

## Impact des changements climatiques sur l'agriculture dans la plaine de Jeffara au sud-est tunisien

Houcine JEDER<sup>1\*</sup>, Ahmed Ben Khalifa<sup>2</sup>, Mongi Sghaier<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Economie et Sociétés Rurales, Institut des Régions Arides IRA, Médenine, Tunisia.

<sup>2</sup>Unité de recherche Environnement Ressources Naturelles Agriculture, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Tunis, Tunisia.

\*Auteur de correspondance : [djederhoucine@yahoo.fr](mailto:djederhoucine@yahoo.fr)

Présenté le 27 Juillet 2013, accepté le 22 Octobre 2013. Section: Research Paper

Résumé : Cette étude évalue la vulnérabilité de l'agriculture dans la plaine de Jeffara (sud-est tunisien) aux changements climatiques en utilisant la méthode Ricardienne. Cette méthode consiste à exprimer les revenus nets agricoles en fonction des variables climatiques, édaphiques et socio-économiques. Ces modèles ricardiens ont été testés sur la base des données d'une enquête réalisée dans le cadre d'un projet de développement dans la plaine Jeffara pour la campagne agricole 2002-2003. Ces modèles ont permis d'exprimer d'une part la relation qui existe entre le revenu agricole et les variables climatiques (température et précipitation) et d'autre part, d'analyser la sensibilité des revenus agricoles par rapport à ces variables climatiques. Des simulations ont été faites sur la base des résultats du scénario A2 de la projection qui a été réalisé par le modèle HadCM3 à l'échelle nationale et régionale de la Tunisie.

Les résultats de l'étude ont montré le non linéarité de la relation entre le revenu agricole et le climat. En même temps, les effets négatifs de certaines options d'adaptation ont montré aussi que l'agriculture dans la plaine de Jeffara est une agriculture paysanne basée sur le travail familial qui nécessite aujourd'hui un capital financier important et une marge de modernisation afin d'améliorer l'activité agricole dans les années futures. Tandis que les effets positifs de certaines autres options peuvent servir comme des points de réflexion dans l'élaboration des stratégies d'adaptation aux changements climatiques comme l'utilisation des nouvelles technologies d'irrigation et l'intégration de l'activité de l'élevage dans l'exploitation agricole.

*Mots clés : changements climatiques, agriculture, modèle ricardien, Sud-tunisien.*

## Introduction

Depuis plusieurs années, le réchauffement climatique est un sujet important et souvent au cœur des débats, aussi bien politiques que scientifiques. Les avancées scientifiques et le consensus relatif aux effets néfastes des changements climatiques, l'intérêt grandissant pour le développement durable et l'environnement, les désastres écologiques ou encore la pression exercée par certains ONG dans ce domaine ont réussi à faire naître un intérêt dans la sphère des décideurs (Hässig, 2008). La communauté internationale a pris conscience du fait qu'il était nécessaire de lutter contre les changements climatiques que ce soit en tentant d'atténuer les effets du réchauffement ou en essayant de s'adapter à ses conséquences pour modérer les dommages.

La Tunisie, qui fait partie de la rive méditerranéenne, est considérée parmi les pays en voie de développement qui sont les plus vulnérables aux changements climatiques à cause de la prédominance de l'agriculture à faible capital naturel et des activités économiques affectées par un climat relativement chaud (Nefzi, 2001). Conscient des effets possibles des changements climatiques sur l'activité économique en particulier l'agriculture, la Tunisie a porté durant ces dernières années un grand intérêt à toutes les actions menées dans le cadre de lutter contre les changements climatiques en particulier dans les zones arides du pays.

L'objectif de ce papier est d'évaluer, en premier lieu, la sensibilité de l'agriculture en zones arides aux changements climatiques à travers l'approche Ricardienne et en deuxième lieu, de percevoir la viabilité de certaines mesures d'adaptation à mettre en œuvre pour limiter les effets néfastes de ces changements dans le futur.

## Changements climatiques en Tunisie

Le climat de la Tunisie est très variable. La variabilité la plus importante qui caractérise ce pays est la sécheresse qui peut affecter plusieurs milieux et domaines en particulier les ressources hydrauliques, les écosystèmes, l'agriculture et l'économie de façon générale. De même que la tension sur les agriculteurs et sur leurs exploitations seront accentuées avec le risque que certaines activités agricoles ne pourraient pas s'adapter, à l'avenir, aux phénomènes extrêmes des changements climatiques

La connaissance du comportement possible du climat de la région en cas des changements climatiques, est élément de base pour toute évaluation de la vulnérabilité de cette région. Les changements climatiques en Tunisie vont subir des modifications importantes à l'échéance future selon les projections faites par le modèle HadCM3<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Le modèle HadCM3 (*Hadley Centre Coupled Model, version 3*) est développé au centre Hadley décrit par Gordon et al. Il dispose d'un contrôle de stabilité et de la climatologie et n'utilise pas de flux d'ajustement. HadCM3 est composé de deux éléments : le modèle atmosphérique HadAM3 et le modèle d'océan.

