



**HAL**  
open science

# L'oléiculture en régions semi-arides : variabilité de la production et climat, milieu physique et pratiques agricoles. Le cas de la délégation de Menzel Chaker (Tunisie centrale)

Mohamed Mzoughi

## ► To cite this version:

Mohamed Mzoughi. L'oléiculture en régions semi-arides : variabilité de la production et climat, milieu physique et pratiques agricoles. Le cas de la délégation de Menzel Chaker (Tunisie centrale). Géographie. Université Paris Cité, 2023. Français. NNT : 2023UNIP7365 . tel-04894762

**HAL Id: tel-04894762**

**<https://theses.hal.science/tel-04894762v1>**

Submitted on 17 Jan 2025

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Mohamed MZOUGHI

**L'oléiculture en régions semi-arides : Variabilité de la  
production et climat, milieu physique et pratiques agricoles**  
**Le cas de la délégation de Menzel Chaker**  
**(Tunisie centrale)**



Thèse de doctorat d'Université de Paris Cité  
DYNAMIQUE DES MILIEUX ET RISQUES

Dirigé par professeur Salem DAHECH

Thèse de doctorat soutenue publiquement le 27 novembre 2023 devant le jury composé de

Najiba CHKIR	Professeur	Université de Sfax	Présidente et rapporteure
Marianne COHEN	Professeur	Université de Sorbonne	Rapporteure
Salem DAHECH	Professeur	Université Paris-cité	Directeur
Abdelkarim DAOUD	Professeur émérite	Université de Sfax	Examineur
Emilie LAVIE	Maîtresse de conférences (HDR)	Université Paris-cité	Examinatrice
Mohamed FEKI.	Maitre assistant	étisrevinU de Sfax	Examineur

Année universitaire 2022-2023

## Dédicace

Je dédie ce modeste

A mes parents

Pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée ; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance.

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout ce que je ressens pour vous. Je vous remercie pour tout le soutien exemplaire et l'amour exceptionnel que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Je ne peux pas exprimer à travers ses lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous. Puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais. Je vous souhaite la réussite dans votre vie, avec tout le bonheur qu'il faut pour vous combler.

A ma très chère femme, à mes deux filles Tasnim et Racil et mon fils Rayen

A mes sœurs et frères

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour votre amour, votre gentillesse et votre générosité.

Merci parce que vous étiez toujours là pour me soutenir, m'aider et m'écouter. Puisse le tout puissant, vous procurer une longue et heureuse vie.

Veillez accepter l'expression de ma profonde gratitude pour votre encouragement et votre soutien durant les moments difficiles. Je vous souhaite le bonheur et la santé.

Avec toi, ma femme, j'ai partagé les joies et les difficultés relatives au suivi de la recherche ; merci infiniment pour tes motivations, tes remarques, tes judicieuses propositions et ton suivi constant.

A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

A Tous Mes enseignants tout au long de mes études.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier bien également mon encadreur Mr.Salem DAHECH pour m'avoir permis de réaliser cette étude et de m'avoir encadré et orienté durant toute la période de recherche. Je le remercie pour sa qualité d'écoute, ses conseils professionnels et personnels, sa disponibilité, sa patience et sa bonne humeur.

Tous les parents, connaissances et amis qui m'ont été d'un soutien moral tout au long de ma formation. Que tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, trouvent ici l'expression de ma gratitude.

## Remerciement

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

Je souhaite manifester ma reconnaissance particulièrement à **MR Salem DAHECH** mon **encadrant de la thèse**. D'une part pour m'avoir fait confiance et me donner l'opportunité de diriger mon travail de recherche sur l'oléiculture en région semi aride : Variabilité de la production et climat, milieu physique et pratiques agricoles (le cas de la délégation de Menzel Chaker), ce projet qui a développé en moi une capacité de recherche et d'adaptation, avec un suivi constant et un intérêt démontré tout au long de mon travail. D'autre part, pour sa grande participation à ma formation universitaire par ses conseils précieux, son professionnalisme, ses instructions claires et ses encouragements.

Je suis également redevable à toutes les personnes qui m'ont donné de leur temps conséquent en acceptant de répondre à mon questionnaire me permettant ainsi de réaliser mon travail de recherche. C'est aussi l'occasion de rendre un hommage particulier à mes collègues qui ont contribué, chacun de sa part à la réalisation de cette thèse: Mounir Sallemi, Ismail Chiab, Mohamed Ali Abdelmoula, Mohamed Chebli, Mounir Berrich, Foued Alaya, Hamdi Euchli et Marwen Ghribi.

Je remercie aussi tous mes enseignants à la faculté des lettres de Sfax : Mr Abdelkarim Daoud, Ali Ben Nacer, Najba Chkir, Mohamed Feki, Riadh Bouaziz, Sami Charfi et Mohamed Souissi.

Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté l'évaluation de mon travail.

Je remercie Mr Salem Dahech et Mr Sami Charfi, les responsables du projet PHC Utique intitulé «résilience de la population face à la forte chaleur estivale dans les grandes agglomérations littorales tunisiennes (Bizerte, Tunis, Sousse, Sfax et Gabes)». Grâce à eux j'ai bénéficié de trois stages doctoraux à Paris et j'ai participé à deux manifestations scientifiques (colloque de l'AIC). L'un à Toulouse (France) en 2022 et l'autre à Bucarest (Roumanie) en 2023.

Je remercie également Mr Vincent Viel et Emilie Lavie qui m'ont impliqué dans le projet SAR-DYN Kneiss intitulé «L'hydrosystème des îles Kneiss et le bassin Leben (Tunisie): Interactions socio-environnementales et valorisation d'un territoire protégé », financé par le LABEX Dynamite. Grâce à ce projet j'ai pu partiellement faire avancer ma thèse. En effet, j'ai

digitalisé les périmètres de l'olivier conduit en irrigué dans ma zone d'étude ce qui me permet la distinction de l'olivier conduit en pluvial et celui conduit en irrigué.

Je remercie l'UMR PRODIG, l'Université Paris Cité et mon Professeur Salem Dahech qui nous a beaucoup aidés lors de nos missions à Paris.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude aux personnes et aux institutions qui m'ont permis d'avoir les données nécessaires à cette étude, sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour :

L'institut de l'olivier de Sfax et spécifiquement les professeurs Bechir Ben Rouina et Kamel gargouri,

Le commissariat Régional de développement agricole et en particulier Mme Najet Chebil, Mr Fathi Ben romdhan,

Tout le staff technique et administratif des complexes agricoles de Bouzouita et Essalema qui nous ont facilités la tâche en particulier Mr Mohamed Fakhfakh. Aussi, Le responsable de la ferme de Bechka Mr Salem Ghidaoui.

Toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser mes enquêtes et qui m'ont accompagné lors de mes sorties du terrain : Nabil ben Chrouda, Akram Hamrouni et Amer Aouedni.

Toutes les personnes qui ont prêté beaucoup d'attention aux stations météorologiques fixes: Hammadi Hessien , Mohamed Feki et Riadh Bouaziz.

**Résumé de la thèse intitulée « L'oléiculture en régions semi-arides : Variabilité de la production et climat, milieu physique et pratiques agricoles. Le cas de la délégation de Menzel Chaker (Tunisie centrale) »**

La délégation de Menzel Chaker située au nord-ouest du gouvernorat de Sfax, se caractérise par la dominance de l'oléiculture. Les éléments du climat ont été analysés afin de cerner leurs effets sur la production oléicole. La finalité est de mieux orienter, dans le futur, les études d'impact et de déterminer les facteurs déterminants de la variabilité oléicole.

En premier temps, nous avons étudié la variabilité climatique en utilisant des données pluviométriques journalières entre 1976 et 2019 et les données à l'échelle horaire des températures, vents et précipitations en 2021 et 2022 et qui ont été recueillies des stations automatiques qu'on a installées. L'étude a montré la forte variabilité des pluies dans la région de Sfax aux échelles annuelles et mensuelles. Cette variabilité a été observée aussi au niveau des autres éléments climatiques comme les orages, le vent et l'évapotranspiration. Au niveau de la température, un gradient thermique est observé entre le littoral et l'intérieur. En été les températures maximales sont plus élevées aux stations intérieures et contre versa pour l'hiver.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé l'impact de divers facteurs impactant la production oléicole notamment le climat, la microtopographie, la pédologie et les pratiques agricoles. L'analyse a été faite, d'abord, en corrélant les données météorologiques avec la production. Puis, des analyses pédologiques et topographiques ont été réalisées. Enfin, des enquêtes de terrain ont été faites pour dégager l'impact des pratiques agricoles sur la production oléicole. Les résultats ont montré la dépendance de la production oléicole à la pluviométrie tout en signalant l'effet secondaire des autres éléments du climat notamment les fortes chaleurs, la longue persistance de la sécheresse et l'effet du vent fort pendant la floraison. En outre, les analyses ont montré que l'olivier préfère le sol sableux notamment le sable fin et dépend de la microtopographie en dehors des dépressions salées. Les banquettes, la fréquence et la date du labour, de la taille, de la fertilisation du sol et l'arrosage de sauvetage influencent cette production.

Bref, la variabilité de la production oléicole est expliquée d'une part par la variété chemlali, elle-même, réputé par son alternance biologique. D'autre part, elle dépend de l'effet conjugué des facteurs climatiques, pédologiques, topographiques et anthropiques.

Mots clés : Menzel Chaker, variabilité, production oléicole, climat, pédologie, topographie, pratiques agricoles

**Summary of the thesis entitled “Olive Growing in Semi-Arid Regions: Production Variability and Climate, Physical Environment and Agricultural Practices. The case of the delegation of Menzel Chaker (Central Tunisia)”**

The delegation of Menzel Chaker located in the northwest of the governorate of Sfax, is characterized by the dominance of olive growing. Climate elements were analyzed in order to identify their effects on olive production. The aim is to better guide impact studies in the future and to determine the determining factors of olive oil variability.

First, we studied climate variability using daily rainfall data between 1976 and 2019 and hourly scale data of temperatures, winds and precipitation in 2021 and 2022 which were collected from the automatic stations that we have installed. The study showed the high variability of rainfall in the Sfax region on annual and monthly scales. This variability was also observed in other climatic elements such as storms, wind and evapotranspiration. In terms of temperature, a thermal gradient is observed between the coast and the interior. In summer, maximum temperatures are higher at inland stations and vice versa for winter.

Secondly, we analyzed the impact of various factors impacting olive production, including climate, microtopography, pedology and agricultural practices. The analysis was done, first, by correlating meteorological data with production. Then, pedological and topographical analyzes were carried out. Finally, field surveys were carried out to identify the impact of agricultural practices on olive production. The results showed the dependence of olive production on rainfall while pointing out the secondary effect of other climate elements in particular high heat, the long persistence of drought and the effect of strong wind during flowering. In addition, analyzes have shown that the olive tree prefers sandy soil, particularly fine sand, and depends on the microtopography outside of salty depressions. Banquets, frequency and timing of plowing, pruning, soil fertilization and rescue watering influence this production.

In short, the variability of olive production is explained on the one hand by the Chemlali variety, itself, renowned for its biological alternation. On the other hand, it depends on the combined effect of climatic, pedological, topographical and anthropogenic factors.

Keywords: Menzel Chaker, variability, olive production, climate, pedology, topography, agricultural practices

## Sommaire

Introduction generale.....	8
<u>Première partie : etat de l’art, cadre de l’étude, données et approches méthodologiques.....</u>	<u>18</u>
Premier chapitre : etat de l’art.....	18
Deuxieme chapitre cadre de l’etude.....	49
Troisiemechapitre: approches methodologiques.....	66
<u>La deuxieme partie : variabilite climatique (precipitations, secheresse, evapotranspiration potentielle, temperature et vent dans la region de sfax).....</u>	<u>84</u>
Quatrième chapitre : variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la region de sfax....	85
Cinquième chapitre : variabilité des elements climatiques : pluies orageuses, périodes sèches, evapotranspiration, temperatures et vents.....	105
<u>La troisieme partie : les facteurs impactants la production oleicole.....</u>	<u>128</u>
Sixième chapitre : paramètres climatiques impactant la production oleicole dans la delegation de menzelchaker.....	129
Septième chapitre : production oléicole et facteurs autres que climatmenzelchaker.....	149
Huitième chapitre : production oléicole et facteurs anthropiques dans la delegation de menzelchaker.....	168
Conclusions : bilans et perspectives.....	188
Bibliographie .....	194
Liste des abréviations .....	232
Table des matières.....	221
Liste des figures.....	235
Liste des tableaux.....	242
Annexes.....	245

# INTRODUCTION GENERALE

L'oléiculture est pratiquée (*Olea europaea*, L.) depuis la préhistoire. De plus, Elle est largement répandue dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen (Vacheron, 2013). Dans ce contexte, Angles (2012) a considéré l'olivier, arbre emblématique de la Méditerranée, comme un élément fondamental dans les paysages méditerranéens. Cette culture pourrait avoir comme origine soit le Moyen Orient, soit l'Asie mineure (Candolle, 1883 ; Lavee, 1992). 98% des oliveraies se regroupent dans la région méditerranéenne. Elles se concentrent particulièrement au sein de quatre pays (Espagne, Italie, Tunisie et Grèce) (Angles, 2012). D'après le même auteur, les superficies de cette culture atteignent près de 10,6 millions d'hectares soient les 2/3 des superficies mondiales en 2019 (France Agri Mer, 2021). Quant à la production d'huile, l'oléiculture est classée, à l'échelle mondiale, deuxième culture productive d'huile après le palmier à huile (Baldoni et Belaj, 2009). La production a atteint 3098,5 milliers de tonnes pour la campagne 2021/2022 (COI, 2022). 90% de cette production provient uniquement d'une dizaine de pays. L'Espagne contribue avec 42% à la production mondiale contre 10.2% pour l'Italie et 7.7% pour la Tunisie (COI, 2022). Cette culture est réputée pour son adaptation aux conditions climatiques défavorables, notamment le stress hydrique (Larsen et al., 1989 ; Baldy, 1990 ; Connor et Fereres, 2004 ; Guerfelet al., 2009 ; Gimenez, 2013 ; Fernández, 2014 ; Angles, 2016 ; Trabilsi, 2018). De ce fait, des géographes et des botanistes (Durand, Flahaut, Gaussin, de Philippis, etc.), sont unanimes à définir les limites botaniques et climatiques de la région méditerranéenne par celles de l'extension donnée à l'aire de cette essence (Dugelay, 1954).

En Tunisie, l'oléiculture « *c'est d'abord une activité synonyme d'histoire ancienne, mais c'est aussi un secteur dont l'histoire récente a été assez mouvementée* » (Frini, 2016). Le potentiel oléicole s'étend sur tout le pays sous différents bioclimats (ONH, 2016). Cette culture occupe le tiers des terres labourables et plus de 80% des terres réservées à l'arboriculture fruitière (Bague et al., 2014) et se répartie sur 1.8 millions d'hectares ce qui équivaut à 36 % des terres arables en Tunisie (ONA, 2017). Les oliveraies de la Tunisie occupent 20% de la superficie oléicole mondiale (Chebbi, 2019) et produisent en moyenne 6% de la production mondiale d'huile d'olive. Cela place la Tunisie au deuxième rang après l'Union Européenne (COI, 2018). De ce fait, l'oléiculture occupe une place capitale dans l'économie tunisienne (Jellali et al., 2021). Selon ONH (2004), elle contribue à environ 50 % des exportations agricoles et 5 % dans les exportations totales. Cette production a atteint 240 milles tonnes d'huile d'olives pour le cru

2021/2022. De ce fait, la Tunisie se positionne au troisième rang mondial après l'Espagne et l'Italie (1300 et 315 m/t respectivement). Cependant, la production oléicole se caractérise par une forte variabilité interannuelle suite à l'irrégularité des pluies et au mode altéré de la production (Poli, 1979; Trigui et Msallem, 2002). En fait, 85% des oliveraies se situent dans des régions assez sèches au centre et au sud de la Tunisie (FAO, 2015).

Également, cette culture constitue 60% des exploitants agricoles employés dans les différents maillons de la filière oléicole. En outre, elle génère 34 millions de jours de travail par an, soit 20% de l'employabilité dans le secteur de l'agriculture (COI, 2017). Le secteur oléicole est marqué par deux variétés, une variété à huile et une autre à table. Les variétés à huile comportent Chemlali, Chetoui, Oueslati, Guerbaoui, Zamlati, Barouni et Chemlali de Gafsa. Or, les principales variétés d'olives à table sont ; Meski, Besbesi, Bidhelhamam, Arbequana, Konektri, Zarraci, Limli et Limouni. L'oléiculture tunisienne est dominée par les variétés Chemlali à Sfax et Chétoui au Nord du pays (Ben Amar et *al.*, 2010). Elle est principalement extensive dont plus de 90% de l'effectif sont conduits en sec (Elloumi et *al.*, 2016). Quant à la production oléicole, une irrégularité marquante est observée pendant les dernières décennies (HOARD, 1984). Elle est passée de l'insuffisance (35000 tonnes en 2001) à l'abondance (360000 tonnes en 2014) (ONH, 2015). Cette fluctuation est due à l'effet conjugué de trois principaux facteurs : l'alternance de production (phénomène physiologique caractérisant l'olivier) (Poli, 1979 ; Trigui et Msallem, 2002; Lavee, 2007), les pratiques horticoles (Masmoudi-Charfi, 2012 ; Ghrab et *al.*, 2014) et les conditions climatiques notamment la pluviométrie (Trigui, 1987 ; FAO et BERD, 2015 ; Trabilsi, 2018).

Dans la région de Sfax, les oliveraies se caractérisent par une faible densité (17 arbres/hectares en moyenne). Les arbres sont espacés de 24 mètres ce qui permettrait aux racines d'absorber suffisamment d'eau et de nutriments et donc permet à l'arbre une bonne alimentation en eau. En effet, le système racinaire, expansif, occupe un volume important alors que la surface recouverte est faible par rapport à la superficie totale (Mousset et *al.*, 1968 ; Villemeur et Delmas, 1978 ; Poli, 1979 a et b ; Masmoudi, 2007). L'olivier est soumis à l'effet du stress hydrique suite aux températures excessives et à la sécheresse de l'air (Daoud et Dahech, 2012). Cela peut expliquer la dominance de la variété *Chemlali*, réputé pour son adaptation aux conditions climatiques défavorables comme celles caractérisant le climat de la région de Sfax (Trigui et Msallem, 2002 ; Ben Rouina, 2007 ; 2011 ; 2012 ; Bague, 2016 ; Mzoughi et *al.*, 2022 et 2023 ; Samaali et *al.*, 2023). Cette variété est biologiquement alternante (Poli, 1979 ; Monsellis et Golschmidt, 1982 ; Lavee, 2007 ; Ben Amar et *al.*, 2019). En effet, la morphologie de l'olivier et ses activités éco

physiologiques, métaboliques et anti-oxydative lui permettent de s'acclimater aux contraintes du milieu aride et de survivre sous les conditions climatiques astreignantes (Ben Ahmed et al., 2007 ; Trabilsi, 2018). Dans cette optique, plusieurs auteurs ont indiqué que la production oléicole est influencée par divers facteurs notamment l'interaction cultivar-environnement (Tous et Romero, 1994 ; Mincione et al., 1994 ; Moussa et Gerasopoulos, 1996 ; Ryan et al., 1998 ; Ben Temime, 2002 ; Ben Temime et al., 2004, 2006 ; Allalout et al., 2009). De plus, l'agriculture, y compris l'oléiculture, peut être affectée par les effets importants des changements climatiques dans la zone méditerranéenne (IPCC, 2014 ; Lionello et Scarascia, 2018 ; MedECC, 2020 ; Ranasingheet al., 2021). Cette région est considérée comme un « hot spot » du changement climatique qui pourrait connaître de grandes modifications climatiques (IPCC, 2013) notamment en termes des ressources en eau et des risques associés aux événements extrêmes (Toreti et al., 2010 ; Garcia- Rugez et al., 2011). Ces changements ont été mentionnés dans le rapport du GIEC, 2014 qui a considéré que « *Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre que toutes les décennies précédentes depuis 1850. Les années 1983 à 2012 constituent probablement la période de 30 ans la plus chaude qu'ait connue l'hémisphère Nord depuis 1400 ans (degré de confiance moyen). La tendance linéaire de la moyenne globale des données de température de surface combinant les terres émergées et les océans indique un réchauffement de 0,85 [0,65 à 1,06] °C2 au cours de la période 1880–2012, pour laquelle il existe plusieurs jeux de données indépendants* » (GIEC, 2014). Dans cette optique, plusieurs études ont montré une intensification et une récurrence des événements extrêmes notamment pendant les dernières décennies en Méditerranée (New et al., 2001 ; Christensen et al., 2007 ; IPCC, 2007 ; OMM, 2013) et particulièrement dans le sous-bassin occidental (Brunetti et al., 2000, 2001, 2004 ; Alpert et Coll, 2002 ; Gronzalez-Hidologo et al., 2003 ; Costa et Soares, 2009 ; Brunetti et al., 2012 ; Brugnara et al., 2012). En outre, plusieurs études ont montré des tendances significatives à la baisse des cumuls saisonniers des pluies renseignant sur un assèchement total du bassin méditerranéen (Alpert et al., 2002 ; Giorgi, 2002 ; Klein Tank et Konnen 2003 ; Brunetti et al., 2004 ; Kostopoulou et Jones 2005 ; Norrant et Douguédroit, 2006 ; Toreti et al., 2010 ou encore Tramblay et al., (2013) dans leurs études respectives. Hoerling et al., (2012) et IPCC (2013) notent que cette région a connu un assèchement quasi-généralisé depuis plusieurs décennies. Yapo et al., (2020) ont remarqué une tendance à la baisse non significative de l'intensité des pluies journalières pour les stations du Maroc, l'Algérie et la Tunisie. Ces modifications devraient intensifier le stress hydrique et limiter les ressources hydriques nécessaires pour l'irrigation (Tanasijevic et al., 2014). De plus, l'augmentation des températures imputable au réchauffement contemporain modifie le cycle

phénologique (Gabaldón-Leal *et al.*, 2017). Cette augmentation est légèrement plus marquée en Méditerranée qu'au niveau mondial. Également, les épisodes climatiques extrêmes notamment les vagues de chaleur et les canicules sont plus récurrentes (GIEC, 2007 ; Hallegate *et al.*, 2007 ; Van Grunderbeek et Tourre, 2008). Ces événements vont être amplifiés, en nombre et en intensité, au futur, notamment durant la saison estivale (Gao et Giori ; 2008 ; Giorgi et Bi, 2005 ; Hertig et Jacobeit, 2008 ; Med CLIVAR, 2004).

Éventuellement, la majorité des projections faites par le GIEC prévoient une augmentation de la température à l'échelle globale d'ici la fin du siècle et une multiplication probable des extrêmes chauds de températures par rapport à la situation actuelle (IPCC, 2012). Ce paramètre est favorable à des épisodes secs aigus en été. En effet, la sécheresse est devenue un phénomène assez fréquent. Dans ce contexte, plusieurs modèles et scénarios prévoient une nette augmentation de la durée des épisodes secs et affirment que les événements extrêmes seront plus fréquents (UNEP/MED, 2009 ; Madsen *et al.*, 2014).

De surcroît, l'espace méditerranéen est vulnérable aux épisodes de sécheresse qui affectent directement la ressource en eau (Raymond *et al.*, 2018) comme le montre plusieurs travaux qui ont porté sur l'étude de ce phénomène (Bogardiet *al.*, 1988; Bargaoui, 1989; Bogardi et Duckstein, 1993; Ardoinet *al.*, 2003; Cudennecet *al.*, 2007; Slimani *et al.*, 2007; Mathlouthi et Lebdi, 2008 ; Soubeyrouxet *al.*, 2011).

Pour la Tunisie, située sur la rive sud, elle « à l'image du domaine méditerranéen dont elle fait partie, s'intercale entre les domaines climatiques tempéré et tropical ; et subit leurs effets. Dans ce contexte aérologique, la localisation de la Tunisie entre deux entités géographiques majeures aux propriétés hygrométriques contrastées la Méditerranée, source d'humidité au nord, et le Sahara, facteur de sécheresse au sud- détermine les traits fondamentaux de son climat » (El Melki, 2014). Le climat de la Tunisie se caractérise par des pluies torrentielles (Hlaoui, 2002) et par une très forte variabilité interannuelle et inter saisonnière des précipitations (Henia, 1980 ; Bousnina, 1986 ; Hlaoui, 2008 ; Dallel, 2009). Dans le même contexte, des études réalisées au cours du dernier siècle sur l'évolution de la pluviométrie, ne montrent aucune tendance significative ni à la hausse ni à la baisse des précipitations (Abdelkhalek et Hlaoui, 2007 ; Hlaoui 2010 ; Hénia et Hlaoui, 2011). Cette variabilité représente un sérieux problème pour la vie quotidienne de la population, l'agriculture et les ressources en eau (Henia, 2003 ; Iglesias *et al.*, 2007 ; Hlaoui et Hénia, 2015).

En outre, la sécheresse est une principale caractéristique du climat au centre et au sud tunisien qui est devenu de plus en plus astreignant. Les périodes sèches qui séparent les épisodes

pluvieux sont assez longues (Henia, 1993). Ces épisodes de sécheresse peuvent soumettre les cultures à des stress hydriques tout en dégradant les productions agricoles (Abderrahmen, 2015). De ce fait, les déficits de pluviométrie, la fréquence et l'intensité des sécheresses accélèrent de plus en plus le stress hydrique et le phénomène érosif (Boutkhil et *al.*, 2013). Selon Fehri (2003), les sols de la plaine de Sfax sont en majorité peu évolués et de faible stabilité structurale très vulnérable à l'érosion. Ainsi, les longues séquences sèches que subit l'année agricole, entraînent une porosité de la production agricole notamment pour les maillons pratiqués en mode pluvial (céréaliculture et oléiculture) (Hlaoui, 2006). Une baisse et/ou une mauvaise répartition des quantités de pluies pendant la saison agricole affecte les phases phénologiques de la production végétale et touche grièvement la production et les rendements, notamment dans le centre et le sud où l'aridité du climat est plus intense.

D'ailleurs, sa position sur la rive sud de la Méditerranée, fait de la Tunisie une région sensiblement influencée par l'effet des changements climatiques. De ce fait, au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, plusieurs études ont noté une augmentation significative des températures moyennes d'environ 1.4°C sur la quasi-totalité du territoire tunisien (GIZ et MEATDD, 2012). Même constat a été éprouvé dans une étude faite par MEAT, 2001 sur la Tunisie entre 1977 et 2007. Également, Daoud et Dahech (2012) ont observé une tendance significative à la hausse des températures (entre 1.5 et 2°C) durant la période 1950-2007 et d'une saison sèche intensifiée et plus étendue. Ces constats corroborent avec plusieurs études scientifiques attestant un réchauffement contemporain palpable essentiellement pendant les dernières décennies (MEAT, 2001 ; King et *al.*, 2005 ; IPCC, 2007 ; MARH-GTZ, 2007 ; Ben Boubaker, 2010 ; GIEC, 2014). Ainsi, les projections climatiques aux horizons de 2050 et 2100 montrent la tendance à la hausse des températures moyennes annuelles. Elles varient de 1°C à 1,8°C à l'horizon 2050 et de 2°C à 3°C à la fin du siècle, pour le scénario RCP 4.5 de 2°C à 2,3°C à l'horizon 2050 et de 4,1°C et 5,2°C à la fin du siècle, pour le scénario RCP 8.5 (Unité Nationale de Coordination sur les Changements Climatiques, UNCCC, 2022). En effet, la récurrence et l'intensité des saisons d'étiage et des années sèches vont certainement augmenter et pourraient croître de 10 à 30% à l'horizon de 2050 ce qui va aggraver la pénurie en eau et le stress hydrique concernant l'agriculture en sec (Besbes et *al.*, 2010).

En effet, ces changements induisent la perturbation des rendements agricoles et aboutissent à des impacts socio-économiques importants notamment dans les régions de monoculture (PNUE/PAM et Plan Bleu, 2020). Pour ces raisons, de nombreux travaux ont cherché à

modéliser les rendements futurs des oliveraies et à développer des stratégies d'adaptation pour l'oliveraie (Arenas-Castro *et al.*, 2020 ; Fraga *et al.*, 2021, entre autres).

Parmi les mesures d'adaptation et les solutions recommandées pour faire face aux changements climatiques, puisque la majorité des oliveraies est conduite en pluvial, est l'extension excessive d'une nouvelle culture conduite en irrigué, adoptée depuis quelques années. Cependant, la surexploitation des eaux souterraines ne peut être sans incidences sur le niveau des aquifères et par conséquent sur la qualité de l'eau (FAO et MA, 2013) ce qui met la durabilité du secteur oléicole en question.

Pour connaître précisément les dynamiques spatio-temporelles de l'état végétatif de l'olivier et de suivre les différentes phases phénologiques, il est nécessaire d'avoir recours à des données acquises par la télédétection. L'apport de cet outil est d'étudier l'état de la végétation et de donner des informations précises pour répondre à des questionnements liés au terrain. La fiabilité des données nécessite des images satellites à très haute résolution (VHR) qui permettent de cartographier, d'estimer la superficie des parcelles agricoles et de suivre minutieusement l'évolution temporelle des couverts végétaux (Johansen *et al.*, 2009 ; Heller *et al.*, 2012 ; Kago *et al.*, 2015 ; Alangay *et al.*, 2018 ; Fitzgerald *et al.*, 2018 ; Yang *et al.*, 2018). La plupart des informations sur ces couverts végétaux sont contenues dans les canaux rouge et proche infrarouge (Baret *et al.*, 1988 ; Scheffied, 1985). D'ailleurs, ces images permettent aussi l'estimation de la biomasse et de la teneur en azote grâce à des capteurs hyper spectraux ayant un nombre de bandes spectrales croissant (Hon Kavoaro *et al.*, 2012 ; Polonen *et al.*, 2013).

En outre, ces images permettent de détecter le niveau du stress hydrique et par conséquence la conception des systèmes d'irrigations adéquats (Fisher *et al.*, 2004 ; Rossini *et al.*, 2013 ; Gago *et al.*, 2015). D'où elle s'avère être une source d'information importante et efficace pour les applications agricoles (Beach *et al.*, 2008 ; Tansey *et al.*, 2009). Elles permettent aussi d'étudier la phénologie des plantes à travers le suivi des phases phénologiques récurrentes : l'éclosion des bourgeons, la dynamique racinaire, la croissance annuelle, la feuillaison, la floraison, la fructification, l'abscission et la germination (Fenner, 1998; Groover *et al.*, 2017; McCormack *et al.*, 2014). Parmi les images utiles pour identifier des parcelles d'olives et de fournir des informations précises et fiables à jour sur l'olivier, est la classification GEOBIA de type A1 (Alangay *et al.*, 2018). Aussi, les images Quickbird multi-spectrales sharpened permettent de cartographier la délimitation des couverts d'oliviers avec succès (Gonzalez, 2018). En outre, les images satellites Worldview-2 sert à évaluer les changements dans la qualité des olives (Latrou *et al.*, 2018).

Également, la sentinelle 2 permet d'évaluer les niveaux de stress hydrique des olives de telle sorte que l'indice peut être utilisé comme un indicateur ouvrant la voie à une plate-forme d'un système d'alerte précoce et tout en s'étendant à des nouvelles applications (Ionnis et *al.*, 2019) et fournit des indications spatio-temporelles afin de suivre et cartographier les dommages induits par les insectes (Yuan et *al.*, 2013). Les indices de fluorescence, de température et de bande étroite permettent la détection du stress hydrique (Zorco-Tejado et *al.*, 2013). Ces capteurs peuvent également calculer les relations entre la photosynthèse et la fluorescence de la chlorophylle (Daughtry et coll, 1999 ; Kavoaro et *al.*, 2012 ; Polonen et *al.*, 2013 ; Zorco -Tejado et *al.*, 2013 ; Elarab et *al.*, 2015). L'étude de la phénologie des plantes correspond à l'observation, l'enregistrement et l'interprétation des phases de développements récurrentes et généralement saisonnières: l'éclosion des bourgeons, la dynamique racinaire, la croissance annuelle, la feuillaison, la floraison, la fructification, l'abscission et la germination (Fenner, 1998; Baghdadi et *al.*, 2009 ; Quemada et *al.*, 2016; Veloso et *al.*, 2017 ; Elloumi et *al.*, 2020).

### **Problématiques**

La région de Sfax est connue par la dominance de la culture de l'olivier de type *Chemlali*, arbre réputé pour son adaptation aux conditions climatiques défavorables comme celles caractérisant le climat de la région de Sfax (Ben Rouina, 2007). Cet arbre se caractérise par une alternance biologique (Boukaissi, 1987). Son cycle biologique se déroule théoriquement sur deux années : une première végétative succédée par une deuxième reproductive (Michlakis, 2002 ; Ben Rouina, 2007). Cette deuxième peut être retardée d'une année en cas de conditions climatiques défavorables. La productivité et la qualité d'huile de cet arbre sont conditionnées par divers paramètres climatiques notamment la pluviométrie (Hénia, 1993 ; Ben Rhouma et *al.*, 1998 ; Ben Rouina et *al.*, 2007 ; Ben Ahmed et *al.*, 2007 ; Hlaoui, 2007 ; Mzoughi et *al.*, 2022, Feki et *al.*, 2023).

Notre zone d'étude (la délégation de Menzel Chaker) contribue à une part importante de la production oléicole régionale. Cette contribution a atteint 40% en cru en 2014/2015 (CRDA, 2015). La majorité des oliveraies est conduite en pluvial, cependant une extension d'une nouvelle culture conduite en irrigué est apparue depuis quelques années.

Dans ce travail nous nous sommes donc intéressés à étudier l'effet des divers paramètres impactant la production oléicole notamment ceux liés au climat. La relation entre ces divers paramètres et la production représente le meilleur indicateur des interactions entre les techniques culturales, les qualités pédologiques et les éléments du climat. De ce fait, on va essayer de répondre aux questionnements suivants :

- L'étude de la variation spatio-temporelle des précipitations et les modifications enregistrées au niveau des régimes pluviométriques mensuelles et la détection de différentes ruptures et tendances. Dans le même contexte, il était évident d'étudier la répartition spatio-temporelle des pluies notamment celles orageuses. Ainsi, cette étude nous permet de délimiter l'intensité et la durée de ces pluies au pas horaire, tout en montrant leurs impacts sur le terrain en s'appuyant sur l'outil télédétection. En effet, cet outil nous aide à suivre la répartition spatio-temporelle des pluies essentiellement celles orageuses localisées et nous permet de cartographier la répartition inégale des pluies.
- L'étude des variations des températures notamment pendant les périodes clés telle que l'amplitude thermique de janvier jusqu'à mars, les températures minimales en hiver et celles maximales en saisons printanières et estivales (période décisive dans le cycle reproductif de l'olivier). En effet, cette étude permet de montrer l'effet de ces températures sur l'olivier
- L'étude de l'effet d'autres facteurs climatiques tels que le point de rosée et le vent fort durant la période de floraison peut montrer l'influence de ces paramètres sur la variabilité spatio-temporelle de la production de l'olivier dans la délégation de Menzel Chaker.

Dans cette recherche, nous allons étudier d'abord la corrélation entre les précipitations et les données de la production oléicole pour déterminer l'impact de la variabilité spatio-temporelle des précipitations sur la variabilité interannuelle de la production. Puis, nous allons étudier l'effet des paramètres climatiques secondaires sur cette variabilité tels que les canicules, le froid hivernal, le sirocco, le brouillard, le vent fort. En effet, la corrélation entre ces divers paramètres climatiques et la production permet de donner une idée précise sur les liens de causalité entre olivier/climat/production tout en montrant leurs interactions.

- L'étude des facteurs anthropiques (les pratiques culturelles), pédologiques (les différents types de sol, topographiques (la microtopographie et l'effet de l'emplacement géographiques) sur l'olivier conduit en pluvial. En outre, nous étudions l'effet des facteurs autres comme l'âge et les maladies sur la production oléicole. La combinaison de ces divers facteurs est nécessaire pour comprendre leur effet conjugué sur la production tout en tenant compte des impacts socio-économiques et environnementaux.

En premier lieu, il est possible de déterminer des périodes clés pour introduire l'irrigation complémentaire suivant le besoin de l'arbre en eau. Cette irrigation doit être bénéfique et rationnelle en même temps. Elle peut être la base d'une irrigation automatique et rationnelle selon le besoin de l'olivier en eau pendant les décades décisives de son cycle biologique.

En deuxième lieu nous soulignons l'importance des pratiques agricoles qui permettent d'assurer une production rentable et stable.

### **Annonce du plan de l'étude**

#### **Le présent travail se compose de trois parties :**

**La première partie** s'intéresse, en première étape, à la question de l'oléiculture dans le contexte des changements climatiques à partir d'une synthèse bibliographique basée sur des recherches nationales et internationales. Cette synthèse se focalise principalement sur deux thèmes majeurs : l'oléiculture et les changements climatiques. Dans une dernière étape, cette partie du travail présente brièvement les caractéristiques physiques, socio-économiques et démographiques de la délégation de Menzel Chaker, la zone d'étude (région de Sfax, centre-est de la Tunisie).

**La seconde partie du travail** expose, en premier lieu, les résultats des prétraitements des données journalières des séries pluviométriques des stations de mesure dans la région de Sfax. Elle retrace et décrit, ensuite, la variabilité spatio-temporelle des précipitations aux échelles annuelles et le régime pluviométrique mensuel tout en étudiant les différentes ruptures et tendances détectées en se basant sur des indices des extrêmes en précipitations. En deuxième lieu, nous allons recourir à des images satellites de type Sentinel-2 et Landsat-8 et 9 pour suivre l'activité photosynthétique du canopy à travers le NDVI qui nous renseigne sur la répartition spatiale des précipitations.

De plus, nous allons étudier l'évapotranspiration durant les deux années 2021 et 2022 en utilisant les données climatiques à une échelle plus fine (pas de temps horaire) issues des stations météorologiques automatiques de type Davis qu'on a implantées à Bouzouita, Bouthadi et Elhajkacem de décembre 2020 à janvier 2023. En effet, cette étude nous permet de montrer l'impact des vagues de chaleurs estivales sur l'augmentation de la demande évaporatoire et par conséquent sur la demande de l'arbre en eau.

**La troisième partie** vise à étudier, les facteurs impactant la production oléicole. En premier lieu, nous allons faire des corrélations statistiques entre la production oléicole entre 1995 et 2023 et la pluviométrie à différents pas de temps afin de montrer son impact sur la variabilité de la production oléicole. Puis, nous allons corréliser les différents paramètres climatiques à cette production pour distinguer l'impact des facteurs climatiques secondaires sur le déroulement du cycle reproductif de l'olivier. Nous allons étudier aussi la variabilité spatiale de la production oléicole à travers le calcul des moyennes interannuelles de la production oléicole par mille arbres en tonne. En effet, une comparaison va être faite entre la production annuelle moyenne de la délégation et celles des

complexes agricoles de Bouzouita et Essalemaet la ferme agricole de Bechka (soit un échantillon représentatif des terres domaniales et des propriétés privés).

En outre, nous allons introduire les facteurs physiques tels que la pédologie, la topographie et les facteurs anthropiques manifestés par les façons culturales pratiquées dans notre zone d'étude. Cette descente d'échelle nous permet d'étudier la relation entre la production oléicole et les divers facteurs qui interviennent dans la variabilité spatio-temporelle de la production à une échelle fine.

# **Première partie : Etat de l'art, cadre de l'étude, données et approches méthodologiques**

Durant les dernières décennies, le climat méditerranéen a connu des changements remarquables marqués par l'irrégularité des pluies, l'intensification des extrêmes climatiques et l'élévation des températures et par conséquent l'augmentation de l'évapotranspiration. Ces changements ont affecté l'olivier notamment celui conduit en mode pluvial ce qui aggrave la fluctuation de la production oléicole. D'une part, cette fluctuation est due au mode altéré de la production de l'olivier notamment la variété *Chemlali*. D'autre part, elle est due à l'irrégularité des pluies précisément dans la rive sud de la Méditerranée. En effet, cette région à climat semi-aride, s'est caractérisée par l'occurrence des sécheresses prolongées ce qui a soumis l'oléiculture en pluvial sous un stress hydrique aigu.

Au début de ce travail, il s'est avéré utile de faire un rappel d'abord, de quelques notions de base qui nous semblent nécessaires pour la compréhension de cette thèse. Il s'agit de présenter brièvement le cadre général dans lequel s'inscrit notre étude basée sur une synthèse bibliographique. Ensuite, nous évoquons les caractéristiques générales de la délégation de Menzel Chaker (localisation, topographie, occupation du sol, pédologie, géomorphologie, climat) et le cadre géographique de cette recherche. Enfin, nous présentons les données, les méthodes et les techniques utilisées.

## **PREMIER CHAPITRE : ETAT DE L'ART**

### **Introduction du premier chapitre**

Le présent chapitre de la thèse revient sur les principales études bibliographiques abordant l'oléiculture dans un contexte de changement climatique tout en montrant l'apport de la télédétection dans le suivi de l'olivier. Ces études traitent cette problématique selon une approche multi-scalaire en se basant sur des références bibliographiques internationales, nationales et régionales (la région de Sfax).

#### **I.1 L'oléiculture**

##### **I.1.1 Répartition géographique, origine et distribution :**

###### **I.1.1.1 Répartition dans le monde :**

L'olivier (*Olea europaea*L., *Olea europeasp.* *Europaeavar. sativa*) fait partie de la famille des olives du genre *olea* qui groupe une trentaine d'espèces (Green et Kupicha, 1979). Cette espèce

est cultivée depuis la préhistoire. D'après De Candolle (1883), cet arbre proviendrait de l'Asie Mineure et se serait répandu du Syrie jusqu'en Grèce à travers l'Anatolie. Quant à Lavee (1992), l'olivier pourrait avoir comme origine soit le Moyen Orient, soit l'Asie mineure. Selon Tissot, 1937, la zone d'extension de cet arbre s'étend de Medarie et Canarie à l'ouest jusqu'au Mésopotamie à l'est et atteint l'Ethiopie. Il se trouve aussi aux Etats Unies, Chili, Pérou et Uruguay.

D'autres auteurs, par ailleurs, mentionnent que cet arbre est originaire du Sud-ouest d'Asie (Polymeroun- kamilkis, 2006). Par ailleurs, Gaussorgues (2009) note que l'olivier a été cultivé en Egypte et en Ethiopie vers 3200 à 3800 ans avant J – C. Selon COI (1998) l'olivier est originaire de la Méditerranée de l'Est, s'étale du sud du Caucase aux hauts plateaux de l'Iran et de la Syrie et de la Palestine, ainsi qu'en Italie, en Afrique du nord et en Espagne. Également, Baldy(1990) mentionne que la culture de l'olivier est la plus ancienne aubassin méditerranéen. Mais, elle s'étend à l'est, du littoral de Mer Noire aux contreforts de l'Himalaya. Puis, elle a envahi le continent américain dès le seizième siècle, au SW des États Unies, au Mexique, au Pérou, au Chili, au Brésil, en Uruguay et en Argentine. Plus récemment, l'olivier est introduit en Australie, en Afrique du Sud, en Angola et en China malgré leurs caractéristiques climatiques souvent très différentes de celles méditerranéennes (Loussert et Brousse, 1978 ; Baldy, 1986 ; Aillaud, 1988). La plasticité de cette espèce permet à l'oléiculture d'occuper une place importante pour la production d'huile. En effet, elle est classée deuxième culture productive d'huile au monde après le palmier d'huile (Baldoni et Belaj, 2009).

