

Impact économique du changement climatique sur l'alimentation animale et l'élevage dans l'Union Européenne

P. Aghajanzadeh-Darzi^{1,2}, P.-A. Jayet¹

De nombreux modèles permettent de simuler les effets du changement climatique sur les productions végétales et leurs répercussions sur les systèmes fourragers. Mais qu'en est-il à l'échelle de l'exploitation d'élevage, lorsque l'on prend en compte les aspects économiques et les modifications de pratiques induites par le changement climatique, lesquels interagissent sur les changements d'affectation des sols et l'alimentation animale ?

RÉSUMÉ

L'étude repose sur les résultats obtenus avec le couplage d'un modèle de culture (STICS) et d'un modèle agro-économique (AROPAj), sous différents scénarios résultant de simulations du climat à long terme, à l'échelle européenne. Les cultures fourragères se développeraient au détriment des surfaces en prairies. L'adaptation des pratiques agricoles dans le futur lointain pourrait augmenter les émissions directes de GES des systèmes de culture via une plus grande consommation d'engrais azotés, effet que pourrait atténuer l'instauration d'une taxe sur ces émissions d'origine agricole. Les systèmes d'élevage pourraient moins bien résister que les systèmes de culture si les prairies devaient subir une diminution significative de leur surface.

SUMMARY

Economic impact of climate change on animal nutrition and livestock farming in the European Union

A crop farming model (STICS) and an agro-economic model (AROPAj) were coupled in order to assess the economic aspects and changes in farming practices induced by climate change on a European scale, based on different scenarios simulating long term climate changes. Forecasts were made for changes in land use and animal nutrition. Forage crops are expected to expand and take over grassland. In the long term, these new farming practices could increase direct greenhouse gas emissions due to a wider use of nitrogen fertilizers, a trend which could be reversed by taxing emissions. In this context of significantly reduced grassland, it may prove more difficult for livestock systems to subsist as opposed to crop farming systems.

L'accroissement de la population humaine et de la solvabilité d'un plus grand nombre de consommateurs exerce une pression croissante sur les marchés alimentaires, y compris ceux de la viande et des produits de l'élevage. Il est par conséquent essentiel de travailler sur les facteurs susceptibles d'influencer la production. Le changement climatique est l'un des éléments qui devraient conjointement avoir un impact significatif sur les systèmes alimentaires, la vulnérabilité de l'agriculture et la sécurité alimentaire dans le monde (FISCHER *et al.*, 2002). L'agriculture connaît particulièrement ces

effets depuis les années 1980, lorsque les premiers signes de la perturbation des équilibres naturels et environnementaux ont été enregistrés. La relation entre l'élevage et le changement climatique est soumise à un processus complexe. L'élevage contribue aux changements climatiques ; il est dans le même temps affecté par ces changements, avec des conséquences négatives sur la santé des animaux, sur la production économique qui leur est associée, ainsi que sur la qualité et la quantité des aliments tels que les fourrages et les céréales.

AUTEURS

1 : INRA, UMR 210 Economie Publique, INRA-AgroParisTech, F-78850 Grignon ; jayet@grignon.inra.fr

2 : ADEME, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, F-49004 Angers

MOTS CLÉS : Agriculture, aspect économique, changement climatique, Europe de l'Ouest, facteur climat, gaz à effet de serre, politique agricole, prévision, production agricole, production céréalière, production fourragère, simulation, surface fourragère, système d'exploitation.

KEY-WORDS : Agricultural policy, agricultural production, agriculture, cereal production, climatic change, climatic factor, economical analysis, farming system, forage area, forage production, forecast, greenhouse - effect gas, simulation, UE.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Aghajanzadeh-Darzi P., Jayet P.A. (2013) : "Impact économique du changement climatique sur l'alimentation animale et l'élevage dans l'Union Européenne", *Fourrages*, 215, 193-200.

De nombreux travaux ont été réalisés pour étudier les impacts du changement climatique sur l'agriculture. TOPP CAIRISTONA *et al.* (1996) montrent qu'une augmentation de rendement annuel des graminées, sous haute température et niveau élevé d'émission de CO₂, conduit à une hausse de rendement laitier moyen par vache. À l'inverse, HANSON et BAKER (1993) font état d'une baisse de la production animale, provoquée par l'augmentation de la température ambiante et la baisse de la qualité des plantes fourragères. Le changement du climat pourrait aussi influencer la répartition spatiale des espèces : selon l'étude de BAKKENED *et al.* (2006), sous l'effet du climat simulé pour 2100, plus de 50 % des espèces seraient invasives au nord de l'Europe et environ 25 % disparaîtraient dans le sud de l'Europe. Certaines études sont essentiellement structurées autour des effets des changements climatiques sur l'agriculture française. MOREAU et LORGEOU (2007) montrent des effets divergents sur les systèmes fourragers français. Ils montrent que le changement climatique entraîne une possibilité de repousse de l'herbe en automne et peut aussi avoir des effets négatifs sur la croissance de l'herbe et le système d'élevage, effets négatifs générés par des périodes de sécheresse estivale plus intenses et plus durables. SOUSSANA *et al.* (2002) estiment probable l'accroissement du rendement des prairies dans le Massif central par l'effet combiné d'un réchauffement global modeste (+2,5°C) et d'une augmentation de la concentration en CO₂ (700 ppm). Ceci rejoint les résultats du travail de RUGET *et al.* (2012), reposant sur une double approche combinant simulations et expérimentation, qui montre une légère augmentation des productions fourragères dans le futur lointain dans les régions du Sud-Est de la France.