(GTZ et MARH, 2007) aux horizons 2020 et 2050. Les résultats de prévision du modèle montrent une augmentation moyenne annuelle de température sur l'ensemble de pays de +1.05°C en 2020 et à l'horizon de 2050, on aura une accentuation de la température allant de 1.6° C au Nord +2.7°C au Sud, avec une multiplication de fréquence d'apparition des années extrêmes sèches. On assistera aussi à une baisse modérée de la précipitation en 2020 de (-5 % au Nord à -10 % extrême Sud) et en 2050 (-10 % au Nord à -30 % extrême Sud).

Pour conclure, on peut dire que les changements climatiques se traduisent pour la Tunisie par une augmentation de la température moyenne annuelle, une baisse modérée des précipitations et une variabilité accrue du climat. Les spécialistes montrent bien qu'il aura particulièrement une augmentation des fréquences et en intensité des phénomènes extrêmes. Ce qui entrainera une succession plus nette des années de grande sécheresse en particulier dans les régions arides de sud tunisien.

La plaine de Jaffera qui fait partie de ces zones arides de sud tunisien présente des caractéristiques d'aridité agressive qui la rendent particulièrement très sensible au phénomène des changements climatiques dans le future. Les sociétés locales ont, de tout temps, su s'adapter à cet environnement contraignant mais l'intensification agricole, les concurrences intersectorielles autour des ressources en eaux, l'intervention publique pour l'intégration de la région à une économie mondialisée posent aujourd'hui des questions cruciales en termes d'adaptabilité des systèmes de production pratiqués au défi des changements climatiques. Sachant que, la région est confrontée à des formes de compétition accrue sur les ressources naturelles et à des risques amplifiés par la dégradation du milieu et la désertification qui peuvent accentuer la situation dans l'avenir avec ce phénomène des changements climatiques ; donc il est opportun de réfléchir dès maintenant dans le cadre d'une politique régionale ou nationale sur la viabilité des mesures d'adaptation à mettre en œuvre pour atténuer les effets des changements climatiques dans ces régions arides.

## **Cadre Méthodologie**

### ***Cadre théorique***

On distingue fondamentalement deux grandes approches dans l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture. Elles se différencient principalement par leur méthodologie qui s'oriente d'un côté vers l'agronomie et de l'autre vers l'économie. On trouve l'approche par fonction de production et l'approche Ricardienne.

L'approche par la fonction de production est fondée sur une approche expérimentale qui tente de mesurer les effets directs d'une modification du climat sur les différentes cultures et sur leurs besoins en intrants (luminosité, pesticides,

herbicides, engrais, etc.) à l'aide de modèles de simulation biophysique. Cette modélisation est faite sur la base de spécification théorique et d'expériences soigneusement retenues. Cette approche estime directement le changement de rendement à partir des modèles de réponse de cultures. Elle permet de mesurer l'impact des changements climatiques sur le rendement, en faisant varier les niveaux des stimuli climatiques. Cette approche a été utilisée par Adams *et al.* (1990), Kaiser *et al.* (1993), Reilly *et al.* (1994), Rosenzweig et Iglesias (1994) et Rosenzweig et Parry (1994), pour estimer l'impact des changements climatiques sur la production végétale. Ces résultats offrent une présentation idéaliste des phases de production culturale, qui tend à donner des résultats différents des conditions du monde réel. L'approche par la fonction de production présente un biais car elle a tendance à surestimer les dommages des changements climatiques sur la production en omettant plusieurs possibilités d'adaptation pour l'agriculteur en réponse aux conditions socio-économiques et environnementales (Mondelsohn *et al.*, 1994).

Partant des limites de l'approche par fonction de production, Mondelsohn, Nordhaus et Shaw (1994) ont développé l'approche Ricardienne. Cette approche tente de mesurer directement l'effet du climat sur la valeur des terres et le rendement agricole en utilisant une étude en coupe transversale. Le principe étant de régresser la performance de l'exploitation agricole représentée par la valeur de la terre ou le revenu net sur un ensemble des facteurs environnementaux, d'inputs traditionnels (terre et travail). Cette approche permet de mesurer la contribution de chaque facteur aux résultats et de détecter les effets des changements climatiques sur la valeur agricole de la terre (revenu net). Contrairement à l'approche par fonction de production, celle-ci prend en compte une gamme des stratégies d'adaptations possibles des agriculteurs. Elle permet aussi de comparer la sensibilité aux changements climatiques de différentes régions car elle relie les différences interrégionales du climat à la différence de la valeur de la terre (Ouedraogo, 2012). L'approche Ricardienne a été utilisée par Dinar *et al.* (1998) pour estimer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture indienne. De même, Gbetibouo G. et Hassen R. (2005), kurukulasuriya *et al.* (2006), Ouedraogo *et al.* (2006) l'ont appliqué pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture respectivement en Afrique du Sud, en Afrique et au Burkina Faso.

