



➤ Potential production of energy cover crop in France: consequences on food crop production and environmental impacts based on scenarios simulation at high resolution

Camille Launay^{1,2,3}, Sabine Houot²; Vincent Jean-Baptiste³, Hélène Raynal¹, Julie. Constantin¹

¹ *Université de Toulouse, INRAE, UMR AGIR, F-31320, Castanet-Tolosan, France*

² *Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Ecosys, F-78850, Thiverval-Grignon, France*

³ *GRDF, F-75009, Paris, France*

Insertion of energy cover crops in cropping
systems in France: multi-scale assessment
of potential production and water–
nitrogen–carbon impacts

*Insertion de cultures intermédiaires énergétiques dans les systèmes de
cultures en France : évaluation multi-échelles du potentiel de production
et des impacts eau–azote–carbone*

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n°581 : agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé
(ABIES)

Spécialité de doctorat : Sciences agronomiques
Graduate School : Biosphera. Référent : AgroParisTech

Thèse préparée dans les UMR **ECOSYS** (Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech)
et **AGIR** (Université de Toulouse, INRAE), sous la direction de **Sabine HOUOT**,
Directrice de Recherche, le co-encadrement de **Julie CONSTANTIN**, Chargée de
Recherche et la co-supervision de **Vincent JEAN-BAPTISTE**, Ingénieur GRDF

Thèse soutenue à Toulouse, le 03 juillet 2023, par

Camille LAUNAY

Chapitre 5 de la thèse

1/Vocabulaire & contexte

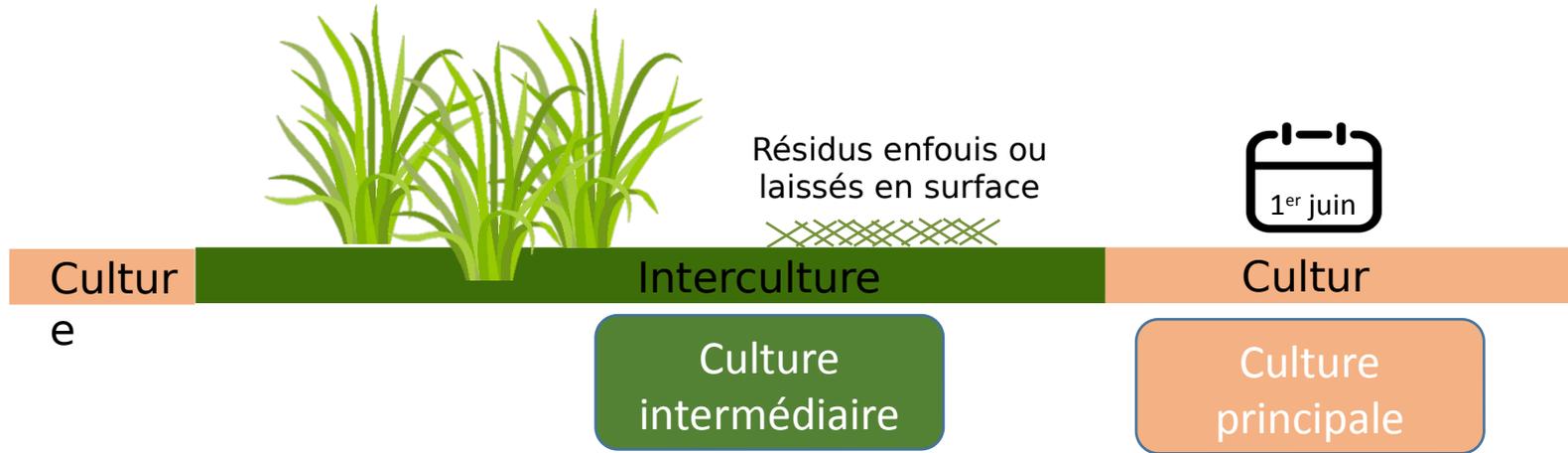
2/ Les objectifs

3/ Le protocole

4/ Resultats et discussion

Éléments de contexte - Vocabulaire

Culture intermédiaire



Culture intermédiaire : culture implantée entre la récolte d'une culture principale et le semis de la culture principale suivante pendant une période appelée interculture

<https://dicoagroecologie.fr>

Culture intermédiaire et ses déclinaisons

CIPAN

Culture Intermédiaire Piège à Nitrate. (Catch Crop)

Culture intermédiaire à croissance rapide non récoltée dont l'objectif est de réduire la lixiviation du nitrate. Obligatoire dans les zones vulnérables telles que définies dans la Directive Nitrate Européenne depuis 1991.

CIMS
(MSCC)

