



Munich Personal RePEc Archive

# **Spatial and geographical analysis of the effect of climate change on the citrus production in Tunisia**

Zouabi, Oussama

LEAD, University of South Toulon-VAR, France, LAREQUA D,  
University of Tunis EL Manar, Tunisia.

May 2015

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/64715/>  
MPRA Paper No. 64715, posted 01 Jun 2015 04:20 UTC

# **Analyse spatiale et géographique de l'effet du changement climatique sur la production des agrumes en Tunisie**

Oussama Zouabi<sup>1</sup>

## **Résumé :**

La présente étude consiste à montrer l'effet direct et indirect de la précipitation et de la température sur la production des agrumes d'un gouvernorat *i* et ceux des gouvernorats voisins, à travers une nouvelle analyse originale à savoir la modélisation spatiale pour tenir compte d'une manière plus efficace et plus fine des effets spatiaux, des effets individuels et temporels de l'autocorrélation spatiale. Cette analyse s'est faite sur la base Test global d'autocorrélation spatiale et Test global d'autocorrélation spatiale ainsi que modèle autorégressif spatial (SAR) et Le modèle de Durbin spatial (SDM).

Il ressort des résultats de nos résultats on peut dire que l'eau disponible dans la nappe phréatique du gouvernorat *i* peut être une solution efficace pour l'agriculteur qui y réside à condition que les moyens soient mise en œuvre pour qu'il puisse en bénéficier. Nos résultats montrent aussi l'effet de la température via les ressources hydriques du gouvernorat *i* et les gouvernorats voisin représentent un effet spillover négatif.

**Mots clés :** changement climatique, Econométrie spatiale, agriculture, Tunisie.

## **Abstract:**

This study investigates the direct and indirect effect of precipitation and temperature on the citrus production of governorate *i* and neighboring governorates by using a spatial modeling to allow for spatial effects, as well as individual and temporal effects of spatial autocorrelation. Results from Spatial Autoregressive Model (SAR) and Spatial Durbin Model (SDM) prove that the groundwater of the governorate *i* can be an effective solution for the farmer as long as the means are implemented so that he can exploit. Results also show that the effect of temperature through the hydric resources of governorate *i* and the neighboring governorates represent a negative spillover effect.

**Key words:** Climate change, spatial Econometrics, Agriculture, Tunisia.

---

<sup>1</sup> Léad, University of South Toulon-VAR, France. & LAREQUA D, University of Tunis EL Manar, Tunisia.

## **Introduction :**

La variabilité climatique constitue la principale cause des fluctuations de la production du secteur agricole notamment dans les pays en voie de développement tels que la Tunisie, un des pays du sud de la méditerranée.

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<sup>ème</sup> siècle a été le siècle le plus chaud et parmi les dix années les plus chaudes, huit sont récentes entre 2000 et 2009. Les six scénarios publiés par le GIEC prédisent que d'ici 2100 la température moyenne dans le monde aura augmenté de 2°C à 2.8°C pour le scénario le plus pessimiste (A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>), et dans le pire des cas 6.4°C. Il est souligné que la température annuelle moyenne affichera une hausse plus marquée que la moyenne planétaire. (IPCC, 2007).

Malgré les multiplications remarquables des travaux empiriques dans les 30 dernières années, ceux-ci restent quant à leur résultat loin d'être convergents, les variables qui sont significatives dans un certain nombre de travaux, ne le sont pas dans le cadre des autres. A cela, s'ajoute la rareté d'un modèle économétrique qui prend en considération la dimension spatiale pour étudier l'impact direct et indirect du changement climatique sur la production agricole via l'eau du barrage et la nappe phréatique.

L'apport de ce papier est de mesurer l'effet direct et indirect de la précipitation et de la température sur la production des agrumes d'un gouvernorat *i* et ceux des gouvernorats voisins, à travers une nouvelle analyse originale à savoir la modélisation spatiale pour tenir compte d'une manière plus efficace et plus fine des effets spatiaux, des effets individuels et temporels de l'autocorrélation spatiale. Ces résultats peuvent éclairer les décideurs avant d'intervenir et agir d'une manière approfondie, rigoureuse et efficace dans les différentes régions touchées par le changement climatique à travers des politiques adéquates.

C'est ce que nous allons essayer de vérifier dans ce papier qui sera organisé comme suit : La première section sera consacrée à analyse descriptive et spatiale de la production des agrumes en Tunisie. La deuxième section présentera la revue de la littérature, la section 3 développe la méthodologie adoptée pour les estimations économétriques, la section 4 présente la source des données et le modèle à estimer, Une analyse exploratoire telle que les tests d'autocorrélation spatiale globale et locale sont présentés et analysés dans la section 5. Les résultats sont présentés et analysés dans la dernière section 6.

## 1/ Revue de la littérature

A l'inverse des plantes non irriguées qui sont fortement liées à l'impact direct du changement climatique, les plantes irriguées dépendent directement de la variation de la précipitation et de la température, mais aussi elles en dépendent indirectement par l'effet du changement climatique via les barrages, les nappes phréatiques, les oueds, les fleuves etc.