L'approche Ricardienne est basée sur la rente foncière qui est considérée comme le revenu net agricole de la meilleure utilisation de la terre. La rente foncière représente la production nette de la terre. Le revenu net agricole ( $V$ ) représente la valeur actuelle de la productivité future de la terre. Le principe est traduit par l'équation suivante (Mondelsohn et Dinar, 1993).

$$\begin{aligned}
 V &= \int P_{LE} e^{-\delta t} dt \\
 &= \int [\sum P_i Q_i (X, F, Z, G) - \sum RX] e^{-\delta t} dt \quad (1)
 \end{aligned}$$

$P_{LE}$  : revenu net par hectare,  $P_i$  : prix des produits culture  $i$ ,  $Q_i$  : quantité produite de la culture  $i$ ,  $F$  : facteur des variables climatiques,  $Z$  : ensemble des variables édaphiques,  $G$  : ensemble des variables socio-économiques,  $X$  : vecteur des facteurs de production (autre que la terre),  $R$  : vecteur des prix des facteurs de production,  $t$  : Temps,  $\delta$  : Taux d'actualisation.

Les agriculteurs sont supposés maximiser leurs revenus nets en utilisant les facteurs de production ( $X$ ) en fonction des caractéristiques de leurs exploitations et en faisant face aux conditions climatiques ( $F$ ), et aux prix des facteurs ( $R$ ). Le modèle Ricardien examine comment l'ensemble des variables endogènes  $F$ ,  $Z$ , et  $G$ , affectent la valeur de la ferme. Le modèle est basé sur les réponses observées par les cultures et les fermiers aux conditions climatiques. Il utilise les observations actuelles des performances des exploitations agricoles selon les différentes zones climatiques (Mondelsohn *et al.*, 1994 ; Mondelsohn et Dinar, 1998). Il mesure comment la rentabilité agricole varie avec le climat local en contrôlant les autres facteurs. Le modèle Ricardien standard est un modèle quadratique sur le climat :

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + \mu \quad (2)$$

Avec :

$\mu$  : Le terme d'erreur.

$F$  et  $F^2$  : conformément au travail de Mondelsohn (1993), nous assumons que les variables climatiques prennent la forme quadratique dans la fonction du revenu net. L'introduction des termes quadratiques pour les variables climatiques reflète la non linéarité de la relation entre le revenu net et le climat.

De l'équation (2), nous pouvons dériver l'impact marginal des variables climatiques sur le revenu comme suit :

$$E[dV/df_i] = E[\beta_{1,i} + 2 * \beta_{2,i} * f_i] = \beta_{1,i} \quad (3)$$

Le coefficient du terme linéaire de chaque variable climatique représente l'impact marginal de cette variable sur le revenu net agricole. Le changement climatique du bien être  $U$ , résultant des changements climatiques de  $C_0$  à  $C_1$  peut être mesuré comme suit :

$$\Delta U = V(C_1) - V(C_0) \quad (4)$$

## **Cadre empirique**

### *Spécification du modèle*

En partant du modèle standard développé par Mondelsohn (1993), la forme fonctionnelle retenue dans le cadre de ce travail est la suivante :

$$RN_{ha} = Ct^e + \beta_1 temp\_sh + \beta_2 temp_{sh}^2 + \beta_1 temp\_ss + \beta_2 temp_{ss}^2 + \beta_1 precip\_sh + \beta_2 precip_{sh}^2 + \beta_1 precip\_ss + \beta_2 precip_{ss}^2 + \sum_{i=1}^n a_i sol_i + \sum_j^m u_j z_j \quad (5)$$

Avec :

*La variable dépendante*

La variable dépendante est le revenu net agricole noté :  $RN_{ha}$  en Dinars tunisien / hectare. Il est calculé pour chaque ménage et se définit comme étant la valeur de la production végétale moins les coûts de production. Le coût de la main d'œuvre familiale et l'utilisation de la terre ne sont pas pris en compte dans le calcul du revenu. Le revenu moyen de l'échantillon est de 185 DT/ha et par an et de 125 DT/ha pour l'agriculture pluviale qui compte 122 exploitations.

*Les variables indépendantes*

*Temp* = Température moyenne pour la saison humide et la saison sèche

*Precip* = Précipitation moyenne pour la saison humide et la saison sèche. La saison humide : *sh* = Octobre à Avril, la saison sèche : *ss* = Mai à Septembre.

$Sol_i$  = types de sols, (Sol1 : minéraux bruts d'érosion ; Sol2 : peu évolués ; Sol3 : calcimagnésiques et Sol4 : isohumiques). Ces variables édaphiques sont exprimées en pourcentage du type des sols par rapport à la superficie de la zone d'étude.

