

L'approche Ricardienne est-elle pertinente pour mesurer l'impact du climat sur les activités agricoles d'un département ? L'exemple de la Côte-d'Or.¹

Elsa Martin², Jaune Vaitkeviciute³

CESAER, UMR 1041 INRA – AgroSup Dijon

Version provisoire

Résumé :

La vulnérabilité du secteur agricole au changement climatique présente des enjeux forts pour le développement durable de la production de denrées alimentaires. Mendelsohn *et al.* (1994) ont proposé une mesure de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture américaine par la méthode des prix hédoniques. Nous proposons de vérifier la validité de cette approche, dite Ricardienne, sur un territoire de plus petite taille, à savoir le département de la Côte d'Or. Nous montrons que la transposition directe du modèle de Mendelsohn *et al.* (1994) à ce territoire présente un problème de forte colinéarité et rend l'analyse erronée. Nous proposons donc de corriger ce problème à l'aide d'un modèle alternatif simplifié. Nous montrons finalement que la hausse des températures a un impact positif sur la rente foncière agricole mais que l'impact est négatif pour une augmentation des précipitations.

Mots-clefs : Approche Ricardienne, Climat, Colinéarité.

Codes de classification J.E.L. : Q15, C50, Q54.

¹ Nous remercions le ministère de l'environnement qui a financé ce travail dans le cadre de l'appel à projet GICC. Nous remercions également les membres du projet HYCCARE pour leur aide ainsi que leurs suggestions.

² elsa.martin@dijon.inra.fr

³ Auteur pour la correspondance : jaune.vaitkeviciute@dijon.inra.fr

Introduction

L'activité de production agricole est fortement dépendante du climat, principalement via l'effet du bilan hydrique climatique et de la température sur les rendements des cultures. La question de la mesure de l'impact économique de cet effet se pose. Mendelsohn *et al.* (1994) ont proposé d'avoir recours à l'approche Ricardienne pour mesurer cet impact sur le territoire des Etats-Unis. Cette approche repose sur l'analyse de l'effet des modifications climatiques sur la rente foncière qui est théoriquement un bon proxy de la valeur ajoutée dégagée par l'activité agricole car, en situation de marchés de concurrence pure et parfaite, la rente foncière est égale au rendement net de l'usage le plus élevé et le meilleur de la terre. Plus précisément, la méthode des prix hédoniques permet de mettre en œuvre l'approche Ricardienne : il s'agit de décomposer le prix des terres agricoles en différents attributs, ou éléments indissociables les caractérisant (voir Rosen, 1974), en se concentrant sur les attributs productifs de type climatique.

L'objectif final du travail de Mendelsohn *et al.* (1994) était de simuler l'impact économique de l'évolution future du climat. Une première limite de ce travail a été mise en évidence par Cline (1996). Elle est relative au fait que les simulations sont basées sur l'hypothèse d'une variation uniforme des températures et des précipitations sur tout le territoire américain. Cette hypothèse était liée à la disponibilité des projections climatiques. Elles reposaient à l'époque essentiellement sur des modèles climatiques de circulation générale (utilisés par le GIEC, 2007) qui fournissent une information globale à une résolution spatiale grossière.

La montée en puissance des capacités de calcul a permis le développement récent de modèles climatiques régionaux. Ces modèles consistent à désagréger dynamiquement les données issues de modèles de circulation générale et permettent la production d'une information régionale à haute résolution spatiale (voir Crétat *et al.*, 2012). Ils permettent donc de lever l'hypothèse de variation uniforme des températures et des précipitations sur un territoire donné. Toutefois, la production d'une information à haute résolution nécessite de se concentrer sur des territoires de plus petite taille que les Etats-Unis. La question se pose alors de savoir si l'approche proposée par Mendelsohn *et al.* (1994) reste valide à une telle échelle. En effet, cette approche, de nature statistique, nécessite une variabilité importante qui n'est pas acquise d'avance à une petite échelle. Nous proposons dans ce travail de nous concentrer sur une échelle infranationale française. Ce choix nous permettra d'avoir recours à des données de prix de transactions foncières observés et non déclarés comme c'est le cas sur les données américaines.

La méthode des prix hédoniques des terres agricoles a été relativement peu appliquée au cas français, sans doute en raison de la diffusion récente de données relatives au prix des terres agricoles. Les travaux pionniers ont été menés en Côte-d'Or (Cavailhes et Wavresky, 2003) et dans les Bouches-du-Rhône (Geniaux et Napoléone, 2005). Plus récemment, Letort et Temesgen (2014) ont proposé une application à la Bretagne. Le schéma synthétique de l'espace des climats en France de Joly *et al.* (2010) montre que parmi ces trois territoires, la

Côte-d'Or est le seul à l'intersection de trois types de climats (océanique dégradé, tendance à semi-continentalité, climat de montagne et apparenté). La variabilité climatique devrait donc être suffisante pour que l'approche Ricardienne reste pertinente à cette échelle mais cette hypothèse reste à tester.

Par ailleurs, Marteau *et al.* (2014) ainsi que Rossi *et al.* (2014) mènent des travaux de désagrégation des modèles climatiques internationaux pour produire des données projetées à une résolution de 3 kilomètres à l'échelle de la Bourgogne. Nous proposons dans ce travail de tester la validité de l'approche Ricardienne pour mesurer l'impact du climat sur les activités agricoles de la Côte-d'Or en mobilisant les données ainsi produites.

Cline (1996) a formulé une autre critique à l'égard de l'approche proposée par Mendelsohn *et al.* (1994). Elle est relative à l'omission d'une variable captant les effets liés à l'irrigation qui risquent alors d'être incorrectement captés par les variables de climat. Mendelsohn et Nordhaus (1999) ont proposé de rajouter une telle variable pour tenir compte du fait que la possibilité d'irriguer pouvait être capitalisée dans la rente foncière. Darwin (1999) a toutefois mis en évidence que, principalement en raison d'un problème de colinéarité parfaite, l'approche proposée n'était pas valide. En effet, Mendelsohn et Nordhaus (1999) ajoutent au modèle initial une variable d'irrigation prédite à partir d'un modèle basé sur les mêmes variables explicatives que le modèle de départ. Schlenker *et al.* (2005) confirment ceci pour les données utilisées par Mendelsohn *et al.* (1994) et préconise de séparer en deux échantillons les localités irriguées et celles qui ne le sont pas pour se concentrer sur ces dernières. Pour cette raison, nous nous concentrerons sur les communes non irriguées.

