

Emissions de gaz à effet de serre d'origine agricole

Un problème dynamique

- Dynamique du climat, échanges de gaz à effet de serre entre “compartiments” de concentration en gaz différente
- Variables d'état, variables de commande
- Objectif public et actualisation, poids intergénérationnels
- PRG, indicateur physique d'équivalence entre gaz; critique économique

Approche statique pour les GES d'origine agricole

- Approche “multi-gaz”
- Émissions de GES: un problème transfrontière
- Impacts, dommage, coûts de réduction
- Relations à double sens entre l'agriculture et le climat
 - Source et puits
 - Sensibilité aux variables de climat (T, CO₂, H₂O)

Aperçu de ce qui est abordé – GES agricoles en France et UE

- Programmes et équipe d'appui
- Les GES considérés et les sources d'émission
- Les méthodes d'évaluation, les éléments de comparaison
- Les évaluations des émissions
- Les techniques de réduction des émissions
- Le potentiel et les coûts de réduction
Appréciation des impacts relatifs à la régulation
- Les questions d'échelle

1. Points d'appui des résultats présentés

- Programmes GICC (Min. Ecologie)
 - Après des études pour la MIES (1996), différents projets ont été financés par le programme GICC depuis 1999
- Programmes européens
 - En particulier le STREP / FP6 « INSEA » (coord. IIASA), orienté « stockage de C et émissions nettes GES
 - Appui du STREP / FP6 « GENEDEC » (coord. Umr), plus orienté sur la PAC
- Équipe au sein de l'Umr
(Stéphane De Cara, Laure Bamière, Caroline Godard, Elodie Debove, Bineta Niang)

(1.) Accès aux travaux

- MIRAjE
 - Un ensemble de projets autour d'un modèle mirco-économique d'offre agricole (AROPAj)
 - Couplage en cours avec un modèle agronomique (STICS)
 - Sites internet
 - <http://www.grignon.inra.fr/economie-publique>
 - Pages accessibles (MIRAjE, GENEDEC)
 - Serveur de calcul dédié
 - Unix
 - Portabilité partielle sur PC

2. Les gaz à effet de serre non CO2 d'origine agricole

- Principalement:
 - Le méthane
 - Le protoxyde d'azote
- Ces gaz représentent en France et en Europe plus des 4/5 des émissions (sur la base du PRG)
- Avec le CO2 émis par les tracteurs, les matériels de chauffage utilisant des combustibles, et le CO2 émis par la décomposition aérobie, le CH4 et le N2O, selon les modalités listées plus loin, nous avons là l'ensemble des sources **directes** d'émission **liées** à l'agriculture (**effet externe**). Une logique d'économie publique permet d'argumenter sur le fait qu'il n'est pas pertinent de mettre en avant les émissions totales au cours de l'élaboration des produits agricoles et/ou des produits finis (de la torchère au dessus du puits de pétrole jusqu'au four à pain du boulanger).
- Il conviendrait par contre d'intégrer au même niveau d'analyse les puits de carbone agricole "effet de serre" (stockage du C dans les sols, biomasse aérienne utilisée en substitut à du carbone fossile, ...). Mais à nouveau, problème sur le gain en effet de serre lié à la destination finale du produit et à sa durée de vie (bois d'oeuvre ou de chauffage).

(2.) les sources d'émission prises en compte

- Source de l'information : IPCC guidelines
- Sources d'émission :
 - CH₄
 - Fermentation entérique
 - Gestion des effluents d'élevage
 - riziculture
 - N₂O
 - Engrais minéraux
 - Apports organiques
 - Gestion des effluents d'élevage

3. Compilation UNFCCC – Agric. UE en 2000 (estimations 2003)

	CO2 (MtCO2)	CH4 (MtCO2)	N2O (MtCO2)	Total (MtCO2)
Enteric fermentation	-	131.4	-	131.4
Manure management	-	33.1	29.1	62.2
Rice cultivation	-	2.3	-	2.3
Agricultural soils	2.0	1.3	189.7	193.1
Total Agriculture	2.0	168.3	219.2	389.5
Total EU (excl. LULUCF)	3324.8	341.8	338.1	4004.7
LULUCF (agri. and forestry)	-180.7	2.6	5.9	-172.2

Source : IPCC 2003, 2000 data

(3.) Compilation UNFCCC Tot. France en 2001 (est. 2004)

Emission sources for France in 2001 (in Gg of CO2 equivalent) - Total				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emissions from Biomass Burning				
TOTAL Fuel Combustion (Sectoral Approach)	385679	4273	7209	397161
TOTAL Fugitive Emissions from Fuels	4208	3567	0	7776
TOTAL Industrial Processes	18260	51	11435	29745
TOTAL Solvent and Other Product Use	1533		79	1613
TOTAL Agriculture		43878	55271	99149
TOTAL Land-Use Change & Forestry	-49858	-464	19	-50303
TOTAL Waste	1863	11969	1196	15028
OTHER				
TOTAL International Bunkers	22790		82	22872
Total	384475	63273	75291	523039

Source : <http://ghg.unfccc.int/datasources.html>

(3.) Compilation – UNFCCC France - Agriculture en 2001

Emission sources for France in 2001 (in Gg of CO2 equivalent) - Agriculture				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Enteric Fermentation		29350		29350
Manure Management		14351	2943	17294
Rice Cultivation		177		177
Agricultural Soils			52328	52328
Prescribed Burning of Savannas				
Field Burning of Agricultural Residues				
Other (Agriculture)				
Total		43878	55271	99149

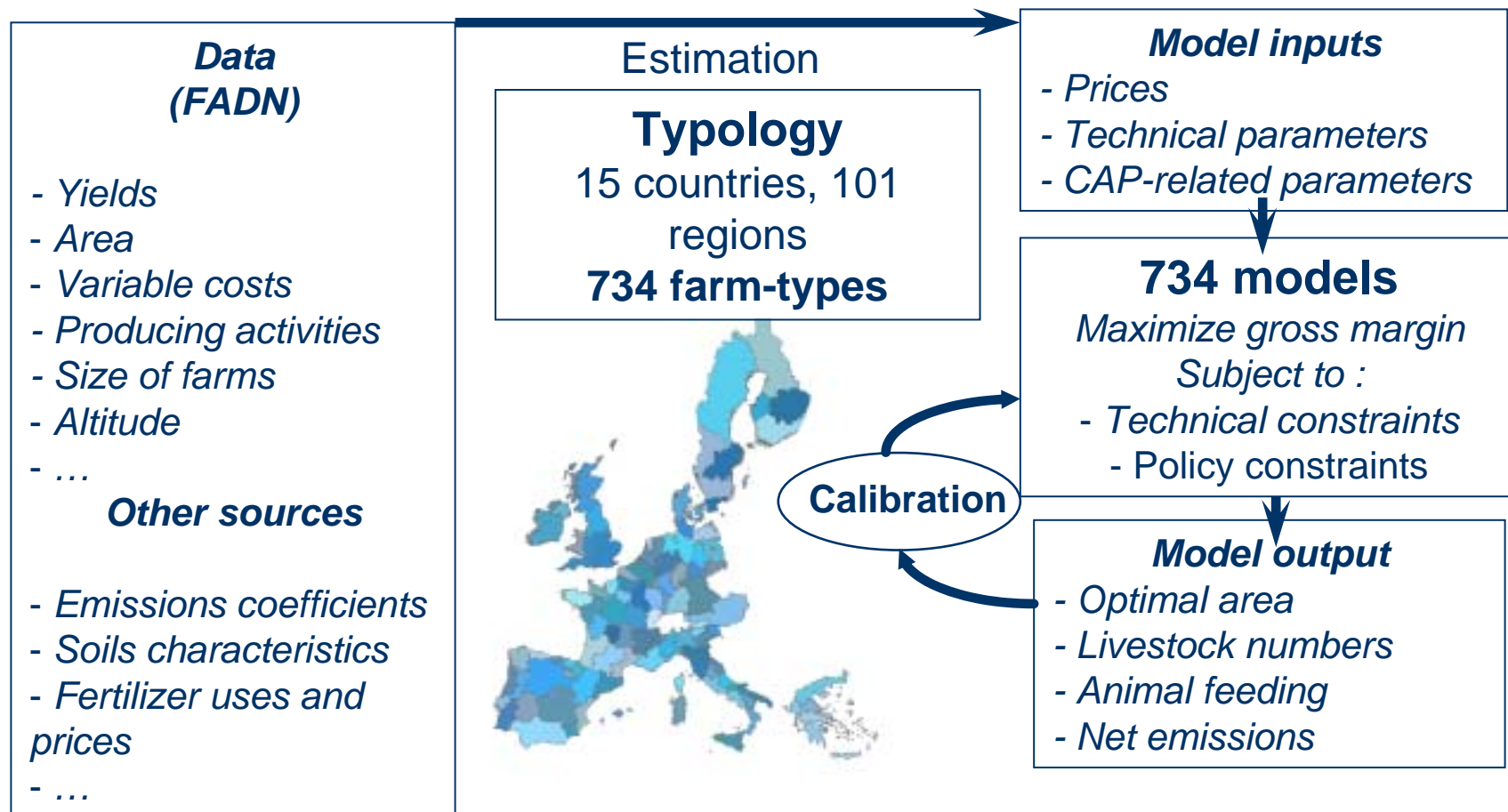
Source : <http://ghg.unfccc.int/datasources.html>

4. Évaluation sur modèle (AROPAj – version UE-15)

- Principes du modèle
 - Micro-économique multi-producteur
 - Rationnalité individuelle
 - Offre (prix exogènes)
 - Fondé sur la programmation mathématique
 - Fort contenu technique (agronom., zoot., relat. d'émissions)
 - Statique mono-périodique (annuel)
 - Qui associe un PL à chaque exploitation agricole type
 - Permettant l'analyse macro-économique :
 - Agrégation successive des producteurs types (région, Etat membre, UE)
 - “jeu” entre producteur et contribuable

(4.) Modèle typologie

● Version UE-15



(4.) Modèle représentation formelle

- Modèle générique pour la ferme type k

programme du producteur :

$$\max_{x,z} \pi^k(x, z; \theta^k, \varphi) = p^k(\theta^k, \varphi) \cdot x$$

$$\text{st} \quad A^k(\theta^k, \varphi) x - b^k(\theta^k, \varphi) z \leq 0 \quad (\lambda)$$

$$z = N^k \quad (\eta)$$

$$x \geq 0 \quad (\mu)$$

Ferme type: k

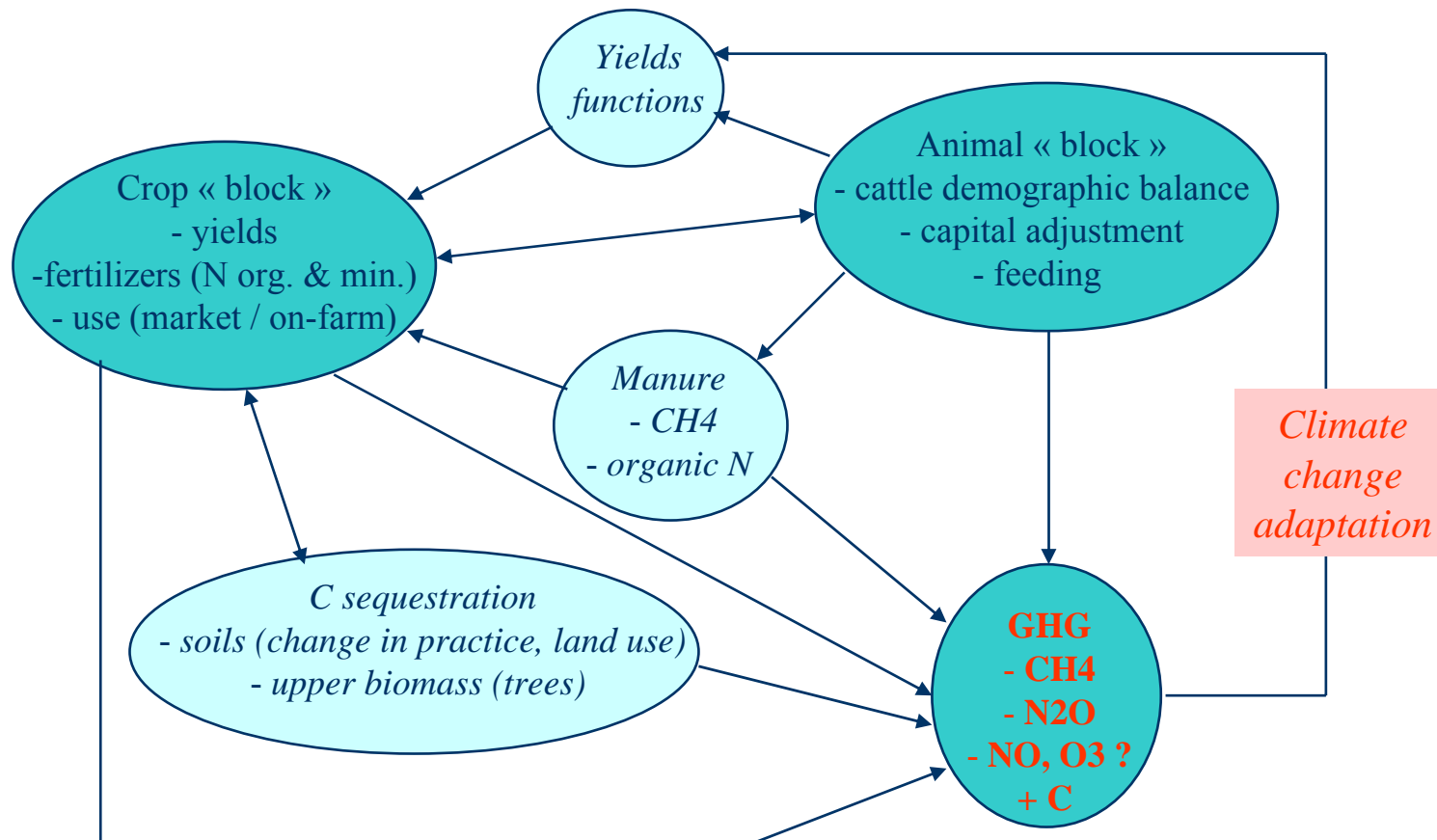
Éléments: A^k, b^k, p^k

Paramètres: θ^k, φ

Activités: x, z, λ, η, μ

(4.) Modèle - cohérence entre les activités en rapport avec les GES

- Cohérence entre les modules



(4.) Modèle – méthodes d'évaluation des émissions

- Emission accounting within the economic model
 - Several options are available:
 - Average coefficients per unit of agricultural activities
 - **IPCC: Inventory-based, relying on national parameters**
 - Using outputs from bio-physical models
 - “Hard” coupling of economic and biophysical models
 - Trade-off between accuracy, availability of data, computing time and compatibility of inputs/outputs
 - The choice of the accounting method matters when it comes to estimate abatement cost

