

Approche intégrée des productions animales et végétales dans un modèle économique pour l'analyse des interactions agriculture - environnement

Pierre-Alain Jayet & all.¹

pierre-alain.jayet@inra.fr

¹Economie Publique, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay,
78850, Thiverval-Grignon, France

Carrefour de l'innovation agronomique

Poitiers - 12 décembre 2019

Intrication des activités animales et végétales

- Intégration réelle à différentes échelles
 - exploitation agricole (représentative)
→ **modèle d'offre de facture micro-économique**
 - secteur agro-alimentaire (aliments concentrés industriels)
- Du point de vue des processus
 - Alimentation animale (“sur la ferme”)
 - Système de cultures (fourrages ...)
 - Effluents d'élevage & amendements organiques
- Externalités
 - Emissions de gaz à effet de serre
 - Stocker du carbone dans les sols, étendre les prairies
 - Externalités “+” & “-” des bio-énergies
 - Outre N_2O , les autres pollutions azotées, en particulier NO_3

Changement climatique et changement d'occupation des sols

Source: Lungarska et Chakir, Ecol.Econ., 2018

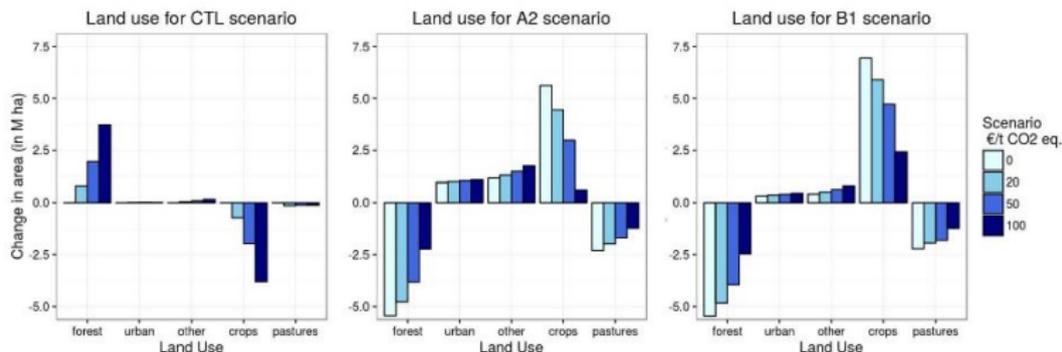
scénarios
/ 5 catégories d'occupation des sols

- SRES (IPCC-AR4): A2, B1
- taxe sur les émissions de GES
(0 à 100€/tCO₂eq)

réf. CTL/ taxe CO₂: cultures vs forêt

A1	A2
<ul style="list-style-type: none"> - fast economic growth - moderate demographic growth - great technological progress - increase in temp. 1.4 - 6.4 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - moderate economic growth - high demographic growth - high energy consumption - increase in temp. 2.0 - 5.4 °C
B1	B2
<ul style="list-style-type: none"> - moderate economic growth - low demographic growth - environmental sustainability - increase in temp. 1.1 - 2.9 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - low economic growth - average demographic growth - environmental sustainability - increase in temp. 1.4 - 3.8 °C

Modèle économétrique + FFSM + AROPAj(-V2, France, RICA 2002)



Taxe / GES et changement d'occupations des sols agricoles

Source: Isbasoiu, PhD dissert., 2019

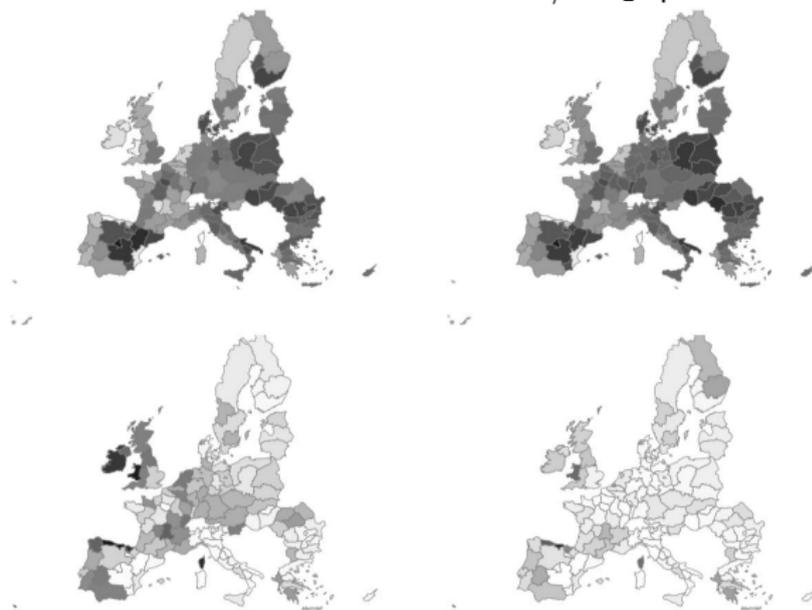
AROPAj-V5, UE27, RICA 2012 - part d'occupation de la SAU "AROPAj"

taxe 0

taxe 200€/tCO₂eq

céréales

prairies
permanentes



(Ajustement de 15% du capital animal)

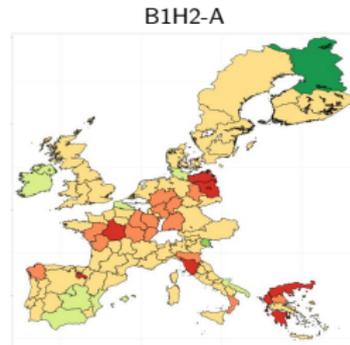
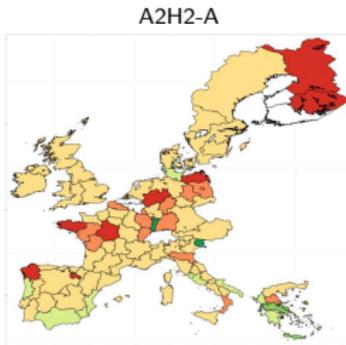
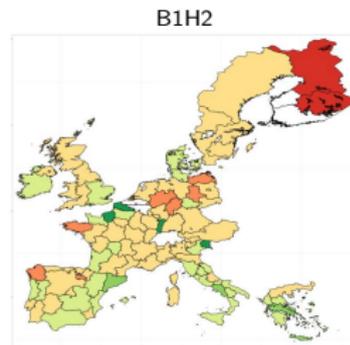
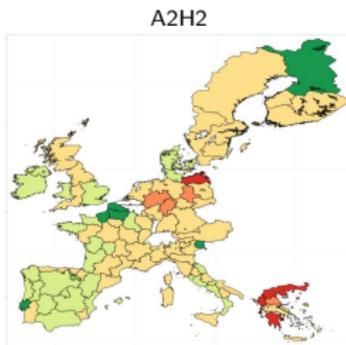
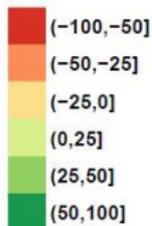
Changement climatique et changement d'occupation des sols

