

*Rapport final de travaux
relatif à la convention de recherche INRA - MédiAs-France
(n°INRA A01196)*

dans le cadre du programme :

**GESTION DES IMPACTS DU CHANGEMENT
CLIMATIQUE
PROGRAMME GICC 1999**

TITRE DU PROJET : Agriculture et effet de serre : régulation économique des impacts croisés et combinaison des politiques agricole et environnementale – Analyse pour la France et extension pour l'Union Européenne

TITRE COURT : Analyse économique des interactions agriculture - effet de serre

COORDINATEUR : Jayet Pierre-Alain

Unité d'Economie et Sociologie Rurales – Centre INRA de Grignon – BP 01 – 78850 Grignon

Tel 01 30 81 53 49 – Fax 01 30 81 53 68 – E-mail jayet@grignon.inra.fr

Septembre 2002

A - Objectifs et programme initial de travail

Les objectifs initiaux du programme de recherche sont les suivants :

- **Evaluation des impacts d'une double relation climat - agriculture sur la production agricole et sur les émissions directes de GES**

Cette première étude se limite aux effets directs en termes de GES pour le N₂O, le CH₄, et si possible les puits de carbone. Il s'agit à terme d'être capable de prendre en considération l'effet d'une modification des concentrations en CO₂ et de la température moyenne sur les rendements. Cela suppose de mobiliser les modèles technico-économiques disponibles à l'INRA Grignon (modèles AROPAj actualisés et modifiés dans le cadre de programme et de contrat européens). Il s'agit d'utiliser, en les réactualisant, les travaux de couplage entre ces modèles et le modèle biophysique de l'INRA (STICS) initiés en 1998.

Nous proposons de réaliser des simulations à l'échelle régionale permettant de calculer les niveaux de production, les marges des exploitants et le coût d'opportunité des terres en fonction des hypothèses retenues pour la mesure des relations agriculture - effet de serre (voir les travaux réalisés pour le compte de la MIES en 1997, et différentes publications 1998-2000).

Ces éléments doivent permettre d'apprécier la pérennité des systèmes de production sous l'angle économique, complétant ainsi des approches plus

techniques et biologiques proposées par ailleurs et destinées à évaluer le devenir des productions végétales et animales. Ces conséquences économiques sont évaluées à la fois en termes de coût privé (impacts sur les exploitations agricoles) et en termes de coût public (dommage social associé à l'effet de serre, et coût de la PAC).

- **Compatibilité des politiques agricoles et des politiques de l'environnement affectant le secteur**

Certaines politiques de régulation des marchés agricoles mises en œuvre ou certaines réformes envisagées pour la PAC interfèrent directement avec l'environnement, qu'il s'agisse des politiques de retrait des terres (jachères), ou des politiques visant à l'extensification de certaines productions animales ou végétales. Par ailleurs, toute politique visant à maîtriser l'offre par la réglementation des prix des produits ou des facteurs influe sur les consommations factorielles et les rendements, et partant, sur les GES d'origine agricole.

Ces politiques peuvent être combinées à des politiques de reconversion des surfaces (par exemple politique de retrait des terres de la production agricole, terres sur lesquelles seraient autorisées des productions ligneuses). On peut aussi concevoir la mise en place effective de politiques de l'environnement affectant le secteur agricole (taxation des pollutions telles que les nitrates ou les pesticides). On peut enfin concevoir des politiques ayant pour cible l'effet de serre d'origine agricole, qu'il s'agisse de pénalisation des dommages (N₂O, CH₄), ou, au contraire, de prime offerte pour le stockage du carbone. Des travaux ont été réalisés pour aborder les régulations de premier ou second rang, compte tenu des contraintes propres à l'effet de serre (externalité globale et diffuse).

Ce travail s'inscrit dans l'évaluation des effets des différentes politiques mises en œuvre, en mettant l'accent sur les interférences entre Politique Agricole Commune et politiques environnementales. Il s'agit de mieux analyser les aspects "complément" ou "substitut" des dommages affectant les sols et l'atmosphère (il s'agit essentiellement de l'azote, et des impacts en terme de lessivage des nitrates et/ou d'émission de protoxyde d'azote). D'autre part, nous reviendrions sur les effets contradictoires de politiques visant d'une part à l'extensification (et favorisant a priori l'intra-consommation à la ferme de produits agricoles, par exemple pour l'alimentation animale), et d'autre part à la limitation des émissions de méthane (et donc en incitant à une modification de l'alimentation des troupeaux, les aliments concentrés industriels étant réputés moins méthanogènes que les aliments intraconsommés).

Compte tenu des difficultés dues à la mobilité des personnes initialement engagées dans ce programme, il apparaissait difficile d'être optimiste sur l'aspect de couplage entre modèles économiques et biophysiques. Ce handicap a pu être levé, mais tardivement, avec la participation en CDD d'une jeune ingénieure INA P-G. Mais l'approche "européenne" du problème a pu être plus ambitieuse que ce qui était initialement programmé. Ceci en particulier grâce aux développements du modèle économique à l'échelle européenne (dans le cadre d'un programme européen FAIR, 1997-2001).

- **Programme de travail (1999)**

Une nouvelle version du modèle est en cours d'estimation et de calibrage pour différents pays de l'Union Européenne à partir de données récentes (les dernières observations du RICA européen disponibles et accessibles à notre niveau datent de 1994). Il est cependant prévu d'utiliser dans un premier temps la version opérationnelle pour la France du modèle AROPAj. Cette version a déjà permis l'évaluation et la régulation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole. L'intégration du calcul des rendements végétaux par les fonctions de réponse "biophysique" sera donc réalisée au départ sur la base de cette version (**tâche 1**).

Parallèlement, le module effet de serre du modèle doit être amendé afin de mieux prendre en compte l'évolution des données techniques et économiques propres à la mesure des émissions et à leur régulation économique. Cette phase dépend essentiellement des informations fournies par nos collègues de l'INRA, pour ce qui relève des informations techniques, tandis que nous réorganiserons les schémas d'intervention économique (**tâche 2**).

L'une des questions en suspens est l'intégration dans le modèle des relations entre les productions animales et les contraintes portant sur l'épandage des rejets d'origine animale (**tâche 3**). Cette phase ne pourra que s'appuyer sur des travaux préliminaires testés sur quelques groupes types du modèle.

