

Diversification d'un système de polyculture-élevage bovin laitier autonome : les complémentarités cultures-élevages pour l'alimentation humaine

Thomas Puech^{1}, Fabien Stark²*

¹ INRAE, UR ASTER, 88500 Mirecourt, France

² INRAE, Univ. Montpellier, CIRAD, Montpellier Supagro, UMR SELMET, 34000 Montpellier, France

* thomas.puech@inrae.fr

Introduction

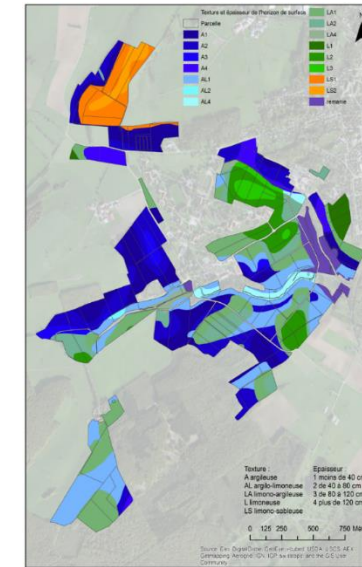
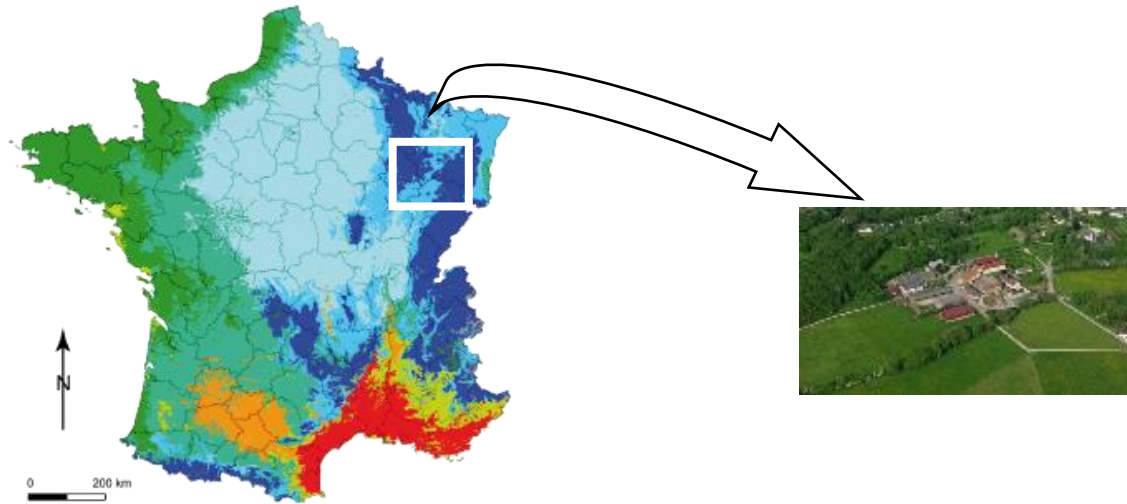
- Spécialisation croissante des exploitations et des territoires depuis les années 1970
- **Conséquences de cette spécialisation** (Billen et al., 2014, Schott et al., 2018, Therond et al., 2017, Mignolet et al., 2012) :
 - Systèmes alimentaires organisés à l'échelle mondiale
 - Dépendance des agrosystèmes aux intrants (engrais, alimentation animale;)
 - Diminution du nombre d'exploitations et agrandissement
 - Recul des systèmes en polyculture-élevage (zones périphériques)
 - Environnementales : ressources en eau, biodiversité...
- **Raréfaction des ressources non renouvelables** (Pinsard, 2022) + augmentation du coût des intrants (énergie, alimentation animale, engrais)
 - ➔ Regain d'intérêt pour les systèmes autonomes, intégrant cultures et élevages
- **Concurrences d'usage des sols (alimentation humaine / animale – Mottet et al., 2017) ?**
 - ➔ Arbitrages dans l'usage des ressources & performances des systèmes ?

