

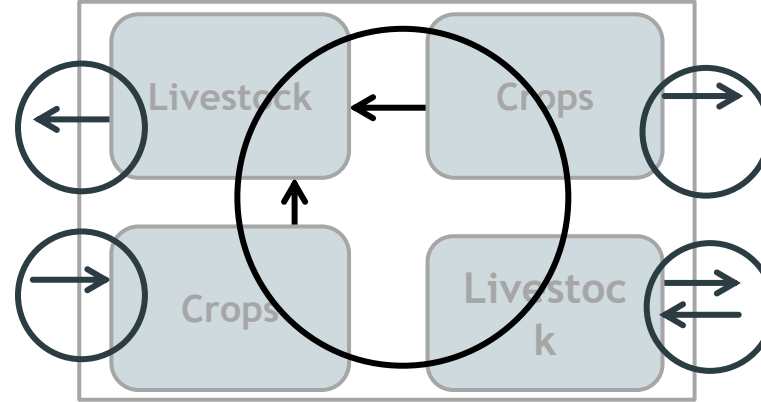
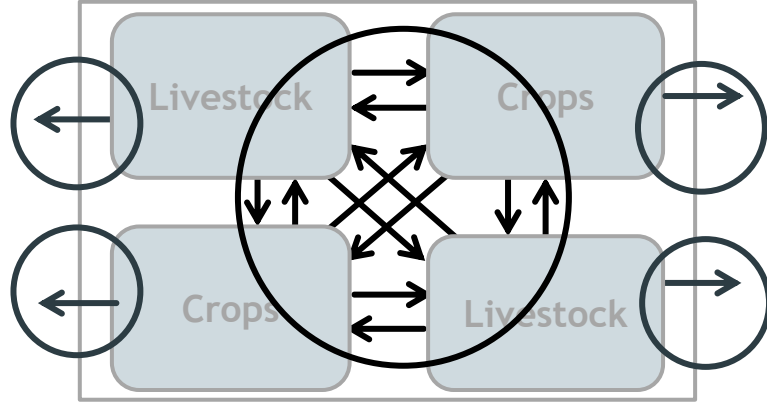


Intégration culture-élevage et analyse des réseaux de flux de nutriment

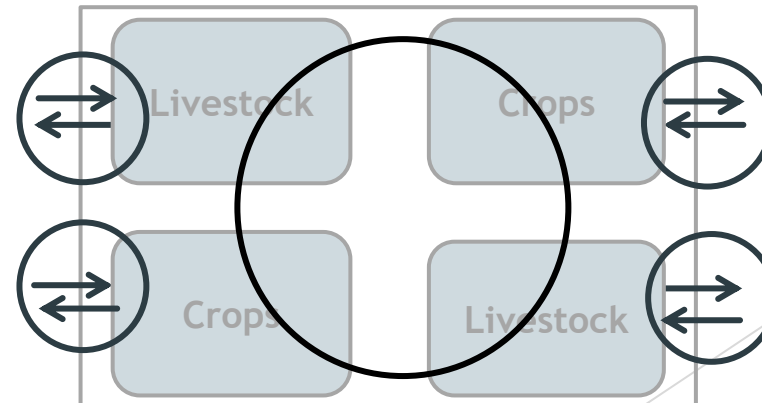
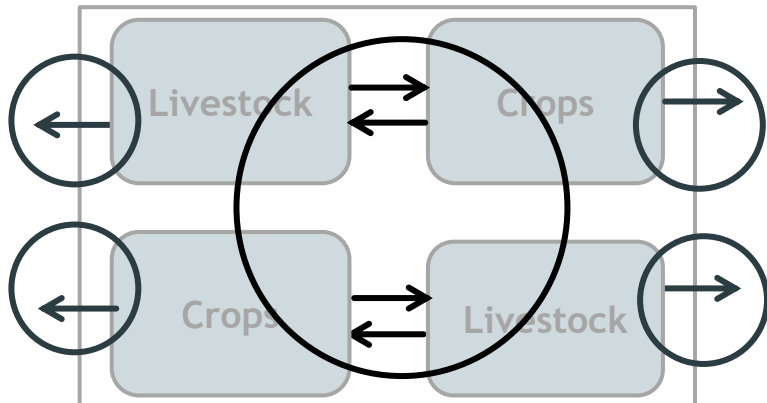
Fabien STARK, INRAE - UMR SELMET

I. Enjeux posés par l'agroécologie

- Comment caractériser cette diversité de pratiques d'IAE ?

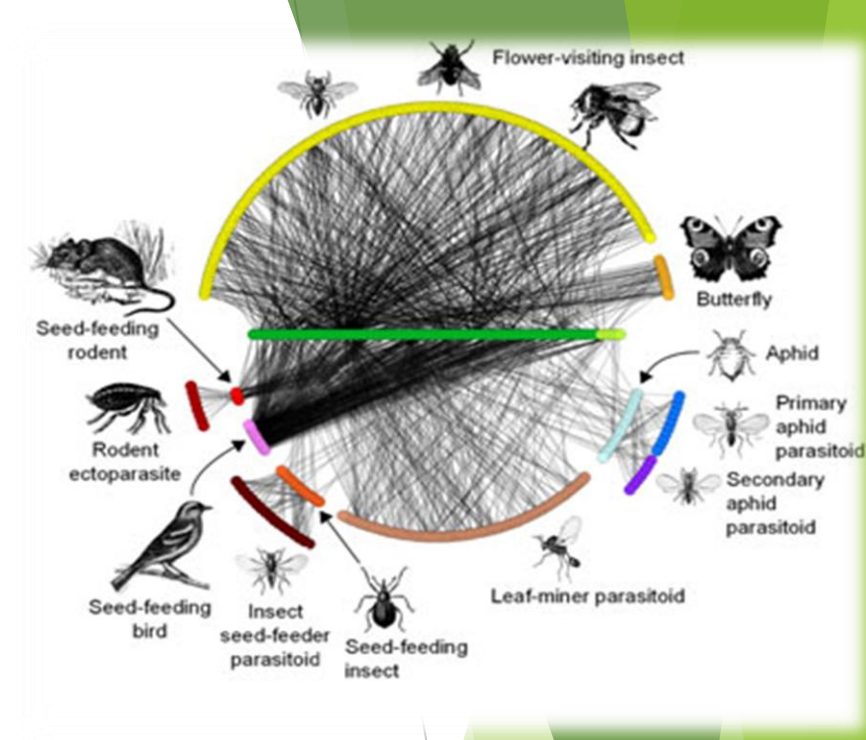


- Comment évaluer les performances (agroécologiques) qui en découlent ?