L'étude proposée ici combine la modélisation agro-économique (AROPAj) déjà utilisée pour l'étude des relations entre agriculture européenne et climat (voir par exemple LECLERE *et al.*, 2013) et une approche économétrique très simple mobilisant des résultats en cours d'élaboration à l'IIASA (ANIMALCHANGE-FP7, 2012 ; AGHAJANZADEH-DARZI *et al.*, 2013). L'approche économétrique

utilise ces résultats comme des pseudo-données permettant d'associer changement climatique et productions fourragères. Ceci permet d'étendre à ces productions les facteurs d'impact du climat que la modélisation (AROPAj et STICS¹) avait permis de déterminer pour les principales cultures de vente (LECLERE *et al.*, 2013).

1. Méthodologie et présentation des modèles

Ce travail repose sur la méthode de **couplage entre le modèle économique de l'offre agricole (AROPAj) et le modèle de croissance de culture (STICS)** développée et utilisée dans différents articles (GODARD *et al.*, 2008). L'attention est portée sur le fait que le changement climatique affecte simultanément les productions animales et les productions végétales qui, à l'échelle de l'exploitation agricole, sont en interaction par l'alimentation animale et par la production d'amendements organiques (riches en azote). Les productions de céréales à paille sont particulièrement bien représentées dans le modèle agro-économique AROPAj (blé tendre, blé dur, orges, maïs grain, avoine, seigle, autres céréales) et le modèle STICS a été utilisé pour les principales d'entre elles (blé tendre, maïs, orges).

Par ailleurs, le modèle prend explicitement en compte le fait que ces productions céréalières peuvent être collectées et vendues ou utilisées sur la ferme pour l'alimentation animale. Dans le modèle, la situation des prairies et fourrages est à la fois plus simple (la production est entièrement consommée à la ferme) et plus complexe (le modèle STICS est moins développé sur ces productions, et l'ajustement AROPAj-STICS est compliqué par le fait que nous ne disposons pas de « prix »)².

Dans notre étude, nous avons ajouté les productions fourragères comme productions explicitement sensibles au climat ; c'était d'autant plus novateur dans la modélisation quantitative que nous ne disposions pas de l'évaluation des facteurs d'impacts du climat sur les productions fourragères, à l'image de ce qui avait été réalisé précédemment avec AROPAj pour les productions de grande culture. L'idée est ici d'utiliser les évaluations faites à l'IIASA dans le cadre du programme FP7 Animal-Change (AGHAJANZADEH-DARZI *et al.*, 2013) en matière d'impact du climat sur les rendements des différentes productions, fourrages compris. Même si ces évaluations ont été réalisées à l'échelle d'un pays membre de l'UE, alors que les agents économiques à la base du modèle AROPAj sont les « exploitations types » définies à l'échelle régionale, elles ont le mérite d'offrir la possibilité d'une évaluation de l'impact du climat sur les rendements fourragers. Ceci permet donc d'améliorer la sensibilité du

1 : STICS est un modèle de fonctionnement des cultures à pas de temps journalier (BRISSEON *et al.*, 1998).

2 : Le couplage AROPAj-STICS permet d'élaborer un ensemble de fonctions « dose - réponse » associant l'apport d'azote et le rendement des cultures. La méthode de sélection de ces fonctions, développée par GODARD *et al.* (2008), repose en particulier sur la connaissance des rapports de prix du produit (de la culture) et du facteur (le fertilisant azoté).

Abréviations

ARn : *Assessment Report* (du GIEC), "n" étant l'indexation des différentes éditions

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

IIASA : Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliqués

OTEx : Orientation Technico-économique des Exploitations : nomenclature en 14 types, proposée par le RICA et fondée sur la décomposition de la marge brute selon les principales productions.

RICA : Réseau d'Information Comptable Agricole

SRES : *Special Report on Emissions Scenarios*, le rapport spécial sur les scénarios d'émission du GIEC

SSPn : *Shared Socioeconomic reference Pathways*, les scénarios socio-économiques du GIEC, "n" étant l'indexation des différents scénarios

UE : Union Européenne

modèle agro-économique à différents scénarios de changement de politique agricole et de changement climatique.