Les résultats de l'étude de [KINT TRGT](#) montrent qu'une augmentation de la température durant la période d'été a un effet négatif sur les nappes souterraines et on pourrait s'attendre à une baisse des niveaux des eaux souterraines de 8 à 15% ce qui peut affecter négativement la production des plantes irriguées qui se basent essentiellement sur l'eau des nappes phréatiques en été. L'étude menée par [RExHsSS](#) sur le bassin de la Somme<sup>2</sup> montre que durant la période 1950-2100 le niveau de la nappe phréatique baisse de 5 mètres, à l'horizon 2025 le niveau devrait diminuer de 0.5 mètres par rapport à l'année de référence 2008.

Selon le rapport du ([plan bleu, 2008](#)), l'agriculture et l'alimentation sont les deux secteurs les plus touchés directement ou indirectement par une augmentation de la température ou bien une diminution de la précipitation, plus particulièrement l'Europe du sud, les pays du Maghreb et les pays du bassin méditerranéen, dans cette région et plus précisément le sud du méditerranée une augmentation de la température moyenne engendre une augmentation de la température de l'eau des oueds, ce qui aura pour effet de réduire leur teneur en oxygène et leur capacité d'autoépuration<sup>3</sup> et qui affecte par la suite la qualité et la quantité de l'eau disponible dans les oueds et les barrages. Sachant que dans cette région les plantes irriguées et non irriguées consomment 60% des ressources en eau ([plan bleu, 2007b](#)), dans le même logique d'idée et selon ([Tol, 2002](#)), les dégâts de la diminution des ressources en eau suite à une augmentation des températures de 1°C peuvent coûter 2 millions de dollars US en Afrique et 1 million de dollars US au Moyen Orient. ([Agoumi, 2003](#)), montre aussi qu'une augmentation de la température de 1°C dans un bassin du Maghreb entraîne une diminution de 10% de ruissellement.

---

<sup>2</sup> Le bassin de la Somme s'étend sur les deux [régions Picardie](#) et [Nord-Pas-de-Calais](#), et sur quatre départements l'[Aisne](#), l'[Oise](#), la [Somme](#) et le [Pas-de-Calais](#) et se déverse dans la [Manche](#).

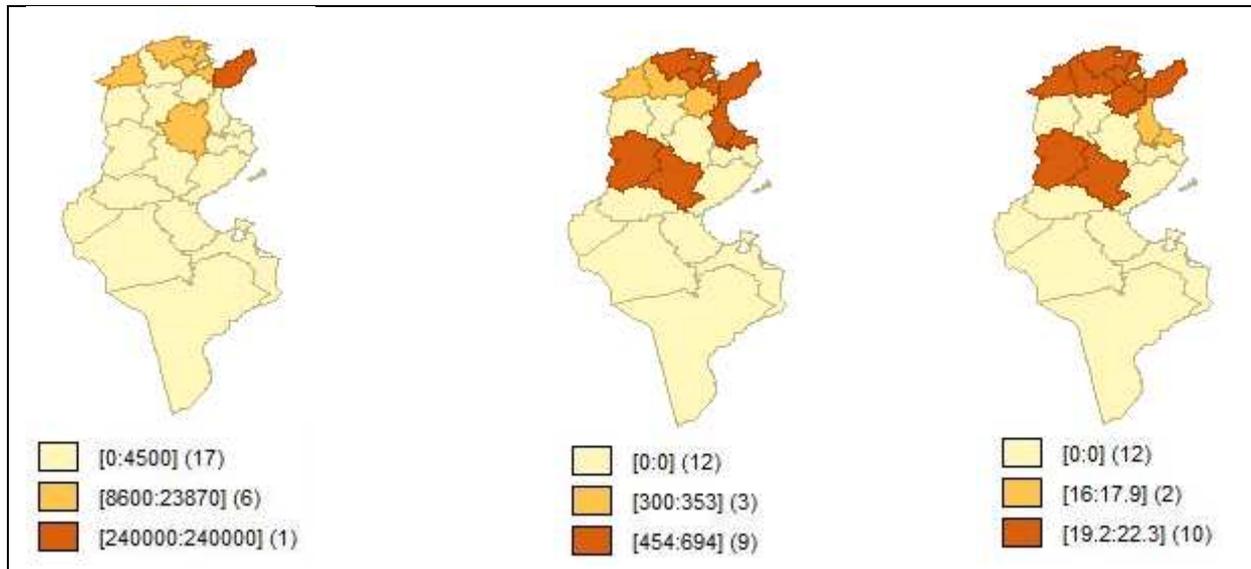
<sup>3</sup> L'autoépuration est un processus biologique qui permet aux lacs et aux rivières d'éliminer une pollution faible. Cette pollution est éliminée par des micro-organismes, comme les bactéries, et par les algues. Ce phénomène naturel est souvent repris dans les [stations d'épuration](#). <http://www.univ-lehavre.fr/cybernat/pages/autoepur.htm>

Au Canada, durant la période 1847-1996, une diminution de 29% de l'écoulement fluvial journalière, due à l'augmentation de la température et l'élévation de l'évaporation sans modification des précipitations, en Europe et l'Amérique latine une augmentation de 0.1 à 1.5 °C de la température des lacs, l'Afrique de l'Est n'est pas exclue de ce phénomène, une augmentation de 0.2 à 0.7°C de la température des eaux profondes des lacs qui peut affecter par la suite quantité et la qualité de l'eau d'irrigation, une diminution de la superficie du lac du Tchad qui a perdu 90% de son eau, diminution de la quantité de l'eau disponible dans les nappes au Bénin à cause de la prolongation de la saison sèche dans le pays, le bassin fluvial du Nil est très vulnérable au changement climatiques, des conséquences régionale possible,([IPCC ;2008,2013](#) ).