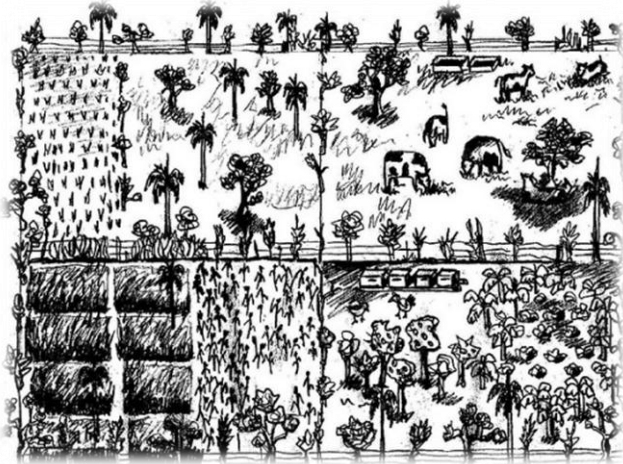


II. Intérêt de l'ENA

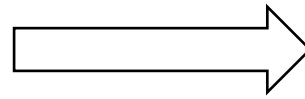
- ▶ System ecology (Borrett, Fath, Finn, Ulanowicz...)
- ▶ Issu du besoin des écologues de représenter et d'analyser les processus au niveau de **l'ensemble de l'écosystème** (Ulanowicz, 2004).
- ▶ Des approches plus réductionnistes se sont concentrées sur un petit **sous-ensemble d'interactions**, occultant la plupart des autres espèces, et par conséquent les **effets indirects** au niveau du système (Fath et al., 2007).
- ▶ L'**Ecological Network Analysis (ENA)** est une approche de **modélisation (matricielle)** et d'analyse (**algèbre linéaire**) pour étudier la structure, le fonctionnement, et le développement d'écosystèmes et d'autres types de systèmes dits "complexes" (Borrett et al., 2018)



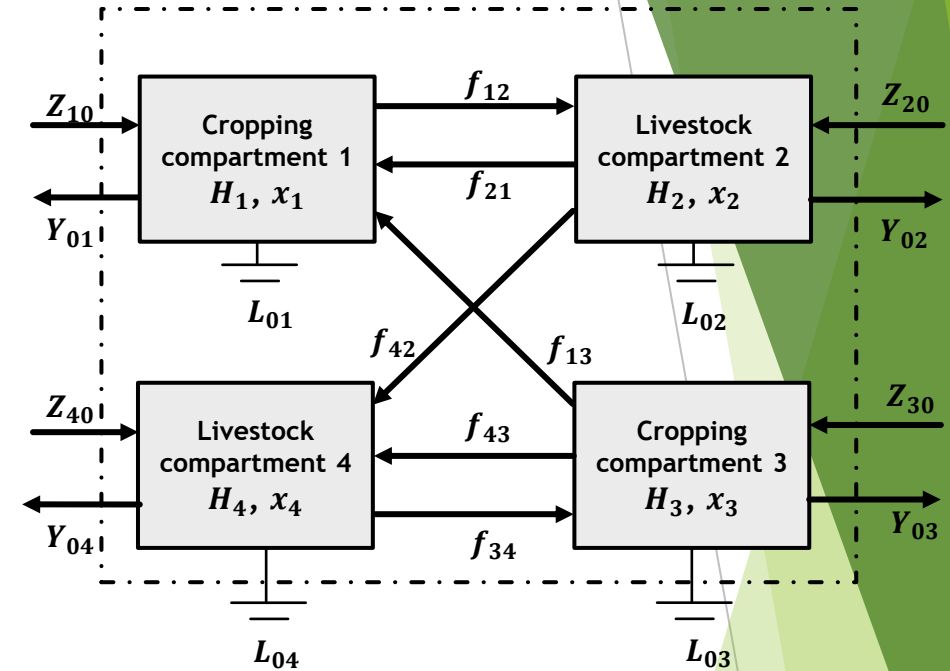
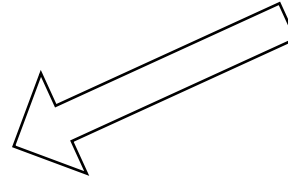
III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles



1. Modélisation conceptuelle

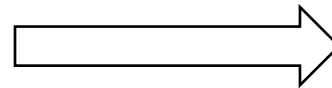


2. Modélisation matricielle



	Import	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
H ₁	Z _{1,0}	0	f _{1,2}	f _{1,3}	f _{1,4}
H ₂	Z _{2,0}	f _{2,1}	f _{2,2}	f _{2,3}	f _{2,4}
H ₃	Z _{3,0}	f _{3,1}	f _{3,2}	f _{3,3}	f _{3,4}
H ₄	Z _{4,0}	f _{4,1}	f _{4,2}	f _{4,3}	f _{4,4}
Export	0	Y _{0,1}	Y _{0,2}	Y _{0,3}	Y _{0,4}
Dissipation	0	D _{0,1}	D _{0,2}	D _{0,3}	D _{0,4}
Stock	0	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄

3. Evaluation multicritère



Intégration
agriculture-élevage

Intensité

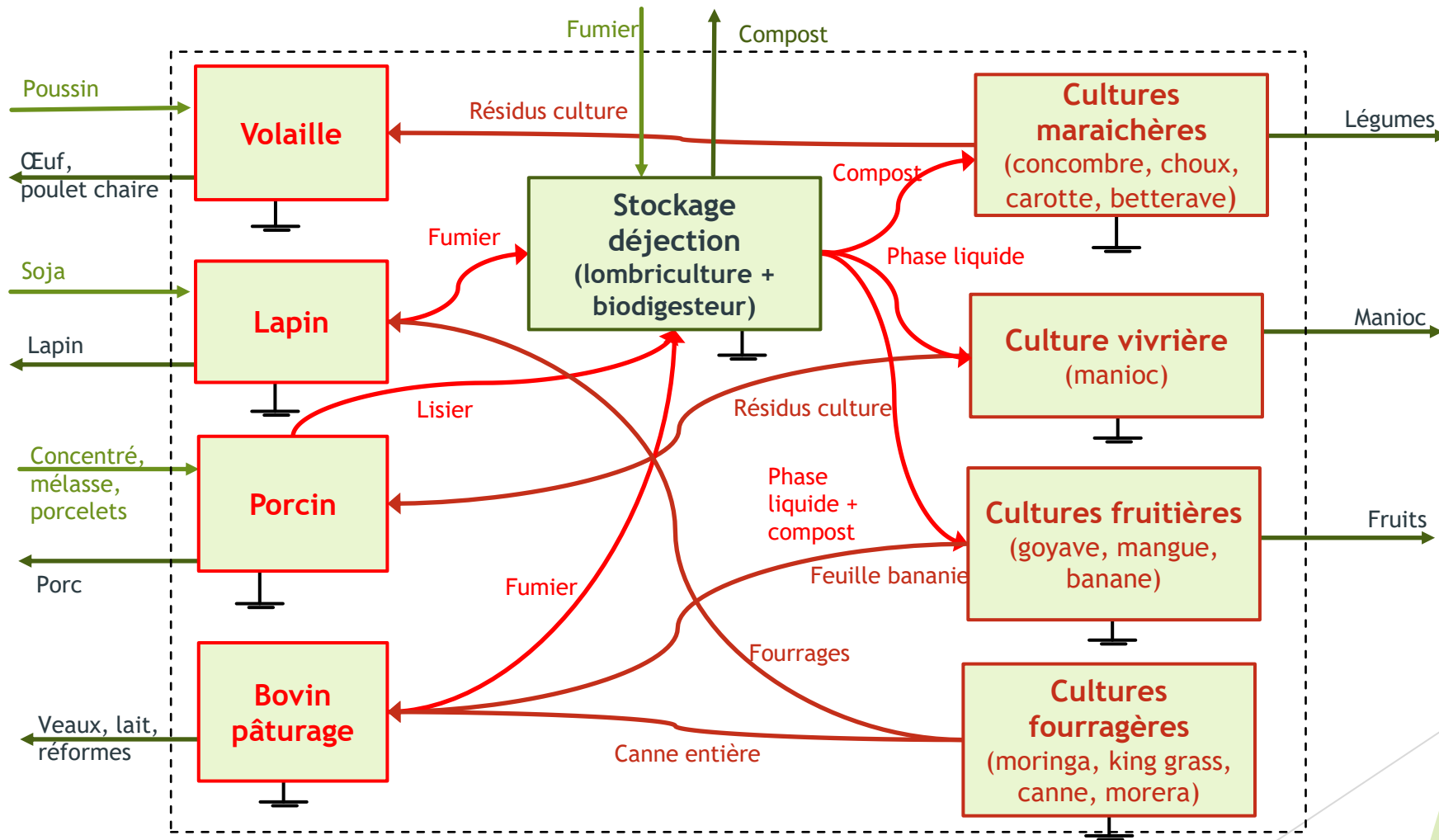
Organisation

Performances
agroécologiques

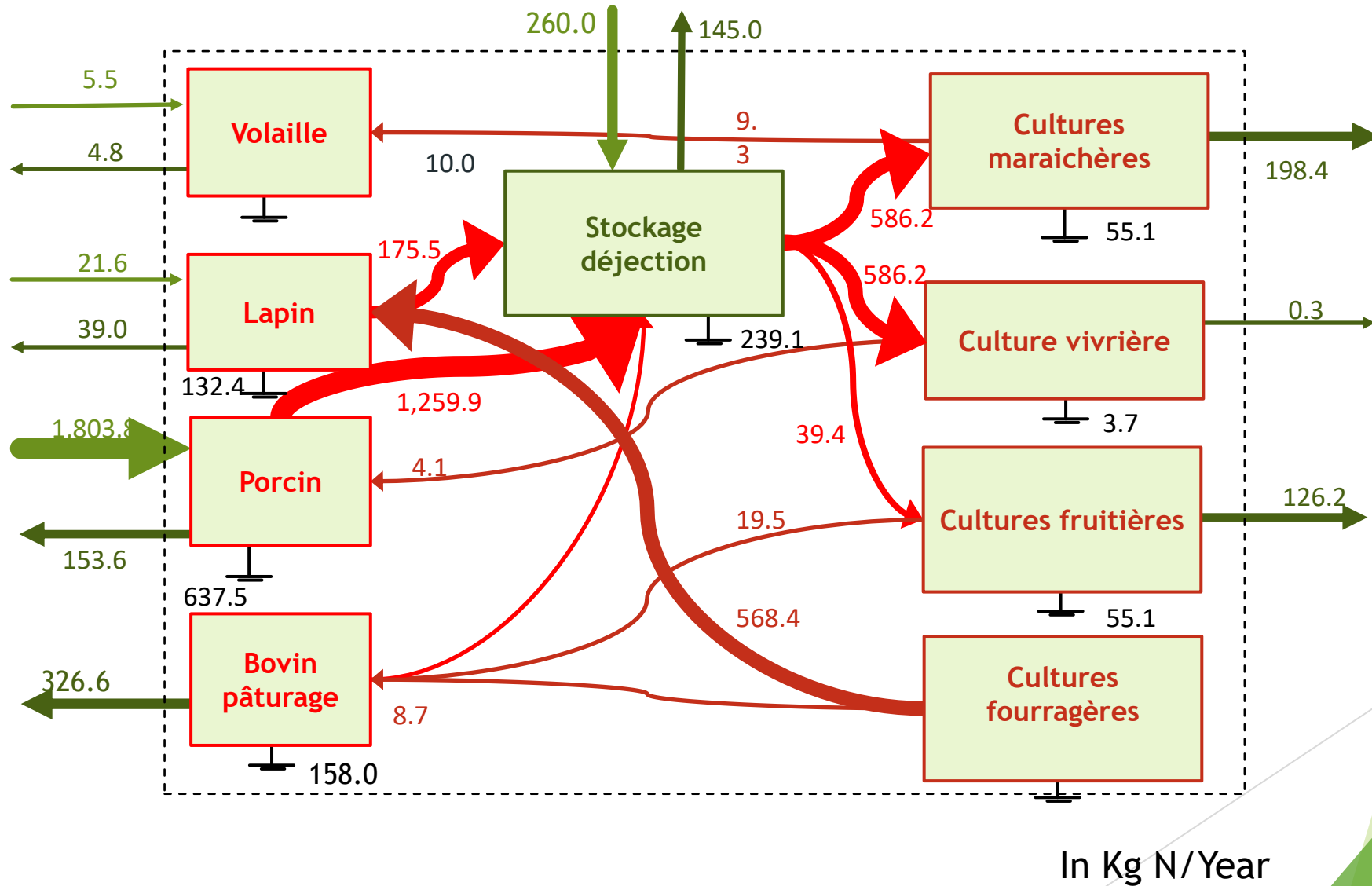
Efficacité

Résilience

III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles



III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles



III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles

► Indicateurs de structure et de fonctionnement

**Total system
throughflow (TST)**

$$TST = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n [f_{kj} + z_{k0} - (\dot{x}_k)_{-}]$$

Quantité totale de flux circulant dans le
systèmes

Intensité flux IAE

$$TT = \sum_{i=1}^{j=n} f_{ij}$$

Somme des flux internes

III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles

C5	Bovin	Porcin	Volaille	Lapin	C. Vivrière	C. Maraichère	C. Fruitière	C. Fourragère	S. Déjection	Inputs
Bovin		-	-	-	-	-	19.5	8.7	-	
Porcin	-		-	-	4.1	-	-	-	-	1,803.8
Volaille	-	-		-	-	9.3	-	-	-	5.5
Lapin	-	-	-		-	-	-	568.4	-	21.6
C. Vivrière	-	-	-	-		-	-	-	39.4	-
C. Maraichère	-	-	-	-	-		-	-	586.2	-
C. Fruitière	-	-	-	-	-	-		-	586.2	-
C. Fourragère	-	-	-	-	-	-	-		-	-
S. Déjection	148.6	1,259.9	-	175.5	-	-	-	-		260.0
Outputs	326.6	153.6	4.8	39.0	0.3	198.4	126.2	-	145.0	
Pertes	158.0	637.5	10.0	132.4	3.7	55.1	55.1	-	239.1	

Intensité flux IAE (TT)

Total system throughflow (TST)

In Kg N/Year

III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles



available at www.sciencedirect.com



journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ecocom>



Quantifying sustainability: Resilience, efficiency and the return of information theory

Robert E. Ulanowicz^{a,*}, Sally J. Goerner^b, Bernard Lietaer^c, Rocio Gomez^d

^a University of Maryland Center for Environmental Science, Chesapeake Biological Laboratory, Solomons, MD 20688-0038, USA

^b Integral Science Institute, 374 Wesley Ct, Chapel Hill, NC 27516, USA

^c Center for Sustainable Resources, University of California, 101 Giannini Hall, Berkeley, CA 94720-3100, USA

^d School of Computer Science, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, United Kingdom