Le problème de colinéarité évoqué précédemment est accentué par l'inclusion de nombreuses variables climatiques (températures et précipitations mensuelles moyennes) dans les modèles mobilisant l'approche Ricardienne pour mesurer l'impact économique du climat. Ce problème a succinctement été évoqué par Quiggin et Horowitz (1999). Par ailleurs, les principaux autres attributs productifs de terres agricoles sont liés à leurs caractéristiques pédologiques. Celles-ci peuvent être fortement colinéaires entre elles et avec les variables climatiques, notamment lorsqu'on travaille à l'échelle d'un département français sur un faible nombre de données. Nous serons donc particulièrement vigilants sur ce point.

Les deux premières sections seront relatives à la présentation de la méthode et des données utilisées. Nous illustrerons ensuite les problèmes de colinéarité soulevés par la mobilisation de l'approche Ricardienne à l'échelle d'un département pour ensuite proposer un modèle simplifié permettant de corriger ces difficultés.

1. Méthode

Comme indiqué en introduction l'approche Ricardienne repose sur l'application de la méthode des prix hédoniques à l'analyse de la rente foncière agricole. La théorie économique sous-tendant la méthode des prix hédoniques s'applique plus directement à des biens de consommation qu'à des facteurs de production. Elle a donc été beaucoup mobilisée pour

étudier le prix des logements (voir Palmquist, 2005, pour une revue de littérature relativement récente et une présentation détaillée de la méthode).

A notre connaissance, Miranowski et Hammes (1984) ont été les premiers à explorer le potentiel de cette méthode pour mettre en évidence le prix implicite des caractéristiques productives d'une terre agricole. Palmquist (1989) a quant à lui été le premier à poser les fondements théoriques de cette méthode pour un facteur de production comme la terre agricole. Un certain nombre de travaux en ont découlé. Le Tableau 1 montre que les principaux attributs considérés dans ces travaux peuvent être classés suivant deux grands groupes : les attributs liés aux conditions pédo-climatiques et des attributs que nous qualifierons d'externes par rapport à ces conditions. Ces derniers attributs sont principalement liés à la capitalisation d'une anticipation d'urbanisation future, aux mesures de politiques publiques ou à l'effet du statut particulier du fermage en France.

Tableau 1 : Principales variables explicatives utilisées dans les études empiriques pionnières et dans Mendelsohn *et al.*, 1994

Variables liées aux conditions pédo-climatiques :

- ~ Climat (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Erosion du sol (Miranowski et Hammes, 1984, Palmquist et Danielson, 1989, Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ PH du sol (Miranowski et Hammes, 1984)
- ~ Profondeur du sol (Miranowski et Hammes, 1984)
- ~ Perméabilité du sol (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Réserve utile (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Présence d'une rivière ou d'une zone humide (King et Sinden, 1988, Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Inondabilité (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Texture du sol (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Salinité (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Longueur de la pente (Gardner et Barrows, 1985, Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Altitude (Mendelsohn *et al.*, 1994)
- ~ Latitude (Mendelsohn *et al.*, 1994)

Variables externes aux conditions pédo-climatiques :

- ~ Fermier acquéreur (Cavailhès et Wavresky, 2003, Letort et Temesgen, 2014)
 - ~ Appartenance à une région agricole spécifique (Livanis *et al.*, 2006, Cavailhès et Wavresky, 2003)
 - ~ Irrigation (Xu *et al.*, 1993)
 - ~ Drainage (Palmquist et Danielson, 1989)
 - ~ Mesures de politiques agricole et/ou environnementale (Maddison, 2000, Letort et Temesgen, 2014)
 - ~ Distance au pôle de vie ou pôle urbain le plus proche (Xu *et al.*, 1993, Bastian *et al.*, 2001, Letort et Temesgen, 2014, Cavailhès et Wavresky, 2003)
 - ~ Densité de la population (Palmquist et Danielson, 1989, Mendelsohn *et al.*, 1994)
 - ~ Taux de croissance de la population (Palmquist et Danielson, 1989, Deaton et Vyn, 2010)
 - ~ Degrés d'urbanisation (Schlenker *et al.*, 2005)
-

Le Tableau 1 illustre également le fait que Mendelsohn *et al.* (1994) se sont concentrés sur les facteurs explicatifs du prix des terres agricoles liés aux conditions pédo-climatiques. Pour ce qui est des variables externes à ces conditions, ils se contentent de contrôler les effets liés à la pression urbaine. Nous ferons de même. Toutefois, ne travaillant pas sur les données américaines de Mendelsohn *et al.* (1994) mais sur des données française à l'échelle de la Côte-d'Or, nous négligerons les effets sur la rente foncière agricole des variables liées à la salinité et à l'érosion qui ne sont pas pertinents sur notre département d'intérêt. Nous négligerons également l'effet de la longueur de la pente car nous ne disposons pas de cette donnée. Le caractère inondable et la présence d'une zone humide seront quant à eux approximatés par une variable pédologique relative au régime hydrique.

Par ailleurs, nous contrôlerons l'effet relatif à la vocation agricole dominante des communes qui constitueront notre unité d'observation. Ce contrôle est d'autant plus important que l'agriculture de Côte-d'Or dégage des revenus très hétérogènes car elle va des producteurs de vin de Bourgogne aux éleveurs de bovins en passant par des céréaliers.

Au final, nous estimerons l'équation de prix hédonique suivante :

$$\ln p_i = \alpha + x_i\beta + z_i\gamma + \varepsilon_i$$

où p_i est le vecteur des prix moyens communaux par hectare, x_i est le vecteur des variables liées aux conditions pédo-climatiques et z_i le vecteur des variables explicatives externes pour la commune i ; ε_i représente le terme d'erreurs normalement distribuées.

Plusieurs types de fonctions sont utilisés dans les études mobilisant la méthode de prix hédoniques : linéaire, semi-logarithmique ou logarithmique. La forme fonctionnelle la plus fréquemment utilisée est semi-logarithmique. Cavailhès et Wavresky (2003) ayant par ailleurs montré que cette forme était particulièrement appropriée pour le cas de la Côte-d'Or, nous la retiendrons.

Nous avons choisi d'estimer notre modèle à l'aide de Moindres Carrés Ordinaires (MCO). Pour que cette stratégie d'estimation soit efficiente, il faut que les termes d'erreur, ε_i , soient indépendants et identiquement distribués (d'espérance nulle et sphérique). Un test de White permet de vérifier si c'est le cas. Nous produirons des écarts-types robustes à l'hétéroscédasticité pour les modèles où ce ne serait pas le cas.

Un certain nombre de variables explicatives seront dichotomiques. Les coefficients estimés seront transformés conformément aux préconisations de Halvorsen et Palmquist (1980) et de Kennedy (1981) lors des interprétations.