Enfin, nous avons pour ambition d'intégrer progressivement toutes les améliorations dans le modèle européen (**tâche 4**). Paradoxalement, compte tenu de l'automatisation des procédures, compte tenu du caractère modulaire de l'ensemble du modèle, et compte tenu du principe unique de modélisation retenu (typologie, nomenclature des paramètres, des activités et des contraintes, communes aux différents pays de l'UE), cette tâche n'est pas la plus difficile. Elle suppose cependant de se donner les moyens informatiques suffisants (disponibilités en temps calcul et espace mémoire, gestion des paramètres et résultats en entrée et en sortie). Il nous faut tenir compte du facteur limitant que constitue l'accès aux données.

La réalisation des simulations numériques, après choix des hypothèses et des scénarios, suivie de l'interprétation des résultats constitue la tâche la plus importante (**tâche 5**).

B - Travaux réalisés

Nous résumons ici ce qui a été réalisé, en rapport avec ce qui a été annoncé.

Les premiers travaux ont bénéficié de la collaboration du CEREOPA (Olivier Lapiere et Frédéric Pressenda, 1999-2001), de Guillaume Gruère, étudiant de l'INA-PG et du DEA "Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles (Paris X, INA-PG, ENGREF, EHESS, 2000), en stage dans le laboratoire (nouvelle UMR INRA-INA) entre mars et août 2000. Par ailleurs, une partie importante des travaux est valorisée dans un chapitre de la thèse de Stéphane De Cara soutenue en mars 2001, ainsi que par diverses publications et participations à congrès ayant pour partie des liens avec le programme GICC (voir liste à la fin de ce document). Enfin, les travaux de couplage entre modèle biophysique et modèle économique ont pu reprendre grâce à la participation de Caroline Godard (10/2001-02/2002).

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre des tâches définies par le programme de travail (voir ci-dessus), selon un calendrier modifié (voir la section "Difficultés rencontrées"). Selon l'ordre d'exécution, les travaux réalisés dans le cadre des tâches prédéfinies sont alors :

tâche 2 : *amendement du volet "effet de serre" du modèle.*

Ce travail a été réalisé en particulier par Guillaume Gruère, lors de son stage de fin d'études (DEA EERN et INA-PG, rapport septembre 2000). Sont progressivement testées les évaluations techniques aux normes "IPCC". Trois types de bilan sont proposés, un bilan "méthane entérique", un bilan "méthane - déjections animales" et un bilan "oxyde d'azote". Sont modifiés en conséquence le générateur de matrices, le programme de décryptage des paramètres, et le fichier des paramètres du modèle. Néanmoins, dans la mesure où les normes IPCC sont elles-mêmes sujettes à modification, les émissions de GES proposées par la version opérationnelle du modèle sont encore par défaut fondées sur les "normes INRA". Le rapport officiel de l'IPCC initialement prévu pour le début 2001 est paru bien après la réalisation du travail de Guillaume Gruère, de sorte que les fonctions de calcul des émissions n'ont pas été définitivement validées dans la version opérationnelle du modèle. Les modifications induites par ces fonctions ont été néanmoins testées sur la version "européenne" du modèle, appliquée à la France (rapport de Guillaume Gruère). Les résultats ont été présentés lors du séminaire GICC de Toulouse (septembre 2000).

tâche 3 : *relations entre productions animales, productions végétales, épandage.*

La transcription, par le CEREOPA, du modèle depuis la version opérationnelle sur serveur HP et écrite en MGG-SCICONIC en une version "Xpress" pour micro-ordinateur devrait aider au test des relations entre productions animales, productions végétales, et épandage. Par défaut, la transcription des relations préconisées par l'IPCC (cf tâche 2) permet de progresser dans l'évaluation des émissions d'origine agricole sur la base de la version opérationnelle du modèle. Cette tâche est encore au stade exploratoire.

tâche 4 : *évaluation à l'échelle européenne.*

Paradoxalement, cette tâche qui semblait la plus difficile à réaliser et proposée à titre exploratoire, a été menée à bien, dans la mesure où une première version « européenne » du modèle a été calibrée. Nous disposons d'une version "UE-12", calibrée sur la base de données micro-économiques de 1995 et utilisée dans les travaux cités en référence. Nous disposons ainsi de 472 groupes types d'exploitations agricoles définies selon un découpage par Etat membre et région, et selon un groupement par orientation technico-économique (cf la nomenclature OTE du RICA). Les analyses développées à l'échelle de la France, et présentées dans diverses publications et lors du séminaire international de l'AERE (Rethymnon, juillet 2000) ont été approfondies dans un chapitre de la thèse de Stéphane De Cara (soutenue en mars 2001).

Bénéficiant du soutien de la Commission Européenne, on dispose d'une version opérationnelle du modèle à l'échelle de l'UE-15, utilisée dans le cadre d'un contrat avec la Commission (DG AGRI), sur la base de données plus récentes, et qui devrait permettre une analyse cohérente et systématique des émissions de GES

d'origine agricole dans la perspective de l'application par l'UE du protocole de Kyoto. Cette version sera utilisée dans les programmes futurs de recherche.

tâche 1 : couplage de modèles économique et biophysique.

Grâce au projet financé par le programme GICC, mais tardivement à cause de difficultés dans le recrutement d'une personne compétente devant se substituer à la personne initialement prévue (démission de l'INRA), cette tâche a démarré récemment (octobre 2001). Elle est actuellement en cours de réalisation, et devrait se poursuivre grâce à des soutiens financiers complémentaires (y compris en provenance de l'INRA).

Dans un travail réalisé en 1998 dans le cadre d'un stage INRA-INAPG (Maugars S., (1998), **Couplage d'un modèle économique et d'un modèle biophysique pour la quantification des impacts environnementaux des cultures**, INRA-ESR Grignon, Mémoires et Thèses n° 28, Octobre 1998, 46 p. + annexes), de premiers essais de « couplage » entre modélisation économique et modélisation biophysique avaient ouvert une voie prometteuse. Il s'agissait d'élaborer des fonctions de réponse des rendements de culture lorsque varient les intrants. Parmi ces intrants, l'analyse se concentre sur les engrais azotés minéraux.

La méthodologie devait être réactualisée. Elle devait en particulier bénéficier des progrès importants concernant le modèle biophysique STICS, mis au point à l'INRA (EA – Avignon), et qui est dorénavant étendu à un large ensemble cultures dans des contextes pédo-climatiques différents.

C. Godard (Ingénieur CDD) a donc repris au point de départ l'ensemble de la méthodologie, en s'appuyant sur des ensembles de données structurées. Un très gros travail a été accompli sur les données, grâce à un accès privilégié à des données de trois types : « phénologie », « sol », « climat ». La méthodologie est testée sur plusieurs cultures, sur des exploitations agricoles type d'une région (au sens du modèle économique AROPAj), et plus précisément sur la base de données physiques concernant l'Ile de France. La fonction de réponse générique que l'on validera sera de type exponentielle (et non quadratique, comme retenu initialement dans l'étude précédente). Le module de calcul des rendements, associé au modèle AROPAj sera également totalement modifié.

