



# Intérêts et limites des modèles bioéconomiques pour identifier les stratégies optimales de réduction des émissions de GES en élevage

Claire MOSNIER,  
INRA UMR 1213 Herbivores, équipe Comete( Conception Modélisation et  
Evaluation des système d'Elevage),F-63122 Clermont Fd,  
[claire.mosnier@inra.fr](mailto:claire.mosnier@inra.fr)

# INTRODUCTION

# Identifier les stratégies les moins coûteuses pour réduire les GES

- Nécessité de réduire les émissions de Gaz à Effet de serre
- Différentes stratégies ont été identifiées pour les ruminants :
  - Réduire le nombre d'animaux
  - Augmenter la production de viande, de lait etc. par animal
  - Réduire les émissions de méthane pendant la digestion
  - Réduire la consommation d'intrants destinés au troupeau et à son alimentation
  - Améliorer la gestion des déjections et de la fertilisation
  - Stocker du carbone

→ Quelles combinaisons de stratégies pour atteindre des objectifs de réductions de GES à moindre coût?

→ Les modèles bioéconomiques peuvent être utilisés pour répondre à ces questions

# Qu'est-ce qu'un modèle bioéconomique en programmation mathématique

- Approche de l'exploitation agricole ou du secteur agricole en tant que système biologique ET système de gestion → hyp de **rationalité économique** des agents
- **Problème décisionnel :**
  - Choisir la valeur d'un ensemble de variables de décision  $X_{i,..n}$  (ex: nombre de vache, ha de céréales, part de concentré dans la ration, type de bâtiment)
  - Pour optimiser (min ou max) une fonction objectif (ex:  $U$ =le revenu)  
 $U=f(X_{i,..n})$
  - Sous contraintes (ex : SAU, capacité des bâtiment, démographie du troupeau..)

$$g(X_{i,..n}) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} 0 \quad X_{i,..n} \geq 0$$

# Intérêts de ces modèles

- Des modèles bioéconomiques basés sur l'optimisation
  - Décisions cohérentes avec la théorie économique → utilisation efficiente des ressources
    - ≠ Approche de type 'ingénieur' : Les réallocations des ressources induites par la mise en œuvre de la stratégie sont définies de façon exogènes
  - Peut choisir automatiquement parmi un ensemble de leviers de réductions des GES possibles la combinaison la plus efficiente
    - ≠ Approche de type 'ingénieur' : Il faut souvent tester les stratégies les unes après les autres

-

# Classification des modèles

	Ferme	Régional	Sectoriel	Equilibre général
	Modèle d'offre		Modèle de marché (offre + demande)	
Système modélisé	1 seule ferme	Plusieurs fermes agrégées ou une 'ferme région'	1 seul marché (agriculture)	>1 marchés (ex: agriculture + industrie+..)
optimisation	Maximiser une fonction d'utilité (revenu..)		Maximiser les surplus des consommateurs et producteurs	
Prix	Exogènes ('preneurs de prix')		Endogènes (équilibre entre offre et demande)	
détail de la production agricole	+++			---

# Types de scénarios utilisés pour analyser les stratégies de réduction des GES

- Taxes sur les émissions → équivalent à une fonction multi-objectif
- Niveau maximal d'émissions fixé → ajout d'une contrainte
- Obligation de mettre en œuvre la stratégie → fixe une partie des décisions
- Les scénarios n'ont pas directement pour objectif la réduction des GES → les GES sont seulement un indicateur de sortie de modèle

# Greenhouse gas abatement strategies and costs – a comparison across bio-economic models applied to the dairy production

**Claire MOSNIER<sup>a</sup>, Thomas JULLIERE<sup>a</sup>, Wolfgang BRITZ<sup>b</sup>, Stéphane DE CARA<sup>c</sup>, Pierre-Alain JAYET<sup>c</sup>, Petr HAVLIK<sup>d</sup>, Stefan FRANK<sup>d</sup>, Aline MOSNIER<sup>d</sup>**

*<sup>a</sup> Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France*

*<sup>c</sup> Institute for Food and Resource Economics, University of Bonn, Germany*