#### **I.1.1.2 Répartition en Méditerranée :**

« *Là où l'olivier renonce, finit le méditerranéen* ». Cette citation de GéorgeDuhamel confirme la place importante qu'occupe l'olivier au sein des cultures et des territoires méditerranéens (Angles, 2012). L'olivier se répartit de l'est à l'ouest du bassin méditerranéen ; il est de type cultivé ou sauvage (oléastre). C'est un arbre méditerranéen cultivé depuis le temps le plus reculé. Il est le meilleur marqueur de la zone climatique méditerranéenne (Tissot, 1937 ; Ozenda, 1964 ; COI, 1998). L'oléiculture présente un très fort ancrage territorial avec des impacts multiples et réciproques qui place l'olivier au cœur des questions et des enjeux des territoires dans lequel s'inscrit. Il est le symbole de l'identité et la reconnaissance de l'aire méditerranéenne qui illustre le creuset historique et civilisationnel (Angles, 2016). Selon Mahbouli (1974), Trigui(1983) et Baldy (1990), le bassin méditerranéen et le proche orient regroupent 98% de l'olivier dans le monde. Il se concentre particulièrement en Espagne, en Italie, en Grèce et à moindre degré en Turquie, en Tunisie et au Portugal. Or, les pays non

méditerranéens détiennent seulement 2% de l'effectif mondial avec près de 35 millions d'oliviers plantés sur une surface près de 250 milles hectares.

Au niveau des superficies, cette culture occupe près de 10 millions d'hectares dans le bassin méditerranéen concentrée en quatre pays : l'Espagne, l'Italie, la Tunisie et la Grèce soit 2/3 des superficies mondiales. En revanche, ces superficies occupent une place marginale dans les régions septentrionales du bassin méditerranéen en raison du risque des gelés catastrophiques (Angles, 2015).

### **I.1.1.3 Répartition en Tunisie**

En Tunisie, l'oléiculture occupe le tiers des terres labourables et plus de 80% des terres réservées à l'arboriculture fruitière. Le potentiel oléicole s'étend sur tout le pays sous différents bioclimats. Il se présente en monoculture stricte ou en association avec d'autres cultures (céréales et arboriculture) (ONH, 2016). Il se répartit pour 30% au nord, 38% au centre et 32% au sud, tout en s'adaptant aux conditions climatiques très variées axées sur deux variétés dominantes chetoui au nord et chemlali dans le centre et le sud. Il compte à peu près 1.83 millions d'hectares pour 88 millions d'oliviers (MA, 2015).

La variété Chemlali est la plus importante occupant 85% de la surface oléicole du pays et contribue à plus de 80% de la production nationale en huile d'olive. Notant que Chemlali Sfax occupe 2/3 de la superficie oléicole, localisée dans le Nord-est, Centre littoral, Sud et extrême sud (gouvernorats de Sfax, Gafsa, Tozeur et le sahel) (Msallem, 2009). Cette variété est réputée par sa résistance à la sécheresse, sa tolérance à la salinité mais elle est sensible à la tuberculose. C'est une variété très rigoureuse ayant une grande rusticité et entre tard en production. Elle est connue par sa productivité élevée et alternante. En revanche, la variété Chetoui est à double aptitude occupant 35% de la surface oléicole du pays. Elle s'étend sur la bande septentrionale du pays, caractérisée par une rusticité moyenne et une productivité moyenne et constante. Elle possède une tolérance au froid et à la salinité. Elle préfère un bon apport hydrique et possède une résistance aux maladies mais sensible à l'œil de paon. En outre, il se trouve d'autres variétés : Gerboui au Kef, Béja et Jendouba, Oueslati aux gouvernements de Séliana et Kairouan, Zalmati au sud-est : Zarzis, Djerba et Ben Garden et Marsaline à Bouarada (Trabelsi, 2018).

La région de Sfax est connue par la dominance de la variété principale Chemlali, implantée à 24m d'espacement soit 17 individus/ha. De ce fait, elle est la seule variété cultivée en pluvial alors que les autres variétés notamment l'Arbosana et l'Arbequina sont uniquement conduites en irrigués.

## **I.1.2 Exigences de l'olivier**

### **I.1.2.1 Exigences climatiques**

L'olivier croit habituellement dans les zones méditerranéennes et subtropicales notamment entre 22 et 45° dans l'hémisphère nord. Quant à l'hémisphère sud il existe au Chili et en Argentine. Il s'observe aussi sur les hauts plateaux du sud d'Angola, en Afrique du sud et en Australie. Cependant, il est sensible aux variations thermo-périodiques (extrêmes jour-nuit et amplitudes entre saisons) (Baldy, 1990). Globalement, la croissance et la production de cet arbre sont conditionnées par plusieurs facteurs climatiques essentiellement la pluviométrie et la température.

L'eau joue un rôle important dans l'accélération de la croissance végétative de l'olivier et de sa mise en fruit (Trigui, 1994). Elle régularise les différents processus physiologiques de l'arbre tout en conditionnant sa productivité et la qualité de sa récolte (Levitt, 1980 ; Navarro et al., 1990 ; Trigui, 1993 ; Braham, 1997 ; Ben Rouina, 1998b ; Ben Rouina et al., 1999 ; 2002a, b et c ; Guswa, 2004 ; Tognetti et al., 2004 ; Ben Rouina et al., 2007 ; Ben Ahmed et al., 2007). En effet, l'olivier se trouve dans des zones où les pluviométries moyennes annuelles sont supérieures à 450 mm (Pansiot et Rebour, 1961). Plusieurs auteurs ont noté que cet arbre s'adapte à différents types de climats, des plus humides (>1000mm) aux très arides voire désertiques (<150mm) (Le Houérou, 1959 ; Ben Rouina, 2007). Il exploite les réserves accumulées durant la période humide (Denis, 1989) et préfère une bonne répartition temporelle des pluies (Trigui, 1987 ; Ben Rouina, 2007 ; Mzoughi et al., 2022 ; Feki et al., 2023)

Au niveau de la température, l'olivier végète les climats tempérés chauds, mais il se montre sensible aux variations brusques de température. Il supporte les températures élevées en condition de ventilation de l'air et peut résister à des températures basses allant jusqu'à -5 ou -7 (Tissot, 1937). D'après Antognozzi et al., (1995) ; Weiyang et al., (1998), la résistance au froid peut aller jusqu'à -13 et à -10°C pour la variété Frantoio en Chine. En effet, Baldy (1990) mentionne que pendant la phase d'induction florale et jusqu'à la floraison, les températures minimales doivent être inférieures à 7°C en indices actinothermiques. Par contre, Ben Rouina (2007) a noté que ces températures doivent être supérieures à 7°C et le zéro végétatif se situe entre 7 et 9°C.

Entre autres, plusieurs auteurs ont indiqué le rôle important du froid hivernal dans la production oléicole (Bader et Hartmann, 1972 ; Fernandez-Escobard et al., 1991 ; Rallo et Martin, 1991). D'après Hartmann et Whilsler (1975), l'olivier a besoin de 70 jours à températures qui se situent

entre 2 et 15°C. En effet, la température optimale doit être entre 11 et 12° au moins pendant un mois. Aussi, la reprise végétative se fait à partir de 12°C et la croissance végétative optimale se fait avec des températures entre 12 et 22°C (Loussert et Brouse, 1978). En revanche, les températures moyennes supérieures à 16° pendant la période de débourrement empêchent le développement des bourgeons à fleurs. En revanche, les températures très basses (-1et 0°C) peuvent affecter la floraison. Aussi, les températures élevées durant la maturation provoquent l'augmentation de l'acide linoléique dans l'huile et la forte réduction de l'acide oléique. De plus, pendant la phase d'induction florale et jusqu'à la floraison l'olivier a besoin d'amplitudes thermiques journalières supérieures à 10°C (Baldy, 1990). Cet arbre supporte les contraintes thermiques. Il n'est sensible aux fortes températures qu'au-delà de températures supérieures à 40°C. A partir de ce seuil, il commence à fermer ces stomates et d'enrouler leurs limbes et/ou présentant la face «inférieure» pileuse de ceux-ci au soleil (Baldy, 1990 ; Ben Rouina, 2007). En effet, ces températures peuvent causer des brûlures endommageant l'appareil foliaire et provoquer la chute des fruits notamment en cas d'insuffisance de l'irrigation. Aussi, l'olivier exige la lumière, telle que la bonne exposition de toute la cime de l'arbre assure la bonne productivité (Sikaoui, 2006). En effet, pour une production optimale, l'énergie solaire incidente décadaire moyenne pendant les phases de différenciation des bourgeons à fruit, de floraison puis de fructification, demeurent régulièrement supérieures à 1800 J cm<sup>2</sup> par jour (Baldy et Trigui, 1981 ; Trigui, 1987). En effet, la quantité des radiations interceptées a un effet positif sur la quantité de l'huile (Delcampo et Garcia, 2013), sur les substances élaborées par les feuilles (Melgar et *al.*, 2009) et sur la nouaison puisqu'elle s'effectue dans la zone de plus forte insolation (Trigui, 1987).

De plus, il craint l'humidité qui pourrait limiter le transport anémophile du pollen et souffre peu de l'action des vents violents notamment pendant la floraison (Baldy, 1990). Parmi les facteurs défavorables à la floraison et la fructification on peut citer les brouillards, les fortes hygrométries, la grêle et les dégelées printanières (Ben Rouina, 2007).

La grande capacité d'adaptation de l'olivier est grâce aux particularités des feuilles, au système racinaire et à son régénération morphologique (Lavee, 1997). Il est considéré comme un arbre rustique qui possède des capacités exceptionnelles de résistance aux conditions climatiques les plus difficiles (Zarrad, 1994). Il utilise les réserves d'eau accumulée dans le sol durant la période humide (Denis, 1998). Mais, l'olivier est sensible aux basses températures. Cette sensibilité dépend de l'état végétatif, la durée des basses températures, la résistance de la variété et l'état sanitaire de l'arbre (Loussert et Brausse, 1978). En revanche, il supporte les

températures élevées en saison estivale grâce à sa résistance stomatique (Tombesi et *al.*, 1986 ; Trigui, 1987 ; Sharkey, 1990 ; Fernandez et *al.*, 1991 ; Giorio et *al.*, 1999 ; Centritto et *al.*, 2003, 2005 ; Ben Rouina, 2007).

Selon Argenson et *al.*, (1999), l'olivier placé dans les conditions climatiques favorables, exprime toutes les phases de son cycle et produit régulièrement. Par contre, pour les conditions climatiques défavorables l'olivier devient peu propice à la pleine expression de son génotype et au bon déroulement de son cycle végétatif ce qui engendre le phénomène d'alternance de production.

### **I.1.2.2 Exigences pédologiques**

En réalité, l'extraction de l'eau du sol par la plante de l'olivier dépend de la nature du sol (Hernandez et *al.*, 2005). De ce fait, la structure de l'olivier exige les terres franches, perméables, fraîches, naturellement riches. Il préfère des terres argilo-calcaires avec un sous-sol perméable qui facilite le drainage du sol, le sol profond et perméable avec une texture équilibrée (Allalout et Zarrouk, 2013; Belguari, 2016), les sols profonds à couches supérieures très imperméables, légères et à faible teneur en argile (Le Houerou 1970 ;Yankovich et Berthelot 1997) et les sols profonds, aérés et bien drainant (Hernandez et *al.*, 2005).

Par contre, il n'exige pas les sols lourds notamment ceux très argileux qui produisent l'engorgement et par conséquent l'asphyxie. De plus, en cas de déficit hydrique, les plantes qui poussent sur un substrat argile sont les premières qui souffrent de la sécheresse (Boukhris et Loussaint, 1975). C'est pourquoi ces sols sont considérés comme un facteur dégradant des rendements (Tissot, 1937). En outre, la dégradation des couches superficielles du sol aboutit à l'augmentation du ruissellement et favorise l'érosion (Alexandron et *al.*, 1995 ; Moheshwari, 1997 ; Bruneau et Twomlow 1998 ; Gomez et *al.*, 2007 ; Ben Rouina, 2007). Ce phénomène peut influencer négativement les capacités de rétention des sols car en cas d'insuffisance des réserves en eau l'arbre ne peut pas surmonter les périodes en sécheresse (Wakrim et *al.*, 2005 ; Ben Rouina et *al.* 2007). En effet, le dessèchement du sol lui rend très dures et craquelés ce qui empêche l'extension des racines et l'émission des poils absorbants (Mc Kenzial et Dexter, 1996 ; Savage et *al.*, 1996).

### **I.1.3 Les structures de l'olivier**

#### **I.1.3.1 Structures végétatives**

L'olivier est un arbre sempervirent d'une grande longévité, les feuilles petites opposées ovales et lancéolées aux bords entiers, d'un vert foncé luisant sur la face supérieure et d'un vert clair argenté avec nervure médiane saillante sur la face inférieure. Le feuillage persistant verdâtre qui vive trois ans en moyenne puis les feuilles jaunissent et tombent en été. En cas de sécheresse ces feuilles perdent jusqu'à 60% de leur eau tout en réduisant la photosynthèse pour que l'arbre survive au détriment de la production fructi-florale. Par contre, en cas de pluie, les cellules s'allongent pour emmagasiner l'eau. Le volume de frondaison diminue avec la réduction des apports d'eau de juillet jusqu'au début septembre (Ruffat et *al.*, 2014). En effet, le volume de frondaison des plantes conduites sous irrigation déficitaire continue (IDC) est inférieur à celui R-100 sans influencer sur la production finale des fruits (Belguari, 2016). Autrement dit, l'irrigation déficitaire et celle complète ont le même impact sur la production finale d'olives.

Le développement végétatif d'un arbre se fait suivant une croissance primaire et une croissance secondaire.

-La croissance primaire concerne l'allongement et l'édification des métamères. Elle présente deux vagues de croissance l'une printanière et l'autre automnale.

La phase de croissance printanière a lieu entre 0 et 76<sup>ème</sup> jours (mi-mars à 17 juin). Les rameaux sont à différents longueurs (courtes, moyennes et longues). Un ralentissement apparaît, entre le 61<sup>ème</sup> et 76<sup>ème</sup> jours, il est dû au passage de la préformation à la néoformation.

La croissance automnale se déclenche en septembre et s'arrête à novembre, cet arrêt se poursuit jusqu'au printemps (Belguari, 2016). Cette croissance est tributaire aux conditions climatiques favorables.

-La croissance secondaire est une croissance basale qui débute dès le démarrage végétatif jusqu'à la mi-mai (61 jours). Elle se ralentit jusqu'à la fin du juin (96j). Le moment où elle devient active avec un arrêt estival durant la deuxième quinzaine de juillet (124-140j). Cette croissance se poursuit en automne et les différences entre les diamètres seront significatives dès le premier septembre. Une relation a été remarquée entre la croissance primaire et secondaire. L'arrêt de la croissance de la première coïncide avec l'activation de la deuxième. La croissance en épaisseur entrait en compétition avec la croissance en longueur qui finit par l'arrêt de la croissance primaire en faveur de la croissance en épaisseur. Cela confirme que la croissance secondaire est prioritaire par rapport à la croissance primaire (Mezghani et *al.*, 2007).

Pansiot et Rebour (1961) notent que l'apport d'eau complémentaire favorise la croissance végétative et la fructification sur les rameaux de l'année précédente et améliore la quantité et la qualité de l'année suivante.

La croissance végétative peut être affectée en cas de l'apport d'eau saumâtre. Elle peut être réduite sous l'effet du sel et notamment la surface foliaire (Moaz et Hoffon 1977 ; Rauson et Munns 1984 ; Stevent et *al.*, 1981 ; Robinson 1983). Les besoins en eau dépendent de la variété, de l'âge, de la densité, des stades phénologiques et de la charge en olives (Mechelakis, 2000 ; Dettroi, 2003). La réponse de l'olivier à l'irrigation est variable selon le stade phénologique et la dose appliquée. La bonne alimentation en eau en période de croissance printanière favorise l'élongation des rameaux entre 20 et 50% (Psyllakis, 1974).

Chez la picholine marocaine la croissance végétative se déroule dans les conditions irriguées sur une seule vague de croissance, très active au printemps, ralentie en été, en repos en automne. Deux pousses apparaissent l'une printanière plus importante (Khadari et Moukhilil, 2016) et l'autre en automne et seulement chez quelques-uns (Mouldi, 1973).

### **I.1.3.2 Structures productives**

La fleur est hermaphrodite (des organes masculins et féminins), très petite. La corolle à quatre pétales blanchâtres, le pistil court, trapu, le stigmate est large, convexe des plumes et pourvu des papilles idéales pour retenir le pollen. Elle possède un ovaire de forme arrondie qui porte un style assez épais et terminé par un stigmate. Cet ovaire contient deux ovules. Les fleurs sont regroupées en petites grappes de 10 à 20 poussant à l'aisselle des feuilles au début du printemps. Les fleurs se rassemblent au niveau du rameau d'un an ou de deux ans. Chaque inflorescence est constituée d'un axe principal sur lequel portent deux rameaux de ramifications opposées. Un niveau terminal porte 4 à 5 fleurs, niveau médiane 2 fleurs, niveau basal 4 à 6 fleurs (sur total 2413 inflorescence/année soit 11 fleurs par grappes. Le taux d'avortement selon Moundi(1974) et Chahbar(1977) étaient respectivement 43.48% et 45,4 expliqués par la raréfaction des éléments naturels (Almaida, 1940) et au manque de froids hivernaux (Abichou et Msellem, 2015). Les rameaux laissés à la pollinisation libre ont donné un taux de fructification de 39% alors que ceux en autopolinisation n'ont donné que 3.3% ce qui prouve que la plante est caractérisée par une autopolinisation partielle. La fécondation se fait principalement par l'action du vent et la période de fertilité dure une semaine par année. En cas d'une pluie faible, seulement 5 à 10% des fleurs produisent des fruits pour une bonne production.

Le fruit est une drupe. La peau (épicarpe) est recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau (la pruine) avec une pulpe (mésocarpe) charnue riche en matière grasse stockée durant la lipogenèse, de la fin août jusqu'à la véraison, vert au début et devient noir à la maturité complète. Le noyau très dur osseux, formée d'une enveloppe (endocarpe) sclérifiée notamment pendant l'été à partir de la fin du juillet, il contient une amande avec des ovaires, l'un est stérile non fonctionnel. Cette graine produit un embryon qui donnera un nouvel olivier si les conditions sont favorables. Le fruit contient un noyau dur, très riche en lipides (99%) à vitamine E et D et acides gras mono et polyinsaturée. La floraison est influencée par la qualité de la lumière interceptée dont la face la plus ensoleillée est favorisée. Priotti (2000) mentionne que l'initiation florale peut être affectée en cas de la réduction de l'activité photosynthétique. Selon Navarro et Parro (2008) le taux de matière sèche est plus élevé à la face ensoleillée (SE) par rapport à la face nord-ouest ce qui provoque la diminution du fruit. L'ombrage fait augmenter la compétition des fruits pour l'assimilation des éléments nutritifs. Cela induit à la réduction de développement des fruits et l'accumulation de l'huile (Tombesi et *al.*, 1999).

La production finale d'huile est plus élevée chez la compagne d'irrigation 100% (volume, nombre) mais le pourcentage d'huile sur matière sèche est supérieur chez l'irrigation déficitaire continue (IDC). Cette teneur a augmenté de 10% avec l'application du stress hydrique (Lavee et *al.*, 2007 ; Iniesta et *al.*, 2008 ; Grijalva contrevas et *al.*, 2013 ; Roscecrance et *al.*, 2015 ).

Cherbily Hoffman et *al.*, (2013) notent que le poids sec et la concentration d'huile dans les fruits augmentent avec l'augmentation des rayonnements photosynthétiques jusqu'à 40% et jusqu'à 60% (Gomes Delcampo et Connor, 2011). Cela confirme que l'orientation de la plantation a un effet indirect sur la production finale de l'huile. L'application de l'irrigation déficitaire continue (IDC) n'a pas affecté le rendement de l'huile mais affecte la croissance végétative sans causer des effets négatifs sur la production. Bouaziz (1984) cite que l'irrigation favorise la croissance des pousses de l'année en cours et l'année suivante et améliore la floraison et la nouaison et augmente le nombre des fleurs parfaites et de fleurs nouées et atténue la chute des jeunes fruits. L'alimentation en eau en période printanière provoque l'augmentation du nombre d'inflorescence par pousse (25%) et améliore le taux de nouaison (20%). Les poids des olives et le rapport pulpe/ noyau augmentent si l'eau est apportée avant le stade de durcissement des noyaux et au cours des périodes de grossissement des fruits (Psyllakis, 1974). L'engorgement du sol et la stagnation de l'eau pendant une longue période peuvent causer la chute prématurée des olives.

Les variations des paramètres climatiques (température et pluie) influent sur le déroulement des phénomènes de croissance végétative, d'induction et des différenciations florales. L'avènement des différents stades phénologiques est lié aux températures. En hivers doux la phénologie est précoce et étalée provoquant la floraison en vague ce qui engendrait un faible taux de nouaison. En revanche pendant un hiver froid le démarrage végétatif retarde et induit une floraison regroupée qui se traduit par des stades de floraison courts et un meilleur taux de nouaison (Ben Rouina, 2007).

#### **I.1.4.Mécanismes d'adaptation de l'olivier à l'environnement**

##### **I.1.4-1 Régulation stomatique**

La transpiration dépend du microclimat situé autour des feuilles induisant un gradient de vapeur d'eau entre les feuilles et l'atmosphère à travers les stomates (Jones, 1998 ; 1999b). L'ouverture stomatique permet la fixation du CO<sub>2</sub> nécessaire à la photosynthèse (Jones, 1992 ; 1993 ; Jarvis *et al.*, 1997 ; Tognetti *et al.*, 2005 a et b ; Ben Rouina *et al.*, 2006 a, b et c ; Sofa *et al.*, 2005 a et b). L'absorption de l'eau se réduit et une perte de turgescence dans les feuilles s'observe suite au dessèchement du sol, de la résistance racinaire importante due aux basses températures ou à l'aération déficiente. Cela entraîne la fermeture stomatique qui dépend de l'augmentation de la résistance sol-racine et potentiel foliaire (Jones 1992). D'après Natali *et al.*, 1985 l'olivier réduit ses pertes hydriques par la fermeture des stomates jusqu'à certain niveau et par la suite change la stratégie en accentuant la transpiration et augmentant l'absorption par les racines. Les plantes s'adaptent à ce milieu contraignant par une activité photosynthétique maximale tôt le matin puis baisse avec la hausse de la température. Cette baisse est expliquée par une fermeture stomatique afin de réduire la transpiration. Cette activité reprend l'après-midi (Trigui, 1987 ; Ben Rouina et Trigui 2007). Cette régulation bloque l'assimilation de CO<sub>2</sub> et réduit l'efficacité photosynthétique (Xioloyannis *et al.*, 1996). Cela confirme qu'en conditions hydriques défavorables, la demande évaporatoire augmente, la photosynthèse diminue et la résistance stomatique augmente (Tombesi *et al.*, 1986).

Les régulations physiologiques et morphologiques permettent à l'olivier de s'adapter au déficit en alimentation d'eau. En effet, la plante ajuste les flux d'eaux qu'ils traversent par la fermeture stomatique. Cependant, les déficits les plus longs induisent des changements irréversibles (Ben Rouina *et al.*, 1999; Blum, 2002).

L'olivier fait face à la sécheresse grâce à une régulation stomatique exemplaire, une réduction du potentiel hydrique et une déshydratation partielle de leurs tissus. Malgré la chute

des potentiels hydriques, les activités photosynthétiques et respiratoires ne sont jamais nulles. Cela confirme que l'olivier évoluant en milieu aride sous conditions climatiques très sévères possède un grand pouvoir adaptatif. L'adaptation photosynthétique de la feuille à différents types de stress hydriques et l'accommodation des chloroplastes jouent un rôle majeur dans cette adaptation (Msallem, 2002). Le stress modéré fait augmenter le nombre et la densité des chloroplastes ce qui augmente la probabilité d'absorption et le transfert des photons. Montron et *al.*, (1982) montrent que la présence de l'eau libre active le transport des électrons. Selon Centritto et *al.*, (2005), l'altération des structures des chloroplastes est due au blocage du transport des électrons. Benasri et *al.*, (1990) notent que le manque d'eau et sa disponibilité est un facteur de résistance contre la sécheresse. Cela confirme que les modifications structurales des chloroplastes de l'olivier soumis à différents stress hydriques renforcent l'adaptation de l'espèce à la sécheresse. D'autres auteurs n'ont rapporté qu'aucun effet négatif de l'accumulation de l'amidon sur le taux de la photosynthèse.

#### **I.1.4.2 Rôle du système racinaire**

Les racines absorbent l'eau et les éléments minéraux (Kramer et Boyer, 1995 ; Boyce et Lucero, 1999 ; Gardner et *al.*, 1999 ; Steudle, 2000). Elles fixent les végétaux sur le substrat, permettent le stockage des réserves en assimilats et le contrôle de métabolisme par la régulation des équilibres hormonaux qui commandent l'activité stomatique, l'ajustement osmotique et le potentiel hydrique foliaire (Jones et *al.*, 1985 ; Nobel et Huang, 1992 ; Tardieu et Davies, 1992 ; Fernandez et Moreno, 1999). Le système racinaire permet de capter l'humidité des couches les plus profondes aussi que superficielle. La profondeur de ces racines dépend de la texture et de l'aération du sol. En effet, elle diminue dans les sols moins aérés et contre versa. L'évolution, son évolution varie selon le mode de conduite. Ce constat est confirmé par plusieurs études. Heilmann et *al.*, (1996) notent que les arbres irrigués émettent un chevelu racinaire dense occupant les 50 premiers centimètres. D'après Vernet et Mousset (1964) et Kasraoui et *al.* (2005), les racines sont concentrées en profondeur allant de 70 à 80cm et descendent rarement à 1.5m. Par contre, les racines de l'olivier conduit en pluvial notamment celui de la région de Sfax possède des racines très étendu et des racines adventives qui se développent dans les premiers centimètres du sol (Belguerri, 2016). Les racines de l'olivier peuvent atteindre plus de 5m de profondeur et à 22m longitudinalement à partir du tronc (Yankovich et Berthelat, 1997 ; Ben Rouina et *al.*, 1999). De ce fait, le maintien de cette espèce dans des conditions climatiques aussi variées est dû à ses structures racinaires et aériennes assez caractéristiques (Latiere, 1904 ; Bonnet, 1924 ; Tournieroux, 1929 ; Peyre, 1938 ; Almedida, 1940 ; Vernet, 1953 ; Vernet et *al.*,

1964 ; Vernet et Mousset, 1964 ; Durand, 1967 ; Mousset *et al.*, 1968 ; Bouat, 1974 ; Sarmiento, 1974 ; Donaire *et al.*, 1975 a et b ; Maillard, 1975 ; FAO, 1975 ; Psylakis, 1976 ; Louar, 1977 ; Nseir, 1977 ; Priestley, 1977 ; Loussert et Brousse, 1978 ; Villemeur et Delmas, 1978 ; Villemeur *et al.*, 1978 ; Poli, 1979 a et b ; Trigui, 1987 ; Ben Rouina, 2007 )

#### **I.1.4.3 Abaissement du potentiel hydrique**

En conditions hydriques sévères la plante abaisse son potentiel hydrique afin d'absorber l'eau (Kramer, 1983 ; Gebre *et al.*, 1998, Ben Rouina *et al.*, 2007). La plante peut survivre grâce à un dessèchement d'une partie de ces rameaux aux potentiels moins de -10 et -11 MPa. En revanche, une pluviométrie nulle pendant dix mois peut renfortner la mort des branchettes.

#### **I.1.4.4 Stratégies d'adaptation à la réponse au stress salin**

La plante développe des mécanismes et des stratégies d'adaptation physiologiques, métaboliques (Parida et Mohanty, 2004 ; Hanana *et al.*, 2011 ; Zhanga *et al.*, 2015). Les plantes peuvent survivre à l'excès des sels en limitant l'entrée des ions toxiques et le rejettent dans le compartiment apoplasmique. Ce mécanisme est nommé homéostasie ionique (Hanana *et al.*, 2011 ; Elloumi *et al.*, 2016 ; Morett *et al.*, 2017). La tolérance au sel chez les glycophytes est la capacité de limiter le transport des ions salins de la zone racinaire vers les parties aériennes (Hill *et al.*, 2013). Le processus de compartimentation vacuolaire permet à la cellule de maintenir une faible concentration en sodium dans le cytoplasme en minimisant son effet toxique (Hanana *et al.*, 2011). L'augmentation de la concentration de sodium dans la vacuole engendre une forte pression osmotique favorisant l'absorption de l'eau et l'amélioration de la turgescence des cellules (Apse et Blum wold, 2007 ; Kchaou *et al.*, 2010 ; Moretti *et al.*, 2017). L'olivier possède différentes stratégies d'adaptation face au stress salin (l'accumulation des sucres solubles de la proline, des polyphénols ...). Ces mécanismes d'ajustement osmotique jouent le rôle d'un osmo-protecteurs. Ces éléments biochimiques étant considérés comme « marqueurs biochimiques » du degré de tolérance de stress salin (Kahraman *etal.*, 2019).

#### **I.1.4.5 Autres adaptations morphologiques**

La meilleure adaptation est celle basée sur la facilité d'extraction de l'eau et sa meilleure utilisation lorsque cette source est limitée (Jones et Tardieu, 1998 ; Garnier et Tardieu, 1999). L'olivier possède d'autres mécanismes éco physiologiques et biologiques pour s'adapter au stress hydrique. Parmi eux la réduction de l'indice foliaire et la structure des feuilles, le raccourcissement du cycle biologique, la taille et l'importance de sa partie aérienne (Ben Rouina, 2007).

### I.1.5 Cycle biologique

Le cycle biologique de l'olivier chevauche sur deux années. La phase de croissance se fait pendant la première année, suivie de la phase de floraison et de fructification l'année suivante. (Almaida, 1940 ; Chevalier A, 1948 ; Nigond, 1974 ; Villemur et *al.*, 1978 ; Poli, 1979 ; Monsellis et Golschmidt, 1982 ; Ben Rouina, 2007 ; Lavee, 2007 ; Ben Amar et *al.*, 2019 ; Mzoughi et *al.*, 2022). Cependant, il se peut qu'au cours d'une même année se déroulent les deux phénomènes de croissance et fructification. Globalement, l'olivier passe par cinq phases végétatives subdivisées comme suit : soper végétatif (hiver et printemps), Floraison (de l'apparition des fleurs à la fin de floraison), développement du fruit (de la nouaison à la véraison), maturation (de la véraison à la récolte) et récolte (début novembre, décembre, janvier) (Elant, 1971). D'après Colbrant et Fabre(1972), la classification comporte trois phases seulement : La phase hivernale débute du repos végétatif jusqu'au départ du printemps. La phase printanière caractérisée par la floraison et la nouaison. Enfin, la phase estivo-automne pendant laquelle se fait le grossissement et la maturation des olives.

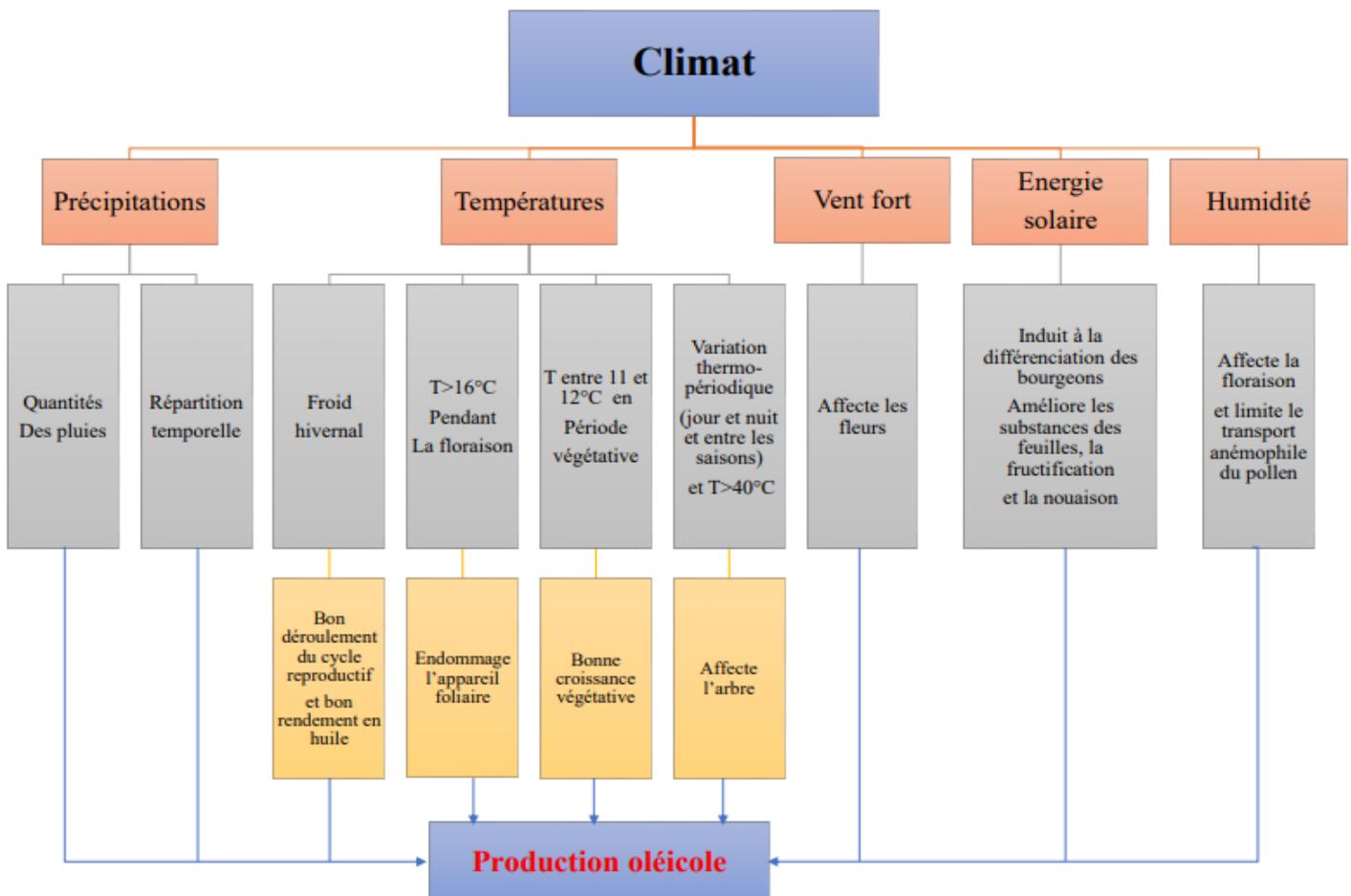


Figure I.1 : Organigramme de l'effet du climat sur la production oléicole selon les sources bibliographiques

## **I.2 Télédétection et suivi de la végétation**

### **I.2.1 Images satellitaires pour le suivi de la végétation**

La télédétection sera testée pour étudier l'état de la végétation et la teneur en eau dans le sol.

Les données d'images satellites à très haute résolution (VHR) avec une résolution spatiale inférieure à 5 m permettent de cartographier et d'estimer la superficie des parcelles agricoles et de suivre leur état végétatif d'une manière très précise (Johansen et *al.*, 2009 ; Heller et *al.*, 2012 ; Gago et *al.*, 2015 ; Fitzgerald et *al.*, 2019 ; Yang et *al.*, 2018). D'où elle s'avère être une source d'information importante efficace pour les applications agricoles et la cartographie des cultures (Beach et *al.*, 2008 ; Tansey et *al.*, 2009). En effet, elle permet de détecter le niveau du stress hydrique, d'estimer la teneur en eau de la végétation (Gao et Goetz, 1995), de suivre l'évolution de la sécheresse (Pen Velas et *al.*, 1993) et par conséquent la conception des systèmes d'irrigations optimaux (Fisher et *al.*, 2004 ; Rollinset *al.*, 2013 ;Gago et *al.*, 2015).

Les images satellites THR sont utiles pour l'identification des parcelles d'olives. La classification GEOBIA des images satellites VHR fournit à jour des images satellites A1 portant des informations précises et fiables. Elles peuvent être considéré comme une source de données pour la détection des olives (Alangay et *al.*, 2018).

Selon Gonzalez (2018), les images Quickbird multi spectrale pansharpened ont permis de cartographier la délimitation des couverts d'oliviers avec succès. Également, Latrou et *al.*,(2016) ont réussi d'évaluer les changements dans l'état de santé des olives à l'aide des indices de végétation (NDVI, CRI2) en s'appuyant sur des données satellitaires à haute résolution (Worldview-2). En outre, Hornero et *al.*,2021 ont créé des indices spectraux à partir des images sentinelles 2 pour fournir des indications spatio-temporelles en vue de suivre et cartographier les dommages induits par les insectes. Le même constat, a été éprouvé par les travaux de Yuan et *al.*, 2013. Entre autres, la sentinelle 2 permet d'évaluer les niveaux de stress hydrique des olives de telle sorte que l'indice peut être utilisé comme un indicateur des niveaux de stress hydrique ouvrant la voie à une plate forme d'un système d'alerte précoce tout en s'étendant à des nouvelles applications (Ionnis et *al.*, 2019). Également, les indices de fluorescence, de température et de bande étroite permettent la détection du stress hydrique (Gonzalez-dugo et *al.*, 2014). En outre, l'estimation de la biomasse et de la teneur en azote peuvent être à l'aide des capteurs hyper spectraux ayant un nombre croissant des bandes spectrales. Ces capteurs peuvent également calculer les relations entre la photosynthèse et la fluorescence de la chlorophylle (Tejado et *al.*, 2013). Ainsi, l'étude de la phénologie des plantes correspond à l'observation,

l'enregistrement et l'interprétation des phases de développements récurrentes et généralement saisonnières: l'éclosion des bourgeons, la dynamique racinaire, la croissance annuelle, la feuillaison, la floraison, la fructification, l'abscission et la germination (Fenner, 1998; Groover et *al.*, 2017).

### **I.2.2 Les indices de végétation**

Les indices de végétation se sont multipliés et chacun a son utilisation spécifique (Lyon et *al.*, 1998). Ces indices sont des combinaisons des réflectances dans différentes bandes de longueur d'onde. Ils sont utilisés pour réduire la variabilité des données radiométriques due à des facteurs externes aux couverts végétaux tels que l'éclairement solaire, les propriétés optiques du sol. L'indice le plus réputé est le NDVI=  $(PIR-R)/(PIR+R)$ . PIR est la réflectance ou la luminance dans le proche infrarouge et R est la réflectance ou la luminance dans le rouge. D'autres indices sont proposés comme PVI (Indice perpendiculaire de végétation) ou de nouveaux indices qui réduisent les perturbations dues aux sols, mais complexe comme SAVI (Huète, 1988) ou le TSAVI (Boret et Guyot, 1991).

La dispersion des données reste importante d'un jour à un autre en fonction des variations de l'état de l'atmosphère (Holban et *al.*, 1986). La sensibilité radiométrique du capteur, son étalonnage et les effets atmosphériques peuvent affecter la différence normalisée. Le NDVI qui soient parfaitement comparable d'un jour à l'autre et d'un satellite à l'autre sont celles calculés à partir des réflectances au niveau du sol. La réflectance de la végétation est faible dans le bleu et le rouge du spectre visible. Elle culmine localement dans le vert et plus élevée dans la plage proche infrarouge. Les indices les plus utilisés sont NDVI, GNDRI et SAVI.

Le NDVI est un indice traditionnel qui montre une homogénéité assez allongée par rapport aux autres indices. Le NDVI est l'indice de végétation le plus couramment utilisé pour évaluer l'état de la végétation (Chen et *al.*, 2005). Il est très connu par sa sensibilité à la présence d'une végétation verte et par son efficacité pour le suivi des sécheresses (Boyd et *al.*, 2002). Il est calculé à partir du rouge et infrarouge. C'est un indice référence pour discuter l'état de la végétation depuis Rouse et Haas 1973. Il est largement utilisé dans le monde entier pour suivre l'état de la végétation. En effet, plusieurs travaux ont étudié la relation entre les précipitations et le NDVI et ont corréler le NDVI et la biomasse et la structure de la canopée (Candiago et *al.*, 2015). Certainement, l'étude de l'état de la végétation se fait à travers le croisement entre les données TRMM et le NDVI.

La bande bordure rouge (RE) est une zone de limite entre l'absorption par la chlorophylle dans la bande rouge et la diffusion dans la bande NIR (zone de transition), due à la structure interne des feuilles. La position du bord rouge est très sensible aux changements des propriétés de la végétation. Cet indice peut être facilement utilisé par les chercheurs en vue d'estimer la teneur en chlorophylle des feuilles et les surfaces des eaux d'un réservoir. Cela peut induire à formuler un nouveau indice lié à la réflectance du bord rouge (Bord Rouge à différence normalisée NDRE). Également, il permet d'optimiser le temps de récolte en fonction des transitions de l'activité photosynthétique (Maccioni et *al.*, 2001). La détection du rayonnement dans la zone de transition RE pour la distinction d'échantionnage au sol se fait à l'aide du satellite Sentinelle-2 avec une résolution de 20m.

En revanche, plusieurs chercheurs ont calculé l'indice végétatif ajusté au sol (SAVI) pour éliminer l'effet du sol (Huète 1988 ; Trinchera et Baretella, 2019). En outre, le NDRE est utile pour la détection des petites zones de textures différentes au sein des parcelles cultivées. Il permet de tracer les irrégularités d'irrigation dans les cultures. Le LAI et le volume de la canopée sont directement très liés à l'interception du rayonnement solaire, à la consommation d'eau et à la productivité potentielle des oliviers. (Conner et *al.*, 2005 ; Orgaz et *al.*, 2005).

Le VCI est un indicateur de la vigueur du couvert végétal, un bon indicateur des conditions du stress hydrique (Baptist, 2011). Cet indice permet de suivre les conditions de sécheresse tout en mesurant le degré de végétation verte. Il reflète la variabilité spatio-temporelle de la végétation et permet la quantification de l'impact des variations climatiques sur cette végétation (Kogan, 1994 ; Unganai et Kogan, 1998). Cet indice est largement utilisé grâce à sa fiabilité et son efficacité pour détecter les situations de sécheresse sur différents types de végétations. En effet, la caractérisation de la sécheresse se fait à l'aide de deux approches. La première est basée sur les indices dérivés de données de télédétection spatiale à partir des images satellitaires Landsat, à savoir : l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et l'indice de condition de la végétation (VCI) (Kogan, 1995) qui ont été largement utilisés pour l'évaluation de l'état de la végétation et les conditions de sécheresse (Rojas et *al.*, 2011). Quant à la deuxième approche, elle est basée sur le calcul du SPI (*Standardized Precipitation Index*) (SPI) qui est le principal indice météorologique préconisé pour la mesure et le suivi de l'intensité de sécheresse. Alors que l'indice de déficit hydrique (WDI) combine entre l'indice de température de surface et de végétation afin d'avoir les effets structurels de la canopée (Moran et *al.*, 1994).

L'indice de sécheresse de la température et de la végétation TVDI (Sandholt et *al.*, 2002) permet de donner des informations sur la végétation et l'humidité du sol. En outre, les images de

téledétection aéroportée ont montré leur performance au niveau de la détection du stress hydrique (Speculcre-Canto et *al.*, 2006, 2007). Mais, les canopées ouvertes posent des problèmes sous l'influence de l'ombre et du sol. Cependant, Speculcre-Canto et *al.*, (2007) ont démontré qu'avec l'imagerie théorique ASTER, l'applicabilité de la détection potentielle des niveaux de stress hydrique dans ces canopées ouvertes.