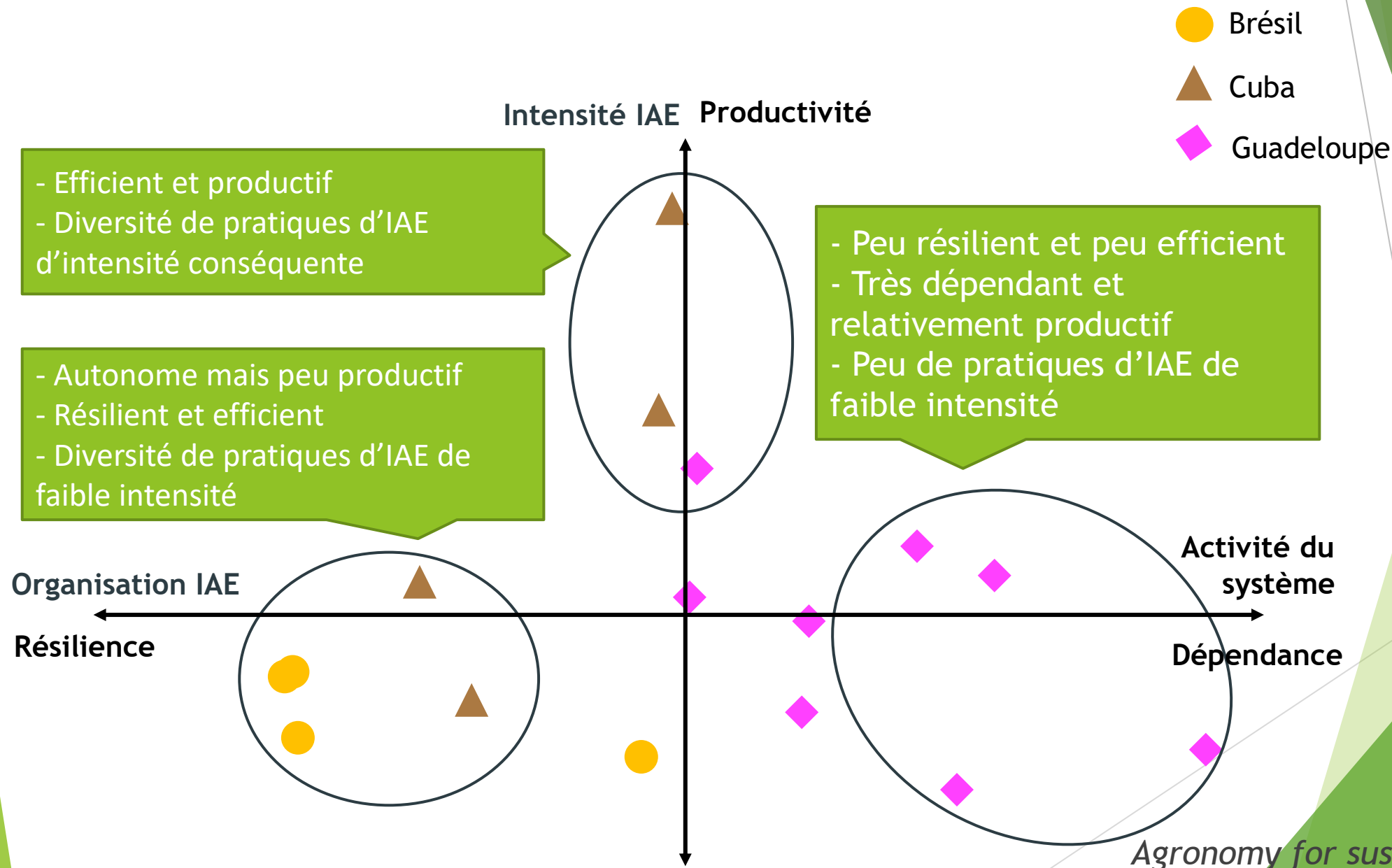
III. L'ENA appliquée à l'étude des systèmes agricoles

► Indicateurs de performances

Efficienne	productivité / dépendance	Quantité totale des productions en fonction de la quantité totale d'intrants utilisée , exprimée en %
Ascendancy	$A = \sum_{i,j} T_{ij} \log \left(\frac{T_{ij} T_{..}}{T_{i.} T_{.j}} \right)$	Représente le niveau de développement actuel du système
Development capacity	$C = - \sum_{i,j} T_{ij} \log \left(\frac{T_{ij}}{T_{..}} \right)$	Représente le potentiel de développement maximum de développement du système
Overhead	$\phi = - \sum_{i,j} T_{ij} \log \left(\frac{T_{ij}^2}{T_{i.} T_{.j}} \right)$	Différence entre les 2, qui correspond à la réserve de développement du système
Resilience	ϕ / C	Capacité de réserve du système calculée en fonction de la configuration et de l'intensité du réseau de flux (flux indirects) et qui confère au système sa propriété d'adaptation et d'évolution face à des perturbations

IV. Quelques travaux passés et en cours

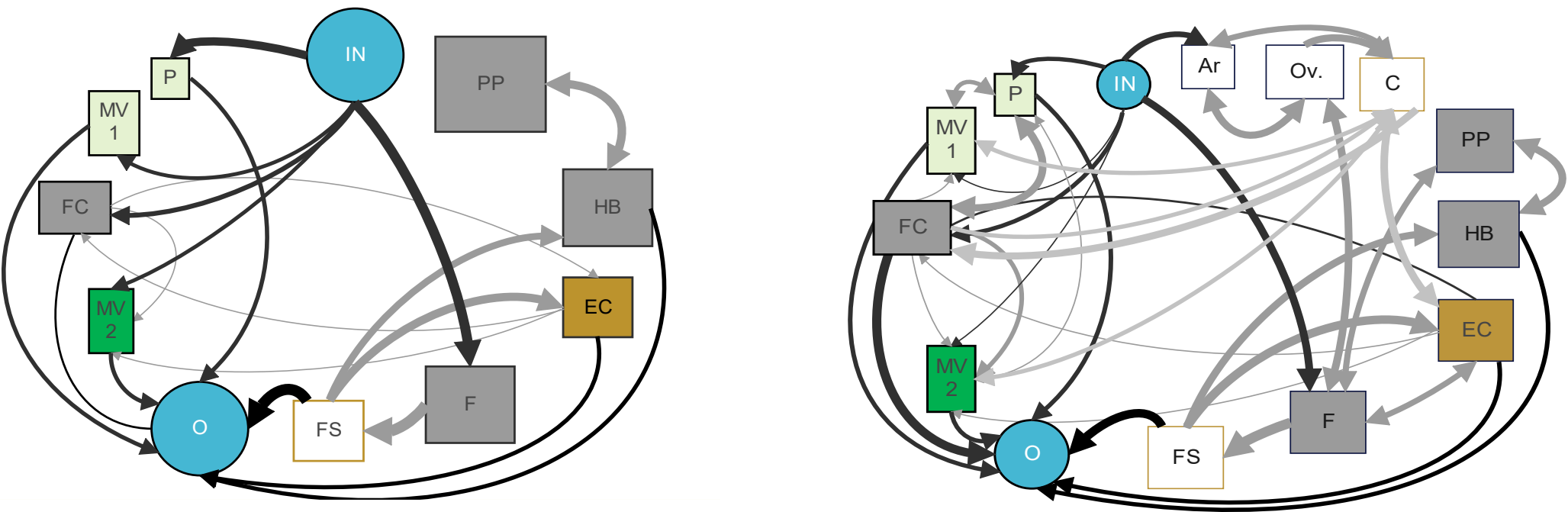
Evaluation comparative des performances agroécologiques



IV. Quelques travaux passés et en cours

Fermes collectives et intégration agriculture-élevage:

Le cas du Domaine des Possibles, Arles

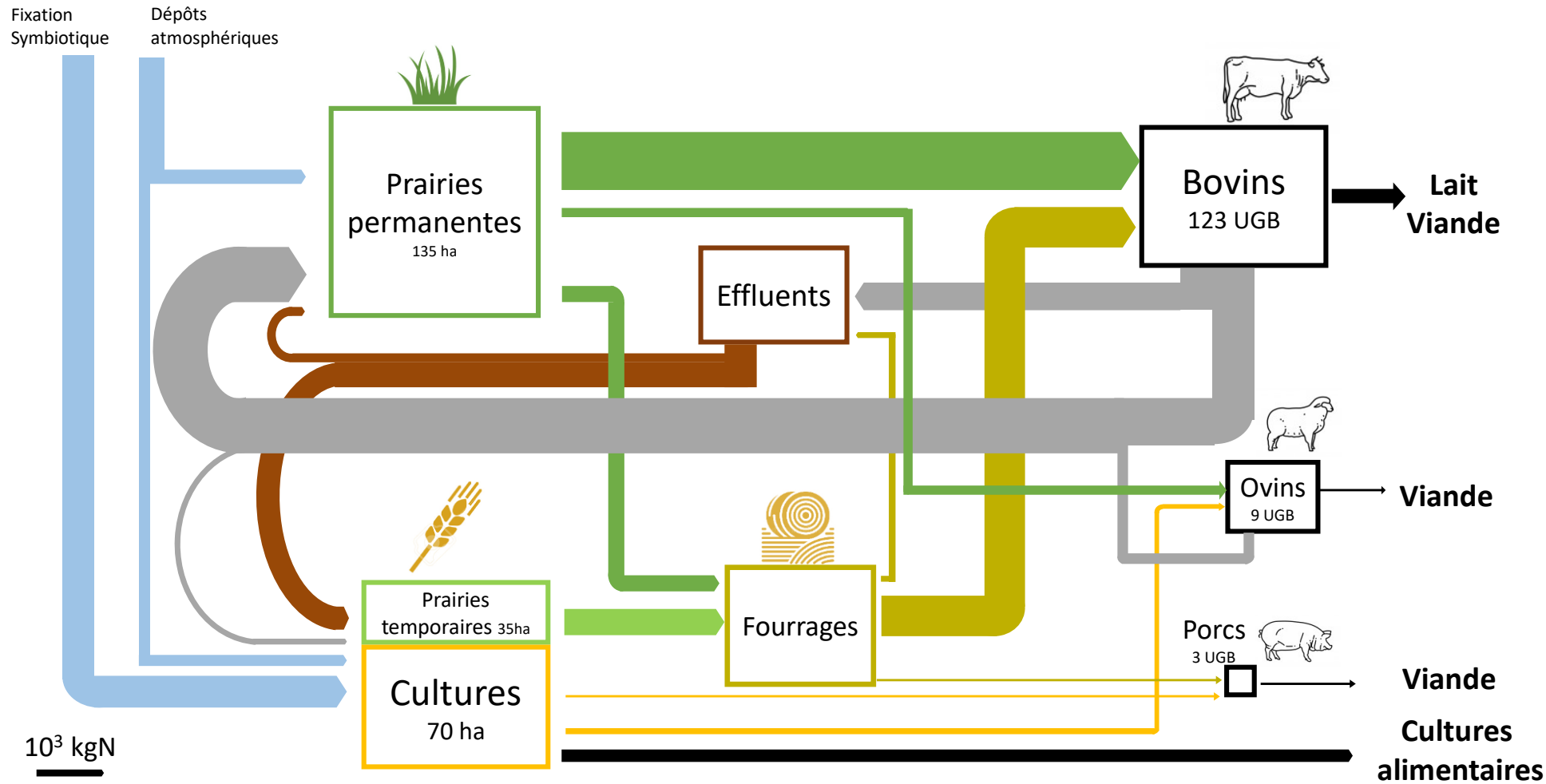


	S0	S-	S+	S++
Organization of flows				
Number of compartments (n)	10	10	10	12
System activity (TST) (kgN.ha ⁻¹ .yr ⁻¹)	98,39	101,97	99,97	112,8
Intensity of integration (TT) (kgN.ha ⁻¹ .yr ⁻¹)	54,4	44,7	56,23	75,08
Organization of network flows (AMI/Hr) (without unit)	0.82	0.83	0.73	0.54
System performance				
Productivity (kgN.ha ⁻¹ .yr ⁻¹)	27.8	37.4	30.6	19.1
Dependance (kgN.ha ⁻¹ .yr ⁻¹)	30.1	39.7	27	13.4
Use of internal resources by production units	18.0%	1.0%	46.9%	86.7%
Efficiency (productivity/dependance)	92%	94%	113%	141%
Resilience potential (Φ) (without unit)	0.37	0.36	0.47	0.64

IV. Quelques travaux passés et en cours

Poly-culture-Poly-élevage : expérimentation système de Mirecourt

Flux d'azote au sein du PAPILLE expérimenté sur l'unité de recherche INRAE-ASTER (Mirecourt – 2016-2021)



Seuls les principaux flux sont représentés. L'épaisseur des flèches est proportionnelle à la valeur des flux