Comme indiqué en introduction, nous soupçonnons la présence d'une forte colinéarité entre les variables pédo-climatiques. Le problème de colinéarité provient d'un fort degré de corrélation entre certaines variables dépendantes. Ce phénomène peut être dû à l'introduction de très nombreuses variables dans un modèle, mais aussi au fait que certaines variables vont capter les mêmes effets (relation linéaire forte entre les variables explicatives). La présence de colinéarité dans les modèles estimés par les MCO peut générer des coefficients de régression

estimés très élevés ou encore des signes des coefficients peu robustes, ce qui rendrait les résultats erronés.

Pour diagnostiquer la présence de colinéarité, nous avons utilisé la méthode détaillée par Erkel-Rousse (1995) basée sur les indices de conditionnement et le tableau de décomposition des variances. L'indice de conditionnement permet de détecter la présence de colinéarité dans le modèle. Cet indice est calculé comme une racine carré du rapport entre la plus grande valeur propre de la matrice $X'X$ et ses autres valeurs propres. Des valeurs fortes de ces indices vont indiquer la présence de colinéarité. Si plusieurs vecteurs-colonnes sont liés entre eux, à savoir s'il y a une forte dépendance entre certaines variables explicatives, ceci va se traduire par des indices de conditionnement relativement élevés. La colinéarité présente est supposée très forte quand l'indice de conditionnement maximal dépasse le seuil de 100, modérée entre 30 et 100, et on peut supposer l'absence de la colinéarité en dessous du seuil de 30. Mais selon Erkel-Rousse (1995) ces seuils ne sont qu'indicatifs. Le tableau de décomposition de variance accompagne les indices de conditionnement et permet, en présence de la colinéarité, de détecter les variables sources de ce problème.

Une fois la présence de colinéarité avérée, nous chercherons à la corriger en proposant un modèle simplifié. Pour nous guider dans la sélection des variables à retenir, nous commencerons par mettre en œuvre une procédure STEPWISE. Cette procédure est utilisée afin de sélectionner les variables automatiquement de manière à augmenter le coefficient de détermination. Elle s'effectue en deux étapes (Hocking, 1976). Tout d'abord, la procédure sélectionne les variables une par une avec le degré de liberté le plus élevé, en partant du modèle vide. Cette étape est appelée « forward selection ». Ensuite, la deuxième étape de la procédure, appelée « backward elimination », consiste à partir du modèle complet construit pendant la première étape, et à éliminer les variables ayant le F-ratio le plus bas. L'objectif final est de proposer un modèle avec un coefficient de détermination le plus élevé et le plus grand nombre de variables significatives.

2. Données

Comme indiqué précédemment, nous travaillons à l'échelle des 625 communes non irriguées de Côte d'Or (nous utilisons le recensement agricole de 2008 pour les identifier et supposons, comme Schlenker *et al.*, 2005, qu'une commune est irriguée à partir du moment où elle l'est sur au moins 10% de sa surface). Nous avons choisi cette échelle d'analyse car l'ensemble des données mobilisées y sont représentatives. Certaines d'entre elles ont toutefois nécessité une agrégation que nous décrirons par la suite. Le Tableau 4 en Annexes présente le détail de l'ensemble des variables utilisées dans les modèles en précisant les bases de données mobilisées.

Les données relatives à la variable expliquée, le prix des terres, proviennent de la Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER) et sont disponibles à l'échelle de la transaction. La base est renseignée à partir des notifications notariales précédant de manière obligatoire la vente d'un terrain ; elle est donc exhaustive. Nous disposons des prix des transactions foncières réalisées entre 1992 et 2008 en Côte d'Or. Nous avons choisi de nous

concentrer sur la période complète pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le nombre de transactions par année n'est pas suffisamment pour couvrir tout le territoire de la Côte-d'Or. Par ailleurs, contrairement à l'analyse des fonctions de production ou de profit, l'analyse Ricardienne ne nécessite pas de se concentrer sur une année précise dans la mesure où le prix d'une terre est supposé représenter la valeur actuelle de la somme des bénéfices anticipés sur une période donnée. Pour cette raison, Schlenker *et al.* (2006) proposent d'ailleurs d'utiliser les variables climatiques des 30 années précédents l'année d'enquête plutôt que celles de l'année d'enquête.

Parmi les transactions recensées en Côte-d'Or sur la période, nous avons mis de côté les transactions concernant des terres comportant des cultures pérennes (vigne ou verger), de la forêt ou des bâtiments car nous ne disposons pas d'informations pouvant permettre de caractériser de tels attributs des terres agricoles. Par ailleurs, nous avons choisi de ne retenir que les transactions acquises à l'amiable. Au final, notre échantillon de départ concerne 16 348 transactions. Nous avons par ailleurs éliminé les transactions conclues pour 1 € symbolique ainsi que les premiers et derniers centiles des prix et des surfaces des transactions (pour éviter les problèmes de saisie). Suite à cette sélection, notre échantillon comporte 15 838 transactions.

Pour passer de l'échelle de la transaction à celle de la commune, nous faisons l'hypothèse que le prix moyen des parcelles vendues sur la commune reflète parfaitement le prix moyen de tout le sol agricole de la commune et nous calculons le prix moyen communal par hectare⁴. Nous mobiliserons deux variables supplémentaires issues de la même base de données : l'une relative au fait que le fermier en place soit acquéreur et l'autre relative à l'année de la transaction. La méthode d'agrégation pour ces deux variables consiste à affecter à chaque commune la valeur la plus fréquemment rencontrée en termes de surface vendue parmi les transactions la composant.

Parmi les variables explicatives du prix des terres, les données climatiques jouent un rôle primordial dans notre travail. Nous utilisons des données produites à partir d'un modèle climatique régional dans le cadre du projet de recherche HYCCARE⁵. Elles sont disponibles au pas de temps journalier et à une résolution de 3 km pour la période de 1992 à 2008. Cette période correspond parfaitement à celle couverte par nos données économiques. Nous mobiliserons donc des moyennes interannuelles sur ces 17 années. Conformément aux autres travaux mobilisant une approche Ricardienne pour mesurer l'impact du climat sur les activités agricoles, nous travaillerons avec des valeurs mensuelles des variables de climat. Nous avons donc calculé les précipitations totales en mm pour chaque mois. Quant aux températures, deux types de mesures ont été considérés : les températures mensuelles moyennes en °C et les degrés-jours cumulés pour chaque mois.

Le maillage de 3 km ne correspondant pas au maillage communal, nous avons agrégé les données climatiques en appliquant les deux règles suivantes :

⁴ Notons que le prix est exprimé en euros constants (avec une base 100 en 2005).

⁵ Hydrologie Changement Climatique Adaptation Ressource en Eau en Bourgogne, projet de recherche coordonné par Alterre Bourgogne, Appel à projet GICC du Ministère de l'Environnement

- si le nombre de points d’observation du maillage climatique se trouvant dans les limites du maillage communal est supérieur ou égal à quatre, alors nous calculons la moyenne des valeurs de ces points ;
- si le nombre de points d’observation est inférieur à quatre, alors nous prenons en compte la moyenne des quatre points les plus proches du centroïde de la commune concernée.