### **I.2.3 Télédétection et étude du topo et microclimat**

L'influence de la topographie sur le climat est forte aux échelles régionales et locales. Les données utilisées sont des canaux thermiques de différents satellites ou des capteurs aéroportés. Parmi les travaux ceux qui se sont intéressés des patrons climatiques dans la vallée du Rhone en utilisant des images nocturnes AVHR de NOAA et dans la vallée du Rhone (Savanem et *al.*, 1989). Entre autres, plusieurs études se sont focalisées sur les microclimats en utilisant des données aéroportées afin de détecter des cuvettes de gelées nocturnes dans les cultures fruitières et dans les secteurs de régénération forestière

Également, plusieurs auteurs ont combiné des données thermiques avec des données topographiques sous forme de modèles numériques de terrain pour illustrer l'effet du relief sur les températures dans les différentes conditions climatiques de jour et de nuit (Lagouarde, 1983)

En outre, les photographies aériennes sont analysées pour cartographier la topographie, la végétation et les sols. A titre d'exemple, l'inventaire des plantations d'oliviers et des vignes en Italie et en Espagne, procédé par l'Union Européenne, a été fait à partir des photos aériennes (Paradis et Maurin., 2009)

### **I.2.4. Prévision des productions à partir des modèles agro météorologiques**

La prévision des productions de différentes cultures s'appuie sur des modèles de type statistique qui tiennent compte des conditions pédoclimatiques, de la technicité des agriculteurs et de la tendance à long terme de la production.

A l'échelle régionale, la combinaison entre les données agroclimatiques et les données de télédétection permet l'estimation de la production et de sa variation régionale. La télédétection permet l'obtention des informations sur l'indice foliaire, la biomasse et l'état hydrique du couvert. Ces deux éléments peuvent être l'origine des données de sortie de modèles agro météorologiques. Ces modèles ont progressé au cours des dernières années (Vossen, 1992 ; Delecolle et *al.*, 1992). En effet, ils permettent des estimations précises des rendements à partir des données d'entrée sur le climat, le sol et les techniques utilisés.

Les modèles agro météorologiques espacés dans le temps fournissent des informations en continue ou régulièrement durant la saison végétative. Cependant, la télédétection ne donne que les informations discontinues et irrégulièrement espacés dans le temps. En effet, l'utilisation des données de télédétection pour la prévision de la production des cultures se fait suivant trois possibilités. La première concerne l'estimation à partir des modèles agro météorologiques. C'est la démarche utilisée opérationnellement par FAO (Gomez, 1992). La télédétection permet d'estimer les surfaces occupées par les différentes cultures, l'interpolation des données relatives aux rayonnements globales (couverture nuageuse) et aux précipitations et à fournir des indications de rendement. La deuxième s'est basée sur les données de télédétection qui sont utilisées pour recalibrer les données de sortie des modèles agro météorologique au cours de la saison végétative ou pour corriger ces modèles à la fin du cycle végétatif pour l'estimation de la production.

Quant à la troisième, la prévision des récoltes se fait en se basant sur des données des satellites d'observation de la terre et des satellites météorologiques, les simples modèles statistiques doivent être remplacés par des modèles dynamiques qui tiennent l'évolution temporelle des cultures (Deledolle et al., 1992). Il n'existe pas de relation directe entre la production et les données de télédétection. Ces données déduisent certains paramètres climatiques. En couplant un modèle de réflectance et un modèle de production, les données de télédétection peuvent être utilisées pour forcer le modèle de production à un moment donné et établir un nouveau jeu de coefficients. Ce forçage permet un ajustement progressif du modèle de production et améliore sa précision entre deux acquisitions d'images (Delecolle et al., 1992)

### **I.3 Changements climatiques**

#### **I.3.1 Changements climatiques et tendances actuelles et futurs :**

##### **I.3.1.1 Définition des changements climatiques**

Selon le GIEC (2013) : « *Le changement climatique s'étend comme variation de l'état du climat que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période* ». Dans ce sens, la Convention Cadres des Nations Unies (CCNUCC) en 2013 définit le changement climatique comme suit : « *Le changement climatique désigne des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale* ». (IPCC, 2018)

D'après ces deux définitions, les changements climatiques sont les modifications atmosphériques dues aux transformations chimiques de l'atmosphère causées par les gaz à effet

de serre additionnelles d'origine anthropique depuis l'ère industrielle. Ils se manifestent principalement par l'élévation des températures de l'air et l'intensification et l'occurrence des événements météorologiques extrêmes comme les inondations, les vagues de chaleur et de froid. Ainsi, le réchauffement climatique modifie le régime des précipitations (IPCC, 2007).

Un réchauffement de près 2°C a été observé depuis 1970 en Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) et au Sud-ouest de l'Europe (Péninsule ibérique, sud de la France) (à l'exception de la Grèce où la température a diminué jusqu'à l'année 2000) (Coustillière, 2015).

Selon le Fifth Assessment Report (AR5) de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (l'IPCC), des changements ont été observés depuis 1950, manifestés par l'occurrence des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. En effet, les extrêmes de froid diminuent contrairement aux extrêmes de chaleur qui ne cessent d'augmenter. Toutefois, les épisodes de fortes précipitations se multiplient comme en témoigne les deux phrases extraites de l'AR5 de l'IPCC *"There are likely more land regions where the number of heavy precipitation events has increased than where it has decreased. The frequency and intensity of heavy precipitation events has likely increased in North America and Europe."*

### **I.3.2 Changements climatiques actuels et futurs :**

#### **I.3.2.1 A l'échelle globale**

L'évolution climatique actuelle se caractérise par la baisse des totaux pluviométriques et la hausse des températures notamment minimales (Stour et Agroumi, 2008). Selon le GIEC (IPCC, 2003), l'évolution des précipitations est accompagnée par des déséquilibres régionaux : Dans certaines régions les précipitations augmentent, dans d'autres elles diminuent alors qu'aucun changement significatif n'est enregistré chez d'autres. Les contrastes augmentent entre les saisons sèches et humides (Chou et al., 2013 ; Collins et al., 2013). En revanche, plusieurs études ont montré une augmentation des précipitations extrêmes au sud-est de la France (Vautard et al., 2015 ; Ribes et al., 2019 ; Fumière, 2019). Aussi, le nombre de Heavy Precipitating Events (HPEs) a augmenté en Europe et en Amérique du Nord (Fumière, 2019). Entre autres, les précipitations représentent l'un des paramètres qui pourraient connaître des modifications et un enjeu majeur en termes de ressources en eau (Toreti et al., 2010 ; Garcia-Ruiz et al., 2011).

Pour les températures la comparaison des moyennes des températures annuelles sur les deux périodes 1971-1980 et 1998-2007 montre une tendance à la hausse. Elle varie de 0,3 à 2,5 °C selon les régions (Babqiqi, 2014). Dans le même contexte Grunderbeeck et Tourre (2008) citent « 5°C seulement nous séparent à la dernière période glaciaire ».

Au futur, les températures moyennes globales vont augmenter de  $+0,3^{\circ}\text{C}$ / décennies au cours du 21<sup>ème</sup> siècle et pourraient s'accroître vers 2100 de  $+3^{\circ}\text{C}$  selon Walid et al., 2007 et d'au moins  $1,5^{\circ}\text{C}$  pour Collin et al., 2013. En outre, elles seraient entre  $2,2$  et  $5,1^{\circ}\text{C}$  pour la période 2080-2099 par rapport à la période de référence de 1970 à 1999 (GIEC, 2007). Aussi, Plauton et al., (2012) ont noté qu'un réchauffement global et robuste est projeté avec un maximum en été. De même, le GIEC (2014) dans un rapport spécial, a montré que le réchauffement climatique global était  $1^{\circ}\text{C}$  depuis l'ère préindustrielle et il haussera de  $1,2^{\circ}\text{C}$  en 2040. En somme, la majorité des modèles climatiques prévoient une augmentation mondiale moyenne du réchauffement comprise entre  $1,1$  et  $6,4^{\circ}\text{C}$ . Les projections de CMIP5 prévoient un fort assèchement dans le bassin méditerranéen et de l'Amérique centrale. Au contraire, le Nord de l'océan indien connaîtra une humification (GIEC, 2007). En outre, l'occurrence des vagues de chaleurs est en train d'augmenter (GIEC, 2007) et probablement se multiplier par rapport à la situation actuelle (IPCC, 2012). En effet, l'augmentation de la durée et de l'intensité de ces épisodes occasionnent un stress thermique important (Collin et al., 2013).

### **I.3.2.2 A l'échelle de la Méditerranée :**

Le bassin méditerranéen est considéré comme un « hot spot » du changement climatique. Il est classé parmi les zones à risque élevé en raison de sa forte vulnérabilité (IPCC, 2013) et les plus sensibles aux changements climatiques (Giorgi, 2006). D'après le dictionnaire du climat (Beltrando and Chemery, 1995), le climat méditerranéen est "un climat pluvieux et souvent doux en hiver (perturbations d'ouest), chaud et sec en été (hautes pressions tropicales)". De ce fait, les précipitations sont très variables dans le temps et dans l'espace (Traboulsi, 2004 ; Davolio et al., 2016 ; Caloiero et al., 2018 ; Ahmad et al., 2022 ; Todaro et al., 2022) et représentent l'un des paramètres qui pourraient connaître des modifications au futur en relation avec le réchauffement de la mer et du continent. Ces modifications représentent un enjeu majeur en termes des ressources en eau (Saly Sambou et al., 2018) et des risques associés aux événements extrêmes (Nuissier et al., 2008 et 2011 ; Toreti et al., 2010 ; Garcia-Ruiz et al., 2011 ; Grazzini et al., 2020). Dans le même contexte, plusieurs études ont montré une intensification et une occurrence accrue des événements hydroclimatiques extrêmes notamment pendant les dernières décennies en Méditerranée (New et al., 2000 ; Christensen et al., 2007 ; Intergouvernemental Panel on Climate Change IPCC, 2007 ; l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 2013) et particulièrement dans les zones occidentales (Brunetti et al., 2001, 2003, 2004, 2006 ; Alpert et Coll, 2002 ; Gronzalez-Hidologo et al., 2003 ; Costa et Soares, 2009 ; Brunetti et al., 2012 ;

Brugnara et *al.*, 2012). En revanche, d'autres études ont montré des tendances assez marquées à la baisse des cumuls saisonniers des pluies autour du bassin méditerranéen (Alpert et *al.*, 2002 ; Giorgi, 2002 ; Tank et Konnen, 2003 ; Brunetti et *al.*, 2004 ; Kostopoulou et Jones, 2005 ; Norrant et Douguédroit, 2006 ; Toreti et *al.*, 2010 ou encore Tramblay et *al.*, 2013). Dans le même contexte, Hoerling et *al.*, (2012) et l'IPCC (2013) notent que cette région a connu un assèchement quasi-généralisé depuis plusieurs décennies. En outre, Yapo et *al.*, (2020) ont marqué une tendance à la baisse non significative de l'intensité des pluies journalières pour les stations météorologiques au Maroc, en Algérie et en Tunisie. La diminution des précipitations est due, d'une part à la modification des divers paramètres climatiques engendrée par l'élévation globale des températures (Räisänen et *al.*, 2004), et d'autre part à la circulation atmosphérique (Romand et Douguédroit, 2010). Par contre, d'autres études ont montré des tendances linéaires non significatives des précipitations annuelles et saisonnières (Schönwiese et *al.*, 1993 ; Moisselin et *al.*, 2002 ; Douguédroit et Norrant, 2003). Le même constat a été observé pour les centiles des précipitations quotidiennes, nombre de jours humides, contribution d'événements extrêmes (Norrant et Douguédroit, 2006 ; Moberg et *al.*, 2005 ; Gallego et *al.*, 2006 ; Brunet et *al.*, 2007 ; Rodrigo et Trigo, 2007 ; Durao et *al.*, 2010 ; Toreti et *al.*, 2010. Or, les sorties des modèles des scénarios à moyen termes s'accordent sur une diminution de la pluviométrie dans le bassin méditerranéen (IPCC, 2001). En outre, l'évolution du cumul annuel de précipitations en France métropolitaine sur la période 1960-2010 n'est pas significative (95%) (Le Lièvre et *al.*, 2011 ; Gibelin, 2015). Même constat a été confirmé en France pour les données pluviométriques homogénéisées entre 1959-2009 (Gibelin, 2015) et pour la pluviométrie annuelle au Sud de la France entre 1980 et 2009.

Dans la même optique des études réalisées sur la tendance actuelle des précipitations en Méditerranée durant le dernier siècle ne montrent pas des résultats francs (Lionello et *al.*, 2012a). En revanche, plusieurs auteurs notent que le signe de l'évolution des précipitations est régionalisé et dépend de la saison (Plaut et *al.*, 2001 ; Bárdossy et *al.*, 2005 ; Lionello et *al.*, 2012a) mais n'est pas toujours significatif (Lionello et *al.*, 2012a). Toutefois, l'évolution des précipitations apparaît parfois incohérente selon les études. Kostopoulou et Jones (2005) ont trouvé une tendance positive des précipitations en Italie pour la période 1958-2000. Par contre, elle est négative dans la Basilicate, au Sud de l'Italie pour la période 1951-2000 (Piccarreta et *al.*, 2013). Par ailleurs, aucune tendance significative n'a été constatée dans cette région par Philandras et *al.*, (2011) sur la période 1901-2009 et Lionello et *al.*, (2012a) sur la période 1951-2005. Pour les pluies intenses, notamment en termes de fréquence et d'intensité, Raymond et *al.*, (2016) indiquent « *l'absence d'une tendance significative propre à l'ensemble du bassin*

*méditerranéen* ». De plus, le projet STAR-DEX (Statical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European regions, année) a montré une diminution des précipitations dans l'est de la Méditerranée (Kostopoulou et Jones, 2005 ; Philondros et *al.*, 2011). Cette baisse est accompagnée d'une augmentation de l'intensité des sécheresses (Bordossy et *al.*, 2003, Philandras et *al.*, 2011). En outre, plusieurs études ont montré un contraste de l'évolution des précipitations entre le Nord des Alpes où les précipitations ont augmenté et le Sud des Alpes où les précipitations ont diminué (Buffoni et *al.*, 1999 ; Plaut et *al.*, 2001 ; Brunetti et *al.*, 2006). De plus, Plaut et *al.*, (2001) ont observé une augmentation des précipitations extrêmes en automne sur le pourtour méditerranéen français. Étant donné que la région méditerranéenne est considérée comme une zone plus marquée par l'intensification des précipitations (Vautard et *al.*, 2015). Néanmoins, Piccarreta et *al.*, (2013) ont constaté une diminution des précipitations journalières en moyenne sur l'ensemble de l'année et notamment en été. Certains secteurs du bassin Méditerranéen enregistrent une augmentation significative des précipitations saisonnières moyennes comprise entre +1mm et +4mm par saison sur la période 1950-2013. Il s'agit des zones situées au Nord du Maroc, au Nord de la Tunisie, en Sicile, dans le centre de l'Italie et dans le Nord du Balkan (Raymond et *al.*, 2016). De même, cette augmentation est observée par Klein Tank et Konnen, 2003 dans le centre de l'Italie. Même constat est éprouvé par Moberg et *al.*, 2006 pour le secteur alpin. Néanmoins, la majorité du bassin méditerranéen est affectée par une diminution des précipitations saisonnières moyennes avec des valeurs comprises entre -1 et -6mm par saison comme pour le nord de l'Anatolie, une grande partie des côtes ouest des Balkans, une majeure partie du nord de l'Italie, le sud de la France ou une petite partie du nord de l'Espagne (Raymond et *al.*, 2016). Aussi, une réduction des précipitations annuelles de l'ordre de 40 % a été enregistrée au nord de l'Algérie. (UNESCO, 2010; Nouaceur *et al.*, 2013). De même, au Maroc le nombre d'années en déficit pluviométrique est plus important que le nombre des années excédentaires (Stour et Agoumi, 2009; Sinan *et al.*, 2009 ; Sebbaret *al.*, 2011 ; Derouich *et al.*, 2013). Ces résultats indiquent la tendance à la baisse générale des précipitations à l'échelle de méditerranée et corroborent les études locales faites par Alpert et *al.*, 2002 ; Giorgi 2002 ; Tank et Konnen 2003 ; Brunetti et *al.*, 2004 ; Kostopoulou et Jones ; 2005, Norrant et Douguédroit, 2006 ; Toreti et *al.*, 2010 ou encore Trambly et *al.* 2013. Or, Zhang et *al.* (2005) et Donat et *al.* (2016) ont noté également l'absence de tendances significatives de l'évolution des précipitations cumulées annuelles sur le Proche-Orient et sur le sud de l'Anatolie. Néanmoins, ponctuellement, une augmentation significative des précipitations annuelles dans le nord de l'Algérie a été observée par Donot et *al.*, 2016. En somme, la baisse varie entre -4% sur les rives Nord et -27% sur les rives Sud (scénario A1B, Christensen et *al.*, 2007). Selon le scénario A2,

les précipitations baissent de 20% à 30% en saisons intermédiaires et s'accroissent en été (Planton *et al.*, 2012). Des résultats similaires ont été confirmés avec le modèle climatique régional (RCM) RACMO (Philandras *et al.*, 2011, Riahi *et al.*, 2011).

En effet, la baisse des précipitations est accompagnée d'une augmentation de la fréquence des anomalies négatives ce qui fait augmenter la fréquence et l'intensité des sécheresses (Georgi *et al.*, 2009). Ainsi, à l'horizon 2080-2099, près d'une année sur deux pourrait être considérée comme sèche. Paradoxalement, l'augmentation de la température en Méditerranée permet l'augmentation de la quantité de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ce qui augmente le potentiel précipitant dans la région (Da Silva, 2019).

En outre, les projections du RCM aladin- Climate et notamment les scénarios B1, A1B et A2, prévoient l'augmentation des précipitations extrêmes sur l'arc méditerranéen français et que les précipitations du climat futur seront plus fortes que celles du climat présent (Beniston *et al.*, 2007 ; Planton *et al.*, 2012 ; Sillmann *et al.*, 2013 ; Toreti *et al.*, 2013 ; Scoccinmaro *et al.*, 2016). Même constat a été éprouvé en Europe (Soubeyroux *et al.*, 2015 ; Pfahl *et al.*, 2017).

Plusieurs études ont montré une corrélation entre les pluies extrêmes et l'augmentation des températures avec un taux d'environ 7%/°C, donnant des ordres de grandeurs d'une tendance significative mais présentent des fortes incertitudes (Hamaoui-Laguel *et al.*, 2015). En revanche aucune tendance n'a été montrée durant la période 1958-2014 en Méditerranée, malgré l'importance des pluies diluviennes (nombre des jours des précipitations supérieurs à 150 et 190mm/j sur la région méditerranéenne/ année). Cela confirme la forte variabilité (Blanchet *et al.*, 2016b).

Concernant les températures, les prévisions de réchauffement et de l'assèchement du bassin méditerranéen, elles ont été amplement discutées dans la littérature (Gao *et al.*, 2008 ; Hertig *et al.*, 2008). En effet, la majorité des simulations CORDEX (programme international mis en œuvre par plusieurs centres de recherches dans le but de produire des scénarios de changement climatique fiables à des fins d'études d'impact) suggère un réchauffement général d'ici la fin du siècle : entre +1 et +5 °C par rapport à la période de référence 1986-2005, avec un assèchement général de 10% à 40% pour la majeure partie de la Méditerranée (Suraj *et al.*, 2017).

La hausse des températures en Méditerranée est prévue de 1 à 2.5°C d'ici 2030 et de 3°C vers 2050 (Karras, 2000) et 2.3°C d'ici à la fin du siècle (l'AR5 de l'IPCC, 2007) ; soit des valeurs légèrement plus marquées qu'au niveau mondial (Hallegatte, 2007 ; Grunderbeek *et al.*, 2008).

Pour conclure, plusieurs auteurs ont noté que la région méditerranéenne connaîtrait une vulnérabilité particulière suite au changement climatique. Le réchauffement prévu est de 1 à 3°C d'ici la fin du siècle. Il serait plus prononcé dans la zone continentale que côtière et particulièrement en saison estivale, sous forme de vagues de chaleur surtout dans la rive sud de la Méditerranée. Au contraire, les précipitations seront en baisse surtout en saison estivale. Le sud est marqué par des périodes de sécheresses longues et intenses, caractérisées par une forte variabilité et une probable modification du régime pluviométrique.

### **I.3.2.3 A l'échelle de la Tunisie :**

Au niveau des températures, la quasi-totalité du territoire tunisien a enregistré une augmentation statistiquement significative des températures moyennes au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. Cette hausse, est estimée de +1.1°C, elle est plus élevée que celle estimée à l'échelle globale voire méditerranéenne (+0.6 et +0.74°C respectivement) (IPCC, 2007). Entre autres, une étude a été faite au cours des dernières années à Jendouba, Tunis, Kairouan, Gabes et Gafsa a montré des augmentations des températures par décennies. Elles étaient respectivement (0.28, 0.36, 0.58, 0.26 et 0.36) (King *et al.*, 2005).

Dans le même contexte, les prévisions des augmentations des températures varient selon les scénarios. En effet, le scénario A2 prévoit des augmentations à l'horizon de 2020 et 2050 qui varient entre 0.8 et 1.3°C. Les valeurs sont assez proches des projections climatiques des pays méditerranéens. En revanche, le scénario A1B prévoit une augmentation entre 1.4 et 2.1°C en 2050 et de 1.9 à 2.9°C en 2100 sachant que le Sud enregistre les températures les plus élevées.

A propos des précipitations, elles se caractérisent par une très forte variabilité interannuelle et inter saisonnière des précipitations (Henia, 1980 ; Bousnina, 1986 ; Hlaoui, 2008 ; Dallel, 2009) et par leur aspect torrentiel (Hlaoui, 2002). Dans le même contexte, plusieurs études réalisées s'accordent sur l'irrégularité de la pluviométrie puisque aucune tendance significative à la hausse ou à la baisse n'a été enregistrée (Abdelkhalek et Hlaoui, 2007 ; Hlaoui 2010 ; Hénia et Hlaoui, 2011 et 2015). En outre, Kingumbi *et al.*, (2005b) ont observé une augmentation statistiquement significative de la fréquence des jours des précipitations abondantes inférieures à 30 mm depuis 1989. En revanche, Hertig et Jacobeit, (2008), signalent des changements des précipitations marqués par un accroissement des jours secs et une intensité plus forte des précipitations. De plus, une réduction des précipitations totalisés sur cinq jours et de la fréquence des fortes précipitations a été observée (totaux quotidiens supérieurs à 10mm), mais ces résultats n'étaient pas significatifs par rapport aux critères d'évaluation.

En effet, la variabilité des précipitations, l'occurrence de longues séquences sèches et la réduction des totaux pluviométriques annuels en Tunisie dans le futur proche et moyen (2030 et

2050) (MARH et GTZ, 2007), vont affecter sérieusement la production agricole notamment celle pratiquée principalement en mode pluvial (céréaliculture et oléiculture) (Hlaoui, 2006). Les conséquences seront plus dramatiques dans le Centre et le Sud où l'aridité du climat devient plus intense.

Également, une baisse des précipitations moyennes et une succession de deux ou trois années sèches sont prévisibles. De ce fait, le nombre et les intensités des années sèches va augmenter et pourrait croître de 10 à 30% à l'horizon de 2050. De ce fait, la plupart des estimations montrent une tendance à la baisse : Elle est modérée en 2020 et s'accroît en 2050 suivant le scénario B2. Elle sera entre 2 et 16% à l'horizon de 2050 selon le scénario A1B (INM, GIEC, 2007). Cependant, les tendances des totaux des précipitations annuelles sont significatives seulement dans le Nord marquant une diminution de 5%. Elles cachent des variations spatio-temporelles à cause des phénomènes extrêmes (Berntsson et Niemczynowicz, 1986). Pour les précipitations annuelles, elles peuvent diminuer jusqu'à -50mm au cours de phases typiques d'El Nino (Dai et Wigley, 2000). Même constat a été confirmé par Ouachami et colli, (2012) dans la partie supérieure du bassin du fleuve Mejerda au Nord de la Tunisie. La situation s'aggrave dans le sud tunisien. Les pluies estivales présentent une fourchette qui va de -80% à -250% d'ici les années 2050. Or, les totaux des précipitations hivernales vont de -55% à +35% pour la même période, sachant que les fourchettes d'incertitudes vont de -95% à +350% en été et de -65% à +80% en hiver dans les années 2080.

A Sfax, le réchauffement a une tendance significative durant la période 1950-2007. La saison chaude s'intensifie et s'étend et les événements pluviométriques et thermiques exceptionnels connaissent une succession (Daoud et Dahech, 2012). En outre, et durant la même période, les températures moyennes, minimales et maximales présentent une tendance à la hausse (0.033°C/an, 0.027°C/an et 0.038°C/an respectivement). Cette hausse est conforme à celle détectée aux latitudes tempérées de l'hémisphère Nord et particulièrement dans le bassin méditerranéen (Toreti et Desiato, 2008). Elle est plus remarquable en été et au début de l'automne. Par contre, les précipitations, le total pluviométrique et le nombre annuel des jours de pluies à Sfax ne montrent aucune tendance significative durant la période 1950 et 2007 (Daoud et Dahech, 2012).

### **I.3.3 Impacts des changements climatiques actuels et futurs sur l'agriculture :**

Le changement climatique engendre des problèmes profonds : la famine, l'insécurité alimentaire, la volatilité des prix de produits alimentaires, la baisse de la production agricole et les conflits sociaux inévitables (FAO, 2011 ; OXFAM , 2014).

Plusieurs travaux ont discuté les impacts potentiels du changement climatique sur l'agriculture en termes qualitatifs depuis les années 80 (Callaway 1986). Aussi, on peut évoquer le travail de Rosenzweig et Hillel "Potential impacts of climate on agriculture and food supply"

publié dans les revues conséquences en 1995, de plus, l'ouvrage « Global climate change and agricultural production » (FAO) en 1997 et les deux contributions du deuxième groupe de travail de GIEC 2001 et 2007 « Impacts, Adaptations and vulnerability » et le travail de Tubiello et *al.*, 2007 « Crop and pasture réponse to climate » publié dans la série scientifique multidisciplinaire « Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America » (PNAS) en 2007. Ces travaux montrent les liens entre le changement climatique et l'agriculture en rassemblant les travaux d'experts internationaux spécialistes de la physiologie de la plante, de l'agrométéorologie, de l'agrobiologie, des sciences de l'environnement de l'agronomie, mandatés par la FAO.

Par conséquent, les températures élevées, le manque des précipitations, l'évaporation vont réduire les ressources en eau qualitativement et quantitativement ce qui affecte négativement l'agriculture. De même, les pluies torrentielles affaiblissent le sol et les rendements en milieux arides (SAAECC, 2007). Entre autres, à l'échelle annuelle la Tunisie perd 20 milles hectares de terre et consacre 100 milles de dollars pour lutter contre la désertification. Aussi, plusieurs travaux ont noté la baisse des rendements, en particulier les productions céréales (Boisson et *al.*, 2010 ; Wilcox et *al.*, 2014 ). Etant donné que les températures élevées peuvent accélérer la maturation du blé laissant moins de temps pour accumuler la matière sèche pendant la période de remplissage du grain. Également, le réchauffement climatique provoque une diminution des rendements du maïs de 17% (*Zea maïs*) et du soja (*Glycine max. L Metr*) aux États Unies et de 15% pour le riz (*Oryzosa tir*) aux philippines lorsque la température augmente de 1°C au cours de la saison sèche (Peng et *al.*, 2004). De même, Peltonen et *al.*, (2010) ont mentionné que l'augmentation de la température de 3°C pourrait contribuer à une diminution de 7% du rendement des céréales en Europe. Quant à la vigne, White et *al.*, (2005) notent que les fortes températures pourraient induire à une réduction de 81% de sa production aux Etats Unies à la fin du 21 éme siècle. De plus, Blanfortet Demenois (2019)) ont noté que l'augmentation des températures menace de nombreuses cultures.

En Maroc, les changements climatiques ont provoqué la diminution du rendement des cultures oléagineuses y compris le colza. La réduction sera plus sévère en 2030 et s'accroît en 2050 (-10%, -30% respectivement) (Gomez et *al.*, 2009). La sécheresse survient à tout stade de croissance. Elle affecte tous les paramètres de germination et de croissance précoce de jeune plantule, le pourcentage, le taux, le temps moyen de germination, la longueur des pousses et la longueur des racines (Channaoui et *al.*, 2017 et 2019). De même, elle affecte le stade de floraison chez nombreuses cultures notamment le colza (Wani et *al.*, 2012 ; Rollins et *al.*, 2013).

En outre, la fréquence des sécheresses et la mauvaise répartition des pluies constituent la majeure contrainte abiotique de la production de pois chiche (Erchidi et *al.*, 2000). Aussi, elle affecte l'arboriculture fruitière et conduit à des irrégularités de la production (Gleizer et *al.*, 2019). En conséquence, elle abaisse la photosynthèse et l'assimilation du CO<sub>2</sub> (Baïetal., 2010 ; Zhao et *al.*, 2011) et entraîne une avancée générale de la phénologie et une chute des boutons floraux et jeunes fruits. Dans le même contexte, Chmielewski et Rotzer (2001) ont observé un avancement des phases de croissance d'environ 7 jours suite à l'augmentation des températures de 1°C au début de la saison printanière. Aussi, elle affecte la floraison, la qualité des fruits et la sensibilité aux maladies (Roy, 2002 ; Peltonen et *al.*, 2010) et modifie le fonctionnement physiologique des arbres fruitiers (Hilaire et *al.*, 2002) tout en affectant la production (Ghrab et *al.*, 2014) et la phénologie de plusieurs espèces fruitières en climat tempéré (Craparo, 2012). De même, la hausse anormale des températures en hiver 2006 au Maroc a affectée la production arboricole en 2006-2007. Même constat a été éprouvé pour la récolte de raisins suite à la vague de chaleur au cours de l'été de 2007. Selon Benaouda et Belarghi (2002), les terres inaptes à la culture du blé représentent 59% des terres agricoles conduites en pluvial. Elles seront suivant les projections futures (Rcp8.5) 67% en 2050 et 71% d'ici à la fin du siècle. Ces mêmes auteurs ont noté une diminution de 29% des terres aptes de pois chiche à Meknès au Maroc.

Néanmoins, le changement est peu significatif pour l'olivier et l'amandier car ils sont connus par leurs adaptations aux conditions climatiques sévères (Hjmans et *al.*, 2012).

En revanche, l'augmentation des températures moyennes rend possible la production des cultures adaptés à des températures plus élevées (Belanger, 2002). En outre, dans les régions froides et montagneuses les températures élevées conduisent à une augmentation des récoltes et de la production (Bazzaz et Sombroek, 1996). Par contre, dans les régions déjà froides le changement climatique pourrait réduire la productivité (Williamson et *al.*, 2009).

La majorité des études qui s'intéressent au changement climatique se focalisent sur les pays développés (Smith et Tirpack, 1989 ; Mendelsohn et Dinar, 1999). A l'exception de quelques travaux qui ont réuni plusieurs pays (Roenzweig et Parry, 1992 et Darwin et *al.*, 1995), la plupart de ces analyses ont négligé les pays en voie de développement malgré leur vulnérabilité excessive aux changements climatiques à cause de la prédominance de l'agriculture à faible capital et des climats chauds (Mendelsohn et Dinar, 1999).

En somme, l'élévation de la température, la diminution des précipitations, l'augmentation de l'évapotranspiration et la diminution des ressources en eau disponibles sont les facteurs susceptibles d'affecter les rendements des cultures irriguées et pluviales ce qui menace la durabilité économique du secteur agricole.

En Tunisie, la superficie de l'arboriculture pluvial va diminuer de près de 50% par rapport à la superficie actuelle surtout dans le centre et le sud de la Tunisie (Jackson *et al.*, 2015).

Dans la région de Sfax, la plante est soumise sous l'effet du stress hydrique suite aux températures excessives et la sécheresse de l'air. En outre, l'arboriculture est très touchée par le sirocco (vent chaud et sec venant du Sahara) en saison sèche et chaude notamment en juillet et août et juin (olivier et amandier). Ce phénomène induit la chute des feuilles et la dégradation de tout l'appareil végétatif de l'arbre suite à la déshydratation extrême : le cas de la période déficitaire 1999-2001 (Dahech, 2007).

### **I.3.4 Stratégies d'adaptation tunisienne face aux changements climatiques en agriculture et en secteur oléicole**

Les travaux de GIEC s'intéressent des bases scientifiques du changement climatique et des conséquences socio-économiques en termes d'adaptation et vulnérabilité d'atténuation. Dans ce cadre la Tunisie a consenti un effort continu pour réaliser l'inventaire et la projection des émissions de GES pour le secteur d'énergie, l'agriculture, le forêt, les changements d'affectation des sols et les déchets tout en réalisant des études de vulnérabilité et d'adaptation au changement climatique (Sghair *et al.*, 2019).

#### **I.3.4.1 Stratégies d'adaptation en agriculture**

La Tunisie s'est engagée d'élaborer une stratégie de développement durable. Elle a lancé un projet d'appui à la mise en œuvre de la « CCNUCC » sur les changements climatiques en collaboration avec la coopération technique Allemande (GTZ) (King, 2007). L'objectif est d'intégrer les mesures de la CCNUCC et du protocole de Kyoto dans les stratégies et plans de développement des secteurs économiques prioritaires tunisiens. Ainsi, l'objectif spécifique du projet est focalisé sur l'étude de la vulnérabilité et l'identification des principales mesures d'adaptations aux changements climatiques. Il est mis dans le cadre d'une stratégie nationale pour l'adaptation dans le secteur agricole et les ressources naturelles. En effet, la stratégie agricole appuyée par des investissements publics coûteux a permis de réaliser un accroissement indéniable des productions agricoles (développement des cultures intensives, machinismes.) et de répondre en même temps aux exigences économiques et de sécurité alimentaire. Toutefois, la durabilité de l'activité est conditionnée par la conservation des ressources en eau et du sol. En 2007, le ministère de l'agriculture a adopté une stratégie et un plan d'action d'adaptation du secteur agricole aux changements climatiques en relation étroite avec les ressources en eau et des écosystèmes. L'élaboration de cette stratégie est en vue d'atténuer les conséquences graves des changements climatiques (perte des récoltes, l'abondance de certains cultures). L'objectif de la

stratégie est de dépasser la crise à court terme au moyen, d'intégrer la volatilité climatique dans la politique agricole et économique du pays et de gérer les conséquences socio-économiques de manière intégrée. Les principales actions retenues ont pour but : l'adaptation et l'application rigoureuse de la carte agricole (vocation des sols et des cultures), la réalisation des reconversions des terres imposées par le changement climatique et l'utilisation d'assurance indexée aux événements climatiques extrêmes. Cette stratégie a fait l'objet de vulgarisation qui s'est diffusée aux échelles régionales et locales. De nombreux obstacles ont substitué et ont freiné la mise en œuvre de la stratégie d'adaptation comme le manque d'outils et le non-préparation des nouvelles politiques (King, 2007).

Parmi les stratégies utilisées c'est de créer et encourager les associations culturales comme l'agroforesterie. En effet, plusieurs études ont montrée l'impact positif des systèmes agroforestiers sur les stocks de carbone organique du sol. Entre autres, les technologies agroforestières permettent l'amélioration du stockage des carbones dans les arbres et les sols. Cette pratique réduit l'érosion du sol jusqu'à 65%, le lessivage d'azote jusqu'à 28% et fait augmenter l'immobilisation du carbone dans les arbres de 0.1 à 3 tonnes de carbone/ha/an (Palma *et al.*, 2007).

Dans le même contexte, Torquebiau (2017) notent que les systèmes de culture intercalaires se sont considérés comme une pratique agro forestière économe en intrants artificiels qui atténuent l'émission des gaz à effet de serre. En effet, elles permettent l'occupation des sols, la diversification des cultures, la protection du sol contre l'érosion (fortes pluies, vents, pente) et les séquestrations des carbones organiques. Par conséquence, elles aboutissent à l'enrichissement biologique du sol en azote. Aussi, parmi les stratégies utilisées on peut évoquer la maîtrise de la végétation herbacée pour limiter la concurrence subie par les arbres (Cutter et Garret, 1993) et assurer leur protection contre les bris mécaniques (Garrett *et al.*, 1991 ; Dupraz et Liagre, 2008).

#### **I.3.4.2 Stratégies d'adaptation en oléiculture**

La plupart des sources bibliographiques mentionne que l'olivier est une plante « économe de l'eau » (D'Andria *et al.*, 2007 ; Trabelsi, 2013 ; Masmoudi, 2016 ). Malgré ça, plusieurs stratégies d'adaptation ont été adoptées. Parmi eux on peut évoquer les systèmes de cultures intercalaires « olivier-cultures annuelles ». Ils sont considérés comme une pratique prometteuse pour l'adaptation aux changements climatiques à travers l'amélioration de la valorisation des terres. Ce système nécessite un raisonnement de l'occupation temporelle et spatiale des inters-rangs des oliviers en fonction des espèces intercalaires, l'exposition de l'olivieraie et la vigueur

des arbres. En effet, la fève constitue la culture idéale pour l'olivier contrairement aux autres cultures d'hiver et de printemps, car leurs périodes critiques se chevauchent avec la croissance active des fruits et des pousses de l'olivier (Razouk *et al.*, 2016). Dans le même contexte, Daoui *et al.*, (2012) ont rapporté que 75% des oléicultures produisent des cultures annuelles entre les lignes de l'olivier. Ainsi, les interventions techniques concernent les cultures annuelles mais profitent à la production de l'olivier (Daoui et Fateni, 2014).

Également, Razouk *et al.*, 2018 ont montré l'effet positif des cultures légumineuses sur les rendements des oliveraies pluviales au Maroc et cela en comparaison avec la culture de blé puisque la durée du cycle de la fève est plus courte que le blé (Daoui *et al.*, 2012). En effet, les cultures légumineuses permettent la fixation biologique de l'azote, l'économisation de l'énergie fossile et la diminution des gaz à effet de serre (Anonyme, 2009).

De plus, le désherbage mécanique des légumineuses durant le mois de février peut améliorer le stockage de l'eau de pluie bénéfique à l'olivier (Daoui *et al.*, 2012). En outre, la rotation constitue un levier incontournable car elle favorise la fertilité du sol et minimise en même temps le développement de bio-agresseurs.

Également, des études faites en Amérique du Nord et en Europe ont montré le rôle primordial de l'agroforesterie intra-parcellaire à base d'arbres et de cultures annuelles pour faire face au changement climatique et pour augmenter et diversifier les revenus des agriculteurs (Dupraz et Liagre, 2008).

D'autres études ont noté que les agriculteurs introduisent le figuier (*Ficus Carica.*) dans le système oléicole dans les zones arides afin de protéger l'environnement et améliorer la productivité, puisque cet arbre est connu par son exigence en eau et sa bonne adaptation au milieu. (Abichou, 2016). Ainsi, l'adaptation des pratiques agronomiques adéquates permet l'augmentation de la capacité de fixation du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère dans les situations végétales permanentes (biomasse) et dans le sol (11.5 t co<sub>2</sub>/an-1). Également, l'épandage des margines permet d'augmenter du niveau de la matière organique des sols, de diminuer l'instabilité de la structure, d'améliorer l'activité biologique et d'atténuer l'effet de l'érosion éolienne (Ben Rouina *et al.*, 2009 ; Abichou, 2016). Ainsi, il permet le rajeunissement racinaire et le retournement du sol. De même, la valorisation des ressources génétiques locales est très importante puisque la variété Chemlali est la plus rigoureuse et très rustique grâce à son système racinaire bien développé. Cette variété est réputée par sa résistance à la sécheresse, peu productive et caractérisée par une floraison avancée (Abichou, 2016). Dans ce cadre le COI a

lancé dès 1977 un projet intitulé Resgen pour conserver les variétés autochtones grâce à la création de 22 collections nationales et trois internationales. Près de 1400 variétés ont été multipliées pour un travail d'amélioration génétique afin d'obtenir des variétés capables de s'adapter aux nouvelles « exigences climatiques ». Pour cette raison une collaboration a été faite entre COI et CIHEAM en vue d'obtenir un résultat optimal. En outre le COI a lancé dès 2009 un projet intitulé « irrigaulivo » afin d'améliorer la production des petites exploitations à l'aide d'un système d'irrigation durable. Ce système permet la gestion rationnelle de la ressource en eau afin d'optimiser les apports d'eau et le calendrier d'irrigation.

De ce fait, plusieurs études ont montré que l'irrigation déficitaire utilise seulement 70% des besoins hydriques de la plante mais elle permet l'amélioration de la production tout en gardant une meilleure qualité d'huile et de réaliser une économie de l'eau (Sabri et Saghir, 2017 ; Trabelsi, 2018).

## **DEUXIEME CHAPITRE :**

### **CADRE DE L'ETUDE**

Il paraît nécessaire de présenter les caractéristiques climatiques et agronomiques de la zone d'étude, notamment l'oléiculture en pluvial le sujet de la présente étude. Les éléments du climat sont principalement les précipitations, les températures, le vent, l'ensoleillement, la pression atmosphérique. Ensuite, nous présentons, la topographie, la pédologie, l'occupation du sol, l'hydrologie, la géomorphologie et quelques caractéristiques démographiques de la délégation de Menzel Chaker. De plus, nous décrivons la répartition de l'olivier en pluvial et celui en irrigué selon les secteurs tout en mettant en évidence l'interaction entre ces composantes principales du paysage agricole de Menzel Chaker et les différents paramètres cités auparavant. La mise en place des interactions entre toutes les composantes agronomiques, climatiques, pédologiques, géomorphologiques, topographiques, hydrologiques et anthropiques nous aident à répondre à notre problématique de recherche.

#### **Choix de la zone d'étude**

L'espace choisi comme cadre de ce travail correspond à la délégation de Menzel Chaker. Le recours à des limites administratives est dû à la spécificité des données socio-économiques, qui sont fournies par le Commissariat Régional de l'Agriculture (CRDA) uniquement aux échelles administratives : les secteurs ou les délégations. Notre zone d'étude, englobe administrativement 12 secteurs. Elle représente la délégation la plus étendue du gouvernorat de Sfax. Cette zone a été choisie pour plusieurs raisons. D'abord, elle est connue par la dominance de l'oléiculture. En effet, cette culture occupe le premier rang, à Sfax, au niveau des superficies oléicoles, du nombre de pieds et de sa part dans la production oléicole. D'ailleurs, historiquement les protectorats ont préféré de s'installer aux terres les plus fertiles et les plus favorables à la culture de l'olivier. Encore, l'olivier est affecté par les méfaits des changements climatiques qui se manifestent par une fréquence accrue et une durée allongée de la sécheresse. Ces épisodes secs ont été aggravés par de fortes chaleurs nocives à cette culture. De surcroît, la région est connue par l'irrégularité et la faiblesse des pluies c'est pourquoi, une nouvelle culture oléicole conduite en irrigué est apparue ; elle connaît une extension notable. Cette nouvelle culture met la durabilité du secteur oléicole en question suite à la fragilité des ressources en eau et à l'irrigation irrationnelle.

Enfin, parmi les principales motivations, cet espace est peu étudié par les géographes-climatologues et nous estimons avoir une bonne connaissance de ce terrain.

