

# Dimension spatiale de la modélisation bio-économique

Eau, azote, production agricole et impacts environnementaux

Modèle AROPAj

Pierre-Alain Jayet et al<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Economie Publique, INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78850 Thiverval-Grignon, France

## Couverture, échelle, maille

- Couvrir un espace géographique et analyser à la “bonne” échelle (paysage? bassin versant? “région”? pays? grande région - UE?)
- Choisir le niveau de résolution (maille élémentaire: pixel, polygone,  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  ...  $200\text{km} \times 200\text{km}$ )
- Insérer les agents économiques (représentatifs):  
typologie des exploitations agricoles

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

Coupler

Spatialiser

AROPAj

### Bibliographie

- Associer résultats économiques et caractéristiques physiques  $\pm$  géo-références
- Disposer des bases de données adéquates
- Mettre en oeuvre les méthodes statistiques appropriées
- Disposer des moyens informatiques
- Intégrer des compétences, disciplines et modèles autres qu'économiques

Pour:

- Analyser et représenter un phénomène et/ou les impacts d'une politique
- Associer (coupler, forcer, arrimer) un modèle et des résultats économiques à un (ou plusieurs) modèle(s) et aux résultats bio-géo-physico-chimiques
  - *AROPAj* (Galko and Jayet, 2011)
  - *STICS, MODCOU, ARPEGE, PaSim, OURSEurope, ... Globiom(?) ... (Orchidee, FFSM, ...)*

## Up-scaling: “Simulate and aggregate” Down-scaling: “Distribute and compute”

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

Coupler

Spatialiser

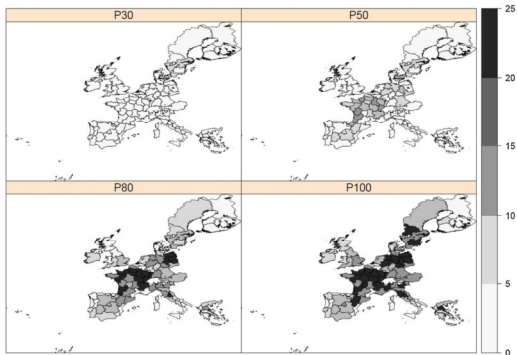
AROPAJ

### Bibliographie

- Niveau d'analyse trop large  
⇒ risque de réduire les disparités et d'engendrer des biais d'agrégation  
(e.g. une réforme de la PAC “neutre” en moyenne mais fortement redistributive)
- Niveau trop fin de l'analyse  
⇒ risque de défaillance des données et des moyens de calcul  
(mais il est possible de contourner certaines difficultés: ne pas avoir accès à des données individuelles géo-référencées n'interdit pas de proposer des approches statistiques permettant d'associer des entités “connues” statistiquement à des observations plus facilement accessibles)
- Dans ce qui suit, dimension spatiale  
du point de vue économique: depuis l'exploitation agricole représentative à l'échelle d'une région RICA jusqu'à l'Union Européenne, avec les régions et les Etats membres en niveaux intermédiaires  
du point de vue statistique: échelle du “polygone” comme agrégat d'un petit nombre de pixels
- Changements d'échelles intéressants en eux-mêmes, et souvent incontournables quand on associe plusieurs modèles  
(moins présent ici mais tout aussi important: la dimension temporelle / processus dynamique / horizon / pas de temps)

## Exemple du miscanthus (Ben Fradj et al., 2016)

Biomasse à haut potentiel se substituant aux cultures (en zone productive)  
... et aux prairies (effets complexes dus à l'alimentation animale)



Estimation de la part de terres agricoles occupées par le miscanthus selon le niveau de réalisation du "potentiel" généralement proposé (AROPAj-V2)

# Marge brute - essai - estimation 2009

(AROPAj-V5-2009) P. Humblot (PhD 2016), D. Barberis (Piren-Seine, 2016-2017)

## Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

## Illustrations

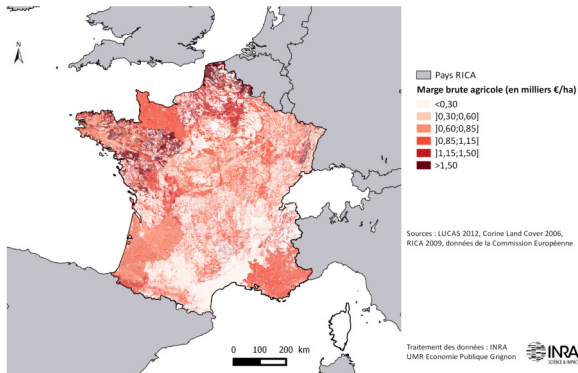
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

## Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

## Bibliographie

MARGE BRUTE AGRICOLE POUR L'ANNEE 2009



Estimation pour la France "AROPAj" (V5-2009): 27.8 G€

activités et surfaces "AROPAj"

## Consom. engrais min. azotés - essai - estimation 2009

(AROPAj-V5-2009) P. Humblot (PhD 2016), D. Barberis (Piren-Seine, 2016-2017)

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

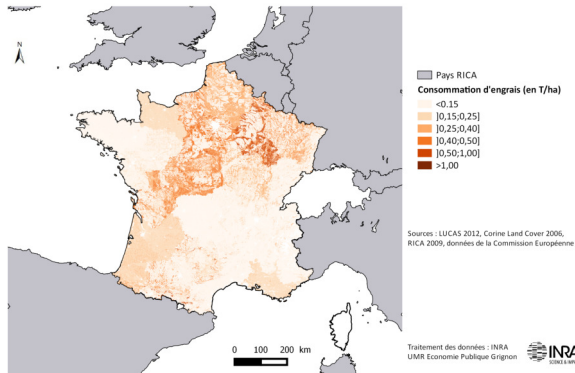
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

CONSOMMATION D'ENGRAIS POUR L'ANNEE 2009



Estimation pour la France "AROPAj" (V5-2009): 6.7 Mt(engrais)

activités et surfaces "AROPAj"

## Demande en eau d'irrigation - essai - estimation 2009

(AROPAj-V5-2009) P. Humblot (PhD 2016), D. Barberis (Piren-Seine, 2016-2017)

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

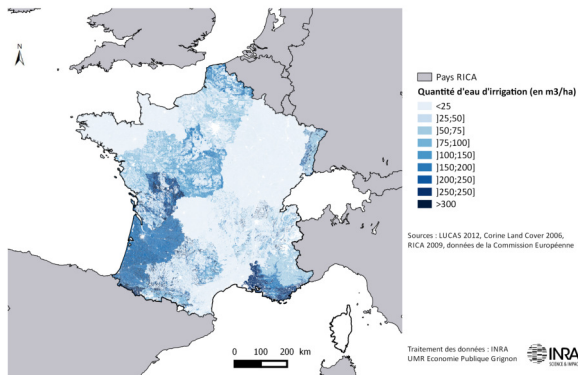
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR L'ANNEE 2009