(4.) relations entre émissions et activités du modèle (non-CO2)

- Relations entre émissions et activités : IPCC

	Area	Animal Feeding	Animal numbers
N2O agricultural soils (synthetic fertilizers)	X (N use)		
N2O agricultural soils (crop residues and N-fixing crops)	X (N use)		
N2O agricultural soils (manure applied to soils)			X
N2O agricultural soils (animal production)			X
N2O manure management			X
CH4 manure management		X	
CH4 enteric fermentation		X	(X)
CH4 rice cultivation	X		
Carbon sequestration	(X)		

(4.) Le détail des émissions par gaz et par source

N ₂ O	Agricultural soils	<ul style="list-style-type: none"> Direct em. synth fertilizers Direct em. manure application Direct em. by N fixing crops Direct em. by crops residues Animal production (pasture,...) Indirect em. N atmosph. redepos Indirect em. N from leaching
	Manure management	
CH ₄	Manure management	<ul style="list-style-type: none"> Dairy cattle Non dairy cattle Sheep Goats Swine Poultry
	Rice cultivation	
	Enteric fermentation	<ul style="list-style-type: none"> Dairy cattle Non dairy cattle Sheep Goats Swine Poultry

5. Techniques de réduction des émissions

- Changement d'utilisation des terres
 - Modification de l'assolement (choix des cultures)
 - Passage des cultures aux prairies
 - Autres activités
 - "bio-énergie"
 - Ligno-cellulose (stock C)
- Changement de pratique
 - Sans labour
 - irrigation, fertilisation
 - Alimentation des animaux
- Problèmes
 - Le caractère "additionnel"
 - Le contrôle (et son coût)
 - La durée, et la stabilité dans la durée
 - Le bilan "net"
 - Cultures -> prairies -> gain en C sol (max sur 30ans, max moyen 0.3tC/ha:an)
 - " -> élevage -> CH4

5. Modalités - calcul économique du potentiel de réduction

- Émissions et séquestration C
 - À partir du lien entre émissions GES, stockage C et activités agricoles :
 - Estimer les coûts d'abattement du Carbone
 - Combien il en coûterait aux producteurs de réduire leurs émissions
 - Coûts total et marginal
 - Évaluer le potentiel que l'on obtiendrait par la régulation
 - À quels niveaux d'émission conduirait l'instauration de politiques économiques selon les instruments et le contexte
 - “prix” (taxes sur les émissions, les produits ou facteurs)
 - “quantité” (quota sur les émissions, les produits ou facteurs)
 - 1er rang (les émissions ... inobservables individuellement)
 - 2ème rang (les produits ou facteurs ... marchandisés)
 - Tenir compte de l'hétérogénéité des coûts d'abattement
 - Où se produirait et qui produirait la réduction des émissions pour un niveau donné d'incitation

(5.) régulation de l'externalité - instruments "prix" ou "quantité"

- Évaluer les coûts de réduction
 - Donner un prix à l'externalité (approche primale):
 - Par une taxe t sur les émissions nettes
 - Modifiant the prix relatifs (marges brutes) des activités
 - t sur $[0;T] \Rightarrow$ donne les courbes d'offre de réduction individuelle ou **de façon équivalente** les fonctions de coût marginal de réduction (marginal abatement cost = MAC)
 - Approche alternative (duale):
 - Un quota sur les émissions q est introduit $q < E_0$
 - Modifiant les ensembles de production (niveaux possibles d'activité).
 - Le prix fictif associé (à la contrainte sur les émissions) = MAC
 - q sur $[E_{min}; E_0] \Rightarrow$ donne les fonctions MAC individuel

(5.) Régulation de 1er rang et analyse primale

- The (simplified) farmer k 's programme without added regulation :

$$\begin{aligned} \max_x \quad & \pi^k(x; \theta^k, \varphi) = p^k(\theta^k, \varphi) \cdot x \\ \text{s.t.} \quad & \\ & A^k(\theta^k, \varphi) \cdot x \leq b^k(\theta^k, \varphi) \quad (\lambda) \\ & x \geq 0 \quad (\mu) \\ & e^0 = G^k \cdot x \end{aligned}$$

- ... and with tax t on the (aggregated) GHG emission e

$$\begin{aligned} \max_x \quad & \pi^k(x, e; \theta^k, \varphi) = p^k(\theta^k, \varphi) \cdot x - t \cdot e \\ \text{s.t.} \quad & \\ & A^k(\theta^k, \varphi) \cdot x \leq b^k(\theta^k, \varphi) \quad (\lambda) \\ & x \geq 0 \quad (\mu) \\ & e - G^k \cdot x = 0 \quad () \end{aligned}$$

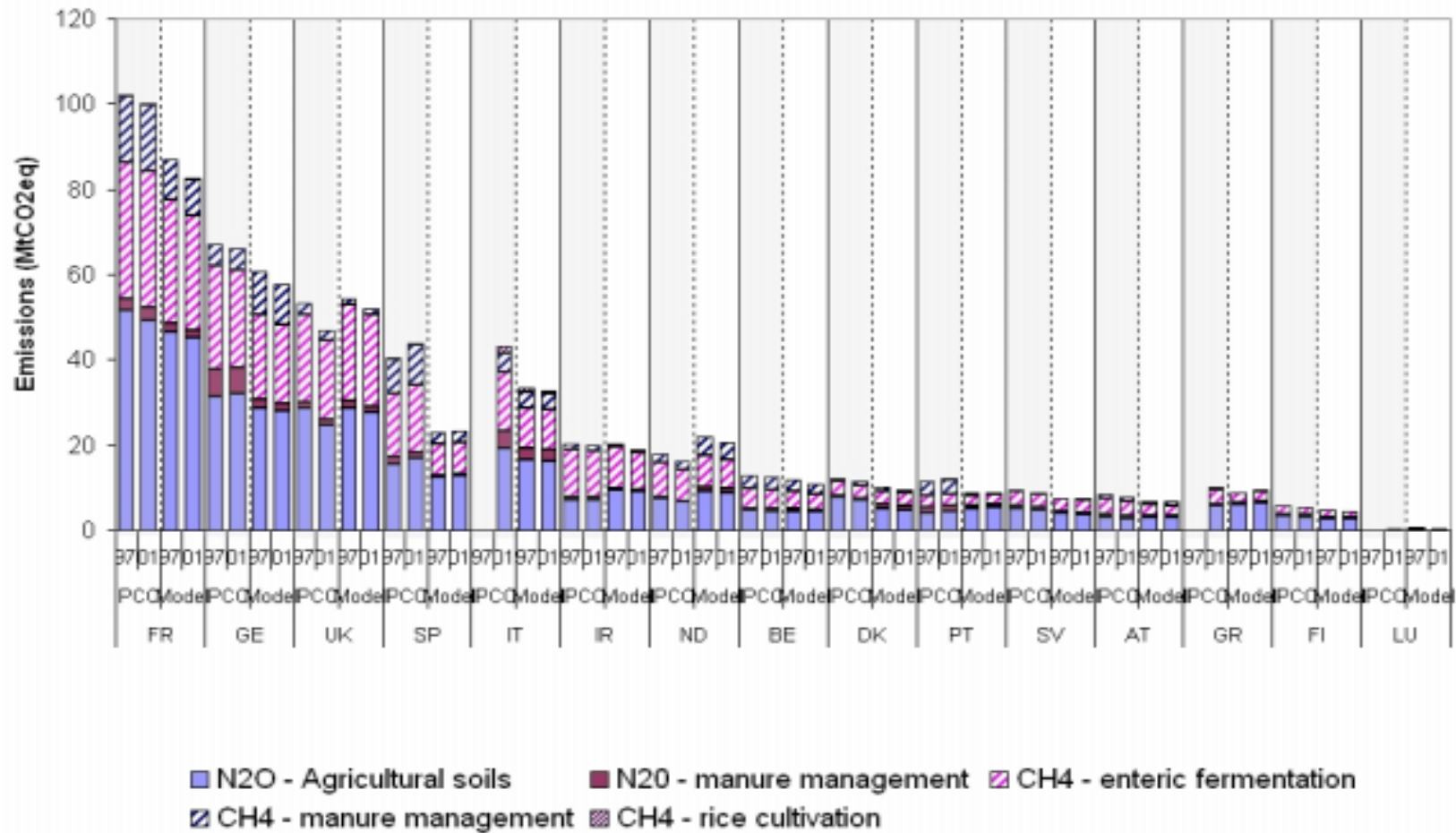
(5.) Régulation de premier rang et analyse duale

- The (simplified) farmer k 's programme with quotas on GHG emission :

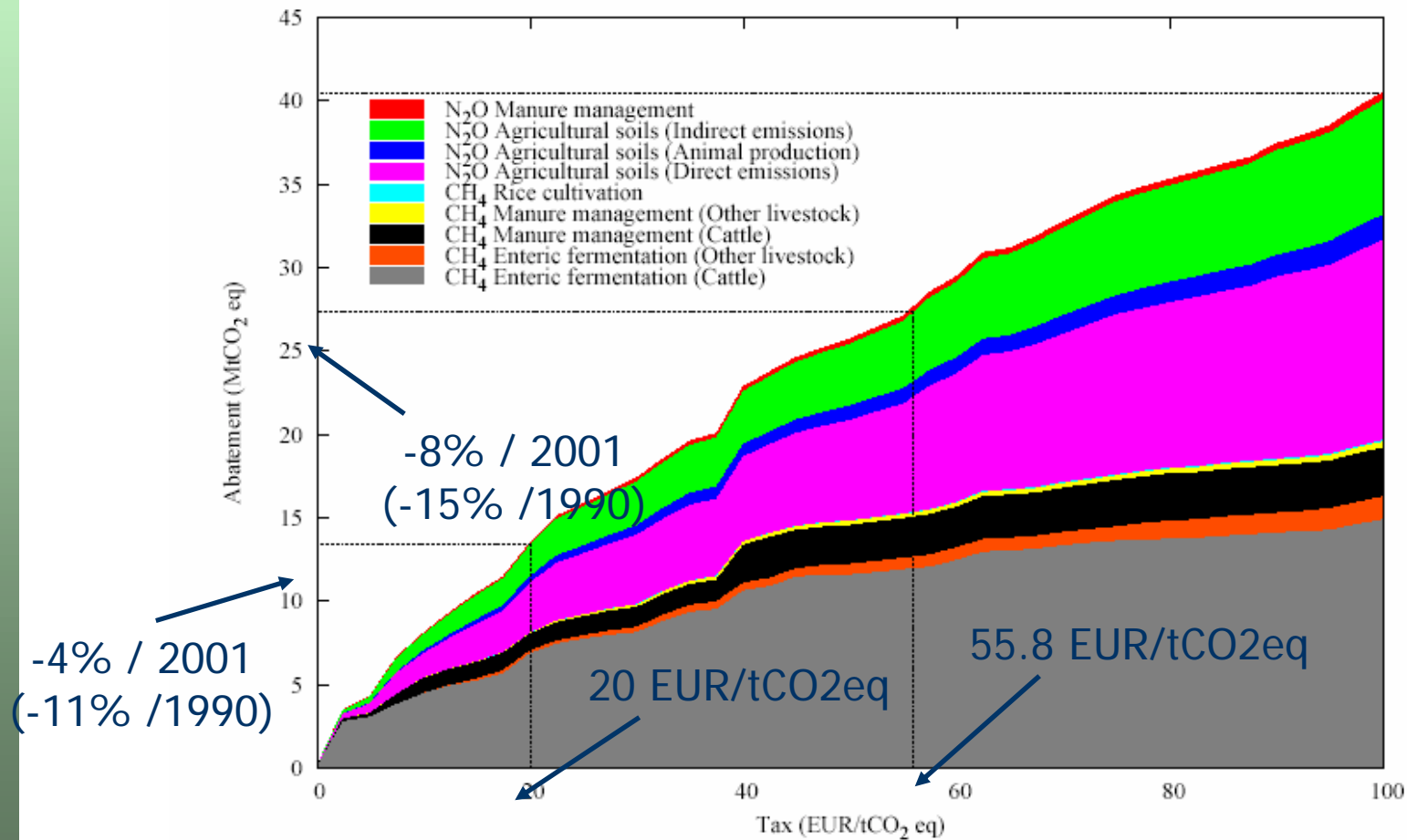
$$\begin{aligned} \max_x \quad & \pi^k(x, e; \theta^k, \varphi) = p^k(\theta^k, \varphi) \cdot x \\ \text{s.t.} \quad & \\ & A^k(\theta^k, \varphi) \cdot x \leq b^k(\theta^k, \varphi) \quad (\lambda) \\ & x \geq 0 \quad (\mu) \\ & e - G^k \cdot x = 0 \quad () \\ & e \leq (1-a) e^0 \quad (\varepsilon) \end{aligned}$$

- The abatement requested is introduced through the ratio a ($[0,1]$) and the marginal abatement cost is measured through the dual ε