## **II.1 Cadre naturel et humain**

### **Introduction**

Dans ce chapitre de thèse nous présentons, d'abord, le cadre naturel de la délégation de Menzel Chaker. Dans ce cadre, nous exposons les caractéristiques topographiques, géologiques, géomorphologique et pédoclimatiques de la zone d'étude. De plus, nous allons décrire les potentiels hydriques (réseau hydrographie, nappes phréatiques et profondes). Puis, nous exposons le cadre démographique tout en étudiant la distribution des paramètres socio-économiques et démographiques.

#### **II.1.1 Cadre naturel**

##### **II.1.1. Localisation**

La délégation de Menzel Chaker se situe au nord-ouest du gouvernorat de Sfax (fig II.1) entre les parallèles 35°0'0'' Nord et les méridiens 10°19'60'' Est. Notre zone d'étude est limitée à l'Est par la délégation d'Elhencha, au Sud par les délégations de SakitEzit et Aguerb. Elle est bordée du côté Ouest par le gouvernorat Kairouan et la délégation de Bir Ali Ben Khalifa. Quant au Nord, elle est en limite avec le gouvernorat de Mahdia.

Cette délégation, créée en 1956, est constituée administrativement par 12 secteurs : Tlil El Ajla, Bouthadi, El Achache, Elhaj Kacem, Elaouedna, Boujarbouaa, MagilEddarj, BirMallouli, ElbokaaElbidha, Bechka, Chaaleb et Menzel Chaker.

Elle s'étend sur 162000 ha, soit 21.5% de la superficie totale du gouvernorat (CRDA de Sfax, 2020). La zone d'étude s'est caractérisée par l'importance des terres labourables qui représentent 81% de la superficie totale. Alors que les terres non favorables à l'agriculture ne dépassent pas 5%. Elle est connue par la diversité de son activité agricole avec une dominance des secteurs traditionnels. En effet, elle est classée au premier rang au niveau de la production oléicole et l'élevage des ovins. Ainsi, les superficies oléicoles occupent 80% des terres labourables et 65% de la superficie totale de la délégation (103724 ha) (CRDA, 2020). Ces superficies représentent 29% des superficies totales régionales. La plantation de l'olivier est en extension continue. Cette extension a atteint en 2020, à peu près, 260 ha en pluvial et 455 ha en irrigué. En outre, le nombre des oliviers productifs a atteint 975 milles dont 780 milles sont conduits en pluvial et 195 milles en irrigué. Le rendement par arbre est de l'ordre de 40 kg/arbre pour le pluvial et de 100 kg/arbre pour l'irrigué. De plus, le taux moyen de l'extraction d'huile d'olive est environ 25%. tnatÉ donné que la zone d'étude accapare 50% des superficies régionales de l'olive biologique, il s'y trouve 13 huileries biologiques parmi un total de 17 huileries.

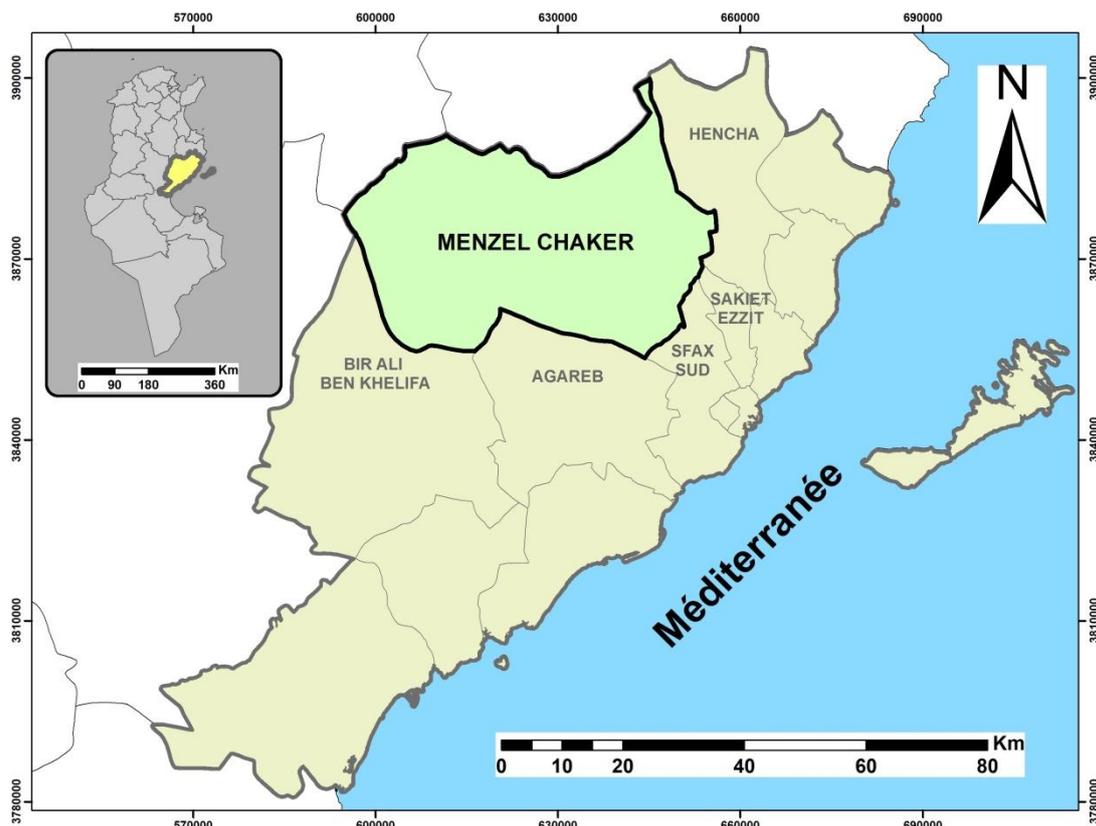


Figure II.1 : Carte de la localisation de la délégation de Menzel Chaker

### II.1.2 Répartition géographique de l'olivier conduit en pluvial et celui conduit en irrigué

Notre zone d'étude compte 975 milles pieds d'oliviers dont 780 milles sont conduits en mode pluvial (CRDA, 2020). Ces oliviers se répartissent sur 12 secteurs. La distinction entre l'olivier en pluvial et celui en irrigué a été faite à partir d'une digitalisation à l'aide du Google Earth Pro des parcelles conduites en irriguées. Puis, nous avons fait une soustraction de ces parcelles de l'ensemble de l'olivier mentionnés par le CRDA dans la carte agricole 2014 pour obtenir enfin la répartition de ceux conduits en pluvial par secteur (fig II.2). D'après cette dernière figure, les nombres les plus élevés ont été observés à Chieleb et Menzel Chaker. L'olivier pluvial de la délégation de Menzel Chaker représente 26.5% du total régional. Le domaine public accapare le taux le plus important avec 45% du total. Ils sont répartis comme suit : 160 milles individus à Bouzouita, 150 milles à Essalema et 37 milles à Bechka (OTD et municipalité de Sfax).

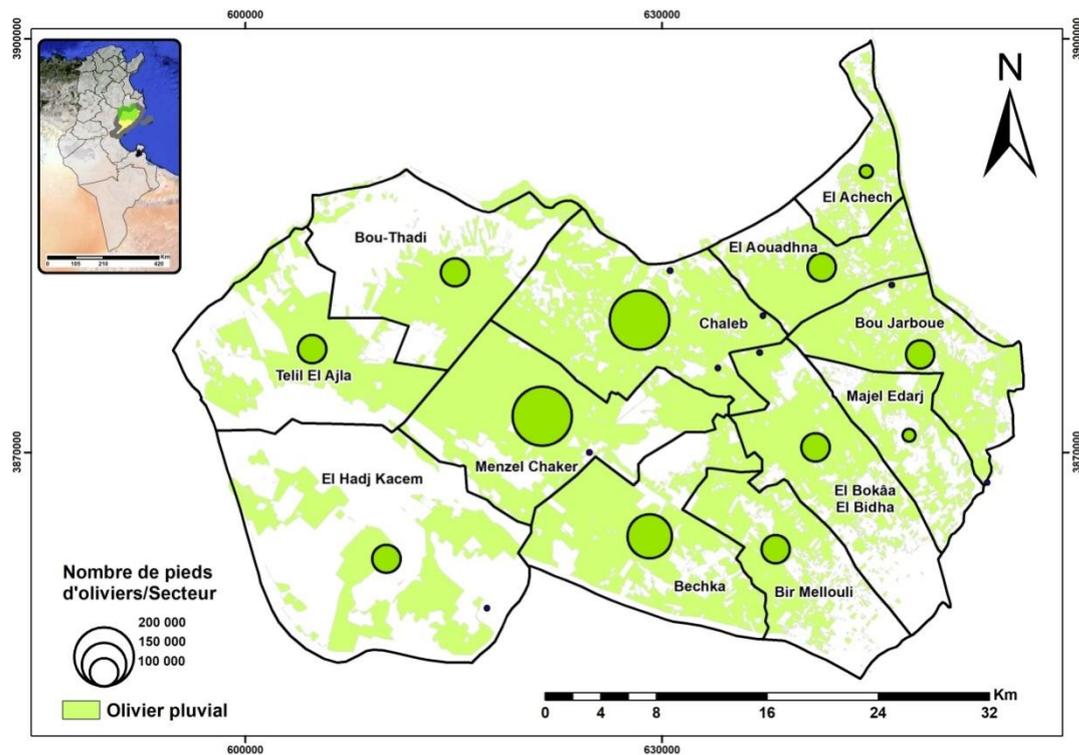


Figure II.2 : Répartition de l'olivier conduit en pluvial dans la délégation de menzel Chaker (travail personnel à partir d'images Google Earth, 2020 et CRDA)

L'olivier est inégalement reparti dans la délégation de Menzel Chaker. Les superficies et le nombre d'olivier varient selon les secteurs. En effet, Chieleb et Menzel Chaker et en deuxième lieu Bechka renferment les superficies et les nombres les plus élevés d'oliviers. En effet, les taux de l'olivier conduit en pluvial du total de la délégation par nombre de sdeip sont comme suit : 14, 13 et 11% d'une manière respective. Par contre, les valeurs les plus basses ont été enregistrées dans les secteurs d'Achech et MajelEdarj (3et 4% respectivement) (fig II.3). Quant à celles de Boujarboue, Elhajkacem, TlilAlajla et BokaaElbitha sont très proches et culminent entre 147399 et 137232 oliviers (tabII.1).

Tableau II.1 : Répartition de la superficie et du nombre par secteur d'olivier (source CRDA, 2020)

Secteurs	Superficies (Ha)	Nombre de pieds d'oliviers
<b>Bechka</b>	10864	164691
<b>Bir Elmallou</b>	6170	104892
<b>Boujarboue</b>	8671	121985
<b>Bouthadi</b>	7176	147399
<b>Chieleb</b>	13813	234820
<b>Elachech</b>	3087	52475
<b>Elaouedna</b>	6046	102787
<b>Elbokaa Elb</b>	8072	137232
<b>Elhajkacem</b>	8320	141442
<b>Menzel Chal</b>	12879	218938
<b>Telil Elajla</b>	8159	138710
<b>Majel Edarj</b>	3860	65617

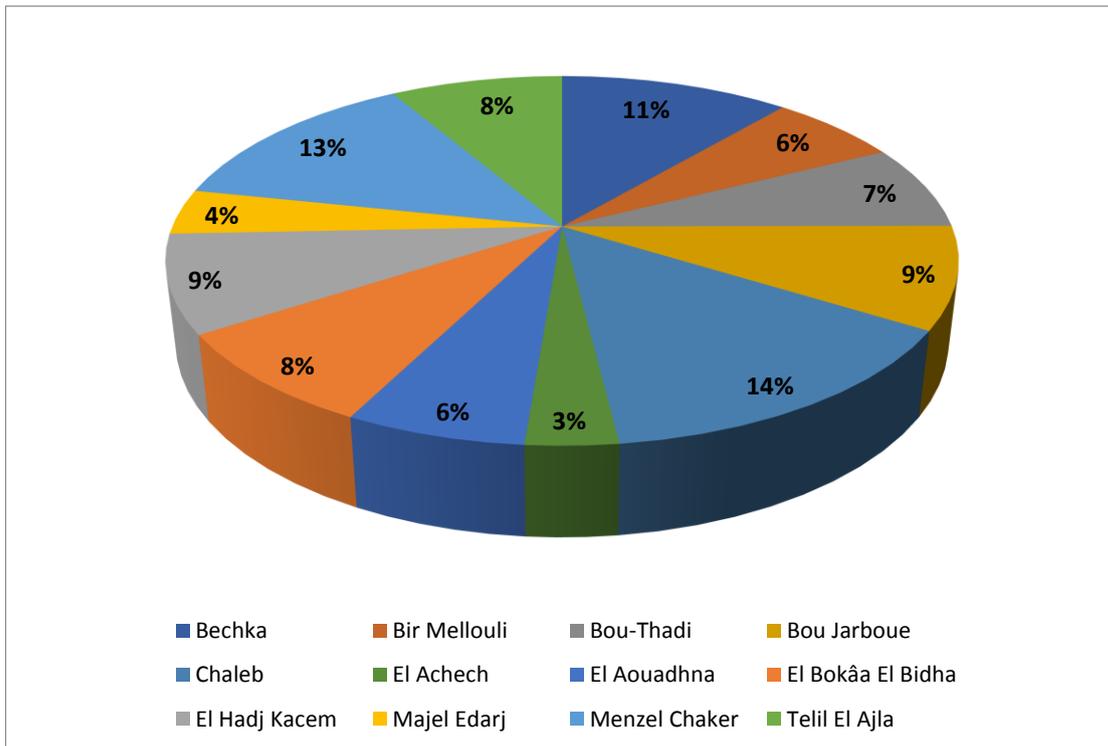


Figure II.3: Répartition de l’olivier conduit en pluvial selon le nombre de pieds par secteur

En revanche, l’olivier en irrigué compte 195 milles oliviers soit 20% du nombre total de la délégation et 19.39% du nombre total de l’olivier en irrigué à l’échelle du gouvernorat de Sfax (CRDA, Sfax, 2021). En s’appuyant sur le travail de digitalisation des seiarevilo réalisé en 2020, les superficies en irriguées sont égales à 8722 hectares réparties sur 198 polygones. Les parcelles irriguées se concentrent principalement dans les secteurs d’Elhajkacem, Menzel Chaker et Chieleb. Par contre, les secteurs d’ElbokaaElbidha et Bouthadi renferment les superficies irriguées les moins importantes (figII.4). Notant que l’extension de l’olivier en irrigué s’est accentué durant les dernières années expliquée d’une part, par la persistance des longues périodes de sécheresses et l’occurrence des vagues de chaleur estivale comme celle de l’été 2021 et d’autre part, par la disponibilité des équipements d’irrigation, des forages et de l’énergie euqïatlovotohp. Cette extension a touché la majorité de l’olivier en pluvial notamment celui des propriétés privées. Les terres publiques sont purement pluviales. Pour la ferme de Bechka, la municipalité de Sfax comme propriétaire de cette ferme a programmé, à court terme, un projet d’irrigation basé sur un sondage profond équipé par un réseau d’installation afin d’irriguer les oliviers.

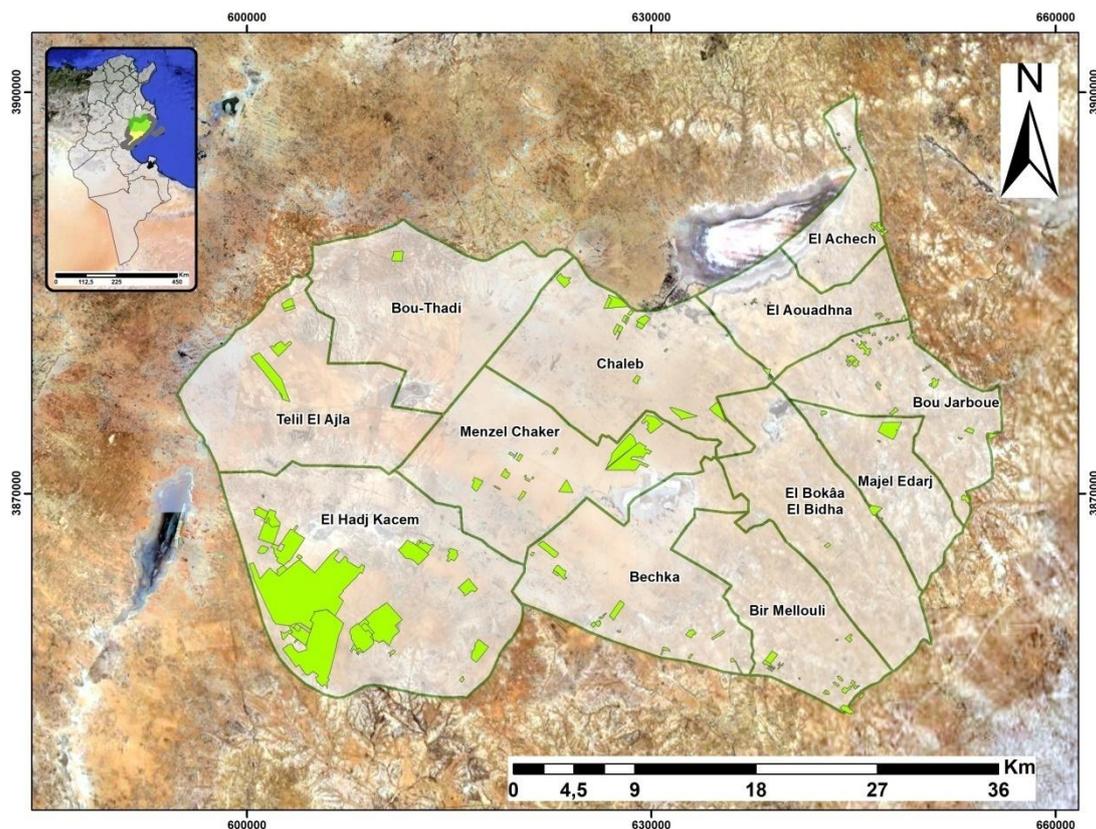


Figure II.4 : Répartition de l'olivier conduit en irrigué dans la délégation de Menzel chaker (source, digitalisation sur Google Earth, 2020)

### II.1.3 Topographie, géologie et géomorphologie

La zone d'étude appartient à la basse steppe tunisienne précisément la plaine de Sfax. La topographie est monotone, bas et peu accidenté (Bouaaziz, 2008). Mais, en réalité elle est peu loin régulière. En entrant dans les détails, plusieurs éléments topographiques apparaissent. Le paysage est constitué de collines qui sont plus visible sur le terrain et des dépressions parfois occupées par des terres humides de type sebkha et chott. Cette irrégularité va influencer forcément l'écoulement des eaux pluviales. L'altitude dépasse rarement 250m notamment dans la partie nord du secteur de Bouthadi. La majeure partie de la zone d'étude s'étend sur de larges plaines qui ne dépassent pas 150m d'altitude. La topographie s'élève progressivement de l'est et du sud vers le nord et l'ouest. Les pentes sont faibles et rarement atteint 15° (fig II.5).

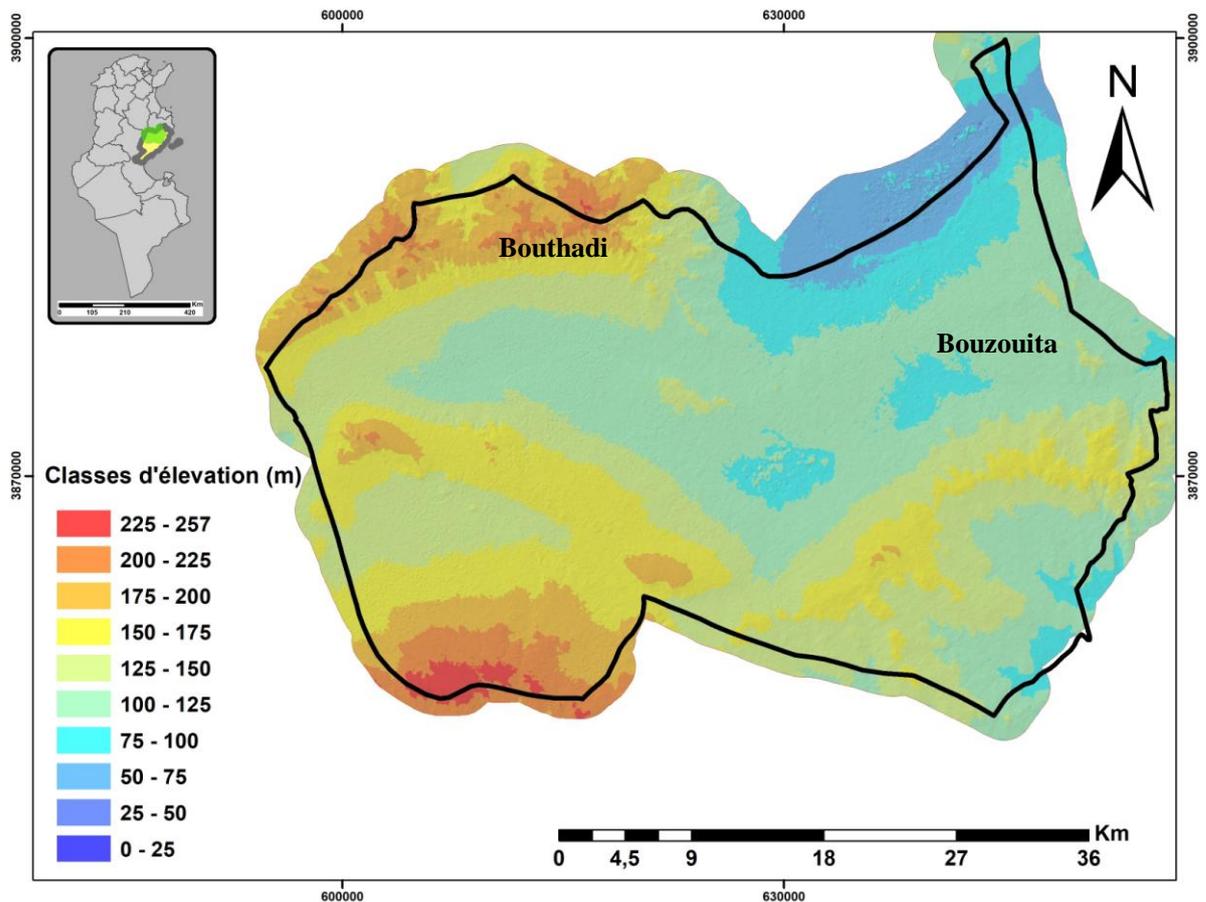


Figure II.5 : Modèle Numérique du Terrain de la délégation de Menzel Chaker(*source, SRTM*)

Au niveau de la géologie et géomorphologie, la zone d'étude fait partie de la emrof-etalp de Sfax, présentant un dispositif géologique peu diversifié. La plupart des affluents géologiques sont d'origines quaternaires. Cependant, les formations tertiaires (Moi-Pliocène) n'occupent que des endroits restreints. Elles se sont observées près de la limite sud de la délégation en continuité avec les formations d'Agueb et au nord dans des endroits limitrophes avec le gouvernorat du Kairouan. tnatÉ donné que les formations lithologiques sont peu résistances. Elles forment un champ favorable à l'érosion hydrique et éolienne notamment dans les alluvions actuelles et récentes et les dépressions endoréiques (Atlas de Sfax, 2013).

#### II.1.4 Climat

Le diagramme ombrothermique de la station de Sfax, élaboré selon la formule de Gaussen<sup>3</sup> ( $P = 2T$ ), confirme l'aspect aride de la zone d'étude. Il montre la prédominance de la saison sèche toute l'année (fig II.6). L'intensité de cette saison est plus marquée en période estivale. Ainsi, l'évapotranspiration potentielle est très élevée (environ 1500mm). Elle s'accroît également pendant la saison estivale (SIEE, 2019).

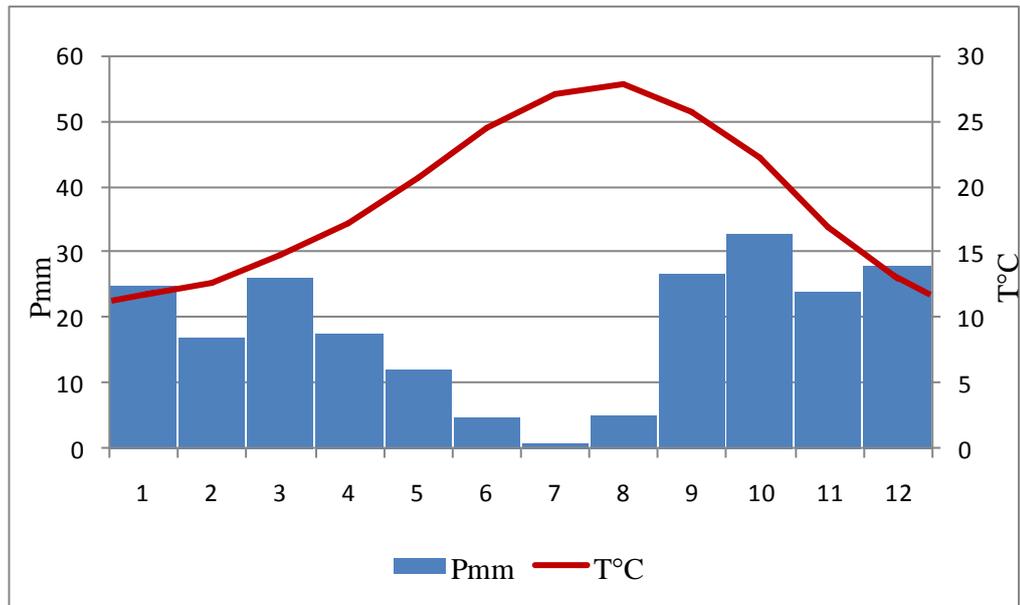


Figure II.6 : Diagramme ombrothermique à Sfax (période 1990-2020, données INM).

### II.1.4.1 Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles sont égales à 200mm/an entre 1976 et 2022. Toutefois, ces moyennes considérées faibles, cachent des irrégularités importantes notamment à l'échelle annuelle. L'écart type est égal à 94mm et les pluviométries annuelles varient entre un minimum de 72mm en 1981 et un maximum de 618mm en 1990 (fig II.7).

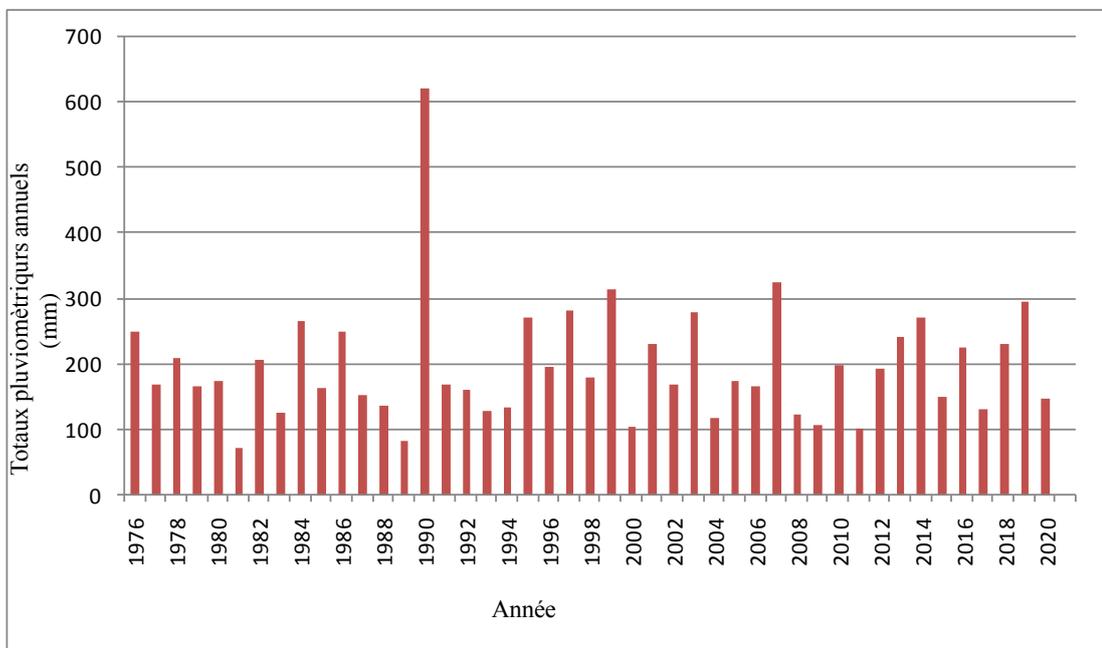


Figure II.7 : Répartition interannuelle des totaux pluviométriques à Sfax entre 1976 et 2020 (données INM).

A l'échelle saisonnière, les pluies sont inégalement réparties. Les moyennes les plus faibles des pluies sont observées en saison estivale avec seulement 13.2mm. Par contre, les quantités importantes se répartissent sur les saisons d'automne, d'hiver et de printemps (68.2, 60.2 et 51.2 mm respectivement). Globalement l'automne reste la saison la plus arrosée et derrière lui se classe l'hiver. Ces données prouvent la forte variabilité interannuelle des précipitations saisonnières qui se traduit par un coefficient de variation de 141% en été, 101% en hiver et d'environ 70% pour les deux autres saisons (fig II.8).

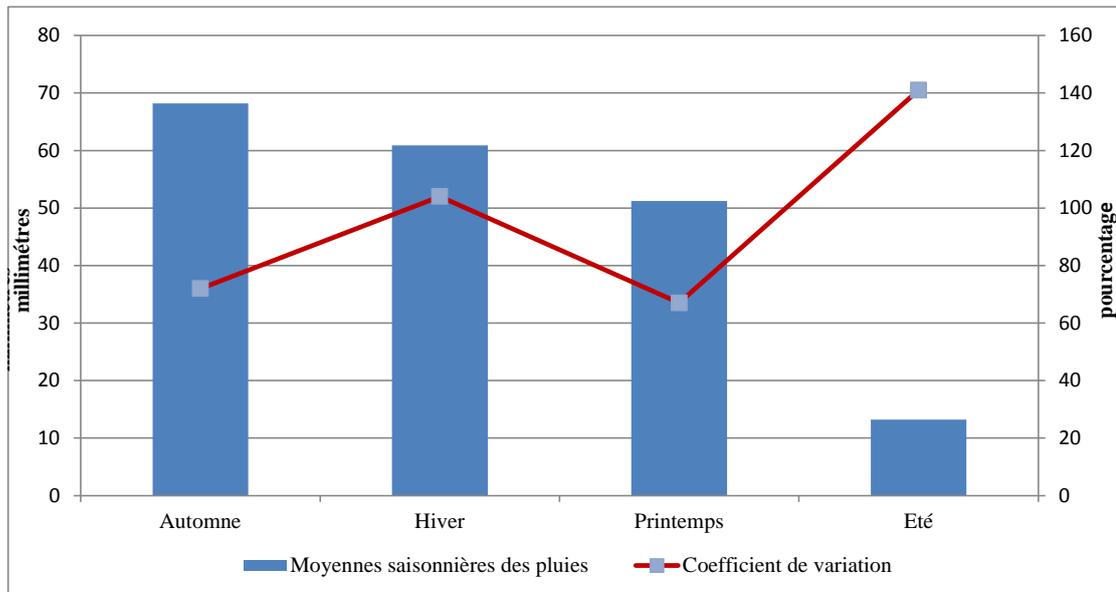


Figure II.8: Totaux pluviométriques saisonniers (mm) et leurs coefficients de variation (%) (période 1976-2020, données INM)

Quant à l'échelle mensuelle, le mois d'octobre est le plus pluvieux, il reçoit en moyenne 28.9mm suivi par celui de mars avec 24.9mm. En contrepartie, le mois de juillet est considéré le plus sec avec des quantités inférieures à 1mm (fig II.9). Bref, ces variations se sont observées à différents pas du temps tout en présentant des régimes saisonniers et mensuels particulières.

L'irrégularité et la faiblesse des pluies ont été aggravées d'une part par l'évaporation intense qui est très influencée par les fortes températures et d'autres parts par la durée importante de l'ensoleillement.

#### II.1-4.2 Pression atmosphériques et vents

Selon les mesures effectuées à la station Sfax El Maaou entre 1970 et 2002, la moyenne annuelle est égale à 1013,9 hPa (Dahech, 2007). Elle est égale à 1014 hPa entre 1975-2016 selon Euch, 2021. Étant donné que la pression atmosphérique moyenne se caractérise par une variabilité importante. A l'échelle saisonnière, les pressions les plus fortes sont enregistrées en hiver et en automne (1017 et 1014 hPa respectivement) (Dahech, 2007). Les situations de marais

barométriques prédominent en été et au printemps enregistrant des moyennes de 1012,4 et 1012,2 hPa. La pression atmosphérique est en hausse progressive notamment en saison automnale. Étant donné que cette pression est faible pendant la première moitié de l'automne (septembre-octobre) et elle est élevée pendant la deuxième moitié pour atteindre 1018 hPa en mois de novembre. Quant à l'échelle mensuelle, la pression maximale est enregistrée en janvier avec 1017,6 hPa et la minimale en avril avec 1011,3 hPa. En effet, la fréquence des situations anticycloniques induit à une vitesse moyenne faible du vent qui est inférieure à 3,5 m/s (Dahech, 2007 ; Euch, 2021).

Entre autres, les études de Bousnina, 1997 basées sur des données issues de l'INM entre 1951 et 1970, ont montré que les vents soufflent de toutes les directions avec des vitesses quasi uniformes. Cependant, les vents les plus forts et les plus fréquents sont d'origines N, NW et NE (Zouari et *al.*, 1995 ; Bousnina, 1997). Mais, d'après les études de Dahech, 2007, et en s'appuyant sur des données acquises de la station de Sfax Elmaou durant la période 1970-2002, les vents prédominants sont d'origine Est. Ces vents représentent 12%, suivi des vents de l'ouest avec 7.4% puis les vents venant du Nord avec 6.2%. La direction du vent varie selon les saisons. Elle est orientale à nord orientale durant le printemps et l'été et occidentale à Nord occidentale en automne et en hiver. Le calme représente 15.3%. Globalement, les vitesses des vents sont très faibles. Leur vitesse instantanée varie entre 1 et 16m/s pour tous les mois. La vitesse moyenne la plus faible est enregistrée en septembre avec 5m/s. Quant aux vents forts, ils soufflent en janvier, mars, avril et novembre (SIEE, 2019). En outre, notre zone d'étude est soumise à l'effet du sirocco qui provient du Sahara. Mais aussi, comme toutes régions continentales du pays, le vent soufflant du SE le «Chlouk se convertit en sirocco» (Ben Boubaker, 1998). La fréquence du sirocco est observée entre mai et août. Durant cette période de l'année, les situations atmosphériques favorables à son advection sont les plus probables. De même, la persistance du sirocco est observée durant la saison chaude. La durée de ces séquences varie entre 2 et 6 jours successifs. Mais, la fréquence des séquences de deux jours est la plus observée (Dahech, 2007). La durée de ces séquences est plus longue dans les régions intérieures (18 jours à Chaal et 25 jours à Kasserine) (Dahech *al.*, 2006a). Entre autres, le vent de sable est l'une des caractéristiques des latitudes arides et semi-arides (Dubief, 1952 et 1953). Sa genèse est en fonction d'une dualité climatiques et édaphiques (Oliva et *al.*, 1983 ; Legrand et *al.*, 1983 ; Coudé-Gousson, 1990 et 1991 in Dahech, 2007).

### II.1.4.3 Températures, insolation, humidité relative et couverture nuageuse.

Toutes les stations méditerranéennes y compris notre zone d'étude se caractérisent par un été chaud et sec et un hiver doux et relativement arrosé. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 20°C. L'été se caractérise par sa forte chaleur. Les températures moyennes s'élèvent à 27°C (figII.10).

Les moyennes diurnes enregistrées sont égales à 29°C. Les températures estivales dépassent la moyenne annuelle par 7°. Les températures maximales peuvent dépasser facilement les 40°C, se sont très nocifs pour l'oléiculture pluviale. Les minimas sont observés pendant la nuit et ne dépassent 20°C qu'en mois de juillet, août et septembre (figII.11).

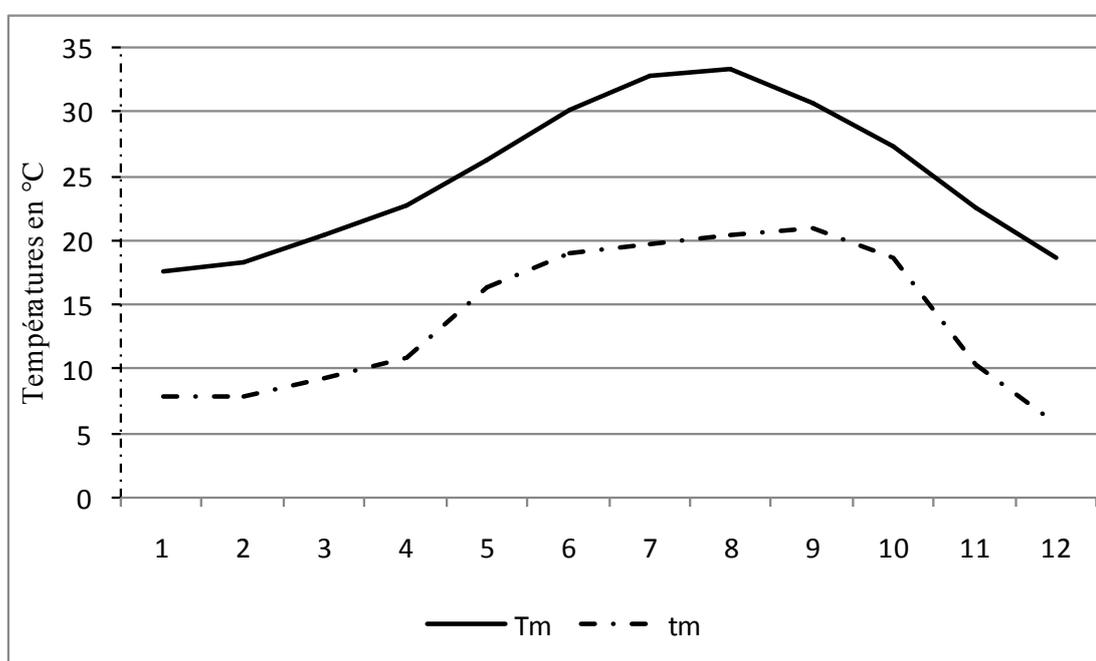


Figure II.10 : Répartition mensuelle des températures minimales (tm) et maximales (Tm) à Sfax (période moyenne 1990-2020, données INM).

Pendant cette saison, un vent chaud d'origine saharien, appelé sirocco, apparaît et aboutit à l'élévation des températures (Dahech, 2007). Les moyennes thermiques interannuelles montrent une faible variabilité sauf une très légère hausse a été observée au niveau des températures minimales (figII.11).

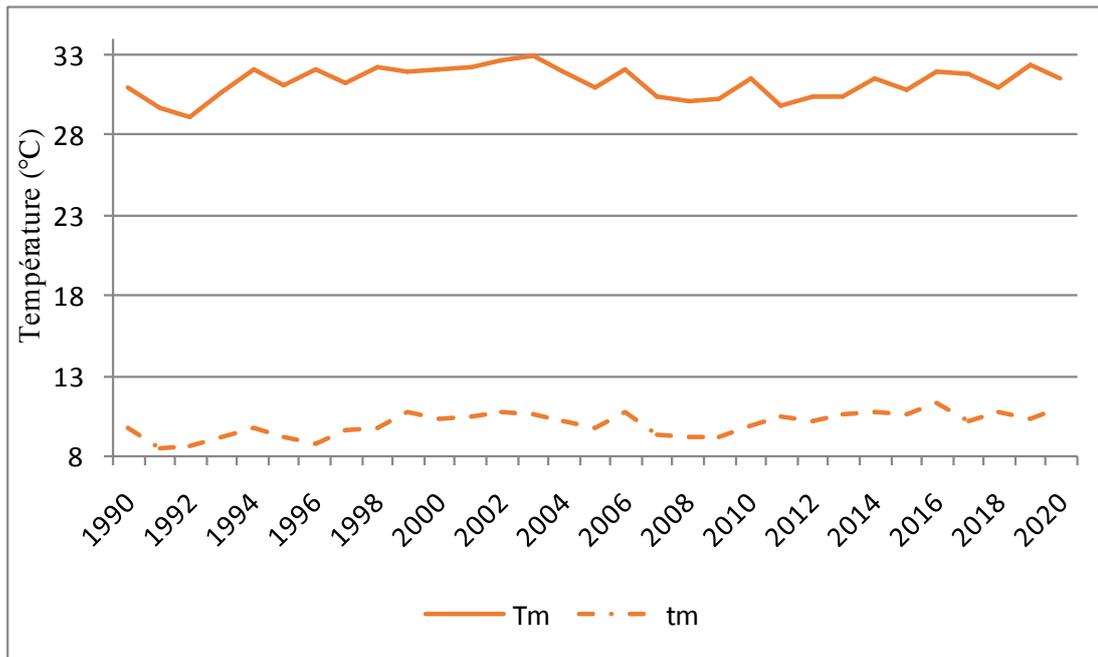


Figure II.11: Répartition interannuelle des températures minimales (tm) et maximales (Tm) à Sfax (période 1990-2020, données INM).

Cependant, en hiver la température moyenne est de 12,7°C. Les températures varient entre des maximas diurnes autour de 16.9 et des minimas nocturnes qui chutent au 7.8 mais la baisse des températures moyennes jamais chuté au-dessous de 10°C. Étant donné que janvier et février sont les mois les plus froids de l'année (12.1 et 12.7 °C respectivement) (figII.10). Néanmoins, des baisses remarquables des températures au-dessous de 0°ont été enregistrées occasionnellement comme le cas des moyennes de décembre 1951 et janvier 1957 (-1 et -2°C respectivement) (Bousnina, 1997 in Dahech, 2007).

Concernant l'ensoleillement, la durée annuelle moyenne est élevée (3185h). En effet, l'indice moyen d'insolation représente 72% pour la période 1970-2002. L'ensoleillement oscille entre 6 et 5heures/jours en décembre et de 11 à 12 heures/jours en juillet. A partir du mois du mai il devient un peu stable et atteint le maximum en juillet avec un indice d'ensoleillement égal à 87%, soit 378 heures (Dahech, 2007).

## II.1.5 Hydrographie

### II.1.5.1 Réseau hydrographique

Le caractère monotone, bas et peu accidenté a largement déterminé les caractéristiques hydrologiques. Les cours d'eau sont concentrés dans la partie nord où convergent des montagnes limitrophes du gouvernorat de Kairouan. Également, dans la partie sud de la zone d'étude notamment au secteur d'ElBokaaElbidha, les collines et les petites chaînes montagneuses

présentent un chevelu hydrologique dense et relativement encaissé par rapport à la partie orientale. La majorité des oueds sont endoréiques, débouchant dans des dépressions fermées soit sous forme de cuvettes synclinales soit de type sebkha et garaa (El Ghara, Boujmal et En Njayla) (fig II.12). La mobilisation des eaux de surfaces constitue essentiellement des eaux de ruissellements (DGAT, 2013). Elle se fait uniquement par un lac collinaire à capacité de rétention de 150 milles/m<sup>3</sup> (CRDA, 2020).