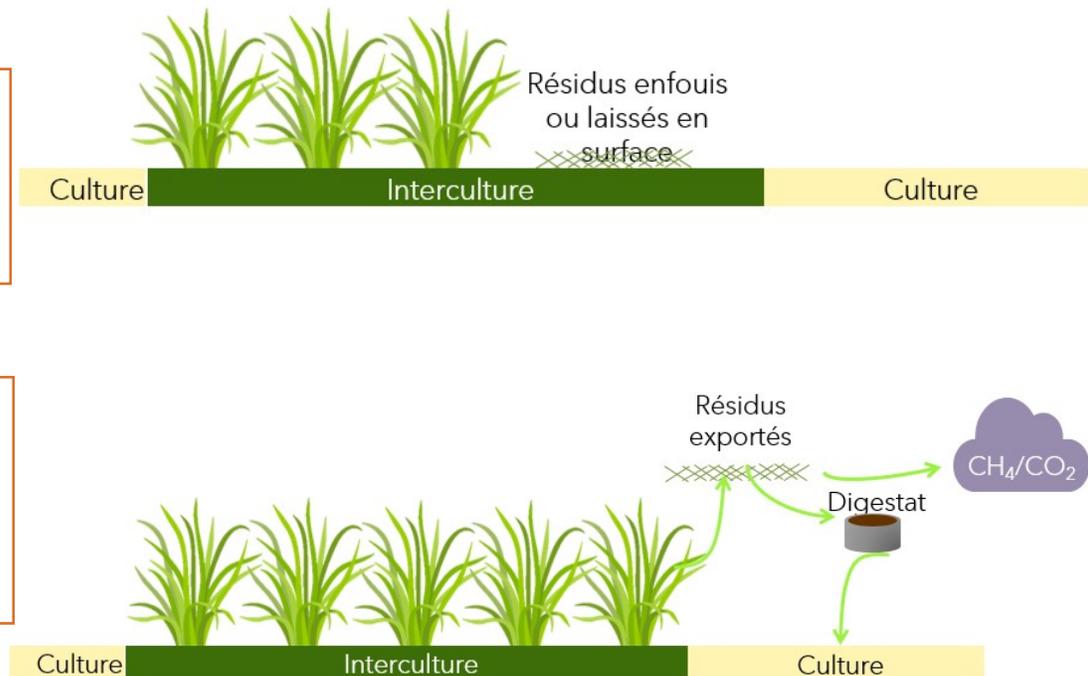
Culture intermédiaire multi-services (Multi Service Cover Crop)

fournir un bouquet de **services écosystémiques**

CIVE
(ECC)

Culture intermédiaire à vocation énergétique (Energy Cover Crop)

fournir le service de **production d'énergie**.
Gérées pour max la production de biomasse (choix des espèces, possiblement fertilisation et irrigation)



Les objectifs

Les objectifs

- Proposer une **nouvelle méthode d'estimation de la production de biomasse par les CIVES**.
 - basée sur de la simulation de modèles
 - prenant en compte la diversité des sols, des climats et des systèmes de culture, à une haute résolution spatiale.
- **Estimer l'impact de l'extension des CIVES** sur:
 - la production à destination alimentaire
 - sur l'environnement (GHG, stockage du C, consommation eau, usage en fertilisants, et perte d'N)