Estimation pour la France "AROPAj" (V5-2009): 2.3 Gm<sup>3</sup>

activités et surfaces "AROPAj"



## Pertes de $N$ sous forme $NO_3$ - essai - estimation 2009

(AROPAj-V5-2009) P. Humblot (PhD 2016), D. Barberis (Piren-Seine, 2016-2017)

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

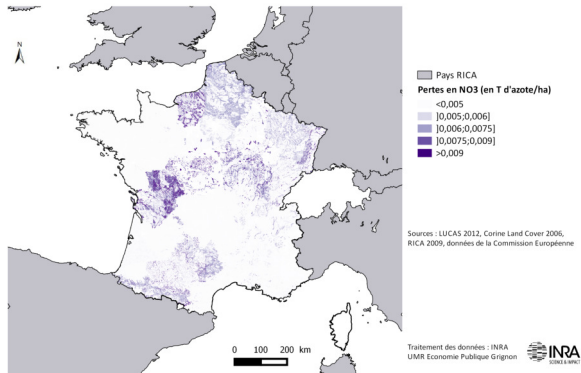
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

PERTES EN  $NO_3$  POUR L'ANNEE 2009



Estimation pour la France "AROPAj" (V5-2009): 150 ktN

activités et surfaces "AROPAj"

## Emissions de gaz à effet de serre (De Cara et al., 2005)

### Diversité spatiale des émissions GES et des capacités de réduction des émissions GES à différentes échelles

Estimation des émissions sur la base du mode de calcul du GIEC révisable via les facteurs d'émissions  
résultant de modèles biophysiques utilisés à petite échelle (Durandeu et al., 2010)

#### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

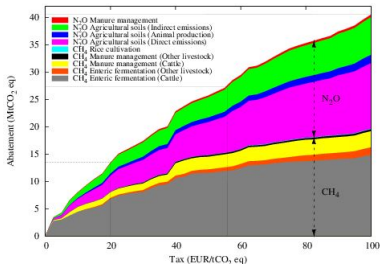
#### Illustrations

Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

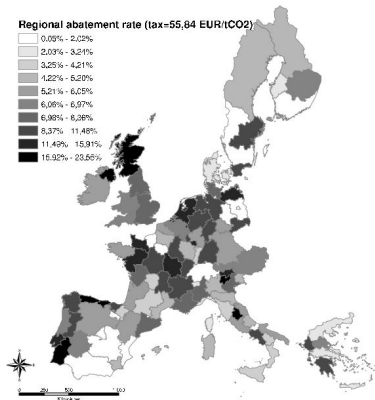
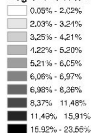
#### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAJ

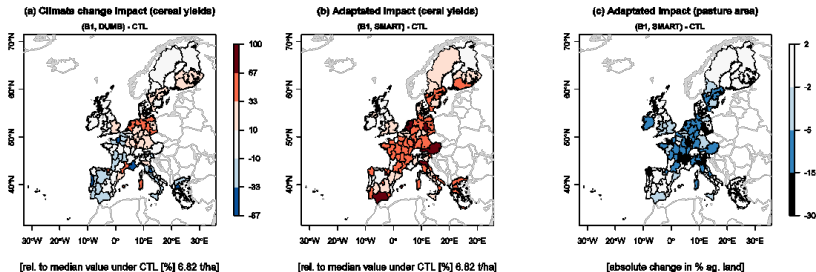
#### Bibliographie



Regional abatement rate (tax=55,84 EUR/tCO<sub>2</sub>)



## Adaptation autonome des exploitations intégrant l'optimisation sur les variétés et la conduite des cultures

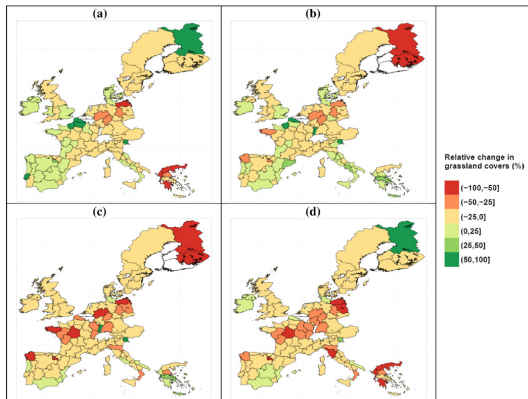


Maps of climate change and adaptation impacts on cereal yields and pasture area. The changes in cereal yields (a) without adaptation (DUMB scenario) and (b) with adaptation (SMART scenario) are relative to the median regional yield value under CTL (6.82 t/ha).

The changes in pasture area share (c) are absolute changes expressed in percentages of the regional total agricultural area

## Croplands & grasslands (Aghajanzadeh-Darzi et al., 2016)

Couplage avec le modèle *PaSim*: estimer la réponse des prairies à l'apport d'azote

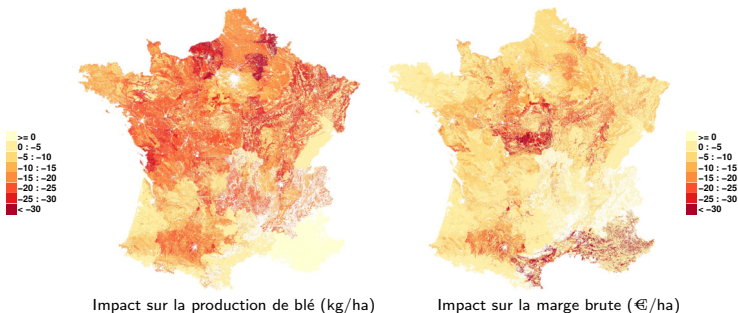


Relative variation in land covered by grass (expressed as a %) across the EU under future scenarios compared to the present (CTL) a. A2H2, b. B1H2, c. A2H2-A and d. B1H2-A

(version AROPAj-V2 - fonctions STICS de rendement des cultures)

## Impacts de la concentration en ozone troposphérique ([Humblot et al., 2013](#))

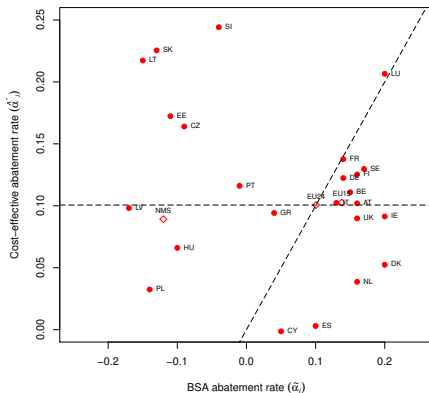
Au delà des effets directs sur les rendements,  
la concentration en ozone a des conséquences économiques  
accrues dans certaines régions comparées à des zones “spots”,  
en relation avec la fragilité économique des producteurs