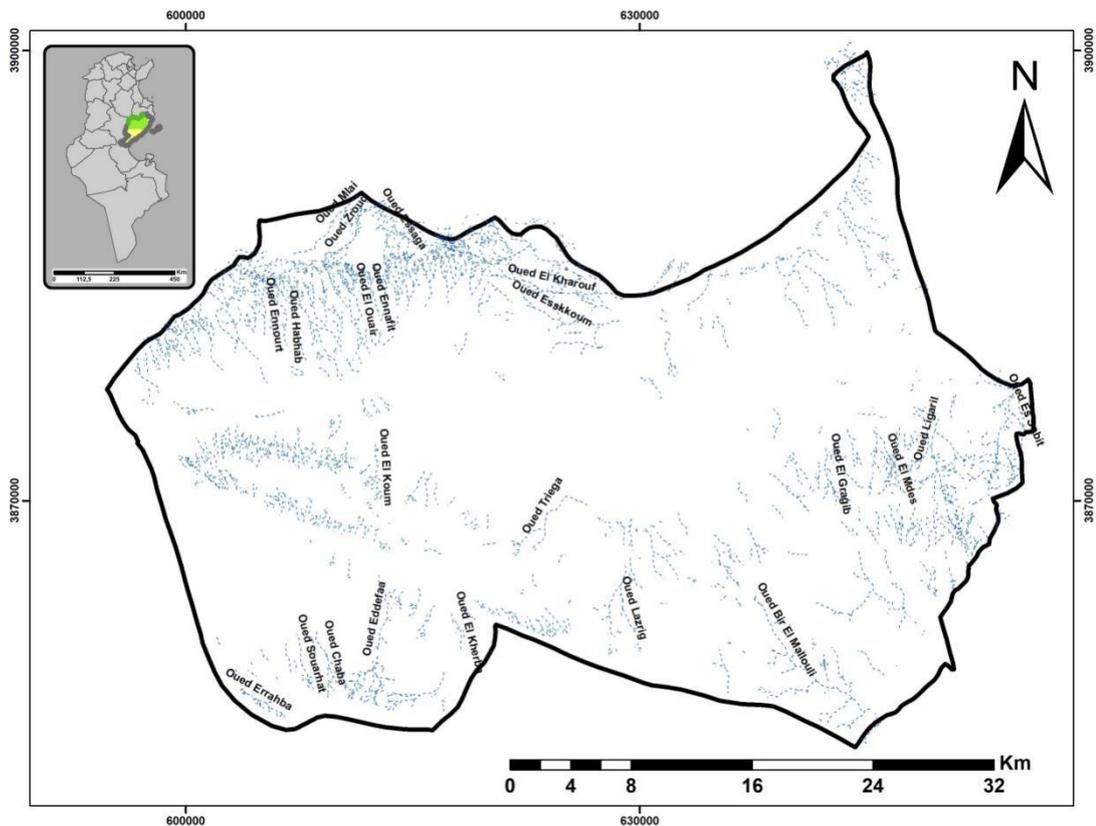


Figure II.12 : Carte du réseau hydrographique de la délégation de Menzel Chaker (source, CRDA)

### II.1.5.2 Nappes phréatiques, semi-profondes et profondes

Les nappes sont classées en trois types suivant le niveau de profondeur. Les nappes phréatiques sont de profondeur au-dessous de 70 mètres, les nappes semi-profondes ou intermédiaires culminent entre 70 et 200 mètres. La profondeur des nappes profondes est entre 200 et 600 mètres. Ces dernières remontent aux formations quaternaires. Dans notre zone d'étude elles sont connues sous les noms de MeddaliaBouthadi, Boujmal et Bechka-Elhajkacem. La mobilisation des eaux de ces nappes se fait à l'aide des puits. Ces derniers se regroupent en deux : certains équipés et d'autres non équipés. Leur nombre total est comme suit : 470, 124, 170 et 97 respectivement. Malgré la médiocrité des quantités et des qualités de ces nappes, elles

connaissent une surexploitation allant parfois à deux fois le volume des ressources (volume exploité de la nappe/ volume de ressources) (CRDA, 2020) (tabII.2).

Table II.2 : Exploitations et nombre des puits en 2011 (CRDA, 2020)

<b>Nappes phréatiques</b>	<b>Ressources (millions m3)</b>	<b>exploitation (millions m3)</b>	<b>Rapport (exploitation/ressources)</b>	<b>Nombre des puits</b>
<b>Meddalia</b>	<b>1.94</b>	<b>2.18</b>	<b>1.12</b>	<b>461</b>
<b>Bouthadi</b>	<b>1.5</b>	<b>0.42</b>	<b>0.28</b>	<b>103</b>
<b>Boujmal</b>	<b>1.24</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>159</b>
<b>Bechka-Hajkacem</b>	<b>1.2</b>	<b>0.44</b>	<b>0.37</b>	<b>96</b>

## **II.1.5 Pédologie et occupation du sol**

### **1.5.1 Pédologie**

En majorité, les sols sont d'origine éolienne. Ils sont légers, sableux, sablo-calcaires et pré humides. Les sols sableux sont faciles à travailler notamment par les labours. Ils se situent à TlilAlajla, et à la partie Est de la zone d'étude. Le phénomène de déflation est très répandu dans les vastes champs d'olivier de la zone d'étude. Globalement les sols sont peu humides et défavorables à la mise en place d'un couvert végétal naturel dense qui peut limiter l'érosion et assurer les bons parcours pour l'élevage. Les sols iso humiques prédominent et les dépressions se caractérisent par des sols halomorphes. En second lieu, dominent les sols minéraux bruts (lithosols/régosols) notamment à Elhajkacem, TlilAlajla, MejlEdarjet Boujarboue (Carte agricole, 2014). Quant aux sols gypseux, ils ne représentent qu'un taux limité, situés essentiellement autour des sebkhas, à Elhajkacem et au nord du secteur de Chieleb. Les sols rendzines se situent à Bouthadi et entre Aouedna et Achech. Aussi, les sols bruns calcaire se trouvent à Bouthadi et au nord de Chieleb et dans des endroits très limités à la partie Est (figII.13).

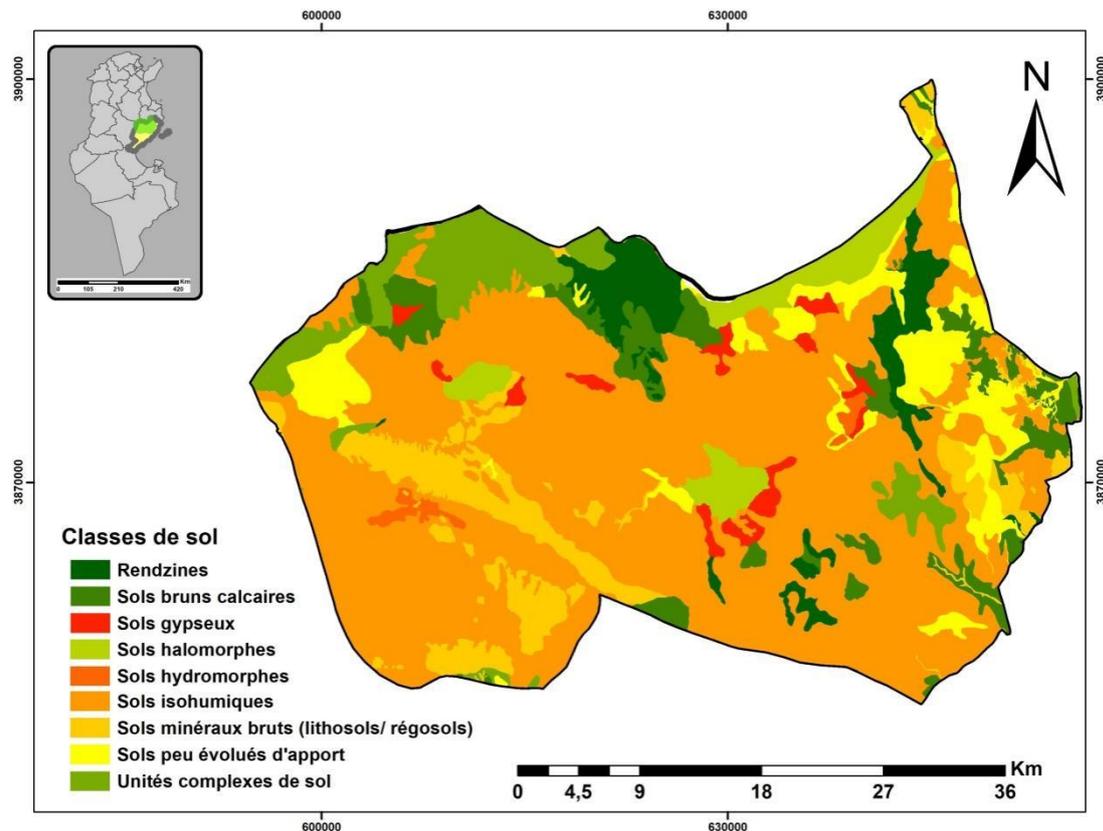


Figure II.13 : Carte pédologique de la délégation de Menzel Chaker (source, CRDA)

### II.1.6 Occupation du sol

Le paysage de notre zone d'étude est dominé par l'oléiculture. Elle se répartie dans toute la zone. En second lieu, on trouve les vergers. Elles occupent la partie Est et particulièrement le sud-est de la délégation. En effet, la présence des vergers est observée dans le secteur d'ElbokaaElbitha. Le couvert végétal est influencé par les caractéristiques physiques (topographiques, hydrologiques et géologiques), biochimiques (climat, sol) et anthropiques. Ce couvert est clairsemé, il apparaît clairement sur les reliefs au sud de la zone d'étude (DGAT, 2013).

En outre, ces couverts sont observés dans les parcours dominant la partie nord-ouest et qui s'étalent au nord-ouest de Bechka jusqu'au nord de Bouthadi passant par Elhajkacem et TlilElajla. Une partie de ces terres est exploitée dans la culture des céréales. Quant aux forêts, ils occupent des espaces très restreints notamment au secteur d'Elhajkacem. Les cultures maraichères sont éparpillées dans la zone d'étude. Une partie de ces cultures est observée dans les olivierais.

Nous notons une quasi-absence des sols nus et des garaas dans la zone d'étude. Les plus importants se situent à TlilElajla, à Elhajkacem et à Bechka. Par contre, on y trouve plusieurs sebkhas telles que celles de Boujmel, El Ghara, En Nwejl et d'autres petites sebkhas éparpillées

dans l'espace. Enfin, l'espace bâti est très limité dans cette zone, il est observé au centre de la délégation et dans quelques petits villages comme Bechka, Sidi litaym, Boujarboue, Achech et Bouthadi ce qui confirme l'aspect rural de notre zone d'étude (fig II.14).

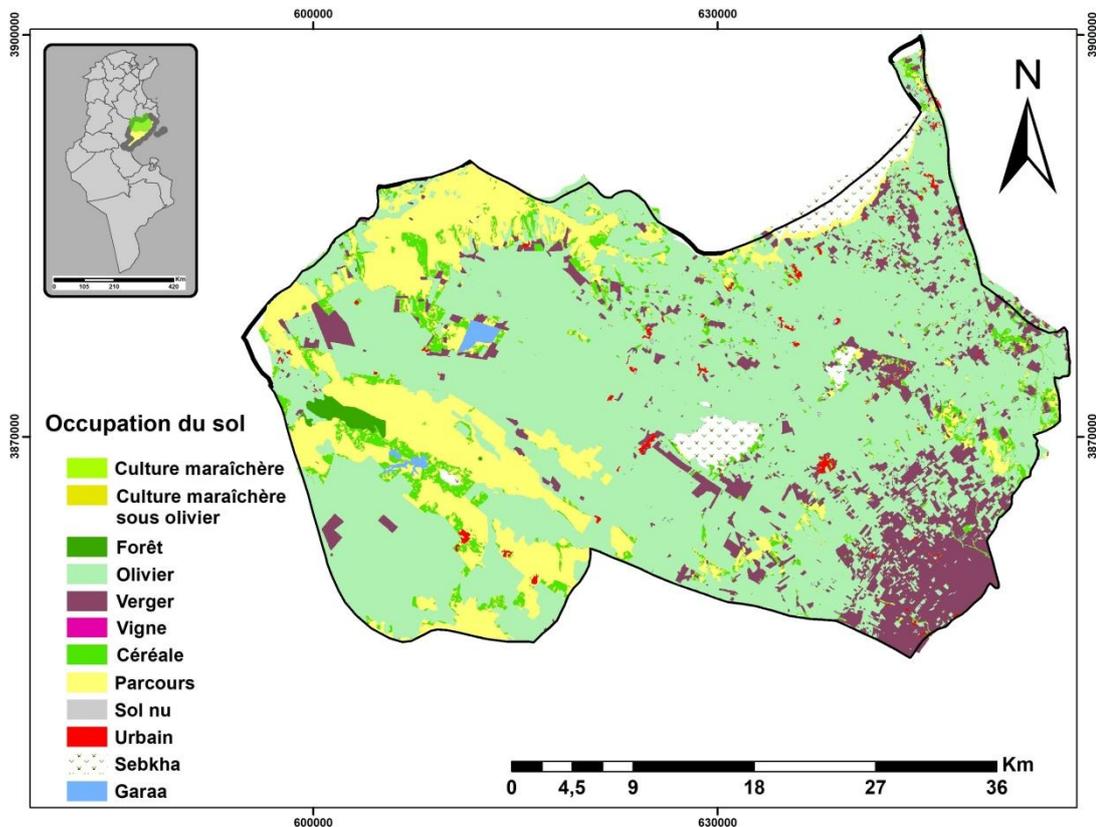


Figure II.14 : Carte de l'occupation du sol de la délégation de Menzel Chaker (source, CRDA, 2014)

## II.2 Cadre anthropique : Une société agropastorale

La délégation de Menzel Chaker compte seulement 37368 habitants soit 3.91% de la population du gouvernorat de Sfax (INS, 2014). De ce fait, elle enregistre le taux d'urbanisation le plus bas au niveau régional. Ce taux a connu une légère régression de 6.48 en 2004 à 6.09 en 2014. Le secteur agricole reste primordial et prédomine l'économie de la région, notamment l'oléiculture et l'élevage des ovins. Il est classé le deuxième après les activités de bâtiments et de travaux publics avec 27,03 et 27,69 d'une manière respective. Par contre, l'activité industrielle manufacturière représente seulement 10.44% du total des occupés de la tranche d'âge supérieure ou égale à 15 ans (fig II.15). C'est pourquoi, le solde migratoire est déficitaire avec -1620 entre 2009 et 2014 reflétant l'aspect répulsif de la région marginalisée et moins développée que les autres. De plus, le taux de scolarisation de la tranche d'âge (6-14 ans) est égal à 87,8, il est le plus bas au niveau du gouvernorat de Sfax. Également, le taux de scolarisation en éducation supérieure est d'environ de 4%, il est très faible par rapport à la moyenne régionale (12.51%). Dans le même contexte, le taux d'analphabétisme de la tranche d'âge supérieure ou égale à 10

ans, est de l'ordre de 35,1%. Il est classé parmi les taux les plus élevés à l'échelle régionale en occupant le deuxième rang après Bir Ali Ben Khalifa. En revanche, le taux d'activité de la tranche d'âgesupérieure ou égale à 15 ans , est égale à 38.8%. Il est considéré commetrès faible ce qui place Menzel Chaker parmi les délégations qui ont de faible taux d'activité à l'échelle régionale. Cependant, le taux de chômage de la catégorie d'age supérieure ou égale à 15 ans, est égale à 11.84%, soit quasiment le même que la moyenne régionale.

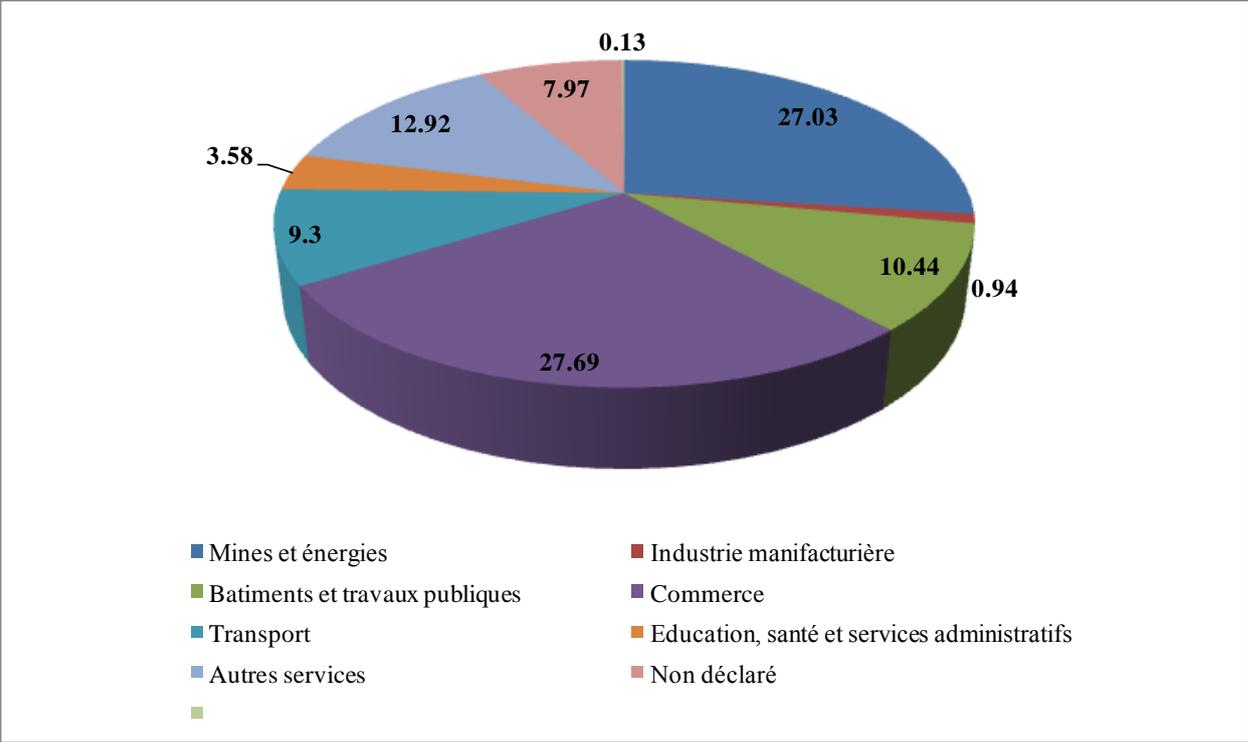


Figure II.15: Répartition des occupés de la tranche d'age supérieure ou égale à 15 ans selon le secteur d'activité (RGPH, 2014)

## Troisième chapitre: Approches méthodologiques

### Introduction

Les données utilisées dans ce travail peuvent être classées en plusieurs types : les données météorologiques (pluviométrie, vent, température, point rosée), celles portant sur les productions annuelles de l'olivier et celles décrivant les caractéristiques physiques, agronomiques et démographiques de la zone d'étude. Certaines sont issues du réseau conventionnel et des organismes publics, d'autres proviennent des campagnes de mesures, des enquêtes, des sorties du terrain et des analyses du sol.

### III.1 Données pluviométriques et méthodes utilisées pour l'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la région de Sfax :

#### III.1.1 Données

Les données ont été fournies par la direction générale des ressources en eau (Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, MARHP) et l'Institut National de la Météorologie (INM). Les données manquantes sont très rares puisqu'elles représentent environ 1%. Il s'agit de sept séries pluviométriques journalières sur la période 1976-2019 soit 44 ans pour sept stations (Sfax Elmaou, Bir Ali, Menzel Chaker et Elhencha, Borj la Marne, Bouthadi et Dune de salinité) (tab III.1).

Tableau III.1 : Localisation géographique et caractéristiques des stations pluviométriques (*Données, Google Earth Pro*)

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)
Bir Ali	10°05'	34°44'	177
Bouthadi	10°16'	35°05'	167
Dune de salinité	10°19'	34°59'	114
Menzel Chaker	10°23'	34°58'	105
Borj la Marne	10°33'	35°03'	109
Sfax	10°41'	34°43'	22
Elhencha	10°44'	35°07'	54

Les stations de Sfax Elmaou, Bir Ali, Menzel Chaker et Elhencha se situent dans un milieu périurbain. Par contre, les stations de Borj la Marne, Bouthadi et Dune de salinité se situent dans un milieu purement rural. A l'exception de la station de Sfax Elmaou située à proximité de la mer, toutes les stations se situent à l'intérieur à une distance de 30 à 50 km du littoral (fig III.1).



Figure III.1: Localisation des stations météorologiques et des postes pluviométriques de la zone d'étude

### III.1.2 Méthodes :

Nous avons utilisé divers traitements statistiques selon nos objectifs et le nombre de variables à traiter. En effet, plusieurs techniques statistiques descriptives élémentaires ont été utilisées (un variées, bi variées et multi variée). Ces techniques statistiques ont été utilisées pour cerner la variabilité spatio-temporelle des pluies. Des corrélations linéaires simples entre les stations ont été établies pour mettre en relief l'évolution des pluies aux échelles annuelles et mensuelles. Puis ont été calculées, les quintiles permettant de diviser une série statistique en cinq groupes ayant le même nombre d'observations pour réaliser une typologie multi scalaire des précipitations (tab III.2). Dans le même contexte, nous avons fait recours à la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI) de type « Matrice Bertin » (Nouaceur et *al.*, 2013). En effet, un recordage des valeurs grâce à une gamme de couleurs est effectué. Puis, nous avons suivi une procédure de reordonnement (permutations de colonnes) pour obtenir un classement afin de visualiser une structure colorée homogène selon deux dimensions (temps et espace). Également, nous avons opté pour des classifications ascendantes hiérarchiques afin d'étudier la variabilité spatiale au niveau annuel et mensuel et dégager d'éventuelles nuances locales.

Tableau III.2 : Distribution et qualification des cumuls pluviométriques annuels selon les quintiles.

Seuils	Q1	Q2	Q3 (Médiane)	Q4	Q5
Distribution des valeurs en %	<=20	>20-40	>40-60	>60-80	>=80
Cumuls pluviométriques annuels	Très secs	Secs	Normaux	Légèrement supérieure à la moyenne	Largement supérieure à la moyenne

Par ailleurs, différents indices des extrêmes climatiques ont été calculés. Il s'agit de 27 indices recommandés par « Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)» de l'Organisation Mondiale de la Météorologie. Nous avons calculé 11 indices liés aux précipitations journalières (Tab III.3).

Nous étudions la variabilité inter annuelle des précipitations en recherchant d'éventuelles ruptures et tendances. La série chronologique s'étend sur la période 1976-2019 qui va être examinée au niveau des changements d'homogénéité des données. Les tests non paramétriques de Pettitt (1979), SNHT et de Buishand au seuil de 5% ont été appliqués sur cette période. Une fois une rupture a été identifiée, le test de Mann Kendall est appliqué pour valider ou non les tendances. Ce test non paramétrique est basé sur le rang et permet de déterminer si la corrélation entre le temps et la variable d'étude est significative ou pas (Hirsch et Slack, 1984). De plus, on a utilisé la méthode des doubles cumuls, initiée par Merriam (1937) pour vérifier l'homogénéité des données chronologiques et déceler les changements dans le comportement de phénomène des précipitations annuelles et celles d'octobre.

Tableau III. 3 : Définition des indices des extrêmes pluviométriques. (Source: OMM)

Code	Name	Definition	Unit
Rx1day	Max 1-day precipitation amount	Annual maximum 1-day precipitation	mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount	Annual maximum consecutive 5-day precipitation	mm
R95p	Very wet days	Annual total precipitation from days >95th percentile	mm
R99p	Extremely wet days	Annual total precipitation from days >99th percentile	mm
R10 mm	Heavy precipitation days	Annual count when precipitation > 10 mm	d
R20 mm	Very heavy precipitation days	Annual count when precipitation ≥20 mm	d
R25 mm	Very heavy precipitation days	Annual count when precipitation ≥25 mm	d
CDD	Consecutive dry days	Maximum number of consecutive days when precipitation <1 mm	d
CWD	Consecutive wet days	Maximum number of consecutive days when precipitation ≥ 1 mm	d
PRCPTOT	Total precipitation in wet days	Annual total precipitation from days ≥ 1 mm	mm
SDII	Simple daily intensity index	The ratio of annual total precipitation to the number of wet days (≥ 1 mm)	mm

Les seuils de précipitations (SP) recommandés dans ce travail sont les jours secs consécutifs (CDD). Cet indice représente le nombre maximal des jours consécutifs avec précipitations journalières <1mm (Alexander et al., 2006). De ce fait, une période sèche est un intervalle de

temps entre deux jours pluvieux (>1 mm/J). Également, elle est définie comme une succession ininterrompue de jours secs (Douguédroit, 1980 ; Peiris, 2011). Le calcul de ces périodes sèches se fait en attribuant un code « 0 » pour chaque jour où la pluviométrie est égale ou supérieure à 1mm et de donner à la première journée sans pluie ou de pluie inférieure à 1mm, un code égal à «1» et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'un autre jour arrive avec une quantité de précipitations égale ou supérieure à ce seuil (1mm). Cette journée reçoit de nouveau le code «0».

Puis, on a utilisé des boîtes à moustaches (box-plot) pour résumer les caractéristiques statistiques telles que le minimum, le premier quartile, la moyenne, la médiane, troisième quartile et le maximum nombre total annuel des jours secs consécutifs et de la durée maximale des séquences de sécheresse intra annuelles des stations étudiées.

### **III.2 Données des productions oléicoles annuelles croisées avec celles météorologiques (issues du réseau conventionnel et créés) :**

#### **III.2.1 Données**

L'étude de la variation inter annuelle de la production oléicole en fonction des paramètres climatiques dans la délégation de Menzel Chaker s'appuie sur deux types de données :

-Les données pluviométriques de la station de Menzel Chaker située géographiquement au centre de la zone d'étude et celles des stations de Borj la Marne, Bouthadi et Dune de salinité qui appartiennent aux complexes agricoles de Bouzouita et Essalema. Les données proviennent de la Direction Générale des Ressources en Eau. Il s'agit des séries journalières des précipitations entre 1993 et 2022. Aussi, les données des précipitations journalières de la poste pluviométrique de la ferme de Bechka entre 2011/2012 et 2020/2021 issues de la municipalité de Sfax.

-Les données des températures minimales et maximales, les vents forts et le point de rosée issues de la station météorologique de Sfax Elmaou de 1993 jusqu'en 2020. Ces données sont fournies par l'Institut National de la Météorologie. Quant aux données climatiques y compris la pluviométrie des deux années 2021 et 2022, elles ont été téléchargées des trois stations Davis que nous avons installées dans la zone d'étude dès le 31 décembre 2020 à Bouzouita, Bouthadi et Elhajkacem. L'objectif principal de l'installation de ces stations est de créer des données météorologiques à une échelle fine puisque la région de Sfax compte une seule station météorologique : Sfax El Maaou. Le second est de confronter ces données créées avec celles des postes pluviométriques retenues afin de tester la fiabilité des postes de l'OTD (Office des Terres Domaniales) situées dans notre zone d'étude. La fiabilité ou pas de ces postes nous permet de prendre la décision de l'utilisation de ces données dans notre étude. En effet, les corrélations

faites entre les données enregistrées dans ces postes et celles enregistrées par les stations Davis que nous avons installées durant la période de mesure datant du 31/12/2020 jusques 31/12/2022 ont été significatives avec  $r = 0.85$ . Les totaux pluviométriques annuels sont comparables. Toutefois, nous avons trouvé un décalage de 1 à 3 jours au niveau des dates d'enregistrement des pluies. Probablement, Il s'agit, certaines fois, d'un retard au niveau de la purge des pluviomètres (à lecture direct).

L'installation des stations Davis a eu lieu après avoir pris une autorisation de l'Office des Terres Domaniales (OTD). En effet, cette autorisation nous a donné la main d'installer deux stations, l'une à Borj la Marne au complexe de Bouzouita et l'autre à la ferme de Bouthadi qui appartient au complexe d'Essalema. Quant à la troisième à été installée à Elhajkacem sur le toit d'une maison d'un agriculteur. Le choix de l'emplacement de ces stations a pris en considération plusieurs critères. Elles sont bien réparties géographiquement, la première station est à l'est (Bouzouita), la deuxième est au nord (Bouthadi) et la troisième à l'ouest (Elhajkacem) (fig III.2). De surcroît, ces endroits sont sécurisés et accessibles à tous moments pour collecter les données et pour faire les entretiens nécessaires. De plus, les deux premières stations se situent en plein champs d'olivier sous la propriété de l'OTD.

Les stations météorologiques automatiques que nous avons installées sont programmées pour enregistrer les paramètres météorologiques (température, pluie, vent, humidité, pression) à un pas de temps horaire. Elles permettent donc d'étudier les pluies orageuses. Elles permettront de calculer la différence de température par rapport à la station de référence Sfax Elmaou suivant les type de temps et d'élaborer un modèle statistique permettant de reconstituer les températures, notamment en été.



Figure III.2 : L'installation, l'enregistrement et l'entretien des trois stations Davis (A : Elhajkacem, B : Bouthadi, C : Bouzouita) (cliché personnel)

- Les données de la production oléicole de la délégation de Menzel Chaker entre 1994/1995 et 2022/2023 soit 28 ans. Ces données proviennent de la Commissariat Régionale du Développement Agricole de Sfax (CRDA).
- Les données de la production oléicole des deux complexes d'Essalema et Bouzouita de 2011/2012 jusques 2020/2021. Ces données ont été retenues des services administratifs de ces complexes.
- Les données de la production oléicole de la ferme de Bechka entre 2011/2012 et 2020/2021. Ces données sont Issues de la municipalité de Sfax.

L'année considérée pour les séries pluviométriques et la production oléicole est l'année agricole allant du premier septembre au 31 Aout

### III.2.2 Méthodes

Un modèle statistique a été utilisé pour simuler la température de l'air à Bouthadi et Borj la Marne en partant de la comparaison des données issues des stations automatiques que nous avons installées spécialement pour cette thèse et celles issues de la station Sfax El Maou. La modélisation statistique est couramment utilisée en climatologie (Laborde, 1984 ; Traboulsi, 2002 ; Obled, 1987 ; Creutin *et al.*, 1980) et des températures (Oke *et al.*, 1999 ; Carrega, 1994 ; Joly, 1995 ; Dodson et Marks, 1997 ; Atkinson, 2003 ; Joly *et al.*, 2009).

Pour déterminer la relation existante entre les variations interannuelles de la production oléicole et les divers paramètres climatiques, nous avons procédé d'abord, à une série de corrélations deux à deux entre la production annuelle de la région de Menzel Chaker de 1994-95 à 2022-23 et les précipitations de la station météorologique pour la même période. Puis, une corrélation a été faite entre les données de la production oléicole et les données climatiques autres que pluie notamment les températures mensuelles minimales et maximales, les températures moyennes mensuelles supérieures à 25°C durant les mois du printemps, les températures moyennes mensuelles durant l'été, les cumuls mensuels des températures <7.2°C, le nombre des jours à vent fort qui dépassent 11m/s durant la période de floraison notamment les deux mois d'avril et mai, le nombre des jours ayant une amplitude thermique supérieure à 10°C et les cumuls décennaires et mensuels du point de rosé. Les corrélations ont été faites durant la période 1994 - 2022. Avec une marge d'erreur de 5%, le coefficient de corrélation est significatif s'il est supérieur ou égal à 0.38 (d'après le test de Bravais Pearson).

Des régressions multiples pas à pas entre la production oléicole et les pluies de la région de Menzel Chaker ont été calculées au pas de temps décennaire pour déterminer les pluies décennaires décisives qui assurent une grande production. Les décades sélectionnées par les régressions pas à pas ont été ensuite cumulées et utilisées comme prédicteurs de production dans des régressions linéaires simples.

Étant donné que l'olivier se caractérise par une alternance biologique et que son cycle biologique se déroule sur deux années : une première année végétative suivie d'une deuxième reproductive (Poli, 1979 ; Monsellis et Golschmidt, 1982 ; Boukaissi, 1987 ; Michlakis, 2002 ; Ben Rouina, 2007), les corrélations et les régressions ont été établies entre la production et les pluies de la précédente année agricole (dite année qui précède celle de production) et celle de septembre et octobre de l'année en cours (dite de production). A titre d'exemple les données de la récolte de 2003/2004 sont corrélées avec les données pluviométriques de tous les mois de l'année agricole

2002/2003 dite n-1 et les mois de septembre et octobre de l'année 2003/2004 dite n (tab III.4). Ce choix est justifié par le fait que la maturation des fruits coïncide avec le début de l'automne et les fruits profitent des pluies automnales (Mzoughi et *al.*, 2022). Rappelons que le total moyen des précipitations enregistrées entre septembre et décembre est de 97.35 mm soit 45 % du total annuel (Mzoughi et *al.*, 2021). Par retour à des études bibliographiques, nous avons observé dans les travaux focalisés sur la production oléicole en fonction des pluies que la corrélation a été faite entre les données de la production de l'année en cours et celles des pluviométries de l'année précédente. Parmi eux on peut citer ceux de Ben Rouina, 2007 et Arfaoui et *al.*, 2021. Pour la première étude, elle a évoqué les pluies de l'année qui précède la production (n-1) quant à la deuxième elle a utilisé des données de 16 mois dont 12 appartiennent à l'année qui précède la production et 4 de l'année en cours. Le choix de la période des données climatiques utilisées dépend du début de la récolte qui est précoce pour la première (en Tunisie) et tardif pour la deuxième (en Espagne).

Même démarche statistique a été suivie pour les autres facteurs climatiques autres que pluie.

Puis, on a fait un croisement entre les productions oléicoles de 1994/1995 à 2022/2023 et le nombre total des jours secs durant les trois ans qui précèdent chaque année de production (résultats dans la première partie) afin de suivre l'effet de la persistance de la sécheresse sur la production oléicole (le cumul des jours secs annuels de trois ans successifs).

Enfin, nous avons corrélé les productions oléicoles moyennes par mille oliviers avec les précipitations annuelles de la délégation de Menzel Chaker, des complexes agricoles de Bouzouïta et Essalema et de la ferme de Bechka entre 2011/2012 et 2021/2022. D'abord, des croisements ont été faits entre la production et les précipitations annuelles basées sur l'année agricole qui précède celle de la production. Puis, la production a été croisée avec les cumuls pluviométriques de l'année qui précède la production (n-1) tout en ajoutant ceux des deux premiers mois de l'année en cours (septembre et octobre) soit en total 14 mois (tab.III.4). Étant donné que la parcelle de la ferme de Bechka s'étend de Bechka jusqu'à Menzel Chaker, nous avons calculé la moyenne de ces deux stations. La même démarche a été adoptée pour les précipitations du complexe Essalema. Nous avons calculé la moyenne des précipitations des stations de la Dune de salinité et Bouthadi car les parcelles de ce complexe s'étendent entre ces deux stations et se répartissent auprès d'elles. Or, pour le complexe de Bouzouïta nous avons utilisé uniquement les données de la station de Borj la Marne située au centre des parcelles.

Tableau III.4. Période utilisée pour la corrélation des données pluviométriques avec les données de la production (l'exemple de la récolte de 2003/2004)

2002	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2003	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2004	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre

En gras | 14 mois: 12 mois de l'année 2002/2003 (année n-1) et les deux mois septembre et octobre de l'année en cours 2003/2004 (n)

	Année agricole 2002/2003
	Année agricole 2003/2004
Année n-1:	Année qui précède celle de la production
Année n:	Année de la production

### III.3 Autres sources de données : les analyses des sols, les enquêtes, les entretiens et les observations de terrain pour déterminer les caractéristiques agronomiques, pédologiques et topographiques de la zone d'étude

#### III.3.1 L'enquête et les observations de terrain:

Elles permettent d'étudier l'impact des pratiques agricoles sur la production oléicole, de vérifier et de confirmer quelques phénomènes observés sur le terrain ou abordés par les sources bibliographiques. Rappelons que le terme enquête est un générique qui s'applique à toute activité visant à recueillir ou à acquérir des données statistiques (Brackstone, 1999 ; Dahech, 2007). Dans notre travail nous avons utilisé l'enquête par sondage. Il s'agit d'un échantillonnage de la population mère. Les enquêtés se sont généralement des propriétaires, des ouvriers, des responsables dans des fermes agricoles et des techniciens agricoles. L'échantillonnage a été pris suivant un pourcentage qui varie entre 10 et 15% de la population mère approximativement. Ce pourcentage est relatif puisque la taille des parcelles mentionnées dans l'enquête se situe entre deux valeurs limites. La même démarche a été suivie pour les enquêtes réalisées dans les parcelles conduites en pluvial et en irrigué.

En effet, pour réaliser notre questionnaire, nous avons respecté les différentes étapes de l'enquête, Ainsi, nous avons commencé par fixer nos objectifs : c'est à dire de préciser les informations qu'on est besoin. Selon Brackstone (1993), la précision des objectifs nécessite l'élaboration d'un plan détaillé du travail de terrain. Également, selon Statistique Canada, (2002) les concepts et les variables doivent être précises en indiquant leur utilisation prévue.

L'enquête est sous forme d'un questionnaire qui renferme une série de questions conçues pour recueillir de l'information auprès d'un répondant (Platek et *al.*, 1985 ; Converse et Presser, 1986)

nous avons choisi de remplir le questionnaire par un intervieweur (fig III.3). Pour avoir de l'information claire nous avons utilisé des mots et des concepts familiers pour les répondants afin de faciliter la réponse. Nous avons effectué des essais préalables du questionnaire pour déceler les lacunes dans la formulation et l'ordre des questions et prendre en considération les erreurs dans la présentation et les problèmes causés par l'incapacité ou le refus de répondre aux questions. Ces essais officieux sont «utilisés pour proposer des catégories de réponse additionnelles qui peuvent être pré-codées dans le questionnaire et pour donner une indication préliminaire de la durée de l'interview et des problèmes de non-réponse possibles » ([<http://www.statcan.ca/francais>] in Dahech, 2007). A la fin du questionnaire, nous avons réservé un espace pour les commentaires additionnels des répondants. Puis ces réponses ont été regroupées et introduites dans un tableau Excel afin d'être traitées par des méthodes statistiques. Ce travail a été fait du mois février jusques la fin du mois de mai. Étant donné que la zone d'étude renferme 12 secteurs, les visites ont été en collaboration avec un résident de chaque secteur d'étude. L'objectif était de faciliter l'accès et trouver des contacts fiables.



Figure III.3 : Photos illustrant les enquêtes auprès des agriculteurs (A : avec un ouvrier agricole qualifié en olivier en pluvial, B : avec un technicien dans une ferme privée, C : avec un responsable agricole dans une ferme privée) (*cliché personnel*)

### **Les caractéristiques générales des enquêtés**

Les agriculteurs enquêtés appartiennent aux différentes tranches d'âge avec une majorité nette des adultes (de 35 à 60 ans) qui représentent 83% des enquêtés (36% entre 35 et 45ans et 47% entre 45 et 60ans) (figIII.4).

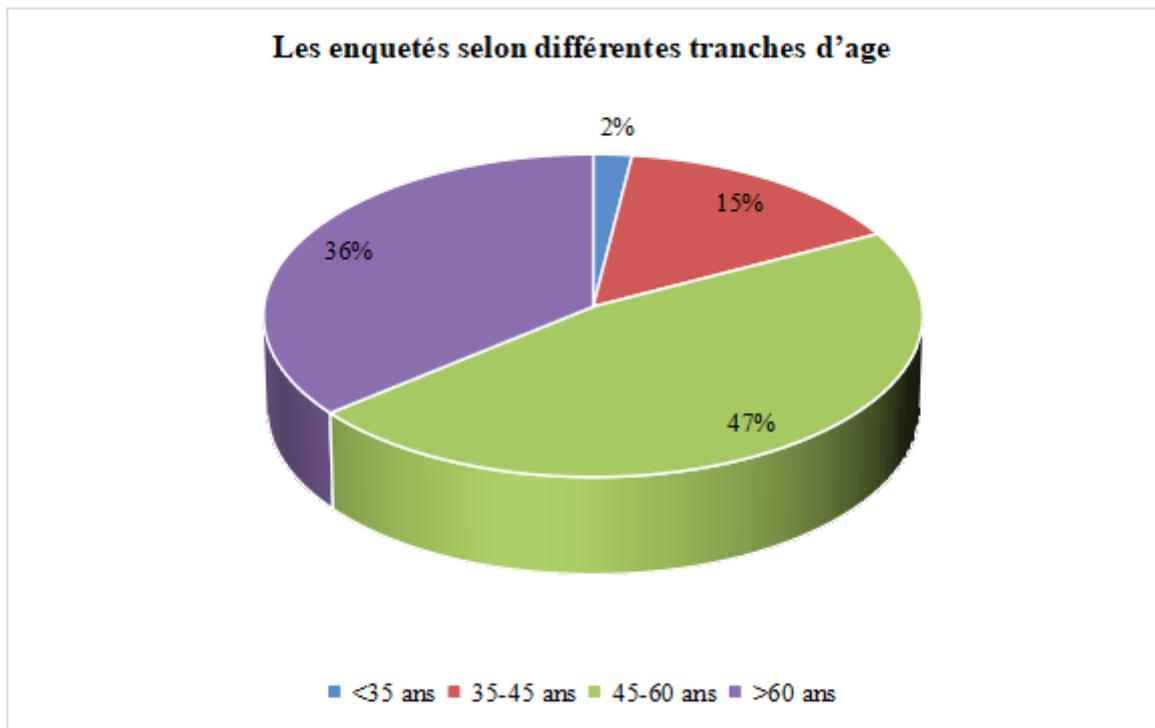


Figure III.4 : Classification des enquêtés selon les tranches d'âges, source, enquête du terrain).

Concernant leur niveau intellectuel, la majorité des enquêtés ont un niveau primaire (42%), secondaire (37%) et de manière moins importante universitaire (18%). Par contre, le taux des analphabètes est très faible ne dépassant pas 3%. (fig III.5).

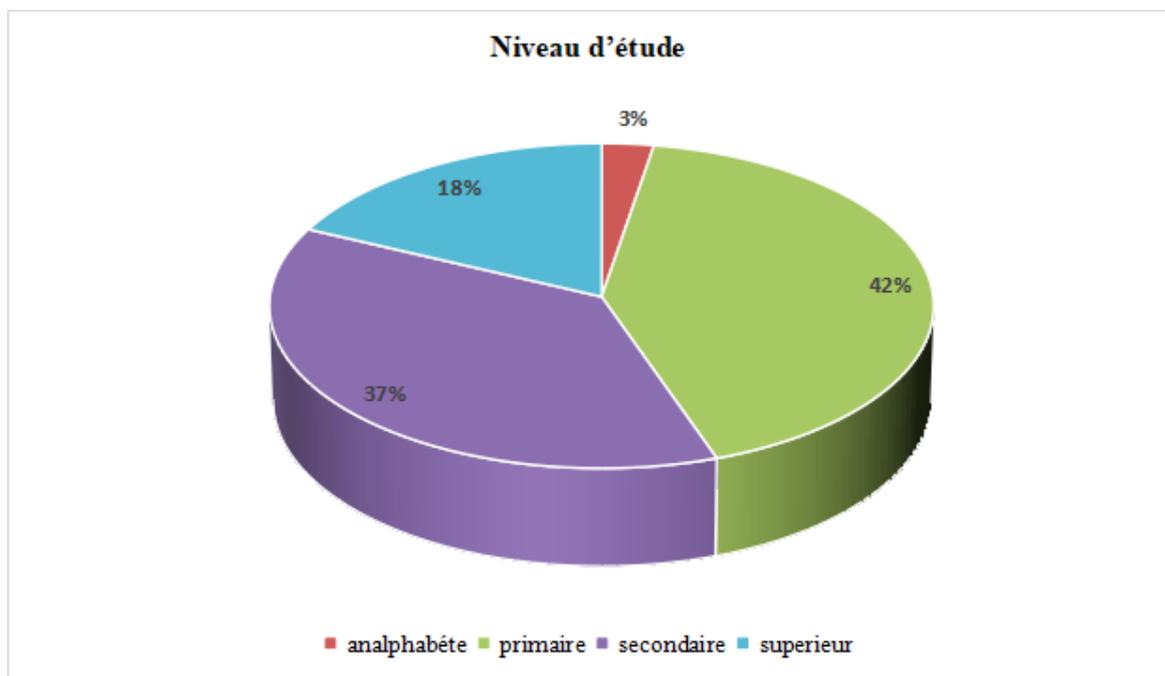


Figure III.5 : Classification des enquêtés selon le niveau d'étude, source, enquête du terrain)

### **III.3.2 Les entretiens**

Également, j'ai fait des entretiens avec divers spécialistes et intervenants dans le secteur oléicole. J'ai contacté des professeurs à l'institut de l'olivier, des directeurs, des ingénieurs et des techniciens des complexes agricoles des terres domaniales, aussi, les responsables administratives et techniques de la ferme de Bechka. En outre, j'ai fait des entretiens avec des propriétaires des huileries qui sont en même temps propriétaires de grandes parcelles agricoles. Le contenu de l'entretien était focalisé sur des questions clés concernant des observations de terrain posant des questions auxquelles je n'ai pas trouvé de réponses telles que:

1/ Quelles explications pour les oliviers observés en état catastrophique en dépit qu'ils poussent sur un sol sableux.