$Z_i$  = Caractéristiques des exploitations se rapportent au niveau d'utilisation des facteurs de production : Taille du ménage (log taille de ménage), superficie de l'exploitation (en hectare), irrigation (1/0), pratique de l'élevage (1/0), vulgarisation (accès à la vulgarisation), traction animale (1/0), main d'œuvre salariée (1/0). Ces variables sont des variables dichotomiques qui prennent la valeur de (1) si l'individu a recours à cette pratique et (0) si non, de même pour l'accès à la vulgarisation (1) si l'individu a accès à la vulgarisation et (0) dans le cas contraire.

*Collecte des données*

Les données ont été collectées à partir d'enquête réalisée dans le cadre de projet de Jefferra dans le sud-est tunisien (2002-2003). Ces données répondent aux exigences de l'approche Ricardienne pour faire la simulation. Ces données sont de deux types : des données primaires et des données secondaires.

Les données primaires ont été obtenues à partir d'une enquête auprès d'un échantillon touché 250 exploitations agricoles retenues de l'enquête de projet. Elles ont concerné les caractéristiques socio-économiques des exploitations.

Les données secondaires comme les données climatiques et les données édaphiques. Pour les données climatiques ont été obtenues à partir de deux stations météorologiques : station de Médenine et Gabes pour la campagne agricole 2002-2003 (Mai 2002 à Avril 2003) et pour les données édaphiques ont été tirées des résultats

pédologiques faites dans le cadre de ce projet (Taâmallah *et al.*, 2006).

La disponibilité des données à l'échelle de la délégation pose des difficultés. En effet, les données climatologiques doivent être en accord avec les données agro-économiques dont nous disposons pour pouvoir les utiliser dans les estimations et les simulations avec le modèle ricardien. Ainsi, il est nécessaire d'estimer les conditions climatiques pour chaque délégation à partir de la station métrologique la plus proche. Pour déterminer une seule valeur de la variable, il faut passer par ce qu'on appelle « spatialisation du climat ». La spatialisation des variables climatiques est appelée aussi « interpolation des variables climatiques » en utilisant la méthode déterministe. C'est la méthode gravitaire basée sur la distance aux points de mesure pour l'interpolation spatiale des données. Elle est connue dans la littérature par l'acronyme *IDWA* (*IDWA*, Inverse Distance Weighted Averaging). Le principe de cette méthode est que, pour une même variable, l'effet relatif d'un point d'observation diminue avec la distance qui le sépare du point de l'espace dont on veut estimer la valeur (Hartkamp *et al.*, 1999), Alors pour notre cas, on calcule la moyenne des mesures des différentes stations climatiques avec un point plus important donné aux stations les plus proches, la valeur prédite pour un point de l'espace est :

$$z = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n 1/d_i^k \right]} \quad (6)$$

Où  $Z$  est la valeur prédite estimée,  $Z_i$  est la valeur connue au point de mesure  $i$ ,  $d_i$  est la distance entre le point de valeur connue et le point de mesure  $i$  (l'endroit où se trouve la station métrologique), le nombre des stations utilisées pour l'interpolation, et  $k$  la puissance pour laquelle est élevée la distance dans la plupart des cas,  $k=2$ , on obtient ainsi les conditions climatiques pour chaque individu de l'échantillon (exploitation agricole) pour l'année 2002-2003.

#### *Procédure d'estimation du modèle*

Les données ont été traitées et calculées avec Excel et la modélisation économétrique à l'aide du logiciel *EViews* 4.1. Dans la procédure d'estimation, on a intégré tout d'abord les variables climatiques et les variables édaphiques. Cette première séquence des variables a permis de définir un modèle reposant uniquement sur des facteurs physiques qu'on a appelé modèle sans adaptation. Il s'agit d'un modèle qui régresse le revenu net agricole par hectare en fonction de la température, de la précipitation et des types des sols. Ensuite, on a intégré au premier modèle des variables relatives aux caractéristiques des exploitations et à leur environnement socio-institutionnel pour prendre en compte les adaptations mises en œuvre par les agriculteurs et pour apprécier ainsi leur effet sur le revenu. Ce deuxième modèle est

appelé modèle avec adaptation. Il est appliqué aussi pour l'agriculture pluviale uniquement.

Les paramètres des modèles ont été estimés par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO). L'évaluation globale des régressions est faite avec le test de Fisher-Snedcor et le coefficient de détermination ( $R^2$ ) et la signification individuelle des paramètres est évaluée par le test de Student.