En réalité, le travail important relevant du domaine de l'agronomie et des sciences du sol est dans une phase exploratoire. Compte tenu des perspectives ouvertes, de son caractère pluri-disciplinaire, et des moyens qu'il faudrait mettre en œuvre (traitement de grandes bases de données de sources différentes, et intégration par des systèmes d'information géographiques (SIG) permettant d'associer et de croiser des informations de nature différente), un projet a été déposé dans le cadre de l'appel d'offre 2002 du programme GICC. Il associera une équipe d'économistes et deux équipes de chercheurs en agronomie et sciences du sol.

En l'état actuel des choses, un rapport détaillé du travail réalisé ces 6 derniers mois, en cours d'enrichissement, est disponible sur demande. Il détaille la méthodologie, le travail réalisé sur les données, les simulations effectuées à partir de la dernière version disponible du modèle STICS (implantée sur PC/Windows), et le traitement des résultats du point de vue de l'agronome.

tâche 5 : réalisation des simulations numériques.

Les simulations effectuées concernent les travaux amont réalisés via les tâches 2 et 4. Elles sont à la base de divers rapports, présentations dans des congrès et publications, ainsi que de deux des chapitres de la thèse de S. De Cara.

C – Résultats synthétiques

Testée sur la France, une première évaluation des émissions de GES est fondée sur les normes définies par l'IPCC. Ceci permet en particulier de mesurer la différence des évaluations réalisées d'une part sur la base des premiers travaux de Bouwman (pour l'azote) et Sauvant (pour le méthane) (voir nos publications récentes, De Cara et Jayet, 1999, 2000), d'autre part sur la base de normes reconnues au niveau international.

Les différences proviennent à la fois des relations techniques et des variables effectivement prises en compte dans le modèle (i.e. les activités animales, les aliments pour animaux, les activités végétales pour la vente et l'alimentation animales, pour ce qui concerne l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole).

Les résultats sont disponibles dans le rapport de G. Gruère (2000).

Nous disposons également des premières évaluations (selon la première méthode) pour 12 pays de l'Union Européenne (voir aussi les résultats présentés dans le cadre du séminaire final du programme "Eurotools", qui faisait état de ces évaluations "effet de serre d'origine agricole" obtenus dans le cadre de la présente convention de recherche : <http://eurotools.stat.unibo.it/Brussels.html>). Ces 12 pays sont : la Belgique, les Pays-Bas, le Luxembourg, l'Allemagne (sans l'ex-Allemagne de l'Est), la France, l'Italie, le Royaume Uni, l'Irlande, le Danemark, la Grèce, l'Espagne et le Portugal. Depuis la fin du programme de recherche qui est ici rapporté, une version pour l'UE-15 est maintenant disponible.

Compte tenu du fait que le RICA européen est "moins riche" que le RICA national (pour la France par exemple), les versions « européennes » du modèle ne sont pas systématiquement meilleures dans tous les domaines que les versions "nationales" précédentes. Mais compte tenu des perspectives offertes en matière d'extension européenne et de disponibilité des données, la dernière version « UE-15 » a vocation à devenir la version opérationnelle du modèle pour les travaux à venir.

Une analyse plus systématique des impacts de politiques de régulation de l'effet de serre d'origine agricole est présentée dans les chapitres 6 (pour la France) et 7 (pour l'UE-12) de la thèse de S. De Cara. Ces résultats ont également été présentés au congrès de l'EAERE à Rethymnon (juin 2000) et au congrès de l'AEA à Chicago (août 2001).

Enfin, nous sommes en train de « finaliser » un jeu de fonctions de réponse des rendements des cultures aux fertilisants azotés minéraux, qui alimentera le module concerné dans le modèle d'offre agricole AROPAj. A terme, en associant un système d'information géographique et les bases de données européennes disponibles, nous pourrions intégrer le module de calcul des rendements et de certaines charges variables dans le modèle AROPAj (il conviendra de se rapporter

au document en cours de rédaction, portant sur la présentation et la validation des fonctions génériques de réponse des rendements aux engrais, document dont il sera fait état dans les résultats à venir des travaux financés par les APR GICC 2001 et 2002).

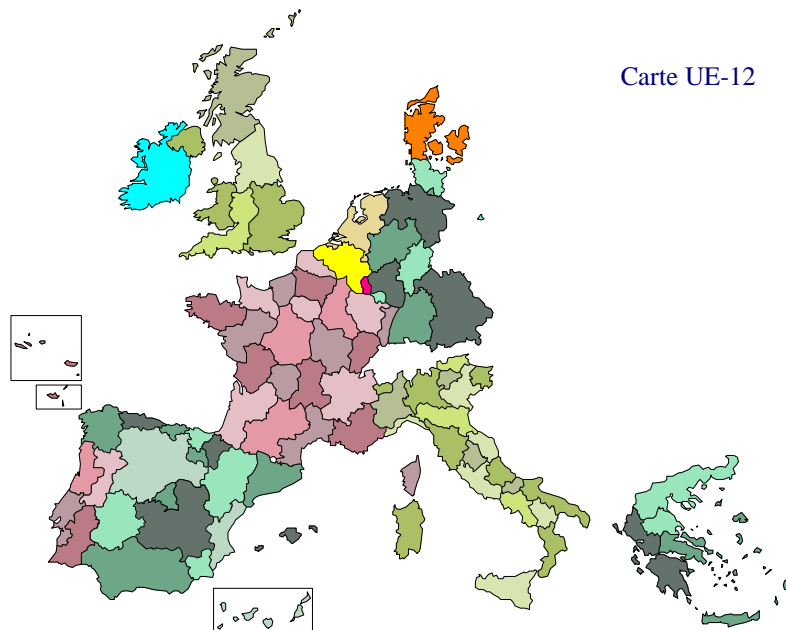
D - Résumé détaillé des travaux et des résultats

• Le modèle et les données économiques et techniques de base

Les résultats sont obtenus à l'aide d'un modèle générique d'exploitation agricole type distribué pour des exploitations agricoles d'orientation technico-économique différente appartenant à toutes les Régions de l'Union Européenne (UE). Le modèle AROPAj utilisé dans le cadre de ce programme de travail est décliné en différentes versions, au fur et à mesure de son développement.

La version la plus récente utilisée dans le cadre de cette étude est la version « UE-12 » comportant 472 exploitations agricoles types représentant les 12 Etats composant l'UE pour lesquels nous disposons des données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA) pour l'année 1994. Il s'agit de l'Union Européenne sans l'Allemagne de l'Est, avec l'Autriche, la Suède et la Finlande (voir la carte).

Pour mémoire, la dernière version opérationnelle du modèle AROPAj, développée dans le cadre d'une étude réalisée en 2001 pour la Direction Générale de l'Agriculture de la Commission Européenne pour l'UE-15, porte à 734 le nombre d'exploitations types représentant les 101 Régions concourant à la production agricole de l'UE.



Les résultats numériques dont il est fait état ici se rapportent à la version UE-12 du modèle, ou à la version antérieure disponible pour la France (82 groupes types désagrégés en 691 sous-groupes selon la distribution de la surface agricole utile (SAU) des exploitations).

Les premières évaluations des émissions de GES proposées pour le secteur agricole à partir de ce modèle concernent les émissions de N₂O liées à la consommation des engrais minéraux, et les émissions de CH₄ liées à la fermentation entérique des herbivores. Elles sont au départ fondées sur les relations techniques respectivement issues des travaux de Bouwman pour le protoxyde d'azote et de Sauvant pour le méthane (voir encadré 1). En réalité, ces évaluations sont déficientes dans la mesure où il y a eu confusion, dans les relations de Bouwman, dans les unités employées (la variable « N » du modèle statistique est comptabilisée en quantité d'azote et non en quantité de N₂O !). Un certain nombre de résultats erronés ont été répercutés dans les premières estimations fournies (figure 1 par exemple). On trouvera un exemple de correction des estimations dans la présentation des résultats effectuée lors du séminaire GICC d'avril 2002, qui devrait être rendue disponible sur le site internet consacré à l'ensemble des travaux « GICC ».

Le stockage du carbone est également présent dans le modèle, avec le carbone du sol par les estimations techniques fournies par Balesdent, et avec les biomasses ligneuses dont les plantations seraient autorisées sur les terres mises en jachère fixe dans le cadre de la PAC. Il s'agit, dans ce dernier cas, d'une option de politique agricole que l'on peut combiner à différentes options de taxation des émissions brutes de GES et de prime à la séquestration du carbone.

Encadré 1

Relations entre activités agricoles et émissions de GES

• Approche technique «INRA»

- méthane «entérique»
 - $E\text{-CH}_4 / EB = a + b \text{ DE}$
 - 2 types d'aliments
 (Sauvant et al., 1996)
- protoxyde d'azote
 - $N_2O = a + b N$
 (Bouwman, 1989)

Séquestration carbone

- sol (selon cultures)
- C aérien (forêt)

• Approche normes «IPCC»

- méthane «entérique»
 - type d'animal
 - $GE = f(\text{DE} ; \text{poids, lait, ...})$
 - $E = g(\text{GE} ; \dots)$
- méthane déject. anim.
 - type d'animal
 - $Déj = f(\text{GE, DE, frac}_{\text{minér}})$
 - $E = g(\text{Déj, gestion, climat})$
- protoxyde d'azote
 - $N_2O = f(N, \text{Népan}, \text{App}_{\text{fix}_{\text{bio}}}, \dots)$

Des évaluations complémentaires ont été proposées en prenant appui sur les méthodes d'estimation proposées dans le rapport de l'IPCC (1995).

- **Analyses de « premier rang »**

La figure 1 présente les évaluations des émissions de GES d'origine agricole pour les 12 Etats membres de l'UE-12, dans la situation de la PAC de 1995, selon les deux modes d'estimation « INRA » et « IPCC ». Elle traduit l'évidente disparité des émissions que l'on peut aisément corrélérer avec l'activité économique agricole et la SAU. Un certain nombre d'éléments ont été calculés à l'échelle européenne pour affiner l'analyse, en terme de poids respectifs des différentes sources d'émission et en terme de coût d'abattement (De Cara et Jayet, 2001b).

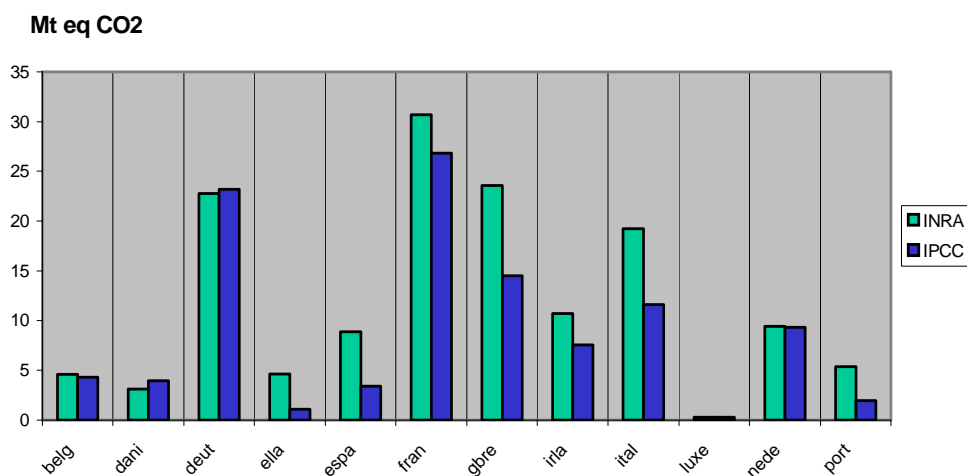


Figure 1. Emissions nettes de GES d'origine agricole pour 12 pays de l'UE

Les analyses économiques de premier rang qui visent à corriger l'externalité que constitue l'impact des émissions sur l'économie peuvent s'appuyer sur une approche « primale ». Parmi les analyses de premier rang, considérons par exemple celle qui consiste à taxer (respectivement primer) les émissions (respectivement les puits) de carbone que l'on suppose alors parfaitement connues et observables. Rappelons que théoriquement le niveau de la taxe est supposé refléter le dommage marginal social imputable à la dernière unité de carbone émis (dommage que le rapport 1995 de l'IPCC situait dans un intervalle [5,125]\$/t).

La figure 2 montre l'impact d'une telle taxe sur les émissions des pays de l'UE-12, et la répartition de l'effort de réduction entre ces pays. Indépendamment même des valeurs affectant chacun des pays, on montre à l'occasion que la répartition de l'effort peut évoluer sensiblement avec le niveau de la taxe.

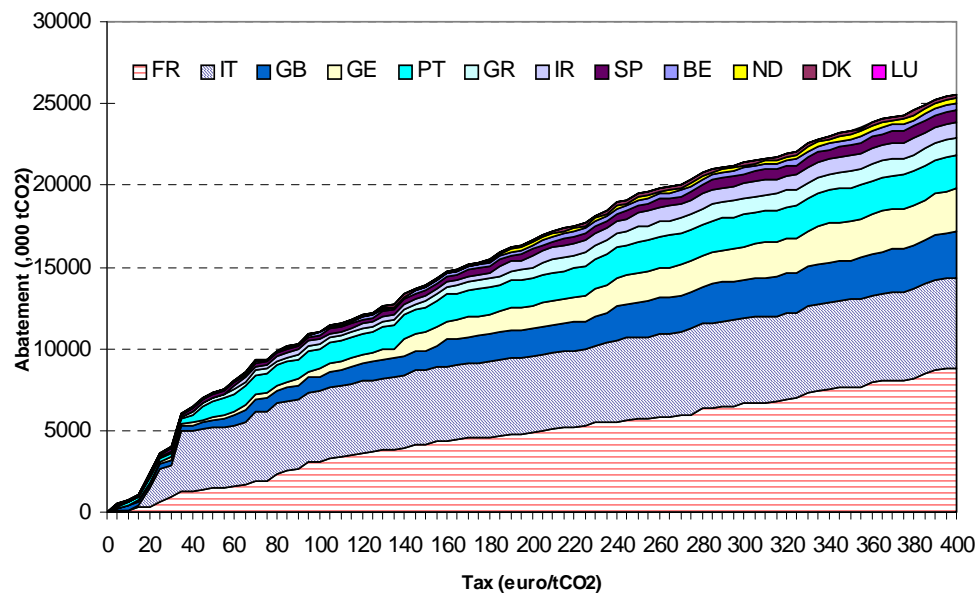


Figure 2. Part de l'effort de réduction des émissions de GES en fonction de la taxe de 1^{er} rang portant sur le carbone net émis et des pays émetteurs.

Les analyses duales que nous proposons ensuite sont fondées sur la mise en œuvre de quotas fictifs d'émissions nettes attribuées à chacun des groupes types de producteurs représentés dans le modèle. Plus précisément, ces quotas sont un pourcentage des quantités émises hors quota.

La figure 3 présente une approche « duale » pour la France, sous forme de coût d'abattement des émissions nettes, avec une variante associée à l'autorisation de boisement des jachères fixes (De Cara et Jayet, 2000c). Les distributions fournies tiennent compte de la représentativité des différents groupes types de producteurs français.

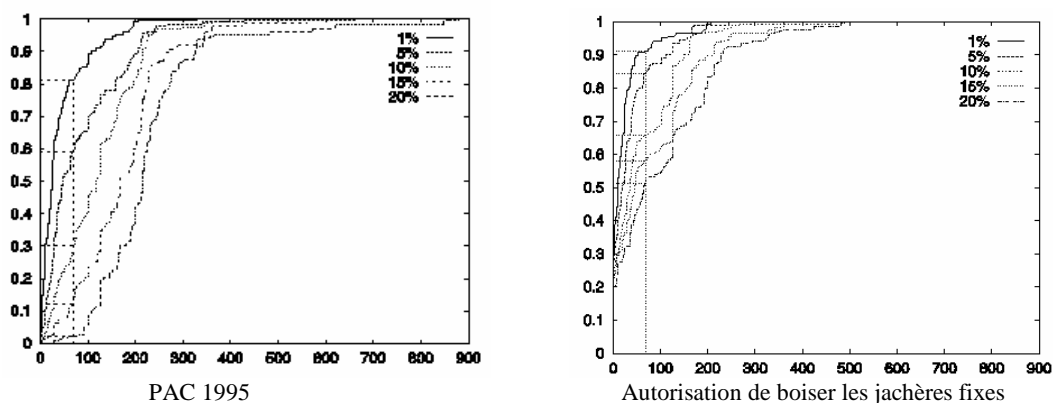


Figure 3. Distribution en France des coûts marginaux de réduction des émissions de GES agricoles (€/tC), source : Oxford University Press, European Review of Agricultural Economics, vol. 27, n° 3, 2000/09, pp 281-303.

La distribution des coûts marginaux de réduction des émissions (équivalent au prix fictif du carbone agricole net émis) est donnée pour différents niveaux de réduction identiques pour tous les producteurs (de 1 à 20% des émissions initiales). On constate évidemment le déplacement vers « la droite » de la distribution – vers des prix plus élevés – lorsque l'exigence de réduction augmente. On constate surtout l'impact important de l'autorisation de boiser les jachères fixes, qui confèrent des droits d'émission « gratuits » aux producteurs disposant de grandes superficies et fortement contraints par la PAC à geler leurs terres.

L'interprétation de ces courbes nous informent par exemple qu'une taxe de premier rang de 80€/tC conduirait 80% des producteurs à limiter leurs émissions à un niveau supérieur ou égal à 1%, dans le cadre le Politique Agricole Commune mise en œuvre en 1995. Ils ne seraient plus que 10 à 15% pour réduire leurs émissions d'au moins 20%. Avec l'autorisation de boisement des terres mises en jachère fixe, les valeurs sont 90%, et 55 à 60% respectivement, pour des niveaux comparables de réduction des émissions.