2/ Comment expliquer l'hétérogénéité de l'état du même individu ceinturé par une banquette de telle sorte que la partie orientée vers la banquette est en bon état quant à l'autre est en mauvais état.

3/ Quel est l'effet du brouillard sur l'olivier

4/ Est ce que les essaies de séquestrations du sel et de dé-salement faites par les agriculteurs peuvent protéger les sols et assurer sa durabilité.

5/ Est ce que les pluies pendant la floraison sont néfastes pour l'olivier? Est-ce que les changements de rythme de l'olivier avec le labour ou l'irrigation peut affecter l'arbre pendant la floraison?

6/ Peut-on considérer le buttage comme une pratique positive ou négative pour l'arbre ?

7/ Peut-on considérer le détournement de la feuille de l'olivier pendant les vagues de chaleurs comme une manière d'adaptation ?

8/ Quels sont les facteurs qui induisent l'avortement des fleurs ?

### **III.3.3 Les sorties de terrain**

Nous avons fait plusieurs sorties de terrain que ce soit pendant les visites périodiques pour l'entretien des stations de mesure et le téléchargement des données ou que ce soit pendant les sorties pour l'observation de l'état de l'olivier notamment juste après les pluies ou en cas des sécheresses aiguës et pendant la persistance des vagues de chaleur comme le cas de l'été 2021 (figIII.6). Pendant la cueillette, la taille, la fertilisation, les labours, les irrigations de sauvetage et

pendant le branchement des installations des réseaux d'irrigation. Ces sorties me permettent de prendre des informations très pertinentes et de cartographier le paysage oléicole et noter les différentes observations relatifs au type du sol et les aménagements hydrauliques. Aussi, les observations pendant ces sorties ont ouvert la porte devant d'autres études qui prennent en considération la topographie et la pédologie.



Figure III.6: Sorties d'étude et observation du terrain (*cliché personnel*)

### III.3.4 Les analyses du sol

Nous avons eu recours à des analyses d'échantillons du sol, sélectionnés après avoir faire plusieurs sorties de terrain dans différents conditions climatiques. Ces sorties nous permettent de détecter visuellement la variabilité spatiale de l'état de l'olivier. Les analyses du sol portent sur leurs compositions granulométriques et chimiques afin de distinguer les sols les plus favorables à la culture de l'olivier. Les échantillons ont été choisis en prenant en considération d'une part, la couverture spatiale et d'autre part, l'état de l'olivier. Le premier choix concerne les individus d'oliviers en bon état, c'est le cas d'Elhajakem, Chieleb sud, Essaada, Eliitha et Choucha. Le deuxième choix renferme les sols sur lesquels l'olivier est en état catastrophique comme ceux de Menzel Chaker ouest, Chieleb nord. Les oliviers observés notamment après les canicules et sécheresses de 2021. Quant au troisième, il compte le sol d'Aguerba, sur lequel se trouvent des oliviers de grande taille ayant une frondaison dense mais il souffre de la sécheresse et il présente une mauvaise adaptation au stress hydrique aigu. Ce choix a pour objectif de confirmer ou pas quelques résultats d'enquête. Certains agriculteurs considèrent que les sols argileux montrent une bonne croissance végétative et par conséquent sont très productifs pendant les périodes humides. Par contre, ils s'adaptent mal à la sécheresse. Les traitements (analyses granulométriques, calcimétriques et de PH) ont été réalisés au laboratoire PRODIG (fig III.7).



Figure III.7 : photos illustrant les analyses du sol au laboratoire de traitement des sols à PRODIG (*Clichés personnels*)

### III.3.5 Le modèle Numérique du terrain

Les sorties de terrain ont été la source majeure des réflexions liées au milieu physique. D'après ces sorties, nous avons observé l'influence de l'emplacement géographique sur les oliviers. En effet, les individus situés dans des Graas sont généralement de grande taille. En contrepartie, ceux âgés situés dans des Hmedas sont de petites tailles. Quant à ceux situés dans des dépressions salées comme les sebkhas sont de petites tailles en dépit de leur âge adulte. Aussi, nous avons remarqué que les oliviers situés sur lesberges des oueds sont soumis à l'effet de l'érosion hydrique. De ce fait, nous avons eu recours à un Modèle Numérique du terrain pour étudier l'altitude de ces divers emplacements tout en les comparant à ceux des alentours. En effet, nous avons digitalisé sur Google EarthPro les différents points d'altitude sous format kmz. Puis, ces données ont été converties sur QGIS 3.16 (logiciel téléchargeable gratuitement sur le site). Ces traitements nous ont permis d'avoir un MNT de notre zone d'étude pour démontrer les différentes composantes topographiques et étudier leurs effets sur l'oléiculture. Enfin, nous avons affiché les analyses des profils topographiques de différents échantillons choisis pour valider ou pas nos observations de terrain et par conséquent ressortir l'influence de la micro topographie sur la production oléicole.

### III.3.6 Les images satellites

En se référant à la bibliographie, j'ai souligné l'importance de la télédétection dans le suivi de la végétation y compris l'oléiculture. En effet, nous avons essayé d'avoir des images satellites à très haute résolution. Pour cela nous avons consulté les deux catalogues DINAMIS et GEOSTORE d'Airbus après avoir eu une autorisation d'accès à travers PRODIG. L'objectif est de télécharger des images à très haute résolution de type pléiade ou spot mais nous avons constaté que ces images ne sont pas disponibles aux échelles temporelles et spatiales puisque le passage de satellite ne couvre pas toute la zone d'étude. Ces images ne couvrent qu'une partie de la zone d'étude (extrême est, ouest, centre, extrême nord, extrême sud...) (tab III.5) et posent un problème de répétitivité. En revanche, le sentinelles2 possède une bonne répétitivité et couvre toute la zone mais il pose un problème de résolution spatiale puisque le couvert végétal étudié est clairsemé.

Tableau III.5 : La disponibilité des images de très haute résolution par rapport à notre zone d'étude au niveau temporel et spatial (<https://www.intelligence-airbusds.com/fr/5114-commander>)

	<b>Année 2014/2015</b>	<b>2017/2018</b>	<b>2021/2022</b>
<b>Saison estivale</b>	<b>Spot 5</b> : 21/07 (Est)	<b>Pléiade 0.5m</b> : 29/07 (extrême nord-  29/07 : (ouest) 23/07 (partie est) 22/07 (partie centrale) 16/08 (extrême nord)	<b>Pléiade 0.5m</b> : 04/08 (nord-ouest) 04/08 (extrême est) 05/08 (sud-est) 05/08 (extrême :  30/08 (nord-est)
<b>Saison automnale</b>	<b>Spot 1.5m</b> : 01/10 (Nord-ouest) 18/10 (Nord-ouest) 20/10 (Sud-est) 26/11 (Nord-ouest) <b>Spot 5</b> : 08/11 et 13/11 <b>Spot 6</b> : 20/10	<b>Pléiade 0.5m</b> : 12/09 (extrême nord) 15/12 (sud-ouest) 06/10 (extrême ouest)	<b>Pléiade 0.5m</b> : 09/10 (est) 10/10 : (sud-ouest)

D'après ces contraintes, nous avons été obligés de travailler avec des images satellites de type Landsat8 et9 à résolution de 30m soit un pixel de 900m<sup>2</sup> malgré que la frondaison de l'arbre est de 50m<sup>2</sup> en moyenne ce qui va affecter la réflectance sous l'effet élevé du sol. Le téléchargement de ces images est accessible sur le site d'Earth Explorer-USGS(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)

. De ce fait, nous avons recours de tester plusieurs indices qui suppriment l'effet du sol comme l'OSAVI, MSAVI, SAVI ou le TSAVI. Après avoir faire ces tests, nous avons comparé les résultats de ces images selon les deux indices NDVI et OSAVI. Malgré l'importance de ce dernier pour la correction de l'effet du sol les valeurs ont été très proches. En effet, nous avons téléchargé deux images de dates différentes l'une en Juillet et l'autre après les premières pluies en utilisant le NDVI. Ces images nous permettent d'abord de distinguer les périmètres irrigués à ceux conduits en pluvial puis de comparer l'état végétatif de ces derniers avant les pluies et après pour suivre la dynamique végétative de l'olivier. De plus, ces images nous aident à la spatialisation des pluies notamment à localiser approximativement les orages ponctuels. Le mouvement des nuages quelques heures avant les pluies a été faite à l'aide du modèle « CHIRPS » afin de confirmer ces orages. A la fin de cette tâche, nous avons téléchargé une image Landsat9 une semaine après ces pluies. En conséquence, les résultats ont été apparus spatialement telle que la zone arrosée est marquée par des valeurs de OSAVI les plus élevés notamment sur les banquettes et les terres non labourées. En contrepartie, les valeurs faibles sont observées dans la partie non arrosée. De plus, ces images nous permettent de distinguer les terres abandonnées à celles bien entretenues.

### **III.3.7 Les Systèmes d'Information Géographique**

Le Système d'Information Géographique est défini par Thériault (1996) comme suit: « *un système informatique multicouches qui permet, à partir de diverses sources de rassembler et organiser, de gérer, analyser et combiner, d'élaborer et présenter des informations localisées géographiquement contribuant à la gestion de l'espace* ». De surcroît, le SIG aide à la décision (Thériault, 1996 in Dahech, 2007).

Dans ce présent travail nous voulons montrer d'abord la répartition des périmètres de l'olivier conduit en irrigué et celui conduit en pluvial dans notre zone d'étude. Puis, nous allons étudier l'impact de différents facteurs géographiques impactant la production oléicole. Parmi ces facteurs on va évoquer les façons culturales pratiquées par les agriculteurs tout en montrant leurs variabilités d'un secteur à un autre. De plus, nous allons montrer l'effet de la topographie sur la variabilité de la production oléicole en utilisant un Modèle Numérique du Terrain. Les applications SIG sont réalisées sur QGIS 3.16. Plusieurs couches de données, de type raster et vecteur, ont été croisées et superposées après avoir être géo référencées selon le même système de projection (Lambert II) de telle sorte que tous les points sont repérés par leurs coordonnées

(X,Y). Ces couches de données ont été classées suivant différents formats (ponctuelle, surfacique ou linéaire) en dépendance avec les thèmes abordés.

En effet, nous avons effectué plusieurs croisements entre les couches présentant l'olivier conduit en pluvial et la topographie et les sols. Les fonctionnalités de *Spatial Analyst* permettent d'extraire les zones prises comme échantillons que ce soit pour les sols ou les emplacements géographiques liées à la topographie.

### **Conclusion du troisième chapitre**

Nous avons utilisé dans ce travail des données diverses. Parmi elles les données fournies par la station météorologique de Sfax Elmaou et les différentes postes pluviométriques qui appartiennent au réseau conventionnel. Cependant, vu l'absence de données météorologiques couvrant des échelles temporelles et spatiales fines, nous les avons créées à travers l'installation de nos propres stations de type Davis. En complément, les enquêtes, les entretiens, l'imagerie spatiale et les observations de terrain ont abouti à mieux comprendre l'espace, à collecter énormément d'informations sur les pratiques agricoles et les perceptions des agriculteurs envers le climat et les effets des paramètres climatiques sur l'olivier. Les données ont été pré-traitées, organisées et sauvegardées dans des banques de données. Par la suite, elles sont analysées par plusieurs méthodes statistiques. De surcroît, d'autres outils sont utilisés comme les Systèmes d'Information Géographique et la modélisation numérique. Enfin, l'étude de l'impact de divers paramètres sur la production oléicole a été faite selon un emboîtement d'échelles en adoptant une approche multi-scalaire notamment au niveau des façons culturales pratiquées par les agriculteurs.

### **Conclusion de la première partie**

Dans cette première partie nous présentons le cadre géographique et la synthèse bibliographique qui est focalisé sur notre thématique de recherche et les données et les méthodes utilisées pour réaliser notre travail.

Notre zone d'étude fait partie de la région de Sfax qui est réputée par la culture de l'olivier et caractérisée par un climat semi-aride. Cette région est soumise au stress hydrique aigu du à la persistance des longues périodes sèches et l'augmentation accrue des températures ce qui induit à l'élévation de l'évapotranspiration. Ce contexte climatique menace l'oléiculture en pluvial. Pour étudier l'impact de ces conditions climatiques sur l'olivier conduit en mode pluvial nous avons utilisé des données de sources différentes. Les données météorologiques ont été recueillies

de l'Institut national de la Météorologiques (INM) et de la direction générale des ressources en eau (DGRE). En complément nous avons créé des données à travers l'installation de trois stations de type Davis dans notre zone d'étude. La création de ces données est due à l'absence de stations météorologiques aux alentours de notre zone d'étude qui se situe de 30 à 50 km de la station météorologique de Sfax Elmaou. L'aspect continental et l'éloignement à la mer rend les données de Sfax Elmaou non compatibles au climat de notre zone d'étude. Ces données mesurées par nos propres stations nous permettent la pondération des données et faire les simulations durant une longue durée soit de 1994/1995 jusqu'à 2019/2020. De surcroît, nous avons fait des entretiens avec les divers intervenants dans le secteur oléicole. Nous avons complété le travail par des enquêtes auprès des agriculteurs pour combler les données manquantes. Ces enquêtes nous permettent d'avoir des informations pertinentes sur les façons culturales pratiquées par les agriculteurs et leurs perceptions envers les changements climatiques et l'impact de divers paramètres climatiques sur la production oléicole. En outre, nous avons eu recours à la télédétection pour renforcer la connaissance du terrain. Cet outil a été couplé par le Système d'information géographique afin de nous permettre de suivre l'activité photosynthétique de l'olivier et la spatialisation des précipitations. De plus, cet outil nous permet de comprendre l'effet de la topographie et l'emplacement géographique sur l'état de l'olivier.

**LA DEUXIEME PARTIE : VARIABILITE CLIMATIQUE  
(PRECIPITATIONS, SECHERESSE, EVAPOTRANSPIRATION  
POTENTIELLE, TEMPERATURE ET VENT  
DANS LA REGION DE SFAX)**

La présente partie de thèse est composée de deux chapitres qui s'intéressent à étudier, en premier chapitre, la variabilité spatio-temporelle des précipitations durant la période 1976-2019 aux échelles annuelles et mensuelles et en deuxième les pluies orageuses, la sécheresse, l'évapotranspiration potentielle, la température et le vent durant les deux années 2021 et 2022. L'hypothèse retenue ici est que les précipitations inter annuelles et mensuelles sont très variables dans l'espace et le temps.

## **Quatrième chapitre : Variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la région de Sfax**

### **Introduction du quatrième chapitre**

Pour cerner la variabilité spatio-temporelle des pluies, nous avons recouru à plusieurs techniques statistiques. En effet, nous avons établis des corrélations linéaires simples entre les stations. De plus, nous avons calculé des quintiles pour réaliser une typologie multi scalaire des précipitations. Dans le même contexte, nous avons adopté la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MGCTI) de type « Matrice Bertin ». Aussi, nous avons fait des classifications ascendantes hiérarchiques afin d'étudier la variabilité spatiale au niveau annuel et mensuel et dégager d'éventuelles nuances locales.

Cette étude a pour but de mettre en exergue la variabilité mensuelle et interannuelle de la quantité des précipitations et leurs irrégularités entre 1976 et 2019. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé des données pluviométriques journalières de sept stations pluviométriques au niveau régional. Aussi, nous avons introduit des données topographiques issues d'un Modèle Numérique du Terrain (MNT) (fig IV.1).

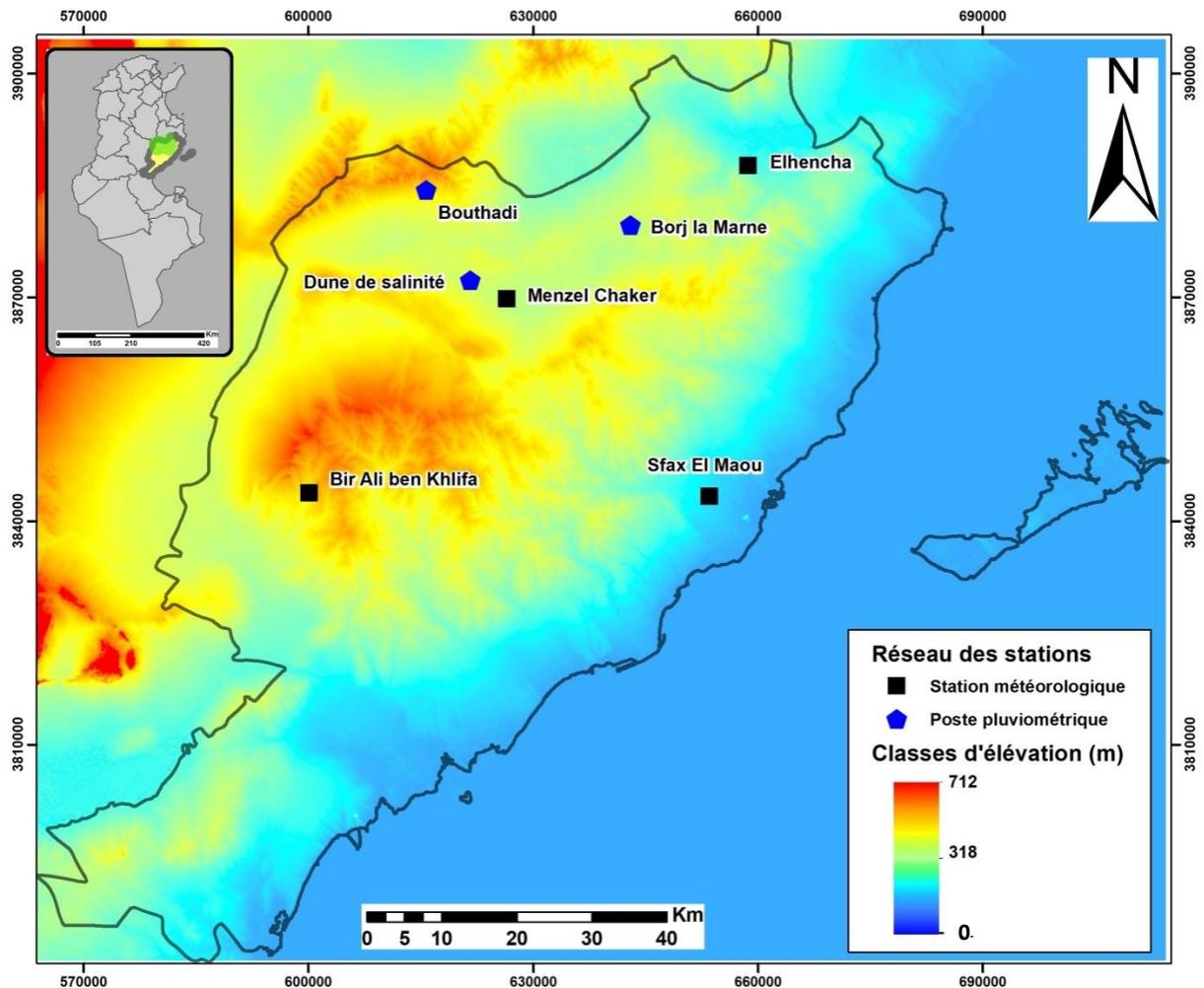


Figure IV.1 : Carte Du Modèle Numérique du Terrain (MNT) de la région de Sfax et la localisation des postes pluviométriques et des stations météorologiques (source, SRTM )

## IV.1 Forte variabilité spatio-temporelle des précipitations :

### IV.1.1 Variabilité annuelle des seuils quintiles

Pour étudier la variabilité annuelle des précipitations selon les seuils quintiles nous avons utilisés les bornes supérieures comme des limites maximales de chaque quintile. De ce fait, chaque borne annonce la fin d'un seuil quintile et le début d'un autre. C'est pour cela le cinquième quintile regroupe les valeurs au-delà de la quatrième borne.

Les valeurs les plus élevées des quatre quintiles ont été enregistrées à Elhencha (fig IV.2). Il se peut que sa position au nord et à l'est lui permette de bénéficier des pluies, relativement abondantes, venant de ces deux directions. Elhencha est suivie par les stations de Sfax et Borj la Marne au niveau des trois premiers quintiles. Par contre, la station de Bir Ali ben Khelifa enregistre les valeurs les plus basses (fig IV.2). Les faibles valeurs de cette station sont expliquées, d'une part, par son emplacement à l'ouest et au sud, plus loin du littoral et plus proche du désert. D'autre part, les collines, culminant jusqu'à 260m pourraient abriter Bir Ali

ben Khelifa des pluies venant du Nord. Ces reliefs causent l'assèchement et le réchauffement de la masse d'air après son passage au décus de ces collines. Ce phénomène est décrit dans plusieurs travaux bibliographiques (Smith, 1979 ; Whitemau, 2000). Quant au quatrième quintile, les stations de Bouthadi, Borj la Marne et Bir Ali ben Khelifa devancent Sfax, Menzel Chaker et Dune de salinité pour se classer derrière Elhencha. Ce classement reflète l'aspect orageux des pluies enregistrées dans ces stations.

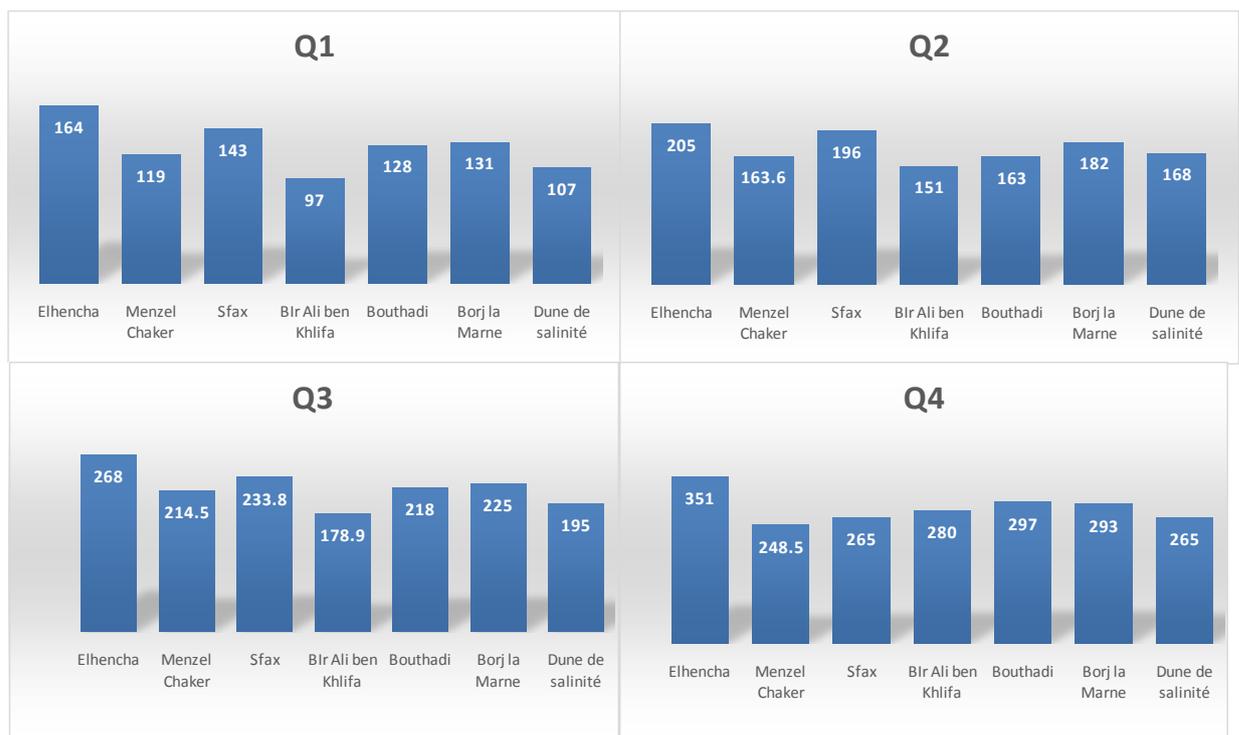


Figure IV. 2 : Répartition des cumuls pluviométriques annuels selon les seuils quintiles (*données INM ; 1976-2019*)

#### IV.1.2 Fréquence des cumuls pluviométriques annuels selon les seuils quintiles

Les seuils quintiles utilisés nous permettent de classer les cumuls pluviométriques annuels en cinq classes (années très sèches, sèches, normales, légèrement supérieur à la normale et largement supérieur à la normale. Étant donné que chaque quintile représente 20%, le classement des divers quintiles a été fait suivant un ordre croissant pour la période 1976-2019.

Certainement, des années sèches et très sèches communes ont été observées dans toutes les stations comme durant les années 1977, 1987, 1988, 1995, 1999 et 2016. Parmi ces dernières, se trouve des années qui coïncident avec des sécheresses généralisées à l'échelle nationale comme celles des années 1988 et 1995 (Tu quoi et *al.*, 1995 et Hénia, 2003). Cependant, la durée des périodes sèches varie d'une station à une autre. Elle est un peu plus longue à la station d'Elhencha notamment de 1981 jusqu'à 1988 à l'exception de l'année 1982 réputée par

l'inondation d'octobre. La durée de ces périodes est moins longue aux autres stations. Elle s'étale sur deux ans à Menzel Chaker et Borj la Marne et sur trois ans à la station de Bir Ali ben Khelifa. Or, à la station de Sfax, la majorité des années sèches et très sèches s'alterne avec celles normales et supérieures à la normale (fig IV.3).

Le même constat a été enregistré pour les années légèrement et largement supérieures à la normale. Nous observons des années communes entre la plupart des stations (1976, 1990, 1996, 2004, 2006, 2007 et 2017). Parmi elles, il s'observe des années qui coïncident avec des inondations enregistrées aux échelles régionales comme celles des années 2003 et 2007 au Grand Tunis, 2013 à Sfax et 2016 au centre tunisien (Chouari et Belarem, 2016) et à l'échelle nationale comme celles de 1976 (Daoud, 2013) et de 1990 (Oueslati, 1991). En contrepartie, il existe des années classées soit sèches, très sèches ou normales (1983 et 2010) malgré leurs coïncidences avec des inondations comme celles d'octobre 1982 et septembre 2009 à Sfax (Daoud, 1992 et 2013 ; Chouari et Belarem, 2016). Pour les années supérieures à la normale, nous avons remarqué une absence quasi totale des périodes communes entre les stations à l'exception des deux années 2006 et 2007 qui ont été observées aux stations d'Elhencha, Menzel Chaker, Bir Ali ben Khelifa, Sfax et Bouthadi. Les durées les plus longues des périodes supérieures à la normale ont été enregistrées à Bouthadi de 2003 à 2007, à la Dune de salinité de 2001 à 2006 et en troisième lieu à Borj la Marne de 1989 à 1991 et de 2004 à 2006. Par contre, ces durées sont plus courtes aux stations de Menzel Chaker, Sfax et Bir Ali ben Khelifa (deux années successives). Alors que ces années sont en alternance avec celles normales ou sèches et très sèches à la station d'Elhencha (fig IV.3).

Cette répartition inégale et hétérogène des totaux pluviométriques annuels confirme le caractère très variable des précipitations à l'échelle temporelle et spatiale.

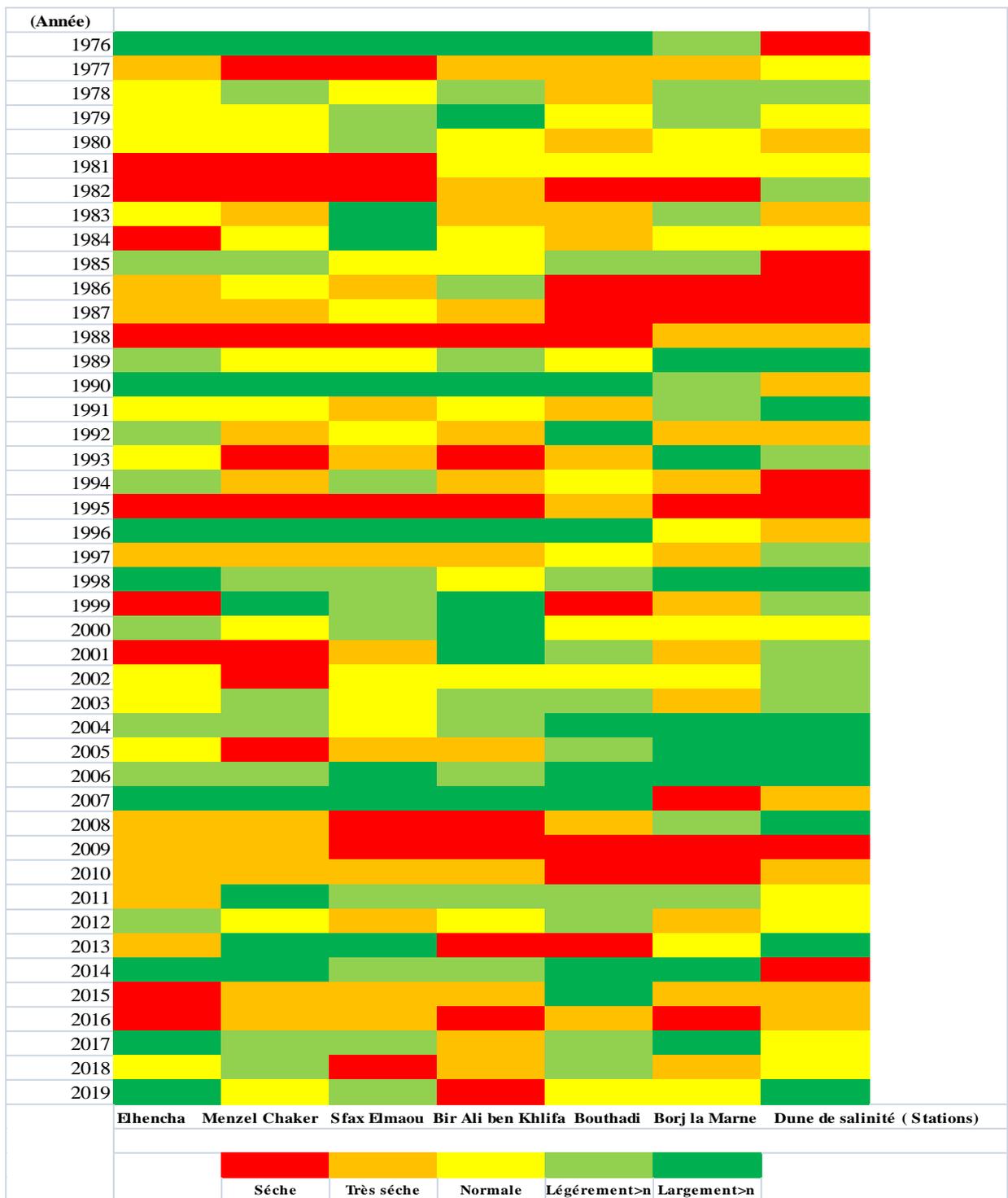


Figure IV.3 : Variabilité spatio-temporelle des cumuls pluviométriques annuels (année hydrologique) dans la région de Sfax (données, INM et DGRE ; 1976-2019)

D'après la figure IV.4, le nombre de jours ayant 50% de la moyenne annuelle de la précipitation durant la période 1976-2019 varie d'une année à une autre et entre les stations. Cette variabilité est présentée suivant des classes à seuils égaux. En effet, nous avons observé la prédominance des classes inférieures ou égales à six jours notamment la classe inférieure ou

égale à trois jours. Cette dernière se coïncide évidemment avec les années largement supérieures à la normale (1976, 1983, 1990, 2006 et 2007). A l'échelle spatiale, la station de Bouthadi enregistre le nombre de jours des pluies la plus faible durant la période d'étude.

En revanche, la fréquence du nombre de jours supérieurs à 12 jours est très faible notamment pour la classe supérieure à 18 jours. Cette dernière est fréquemment observée pendant les années sèches. En effet, le faible nombre de jours des pluies montre leur caractère orageux notamment à Bouthadi tout en reflétant l'aspect concentré des pluies et son mal répartition temporelle. Par contre, le nombre élevé de jours de pluies ne reflète pas la bonne répartition autant qu'il désigne les faibles quantités précipitées par jours. Autrement dit, le nombre élevé de jours des pluies se coïncident généralement avec des années largement supérieures à la normale et contre versa. Ces résultats confirment que les pluies dans la région de Sfax sont inégalement réparties à l'échelle temporelle.

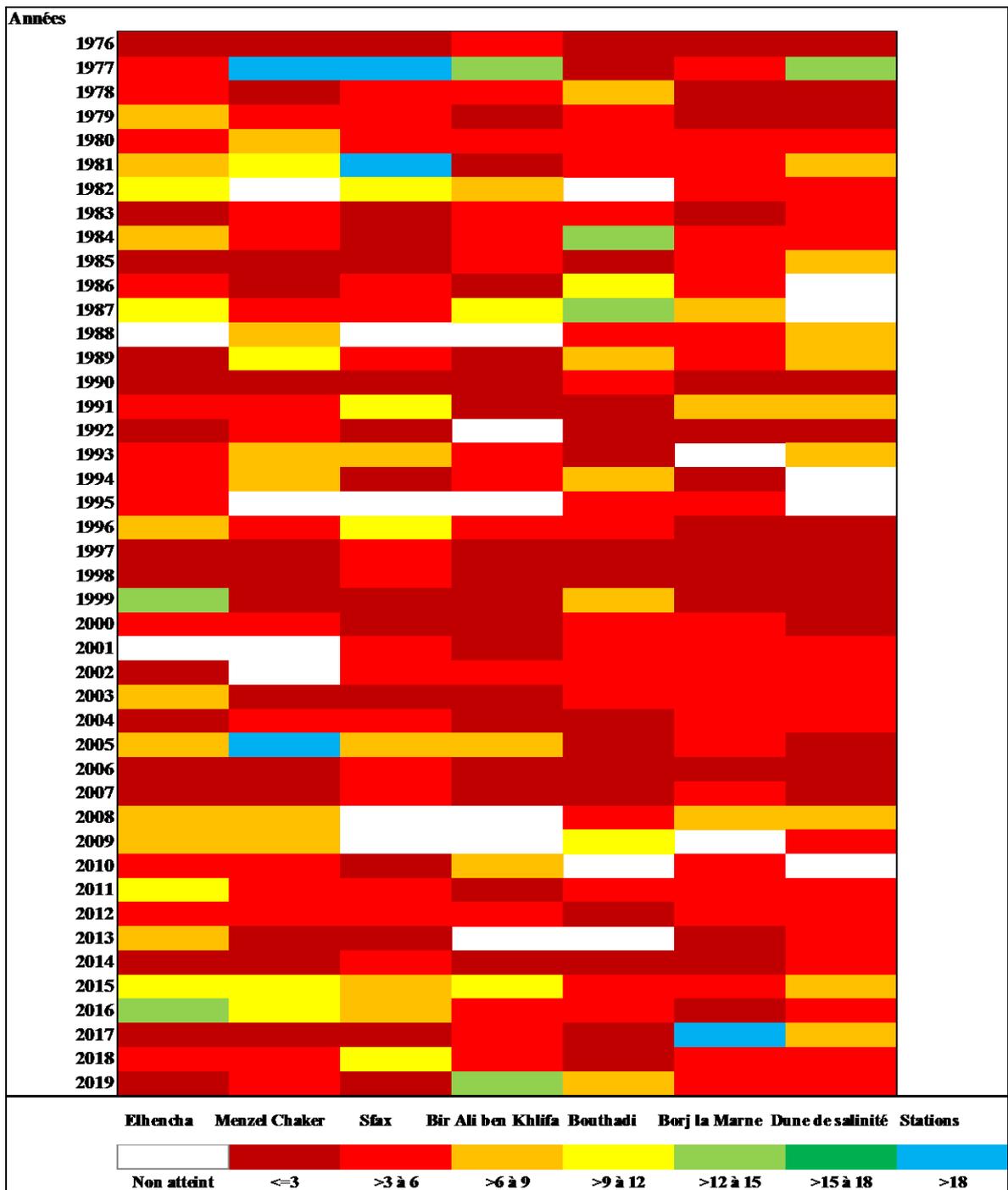


Figure IV.4 : Variation interannuelle (année hydrologique) du nombre de jours cumulant 50% du total pluviométrique annuel moyen dans les 7 stations. (Données, INM et DGRE ; 1976-2019)

#### IV.1.3 Classification ascendante hiérarchique annuel :

Le but de la classification ascendante hiérarchique des totaux pluviométriques annuels des sept stations étudiées durant la période 1976-2019 est de montrer une organisation spatiale des pluies. Elle a dégagé quatre classes, chacune d'entre elles présentent des caractéristiques pluviométriques très proches. La première classe regroupe les stations d'Elhencha et

Bouthadi, situées au Nord de la région. Elhencha bénéficie des pluies venant de l'Est alors que Bouthadi est impactée par l'effet orographique, elle est bordée au nord par une chaîne montagneuse. En effet, l'orographie peut jouer un rôle primordial dans les quantités des pluies reçues dans cette station. Elle déclenche les mécanismes de convection et agit comme un catalyseur de la formation de pluie (Beamont et *al.*, 1992 ; Roe et *al.*, 2003 ; Andrews et *al.*, 2008). Dans la deuxième classe se trouve Sfax et Menzel Chaker sachant que la première est proche de la mer alors que la deuxième se situe à 40km du littoral. La troisième classe compte la station de Bir Ali ben Khelifa. Elle se caractérise par des caractéristiques topo-climatiques spécifiques. Elle est plus élevée que les autres stations avec 177 mètres, un peu loin de la mer et se situe à l'extrême sud-ouest de la zone d'étude. Enfin, les stations de Borj la Marne et Dune de salinité se regroupent dans la même classe (fig IV.5). Ces stations se ressemblent géographiquement puisqu'elles se situent à 38 et 49 Km de la mer et à des altitudes proches de 109 et 114 mètres respectivement. Il est possible que la première bénéficie de l'effet de l'orographie, quant à deuxième est plus décalée vers l'est bénéficiant des courants humides venant de la mer.

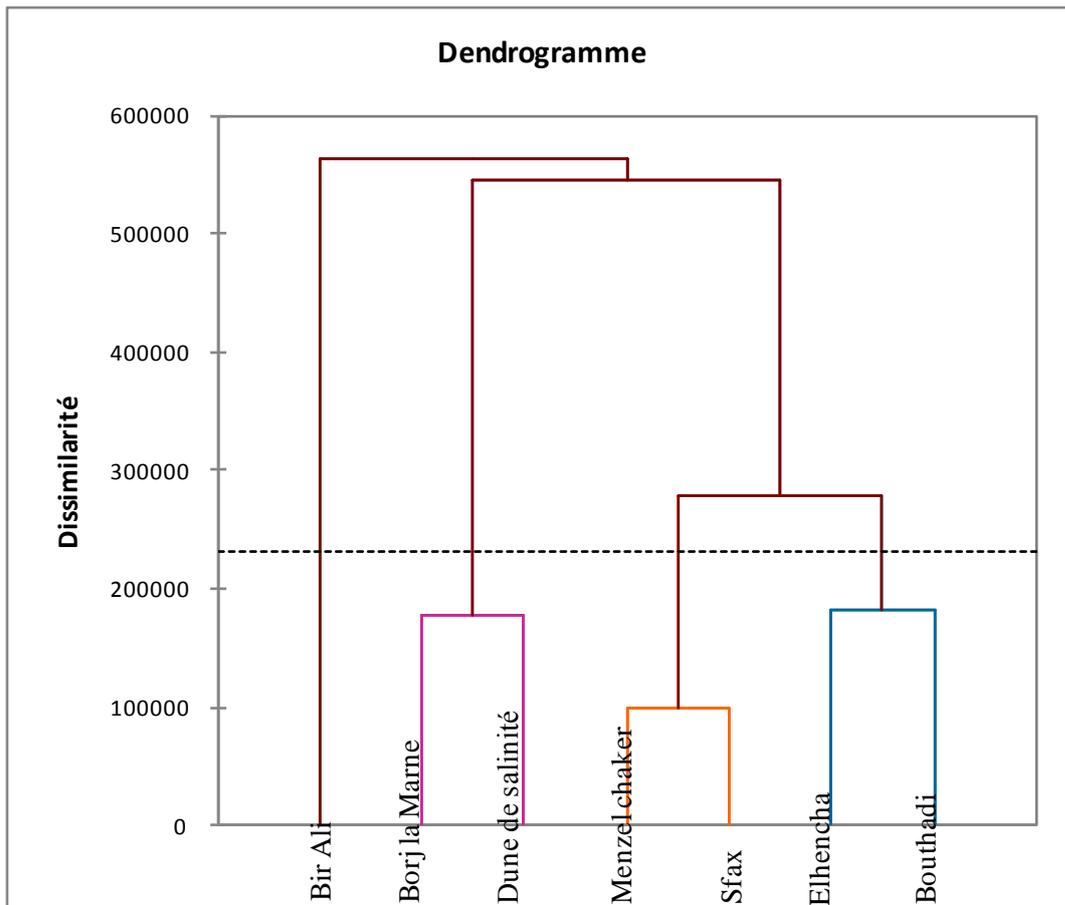


Figure IV.5 : Classification ascendante hiérarchique des stations pluviométriques étudiées selon les cumuls pluviométriques annuels (données INM ; 1976-2019).

#### IV.1.4 Variabilité des concentrations annuelles des précipitations

Sur la base annuelle, le résultat du PCI calculé pour les sept stations sur les 44 années d'étude a montré des valeurs faibles enregistrées aux stations de Menzel Chaker et Sfax en année 1995 (2.2 et 2.3 respectivement). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à Elhencha en 1978 et à Bouthadi en 1998 (43.3 et 39 respectivement). Les valeurs moyennes interannuelles du PCI les plus élevées ont été enregistrées aux stations d'Elhencha, Borj la Marne et Bouthadi avec 13, 12.3 et 12.2 d'une manière respective. Quant à celles les plus basses ont été observées à la Dune de salinité et Sfax (7.7 et 8 respectivement). Ces résultats confirment la forte variabilité spatiale de la répartition annuelle des pluies reflétant l'aspect orageux des pluies qui caractérisent les stations d'Elhencha, Borj la Marne et Bouthadi contrairement aux autres stations. En outre, la tendance des concentrations PCI annuelles varient selon les stations. Elle est en hausse uniquement à Bouthadi. Par contre, elle est en baisse aux autres stations. Cette baisse est

importante à Elhencha et Borj la marne et légère à Menzel Chaker, Dune de salinité et Bir Ali ben Khelifa (fig IV.6).