■ Modèle économique de l'offre agricole (AROPAj)

Développé par l'INRA, AROPAj est un modèle de programmation linéaire annuel qui **simule l'offre agricole de l'Union Européenne à une échelle infrarégionale** (« exploitations agricoles types ») en fonction de différents paramètres décrivant le contexte économique (DE CARA et JAYET, 1999, 2000 et 2011 ; CANTELAUBE *et al.*, 2012 ; GALKO et JAYET, 2011). AROPAj calcule les choix individuels effectués par les agents (*i.e.* les exploitations types) en termes d'allocation des surfaces, de production animale, de collecte végétale et d'autoconsommation. Il **optimise la marge brute des agriculteurs en fonction des prix des produits, des taxes, des aides directes et du coût des intrants**. Dans la mise en œuvre d'AROPAj, il est important de noter que la superficie agricole utilisée par chaque exploitation est constante (le changement de la surface agricole utile, SAU, est exogène) et les éleveurs ont la possibilité de modifier leur capital animal dans un intervalle choisi (on opte le plus souvent pour l'intervalle $\pm 15\%$ du capital animal initial).

Le premier objectif du modèle AROPAj a été d'évaluer les impacts de la Politique Agricole Commune (GALKO et JAYET, 2011). Ce modèle a par la suite été utilisé pour traiter des problèmes agro-environnementaux, en particulier pour étudier les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine agricole, ainsi que pour évaluer les coûts de réduction des GES dans les régions de l'UE (DE CARA *et al.*, 2005 ; DE CARA et JAYET, 2011). Les paramètres du modèle sont obtenus principalement par estimation à partir des données du RICA européen. La typologie en « groupes types d'exploitations » est réalisée par classification automatique à partir de l'échantillon des exploitations agricoles du RICA principalement orientées sur les cultures annuelles et l'élevage, et à partir des trois critères que sont i) les catégories OTEEx, ii) l'altitude et iii) la dimension économique. Nous utilisons la version V2 du modèle AROPAj fondée sur les données du RICA 2002, couvrant 101 régions RICA de l'UE-15, dont les 22 régions de la France.

■ Variation du rendement des prairies et fourrages

Le couplage AROPAj-STICS adapté aux systèmes de culture de vente (céréales, oléoprotéagineux, betterave, pomme de terre) n'a pas encore été développé pour les prairies. Pour intégrer les variations de rendement des prairies en rapport avec le changement climatique, nous avons donc fait appel à des **résultats obtenus avec un autre système de couplage (GLOBIOM-EPIC) traitant conjointement quelques productions de grande culture et de fourrages selon différents scénarios d'évolution du climat**. A l'aide du modèle économique global en équilibre partiel GLOBIOM, développé à l'IIASA

Variable explicative	Valeur estimée	Significativité*
Orge	0,427118	***
Maïs	0,259602	***
Pomme de terre	0,581457	***
Colza	-0,376261	***
Betterave à sucre	-0,160456	.
Blé	-0,473850	***
Avoine	0,146138	*
Seigle	-0,156582	*
Riz	2,757583	***
Coton	-11,309497	***
Année	0,009226	***

* Résultats de la régression linéaire ; nb d'observations : 168 ; R² ajusté : 0,8415 ; erreur standard résiduelle : 16,12 ; significativité : *** : 0,001 ; ** : 0,01 ; * : 0,05.

TABLEAU 1 : **Corrélations entre la production fourragère et les rendements des cultures de vente et le temps.**

TABLE 1 : **Correlation between forage production and cash crop yield/time in years.**

et couplé avec le modèle de culture EPIC³, pour différentes années et dans le cadre de deux scénarios AR5 (faisant référence au « cinquième rapport d'évaluation » du GIEC), et pour tous les pays de l'UE, les rendements des prairies et fourrages ont été estimés avec le même mode opératoire que pour les autres productions végétales (AnimalChange-FP7, 2012). Nous avons alors utilisé ces résultats pour corrélérer, par régression linéaire, le rendement potentiel des prairies et fourrages à celui d'autres productions végétales (tableau 1). Ce calcul de corrélation fait état d'un effet « temporel » significatif (nous disposons des résultats GLOBIOM-EPIC pour les années 2010, 2020 et 2030), l'effet du scénario (AR5-SSP1 et SSP3) ayant été estimé peu significatif.

A partir de ces corrélations et des calculs réalisés par ailleurs pour l'évolution des rendements en grande culture, nous estimons les **rendements en prairies et fourrages chez les différentes exploitations types du modèle AROPAj** dans le contexte climatique étudié pour l'horizon 2070-2100 (H2) et pour lequel ont été estimés les rendements des grandes cultures (l'analyse est présentée en détail dans LECLERE *et al.*, 2013).