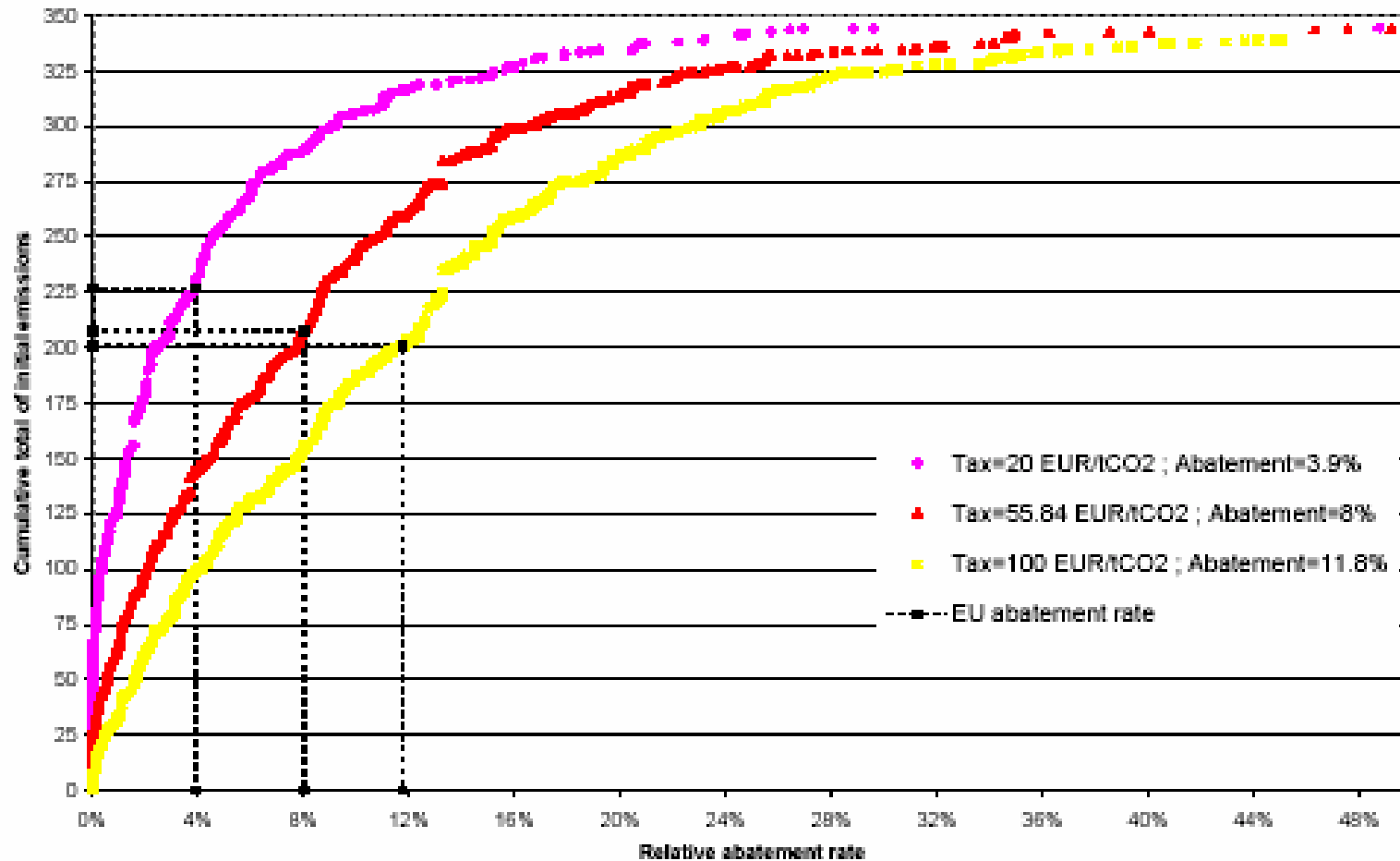
6. GHG emissions UE-15 IPCC vs model for 1997 and 2001 (submitted paper, De Cara et al., 2004)



(6.) First rank primal analysis Tax on N₂O + CH₄ emissions (submitted paper, De Cara et al., 2004)

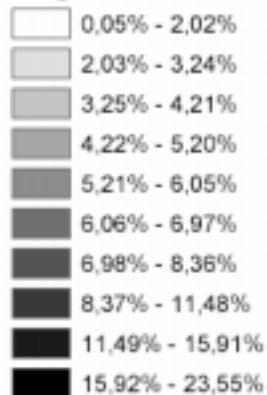


(6.) First rank primal analysis Distribution of “individual” efforts (Agd2000) (submitted paper, De Cara et al., 2004)



(6.) GHG Abatement (INSEA, De Cara et al. 2004)

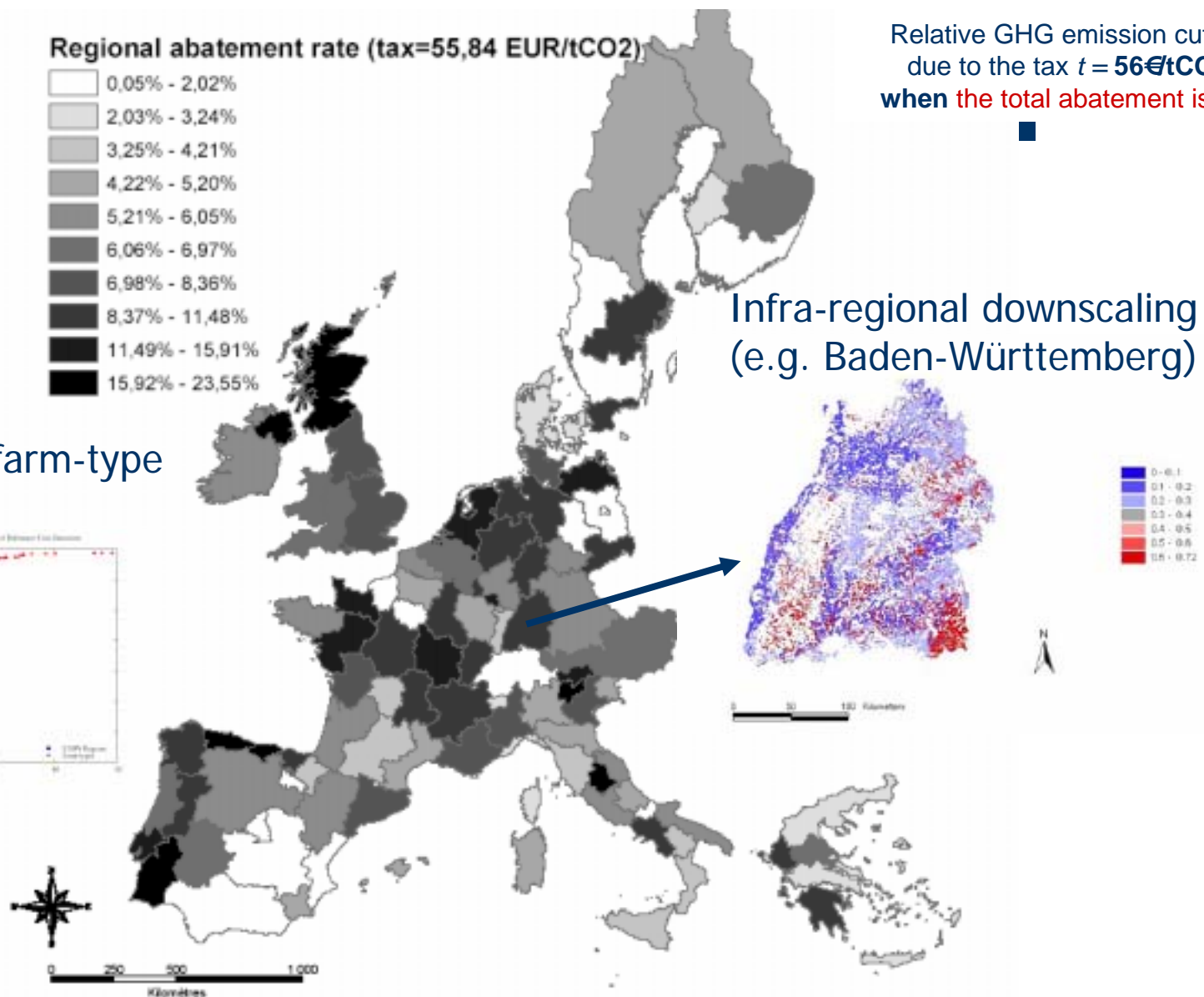
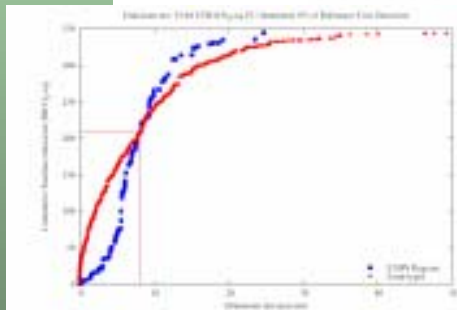
Regional abatement rate (tax=55,84 EUR/tCO₂)



Relative GHG emission cut off due to the tax $t = 56\text{€}/\text{tCO}_2$ when the total abatement is 8%

Infra-regional downscaling (e.g. Baden-Württemberg)

Regional and farm-type distribution



(6.) France – modèle UE-15 évaluation régionale (1000 tCO₂eq, 1000 ha, 1000 Ugb)

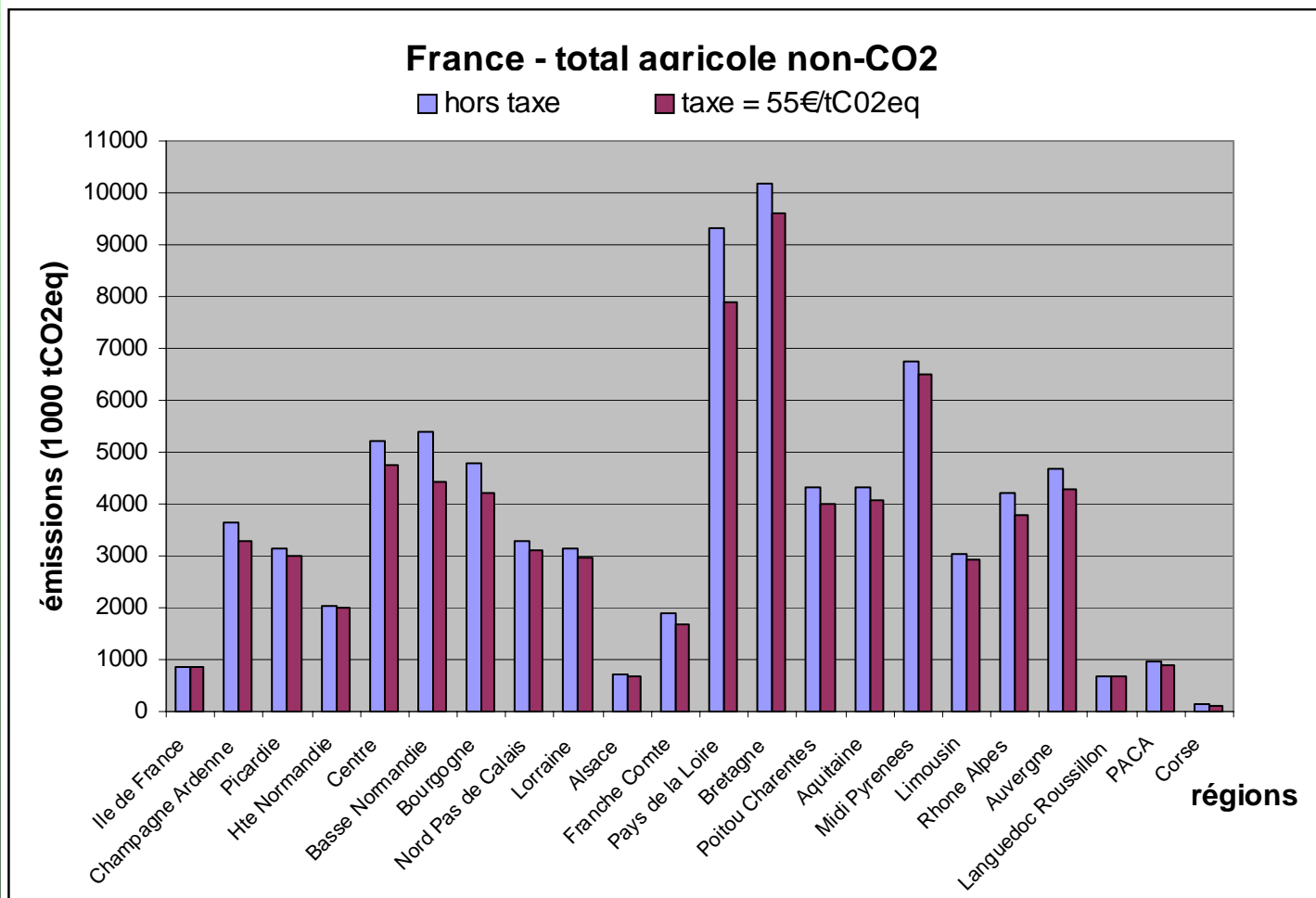
France - AROPAj version UE-15 données 1997 - "Agenda2000" - ajust K_anim=15%

N2O	CH4	tot non CO2	SAU	UGB	region
850	21	871	475	16	Ile de France
2778	865	3643	1409	322	Champagne Ardenne
2199	953	3151	1174	336	Picardie
1132	904	2036	692	336	Hte Normandie
4000	1210	5210	2233	517	Centre
2518	2872	5391	1113	1045	Basse Normandie
2932	1840	4772	1716	733	Bourgogne
1941	1355	3296	781	507	Nord Pas de Calais
1698	1428	3126	1051	512	Lorraine
548	159	707	217	62	Alsace
893	1012	1905	624	382	Franche Comte
4404	4934	9339	1885	2401	Pays de la Loire
4591	5571	10162	1514	3143	Bretagne
2589	1728	4317	1448	650	Poitou Charentes
2695	1618	4313	1049	696	Aquitaine
4218	2549	6767	1992	1126	Midi Pyrenees
1397	1648	3044	788	653	Limousin
2252	1949	4201	1058	820	Rhone Alpes
2196	2494	4690	1368	1034	Auvergne
424	272	696	189	129	Languedoc Roussillon
516	439	954	163	120	PACA
78	50	128	32	33	Corse
46849	35870	82719	22972	15574	Total

(6.) France – modèle UE-15 évaluation régionale (1000 tCO₂eq, 1000 ha, 1000 Ugb)

N2O	CH4	tot non CO2	SAU	UGB	region	Δ relatif
849	21	871	475	16	Ile de France	-0,1
2427	851	3279	1409	318	Champagne Ardenne	-10,0
2166	823	2989	1174	312	Picardie	-5,1
1127	880	2007	692	336	Hte Normandie	-1,4
3650	1095	4746	2233	497	Centre	-8,9
2067	2364	4431	1113	1045	Basse Normandie	-17,8
2570	1651	4221	1716	695	Bourgogne	-11,5
1906	1207	3113	781	499	Nord Pas de Calais	-5,5
1641	1339	2980	1051	496	Lorraine	-4,7
522	157	680	217	61	Alsace	-3,9
751	921	1672	624	355	Franche Comte	-12,2
3520	4383	7902	1885	2351	Pays de la Loire	-15,4
4376	5222	9598	1514	3115	Bretagne	-5,6
2479	1517	3996	1448	621	Poitou Charentes	-7,4
2542	1537	4079	1049	694	Aquitaine	-5,4
4076	2432	6508	1992	1123	Midi Pyrenees	-3,8
1325	1595	2920	788	633	Limousin	-4,1
1901	1893	3794	1058	815	Rhone Alpes	-9,7
1962	2322	4283	1368	996	Auvergne	-8,7
422	241	663	189	127	Languedoc Roussillon	-4,7
470	414	883	163	109	PACA	-7,4
78	47	125	32	33	Corse	-2,6
42827	32912	75739	22972	15249	Total	-8,4
-8,6	-8,2	-8,4	0,0	-2,1		Δ relatif

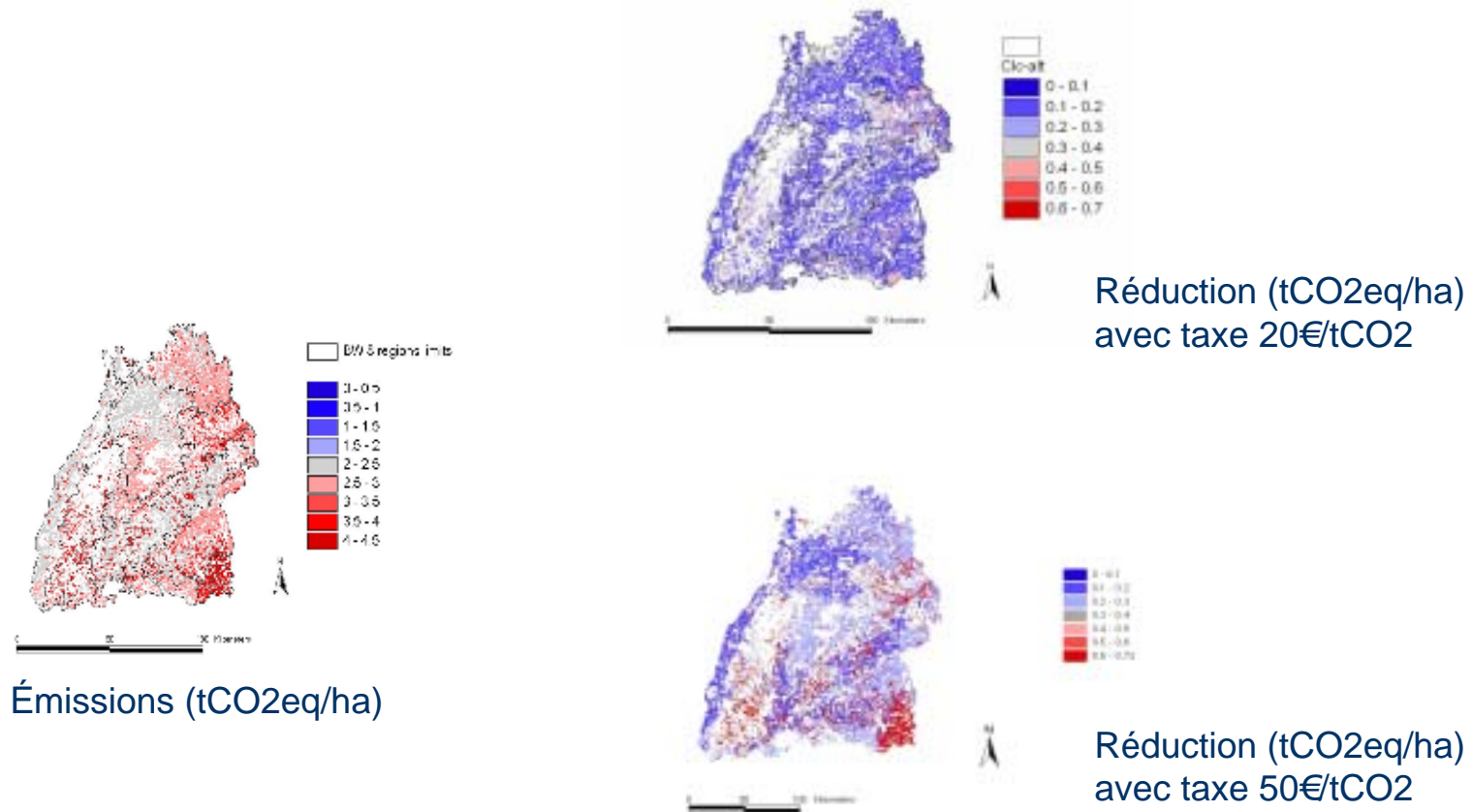
(6.) France – modèle UE-15 évaluation régionale (1000 tCO₂eq, 1000 ha, 1000 Ugb)



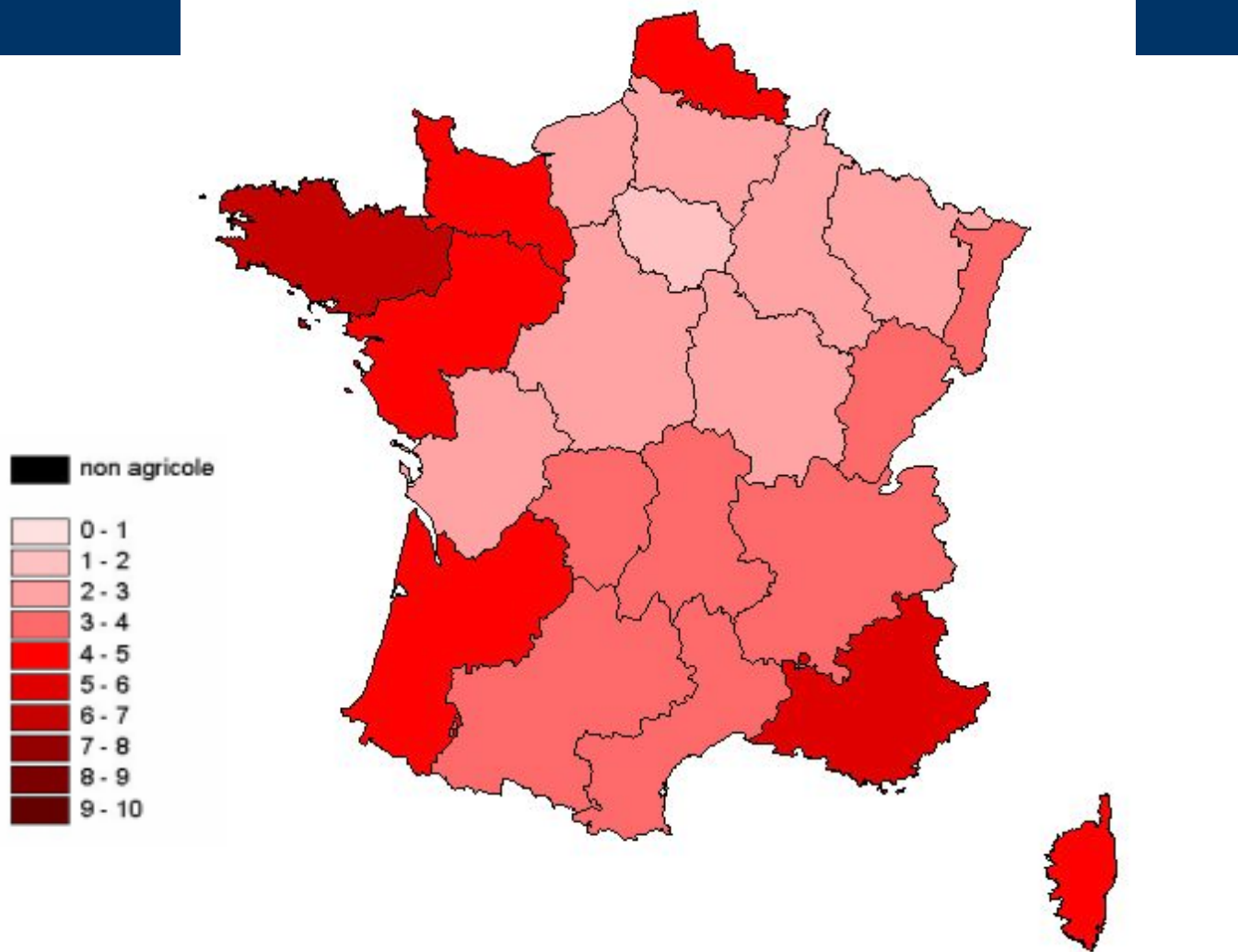
7. Éléments pour le changement d'échelle (down scaling)

- In the model AROPAj :
 - the basic unit is the farm-type;
 - the basic resolution is the FADN region
 - farm-types are not specifically located **within** regions
- Using external geographically explicit information and crossing it with FADN data:
 - elevation class: digital elevation model
 - land-use (CLC: 250mx250m): crop and grassland area
- For each farm-type, we know:
 - crop shares (grass and crop)
 - shares of the represented population in 3 elevation classes (0-300m, 300-600m, 600m+)
 - results to be scaled down

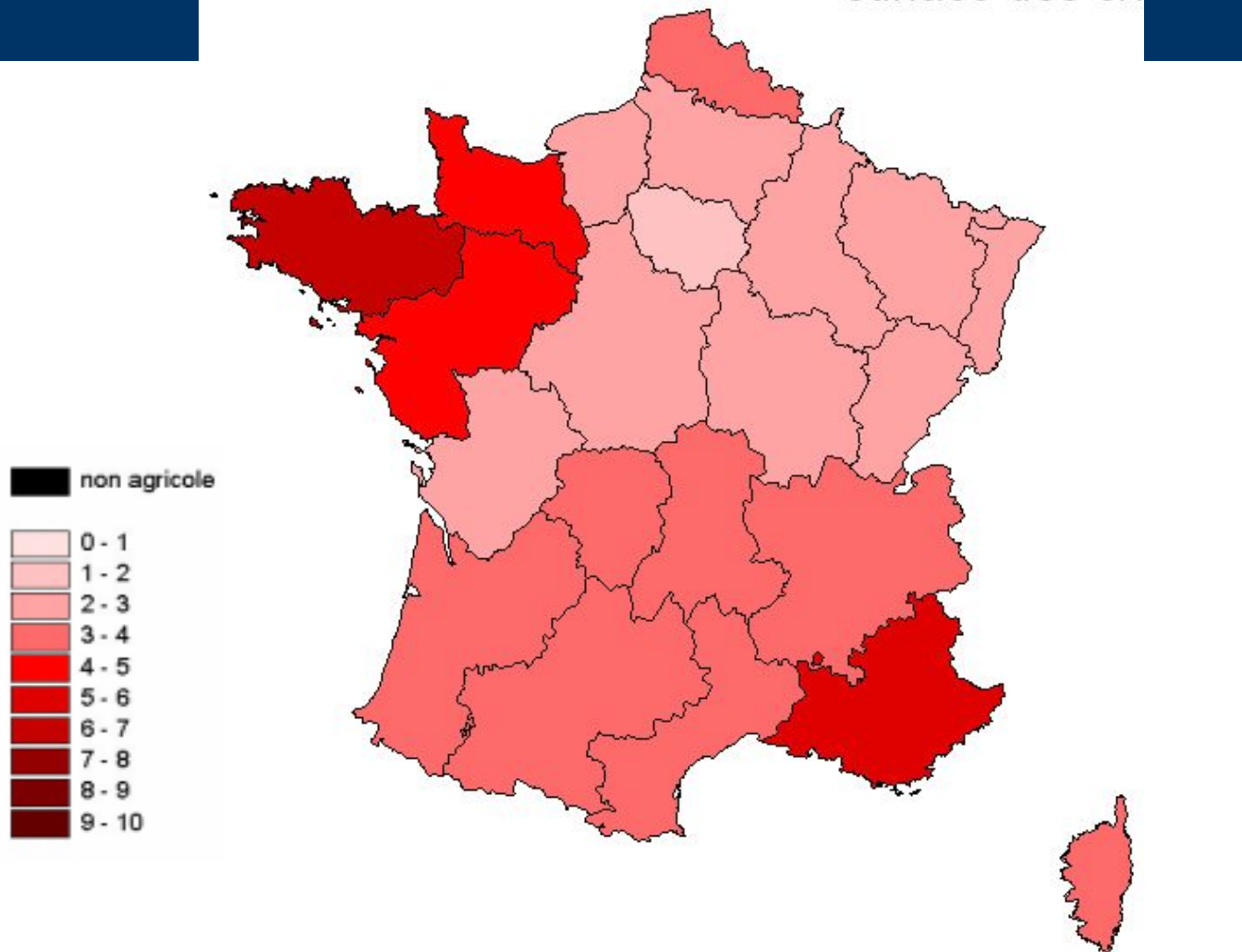
(7). Exemple région B-W (programme UE INSEA)



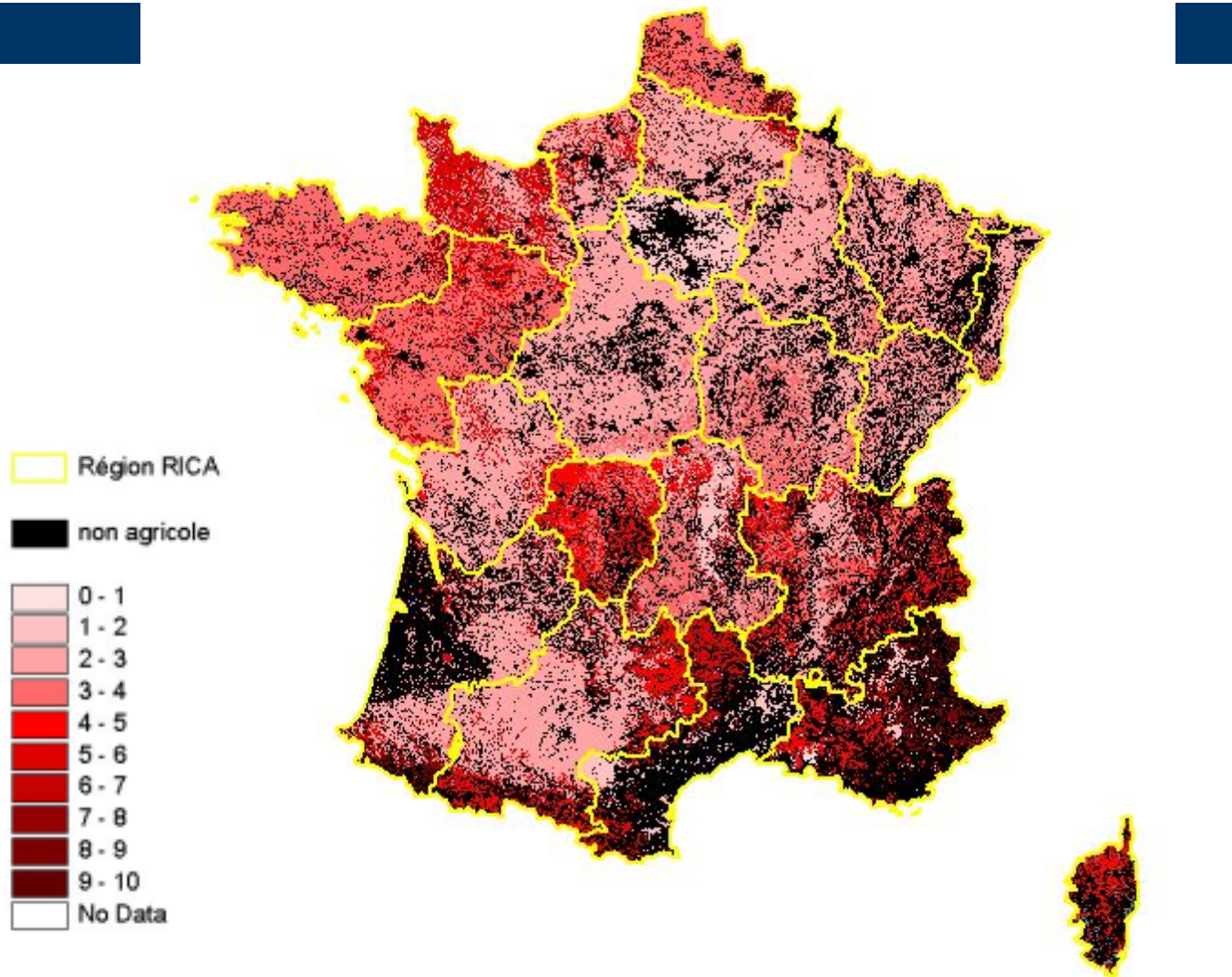
Estimation AROPAJ des émissions de CH₄ et N₂O, moyenne régionale (tCO₂eq/ha) calibrage sur données 1997, PAC 2001



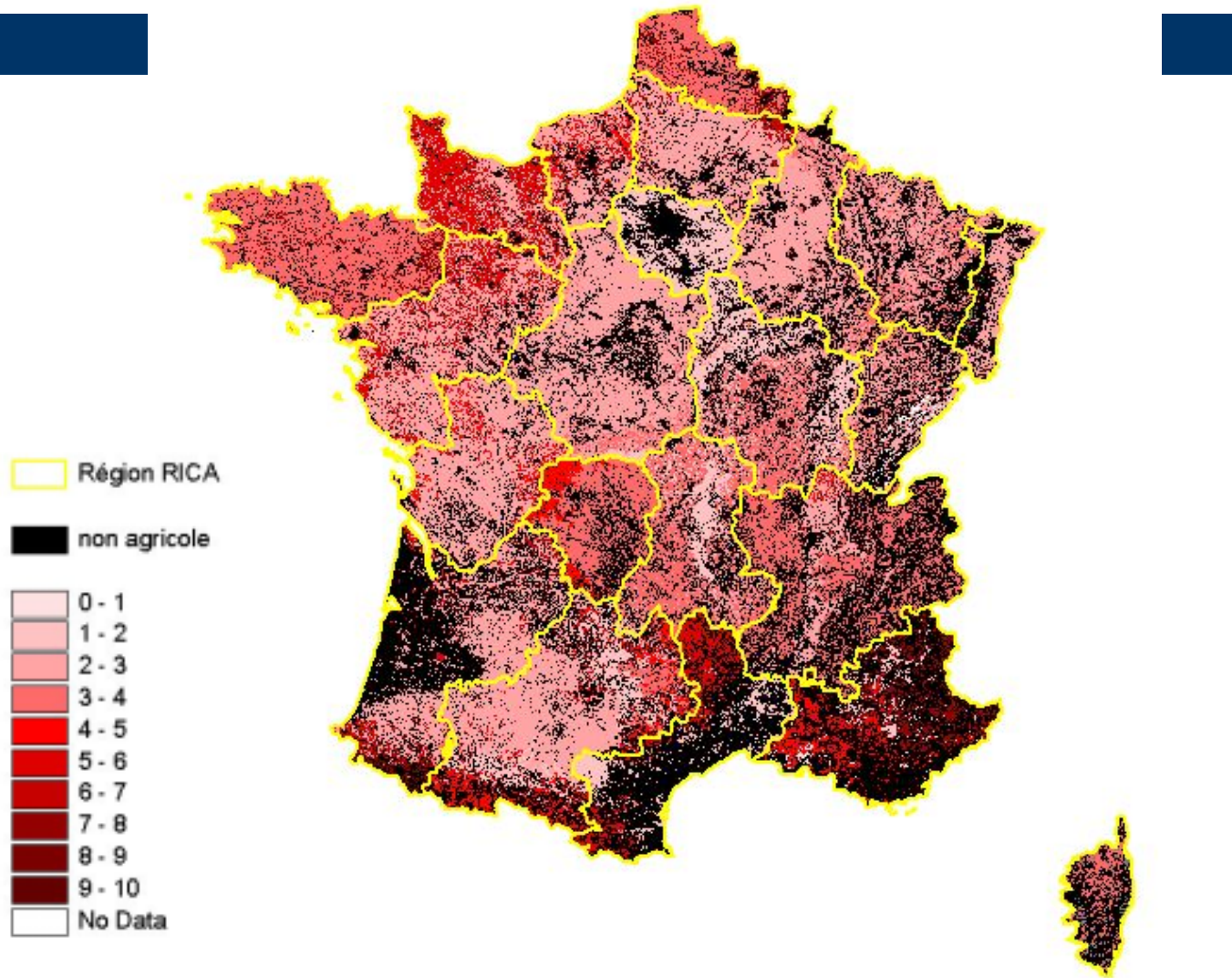
Estimation AROPAj des émissions de CH₄ et N₂O, moyenne régionale (tCO₂eq/ha)
calibrage sur données 1997, PAC 2001, **émissions taxées de 55€/tCO₂eq**



Estimation AROPAj des émissions de CH₄ et N₂O, CLC+MNT (tCO₂eq/ha)
calibrage sur données 1997, PAC 2001



Estimation AROPAj des émissions de CH₄ et N₂O, CLC+MNT (tCO₂eq/ha)
calibrage sur données 1997, PAC 2001, **émissions taxées de 55€/tCO₂eq**



8. Qui supporterait l'effort parmi les producteurs?

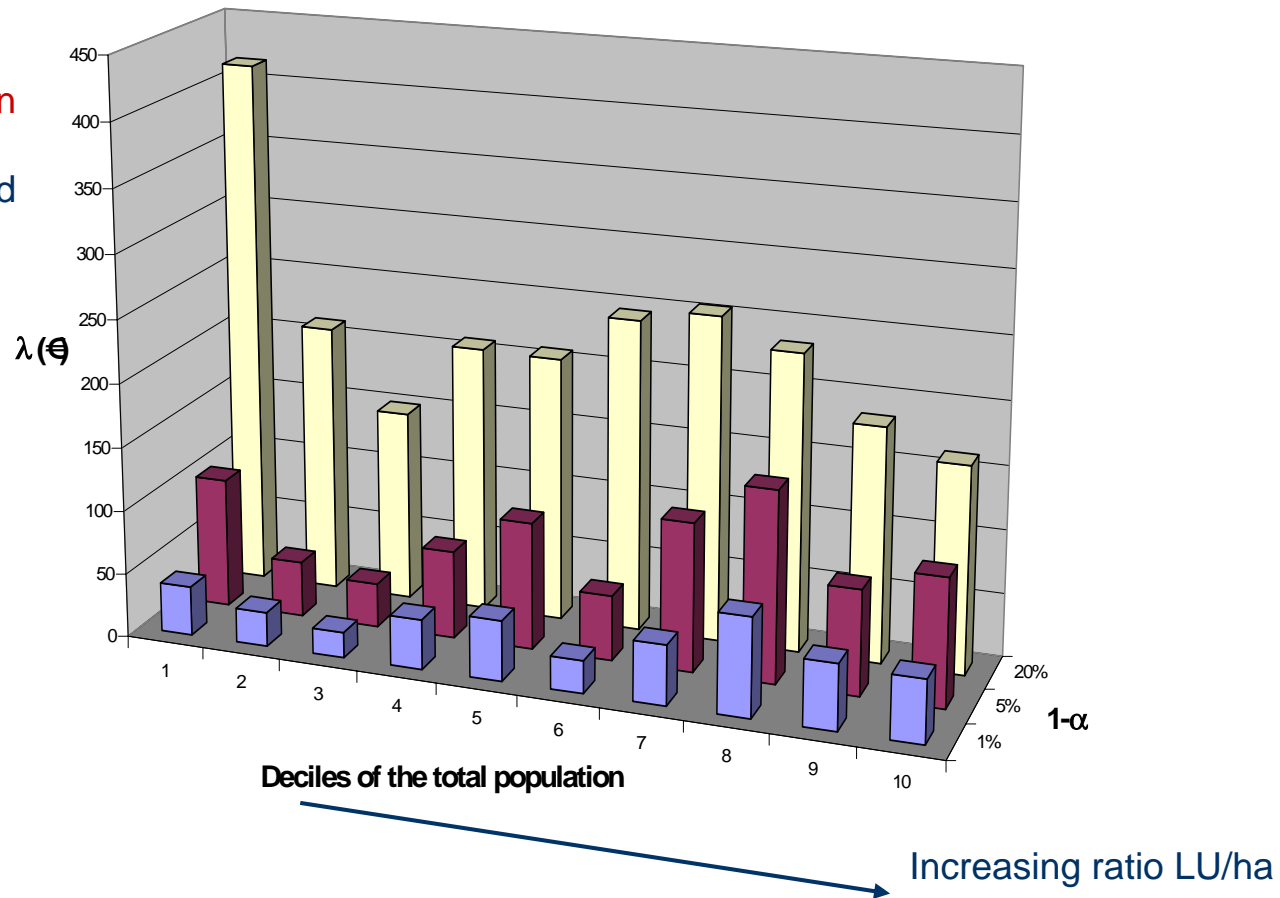
- Un essai d'analyse à partir des MAC individuels classés selon le chargement animal à l'hectare
- Essai sur la France et sur une version antérieure du modèle
- Comparaison des MAC pour 3 niveaux de quota (virtuel) sur les émissions, avec introduction de l'autorisation de boisement des jachères fixes et prime offerte au stockage du carbone

résultats sur modèle + C version UE-12 / France

Source : De Cara et Jayet (2000) *Eur. Rev. of Ag. Econ.*

- MAC – France – AROPAj version UE-12 – essai avec puits C

No authorization
of afforestation
of set aside land

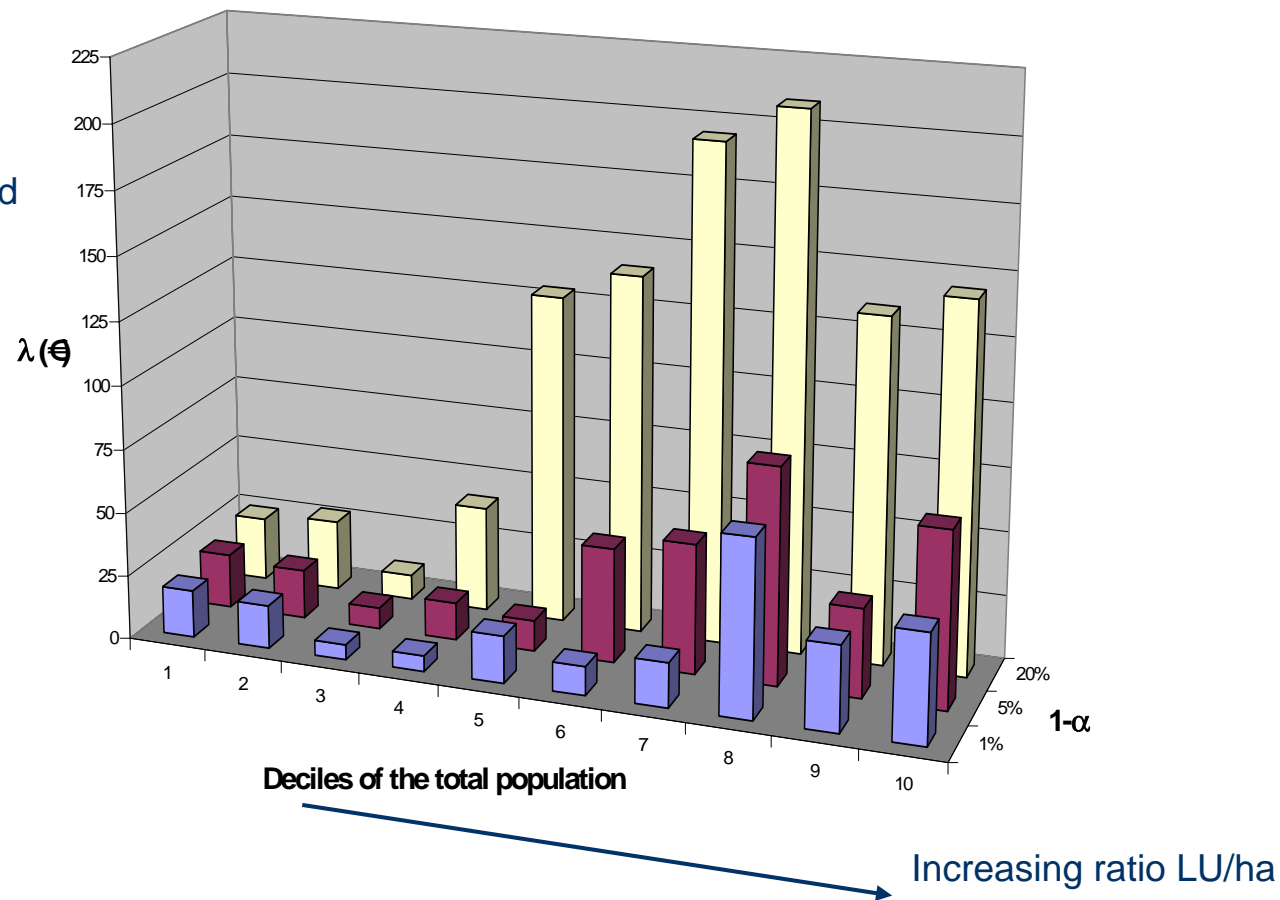


résultats sur modèle + C version UE-12 / France

Source : De Cara et Jayet (2000) *Eur. Rev. of Ag. Econ.*

- MAC – France – AROPAj version UE-12 – essai avec puits C

Authorization
of afforestation
of set aside land

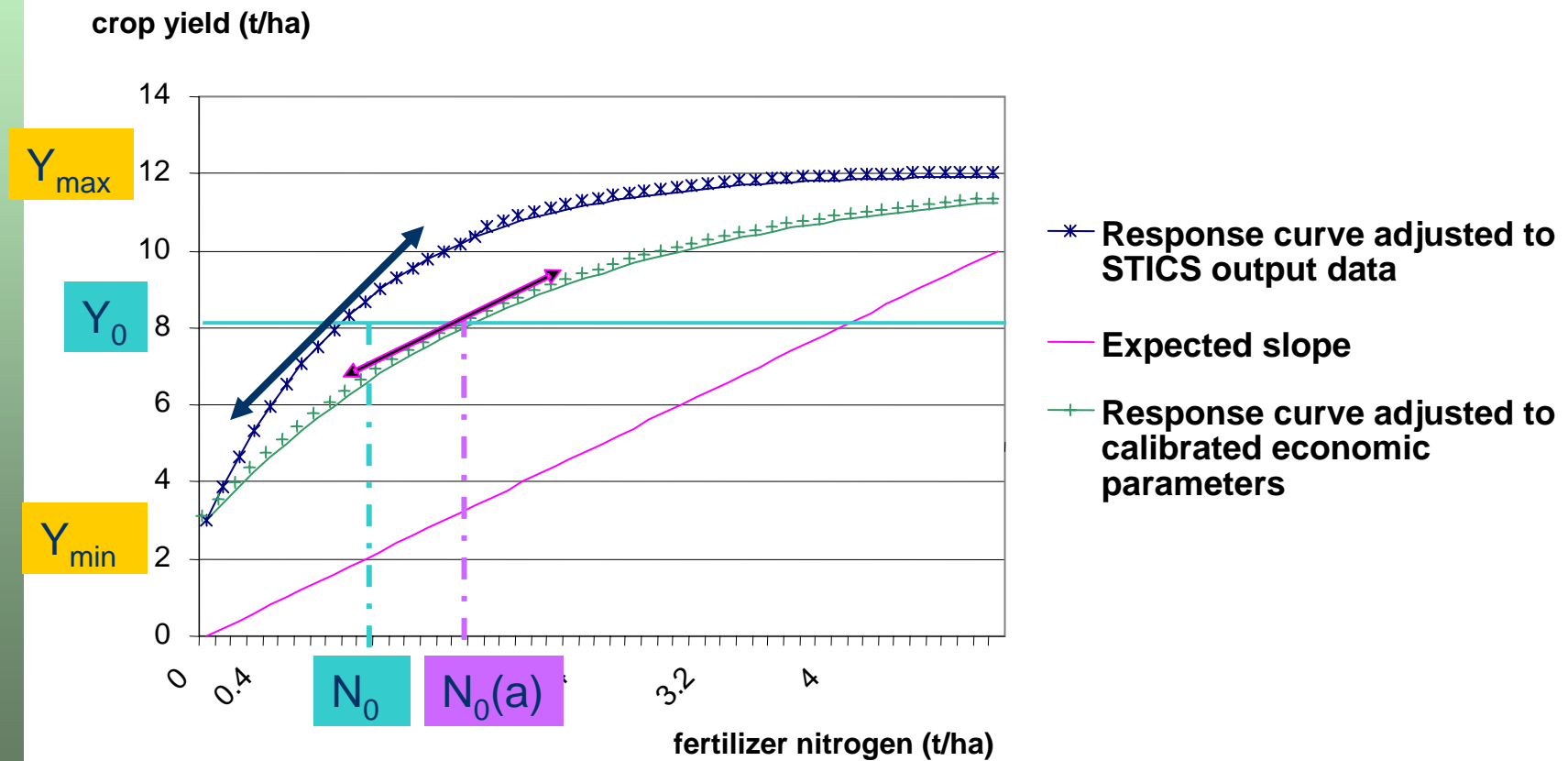


9. Rendements, émissions et potentiel de réduction

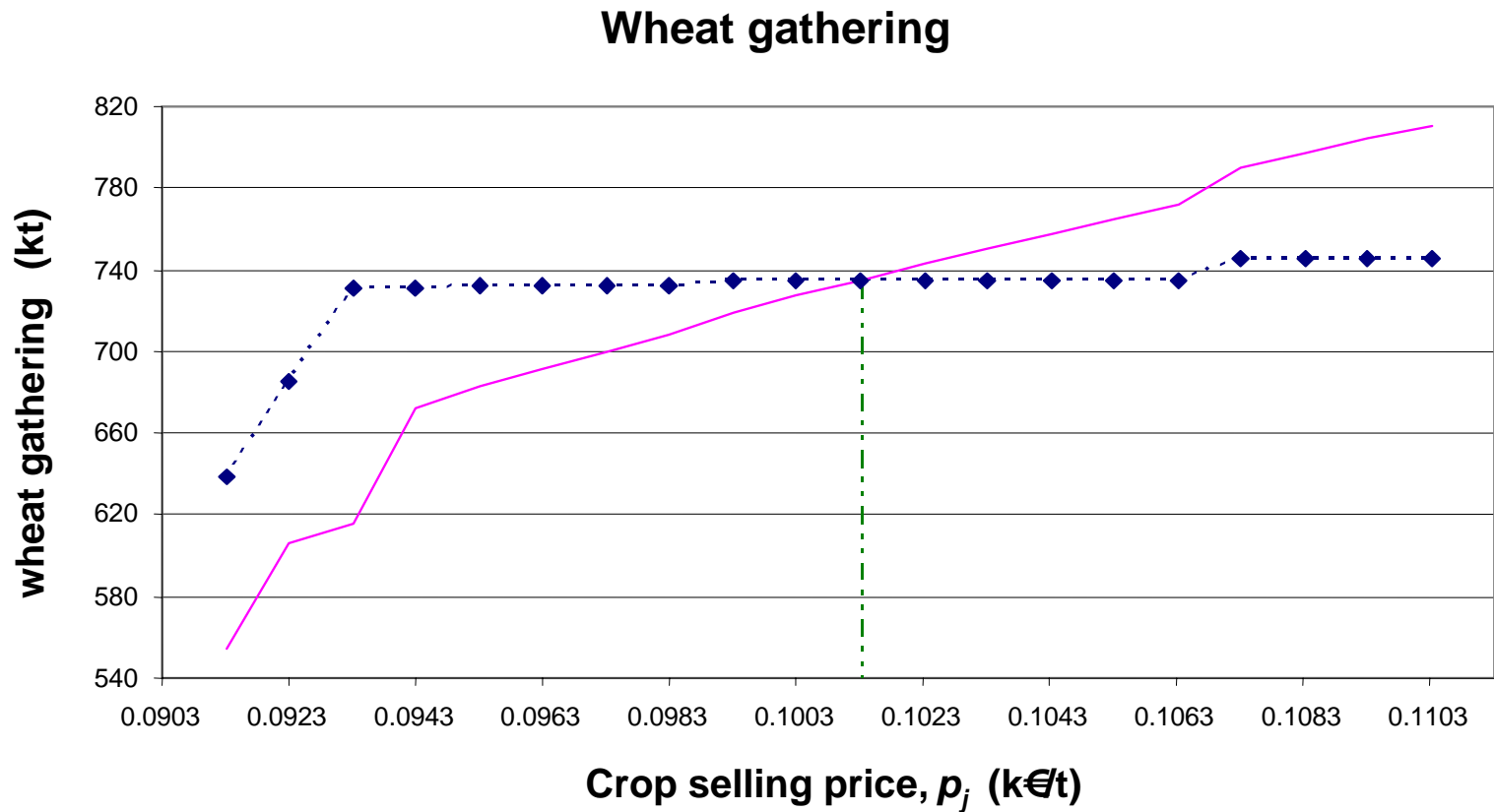
- Couplage (externe) d'un modèle bio-physique (STICS) et du modèle économique
- Utilisation des données RICA et des données “sols”, “climat”, et “itinéraires techniques” pour inférer les caractéristiques (type sol, variété, précédent cultural) requises pour le calcul des rendements (thèse C. Godard)
- Forme fonctionnelle choisie : exponentielle (positive, croissante, concave); input : N

$$y = y_{\max} - (y_{\max} - y_{\min}) \times e^{-\tau N}$$

(9). Ajustement d'une fonction de réponse STICS à la solution calibrée du modèle économique



(9) Analyse de sensibilité (1) (groupe type test)



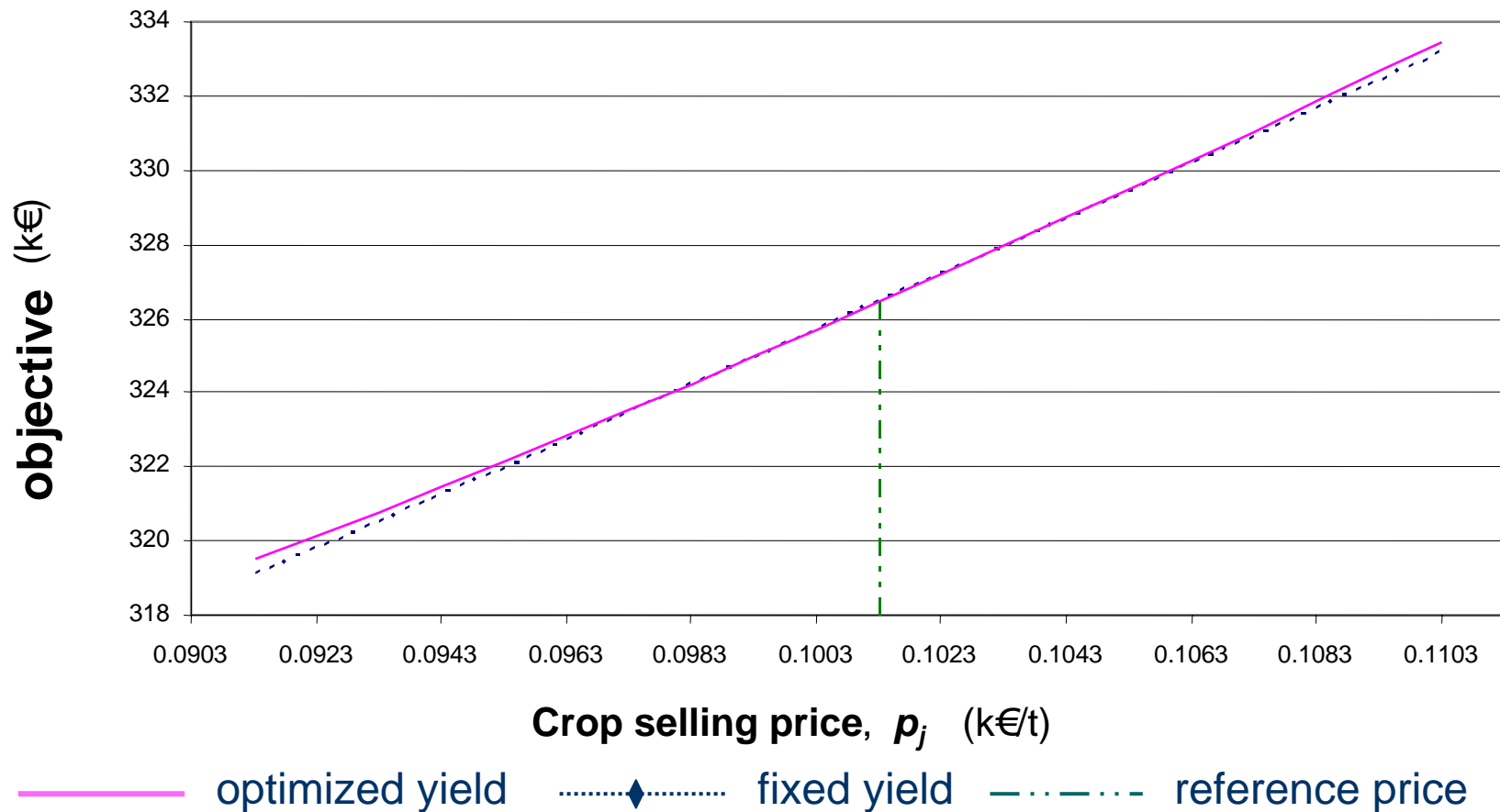
— optimized yield ◆ fixed yield - - - - - reference price

2005

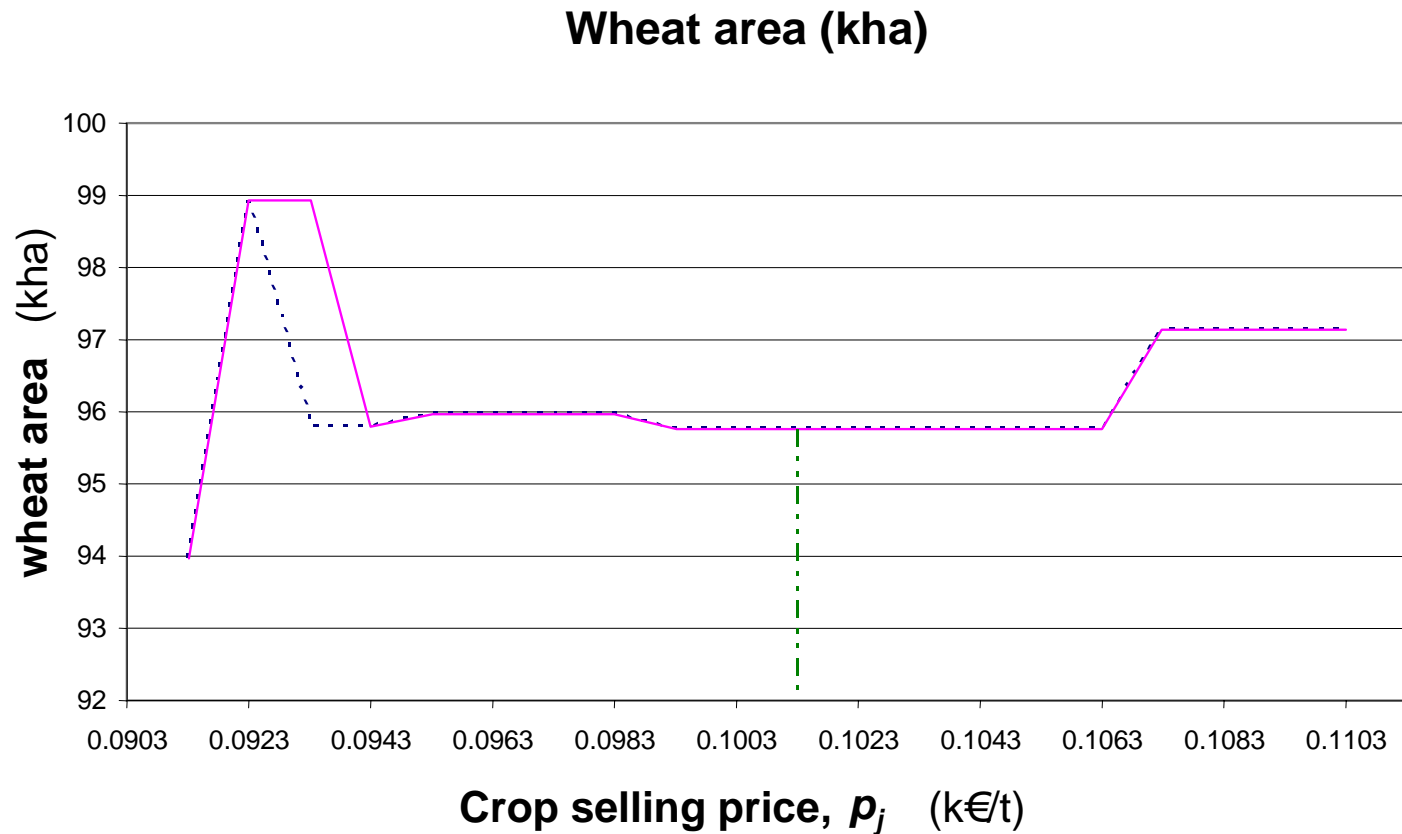
jayet@grignon.inra.fr

(9) Analyse de sensibilité (2) (groupe type test)

Farm type gross margin



(9) Analyse de sensibilité (3) (groupe type test)



— optimized yield ◆..... fixed yield - - - - - reference price

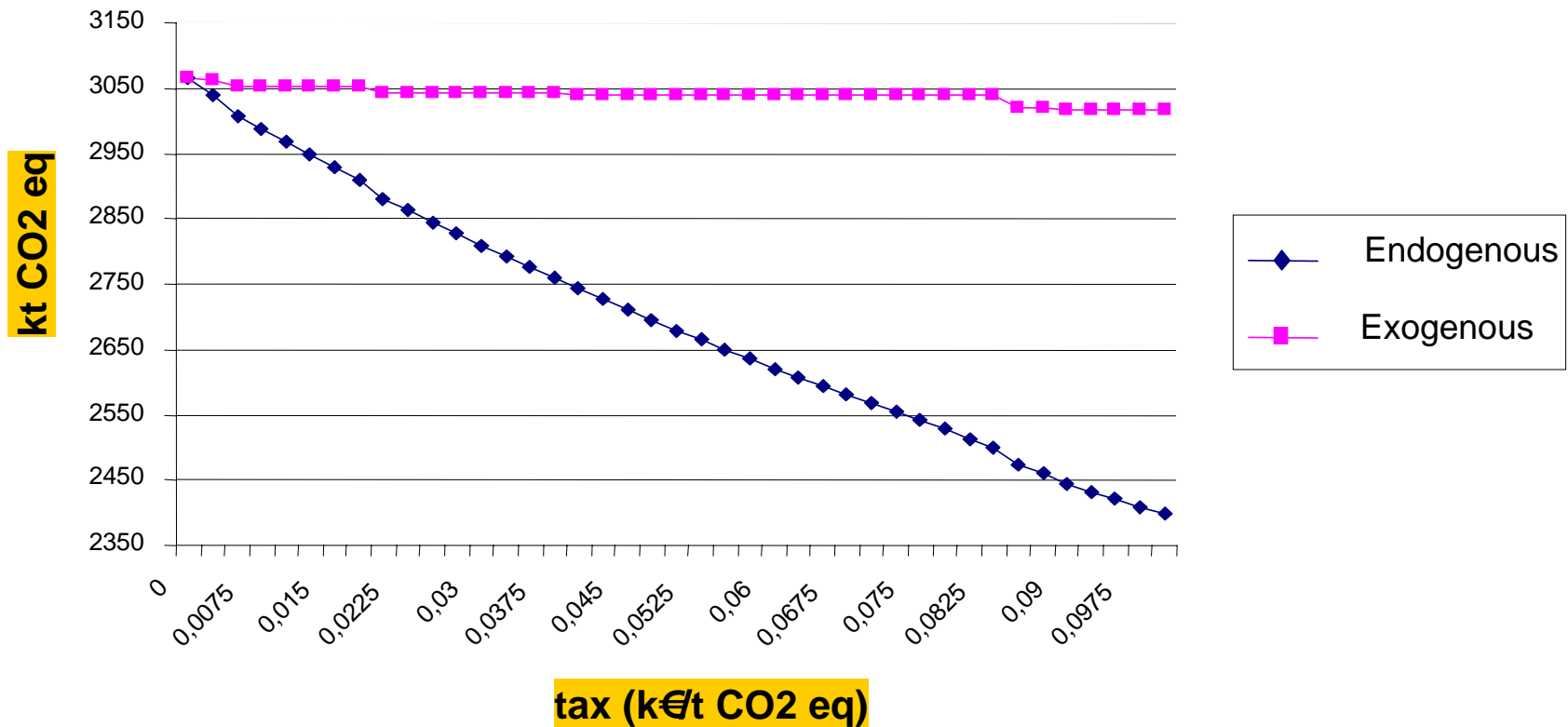
2005

jayet@grignon.inra.fr

(9) Application to GHG emissions

GHG emissions in Picardie with a tax

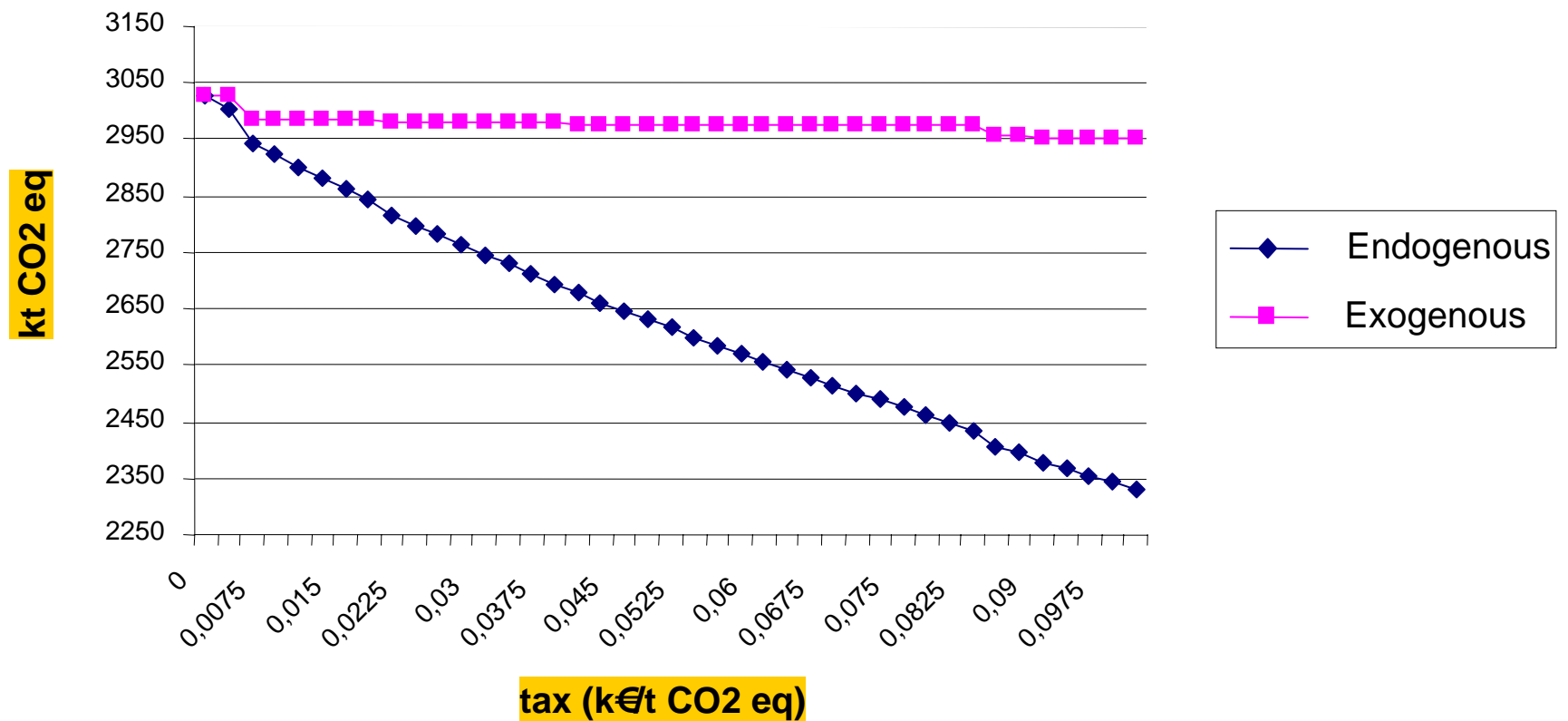
(PAC 97, ajust. cap. anim. = 0%)



(9) Application to GHG emissions

GHG emissions in Picardie with a tax

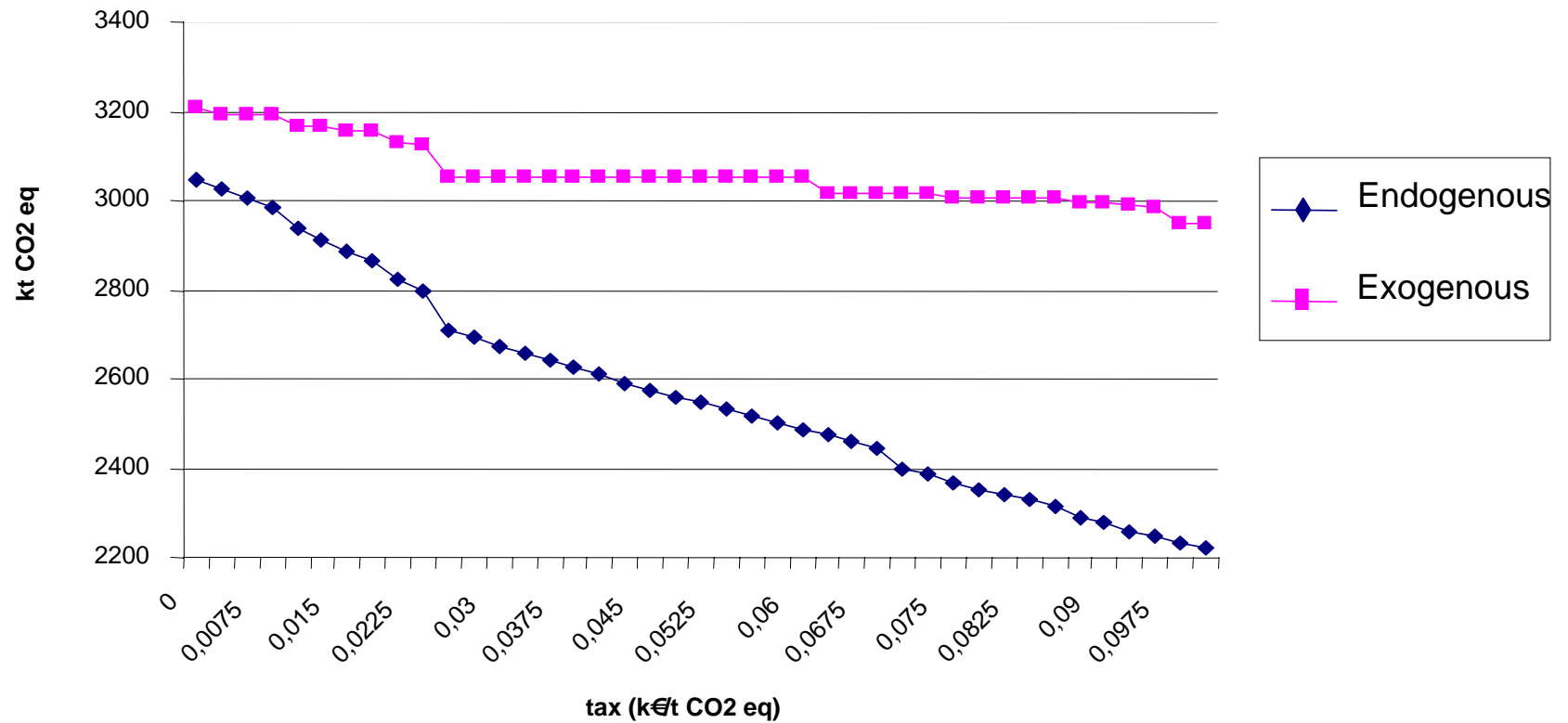
(PAC 97, ajust. cap. anim. = 15%)