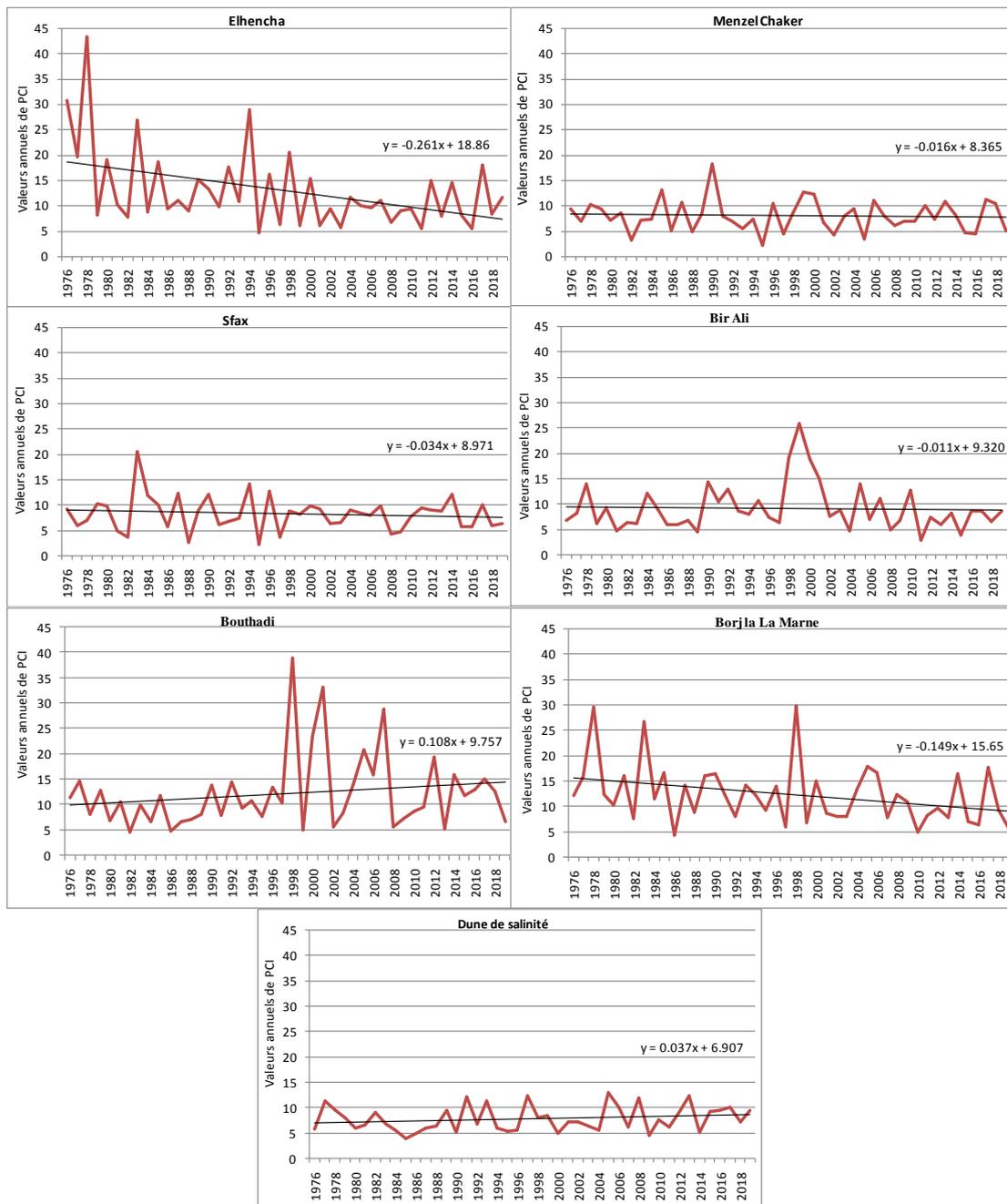


Figure IV.6 : Concentrations annuelles des précipitations de sept stations pluviométriques dans la région de Sfax (donnée INM, 1976-2019)

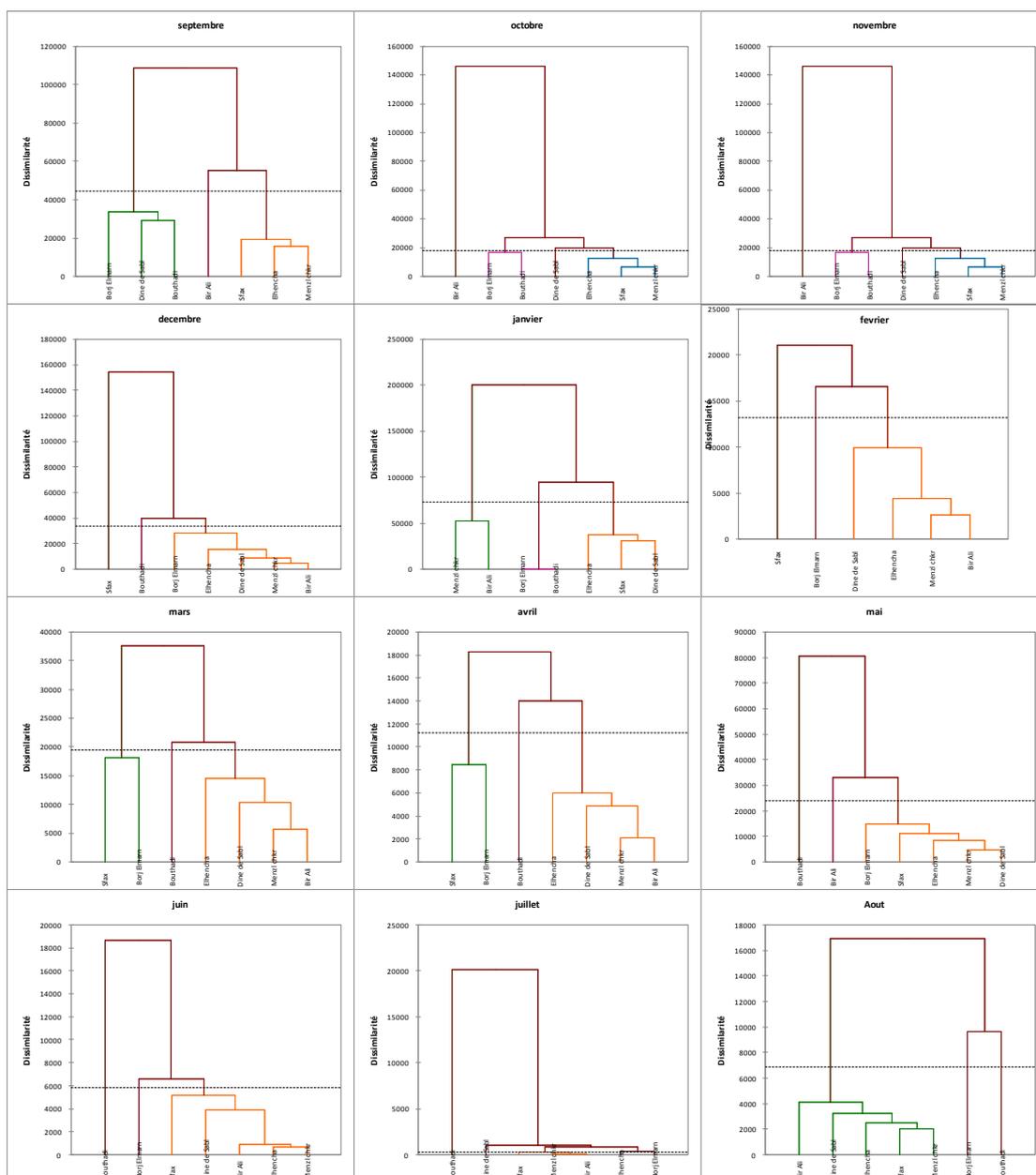


Figure IV.7 : Classification ascendante hiérarchique des précipitations mensuelles

## IV.2. Eventuelles ruptures

### IV.2.1 Tests de ruptures appliqués à la chronique 1976-2019 (test de Pettitt, test de Buishand et test de SNHT).

Les tests de rupture sont appliqués aux indices d'extrêmes climatiques (tab IV.3). Ils détectent des ruptures dans les séries chronologiques (Tab IV.5). Les dates de ruptures varient selon les stations et les indices. La majorité de ces tests de rupture présentent les mêmes dates pour les trois tests dans les différentes stations. Mais, les ruptures communes entre les stations sont

rarement observées. Elles étaient en 2006 pour le CDD dans les stations de Sfax et Bir Ali ben Khelifa, en 1994 à Bouthadi et Bir Ali ben Khelifa pour le CWD et en 1988 à Bouthadi et à la Dune de salinité pour le r25. En somme, les ruptures détectées sont non significatives à l'exception de certains indices repérés dans des stations bien déterminées. En effet, les ruptures significatives ont été observées pour le CWD à la Dune de salinité et à Sfax selon les trois tests en 1997 et 1979 respectivement. Également, la signification est détectée à la station d'Elhencha avec le CDD en 1986 selon le test de Buishand et le SDII avec les trois tests. Aussi, une rupture significative a été détectée en 1989 avec l'AnnualRX5 aux stations de Bouthadi et Borj la Marne (fig IV.8). Enfin, les indices r10, r20 et r25 présentent des ruptures significatives à la station de Borj la Marne pendant les années 2018, 2017 et 2014 d'une manière respective.

Tableau IV.5 : Résultats des tests de rupture à (significative en gras)

Stations	Test/Indice	cdd	cwd	preptot	r10mm	r20mm	r25mm	r95p	r99p	sdi	annualRX1	annualRX5
Sfax	Petitt	2006	1984	2007	1993	2007	2003	1998	2005	1984	1986	2005
	SNHT	2006	<b>1979</b>	2001	2018	2007	2007	2005	2005	2004	1984	2005
	Buishand	2006	1984	2006	1993	2007	2007	1998	2005	2004	1986	2005
Menzel Chaker	Petitt	2004	1994	1994	2017	1999	1986	1981	1989	1979	1989	1999
	SNHT	2004	1994	2017	2017	2017	1986	1981	1989	1977	1989	1999
	Buishand	1995	1994	1989	2017	1999	1986	1999	1989	1999	1989	1999
Bir Ali	Petitt	1994	2010	1994	2007	1996	2007	2007	2005	1988	2005	2001
	SNHT	1994	1994	1994	2007	1996	2007	2001	2000	2001	2005	2001
	Buishand	1994	1994	1994	2007	1996	2001	2001	2000	2001	2005	2000
Elhencha	Petitt	1986	1994	1987	1987	1988	1987	1987	1996	<b>1997</b>	1987	2006
	SNHT	1984	1994	1987	2017	2017	1981	1981	2012	<b>1997</b>	1981	2005
	Buishand	<b>1986</b>	1994	1988	1987	1988	1989	1987	2008	<b>1997</b>	1987	2005
Bouthadi	Petitt	1985	2013	1988	1989	1988	1988	1993	1991	2011	1994	1989
	SNHT	2006	1980	1988	1989	1988	1988	1978	1991	2011	1988	<b>1989</b>
	Buishand	2006	2003	1988	1989	1988	1988	1979	1991	2011	1990	1989
Borj la Marne	Petitt	2000	2007	2006	2015	1996	2000	1991	1987	2006	1998	1988
	SNHT	2015	2007	2016	<b>2018</b>	<b>2017</b>	<b>2014</b>	1977	1987	1985	1978	2012
	Buishand	2006	2007	2006	2018	2014	2000	1991	1987	1998	2012	2012
Dune de salinité	Petitt	1991	<b>1997</b>	1996	1994	1992	1988	1997	1996	1990	1990	1988
	SNHT	2014	<b>1997</b>	1988	1988	1988	1988	2018	204	1988	1988	1988
	Buishand	2013	<b>1997</b>	1988	1988	1996	1988	1997	2004	1998	1988	1988

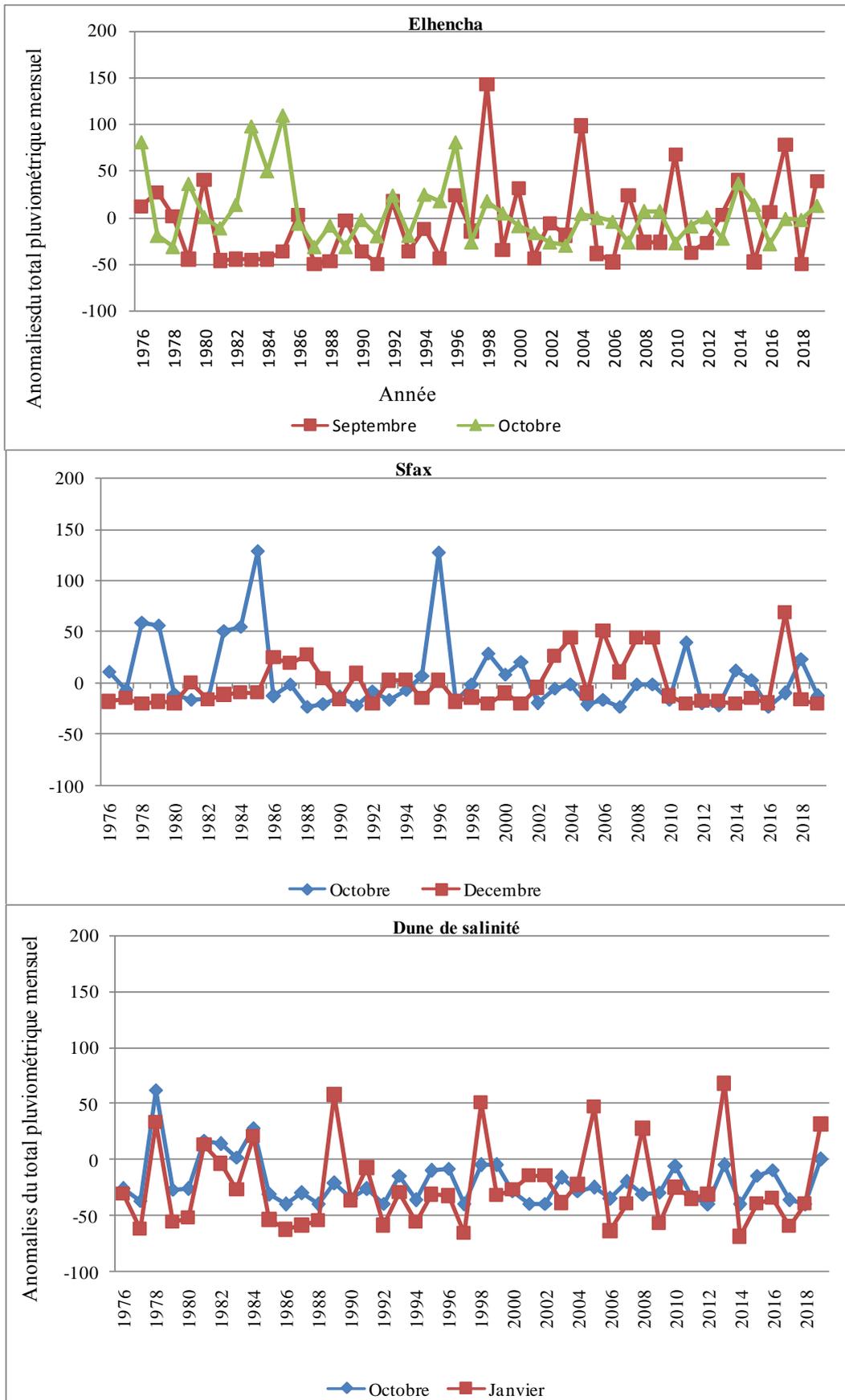


Figure IV.8 : Anomalies du total pluviométrique mensuel (Elhencha, septembre et octobre ; Sfax, octobre et décembre ; Dune de salinité, octobre et janvier)

#### IV.2.2. Test des tendances : Test de tendance non paramétrique (Man Kendall)

D'après les tableaux de tendance des sept stations la plupart des indices utilisés ne présentent aucune tendance puisque le P-value est supérieur à 5% sauf pour quelques indices dans certaines stations (tab IV.6). Les tendances significatives ont été observées aux stations d'Elhencha et Borj la Marne pour l'indice de SDII. Cet indice présente une tendance significative car le P-value est inférieur à 5%. Il atteint 2.9% à Elhencha et 3.8 à Borj la Marne. Les coefficients statistiques de Mann Kendal (UMK) sont négatifs (-0.260 et -0.218 respectivement) confirmant une évolution à la baisse c'est à dire le nombre de jours des pluies est en train d'augmenter. En outre, l'indice CWD présente une tendance significative à la station de la Dune de salinité. Il atteint 1.6% avec un coefficient statistique de Mann Kendal (UMK) positif (0.292) (fig VI.6). Cela confirme que les jours humides consécutifs ne cessent d'augmenter. Ces résultats confirment la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations même à une échelle très fine.

Tableau IV.6 : Résultats des tests de rupture (significative en gras)

Stations	cdd	cwd	prcptot	r10	r20	r25	r95p	r99p	sdi	annualRX1	annualRX5
Sfax	0.177	0.466	1	0.833	0.898	0.456	0.915	0.744	0.859	0.675	0.754
Menzel Chaker	<b>0.112</b>	<b>0.962</b>	<b>0.711</b>	<b>0.776</b>	<b>0.8</b>	<b>0.841</b>	<b>0.841</b>	<b>0.533</b>	<b>0.686</b>	<b>0.686</b>	<b>0.728</b>
Bir Ali	0.706	0.874	0.706	0.643	0.723	0.24	0.22	0.53	0.925	0.408	0.503
Elhencha	<b>0.082</b>	<b>0.294</b>	<b>1.77</b>	<b>0.534</b>	<b>0.395</b>	<b>0.761</b>	<b>0.603</b>	<b>0.377</b>	<b>0.029</b>	<b>0.842</b>	<b>0.385</b>
Bouthadi	0.712	0.972	0.346	0.197	0.297	0.479	0.72	0.464	0.747	0.077	0.216
Borj la Mame	<b>0.761</b>	<b>0.389</b>	<b>0.895</b>	<b>0.935</b>	<b>0.373</b>	<b>0.103</b>	<b>0.307</b>	<b>0.088</b>	<b>0.038</b>	<b>0.738</b>	<b>0.968</b>
Dune de salinité	0.41	<b>0.016</b>	0.179	0.202	0.112	0.352	0.859	0.402	0.845	0.14	0.159

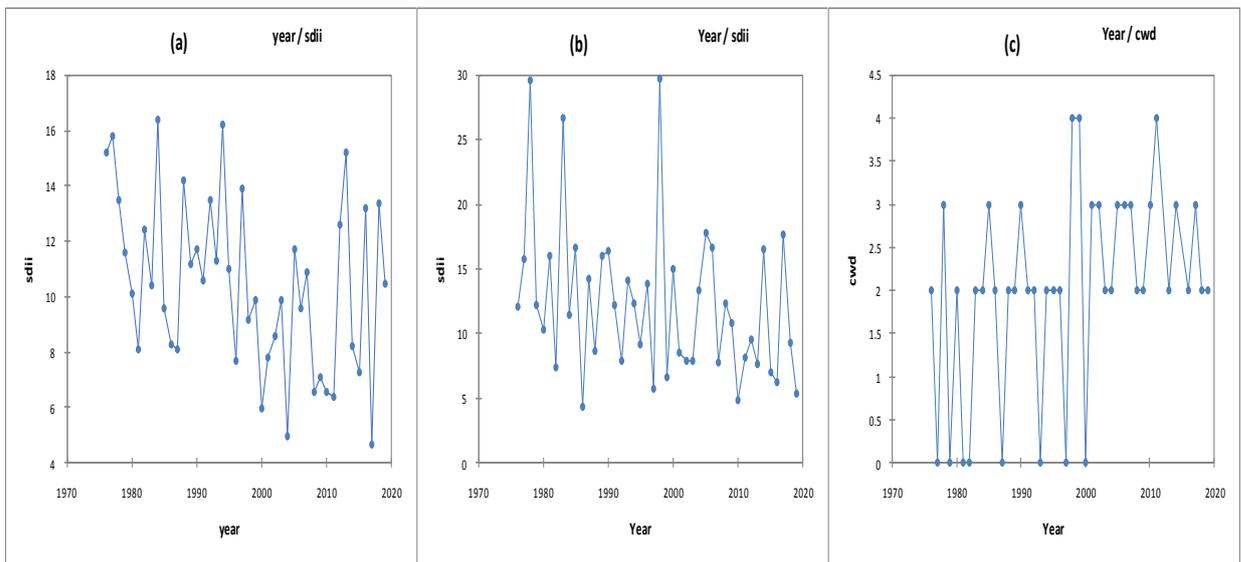


Figure IV.6 : Tests de tendances de Mann-Kendall / Tests bilatéraux : a= Elhencha, b= Borj la Marne, c= Dune de salinité (Données, INM, 1976-2019)

### **IV.2.3 Changement du régime pluviométrique mensuel :**

Le changement du régime pluviométrique mensuel des précipitations peut influencer l'agriculture. En effet, le démarrage précoce ou le retard de la saison pluvieuse peut provoquer la perturbation du cycle biologique de la végétation et par conséquent il affecte la production agricole.

Étant donné qu'aucune rupture n'a été détectée à l'échelle annuelle durant la longue période 1976-2019, nous avons subdivisé cette série en deux sous périodes (1976-1995 et 1996-2019) afin de distinguer les mois qui ont connu un changement de régime de ceux qui ont gardé leurs positions. Les mois les plus pluvieux varient selon les stations et la durée de la période étudiée.

Durant la période entière 1976-2019, le mois qui occupe fréquemment la première position au niveau des cumuls pluviométriques mensuels est septembre aux stations d'Elhencha, Borj la Marne, Bouthadi et Bir Ali ben Khelifa. Par contre, c'est octobre à Sfax et Menzel Chaker. Or, c'est janvier à la station de la Dune de salinité.

En revanche, pendant la sous-période récente 1996-2019, certaines stations n'ont connu aucun changement au niveau de la fréquence du mois le plus pluvieux comme Menzel Chaker, Bir Ali ben Khelifa et Borj la Marne. Par contre, un net changement a été observé dans les autres stations entre les deux sous périodes. Novembre a perdu sa première place au profit de septembre à Bouthadi. Même constat a été observé pour octobre à Elhencha, décembre à Sfax et janvier à la Dune de salinité (tab V.4). En effet, ces résultats reflètent la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations mensuelles et le changement du régime pluviométrique mensuel. Ce changement est expliqué par l'extension de la saison chaude durant les dernières décennies. En effet, la circulation atmosphérique notamment la configuration isobarique durant les deux mois de septembre et la première quinzaine d'octobre ressemble beaucoup à la situation estivale. En conséquence, le haut Geopotential et l'anticyclone subtropical sont devenus dominants pendant ces dernières années (Daoud et Dahech, 2017). Toutefois, le réchauffement de la Méditerranée est propice à l'apparition de cellules dépressionnaires thermiques favorables à de fortes précipitations en septembre comme le cas à Elhencha. Probablement, ce changement est expliqué par l'élévation continue de la température puisque les diagrammes ombrothermiques des deux sous périodes des stations mentionnées en haut montrent une nette augmentation des températures moyennes mensuelles en en été et en automne (fig IV.10). Cette augmentation a influencé les précipitations. En effet, septembre est devenu le mois le plus arrosé à Elhencha, et Bouthadi situées à l'intérieur où des cellules

convectives locales pourraient avoir lieu dès la fin de l'été. Ce constat a été confirmé en 2020 - 2022 à partir de données horaires issues de 3 stations météorologiques automatiques (type Davis vue) qu'on a implantées dans la délégation de Menzel Chaker. Les données issues de ces stations confirment le caractère ponctuel de certains épisodes orageux en fin d'été et au début de l'automne. L'effet du relief à Bouthadi semble être un élément accélérant l'ascendance de l'air chaud et justifie les pluies intenses. A Dune de salinité et secondairement à Sfax, l'automne devient moins pluvieux. En effet octobre n'occupe plus la première place, justifiée en grande partie par les pluies diluviennes qui ont eu lieu du 30 au 31 octobre 1982 (environ 200 mm en 36h). C'est désormais l'hiver (décembre et janvier) qui enregistrent le plus de précipitations (fig IV.10) à l'exception des pluies exceptionnelles du 23 septembre 2009 (100 et 70 mm en 35 mm respectivement au port de pêche et à l'aéroport de Sfax).

Tableau IV.4 : Fréquence du mois le plus pluvieux durant la période 1976-2019 et les sous périodes 1976-1995 et 1996-2019 (en nombre d'années, données pluviométriques INM et DGRE).

Stations	Périodes	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Elhencha	1976-2019	13	8	4	5	5	2	3	0	3	0	0	1
	1976-1995	4	6	4	2	1	2	0	0	1	0	0	0
	1995-2019	9	2	0	3	4	0	3	0	2	0	0	1
Menzel Chaker	1976-2019	6	9	4	7	4	4	5	3	1	0	0	1
	1976-1995	3	6	2	2	2	2	1	2	0	0	0	0
	1995-2019	3	3	2	5	2	2	4	1	1	0	0	1
Sfax	1976-2019	5	8	5	8	6	5	4	2	1	0	0	0
	1976-1995	2	6	3	2	2	2	2	1	0	0	0	0
	1995-2019	3	2	2	6	4	3	2	1	1	0	0	0
Bir Ali	1976-2019	11	5	5	6	3	7	6	4	3	2	1	3
	1976-1995	3	4	1	1	1	3	2	1	1	1	0	2
	1995-2019	8	1	4	5	2	4	4	3	2	1	1	1
Bouthadi	1976-2019	8	6	5	7	3	3	7	1	2	1	0	2
	1976-1995	2	3	4	3	1	2	3	1	1	0	0	0
	1995-2019	6	3	1	4	2	1	4	0	1	1	0	2
Borj la Marne	1976-2019	12	9	2	7	2	3	6	2	2	0	0	0
	1976-1995	5	5	2	4	1	1	2	1	0	0	0	0
	1995-2019	7	4	0	3	1	2	4	1	2	0	0	0
Dune de salinité	1976-2019	2	5	7	4	9	2	8	2	1	2	3	1
	1976-1995	1	4	4	1	2	1	3	1	1	1	0	1
	1995-2019	1	1	3	3	7	1	5	1	0	1	3	0

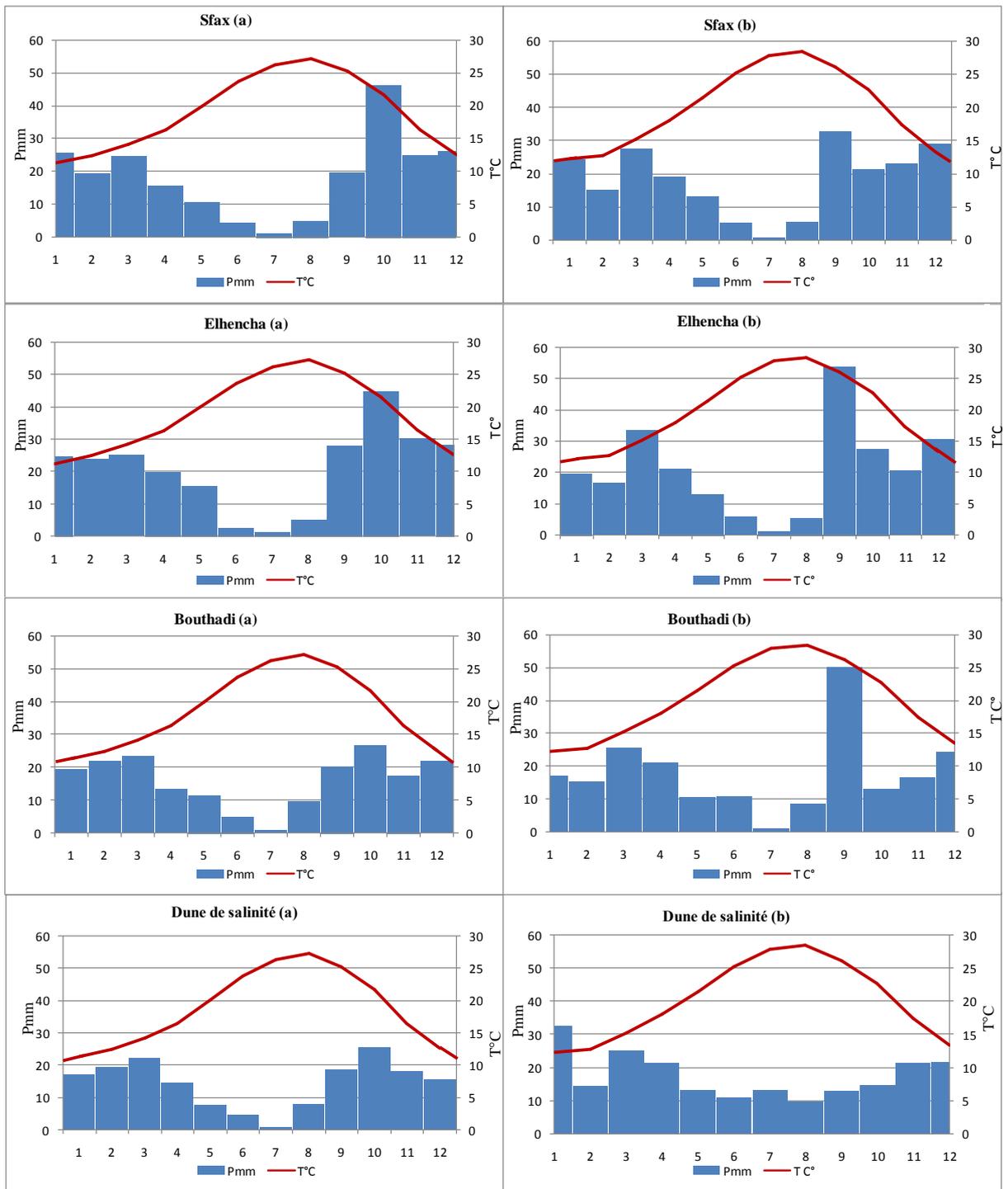


Figure IV.10 : Diagrammes ombrothermiques des stations qui ont connu un changement de position au niveau de la fréquence des mois les plus pluvieux (a= période 1976-1995, b= période 1996-2019, données INM)

Le changement de la fréquence des mois les plus pluvieux entre les deux sous périodes a été confirmés à travers le calcul de leurs écarts à la moyenne. D'après la figure IV.8, les mois de septembre à Elhencha, décembre à Sfax et janvier à la Dune de salinité ont devancé le mois d'octobre à partir de 1996. Aussi, à la station de Bouthadi le mois de septembre a devancé novembre durant cette période. Dans ce qui suit nous présentons la variabilité annuelle des

précipitations en septembre qui coïncide avec le début de l'année hydrologique et la saison pluvieuse, à Elhencha (fig IV.11). Les valeurs supérieures à la moyenne en septembre sont plus fréquentes en premier lieu à Elhencha et en deuxième lieu à Bouthadi et Borj la Marne notamment pendant les 20 dernières années. De plus, ces valeurs sont plus remarquables dans la majorité des stations pendant les périodes 1976-1981 et 1996 - 2000.

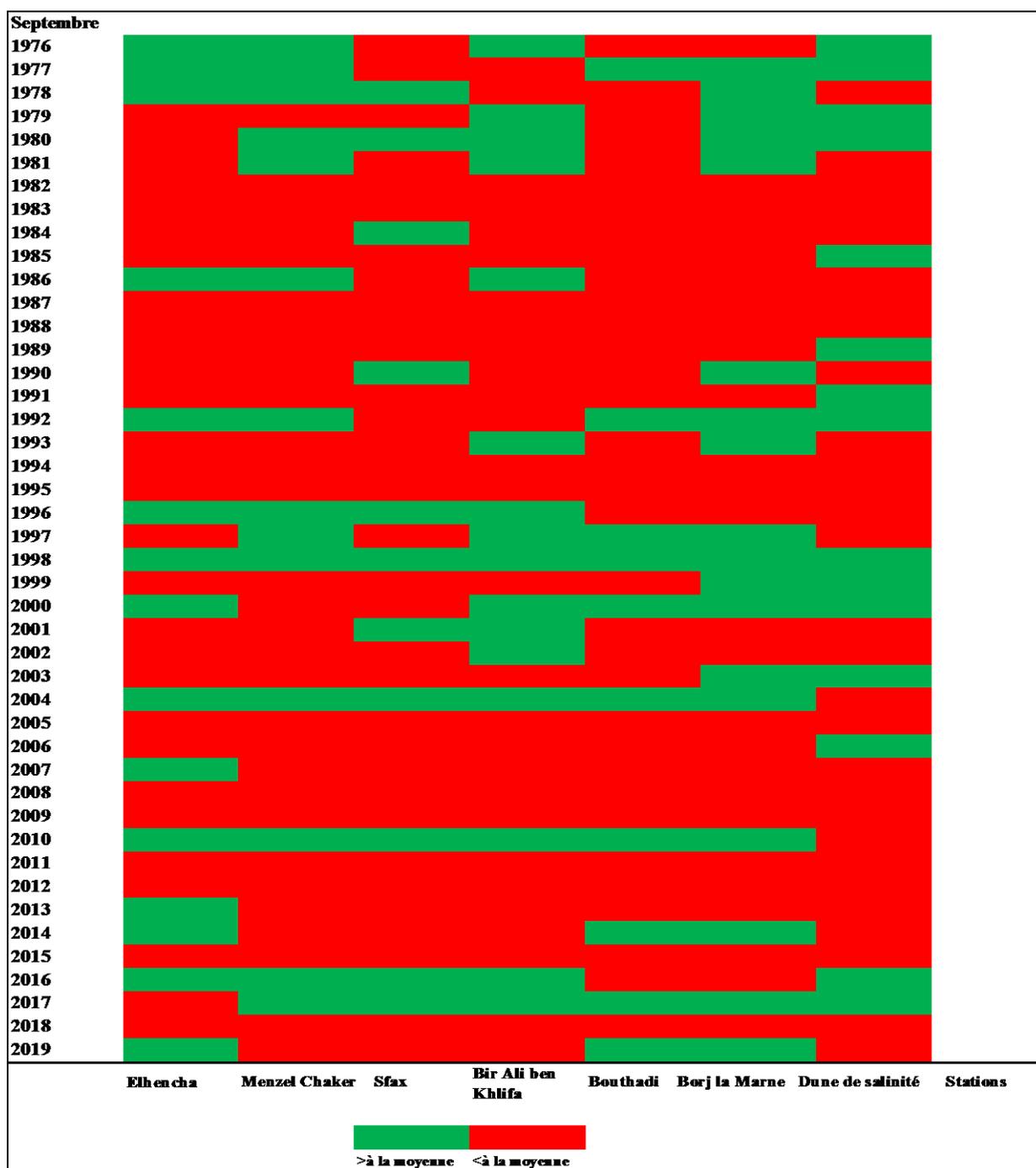


Figure IV.11. Variabilité spatio-temporelle de l'écart à la moyenne mensuel en mois de septembre dans la région de Sfax (données, INM et DGRE ; 1976-2019)

L'ensemble des résultats s'accordent sur la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle annuelle et saisonnière et sur le changement du régime pluviométrique mensuel pour la majorité des stations étudiées. Ces résultats sont en concordance avec les travaux faits à une échelle plus large, en Méditerranée. Plusieurs travaux ont montré des tendances linéaires non significatives des précipitations annuelles et saisonnières (Schönwiese et *al.*, 1993 ; Moisselin et *al.*, 2002 ; Douguédroit et Norrant, 2003) et centiles des précipitations quotidiennes, nombre de jours humides, contribution d'événements extrêmes (Norrant et Douguédroit, 2006 ; Moberg et Jones., 2005; Gallego et *al.*, 2006 ; Brunet et *al.*, 2007 ; Rodrigue et Trigo, 2007 ; Durao et *al.*, 2010 ; Toreti et *al.*, 2010).

Également, ces résultats corroborent les travaux faits en Tunisie par Henia, 1980 ; Bousnina, 1986; Hlaoui, 2008 ; Dallel, 2009 ; Feki, 2009 et ceux faits par Hlaoui et *al.* 2008 au Maghreb ; Traboulsi, 2004 ; Ahmad et *al.*, 2022 à l'est de la Méditerranée et Todaro et *al.*, 2022 à la partie ouest du bassin méditerranéen. En somme, la pluviosité reste modeste dans la plupart des années, parfois comparables aux totaux des stations sahariennes. Ce constat corrobore les travaux de Henia, 1993 qui a montré que les pluviométries dans le Centre Est oscillent entre les totaux très faibles caractéristiques des régions désertiques et les totaux élevés caractéristiques du domaine méditerranéen.

En outre, l'étude de stationnarité des séries pluviométriques des sept stations étudiées a montré des ruptures et des tendances non significatives dans la majorité des stations. De plus, les stations qui ont connu des ruptures au sein des séries des précipitations n'ont pas enregistré des tendances significatives. Ce constat est en concordance avec les travaux faits en Tunisie par Abdelkhalek et Hlaoui, 2007 ; Hlaoui 2010 ; Hénia et Hlaoui, 2011 ; Fehri et Hlaoui, 2016. Également, ces résultats corroborent les travaux faits en Méditerranée qui affirment la quasi-absence d'évolution tendancielle significative (Schonwiese et *al.*, 1993 ; Carréga, 1993 ; Querreda-Sala et *al.*, 2001 ; Moisselin et *al.*, 2002 ; Douguédroit et Norrant, 2003, Pierevitali et Colacino, 2003).

En contrepartie, nos résultats sont en discordance avec d'autres travaux qui ont montré des tendances assez marquées à la baisse des cumuls saisonniers des pluies renseignant sur une tendance la sécheresse autour du bassin méditerranéen (Alpert et *al.* 2002 ; Giorgi 2002 ; Klein et Konnen, 2003 ; Brunetti et *al.* 2004 ; Kostopoulou et Jones 2005 ; Norrant et Douguédroit 2006 ; Toreti et *al.* 2010 ou encore Tramblay et *al.* (2013). Entre autres, Norrant et Douguédroit, (2006) ont noté une tendance générale à la baisse non significative en France méditerranéenne pendant la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Même résultat a été éprouvé par Yapo et *al.*, 2020 concernant

l'intensité des pluies journalières pour les stations du Maroc, Algérie et la Tunisie. De même, les scénarios des sorties de modèles s'accordent sur une diminution non significative de la pluviométrie dans le bassin méditerranéen (IPCC, 2013 et 2021).

De toute façon cette étude doit être accompagnée d'une autre qui s'intéresse de la caractérisation de la sécheresse en utilisant le nombre annuel des jours secs et la durée maximale annuelle des jours secs consécutifs. En effet, cette étude nous permet de cerner la variabilité spatio-temporelle et la durée des séquences sèches tout en étudiant leurs effets sur la production oléicole dans un contexte climatique caractérisée par l'élévation continue de la température et l'intensification des extrêmes climatiques (fréquence de la sécheresse, l'occurrence des vagues de chaleurs estivales et les pluies orageuses parfois torrentielles).

## **Cinquième chapitre : Variabilité des éléments climatiques : Pluies orageuses, périodes sèches, évapotranspiration, températures et vents**

### Introduction

L'étude des éléments du climat dans la délégation de Menzel Chaker n'a pas été faite suite au manque des données dû à l'absence de mesures continues de la température et du vent, contrairement aux précipitations. En effet, les données ont été créées en installant des stations Davis pour mesurer les précipitations à l'échelle horaire, le vent, les températures de l'air. Ces données nous permettent d'étudier la variabilité spatio-temporelle de divers éléments du climat à travers les deux stations Bouzouita et Bouthadi. Celles issues d'une troisième station qu'on a installée à Hajkacem enregistrent un pourcentage de lacune relativement élevé (30%) ; elles ne seront pas présentées dans ce travail.

Nous avons spatialisé les pluies orageuses en se basant sur les données de la télédétection et les pluviométries enregistrées à l'échelle horaire. En outre, nous avons calculé l'évapotranspiration aux échelles annuelles et mensuelles ainsi que les températures maximales, minimales et moyennes. Aussi nous avons étudié le vent en calculant les vitesses maximales mensuelles et en élaborant des roses de vent.

### **V.1 Orages ponctuels : Suivi et spatialisation de leurs impacts à l'aide de la télédétection**

#### **V.1.1 Formation des nuages d'orages**

Les pluies orageuses sont l'une des caractéristiques les plus marquées de la région méditerranéenne. Elles sont enregistrées souvent en fin de l'été et durant l'automne et ont une origine convectives. Elles se distinguent par leur intensité, leur durée et la taille des gouttes d'eau.

Généralement les averses sont soudaines, intensives et violentes. Rappelons que le mot "averse" provient du terme "verse", il désigne les cultures couchées au passage de pluies violentes qui résulte de nuages d'orages (cumuliformes d'extension verticale au contraire de ceux horizontaux des pluies). Ce type de nuage est l'origine des phénomènes orageux. Il s'étend de 5 à 15 km, et peut atteindre 15 km d'altitude. A 10km de hauteur et 1km de largeur, ce cumulonimbus peut contenir 1 million de litres d'eau (<https://meteofrance.com/comprendre-la-meteo/orages/les-cumulonimbus>)

## V.1.2 Orages ponctuels enregistrés dans la zone d'étude

### V.1.2.1 Orage ponctuel à Bouthadi

La station de Bouthadi a enregistré le 20/03/2022 des quantités importantes des pluies égales à 97 mm. La plupart de ces quantités ont été reçues entre 7 et 8 heures du matin. Etant donné que l'enregistrement des données de notre station Davis a été programmé à l'échelle horaire, probablement la durée de cet orage est inférieure à une heure. L'aspect orageux des pluies est l'une des caractéristiques des précipitations à Bouthadi. Cette spécificité peut être expliquée par l'effet de l'orographie puisque cette zone est entourée au nord par une chaîne montagneuse qui joue un rôle primordial dans la formation de ce type de pluies. En revanche, pendant ce même jour (20 mars), les autres stations de notre zone d'étude enregistrent des quantités des pluies moins importantes (tab V.1).

Tableau V.1 : Répartition spatio-temporelles des pluies journalières entre 19/03 et 21/03 et les totaux pluviométriques du mois de mars 2022

Stations/Dates	19/03/2022	20/03/2022	21/03/2022	Total du mois
Menzel chaker	0	10	5	29
Bouthadi	0	97	11	144.5
Borj la Marne	0	0	45	50
Dune de salinité	0	25	0	53

Pour montrer les impacts de cet orage sur l'espace nous avons recouru à la télédétection en téléchargeant des images Landsat 8 et 9. En s'appuyant sur ces images nous avons calculé l'indice de végétation normalisé (NDVI) pour étudier la répartition spatiale de le NDVI. D'après la figure V.1C, les valeurs de le NDVI sont assez basses, expliquées, d'une part, par l'effet du sol et d'autres part, par la résolution moyenne des images satellites. Les valeurs les plus élevées ont été observées dans les périmètres irrigués, elles atteignent 0.41. En deuxième lieu, les valeurs sont observées dans les oueds, sur les banquettes et dans les terrains abandonnés dues à la réflectance des couvertures de l'herbacés. Aussi, les herbacés se sont observées sur les terres non labourées puisque certains agriculteurs notamment ceux qui ont de grandes propriétés ne peuvent pas labourer leurs parcelles en même temps. Autrement dit, ils labourent leurs parcelles selon un tour de rôle. Étant donné que Bouthadi a enregistré les quantités les plus élevées des pluies (tab V.1), les valeurs de le NDVI sont très remarquables dans cette zone notamment sur les berges des oueds et de ses affluents. De ce fait, nous avons fait un zoom sur cette zone pour montrer les traces de l'orage ponctuel qu'a connu Bouthadi (fig V.1A). La répartition spatiale de le NDVI a été validée par des photos qui visualisent les herbacées sur le terrain (fig V.1B). Nous relevons également des valeurs élevées, correspondent aux périmètres irrigués au SE.