Introduction

- Objectif : impact de la diversification pour l'alimentation humaine d'un système polyculture-élevage autonome

Montagne
semi-continentale et le climat des marges montagnardes
océanique dégradé des plaines du Centre et du Nord
Océanique altéré
Océanique franc
Méditerranéen altéré
Bassin du Sud-Ouest
Méditerranéen franc

Joly et al, 2015



Installation expérimentale INRAE ASTER Mirecourt :

- Expérimentation « système » à l'échelle ferme entière
- Conception « pas à pas »
- 240 ha (135 ha de PP, 105 ha de terres labourables)
- Climat semi-continentale, sols à dominance argileuse

Matériel et méthodes

- 1 installation expérimentale – 2 systèmes expérimentés

Système laitier (2011-2015)

Système diversifié (2018-2020)



Choix stratégiques		
Autonomie	Aucun achat/vente de fertilisants ou Fourrages	
Degré de diversification	Spécialisé en production laitière (prairies et cultures annuelle fourragères) + blé meunier	Très diversifié : 3 espèces animales (bovin lait, ovins allaitants, porcs) et 20 cultures annuelles
Destination des cultures	Cultures annuelles = alimentation humaine et animale (bovin lait)	Cultures annuelles = alimentation humaine <u>seulement</u> , Ruminants strictement herbivores, porcs détritivores



Matériel et méthodes

Systeme étudié



1. Conceptualisation

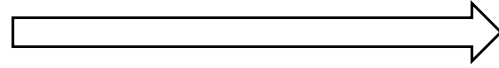
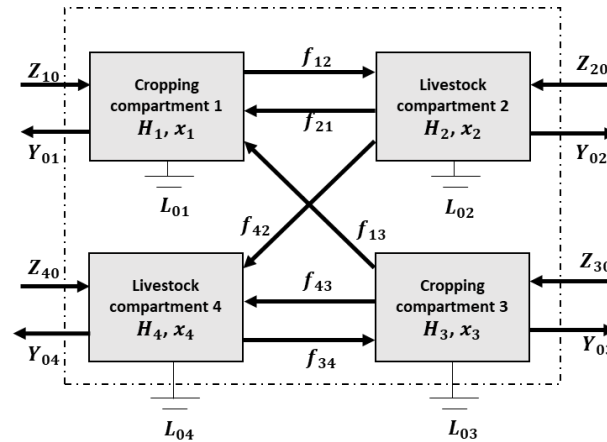
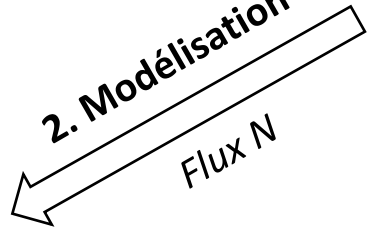


Diagramme de flux



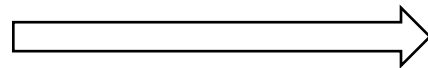
2. Modélisation



Matrice de flux

	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. Analyse



Intégration cultures-élevages	Activité du système	Performances / alimentation humaine
	Intensité	
Performances	Organisation	
	Efficiéce	
	Productivité	
	Autonomie	
	Résilience	

Ecological Network Analysis : Rufino et al. (2008), Ulanowicz et al. (2009), Fath et al. (2019)
Agronomie : Allwood et al. (2013), Godinot et al. (2020),

