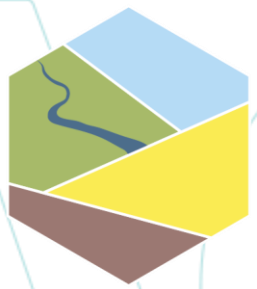


MAELIA



Résilience d'un système culture-élevage territorialisé

Une approche intégrée avec MAELIA

Manon Dardonville¹ & Rui Catarino², Olivier Therond¹

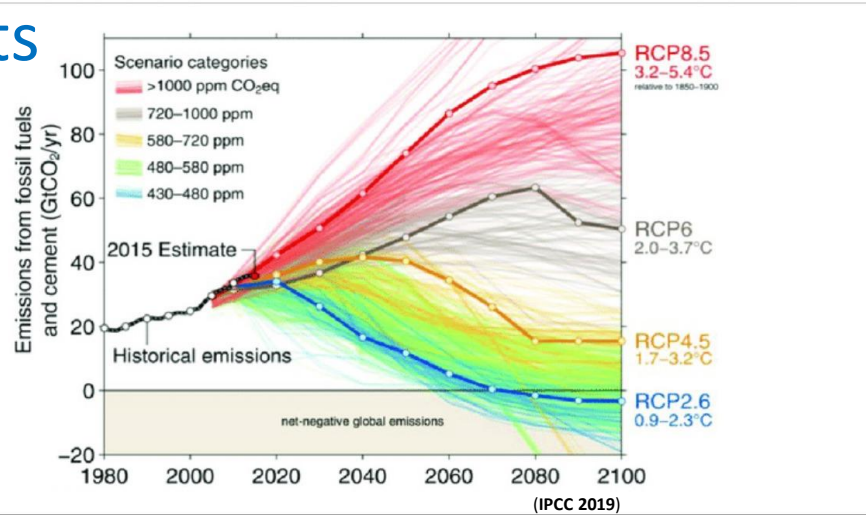
Manon.dardonville@inrae.fr

(1) UMR LAE 1132, Univ. Lorraine, INRAE, Colmar, France

(2) Joint Research Center of European Union, Ispra

Pressions économiques, écologiques et sociétales complexes

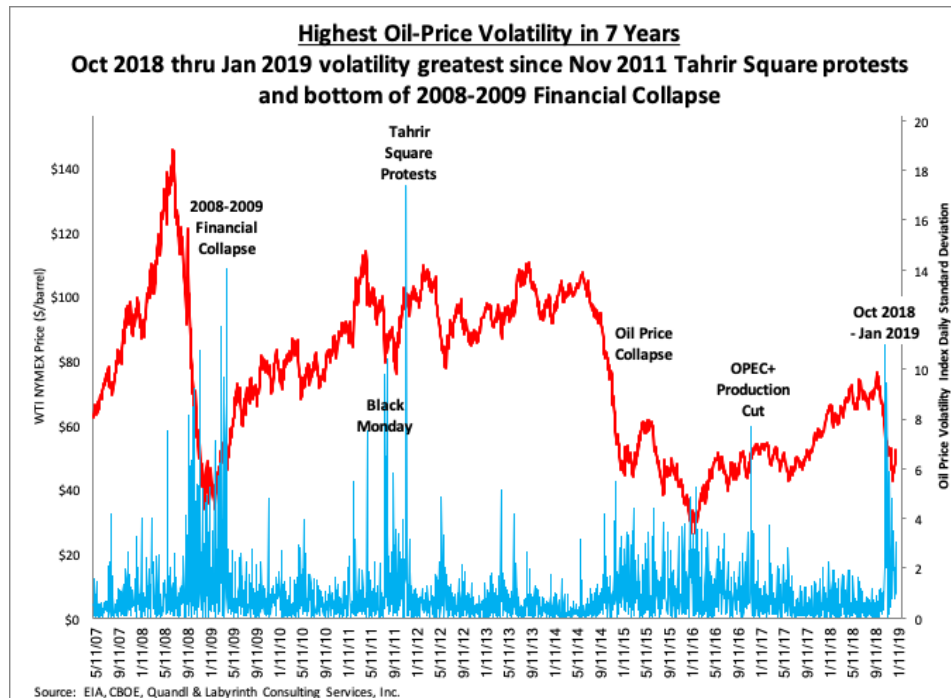
Changements climatiques



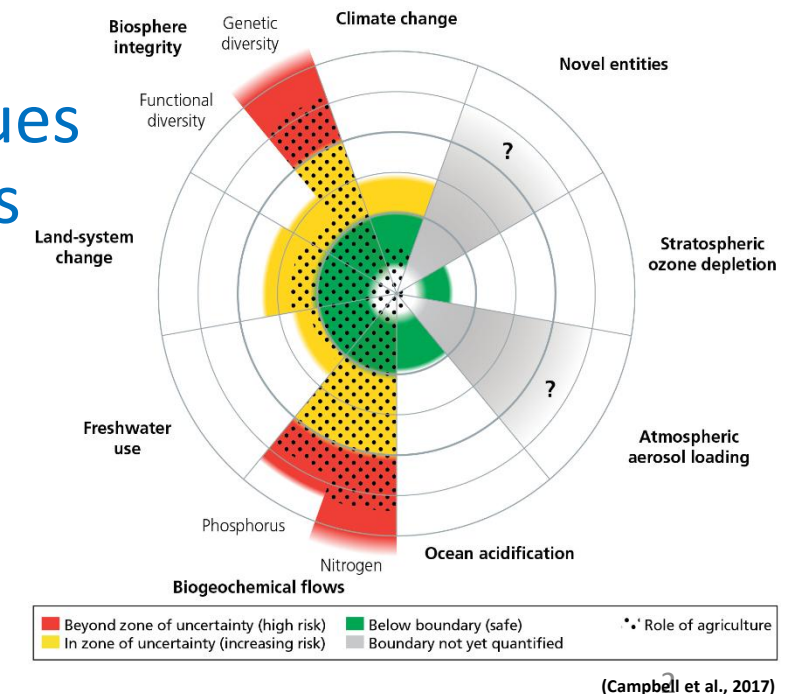
Stratégies politiques



Volatilité des marchés



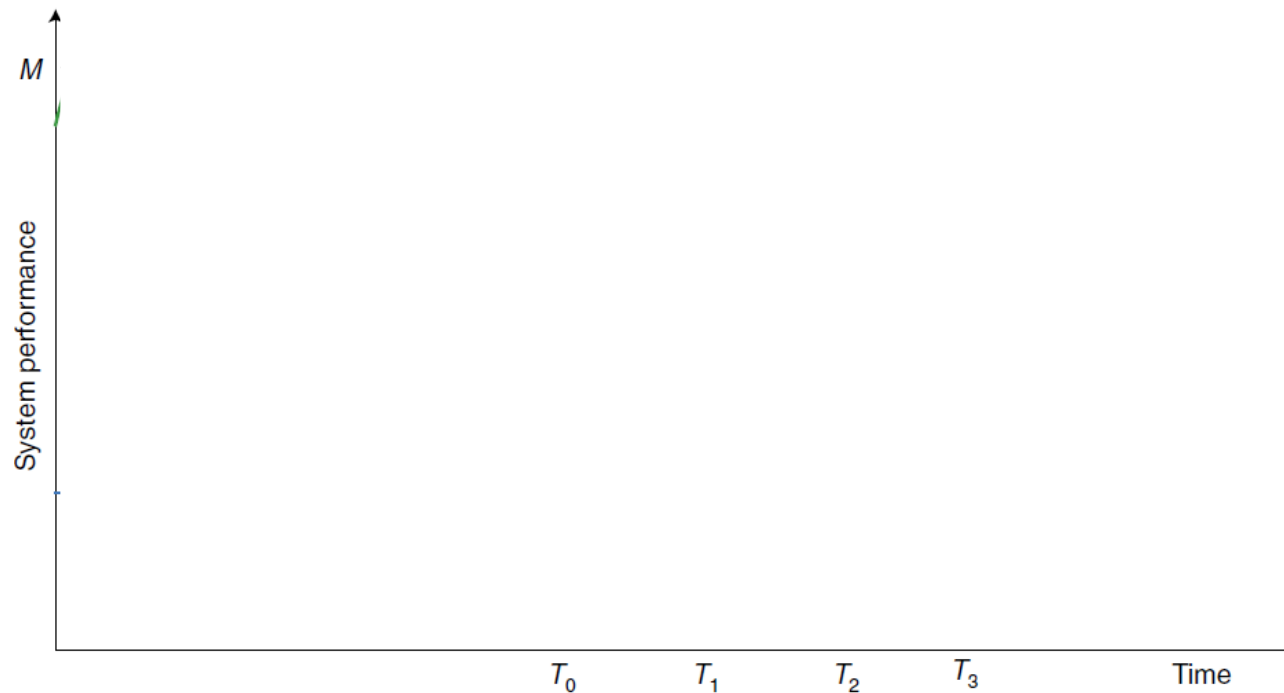
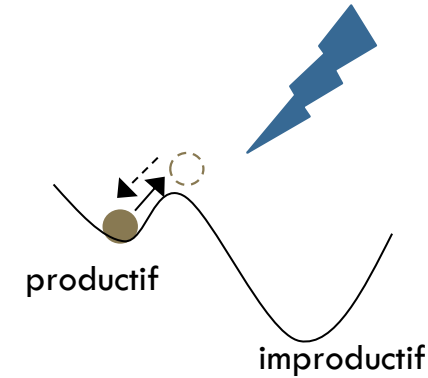
9 limites biophysiques planétaires



Faire face aux perturbations : la résilience

Ces menaces soulèvent des questions sur

**la capacité du système agricole à
persister face aux perturbations**



Évaluation de la résilience

- Analyse de la dynamique des performances 

- Évaluation des «propriétés» de la résilience 

Evaluation de la résilience via analyse de la dynamique

-> Analyse des **séries temporelles quand aléas**

- **Différentes métriques** pouvant être utilisées :

- **Robustesse** (*résilience écologique, x états de stabilité*): nb état stabilité, franchissement seuil, early warning signals, paysage de stabilité
- **Résilience** (*résilience ingénierique, 1 état de stabilité*) : tps de retour, variabilité, tendance, profondeur du trou ...