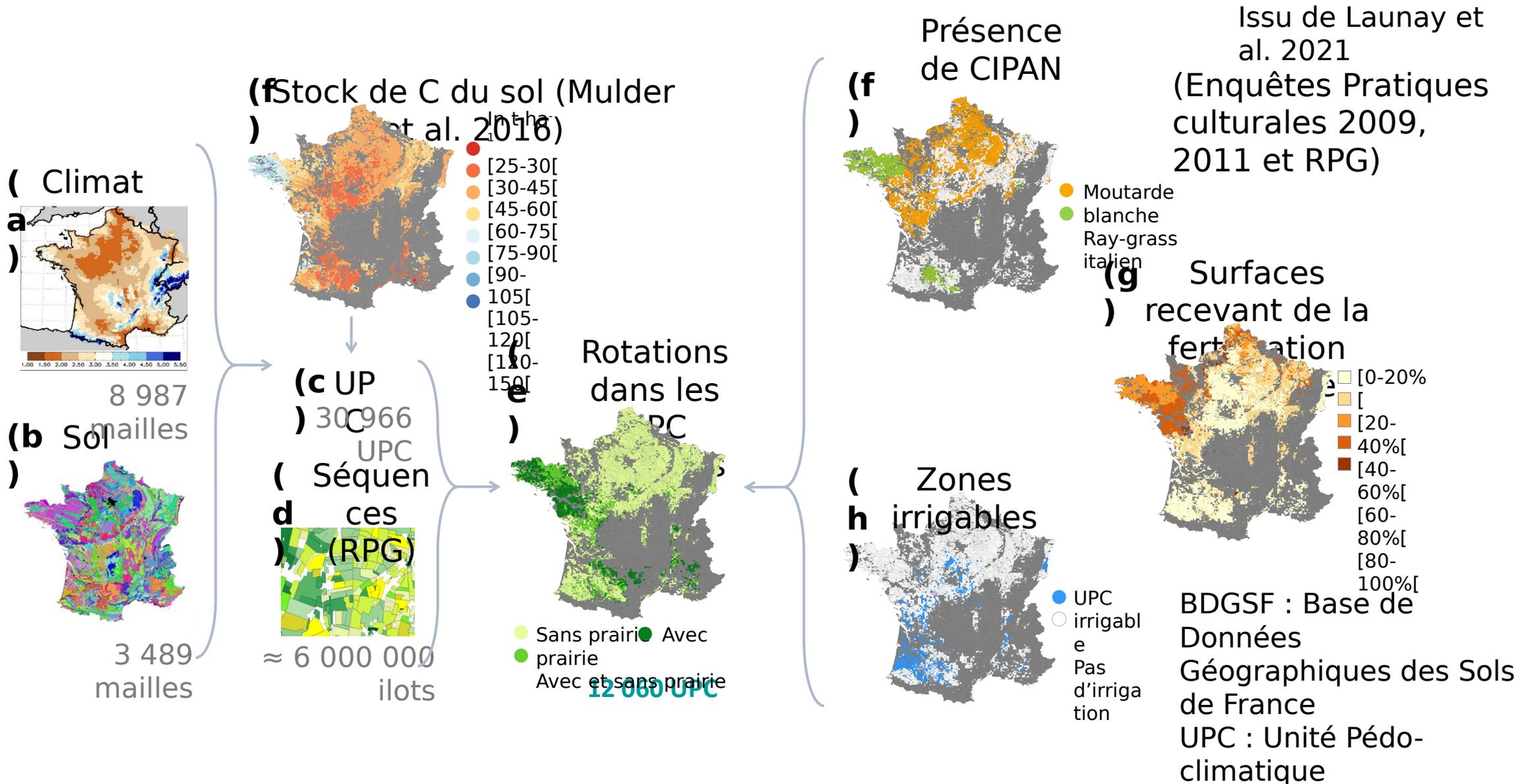
Protocole

Ligne de base + 3 Scénarios

Ligne de base

- CIPAN en zones vulnérables nitrate
- En interculture d'hiver, de 2 à 6 mois (destruction mi-nov à mi-mars, pas après maïs et betterave)
- Espèces les plus utilisées en 2011 (moutarde, ray grass)

Construction de la « ligne de base » (reprise étude 4p1000)



Ligne de base + 3 Scénarios

Ligne de base

- CIPAN en zones vulnérables nitrate
- En interculture d'hiver, de 2 à 6 mois (destruction mi-nov à mi-mars, pas après maïs et betterave)
- Espèces les plus utilisées en 2011 (moutarde, ray grass)

2 Insertion de CIVEs

- Orge d'hiver et sorgho
- En interculture d'hiver avant le 15 octobre
- En interculture d'été avant le 20 juillet
- Fertilisation des CIVEs avec de l'engrais minéral et digestat épandu sur la culture suivante
- Seuil de récolte à 5 t MS/ha
- 33% de chaumes

1 Extension des CIMS

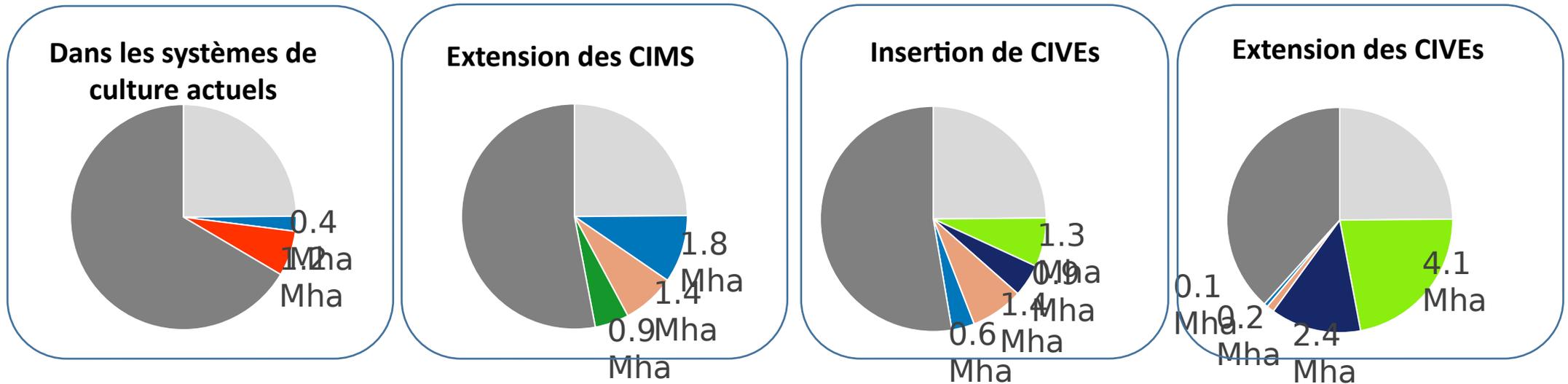
- CIMS dans les intercultures de plus de 2 mois
- Interculture d'hiver Raygrass, Féverolle
- Vesce semis avant le 20 juillet
- Légumineuses et espèces non gélives
- Irrigation autorisée pour la levée

3 Extension des CIVEs

- Modification des SdC avec favorisation des CIVE hiver
 - Avancement de la précocité du maïs et du tournesol pour les semer plus tardivement, pour allonger le cycle des CIVE
 - Substitution de colza par du tournesol, substitution de blé par du maïs ou de l'orge
- Gestion des CIVE idem 2