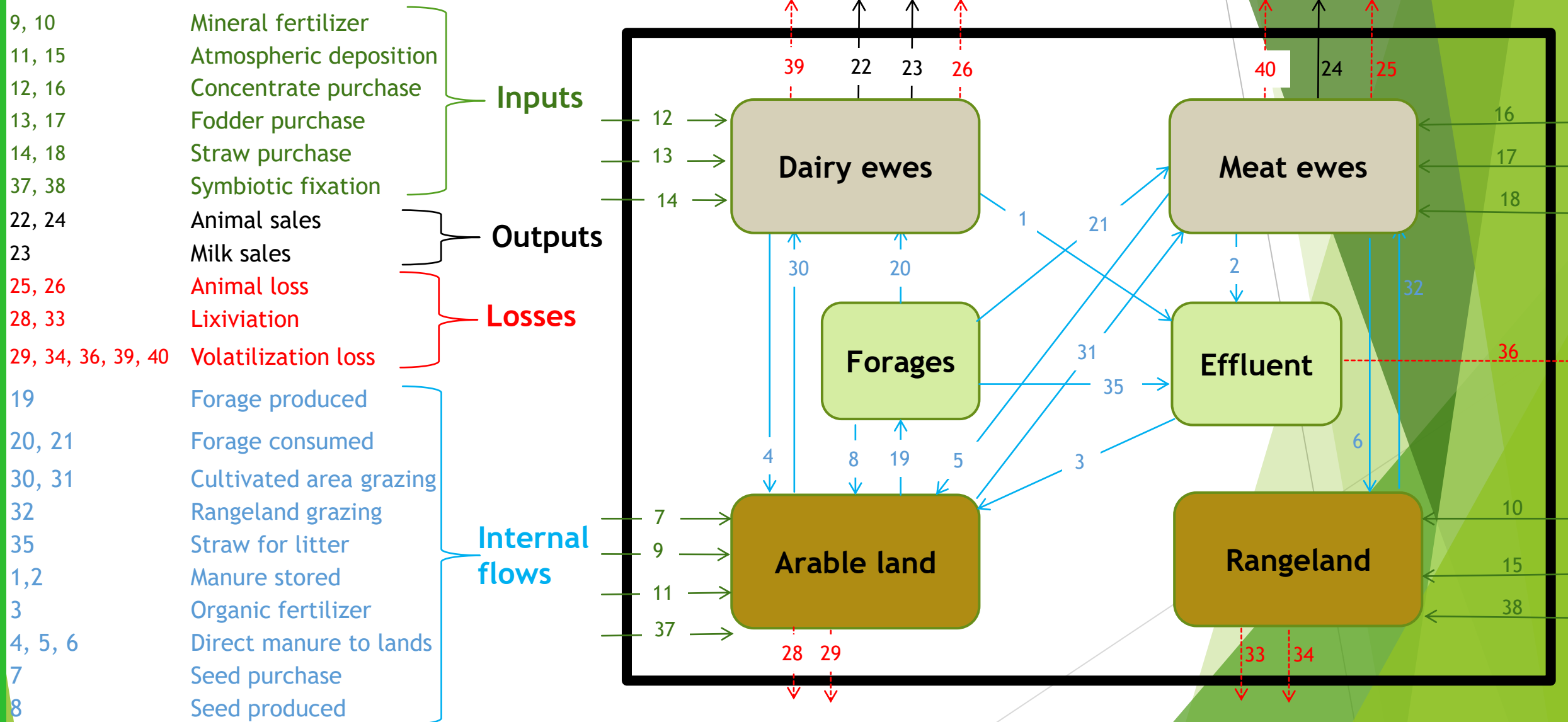
Adapté de Puech et Stark, 2023

Puech et Stark, 2023

Agriculture, Ecosystem & Environment

IV. Quelques travaux passés et en cours

Analyse de l'efficience et de l'autosuffisance (La Fage, Aveyron)



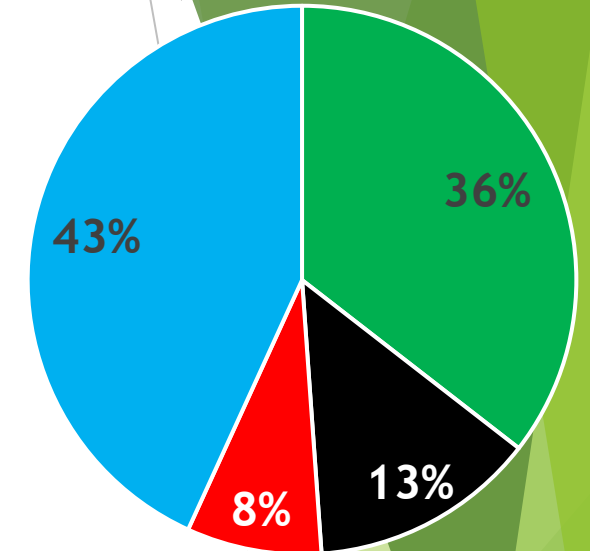
IV. Quelques travaux passés et en cours

Analyse de l'efficience et de l'autosuffisance (La Fage, Aveyron)

Efficience de 77% (sans intrants naturels)

↖	Inputs	Dairy ewes	Meat ewes	Arable land	Rangeland	Forages	Effluent
Dairy ewes	5,927	0	0	936	0	8,328	0
Meat ewes	884	0	0	384	1,818	1,300	0
Arable land	12,749	380	168	0	0	46	2,002
Rangeland	6,110	0	1,632	0	0	0	0
Forages	0	0	0	9,154	0	0	0
Effluent	0	4,244	57	0	0	780	0
Outputs	0	6,503	3,162	0	0	0	0
Losses	0	1,213	373	2,122	1,527	0	517