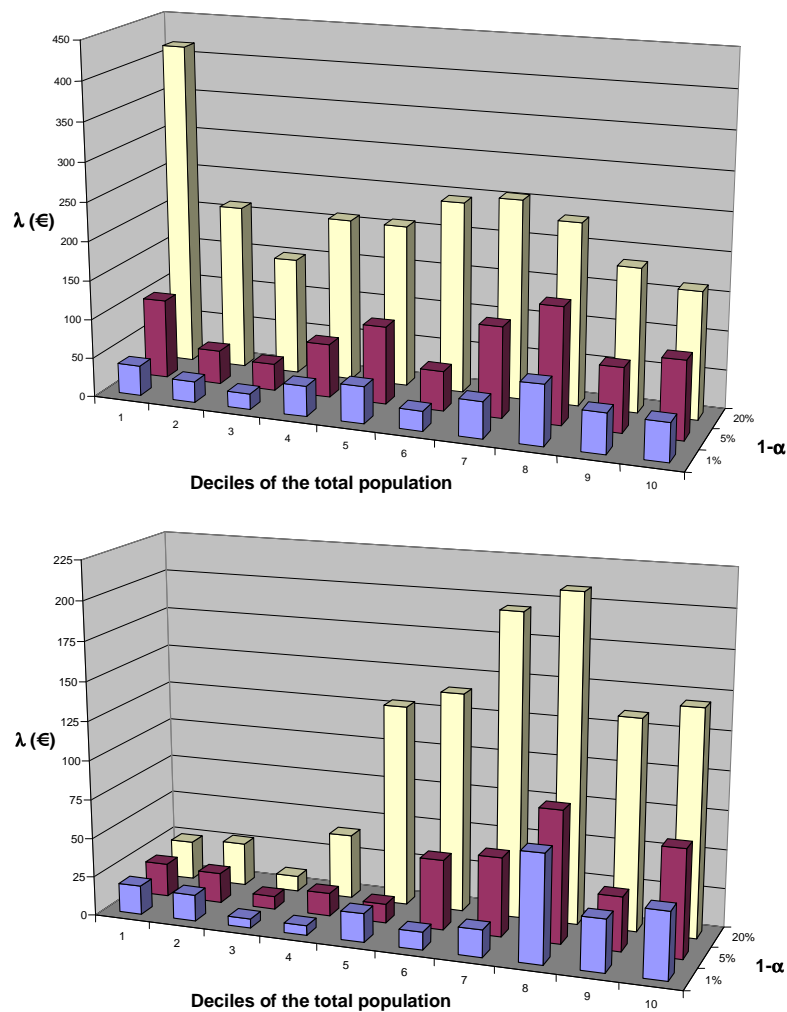


Figure 4. Distribution des coûts marginaux de réduction en fonction du niveau d'effort ($1-\alpha$) et du chargement animal (répartition en déciles) sans (en haut) et avec (en bas) autorisation de boisement.

En liaison avec ces résultats, nous proposons dans le même article un lien entre le coût d'abattement et la disponibilité des terres pour le reboisement, qui, dans le cadre de la PAC, offre des crédits d'émission à certaines catégories de producteurs (figure 4). Ce lien est établi via le chargement animal par unité de surface.

Des analyses duales de même type ont été pour partie réalisées pour l'UE-12 (figure 5). Les interprétations sont évidemment les mêmes que pour la France. Une analyse plus détaillée permettrait de mettre en évidence les différences entre Etats membres. Ces différences portent sur les marges de manœuvre dont les Etats pourraient bénéficier dans le cadre d'accords internationaux incluant le stockage du carbone dans les sols et dans les plantations boisées. Elles compliquent le jeu communautaire dans la perspective d'un accord signé par l'UE en tant qu'acteur unique, à charge pour l'UE de répartir les efforts consentis en matière de réduction des émissions de carbone entre les différents Etats membres.

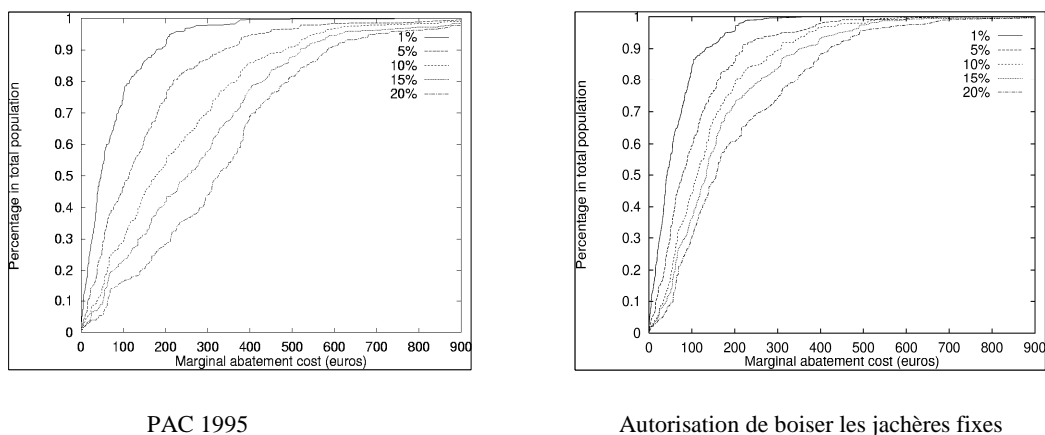


Figure 5. Distribution pour l'UE-12 des coûts marginaux de réduction des émissions de GES agricoles (€/tC)

- **Analyses de « second rang »**

Les analyses de premier rang supposent que les émissions individuelles sont parfaitement connues et observables. En réalité le plus important est qu'elles soient observables (on peut les connaître « statistiquement » sans nécessairement pouvoir observer ce qu'émet chacun des producteurs considéré individuellement). Evidemment, l'observabilité est inaccessible pour une autorité de régulation, ne serait-ce qu'en raison du coût.

Mais à défaut de savoir ce qu'émet chacune des parcelles en N₂O, ou chacun des herbivores en CH₄, on peut associer les émissions à leurs causes supposées qui, elles, sont choisies en fonction de leur caractère observable. Pour les cultures, on peut retenir les engrais minéraux (achetés, ils transitent par le marché et peuvent être taxés). Pour les animaux, on peut retenir l'animal proprement dit (en général connu comme peut l'être un animal bénéficiant le plus souvent de primes dans le

cadre de la PAC), ou l'aliment (qui, pour partie – les aliments concentrés industriels – transite par le marché).

En relation avec la recherche de politiques effectives de régulation et l'évaluation de leurs impacts, des analyses de « second rang » ont été proposées pour la France (De Cara et Jayet, 2000a).

La figure 6 présente les résultats concernant le « dommage » (i.e. les émissions nettes), évalué en millions de tonnes de carbone, et la valeur du critère social, évalué en milliards de francs. Ce dernier agrège (i) les profits des producteurs, (ii) les impacts budgétaires liés aux aides directes de la PAC, aux impacts sur les exportations agricoles et aux recettes fiscales nettes de la régulation de l'effet de serre, (iii) les dommages).

Les scénarios sont fondés sur le principe d'une taxation des aliments et des animaux modulée selon des plages de valeurs assez larges (0 à 150 F/t et 0 à 600 F/UGB respectivement), ainsi que sur une prime « carbone » offerte aux jachères boisées en fonction de la surface. Quatre niveaux de prime ont été retenus. Dans le premier cas, le boisement autorisé sur jachère n'ouvre pas droit à rémunération (ce qui le rend équivalent à de la jachère nue). Dans le second cas, les productions ligno-cellulosiques bénéficient d'une rémunération actualisée nette privée équivalente à celle calculée à l'échelle régionale pour des productions de même nature. Dans les 3^{ème} et 4^{ème} cas, une prime additionnelle de 400 et 800 F est offerte par hectare de terre boisée sur jachère fixe. On trouvera les autres hypothèses qui sous-tendent l'évaluation dans l'article précité.