Source: Aghajanzadeh-Darzi & al., Reg. Environ. Change, 2016 cht part prairies & fourrages / CC et ppm CO₂

couplage AROPAj -
STICS + PASIM
SRES: A2, B1

- H0
CO₂ 352ppm
- H2 2100
CO₂ 533 ppm
- H2-A 2100
CO₂ 724 ppm

Relative change in
grassland covers (%)



AROPAj-V2, UE15, RICA 2002

Culture nouvelle & changement d'occupation du sol agricole

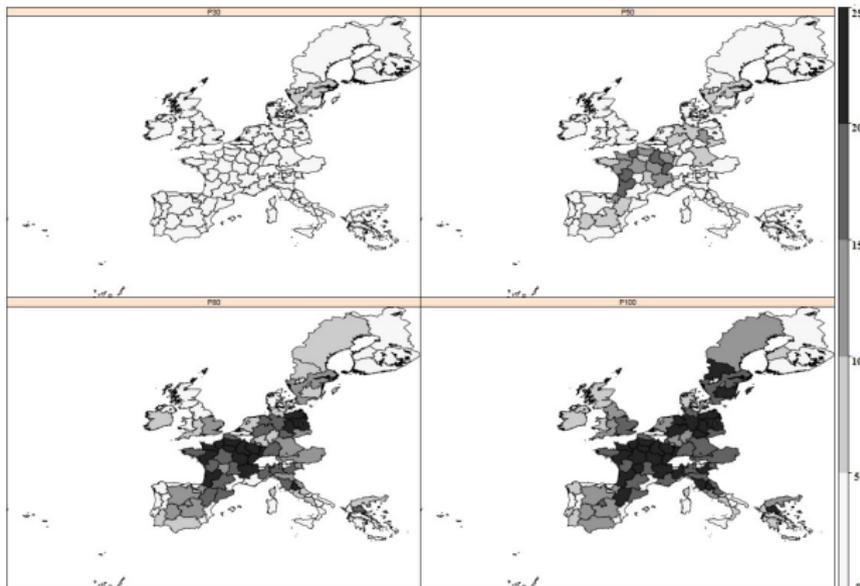
Source: Ben Fradj et al., LUP, 2016

culture pérenne agricole \Rightarrow subst. cultures ET prairies

Miscanthus: pérenne
à récolte annuelle

- rendement
corrélé avec
celui des
céréales
- fraction du
rendement
potentiel
- limite en
surface à 20%
SAU

miscanthus / SAU (%)

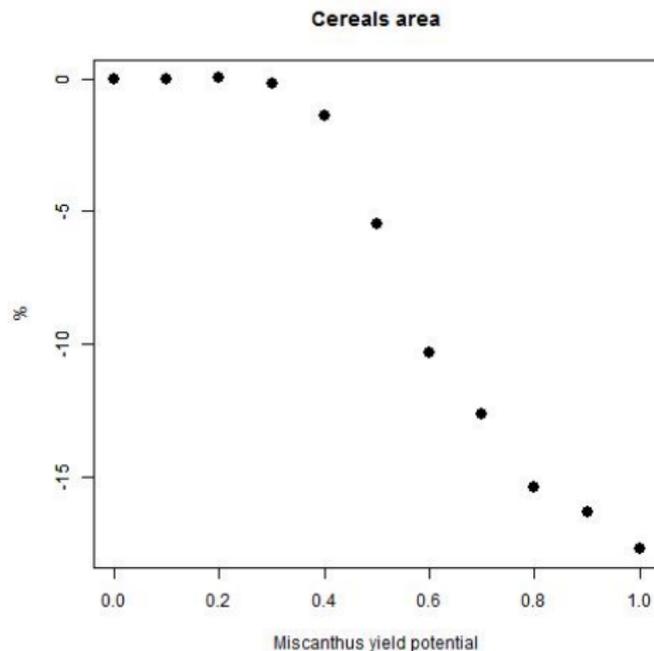


rotation optimale calculée sur la base d'une règle à la Faustmann
culture pérenne dans un modèle "annuel" via la valeur actualisée
rendement du miscanthus: respectivement à 30, 50, 80 et 100% du potentiel
AROPAj-V2-UE15 - ajustement du capital animal: 15% du capital initial

Culture nouvelle & changement d'occupation du sol agricole

Source: Ben Fradj et al., LUP, 2016

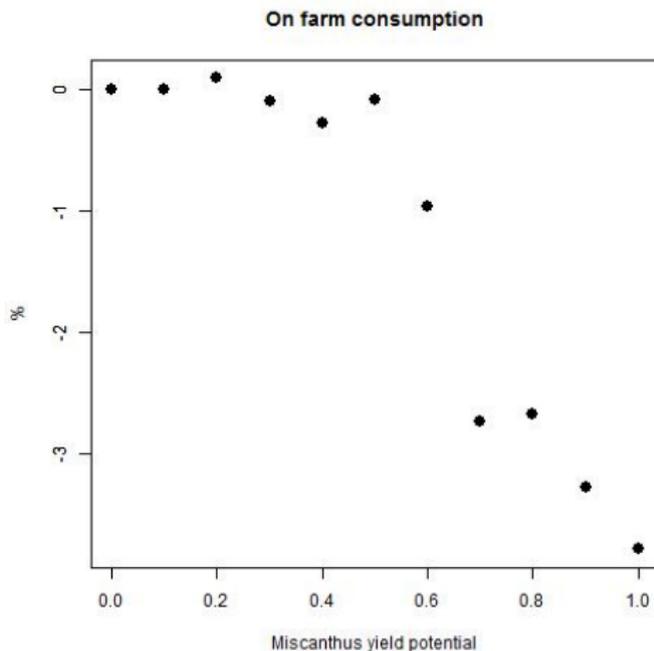
Focus sur céréales et alimentation animale: **surface en céréales**



Culture nouvelle & changement d'occupation du sol agricole

Source: Ben Fradj et al., LUP, 2016

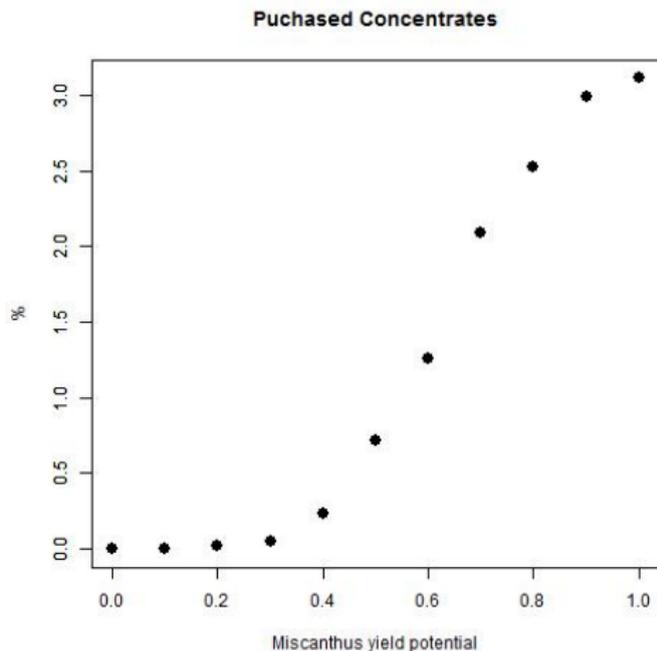
Focus sur céréales et alimentation animale: **céréales consommées sur la ferme**