■ Protocole de simulation

Plusieurs scénarios ont été étudiés à l'aide du modèle AROPAj, à partir de la combinaison de deux jeux d'hypothèses (tableau 2) :

- les données climatiques sont fondées sur un scénario de contrôle (CTL, 1976-2005) et **deux scénarios climatiques** à horizon 2070-2100 (H2) de type SRES-AR4, dénommés respectivement **A2H2 et B1H2**, avec pour le scénario CTL un niveau de 352 ppm de concentration de CO₂ et, pour les deux scénarios de climat futur, une concentration de CO₂ de 724 ppm et 533 ppm respectivement ;

3 : Voir par exemple <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/FOR/globiom/crops.html>

Scénario climatique	Années	Concentration en CO ₂ (ppm)	Adaptation des pratiques agricoles
Référence : CTL	1976-2005	352	-
Futur : A2H2	2070-2100	724	non
B1H2	2070-2100	533	non
A2H2-A	2070-2100	724	oui
B1H2-A	2070-2100	533	oui

TABLEAU 2 : Présentation succincte des 4 scénarios étudiés.

TABLE 2 : Overview of the 4 studied scenarios.

- l'adaptation des pratiques agricoles vue à travers le choix de la culture précédente, de la gestion du cycle des cultures et de la disponibilité de l'eau d'irrigation (LECLERE *et al.*, 2013) est prise en compte dans les deux SRES, dans des scénarios respectivement dénommés **A2H2-A** et **B1H2-A**.

Le modèle AROPAj permet aux éleveurs de modifier leur capital animal dans la limite d'une amplitude de variation exogène. Un ajustement de ce capital de $\pm 30\%$ a été retenu pour tous les scénarios. Nous intégrons de la sorte une possibilité supplémentaire d'adaptation des systèmes de production face aux changements climatiques.

2. Résultats à l'échelle européenne et discussion

■ Marge brute agricole

Le tableau 3 présente la variation de la marge brute agricole de différents Etats membres de l'UE pour les scénarios à l'horizon 2100 comparés au scénario de référence.

Scénario	A2H2	B1H2	A2H2-A	B1H2-A
Belgique	- 2,0	- 10,5	7,9	6,7
Danemark	4,8	7,8	18,2	25,9
Allemagne	9,5	11,5	23,3	26,9
Grèce	- 4,1	- 1,6	9,8	13,6
Espagne	2,2	- 13,6	27,8	13,5
France	2,9	- 5,1	25,5	25,1
Grande-Bretagne	0,0	- 0,1	14,1	15,6
Irlande	1,4	- 4,7	4,4	3,6
Italie	- 1,4	0,6	7,6	7,5
Luxembourg	8,5	5,3	19,3	12,9
Pays-Bas	9,8	- 5,6	11,0	8,0
Autriche	30,7	- 5,1	39,3	21,7
Portugal	5,8	- 6,5	16,5	13,2
Finlande	7,2	7,4	7,4	10,5
Suède	2,3	6,3	5,7	11,3
UE-15	3,5	- 0,8	17,9	17,2

TABLEAU 3 : Variation relative (%) de la marge brute agricole dans les 4 scénarios de changement climatique étudiés par rapport au scénario de référence (CTL).

TABLE 3 : Relative variations (%) of gross margin for the 4 studied climatic scenarios vs reference scenario (CTL).

Les résultats mettent en lumière que **l'agriculture de la plupart des pays européens pourrait bénéficier du changement climatique**. L'effet « fertilisant » du CO₂ est déterminant. La marge brute européenne augmenterait de 3,5 % dans le scénario A2H2 pour lequel la concentration de CO₂ est plus élevée que dans le scénario B1H2 pour lequel la marge brute diminuerait de 0,8 %. L'adaptation des pratiques agricole a un effet positif, avec une hausse moyenne de 17,5 % de la marge brute européenne comparée avec la marge CTL. La marge de la plupart des pays évolue dans une fourchette de +5 % à +20 %.

■ Réallocation des terres, productions agricoles et élevage

Le changement climatique et le doublement du taux de CO₂ influenceront les systèmes d'élevage de façons directe et indirecte. Nous nous intéressons ici aux seuls impacts indirects sur les animaux, *via* la sensibilité des productions végétales au changement climatique, lesquelles sont à la base de l'alimentation animale. Les résultats présentés en figure 1 montrent que **l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique et l'adaptation des pratiques agricoles provoqueraient un accroissement des surfaces en cultures fourragères** de l'ordre respectivement de 7,0% et 6,5%, pour les scénarios sans et avec adaptation des pratiques agricoles. Le blé tendre (+36,8%), le riz (+13,6%) et la betterave à sucre (+16,5%) seraient les principales cultures favorisées par le climat futur avec l'adaptation des pratiques agricoles.