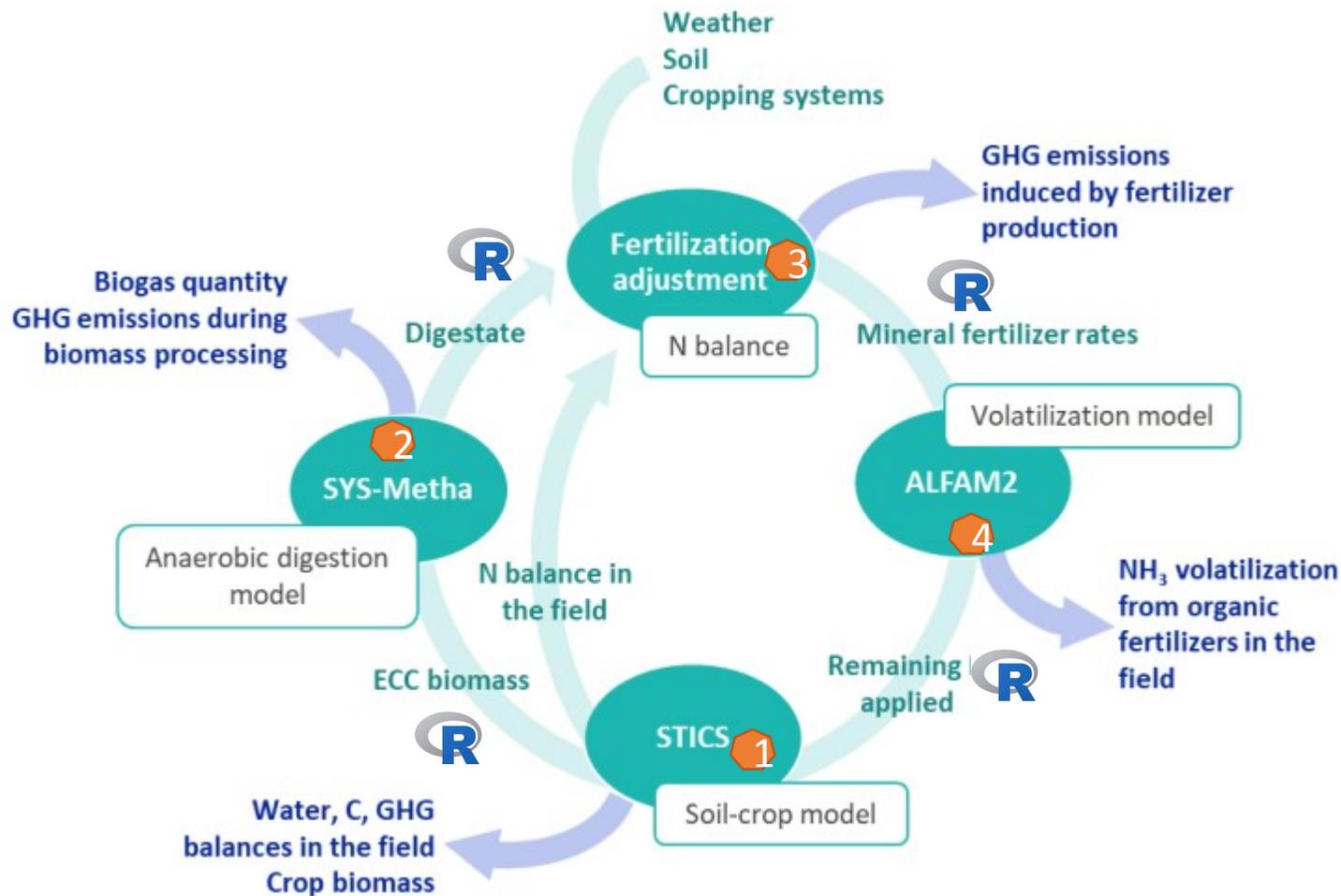
Surfaces considérées

- On représente $\frac{3}{4}$ de la surface arable française de 2009 = 14 Mha
- Surface des cultures intermédiaires dans les différents scénarios :



- Non simulé
- Interculture nue ou prairie
- Sorgh
- Ray-grass
- Orge
- Vesce
- Féverol
- Moutarde

Chaîne de modélisation (workflow de simulation)



30 ans

2 **SYS-Metha** (Bareha et al 2021b).
Anaerobic digestion model

3  N balance method
(COMIFER 2013)

4 **ALFAM2:** semi-empirical (semi-mechanistic) dynamic model that predicts ammonia emission from field-applied slurry (Hafner et al. 2009)

 SticsRPacks

 MESO@LR

Résultats

Production de biomasse pour le biogaz

- Biomasse totale en Mt de MS sur l'ensemble de la zone simulée

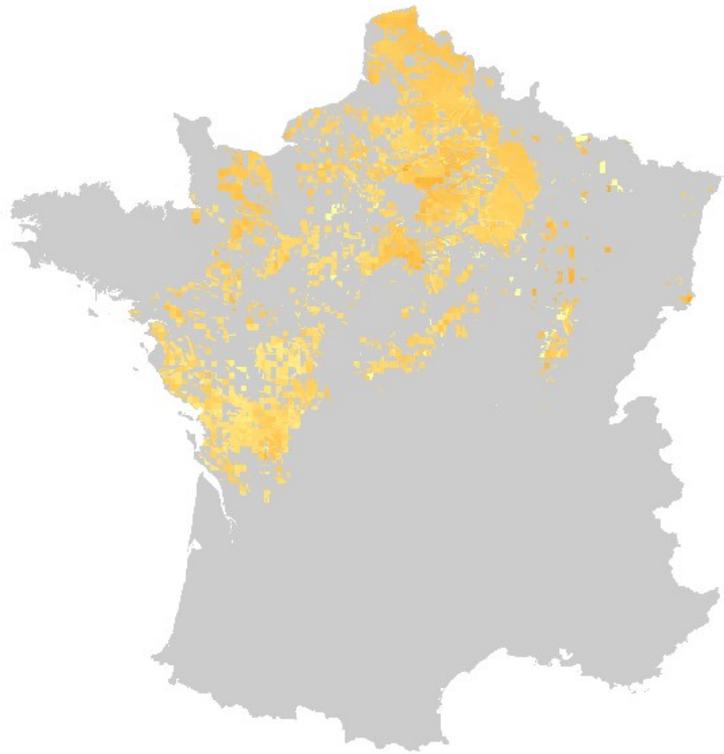
	Baseline	MSCC extension	ECC insertion	ECC extension
Mustard	2.1 (1.2 Mha)	.	.	.
Rye-grass	0.5 (0.4 Mha)	3.5 (1.8 Mha)	0.6 (0.6 Mha)	0.1 (0.1 Mha)
Faba bean	.	4.8 (1.4 Mha)	4.8 (1.4 Mha)	0.1 (0.2 Mha)
Vetch	.	2.3 (0.9 Mha)	.	.
Sorghum	.	.	2.2 (0.9 Mha)	6.7 (2.4 Mha)
Barley	.	.	10.3 (1.3 Mha)	36.0 (4.1 Mha)
TOTAL	2.5	10.5	17.8	42.9