## Résultats et discussion

### *Résultats du modèle Ricardien*

Les résultats présentés dans le tableau 1 sont tirés de l'estimation du modèle Ricardien par MCO. Le test de Fisher-Snedcor montre que les régressions sont globalement significatives. Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) du modèle physique sans adaptation est de 0,71. L'intégration des variables d'adaptation améliore la qualité de l'ajustement avec  $R^2$  est de 0.82 mais pour le cas du modèle pourtant sur l'agriculture pluviale a un coefficient de détermination moins élevé  $R^2$  de l'ordre de 0.62. Quelque soit, le modèle de régression estimé, une grande part de la variation de revenu agricole reste inexpliquée par les variables prises en compte. Pourtant, Ces modèles restent satisfaisants au regard des résultats obtenus dans le cadre des études similaires dans divers régions du monde (Mondelson *et al.*, 1994 en Amérique ; Da Sliva, 2009, en Canada ; Nefzi, 2005 en Tunisie et Ouédraogo, 2012 en Burkina Faso).

Le test de Student montre que les termes quadratiques de la température, de la précipitation de la saison humide sont significatifs à 1%. Ceci signifie que la relation entre le revenu et le climat est non linéaire. Cette significativité est devenue moins importante dans le cas de la saison sèche montrant la faible relation entre le revenu agricole et le climat dans la saison sèche. Ceci nous renseigne aussi sur la période de campagne agricole et sur la nature de l'agriculture dans ces régions arides qui reste encore une agriculture vivrière. Les signes de termes linéaires et quadratiques sont opposés. Ce qui signifie que la température et la précipitation affectent positivement le revenu jusqu'à un certain niveau au-delà duquel chacune de ces variables devient néfaste pour les cultures selon les résultats de modèle physique sans adaptation. Donc, l'estimation significative des coefficients du second ordre dans le tableau.1 implique que la relation entre le revenu agricole est une fonction concave avec la température et la précipitation.

Les effets de types sols sur le revenu agricole sont positifs avec une significativité de 10 % à 1 % presque dans tous les modèles de régression, ce qui implique d'une part la technicité des agriculteurs dans la préparation de leurs sols pour la campagne agricole et d'autre part l'utilisation des fumiers organiques en particulier le fumier animal expliquant l'effet positif et significatif de 10 % à 5 % de la pratique d'élevage dans la contribution à l'amélioration de revenu agricole.

Tableau 1 - Résultats des modèles de régression (variable dépendante = revenu net agricole)

VARIABLES	MODELE PHYSIQUE SANS ADAPTATION		MODELE AVEC ADAPTATION			
	ENSEMBLE DES EXPLOITATIONS		ENSEMBLE DES EXPLOITATIONS		EXPLOITATIONS PLOUVIALES	
	COEF.	T.STATISTIQUE	COEF.	T.STATISTIQUE	COEF.	T.STATISTIQUE
Variables climatiques						
Température SH	157,62**	3,26	163,51****	4,16	254,43***	3,72
Température SH au carré	-4,44***	-3,28	-4,72***	-4,28	-7,45***	-3,84
Température SS	21,19	0,97	-5,46	-0,30	-643,95*	-1,73
Température SS au carré	-0,44	-1,14	0,08	0,28	10,44*	1,70
Précipitation SH	10,65***	10,55	5,41***	5,94	38,30**	2,69
Précipitation SH au carré	-0,01***	-10,38	-0,009***	-5,80	-0,34**	-2,47
Précipitation SS	5,22	0,05	85,31	1,02	164,05	0,83
Précipitation SS au carré	0,53	0,19	-2,25	-0,95	-4,43	-0,79
Variables édaphiques						
Sol1 : minéraux bruts d'érosion	3,97***	4,36	3,27***	4,42	4,29***	3,29
Sol2 : peu évolués	3,94*	1,87	3,79**	2,19	7,53**	2,64
Sol3 : calcimagnésiques	0,56**	2,10	0,46**	2,16	0,86**	2,43
Sol4 : isohumiques	1,23**	2,26	0,97**	2,20	0,81	1,10
Variables socio-économiques						
Superficie de l'exploitation (ha)			-0,84***	-3,76	-0,66**	-2,32
Log (taille de ménage)			3,48	0,67	-3,31	-0,17
Pratique de l'élevage (1/0)			11,04**	2,47	11,36*	1,47
Utilisation M.O salarié (1/0)			-1,92	-0,40	-4,35	-0,55
Accès à la vulgarisation (1/0)			54,50***	6,16	80,18***	4,52
Irrigation (1/0)			27,48***	3,03		
Traction animale (1/0)			-8,35	-1,54	-14,88	-1,58
Constante	-2259,99	-2,28	-2273,66	-2,75	5337,60	1,40
Nombre d'observations	250		250		122	
F	49,05		58,53		9,34	
R2	0,71		0,82		0,62	

\*Significatif au seuil de 10 % ; \*\* Significatif au seuil de 5 % ; \*\*\* Significatif au seuil de 1 % ;

L'effet de la superficie sur le revenu agricole est négatif, il peut être expliqué par les grandes superficies possédées par certains agriculteurs dans la région, en effet la superficie moyenne de l'échantillon est d'environ de 8,19 ha qui augmente la production mais n'améliore pas généralement pas la productivité de la terre (la rente). Ceci entraîne des baisses de rendement par manque des moyens financiers pour l'entretien et l'exploitation de grande superficie. De même, on remarque aussi l'effet négatif de main d'œuvre et de traction animale sur le revenu agricole avec une faible significativité de cette dernière variable et une significative de 5 % pour la première variable. Ces deux variables reflètent l'utilisation faible de main d'œuvre salariée et l'absence de capital. Ils peuvent nous renseigner aussi sur l'aspect de l'agriculture dans ces zones qui est encore une agriculture paysanne basée sur le main d'œuvre familiale expliquée par la relation positive entre la taille de ménage et le revenu agricole en particulier pour l'agriculture irriguée. On peut dire donc, que l'agriculture de la Jefferra nécessite aujourd'hui une marge de modernisation avec un capital d'investissement important pour une agriculture irriguée modérée qui intègre l'agriculture/élevage afin d'améliorer la productivité de la terre et ce grâce à une bonne

vulgarisation ciblée. Ceci explique l'effet positif et la significativité de deux variables l'irrigation et l'accès à la vulgarisation (1 % dans le modèle avec adaptation et dans le modèle de l'agriculture pluviale) montrant que la sensibilisation des agriculteurs afin d'utiliser des nouvelles technologies de production et d'irrigation peut jouer un rôle important dans l'amélioration du revenu et l'atténuation des effets néfastes des changements climatiques sur l'agriculture dans les années futures.

### ***Sensibilité des revenus agricoles par rapport au climat***

Les indicateurs utilisés pour évaluer la sensibilité des revenus agricoles par rapport au climat sont : l'impact marginal de la température et de la précipitation et l'élasticité du revenu par rapport à la température et à la précipitation. L'effet marginal de la température est calculé sur la base de la température moyenne de l'échantillon alors que l'effet marginal de la précipitation est calculé sur la base de la moyenne des précipitations annuelles de l'échantillon d'étude.

Le tableau 2 montre que pour l'agriculture pluviale, les effets marginaux des variables climatiques sont significatifs au seuil de 1 % pour la précipitation et de 5 % pour la température. Ces résultats reflètent que l'agriculture de la plaine de Jeffara est tributaire des précipitations et de la température. En effet, si la moyenne des précipitations annuelles augmente de 1 mm, les revenus agricoles augmenteront de 10,47 (*DT/ha*) en moyenne pour l'ensemble des agriculteurs de l'échantillon. Cette augmentation de revenu sera de 9,28 (*DT/ha*) pour le cas de l'agriculture pluviale. Ce gain atteindra 23,43 (*DT/ha*) pour l'ensemble des agriculteurs de l'échantillon et de 9,28 à 13,14 (*DT/ha*) pour l'agriculture pluviale si les agriculteurs pratiquent des stratégies d'adaptation. Ces résultats montrent que l'agriculture à la plaine de Jeffara est dépendante des conditions climatiques et que les options d'adaptation peuvent contribuer pour améliorer les revenus agricoles.

Par ailleurs, si les températures moyennes augmentent de 1°C, les revenus nets agricoles baissent de 3,95 (*DT/ha*) pour le modèle sans adaptation. Cette baisse de revenu est moins importante pour le modèle avec adaptation 3,82 (*DT/ha*) pour l'ensemble des agriculteurs de l'échantillon, mais elle reste non significative. Cette baisse devient plus importante et significative au seuil de 5 % pour le cas de l'agriculture pluviale, elle est de 16,68 (*DT/ha*) pour le modèle sans adaptation et 15,80 (*DT/ha*) pour le modèle avec adaptation. L'agriculture pluviale est touchée en plein fouet par les changements climatiques en particulier en cas d'augmentation de la température. Ceci montre que l'agriculture pluviale dans la zone de Jeffara est liée principalement aux conditions climatiques et édaphiques et montre aussi la nécessité de mettre en place des stratégies d'adaptation afin de sécuriser les revenus agricoles dans le cadre d'une stratégie prioritaire dans les politiques nationales et régionales afin de lutter contre les effets des changements climatiques.

Les élasticités des variables climatiques montrent que les revenus agricoles sont

Tableau 2 - Impact marginal et élasticité du climat sur le revenu net agricole (DT/ha) dans la plaine de Jeffara.

VARIABLES	MODELE PHYSIQUE SANS ADAPTATION		MODELE AVEC ADAPTATION	
	ENSEMBLE DES EXPLOITATIONS	EXPLOITATIONS PLUVIALES	ENSEMBLE DES EXPLOITATIONS	EXPLOITATIONS PLUVIALES
Température	-3,95 (-1,57)	-16,68** (-4,68)	-3,82 (-1,68)	-15,80** (-4,76)
Précipitation	10,47*** (3,53)	9,28*** (3,49)	23,43*** (5,90)	13,14*** (4,46)

\*\* Significatif au seuil de 5 % ; \*\*\* Significatif au seuil de 1 % ;

très sensibles aux variations des précipitations. Il ressort donc du tableau2 que l'augmentation des précipitations de 1 % entraine une hausse de revenus agricoles de 5,90 %. Cependant une augmentation des températures de 1 % entraine une baisse des revenus agricoles de 1,68 %. Cette sensibilité à la température est plus grande dans le cas de l'agriculture pluviale avec une baisse des revenus agricoles d'environ 4,76 %.

### **Impacts prévisionnels des changements climatiques sur les revenus agricoles**

Pour évaluer l'impact prévisionnel des changements climatiques sur le revenu agricole dans la plaine de Jeffara au sud-est tunisien, nous avons fait des simulations en se basant sur les résultats du modèle HadCM3 appliqué à la Tunisie, qui prévoit une projection des températures et des précipitations moyennes annuelles aux horizons des années 2020 et 2050. Les résultats montrent une augmentation de la température et une baisse des précipitations selon 4 scénarii A1, B1 et A2, B2 par rapport à la période de référence (1961-1990). Cependant à l'échelle régionale, on prévoit à la fois une augmentation de la température et une diminution de la précipitation, d'où la nécessité de faire des simulations simultanées d'augmentation de la température et de réduction de la précipitation. Ainsi, nous avons examiné les effets des changements climatiques à travers le scénario A2 du modèle HadCM3 : une augmentation des températures moyennes annuelles de 1,1 °C et de 2,1 °C et une diminution des précipitations moyennes annuelles de 7% et de 18 %.

Les résultats des simulations sont présentés dans le tableau 3. Il ressort qu'une augmentation de la température de 1,1°C combinée à une diminution de la précipitation de 7% engendrer une perte de revenu de 20,40 %. Cette perte sera plus importante à long terme. Elle est plus de 60 % du revenu agricole si la précipitation diminuera de 18 %. Tandis qu'une augmentation de la température 2,1 °C combinée à une diminution de précipitation de 7 % engendrera une perte de l'ordre de 35,39 % qui pourra atteindre 77,95 % si la précipitation diminuerait de 18 %. En supposant que toute chose égale par ailleurs, ces résultats montrent que si les changements climatiques dans le sud tunisien se manifestent par la diminution des précipitations,

l'agriculture de la Jeffara sera menacée par la détérioration de la rentabilité agricole; ce qui engendrera d'une manière directe ou indirecte des impacts négatifs sur l'économie régionale en termes de satisfaction alimentaire ainsi que l'augmentation des prix des produits agricoles qui va détériorer le pouvoir d'achat des consommateurs en particulier dans les périodes des sécheresses. La situation devient plus alarmante pour l'agriculture pluviale en particulier l'oléiculture qui est la culture la plus dominante dans la plaine de Jeffara. En effet, une augmentation de la température de plus de 1,1 °C combinée à une baisse de précipitation de 18 % va engendrer une perte de plus 3/4 si non la quasi totalité du revenu agricole.

Ces prévisions alarmistes nous poussent aujourd'hui à réfléchir sur les stratégies adéquates d'adaptation pour atténuer les effets néfastes des changements climatiques sur l'agriculture dans la plaine de Jeffara. L'adaptation faisant partie intégrante de la nature humaine, en particulier dans ces zones arides, où les agriculteurs sont déjà contrariés par les conditions climatiques difficiles, mais l'intensité des phénomènes climatiques aperçus dans le monde ces dernières années, nous oblige à faire un plan de précautions afin de maintenir notre agriculture et de sécuriser les revenus des agriculteurs dans ces zones difficiles qui sont les plus menacées par les changements climatiques.

Tableau 3 - Impact des scénarios climatiques GIEC (Scénario A2) sur le revenu net agricole dans la plaine de Jeffara.

SCENARIOS	ENSEMBLE DES EXPLOITATIONS		EXPLOITATIONS PLUVIALES	
	VARIATION DE REVENU NET		VARIATION DE REVENU NET	
	(DT/HA)	(%)	(DT/HA)	(%)
TEMPERATURE +1,1 ET PRECIPITATION -7 %	- 31,44	- 20,40	- 48,82	- 41,12
TEMPERATURE +1,1 ET PRECIPITATION -18 %	- 73,99	- 66,35	- 159,05	- 76,89
TEMPERATURE +2,1 ET PRECIPITATION -7 %	- 23,57	- 35,39	- 85,72	- 57,80
TEMPERATURE +2,1 ET PRECIPITATION -18 %	- 72,47	- 77,95	- 259,57	- 93,57

## Conclusion

Cette étude a permis de quantifier l'impact des changements climatiques sur les revenus agricoles dans la plaine de la Jeffara au sud-est tunisien. Les résultats ont montré que le climat a un effet non linéaire et significatif sur le revenu agricole et que l'agriculture dans la plaine de Jeffara est dépendante des précipitations et de la température avec l'apport important des conditions édaphiques dans l'amélioration de la productivité de la terre. Pour le cas de l'agriculture pluviale, l'augmentation de la température affecte énormément le revenu agricole, bien que cette agriculture a montré depuis le passé une capacité d'adaptation et de résistante importante en

particulier pour l'oléiculture, mais l'absence de la précipitation pour de longues durées rend la situation difficile et inquiétante dans certains cas. Ces résultats qui sont montrés par le modèle ricardien expriment la relation significative entre la rentabilité économique, les conditions climatiques et les conditions édaphiques pour le cas de l'agriculture et confirment la réalité observée dans les années de sécheresse.

Malgré les limites du modèle à exprimer les comportements d'adaptation des agriculteurs aux changements climatiques, il est arrivé à montrer la contribution positive de certains facteurs d'adaptation à l'amélioration du revenu agricole comme la pratique d'élevage, l'irrigation et l'accès à la vulgarisation qui peuvent servir comme créneaux pour l'élaboration des stratégies d'adaptation à l'échelle régionale et nationale. L'intégration d'autres méthodologies de recherche qui tient compte des limites du modèle ricardien en se basant sur l'analyse intégrée d'impact est nécessaire afin d'aboutir à des résultats et à des recommandations encourageantes en matière d'adaptation de l'agriculture dans la plaine de Jeffara aux changements climatiques possibles.

## Références

- Adams R., Rosenweig, C., Pearl R., Ritchie J., Mc Carl B., Glycer D., Curry B., James J., Boote K. et Allen H., 1990. Global Climate Change and U.S Agriculture, *Nature*, 345, pp 219-223.
- Da Silva L., 2009. L'impact économique des changements climatiques sur l'agriculture canadienne. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maître en sciences (M. SC.)
- Dinar A., Mendelsohn R., Evenson R., Prikh J., Sanghi A., Kumar K., McKinsey J. et Lonergan S., 1999. Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture. World Bank Technical Paper No. 42.
- Gbetibouo G. and Hassan R., 2005. Measuring the Economic Impact of Climate Change on Major South African Field Crops: A Ricardian Approach. *Global and Planetary Change* 47(2-4): 143-52.
- Hartkamp A.D., De Beurs K., Stein A. and White J.W., 1999. Interpolation Techniques for Climate Variables. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Hässig L., 2009. La lutte contre le changement climatique en Europe. Institut Européen de l'université de Genève. Collection Europya. Vol.61-2009
- Kaiser H.M., Riha S.J., Wilks D.S., Rossiter D.G., ET Sampath R., (1993). A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual warming, *American Journal of Agricultural Economics*, 75, pp 387-398.,
- Kurukulasuriya P., Mendelsohn R., Hassan R., Benhin J., Deressa T., Diop M., Eid Helmy M., Fosu K. Y., Gbetibouo G., Jain S., Mahamadou A., Mano R., Kabubo-Mariara J., El-Marsafawy S., Molua E., Ouda S., Ouédraogo M., Séne I., Maddison

- D., Seo S. N. & Dinar A., 2006. Will African Agriculture Survive Climate Change?, *World Bank Economic Review*, 2006, vol. 20, issue 3, pages 367-388.
- Mendelsohn R. and Dinar A., 2003. Climate, Water, and Agriculture. *Land Economics* 79(3): 328-41.
- Mendelsohn R., Nordhaus W.D. et Shaw D., 1994. The impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis, *The American Economic Review*, 4 (84), pp 755-771.
- GTZ (Allemagne), Ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques (MARH, Tunisie), 2007. Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques, GTZ-MARH. 28p.
- Nefzi A. et Bouzidi F., 2009. Evaluation de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb. Cinquième Colloque International « Énergie, Changements climatiques Et développement durable ». Hammamet, Tunisie, 15-16 et 17 juin 2009.
- Ouédraogo M., Somé L. & Dembele Y., 2006. Economic impact assessment of climate change on agriculture in Burkina Faso: A Ricardian Approach. CEEPA Discussion Paper No. 24, Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria.
- Ouédraogo M., 2012. Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agricultural and Environment for International Development -JAEID-2012*, 106 (1).
- Reilly J., Hohmann N. and Kane S., 1994. Climate change and agricultural trade: who benefits, who loses? *Global Envir. Change* 4: 24-36.
- Rosenzweig C. and Iglesias A. 1994. Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study. US Environmental Protection Agency. EPA 230-B-94-003. Washington DC.
- Rosenzweig, C., Parry M.L., 1994. Potential impact of climate change on world food supply, *Nature*, 367, pp 133-138.
- Taâmallah H, Génin D., Guillaume H., Hajji A., Oueld Belgacem A., Picouet M., 2006. Environnement et sociétés dans le Jeffara : état de lieux. Rapport scientifiques du thème 3 du programme "Jaffera", IRA-IRD-CRDA Médenine et Gabes, p 21-68.