A contrario, **le changement climatique aurait des effets négatifs sur la part de surface dévolue aux prairies**, de l'ordre respectivement de -5,9 % et -20,7 %, sans et avec l'adaptation des pratiques agricoles (figure 1c). Une tendance similaire est calculée pour l'orge (-11,2 %), le seigle (-5,3 %) et le maïs (-7,6 %). L'une des raisons que l'on peut avancer pour expliquer ces modifications est la diminution prévue des précipitations de 10 à 50 mm et de 10 à 25 mm respectivement dans les régions du centre et du sud de l'Europe.

Le tableau 4 montre la variation des activités du modèle en rapport avec la production animale, comparée au scénario de référence. Avec un changement faible des

Scénario	Effectif animaux	Produit brut animal	Dépense alimentaire
A2H2	0,2	0,9	- 2,4
B1H2	- 0,4	- 0,1	- 0,3
A2H2-A	0,3	1,7	- 4,2
B1H2-A	0,4	1,7	- 4,2

TABLEAU 4 : Variations relatives (%) dans le secteur de l'élevage, à l'échelle européenne, pour les 4 scénarios de changement climatique étudiés par rapport au scénario de référence (CTL).

TABLE 4 : Relative variations (%) in the sector of livestock farming on a European scale for the 4 studied climatic scenarios vs reference scenario (CTL).