- Soit 4 à 27% de la consommation de gaz en 2021 (plus que les estimations ADEME)

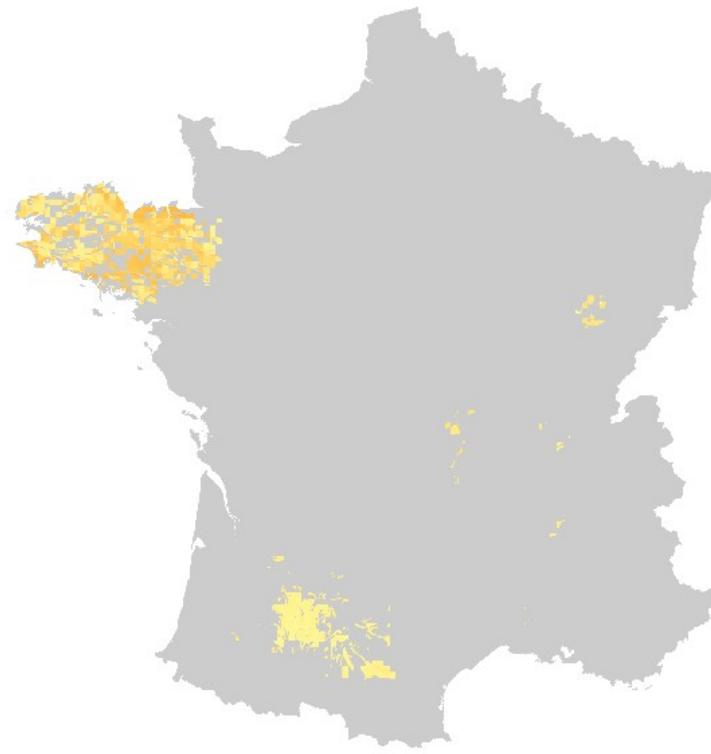
Les CIPAN présentes dans le nord et peu productives

Ligne de base

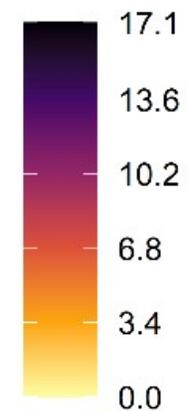
Moutarde



Ray-grass



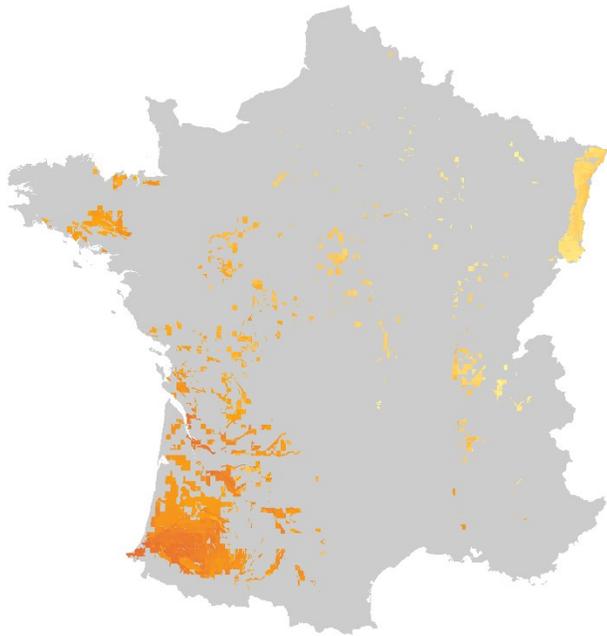
Production de biomasse aérienne des couverts en t MS/ha :