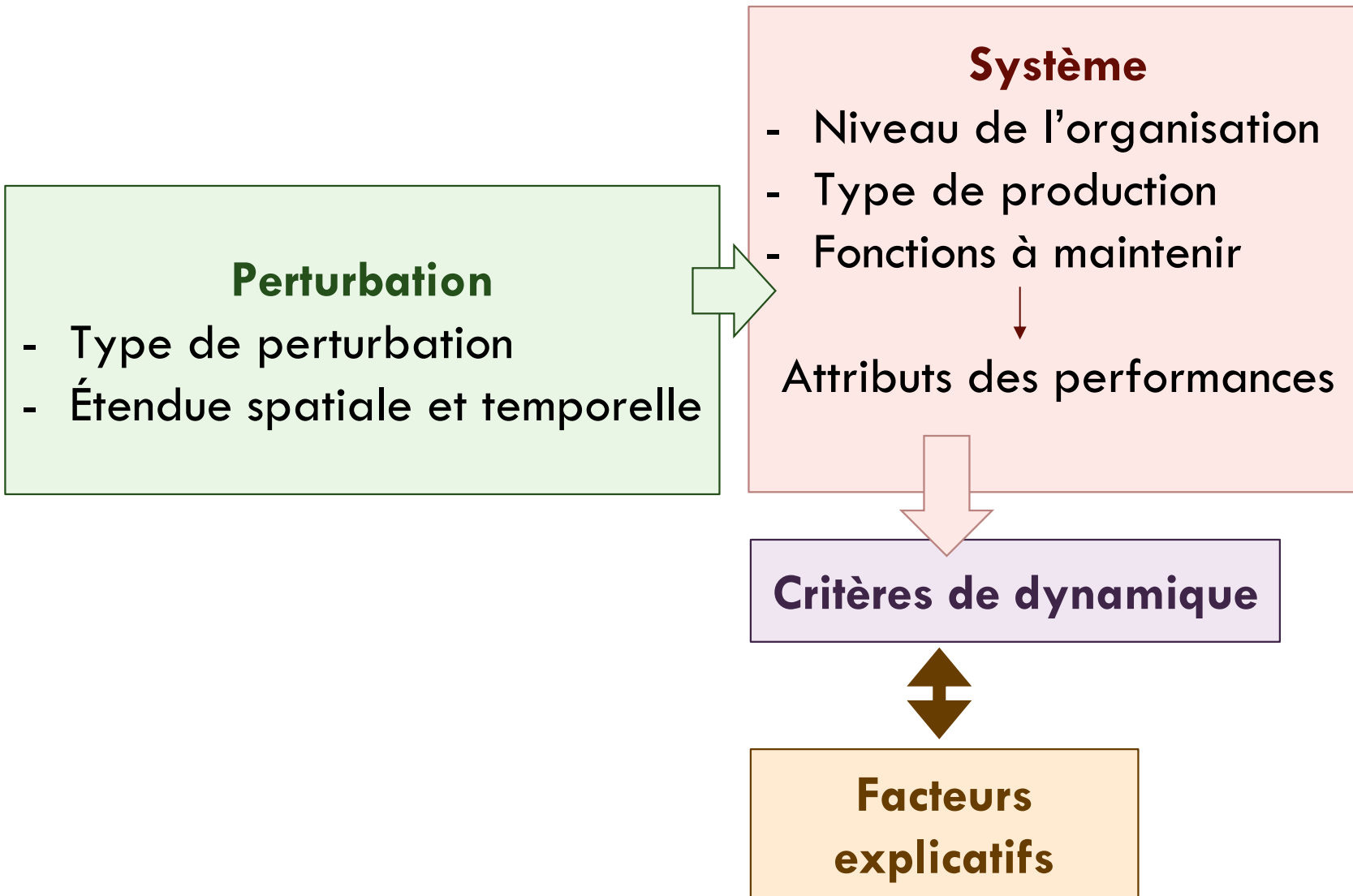
- **Cas des systèmes agricoles :**

- pas facile sur des temps courts (quelques années) de résilience écologique,
- comment avoir du recul sur des états de stabilité possible ?
- + définition de l'état désirable, pas facile (cf downscaling des limites biophysiques planétaires)

- Approche permettant la détermination de **facteurs explicatifs de la résilience**

- Dans ce travail, plutôt résilience au sens qu'à définir Rodolphe comme **capacité passive** (pas transformation ni adaptation comme défini par Meuwissen) et **résilience ingénierique** (1 seul état optimal, à quelle vitesse on y revient)

Cadre analytique pour la résilience des systèmes agricoles



Cadre analytique pour la résilience des systèmes agricoles

Perturbation

- Type de perturbation
- Étendue spatiale et temporelle

Système

- Niveau de l'organisation



Journal of Cleaner Production

Volume 432, 20 December 2023, 139646



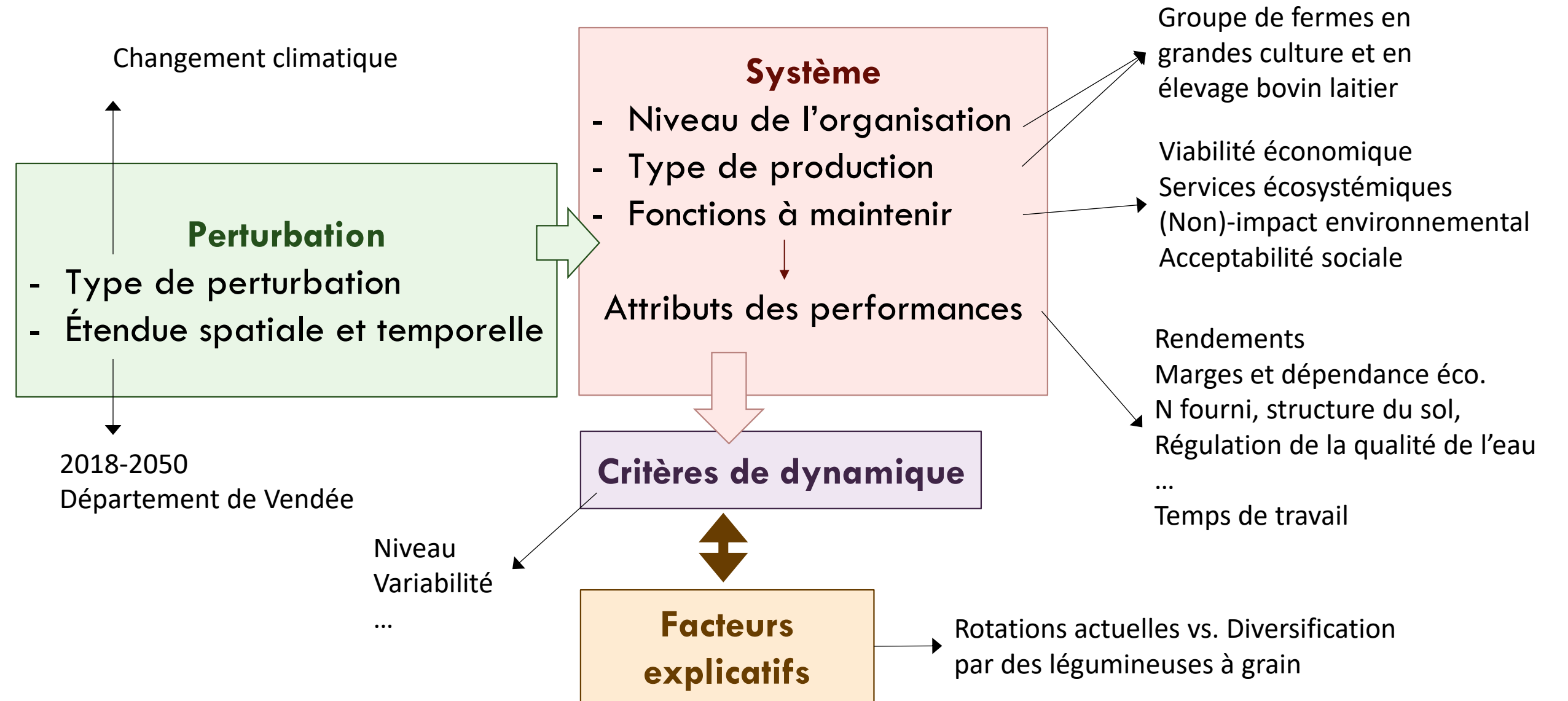
Sustainability and resilience against climate change provided by a territorial crop-livestock system

Manon Dardonville ^{b 1}  , Rui Catarino ^{a 1}  , Olivier Therond ^b



**Facteurs
explicatifs**

Résilience d'un système culture-élevage territorialisé



Mise en oeuvre d'une évaluation de la résilience

Exigences en matière de données

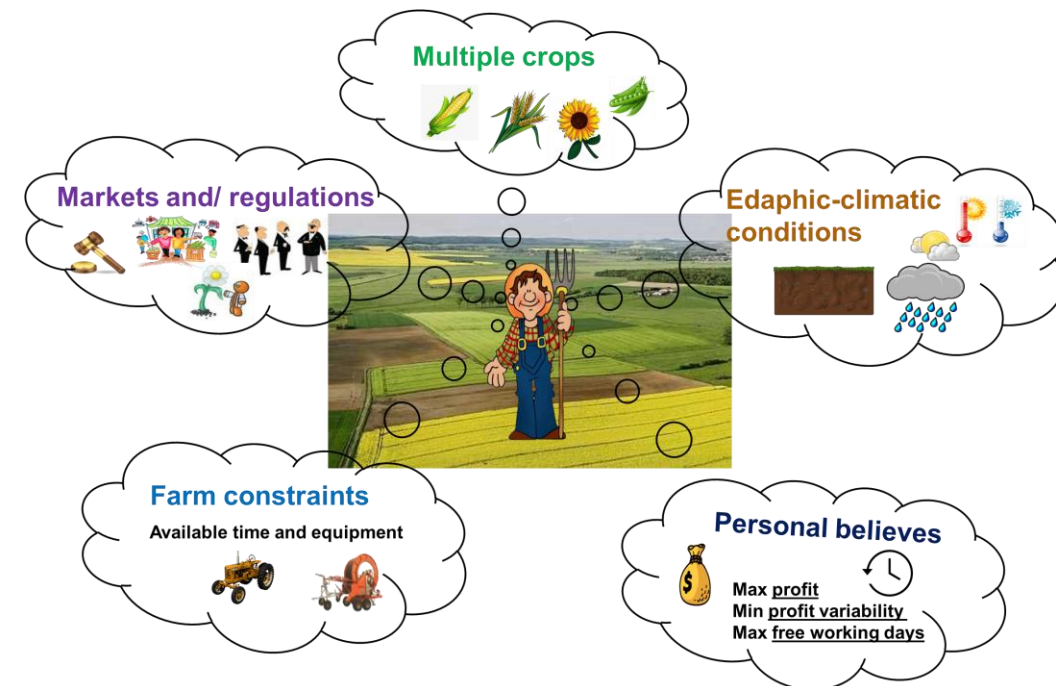
- Problèmes d'accès aux données historiques
- Nécessité d'analyses à long terme, historiques et prospectives
- Interaction dynamique et retour entre plusieurs facteurs de stress



Rain shelter (Zwicke et al., 2013)

Évaluation et modélisation intégrées (IAM)

Explorer les interactions et les rétroactions
entre différents systèmes et les propriétés, par
ex. la résilience, qui en émergent

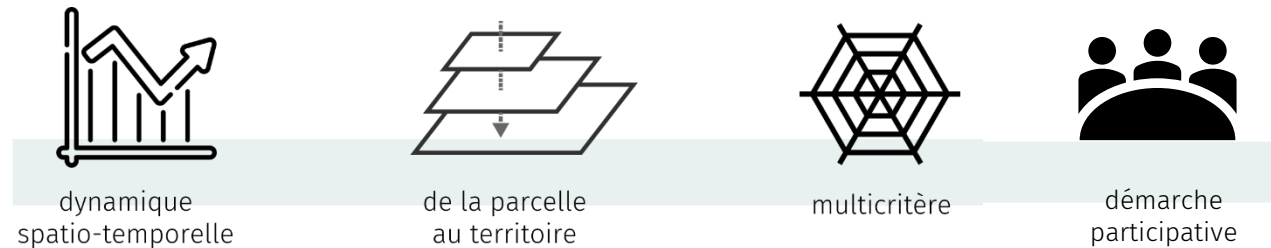


Plateforme de modélisation et d'évaluation



MAELIA

Une plateforme de modélisation
à haute résolution spatiotemporelle, à base d'agents
pour une évaluation intégrée des territoires agricoles, des
transitions agroécologiques et bioéconomiques

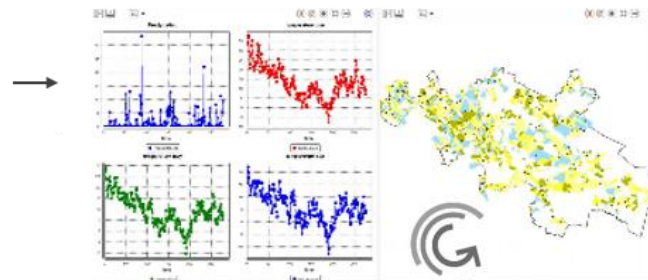


Données

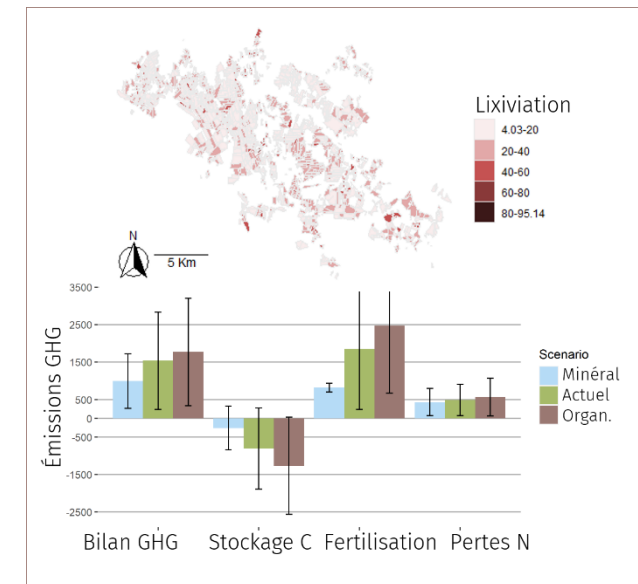


- Parcellaire
- Séquences de culture
- Caractéristiques horizons sol
- Météo locale
- Pratiques agricoles sous forme de règles de décision d'action
- Unités de transformation

Laboratoire numérique



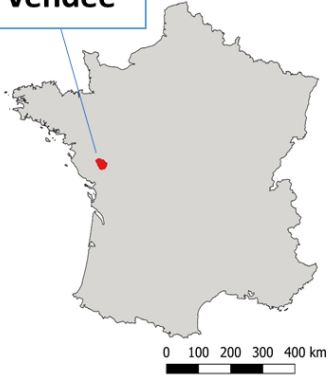
Indicateurs



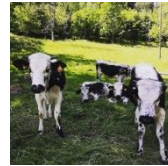
Étude de cas : Système territorial culture-élevage

Échange direct de légumineuses pour l'alimentation animale entre élevages et exploitations de grandes cultures

Vendée



Niveau d'étude: petit (697 ha)
7 Fermes (5 arables + 2 cheptels)

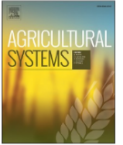


Agricultural Systems 189 (2021) 103066

Contents lists available at ScienceDirect

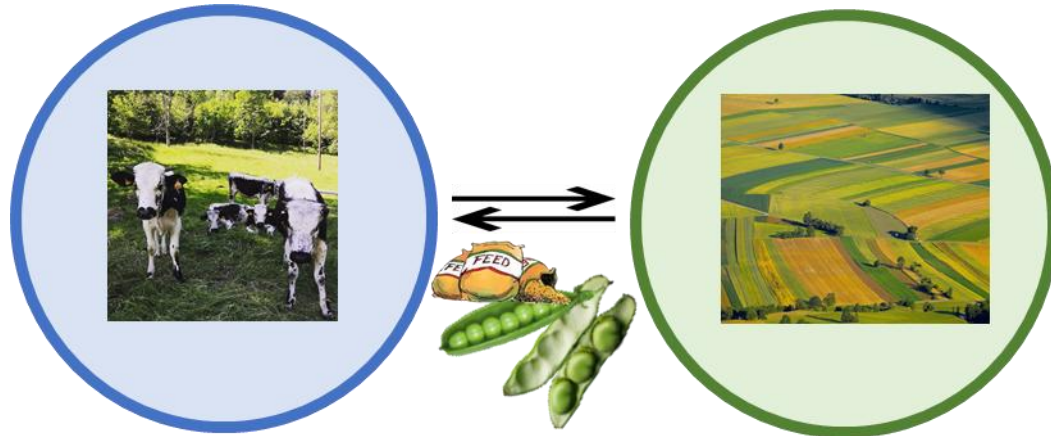
Agricultural Systems

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agsy

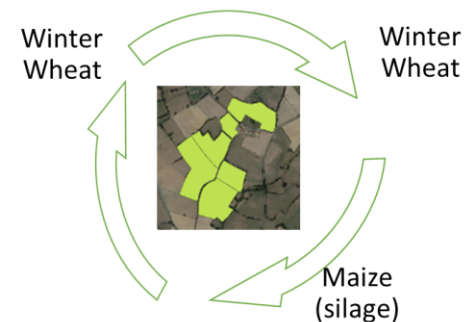


Fostering local crop-livestock integration via legume exchanges using an innovative integrated assessment and modelling approach based on the MAELIA platform

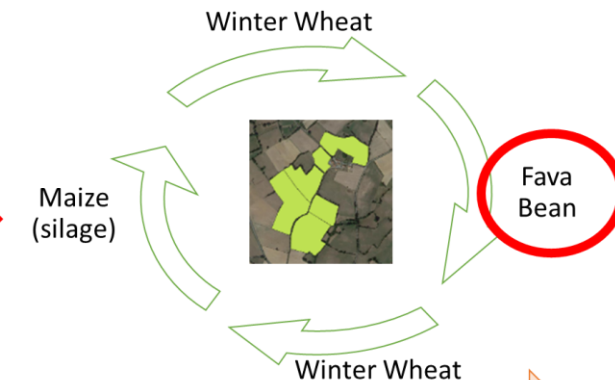
Rui Catarino^{a,*}, Olivier Therond^{a,*}, Jérémy Berthomier^c, Maurice Miara^c, Emmanuel Mérot^c,
Renaud Misslin^a, Paul Vanhove^d, Jean Villerd^a, Frédérique Angevin^b



Current situation



Territorial synergy



Degree of Diversification

Attributs de performance des systèmes agricoles



Journal of Cleaner Production

Volume 286, 1 March 2021, 125456



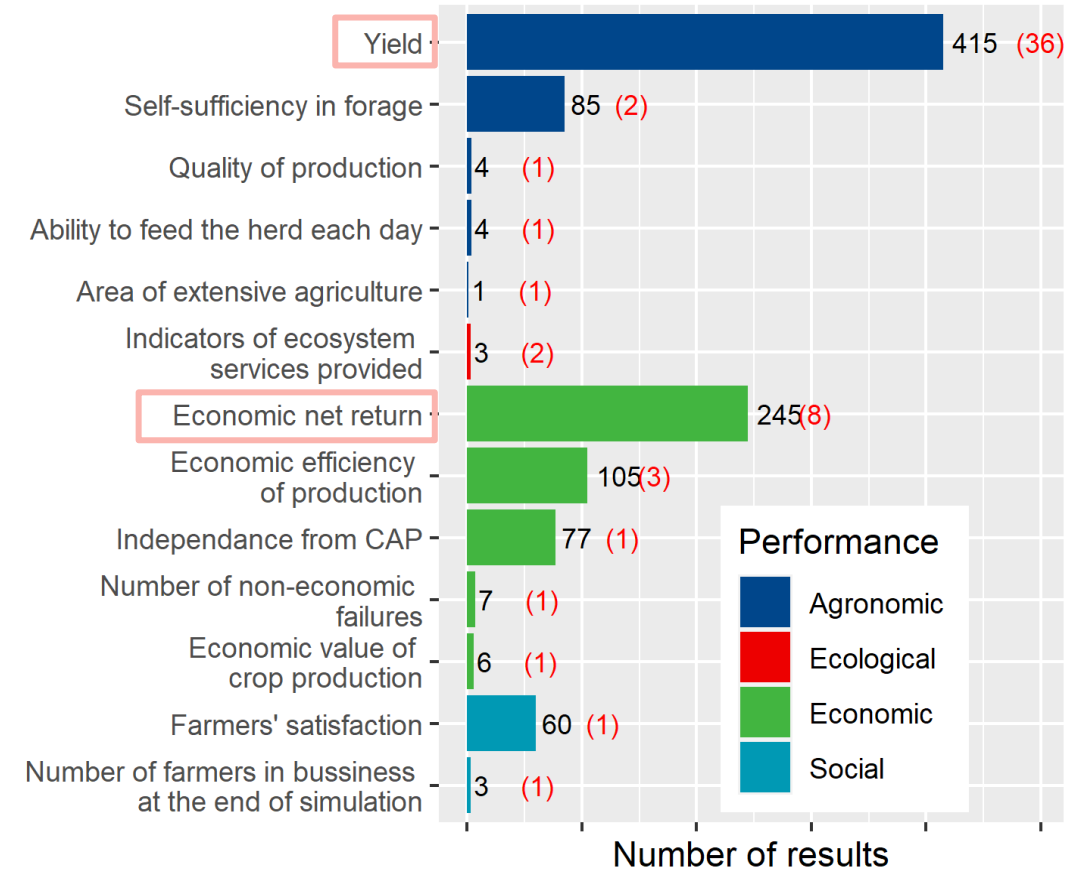
Review

Review of quantitative evaluations of the resilience, vulnerability, robustness and adaptive capacity of temperate agricultural systems

Manon Dardonville ^{a, b} ✉, Christian Bockstaller ^a, Olivier Therond ^a

- Rendements, marges économiques
- Peu d'approches multi-performances (13%)
- Peu de performances environnementales

Performances



Fonctions à préserver

Economique

Approvisionnement alimentaire

Viabilité économique

Environnemental

Services écosystémiques à la production

Services écosystémiques à la société

Intégrité environnementale

Social

Acceptabilité sociale

Fonctions à préserver

Economique

Approvisionnement alimentaire

- Rendement en kcal
- Rendement en protéines

Viabilité économique

- Marge brute
- Dépendance économique

Environnemental

Services écosystémiques à la production

- N fourni par le sol
- Structure du sol
- Régulation de la qualité de l'eau

Services écosystémiques à la société

- Stockage de C dans le sol
- Régulation de la quantité d'eau bleue

Intégrité environnementale

- Qtés de matières actives de pesticides
- GES

Social

Acceptabilité sociale

- Charge de travail

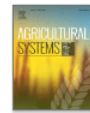
Critères de dynamique des attributs de performances

Criterion	Example of indicator	Reference	Articles that use the criterion	Number of articles (and results)
Level	Mean	—	(Bouttes et al., 2018; 2019; Castañeda-Vera and Garrido, 2017; Ferreyra et al., 2001; Gaudin et al., 2015; Isbell et al., 2015; Leonhardt et al., 2013; J. Li et al., 2019; M. Li et al., 2019; Martin et al., 2017; Perrin et al., 2020; Pfisterer and Schmid, 2002; Prieto et al., 2015; Redhead et al., 2020; Reidsma and Ewert, 2008; Seo, 2010; Urruty et al., 2017; Yang et al., 2019; Zavalloni et al., 2008)	19 (284)
Variability	Residuals of linear regression	Pimm (1984)	Bouttes et al. (2018); Castañeda-Vera and Garrido (2017); Cociu and Cizma (2015); Craven et al. (2018); Gaudin et al. (2015); Isbell et al. (2015); Khumairoh et al. (2018); Leonhardt et al. (2013); M. Li et al. (2019); Macholdt et al. (2020); Mäkinen et al. (2015); Martin et al. (2017); Prieto et al. (2015); Redhead et al. (2020); Reidsma et al. (2009a); Reidsma and Ewert (2008); Sneessens et al. (2019); Yang et al. (2019)	17 (163)
Trend	Slope of linear regression	—	(Bardaji and Iraizoz, 2015; Bouttes et al., 2018; 2019; Cociu and Cizma, 2015; Di Falco and Chavas, 2008; Kahiluoto et al., 2014; Leonhardt et al., 2013; J. Li et al., 2019; Martin et al., 2017; Matsushita et al., 2016; Perrin et al., 2020; Prieto et al., 2015; Reidsma et al., 2009b; 2009a; 2010; Salvati, 2010; Urruty et al., 2017)	15 (365)
Resistance	Difference between pre-disturbance and post-disturbance	Pimm (1984)	Brunner and Grêt-Regamey (2016); Carlsson et al. (2017); de la Rosa et al. (2000); Di Falco and Chavas (2008); Hoover et al. (2014); Isbell et al. (2015); Martin and Magne (2015); Mechler et al. (2010); Oram et al. (2020); Pfisterer and Schmid (2002); Redhead et al. (2020); Seo (2010); Stampfli et al. (2018); Vetter et al. (2020); Zavalloni et al. (2008)	15 (51)
Recovery	Time or ratio (pre/post) to return to the pre-disturbance level	'resilience' of Pimm (1984)	Barkaoui et al. (2016); Carter and Blair (2012); Di Falco and Chavas (2008); Isbell et al. (2015); J. Li et al. (2019); Matsushita et al. (2016); Oram et al. (2020); Pfisterer and Schmid (2002); Sneessens et al. (2019)	9 (33)
Distance to a stable state	Eigenvalue of the variance-covariance matrix	Ludwig et al. (1997)	Chavas and Di Falco (2017); Fletcher and Hilbert (2007); Grêt-Regamey et al. (2019); van Strien et al. (2019)	4 (5)
Distance to a threshold	Difference between a desired level and actual level	—	Sneessens et al. (2019)	1 (19)
Probability of exceeding a threshold	—	Walker et al. (2004)	Ferreyra et al. (2001); Gaudin et al. (2015); M. Li et al. (2019); Macholdt et al. (2020); Zampieri et al. (2020b), 2020a	6 (26)
Frequency that threshold was exceeded	—	Walker et al. (2004)	Bitterman and Bennett (2016); Lien et al. (2007); Sabatier et al. (2015); Sneessens et al. (2019)	4 (33)
Elasticity	Intensity and direction of change	—	Bardaji and Iraizoz (2015); Reidsma et al. (2009b)	2 (36)

Critères de dynamique des attributs de performances

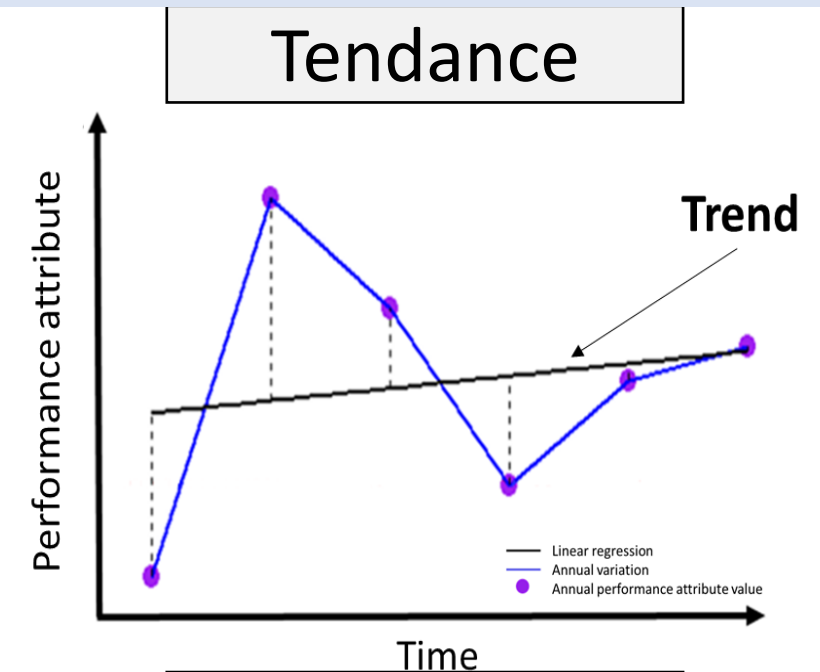
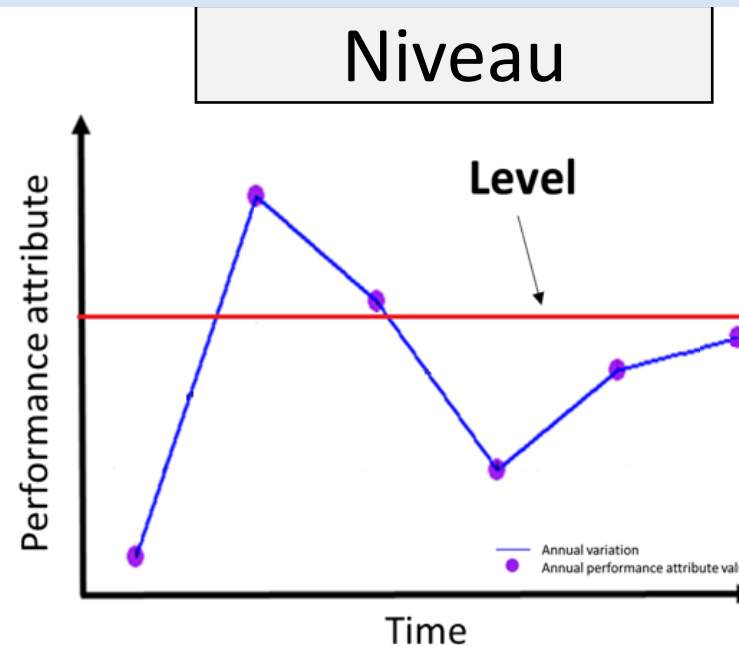


Agricultural Systems
Volume 197, March 2022, 103365



Resilience of agricultural systems: biodiversity-based systems are stable, while intensified ones are resistant and high-yielding

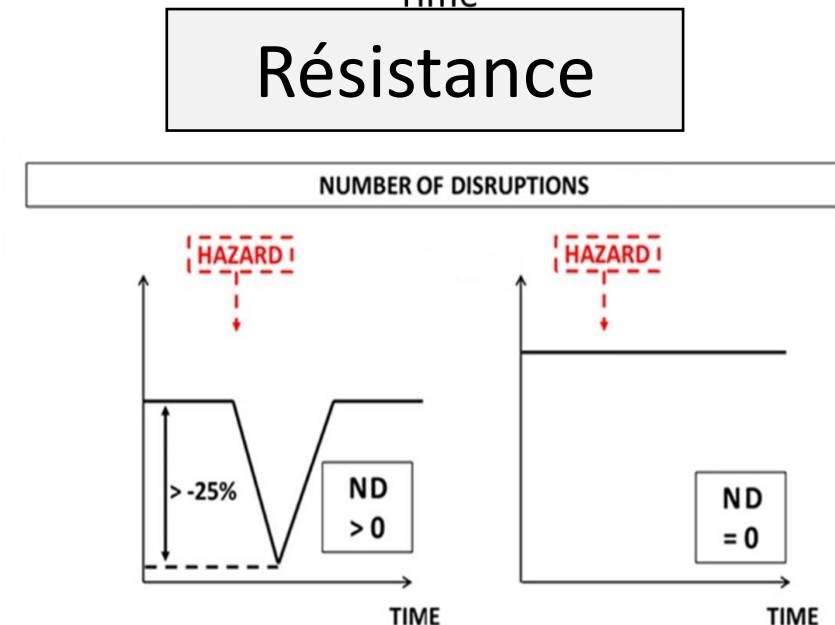
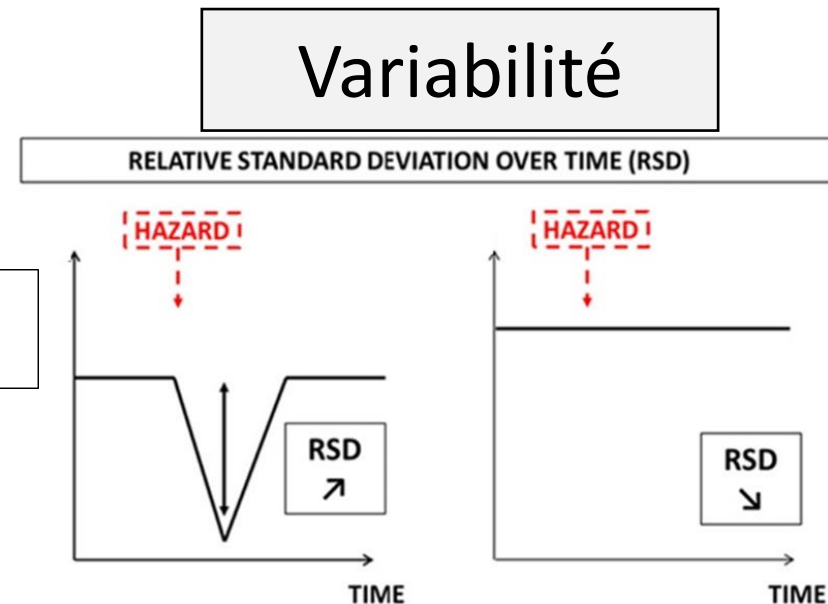
Manon Dardonville ^{a, b, c, d}, Christian Bockstaller ^a, Jean Villerd ^a, Olivier Therond ^a



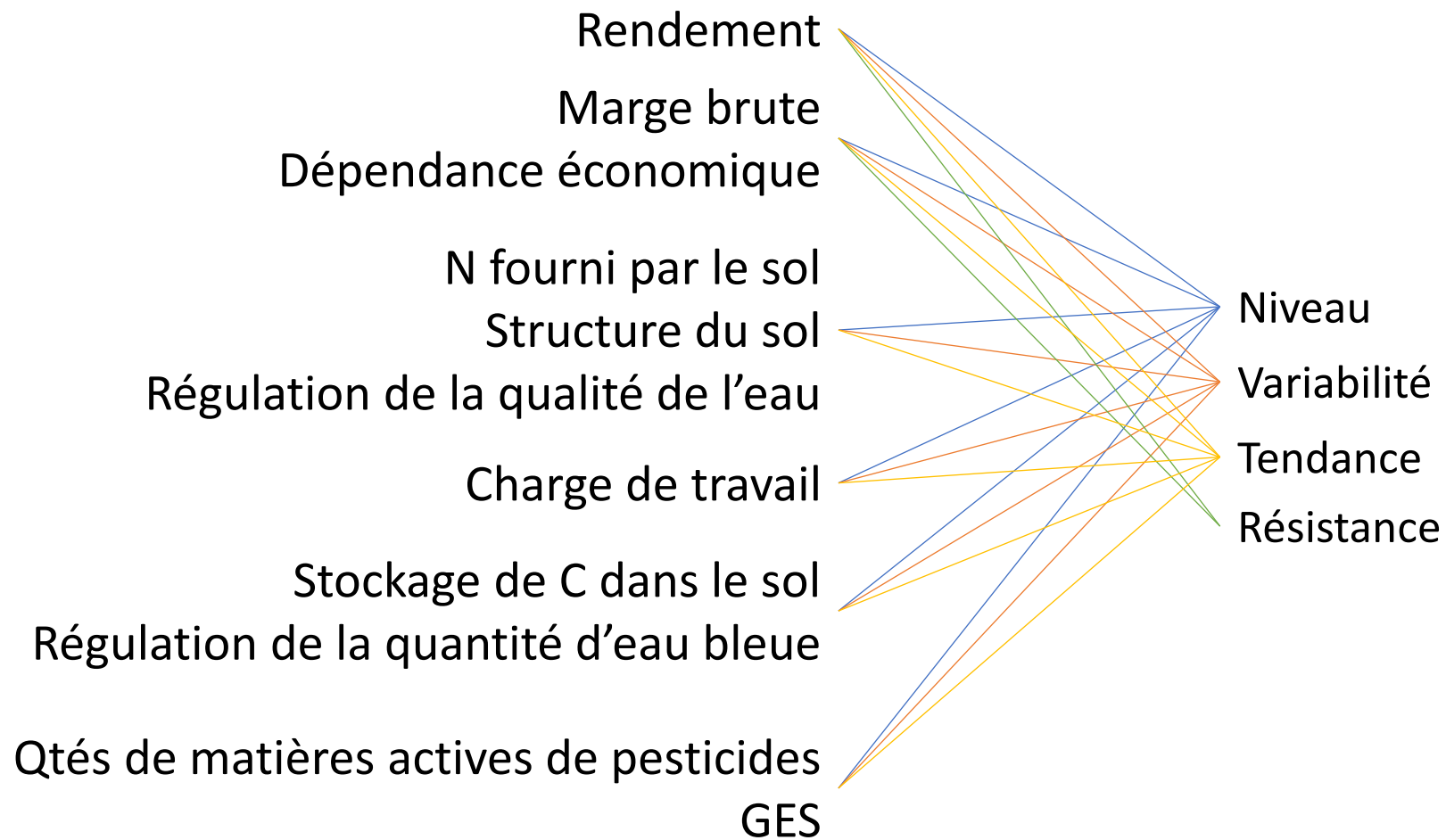
Résilience :

- Haut (bas) niveaux
- Stabilité
- Tendances à la hausse (baisse)
- Forte résistance aux perturbations

$$RSD = \frac{\sigma}{\mu}$$



Adéquation entre critères de dynamique et attributs de perf.



Tous les critères sont-ils tous intéressants pour tous les attributs (variables lentes ...) ?

Résultats

Criteria	Level		Trend		Variability		Resistance	
	Blinc	Syner	Blinc	Syner	Blinc	Syner	Blinc	Syner
Performance attributes								
Energy Yield MJ/Kg/DM/ha	102.01	99.38	0.18	0.13	0.77	0.79	0	0
Protein Yield kgN/ha	708.08	777.85**	0.87	0.58	0.69	0.71	0	0
Gross Margin €/ha	696.31	729.10*	3.75	3.59	0.77	0.75	1	0
Market economic Dependency	0.21	0.22	-2.82E-04	-3.77E-04	0.75	0.77	1	1
Mineral N supplied by the ecosystem kgN/ha	108.72	121.09**	0.96	0.73	0.80	0.92**	1	4
Soil structure	0.07	0.07	2.06E-04	1.63E-04	0.67	0.67	0	0
Carbon storage in the soil kgC/ha	274.36	228.57	-9.98	-9.00	6.13	9.66	11	10
Blue water	0.50	0.49	-1.20E-03	-9.56E-04	0.67	0.68	3	2
Water quality regulation kgN/ha	0.81	0.79*	-1.46E-03	-1.49E-03	0.68	0.76	0	1
Pesticide load Kg/ha	2.38	2.85**	-1.37E-04	-1.59E-03	0.88	0.90	3	1
Greenhouse gases emissions Kg eqCO2/ha	1025.83	893.05	45.18	40.18	19.84	36.24	16	14
Work load hr/ha	4.92	4.59**	2.10E-05	6.24E-04	0.78	0.85*	0	0
* p<0.05; **p<0.01								

RCP2.6, Aladin

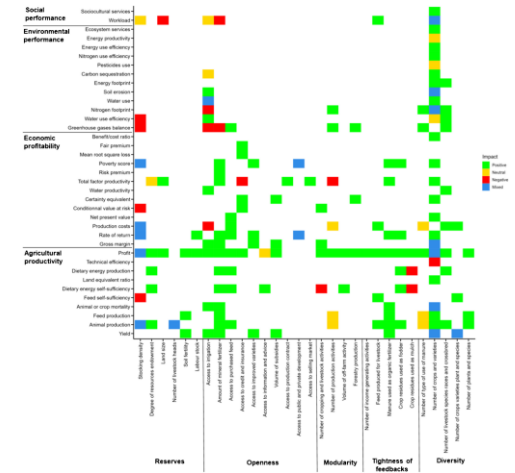
- **Introduction de légumineuse à grain :**
 - Intérêt pour les certaines dimensions de la **durabilité** (rendement, marges, travail, GES) mais mitigé pour d'autres (qualité de l'eau, C sequestration, ITF)
- **Résilience :**
 - Augmentation quasi globale de la **variabilité** des performances,
 - Moins de coups durs (**résistance**)
 - **Tendances** mitigées
- **Gagnants et perdants :**
 - Grosses disparités de changement de travail et de marges éco -> peut être décisif dans l'adoption de l'innovation

Discussion (1/2) : système culture-élevage territorialisé

- **Intérêt de la démarche avec MAELIA :**
 - + évaluation multicritère, fine, dynamique
 - + gagnants/perdants d'une nouvelle organisation territoriale
 - + compromis entre performances économiques, sociales et env.
 - **Perspectives de développement :**
 - Introduction de légumineuses en mélanges en ci ou en prairies temp.
 - Mobilisation d'effluents d'élevage et modulation de la fertilisation post-légumineuse
 - Dynamique de taille de troupeau, de performance animale et des prairies permanentes
 - Exploration scénarios de prix
- Mettre en perspective avec résultat alderkamp 2024 stoten

Discussion (2/2) : évaluation de la résilience

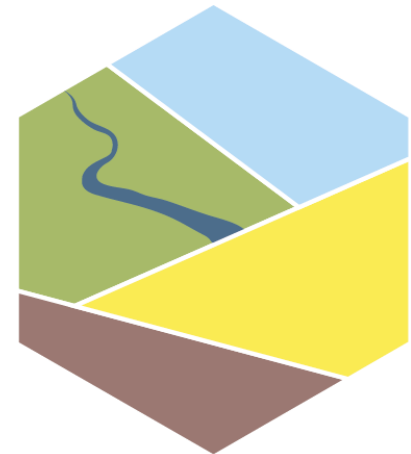
- **Tester les propriétés de la résilience** : voir Prêt et al. (2025) pour une revue
- Quel impact du **changement d'échelle** pour la méthode ? -> travaux à venir sur la résilience des organisations territoriales inspiré du cadre de la résilience écologique
- **Durabilité et résilience** : analyse du niveau des performances (*goal-oriented framework*) et de leur dynamique (*properties-oriented framework*).
- **Antagonismes entre critères** (voir Dardonville 2021 aussi) :
 - Comment résumer la résilience mesurée avec plusieurs critères ?
 - Difficulté propre à l'évaluation multicritère de visualisation et synthèse : Combiner les critères pour avoir 1 seul indicateur groupant les dynamiques ? Voir suggestion thèse
 - Antagonisme niveau/stabilité (classique dans les études bio/conv, observé dans Dardonville et al., (2021) et voir discussion Dardonville et al., (2025)) par construction avec la loi de Taylor sur les productions, mais contournable ? ex systèmes SE+intrants anthropiques + capital naturel (= variables temps long à étudier aussi)



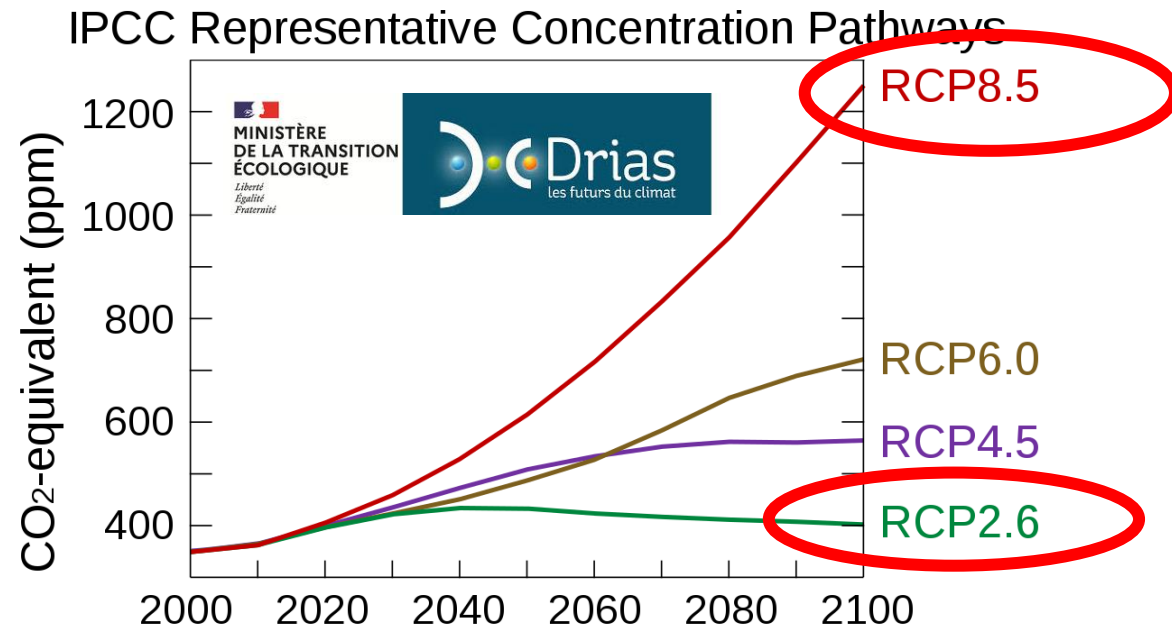
Merci de votre attention !

Manon Dardonville (manon.dardonville@inrae.fr)

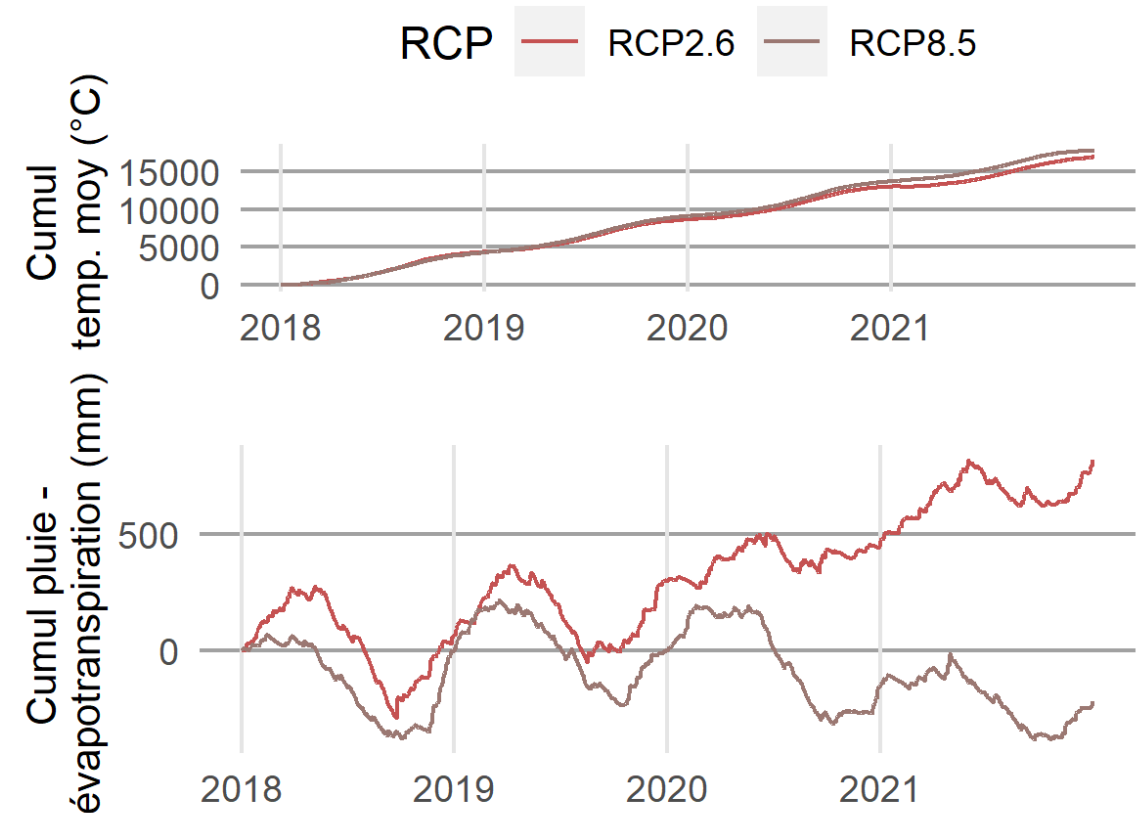
www.maelia-iam.fr



2 projections climatiques

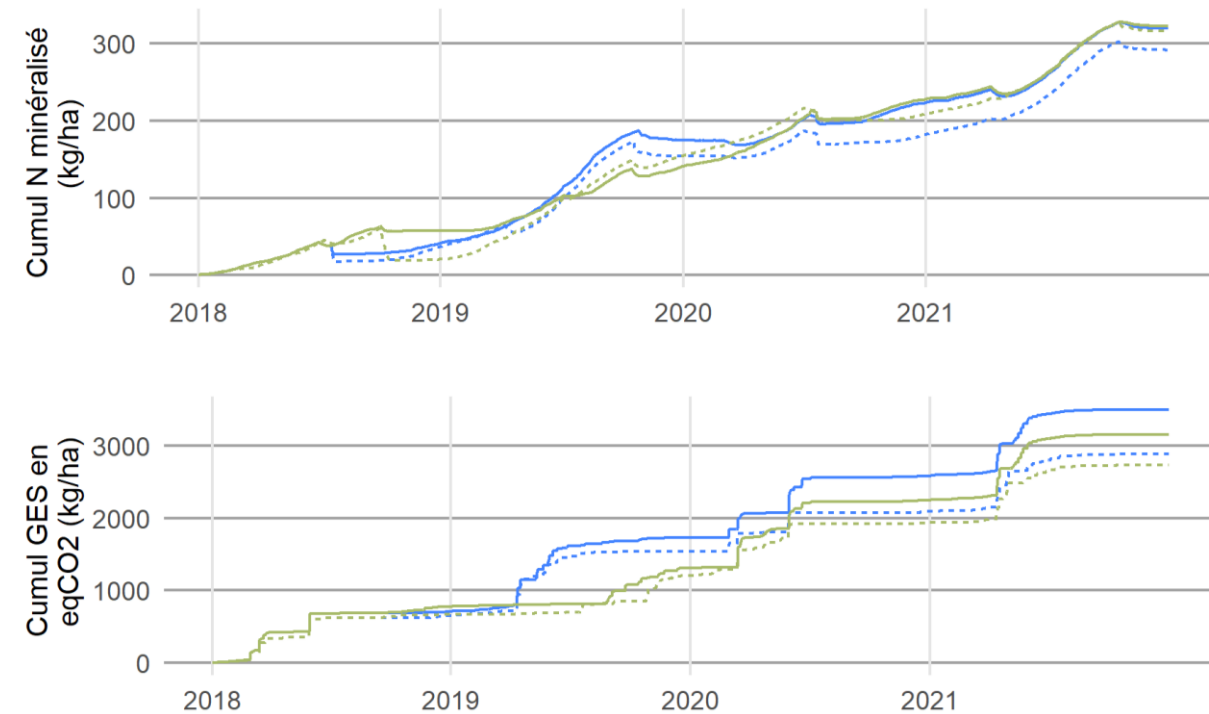
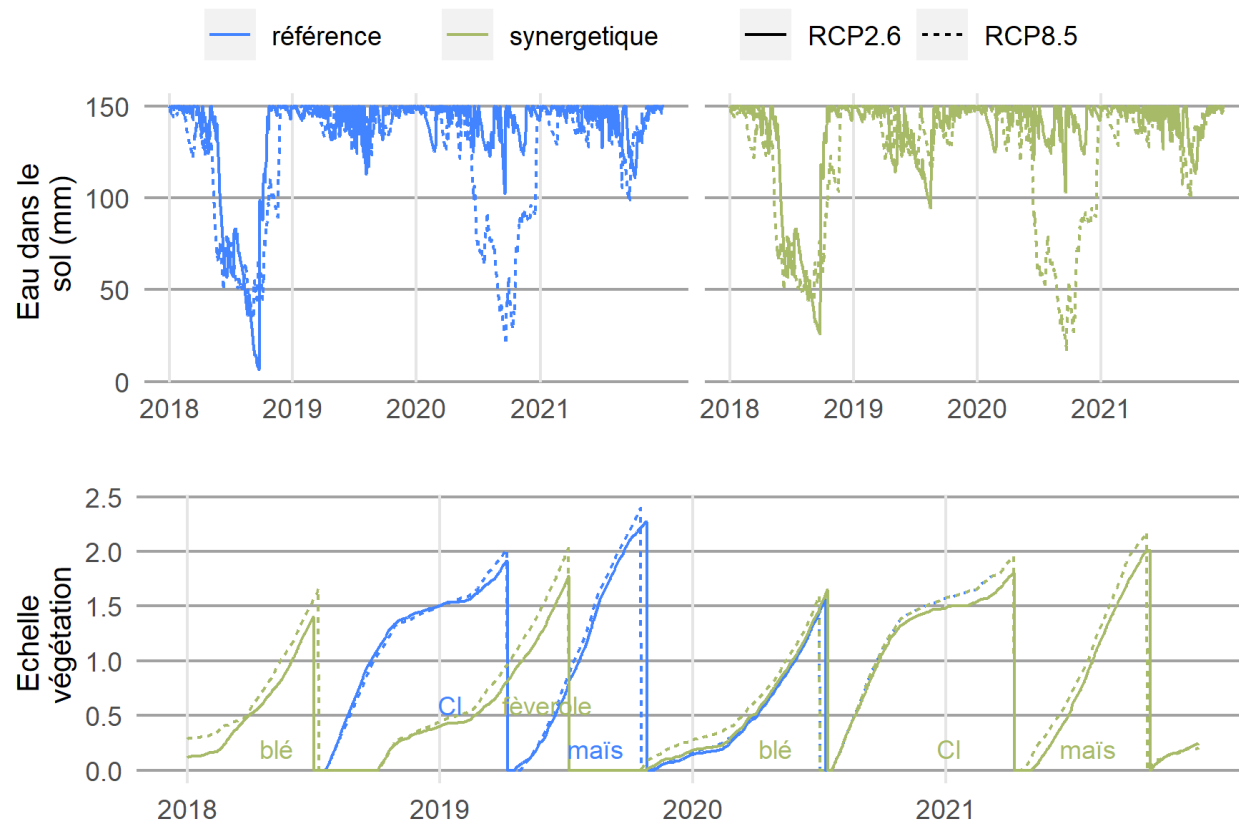


Période d'étude
2018-2050



DRIAS (<http://www.drias-climat.fr>) and extracted 140 from the regional climate model ALADIN-Climate (Nabat et al., 2020, see Coppola et al., 2021 for a 141 comparison between 11 regional and eight global Climate models)

Résultats : exemple d'une parcelle



- La minéralisation de l'azote est augmentée durant la présence de maïs, probablement liée à l'irrigation, au cours de l'année 2019 mais cette différence s'atténue par la suite.
- Les émissions de GES, sont réduites pour la rotation avec féverole notamment grâce à l'absence de fertilisation de celle-ci.

Résultats : effet des projections climatiques

		Valeurs absolues pour le scénario de référence									
		Critère Métrique		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
		RCP		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr		99.1	101.2	29.1	36.4	0	2	0.02	0.11	
Rendement protéique	kg/ha/yr		692.4	695.8	46.6	41.7	6	2	-0.002	0.08	
Marge brute	€/ha/yr		686.9	701.8	29.1	36.5	0	1	0.33	0.47	
Dépendance économique	-		0.211	0.208	51.6	17.6	0	0	0.28	0.03	
N apporté par le sol	kgN/ha/yr		106.5	105.1	40.2	32			1.09	0.88	
Structure du sol	-		0.0721	0.073	80.3	75.1			0.29	0.27	
Stockage du carbone	kC/ha/yr		263.3	268.7	87	86.9			-4.12	-3.79	
Qualité de l'eau	-		0.832	0.829	30.7	31.6			0.43	-0.28	
Matière active pest.	kg/ha/yr		2.4	2.3	90.3	70.3			0.05	-0.01	
Eau bleue	-		0.489	0.495	10.9	14.5			-0.3	-0.16	
GES	kg eq CO2/ha/yr		828.8	801.5	143.5	132.9			6.21	5.26	
Temps de travail	h/ha/yr		4.72	4.73	49.8	50.7	0	0	-0.04	-0.01	
Comparaison de RCP8.5 vs. RCP2.6				mieux		moins bien		pas de changement			

- Performances économiques sous RCP8.5 seraient légèrement meilleures que sous RCP2.6
- Performances environnementales améliorées sous RCP8.5 sauf pour le N fourni par le sol et la régulation de la qualité de l’eau et le temps de travail
- - de stabilité pour 5/12 performances et plus de perturbations pour le rendement en kcal et la marge brute
- Evolution des tendances intéressantes du point de vue de la résilience pour 8/12 performances

Résultats : effet des projections climatiques

		Valeurs absolues pour le scénario de référence									
		Critère Métrique		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
		RCP		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	99.1	101.2	29.1	36.4	0	2	0.02	0.11		
Rendement protéique	kg/ha/yr	692.4	695.8	46.6	41.7	6	2	-0.002	0.08		
Marge brute	€/ha/yr	686.9	701.8	29.1	36.5	0	1	0.33	0.47		
Dépendance économique	-	0.211	0.208	51.6	17.6	0	0	0.28	0.03		
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	106.5	105.1	40.2	32			1.09	0.88		
Structure du sol	-	0.0721	0.073	80.3	75.1			0.29	0.27		
Stockage du carbone	kC/ha/yr	263.3	268.7	87	86.9			-4.12	-3.79		
Qualité de l'eau	-	0.832	0.829	30.7	31.6			0.43	-0.28		
Matière active pest.	kg/ha/yr	2.4	2.3	90.3	70.3			0.05	-0.01		
Eau bleue	-	0.489	0.495	10.9	14.5			-0.3	-0.16		
GES	kg eq CO2/ha/yr	828.8	801.5	143.5	132.9			6.21	5.26		
Temps de travail	h/ha/yr	4.72	4.73	49.8	50.7	0	0	-0.04	-0.01		
Comparaison de RCP8.5 vs. RCP2.6			mieux		moins bien		pas de changement				

- Performances économiques sous RCP8.5 seraient légèrement meilleures que sous RCP2.6
- Performances environnementales améliorées sous RCP8.5 sauf pour le N fourni par le sol et la régulation de la qualité de l'eau et le temps de travail
- - de stabilité pour 5/12 performances et plus de perturbations pour le rendement en kcal et la marge brute
- Evolution des tendances intéressantes du point de vue de la résilience pour 8/12 performances

Résultats : effet des projections climatiques

		Valeurs absolues pour le scénario de référence									
		Critère Métrique		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
		RCP		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	99.1	101.2	29.1	36.4	0	2	0.02	0.11		
Rendement protéique	kg/ha/yr	692.4	695.8	46.6	41.7	6	2	-0.002	0.08		
Marge brute	€/ha/yr	686.9	701.8	29.1	36.5	0	1	0.33	0.47		
Dépendance économique	-	0.211	0.208	51.6	17.6	0	0	0.28	0.03		
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	106.5	105.1	40.2	32			1.09	0.88		
Structure du sol	-	0.0721	0.073	80.3	75.1			0.29	0.27		
Stockage du carbone	kC/ha/yr	263.3	268.7	87	86.9			-4.12	-3.79		
Qualité de l'eau	-	0.832	0.829	30.7	31.6			0.43	-0.28		
Matière active pest.	kg/ha/yr	2.4	2.3	90.3	70.3			0.05	-0.01		
Eau bleue	-	0.489	0.495	10.9	14.5			-0.3	-0.16		
GES	kg eq CO2/ha/yr	828.8	801.5	143.5	132.9			6.21	5.26		
Temps de travail	h/ha/yr	4.72	4.73	49.8	50.7	0	0	-0.04	-0.01		
Comparaison de RCP8.5 vs. RCP2.6			mieux		moins bien		pas de changement				

- Performances économiques sous RCP8.5 seraient légèrement meilleures que sous RCP2.6
- Performances environnementales améliorées sous RCP8.5 sauf pour le N fourni par le sol et la régulation de la qualité de l'eau et le temps de travail
- - de stabilité pour 5/12 performances et plus de perturbations pour le rendement en kcal et la marge brute
- Evolution des tendances intéressantes du point de vue de la résilience pour 8/12 performances

Résultats : effet des projections climatiques

		Valeurs absolues pour le scénario de référence							
	Critère Métrique	Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
	RCP	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	99.1	101.2	29.1	36.4	0	2	0.02	0.11
Rendement protéique	kg/ha/yr	692.4	695.8	46.6	41.7	6	2	-0.002	0.08
Marge brute	€/ha/yr	686.9	701.8	29.1	36.5	0	1	0.33	0.47
Dépendance économique	-	0.211	0.208	51.6	17.6	0	0	0.28	0.03
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	106.5	105.1	40.2	32			1.09	0.88
Structure du sol	-	0.0721	0.073	80.3	75.1			0.29	0.27
Stockage du carbone	kC/ha/yr	263.3	268.7	87	86.9			-4.12	-3.79
Qualité de l'eau	-	0.832	0.829	30.7	31.6			0.43	-0.28
Matière active pest.	kg/ha/yr	2.4	2.3	90.3	70.3			0.05	-0.01
Eau bleue	-	0.489	0.495	10.9	14.5			-0.3	-0.16
GES	kg eq CO2/ha/yr	828.8	801.5	143.5	132.9			6.21	5.26
Temps de travail	h/ha/yr	4.72	4.73	49.8	50.7	0	0	-0.04	-0.01
Comparaison de RCP8.5 vs. RCP2.6		mieux		moins bien		pas de changement			

- Performances économiques sous RCP8.5 seraient légèrement meilleures que sous RCP2.6
- Performances environnementales améliorées sous RCP8.5 sauf pour le N fourni par le sol et la régulation de la qualité de l'eau et le temps de travail
- - de stabilité pour 5/12 performances et plus de perturbations pour le rendement en kcal et la marge brute
- Evolution des tendances intéressantes du point de vue de la résilience pour 8/12 performances

Résultats : comparaison des scénarios

		variation relative (référence -> synergétique)								variation absolue (référence -> synergétique)							
		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
RCP		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	-2	-2	-34	-16	0	-50	-28	-132	-1.76	-2.36	-9.87	-5.69	0.00	-1.00	-0.03	-0.02
Rendement protéique	kg/ha/yr	11	11	-67	-26	-33	0	-50	-1599	74.63	78.21	-31.39	-10.81	-2.00	0.00	-0.04	-0.03
Marge brute	€/ha/yr	5	5	11	-17	0	-100	-8	-3	36.09	33.14	3.31	-6.09	0.00	-1.00	-0.04	-0.01
Dépendance	-	2	2	-28	20	0	0	-127	-44	0.00	0.00	-14.56	3.56	0.00	0.00	-0.04	-0.13
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	13	14	2	-22			-31	-24	13.47	14.56	0.73	-6.99			-0.27	-0.26
Structure du sol	-	-2	-2	-5	3			-17	-14	0.00	0.00	-4.11	2.18			-0.05	-0.04
Stockage du carbone	kC/ha/yr	-15	-16	67	177			-6	-8	-40.18	-42.19	58.49	153.42			-0.23	-0.32
Qualité de l'eau	-	-4	-4	47	-11			-7	-3	-0.03	-0.03	14.49	-3.38			-0.02	-0.01
Matière active pest.	kg/ha/yr	20	22	-44	-21			-873	-195	0.47	0.50	-39.75	-14.80			-0.05	-0.10
Eau bleue	-	-1	0	-21	-2			20	-35	0.00	0.00	-2.33	-0.25			0.03	-0.10
GES	kg eq CO2/ha/yr	-8	-8	29	95			-1	0	-67.25	-67.39	41.15	125.85			-0.07	0.00
Temps de travail	h/ha/yr	-5	-6	1	0	0	0	106	29	-0.25	-0.27	0.70	-0.07	0.00	0.00	0.01	0.01

Souhaité pour la résilience vers résilience vers vulnérabilité pas de changement

- Augmentation des performances économiques, stabilisation mais augmentation tendancielle ralenties bien que faibles initialement
- Augmentation N apporté par le sol et réduction de GES mais dégradation de tous les autres performances env. en particulier le stockage de C et la qté de matière active. Variabilité variable et tendances plutôt dégradées.
- Temps de travail diminué, même variabilité, résistance et tendance, initialement cste.

Résultats : comparaison des scénarios

		variation relative (référence -> synergétique)								variation absolue (référence -> synergétique)							
Critère	Métrique	Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
		RCP															
		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	-2	-2	-34	-16	0	-50	-28	-132	-1.76	-2.36	-9.87	-5.69	0.00	-1.00	-0.03	-0.02
Rendement protéique	kg/ha/yr	11	11	-67	-26	-33	0	-50	-1599	74.63	78.21	-31.39	-10.81	-2.00	0.00	-0.04	-0.03
Marge brute	€/ha/yr	5	5	11	-17	0	-100	-8	-3	36.09	33.14	3.31	-6.09	0.00	-1.00	-0.04	-0.01
Dépendance	-	2	2	-28	20	0	0	-127	-44	0.00	0.00	-14.56	3.56	0.00	0.00	-0.04	-0.13
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	13	14	2	-22			-31	-24	13.47	14.56	0.73	-6.99			-0.27	-0.26
Structure du sol	-	-2	-2	-5	3			-17	-14	0.00	0.00	-4.11	2.18			-0.05	-0.04
Stockage du carbone	kC/ha/yr	-15	-16	67	177			-6	-8	-40.18	-42.19	58.49	153.42			-0.23	-0.32
Qualité de l'eau	-	-4	-4	47	-11			-7	-3	-0.03	-0.03	14.49	-3.38			-0.02	-0.01
Matière active pest.	kg/ha/yr	20	22	-44	-21			-873	-195	0.47	0.50	-39.75	-14.80			-0.05	-0.10
Eau bleue	-	-1	0	-21	-2			20	-35	0.00	0.00	-2.33	-0.25			0.03	-0.10
GES	kg eq CO2/ha/yr	-8	-8	29	95			-1	0	-67.25	-67.39	41.15	125.85			-0.07	0.00
Temps de travail	h/ha/yr	-5	-6	1	0	0	0	106	29	-0.25	-0.27	0.70	-0.07	0.00	0.00	0.01	0.01

Souhaité pour la résilience vers résilience vers vulnérabilité pas de changement

- Augmentation des performances économiques, stabilisation mais augmentation tendancielle ralenties bien que faibles initialement
- Augmentation N apporté par le sol et réduction de GES mais dégradation de tous les autres performances env. en particulier le stockage de C et la qté de matière active. Variabilité variable et tendances plutôt dégradées.
- Temps de travail diminué, même variabilité, résistance et tendance, initialement cste.

Résultats : comparaison des scénarios

		variation relative (référence -> synergétique)								variation absolue (référence -> synergétique)							
Critère	Métrique	Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
	RCP	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	-2	-2	-34	-16	0	-50	-28	-132	-1.76	-2.36	-9.87	-5.69	0.00	-1.00	-0.03	-0.02
Rendement protéique	kg/ha/yr	11	11	-67	-26	-33	0	-50	-1599	74.63	78.21	-31.39	-10.81	-2.00	0.00	-0.04	-0.03
Marge brute	€/ha/yr	5	5	11	-17	0	-100	-8	-3	36.09	33.14	3.31	-6.09	0.00	-1.00	-0.04	-0.01
Dépendance	-	2	2	-28	20	0	0	-127	-44	0.00	0.00	-14.56	3.56	0.00	0.00	-0.04	-0.13
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	13	14	2	-22			-31	-24	13.47	14.56	0.73	-6.99			-0.27	-0.26
Structure du sol	-	-2	-2	-5	3			-17	-14	0.00	0.00	-4.11	2.18			-0.05	-0.04
Stockage du carbone	kC/ha/yr	-15	-16	67	177			-6	-8	-40.18	-42.19	58.49	153.42			-0.23	-0.32
Qualité de l'eau	-	-4	-4	47	-11			-7	-3	-0.03	-0.03	14.49	-3.38			-0.02	-0.01
Matière active pest.	kg/ha/yr	20	22	-44	-21			-873	-195	0.47	0.50	-39.75	-14.80			-0.05	-0.10
Eau bleue	-	-1	0	-21	-2			20	-35	0.00	0.00	-2.33	-0.25			0.03	-0.10
GES	kg eq CO2/ha/yr	-8	-8	29	95			-1	0	-67.25	-67.39	41.15	125.85			-0.07	0.00
Temps de travail	h/ha/yr	-5	-6	1	0	0	0	106	29	-0.25	-0.27	0.70	-0.07	0.00	0.00	0.01	0.01
Souhaité pour la résilience		vers résilience		vers vulnérabilité		pas de changement											

- Augmentation des performances économiques, stabilisation mais augmentation tendancielle ralenties bien que faibles initialement
- Augmentation N apporté par le sol et réduction de GES mais dégradation de tous les autres performances env. en particulier le stockage de C et la qté de matière active. Variabilité variable et tendances plutôt dégradées.
- Temps de travail diminué, même variabilité, résistance et tendance, initialement cste.

Résultats : comparaison des scénarios

		variation relative (référence -> synergétique)								variation absolue (référence -> synergétique)							
	Critère Métrique	Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %		Niveau moyenne		Variabilité RSD en %		Résistance nb de pic		Tendance pente en %	
		2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
	RCP	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5	2.6	8.5
Rendement énergie	Mj/kg DM/ha/yr	-2	-2	-34	-16	0	-50	-28	-132	-1.76	-2.36	-9.87	-5.69	0.00	-1.00	-0.03	-0.02
Rendement protéique	kg/ha/yr	11	11	-67	-26	-33	0	-50	-1599	74.63	78.21	-31.39	-10.81	-2.00	0.00	-0.04	-0.03
Marge brute	€/ha/yr	5	5	11	-17	0	-100	-8	-3	36.09	33.14	3.31	-6.09	0.00	-1.00	-0.04	-0.01
Dépendance	-	2	2	-28	20	0	0	-127	-44	0.00	0.00	-14.56	3.56	0.00	0.00	-0.04	-0.13
N apporté par le sol	kgN/ha/yr	13	14	2	-22			-31	-24	13.47	14.56	0.73	-6.99			-0.27	-0.26
Structure du sol	-	-2	-2	-5	3			-17	-14	0.00	0.00	-4.11	2.18			-0.05	-0.04
Stockage du carbone	kC/ha/yr	-15	-16	67	177			-6	-8	-40.18	-42.19	58.49	153.42			-0.23	-0.32
Qualité de l'eau	-	-4	-4	47	-11			-7	-3	-0.03	-0.03	14.49	-3.38			-0.02	-0.01
Matière active pest.	kg/ha/yr	20	22	-44	-21			-873	-195	0.47	0.50	-39.75	-14.80			-0.05	-0.10
Eau bleue	-	-1	0	-21	-2			20	-35	0.00	0.00	-2.33	-0.25			0.03	-0.10
GES	kg eq CO2/ha/yr	-8	-8	29	95			-1	0	-67.25	-67.39	41.15	125.85			-0.07	0.00
Temps de travail	h/ha/yr	-5	-6	1	0	0	0	106	29	-0.25	-0.27	0.70	-0.07	0.00	0.00	0.01	0.01

Souhaité pour la résilience

vers résilience

vers vulnérabilité

pas de changement

- Augmentation des performances économiques, stabilisation mais augmentation tendancielle ralenties bien que faibles initialement
- Augmentation N apporté par le sol et réduction de GES mais dégradation de tous les autres performances env. en particulier le stockage de C et la qté de matière active. Variabilité variable et tendances plutôt dégradées.
- Temps de travail diminué, même variabilité, résistance et tendance, initialement cste.

→ Un gain de résilience globalement mitigé, certain du point de vue socioéconomique mais questionnable du point de vue env.