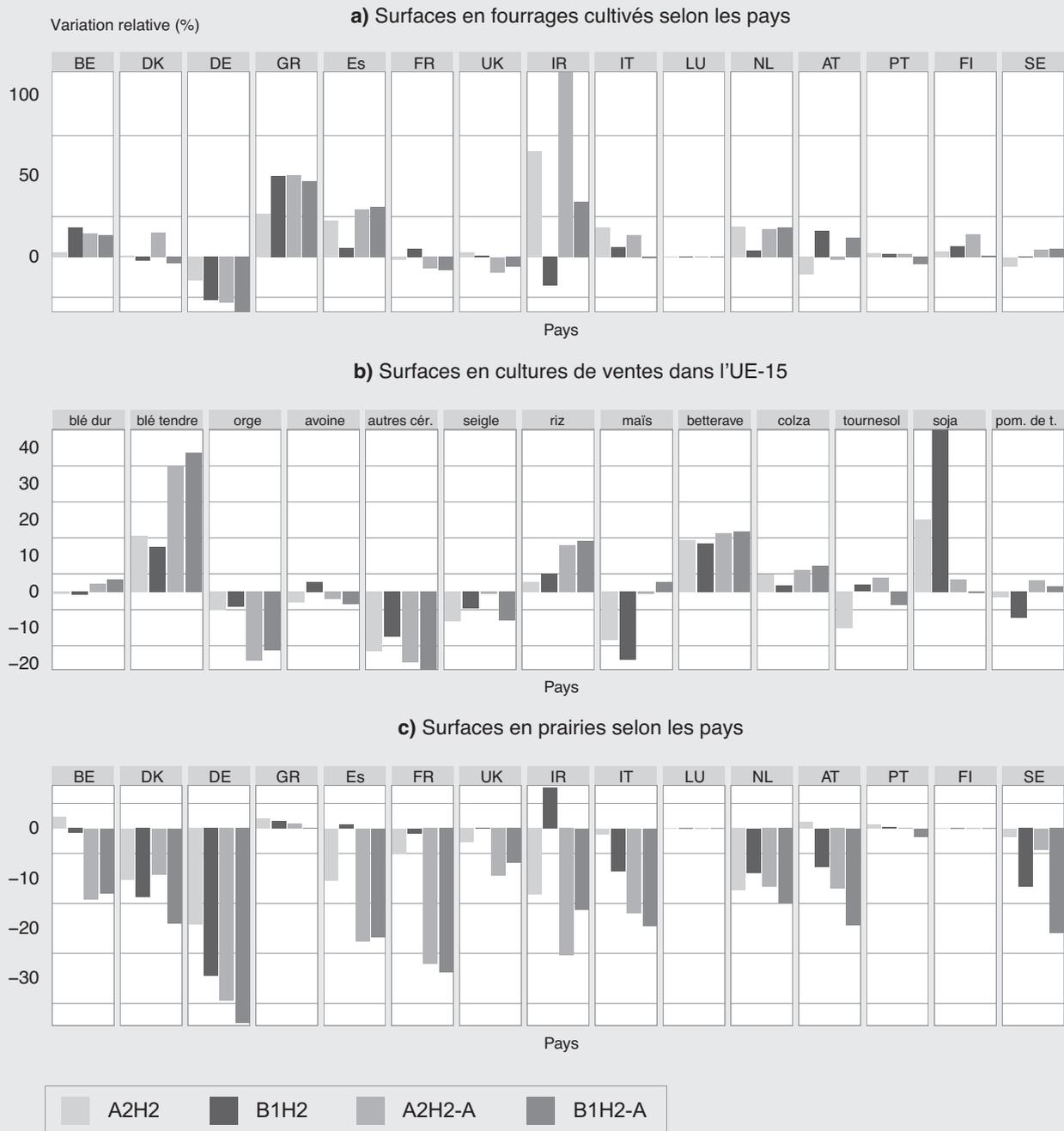


FIGURE 1 : Variations relatives des surfaces a) en cultures fourragères, b) en cultures de vente et c) en prairies dans 4 scénarios de changement climatique par rapport au scénario de référence (CTL), calculées pour les pays de l'UE-15.

FIGURE 1 : Relative variations for land used for a) growing forage crops, b) cash crops and c) grassland for the 4 studied climatic scenarios vs reference scenario (CTL), calculated for 15 countries of the EU.

effectifs animaux à long terme, en situation de changement climatique, les activités animales verraient leur produit brut évoluer faiblement (environ +1 % dans la plupart des cas). **La part de céréales et de fourrages produits sur l'exploitation augmenterait dans l'alimentation des animaux et les dépenses d'achats d'aliments concentrés baisseraient** en moyenne de 4,2 et 1,4 % sans et avec l'adaptation des pratiques agricoles respectivement. Rappelons que ces simulations sont réalisées par un modèle d'offre, à prix constants dans nos scénarios.

■ Emissions de GES

Toutes choses égales par ailleurs, le changement climatique à horizon H2, conduirait à **augmenter les émissions de protoxyde d'azote** (N_2O) de façon significative **et à diminuer faiblement les émissions de méthane** (CH_4). Ce résultat est simulé dans la plupart des pays, avec néanmoins des écarts importants (figure 2). Cet **effet** serait **accru par l'adaptation des pratiques agricoles** et on peut l'expliquer de la façon suivante.

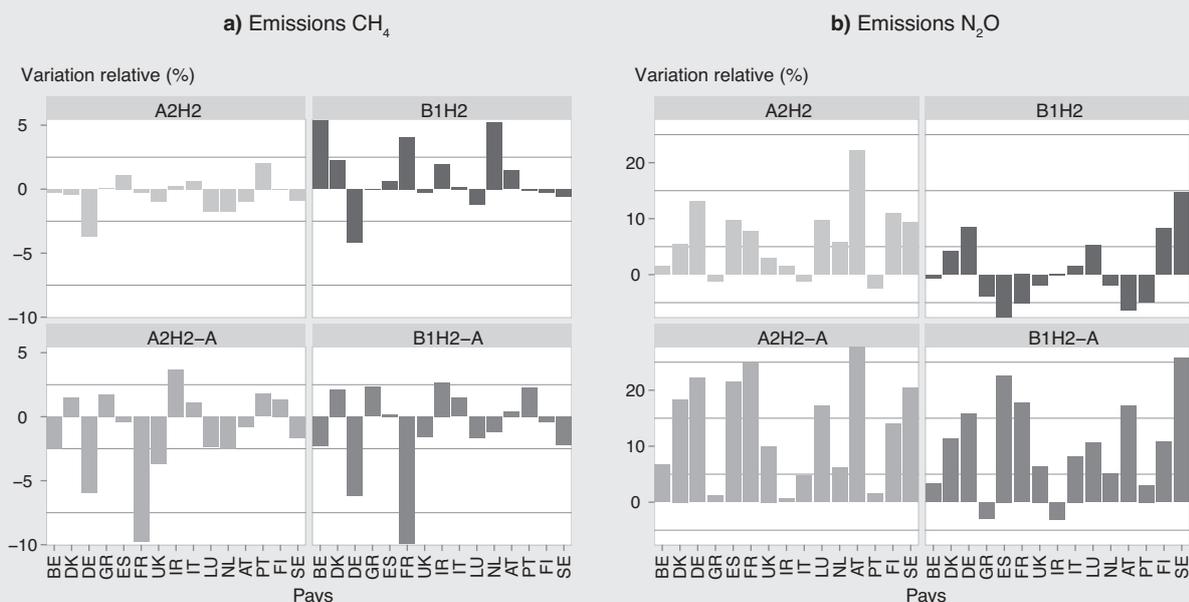


FIGURE 2 : Variations relatives des émissions a) de méthane et b) de protoxyde d'azote dans 4 scénarios de changement climatique par rapport au scénario de référence (CTL), calculées pour les pays de l'UE-15.

FIGURE 2 : Relative variations for a) methane b) and nitrous oxide emissions for the 4 studied climatic scenarios vs reference scenario (CTL), calculated for 15 countries of the EU.