(version AROPAj-V2 - fonctions STICS de rendement des cultures modifiées par la concentration  $O_3$ )

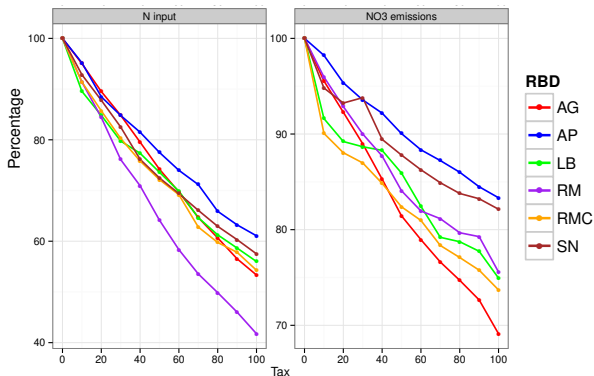
## Emissions de gaz à effet de serre (De Cara and Jayet, 2011)

Un gain de 800 M€/an à l'échelle UE-25 en introduisant un système "cap-and-trade"  
pour réduire les émissions GES de 10% par rapport au "burden sharing agreement",  
à un prix voisin de 35€/tCO<sub>2</sub>e<sub>q</sub>



## Taxer le facteur polluant plutôt que la pollution?

consommation d'engrais et pertes N sous forme nitrate -  
impacts d'une taxe sur les engrais minéraux par Agence de Bassin



Effet paradoxal possible: une taxe peut "localement" entrainer une hausse de la pollution  
(Jayet and Petsakos, 2013)

Dimension  
spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

Illustrations

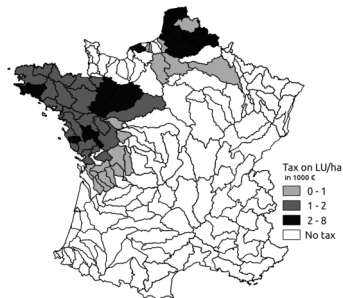
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

Développer et  
modéliser

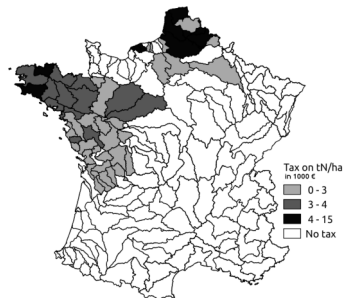
Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

Bibliographie

La “bonne” échelle pour la régulation:  
descendre au niveau du secteur hydrographique?  
Traiter les 2 principales sources de nitrates en fonction de la “cible”  
(i.e. concentration  $NO_3$  des masses d'eau)



taxer l'animal



taxer l'intrant azoté



## Pollutions jointes (Bourgeois et al., 2014)

Policy mix: taxe / engrais (% du prix), subvention / surface de miscanthus (€/ha),  
pour réduire 3 pollutions azotées ( $NO_3$ ,  $N_2O$ ,  $NH_3$ );  
le policy mix est surtout coût efficace pour la pollution "nitrate"

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

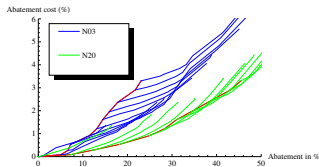
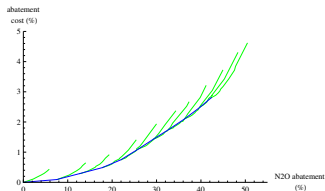
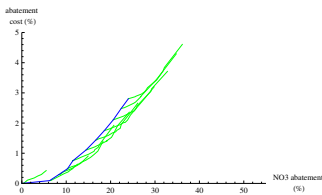
Coupler

Spatialiser

AROPaj

### Bibliographie

6 agences de bassin ensemble (au dessus) ;  
Seine-Normandie (à droite)  
Courbes principales: effet de la taxe seule;  
"branches": ajout de la subvention  
Version AROPAj-V2 - fonctions de rendement issues de  
STICS



# Entre sols agricoles et aquifères (Bourgeois et al., 2016)

Kick-off meeting  
BASC-Stimul  
18 jan. 2017

Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

Illustrations

Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

Développer et modéliser

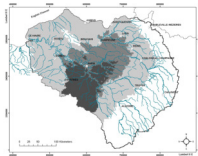
Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

Bibliographie

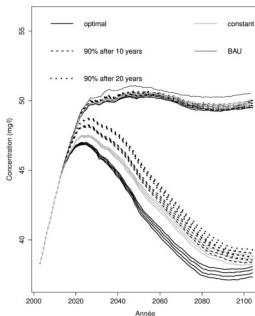
Couplage *STICS* (agro-bio) - *AROPAj* (agro-écon) - *MODCOU* (hydro-géo)

Modélisation "inverse": niveau de concentration cible,  
ajustement du niveau de long terme de la taxe sur la pollution selon différents scénarios  
Analyse fondée sur une approche théorique (Bourgeois and Jayet, 2016)

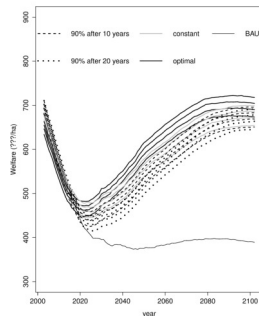
Aquifère de la Craie: réduire la concentration  $NO_3$  de 1mg/l-eau supplémentaire "coûterait" aux exploitations 1.1€/ha/an et 22€/ha/an lorsque la concentration cible est respectivement fixée à 50 mg/l et 38mg/l



Aquifères associés au BV Seine



concentration(t)  $NO_3$  / scénarios



"welfare(t) si la cible est 38mg/l

Version *AROPAj-V2* - fonctions de rendement issues de *STICS*

PhD: C. Godard (2005, coll. Inra-EA), E. Debove-Galko (2007), D. Leclère (2012, coll. LSCE), P. Humblot (2016)

Dimension  
spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

Illustrations

Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

Développer et  
modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAJ

Bibliographie

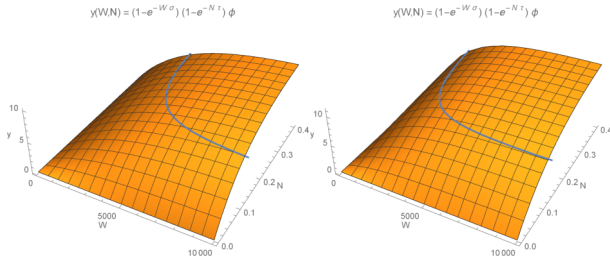
- 1 Partir d'un modèle agro-économique intégrant une part d'adaptation autonome des systèmes de production aux changements économiques (e.g. PAC) et physiques (changement climatique): ré-allocation des terres agricoles
- 2 Si le modèle intègre une "dimension technique" en matière de relations input-output: adaptation à l'échelle de la parcelle avec un rendement fonction des intrants azote & eau, les autres intrants restant intégrés en charge variable par ha.
- 3 La modélisation développée dans son ensemble est multi-échelle:
  - **parcelle** (pour une série cultures) ⇒ couplage **STICS**:  
productivité variable
  - exploitation agricole "représentative":  
allocation des terres (cultures, prairies, fourrages) selon les ratios inter-culture de marge brute
  - région (FADN):  
agrégation des exploitations représentatives selon la pondération FADN
  - Etat membre de l'UE:  
agrégation des régions
  - UE:  
agrégation des Etats membres

## Au niveau de la parcelle, une fonction $y(H_2O, N)$ pour un couple {exploitation type, culture}

Choix d'une forme fonctionnelle (exponentielle, Mitscherlich-Baule):

$$y(W, N; \theta) = \phi(1 - e^{-\sigma(W_0+W)})(1 - e^{-\tau(N_0+N)})$$

$\theta = \{\phi, W_0, N_0, \sigma, \tau\}$  paramètres biophysiques de la fonction  
(resp. potentiel agronomique, dispon. nat.  $H_2O$  et  $N$ , paramètres de courbure)  
les variables: eau et azote "ajoutés"



Choisir parmi les fonctions ("apports totaux"  $H_2O$  et  $N$ , t/ha), éligibles si rendement observé  $\leq \phi$  (isoquante)

## Sélectionner $\theta$ (Humblot et al., 2017) (1)

- 1 call for physical data in line with FADN region, farm group and crops
  - yield FADN region,  $k$ -farm. syst.,  $j$ -crop and ref. yield  $y_{kj}^0$  given
  - data climate given & selection of series of uplets {soil, variety, sowing date}
- 2 compute series of  $\theta_{kj}$ 
  - STICS crop model (*Brisson et al, from 2005*)
  - ArTiX DB & computing tools interfering with the bio-economic model AROPAJ
  - simulations provides series of  $W$ - $N$ -yield points when  $W$  &  $N$  vary
  - adjust each so-called "surface" adjusted on the exponential MB-form
    - $\theta_{kj}$  providing as many  $\theta_{kj}$  as selected uplet {soil, variety, sowing date}
- 3 select  $\theta_{kj}$  and the related uplet {soil, variety, sowing date}
- 4 climate change when "no adaptation" (fixed {soil, variety, sowing date})
  - climate global circulation model in line with SRES (IPCC/AR)  $\rightarrow t$ -"climatic year"
  - ArTiX runs when  $W$  and  $N$  vary
  - adjust  $\theta_{kj}^t$  related to  $t$ - climatic year
- 5 climate change when "autonomous adaptation" (fixed {soil})
  - climate GCM in line with SRES (IPCC/AR)  $\rightarrow t$ -"climatic year"
  - data climate & soil given, selection of series of uplets {variety, sowing date}
  - ArTiX runs when  $W$  and  $N$  vary
  - adjust  $\max_{uplet}$  plot-gross margin  $\rightarrow \theta_{kj}^t$  related to  $t$ - climatic year

## Quel $\theta \sim$ la meilleure "surface $W$ - $N$ -rendement" (2)

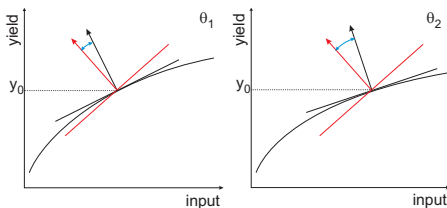
### Extension de la méthode Godard et al. (2008)

- $N$ -yield function  $\Rightarrow$   $H_2O$ - $N$ -yield function
- crop & fertilizer prices supposed to be known  $\Rightarrow$  lack of data / water
- yield given: a point on a curve ( $y^0 = y(N)$ )  $\Rightarrow$  a curve on a surface ( $y^0 = y(W, N)$ )
- select a curve  $\Rightarrow$  select a surface

### Illustration du problème 1-D

The case of one-dim problem  $y(N; \theta) = \phi(1 - e^{-\tau(N_0 + N)})$  (with  $\theta = \{\phi, N_0, \tau\}$ ):

below  $\theta_1$  better than  $\theta_2$ , optimizing the plot gross margin, prices given



Godard et al: select  $\theta$  when prices and yield given  $\Rightarrow$  angle minimizing (gradient x price)

## Définir un critère pour qualifier $\theta$ (3)

l'exploitant gère une parcelle avec la technologie "0", rendement observé  $y^0$

- problème analytique (échelle de la parcelle)

$$\max_{W \geq 0, N > 0} \pi(W, N | \theta) = py(W, N | \theta) - c_W W - c_N N$$

$$\text{s.t. } y(W, N | \theta) = y_0 \quad [\mu]$$

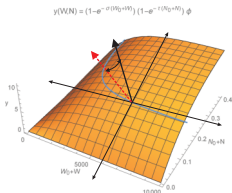
$$W \geq 0; \quad N \geq 0 \quad [\nu_W, \nu_N]$$

- formulation géométrique (inégalité de Cauchy-Schwarz)

surface associée à fonction  $y(W, N | \theta)$  et d'équation  $F(z, W, N | \theta) = z - y(W, N | \theta)$

gradient:  $\nabla F(z, W, N) = \mathbf{g} = \left[ -\frac{\partial y}{\partial W}, -\frac{\partial y}{\partial N}, 1 \right]$ ; vecteur de prix:  $\mathbf{h} = \left[ -\frac{c_W}{p}, -\frac{c_N}{p}, 1 \right]$

critérian:  $\lambda = 1 - \frac{\|\mathbf{g} \cdot \mathbf{h}\|^2}{\|\mathbf{g}\|^2 \cdot \|\mathbf{h}\|^2} \in [0, 1]$  (optimal en cas de colinéarité:  $\lambda = 0$ )



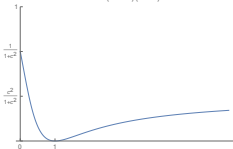
Angle 3-D entre gradient et prix "minimal" sur la courbe d'iso-rendement (en bleu)

