

Economie de l'azote, entre production agricole et environnement

Problématique

Méthodologie

Le modèle
agro-économique
Exemple de
régulation
environnementale

Quelques résultats

Produire mieux
Polluer moins

References

Pierre-Alain Jayet & coll.¹

pierre-alain.jayet@inra.fr

¹UMR Economie Publique INRA-AgroParisTech

Journées annuelles RMT F&E - 7 novembre 2018



- l'intrant "azote"
 - minéral (engrais de synthèse)
 - organique (effluents d'élevage, PRO)
- facteur de pollution
 - N_2O
 - NO_3 , NH_3 ...
- cible et/ou vecteur de politique(s) publique(s)
nitrate/eau, climat, PAC, agro-carburants ...
- à différentes échelles
 - (parcelle)
 - exploitation agricole (statistiquement représentative)
 - régionale / nationale / européenne (UE15, UE27)

via la modélisation de l'offre agricole (incl. demande d'intrants)

Eclairage sous l'angle de la modélisation du secteur agricole (Fr, UE)

Modèle *AROPAj*: https://www6.versailles-grignon.inra.fr/economie_publique/Media/fichiers/ArticIAROPAj

Couplage/forçage avec différents modèles en fonction des problématiques:

- modèle de culture (*STICS* - Inra-EA)
- modèle hydro-géologique (*MODCOU* - UPMC-Metis, Armines, MinesParisTech)
- modèle *CarboPRO* MO / effet long terme (Inra-EA, Veolia ...)

Principes (*AROPAj*: optimisation sous contraintes)

- parcelle de culture j d'une exploitation agricole type k (1ha)

$$\max_{N,W} \text{marge}_{jk} = p_{jk}y_{jk}(N, W) - q_N N - q_W W - w_{jk} + \text{Aide}_{jk}$$

(prix, rendements, charges variables, aides directes \Rightarrow à l'optimum: N_{jk}^* , W_{jk}^* , marge_{jk}^*)

- exploitation agricole k (typologie fondée sur données *RICA*)

$$\max_{x \in X} \sum_j \text{marge}_{jk}^* \text{Surf}_{jk} + \dots + \text{ProdAnim}_k - \text{Coûts}_k + \text{DPU}_k$$

(X ensemble des contraintes techniques et économiques d'exploitation)

et quelques principes d'économie de l'environnement

Justification simple de la régulation économique en présence d'externalité

→ exemple d'une firme dont l'activité engendre une pollution

Instruments économiques de régulation socialement équivalents (au sens de "bien-être commun") en l'absence d'incertitude, sur le dommage ou sur la technologie, du côté de l'autorité publique:

- taxe sur l'émission de pollution
(en théorie individualisée selon le pollueur)
- quota sur l'émission

Instruments de "second rang" (i.e. les moins mauvais dans un contexte donné):

- taxe sur un élément supposé responsable de la pollution
(e.g. le facteur de production)
- distribution arbitraire de "droits à polluer"
(et redonner de l'efficacité à la régulation en instaurant un marché de droits)

Principe pollueur payeur ... mais le système "pollué payeur" peut être socialement équivalent (au sens collectif) tout en ayant des effets redistributifs complètement différents

Problèmes récurrents de la régulation: s'assurer de l'efficacité (intégrant coûts de mise en oeuvre); intégrer les effets redistributifs; la rendre crédible / acceptable ... et convaincre du bien fondé d'une politique dont les effets bénéfiques sont attendus souvent à moyen terme ("dim. dynamique") ou "chez les autres" ("dim. spatiale")

Principes de micro-économie et d'économie de l'environnement

Modélisation quantitative

Un peu plus sur le modèle et sur N dans le modèle

- modèle d'offre, approche de nature micro-économique
- spécification technico-économique (explicitation technique de "l'ensemble de production")
- classe de modèle en programmation mathématique, base linéaire
- généricité
déclinaison en pays, "région RICA", exploitation agricole type)
systèmes de cultures (culture de vente, prairies, fourrages, productions pérennes "énergie"); productions animales (principalement bovines)
- modularité
combinaison libre de modules ajoutés (blocs "GES", "azote", "eau", blocs +/- spécifiques de politiques publiques ...)
- mono-périodique de court terme
compatible avec approche prospective / paramétrage généralisé

Selon la région, le type d'exploitation, la culture,

rendement fonction d'apports eau et azote $y(W, N) = (1 - e^{-\sigma(W_0+W)})(1 - e^{-\tau(N_0+N)})\phi$

variables

W : water ($m^3 ha^{-1}$)

N : nitrogen ($t ha^{-1}$)

y : yield ($t ha^{-1}$)

paramètres pour le modèle STICS (sol, variété, date de semis,...)

W_0 : nat. avail. water ($m^3 ha^{-1}$)

N_0 : nat. avail. nitrogen ($t ha^{-1}$)

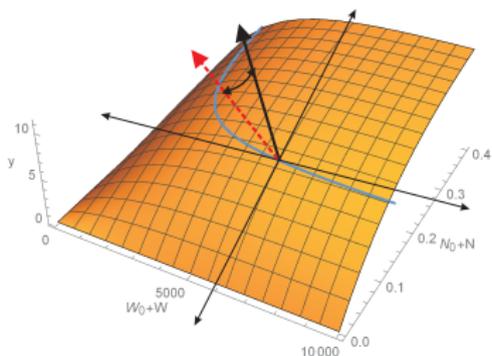
ϕ : agronomic potential ($t ha^{-1}$)

σ : water eff. curvature ($ha m^{-3}$)

τ : nitrogen eff. curvature ($ha t^{-1}$)

(all units yearly)

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



1 **Climat présent**: sélection de la **fonction** (i.e. les **paramètres STICS**) minimisant l'angle entre vecteur de prix et gradient pour le rendement observé (figure)

2 **Climat futur**: T , **pluie**, CO_2 autres paramètres **STICS** inchangés (adapt. "faible")
 $\Delta W_0, N_0, \sigma, \tau, \phi \Rightarrow$ **fonction déformée**

Humblot et al. (2017)

A l'échelle de l'exploitation agricole

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 $A(\theta)$)

$$\max_{x \in A(\theta)} M(x, \theta) \quad \underline{\text{Galko and Jayet (2011)}}$$

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: vignes, maraichage, horticulture, arboriculture

Modèle AROPAj décliné en groupes types

- $GT\ k$ représentatif dans une région RICA ($k \in [K_1, K_2]$)

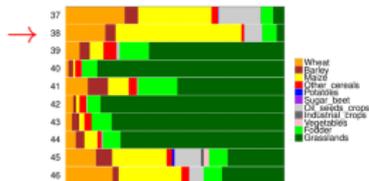
⇔ MP-k (e.g. GT-38 dans la région 192)

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

FADN sample → 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_ind	otex	size class	mean eco size	mean alb	irr area ratio	irrigue	livestock per ha
37	fra2	17	15	6-7-8	7.18	1.35	4.81	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

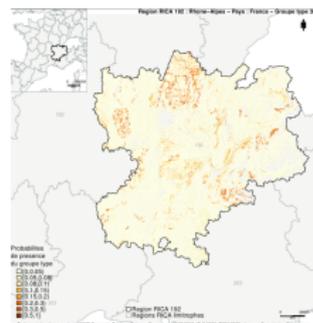
last AROPAj version: V5 applied to EU-27 - 2009-FADN → FRA → 192-region (38-FG)



1802 FGs (⊃ UK!)



157 FGs



10 (geo-downscaled) FGs

Modèle AROPAj décliné en groupes types

- $GT\ k$ représentatif dans une région RICA ($k \in [K_1, K_2]$)

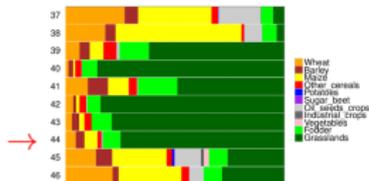
\Leftrightarrow MP-k (e.g. GT-44 dans la région 192)

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

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_jrd	otex	size class	mean eco size	mean alb	irr area ratio	irrigue	livestock per ha
37	fra2	17	15	6-7-8	7.18	1.35	4.81	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



Problématique

Méthodologie

Le modèle agro-économique

Exemple de régulation environnementale



- Couvrant l'Union Européenne

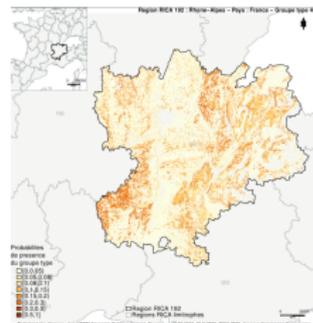
last AROPAj version: V5 applied to EU-27 - 2009-FADN \rightarrow FRA \rightarrow 192-region (44-FG)



1802 FGs (\supset UK!)



157 FGs



10 (geo-downscaled) FGs

Quelques résultats

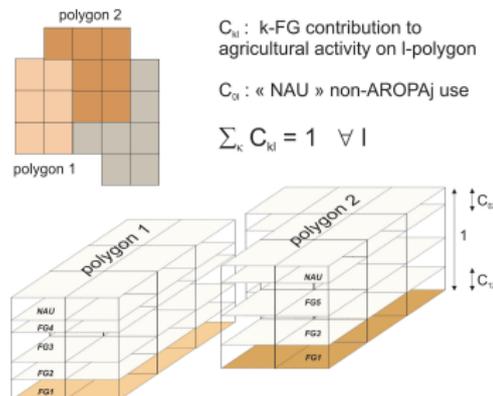
Produire mieux
Polluer moins

References

Distribution spatiale d'un groupe type à l'échelle régionale

Contribution d'un *GT* à l'activité agricole avec un haut niveau de résolution spatiale selon un processus en 3 étapes \Rightarrow probabilité de présence du *GT*

- 1 approche MNL standard en économétrie spatiale (Chakir, 2009)
"expliquer" l'activité j sur le pixel $i \Rightarrow$ priors
- 2 raffiner les probabilités par une méthode d'entropie généralisée (Chakir, 2009)
probabilité de trouver j sur i
(avec ajout d'information régionale)
- 3 distribution spatiale des *GT AROPAj* (Cantelaube et al., 2012)
contribution of the k -FG to the agricultural activity on the i -pixel
(\rightarrow on the p -polygon)



permet de distribuer tout résultat "AROPAj" sur l'espace géographique

(distribution spatiale en unité physique ou économique par "hectare moyen" sur un polygone)

Modèle élémentaire de régulation d'une pollution

- Entrepreneur maximisant le profit de l'entreprise qu'il dirige
- Externalité (positive ou négative) associée à l'activité de l'entreprise
- quel est le "bon" niveau d'activité du point de vue collectif évalué comme la somme algébrique du profit et du dommage net évalué en termes monétaires

Par la suite, à défaut de connaître le dommage, on mesure le coût de réduction des émissions de pollution \Rightarrow estimation de fonctions de coût marginal d'abattement

- fonctions de pollution (en général linéaire) de type

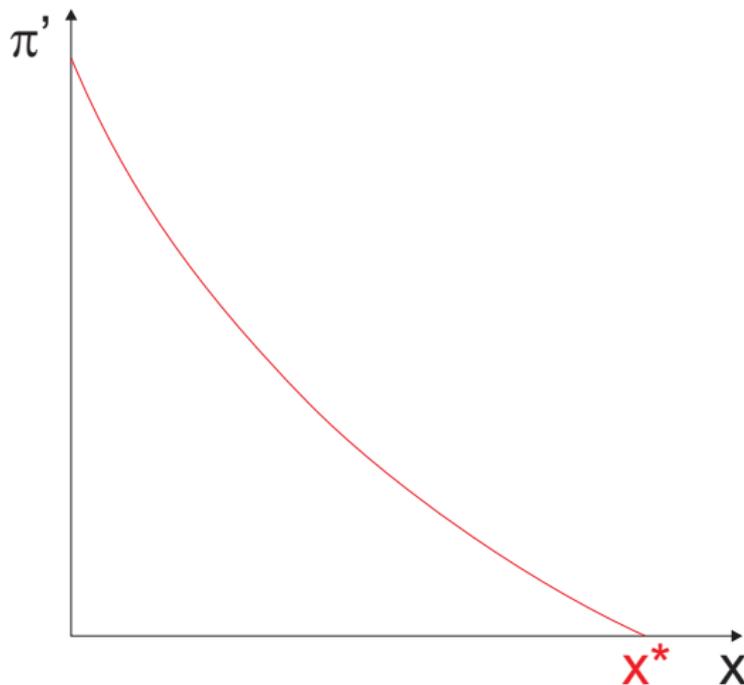
$$E_{hj}(x) = \sum_j f_h x_j$$

polluant h activité j

- exemples: émissions de CH_4 , N_2O , NO_3 ...
- dépendant des animaux, aliments pour animaux, engrais ...

Exemple du "producteur pollueur"

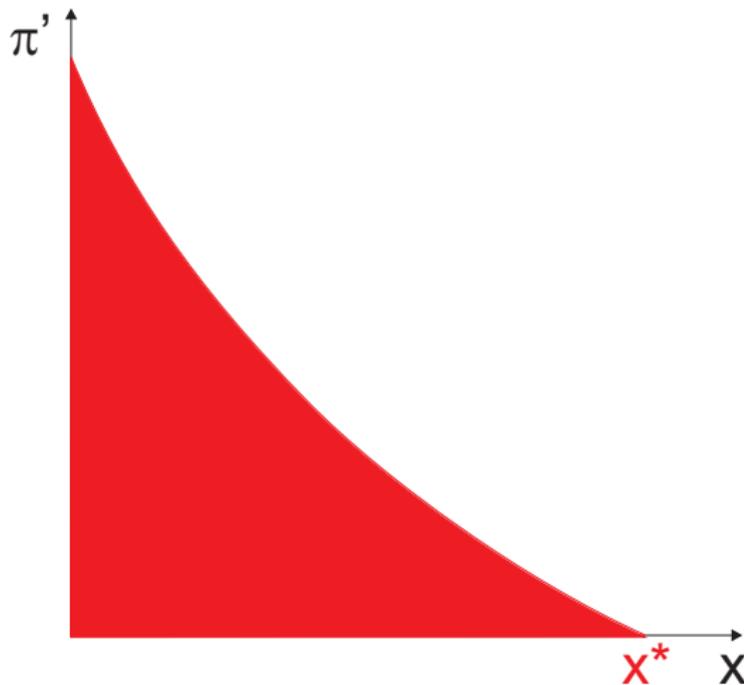
Une entreprise, profit marginal $\pi'(x)$, facteur de production x
optimum / prix de marché x^* ($\pi'(x^*) = 0$)



Exemple du "producteur pollueur"

Une entreprise, profit marginal $\pi'(x)$, facteur de production x

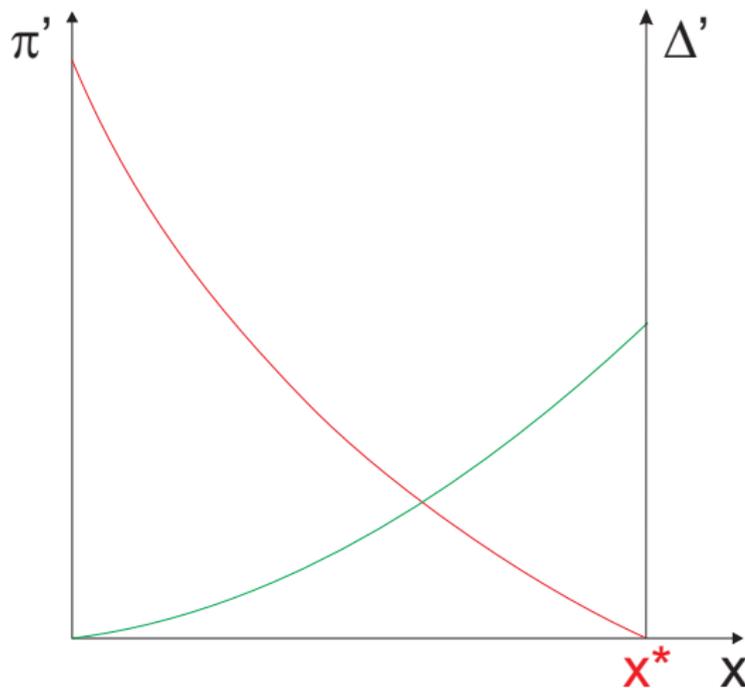
profit optimal: aire ■



Exemple du "producteur pollueur"

x facteur polluant, fonction de dommage marginal $\Delta'(x)$

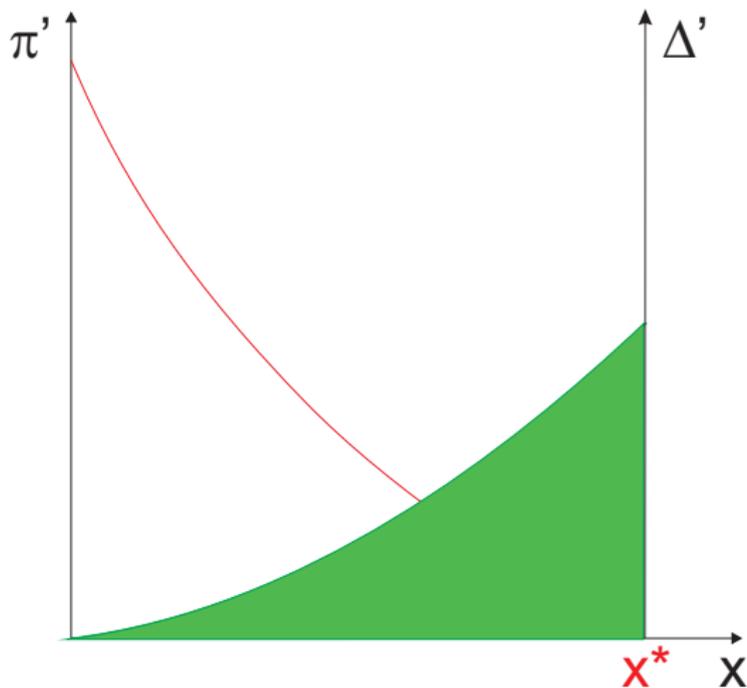
dommage marginal croissant avec x



Exemple du "producteur pollueur"

consommation factorielle x^* aux conditions du marché

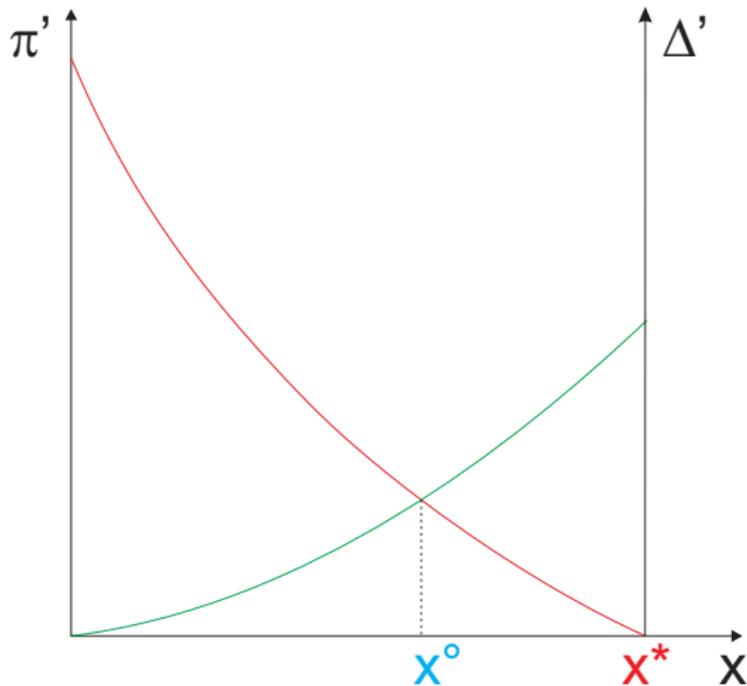
dommage cumulé: aire ■



Exemple du "producteur pollueur"

Optimum social: $\pi'(x) = \Delta'(x)$

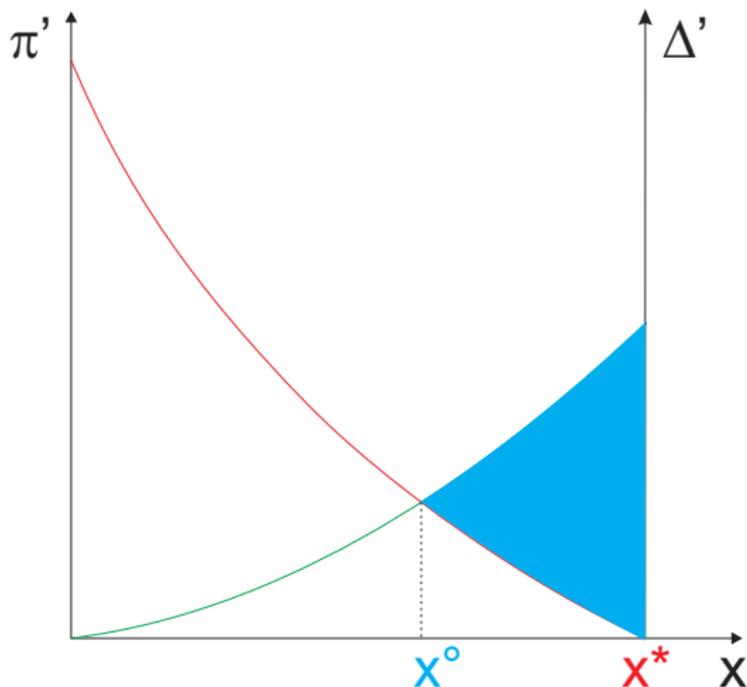
niveau souhaitable du point de vue collectif: x^o ($x^o < x^*$)



Exemple du "producteur pollueur"

La réduction du dommage "dépasse" la perte de profit

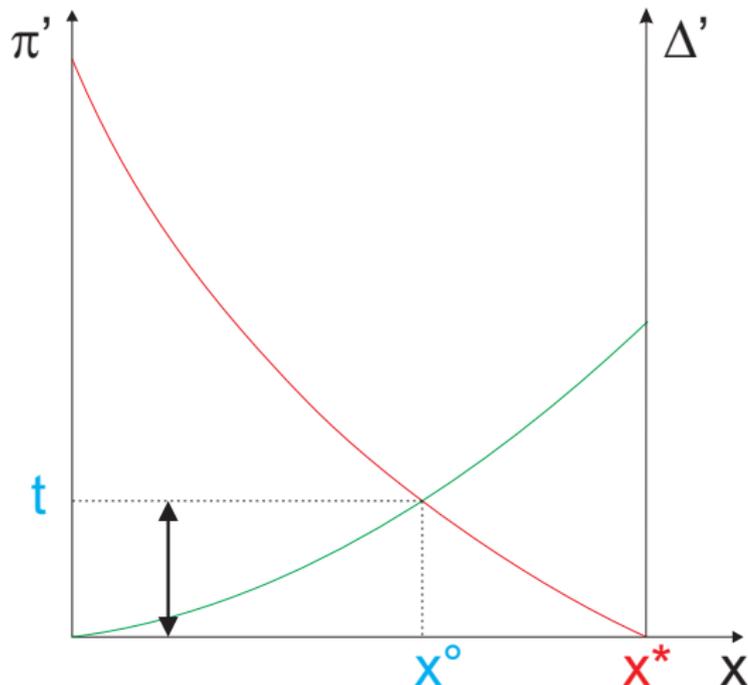
Avantage social net de la régulation: aire ■



Exemple du "producteur pollueur"

Régulation de l'effet externe:

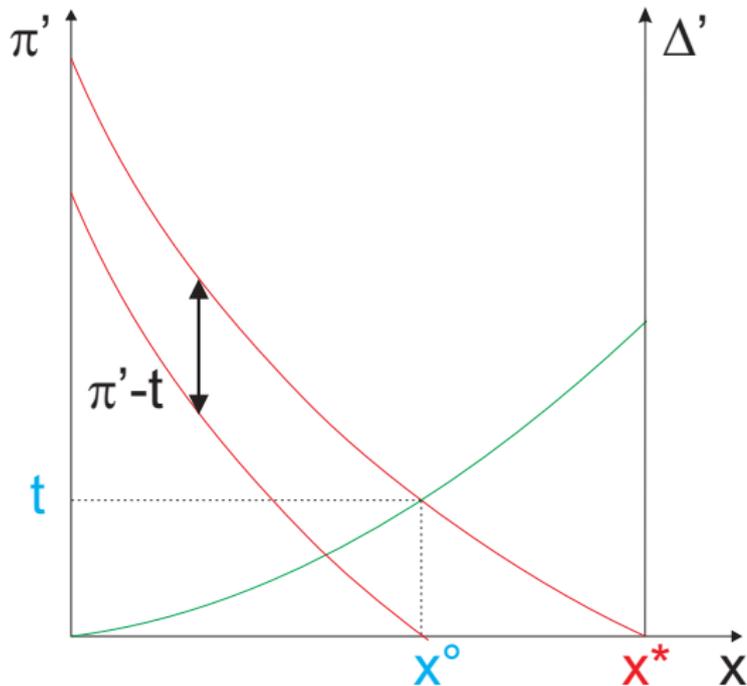
quota x^o ou taxe t (socialement équivalents)



Exemple du "producteur pollueur"

Mise en oeuvre de la taxe $t \sim$ translation du profit marginal

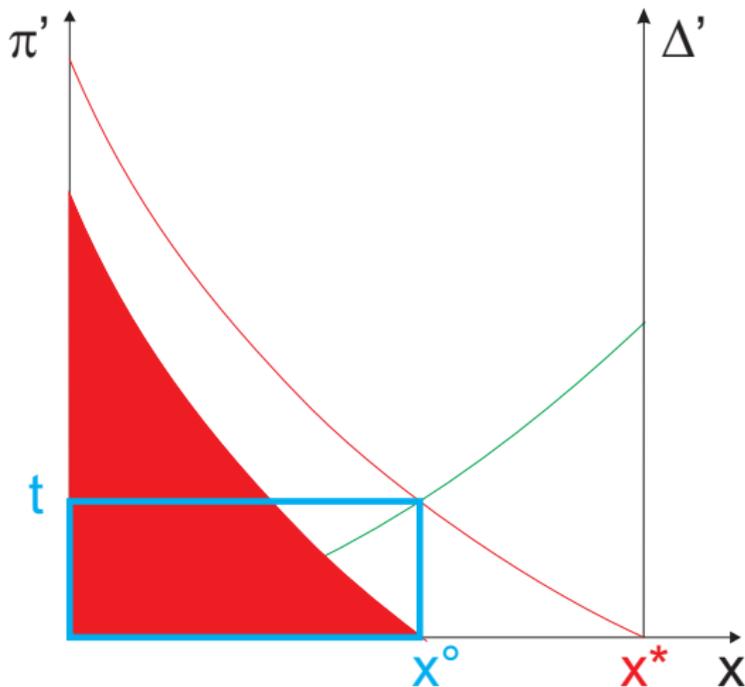
incite le producteur à adopter x^o comme optimum de consommation factorielle



Exemple du "producteur pollueur"

Profit "régulé" non compensé: ■

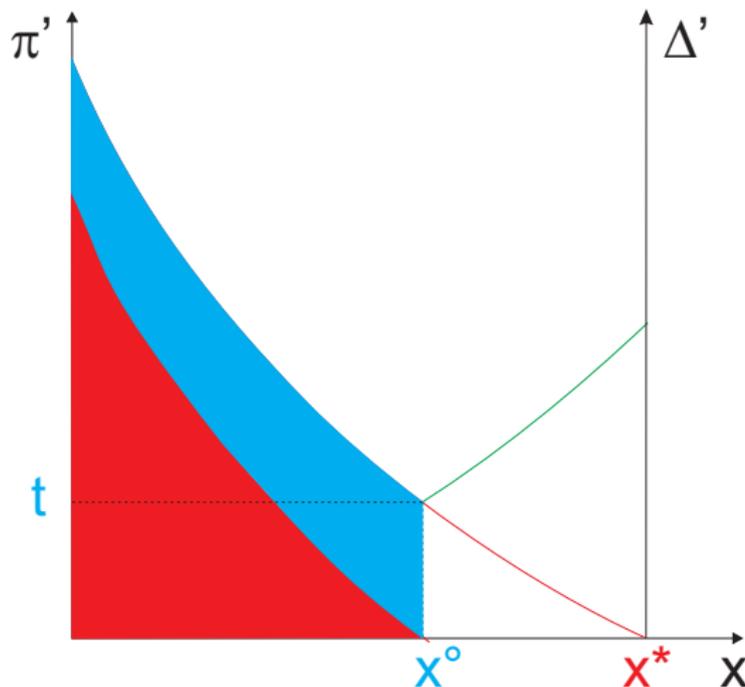
Recette fiscale: □



Exemple du "producteur pollueur"

Profit avec restitution de la recette fiscale

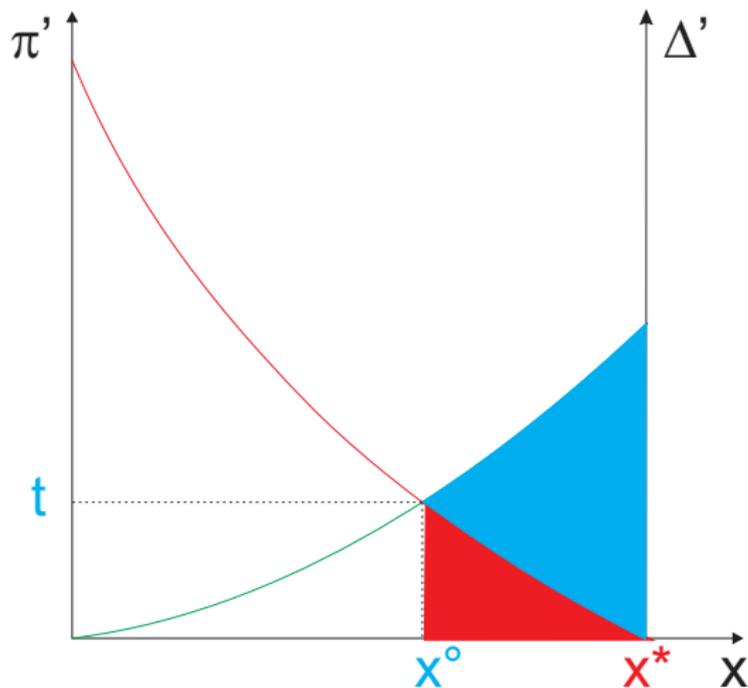
équivalent pour la firme au profit sous quota



Exemple du "producteur pollueur"

Surcompensation possible (! ... on s'éloigne du "principe pollueur payeur")

l'avantage social dépassant la perte de profit liée à la taxe



L'agriculture contribue au changement de l'environnement et s'y adapte
(e.g. changement climatique: $y_{clim}(W, N)$)

Améliorer la relation $y_{clim}(W, N)$ modifie les émissions $E_{clim}(x)$
(inoculation de céréales par *azospirillum*)

Amendements organiques (effluents d'élevage, PRO):
gain pour le producteur et/ou l'environnement
le "4 pour 1000"

Agriculture impactée par la pollution
(O_3 troposphérique)

Agriculture source d'émission de pollutions
(e.g. N_2O , NO_3 , NH_3)

Efficacité des politiques visant à réduire les émissions de pollution

Dynamique des processus:
produire aujourd'hui et polluer demain

Traiter l'arbitrage entre produire et polluer
... puis l'arbitrage entre pollutions multiples

Produire “mieux” pour l’exploitation et/ou l’environnement

Améliorer la relation $y_{clim}(W, N)$ modifie les émissions $E_{clim}(x)$
(inoculation de céréales par *azospirillum*)

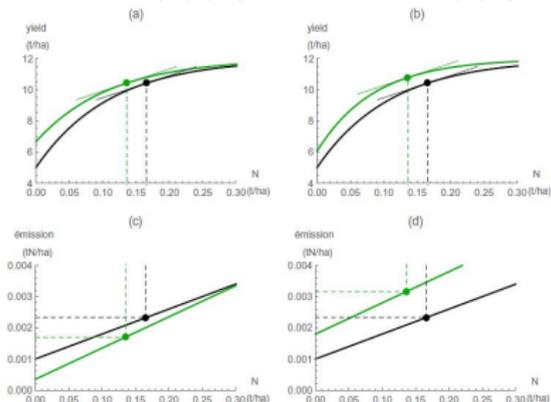
Amendements organiques (effluents d'élevage, PRO):
gain pour le producteur et/ou l'environnement

Agriculture impactée par la pollution
(O_3 troposphérique)

impacts de l'inoculation azospirillum du maïs

Bounaffaa et al. (2018)

Importance du rôle du contenu des sols en carbone
faible C fort C



STICS et facteur d'émission GES de Bouwmann modifié



gain de marge brute et diminution ou augmentation N_2O

impacts de l'inoculation azospirillum du maïs

Analyse échelle région (Rhone-Alpes)

Gain de marge brute (dû à baisse de la consommation d'intrant)

Emission GES (impact N_2O essentiellement) fortement dépendant du contenu en carbone du sol

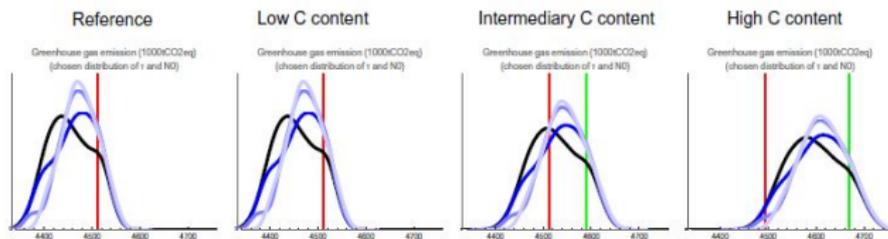
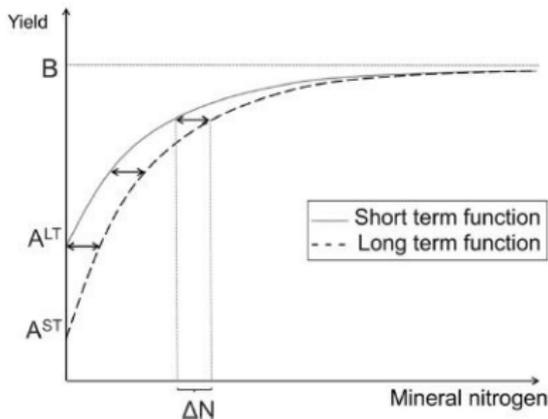


Fig. 7. Distribution of the AROPAJ computation-based GHG emissions when the parameters of the linear emission function vary in 4 cases (the reference case on left disregarding a possible inoculation effect on N_2O emission by soil, and 3 GHG functions related to the inoculation effect for 3 levels of soil C content). The red line always represents the reference case (reference dose N-response for yield, and no inoculation effect on soil N_2O emission). The green line represents the reference case, accounting for the inoculation effect on soil N_2O emission, computed for the 3 soil content level cases (see Fig. 2). The blue lines account for the variation in the inoculation effect on the yield function (see Table 6) and correspond to four inoculation costs, from 0€ (dark blue) to 60 €/ha (light blue). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Jayet and Petel (2015)

Effet "court terme" + effet "long terme" de l'épandage pérenne de PRO

$$Y^{LT}(N^m, N^o) = B - (B - A) \exp^{-\tau(N^m + \alpha^{\tau} N^o + \alpha^{2\tau} N^o)}$$

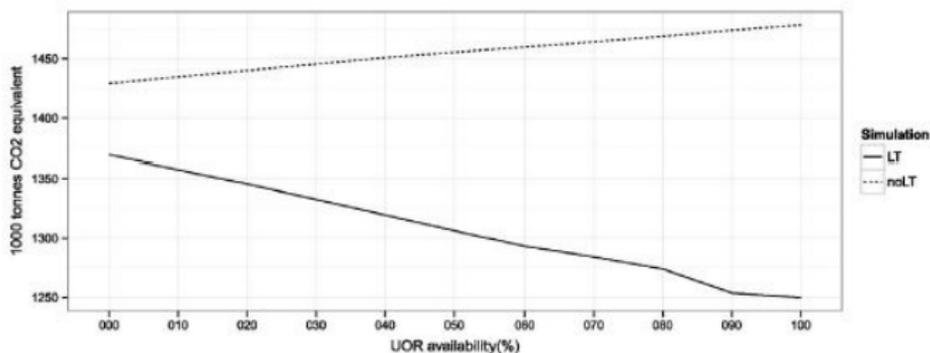


STICS ⊕ CARBO-PRO pour effet LT épandage PRO sur MO
⊖ effet LT (positif) à la fois sur production et émission GES
(serait négatif sinon sur émission GES)

valorisation de l'azote "PRO"

Analyse régionale (Ile de France)

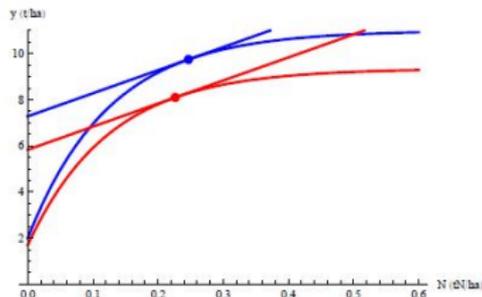
Mise à disposition du potentiel PRO (compost vert, boues résiduaires)
pour les exploitants agricoles



Valorisation marginale privée si répartition optimale du potentiel au sein de la région:
la 1^{re} tonne PRO consommée à 2.50€/t (compost) et 7€/t (boue),
soit respectivement 0.34€/tN et 0.64€/tN,
valeurs de 1.40 et 3.80 €/t de PRO si consommation de tout le stock PRO

Humblot et al. (2013)

Impact de la déformation $y(N)$ sur l'économie de la parcelle

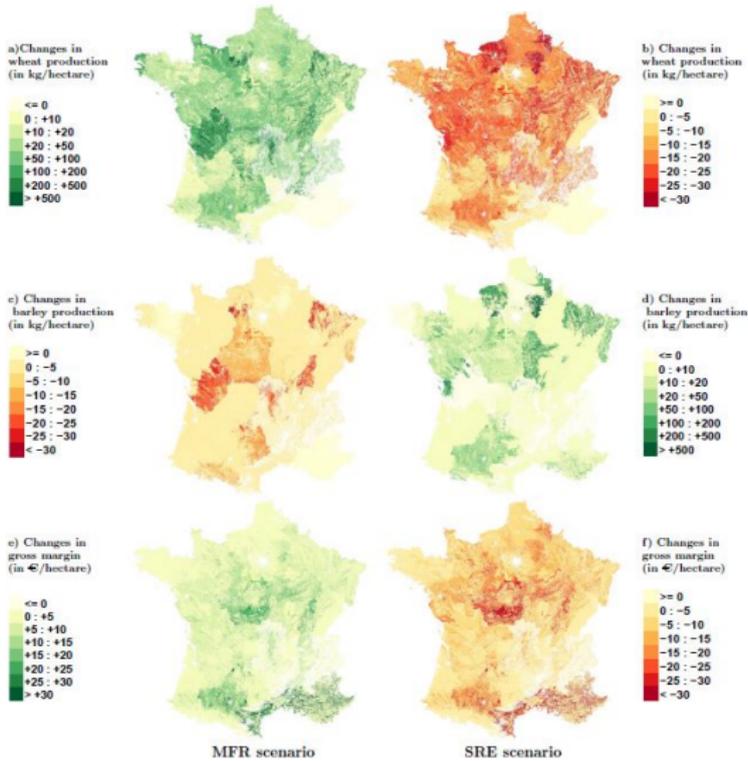


Distribution géographique O_3 impactée par scénario climatique
(optimiste MFR; pessimiste SRE)



changement sur l'allocation des terres ($\sim 1000\text{km}^2$), les productions ($\sim 1\text{Mt}$),
la marge brute ($\sim 0.5 \cdot 10^9 \text{€}$), les émissions de GES ($\sim 1\text{MtCO}_2$)

ozone troposphérique



Polluer “moins” à quel coût ou pour quel bénéfice

Efficacité des politiques visant à réduire les émissions de pollution

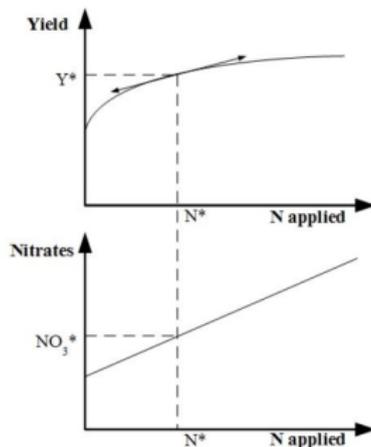
Arbitrage intertemporel des relations entre activités agricoles et qualité de l'eau d'un aquifère

Arbitrage entre pollutions multiples et policy mix

contre effet possible d'une taxe sur le facteur

Jayet and Petsakos (2013)

Relation entre production et pollution (échelle parcelle)
et modification du rapport de prix facteur/produit avec la taxe

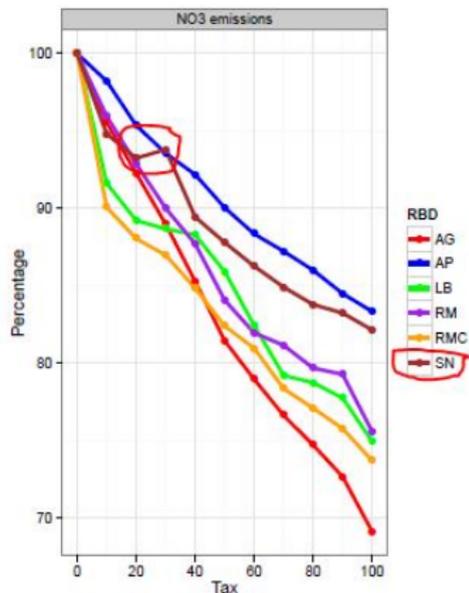
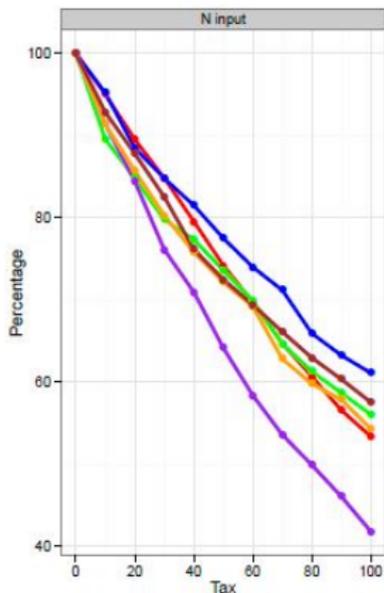


variabilité inter-cultures ($y_j(N)$, $E_j(N)$)



possibilité d'un résultat inversé de la taxe sur la pollution

contre effet possible d'une taxe sur le facteur



colloque PIREN-Seine 2013

toujours préférable de taxer la pollution que la cause supposée de la pollution
... quand c'est possible

réduction de la concentration NO_3 en aquifère

Bourgeois et al. (2016)

Un problème de contrôle optimal: déterminer la trajectoire optimale (de concentration associée à l'arbitrage intertemporel entre marge brute et perception du dommage



hypothèse que la "cible" de concentration choisie par l'autorité de régulation est la valeur sociale optimale de long terme



dommage marginal à L.T.: $\hat{k} \hat{z} = \hat{\mu} (\tau + \delta) h e^{\delta\beta}$

k paramètre de la fonction convexe de dommage ($k \frac{z^2}{2}$)

\hat{z} niveau de concentration à long terme

$\hat{\mu}$ taxe optimale de long terme sur les pertes sous-racinaires

τ taux de régénération de l'aquifère

δ taux d'actualisation

h épaisseur équivalente en eau de l'aquifère

β temps de transfert des nitrates entre le sol et la nappe

réduction de la concentration NO_3 en aquifère

Aquifère de la Craie et agriculture du Bassin de la Seine

Profil temporel de concentration NO_3 et de marge brute agricole selon la cible (50 vs 38 mg/l) et le scénario "N-taxe"

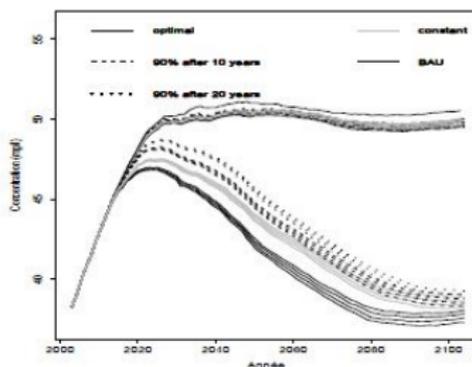


Figure 6: Nitrate concentration path related to scenarios differing in tax path and livestock adjustment, regarding the two targets (long-term value of 50 and 38 $mgNO_3/l$ in the aquifer), when the tax path is optimal (solid black), constant (solid gray), reaches 90% of the steady state tax exponentially in 20 years (dashed) and in 10 years (dotted), and when the amplitude of livestock adjustment changes from 0 (bottom) to 45% (top) of initial livestock by increments of 15%.

Valeur marginale sociale de la réduction de 1 $mgNO_3/l$ par ha de SAU et par an:

1.1€ si la concentration cible est de 50 $mgNO_3/l$

21.9€ si la concentration cible est de 38 $mgNO_3/l$

Bourgeois et al. (2014)

Intérêt et caractérisation d'un "policy mix"

Règle "1 problème 1 instrument" vs parcimonie

Analyse du mix "taxe engrais" \oplus "subvention miscanthus"
pour réduire le pool $\{N_2O, NO_3, NH_3\}$



fonctions de pertes d'azote (à partir de *STICS*)

introduction d'une production pérenne dans *AROPAj* (miscanthus)
module d'optimisation à la Faustmann pour évaluer cette production



simuler les effets conjugués de jeux de
taxe (€/t t d'engrais minéral)
et subvention (€/ha miscanthus)

Analyse France et bassins versants
(en réalité les territoires des 6 Agences de Bassin)

RMT F&E
Paris
7 nov. 2018

France entière: réduction d'émission (x-axe) vs coût de réduction (y-axe)

Problématique

Méthodologie

Le modèle
agro-économique
Exemple de
régulation
environnementale

Quelques
résultats

Produire mieux
Polluer moins

References

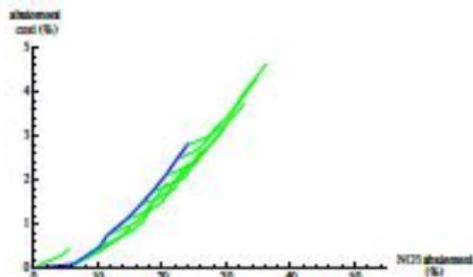


Fig. 1 NO₂ abatement costs when (1) only N-tax is implemented (the main curves), (2) the mixed policy is implemented (branching off from the main curve)

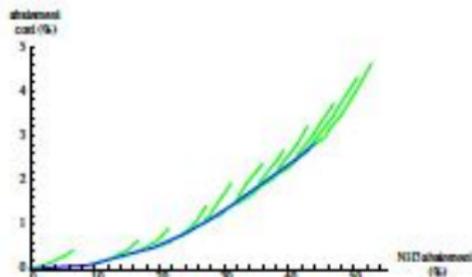


Fig. 3 NH₃ abatement costs when (1) only N-tax is implemented (the main curves), (2) the mixed policy is implemented (branching off from the main curve)

pollution "atmosphère" (N_2O , NH_3)

→ efficacité de la taxe, peu d'intérêt envers le policy mix

pollution "sol" (NO_3)

→ coût-efficacité du policy mix

- 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.
- Ben Fradj, N. and Jayet, P.-A. (2018). Optimal management of perennial energy crops by farming systems in france: A supply-side economic analysis. Biomass and Bioenergy, (116):113–121. doi: 10.1016/j.biombioe.2018.06.003.
- 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.
- Bounaffaa, M., Florio, A., Le Roux, X., and Jayet, P.-A. (2018). Economic and environmental analysis of maize inoculation by plant growth promoting rhizobacteria in the french rhône-alpes region. Ecological Economics, 146:334–346. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.11.009.
- 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.
- De Cara, S., Henry, L., and Jayet, P.-A. (2018). Optimal coverage of an emission tax in the presence of monitoring reporting, and verification costs. Journal of Environmental Economics and Management, 89:1–23. doi: 10.1016/j.jeem.2018.03.001.
- 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.
- Durandea, 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. doi: 10.1016/j.agsy.2016.11.006.
- 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. (2017). Improvement of a bio-economic mathematical programming model in the case of on-farm source inputs and outputs. Journal of Quantitative Economics, 15:489–508. doi: 10.1007/s40953-016-0058-z.
- 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.