25,671 Kg N.year⁻¹



Inputs

Losses

Outputs

Internal flows

31,226 Kg N.year⁻¹

9,665 Kg N.year⁻¹

5,751 Kg N.year⁻¹

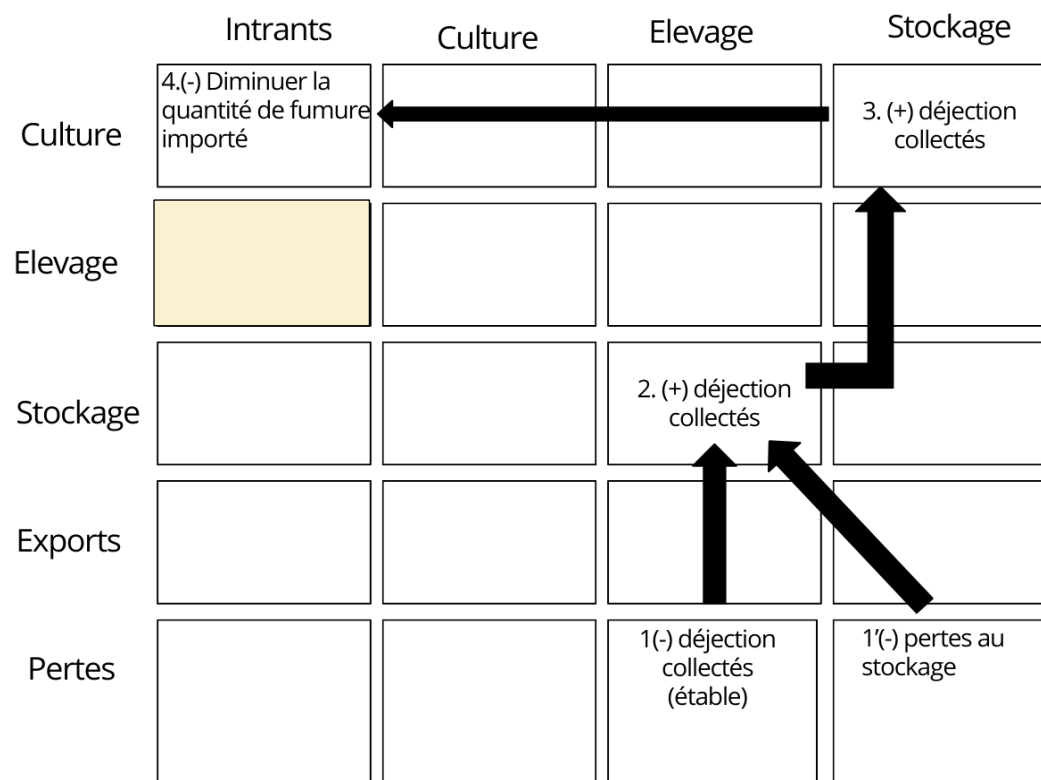
La Fage, 2019, Kg N.year⁻¹

Nasri et al.,

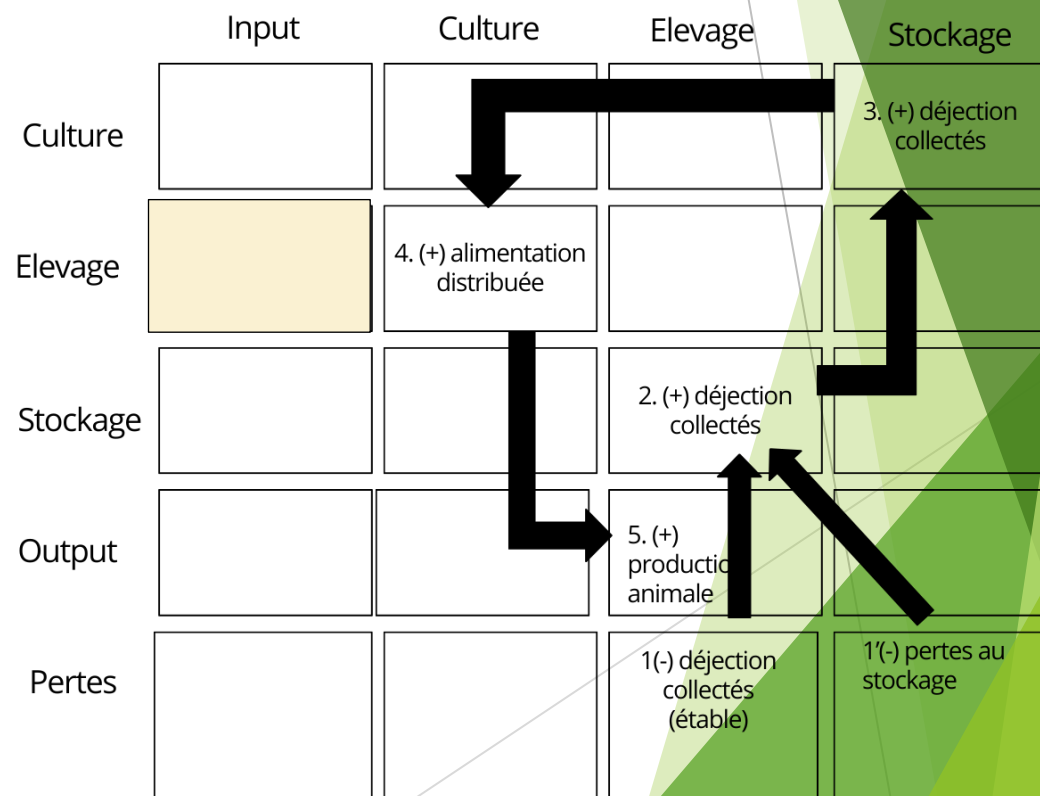
IV. Quelques travaux passés et en cours

Simulation de scénarios d'amélioration du recyclage des nutriments et évaluation des performances agroécologique à Madagascar

Scenario pour diminuer la quantité de fumures importée

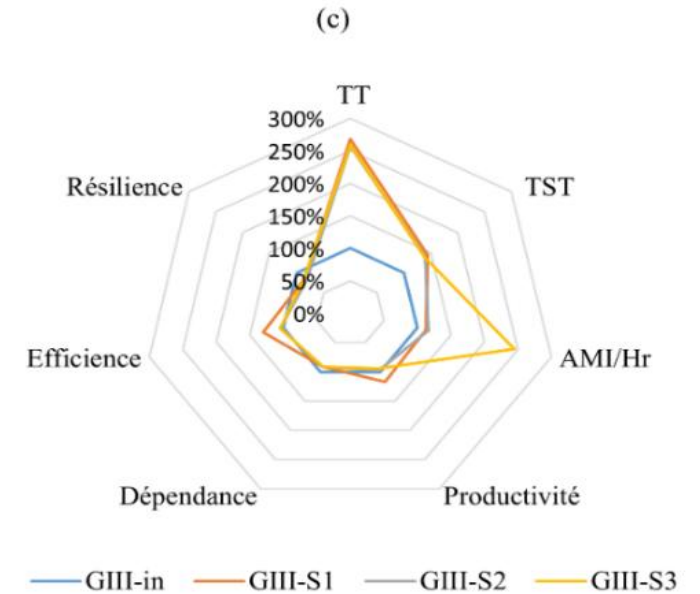
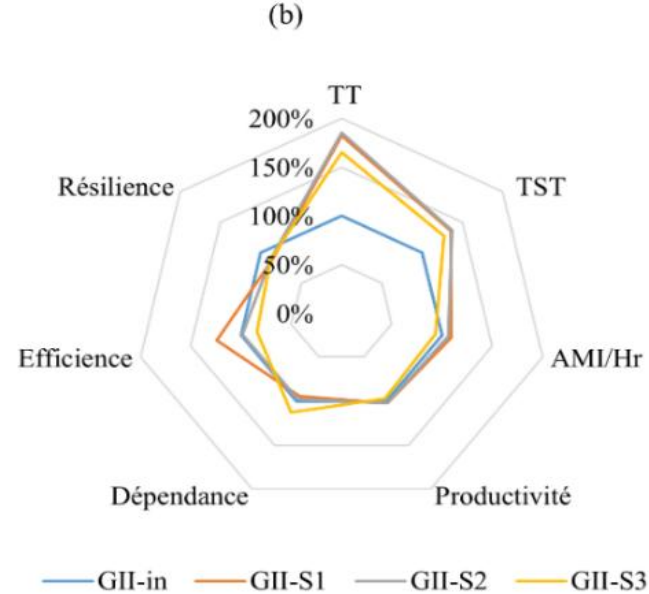
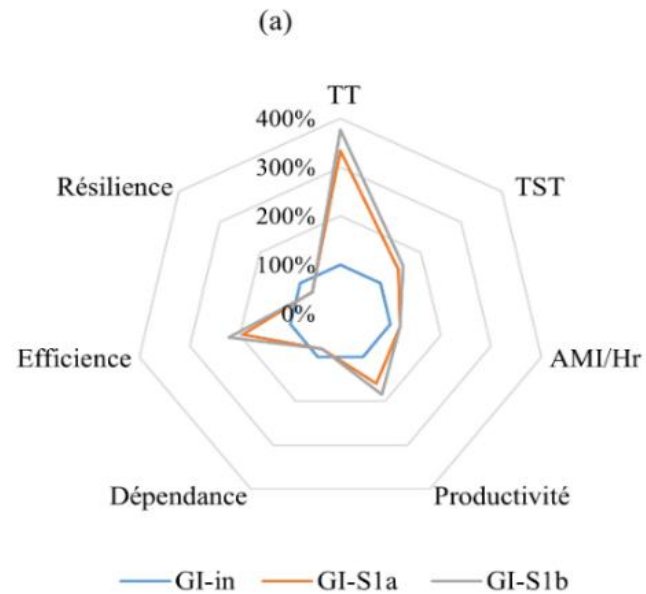