Cette méthode d’agrégation a été validée par les climatologues producteurs des données.

A côté des variables climatiques, les variables pédologiques jouent un rôle essentiel. Nous travaillerons sur la base de données DONESOL⁶ dans laquelle seules les Unités Cartographiques de Sol (UCS) sont spatialisées. Chaque UCS regroupe plusieurs unités non spatialisées dont on connaît les proportions surfaciques, appelées Unités Typologiques de Sol (UTS). Pour chaque UTS, nous connaissons la réserve utile en mm, la proportion de sable, d’argile et de limon ainsi que la classe de régime hydrique du sol, de drainage naturel et de perméabilité. Les UTS n’étant pas spatialisées, les pédologues préconise de faire l’hypothèse suivant laquelle la répartition des UTS est homogène au sein de chaque UCS.

En ce qui concerne l’agrégation de cette information à l’échelle de la commune, nous avons calculé pour chaque commune les proportions de sol caractérisant chaque variable continue ou chaque classe de variable discrète. Nous avons ensuite associé à chaque commune la valeur qui était présente sur la plus grande surface. Cette méthode d’agrégation des données a été décidée avec l’aide des pédologues qui ont produits la base de données sources et a été jugée la plus adaptée pour ce type de données.

Comme indiqué dans la partie méthode, nous mobilisons aussi des variables externes aux conditions pédoclimatiques. Toutes ces variables sont disponibles à l’échelle de la commune. Nous intégrons la vocation agricole dominante des communes en mobilisant les Petites Régions Agricoles (PRA) qui sont utilisées par la statistique agricole pour délimiter des régions homogènes du point de vue des productions agricoles. La Côte d’Or contient neuf PRA : Auxois, Côte viticole, Plaine, Vallée, Morvan, Plateau Langrois, Tonnerrois, Val de Saône, Vingeanne. Les PRA Plaine, Vallée et Vingeanne sont caractérisées majoritairement par la culture de céréales et d’oléoprotéagineux. En plus des céréales et oléoprotéagineux, les PRA Plateau Langrois et Val de Saône contiennent des cultures générales. La PRA Tonnerrois est dominée par la polyculture et les cultures permanentes. La PRA Auxois est occupée par une association grandes cultures et herbivores. La PRA Morvan se caractérise par l’élevage de bovins et herbivores. La PRA Côte Viticole est une zone de culture de la vigne.

Tout comme Mendelsohn *et al.* (1994), nous choisissons comme indicateur de pression urbaine la densité de la population. Nous avons calculé la densité à partir des données sur la population (en centaines d’habitants) et la surface des communes (en hectares) issues du Répertoire Géographique des Communes datant de 2012, produit par l’Institut Géographique National.

La base de données RGC (2012) nous a fourni également les données mobilisées par Mendelsohn *et al.* (1994) sur la latitude du chef-lieu de la commune (en degrés, minutes et

6 INFOSOL - INRA Orléans, données acquises grâce au programme IGCS.

secondes) ainsi que sur les altitudes minimale et maximale des communes à partir desquelles nous avons calculé l'altitude moyenne.

Pour plus de détails sur notre échantillon d'analyse, le lecteur est renvoyé aux Tableaux 5a et 5b en Annexes qui contiennent quelques statistiques descriptives des variables précédemment décrites.

3. Illustration des problèmes de colinéarité soulevés par la mobilisation de l'approche Ricardienne à l'échelle d'un département

Le Tableau 2 présente les résultats de nos estimations sur un modèle complet à la Mendelsohn *et al.* (1994), le modèle 1, qui présente une colinéarité très élevée, comme l'indiquent les indices de conditionnement. Une première remarque est relative aux variables pédologiques. La réserve utile, qui correspond à la quantité d'eau que le sol est capable d'absorber et de restituer ensuite à la plante, a un effet significatif positif sur le prix des terres agricoles de Côte-d'Or : quand la taille de la réserve utile augmente, le potentiel agronomique des terres augmente. La perméabilité a quant à elle un effet négatif sur le prix car une terre trop perméable laissera passer l'eau sans la retenir, ce qui peut nuire aux rendements.

Ensuite, la plupart des variables qui ne sont pas relatives au climat et qui sont significatives ont une influence sur le prix dans le sens attendu. Par exemple, la latitude est un indicateur du rayonnement solaire et le prix augmente quand le rayonnement augmente. La valeur du coefficient est toutefois proche de zéro sans doute en raison de l'unité de cette variable. La densité de la population capte quant à elle les anticipations d'urbanisation.

Le modèle 1 nous indique par ailleurs que lorsque la température de juillet augmente de 1°C, le prix diminue de 4313%. La valeur du coefficient associé à cette variable nous paraît très élevée par rapport aux autres coefficients des variables de climat. Ceci étant un symptôme de la présence de colinéarité, nous proposons dans le Modèle 2 de supprimer les carrés des variables de climat.

Tableau 2 : Résultats d'estimation du modèle de Mendelsohn *et al.* (1994)

	Modèle 1	Modèle 2
Constante	145.46319*	-40.75779***
Température Janvier	-6.78512***	0.25927
Température Avril	27.96155***	-0.24052
Température Juillet	-43.13429***	1.82363***
Température Octobre	13.62904	-1.54548**
Température Janvier au carré	1.23020***	
Température Avril au carré	-1.69164***	
Température Juillet au carré	1.31611***	
Température Octobre au carré	-0.73417	
Pluie Janvier	-0.23979**	0.00902
Pluie Avril	-0.23811	0.00110

Pluie Juillet	0.14943*	0.00805
Pluie Octobre	0.56962**	-0.02519*
Pluie Janvier au carré	0.00160**	
Pluie Avril au carré	0.00134	
Pluie Juillet au carré	-0.00068*	
Pluie Octobre au carré	-0.00317**	
Latitude	0.00006***	0.00007***
Altitude	0.00117	0.00146
PRA Auxois	-0.20340*	-0.19710*
PRA Côte viticole	0.28403**	0.20341
PRA La plaine	-0.14053	-0.22610
PRA La vallée	0.20394	0.27733*
PRA Tonnerrois	0.08040	0.12224
PRA Val de Saône	0.16508	-0.11551
PRA Vingeanne	-0.20431	-0.31572
PRA Morvan	-0.30708	0.27733
Réserve utile	0.00164*	0.00149
Régime hydrique	-0.07575	-0.00579
Perméabilité	-0.16661*	-0.17918*
Drainage naturel	0.05856	0.10061
Sable	0.11710	0.12017
Argile	-0.07477	-0.09529
Texture mixte	-0.10064	-0.11475
Densité de la population dans la commune	0.11361***	0.13207***
Densité au carré	-0.00335***	-0.00379***
Acheteur fermier sur place	-0.10643**	-0.10442**
Année	0.07667	0.08027
R ²	0.4868	0.4658
R ² ajusté	0.4545	0.4398
Indice de conditionnement (/collin)	52 987	2890.5568
Indice de conditionnement (/collinoit)	2 464.80072	76.18471
N	625	625

Notes : *** significatif au seuil de 1%, ** significatif au seuil 5 %, * significatif au seuil 10%.

Dans le modèle 2, nous enlevons les carrés des variables climatiques. Les indices de conditionnement sont nettement améliorés, sans toutefois être satisfaisants. Nous constatons tout d'abord que beaucoup moins de variables de climat sont significatives dans le Modèle 2 par rapport au Modèle 1. La PRA Côte viticole ainsi que la réserve utile ne sont plus significatives. Mis à part ces changements, les coefficients relatifs aux variables qui ne sont pas climatiques sont très proches du modèle précédent.

Les coefficients associés aux variables de climat ont désormais des valeurs plus raisonnables, même si elles restent élevées. Par contre, le sens de variation change. Ainsi, nous constatons que lorsque la température de juillet augmente de 1°C, le prix des terres augmente de 182%. Afin de résoudre ces problèmes de colinéarité, nous proposons de travailler sur un modèle simplifié, c'est-à-dire impliquant beaucoup moins de variables susceptibles d'être colinéaires entre elles.

4. Proposition d'un modèle simplifié permettant de corriger les problèmes de colinéarité

Afin de sélectionner un modèle simplifié, nous avons mis en œuvre une procédure STEPWISE qui produit le Modèle 3 dont les résultats d'estimation sont présentés dans le Tableau 6 en Annexes. Le nombre de variables explicatives est considérablement réduit, notamment pour les variables pédoclimatiques. Toutefois, seule des variables de climat au carré sont conservées.

Une variable de température au carré à elle seule étant délicate à interpréter, nous avons décidé de proposer le Modèle 5 simplifié dont les résultats d'estimation sont présentés dans le Tableau 3.

Une analyse approfondie des tableaux d'analyse de variance du Modèles 3 nous a appris que la latitude, l'altitude et les variables de climat sont fortement colinéaires. Pour cette raison, nous avons décidé de ne pas intégrer les variables d'altitude et de latitude dans le Modèle 5.

Concernant les variables externes aux conditions pédoclimatiques, la procédure STEPWISE les retient toutes.

La procédure STEPWISE retient seulement les PRA Auxois, Morvan et Côte viticole ainsi que la perméabilité pour ce qui est des variables de production agricole. Le Modèle 5 inclut toutes les variables de PRA afin de faciliter les interprétations. Il incorpore aussi les variables de texture qui sont alors significatives, ce qui n'était pas le cas dans le modèle 1. Ceci était très certainement lié à notre hypothèse énoncée en introduction de colinéarité entre les variables de climat et celles de sol. Les variables de climat captaient alors tous les effets liés au sol. Nous avons choisi de nous concentrer sur les variables de texture de sol car elles nous ont semblé mieux refléter les difficultés de travail d'un sol. Par ailleurs, l'acheteur d'un sol peut plus facilement se rendre compte de sa texture que de sa réserve utile, de son régime hydrique, de sa perméabilité ou de son drainage naturel. Les variables du climat sont primordiales dans notre travail. Elles sont aussi la plus grande source de colinéarité. Leur sélection est donc de toute première importance. Mendelsohn *et al.* (1994) proposaient d'utiliser les températures moyennes et les précipitations totales en mm pour quatre mois de l'année, dits représentatifs des quatre saisons : janvier, avril, juillet et octobre. Deschênes et Greenstone (2007), en plus de ces quatre mois, proposent de prendre également deux saisons de croissance des plantes (d'avril à octobre et de novembre à mars dans leur étude à l'échelle des Etats-Unis), pour lesquelles les auteurs calculent des degrés-jours cumulés pour les températures et des précipitations totales en mm. Sur la base de ces travaux, croisés avec l'étude du cas de la Côte-d'Or présentée dans la Figure 1 et effectuée sur la base de Brisson et Levraut (2010, 2012), nous envisageons deux variables de climat : les températures en degrés-jours cumulés pour une période de croissance d'avril à septembre ainsi que le nombre de jours de précipitations pour cette même période.

Tableau 3 : Résultats d'estimation de modèles simplifiés

	Modèle 5	Modèle 6	Modèle 7
--	----------	----------	----------

Constante	6.58487***	2.38812**	13.36857***
Température saison de croissance Avril – Septembre	0.00194***	0.00217***	
Pluie en nombre de jours saison de croissance Avril – Septembre	-0.03226***		-0.04855***
Sable	0.05059	0.11571	-0.03032
Argile	-0.12988**	-0.11681*	-0.21729***
Texture mixte	-0.00121	-0.00653	-0.04531
Perméabilité	-0.14669**	-0.16677***	-0.21153***
Auxois	-0.36203***	-0.33543***	-0.37405***
Côte viticole	0.36359**	0.53330***	0.43073***
La plaine	-0.23461	-0.03589	0.00162
La vallée	0.16023	0.08293	0.39121***
Morvan	-0.34788**	-0.37137**	-0.43906***
Tonnerrois	0.10916	0.04068	0.30289
Val de Saône	-0.44210**	-0.28238	-0.13476
Vingeanne	-0.35148**	-0.18017*	-0.18500
Densité de la population dans la commune	0.17474***	0.18275***	0.21650***
Densité au carré	-0.00447***	-0.00459***	-0.00530***
Acheteur fermier sur place	-0.12032***	-0.11296**	-0.12861***
Année	0.07310	0.07321	0.05824
R ²	0.4159	0.4102	0.3920
R ² ajusté	0.3986	0.3937	0.3749
Indice de conditionnement (/collin)	245.90246	126.36448	184.42353
Indice de conditionnement (/collinoïnt)	7.13242	6.37075	6.07293
N	625	625	625

Notes : *** significatif au seuil de 1%, ** significatif au seuil 5 %, * significatif au seuil 10%.

Les Modèles 6 et 7 montrent que les coefficients estimés du Modèle 5 sont relativement stables lorsque les variables de climat ne sont pas les mêmes. Ainsi, même si les indices de conditionnement demeurent élevés, le problème de colinéarité a été résolu.

Au final, le Modèle 5 nous indique qu'une augmentation de 1°C des températures pendant la saison de croissance d'avril à septembre augmente de 0,19% le prix des terres. Des températures suffisamment élevées sont nécessaires durant la saison de croissance des plantes. Une augmentation de 1 jour du nombre de jours de pluie diminue quant à elle le prix de 3,22%. Nous captions ici le risque d'excès d'eau auquel sont fortement exposées les cultures de Côte-d'Or.

Parmi les résultats les plus intéressants, notons également que le prix des terres est 14.83% plus faible dans les communes dont le sol est à dominante argileuse par rapport aux communes à dominante limoneuse. Les sols limoneux auraient donc un potentiel agronomique plus fort en Côte-d'Or.

Enfin, le Modèle 5 nous apprend que la densité de population augmente le prix des terres, en raison des anticipations d'urbanisation. Le fait que l'acheteur soit le fermier sur place diminue le prix, en raison du statut du fermage qui protège les agriculteurs locataires de terres. Enfin, nous observons que seule la PRA Côte viticole induit un prix plus élevé que la PRA Plateau

langrois. Plus précisément, une terre vendue dans une commune appartenant à la PRA Côte viticole sera 33.76% plus chère qu'une terre vendue dans une commune qui est dans la PRA Plateau langrois. Nous captions ici un effet d'anticipation de conversion vers de la vigne dans la mesure où la viticulture d'appellation est représentée par la PRA Côte viticole.

Conclusion

Pour conclure, nous avons montré dans ce travail que le modèle proposé par Mendelsohn *et al.* (1994) ne pouvait pas être mobilisé directement pour mesurer l'impact du climat sur l'agriculture de Côte-d'Or. En effet, de forts problèmes de colinéarité entre les variables pédoclimatiques ont été mis en évidence. Ces problèmes impliquent des erreurs dans l'estimation des effets du climat sur les rentes agricoles. Nous avons donc proposé un modèle simplifié et montré que son estimation était fiable. L'approche Ricardienne peut donc être utilisée pour évaluer l'impact du climat sur l'agriculture de Côte-d'Or, à condition d'être vigilants sur les problèmes de colinéarité causés par l'échelle d'analyse.

Par ailleurs, notre modèle final nous a montré que le prix des terres augmente avec la température pendant la saison de croissance des plantes dans le département, ce qui est conforme à l'intuition. Il montre aussi que le prix diminue avec le nombre de jours de pluie. Ceci peut paraître moins intuitif au premier abord. Une étude approfondie de la littérature agronomique nous a toutefois permis d'associer ce résultat à un risque d'excès d'eau qui semble particulièrement présent en Côte-d'Or. Ceci est confirmé par le profil environnemental de la Bourgogne qui a été réalisée par la DREAL en 2012 (voir DREAL, 2012).

La prochaine étape de ce travail sera, tout comme Mendelsohn *et al.* (1994), de mobiliser les données simulées de climat pour le futur afin d'estimer l'impact des évolutions climatiques sur les activités agricoles. Il s'agira de considérer que le prix des terres est un bon proxy du coût d'opportunité de la production agricole. Notre échelle d'analyse nous permettra de mobiliser les données produites à l'aide de modèles climatiques régionaux. Nous serons alors en mesure de quantifier l'impact de modifications climatiques non spatialement homogènes sur les activités agricoles du département de Côte-d'Or. D'autres études pourront être réalisées sur les mêmes bases à l'échelle d'autres départements ou régions. La principale condition pour les mettre en œuvre sera la disponibilité des données.

Tableau4 : Sources et descriptif des variables

NOM DE VARIABLE	DESCRIPTIF	SOURCE
Logarithme du prix moyen en €/hectare	Logarithme du prix moyen par commune, en euros constants	
Acheteur fermier sur place	“1” si acheteur est le fermier déjà sur place et “0” sinon	
Année	Dummy de l'indicateur de l'année de transaction “0” si la transaction a été effectuée entre 1992 et 1999 “1” si la transaction a été effectuée entre 2000 et 2008	SAFER
PRA Auxois	“1” si commune appartient à la PRA “Auxois” et “0” sinon	
PRA Côte viticole	“1” si commune appartient à la PRA “ Côte viticole ” et “0” sinon	
PRA La plaine	“1” si commune appartient à la PRA “ La plaine ” et “0” sinon	
PRA La vallée	“1” si commune appartient à la PRA “ La vallée ” et “0” sinon	
PRA Tonnerrois	“1” si commune appartient à la PRA “ Tonnerrois ” et “0” sinon	AGRESTE
PRA Val de Saône	“1” si commune appartient à la PRA “ Val de Saône ” et “0” sinon	
PRA Vingeanne	“1” si commune appartient à la PRA “ Vingeanne ” et “0” sinon	
PRA Morvan	“1” si commune appartient à la PRA “ Morvan ” et “0” sinon	
PRA Plateau langrois	“1” si commune appartient à la PRA “ Plateau langrois ” et “0” sinon	
Température Janvier, Avril, Juillet, Octobre	Température moyenne interannuelle en °C pour Janvier, Avril, Juillet et Octobre	
Température Janvier au carré, Avril au carré, Juillet au carré, Octobre au carré	Température moyenne interannuelle en °C au carré pour Janvier, Avril, Juillet et Octobre	HYCCARE
Pluie Janvier, Avril, Juillet,	Précipitations moyennes interannuelles	

Octobre	cumulées en mm pour Janvier, Avril, Juillet et Octobre	
Pluie Janvier au carré, Avril au carré, Juillet au carré, Octobre au carré	Précipitations moyennes interannuelles cumulées en mm pour Janvier, Avril, Juillet et Octobre, au carré	
Température saison de croissance Avril - Septembre	Température totale cumulée en °C pour la période de croissance : avril-septembre	
Pluie en nombre de jours saison de croissance Avril – Septembre	Le nombre de jours avec les précipitations pendant la période de croissance des plantes d’avril à septembre	
Réserve utile	Réserve utile en mm	
Régime hydrique	“1” si régime hydrique est “saturé de manière saisonnière”, “0” sinon	
Drainage naturel	“1” si drainage naturel est favorable, “0” sinon	
Perméabilité	“1” si la classe de la perméabilité est “très perméable”, “0” sinon	DONESOL
Limon	“1” si la texture majoritaire dans la commune est du Limon, “0” sinon	
Sable	“1” si la texture majoritaire dans la commune est sable, “0” sinon	
Argile	“1” si la texture majoritaire dans la commune est argile, “0” sinon	
Latitude	Latitude (Nord) en degré, minute, seconde du chef-lieu	
Altitude	Altitude moyenne de la commune	RGC
Densité de la population dans la commune	Densité de la population d’une commune en centaines d’habitants par hectare	
Densité au carré	Densité de la population au carré	

Tableau 5a : Statistiques descriptives des variables continues

Variable	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Prix moyen en €/hectare	625	4006.66	7146.43	4.7514283	82587.37
Logarithme du prix moyen en €/hectare	625	7.8470646	0.7859267	115.7494874	11.3216120
Température Janvier	625	2.9199097	0.4532532	1.8696299	3.8698394
Température Avril	625	8.2398828	0.6201633	6.5985499	9.6067964
Température Juillet	625	16.8962204	0.7356714	15.2131882	18.7239145
Température Octobre	625	10.4687895	0.5233513	9.2299876	11.5177851
Température Janvier au carré	625	8.7309825	2.6455340	3.4955160	14.9756569

Température Avril au carré	625	68.2796564	10.3339134	43.5408612	92.2905365
Température Juillet au carré	625	286.0226094	25.2071085	231.4410964	350.5849736
Température Octobre au carré	625	109.8690113	10.9896396	85.1926714	132.6593744
Pluie Janvier	625	72.0088300	7.8831375	57.5254975	110.3370809
Pluie Avril	625	89.1604895	5.2760377	77.3357161	122.2292462
Pluie Juillet	625	110.0571474	9.2058941	88.5402080	141.2399516
Pluie Octobre	625	90.0841337	5.4019852	77.9482493	113.9837548
Pluie Janvier au carré	625	5247.32	1181.16	3309.18	12174.27
Pluie Avril au carré	625	7977.38	980.8755628	5980.81	14939.99
Pluie Juillet au carré	625	12197.19	2026.35	7839.37	19948.72
Pluie Octobre au carré	625	8144.29	989.2565029	6075.93	12992.30
Température saison de croissance Avril - Septembre	625	2581.22	119.9790104	2286.95	2876.35
Nombre de jours de précipitations saison de croissance Avril - Septembre	625	109.3985594	3.9168124	100.3529412	115.1029412
Latitude	625	472180.33	2041.48	465446.00	480028.00
Altitude	625	348.62160	91.9215782	179.5000	588.5000
Densité de la population dans la commune	625	0.5132629	2.2101018	0	37.6391982
Densité au carré	625	5.1401734	65.4303898	0	1416.71
Réserve utile	625	71.7473432	56.5902263	10.8800	172.3500

Tableau 5b : Statistiques descriptives des variables discrètes

Petite région agricole	Fréquence	Pourcentage	Fréquence cumulée	Pourcentage cumulé
Auxois	184	29.44	184	29.44
Côte viticole	74	11.84	258	41.28
La Plaine	88	14.08	346	55.36
La Vallée	27	4.32	373	59.68
Morvan	26	4.16	399	63.84
Plateau langrois	168	26.88	567	90.72
Tonnerrois	12	1.92	579	92.64
Val de Saône	30	4.80	609	97.44
Vingeanne	16	2.56	625	100.00
Acheteur				
Pas de preneur ou preneur en place non acquéreur	392	62.72	392	62.72
Acheteur fermier sur place	233	37.28	625	100.00
Année				
Avant l'an 2000 (1992-1999)	295	47.20	295	47.20
Après 2000 (2000-2008)	330	52.80	625	100.00

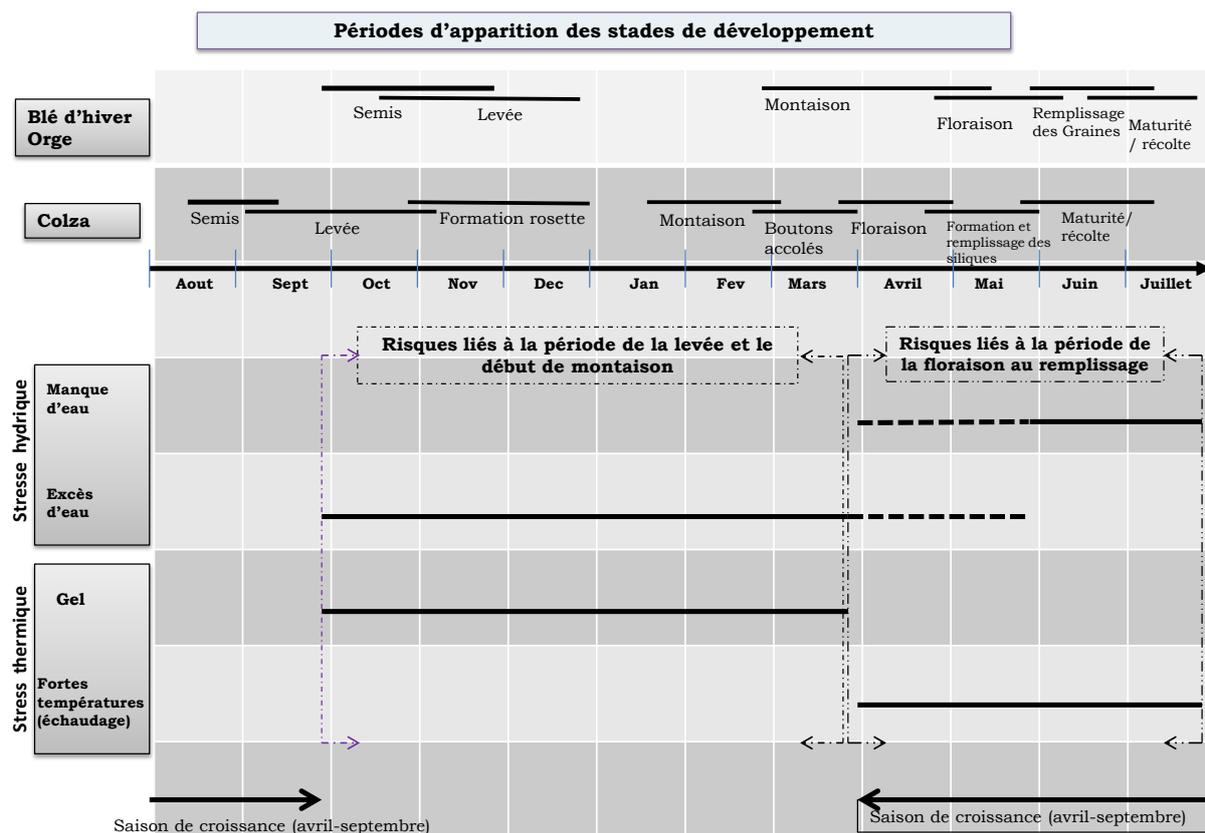
Textures de sol				
Limon	340	54.40	340	54.40
Sable	37	5.92	377	60.32
Argile	192	30.72	569	91.04
Texture mixte	56	8.96	625	100
Régime hydrique				
Sec de manière saisonnière	312	49.92	312	49.92
Saturé de manière saisonnière	313	50.08	625	100.00
Perméabilité				
Peu ou modérément perméable	214	34.24	214	34.24
Très perméable	411	65.76	625	100.00
Drainage naturel				
Drainage faible	182	29.12	182	29.12
Drainage favorable	443	70.88	625	100.00

Tableau 6 : Résultats d'estimation du modèle produit par la procédure STEPWISE

	Modèle 3	Modèle 4
Constante	-31.60301***	5.79616***
Température Janvier au carré	0.14487***	0.17451***
Température Juillet au carré	0.04797***	0.04212***
Température Octobre au carré	-0.09087***	-0.10406***
Latitude	0.00007***	
Altitude	0.00225**	
Perméabilité	-0.18027***	-0.11850*
PRA Auxois	-0.21530***	-0.28481***
PRA Côte viticole	0.29464***	0.26771***
PRA Morvan	-0.22125	-0.30715**
Densité de la population dans la commune	0.13599***	0.15150***
Densité au carré	-0.00380***	-0.00395***
Acheteur fermier sur place	-0.10774**	-0.11380**
Année	0.07858*	0.08067*
R ²	0.4530	0.4382
R ² ajusté	0.4414	0.4281
Indice de conditionnement (/collin)	1 561.67844	283.90197
Indice de conditionnement (/collinoit)	22.87016	19.95226
N	625	

Notes : *** significatif au seuil de 1%, ** significatif au seuil 5 %, * significatif au seuil 10%.

Figure 1 : Risques climatiques associés aux stades de développement des principales cultures de Côte-d'Or



Bibliographie

Bastian C.T., McLeod D.M., Germino M.J., Reiners W.A., Blasko B.J. (2002) Environmental Amenities and Agricultural Land Values: A Hedonic Model Using Geographic Information System Data. *Ecological Economics* 40, 337-349.

Brisson N., Levrault F. (2010) Synthèse du projet Climator. INRA-ADEME-ANR.

Brisson N., Levrault F. (2012) Livre vert du projet CLIMATOR, 2007-2010, INRA-ADEME-ANR, ADEME Editions.

Cavailhès J., Wavresky P. (2003) Urban Influences on Periurban Farmland Prices. *European Review of Agricultural Economics* 30, 333-357.

Cline W.R. (1996) The Impact of Global Warming on Agriculture: Comment. *The American Economic Review* 86(5), 1309-1311

Crétat J., Macron C., Pohl B., Richard Y. (2012) Quantifying internal variability in a regional climate model: a case study for Southern Africa. *Climate Dynamics*, 37, 1335-1356.

Darwin R. (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment. *The American Economic Review*, 89(4), 1049-1052.

Deaton B.J., Vyn R.J. (2010) The Effect of Strict Agricultural Zoning on Agricultural Land Values: the Case of Ontario's Greenbelt. *American Journal of Agricultural Economics* 92(4), 941-955.

Deschênes O., Greenstone M. (2007) The Economic Impact of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Reply. *American Economic Review*, 102(7), 3761-3773.

DREAL (2012) Profil environnemental régional de la Bourgogne, http://www.per-bourgogne.fr/files/pdf/0_PER_2012.pdf, 150 pages.

Erkel-Rousse H. (1995) Détection de la multicollinéarité dans un modèle linéaire ordinaire : quelques éléments pour un usage averti des indicateurs de Belsley, Kuh et Welsch. *Revue de statistique appliquée* 43(4), 19-42.

Gardner K. and Barrows R. (1985) The Impact of Soil Conservation Investments on Land Prices. *American Journal of Agricultural Economics* 67(5), 943-947.

Geniaux G., Napoléone C. (2005) Rente foncière et anticipations dans le périurbain. *Economie et Prévision* 168(2), 77-95.

GIEC (2007) *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M. and Miller H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Halvorsen R., Palmquist R. (1980) The interpretation of dummy variables in semilogarithmic equations. *American economic review* 67, 972-974.

Hocking R.R. (1976) A biometrics invited paper. The analysis and selection of variables in linear regression. *Biometrics* 32(1), 1-49.

Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailhès J., Hilal M., Wavresky P. (2010) Les types de climat en France, une construction spatiale. *Cybergeo* 501, 32 p.

Kennedy P.E. (1981) Estimation with correctly interpreted dummy variables in semilogarithmic equations. *American Economic Review* 71, 801

King D.A., Sinden J.A. (1988) Influence of Soil Conservation on Farm Land Values. *Land Economics* 64(3), 242-255.

- Letort E., Temesgen C. (2014) Influence of environmental policies on farmland prices in the Bretagne region of France. *Review of Agricultural and Environmental Studies - Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*. 95(1), 77-109.
- Livanis G., Moss C.B., Breneman V.E., Henring R.F. (2006) Urban Sprawl and Farmland Prices. *American Journal of Agricultural Economics* 88(4), 915-929.
- Maddison D. (2000) A hedonic analysis of agricultural land prices in England and Wales. *European Review of Agricultural Economics* 27(4), 519-532.
- Marteau R., Richard Y., Pohl B., Chateau Smith C., Castel T. (2014) High-resolution rainfall variability simulated by the WRF RCM: application to eastern France. *Climate Dynamics* DOI10.1007/s00382-014-2125-5.
- Mendelsohn R., Nordhaus W.D., Shaw D. (1994) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review* 84(4), 753-771.
- Mendelsohn R. and Nordhaus W.D. (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply. *American Economic Review* 89(4), 1053-1055.
- Miranowski J.A., Hammes B.D. (1984) Implicit Prices of Soil Characteristics for Farmland in Iowa. *American Journal of Agricultural Economics* 66(5), Proceedings Issue, 745-749.
- Palmquist R.B., Danielson L.E. (1989) A Hedonic Study of the Effects of Erosion Control and Drainage on Farmland Values. *American Journal of Agricultural Economics* 71(1), 55-62.
- Quiggin J., Horowitz J.K. (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment. *The American Economic Review*, 89(4), 1044-1045.
- Rosen S. (1974) Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *The Journal of Political Economy* 82(1), 34-55.
- Rossi A., Castel T., Richard Y., Amiotte-Suchet P., Brûlebois E., Ubertosi M., Brayer J.-M., Doney C., Toussaint H. (2014) Impact du changement climatique sur l'évolution de la ressource en eau en Bourgogne, France (1980-2100) Analyse des paramètres hydroclimatiques simulés à haute résolution par un modèle climatique régional (WRF) AIC, 3-5 juillet 2014, Dijon-France, 6p.
- Schlenker W.W., Hanemann M., Fisher A.C. (2006) The Impact of Global Warming on U.S. Agriculture: An Econometric Analysis of Optimal Growing Conditions. *Review of Economics and Statistics* 88(1), 113-25.

Schlenker W., Hanemann W.M., Fisher A.C. (2005) Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach. *The American Economic Review*, 95(1), 395-406.

Xu F., Mittelhammer R.C., Barkley P.W. (1993) Measuring the Contributions of Site Characteristics to the Value of Agricultural Land. *Land Economics* 69(4), 356-369.