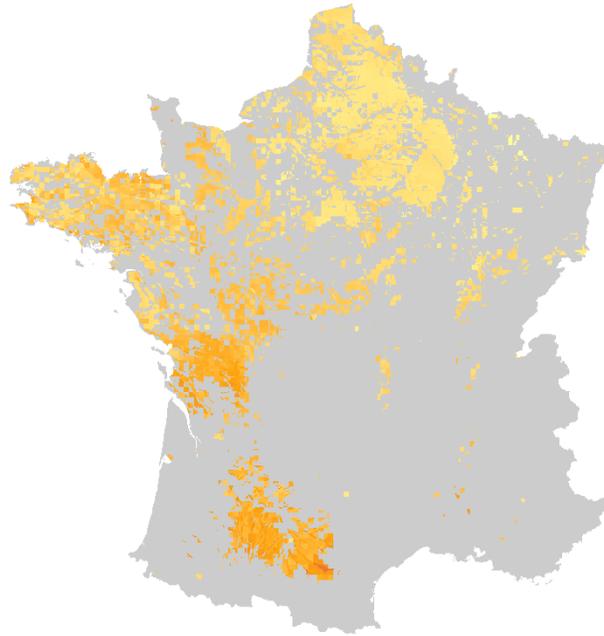
Les CIMS ne dépassent pas 5 t MS/ha

Extension des CIMS

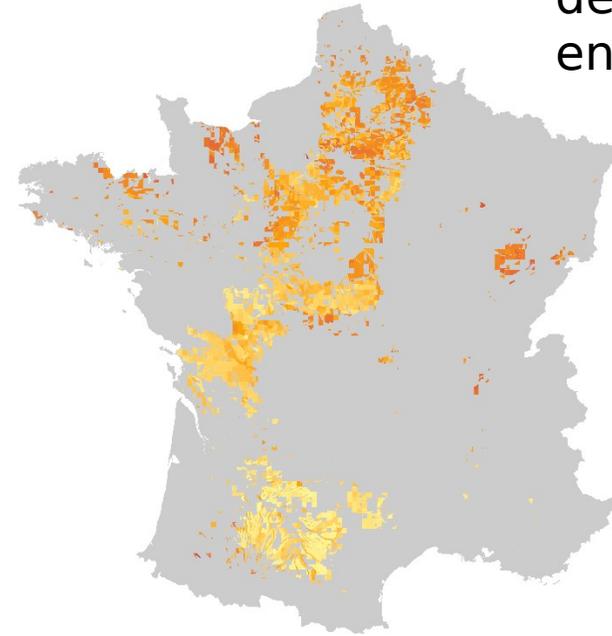
Féverole



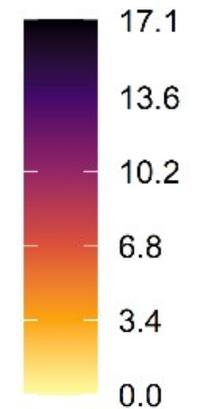
Ray-grass



Vesce

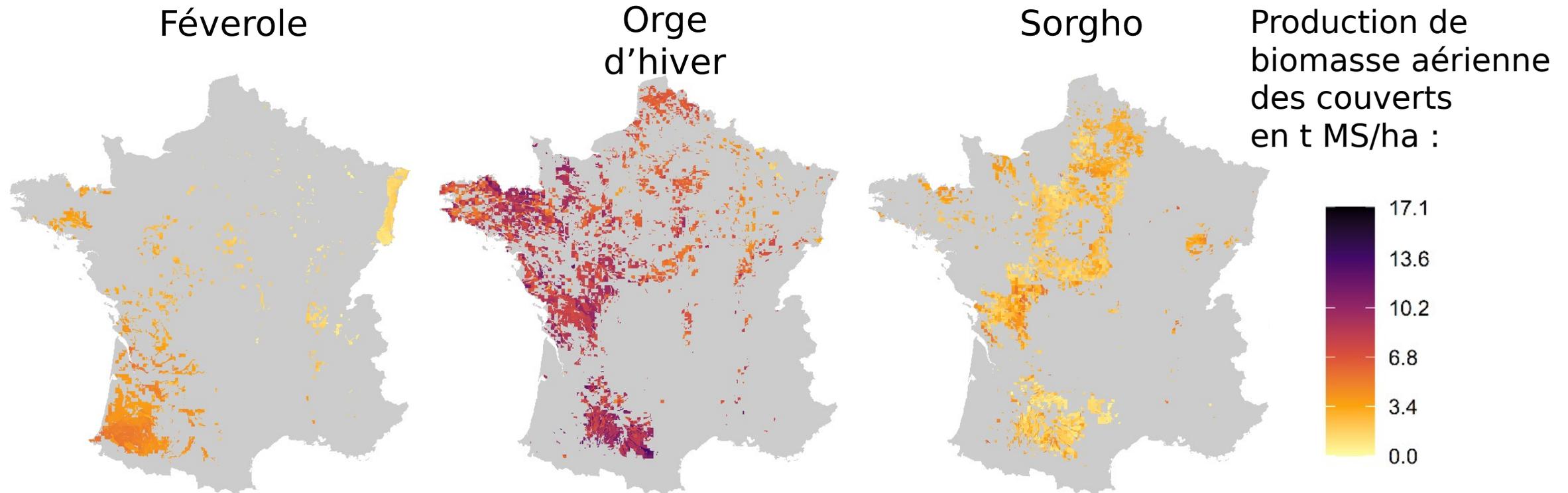


Production de
biomasse aérienne
des couverts
en t MS/ha :



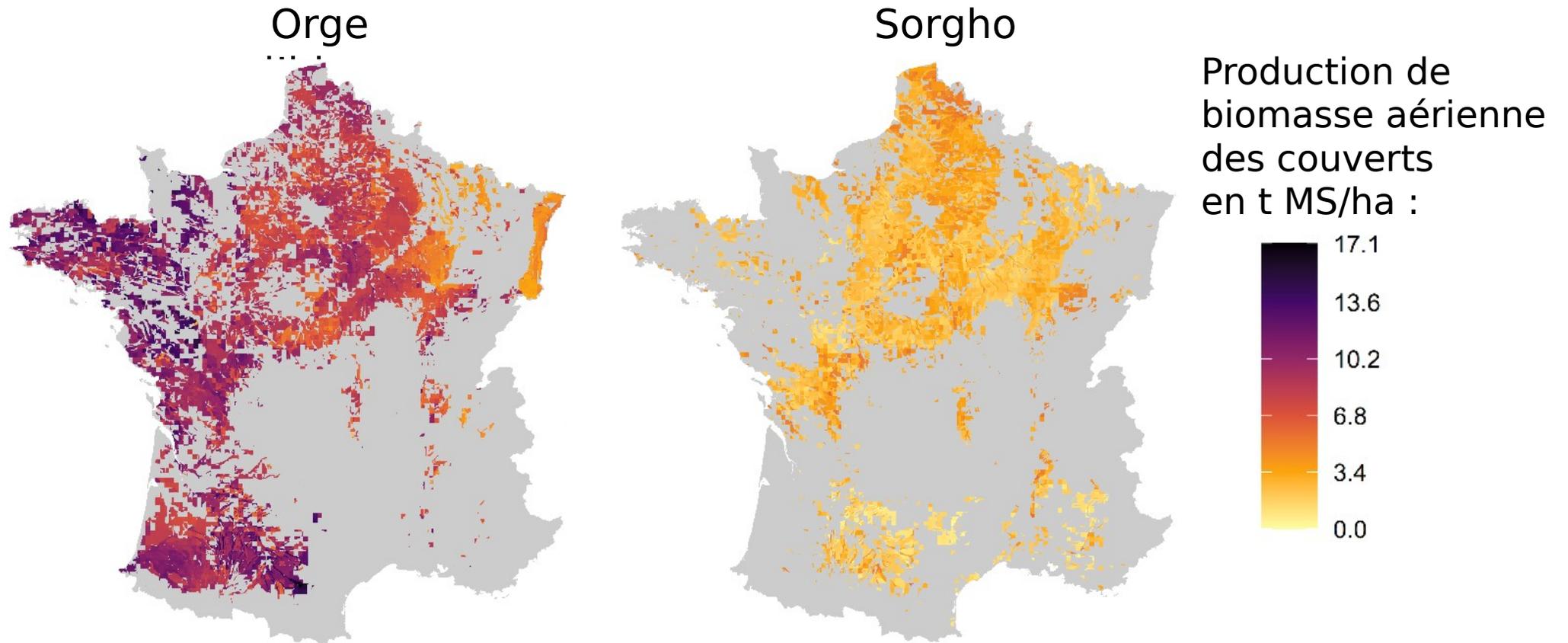
Les CIVEs d'hiver plus productives que les CIVEs d'été

Insertion de CIVEs



Extension possible des CIVEs d'hiver dans le sud-ouest et le Bassin Parisien

Extension des CIVEs



Production de biomasse énergétique au léger détriment de la biomasse alimentaire

Rendement MS en t/ha – Différence par rapport à la ligne de base

	Wheat	Rapeseed	Sugar beet	Sunflower	Grain corn	Forage corn
Baseline	6.2	2.9	11.6	1.8	8.5	6.8
MSCC	6.4	2.9	11.5	1.6	8.2	6.3
extension	+2.3%	+3.1%	-0.5%	-9.8%	-6.5%	-7.5%
ECC	6.4	2.9	11.5	1.5	8.1	6.1
insertion	+2.6%	+3.9%	-0.9%	-17.3%	-8.9%	-11.7%
ECC	6.3	3.1	11.9	1.6	7.3	5.9
extension	+2.7%	+8.6%	+2.1%	-14.8%	-9.5%	-14.1%

- Stress hydrique après les CIMS et les CIVEs d'hiver (récolte ou destruction quelques jours avant le semis de la culture suivante)
- Stress azoté après les CIVEs d'hiver (fertilisation non adaptée ?)
- Léger impact du décalage de la date de semis et de la précocité

Contribution à l'atténuation du changement climatique

- Bilan GES: Différence entre chaque scénario et la ligne de base. en $\text{kg CO}_{2_emis} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$

	Δ GHG balance	Δ N ₂ O emissions	Δ SOC storage	Δ mineral fertilizer	Δ digester emissions	Δ energy production
MSCC extension	- 219 ±371	+ 21 ±54	- 220 ±306	- 19 ±84	0	0
Time extension of MSCC	+ 40 ±138	+ 19 ±29	- 1 ±130	+ 20 ±26	0	0
Insertion of MSCC	- 407 ±311	+ 12 ±60	- 363 ±263	- 57 ±82	0	0
ECC introduction	- 447 ±597	+ 77 ±85	- 308 ±318	+ 60 ±121	+ 177 ±302	- 453 ±774
ECC extension	- 1031 ±1030	+ 110 ±123	- 471 ±415	+ 120 ±112	+ 508 ±575	- 1298 ±1470

- Equation utilisée pour calculer le bilan GES

$$GHG\ balance = 296 \times \frac{44}{28} (direct\ N_2O_e + indirect\ N_2O_e) - \frac{44}{12} \Delta SOC_{0-0.3m} + 5.34 \times N_{fertilizer} + E_{digester} - 63.1 \times Gas\ substitution$$