*<sup>c</sup> INRA UMR210 Economie Publique, avenue Lucien-Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon, France*

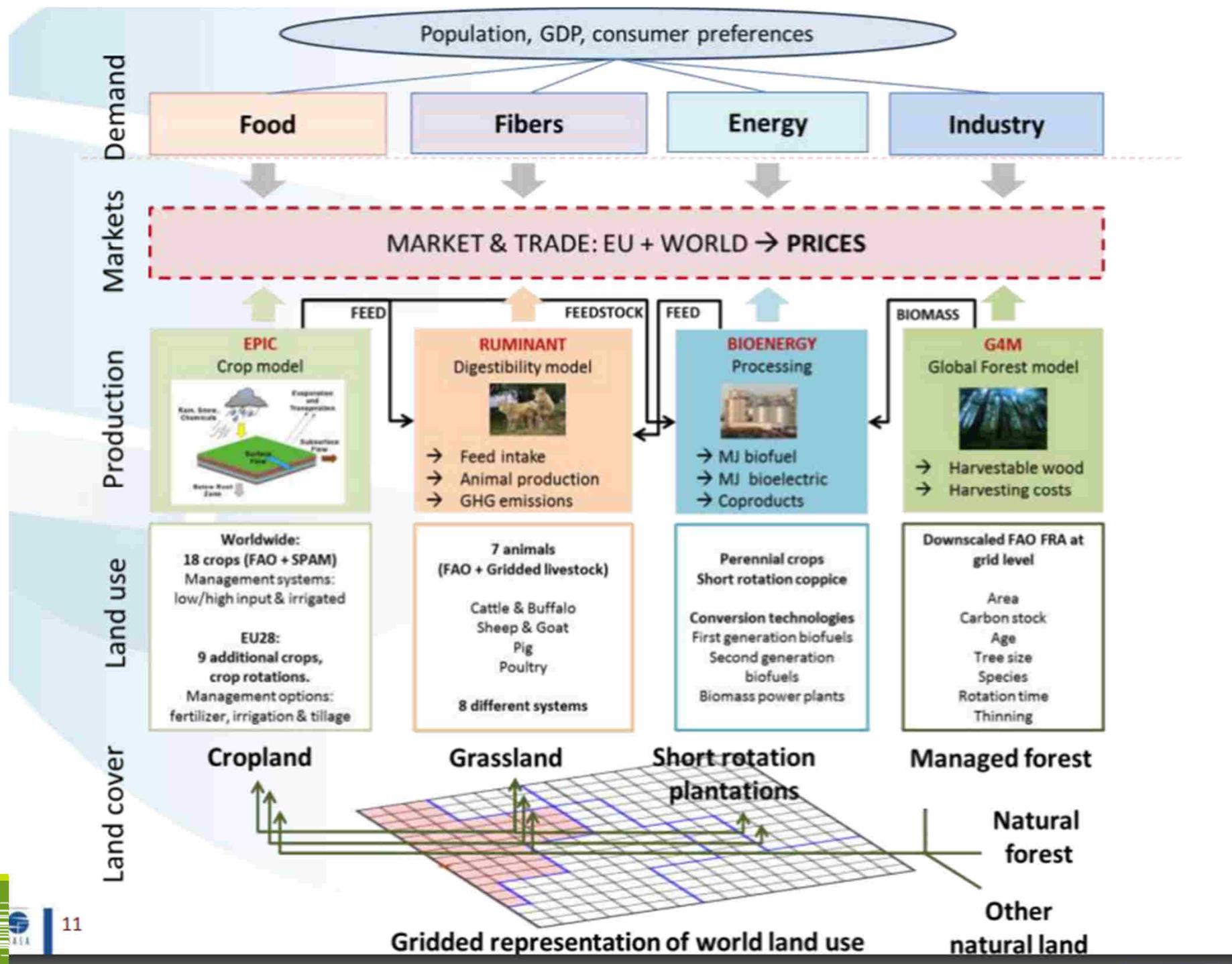
*<sup>d</sup> IIASA, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria*

- → soumis prochainement à « Climate Policy »