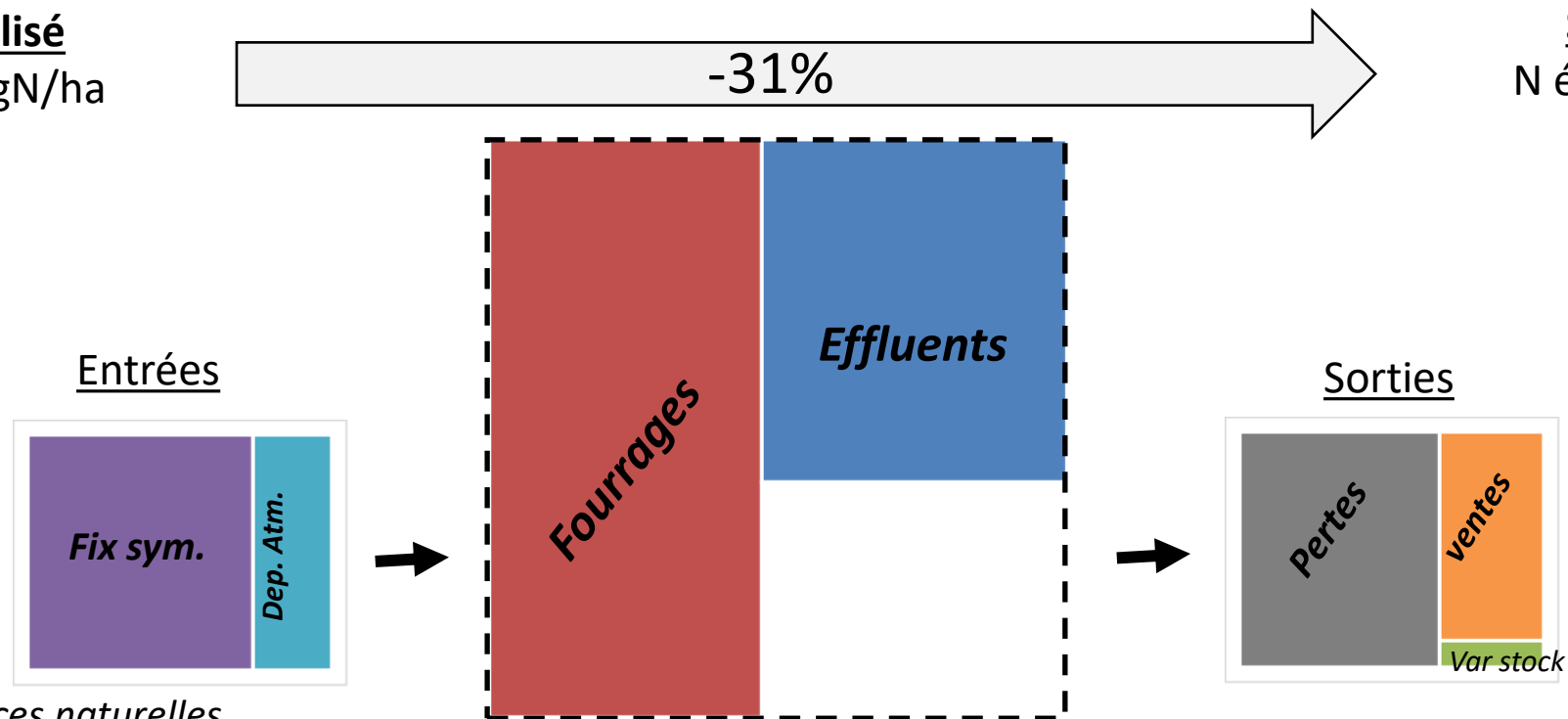
Résultats : Métabolisme

Différence principalement dûe à :

- Réduction des effectifs animaux totaux
- 3 années de sécheresse (déficit hydrique estival : -346mm 2018-2020; -146mm 2011-2015)

Systeme spécialisé
N échangé : 288kgN/ha

