

Changement climatique et stratégies d'adaptation des exploitations irriguées privées dans le Sud-est Tunisien : Cas de la zone de Gabès-nord

NACEUR MAHDHI*, ZAINEB SMIDA**, FAREH CHOUIKHI*

DOI: 10.30682/nm2201f

JEL codes: Q25, Q54, R15

Abstract

The objective of this study is to analyze the individual strategies and determinants of adaptation to climate change (CC) of irrigators in South-Eastern Tunisia. A survey questionnaire was administered to 157 randomly selected farm managers in the Gabès-North area, and descriptive statistics and a multinomial logistic model were used to analyze the data collected from irrigants. The climate variability felt by irrigants is explained by a decrease in precipitation and by an increase in temperature. To address this, two adaptation strategies are distinguished. A first category is called defensive. It aims to adapt production systems to the water available on the farm taking into account existing wells and boreholes. The second category is called offensive. It consists of investing in acquiring the water needed to maintain the farm's production system. The main determinants of adaptation are given by the perception of CC, by the diversification of sources of income, by the farmers' age, by education and by access to extension services.

Keywords: *Climate change, Adaptation strategies, Determinants, Multinomial logit model, South-Eastern Tunisia.*

1. Introduction

Dans un contexte d'exploitation croissante des ressources en eau et des risques de changements climatiques, la gestion de la ressource en eau est devenue une préoccupation majeure du monde entier (Blinda et Thivet, 2009). Particulièrement concernée, la Tunisie se place dans la catégorie des pays les moins dotés en ressources en eau et les plus exposés aux impacts des changements climatiques (MAE et GIZ, 2011 ; Grami et Ben Rejeb, 2015) dans le bassin méditerranéen. Au

jourd'hui, l'agriculture est l'un des secteurs les plus directement affectés par le changement climatique. À l'échelle du pays, les changements climatiques se traduisent par une augmentation de la fréquence et de l'intensité des années extrêmes sèches et une baisse de la pluviométrie moyenne de 11 à 29% du nord au sud par rapport à la période de référence (1961-1990). Ces changements entraîneront également une réduction des ressources en eau disponibles pouvant aller jusqu'à 30% pour les eaux souterraines et 5%

* Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisia.

** Institut Supérieur d'Etudes Technologiques de Médenine, Tunisia.

Corresponding author: naceur.mahdhi@ira.rnrt.tn

pour les eaux de surface (MAE et GIZ, 2011 ; Ben Nouna *et al.*, 2018).

L'accroissement très prononcé de la variabilité spatiale et temporelle du climat et de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes extrêmes de sécheresse, conséquences directes des changements climatiques, sont déjà une réalité dans le Sud-est tunisien (Jeder *et al.*, 2013 ; Sghaier et Ounalli, 2013). L'impact de ces événements sur l'agriculture irriguée est multiforme (Frija *et al.*, 2016 ; Mahdhi *et al.*, 2019). Il pèse sur les ressources en eau souterraine (épuisement et salinité), sur l'augmentation des besoins d'irrigation, sur la baisse de la production des cultures et de leurs rendements, mais également sur l'accroissement de la vulnérabilité du secteur irrigué, en particulier, de petites exploitations familiales, qui ont de capacités limitées pour s'adapter (Jeder *et al.*, 2013 ; Frija *et al.*, 2016). Face à ces évolutions, dans plusieurs régions les irrigants se trouvent obligés à investir toujours plus pour continuer de disposer d'eau douce en quantité suffisante pour leurs cultures, soit à modifier leurs systèmes de cultures pour s'adapter à la rareté et la surexploitation des ressources en eau souterraine (Frija *et al.*, 2016 ; Mahdhi *et al.*, 2019). Les petites exploitations familiales, qui ont des capacités limitées de creuser toujours plus profond ou de partir pour continuer leurs activités dans d'autres régions, sont aujourd'hui les plus vulnérables au changement et à la variabilité climatique. Aujourd'hui en l'absence d'intégration de la volatilité climatique à la politique nationale de l'eau du pays les différences s'accroissent entre les exploitations agricoles qui ont les moyens d'investir toujours plus pour avoir suffisamment d'eau et celles qui doivent adapter leurs cultures à la pénurie (Faysse *et al.*, 2011 ; Mahdhi *et al.*, 2019). Ainsi, des voies alternatives doivent donc être trouvées, à la fois en termes de conception et de viabilité des mesures d'adaptation innovantes à mettre en œuvre pour atténuer les effets des changements climatiques et soutenir la durabilité du secteur irrigué en zones arides.

Aujourd'hui l'ampleur des enjeux des changements climatiques sur l'agriculture sont inévitables et soulèvent la question de l'adapta-

tion à la rareté des ressources en eau en zones arides (Iglesias et Garrote, 2015 ; Leroy, 2019). L'adaptation a été considérée par beaucoup comme le moyen le plus efficace de réduire les impacts négatifs du changement climatique (De Perthuis *et al.*, 2010). En agriculture l'adaptation au changement climatique se réfère à l'ajustement dans les systèmes agricoles en réponse aux stimuli climatiques réels ou prévus ou à leurs effets, ce qui modère les dommages ou exploite des opportunités bénéfiques (GIEC, 2001). La perception et l'adoption des stratégies d'adaptation étaient les deux composantes clés de l'adaptation en agriculture (Yegbemey *et al.*, 2014) où toutes perceptions faussées peuvent conduire à des comportements inappropriés en termes d'adaptation. Cela signifie que les agriculteurs doivent d'abord percevoir un changement dans les conditions climatiques et ensuite mettre en œuvre un ensemble de stratégies pour y remédier. En revanche, en agriculture la majorité des études d'adaptation à ce jour mettent l'accent sur le changement climatique et la variabilité en général à travers un large éventail de mesures d'adaptation privées établies et innovantes (Wheeler *et al.*, 2013 ; Alam, 2015). Les études portant spécifiquement sur l'adaptation à la rareté des ressources en eau et les déterminants d'adaptation dans un contexte de changement climatique restent très peu documentés (Faysse *et al.*, 2011 ; Van Steenbergen *et al.*, 2015). Ce qui soulève les questions suivantes : Comment les acteurs du monde agricole ; les irrigants perçoivent-ils ces changements climatiques et comment réagissent-ils dans une zone tel que le Sud-est tunisien à forte contrainte climatique, très vulnérables aux risques de surexploitation des ressources en eau souterraine et d'intrusion marine (Minoia et Guglielmi, 2008 ; Frija *et al.*, 2016). A cette fin, l'objectif de cette étude est d'explorer d'une part, les perceptions concernant les changements à long terme des variables climatiques vécus par les irrigants et d'autre part, d'identifier et d'hierarchiser les pratiques d'adaptation individuelles préférées et les déterminants socioéconomiques d'adaptation ainsi que les contraintes d'adaptation. Deux hypothèses sont avancées. (i) les irrigants perçoivent clairement les changements climatiques

à travers les modifications d'un ou de plusieurs facteurs climatiques qui se répètent dans leur terroir, (ii) les irrigants adoptent des stratégies diversifiées pour s'adapter et réduire leur vulnérabilité aux conséquences des changements climatiques qu'ils ont observés. Le reste de ce travail est structuré de la manière suivante : la section 2 présente les aspects méthodologiques. Celle-ci comprend une clarification du cadre conceptuel, une présentation de la zone d'étude et des données collectées, une présentation du modèle empirique et conceptuel ainsi que des variables explicatives. La session 3 présente l'analyse des résultats. La conclusion et les enseignements sont présentés dans la session 4.

2. Matériels et méthodes

2.1. Cadre théorique

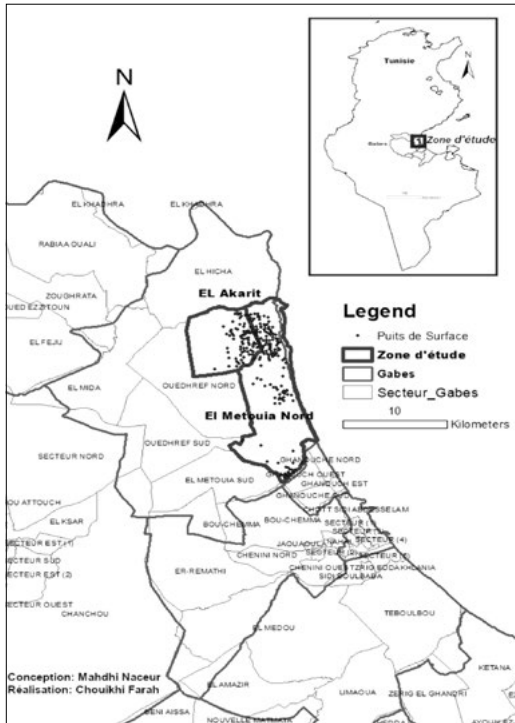
L'adaptation au changement climatique a reçu une attention accrue dans le débat scientifique et politique et est de plus en plus un sujet d'intérêt tant pour les producteurs que pour les décideurs (GIEC, 2001 ; Vissoh *et al.*, 2012). L'adaptation à la rareté des ressources naturelles est essentielle, en particulier à la lumière du changement climatique, et peut être poursuivie sous la forme d'une adaptation individuelle, collectif ou publique (Mendelsohn, 2000 ; Leroy, 2019). Dans le contexte des eaux souterraines, ils concernent la réduction de la vulnérabilité des systèmes tributaires des eaux souterraines au changement climatique et à la variabilité hydrologique. La perception des effets du CC et l'adoption des stratégies d'adaptation sont les deux composantes clés de l'adaptation en agriculture (Yegbemey *et al.*, 2014). Elles sont généralement liées. Bien que les perceptions ne soient pas nécessairement cohérentes avec les analyses climatologiques, elles doivent être prises en compte pour relever les défis socioéconomiques (Omar *et al.*, 2015). Cela signifie que les agriculteurs doivent d'abord percevoir un changement dans les conditions climatiques et ensuite mettre en œuvre un ensemble de stratégies d'adaptation, qui restent influencées aussi par les caractéristiques socio-économiques des ménages et par

leurs environnements physique et institutionnel (Hassan et Nhemachena, 2008 ; Deressa *et al.*, 2009). Cette étude repose sur une mise en perspective des relations entre les perceptions du CC, les caractéristiques socio-économiques des ménages et les stratégies d'adaptation individuelles des irrigants. Plusieurs approches théoriques et empiriques permettent de caractériser les facteurs influençant les décisions des producteurs dans l'adoption des technologies en agriculture (Nhemachena *et al.*, 2014 ; Elum *et al.*, 2017). La mise en perspective entre les différentes variables s'est faite à l'aide des méthodes de statistiques descriptives et de régression logistique multinomiale, qui permettent d'analyser la perception, les stratégies d'adaptation et les facteurs déterminants d'adoption dans le sud-est Tunisien.

2.2. Zone d'étude et collecte de données

L'étude a été réalisée dans la zone de Gabes-Nord située dans le Sud-est Tunisien. Il s'agit d'une plaine côtière. Administrativement, elle relève des délégations de Ghanouch et de Mettouia (Figure 1). Le choix de cette zone a été justifié par sa forte vulnérabilité aux contraintes climatiques et aux problèmes de surexploitation des ressources en eau souterraine et de risque d'intrusion marine (Minoia et Guglielmi, 2008 ; Frija *et al.*, 2016 ; Hamed, 2017). L'agriculture irriguée constitue l'activité économique principale dans cette région. Elle couvre une superficie de 2004 ha soit 33,6% de la superficie totale des périmètres irrigués privés du Gouvernorat de Gabès (ODS, 2018). Sur le plan climatique, cette zone se trouve dans l'aire isoclimatique méditerranéenne (à pluie hivernale et été sec). Les ressources en eau souterraine représentent le principal potentiel hydrique exploitable dans cette zone. Ces ressources sont formées par deux types d'aquifères ; une nappe phréatique se trouve dans l'aquifère sédimentaire mio-plio-quaternaire sur une épaisseur de 20 à 60 m et la nappe profonde de la Djeffara. Les deux aquifères subissent de fortes pressions qui ne cessent de s'accroître à la suite d'un accroissement et d'une extension remarquable du potentiel irrigable aux dépens des terres des parcours et de l'accroissement incon-

Figure 1 - Présentation de la zone d'étude.



trôlable des puits de surface surface¹ « sondés » et illicites qui dépassent 453, malgré l'instauration de la zone d'interdiction en 1987 et la création de GDA d'irrigation en 1999 dans cette région (Abidi et Ghoudi, 2011 ; Leghrissi, 2012). Les niveaux de salinité sont relativement élevés : environ 4 g/l au plus pour la nappe phréatique, et de 2,9 à 4,9 g/l pour la nappe profonde

(DRE, 2016). Ces facteurs mettent en exergue la vulnérabilité du sud-est Tunisien aux changements climatiques et la nécessité d'adaptation des agriculteurs.

Une combinaison d'approches qualitatives (des interviews semi structurées de groupes informels et individuels, des observations participantes et des transects participatifs) et quantitatives, moyennant des enquêtes approfondies, ont été utilisées. Deux périmètres irrigués privés ont été choisis de façon raisonnée pour l'étude approfondie en fonction de leur vulnérabilité au changement climatique, de surexploitation des ressources en eau souterraine et de risque d'intrusion marine. Il s'agissait des périmètres irrigués privés de Gannouch et de Bsissi Oued El Akarit. La collecte de données a été faite grâce à un questionnaire portant sur 157 exploitants sélectionnés d'une manière aléatoire et proportionnel à l'effectif total des puits de surface par périmètres irrigués au cours de la campagne agricole 2016-2017. Le Tableau 1 montre la structure de l'échantillon par périmètre.

Les principales données collectées ont concerné les caractéristiques démographiques et socioéconomiques des ménages, les perceptions de changements des facteurs climatiques (température, précipitations, etc.) et les perceptions de la rareté des ressources en eau souterraine (niveau de profondeur des puits, salinité). Des informations sur les mesures d'adaptation individuelles adoptées et leur priorisation moyennant une échelle de Likert à quatre points de 0 à 3², et sur

Tableau 1 - Structure de l'échantillon d'étude.

<i>Zone géographique</i>	<i>Nappe phréatique</i>	<i>Périmètres irrigués</i>	<i>Nombre des puits de surface</i>	<i>Taille de l'échantillon</i>	<i>Taux de sondage (%)</i>
Délégation de Metouia	Gabs Nord	Bsissi	303	105	67
Délégation de Gannouch	Gabs Nord	EL Eroug	150	52	33
Total			453	157	100

DRE, 2016 ; ODS, 2018.

¹ La majorité des puits de surface ont été « sondés » leurs profondeurs ont progressivement augmenté, allant généralement au-delà de 50 mètres, pour atteindre les couches à 70-80 m et même à 130 m, traversant ainsi l'aquifère phréatique pour atteindre le plus profond (DRE, 2016).

² Le score « 0 » indique le niveau d'importance le plus bas et le score « 3 » indique le niveau d'importance le plus élevé.

les contraintes d'adaptation ont également été collectées. Ces données ont été obtenues à partir des focus group et des entretiens semi-structurés et informels. Le traitement et l'analyse statistique des données collectées ont été réalisés avec les logiciels Word, Excel et SPSS.

2.3. Déterminants d'adaptation au changement climatique : modèle empirique et variables explicatives (titre changé et texte reformulé)

Face à la variabilité du climat, lorsque le choix d'un agriculteur est de s'y adapter, l'ajustement consistera à utiliser une stratégie ou une combinaison de stratégies parmi un ensemble fini et exhaustif de possibilités mutuellement exclusives. Il s'agit d'une modélisation du comportement des producteurs suivant plusieurs alternatives. Du point de vue économétrique, un modèle de choix discret apparaît donc approprié pour appréhender les aspects rationnels du comportement de l'agriculteur et identifier les facteurs explicatifs de chaque alternative qu'il choisit. Ainsi les modèles multinomiaux sont donc les plus indiqués. Plusieurs approches théoriques et empiriques permettent de caractériser les facteurs influençant les décisions des producteurs dans l'adoption des technologies en agriculture (Yegbemey *et al.*, 2014 ; Nhemachena *et al.*, 2014). Les approches analytiques le plus souvent utilisées dans les études de décision portant sur l'adoption à choix multiple sont le logit multinomial (LMN) et le probit multinomial (PMN) (Hassan et Nhemachena, 2008 ; Yegbemey *et al.*, 2014). L'utilisation d'un modèle logit LMN pour analyser les déterminants des décisions des agriculteurs dans des études de décision d'adoption impliquant des choix multiples et plus facile à calculer que son alternative, le PMN. Ce modèle fournit une forme fermée pratique pour les probabilités de choix sous-jacentes, sans avoir besoin de l'intégration la méthode multivariée, ce qui facilite le calcul des situations de choix caractérisées par de nombreuses alternatives (Bryan *et al.*, 2009 ; Uddin *et al.*, 2017). C'est ainsi que dans le cadre de cette étude un modèle de régression logistique multinomial (MNL) est utilisé.

2.3.1. Cadre d'analyse et modèle économétrique

Face à la variabilité du climat, lorsque le choix d'un agriculteur est de s'y adapter, l'ajustement consistera en l'utilisation d'une stratégie ou d'une combinaison de stratégies parmi un ensemble fini et exhaustif de possibilités mutuellement exclusives. Du point de vue économétrique, un modèle de choix discret apparaît donc approprié pour appréhender les aspects rationnels du comportement de l'agriculteur et identifier les facteurs explicatifs de chaque alternative qu'il choisit. Dans le cadre de cette étude, nous utilisons le modèle Logit Multinomial (MNL) après avoir pris soin de vérifier la validité du modèle, c'est-à-dire qu'il y a indépendance des alternatives non pertinentes.

Le modèle LMN est basé sur la maximisation d'une fonction d'utilité aléatoire (Nhemachena *et al.*, 2014). La variable dépendante est une variable multinomiale et à modalités non ordonnées. Désignons par $j = 0, 1, \dots, h$; les différentes alternatives (stratégies) possibles ; par $X = 1, 2, \dots, t$; les variables explicatives et par i l'individu. Dans cette étude, les options d'adaptation ou les probabilités de réponse sont de deux, comme décrit dans la section ci-dessous (Tableau 1). Pour chaque choix j , l'individu i perçoit une utilité

$$U_{ij} = \beta_j X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

ou $\beta_j X_{ij}$ est la partie déterministe de la fonction d'utilité et ε_{ij} la partie aléatoire. β_j , représente les paramètres associés à la variable explicative X_i pour une alternative j donnée ; la variable explicative étant un facteur déterminant de l'adoption des stratégies. Soit Y_{ij} une variable qui prend la valeur 1 si l'individu i choisi l'alternative j et zéro si non. Ainsi la probabilité que le choix j de l'individu se réalise est :

$$P(Y_{ij} = 1) = P(U_{ij} \geq U_{in}), \text{ avec } j \neq n \quad (2)$$

La probabilité que l'agriculteur i choisisse la stratégie j est traduite dans le modèle logit multinomial par (Uddin *et al.*, 2017) :

$$\begin{aligned} P(Y_i = j/X_i) &= \frac{\exp(X_i \beta_j)}{\sum_{k=0}^m \exp(X_i \beta_k)} = \\ &= \frac{\exp(X_i \beta_j) / \exp(X_i \beta_0)}{[\sum_{k=0}^m \exp(X_i \beta_k)] / \exp(X_i \beta_0)} = \\ &= \frac{\exp[X_i(\beta_j - \beta_0)]}{\sum_{k=0}^m \exp[X_i(\beta_k - \beta_0)]} \end{aligned} \quad (3)$$

Avec $\beta_j \in Rk$ le vecteur des coefficients des variables explicatives x pour la stratégie j .

En posant $\beta_j^* = \beta_j - \beta_0, \forall j$, on obtient $\beta_0^* = 0$. Ce changement de variable donne une expression de la probabilité similaire à celle de l'équation (2).

$$(P(Y_i = j/X_i) = \frac{\exp(x_i \beta_j^*)}{\sum_{k=0}^m \exp(x_i \beta_k^*)} = \frac{\exp(x_i \beta_j^*)}{1 + \sum_{k=1}^m \exp(x_i \beta_k^*)} \quad (4)$$

Cette transformation conduit à normaliser les paramètres et à lever l'indétermination du modèle. Les paramètres du modèle correspondent désormais aux différences entre les paramètres originaux β_j et le vecteur de paramètre de la modalité de référence β_0 . Les coefficients estimés ne sont pas directement interprétables, ils servent plutôt à donner une orientation sur la nature de la relation entre la variable dépendante et les variables explicatives. Seuls les effets marginaux doivent être interprétés. On doit donc calculer les effets marginaux. Les effets marginaux sont obtenus en dérivant les probabilités par rapport aux variables explicatives.

$$\delta_j = \frac{\partial P_j}{\partial x_i} = P_j(\beta_j - \sum_{k=0}^j P_k \beta_k) = p_j(\beta_j - \bar{\beta}_k) \quad (5)$$

L'évaluation du modèle s'est faite à partir des tests de vraisemblance (la moins double logvraisemblance) et le niveau d'adéquation. Les paramètres des régressions sont testés par la statistique de Wald qui se distribue selon la loi Chi2 à un degré de liberté.

2.3.2. Sélection des variables explicatives

Les variables explicatives de la régression logistique (modèle LMN) ont été sélectionnées en fonction de l'analyse de la littérature et de la disponibilité des données (Deressa *et al.*, 2009 ; Tun Oo *et al.*, 2017). Les variables explicatives sont données par la perception des ménages du changement climatique et par leurs caractéristiques socio-économiques. Le Tableau 2 présente la liste des variables explicatives et les signes attendus des paramètres.

Ainsi deux stratégies d'adaptation ont été modélisées. Il s'agit d'une stratégie défensive et offensive. Les variables explicatives sont données par la perception des ménages du changement climatique et par leurs caractéristiques socio-économiques. Les variables de perception sont des variables dichotomiques qui prennent la valeur 1, si l'irrigant perçoit le CC et les risques climatiques (rareté et surexploitation des ressources en eau) et 0 sinon

Tableau 2 - Liste des variables du modèle et les signes attendus des paramètres.

Variables	Types ^a	Description des variables	
Adoption	D	Variable dépendante : prend la valeur 1 s'il y a adoption d'une stratégie d'adaptation et 0 sinon	
<i>Variables explicatives du modèle</i>			<i>Signes attendus</i>
Perception	D	Perception de CC (1= si l'agriculteur perçoit le CC et le risque climatique et 0 sinon).	+
<i>Variables socio-économiques</i>			
Age du chef de ménage	C	L'âge en années du chef d'exploitation	+/-
Niveau d'éducation	D	Prend la valeur 1 s'il s'agit d'un niveau d'étude secondaire et 0 si non	+
Taille du ménage	C	Nombre de personnes en charge dans le ménage	+/-
Encadrement technique	D	Prend la valeur 1 si il y a accès aux services de vulgarisation et 0 sinon	+
Taille de l'exploitation	C	Superficie irrigable	+
Activité secondaire	D	Prenant la valeur 1 si l'individu a une activité secondaire et 0 si non	+
Contrainte financière	D	La contrainte de l'exploitation est le manque de moyen financier (1=oui, 0=non)	-
Revenu agricole	C	Revenu annuel agricole	+

Tableau 3 - Caractéristiques socio-économiques et démographiques des agriculteurs interrogés.

<i>Variables qualitatives</i>	<i>Valeurs absolues</i>	<i>Fréquences relatives (%)</i>
Droit de propriété sur la terre	135	86
Education	72	46
Activité secondaire	50	32
Contact avec un vulgarisateur	55	35
Contrainte financière	57	36
Accès facilité au crédit	31	20
Variables quantitatives	Moyennes	Écarts types
Age	51	15,7
Expérience agricole	23	9
Taille de ménage	4,6	2,34
Superficie irriguée	12,2	10,6
Revenu annuel agricole	19900	27050

Résultats de nos enquêtes.

(Percep.). L'effet attendu de cette variable est positif. Les variables socio-économiques sont : le niveau d'instruction (instruction), l'âge de l'exploitant (âge), la taille du ménage (ménage), la taille de l'exploitation (superficie), le revenu annuel agricole (Rag), la pratique d'une activité secondaire, l'accès à l'encadrement/vulgarisation (encadrement) et la contrainte financière (CF). L'effet de ces variables varie selon la stratégie adoptée. L'encadrement et le revenu devraient avoir un effet positif car ils devraient stimuler l'adoption des stratégies adaptatives. La régression logistique multinomial a été faite avec le logiciel STATA 13.0.

3. Résultats et discussion

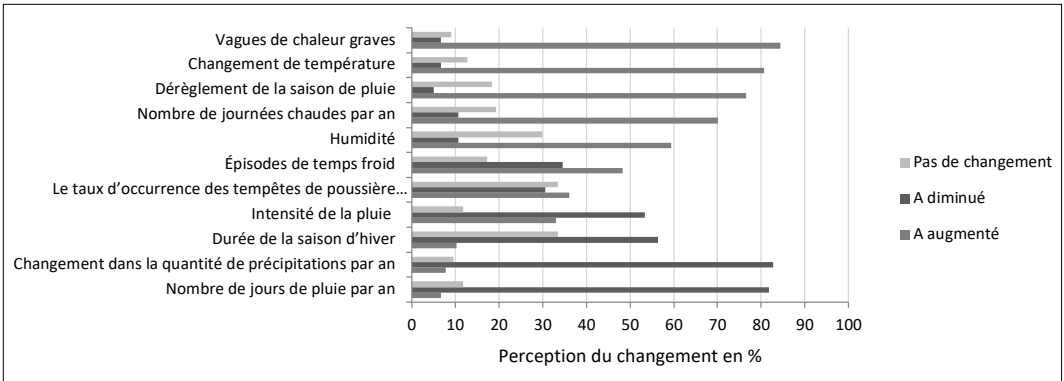
3.1. Caractéristiques des agriculteurs enquêtés

Les caractéristiques démographiques et socio-économiques des irrigants interrogés sont résumées dans le Tableau 3. L'âge moyenne de chef d'exploitation familiale est de l'ordre de 51 ans,

dont le plus jeune est à l'âge de 30 ans et celui le plus âgé est de l'ordre de 78 ans. Le niveau d'instruction reste relativement faible avec 41% de la population ayant atteint le niveau secondaire et 14% seulement de l'échantillon ayant fait des études supérieures, l'un tiers s'arrêtant au primaire. Le pourcentage des individus n'ayant reçu aucune instruction dans les exploitations enquêtées est de l'ordre de 11%. Les modes de faire-valoir de la terre dans la zone d'étude sont l'héritage, le don, l'achat, et la location. L'accès à la terre à travers ces modes confère différents droits de propriété. Ainsi, 86% des personnes interrogées ont affirmé être propriétaires de leurs terres. L'agriculture est l'activité principale de 80% des personnes interrogées. Il s'agit d'une agriculture essentiellement irriguée. En plus de l'agriculture, 32% des producteurs interrogés possèdent une activité secondaire. Le commerce et les petits métiers sont les activités secondaires les plus exercées³. Le nombre d'actifs agricoles par mé-

³ D'abord, le commerce représente une activité phare de ces producteurs : 25% de ceux qui sont interrogés le font au moins durant une partie de l'année. Ce secteur est lié à l'agriculture. Les transactions commerciales restent dominées par les produits agricoles (oignon, carotte, courge, courgette, etc.) et ces producteurs vendent leurs propres récoltes. C'est ainsi que le commerce de fruits et légumes est très prospère dans la région de Gannouch. Cette activité peut générer des revenus pouvant aller de 4000 DT à 6000 DT/an. Mais, le développement des transactions commerciales est, souvent, tributaire d'une bonne production agricole, donc les effets de la péjoration climatique peuvent impacter négativement sur ce secteur. L'autre activité que nous avons relevée est l'exercice d'autres métiers par 7% des producteurs enquêtés comme la maçonnerie, les tailleurs, les artisans, les mécaniciens... etc. Ces secteurs sont moins développés. Mais, ils permettent tout de même aux producteurs de diversifier leurs revenus.

Figure 2 - Perception des changements de facteurs climatiques en (%).



nage est en moyenne de 1,5 ($\pm 0,7$) personnes et l'expérience en agriculture est de 24 (± 9) ans. Les enquêtés emblavent en moyenne 12,2 ha ($\pm 10,6$) et consacrent à l'agriculture une moyenne de 963,8HJ par an. Par ailleurs, il ressort également du Tableau 2 que 65% des exploitants n'ont pas bénéficié des services d'encadrement et de vulgarisation et 80% n'avaient pas un accès facilité au crédit agricole à cause de risque d'endettement, de conditions d'accès difficiles (bureaucraties, formalités administratives, garanties) et des taux d'intérêts élevés (de 14% à 16%) pour les crédits de moyen à long terme.

3.2. Perceptions du changement climatique

La quasi-totalité des irrigants interrogés dans la zone d'étude (98%) a perçu des changements de facteurs climatiques durant les vingt dernières années qui ont eu des répercussions directes sur le secteur irrigué et sur la rareté des ressources en eau souterraine. Les perceptions les plus citées étaient une baisse des précipitations, un dérèglement de la saison des pluies, une plus grande irrégularité des pluies, une augmentation des températures et des vents plus violents et par l'augmentation du taux d'occurrence des phénomènes météorologiques extrêmes (Figure 2).

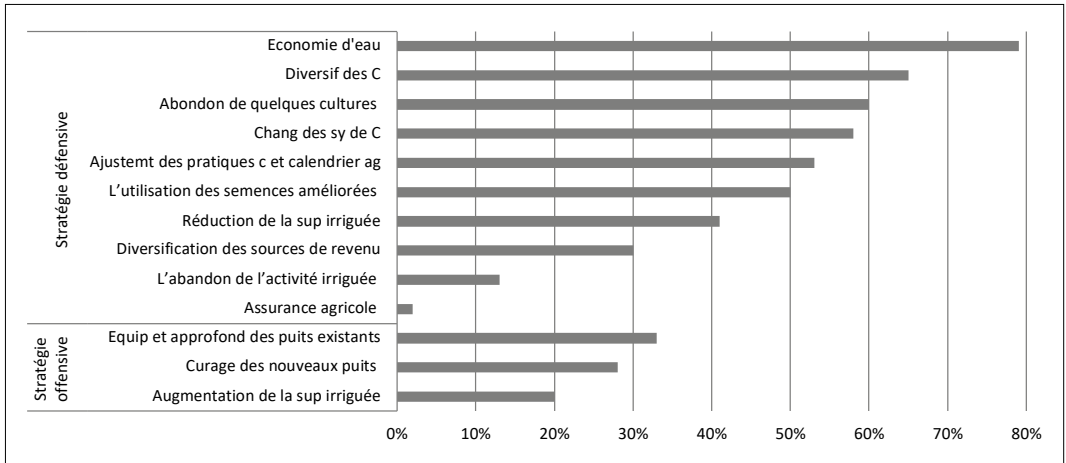
Les irrigants perçoivent clairement les changements climatiques. Ainsi, 90% des irrigants

perçoivent que les précipitations ont changé. La diminution des pluies (83%) et des pluies de plus en plus aléatoires et sporadiques (75%) sont les principales perceptions des changements liés aux précipitations. Le dérèglement de la saison des pluies est perçu par 76,6% des exploitants. Ce phénomène se manifeste par une diminution de la durée de la saison des pluies, la réduction du nombre de jours de pluie (82%) et la réduction de l'intensité journalière des précipitations (53%). Viennent ensuite le décalage des saisons avec une tendance à la réduction de la saison d'hiver (56%). Quant à la température, 87% des enquêtés perçoivent des variations thermiques se manifestant par l'augmentation du nombre de jours chauds (70%), l'augmentation des vagues de chaleur (84%) et le changement des extrêmes de températures (87%) qui se traduit par des périodes plus chaudes ou plus froides. Enfin, 67% des producteurs interrogés percevaient d'autres changements tels que des vents plus forts (36%) et une augmentation de l'humidité (59%).

L'étude a également révélé que les agriculteurs avaient des perceptions différentes de l'impact du CC sur la rareté des ressources en eau souterraine dans la zone d'étude. Les impacts mentionnés par plus de 85% des irrigants comprenaient l'augmentation des prélèvements et besoins d'irrigation (80%), la baisse des niveaux piézométrique de la nappe phréatique suite au déficit de la recharge (75%)⁴, diminution du débit artésien

⁴ Dans les années 1970 et 1980, le niveau piézométrique de l'aquifère côtier de Gabès Nord se trouvait sur l'isopieze entre 20 et 25 mètres. En 1998, en raison de l'augmentation du nombre de puits illégaux, le niveau piézométrique a chuté de 10 mètres, ce qui était la valeur seuil pour éviter l'intrusion maritime (CRDA Gabès, 2003).

Figure 3 - Pratiques et stratégies d'adaptation répertoriées.



(50%)⁵ et de la dégradation de la qualité de l'eau d'irrigation (35%). Les perceptions identifiées concordent avec les études mentionnées dans la littérature qui s'accordent sur une augmentation de la fréquence et de l'intensité des années extrêmes sèches et une baisse de la pluviométrie moyenne qui se traduirait par une réduction des ressources en eau disponibles (West *et al.*, 2008 ; Sarr *et al.*, 2015). Les résultats obtenus ont par ailleurs corroboré ceux d'Ouédraogo *et al.* (2010) et Omar *et al.* (2015) et qui révèlent que les populations se rendent compte de la variabilité du climat.

3.3. Pratiques et stratégies d'adaptation individuelles diversifiées

Les mesures et pratiques d'adaptation aux changements climatiques sont diverses et individuelles dans la zone d'étude. Quarante-vingts pour cent (80%) des irrigants interrogés, dans la zone de Gabès-Nord, ont développé une gamme très variée de pratiques et mesures d'adaptation (Figure 3). Les réponses spontanées les plus courantes comprenaient le recours à l'économie de l'eau (79%), la diversification des cultures (65%), l'abandon de quelques cultures (60%), le changement du système de culture (58%) et

l'ajustement des pratiques culturales et du calendrier agricole (53%). Les autres réponses incluaient, l'utilisation des semences améliorées à cycle court (50%), la réduction de la superficie irriguée (41%), équipement et approfondissement des puits existants (33%), la diversification des revenus par l'exercice d'autres métiers (32%) et creusement de nouveaux puits d'une manière illicite (28%). Les autres réponses incluaient l'augmentation de la superficie irriguée (20%) moyennant l'achat ou la location des terres plus riches en eau, l'orientation vers l'agriculture pluviale (13%) et le recours à l'assurance agricole (2%).

En termes de stratégies d'adaptation les différentes mesures d'adaptation peuvent être classées en deux types de stratégies (Figure 3).

Une première catégorie est dite offensive (S1). Elle est conçue pour la gestion de l'offre en eau d'irrigation et accroître la production. Elle comprend, principalement, le creusement de nouveaux puits, l'équipement et l'approfondissement des puits existants, et l'augmentation de la superficie irriguée à travers la location des terres plus riches en eau. Elle est adoptée par 34% des irrigants de notre échantillon qui ont montré une forte capacité d'adaptation. Cette catégorie d'agriculteurs est principalement constituée de gros agricul-

⁵ L'augmentation des puits équipés du moteur a des impacts évidents, en particulier en termes de diminution du débit artésien, qui passe de 10-25 l/s à 4 l/s, avec des valeurs moyennes de 0,5 et à 1 l/s (CRDA Gabès, 2003).

teurs (70%) de notre échantillon qui investissent à la fois dans l'appropriation de l'eau et dans les technologies d'économie d'eau. Ce groupe d'agriculteurs irrigue de grandes superficies qui dépassent les 10 ha. Les cultures maraîchères et les cultures fourragères consommatrices d'eau ont laissé la place à des plants d'olivier à huile qui occupent 73% de la superficie irriguée. Ce groupe d'agriculteurs a suffisamment de moyens financiers pour investir dans d'autres zones. L'acquisition ou la location des terres agricoles dans d'autres zones sont pratiquées par 20% des cas qui ont choisi de se déplacer vers les régions de Temoula (Gabès-sud), Matmata et Ouedhref pour s'y installer soit par le biais de la location ou carrément l'achat de nouvelles terres. Dans ces zones, les agriculteurs ont choisi de se spécialiser dans la culture de l'olivier surtout la variété « Chemlali » et, plus récemment, des variétés espagnoles telle que « l'Arbequina » et « l'Arbosana » avec une densité moyenne de 270 pieds par hectare et un effectif moyen de 2589 pieds par exploitation. En moyenne ces actions sont considérées comme des mesures d'adaptations positives dans la mesure où elles améliorent la capacité des irrigants à une telle variabilité climatique. Néanmoins leur généralisation est susceptible d'aggraver les impacts des changements climatiques et d'engendrer des pressions sur les ressources en eau souterraine et met en question la durabilité de ses pratiques sur le plan économique et environnemental et accroître le risque pour le secteur irrigué et de la vulnérabilité en particulier des petites exploitations familiales, qui ont des capacités limitées pour s'adapter.

La deuxième catégorie est dite défensive ou « adaptative » (S2). Elle est conçue pour la gestion de la demande en eau d'irrigation à l'échelle de l'exploitation. Elle vise à adapter les systèmes de production à l'eau disponible sur l'exploitation compte-tenu des puits et forages existants. Elle comprend l'économie de l'eau d'irrigation (irrigation goutte à goutte), les ajustements du

calendrier agricole, l'abandon des cultures maraîchères consommatrice en eau (pomme de terre, tomate, laitue et melon) et arboricoles très vulnérables à la variabilité climatique (pommier, d'abricotier et de pêcher)⁶ et l'introduction de la culture de l'olivier (variétés locale « Chemlali » et espagnoles « l'Arbequina » et « l'Arbosana » pour une densité de 270 pieds/ha et une moyenne de 749 pieds par exploitation). Elle est adoptée par 66% des exploitations dont 72% sont des exploitations de taille moyenne comprise entre 5 et 10 ha. En moyenne ces actions sont considérées comme des mesures d'adaptation positives et générales que les exploitations devront continuer d'adopter à l'avenir pour améliorer la capacité d'adaptation des irrigants à une telle variabilité climatique et maintenir la productivité du secteur irrigué.

Les différentes mesures et stratégies d'adaptation identifiées apparaissent pertinentes et concordent avec les stratégies d'adaptation individuelles avancées par la littérature. Ces stratégies montrent à la fois des points communs et des spécificités par rapport à d'autres stratégies d'adaptation au changement climatiques avancés par Berahmani *et al.* (2012), Wheeler *et al.* (2013), Alam (2015), et Faysse *et al.* (2011). Néanmoins, le nombre et la diversité des adaptations mises en place par les irrigants indiquent une réelle volonté de minimiser la pénurie des ressources en eau souterraine et les impacts des changements climatiques. Cependant, si certaines sont bien adaptées aux changements décrits (diversification des sources d'irrigation, conservation de l'eau d'irrigation), d'autres apparaissent comme des réponses générales (diversification des cultures et les ajustements du calendrier agricole) dénotant l'insuffisance d'efficacité des premières mesures. Le curage et l'approfondissement des puits a été également montré comme une réponse commune aux changements climatiques en Afrique du Nord et en Asie (Berahmani *et al.*, 2012 ; Alam,

⁶ Selon un responsable de la cellule Territoriale de vulgarisation de Gannouch « L'augmentation de la température ces dernières années a causé la réduction des superficies emblavées en rosacées fruitières telles que le pommier, l'abricotier et le pêcher. Ces cultures étaient assez répandues entre les années 1980 et les années 1990 puisque le nombre d'heures de froid nécessaire à la production des fruits était suffisant. Actuellement, avec l'élévation des températures, ces cultures ne reçoivent plus les heures de froid nécessaires et leur production se trouve alors affectée ».

2015). La généralisation de telles adaptations est susceptible d'aggraver les impacts des changements climatiques et d'engendrer des pressions sur les ressources en eau souterraine et accroître le risque pour le secteur irrigué et de la vulnérabilité en particulier des petites exploitations familiales, qui ont des capacités limitées pour s'adapter (MAE et GIZ, 2011 ; Iglesias et Garrote, 2015 ; Frija *et al.*, 2016 ; Jeder *et al.*, 2013). En absence de politiques spécifiques, les différences s'accroissent entre les exploitations agricoles qui ont les moyens d'investir toujours plus pour avoir suffisamment d'eau et celles qui doivent adapter leurs cultures à la pénurie d'eau (Faysse *et al.*, 2011 ; Frija *et al.*, 2016).

3.4. Priorisation et indice d'adaptation

Par ordre de priorité, moyennant une échelle de Likert à quatre points, l'économie de l'eau d'irrigation a été classée en premier rang (Tableau 4) et comme la tactique la plus sollicitée. Cette priorité peut être expliquée par les subventions accordées par les pouvoirs publics pour ce type d'investissement (60% du coût d'investis-

sement), ainsi, que par la rareté très prononcée des ressources en eau souterraine dans cette zone où la mise en œuvre de techniques d'économie d'eau permettrait d'assurer une disponibilité suffisante et un accès fiable à l'eau. Toutefois, les options telle que l'irrigation goutte à goutte sont à forte intensité de capital, bien qu'elles soient la stratégie idéale contre la raréfaction des ressources en eau. Pratiquer la diversification des cultures a été identifié comme la deuxième stratégie d'adaptation. C'est une stratégie d'adaptation potentiellement viable car le fait de disposer différents types de cultures dans une ferme peut réduire le risque agricole global contre l'échec ou les pertes des rendements, et élargit les opportunités de profit. De nombreuses études ont également mis en évidence les options de diversification des cultures comme mesures d'adaptation appropriées (Uddin *et al.*, 2017 ; Evelyn *et al.*, 2017). Le changement des systèmes de cultures, l'ajustement des pratiques culturales et du calendrier agricole, l'utilisation des semences améliorées viennent en troisième lieu et figurent également parmi les pratiques d'adaptation possibles dans la région. Cela pourrait être proba-

Tableau 4 - Priorisation des pratiques d'adaptation aux changements climatiques (n=157).

Pratiques d'adaptations	Fréquence par niveau d'importance (%)				Indice de poids moyen	Rang
	Très important	Important	Moins important	Aucune importance		
Economie d'eau	83	17	-	-	2,83	1
Diversification des cultures	75	22	13	-	2,79	2
Changement des systèmes de cultures	66	17	17		2,50	3
Ajustement des pratiques culturales et du calendrier agricole	H64	25	8	3	2,48	4
Utilisation des semences améliorées	67	17	8	8	2,42	5
La diversification des revenus	33	25	25	17	1,75	6
Augmentation de la superficie irriguée	17	25	25	33	1,25	7
Équipement et approfondissement des puits existants	13	20	22	45	1,02	8
Réduction de la superficie irriguée	-	17	50	33	0,83	9
Assurance agricole	-	8	17	75	0,33	10

blement le résultat des changements perçus par l'agriculteur dans les régimes pluviométriques qui affectent directement la recharge des nappes phréatiques et par la suite la disponibilité des besoins en eau des cultures. La diversification des sources de revenus vient en sixième rang suivie de la location des terres plus riches en eau dans d'autres zones (Temoula (Gabès sud), Matmata et Ouedhref). Même si l'agriculture continue à être l'unique activité de 80% des producteurs rencontrés, la pluralité des sources de revenus par l'exercice d'autres métiers (commerce et petit métiers) reste l'une des pratiques recherchées et qui présente un gage de sécurité en cas de mauvaises récoltes, en particulier, pour les petites exploitations qui ont des capacités limitées pour s'adapter. Le recours à l'approfondissement des puits existants et le creusage de nouveaux puits restent parmi les pratiques les moins recherchées et restent d'une manière illicite à cause des restrictions légales imposées dans cette zone (Abidi et Ghoudi, 2011). En dernier lieu l'assurance a été classée comme la stratégie d'adaptation la moins recherchée. Cela pourrait être expliqué par l'absence de mécanismes efficaces d'assurance agricole contre les catastrophes naturelles (sécheresse et sirocco), la complexité des procédures et la lenteur de règlement des sinistres ainsi que le coût élevé des primes d'assurance, et du nombre limité des institutions financières (FAO, 2013).

3.5. Contraintes d'adaptation aux changements climatiques

Le manque d'information sur les stratégies d'adaptation, contrainte d'accès aux crédits agricoles, pénurie et coût élevé des intrants, contraintes d'accès à d'autres sources d'eau, et du manque d'accès aux marchés ont été soulevés comme principales barrières à l'adaptation (Figure 4). Le manque d'informations (44% des interrogés) porte sur un accès limité des agriculteurs à l'information provenant de sources privées ou publiques sur les mesures d'adaptation appropriées d'adaptation, en cas d'événements météorologiques extrêmes, y compris de fortes précipitations, des températures extrêmement élevées ou des températures extrêmement basses qui sont fréquemment mentionnés comme indicateurs du changement climatique. L'accès non facilité aux crédits agricoles (22%) a été identifié par les agriculteurs comme une autre contrainte majeure de l'adaptation. L'utilisation du crédit agricole dans la zone d'étude est limitée, en plus de l'accès aux facilités de micro-crédit disponibles au niveau de la ville. Le risque d'endettement et les conditions d'accès difficiles (bureaucraties, formalités administratives, garanties) à côté des taux d'intérêts élevés (de 14% à 16%) pour les crédits de moyen à long terme peuvent expliquer le moindre intérêt des agriculteurs pour les établissements de crédit formels. Enfin, l'accès à d'autres sources d'eau d'irrigations (réseau pu-

Figure 4 - Contraintes d'adaptation soulevées.

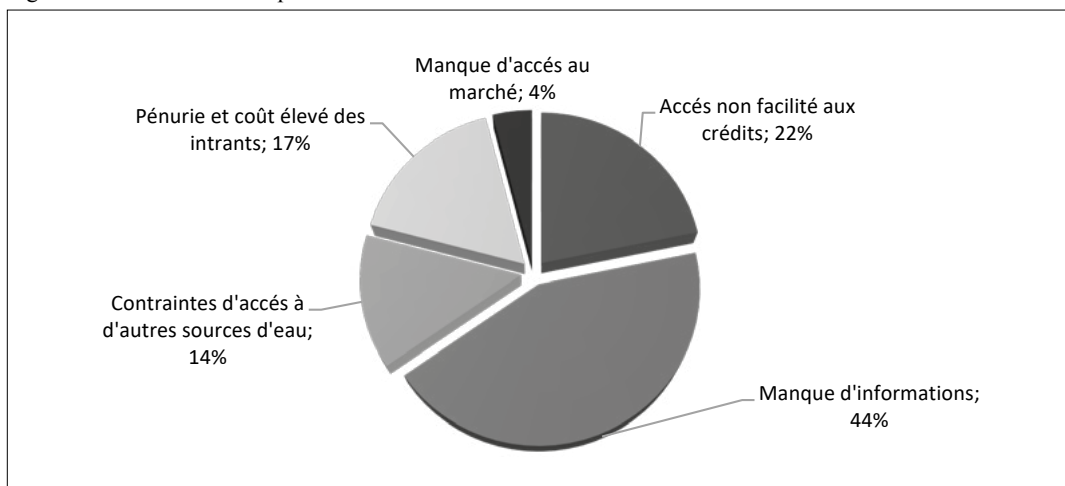


Tableau 5 - Effets marginaux des variables explicatives de l'adaptation des agriculteurs aux changements climatiques (estimation du Modèle Logit Multinomial).

Variable	Stratégie offensive			Stratégie défensive		
	coef.	Écart Type	Effet Marg.	coef.	Écart Type	Eff. Marg.
Age	0,31	0,021	-0,001	0,050	0,021	0,006*
Taille de famille	0,168	0,130	-0,009	0,273	0,130	0,035
Niveau d'éducation	1,72	0,584	0,215**	1,08	0,605	-0,066
Superficie irriguée	0,29	0,163	0,010	0,327	0,163	0,026
Revenu agricole	0,0001	0,0000	3,95e ⁻⁶ *	3,23e ⁻⁶	0,000	3,31e ⁻⁶
Activité secondaire	0,042	0,656	0,07**	1,88	0,967	0,09***
Contrainte financier	-0,236	0,771	-0,062	-0,672	0,547	-0,118
Vulgaris.	0,185	0,66	-0,057	1,99	0,798	0,221**
Perp. de CC	-0,288	0,742	-0,217**	0,843	0,692	0,240**
Observations			157			
Log pseudo-vraisemblance			-119,47			
Pseudo R ²			0,12			
Wald chi2(16)			39,49***			
Prob > chi2			0,0009			

La catégorie de base est la non-adoption d'au moins une de ces deux stratégies. Les niveaux de significativité sont respectivement : 1% (***) , 5% (**) et 10% (*).

blic et nappes profondes) et aux marchés constituent d'autres contraintes soulevées, respectivement, par 14% et 4% des producteurs.

Ces résultats ont corroboré les observations faites par d'autres études en Afrique (Gebrehiwot et van der Veen, 2013 ; Yegbemey *et al.*, 2014 ; Harmanny et Malek, 2019) qui révèlent que l'adaptation peut être limitée par de nombreux facteurs, tels que les obstacles socio-économiques, institutionnels, biophysiques, et financiers, et, par conséquent, l'adaptation privée ne peut pas être entièrement autonome.

3.6. Déterminants des stratégies d'adaptation : Estimation du modèle économétrique

Les facteurs influençant l'adoption des stratégies d'adaptation ont été examinés à l'aide du modèle de logit multinomial (LMN). Les stratégies que nous étudions, notamment (i) l'adop-

tion d'une stratégie offensive et stratégie adaptative sont analysées en comparaison avec l'option de référence qui est la non-adoption d'au moins une de ces deux stratégies. Avant d'exécuter le modèle, le problème de multi colinéarité entre les variables explicatives a été testé moyennant respectivement le test du Facteur d'Inflation de la Variance (VIF)⁷. Le modèle a été également testé pour la validité des hypothèses de l'indépendance des alternatives non pertinentes (IIA) à l'aide du test Hausman, et il a été constaté que le modèle LMN est approprié pour cette étude. Par conséquent, la probabilité d'utiliser une certaine méthode d'adaptation par un ménage donné est supposée indépendante de la probabilité de prendre une autre méthode d'adaptation. Le Tableau 5 présente les coefficients estimés du modèle LMN, l'Écart Type, les effets marginaux et leurs niveaux de signification pour les deux stratégies d'adaptation étudiées. Les résultats montrent que le modèle estimé est globalement

⁷ Les valeurs du VIF pour l'ensemble des coefficients associés aux variables explicatives sont comprises entre 1.03 et 1.43 avec une moyenne de 1.12. Ceci indique qu'il n'y a pas de problème de multi colinéarité dans les modèles que nous allons estimer en utilisant ces variables.

statistiquement valide. En effet, la log-vraisemblance (-119,47) est satisfaisante, ainsi que le Khi-deux du modèle ($\text{Khi}^2=39,49$) qui est significatif à 1%. Au niveau des paramètres estimés, on trouve globalement six variables ayant une influence significative sur la probabilité d'adoption des stratégies d'adaptation. Ces variables sont entre autres : l'âge, le niveau d'éducation, la vulgarisation, le revenu agricole, l'exercice d'une activité secondaire et la perception du CC. En outre, l'analyse de la sensibilité de la probabilité d'adoption par rapport aux variables explicatives montre que certaines variables ont des effets marginaux les plus forts. En plus, certaines variables affectent positivement et d'autres négativement la propension à l'adoption des stratégies d'adaptation. Une analyse singulière des variables ayant des effets significatifs sur la probabilité de choix nous permettra de mettre en évidence ces effets.

3.6.1. L'âge

L'âge du chef de ménage a une relation positive et significative avec la probabilité de choisir une stratégie d'adaptation défensive (0,006) au seuil de 10%. Cet effet indique qu'une augmentation d'une unité de l'âge du ménage accroît la probabilité d'utiliser cette stratégie de 0,6%. Les agriculteurs les plus âgés auront tendance à plus adopté cette stratégie que les plus jeunes. La raison probable de cette association positive est due au fait que l'âge peut probablement doter les agriculteurs de l'expérience requise qui leur permettra de mieux évaluer les risques liés aux décisions d'investissement dans l'adaptation au changement climatique. Ces résultats ont confirmé les résultats des travaux de Deressa *et al.* (2009) et Davis et Ali (2014) qui sont parvenus à la conclusion selon laquelle l'expérience en agriculture est un potentiel déterminant d'adaptation du producteur au changement climatique. Concernant la stratégie offensive, bien que le coefficient associé à l'âge de l'irrigant soit non significatif, le signe négatif peut nous conduire à dire que les agriculteurs plus âgés sont moins susceptibles de prendre ce type de stratégie. La probabilité d'adapter ce type de stratégie diminue plus un agriculteur est âgé.

3.6.2. Niveau d'instruction

L'éducation du chef de ménage a un effet positif et significatif pour l'adoption d'une stratégie offensive au seuil de 5%. Cet effet indique que les chefs de ménage qui ont un niveau d'instruction au moins égal au niveau secondaire, ont 21,5% plus de chance d'adopter une stratégie offensive par rapport aux chefs de ménage moins éduqués. Diverses études parviennent à cette même conclusion selon laquelle la relation entre l'éducation et l'adaptation au changement climatique est positive (Ouedraogo *et al.*, 2010 ; Yegbemey *et al.*, 2014). Les agriculteurs plus instruits sont en général plus capables d'évaluer les technologies disponibles et le climat car il existe une différence majeure avec les agriculteurs moins éduqués en termes d'accès aux actifs, au crédit, à la technologie et à l'approvisionnement en intrants (Hassan et Nhemachena, 2008). Concernant la stratégie adaptative le niveau d'éducation influence négativement le choix de cette stratégie mais non significative. Plus le niveau des agriculteurs est élevé, moins ils auront tendance à adopter cette stratégie d'adaptation. La non significativité de niveau d'éducation sur l'adoption de la stratégie adaptative peut s'expliquer par le fait que dans nos provinces, avec l'évolution dans le domaine de la vulgarisation (partage d'expérience entre producteur, accès à l'information dans la langue locale, etc.), les producteurs arrivent à comprendre les mesures à prendre dans un contexte de changement climatique dont notamment les stratégies adaptatives.

3.6.3. Revenu annuel

Le revenu annuel agricole présente une relation positive pour l'ensemble des stratégies d'adaptation et significative à 10% pour la stratégie offensive. Ces résultats sont en accord avec Abid *et al.* (2014), Yong (2014) et Tun Oo *et al.* (2017) où une association positive significative entre l'adoption de stratégies d'adaptation au changement climatique et le niveau de revenu a été obtenue. Cela signifie que les agriculteurs qui ont gagné plus de revenus grâce à leurs activités agricoles avaient vraisemblablement plus de ressources sous forme d'économies de secours à investir dans l'infrastructure d'adaptation et ont plus de chances d'adopter

des stratégies d'adaptation au changement climatique que les agriculteurs qui ont un petit revenu agricole annuel. Ces résultats concordent avec les conclusions de Bryan *et al.* (2009) et Ado *et al.* (2019) qui ont rapporté que la production agricole et les revenus annuels des ménages avaient une incidence significative sur les niveaux d'adaptation des ménages.

3.6.4. *Activité secondaire*

En plus du revenu agricole, l'exercice d'une activité secondaire augmente également considérablement la probabilité d'adopter des stratégies d'adaptation. L'exercice d'une activité secondaire est positivement et significativement corrélé avec la décision d'adaptation au changement climatique au seuil de 5% pour la stratégie offensive et de 1% pour la stratégie adaptative. Une activité secondaire constitue une autre source de revenus pour les irrigants. Une augmentation unitaire du revenu non agricole augmente la probabilité d'adopter des stratégies offensives et défensives de 7% et de 9%, respectivement. Ainsi, les revenus issus de l'activité secondaire peuvent être mis à profit pour augmenter le niveau d'investissement dans les intrants tels que la main-d'œuvre, les engrais et pesticides, les nouvelles variétés et surmontées ainsi les contraintes financières à l'échelle d'exploitation. Ce résultat est conforme à ceux de Gnglè *et al.* (2012) et Piya *et al.* (2013) qui trouvent que la diversification des activités est aussi une stratégie d'adaptation au changement climatique. En ce sens, les producteurs qui possèdent déjà une activité secondaire auraient une plus forte probabilité à s'adapter au changement climatique.

3.6.5. *Vulgarisation*

La vulgarisation présente une corrélation positive et significative avec la probabilité de choisir une stratégie adaptative au seuil de 5%. Une augmentation d'une unité du contact avec les services de vulgarisation est susceptible d'augmenter la probabilité pour l'agriculteur d'adapter la stratégie adaptative de 9,8% plus élevées que celles des ménages qui n'ont pas accès aux services de vulgarisation. Les contacts avec les agents de vulgarisation peuvent faciliter la sen-

sibilisation et l'anticipation des agriculteurs au changement climatique et aux options d'adaptation disponibles pour y faire face. L'importance de la vulgarisation dans l'adaptation des producteurs au changement climatique est déjà mise en exergue dans les travaux de Nhemachena et Hassan (2007), Gbetibouo (2009) et Deressa *et al.* (2009) qui ont remarqué que les agriculteurs qui obtiennent des informations par l'intermédiaire des agents de vulgarisation sont plus susceptibles d'être informés de la situation climatique et des réponses suivies. Concernant la stratégie offensive l'encadrement technique influence négativement le choix de cette stratégie mais non significative. L'encadrement technique semble ne pas avoir d'effet sur la probabilité d'adopter des stratégies offensives parce que ses types d'adaptation restent hors de la portée des services de vulgarisation et restent guidés par des initiatives privées. Ce résultat est similaire à celui de l'étude de Ouédraogo *et al.* (2010), qui a constaté que l'accès aux services de vulgarisation n'était pas un déterminant de l'adaptation des technologies de CES, de la fumure et de la date de semis où le principal canal de diffusion des technologies de CES reste les projets et les organisations non gouvernementales de développement.

3.6.6. *Perception de changement climatique*

La perception de CC et du risque climatique est l'une des variables explicatives qui influent sur le choix des mesures d'adaptation des agriculteurs. La perception des irrigants des effets de CC s'est trouvée positivement et significativement corrélée avec le choix de la stratégie adaptative au seuil de 1%. Ce résultat révèle que les agriculteurs qui percevaient le CC et le risque climatique liée à la rareté et à la surexploitation des ressources en eau souterraine sont plus susceptibles de s'adapter au CC de 24 fois plus que ceux qui ne perçoivent pas un CC. En revanche, la perception de risque de CC a un effet négatif relativement plus fort (-0,217) et significatif au seuil de 5%, pour le choix de la stratégie offensive. Cet effet montre qu'un accroissement de la pénurie d'eau de 1% réduit la probabilité d'adoption des stratégies offensive de 21,7% et accroît la probabilité d'adoption des stratégies

adaptative. Ce résultat peut être expliqué, d'une part, par les mesures législatives appliquées dans cette région⁸ qui limitent l'adoption de ce type de stratégie offensive (Abidi et Ghoudi, 2011 ; Leghrissi, 2012) et encourage le recours aux stratégies adaptative. D'autre part, cette stratégie requiert des charges de production élevées devant des capacités limitées d'adaptation des irrigants dans le sud-est tunisien (Mahdhi *et al.*, 2019). Ces résultats confirment les résultats d'Alaudin et Sarker (2014) et Rezaei *et al.* (2017) et qui montrent que la perception des agriculteurs à l'égard de la rareté des ressources en eau est l'une des variables explicatives qui influent sur le choix des mesures d'adaptation des agriculteurs. Les résultats obtenus ont par ailleurs corroboré ceux de Mertz *et al.* (2009) et Ouédraogo *et al.* (2010) qui révèlent que les populations qui se rendent compte de la variabilité et de CC ont plus de chances de prendre des mesures d'adaptation en réponse aux changements observés.

Notons enfin que, d'autres variables bien qu'ayant été citées comme influençant positivement ou négativement le choix des producteurs, n'ont aucun effet statistiquement significatif dans le modèle. Il s'agit notamment de la superficie de l'exploitation, la taille de famille et de la contrainte financière.

La taille de famille introduit dans le modèle d'adaptation, n'est pas significativement corrélée avec l'adaptation du producteur au changement climatique (probabilité $> 0,10$). Cela se trouve justifié, car la quasi-totalité des producteurs interrogés ont affirmé que la main-d'œuvre familiale disponible était suffisante pour exécuter toutes les activités de production, y compris les éventuels ajustements ou adaptations au changement climatique.

Pour la taille de l'exploitation, les régressions effectuées présentent des coefficients non significativement différents de zéro au seuil de 5%. La taille ne constitue donc pas un facteur significatif d'adoption des stratégies d'adaptation. La raison probable de cette relation non significa-

tive pourrait être due au fait que l'adaptation est spécifique à la parcelle. Cela signifie que ce n'est pas la taille de l'exploitation, mais les caractéristiques spécifiques de l'exploitation qui dictent la nécessité d'une méthode d'adaptation spécifique au changement climatique. Dans la littérature il y a une controverse sur la relation entre la superficie de l'exploitation et l'adaptation aux changements climatiques (Deressa *et al.*, 2009 ; Nhemachena *et al.*, 2014). Cependant, étant donné que la taille des exploitations agricoles est associée à une plus grande richesse, on émet l'hypothèse qu'elle permet d'accroître l'adaptation aux changements climatiques (Bradshaw *et al.*, 2004 in Deressa *et al.*, 2009).

Enfin, les résultats de l'estimation permettent aussi d'observer une influence négative et non significative de la variable contrainte financière sur le choix des stratégies. Ce résultat suggère que plus cette contrainte est déclarée forte moins les producteurs ont tendance à prendre de décisions d'adaptation. Cela se trouve justifié par l'accès non facilité aux crédits agricoles selon les usagers. Ce résultat corrobore les résultats de Nguyen *et al.* (2021) qui montre que le manque des moyens financiers et le risque d'endettement des agriculteurs réduisent de manière significative l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique.

4. Conclusion et recommandations

Le changement climatique est une réalité qui devrait avoir des impacts significatifs sur l'agriculture tunisienne avec des pluies moins incertaines, des températures plus élevées et par l'augmentation du taux d'occurrence des événements extrêmes comme les inondations, les sécheresses. Aujourd'hui, l'agriculture irriguée est plus susceptible d'être affectée par le changement climatique. Par conséquent, l'adaptation de l'agriculture au changement climatique est nécessaire au niveau micro. Cette étude montre que les agriculteurs perçoivent et s'inquiètent

⁸ Instauration de la zone d'interdiction en 1987 et la création d'un Groupement de Développement Agricole (GDA) de Bsissi-Oued El Akarit en 1999 pour contrôler le nombre de puits et de forages et limiter l'extension des superficies irriguées.

des effets du changement climatique et de la pénurie des ressources en eau souterraine dans le sud-est Tunisien. L'analyse des perceptions du changement climatique dans la région d'étude a fait ressortir la prise de conscience d'une baisse des précipitations, dérèglement de la saison des pluies, de l'augmentation des températures, de la variabilité de la température moyenne et des précipitations et de la rareté des ressources en eau souterraine à cause de l'augmentation des prélèvements et besoins d'irrigation au cours des 20 dernières années. Pour y faire face, treize mesures et pratiques d'adaptation ont été adoptées par les irrigants allant du recours à l'économie de l'eau à l'abandon de l'activité irriguée et l'orientation vers l'agriculture pluviale. En termes de stratégies d'adaptation, les différentes mesures d'adaptations peuvent être classées dans deux types de stratégies potentiels : Une première dite offensive. Elle comprend, principalement, l'équipement et l'approfondissement des puits, et location de terres plus riches en eau dans d'autres zones. La deuxième catégorie est dite défensive. Elle vise à adapter les systèmes de production à l'eau disponible sur l'exploitation compte-tenu des puits et forages existants. Elle comprend la diversification des cultures, les ajustements du calendrier agricole, le changement du système de culture et l'économie de l'eau d'irrigation à l'échelle de l'exploitation. La connaissance et la prise en compte de différentes pratiques et stratégies d'adaptation permet d'identifier des options d'adaptation à la fois réalistes du point de vue de leur mise en œuvre et ambitieuses du point de vue de leurs objectifs et aider à élaborer des priorités pour l'adaptation des ressources en eau pour l'irrigation. Néanmoins, leurs adaptations restent limitées, d'une part, par des contraintes informationnelles, financières et techniques, et d'autre part, la généralisation des stratégies offensive est susceptible d'aggraver les impacts des changements climatiques et d'engendrer des pressions sur les ressources en eau souterraine et met en question la durabilité de ses pratiques sur le plan économique et environnemental et accroît le risque pour le secteur irrigué et la vulnérabilité en particulier des petites exploitations, qui ont des capacités limitées pour s'adapter.

L'étude des déterminants d'adoption montre que l'âge, l'éducation, la vulgarisation, le revenu agricole, diversification des sources de revenu et la perception du risque de CC sont les principaux déterminants de l'adaptation des irrigants au changement climatique et à la rareté des ressources en eau souterraine. En somme, la capacité d'un irrigant à s'adapter au changement climatique dépend de sa perception du phénomène, de la nécessité d'apporter des solutions et des possibilités qui lui sont offertes. Dans une perspective d'adaptation aux changements climatiques, des recherches futures doivent être menées afin d'améliorer les stratégies existantes ou développer de nouvelles stratégies. Pour ce faire, une bonne connaissance et analyse des stratégies endogènes et de déterminants d'adaptation constitue un bon point de départ pour orienter les politiques publiques et améliorer efficacement la résilience des agriculteurs aux changements climatiques en zones arides. En outre, des voies alternatives doivent donc être trouvées, en fonction de la prévision de climat futur, à la fois en termes de conception et de viabilité des mesures d'adaptation innovantes à mettre en œuvre pour atténuer les effets des changements climatiques et soutenir la durabilité du secteur irrigué en zones arides. Dans ce sens, des mesures d'adaptation doivent être prises dans différentes conditions agro-écologiques et climatiques à travers l'encouragement de la recherche en matière d'évaluation et d'identification des options d'adaptation (paquet technologique agricole adapté aux changements climatiques, diffusion de nouvelles variétés tolérantes et de variétés précoces adaptables aux changements climatiques, etc.) à la fois réalistes du point de vue de leur mise en œuvre et ambitieuses du point de vue de leurs objectifs. Dans le court et le moyen terme, les possibilités d'adaptation du pays doivent passer par la collecte des eaux de ruissellement, la recharge de la nappe, tarification incitative, amélioration de l'efficacité d'usage de l'eau d'irrigation à travers la généralisation de l'irrigation goutte à goutte et la réduction des pertes en eau. D'autres mesures peuvent être liées aux pratiques culturelles telles, l'optimisation des dates de semis en fonction des changements du climat, l'utilisation de semences sélectionnées et de variétés à cycle court et résistantes à la sécheresse, la recon-

version et le repositionnement des cultures selon l'évolution du contexte bioclimatique, et enfin la refonte progressive des calendriers agricoles traditionnels. Ce choix serait cependant cautionné par un accompagnement technique et financier des agriculteurs. Enfin, des mesures d'accompagnement (formation, encadrement, infrastructure) doivent être prises pour faciliter l'adaptation et aider à élaborer des priorités pour l'adaptation des ressources en eau pour l'irrigation en zone aride.

Bibliographie

- Abid M., Scheffran J., Schneider U.A., Ashfaq M., 2014. Farmers' perceptions of and adaptation strategies to climate change and their determinants; the case of Punjab province, Pakistan. *Earth System Dynamics. Discussions*, 5: 1359-1406.
- Abidi B., Ghoudi R., 2011. *Gestion participative des nappes souterraines surexploitées. Cas du GDA de Bsissi Oued Akarit*. Présentation au séminaire du projet Pap-Agir, Hammamet, 27-28 juin.
- Ado M.A., Leshan J., Savadogo P., Bo L., Shah A.A., 2019. Sensibilisation des agriculteurs et perception du changement climatique impacts : étude de cas du district d'Aguié au Niger. *Environment, Development and Sustainability*, 21: 2963-2977.
- Alam K., 2015. Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: a case study of Rajshahi district, Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 148: 196-206.
- Alauddin M., Sarker M.A.R., 2014. Climate change and farm-level adaptation decisions and strategies in drought-prone and groundwater-depleted areas of Bangladesh: An empirical investigation. *Ecological Economics*, 106: 204-213.
- Ben Nouna B., Rezig M., Kanzari S., Chebil A., Jebbari S., 2018. Ressources en eau et changement climatique : Stratégies Clés d'adaptation, et Rôle de la Recherche Scientifique en Tunisie. *Journal of New Sciences, Agriculture and Biotechnology*, 51(1): 3138-3147.
- Berahmani A., Faysse N., Errahj M., Gafsi M., 2012. Chasing water: diverging farmers' strategies to cope with the groundwater crisis in the coastal Chaouia region in Morocco. *Irrigation and Drainage*, 61: 673-681.
- Blinda M., Thivet G., 2009. Ressources et demandes en eau en Méditerranée : situation et perspectives. *Sécheresse*, 1: 9-16.
- Bryan E., Deressa T.T., Gbetibouo G.A., Ringler C., 2009. Adaptation to climate change in Ethiopia and South Africa: options and constraints. *Environmental Science and Policy*, 12(4): 413-426.
- CRDA Gabès, 2003. *Gestion participative des nappes phréatiques. Cas du périmètre irrigué sur puits de surface : région d'El Bsissi-oued Akarit (Gouvernorat de Gabès)*. Rapport d'Evaluation, Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques, Gabès.
- Davis P., Ali S., 2014. *Exploring local perceptions of climate change impact and adaptation in rural Bangladesh*. IFPRI Discussion Paper 01322. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- De Perthuis C., Hallegatte S., Lecocq F., 2010. *Economie de l'adaptation au changement climatique*. Rapport du Conseil Economique pour le Développement Durable, France. Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer.
- Deressa T.T., Hassan R.M., Ringler C., Alemu T., Yusuf M., 2009. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2): 248-255.
- DRE (Direction des Ressources en Eaux), 2016. *Rapport d'activité, Exploitation des eaux souterraines du gouvernorat de Gabès*. CRDA de Gabès.
- Elum Z.A., Modise D.M., Marr A., 2017. Farmer's perception of climate change and responsive strategies in three selected provinces of South Africa. *Climate Risk Management*, 16: 246-257.
- Evelyn M., Charles N., Patricia M., 2017. Smallholder Farmers' Perceptions and Adaptations to Climate Change and Variability in Kitui County, Kenya. *Journal of Earth Science and Climatic Change*, 8: 389.
- FAO, 2013. *Tunisie. Financement du secteur agricole*. Rome: FAO.
- Faysse N., Hartani T., Frija A., Marlet S., Tazekrit I., Zaïri C., Challouf A., 2011. *Agricultural Use of Groundwater and Management Initiatives in the Maghreb: Challenges and Opportunities for Sustainable Aquifer Exploitation*. Economic Brief, African Development Bank, 24 pp.
- Frija A., Chebil A., Speelman S., 2016. Farmers' adaptation to groundwater shortage in the dry areas: improving appropriation or enhancing accommodation? *Irrigation and Drainage*, 65(5): 691-700.
- Gbetibouo G.A., 2009. *Understanding farmers' perceptions and adaptations to climate change and variability: The case of the Limpopo Basin, South Africa*. IFPRI Discussion Paper 00849. Environment and Production Technology Division. Wash-

- ington, DC: International Food Policy Research Institute. <https://ebrary.ifpri.org/utils/getfile/collection/p15738coll2/id/31770/filename/31771.pdf>.
- Gebrehiwot T., van der Veen A., 2013. Adaptation to Climate Change in Agriculture. *Environmental Management*, 52: 29-44.
- GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), 2001. *Bilan 2001 des changements climatiques : les éléments scientifiques*. Rapport du Groupe de travail I du GIEC. Contribution du Groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du GIEC, 97 pp.
- Gnanglè P.C., Yabi J.A., Yegbemey N.R., Kakaï R.G., Sokpon N., 2012. Rentabilité économique des systèmes de production des parcs à Karité dans le contexte de l'adaptation au changement climatique du Nord-Bénin. *African Crop Science Journal*, 20(S2): 589-602.
- Grami D., Ben Rejeb J., 2015. L'impact des changements climatiques sur le rendement de la céréali-culture dans la Région du Nord-Ouest de la Tunisie (Béja). *New Medit*, 14(4): 36-41.
- Hamed M., 2017. *Evaluation de la durabilité de l'agriculture irriguée dans le sud-est Tunisien. Cas du périmètre irrigué privé de Bsissi du Gouvernorat de Gabès*. Projet de fin d'étude, Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne, Tunisie.
- Harmanny K.S., Malek Ž., 2019. Adaptations in irrigated agriculture in the Mediterranean region: an overview and spatial analysis of implemented strategies. *Regional Environmental Change*, 19: 1401-1416.
- Hassan R., Nhemachena C., 2008. Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: Multinomial choice analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1): 83-104.
- Huang J.K., Jiang J., Wang J.X., Hou L.L., 2014. Crop Diversification in Coping with Extreme Weather Events in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 13: 677-686.
- Iglesias A., Garrote L., 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, 155: 113-124.
- Jeder H., Ben Khalifa A., Sghaier M., 2013. Impact des changements climatiques sur l'agriculture dans la plaine de Jeffera au sud-est tunisien. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 107(2): 229-242.
- Leghrissi H., 2012. *Impact de la dynamique institutionnelle sur la gestion de la nappe côtière souterraine Bsissi-Oued El Akarit* Mémoire de fin d'étude de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne.
- Leroy L., 2019. Farmers' Perceptions of and Adaptations to Water Scarcity in Colombian and Venezuelan Paramos in the Context of Climate Change. *Mountain Research and Development*, 39(2): 21-34.
- Mahdhi N., Sghaier M., Fouzai A., 2019. Eau et changement climatique : quelles stratégies d'adaptation pour la gestion de l'eau d'irrigation dans le sud-est Tunisien. *New Medit*, 18(1): 15-28.
- MAE et GIZ, 2011. *Elaboration de la « Stratégie Nationale sur le Changement Climatique de la Tunisie »*. Rapport de diagnostic. Version finale, 148 p.
- Mendelsohn R., 2000. Efficient adaptation to climate change. *Climatic Change*, 45: 583-600.
- Mertz O., Mbow C., Reenberg A., Diouf A., 2009. Farmers' perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel. *Environmental Management*, 43: 804-816.
- Minoia P., Guglielmi F., 2008. Social Conflict in Water Resource Management and its Environmental Impacts in South-Eastern Tunisia. In: Efe R., Cravins G., Ozturk M., Atalay I. (eds.), *Natural Environment and Culture in the Mediterranean Region*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, pp. 257-270.
- Nguyen T.H., Sahin O., Howes M., 2021. Climate Change Adaptation Influences and Barriers impacting the Asian Agricultural Industry. *Sustainability*, 13, 7346.
- Nhemachena C., Hassan R., 2007. *Micro-Level Analysis of Farmers' Adaptations to Climate Change in Southern Africa*. IFPRI Discussion Paper 00714, Environment and Production Technology Division. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Nhemachena C., Hassan R., Chakwizira J., 2014. Analysis of determinants of farm-level adaptation measures to climate change in Southern Africa. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 6: 232-241.
- ODS (Office de Développement de Sud), 2018. *Gouvernorat de Gabès en chiffre*. Ministère du Développement, de l'investissement et de la Coopération Internationale, Tunisie.
- Omar A.R., Nawar M.H., El Bendary A.T., Abou Bakir H.E., 2015. Farms' perception of climate change in rural Damietta Governorate, *Bulletin of the Faculty of Agriculture* (Cairo University), 66: 1-9.
- Ouédraogo M., Dembélé, Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21(2): 87-96.
- Piya L., Maharjan K.L., Joshi N.P., 2013. Determinants of adaptation practices to climate change

- by Chepang households in the rural Mid-Hills of Nepal. *Regional Environmental Change*, 13: 437-447.
- Rey D., Holman I.P., Knox J.W., 2017. Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity. *Regional Environmental Change*, 17: 1527-1540.
- Rezaei A., Salmani M., Razaghi F., Keshavarz M., 2017: An empirical analysis of effective factors on farmers adaptation behavior in water scarcity conditions in rural communities. *International Soil and Water Conservation Research*, 5: 265-272.
- Sarr B., Atta M., Ly S., Salack T., Ourback S.S., Georges D.A., 2015. Adapting to climate variability and change in smallholder farm in communities: A case study from Burkina Faso, Chad and Niger (CVADAPT). *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 7(1): 16-27.
- Sghaier M., Ounalli N., 2013. Perception et stratégies d'adaptation de la population locale au changement climatique : le cas de deux régions arides du sud-est de la Tunisie. *Revue des Régions Arides Numéro spécial*, 31(2): 285-294.
- Taruvinga A., Visser M., Zhou L., 2016. Determinants of Rural Farmers' Adoption of Climate change Adaptation Strategies: Evidence from the Amathole District Municipality, Eastern Cape Province, South Africa. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(9): 687-692.
- Tun Oo A., Van Huylenbroeck G., Speelman S., 2017. Determining factors for the application of climate change adaptation strategies among farmers in Magwe District, dry zone. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9(1): 36-55.
- Uddin M.N., Bokelmann W., Dunn E.S., 2017. Determinants of farmers' perception of climate Change: A Case Study from the Coastal Region of Bangladesh. *American Journal of Climate Change*, 6: 151-165.
- Van Steenbergen F., Kaisarani A.B., Khan N.U., Gohar M.S., 2015. A case of groundwater depletion in Balochistan, Pakistan: enter into the void. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27: 36-47.
- Vissoh P.V., Tossou R.C., Dedehouanou H., Guibert H., Codjia O.C., Vodouhe S.D., Agbossou E.K., 2012. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 260: 479-492.
- West C.T., Roncoli C., Ouattara F., 2008. Local perceptions and regional climate trends on the Central Plateau of Burkina Faso. *Land Degradation & Development*, 19(3): 289-304.
- Wheeler S., Zuo A., Bjornlund H., 2013. Farmers' climate change beliefs and adaptation strategies for a water scarce future in Australia. *Global Environmental Change*, 23(2): 537-547.
- Yegbemey R.N., Yabi J.A., Aïhoun G.B., Paraïso A., 2014. Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique : cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cahier d'agriculture*, 23: 177-87.
- Yong, D.N., 2014. Factors affecting the choice of adaptation measures to climate change: the case of famers in the Sudano-Sahelian Area of Cameroon. *Tanzanian Economic Review*, 4(1-2): 56-72.