Les ressources en eau diminuent dans certains régions qui soumises à un stress hydrique par conséquent de grand changements dans la demande en eau d'irrigation. Il est vraisemblable que ces changements aient des impacts sur la consommation de l'eau spécialement pour l'irrigation, augmente généralement avec la pluviométrie et diminue avec la température. Le rapport du ([IPCC, 2001](#)), affirme qu'en Afrique de l'Ouest subsaharienne durant les deux dernière décennies il ya une diminution de débits fluviaux qui est considérée l'une des ressources en eau la plus importante en Afrique pour l'irrigation et l'agriculture d'une manière générale.

## 2/ Données statistiques et analyse spatiale des variables utilisées :

Carte 1 : Production des agrumes en Tonnes    Carte 2 : Précipitation en mm    Carte 3 : Température en °C



A l'inverse de la répartition géographique de la production des non irriguée entre les 24 gouvernorats que compte la Tunisie, 88% de la production de l'agrumes se concentre dans les gouvernorats du Nord, et 12% dans les Gouvernorats du centre. Parmi les 12% de la production des gouvernorats du centre, 10% proviennent de Kairouan, qui se positionne ainsi à la 3ème place en termes de contribution dans la production globale du Pays.

Quant à la première place en termes de contribution dans la production totale, elle revient à Nabeul (37%), qui, additionnée à la contribution respective de Bizert, Jendouba, Ariana, et Mannouba, de (23.55%, 10.27%, 6.29%, 5.66%,) de la production totale, renforce l'importance du nord.

Ce constat, concorde avec l'illustration de la (figure 1) qui dénote de la répartition géographique du niveau de la production des agrumes. Et relation établie avec la (figure 2), on remarque, que les gouvernorats du nord sont ceux qui enregistrent à la fois, le niveau le plus élevé de précipitations et de la température. Cette dernière, reste cependant dans un intervalle optimal de (19 : 32) °C.

**Tab-5 : Statistiques descriptives de la production des agrumes au niveau micro-spatial**

Région	Gouvernorat	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Contribution	Rang
Nord	Arianna	3838.768	1305.077	2500	9697	6.29%	5
	Manouba	3456.922	1255.723	2627	9600	5.66%	6
	Nabeul	23178.59	4336.536	17667	35600	37.98%	1
	Ben Arous	182.695	27990.79	132246.5	240000	0.29%	11
	Bizerte	14374.77	2668.128	10952	21900	23.55%	2
	Béja	2275.144	610.4407	1700	4500	3.72%	7
	Jendouba	6266.767	1347.604	3800	8615	10.27%	4
	Zaghouan	245.265	34.3686	186.85	328	0.40%	10
<b><i>La part de la production des agrumes des gouvernorats du Nord</i></b>						<b>88.20%</b>	
Centre	Sousse	417.575	85.4337	318.2	624	0.68%	8
	Monastir	112.7883	32.900	62	206	0.18%	12
	Kairouan	6384.487	2235.957	3250	13000	10.46%	3
	Bouazid	284.9326	142.2928	112	804	0.46%	9
	<b><i>La part de la production des agrumes des gouvernorats du centre</i></b>						<b>11.80%</b>

### ***3/ La méthodologie adoptée pour l'analyse économétrique***

Dans les deux dernières décennies l'économétrie spatiale est considérablement utilisée et a pris une nouvelle dimension dans des différents domaines, dans la littérature plusieurs modèles dans la matière qui sont développés dans des différentes études. Dans ce qui suit Nous présentons les principaux modèles utilisés dans les différents travaux qui se concentrent sur l'économétrie spatiale après avoir fait une description des tests d'autocorrélation spatiale.

#### ***3.1 Tests d'autocorrélation spatiale***

Dans cette section, nous nous intéressons plus précisément au mouvement de la localisation de la production agricole des plantes irriguées et non irriguées en Tunisie, notre analyse porte sur la dimension spatiale de l'évolution de la production entre les gouvernorats à travers une analyse de Moran, nous déterminons, pour les principaux produits agricole, les zones gouvernorats où les mouvements sont globalement positives et celles pour qu'il existe des dynamiques négatives.

L'autocorrélation spatiale peut être définie comme la coïncidence de valeurs similaires de localisation (Anselin, 2001).

(Le Gallo, 2000), définit L'autocorrélation spatiale comme la corrélation, positive ou négative, d'une variable elle-même provenant de la disposition géographique des données.