Systeme diversifié
N échangé : 208 kgN/ha



Intrants : 100% ressources naturelles

- 70% fix. symbiotique,
- 30% dépôts atmosphériques

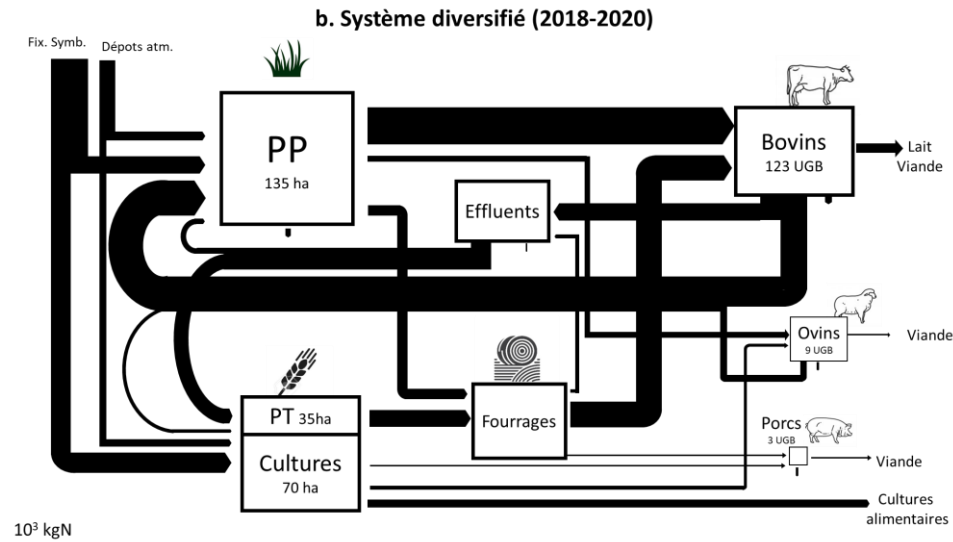
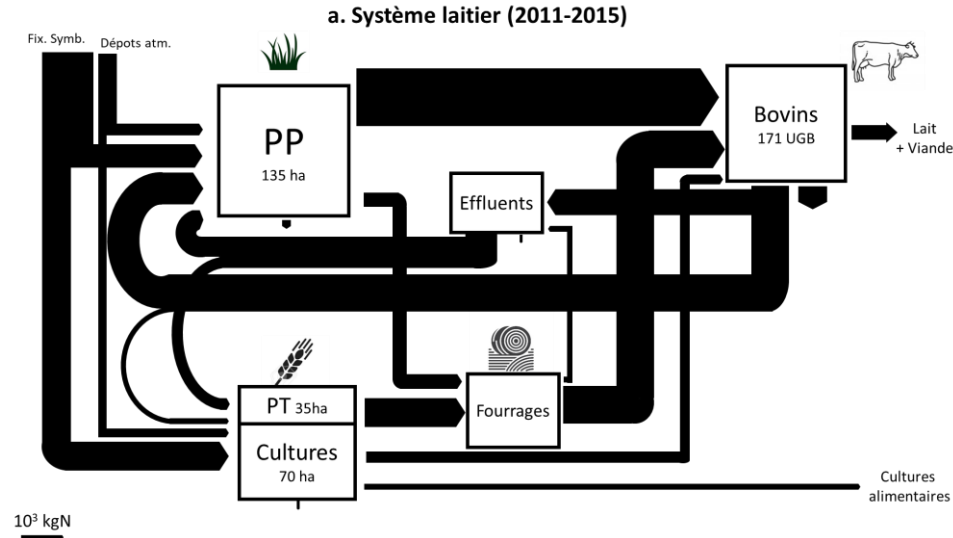
Flux internes : intégration cultures/élevages