En $\text{kg CO}_{2_e} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$

Sortie STICS

Estimation De Klein 2006

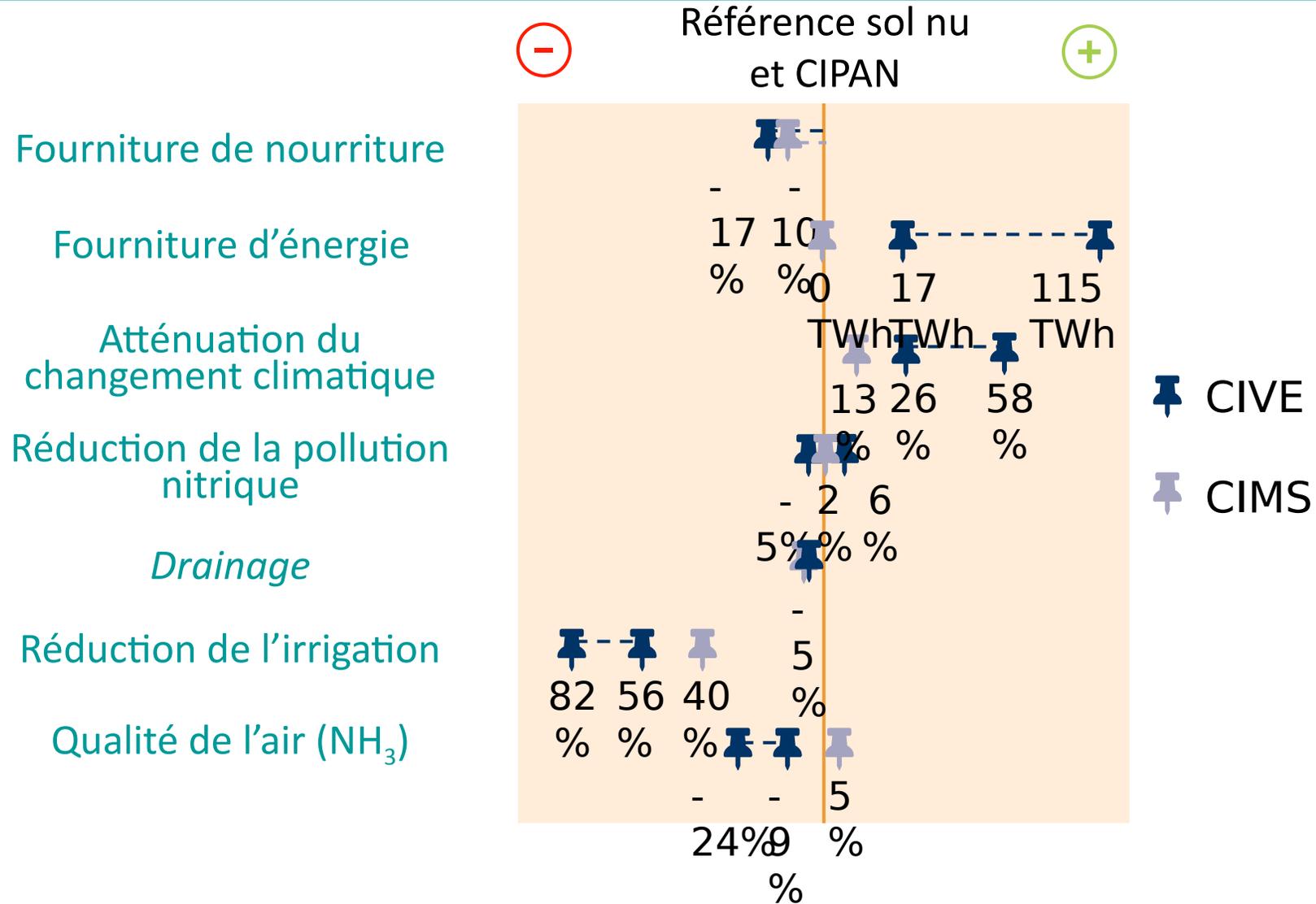
Sortie STICS

Q engrais minéral

Emission pdt le processus de digestion anaérobie

Substitution du gaz fossile par biogaz

Synthèse des résultats



Conclusion

Conclusions sur les CIVEs

1. Quelle quantité de biomasse et d'énergie pourraient-elles produire en France ?

- Elles pourraient assurer jusqu'à 27 % de nos besoins en gaz actuels grâce aux CIVEs d'hiver implantées très largement avec un bon rendement (sauf dans l'Est de la France).

2. Quels sont les impacts sur les cycles du carbone, de l'azote et de l'eau ?

- Elles améliorent le bilan GES des systèmes actuels, mieux que les CIMS le feraient, grâce au stockage de carbone et à la substitution de gaz fossile.
- La consommation d'engrais augmente (explorer les associations avec légumineuses en CIVEs, limiter la fertilisation des CIVEs) et conduit à une augmentation de la volatilisation de NH_3 (bonnes pratiques d'épandage, acidification des digestats). Mais les CIVEs sont globalement aussi efficaces que les CIMS pour réduire la lixiviation.
- Les CIVEs et les CIMS conduisent de la même façon à une réduction du drainage (conséquence sur les nappes ?).

3. Quels sont les impacts sur la production alimentaire ?

- Les CIVEs réduisent un peu plus le rendement des cultures printemps que les CIMS mais l'effet n'est pas systématique (gérer la date de destruction et la fertilisation, adapter l'espèce suivante).

Limites :

- Besoin de valoriser d'autres expérimentations pour améliorer le calibrage des CIVEs
- Simplifications, ex : non prise en compte de la méthanisation des effluents d'élevage

Merci