### 3.1.1 Test global d'autocorrélation spatiale

Dans la théorie, plusieurs tests sont utilisés dans les analyses exploratoires des données géographiques (ESDA) pour tester l'autocorrélation spatiale, le test le plus utilisé est le test de Moran (I). Le test I a été initié la première fois par Moran (1950) et défini comme suit :

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j W_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y})}{W (y_i - \bar{y})^2}$$

Où  $Y_i$  représente la variable observée au gouvernorat  $i$ ,  $\bar{y}$  est la moyenne des valeurs de l'ensemble des  $N$  observations,  $W$  est la matrice des pondérations spatiale avec  $W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij}$ .

L'indice  $I$  peut s'interpréter comme un coefficient de corrélation est compris entre -1 (l'autocorrélation négative) et 1 (l'autocorrélation positive).

Dans notre cas le test global d'autocorrélation spatiale nous permet d'évaluer s'il existe une concentration spatiale des gouvernorats en termes de production agricole.

### 3.1.2 Test locale d'autocorrélation spatiale

L'analyse de l'autocorrélation locale s'effectue à partir de deux outils : le diagramme de Moran (Anselin, 1996) et la statistique Moran I (Anselin, 1995).

L'indice le plus utilisé pour détecter l'autocorrélation spatiale est l'indice de LISA (indicator of spatial association), appelée aussi la statistique locale de Moran I, est se présente comme suit :

$$I = \frac{n (X_i - \bar{X})}{W + \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})} \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_j - \bar{X})$$

$X_i$  sont les valeurs de la variable de chaque gouvernorat  $i$ .

L'indice de LISA nous donne une information complète et précise sur l'existence d'une concentration spatiale de valeur homologue entre les gouvernorats étudié de type :

H-H<sup>4</sup> : Un gouvernorat a une valeur de production agricole élevée entourée des gouvernorats à valeurs élevées.

---

<sup>4</sup> High-High

L-L<sup>5</sup> : Un gouvernorat à une valeur de production agricole faible entourée des gouvernorats à valeurs faibles.

H-L : Un gouvernorat à une valeur de production agricole élevée entourée des gouvernorats à valeurs faibles.

L-H : Un gouvernorat à une valeur de productions agricoles faible entouré des gouvernorats à valeurs élevées.

H-H et L-L dite autocorrélation locale positive, en revanche H-L et L-H sont dites autocorrélation locales négatives.

### **3.2 Modèle économétrique**

#### **3.2.1 Modèle autorégressif spatial (SAR)**

Le modèle spatial autorégressif fondé par Whittle (1954), permet de prendre en considération les effets des externalités de voisinage. Dans notre cas, la production agricole du gouvernorat  $i$  s'explique par les variables exogènes propres à  $i$  mais aussi elle est expliquée par les variables exogènes des voisins de  $i$ .

Le modèle se caractérise aussi par la présence d'un effet de diffusion spatiale, cet effet se base sur le processus d'erreur, un choc aléatoire dans le gouvernorat  $i$  perturbe la production agricole du gouvernorat  $i$  mais aussi la production des gouvernorats voisins.

Formellement le modèle SAR sur données de panel s'écrit :

$$Y_{it} = \delta \sum_{j=1}^N w_{ij} Y_{jt} + x_{it} \beta + u_i + v_t + \eta_{it}$$

Avec :  $Y_{it}$  est la production agricole du gouvernorat  $i$  à la date  $t$ ,  $x_{it}$  représente la matrice des variables exogènes, l'ensemble des pondérations permet de construire la matrice de pondération  $w_{ij}$ ,  $\delta$  mesure la dépendance spatiale entre les gouvernorats, est comprise entre 0 et 1. Si  $\delta$  proche de 1 alors le degré de corrélation est fort et donc la production agricole du gouvernorat  $i$  dépend fortement des observations voisines,  $\beta$  est le coefficient d'autorégression spatiale.

---

<sup>5</sup> Low-Low

### 3.2.2 Le modèle de Durbin spatial (SDM)

Nous considérons le modèle de Durbin spatial où la dépendance spatiale est incluse à la fois parmi les variables endogènes ( $y_{it}$ ) et les variables exogènes ( $x_{it}$ ).

$$Y_{it} = \delta \sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt} + x_{it} \beta + \sum_{j=1}^N w_{ij} x_{jt} \gamma + u_i + v_t + \eta_{it}$$

Dans notre cas :

$Y_{it}$  : la production des agrumes du gouvernorat  $i$  à la date  $t$

$\sum_{j=1}^N w_{ij} y_{jt}$  : la production des agrumes du gouvernorat voisin à  $i$

$X_{it}$  : Représente les variables explicatives du gouvernorat  $i$

$\sum_{j=1}^N w_{ij} x_{jt}$  : Les variables explicatives des gouvernorats voisins à  $i$

$u_i$  et  $v_t$  sont les effets individuels et temporels du gouvernorat  $i$  à l'instant  $t$

Sous l'hypothèse  $H_0 : \gamma = 0$ , le modèle de Durbin spatial devient un modèle spatial autorégressif (SAR).

Par contre si on accepte  $H_1 : \gamma \neq 0$  et  $\gamma + \delta\beta = 0$ , alors nous estimons un modèle Durbin spatial.