- 75% de l'activité du système

- L'autonomie basée exclusivement sur l'intégration cultures-élevages et des ressources renouvelables
- Rôle central de l'intégration cultures-élevage dans le système

Résultats

	Système laitier (2011-2015)	Système diversifié (2018-2020)
Productions animales exportées (lait + viande)	3 258 kgN	2 088 kgN
Cultures alimentation humaine	1 146 kgN	1 614 kgN
Productivité totale « alimentaire »*	18.3 kgN/ha	15.4 kg/ha

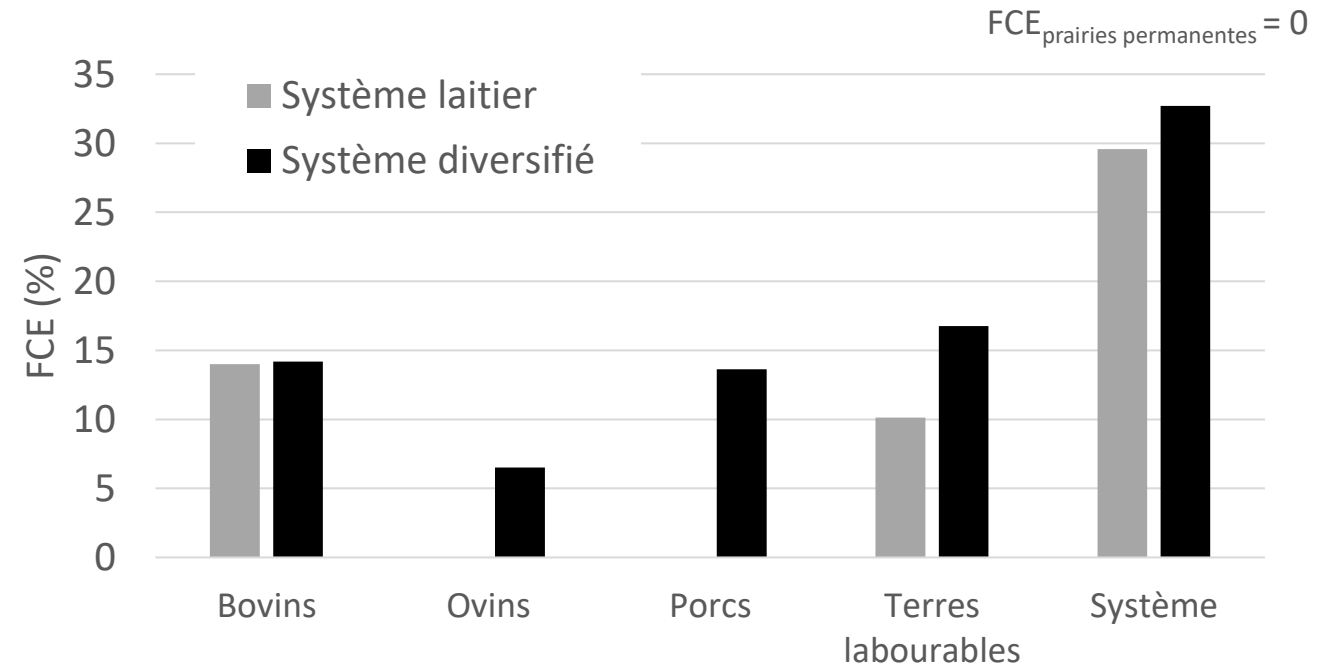
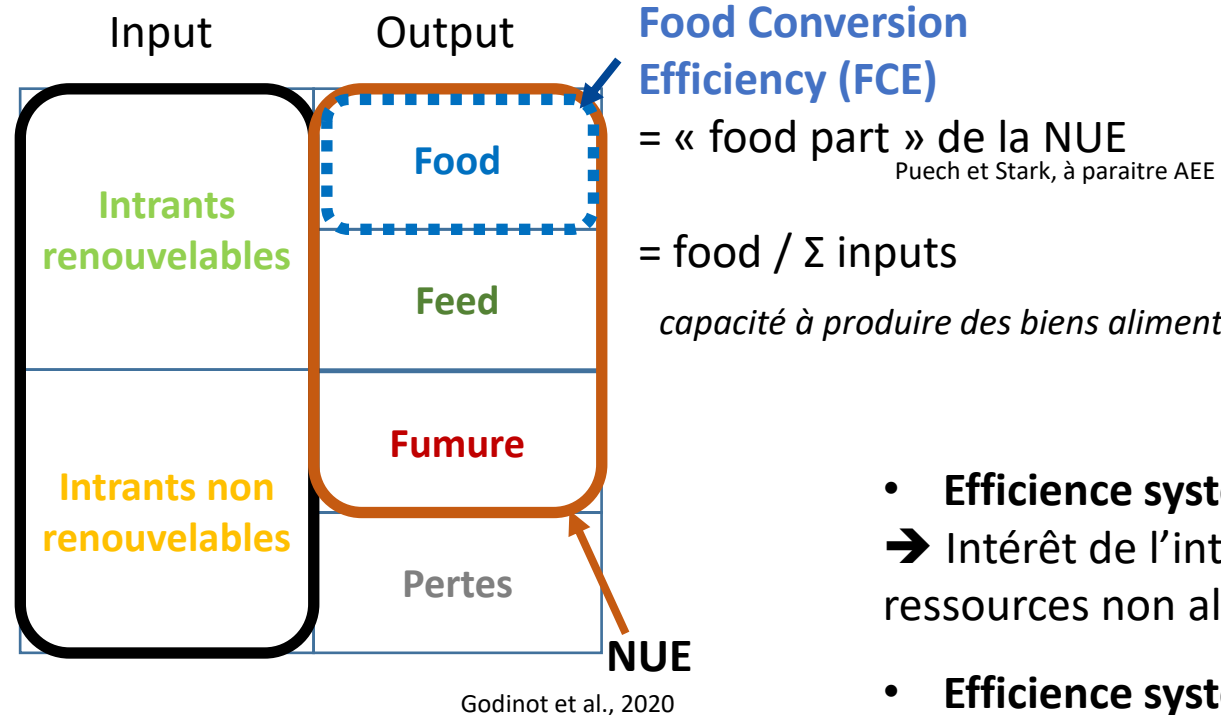


- Productions animales
 Productions végétales
- ❖ Réduction de la production alimentaire totale dans le système diversifié (-16%)
- ❖ Métabolisme du système diversifié reste dominé par la production laitière

*10kgN ≈ 500 kg blé meunier (14% protéines); ≈ 2000 kg lait (32g/l TB)

Résultats

- Focus sur l'efficacité

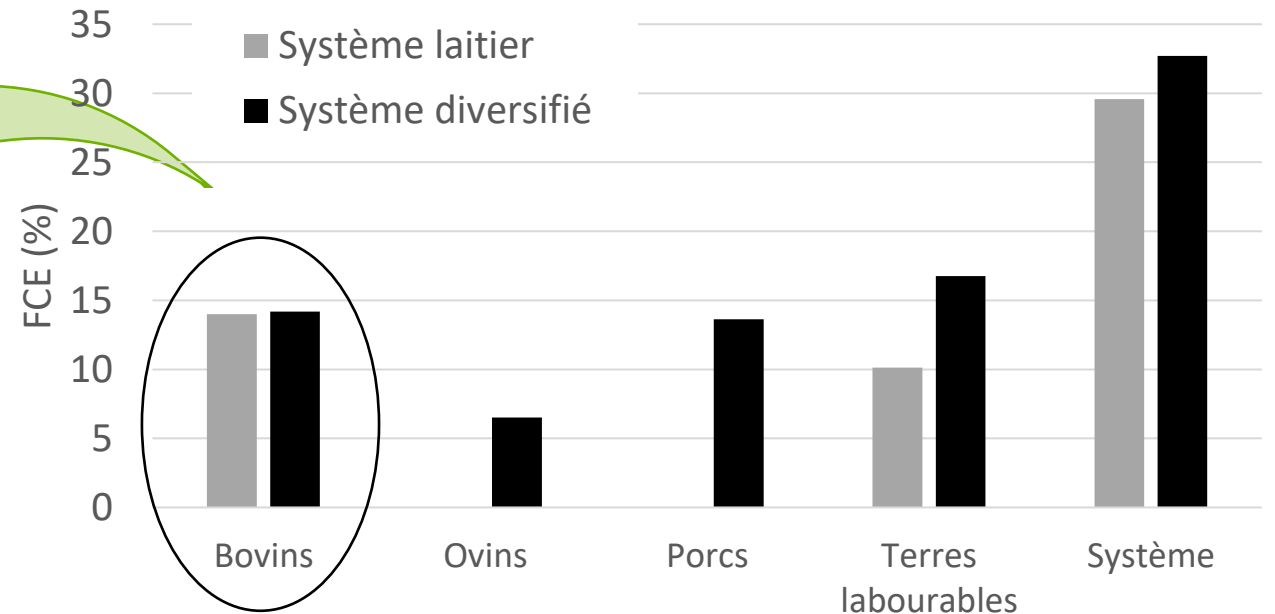


- **Efficacité système > efficacité des composantes prises isolément**
→ Intérêt de l'intégration cultures-élevages & rôle des animaux pour valoriser des ressources non alimentaires (prairies)
- **Efficacité système diversifié > système spécialisé (sur NUE ou FCE)**
→ Moins de pertes dans le système diversifié (pertes/TST = 10%) que dans le système spécialisé (pertes/TST = 14%)
→ Une production alimentaire « plus directe » dans le système diversifié

Résultats

Petit focus sur la production laitière...

FCE_{prairies permanentes} = 0



- $FCE_{\text{bovins - système spécialisé}} \approx FCE_{\text{bovins - système diversifié}}$

➔ Perte de production liée au passage à la monotraite compensé en grande partie par une augmentation des taux de matière utile, un changement de régime alimentaire et une avancée de l'âge au premier vêlage.

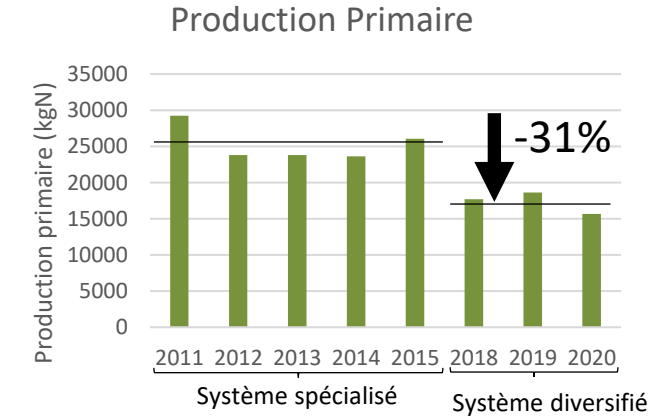
	Système spécialisé 2011-2015	Système diversifié 2018-2020
Production laitière (l/VL/an)	5 507	3 313
TB-TP (g/kg)	42 – 33	47 – 36
Concentrés (g/ VL / j)	431	0
Age au 1 ^{er} vêlage (mois)	36	26.6
UGB bovins improductifs (%)	22.2	21.1

Résultats

Efficiences du système / conditions de milieu ?

Hypothèse : la production primaire est un proxy des conditions de milieu.

	Système spécialisé	Système diversifié
Productions alimentaires (lait + viande + cultures)	4 314 kgN	3 690 kgN
Production primaire produite (dont part pâturée)	25 324 kgN (59%)	17 054 kgN (60%)
Production primaire consommée	24 737 kgN Excédent + 2.3%	17 511 kgN Déficit : - 2.6 %
Efficiences de production alimentaire	17.4 %	21.1 %



Avril-octobre	Système spécialisé	Système diversifié
PRCP (mm)	484	363
ETP (mm)	628	711
Déficit hydrique P-ETP (mm)	- 144	- 348