## Sélection de la fonction de rendement (4)

$y^0$  donné: (1) le meilleur point sur la courbe d'iso-rendement  $\theta$ ; (2) le meilleur  $\theta$

① calcul du critère  $\lambda(\theta) = 1 - \frac{[(c_W - \nu_W)c_W + (c_N - \nu_N)c_N + (p - \mu)p]^2}{[(c_W - \nu_W)^2 + (c_N - \nu_N)^2 + (p - \mu)^2] [c_W^2 + c_N^2 + p^2]}$

$$\lambda = 1 - \frac{(c^2 + x^2)}{(c^2 + x^2)(c^2 + 1)}$$

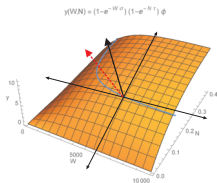
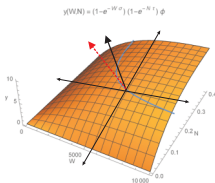


$$p - \mu = \frac{2}{y_0} \frac{c_W c_N}{\sigma + \tau} \left( -1 + \sqrt{1 - 4 \left(1 - \frac{\phi}{y_0}\right) \frac{c_W c_N}{\left(\frac{c_W}{\sigma} + \frac{c_N}{\tau}\right)^2}} \right)^{-1}$$

relation entre le multiplicateur  $\mu$  via  $x = \frac{p + \mu(\theta)}{p}$  (x-axis) et la colinéarité entre vecteurs prix et gradient exprimée par le critère  $\lambda$  (y-axis)

quand  $W^* > 0$  &  $N^* > 0$  (i.e.  $\nu_W = 0$  &  $\nu_N = 0$ )

② Sélectionner le meilleur  $\theta$  i.e. {sol, variété, date de semis}



The 3-D angle minimizing (gradient  $\times$  price) on the iso-yield line, for each  $\theta$



# Distribuer spatialement à haut niveau de résolution (Chakir, 2009; Cantelaube et al., 2012)

## Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

## Illustrations

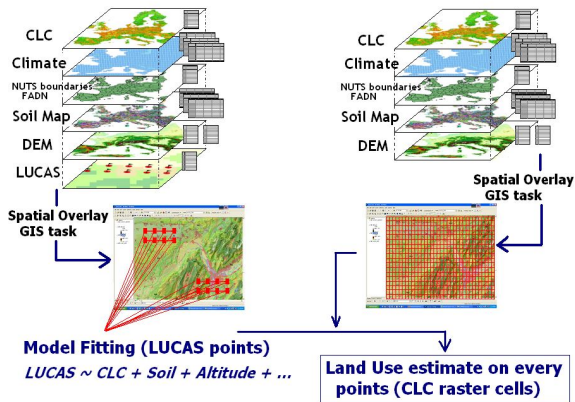
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

## Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPaj

## Bibliographie

## Jeux de données



## 1. Localisation des cultures

Données économiques (RICA) et physiques (CLC, LUCAS, sols, climat, MNT)  
Localisation "initiale" des activités :

1.1. Probabilités a priori de présence: culture  $j$  sur maille géo-référencée  $i$ , pour chaque Région ( $K$  fermes type,  $J$  cultures) :

$$\pi_{ij} = \frac{e^{\beta_j x_i}}{\sum_h e^{\beta_h x_i}}$$

Modèle multinomial (MNL) pour estimer les paramètres  $\beta$  à partir des observations LUCAS  $y_{ij}$  (à valeur 0 ou 1), et estimer les probabilités a priori  $\hat{\pi}$ ;  $x_i$ : variables explicatives géo-référencées

1.2. Affiner les probabilité de présence des activités sur la base d'informations "RICA"  
(Méthode "cross-entropie généralisée") :

$$\min_{p, \epsilon} \sum_{i,j} p_{ij} \ln\left(\frac{p_{ij}}{\hat{\pi}_{ij}}\right) + \sum_{i,n} \epsilon_{jn} \ln(\epsilon_{jn})$$

s.c. ( $s_i$  : surface du pixel  $i$ ) :  $\forall j \sum_i p_{ij} s_i + \epsilon_j = S_j^{RICA}$ ;  $\forall i \sum_j p_{ij} = 1$ ;  $\forall i, j \ p_{ij} \geq 0$ ;  
termes d'erreur  $\epsilon$  et support  $\xi$ :  $\forall j : \epsilon_j = \sum_n \xi_n \epsilon_{jn}$ ;  $\epsilon_{jn} \in [0, 1]$

## 2. Localisation des groupes-types AROPAj (typologie infra-région RICA)

Probabilité de trouver le groupe-type  $k$  sur le pixel  $i$  :

$$q_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^J p_{ik|a} S_{jk|a}^{RicAropa}}{\sum_{k'=1}^K S_{jk'|a}^{RicAropa}}$$

On vérifie (pour chaque Région, en tenant compte du "non-AROPAj") :

$$\forall i : \sum_{k=1}^K q_{ik} = 1$$

## 3. Distribution spatiale de tout "output AROPAj"

Amélioration de la spatialisation (A. Lungarska, PhD 2015)

Utiliser l'information (en termes de surface) sur l'altitude et la présence d'irrigation

## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-37

Dimension  
spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

Développer et  
modéliser

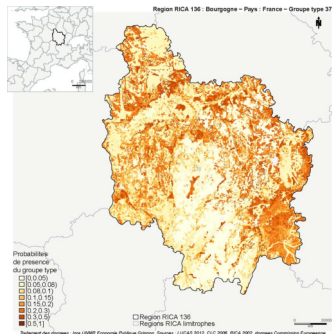
Coupler

Spatialiser

AROPAJ

Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.607
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86



## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-38

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

Développer et modéliser

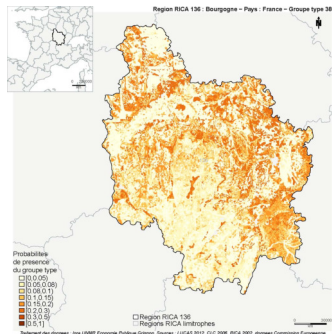
Coupler

Spatialiser

AROPAJ

### Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.607
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86



## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-39

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

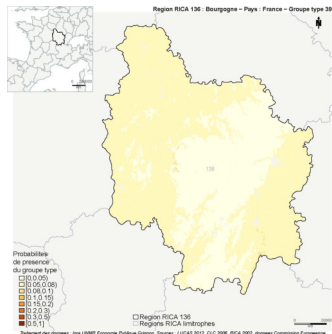
Coupler

Spatialiser

AROPAJ

### Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.807
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86



## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-40

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

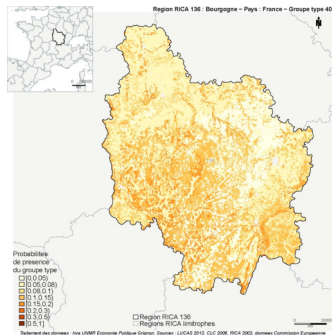
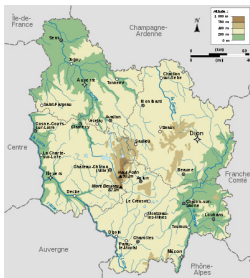
Coupler

Spatialiser

AROPaj

### Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.607
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86



## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-41

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

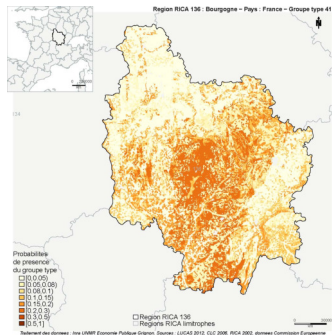
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPaj

### Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.807
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86





## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-42

Dimension spatiale

Enjeux  
 Objectifs

Type de résultats

Illustrations

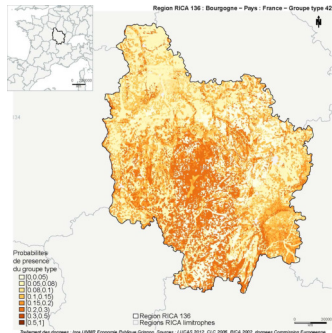
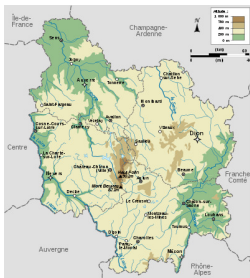
Produire, consommer  
 Polluer, s'adapter  
 Réguler

Développer et modéliser

Coupler  
 Spatialiser  
 AROPAJ

Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.807
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86



## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-43

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

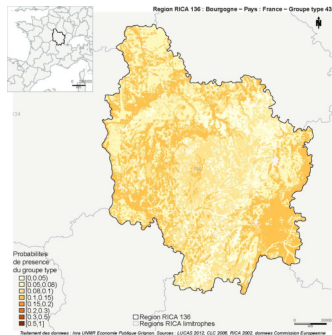
Coupler

Spatialiser

AROPAJ

### Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.607
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86



## Distribution spatiale - région 136 (Bourgogne) - proba. GT-44

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

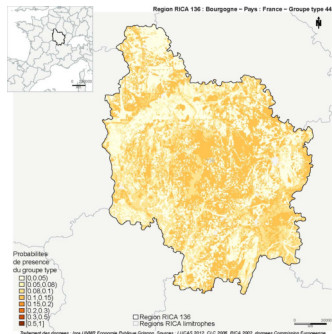
Coupler

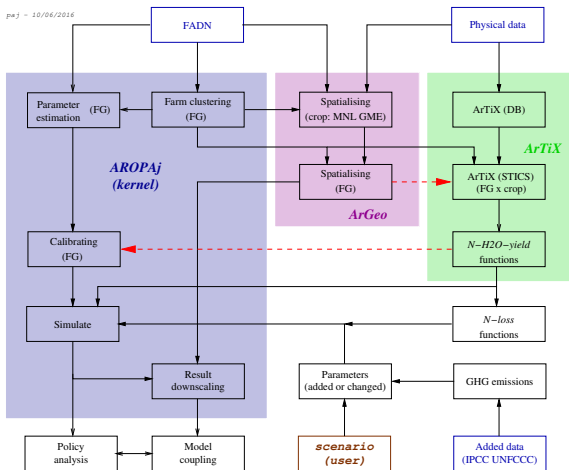
Spatialiser

AROPaj

### Bibliographie

GT	pays	nb_ind	otex	size class	mean eco size	mean alt	irr area ratio	irrigue	livestock pe
37	fra1	46	15	8-9	8.28	1.07	0.00	no	1.2
38	fra1	35	15	6-7-8	7.31	1.54	0.00	no	0.807
39	fra1	23	45	7-8-9	8.17	1.13	0.57	no	2.65
40	fra1	25	46	6-7	6.96	1.00	0.00	no	1.39
41	fra1	38	46-47	6-7-8-10	7.21	1.95	0.00	no	1.48
42	fra1	54	46-48-51-52-53-73-74-84	6-7-8-9-11	8.00	1.19	0.00	no	2.19
43	fra1	20	16-61-83	6-7-8-9	7.70	1.10	2.76	no	1.5
44	fra1	20	83	8-9-10	8.80	1.40	0.56	no	1.86

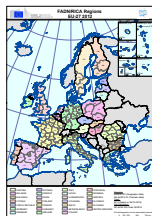




General overview of data and processes associated to the AROPAj kernel and its surrounding applications - Red arrows refer to improving the interface between the core model and other processes

## Quelques éléments techniques

- Serveur de calcul **miraje**  
Linux - 20 coeurs (serveur & admin. Equipe / EIC-Versailles pour protect. élec.)
- Logiciels "libres" + **GAMS**
- 6000 à 40000 runs AROPAj / heure  
(selon charge du serveur, compétition "AROPAj" entre utilisateurs, et type de simulations itérées)
- calibrage UE27  
(1800-2000 GT x 1500-2000 itérations [CSH + FORTRAN + GAMS]) = 30 à 70 heures selon charge du serveur (il aurait fallu 4 mois il y a 3 ans sur l'ancien serveur de Centre)



- **FADN** (qq 100aines de variables / année RICA ± NUTS-2)
- **ArTiX**: BDDs + applis  
(P.Humblot: R+Python+POSTGRES+**STICS**; D. Barberis; millions runs STICS)
- BDDs + applis pour la spatialisation  
(A. Lungarska; D. Barberis; J. Adrian)

### Récent, en cours, en perspective

- 1 recyclage des PRO et intégration effet de long terme de la M.O -  
échelle région Ile-de-France (Jayet and Petel, 2015),  
couplage Carbo-PRO (Inra-EA - Veolia)
- 2 calculs des prix implicites des intrants ou produits entièrement recyclés  
sur l'exploitation: (Jayet et al., 2016)
- 3 1<sup>er</sup> essai de calibrage versions *AROPAj-V5 2007-2012* (FP7-FoodSecure, janvier  
2017)  
production agricole vs réduction des émissions GES
- 4 miscanthus & switchgrass - couplage *CERES-EGC* (prog. Futurol, coll.  
Inra-APT-EcoSys ,Ifpen)
- 5 fonctions de rendement  $y(Wat, Nit)$  et de pertes d'azote  
(ARPEGE-clim / SRES-AR4 A1b, A2, B1 / STICS / 2010-2100)  
réalisé pour la France (rendements / 8 cultures / sans adaptation / 3 SRES ->  
2100)  
en cours: A1b / France / adaptation (variétés, ITK)
- 6 spatialisation: France / AROPAj-V5(2009)  
en préparation: UE(-15 ?) - requiert [LUCAS](#), [CLC](#), [MNT](#), [ESB](#), [shape files](#)

### Dimension spatiale

Enjeux

Objectifs

Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer

Polluer, s'adapter

Réguler

### Développer et modéliser

Coupler

Spatialiser

AROPaj

### Bibliographie

- 1 modèle *AGRAF* échelle UE (suite PhD M. Clodic, 2013, coll. Ifpen, (Assaiante et al., 2016)): couplage de 3 modèles dim. "verticale et géograph.  
*AROPaj-Giraf*[transform./mat.prem./biocarb.]-OurseEurope
- 2 impacts azospirillum / échelle région Rhone-Alpes (M. Bounaffaa, coll. Inra-Avignon, Cnrs-Lyon): modifications des fonctions de rendement et de pertes d'azote, impacts sur systèmes productifs et émissions d'azote ( $N_2O$ )
- 3 eau, biomasses, changements climatiques et pollutions azotées (Piren-Seine 2007-2020, D. Barberis, coll. UPMC-Metis, MinesParisTech)
- 4 bases de données et interfaces modèles, couplages pour analyses de landuse (J. Adrian, BASC, coll. LSCE)
- 5 coordination de politiques publiques (PAC, DCEau, clim. pol., Dir. "biofuels") sous l'angle de la modélisation quantitative (A. Isbasoiu PhD, DIM ASTREA)
- 6 **BASC-STIMUL**

## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2011-2020

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

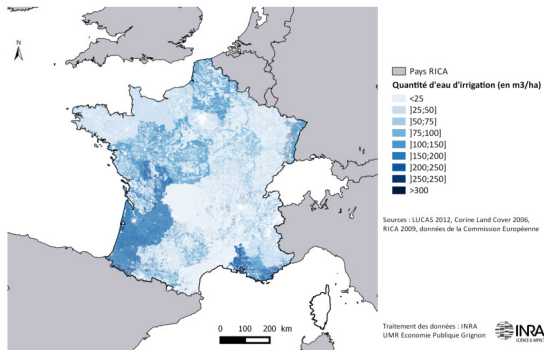
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2011-2020





## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2021-2030

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

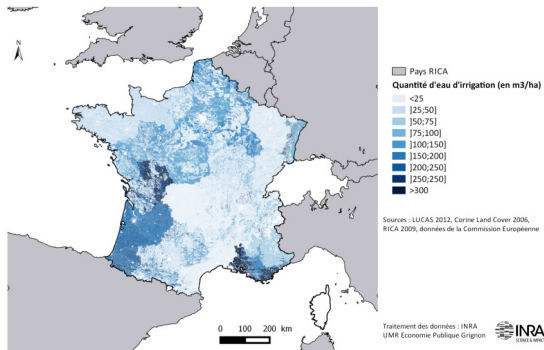
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2021-2030



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2031-2040

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

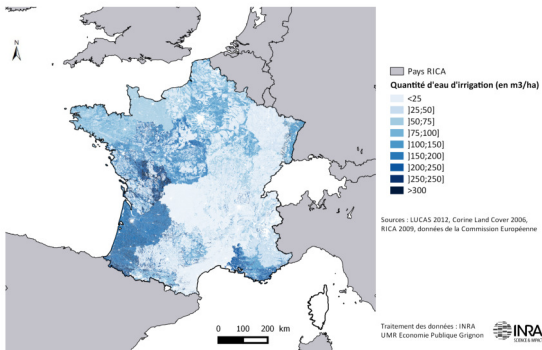
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2031-2040



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2041-2050

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

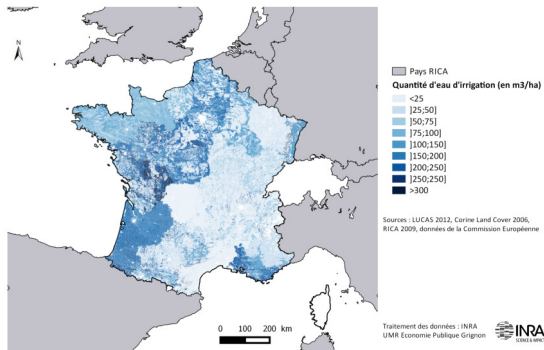
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2041-2050



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2051-2060

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

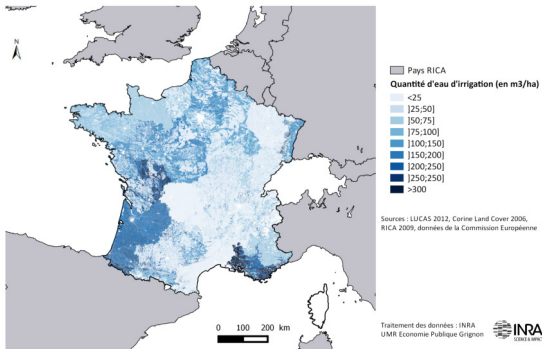
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2051-2060



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2061-2070

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

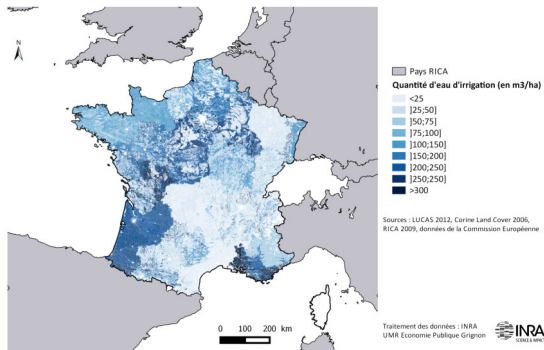
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2061-2070



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2071-2080

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

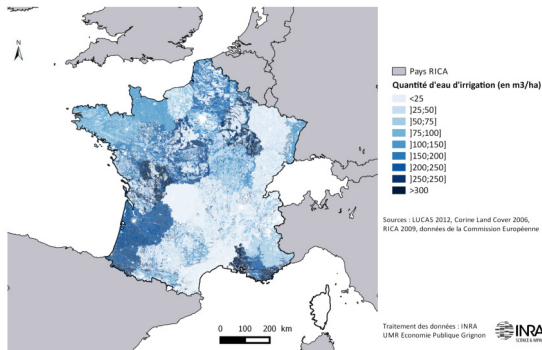
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2071-2080



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2081-2090

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

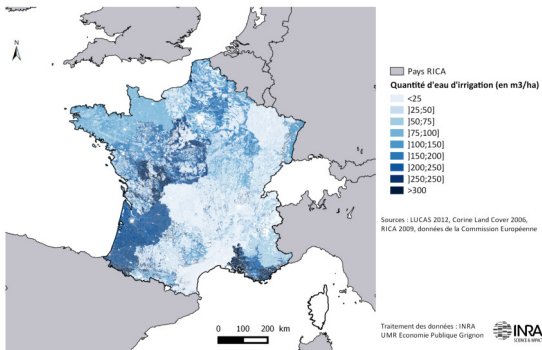
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2081-2090



## Exemple: demande en eau (irrig) & CC - SRES A1b - moyenne

2091-2100

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

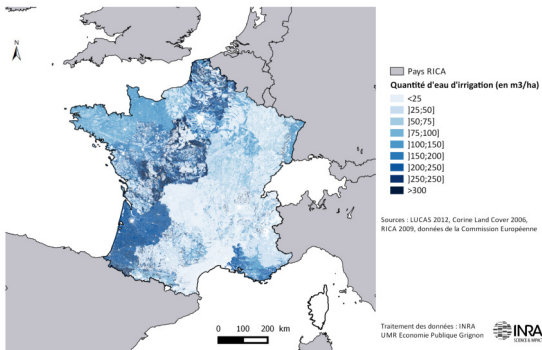
Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAj

### Bibliographie

DEMANDE EN EAU POUR LA PERIODE 2091-2100







### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPAJ

### Bibliographie

- Aghajanzadeh-Darzi, P., Martin, R., Laperche, S., and Jayet, P.-A. (2016). Climate change impacts on european agriculture revisited - adding the economic dimension of grasslands. Regional Environmental Change. doi: 10.1007/s10113-016-1018-z.
- Assaiante, C., Jayet, P.-A., and Lantz, F. (2016). From raw material to biofuel demand: the agraf model. In Sabine Sauvage, José-Miguel Sánchez-Pérez, A. R. E., editor, 8th International Congress on Environmental Modelling and Software. <http://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2016/Stream-A/15>.
- Ben Fradj, N., Jayet, P. A., and Aghajanzadeh-Darzi, P. (2016). Competition between food, feed, and (bio)fuel: a supply-side model based assessment at the european scale. Land Use Policy, 52:195–205. doi: 10.1016/j.landusepol.2015.12.027.
- Bourgeois, C., Ben Fradj, N., and Jayet, P.-A. (2014). How cost-effective is a mixed policy targeting the management of three agricultural n-pollutants? Environmental Modeling and Assessment, 19(5):389–405.
- Bourgeois, C., Habets, F., Jayet, P.-A., and Viennot, P. (2016). Estimating the marginal social value of agriculturally-driven nitrate concentrations in an aquifer: a combined theoretical-applied approach. Water Economics and Policy. doi: 10.1142/S2382624X16500211.
- Bourgeois, C. and Jayet, P. A. (2016). Regulation of relationships between heterogeneous farmers and an aquifer accounting for lag effects. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 60(1):39–59. doi: 10.1111/1467-8489.12102.
- Cantelaube, P., Jayet, P.-A., Carré, F., Zakharov, P., and Bamps, C. (2012). Geographical downscaling of outputs provided by an economic farm model calibrated at the regional level. Land Use Policy, 29:35–44.
- Chakir, R. (2009). Spatial downscaling of agricultural land-use data: An econometric approach using cross entropy. Land Economics, 85(2):238–251.
- De Cara, S., Houzé, M., and Jayet, P.-A. (2005). Methane and nitrous oxide emissions from agriculture in the EU: spatial assessment of sources and abatement costs. Environmental and Resource Economics, 32(4):551–583.
- De Cara, S. and Jayet, P.-A. (2011). Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions from european agriculture, cost effectiveness, and the eu non-ets burden sharing agreement. Ecological Economics, 70:1680–1690.

### Dimension spatiale

Enjeux  
Objectifs  
Type de résultats

### Illustrations

Produire, consommer  
Polluer, s'adapter  
Réguler

### Développer et modéliser

Coupler  
Spatialiser  
AROPA

### Bibliographie

- Durandeau, S., Gabrielle, B., Godard, C., Jayet, P.-A., and Le Bas, C. (2010). Coupling biophysical and microeconomic models to assess the effect of mitigation measures on greenhouse gas emissions from agriculture. Climatic Change, 98:51–73.
- Galko, E. and Jayet, P.-A. (2011). Economic and environmental effects of decoupled agricultural support in the eu. Agricultural Economics, 42:605–618.
- Godard, C., Roger-Estrade, J., Jayet, P.-A., Brisson, N., and Le Bas, C. (2008). Use of available information at a european level to construct crop nitrogen response curves for the regions of the eu. Agricultural Systems, 97:68–82.
- Humblot, P., Jayet, P.-A., and Petsakos, A. (2017). Farm-level bio-economic modeling of water and nitrogen use: Calibrating yield response functions with limited data. Agricultural Systems, 151:47–60.
- Humblot, P., Leconte-Demarsy, D., Clerino, P., Szopa, S., Castell, J.-F., and Jayet, P.-A. (2013). Assessment of ozone impacts on farming systems: A bio-economic modeling approach applied to the widely diverse french case. Ecological Economics, 85:50–58.
- Jayet, P. A., Aghajanzadeh-Darzi, P., and Petsakos, A. (2016). Improvement of a bio-economic mathematical programming model in the case of on-farm source inputs and outputs. Journal of Quantitative Economics, (doi:10.1007/s40953-016-0058-z):pp 1–20.
- Jayet, P. A. and Petel, E. (2015). Economic valuation of the nitrogen content of urban organic residue by the agricultural sector. Ecological Economics, 120:272–281.
- Jayet, P.-A. and Petsakos, A. (2013). Evaluating the efficiency of a uniform n-input tax under different policy scenarios at different scales. Environmental Modelling and Assessment, 18:57–72.
- Leclère, D., Jayet, P.-A., and de Noblet Ducoudré, N. (2013). Farm-level autonomous adaptation of european agricultural supply to climate change. Ecological Economics, 87:1–14.
- Lungarska, A. and Jayet, P. A. (2016). Impact of spatial differentiation of nitrogen taxes on french farms' compliance costs. Environmental and Resource Economics. Doi: 10.1007/s10640-016-0064-9.