La hausse des émissions de N₂O est liée à la consommation d'intrants azotés, qui augmente avec les rendements et une productivité marginale plus favorable. Sans variation notable des prix relatifs (prix des intrants par rapport à ceux des produits), on pourrait assister à la poursuite de la tendance observée ces dernières décennies avec une consommation mondiale d'engrais azotés multipliée par sept entre 1960 et 1995 (TILMAN *et al.*, 2002). La faible baisse simulée des émissions de CH₄ s'explique dans le modèle par le fait que les productions fourragères, en particulier les prairies, sont en baisse et sont compensées par des aliments moins méthanogènes, même si la consommation d'aliments concentrés - de plus grande efficacité énergétique - baisse. S'y ajoute la légère baisse des effectifs animaux. La hausse des productions de céréales profite aussi à l'alimentation animale « sur la ferme ». Compte tenu de leurs pouvoirs radiatifs respectifs, les émissions totales de GES d'origine agricole augmenteraient significativement, d'autant plus que serait intégrée l'adaptation des systèmes vis-à-vis du changement climatique.

L'effet d'une taxe (de 0 à 80 €/t-eqCO₂) **sur les émissions de GES d'origine agricole a été étudié**, afin de simuler la combinaison de l'atténuation des émissions par la régulation économique, d'une part, et des capacités d'adaptation des systèmes de production agricole, d'autre part. La régulation économique prend ici la forme d'une taxe directe sur les émissions. Les résultats de simulation (figure 3) montrent que les baisses d'émissions de GES attendues suite à l'introduction de la taxe diffèrent entre les scénarios, avec de surcroît des différences importantes qui peuvent se dessiner d'un pays à l'autre.

Conclusion et perspectives

Le changement climatique affectera de manière générale le développement de l'agriculture et de l'élevage par ses effets sur la température, le rayonnement, les précipitations et la concentration en CO₂ dans l'atmosphère, ce que nous avons analysé dans le cadre de scénarios climatiques de long terme (période 2070-2100).

Le couplage entre les modèles économique AROPAj et agronomique STICS utilisés dans la présente étude permet de prendre en compte les fonctions physiologiques des plantes ainsi que le fonctionnement économique des systèmes de production agricole dans leurs capacités d'adaptation au changement climatique. L'approche est néanmoins encore insuffisamment développée pour les prairies. Nous avons donc proposé une mise en œuvre du couplage, en le complétant par un calcul statistique appliqué à des « pseudo-données » issues des résultats d'un couplage entre modèles économique et biophysique réalisé à un niveau de résolution spatiale inférieure (*i.e.* association des modèles GLOBIOM et EPIC). On obtient par régression linéaire une évolution du rendement potentiel des prairies à un horizon rapproché, évolution dont on extrapole les effets à un horizon compatible avec ce qui a été réalisé pour les cultures. En réintégrant l'impact du climat sur les prairies et fourrages, en phase avec les cultures, on espère améliorer la cohérence du modèle agro-économique d'ensemble.

En regard avec les productions animales, le principal résultat serait que **l'adaptation des systèmes de production agricole accroîtrait fortement l'impact négatif du changement climatique sur la part de sur-**

a) par région européenne



b) pour l'UE-15

Niveau de taxe	A2H2	B1H2	A2H2-A	B1H2-A
20 €/t-eqCO ₂	- 9,2	- 9,3	- 9,5	- 9,5
40 €/t-eqCO ₂	- 15,2	- 14,9	- 14,7	- 14,8
60 €/t-eqCO ₂	- 19,9	- 19,8	- 19,2	- 19,3
80 €/t-eqCO ₂	- 24,4	- 24,1	- 23,7	- 23,5

Variations relatives (%) des émissions européennes de GES d'origine agricole



FIGURE 3 : Variations relatives des émissions européennes totales de GES d'origine agricole en fonction de différents niveaux de taxe sur les émissions (€/t eq CO₂) calculées pour les 4 scénarios étudiés par rapport au scénario de référence (CTL, sans taxe).

FIGURE 3 : Relative variations for total European GHG emissions from farming based on tax rates (€/t eq CO₂) calculated for the 4 studied scenarios vs reference scenario (CTL, without tax).

face dédiée aux prairies. Cela tient à l'amélioration de la productivité marginale de la terre que le modèle de culture confère aux principales cultures de vente, laquelle induit une réallocation des terres en leur faveur. En conséquence, les **émissions de GES** sont fortement affectées, **à la hausse**. Quant aux productions animales proprement dites, sans que soient pris en compte les impacts directs du climat (dont on ne dispose pas), les effectifs animaux varieraient peu, toujours toutes choses

égales par ailleurs. Mais les grands postes de l'alimentation animale seraient modifiés, avec une baisse de l'autoconsommation de fourrages, une hausse de l'autoconsommation de céréales et une baisse de l'alimentation concentrée achetée.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Le changement climatique : incertitudes et opportunités
pour les prairies et les systèmes fourragers",
les 26-27 mars 2013.