# MÉTHODE

# Méthodes: Les modèles analysés

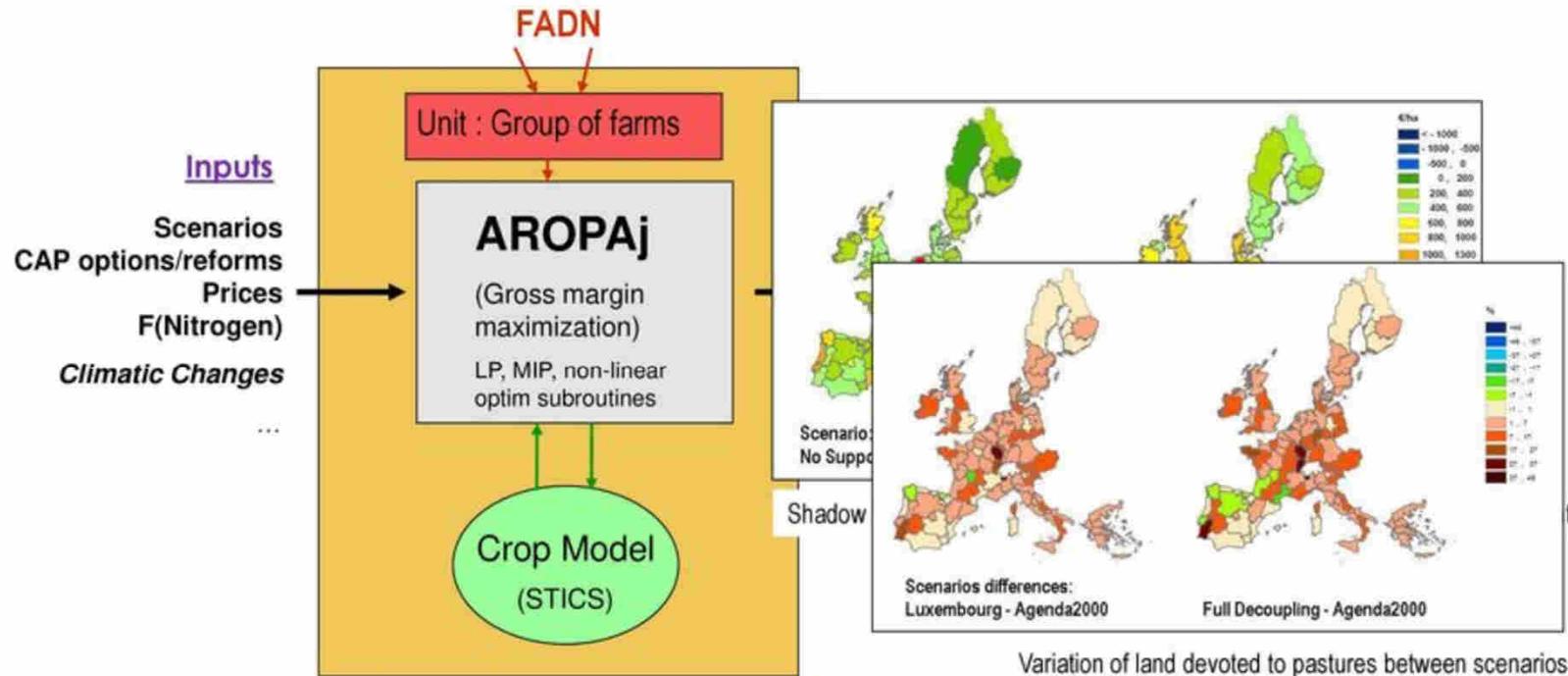
	GLOBIOM <sup>a</sup>	AROPAJ <sup>b</sup>	ORFEE <sup>c</sup>	FARMDYN <sup>d</sup>
<b>Organisation</b>	IIASA	INRA	INRA	Université de Bonn
<b>Type de modèle</b>	Sectoriel	Offre		
<b>Echelle</b>	Mondial	Fermes agrégées	Fermes	
<b>Zone géographique</b>	Monde	Union Européenne	Qq regions françaises	Qq regions allemandes
<b>Type de résolution</b>	Linéaire	Linéaire avec variables entières		
<b>Dynamique</b>	Recursive-dynamique	Statique		Dynamique
<b>Batiment et machine</b>	non		≈ proportionnelle à la production	Non linéarité forte
<b>travail</b>	non		proportionnelle à la production	non
<b>Fonction objectif</b>	Surplus du consommateur et du producteur	Somme des marges brutes	Espérance-variance du profit	Valeur actualise nette du profit



# Aropaj

AROPAj est un **modèle technico-économique** d'optimisation statique mono-périodique de **l'offre agricole européenne**. (INRA UMR Eco-Publique, Paris-Grignon. Pierre-Alain Jayet)

- évaluer les effets des réformes de la PAC,
- évaluer les relations entre l'agriculture et l'environnement, incitations à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.



# ORFEE

**Cas-type** : type de sol/rendement, SAU, nombre et types d'animaux produits..(Excel)

**Scénario** : définition du contexte (prix, PAC, etc.) et des degrés de liberté pour adapter le système (Excel)

OPTIMISATION des décisions de l'agriculteur (GAMS)

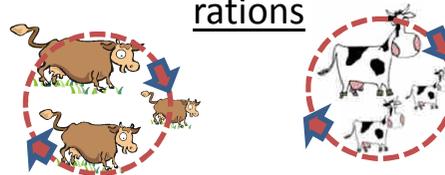
ACHATS : Animaux, aliments, antibiotiques

Investissement, Entreprise extérieur, salariat

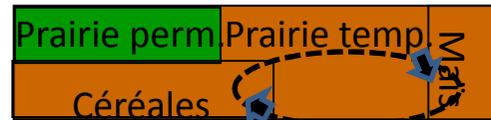
ACHATS : Engrais, Phyto, clôtures, plastiques, assurance etc.

Capital : Bâtiments, Machines, travail

Troupeau : Nb d'animaux et rations



Cultures : Surface allouée à chaque activité végétale



VENTES : Animaux, Lait

VENTES : Produits végétaux

FARM

**Production** : entrées et sorties par unité fonctionnelle, activité

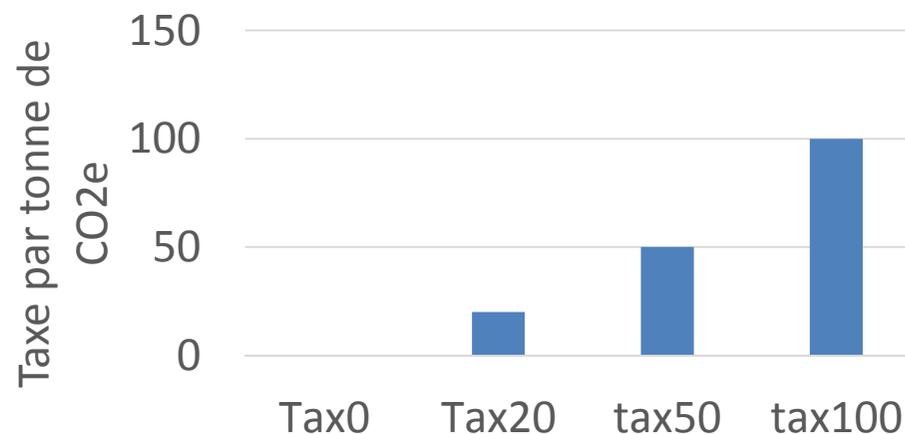
**Indicateurs économiques** (revenus, valeur ajoutée..)

**Indicateurs environnementaux** (gaz à effet de serre, pesticide, engrais etc.)

**Indicateurs sociaux** (travail, emploi, alimentation humaine etc.)

## Les scénarios

- Taxes croissances sur les émissions de GES
- À l'échelle de l'exploitation ou de l'Europe (Globiom)



	GLOBIOM	AROPAj	ORFEE	FARMDYN
Taxe carbone	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> (changement usage sols + carbone culture)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> (intrants + carbone prairie)	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

# Scénarios

- Réutilisent des versions publiées et des modèles déjà utilisés pour analyser les GES
- Focalisent sur la production laitière en France
  - Globiom : seuls les résultats concernant la production laitière à l'échelle France sont présentés
  - Modèles d'exploitations : 2 types d'exploitation : montagne Massif Central et pays de la Loire)
    - Aropaj : extraction des résultats de 2 fermes
    - Orfee et Farmdyn : dans la mesure du possibles des fermes se rapprochant de cas type Inosys

# Les scénarios : FLEXIBILITE laissée au modèle pour optimiser les GES

	GLOBIOM	AROPAJ	ORFEE	FARMDYN
Utilisation de la SAU	Cultures, prairie, forêt, jachères,	Cultures, prairie et jachères	cultures (sauf prairie permanente), prairie	
Taille du troupeau et production laitière	<u>Vaches</u> = +/-5%	<u>Vaches</u> = +/- 15% <u>lait</u> ≤ quota	<u>vaches</u> : libre * <u>lait</u> = libre ou = quota	libre
Production laitière / vache	depend de la zone agroéco.	Non	2 races × 3 niveaux de rendement	≤ rendement max.
Reproduction		- Achat de génisse	-Période de vêlage -Age au 1er vêlage - race	-taux de réforme -Age au 1er vêlage
Alimentation des animaux		Type et quantité d'aliment optimisé		

# RÉSULTATS

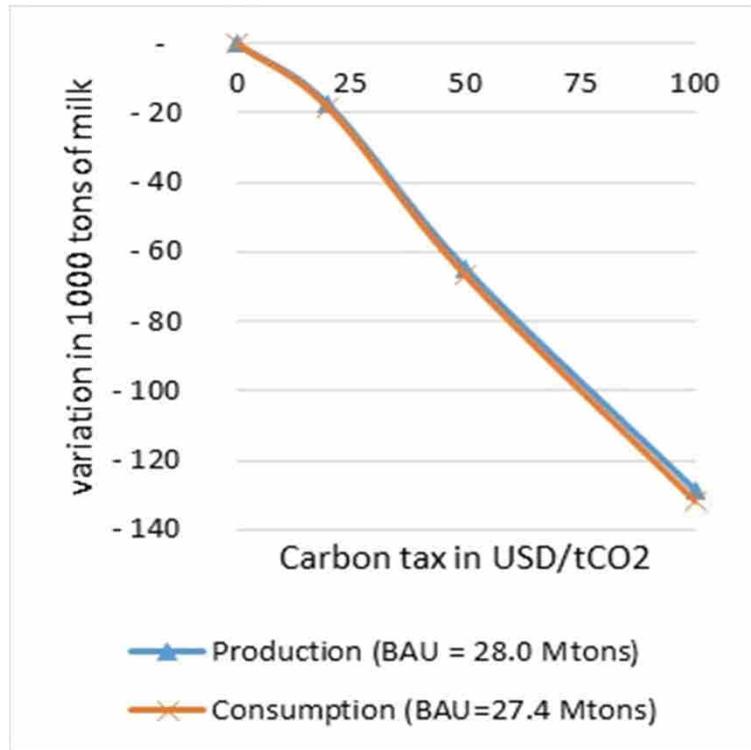
# Les leviers de réduction des GES mobilisés

	nombre d'animaux	Achats d'aliments	Lait / Vache	prairies	fertilisation minérale	Vêlage printemps
<b>GLOBIOM</b>	↓	/	(-)	+	-	na
<b>AROPAJ</b>	↓génisses	+	=	- → jachère	-	na
<b>FARMDYN</b>	(↓) génisses	+	=	=	-	na
<b>ORFEE</b>	↓↓↓	--	=	Déjà max	+	-

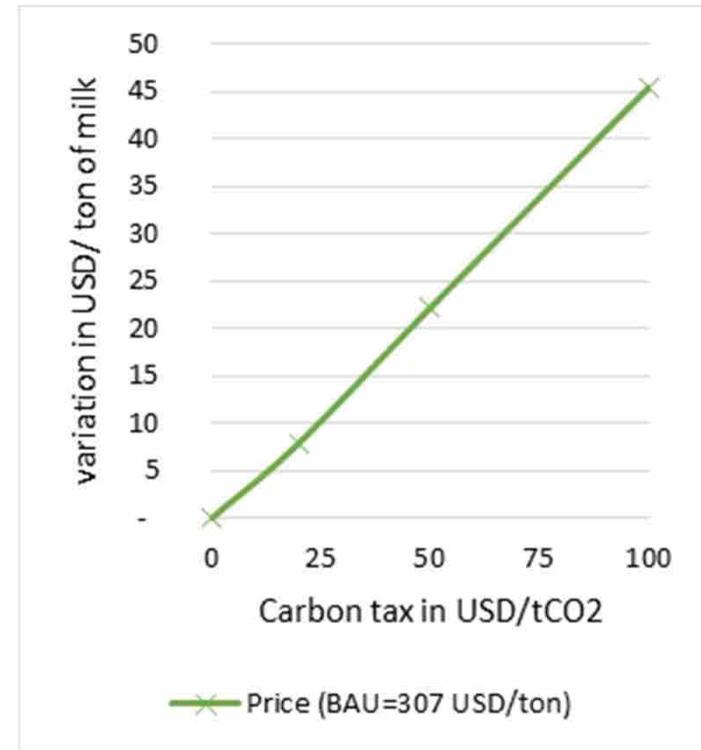
→ « Anomalies » externalisation de la production de génisses et de la production d'aliments pour le troupeau dans Aropaj (pas de poids CO2 aux intrants)

# Impact sur les marchés

Production et consommation de lait en France

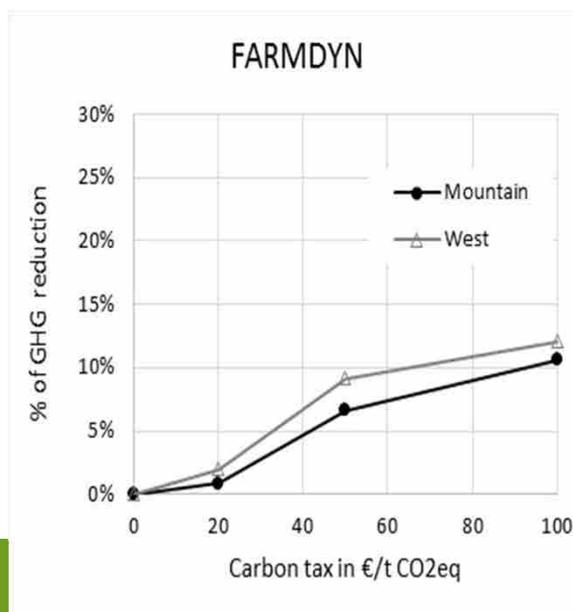
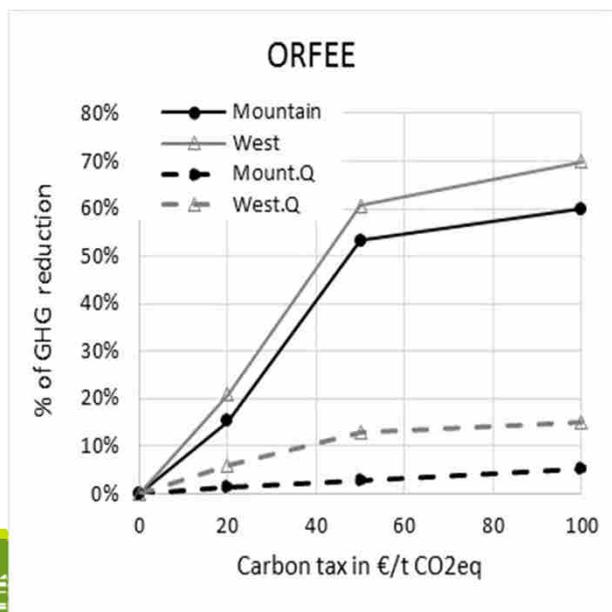
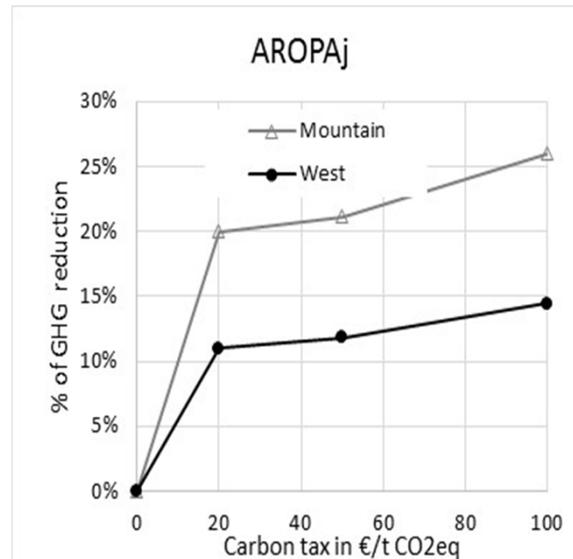
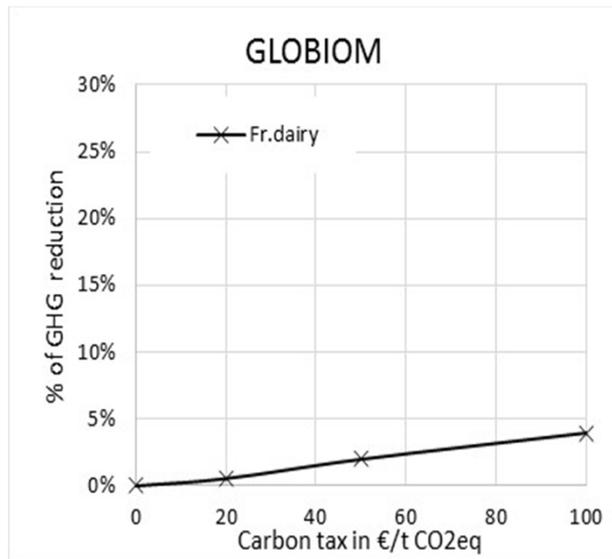


Evolution du prix du lait



↓ de la prod et Conso de 5% et augmentation forte des prix (2/3 du montant de la taxe est répercuté sur le prix du lait) → Faible élasticité de la demande et peu de possibilité d'adaptation pour la technologie et les imports/exports

# Cout Marginal d'Abatement



- GLOBIOM: réduction linéaire → suit la réduction du troupeau
- AROPAj, gains importants pour des taxes faibles → externalization peu coûteuse
- ORFEE, abatement le plus fort lorsqu'il y a réduction de la taille de troupeau

# Synthèse

- Les différences entre courbes de coût marginal d'abattement simulés dépendent de la principalement flexibilité introduite dans le modèle
- **Flexibilité dans l'espace** : Possibilité d'externaliser une partie ou la totalité de la production → permet les gains les plus importants → pb de fuite de carbone et de déstabilisation des marchés dans les modèles d'offre
- **Flexibilité dans le temps** : Simulation de court terme = si le capital est fixe → les changements sont moins importants et plus coûteux que si les coûts liés à la main d'oeuvre, les bâtiments et les machines peuvent s'adapter
- **Flexibilité dans les itinéraires de productions** : des niveaux de réduction plus faibles mais plus réalistes?
- .. Et dans la façon de comptabiliser le CO2 : stockage de carbone dans les sols



L'optimisation cherche toutes les solutions possibles pour réduire les GES y compris des leviers non prévus initialement s'il y a des failles dans le modèle

# Conclusion sur les modèle bioéco d'optimisation

## Positif

- Des modèles existants à plusieurs échelles :  
Exploitation → monde
- Des niveaux de détail et des options pour réduire les GES variables/ complémentaires entre modèles
- Propose automatiquement la combinaison de décision la plus efficiente économiquement



## Négatif

- Des erreurs sont vite arrivés (l'optimisation profite des failles du modèle s'il est mal spécifié)
- Importances des hypothèses de prix, d'élasticité de la demande et des importations sur décisions optimales
- Représentation parfois très simplifiée des processus
- Plus macro → plus les erreurs sont 'noyées'