Culture nouvelle & changement d'occupation du sol agricole

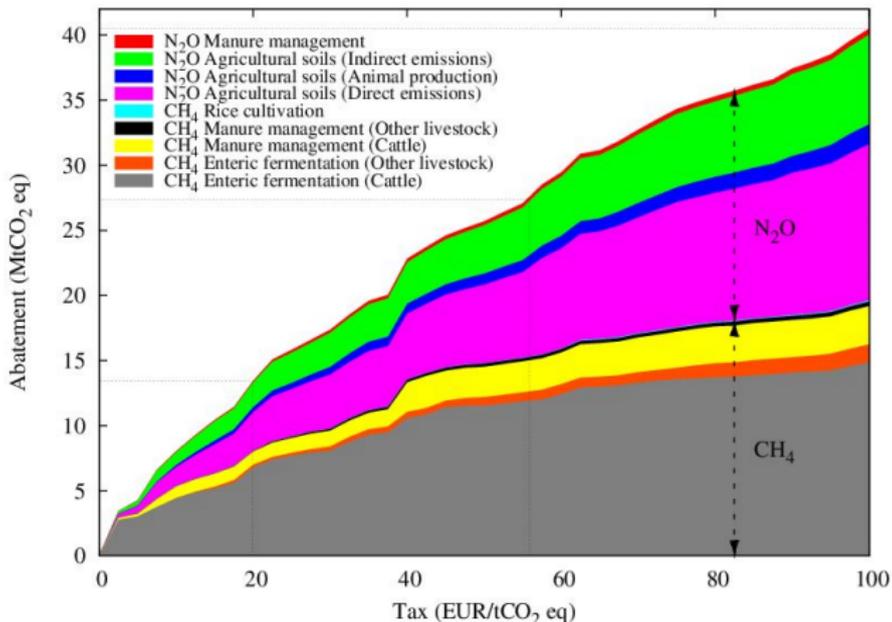
Source: Ben Fradj et al., LUP, 2016

Focus sur céréales et alimentation animale: **aliments concentrés achetés**



Réduction des émissions de GES / taxe "CO₂"

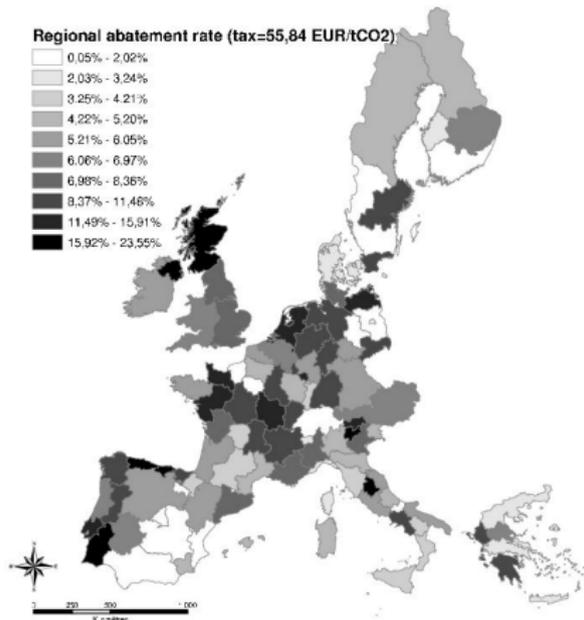
Source: De Cara et al., 2005



AROPAj-V2 UE15 - IPCC 2001 (PRG, Bouwman ...) - "prix" CO₂ ∈ [0, 100]€

Réduction des émissions de GES / taxe "CO₂"

Source: De Cara et al., 2005

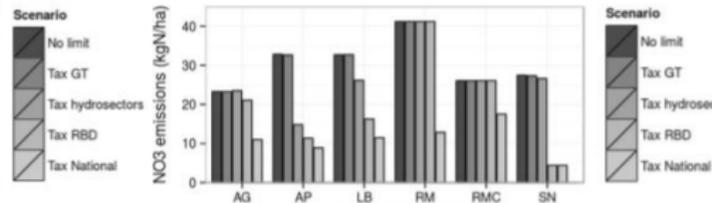
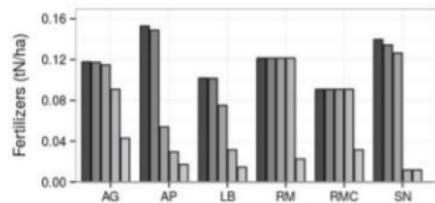
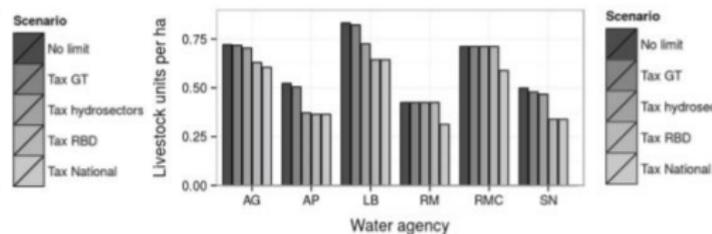
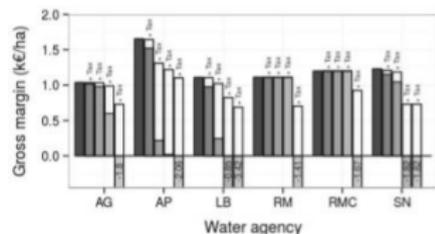


Niveau régional de réduction pour un prix conduisant à 8% de baisse des émissions GES de l'UE

Différentiation spatiale de la régulation économique?

Source: Lungarska et Jayet, *Envir. & Res. Econ.*, 2018

(MB UGB Nengr NO3)/ha - 6 Ag Bassin - 5 scen. taxe / indic. NO3 "composite Neng UGB"



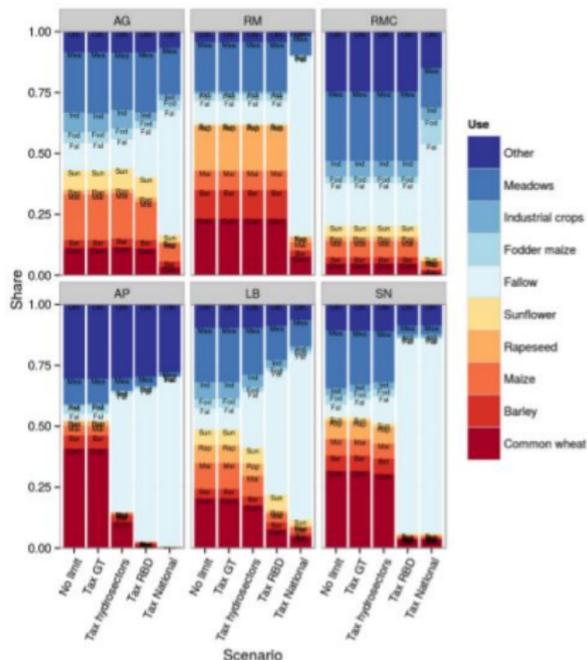
Indicateurs en valeur moyenne par Agence de Bassin - AROPaj V2 - France - ajustement du capital animal: 15%
taxe par secteur hydrologique le plus vulnérable, basée sur la contribution en nitrate des fertilisant minéraux et des
effluents d'élevage

- sans taxe
- taxe / ferme représentative
- taxe / secteur
- taxe / Agence
- taxe / nationale

Différentiation spatiale de la régulation économique?

Source: Lungarska et Jayet, *Environ. & Res. Econ.*, 2018

(MB UGB Nengr NO3)/ha - 6 Ag Bassin - 5 scen. taxe / indic. NO3 "composite Neng UGB"

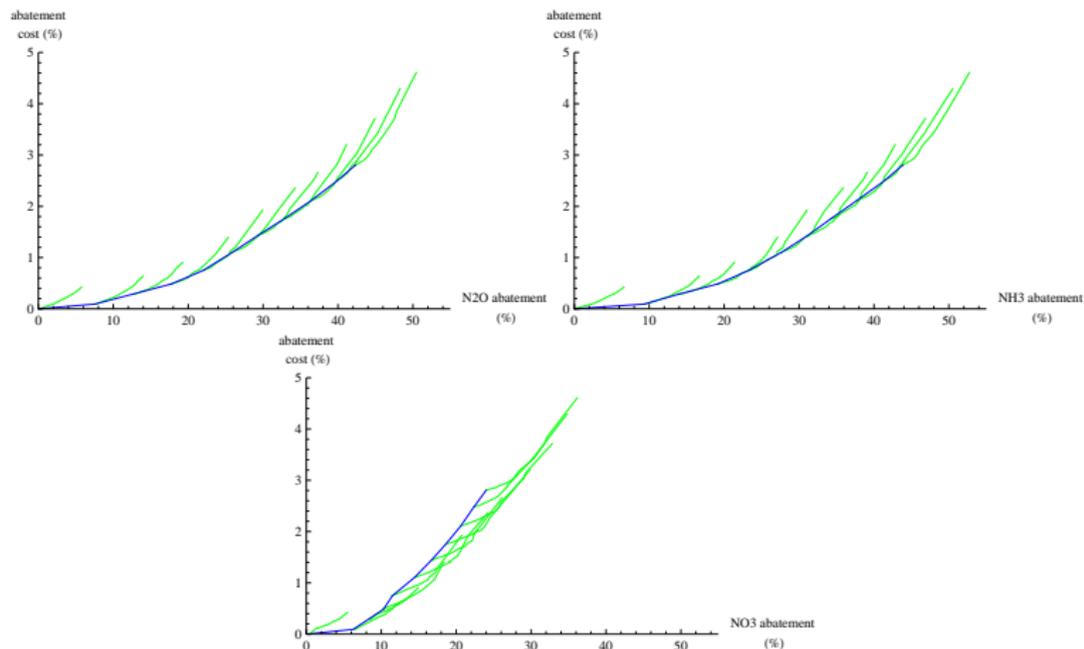


Part des cultures dans la réallocation de la SAU

Un "policy mix" pour N_2O , NH_3 , NO_3

Source: Bourgeois et al., *Environ. Model. Assess.*, 2014

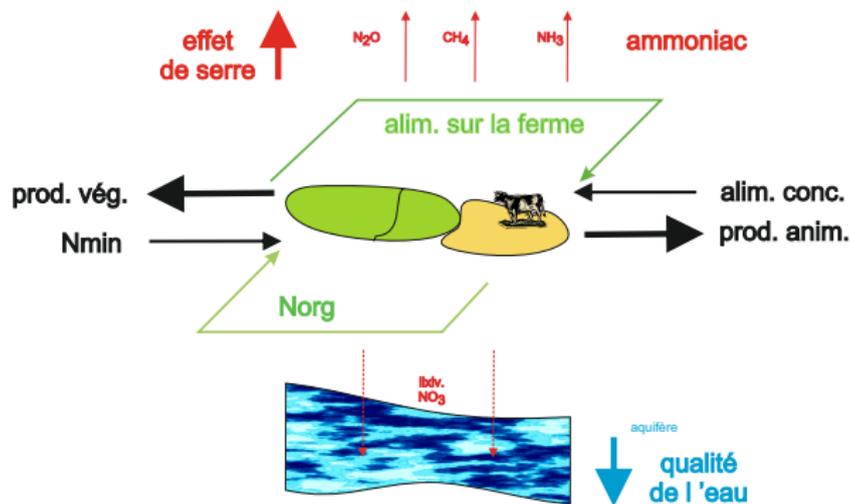
Combinaison de 2 instruments: taxe sur la consommation d'engrais & subvention de la production du miscanthus



AROPAJ-V2 - France - taxe 0 à 100% prix N - subvention 0 à 250€/ha ⇒ "policy mix" coût-efficace pour NO_3

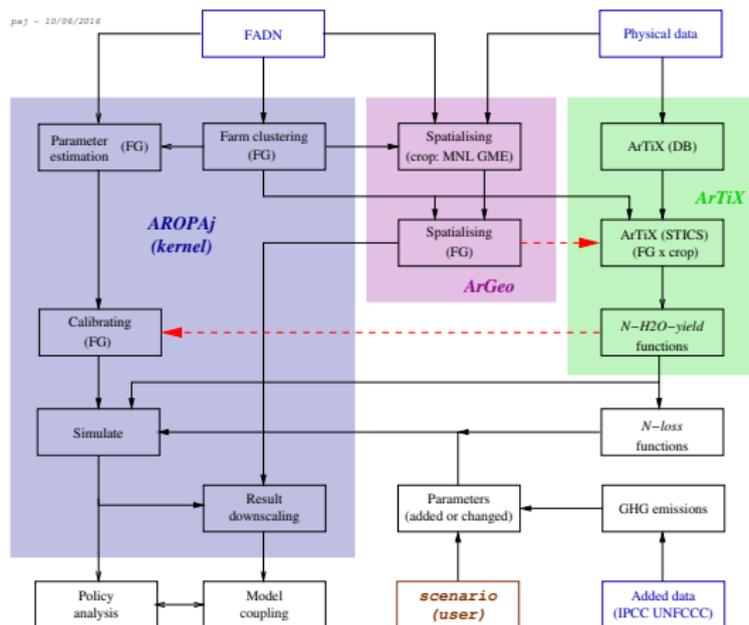
Modèle AROPAj: schéma simplifié

Intrication végétal / animal



Modèle AROPAj: architecture informatique

calculateur / Linux; logiciels et scripts GNU; excep. marché: GAMS



Modèle AROPAj: éléments de base

AROPAj \iff https://www6.versailles-grignon.inra.fr/economie_publique/Media/fichiers/ArticIAROPAj

L'exploitant est supposé maximiser la marge brute de son exploitation (M) qui dépend des variables de décision (x) et des caractéristiques (θ)

Les activités x sont réalisables en respectant des contraintes techniques et économiques (ensemble $A(\theta)$)

$$\max_{x \in A(\theta)} M(x, \theta)$$

θ : SAU, capital animal, rendements (cultures, lait), besoins animaux (protéines, énergie), apports des aliments, prix et coûts, facteurs de pollution, ...

x : surfaces (cultures de vente, prairies et fourrages, friches et gel de terre), productions (végétales, animales) mises sur le marché ou auto-consommées, quantités d'intrants, pollutions, ...

$A(\theta)$: allocation des terres respectant la SAU, démographie (bovine) en équilibre, rotations de culture, ...

Modèle **AROPAj** d'offre agricole de court terme, période annuelle
en programmation mathématique (MP) - version V5 / UE27 / RICA 2007-2012
décliné en modèles de **groupe type d'exploitation (GT)**
Données RICA (2009 - 157 GT pour la France)
sont exclus du modèle: vigne, maraichage, horticulture, arboriculture

Modèle AROPAj: éléments de base

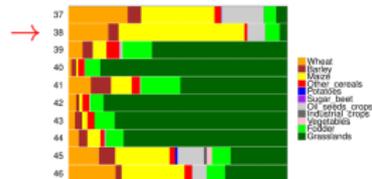
- GT_k représentatif dans une région RICA ($k \in [K_1, K_2]$)
 \Leftrightarrow MP- k (e.g. GT-38 dans la région 192)

$$\max_{x_k \in A_k(\theta_k)} M_k(x_k, \theta_k)$$

FADN sample \rightarrow clustering into FGs based on FADN farm type, altitude, economic size and irrigation

This region gathers 284 sampled farms organised in 10 farm types.

GT	pays	nb_fmd	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock per ha
31	fra2	17	15	6-7-8	7.18	1.35	4.01	no	0.92
38	fra2	19	15	6-7-8	7.16	1.16	57.00	yes	0.482
39	fra2	30	45	6-7-8	6.83	2.00	12.10	yes	2.04
40	fra2	34	45	6-7-8-9	7.29	3.00	0.00	no	1.37
41	fra2	21	45	7-8-9	8.14	1.71	0.00	no	2.56
42	fra2	30	46	6-7-8	7.07	2.17	4.96	no	1.49
43	fra2	21	47	6-7-8-9	7.76	2.00	5.75	no	1.78
44	fra2	31	48-73	6-7-8-9	7.58	2.23	10.30	yes	1.25
45	fra2	40	16-61-83	6-7-8-9	7.50	1.40	21.70	yes	1.49
46	fra2	41	51-52-53-74-84	6-7-8-9-10-12	8.05	1.88	20.90	yes	8.68



- Couvrant l'Union Européenne

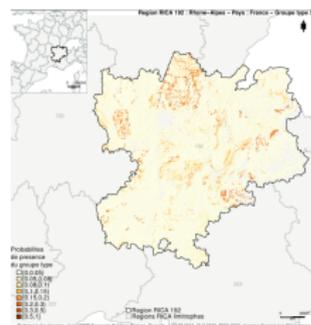
last AROPAj version: V5 applied to EU-27 - 2009-FADN \rightarrow FRA \rightarrow 192-region (38-FG)



1802 FGs (\supset UK!)



157 FGs



10 (geo-downscaled) FGs

Modèle AROPAj: éléments de base

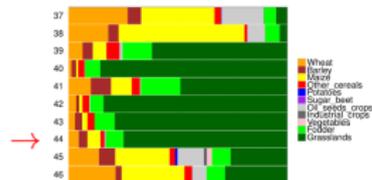
- GT_k représentatif dans une région RICA ($k \in [K_1, K_2]$)
 \Leftrightarrow MP- k (e.g. GT-44 dans la région 192)

$$\max_{x_k \in A_k(\theta_k)} M_k(x_k, \theta_k)$$

FADN sample \rightarrow clustering into FGs based on FADN farm type, altitude, economic size and irrigation

This region gathers 284 sampled farms organised in 10 farm types.

GT	pays	nb_fmd	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock per ha
31	fra2	17	15	6-7-8	7.18	1.35	4.01	no	0.92
38	fra2	19	15	6-7-8	7.16	1.16	57.00	yes	0.482
39	fra2	30	45	6-7-8	6.83	2.00	12.10	yes	2.04
40	fra2	34	45	6-7-8-9	7.29	3.00	0.00	no	1.37
41	fra2	21	45	7-8-9	8.14	1.71	0.00	no	2.56
42	fra2	30	46	6-7-8	7.07	2.17	4.96	no	1.49
43	fra2	21	47	6-7-8-9	7.76	2.00	5.75	no	1.78
44	fra2	31	48-73	6-7-8-9	7.58	2.23	10.30	yes	1.25
45	fra2	40	16-61-83	6-7-8-9	7.50	1.40	21.70	yes	1.49
46	fra2	41	51-52-53-74-84	6-7-8-9-10-12	8.05	1.88	20.90	yes	8.68



- Couvrant l'Union Européenne

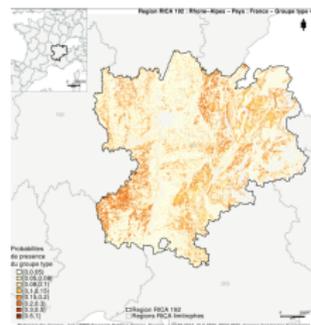
last AROPAj version: V5 applied to EU-27 - 2009-FADN \rightarrow FRA \rightarrow 192-region (44-FG)



1802 FGs (\supset UK!)



157 FGs



10 (geo-downscaled) FGs

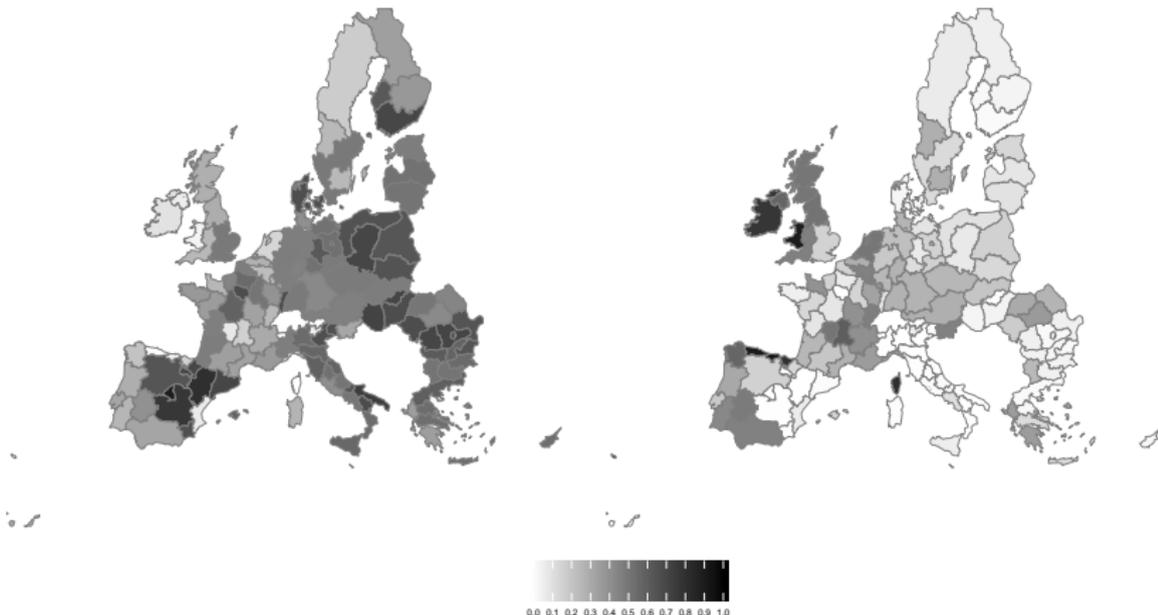
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 200 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

céréales à pailles

prairies



Approche
intégrée des
productions
animales et
végétales
dans un
modèle
économique
pour l'analyse
des
interactions
agriculture -
environnement

P.-A. Jayet
CIAg Poitiers
12 déc. 2019

Enjeux

Climat, DLUC

Chang. Clim.
Food, Feed & Fuel

Externalités

Emissions de GES
Nitrates
Pollutions jointes

Modèle

Per/prospective

Food vs GES
AgRaf
C-H2O-N

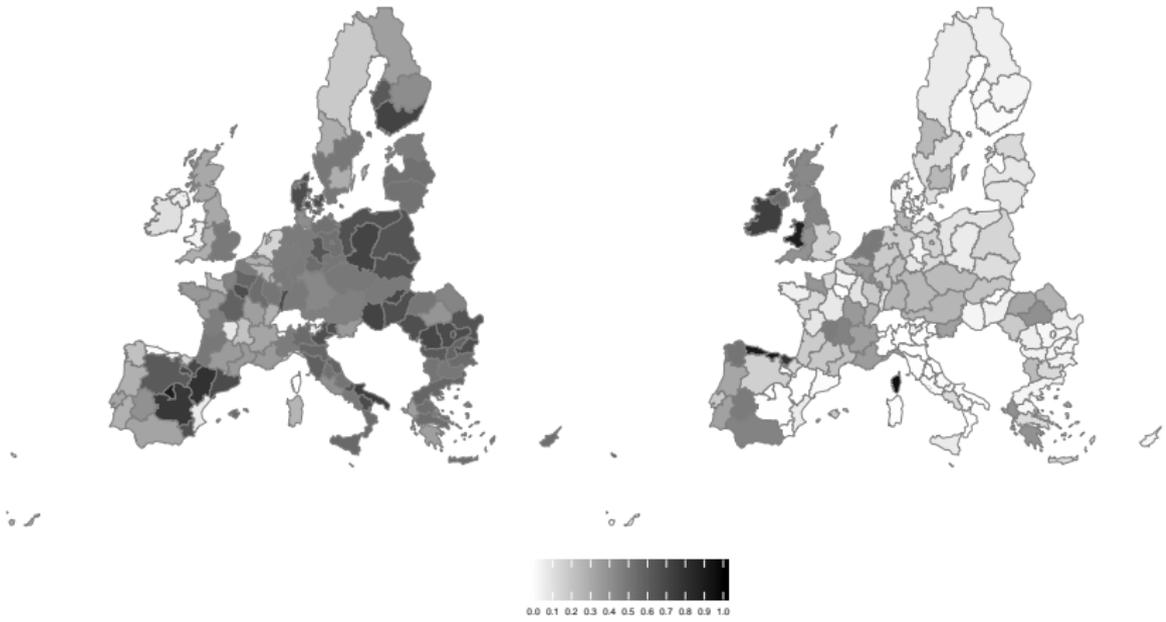
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 250 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

céréales à pailles

prairies



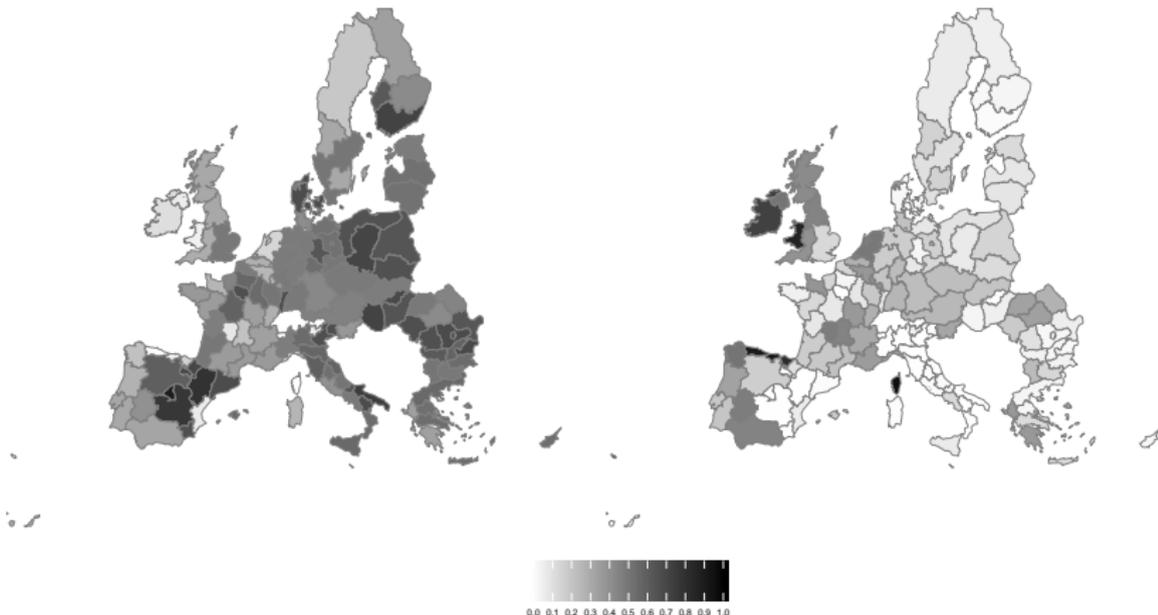
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 300 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

céréales à pailles

prairies



Approche
intégrée des
productions
animales et
végétales
dans un
modèle
économique
pour l'analyse
des
interactions
agriculture -
environ-
nement

P.-A. Jayet
CIAg Poitiers
12 déc. 2019

Enjeux

Climat, DLUC

Chang. Clim.
Food, Feed & Fuel

Externalités

Emissions de GES
Nitrates
Pollutions jointes

Modèle

Per/prospective

Food vs GES
AgRaf
C-H2O-N

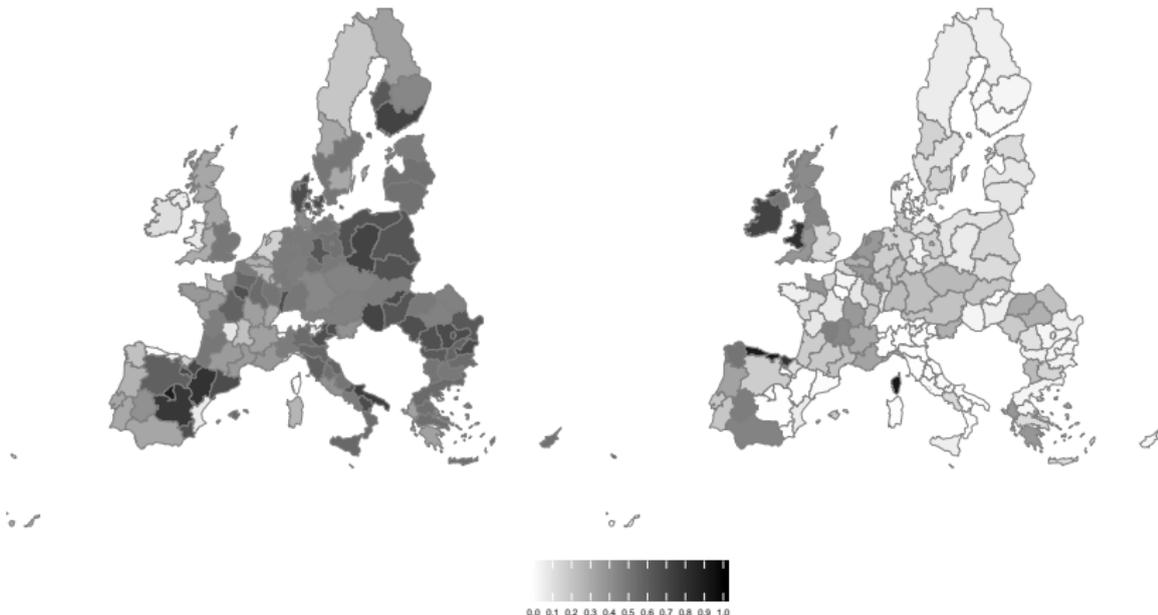
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 350 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

céréales à pailles

prairies



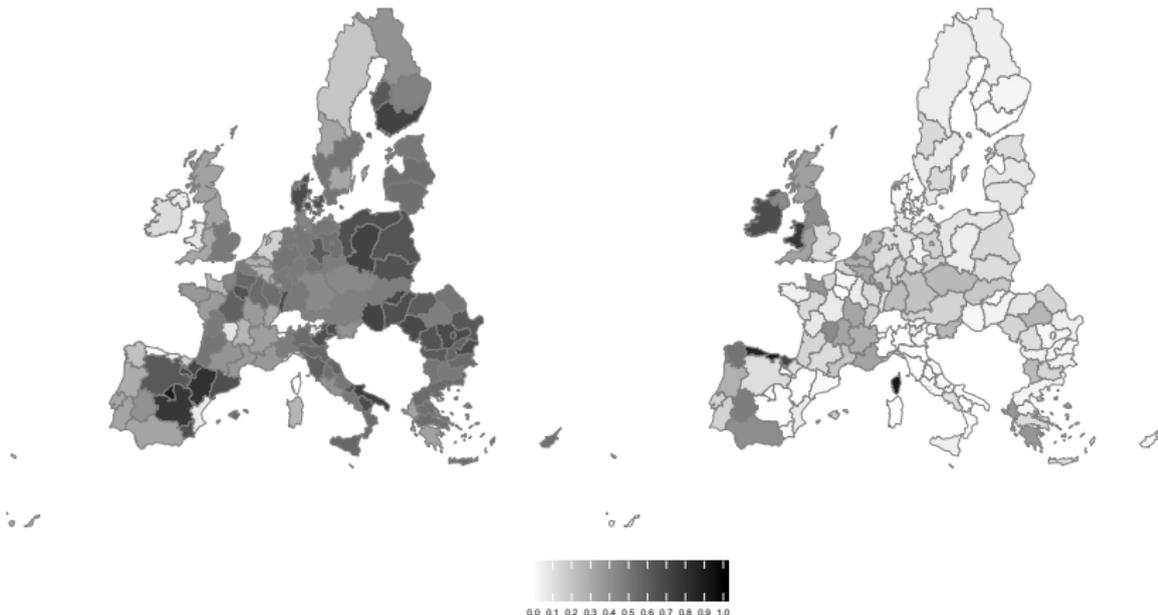
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 400 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

céréales à pailles

prairies



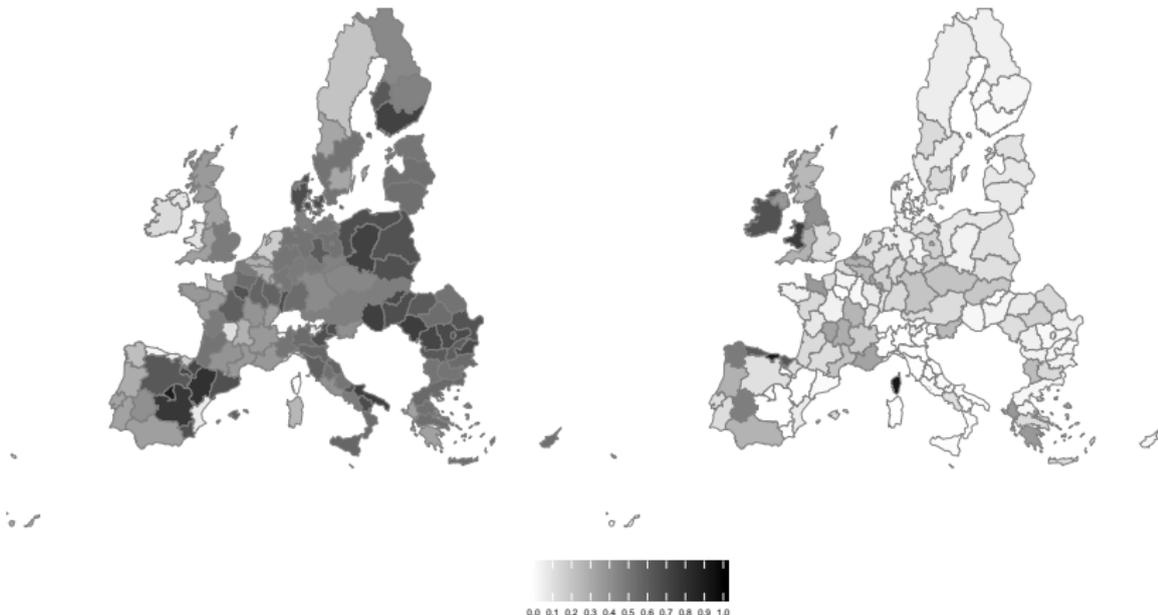
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 450 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

céréales à pailles

prairies



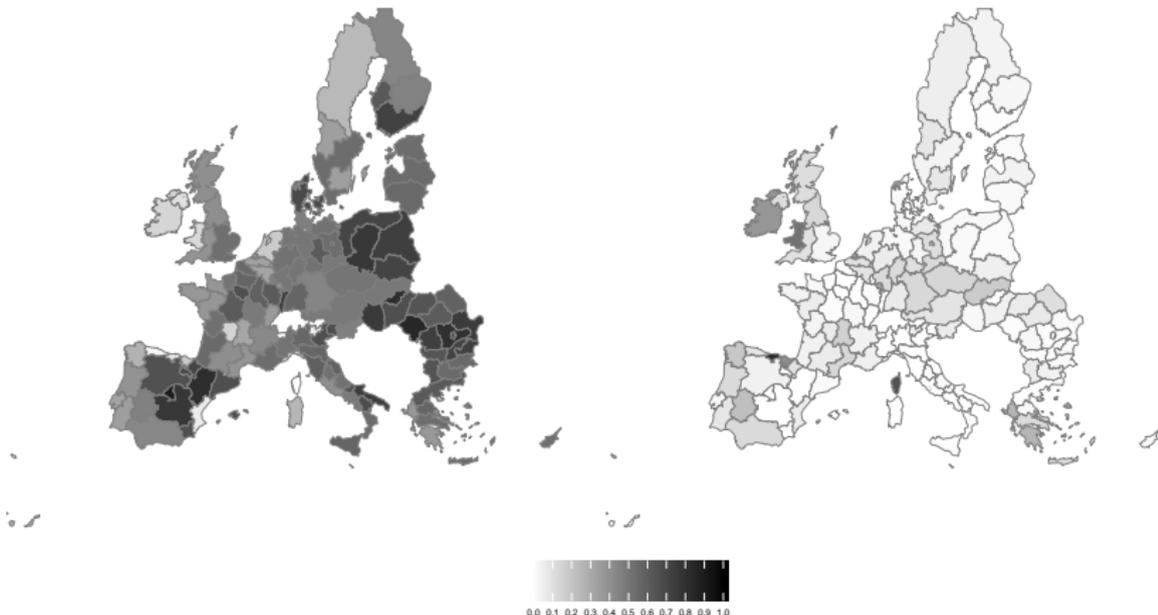
Combiner sécurisation alimentaire et réduction GES

Projet ANR Diet+

Base 2012 - produire 500 Mtbleq
Distribution géographique des surfaces en
&

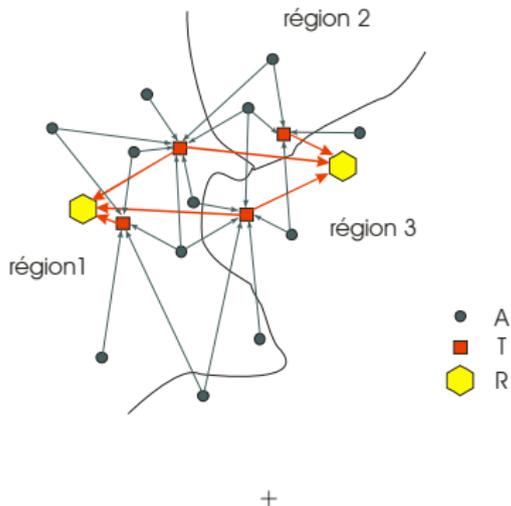
céréales à pailles

prairies



De l'agriculture au raffinage: AROPAj ↔ GiRaf ↔ OursEurope

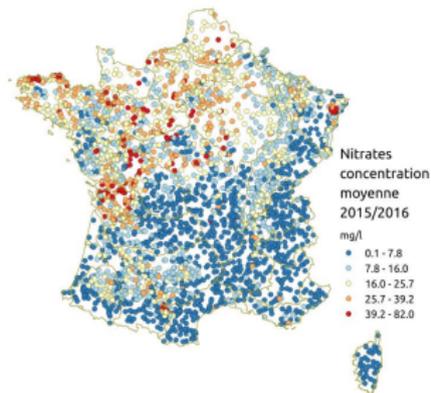
Au delà du projet Ademe avec Ifpen



Intrication animal/végétal plus complexe avec développement de méthaneiseurs

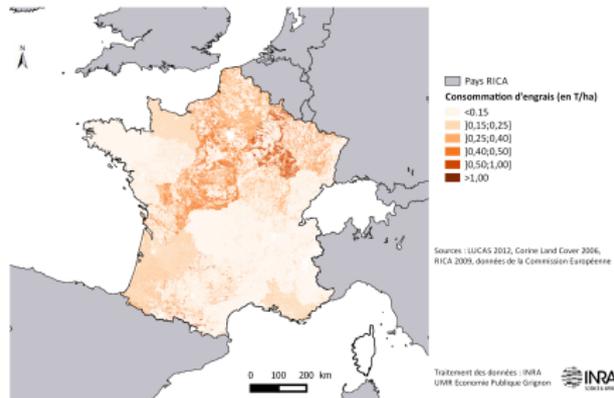
Carbone sol, irrigation, pertes d'azote

Exploitation travaux PIREN-Seine et 4/1000



Source: EauFrance 2015

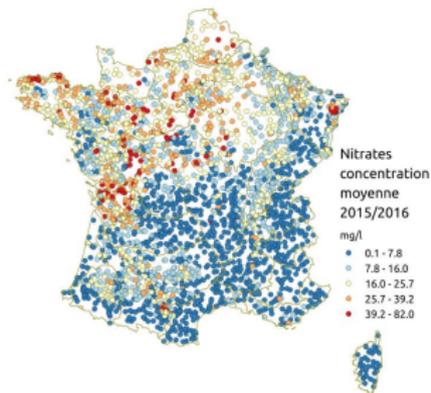
CONSOMMATION D'ENGRAIS POUR L'ANNEE 2009



Essai de couplage AROPAJ-STICS

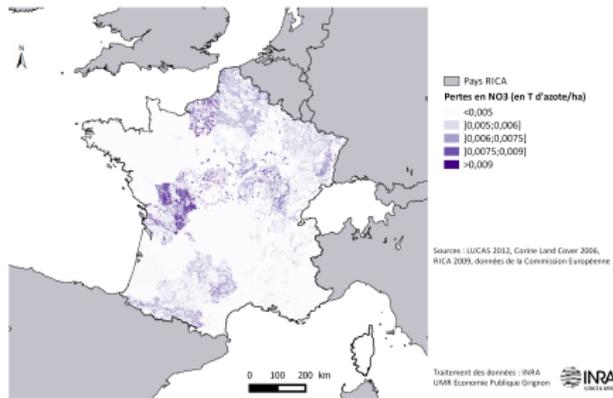
Carbone sol, irrigation, pertes d'azote

Exploitation travaux PIREN-Seine et 4/1000



Source: EauFrance 2015

PERTES EN N03 POUR L'ANNEE 2009



Essai de couplage AROPAj-STICS

Commentaires et précautions d'usage

- Modèle \Rightarrow limites de systèmes, maillage espace-temps, hypothèses
- Facteur limitant (n_{01} ?): les données (RICA)
- Le monde physique, le monde économique: tel qu'il est
/ tel qu'on l'observe / tel qu'on le représente
/ mais pas tel qu'on voudrait qu'il soit
- Changer \Rightarrow scénariser (de façon "réaliste" ?)
? Inventer des techniques et des systèmes ?? changer les comportements ???
- Résultats obtenus /
moyens disponibles (compétences humaines, capacités de calcul ...)
- Exercice de prospective, **en aucun cas de prévision**
 \Rightarrow futurs possibles \Rightarrow situations à éviter \Rightarrow réactivité
(i.e. productions animales et qualité de produits labellisés ?)

changements de prix \sim changements climatiques: inéluctables (réaction de système) \Rightarrow anticiper et décider