#### 4/ Sources des données et modèle empirique :

Les données utilisées dans ce travail proviennent des institutions nationales ; l'institut national de la statistique (INS), l'institut d'économie quantitative (IEQ), des divers numéros des bulletins mensuels des statistiques, les annuaires statistiques de la Tunisie, observatoire national de l'agriculture (ONAGRI) et l'institut national de la météorologie pour les 12 gouvernorats en Tunisie, à savoir Arianna, Ben Arous, Manouba, Bizerte, Nabeul, Béja, Jendouba, Zaghuan, Sousse, Monastir, Kairouan et Bouzid.

Le modèle que nous utilisons dans notre estimation économétrique se spécifie au niveau micro-spatiale comme suit :

$$\text{Log } Y_{it} = \alpha_1 \text{Log } T_{it} + \alpha_2 \text{Log } p_{it} + \alpha_3 \text{log} BT_{it} + \alpha_4 \text{Log} BP_{it} + \alpha_5 \text{Log} NFT_{it} + \alpha_6 \text{Log} NFP_{it} + \varepsilon_{it}$$

$i = 1, 2, \dots, N ; t = 1, 2, \dots, T$

Où  $Y_{it}$  est la production agricole du gouvernorat  $i$  à l'instant  $t$ ,  $T_{it}$  la température moyenne,  $P_{it}$  la précipitation et  $\varepsilon_{it}$  est le terme d'erreur.

$BT$  : L'effet de la température sur la production via les barrages,  $BP$  est L'effet de la précipitation sur la production via les barrages,  $NFT$  est L'effet de la température sur la

production via les nappes phréatiques, NFP est L'effet de la précipitation sur la production via les nappes phréatiques.

## 5/ Une analyse exploratoire des données spatiales

### 5.1 Test global d'autocorrélation spatiale

Le **tableau-3** fait état des résultats du test de Moran global, pour la production des agrumes (P-ag) en 2012. L'indice I de Moran, montre que la production des agrumes présente de forte autocorrélation globale pour les deux matrices de contiguïté d'ordre 1 et 2. En revanche le test de I de Moran est négatif et non significatif pour la matrice de voisinage W(3).

La matrice de voisinage W(1) donne la statistiques de Moran la plus élevée par rapport à la matrice W(2), dans le même ordre d'idée et à la lumière des différents résultats présentés dans le tableau-3 on remarque aussi que la statistique du test de Moran est très significatif et positif dans le cas où le nombre de voisinage égale à un, ce qui dénote de la présence d'une autocorrélation spatiale positive entre ces variables. Une valeur positive est statistiquement significative de I de Moran indique la présence d'une concentration spatiale des valeurs similaires.

Nous retenons dans ce qui suit la matrice de contiguïté d'ordre un (W(1)) pour l'analyse exploratoire ainsi que les estimations économétrique.

**Tab-3 statistiques de Moran global : Production des agrumes en 2012**

	Matrice	I. Moran	E(I)	Ecart-type	Z	P-Value
<b>Production des agrumes en 2012</b>	W(1)	0.375	-0.043	0.137	3.055	0.001***
	W(2)	0.232	-0.043	0.099	2.788	0.003**
	W(3)	-0.031	-0.043	0.1	0.121	0.452
Les valeurs critiques sont entre parenthèses. (***) Significatif au seuil d'erreur 1%, (**) Significatif au seuil d'erreur 5%, (*) : significatif au seuil 10%.						
W(1), W(2), W(3) représente les matrices de contiguïté d'ordre un, deux et trois.						

Il est à noter, que Malgré le fait que le test global d'autocorrélation spatiale de Moran mesure globalement l'autocorrélation spatiale entre les différents gouvernorats, il reste incapable à analyser la structure locale de cette autocorrélation.

## 5.2 Analyse de l'autocorrélation spatiale locale de la production des agrumes

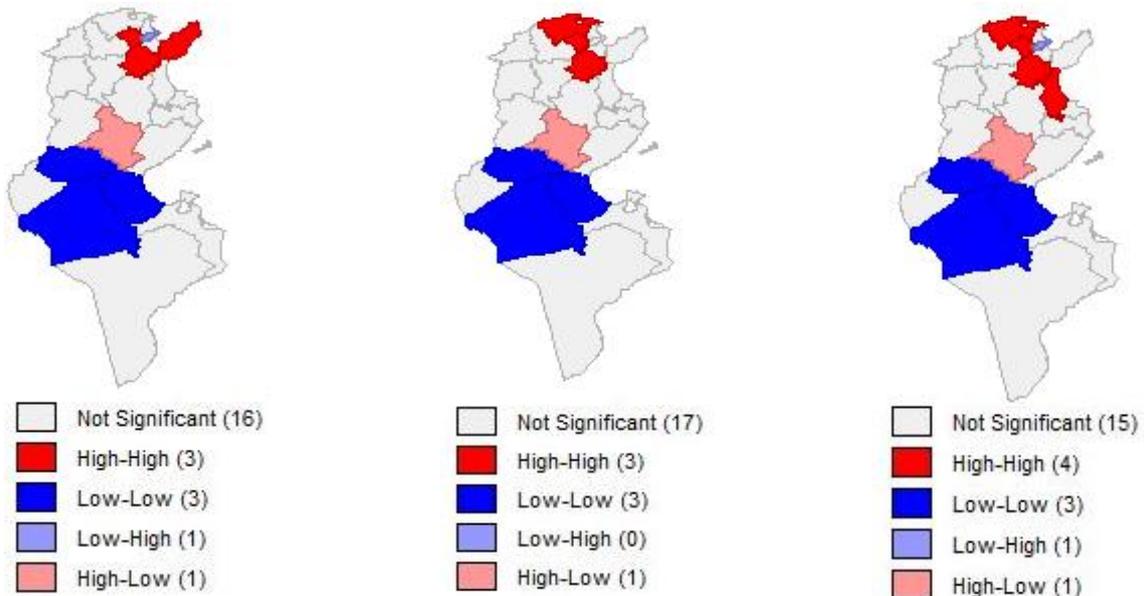
La figure 1, présente les trois cartes de significativité de Moran relative à la production des agrumes en 1990, 2000 et 2012.

La carte 3 met en évidence quatre types d'association concernant la production des agrumes. D'un côté, la carte de Moran montre que quatre gouvernorats contiguës (Bizerte, Manouba, Zaghouan et Sousse) de type H-H autour du Nord-Est de la Tunisie où les dynamiques entre gouvernorats sont positives, et d'un autre coté quatre présente une association de type L-L dont trois gouvernorat (Gafsa, Gabes et Kebili) de Sud-ouest.

En comparaison avec la carte 1 de la production des agrumes en 1990, on constate que la production reste presque stable entre les deux dates, un seul changement survenu dans la structure spatiale est à noter : les gouvernorats de Bizerte et Zaghouan au Nord qui devient H-H en 2012 alors qu'il était non significatif en 1990. Il est aussi à noter que la région Nord-est de la Tunisie est la seule qui bénéficie d'une dynamique positive en matière de la production des agrumes.

**Figure-1 Carte de cluster de la production des agrumes en Tunisie**

Carte1 : Production des agrumes 1990    Carte2 : Production des agrumes en2000    Carte3 : Production des Agrume 2012



## 6. Estimation économétrique et analyse économique des résultats

Les résultats du test LR dans le **tableau (4)**, conclut à l'acceptation de la spécification avec dépendance spatiale, nous constatons que la valeur associée au test LR dans le modèle SDM est assez élevée en comparaison à celle associée au même test dans le modèle SEM. De même Si nous comparons la valeur de log-vraisemblance (Log L) dans les modèles, nous constatons une supériorité remarquable dans le cas du modèle SDM par rapport aux modèles SEM.

Dans la même philosophie, la significativité du test LM et son appréciation dans le cas du modèle SDM par rapport au modèle SAR, nous pousse à retenir le modèle SDM.

Comme nous l'avons montré dans la section 3.2.2, le modèle SDM est un modèle générale qui peut devient sous l'hypothèse  $H_0 : \gamma = 0$ , un modèle spatial autorégressif (SAR), si nous relions cette hypothèse avec les résultats trouvé dans le tableau-4 on remarque que le résultat du LR test ( $Wx'S=0$ ) est statistiquement significatif et différente à zéro est égale à 42.807 ( $p=0.000$ ). La confrontation de ces résultats à ceux tirés précédemment nous incite à nous pencher dans nos estimations vers un modèle de Durbin spatial dans notre analyse économétrique.

Par ailleurs les résultats nous montre qu'une augmentation de la pluviométrie à un effet direct positif sur le gouvernorat  $i$  ainsi que les gouvernorats voisins à  $i$ , soit un effet spillovers positif, ce qui peut être expliqué par le fait que la production de l'agrume en Tunisie se concentre essentiellement dans la région du Nord de la Tunisie, cette région possède un point commun très important (une ressource naturelle très importante) qui est le Oued de Medjerda, et qui passe par la plus part les gouvernorats les plus producteurs de l'agrume, ainsi donc si les précipitations augmentent dans la gouvernorat  $i$ , s'est tous les gouvernorats voisins à  $i$  qui en profitent par le biais du Oued.

L'analyse de l'effet direct et totale de la variable (NFT), on note que l'élasticité de la variable explicative (LNFT) à le signe attendue et significatif. Dans le même ordre d'idée, on note que l'impact de la température sur la production des agrumes via la nappe phréatique à un effet significatif et négatif, ce qui nous amène à la conclusion que toute augmentation de la température dans les gouvernorats voisins à  $i$  engendre une diminution de la production des agrumes du gouvernorat  $i$  à travers la quantité d'eau stocker dans la nappe phréatique. Nous pouvons donc dire qu'il existe un effet spillovers négatif pour cette variable explicative.

La variable (LNFP) a un effet significatif et positif sur la production des agrumes, soit un effet spillovers positif, c'est-à-dire que l'augmentation des précipitations dans le gouvernorat  $i$

a à la fois un effet sur la production du gouvernorat  $i$  et des gouvernorats voisins à  $i$ , et cela de manière positive à travers la nappe phréatique, ce qui signifie qu'un agriculteur qui appartient au gouvernorat  $i$  peut profiter positivement de l'eau disponible dans la nappe phréatique des gouvernorats voisins.

Quant à l'impact direct et total de la variable (BT) abouti à un effet négatif qui est statistiquement significatif sur la production de l'agrume. Dans l'ensemble, l'impact de la température sur la production des agrumes à travers l'eau du barrage, à un effet direct négatif sur le gouvernorat  $i$  et celle des gouvernorats voisines à  $i$ . En clair, Si la température enregistre une hausse assez significative, cela affecte à la baisse les quantités d'eau disponibles dans les barrages suite au phénomène de l'évaporation, et étant donné que la culture de l'agrume est une culture irriguée qui dépend essentiellement de l'eau du barrage, alors sa production dans le gouvernorat  $i$  diminue suite à cette augmentation de la température des gouvernorats voisins à  $i$ . Ce résultat confirme l'idée d'externalités négative liée aux changements climatiques.

Par ailleurs, l'impact de la précipitation sur la production de l'agrume et conforme aux conclusions des analyses théoriques. La variable (BP) a un effet significatif et positif sur la production de l'agrume, c'est-à-dire que l'augmentation des précipitations dans le gouvernorat  $i$  a à la fois un effet sur la production du gouvernorat  $i$  et des gouvernorats voisins à  $i$ , et cela de manière positive à travers l'eau du barrage, ce qui signifie qu'un agriculteur qui appartient au gouvernorat  $i$  peut profiter positivement de l'eau disponible dans les barrages des gouvernorats voisins. Ce résultat est tout-à-fait conforme à nos attentes, et à la théorie qui avance que la pluviométrie représente un effet d'externalité positif sur la production des plantes irriguées via les barrages.

Tab-4 : Résultats d'estimations des modèles SDM et SAR W(1)

Modèle	SAR		SDM	
P	0.837	0.198	0.965	0.000***
T	-0.322	0.103	-0.770	0.000***
BP	1.380	0.403	2.047	0.091**
BT	-1.320	0.352	-1.875	0.055**
NFP	52.207	0.06**	-1.881	0.001**
NFT	-0.534	0.483	105.17	0.000***
W1X-P			0.036	0.532
W1X-T			-0.023	0.526
W1X-BP			1.211	0.198
W1X-BT			-1.007	0.128
W1X-NFP			-0.299	0.257
W1X-NFT			0.275	0.004
$R^2$	0.86		0.94	
$\bar{R}^2$	0.83		0.88	
Log-L	36.688		48.620	
LR test ( $Wx'S=0$ )			42.807	0.000***
Wald test	112.938	0.000***	176.827	0.000***
LM-test	22.802	0.000***	24	0.02**
LR-test	0.387	0.053*	2.089	0.014**
F-test	18.823	0.000***	14.735	0.000***
Effet direct P	0.485	[0.863]	1.703	[3.030]***
Effet indirect P	-0.009	[0.008]	-0.569	[1.012]
Effet total P	0.476	[0.084]	1.134	[2.019]**
Effet direct T	-0.452	[0.679]	-1.521	[2.286]**
Effet indirect T	0.008	[0.013]	0.508	[0.764]
Effet total T	-0.443	[0.666]	-1.013	[1.522]
Effet direct BP	1.4148	[3.744]***	2.951	[7.809]***
Effet indirect BP	-0.0274	[0.072]	-0.986	[2.609]**
Effet total BP	1.387	[3.671]***	1.964	[5.199]***
Effet direct BT	-1.275	[3.019]***	-2.737	[6.479]***
Effet indirect BT	0.024	[0.058]	0.914	[2.165]**
Effet total BT	-1.250	[2.960]**	-1.822	[14.314]***
Effet direct NFP	51.340	[744.935]***	145.791	[2115.38]***
Effet indirect NFP	-0.996	[14.451]***	-48.722	[706.946]***
Effet total NFP	50.344	[730.484]***	97.068	[1408.434]***
Effet direct NFT	-0.567	[1.365]	-2.812	[6.849]***
Effet indirect NFT	0.011	[0.026]	0.94	[2.289]**
Effet total NFT	-0.556	[1.355]	-1.872	[4.560]***

Les valeurs critiques sont entre parenthèses. (\*\*\*) Significatif au seuil d'erreur 1%, (\*\*) Significatif au seuil d'erreur 5%, (\*) : significatif au seuil 10%.

Les valeurs entres parenthèse correspondent à t de Student

## Conclusion

La contribution de cet article est d'étudier économétriquement et d'analyser économiquement l'effet direct et indirect du changement climatique sur la production via une nouvelle base de données désagrégé pour les 24 gouvernorats en Tunisie, en utilisant une nouvelle méthode dans ce domaine à savoir la technique de l'économétrie spatiale et les tests d'autocorrélation spatial globale et locale.

Les résultats de l'estimation nous ont permis de dégager trois séries de conclusion :

Premièrement, les résultats du test d'autocorrélation globale pour l'agrumes Tunisie, montrent la présence d'une autocorrélation spatiale positive. L'analyse de l'autocorrélation locale relative à la production des agrumes montre l'existence de quatre groupes contigus de type H-H autour du Nord-est et la présence de trois gouvernorats de type L-L qui présente une autocorrélation négatif du Sud-ouest.

Deuxièmes, les agrumes sont fortement dépendant de l'eau d'irrigation en particulier dans la période d'avril à octobre<sup>6</sup> dont la pluviométrie est relativement faible dans les régions les plus productrices et qui coïncide avec la période de forte utilisation en eau. De ce fait, et à la lumière de nos résultats on peut dire que l'eau disponible dans la nappe phréatique du gouvernorat  $i$  peut être une solution efficace pour l'agriculteur qui y réside à condition que les moyens soient mise en œuvre pour qu'il puisse en bénéficier. Nos résultats montrent aussi l'effet de la température via les ressources hydriques du gouvernorat  $i$  et les gouvernorats voisin représentent un effet spillover négatif.

Troisièmement, l'intervention de l'Etat pour la lutte contre le changement climatique doit prendre en considération les effets d'autocorrélation spatiale entre les gouvernorats, les cartes d'autocorrélation spatiale de Moran peuvent jouer un rôle fondamental et central sur le plan économique pour mettre en place l'infra structure pour acheminer par exemple l'eau du barrage vers les zones les plus touchées pendant les périodes de sécheresse

A cet regard, nos résultats nous autorisent à conclure que la l'adoption de n'importe quelle politique pour améliorer la production de l'agrumes dans les gouvernorats qui souffrent d'un manque de précipitations ou bien de l'augmentation de la température, doit non seulement prendre en considération la quantité d'eau disponible dans les barrages et nappes phréatiques du gouvernorat  $i$ , mais aussi intégrer tous les gouvernorats voisins à  $i$  de manière collective

---

<sup>6</sup> AVFA

selon les régions. L'eau de l'oued de Medjerda peut jouer un rôle fondamental pour résoudre les problèmes de manque de Pluviométrie dans les gouvernorats les plus producteurs de l'agrume, mais à condition que les autorités publiques mettent en place l'infrastructure adéquate pour acheminer l'eau vers les zones objet de fort manque de précipitations.

## **Bibliographie :**

**Anselin, L., Bongiovanni, R. And Lowenberg DeBoer, J** (2004) A Spatial Econometric Approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. American Journal of Agricultural Economics, 86(3), 675–87.

**Anselin, L** (1995) Local indicators of spatial association-LISA, Geographical Analysis, 27 (2), 93-115.

**Anselin, L., Bera,, A., Florax, R.J. and Yoon, M.** (1996) Simple diagnostic tests for spatial dependence, Regional Science and Urban Economics, 26 (1),77-104.

**Anselin, L.** (1988) Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity, Geographical Analysis, 20 (1),1-17.

**Anselin, L.** (2001) Spatial effects in econometric practice in environmental and resource economics, American Journal of Agricultural Economics, 83 (3), 705–10.

**Le Gallo, J.** (2002) Econométrie spatiale : l'autocorrélation spatiale dans les modèles de régression linéaire, Economie et Prévision, 4 (155) ,139-158.

**Projet RexHySS** par **Thiéry. D.** (2008). "Influence du Changement Climatique sur les ressources en eaux du bassin de la Somme. Premiers résultats".

[http://www.sisyphes.upmc.fr/~agnes/rexhyss/DOCS/Prem\\_RexHySS\\_Result\\_BV\\_Somme\\_BRGM.pdf](http://www.sisyphes.upmc.fr/~agnes/rexhyss/DOCS/Prem_RexHySS_Result_BV_Somme_BRGM.pdf)

**Projet IRGT / KINT** par **E. d'Ieteren, dr. W. Hecq, ir. dr. R. De Sutter et D. Leroy.** (2003). Les effets du changement climatique en Belgique : Impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime. 128 p.

**IPCC** (2007) "Climate Change 2007", Intergovernmental Panel on Climate Change.

**IPCC** (2008) "Climate Change 2007", Intergovernmental Panel on Climate Change.

**IPCC** (2001) "Climate Change 2007", Intergovernmental Panel on Climate Change.

**Tol, R.S.J.** (2002 a ), "Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates", Environmental and Resource Economics 21 (1), 47-73.

**Tol, R.S.J.** (2002 b), “Estimates of the damage costs of climate change – part II: dynamic estimates”, *Environmental and Resource Economics* 21, 135-160.

**Plan Bleu** (2007b), *Le secteur de l’eau dans la politique de coopération avec les pays méditerranéens, Etude régionale*

Coopération internationale et aide au développement dans le secteur de l’eau en Méditerranée.

**Plan Bleu** (2008), *Changement climatique et énergie en Méditerranéen*, [http://planbleu.org/sites/default/files/publications/changement\\_clim\\_energie\\_med\\_fr\\_0.pdf](http://planbleu.org/sites/default/files/publications/changement_clim_energie_med_fr_0.pdf).

**Agoumi, A.**, 2003: Vulnerability of North African countries to climatic changes: adaptation and implementation strategies for climatic change. *Developing Perspectives on Climate Change: Issues and Analysis from Developing Countries and Countries with Economies in Transition*. IISD/Climate Change Knowledge Network, 14 pp. [http://www.cckn.net/pdf/north\\_africa.pdf](http://www.cckn.net/pdf/north_africa.pdf).

**Annexe1: Les gouvernorats de la Tunisie**