Scenario pour augmenter la production



IV. Quelques travaux passés et en cours

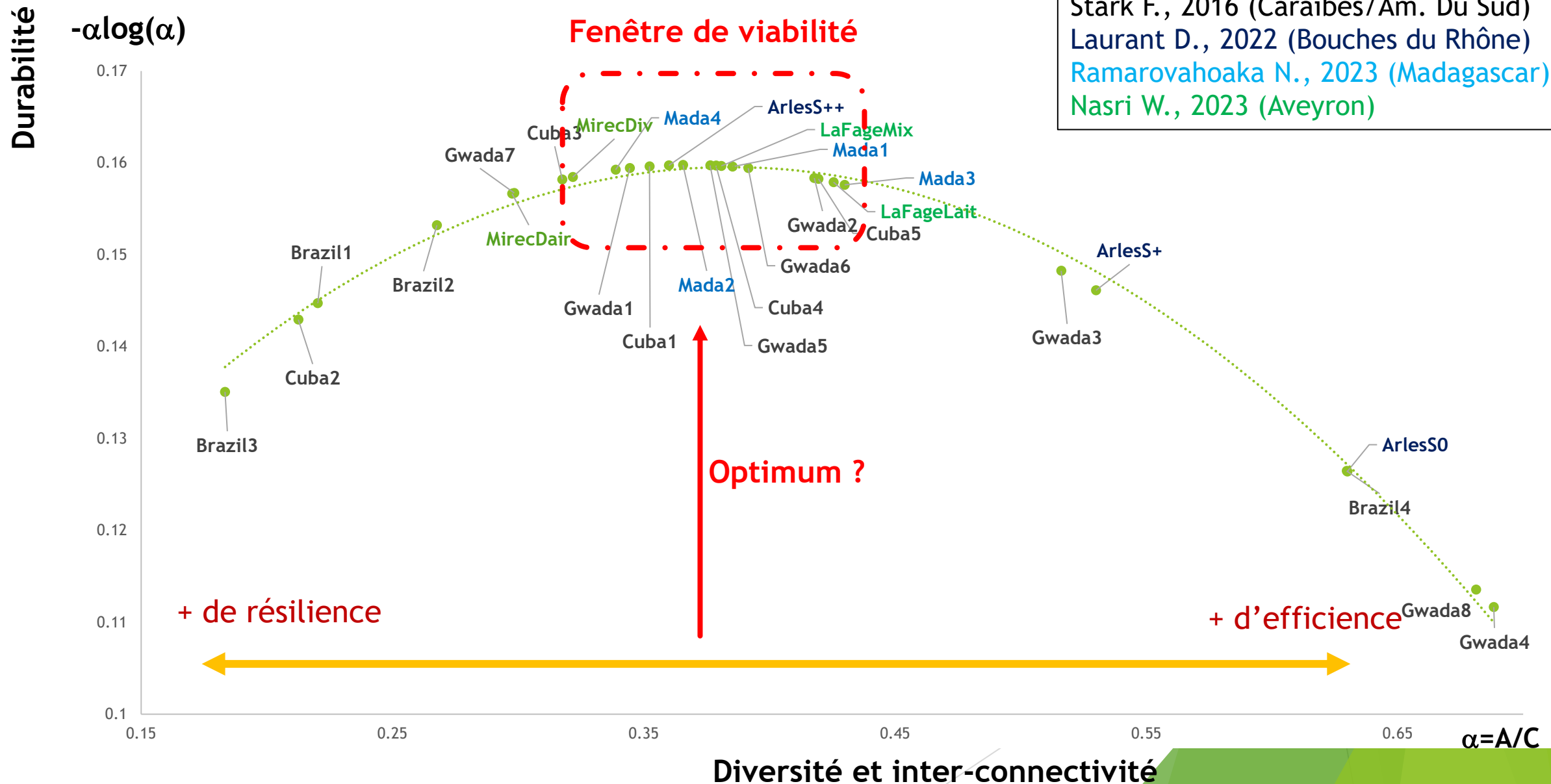
Simulation de scénarios d'amélioration du recyclage des nutriments et évaluation des performances agroécologique à Madagascar



- S1 : diminution de la quantité de fumures importées
S2 : scénarios sur l'augmentation de fourrage produite
S3 : scénarios sur la productivité animaux

V. Perspectives d'application et de développement

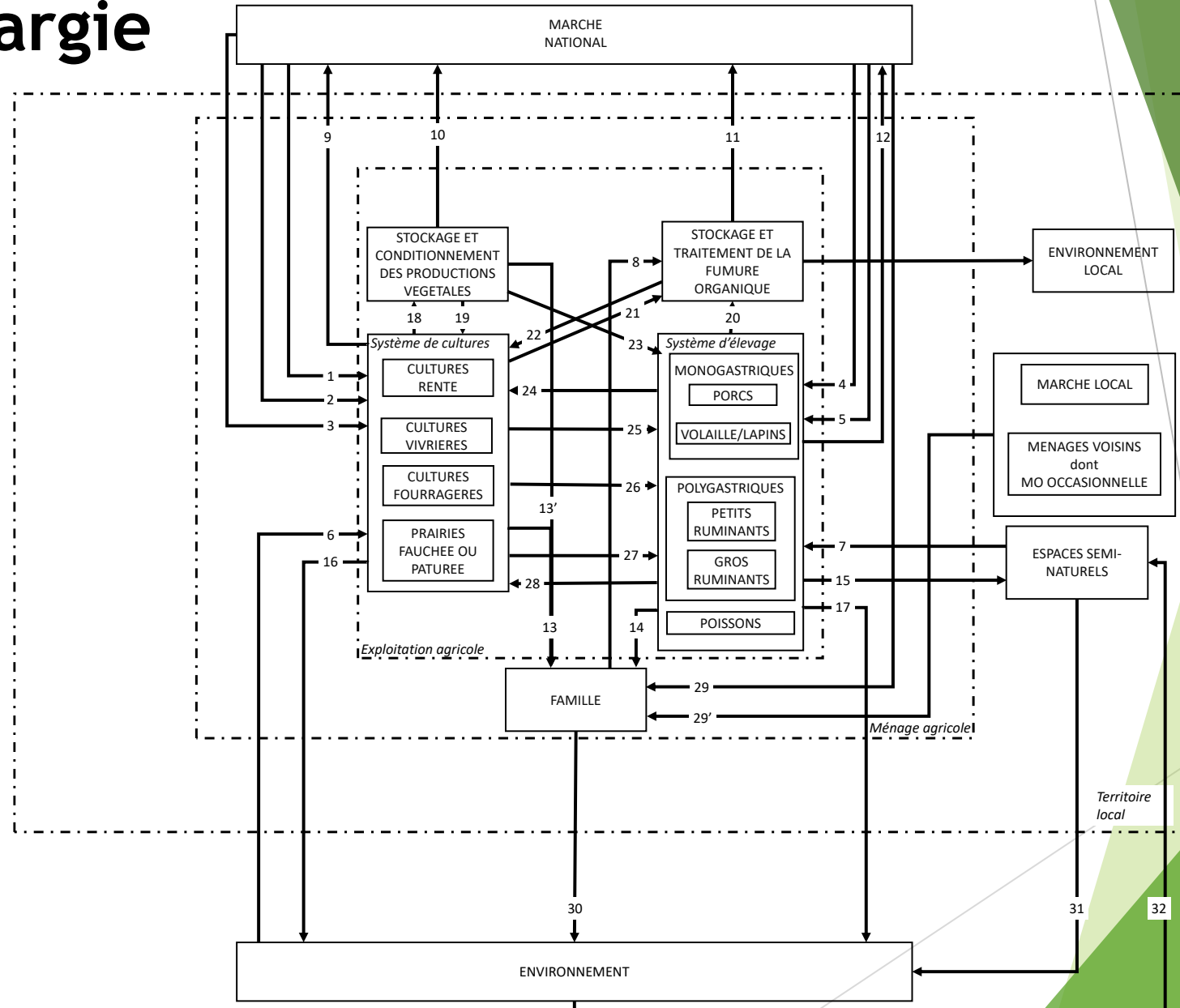
Trade-offs entre efficacité & résilience



V. Perspectives d'application et de développement

Comparaison élargie

Brésil	Etat du Para
Cuba	Province du Matanzas
Guadeloupe	
Madagascar	Région de Vakinankaratra (Madagascar)
Sénégal	Région du Fatick (Sénégal)
Burkina Faso	Koumbia, Province du Tuy (Burkina Faso)
France	Bretagne
Mali	Région de Sikasso
Ile de la Réunion	
Inde	Petlad, District d'Anand (Inde)
Vietnam	Nord-Ouest Vietnam



V. Conclusion

- ▶ Approche métabolique (TST) intéressante pour apprécier le niveau « d'activité »
- ▶ Equilibre à trouver entre approche « globale » et la compréhension des pratiques sous-jacentes
- ▶ Circularité et/ou recyclage ?
- ▶ Question du niveau de diversité et du niveau d'intégration « optimal » ?
- ▶ Quid des autres nutriments et performances associées (GES, Energie)



Intégration culture-élevage et analyse des réseaux de flux de nutriment

Fabien STARK, INRAE - UMR SELMET