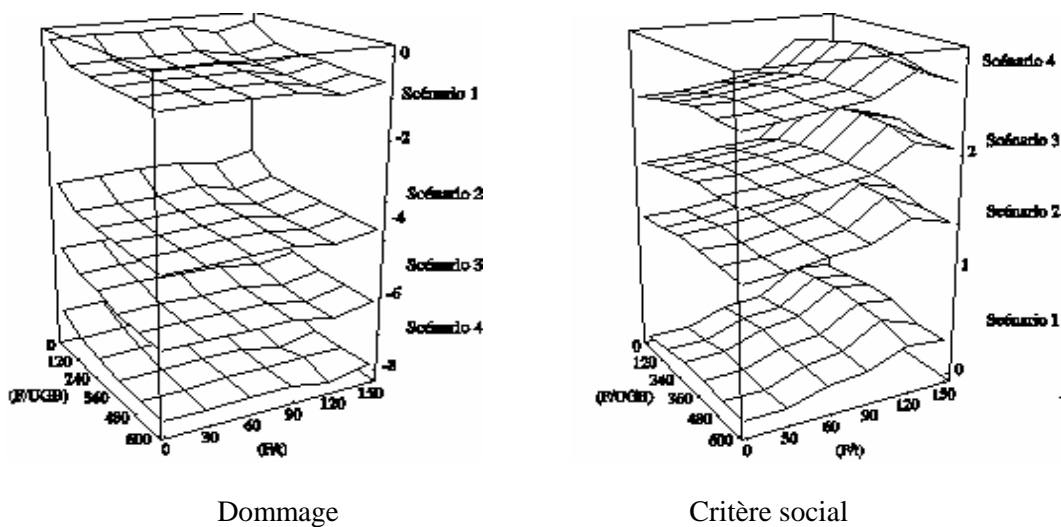


Figure 6. Impact d'un couple de taxes de 2nd rang sous différents niveaux de prime du carbone séquestré.

Il apparaît que le couple optimal de taxes qui ressort des simulations a un impact bien plus faible que la prime offerte au boisement des jachères. Ce couple optimal de taxes dépend par ailleurs assez peu de ce qui est offert aux producteurs en matière de soutien au boisement (ce qui n'est pas totalement surprenant, dans la

mesure où la jachère fixe concerne plus les producteurs en grandes cultures que les éleveurs qui sont ici en « première ligne » avec la taxation des causes supposées des émissions de méthane).

Il conviendrait de compléter ces analyses par des analyses incluant la taxation des engrais azotés. Quoiqu'il en soit, et même si le « carbone bois » doit être mieux apprécié du point du stockage du carbone en fonction des usages futurs du bois ainsi produit, le régulateur peut être légitimement conduit à privilégier l'incitation au stockage du carbone via le reboisement des terres, plutôt que de s'engager dans des politiques de taxation plus complexes et qui conduisent à reprendre aux agriculteurs une partie de ce que la PAC leur accorde (si l'on s'accorde sur le montant des taxes optimales calculées, par exemple de 120 F par « unité gros bétail »).

A charge pour le régulateur de rechercher le financement des primes ainsi offertes. En réalité des motifs d'ordre financier pourraient conduire le régulateur à une politique combinant primes et taxes, ces dernières finançant les premières. Mais l'impact discriminant grandes cultures et élevages demeurera, au détriment des éleveurs qui bénéficient moins de « crédits d'émission » via les terres qu'ils pourraient consacrer au stockage (cette appréciation pourrait être tempérée par le stockage de carbone additionnels dans les sols des prairies, stockage plus important que les sols consacrés aux « grandes cultures »).

- **Ajustement des rendements de culture**

Enfin, l'un des aspects du projet qui a soulevé de plus grandes difficultés dans la recherche, indépendamment de sa dimension scientifique, a pu être abordé en fin de programme. Il s'agit de la réponse des rendements végétaux lorsque varient les facteurs de production (l'eau, les engrais, ...), et à terme, de la réponse des rendements face aux changements climatiques (températures, pluviométrie, concentration atmosphérique en CO₂).

A l'interface des questions et des modèles qui relèvent de l'économie et de l'agronomie, l'élaboration de fonctions de réponse des rendements végétaux vis à vis des amendements azotés a pu être esquissée. En réalité, outre la valorisation de ce type d'approche dans chacune des seules disciplines concernées, la sensibilité de ces fonctions de réponse vis à vis des paramètres du changement climatique doit être mise en avant. Compte tenu des résultats finalement obtenus, de la richesse des données auxquelles nous avons accès, et du travail important qui reste à accomplir, ce travail fait l'objet d'un financement de thèse (la thèse de C. Godard bénéficie d'un co-financement ADEME-INRA et débute en octobre 2002) et il fait l'objet d'un projet déposé dans le cadre de l'APR GICC 2002.

La figure 7 résume de façon qualitative le type de fonction élaborée pour quelques productions végétales et testée en mobilisant les données du modèle AROPAj et les données « sol » et « climat » fournies par des bases de données européennes compatibles avec le modèle agronomique STICS. Les tests qui ont porté sur quelques groupes types des Régions Centre et Ile-de-France sont concluants.

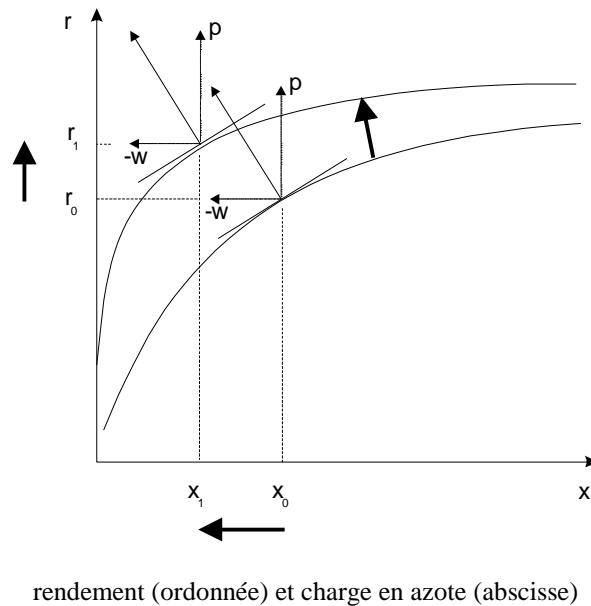


Figure 72. Variation de l'intrant et du rendement dans un contexte de changement climatique à prix constant.

