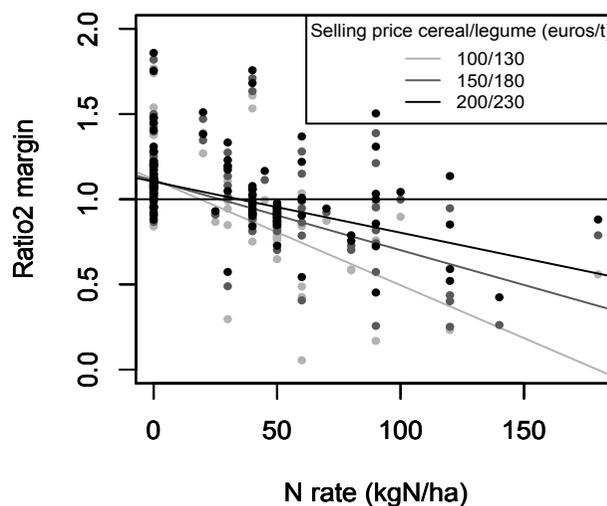
Nitrogen cost: 1 euro



Nitrogen cost: 1.5 euro



Nitrogen cost: 2 euro





Conclusions

- LER, ratio rendement
 - ➔ L'association est performante à faibles dose N (<50 kgN)
 - ➔ L'association profite essentiellement à la graminée quelque soit le couple d'espèces associées
- Ratios marge
 - ➔ Fertilisation nulle ou faible : les associations permettent de dégager des bénéfices plus importants que les cultures pures
 - ➔ Fertilisation azotée : les associations sont désavantagée par rapport à céréale pure mais plus avantagée par rapport à cultures pures céréale et légumineuse
- Marge simplifiée (autres intrants : semences, pesticides)
- Dépend de la valorisation (tri pris en compte mais peut ne pas être nécessaire)



Perspectives

- Valorisation en cours
 - Vérifier recherche bibliographique
 - Affiner les analyses statistiques et les interprétation
- Projet de thèse
 - Méta-analyse des performances et impacts des légumineuses (pures ou associées) dans les systèmes de culture