Remerciements : La recherche conduisant à ces résultats a été financée par le projet VALIDATE de l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR/2008-2012), dans le cadre de l'accord de subvention n°ANR-07-VULN-11-011, et par le projet européen AnimalChange financé, dans le cadre du 7^e programme cadre de la Communauté Européenne - FP7/2007-2013, par l'accord de subvention n°266018. Cette recherche s'inscrit dans le travail de thèse de Parisa Aghajanzadeh-Darzi, financé conjointement par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGHAJANZADEH-DARZI P., FRANK S., HAVLIK H., JAYET P.A. (2013) : *Global change challenges for the European agricultural sector: A multi-scale model analysis*, Congrès EAERE, Toulouse, 26-29 Juin 2013, 14 p.
- ANIMALCHANGE-FP7 (2012) : "Model linkages between GLOBIOM, CAPRI, AROPAj for simulations of long-term climate change scenarios", *Technical report*, Joint Research Centre (JRC), Institute for Environment and Sustainability.
- BAKKENED M., EICKHOUT B., ALKEMADE R. (2006) : "Impacts of different climate stabilization scenarios on plant species in Europe", *Global Environmental Change*, 16, 19-28.
- BRISSON N., MARY, B. RIPOCHE D., JEUFFROY M.H., RUGET F., NICOUILLAUD B., GATE P., DEVIENNE-BARRET F., ANTONIOLETTI R., DURR C., RICHARD G., BEAUDOIN N., RECOUS S, TAYOT X., PLENET D., CELLIER P., MACHET J.M., MEYNARD J.M., DELÉCOLLE, R. (1998) : "STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. 1. Theory and parameterization applied to wheat and corn", *Agronomie*, 18, 311-346.
- CANTELAUBE P., JAYET P.A., CARRE F., ZAKHAROV P., BAMPS C. (2012) : "Geographical downscaling of outputs provided by an economic farm model calibrated at the regional level", *Land Use Policy*, 29, 35-44.
- DE CARA S., JAYET P.A. (1999) : "Evaluation et régulation de l'effet de serre d'origine agricole", *L'Actualité Economique*, 75 (4), 597-623.
- DE CARA S., JAYET P.A. (2000) : "Régulation de l'effet de serre d'origine agricole: puits de carbone et instruments de second rang", *Economie et Prévision*, 143, 37-46.
- DE CARA S., 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.
- DE CARA S., HOUZE M., JAYET P.A. (2005) : "Methane and nitrous oxide emissions from agriculture in the EU: a spatial assessment of sources and abatement costs", *Environmental and resource economics*, 32 (4), 551-583.
- FISCHER G., SHAH M., VAN VELTHUIZEN H. (2002) : "Climate change and agricultural vulnerability", *Special report prepared by the IIASA under United Nations Institutional Contract Agreement No 1113*, World summit on sustainable development, Johannesburg 2002. Technical report, International Institute for Applied Systems Analysis.
- GALKO E., 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., 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.
- HANSON J.D., BAKER B.B. (1993) : "Comparison of the effects of different climate change scenarios on rangeland livestock production", *Agricultural Systems*, 41, 487-502.
- LECLERE D., JAYET P.A., DE NOBLET DUCOUDRE N. (2013) : "Farm-level autonomous adaptation of European agricultural supply to climate change", *Ecological Economics*, 87, 1-14.
- MOREAU J.C., LORGEOU J. (2007) : "Premiers éléments de prospective sur les conséquences des changements climatiques: impacts sur les prairies, le maïs, et les systèmes fourragers", *Fourrages*, 191, 285-295.
- RUGET F., CLASTRE P., MOREAU J.C., CLOPPET E., SOUVERAIN F., LACROIX B., LORGEOU J. (2012) : "Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. I- Estimation par modélisation et analyse critique ", *Fourrages*, 210, 87-98.
- SOUSSANA J.F., TESSONNEYRE F., PICON-COCHARD C., CASELLA E., BESLE J.M., LHERM M., LOISEAU P. (2002) : "Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production", *Fourrages*, 169, 3-24.
- TILMAN D., CASSMAN K., MATSON P., NAYLOR R., POLASKY S. (2002) : "Agricultural sustainability and intensive production practices nature", *Nature*, 418, 671-677.
- TOPP CAIRISTIONA F.E., DOYLE CHRISTOPHER J. (1996) : "Simulating the impact of global warming on milk and forage production in Scotland: 1. the effects on dry-matter yield of grass and grass-white clover swards", *Agricultural Systems*, 52, 213-242.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère