



Munich Personal RePEc Archive

Climate Change, Agriculture and Economic Growth: A VAR modeling

Zouabi, Oussama

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis, Faculté
des Sciences Economiques et de Gestion de Toulon-VAR

2012

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/61072/>

MPRA Paper No. 61072, posted 03 Jan 2015 15:33 UTC

Changement climatique, agriculture et croissance économique :

Une modélisation VAR

Oussama Zouabi

(Léad, Université de Toulon, LAREQUAD, Université de Tunis El Manar)

(Version provisoire)

Résumé : La présente étude consiste à montrer l'impact de la précipitation et de la température sur la croissance économique via l'agriculture en Tunisie. L'agriculture est considérée comme un secteur clé et représente une grande importance dans l'économie Tunisienne. Par ailleurs la présence du changement climatique dans les PED, dans la région méditerranéenne qui a été considéré comme un lieu de transition entre deux grandes unités climatiques, devient une certitude et représente une menace écologique, économique et sociale. Cette analyse s'est faite sur la base des tests de stationnarité et d'un modèle VAR. Il ressort des résultats de l'étude qu'il existe une relation de long terme entre la température et la pluviométrie. En outre, la température a un effet direct négatif sur la croissance économique en Tunisie.

Mots clés : précipitation, température, agriculture, PIB, VAR.

JEL Classification Q54, Q10, E32, C32.

Abstract: The present study is to show the impact of precipitation and temperature on economic growth through agriculture in Tunisia. Agriculture is considered a key sector is of great importance in the Tunisian economy. Furthermore, the presence of climate change in developing countries in the Mediterranean region has been regarded as a place of transition between two major climatic units, becomes a certainty and is an ecological, economic and social threat. This analysis was made on the basis of tests of stationarity and a VAR model. The findings of the study that there is a long-term relationship between temperature and rainfall. In addition, temperature has a direct negative effect on economic growth in Tunisia.

Key words: climate change, agricultural, GDP and VAR.

JEL Classification Q54, Q10, E32, C32

Introduction :

Dès la naissance de la terre, le climat a constamment subi des changements dits « naturels » dus aux volcans, aux inondations, à la sécheresse, à la détérioration de la couche d'ozone, à l'émission naturelle du dioxyde de carbone... Ces changements ont été aggravés depuis l'apparition de l'homme, en puisant de plus en plus dans les ressources naturelles, plus particulièrement à partir de l'époque industrielle. De nos jours, le monde est témoin d'une forte augmentation de la température et des niveaux record en la matière sont enregistrés. La température globale moyenne sur les continents a battu un record avec un réchauffement de + 1.89°C. En réalité, le 20^{ème} siècle a été le siècle le plus chaud et parmi les dix années les plus chaudes, huit sont récentes entre 2000 et 2009. Le GIEC prédit que d'ici 2100 la température moyenne dans le monde aura augmenté de 1.8°C à 4°C, et dans le pire des cas 6.4°C. La communauté internationale avait d'ailleurs reconnu la réalité du danger dès le sommet de Rio de Janeiro en 1992, le rapport¹ de l'économiste britannique Nicolas Stern, a fait grand bruit. Ce rapport évoque des conséquences futures des changements climatiques de grande ampleur comparables à ceux de la première et deuxième guerre mondiale, et de la crise de 1929 réunies, et estime les coûts de ces changements à 5500 Milliard d'euro et 5% du PIB futur dans le monde si rien n'est fait.

Ainsi, l'objet de notre travail est de saisir l'impact du changement climatique sur la croissance économique, via l'agriculture pendant ces trois dernières décennies, par le biais d'un modèle économétrique qui couple des variables climatiques (température et précipitation), le rendement agricole et le PIB.

1. Approche méthodologiques

Si le changement climatique était considéré pendant une longue période comme un sujet tabou ou encore comme un phénomène ne relevant pas des champs de l'analyse économique, le changement climatique se révèle de plus en plus comme un phénomène central de l'économie de développement. Le changement climatique est une variation de l'état du climat à travers la variation de ces paramètres, qui à la période actuelle annonce un réchauffement global de la planète. Selon le GIEC² « Le changement climatique s'entend comme variation de l'état du climat que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses

¹ Le rapport de Stern est publié le 6 novembre 2006, à Nairobi, au Kenya, de la 12^{ème} conférence internationale sur le climat.

² Rapport du groupe international d'expert sur le climat (2007).

propriétés et qui persiste pendant une longue période ». Le changement climatique désigne donc la modification climatique de la terre, caractérisée par une variation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère sur plusieurs années. Le climat terrestre a toujours connu des cycles climatiques de réchauffement et de refroidissement. Le changement climatique est finalement la transformation du climat qui regroupe tous les facteurs qui constituent le temps, à savoir la température, les précipitations et les vents. Quand au réchauffement climatique, appelé aussi réchauffement planétaire ou bien réchauffement global, c'est un phénomène d'élévation de la température moyenne globale à la surface du globe, qui a commencé il y a plusieurs décennies et qui se poursuit actuellement. Les causes précises du réchauffement climatique récent demeurent discutées. Il existe un consensus scientifique quasi général, pour affirmer que le niveau élevé des GES produits par l'activité humaine est le principal responsable. Nous savons en effet que le dérèglement climatique en cours est lié aux émissions anthropiques des GES, croissantes depuis l'événement de l'ère industrielle, particulièrement sous forme de dioxyde du carbone (CO₂) qui constitue le principal de ces gaz du point de vue de ses conséquences sur le phénomène. Le réchauffement climatique provoque la fonte de glaciers, ainsi que la dilatation de l'eau sous l'effet de la chaleur. Ces phénomènes augmentent le volume de l'eau dans les océans et les mers, dont le niveau monte en moyenne de 1 à 2 cm. D'ici 2050 le niveau de la mer monte entre 5 et 30 cm. Si cette tendance se poursuit, certaines îles du pacifique vont disparaître sous les eaux. On peut dire aussi que la fonte des glaciers terrestres risque d'avoir pour conséquence, par exemple, la pénurie d'eau douce. La hausse de la température de la terre fait évaporer la quantité d'eau disponible dans les lacs, les rivières, etc. Un tiers de la population du globe vit actuellement dans des pays considérés comme soumis à un stress hydrique soit moins de 1700 m³ d'eau douce par habitant par an. Les spécialistes considèrent que la limite au-delà de laquelle le stress hydrique commence à se faire sentir correspond à une consommation de plus de 20% de la ressource en eau. L'augmentation de la population et l'accroissement corrélatif des besoins pourrait faire passer le nombre de personnes affectées à 5 milliards en 2025³. Le changement du régime des pluies aggravera la situation dans de nombreux pays, par exemple en Asie centrale, en Afrique du sud et sur le pourtour méditerranéen.

Dans la littérature théorique beaucoup d'efforts ont été faits afin d'analyser les effets des changements climatiques sur l'agriculture. L'essentiel de la recherche a été concentré sur les pays en voie de développement (Mendelson et Dinar 1999). Les impacts du changement

³ Ecole normale de Lyon (planète terre) [www.ens-lyon.fr/planet terre/](http://www.ens-lyon.fr/planet%20terre/)

climatique sur l'agriculture ont été évalués essentiellement selon une approche en termes d'équilibre partiel.

Les approches en termes d'équilibre partiel dans la littérature, à propos des impacts des changements climatiques sur l'agriculture, peuvent être classés selon trois approches : les modèles de simulation, le modèle agro économique et le modèle de Ricardo.

Le modèle de simulation : Les modèles sont fondés sur des expériences commandées où des récoltes sont cultivées dans des champs ou des laboratoires qui simulent différents climats et niveaux de CO₂ afin d'estimer les réponses et les rendements d'une variété spécifique de récolte à certains climats. Les évolutions de ces modèles n'incluent pas les effets d'adaptation des fermiers aux conditions climatiques changeantes. En conséquence, leurs résultats tendent à exagérer les dommages des variations des précipitations ou de la température sur la production agricole (Mendelson et Dinar 1999).

Le modèle agronomique : Ces modèles combinent des modèles de simulation de récolte, avec analyse de décision de gestion de la terre et capture des changements de ressources agro climatiques (Darwin et autre 1996, Ficher et autre 2005).

Le modèle agronomique est une approche expérimentale qui cherche à mesurer les impacts directs d'un changement climatique sur les différentes cultures, L'analyse agro économique classe les terres existantes par zones agro écologiques, qui diffèrent selon la longueur de la période et du climat. La durée de la période cultivable est définie à la base par la température, les précipitations et les caractéristiques des sols.

Cette approche tente de mesurer directement le mécanisme de repense des cultures face aux aléas climatiques, on remarque individuellement leur comportement et on contrôle pour toutes les autres variables qui peuvent influencer la croissance des plantes. Par contre ces expérimentations ne prend pas en considération les effets de modification indirectes de l'environnement dans la quelle les cultures poussent.

La modélisation des zones de récoltes et les procédures environnementales permettent alors d'identifier les limites environnementales sous divers niveaux des entrées (engrais, main d'œuvre...) et des états de gestion et fournissent des évaluations maximum des rendements des récoltes agronomiques par unité donnée de terre. Cependant, les rendements possibles potentiellement prévus par le modèle sont souvent beaucoup plus grands que les rendements effectifs courants. Les modèles peuvent surestimer les effets de l'adaptation autonome. Clin

(2000) a observé que les études des modèles agronomiques tendent à attribuer des avantages excessifs au réchauffement des régions froides de haute latitude, exagérant de ce fait les effets globaux du changement climatique.

Le Modèle de Ricardo : Cette approche initiée par (Nordhaws et Shaw 1994), a essayé de capturer l'influence de facteurs économiques, climatiques, environnementaux sur la valeur de la superficie agricole, selon une méthode dite de Ricardo, du nom de l'économiste classique David Ricardo, qui a observé que la valeur de la terre refléterait sa rentabilité dans un marché parfaitement compétitif. Le concept de base de l'approche Ricardienne est que la valeur de la terre est corrélée avec le climat, habituellement la température et la précipitation.

Sur cette base théorique on peut mesurer l'impact de la variable environnementale sur la valeur actuelle de la terre en examinant le rapport entre les variables climatiques et la valeur de la terre. L'impact économique du changement des variables environnementales est évalué par le changement en valeur de la terre à travers différentes conditions. Puis, selon les effets nocifs ou bénéfiques des changements climatiques sur l'accumulation des bénéfices nets à long terme déterminé par la valeur de la terre (Mendelson et autre 1999).

Ainsi, cette approche explique les coûts et les avantages de l'adaptation des fermiers aux changements climatiques par l'évolution de la valeur de la terre. Les adaptations des fermiers sont reflétées en valeur de terre cultivable qui est basée sur le fait que celle-ci découle du climat et d'autres variables de commande (Kurukulasuriya et Ajwad 2007). Cependant, l'approche Ricardienne souffre de quelques limites :

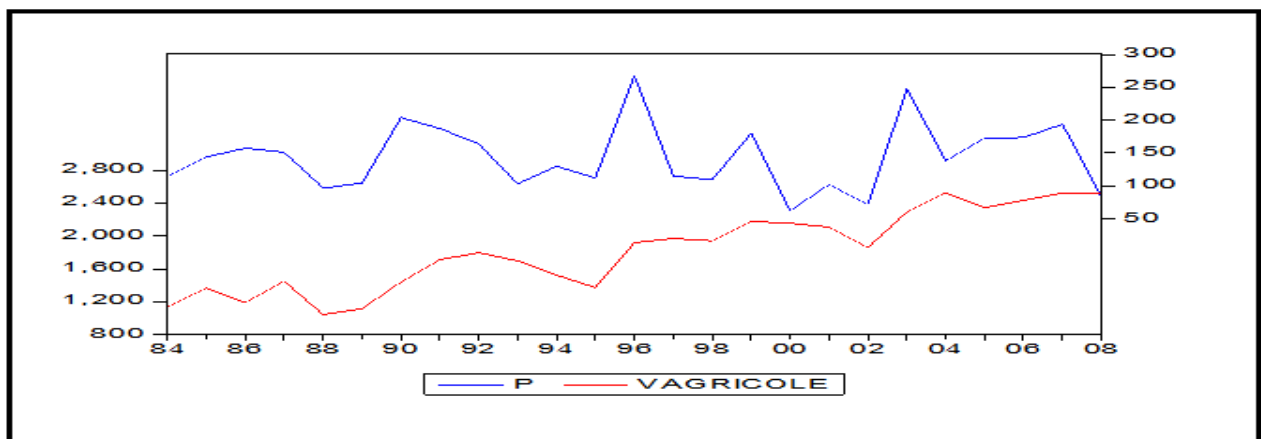
Un problème particulier de pertinence de cette approche estime que le changement environnemental, qui est global, ne prend pas en considération la fluctuation des prix dans le marché des produits agricoles. En conséquence le modèle ne considère pas les effets globaux importants dans l'analyse du changement, ce qui signifie que des facteurs significatifs ont été omis. Une autre limite du modèle Ricardien est l'hypothèse que les fermiers peuvent observer tous les changements du climat. Il suppose avec optimisme que les fermiers s'ajusteront aux changements climatiques et que ces derniers n'impliquent pas des coûts. Or la recherche a prouvé que les fermiers sont incapables de s'adapter aux changements climatiques, entre autre que l'ajustement serait lourd et coûteux.

Malgré ses insuffisances, la technique Ricardienne pour estimer l'effet économique du changement climatique sur l'agriculture a produit une quantité peu commune d'attention (Pologne 2004).

2. Outils méthodologiques

Le secteur agricole en Tunisie occupe une place primordiale, non seulement du point de vue de la population active qu'il emploie, mais aussi par la part de sa VA dans le PIB. Cependant, ce secteur est sujet aux aléas climatiques, que nous cherchons à saisir par le biais d'une analyse descriptive, et cela après avoir souligné l'importance du secteur agricole pour ce pays. Le secteur agricole demeure un élément central dans le développement économique de la Tunisie. Cette analyse semble plausible au vu du graphique 1 ci-dessous qui reflète une corrélation assez forte entre l'évolution du niveau de la pluviométrie et la VA agricole. En 1994, alors que le niveau de la pluviométrie était de 114.8 mm la VA agricole se chiffrait à 1139MD, une hausse de cette dernière de 25% entre 1984 et 1985 se traduit par une hausse de la VA agricole de 10% soit 1368MD en 1985, de même une baisse de la pluviométrie de 36% entre 1987 et 1988 se traduit par une baisse au niveau de la VA agricole. En 1996 l'année la plus pluvieuse la VA est passée de 1373.5MD à 1919.7MD soit une hausse de 38.16%, la condition est la même pour l'année 2003 où l'augmentation de la VA agricole était de 23.49% avec une augmentation au niveau de la précipitation de 249.3%. Par contre une baisse au niveau de la précipitation pour les années 1988,1995 et 2002 à savoir 36% ,13% et 29% respectivement s'est traduite par une baisse au niveau de la VA agricole de 28%,9.88%,11.9% respectivement pour les même années.

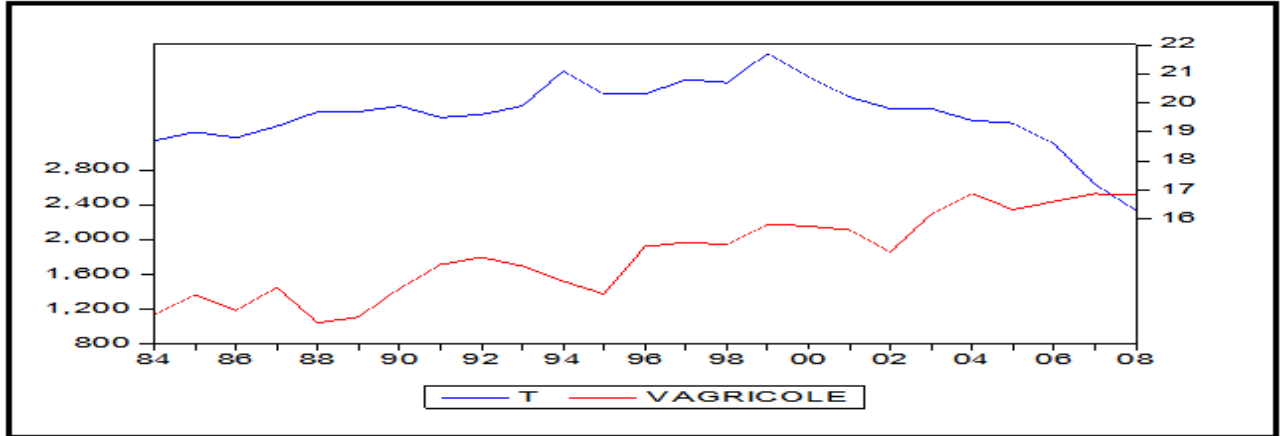
Figure 1: l'évolution de la pluviométrie et la VA agricole



Source: Institut national de la statistique

Au vu du graphique 2, il semble qu'il n'y a pratiquement pas de relation entre l'évolution de la température et celle de la VA agricole, ce qui n'est pas étonnant sachant que la température semble être constante ou faiblement variée.

Figure 2 : l'évolution de la température et la VA agricole



Source : Institut national de la statistique

Ainsi nous pouvons avoir les premières appréciations, selon quoi il y aurait un impact positif de la pluviométrie sur l'agriculture et la croissance, et inversement pour la température (impact négatif).

Ce que nous chercherons à vérifier dans la partie suivante relative à l'estimation de notre modèle économétrique. Le modèle de notre travail est fondé sur une approche en termes de fonction de production qui met en relation le PIB (Y) en fonction du capital (K), le travail (L), le rendement agricole (Ra) et un indicateur du changement climatique (CC). Le modèle se rapproche de celui utilisé par Bsaies et Mkaddem , qui est spécifié comme suit :

$$Y_t = F(K_t, L_t, Rat) = e^{\delta \cdot CC} \cdot L_t^\alpha \cdot K_t^\beta \cdot Ra_t^\theta \quad (1)$$

$$\text{Avec } \theta_A = \lambda_0 + \lambda_1 \cdot CC \quad (2)$$

En substituant (2) en (1) on obtient l'équation (3) qui est exprimée en termes de taux de croissance.

$$\frac{\Delta Y_t}{Y_t} = \alpha \frac{\Delta L_t}{L_t} + \beta \frac{\Delta K_t}{K_t} + \delta CC + \lambda_0 \frac{\Delta Rat}{Rat} + \lambda_1 \frac{\Delta Rat}{Rat} * CC \quad (3)$$

A la différence de ce modèle, le notre se divise en deux. Dans le premier modèle nous utilisons la variable précipitation (P) comme étant un indicateur du niveau de changement climatique. Dans le deuxième, ce niveau est mesuré à partir de la température (T).

Ainsi les deux modèles exprimés en log se spécifient comme suit :

Modèle 1 :

$$LY_t = c + \alpha_0 LLt + \beta_0 Lk_t + \delta_0 LP + \lambda_0 LRa_t + \lambda_1 LRa_t P + \mathcal{E}_t \quad (4)$$

Modèle 2 :

$$LY_t = c + \alpha_1 LLt + \beta_1 Lk_t + \delta_1 LT + \lambda'_0 LRa_t + \lambda'_1 LRa_t T + \mathcal{E}_t \quad (5)$$

Avec :

\mathcal{E}_t : terme d'erreur

A la différence des autres modèles, ce modèle permet de relier à la fois les trois facteurs (précipitation ou température, rendement agricole et PIB), nous permettant ainsi de saisir simultanément l'impact direct du changement climatique sur la croissance économique et l'impact indirect du changement climatique sur la croissance économique via l'agriculture.

δ_0, δ_1 : mesure l'effet direct du changement climatique sur la croissance économique.

λ_1, λ'_1 : mesure l'effet du changement climatique sur la croissance économique via l'agriculture.

Les données utilisées dans ce travail proviennent des institutions nationales ; l'institut national de la statistique (INS), l'institut d'économie quantitative (IEQ), l'observatoire national de l'agriculture (ONAGRI) et l'institut national de la météorologie. Les données sont annuelles et couvrent la période 1984-2008.

3. Résultats et discussion :

3.1. L'estimation du modèle (4) :

- **La stationnarité des variables retenues dans le modèle :**

D'après l'allure des courbes⁴ du PIB, du travail, du capital, du rendement agricole, de la température et des précipitations, nous remarquons qu'ils ont une tendance générale soit à la baisse ou à la hausse, soit que leurs évaluations au cours du temps présentent une tendance ascendante et unique, ce qui met leur stationnarité en niveaux, ceux-ci nous conduisent à

⁴ Voir annexe 2

tester la stationnarité pour s'assurer ou non de l'existence d'une racine unitaire, et ceux-ci en utilisant le test de Dickey-Fuller augmenté.

Tableau 1 : Test de Dickey-Fuller Augmenté

Variables	En niveau				Différence première				Nombre de retard max	ordre
	<i>ADF calculé</i>	<i>ADF critique</i>	<i>avec cst</i>	<i>avec trend</i>	<i>ADF calculé</i>	<i>ADF critique</i>	<i>avec cst</i>	<i>avec trend</i>		
<i>LPIB</i>	-2,651011	-3,612199	oui	oui	-6,93520	-3,62203	oui	oui	3	I(1)
<i>LK</i>	-1,961868	-3,632896	oui	oui	-4,72813	-3,64496	oui	oui	3	I(1)
<i>LL</i>	-2,598338	-3,612199	oui	oui	-3,46349	-2,998064	non	oui	3	I(1)
<i>LRAG</i>	-2,039255	-2,991878	oui	non	-7,07216	-1,956406	non	non	3	I(1)
<i>PLV</i>	-0,245494	-1,966406	non	non	-8,29544	-1,956406	non	non	3	I(1)
<i>LRAPLV</i>	0,160726	-1,966406	non	non	-8,51990	-1,956406	non	non	3	I(1)

On constate que pour toutes les variables (*LPIB*, *LK*, *LL*, *LPLV*, *LRAPLV*), les statistiques ADF sont inférieures aux statistiques critiques des différents seuils, qu'après une différenciation première elles sont donc intégrées d'ordre un (I(1)). Alors on peut conclure qu'il se peut qu'il existe une relation de cointégration.

Pour vérifier la cointégration entre ces variables, il faut passer par deux étapes. D'abord il faut déterminer le nombre de retard optimal qui convient à notre modèle. Ensuite nous allons utiliser le test de Johnson pour détecter le nombre des relations de cointégration entre les variables.

- **Le choix du nombre de retard :**

Pour choisir la taille d'un modèle VAR(p) pour un ordre p allant de 0 à un ordre h fixé de façon arbitraire, on se servira usuellement d'un critère d'information. Pour notre modèle, on calcule les fonctions AIC(p) et SC(p). Le choix du nombre de retard a un rôle très important dans l'estimation d'un modèle VAR. On choisit le nombre de retard qui minimise l'un de ces deux critères d'information.

Tableau 2 : le choix du nombre de retard

<i>Nombre de retard</i>	<i>AIC</i>	<i>SC</i>
1	-25.33462	-22.66868

Les résultats du tableau ci-dessus nous montrent que le nombre de retard est égal à un puisque les deux critères (AIC et SC) sélectionnent que le nombre de retard égal à un.

- **Le test de Johanson :**

Cette méthode est intéressante car elle permet de donner le nombre de relations de cointégration qui existent entre nos variables à long terme. La séquence du test de Johanson (il s'agit du test de la trace et test de la valeur propre) consiste à trouver le nombre de relations de cointégration (r). Pour cela on utilise la méthode de maximum de vraisemblance et dont les résultats figurent dans le tableau 3.

Tableau 3 : le test de cointégration de Johanson

H₀	Statistique de la trace	Statistique de la valeur propre maximale	Valeur critique au seuil de 5%
r=0	224.3095	0.97543	103.8473
r≤1	138.5807	0.905281	76.97277
r≤2	84.37335	0.827441	54.07904
r≤3	43.96198	0.636565	35.19275
r≤4	20.68242	0.507479	20.26184
r<5	4.393396	0.173882	9.164546

Pour déterminer le nombre des relations de cointégration, on doit tester l'hypothèse suivante :
Si la statistique de la trace > valeur critique alors on rejette H_0 donc il existe au moins une relation de cointégration.

Il ya quatre relation de cointégration, le modèle à correction d'erreur peut alors retenu.

- **Les résultats de l'estimation :**

Les résultats de l'estimation par la méthode de maximum de vraisemblance donnent la relation (4.1) de cointégration suivante :

La relation d'équilibre de long terme :

$$\begin{aligned}
 LPIB_t = & 0.565602LL_t + 0.926348LK_t - 0.104705LPLV_t - 0.07521LREAG_t + \\
 & (-9.9) \qquad (-17.03) \qquad (4.3) \qquad (2.8) \\
 & 0.090216LRAPLV_t - 4.948622 \qquad (4.1) \\
 & (-3.6) \qquad (28.59)
 \end{aligned}$$

NB : les valeurs entre parenthèses représentent les t de Student.

Après l'estimation de la relation d'équilibre de long terme, nous estimons dans ce qui suit l'équation sous forme d'un modèle à correction d'erreur. Les résultats de l'estimation donnent la relation (4.2).

$$\begin{aligned}
 D(LIPB) = & -0.794076 D(LPIB_{t-1}) - 1.646016 D(LL_{t-1}) - 0.515939 D(LK_{t-1}) \\
 & (0.14) \qquad (0.57) \qquad (0.21) \\
 & +0.160963 D(LREAG_{t-1}) - 0.146282 D(LRAPLV_{t-1}) + 0.131876 D(LPLV_{t-1}) \\
 & (0.05) \qquad (0.05) \qquad (0.04) \\
 & - 0.25 Res_{t-1} \qquad (4.2) \\
 & (0.03)
 \end{aligned}$$

- **Résultat de l'estimation**

Le modèle (4.1) qui donne l'effet à long terme du travail, capital, du rendement agricole et de la pluviométrie sur le PIB en Tunisie, montre que toutes ces variables sont statistiquement significatives à différents degrés, mais avec des élasticités parfois faibles.

Il est clair qu'il existe une relation significative de long terme positive entre le capital, le travail et l'effet indirect de la pluviométrie sur la croissance économique à travers l'agriculture. Ce dernier nous intéresse particulièrement car il nous montre l'effet indirect de la précipitation sur le PIB.

Les résultats de l'estimation nous invitent à conclure que si l'effet indirect de la pluviométrie (**LRAPLV**) augmente de **1%** engendre une augmentation du **PIB** de **0.09%**, ce qu'est conforme à la théorie et à nos attentes. L'effet direct du changement climatique sur le PIB est saisi par le coefficient de l'indicateur du changement climatique (PLV) qui est statistiquement significative de signe négatif.

Les résultats de l'estimation du modèle (4.2) à court terme montrent que toutes les variables ne sont pas significatives, ce qui signifie qu'on ne peut pas interpréter économiquement les résultats de ce modèle.

➤ **L'estimation du modèle (5) :**

Nous appliquons la même méthode d'estimation que le modèle (4).

- **La stationnarité des variables :**

Tableau 4 : Test de Dicky-Fuller Augmenté

Variables	En niveau				Différence première				Nombre de retard max	ordre
	ADF calculé	ADF critiqué	avec cst	avec cst	ADF calculé	ADF critiqué	avec cst	avec trend		
<i>T</i>	0,794084	-3,612199	oui	oui	-4,61806	-3,622003	oui	oui	3	I(1)
<i>LRAT</i>	0,230064	-1,956406	non	non	-8,67168	-1,956406	non	non	3	I(1)

On constate que les deux variables sont stationnaires et cointégrées de même ordre. Il existe donc une relation de long terme entre les variables.

- **Le choix du nombre de retard :**

Tableau 5 : le choix du nombre de retard

<i>Nombre de retard</i>	<i>AIC</i>	<i>SC</i>
1	-25.02989	-22.36395

Même résultat que le modèle (4), le nombre de retard est égale à un.

- **Le test de Johanson :**

Tableau 6 : le test de cointégration de Johanson

H₀	Statistique de la trace	Statistique de la valeur propre maximale	Valeur critique au seuil de 5%
r=0	130.6741	0.810909	83.93712
r≤1	92.36699	0.758878	60.06141
r≤2	59.65057	0.717359	40.17493
r≤3	30.58828	0.533516	24.27596
r≤4	13.05005	0.326203	12.32090
r<5	3.969036	0.158498	4.129906

On peut constater qu'il ya quatre relation de cointégration puisque la statistique de la trace qui égale à (3.969036) est inferieur à la valeur critiqué au seuil de 5% qui égale (4.129906), alors on accepte H₀ est donc r<4.

- **Les résultats de l'estimation :**

La relation (5.1) est la relation d'équilibre de long terme.

$$\begin{aligned}
 LPIB_t = & 2.06527LL_t - 0.492963LK_t - 0.058023LREAG_t - 0.406481LT_t \\
 & (-18.51) \quad (6.12) \quad (1.34) \quad (5.81) \\
 & + 0.058749LRAT_t \quad (5.1) \\
 & (-5.93)
 \end{aligned}$$

NB : les valeurs entre parenthèses représentent les t de Student.

A partir de cette relation de long terme, nous estimons l'équation sous forme d'un modèle à correction d'erreur (MCVE).

Les résultats de l'estimation donnent la relation suivante :

$$\begin{aligned}
 D(LPIB) = & 0.1532660 D(LPIB_{t-1}) + 0.093308 D(LL_{t-1}) - 0.372114 D(LK_{t-1}) \\
 & (0.2) \quad (0.98) \quad (0.39) \\
 & - 0.025097 D(LREAG_{t-1}) - 0.016519 D(LRAGT_{t-1}) - 0.242541 D(LT_{t-1}) \\
 & (0.04) \quad (0.008) \quad (0.17) \\
 & - 0.655110 Res_{t-1} \quad (5.2) \\
 & (0.2)
 \end{aligned}$$

NB : les valeurs entre parenthèses représentent les t de Student.

- **Résultat de l'estimation**

Le modèle (5.1), qui donne l'effet à long terme des mêmes variables avec substitution de la pluviométrie par la température comme indicateur du changement climatique, nous montre que l'effet direct de la température sur le PIB à un effet négatif avec une élasticité égale (-0.4), c'est-à-dire qu'une augmentation de la température (T) de 1% diminue le PIB de 0.4%. Cet effet direct du changement climatique sur le PIB peut s'expliquer par le fait que

l'augmentation de la température à long terme n'affecte pas seulement le secteur agricole, mais aussi d'autres secteurs comme le tourisme, il est aussi à noter qu'une température plus élevée peut être source des maladies qui peuvent coûter cher et peser lourdement sur le budget de l'Etat.

Les résultats du modèle (5.2) nous ont permis de conclure que l'effet direct et indirect de la température ont un effet négatif sur la croissance économique, mais toutes les variables ne sont pas statistiquement significatives, alors à court terme la température n'a aucun effet sur la croissance économique en Tunisie.

Conclusion

Le changement climatique constitue l'une des plus grandes sources de préoccupation de notre siècle. Du fait de l'étroite corrélation qu'il entretient avec la croissance économique et de ses sortes incidences sur le niveau de la qualité de vie de la population.

Dans cet article nous avons estimé un modèle VAR qui met en évidence les impacts de la précipitation et la température sur la croissance économique via l'agriculture où l'agriculture est considérée comme un secteur clé dans l'économie Tunisienne.

Les résultats suivants ont été obtenus :

- Que toutes les variables ne sont pas stationnaires qu'après une différence première.
- Les résultats de l'estimation ont montré que nos variables sont statistiquement significatives à long terme. En revanche dans le court terme ces variables sont statistiquement non significatives.
- Du point de vue économique, il apparaît qu'à long terme, la précipitation a un effet positif sur le PIB via l'agriculture, ce qui signifie que la hausse de la température est à nature à favoriser la croissance économique.
- Par contre la variable température à un effet direct négatif sur le rendement économique à long terme, donc il apparaît que la hausse de la température est de nature à freiner la croissance économique en Tunisie.

Références

- Adams R et al**, 1995. A Reassessment of the economic effects of Climate Change on U.S. Agriculture. *Climatic Change*, 30(2):147–67.
- Adams R**, 1989. Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5) :1272–79.
- Bardhan K**. 1973. Size, Productivity, and Returns to Scale: An Analysis of Farm-Level Data in Indian Agriculture. *The Journal of Political Economy*, 81:1370-1386.
- Casay B and Robyn M**, 2010. An empirical analyses of the effects of climate variables on national level economic growth. *The world bank development economics WPS 5357*.
- Dajewolo O and Adewuni M**, 2010. Empirical analysis of agriculture and climate change: A case study of Nigeria. *Journal of sustainable development in Africa*, 12(6).
- Darwin Ret al**, 1995. World agriculture and climate change: economic adaptations. *Agricultural Economic Report 703*: 86.
- Dell M et al**, 2008. Climate change and economic growth evidence from the last half century , NBER working paper series WP 14132.
- Deschenes O and Michael G**, 2007. The economic impact of climate change: Evidence from agricultural output and random fluctuation in weather. *American economic review*, 97:354-385.
- FAO**. 1988. Report of the mission on Agricultural sector review.
- FAO**. 2004. The state of food insecurity in the world. Rome, FAO.
- Fischer G and van H**, 1996. Climate Change and Global Agricultural Potential Project: A Case of Kenya Working Paper WP-96-071.
- Fischer G et al**, 1994. Climate change and world food supply, demand and trade: who benefits, who loses? *Global Environment Change*, 4:7–23.
- Fischer G. And Sun L**. 2001. Model-based analysis of future land-use development in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 85:163–176.
- Fischer G et al**, 1996. Impacts of potential climate change on global and regional food production and vulnerability. In *Climate change and world food security* , Springer, Heidelberg, Germany, 137:115–159.
- Intergovernmental Panel on climate change**. IPCC Fourth Assessment Report, Working Groups (<http://www.ipcc.ch>), 2007.
- Jinxia W**, 2009. The impact of climate change on China's agriculture. *Agricultural Economics*, 40:323–337.

- Kjellström E**, 2004. Recent and future signatures of climate change in Europe. *A Journal of Human Environment*,33:193-198.
- Kurukulasurya P. And Mendelson R**, 2007. A Ricardian analysis of the impact of climate change on african cropland.,World Bank Policy Research Working Paper No.3405.
- Marian W**, 2003. A regional analyses of climate change impacts of Canadian agriculture. *Canadian Public Policy*,14(2):164-180.
- Mendelshon R et al**, 1994. The impact of glabal warming on agriculture: A ricardian analysis.*American Economic Review* 84: 753-771.
- Mendelsohn R. And Dinar A**, 1999. Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter? .*The World Bank Research Observer* 14: 277-293.
- Muchena P**, 1994. Implications of climate change for maize yields in Zimbabwe. In: *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*, Washington, DC, USA:1-9.
- Parry M et al**, 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environ. Change*,14:53–67.
- Reilly J et al** , 2003. U.S. Agriculture and Climate Change: New Results.,*Climatic Change*,57:43-69.
- Reinsbrough M**, 2003. A Ricardian model of climate change in Canad. *Canadian Jornal of Economics*,36: p. 21-40.
- Rosenzweig C and Parry M**, 1994. Potential impact of climate change on world food supply *Nature* (367):133- 138.
- Rosenzweig, C et al**, 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environmental Change*,12(3):197-202.
- Sanghi A**, 1998. The climate sensitivity of Indian agriculture. *World Bank Technical Paper* No. 402,Washington, DC.
- Smit B And Skinner W**, 2002. Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*,7:85-114.
- Smit B et al**, 1996. Agricultural adaptation to climate variation. *Climatic change*,33:7-29.
- Soniggol S and Mendhelson R**, 2008. A ricardian analysis of the impact of climate change on south America. *Chilian journal of agricultural research*, 68(1):69-79.

