



Diversification through Rotation, Intercropping, Multiple Cropping, Promoted by Actors and Value Chains towards Sustainability



Un indicateur de Diversité Globale des Cultures des Rotations

Christian Bockstaller¹, Olivier Keichinger², Loïc Viguier³, Guenaëlle Hellou³, Frédérique Angevin⁴

¹INRAE LAE, ²Independent, ²ESA Angers LEVA ³INRAE EcoInnov,

15 janvier 2021



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 727482 (DiverIMPACTS)

Introduction

- La diversification: un levier clé de la durabilité des systèmes agricoles (Zhang et al., 2020)
- Pour fournir des services écosystémiques (SE) (Bommarco et al., 2013; Tamburini et al., 2020)
- Spatiale (association, etc.) and temporelle (rotation)
- **Comment aller plus loin qu'un indicateur basé sur le nombre de cultures ou un indice de diversité (Shannon, etc.)?**
- Comment évaluer la diversité des cultures et son rôle de support aux SE ?

Principes guidant la conception

- L'indicateur doit traiter des divers aspects de la diversité des cultures :
 - **Fonctionnelle** en relation avec les SE
 - **Taxonomique** : plus de diversité plus de durabilité : cf. rotation maïs/soja (Pikul et al. 2005)
 - **Temporelle et spatiale**
- Structure hiérarchique
 - Des sous-indicateurs non agrégés pour l'analyse
 - Des indicateurs agrégés pour l'évaluation globale et la comparaison des systèmes
- basée sur des données biblio et connaissances expertes
- Calcul basé sur données cultures (rotation, association, configuration spatiale)

Structure générale de l'indicateur (1/2)

Type de diversité

Fonctionnelle

Taxonomique

Echelle

Temporelle

Temporelle

Spatiale

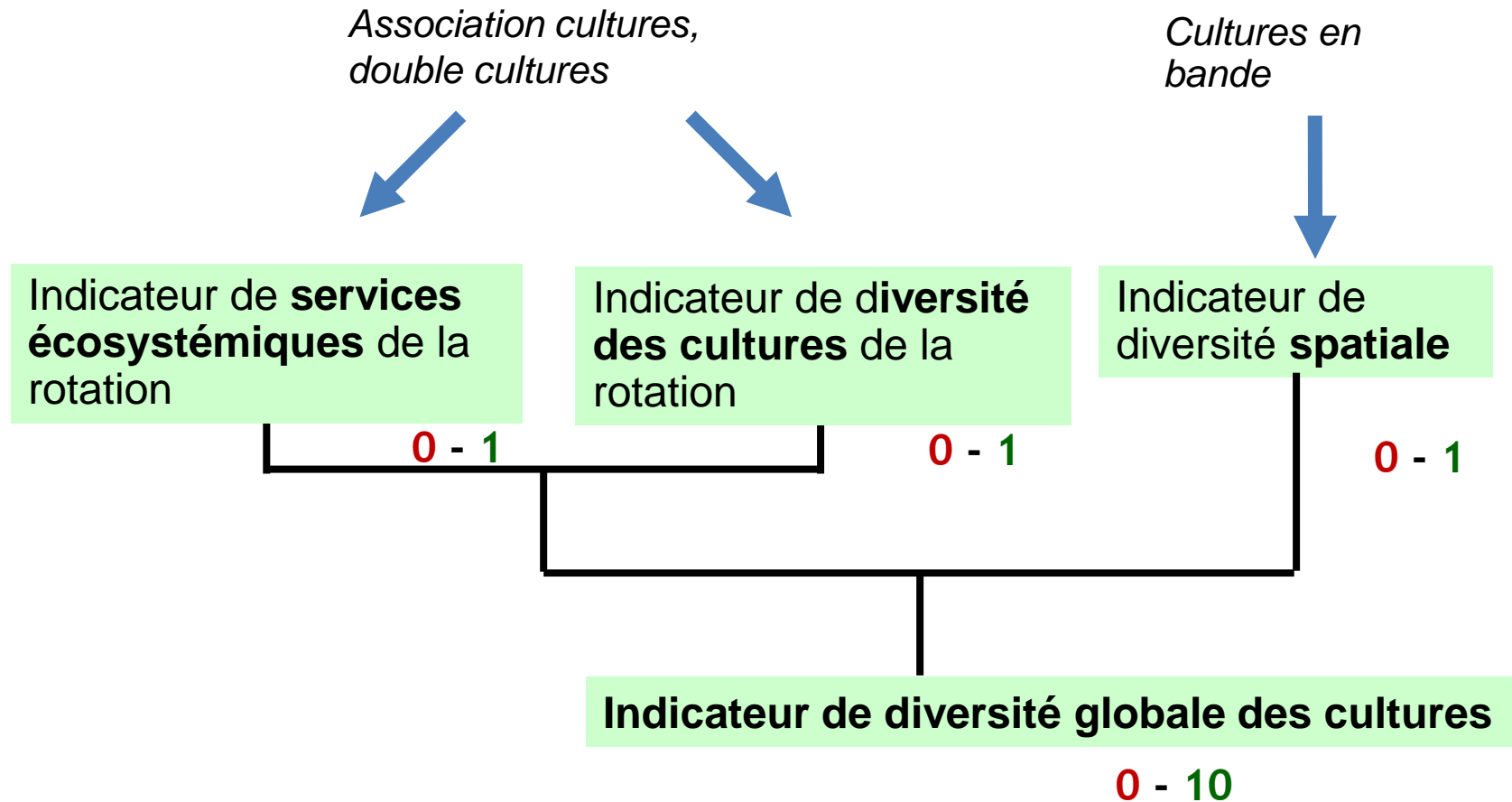
Indicateur de **services écosystémiques** de la rotation

Indicateur de **diversité des cultures** de la rotation

Indicateur de diversité **spatiale**

Indicateur de **diversité globale des cultures**

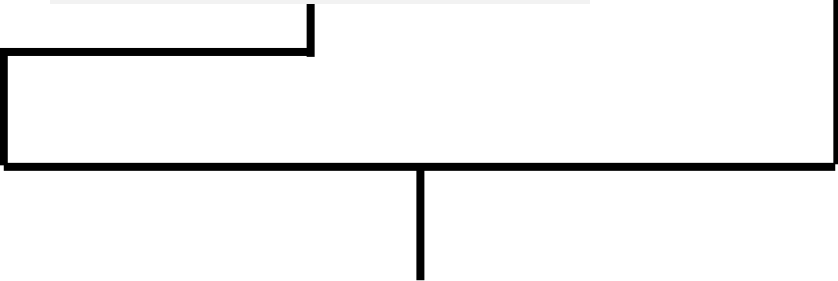
Structure générale de l'indicateur (2/2)



Indicateur de **services écosystémiques** de la rotation

Indicateur de **diversité des cultures** de la rotation

Indicateur de diversité **spatiale**



Indicateur de diversité **globale des cultures**

Indicateur de services écosystémiques (SE) de la rotation (1/2)

SE pour l'agriculteur

- Régulation des adventices
- Régulation des maladies
- Régulation des ravageurs
- Fourniture azote minéral
- Pollinisation
- Structuration du sol

SE pour la société

- Lixiviation nitrate
- Erosion des sols
- Séquestration du carbone
- Habitat pour espèces sauvages*
- Qualité du paysage

Disservice

- Stockage de l'eau

- Basé sur l'étude EFESE (Tibi et Therond, 2017), revue de Palomo-Campesino et al. (2018), master de Baptiste Legrand (2019) dans le cadre de la thèse de Manon Dardonville au LAE, thèse de Olivier Keichinger (2001) pour *

Indicateur de services écosystémiques (SE) de la rotation (2/2)

Estimation des SE

- Note entre 0 (faible) and 1 (élevée)
- Sous forme de :
 - Note directe (p. ex. valeur pollinisation)
 - Table de notation (régulation des maladies)
 - Sortie d'une équation (p. ex. lixiviation nitrate)

Les notes, paramètres des équations sont :

- tirés directement de la bibliographie (p. ex. C factor pour érosion)
- inspirés de la bibliographie (absorption N)
- donnés par expertise (régulation des maladies)

Vue d'ensemble des calculs (1/2)

Service écosystémique (SE)	Facteurs principaux	Résolution temporelle	Référence bibliographique
Régulation des adventices	Effet couverture sol Alternance des dates semis	Précédent/culture	Adeux et al. 2020 Gaba et al. 2014 Weiberger et al. 2019
Régulation des maladies	Fréquence de la culture Effet précédent	Rotation	Charles et al. 2011 ; Krupinski et al. 2002 ; Ratnadass et al. 2012
Régulation des ravageurs	Effet précédent	Précédent/culture	Ratnadass et al. 2012 Rusch et al. (2010, 2013, 2016)
Fourniture azote minéral	Auto-approvisionnement (légumineuse) Fourniture par le précédent	Précédent/culture	COMIFER, 2013
Pollinisation	Potentiel à la floraison	Culture	Ricou et al. (2014)
Structuration sol	Effet enracinement Conditions récolte	Rotation	
Stockage eau	Consommation eau Période de consommation max	Culture précédente	

Vue d'ensemble des calculs (2/2)

Service écosystémique (SE)	Facteurs principaux	Résolution temporelle	Référence bibliographique
Lixiviation nitrate	Minéralisation N due aux résidus de récolte et sol Absorption N	Précédent/culture	Beaudoin et al. 2005 Goulding et al. 2000
Erosion des sols	C facteur (modèle RUSLE)	Culture	Panagos et al. 2005
Séquestration du carbone	Apport potentiel C	Culture	Boiffin et al. 1988 Neyroud et al. 1997
Habitat pour espèces sauvages	Appétence Protection Temps de présence	Culture	Keichinger, 2001
Qualité du paysage	Ouverture du paysage Esthétique floraison Aspect culture Temps de présence	Culture	Schüpbach et al. 2015

Exemples de méthode de calcul

Indicateur structuration sol = diversité type enracinement * Effet conditions récolte

↙
= 1 si fréquence égale pour type
"pivot", "fasciculé" et "mixte"
= 0,33 si un type uniquement

↓
Pour colza hiver (COH) = 1
Pour blé/orge hiver (BTH, OH) = 1
Pour maïs grain = 0,6

Mono maïs grain = 0,14
COH/BTH/OH = 0,57
Rotation n° 22* = 0,80

Indicateur lixiviation NO3 = 1 - (note minéralisation - note absorption)

↓
f(minéralisation résidus, 2*minéralisation sol)

Pour colza hiver (COH) = 0,25 / 1
Pour blé/orge hiver (BTH, OH) = 0,10 / 0,9
Pour maïs grain = 0,10 / 0,70

↓
Pour colza hiver (COH) = 0,50
Pour blé/orge hiver (BTH, OH) = 0,10
Pour maïs grain = 0

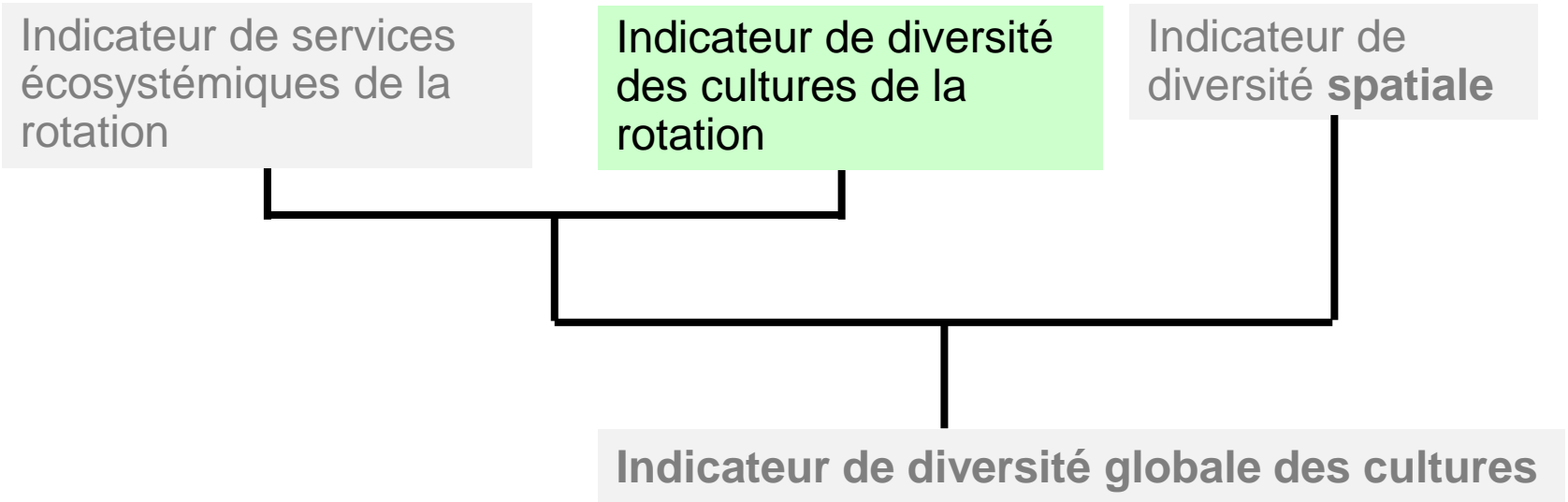
Mono maïs grain = 0,50
COH/BTH/OH = 0,55
Rotation n° 22* = 0,83

Agrégation des indicateurs SE

- Une méthode d'agrégation qui :
 - favorise des rotations qui ont des résultats homogènes entre SE
 - limite la compensation entre notes de SE
- Pour les 12 indicateurs SE :

Indicateur SE Moyen – [(Max – Min) * Ecart-type* 0,5]

	Moyenne	Max	Min	Ecart-type	Indicateur SE
Mono maïs grain	0,31	0,80 (Séq. C)	0 (fourn. N, Pollin.)	0,21	0,22
Colza h./ Blé h/Orge h.	0,52	0,87 (rav.)	0,07 (fourn. N)	0,13	0,46
Rotation n° 22*	0,67	0,92 (rav.)	0,34 (advent.)	0,16	0,63



Crop diversity in rotation

Basé sur l'indice de Simpson réciproque :

= $1 / \sum p_i^2$ avec p_i : proportion de la culture i

plus pertinent que le très populaire indice de Shannon (Jost, 2006 Chao et al. 2014)

➡ exprime le nombre de cultures dominantes

Spécificité du calcul

Culture intermédiaires multi-services avec un poids = 0,33

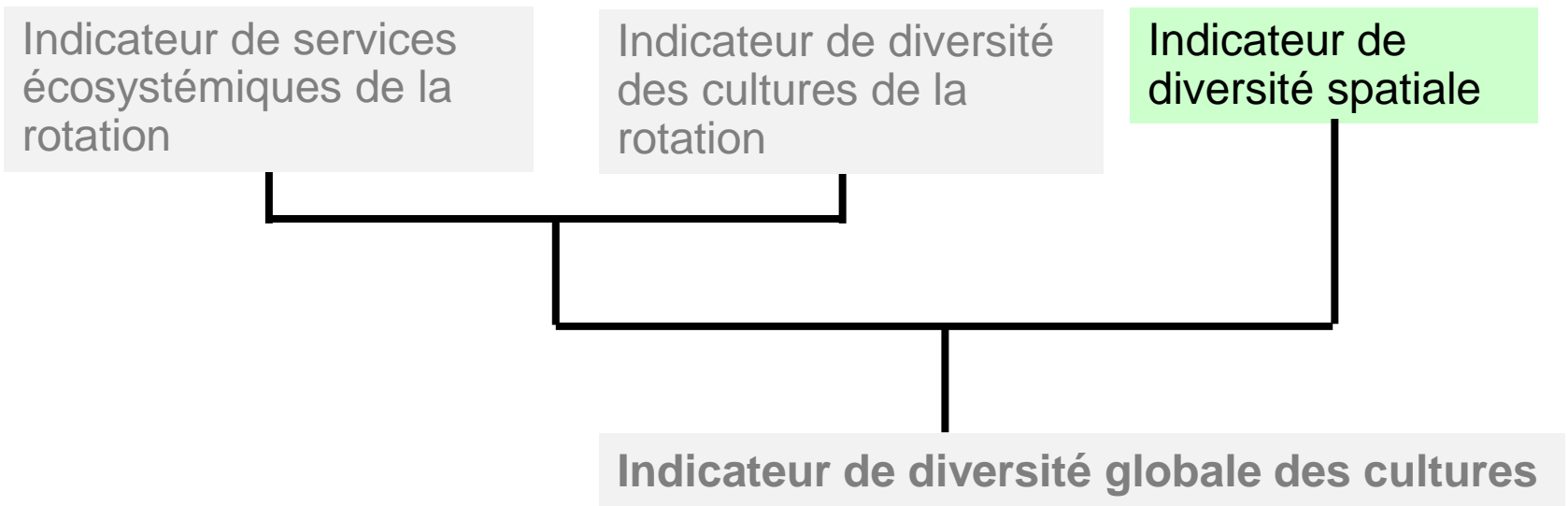
En cas d'association de culture : poids = proportion de la culture

Exemple de calcul

Mono maïs grain = 1

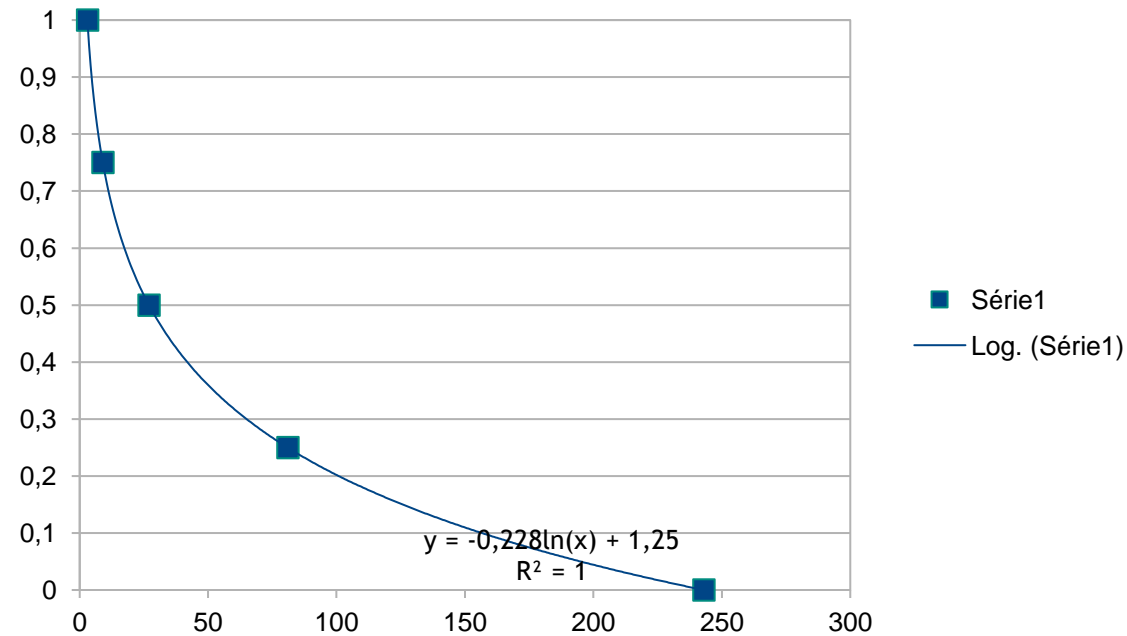
COH/BTH/OH = 3

Rotation n°22 = 12,9



Diversité spatiale

Transformation de la largeur des bandes de cultures en une note entre 0 et 1



Indicateur de services écosystémiques de la rotation

Indicateur de diversité des cultures de la rotation

Indicateur de diversité **spatiale**

Indicateur de diversité globale des cultures

Indicateur global

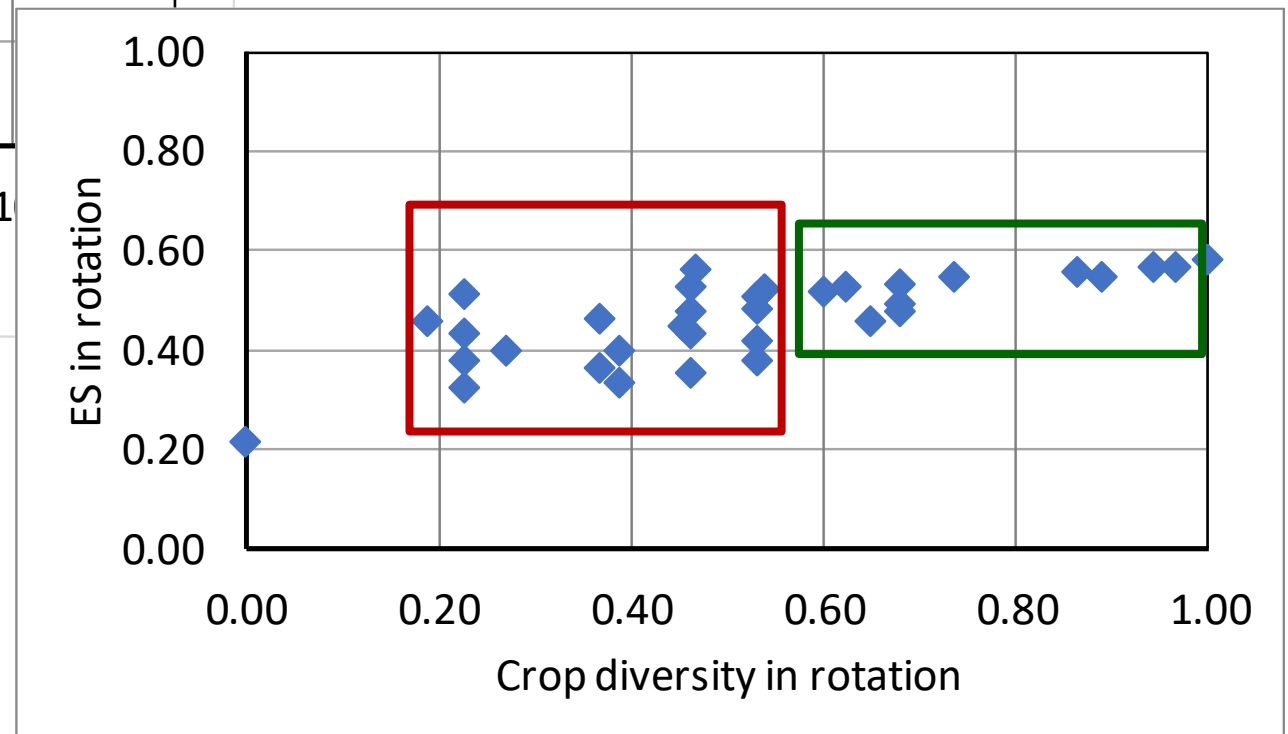
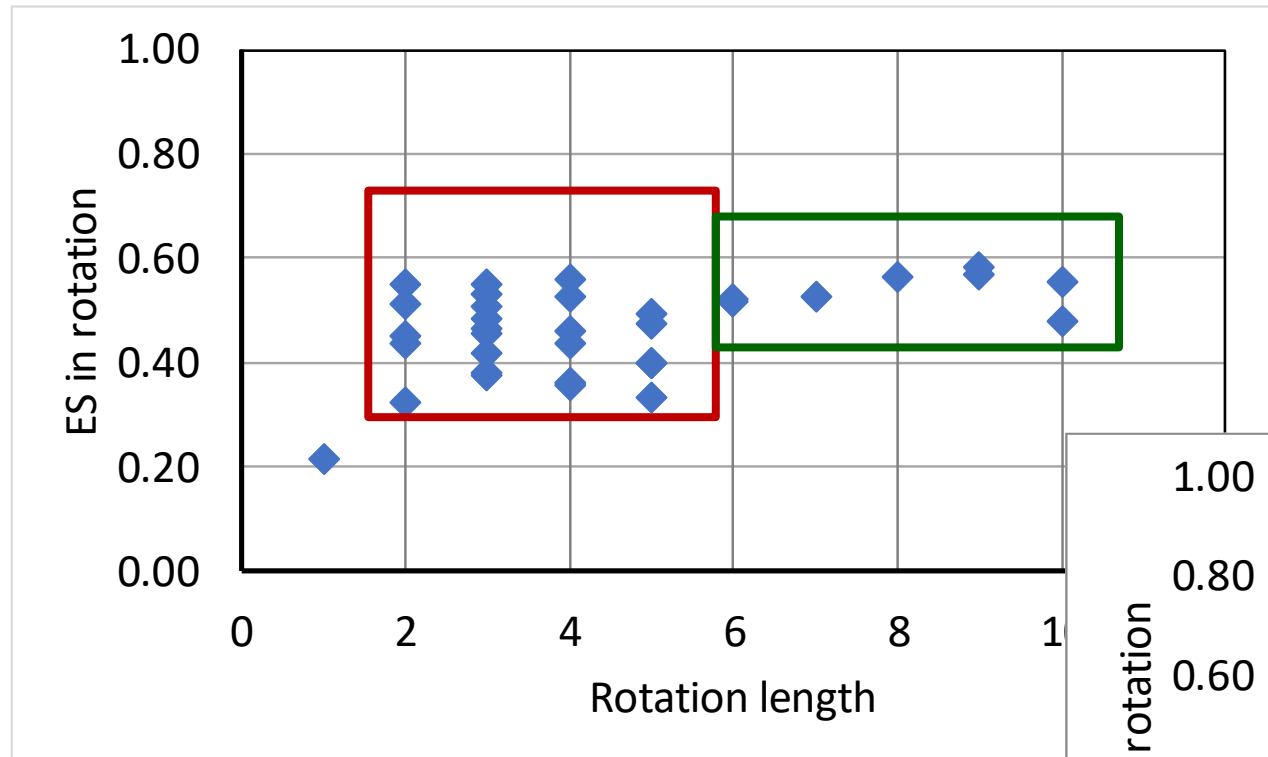
- Agrégation avec arbre de décision flou de la méthode CONTRA (Bockstaller et al. 2017)
- Sous-ensembles flous : défavorable =0 favorable=1
- Fonctions appartenance : linéaire
- Pondération SE=40 CropDivRot =40 Spat-Div =20

ES	CropDiv Rot	Spat-Div
F	F	F
F	F	D
F	D	F
F	D	D
D	F	F
D	F	D
D	D	F
D	D	D

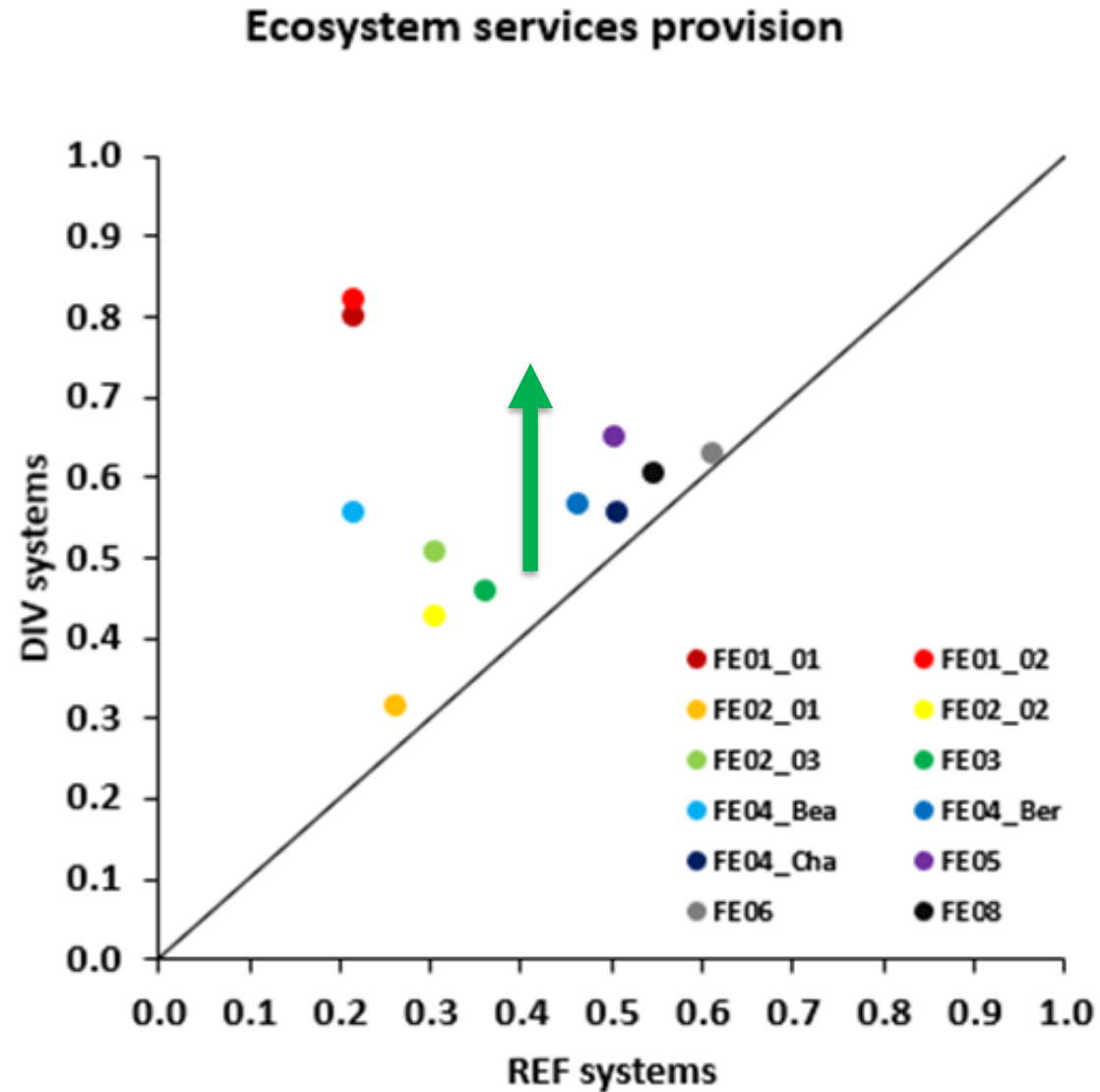
GloDivRot brut	GloDivRot calibré	Correction en valeur absolue	GloDivRot corrigé
100	10,0		10,0
80	8,0		8,0
60	6,0		6,0
40	4,0		4,0
60	6,0		6,0
40	4,0		4,0
20	2,0		2,0
0	0,0		0,0

Discussion sur la modification
des règles de décision

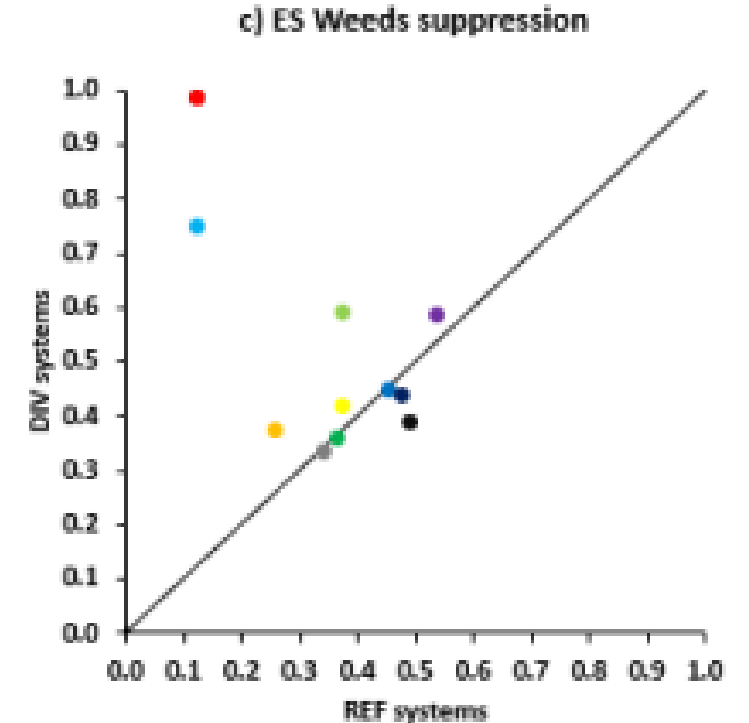
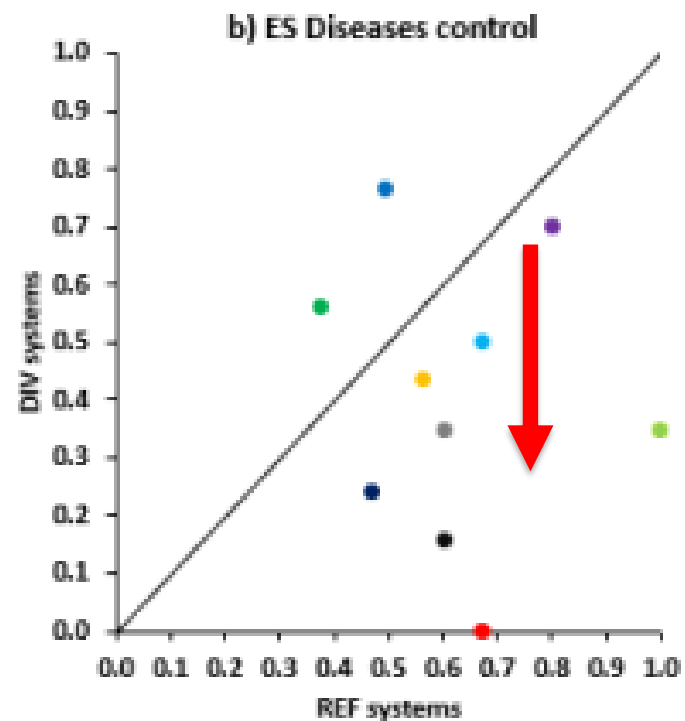
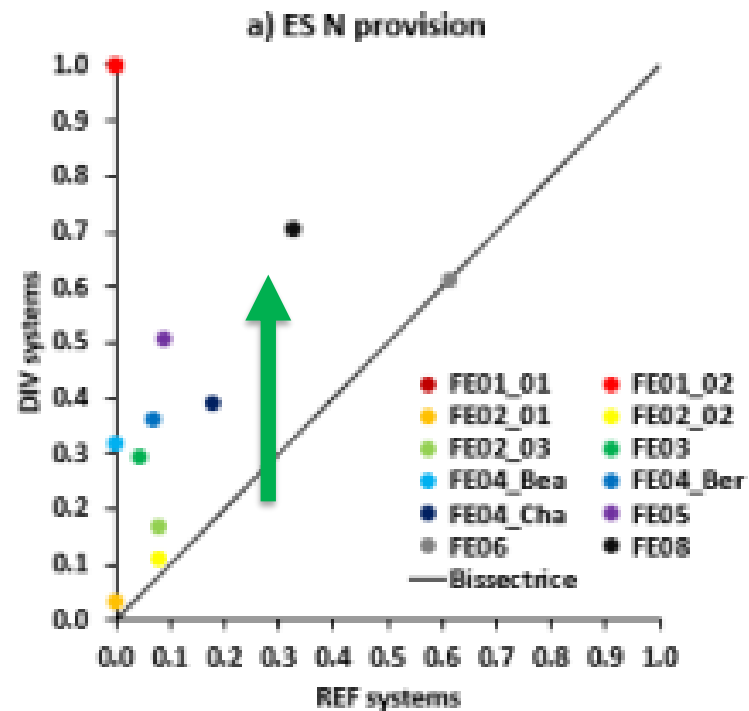
Des résultats avec l'indicateur SE de rotation



Diversification pour augmenter la fourniture de SE (WP3)



Synergies/antagonismes entre services et strategies



La fourniture de N minéral est l'un des SE avec le plus grand potentiel de gain en système diversifié

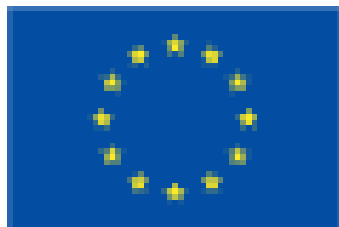
Risque concernant la régulation des maladies (proportion élevée de légumineuses ?) et des adventices dans plusieurs systèmes

Discussion - conclusion

- Un indicateur traitant de la diversité globale
- Utilisant très peu de données (rotation, large des bandes de culture)
- Deux niveaux d'utilisation : non-agrégé et agrégé
- Avec calcul de différents SE
 - La rotation : une composante des SE potentiels fournis par un système agricole (thèse M. Dardonville, Dardonville et al. soumis)
- Testé sur une large gamme de rotation
- Perspectives
 - Analyse de sensibilité
 - Comparaison avec mesures de terrain (WP3)



Merci pour votre attention



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 727482 (DiverIMPACTS)