En matière de spatialisation des impacts, un projet financé par le programme GICC sur la base de l'APR 2001 en est à la phase d'acquisition de données (avec la perspective de l'utilisation des informations mises en forme dans le cadre du programme CORINE Land Cover) et d'acquisition d'un système d'information géographique. Outre ces deux aspects, nous tentons d'organiser les données requises pour une évaluation du potentiel « bois » que pourraient receler les terres agricoles dans l'hypothèse d'une évolution de la PAC favorable à ce mode de reconversion des terres. D'une façon générale, ceci nous renvoie à des problèmes de fertilisation croisée entre disciplines scientifiques sur lesquels nous porterons l'effort dans les programmes en cours et les projets à venir.

E - Difficultés et opportunités rencontrées

Compte tenu des mouvements de personnels et des changements intervenus dans l'équipe de recherche, les tâches définies dans le projet financé dans le cadre de la présente convention ont été remodelées et interverties.

Quatre des personnes initialement pressenties pour participer à ce programme de recherche ont changé ou vont changer d'activité (post-doc aux Etats Unis, affectation du thème de recherche dans le cadre d'une thèse, départ, mobilité au sein de l'INRA). Ces difficultés affectent particulièrement ce qui devait être réalisé dans la tâche 1.

Par contre, l'extension du modèle européen dans sa version "Eurotools" à l'UE-15 qui risquait d'être compromise d'une part compte tenu de l'enveloppe budgétaire accordée, d'autre part du fait de la ré-organisation de l'équipe et de la mise à jour des compétences en matière de base de données (accès, traitements économétriques), a pu être finalement rendue opérationnelle.

L'avancement des travaux résulte en grande partie de ce qui a été réalisé dans le cadre du programme "Eurotools" financé par l'Union Européenne. Le programme de recherche « GICC » va également bénéficier des résultats d'une étude réalisée à la demande de la Commission à la suite d'Eurotools. C'est dans ce cadre européen que la version européenne du modèle Aropaj a été réalisée. Ont participé à ce travail Annie Hofstetter, Eleonora Marzocchi, et Stéphane De Cara. Le travail de DEA de Michele Donati, lié également au programme Eurotools et à la collaboration avec l'Université de Parme, et portant sur la programmation mathématique positive, peut également s'inscrire dans le programme GICC. Michele Donati a permis de progresser sensiblement dans la transcription du modèle dans un environnement informatique correspondant plus au standard du moment (logiciel GAMS).

Il convient néanmoins de mentionner les difficultés administratives, qui font que lorsque des jeunes chercheurs compétents sont intéressés par le prolongement de travaux réalisés dans le cadre de leur formation (DEA ou thèse), il n'est pas possible de les salarier de façon simple (alors même que leur situation est parfaitement claire). Lorsque le problème s'est posé fin 2000, l'un partait en post-doc aux USA, l'autre allait bénéficier d'une allocation de thèse de la part de son université d'origine.

Malgré cela, les fonds prévus au titre des dépenses de personnel pourront finalement être utilisés grâce à l'embauche d'un CDD pour la période octobre 2001 – février 2002 (compatible du point de vue INRA avec les échéances du contrat). Ceci nous aura finalement permis de revenir et de progresser sur la tâche 1.

F - Publications liées au thème et au programme

Les publications plus directement liées au programme GICC sont précédées un *.

- * **De Cara, S. ; Jayet, P.A., 2001b, Agriculture and Climate Change in the European Union: Greenhouse Gas Emissions and Abatement Costs**, Présenté au meeting annuel de l'AAEA – Chicago, 4-8 Août 2001, 23p.
- * **De Cara, S. ; Jayet, P.A., 2001a, International environmental agreement : stability, transfer and sequential membership**, EAERE, Southampton, 28-30 juin 2001.
- * **De Cara S., 2001, Dimensions stratégiques des négociations internationales sur le changement climatique**, thèse de doctorat soutenue le 9 mars 2001.
- * **De Cara, S. ; Jayet, P.A., 2000c, Emissions of greenhouse gases from agriculture : the heterogeneity of abatement costs in France**, *European Review of Agricultural Economics (GBR)*, vol. 27, n° 3, 2000/09, pp 281-303.
- * **De Cara, S. ; Jayet, P.A., 2000b, Régulation de l'effet de serre d'origine agricole : puits de carbone et instruments de second rang**, *Economie et Prévision*, 143-144, 2000, pp 57-67.
- * **De Cara, S. ; Jayet, P.A., 2000a, Emissions of greenhouse gases from French agriculture : an economic approach**, 10. Annual conference of the

- EAERE, Rethymno (GRC), 2000/06/30 - 2000/07/02 - EAERE, European Association of Environmental and Resource Economists., 31 p.
- *Disponible à l'URL : <http://www.soc.uoc.gr/eaere2000/papers/PDF/h3-jayet.pdf>.*
 - **Jayet, P.A. ; De Cara, S. ; Donati, M., 2000**, Eurotools workshop : Tools for evaluating EU agricultural policy at different decision levels, Bruxelles (BEL), 2000/10/20 - European Commission of the EU, DG Research, DG Agriculture, Bruxelles (BEL). - 2000, 36 p.
Les travaux réalisés dans le cadre du programme européen Eurotools (FAIR 5-CT97-3403) ont fait l'objet de diverses présentations : Bologne et Madrid, 1998, Reading et Grignon, 1999, et Parme et Bruxelles, 2000. Une synthèse résume ces travaux et est disponible à l'URL : <http://eurotools.stat.unibo.it/>
 - **Donati M., 2000, Principes et méthodes pour la mise en oeuvre de la Programmation Mathématique Positive**, mémoire de DEA, INRA ESR Grignon, novembre 2000, 61 p.
 - * **Gruère G., 2000, Greenhouse gaz emissions from the European agriculture : a methodology for emission estimates, reduction sharing and economic regulation**, mémoire de DEA, INRA ESR Grignon, septembre 2000, 64p.

G- Disponibilité des données

Les données micro-économiques "brutes" (i.e. le RICA européen) ne sont pas rendues publiques en respect des règles de la Commission (DG AGRI). Les données "transformées" en paramètres du modèles pourraient l'être sous certaines conditions, mais elles sont formatées sur fichiers "txt", et non sous la forme standard d'une base de données.

Les données techniques, insérées dans le jeu de paramètres complets du modèle, proviennent de l'IPCC ou d'articles de collègues Inra ou étrangers souvent cités.

La question de la banque de données se posera avec plus d'acuité pour les programmes à venir (APR 2001, et APR 2002 en attente de confirmation pour l'acceptation définitive et son financement).