(9) Application to GHG emissions

GHG emissions in Picardie with a tax

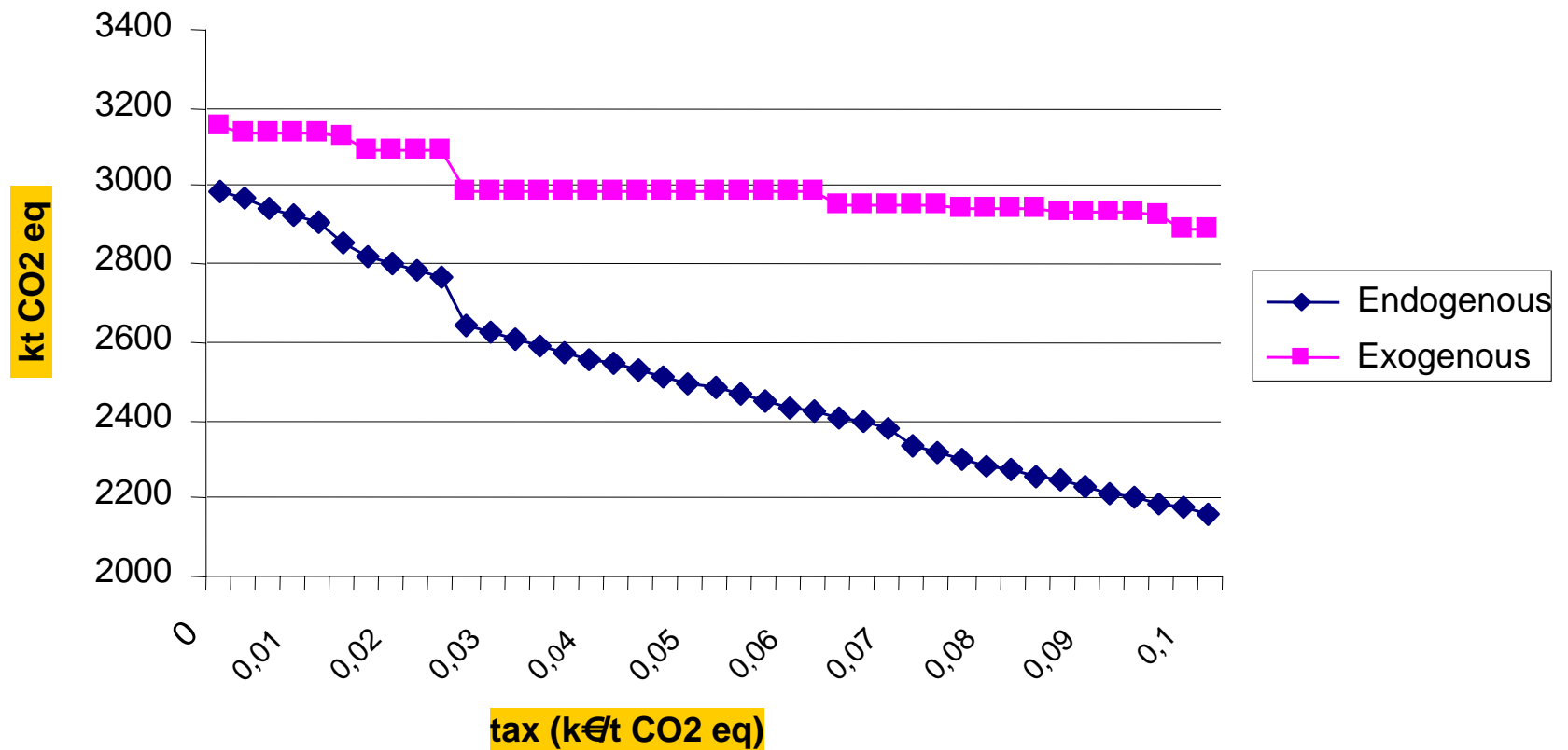
(Agenda 2000, ajust. cap. anim. = 0)



(9) Application to GHG emissions

GHG emissions in Picardie with a tax

(Agenda 2000, ajust. cap. anim. = 15%)



10. Analyse duale de « premier rang » (coûts marginaux de réduction du carbone)

S. De Cara, P.A. Jayet ERAE 2000

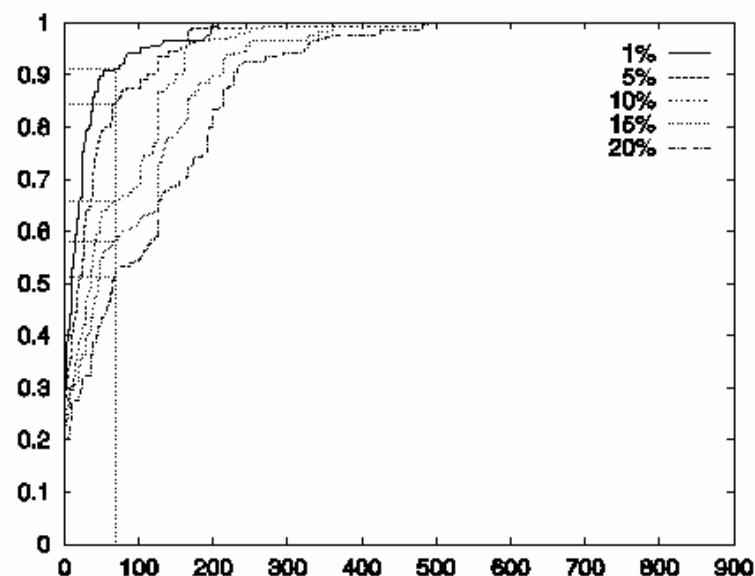
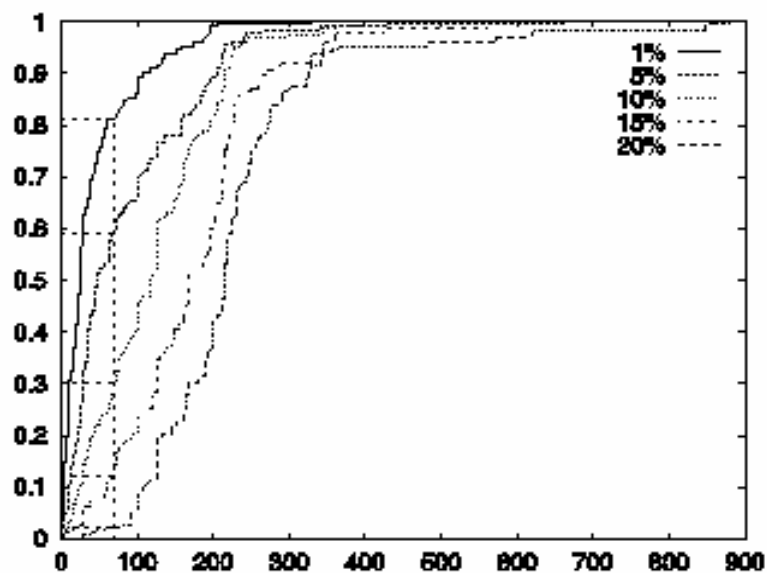
Distribution des coûts marginaux d'abattement
pour différents niveaux communs de réduction individuelle (%)

Modèle France / RICA 1990 / actualisé

(82 groupes types, 691 sous-groupes)

PAC 1995

Autorisation de boiser les jachères fixes

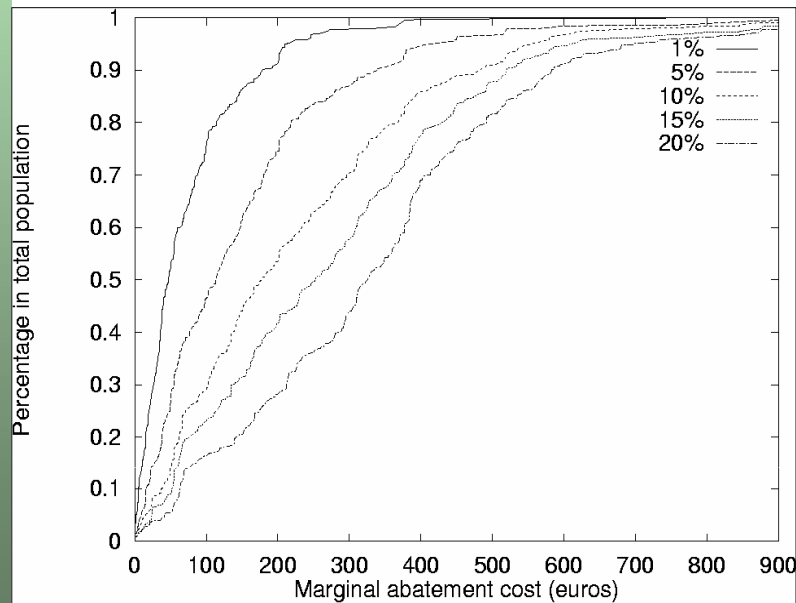


Coût en €/t eq CO2

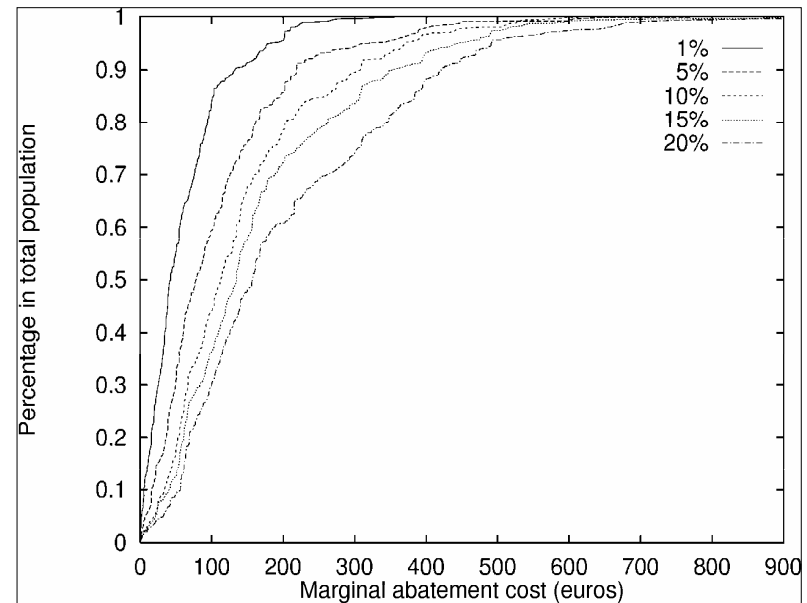
(10) Analyse duale de « premier rang » (coûts marginaux de réduction du carbone)

Distribution des coûts marginaux d'abattement
pour différents niveaux communs de réduction individuelle (%)
Modèle UE-12 / RICA 1994 / actualisé
(472 groupes types)

PAC 1995



Autorisation de boiser les jachères fixes



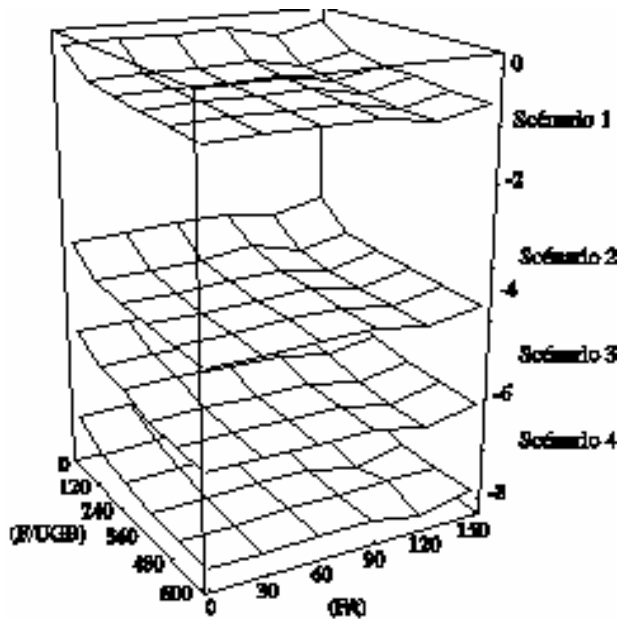
Coût en € / t eq CO₂

**(10) First rank analysis :
heterogeneity of farm MAC when
individual effort requested is uniform**

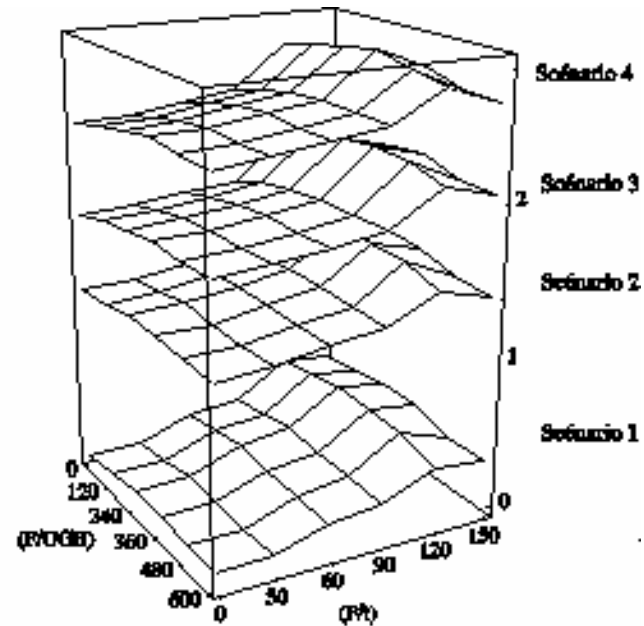
Abatement target α (%)	Total abatement (MtCO ₂ eq)	Marginal abatement cost		Efficiency loss $\bar{\lambda}_\alpha/t$
		Emission tax t (EUR t/CO ₂)	Uniform quotas $\bar{\lambda}_\alpha$ (EUR t/CO ₂)	
4%	13.78	20.51	73.64	3.6
8%	27.56	55.84	122.66	2.2
12%	41.35	>100.00	169.62	<1.7

(10) Régulation de « second rang » (CH4) - impact d'un couple de taxes « animal » et « aliment » sous différents niveaux de prime du carbone
(De Cara et Jayet, 2000)

Dommage
(équivalent monétaire)



Critère social
(profits – dommage 450F/teqCO2 – budget – coût export.)



Scénario 1 : PAC 1995 ; scénarios i : boisement primé à $(i-1)*800$ F/ha

Perspectives?

Carbone sols agricoles?

- Réguler **une** externalité requiert **un** instrument; importance du bilan “émission GES nette”; caractère additionnel du gain potentiel; durée
- Impacts sur les autres externalités? Se méfier du “win-win” (par exemple, les aliments réputés les moins méthanogènes sont les aliments industriels ... E.S. vs extensification ?)
- Risque inhérent à la mise en avant d'options à potentiel techniquement avéré, mais limité dans le temps et en quantité :
C sol agricole = 0.3tC/ha/an sur 30 ans et 10 Mha, et si valeur C = 80€/ha/an, alors rémunération attendue de 24€/ha/an sur 30 ans avec obligation de maintenir assolements et pratiques – cf <http://www.inra.fr/actualites/rapport-carbone.html>
– ... à comparer aux ~300€/ha/an d'aides directes versées aux productions “grandes cultures + élevage”
- Une thèse en cours (ADEME-INRA) semble remettre en cause l'avantage annoncé du “semis direct”