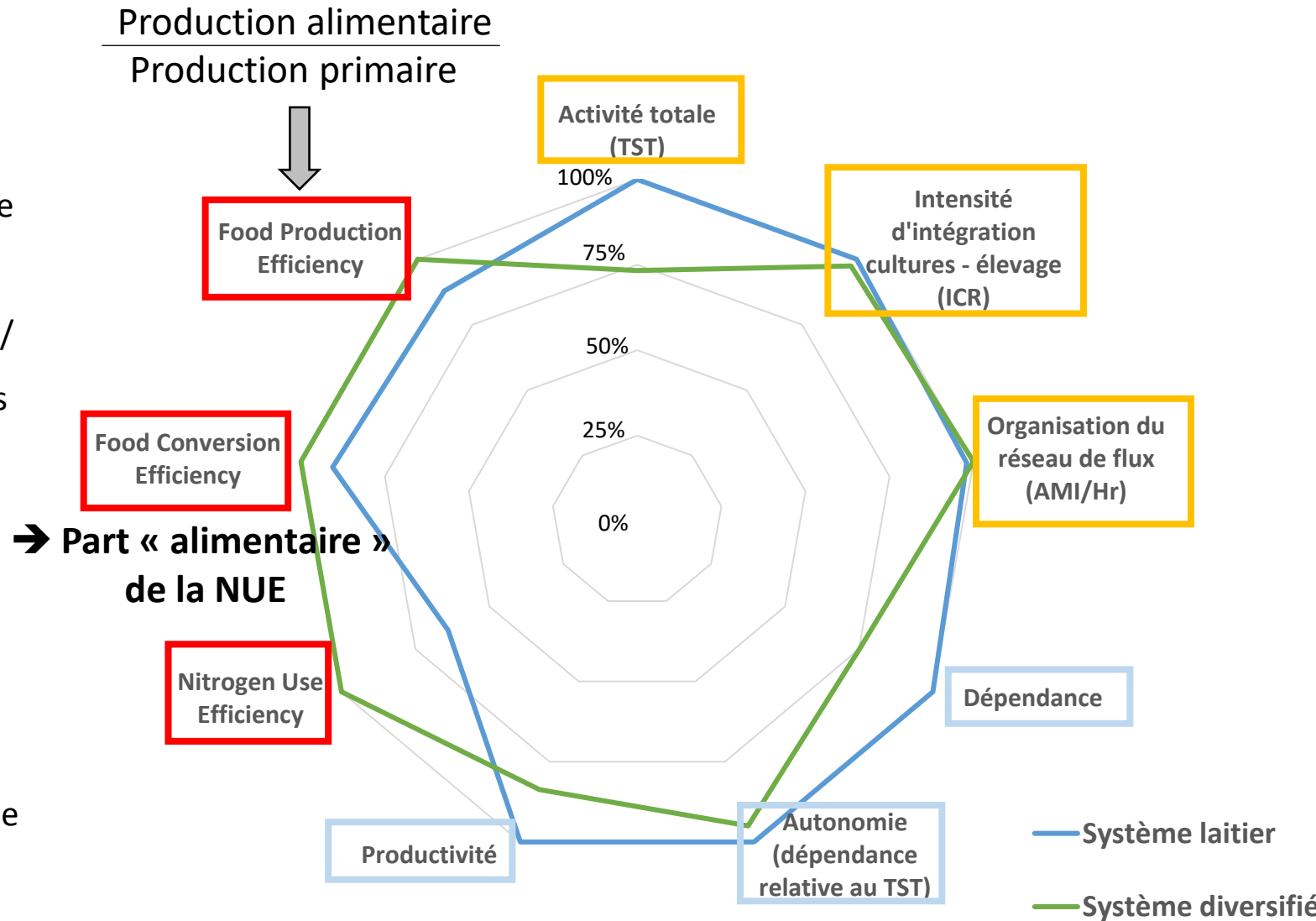
+ 140%

Creusement du déficit hydrique estival

→ déficit de pousse de l'herbe (complémentation des anx au pâturage et moindres récoltes de foins/regains)

Résultats : synthèse

- Intégration cultures-élevages :
 - L'activité du système spécialisé > système diversifié
 - Caractéristiques d'intégration (intensité / organisation) similaires entre les deux systèmes
- Performances agroécologiques :
 - Système spécialisé plus productif
 - ... mais aussi avec le plus d'intrants (naturels)
- Efficences
 - Le système diversifié est plus efficient (quelle que soit l'efficience considérée)



Valeurs exprimées en % de la valeur la plus élevée

Conclusion - perspectives

- Deux systèmes très autonomes
 - Complémentarités cultures-élevages à l'échelle du système agricole.
 - Rôle des productions animales pour valoriser des ressources non valorisables en alimentation humaine

➔ Bouclage cycles + intrants renouvelables

- Le système diversifié moins productif mais plus efficient que le système spécialisé

➔ Tensions / compromis entre certaines propriétés émergentes des deux systèmes ?

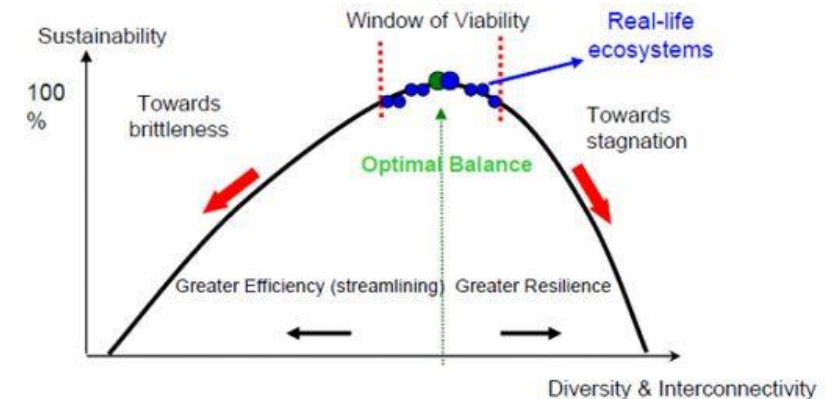


Figure 2: The “Window of Viability” in which all sustainable natural ecosystems operate. Complex natural ecosystems invariably operate within a fairly narrow range on each side of the Optimum point.

Tradeoffs between properties in ecosystems
Lietner et al. (2010)

Conclusion - perspectives

- Focus performances alimentation humaine
 - ➔ Contribuer aux débats sur l'usage des sols en agriculture feed / food (/ fiber).
- Prise en compte des conditions de milieu pour l'études des systèmes agricoles ?
 - ➔ Analyse des dynamiques temporelles des systèmes
 - ➔ Quels mécanismes de régulation en environnement changeant (changement climatique) ?

Merci de votre attention



Cette présentation a fait l'objet d'un article à paraître dans Agriculture, Ecosystems, Environment :

Puech, T., Stark, F. *Diversification of an integrated crop-livestock system: agroecological and food production assessment at farm scale*. Accepted in AGE 2022

Bibliographie

- Allwood J. M., Ashby M. F., Gutowski T. G., and Worrell E. (2013). "Material efficiency: providing material services with less material production." *Phil. Trans. R. Soc. A*, 371(1986)
- Billen, G., Lassaletta, L., Garnier, J., 2014. A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. *Glob. Food Sec.* 3, 209–219.
- Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit, M., 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *Eur. J. Agron.* 57, 43–51
- Fath, B.D., Asmus, H., Asmus, R., Baird, D., Borrett, S.R., de Jonge, V.N., Ludovisi, A., Niquil, N., Scharler, U.M., Schückel, U., Wolff, M., 2019. Ecological network analysis metrics: The need for an entire ecosystem approach in management and policy. *Ocean Coast. Manag.* 174, 1–14.
- Godinot, O., Vertès, F., Leterne, P., Carof, M., 2020. Nouveaux indicateurs d'efficacité de l'azote à l'échelle de l'exploitation. *Fourrages* 241, 45–56.
- Lietaer, B., Ulanowicz, R., Goerner, S., McLaren, N., 2010. Is Our Monetary Structure a Systemic Cause for Financial Instability? Evidence and Remedies from Nature. *Journal of Futures Studies*, March 2010, 14(3): 89 - 108
- Mignolet, C., Schott, C., Benoit, M., Meynard, J. M., 2012. Transformations des systèmes de production et des systèmes de culture du bassin de la Seine depuis les années 1970 : une spécialisation des territoires aux conséquences environnementales majeures. *Innovations Agronomiques* 22, 1-16
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security* 14 (2017) 1–8
- Pinsard, C, 2022. Assessing the resilience of European farming systems to consequences of global peak oil using a dynamic nitrogen flow model. PhD Paris-Saclay University, 2022.
- Puech, T., 2021. Modélisation matricielle de la structure et du fonctionnement des systèmes expérimentés sur l'IE ASTER Mirecourt
- Puech, T., Stark, F. Diversification of an integrated crop-livestock system: agroecological and food production assessment at farm scale. Accepted at *Agriculture, Ecosystem, Environment*.
- Schott, C., Puech, T., Mignolet, C. (2018). Dynamiques passées des systèmes agricoles en France : une spécialisation des exploitations et des territoires depuis les années 1970. *Fourrages* 235, 153-161
- Rufino, M.C., Hengsdijk, H., Verhagen, A., 2009a. Analysing integration and diversity in agro-ecosystems by using indicators of network analysis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 84, 229–247
- Therond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J., Richard, G., 2017. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37
- Ulanowicz, R.E., Baird, D., 1999. Nutrient controls on ecosystem dynamics: the Chesapeake mesohaline community. *J. Mar. Syst.* 19 19, 159–172.