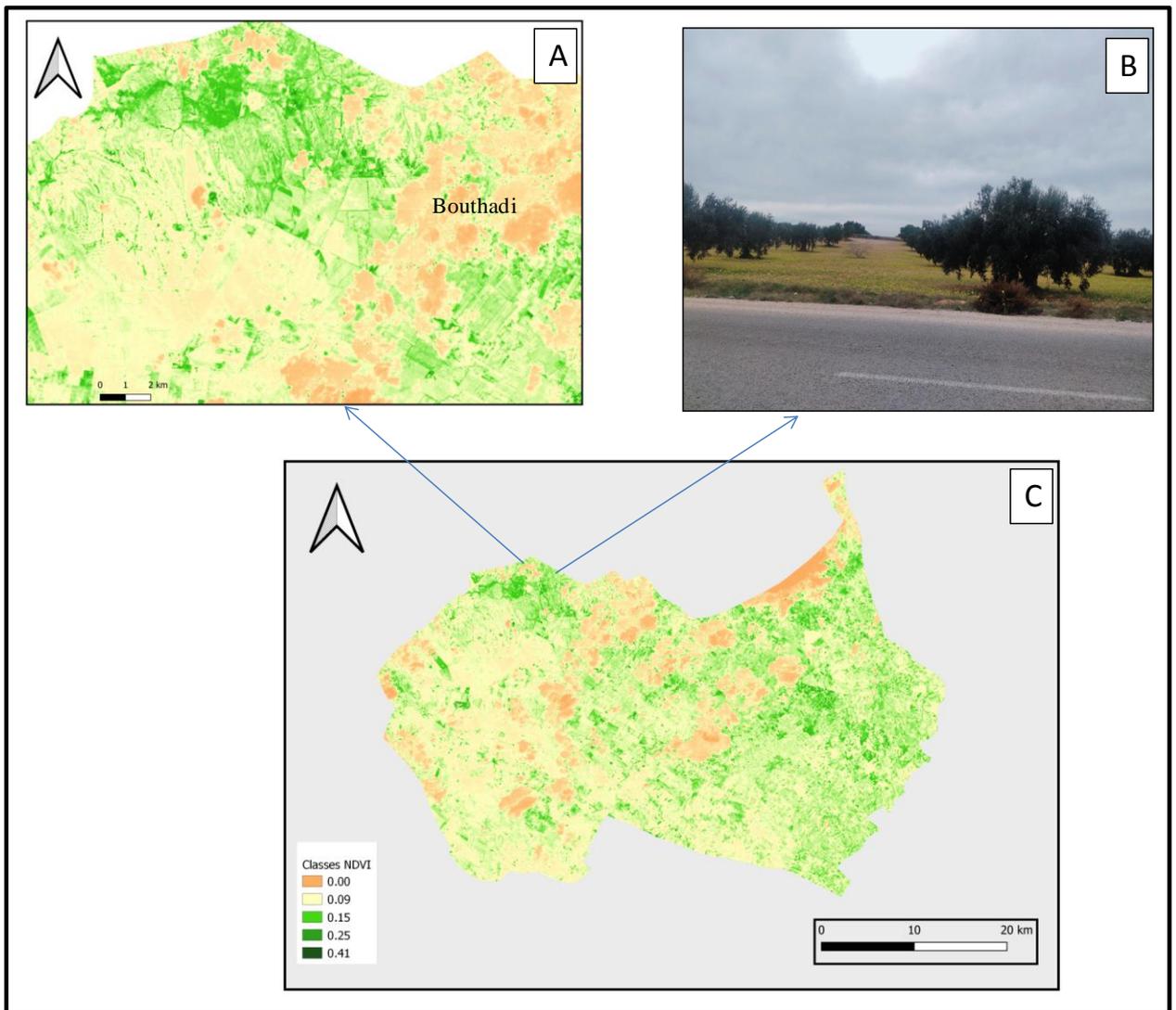


Figure V.1: (A= Zoom de répartition spatiale de le NDVI à Bouthadi ; B= Couverture herbacée suite aux pluies de mars 2022 ; C= Répartition de le NDVI dans la délégation de Menzel Chaker suite aux pluies de mars 2022)

### V.2.1 Orage ponctuel à Mejel Edarj

Le secteur de Mejel Edarj se situe au sud de la zone d'étude. Nous avons observé le 11/05/2022 de grandes quantités des pluies précipitées contrairement aux autres secteurs puisque les stations de Sfax Elmaou, Elhencha, Bouthadi et Dune de salinité n'ont enregistré aucune quantité de pluies. Borj la Marne, quelques km, a enregistré 12mm. Ces quantités observées sur le terrain sont passées sous mailles et n'ont pas été enregistrées par nos stations. Ces grandes quantités précipitées ont été photographiées juste quelques heures après leurs chutes (fig V.2).



Figure V.2 : Les eaux retenues par les banquettes suite à l'orage ponctuel qu'a connu MejelEdarj le 11/05/2022 (*Cliché personnel*).

Ces pluies ont été piégées par les banquettes et accumulées dans les dépressions. Ces quantités énormes d'eaux prouvent l'existence d'un orage ponctuel très localisé dans le temps et l'espace. Les mouvements de ces nuages orageux ont été suivis par le modèle CHIRPES. Ce modèle nous a permis de suivre le mouvement nuageux et de montrer l'effet des mouvements verticaux de l'air induisant ce type d'orage. Ensuite, nous avons essayé de montrer l'impact spatial de cet orage. En effet, nous avons recouru à l'outil télédétection pour suivre la répartition spatiale de la végétation en utilisant le NDVI.

D'après la figure IV.3 A, la répartition de le NDVI est similaire à celle engendrées des pluies de mars. Les valeurs les plus élevées ont été observée clairement aux périmètres irrigués mais leur distinction sur les banquettes, dans les dépressions de l'accumulation des eaux et dans certains terrains abandonnés reste modeste (figV.3.B). En effet, ces valeurs restent plus basses que celles mentionnées dans la figure IV.1. Probablement, les herbacées et l'olivier de la zone d'étude ont profité des pluies de mars ce qui a influencé toute la végétation. Mais, il se peut aussi, que la résolution spatiale ne nous a pas permis d'obtenir de bons résultats.

En tous cas, les pluies de mars ont été précipitées dans toute la délégation mais avec un net avantage à Bouthadi contrairement à celles enregistrées au mois du mai et qui sont très localisées exclusivement à MejelEdarj (tabV.2). Malgré ça, l'état pas mal de la végétation observée dans la délégation est expliqué par l'influence des pluies enregistrées pendant le mois de mars (figV.3A).

Tableau V.2 : Répartition spatio-temporelle des pluies journalières entre 10/05 et 11/05 et des totaux pluviométriques du mois de mai 2022

Stations/Dates	10/05/2022	11/05/2022	12/05/2022	Total du mois
Menzel chaker	7	2	0	9
Bouthadi	0	0	0	0
Borj la Marne	0	0	10.5	10.5
Dune de salinité	0	0	4	8

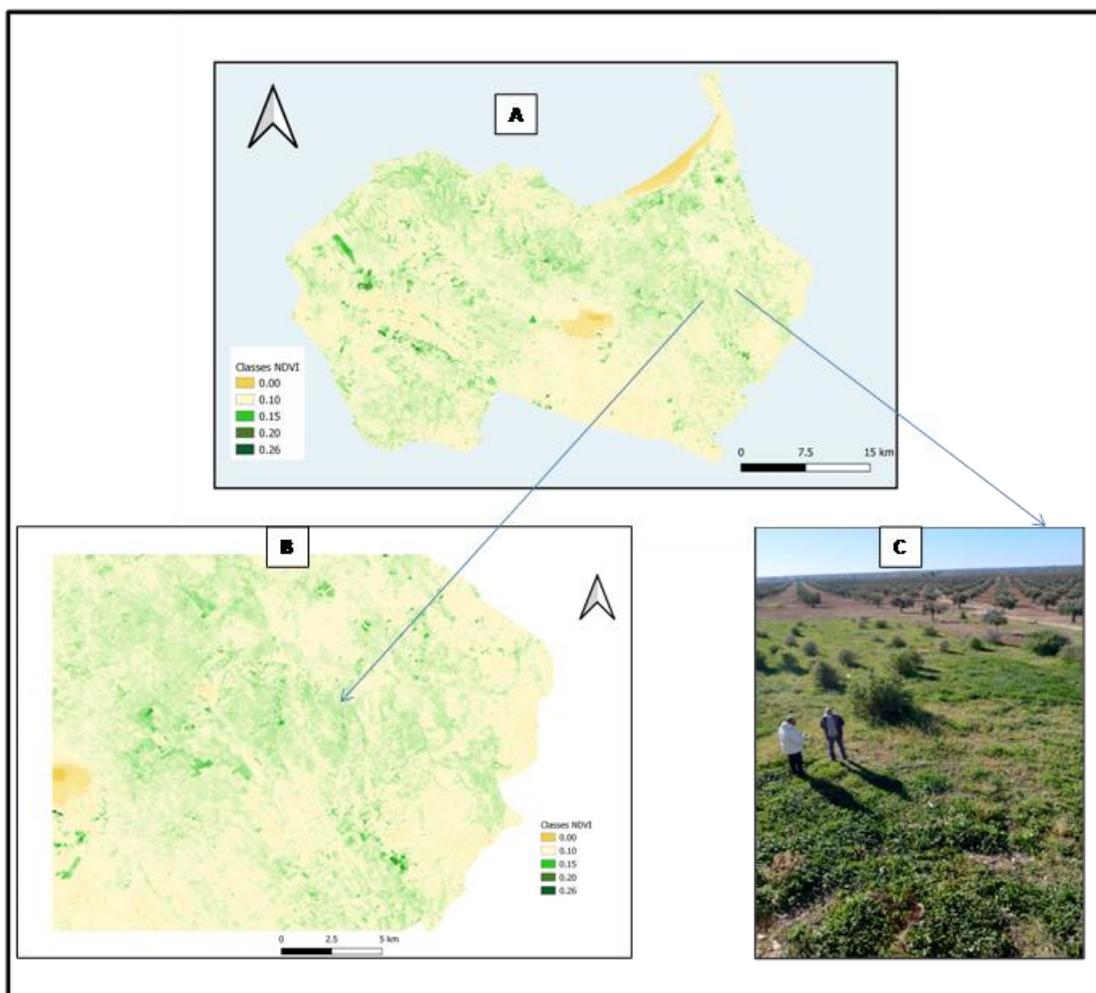


Figure V.3 : (A= Répartition de le NDVI dans la délégation de Menzel Chaker suite aux pluies de mars 2022 ; B= Zoom de la répartition spatiale de le NDVI à Bouthadi ; C= Couverture herbacée suite aux pluies de 11 mai 2022)

### V.2.1 Orage ponctuel à Elhencha

La station d'Elhencha a enregistré le 25/05/2023 de grandes quantités de pluies pendant une demi-heure. En effet, entre 7heures et 7heures et demi du matin le pluviomètre a enregistré 71.5mm. Cette quantité des pluies torrentielle, la plus élevée au niveau régional

voire national, a envahi la ville de telle sorte que la vie économique, le mouvement de transport et les institutions d'enseignement se sont paralysés ce matin (figV.4).



Figure V.4 : Pluies orageuses le 25/05/2023 à Elhencha (*Cliché personnel*)

Cet orage a été ponctuel et très localisé puisque certaines stations avoisinages ont enregistré de faibles quantités de pluies alors qu'aucune quantité n'a été enregistrée dans les autres stations comme celle de Sfax Elmaou (tab IV.3).

Ces pluies orageuses exceptionnelles dans la région de Sfax ont profité à la végétation. Cependant, nous n'avons pas pu confirmer cette amélioration à l'aide des images satellites de types Landsat 8 et 9 à cause du taux élevé de la couverture nuageuse des images. La confirmation n'a été faite que par les observations de terrain. Ces observations ont confirmé la nette amélioration de l'état de végétation notamment l'olivier qui a bien profité de ces pluies. Elles lui permettent de reprendre son état végétatif et de surmonter les effets néfastes du stress hydrique connu le long de la période sèche (figV.5).



Figure V.5: L'état de l'olivier après les pluies orageuses le 25 mai 2023 à Elhencha(*Cliché personnel*)

## V-2 Forte variabilité spatio-temporelle de la sécheresse :

### V-2-1 Nombre total des jours secs consécutifs annuels

L'analyse montre que les séries de la station de Bouthadi et Borj la Marne sont asymétriques. Il est à noter que le nombre total annuel des jours secs consécutifs les plus élevés ont été recueillis à la station Borj la Marne. Ce nombre varie de 335 à 357 jours avec une moyenne de 345 jours. La seconde station la plus marquée par le nombre élevé des jours secs est celle de Bouthadi avec une moyenne annuelle de 343 jours. Enfin, la station de Dune de salinité est relativement moins sèche avec 340 jours par an (fig V.6a).

### V-2-2 Durée maximale des séquences de sécheresse intra annuelles

D'après la figure V.6b, les moyennes de la durée maximale des séquences sèches intra annuelle des trois stations sont un peu plus élevées que celles des médianes. Cependant, la station de Borj la Marne enregistre la valeur la plus élevée des séquences sèches les plus longues avec 108 jours. La durée de ces séquences varie entre un maximum de 186 jours et un minimum de 60 jours. En second lieu se classe la station de Bouthadi avec une moyenne de 103 jours. Alors que la station de la Dune de salinité enregistre la valeur la plus basse avec une moyenne de 93 jours. Également, cette station a enregistré la durée maximale la plus basse avec seulement 37 jours. Cela confirme que la station de la Dune de salinité est la moins sèche que ce soit au niveau du nombre annuel des jours secs ou au niveau intra annuel notamment pour la durée maximale des séquences sèches (Mzoughi et *al.*, 2023).

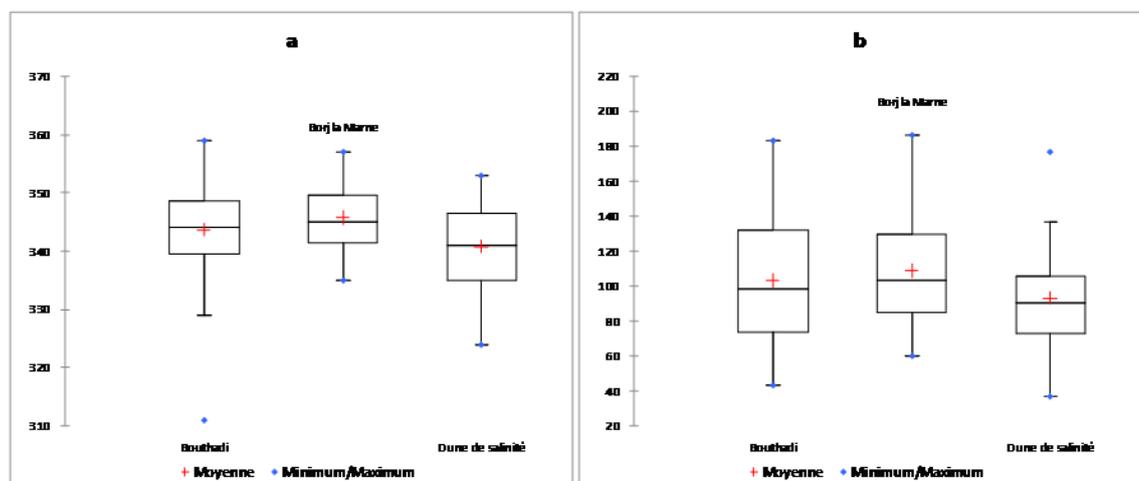


Figure V.6 : (a) Caractéristiques statistiques du nombre total des jours secs consécutifs annuels.

(b) Caractéristiques statistiques de la durée maximale des séquences de sécheresse intra annuelles.

### V.3 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène difficile à quantifier, vu sa complexité dans le système sol-terre- plante (C.Y. XU et Singh, 1998 ; Fisher et Pringle H.C. III, 2013). Il dépend du climat et d'autres facteurs liés au système sol- plante comme l'extension de la surface évaporant, son albédo, les caractéristiques du couvert végétal et l'état de liaison dans le sol, entre autres... (Hénia, 1993). Dans des conditions hydriques données, l'évapotranspiration d'un système sol- plante est appelée évapotranspiration réelle (ETR). Alors qu'elle s'appelait évapotranspiration potentielle (ETR) en cas où sa consommation en eau est maximale

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour l'estimation de l'évapotranspiration. Parmi ces méthodes, celle de PENMAN-MONTEITH (FAO-PM), est fréquemment utilisée dans les références bibliographiques. Elle a été recommandée par la FAO comme méthode standard Allen *et al.*, 1998 ; Bakhtiri *et al.*, 2011 ; Marti *et al.*, 2015). Elle intègre un nombre important de variables météorologiques: température (T), radiation solaire (Ra), humidité relative (HR) et vitesse du vent (u2) (Diouf *et al.* (2016). Néanmoins, la contrainte de son application est l'absence de quelques variables climatiques dans certaines régions, où les données sont indisponibles (Allen *et al.*, 1998), particulièrement à l'échelle journalière (Bodian *et al.*, 2016). D'autres méthodes à base de température ont donné de meilleures estimations comme celles de BLANEY-CRIDDLE, de HARGREAVES et de THORNTHWAITE (C.Y. XU et V.P. Singh, 2001) et les méthodes de HARGREAVES et de PRIESTLEY-TAYLOR (Tabari et Talaee, 2011). Étant donné que notre zone d'étude appartient à la région aride, où la température représente un élément important, nous avons utilisé la méthode de THORNTHWAITE. Elle a été proposée en 1948 par Thornthwaite. C'est une méthode de calcul du bilan hydrique moyen mensuel et annuel afin d'élaborer une classification des climats. Cette méthode permet une évaluation théorique de l'évapotranspiration potentielle en se basant sur la température et la durée d'insolation (Bonnet *et al.*, 1970). La formule de calcul est la suivante

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a * F(\lambda) \quad 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a * F(\lambda)$$

Avec E.T.P en millimètres.

$$A=6.75 \cdot 10^{-7} I^{-3} - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} I + 0.49239.$$

$F(\lambda)$   $F(\lambda)$ : Coefficient de correction, fonction de la latitude et du mois.

T : la température moyenne mensuelle du mois considéré en C°.

([https://www.memoireonline.com/07/09/2286/m\\_Etude-hydrogeologique--la-confluence-Rhne-Durance24.html](https://www.memoireonline.com/07/09/2286/m_Etude-hydrogeologique--la-confluence-Rhne-Durance24.html))

Le recours à l'étude de l'évapotranspiration est dû à son importance pour les programmes d'irrigation, la planification et la gestion des ressources en eau (C.Y. XU et Singh, 1998 ; Adeboe *et al.*, 2009 ; Bakhtiari, 2011 ; X. Jia *et al.*, 2013 ; Heydari *et al.*, 2014 ; Naorem et. Devi, 2014 ; Djaman *et al.*, 2015). Pour ce faire nous avons utilisées données des deux stations Bouzouita et Bouthadi, espacée, l'une à l'autre, de 20 km. Ces données concernent une période courte allant du premier janvier 2021 jusqu'au 31 décembre 2022. Rappelons que ces données ont été recueillies par des stations météorologiques automatiques (Davis) que nous avons installées pendant cette période vue que la zone d'étude est dépourvue de stations météorologiques. En effet, ces données nous permettent d'étudier la variation spatio-temporelle de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) à une échelle très fine.

### **V.3.1 Variation annuelle de l'ETP.**

D'après la figure VI.7, l'ETP annuelle est forte alors que les quantités de pluie que reçoit la région sont faibles. En effet, les chiffres se situent entre 1243 et 1400 mm soit en moyenne 3.5 et 4 mm/jour. Ils cachent une variabilité spatiale et temporelle. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à Bouthadi. Cette variation peut être expliquée par les températures qui étaient plus importante à Bouthadi qu'à Bouzouita. Ces résultats concordent avec les travaux de Hénia (1993). Elle a mentionné que l'ETP annuelle varie spatialement, dans le sens inverse de la variation des pluies. Autrement dit, elle évolue en fonction de la latitude et la distance à la mer, c'est-à-dire elle baisse en se rapprochant à la frange littorale et en se dirigeant vers le nord de la Tunisie, moins chaud.

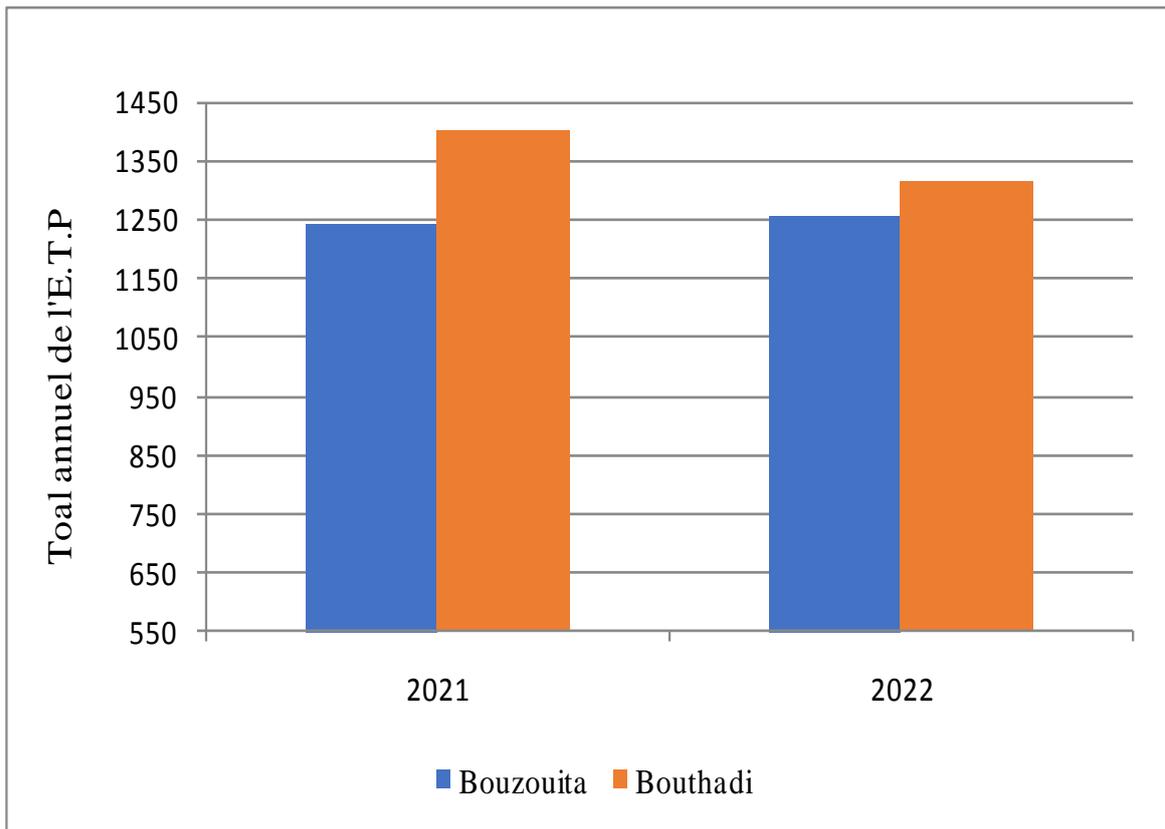


Figure V.7. Totaux annuels de l'ETP (source, données Davis)

### V.3.2 L'ETP saisonnière et mensuelle

D'après la figure V.8, les valeurs moyennes les plus faibles, des deux stations Bouthadi et Bouzouita, ont été enregistrées en hiver notamment en mois décembre de l'année 2021 et le mois de janvier en 2022 (<20 mm). Par contre, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en saison estivale notamment au mois d'août 2021 (301 et 243 mm respectivement) et au mois de juillet 2022 avec 244 et 239 mm d'une manière respective. Globalement, les valeurs d'ETP commencent à s'élever à partir du mois de mai pour atteindre l'apogée en juillet et août et baisser nettement en octobre. Les valeurs de l'ETP de la saison printanière ont diminué entre les deux années (fig V.8).

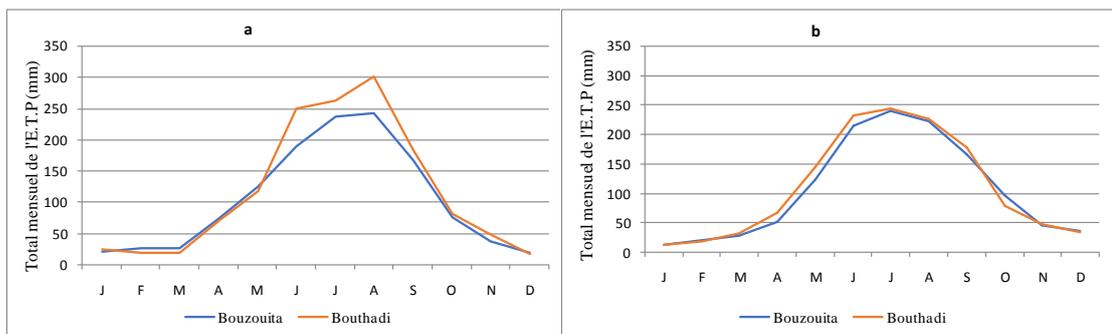


Figure V.8. Totaux mensuels moyens de l'ETP (a=2021, b=2022), (source, Données Davis)

Ces résultats confirment la dépendance de l'ETP de la température notamment en saison estivale puisque la courbe de l'ETP suit celle de la température. En effet, les températures estivales qui ont été plus élevées à Bouthadi qu'à Bouzouita ont influencé l'évapotranspiration. Par contre, en saison hivernale, la relation entre l'ETP et la température devient quasi indépendante. L'ETP est quasiment stable de novembre à mars (<à 50mm/mois). A l'échelle interannuelle, la diminution de l'ETP en 2022, notamment à Bouthadi, est liée aux températures qui ont été plus basses cette année par rapport à la précédente (fig V.9).

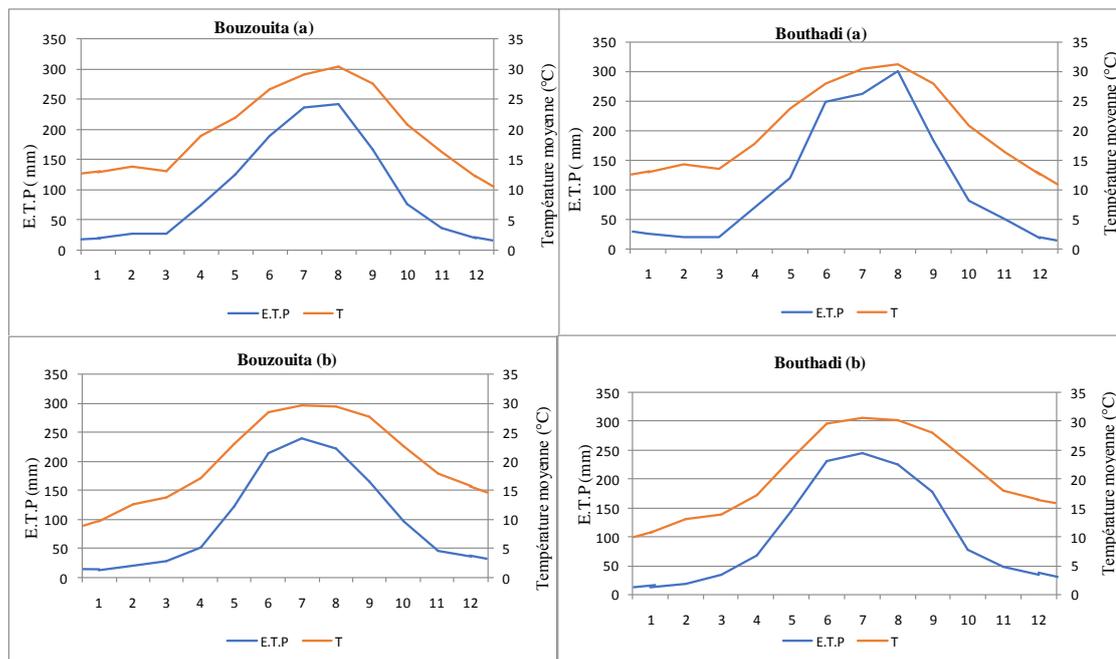


Figure V.9. Totaux mensuels moyens de l'E.T.P et les températures moyennes mensuelles (a=2021, b=2022),  
(source, Données Davis)

## V.4 Variabilité de la température

### V.4.1 Variabilité interannuelle (2021-2022)

D'après la figureV.10, les courbes des températures maximales et minimales des trois stations suivent presque la même allure. Pour les températures minimales les valeurs des trois stations sont presque égales pendant les deux années. Ces valeurs sont plus élevées en 2022 qu'en 2021 pendant la période allant de septembre jusqu'à janvier. Pour les températures maximales, les valeurs sont plus élevées en 2022 du mois d'avril jusqu'à décembre à l'exception du mois d'août précisément à Bouthadi. A ce mois les températures ont été plus élevées en 2021 puisqu'il est marqué par des vagues de chaleurs. Aussi, ces températures ont été plus élevées en 2021 pendant janvier et février.

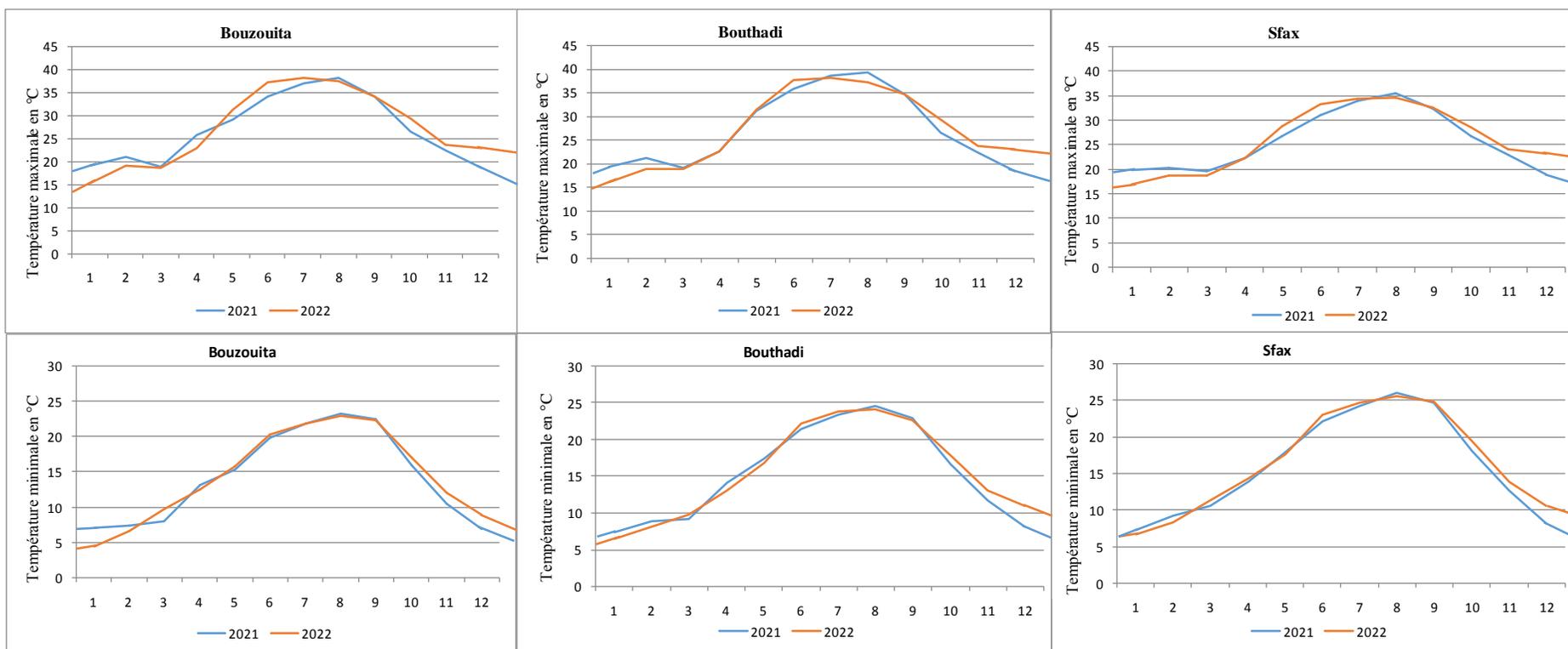


Figure V.11. Températures maximales et minimales des stations de Bouzouita, Bouthadi et Sfax (aéroport) en 2021 et 2022 (source, Données INM et Davis)

#### **V.4.2 A l'échelle mensuelle**

D'après la figure V.12, les températures maximales mensuelles durant les deux années 2021 et 2022 sont plus élevées à Bouthadi et Bouzouita que Sfax et contre versa pour les températures minimales. Cela est expliqué, en été, par l'effet de la mer influençant la température à Sfax. En effet, l'aéroport de Sfax, siège de la station météorologique Sfax Elmaou, est à environ 6 km de la mer caractérisée par une forte inertie thermique d'où des températures minimales et maximales modérées par rapport au continent. Les deux stations Bouthadi et Bouzouita sont soumises à l'effet de continentalité, d'où une forte amplitude thermique journalière et annuelle.

En outre, les températures maximales se ressemblent entre Bouthadi et Bouzouita en 2022 presque toute l'année. Or, pour l'année 2021 elles sont plus élevées à Bouthadi pendant la période allant d'avril jusqu'en août. Pendant cette période notamment en juillet et août la région a connu des vagues de chaleurs avec des températures exceptionnelles. La station de Bouthadi a enregistré 27 jours où les températures maximales ont dépassée 38°C. Bouthadi est située plus à l'ouest et peut être plus influencée par l'advection de l'air venant du Sahara. Les journées marquées par des températures paroxysmiques ont influencé les températures moyennes qui ont été plus élevées à cette station notamment en 2021(fig V.12). En regardant les roses de vent à l'échelle saisonnière on s'aperçoit que les vents venant de l'intérieur sont plus fréquents à Bouthadi par rapport à Bouzouita. Cependant la situation est comparable en hiver avec une dominance des vents venant de l'ouest.

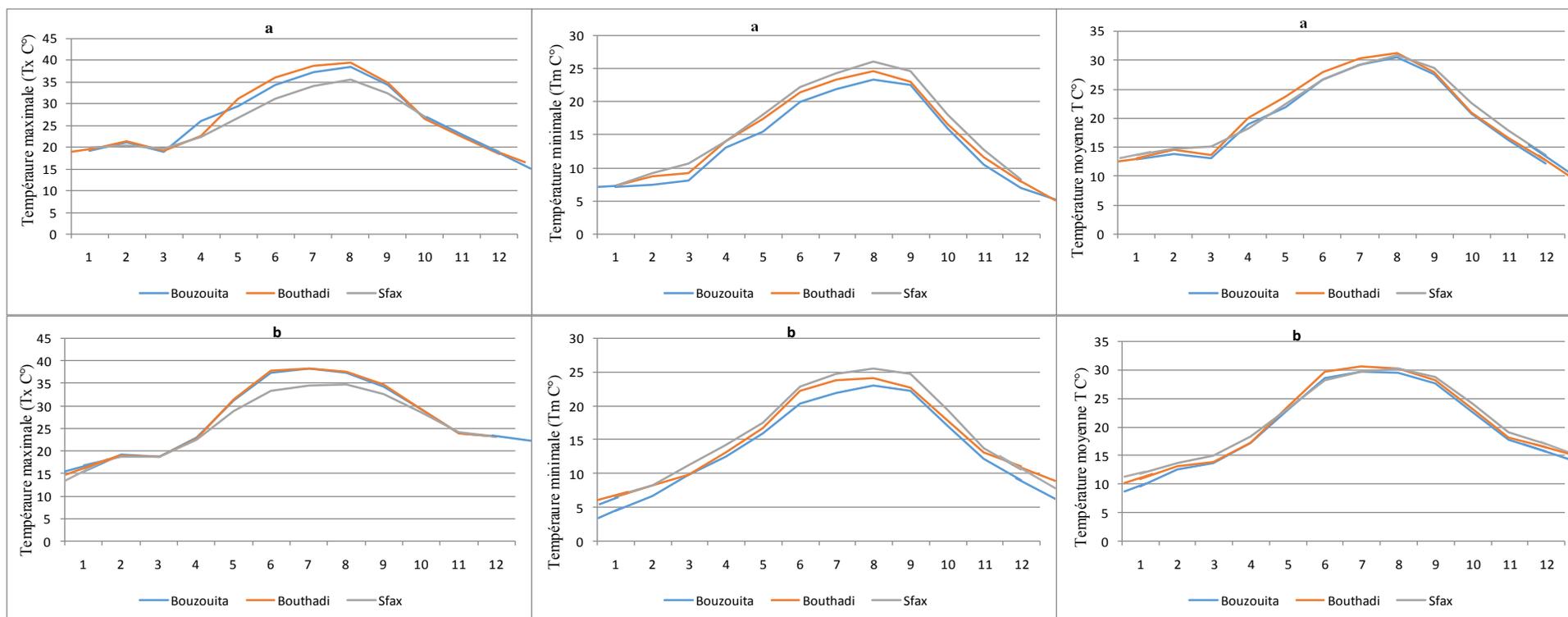


Figure V.12. Températures maximales, minimales et moyennes des stations de Bouzouita, Bouthadi et Sfax (a=2021, b=2022) (données, INM et Davis)

D'après la figure V.13, les deux stations continentales Bouthadi et Bouzouita se ressemblent au niveau de l'allure des courbes et des valeurs des températures maximales, minimales et moyennes tout en présentant une différence à celle littorale (Sfax). Cette différence est marquée par une amplitude thermique importante aux stations de l'intérieur contre une amplitude faible à la station de Sfax (fig V.13). La différence de l'amplitude thermique entre la station de Sfax située près du littoral et celles de Bouzouita et Bouthadi, situées à l'intérieur, est expliquée par l'élévation des températures du jour en été à l'intérieur qui est soumise sous l'effet des flux chauds venant du Sahara quant à Sfax, elle est influencée par l'air frais venant de la mer. Par contre, pendant la nuit, les températures sont plus élevées dans la ville qu'au milieu rural sous l'effet de l'îlot de chaleur urbain (Dahech, 2012).

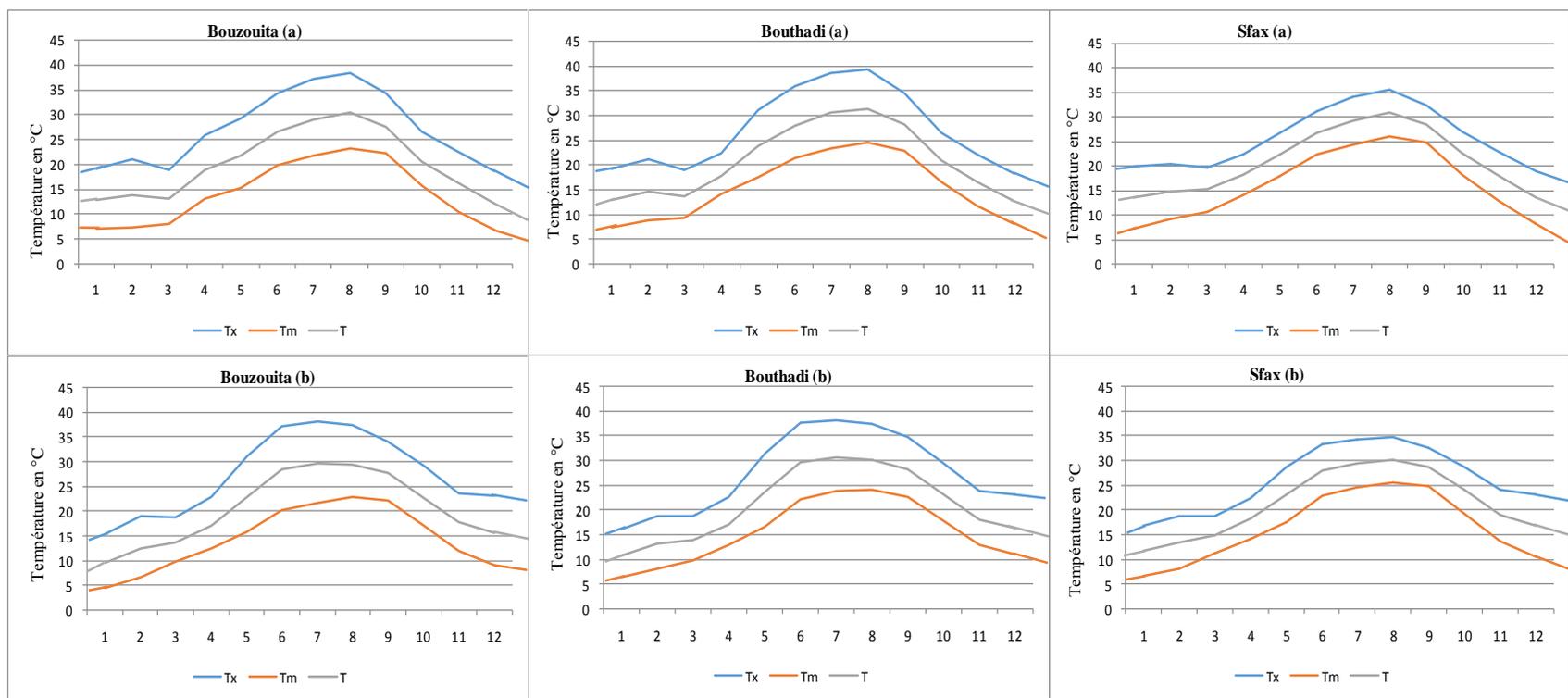


Figure V.13. Températures mensuelles moyennes des stations de Bouzouita, Bouthadi et Sfax en 2021 et 2022, (a=2021, b=2022), source, données INM et Davis)

## V.5 Le vent

« Le vent est un élément ingrat à observer, d'abord parce qu'il y a deux ordres de données différentes devant être mesurées numériquement : la direction (d'où le vent souffle t-il) et sa vitesse. Ensuite parce que l'une et l'autre de ces données varient selon le temps à un rythme rapide défiant toute analyse » (Péguy, 1970).

La variation de la vitesse et la direction du vent, au cours des jours, des mois et des années, sont liées à la circulation atmosphérique générale. Cette circulation est liée elle-même à l'emplacement et la migration des centres d'action (Dahech, 2007).

### V.5.1 Variabilité spatio-temporelle de la vitesse quotidienne moyenne et horaire du vent à l'échelle mensuelle.

Les vitesses les plus élevées du vent ont été observées en mars et novembre pour les deux stations et celles les plus basses en avril et septembre.

D'après la même figure V.14, la vitesse du vent à Bouzouita est plus élevée pendant tous les mois à l'exception des mois de juillet, août et novembre où Bouthadi a enregistré les vitesses les plus élevées. Quant au mois de mars les valeurs ont été comparables. La station de Bouthadi enregistre les valeurs les plus élevées en novembre avec 10.8m/s et celles les plus basses en avril et septembre avec 5.8m/s.

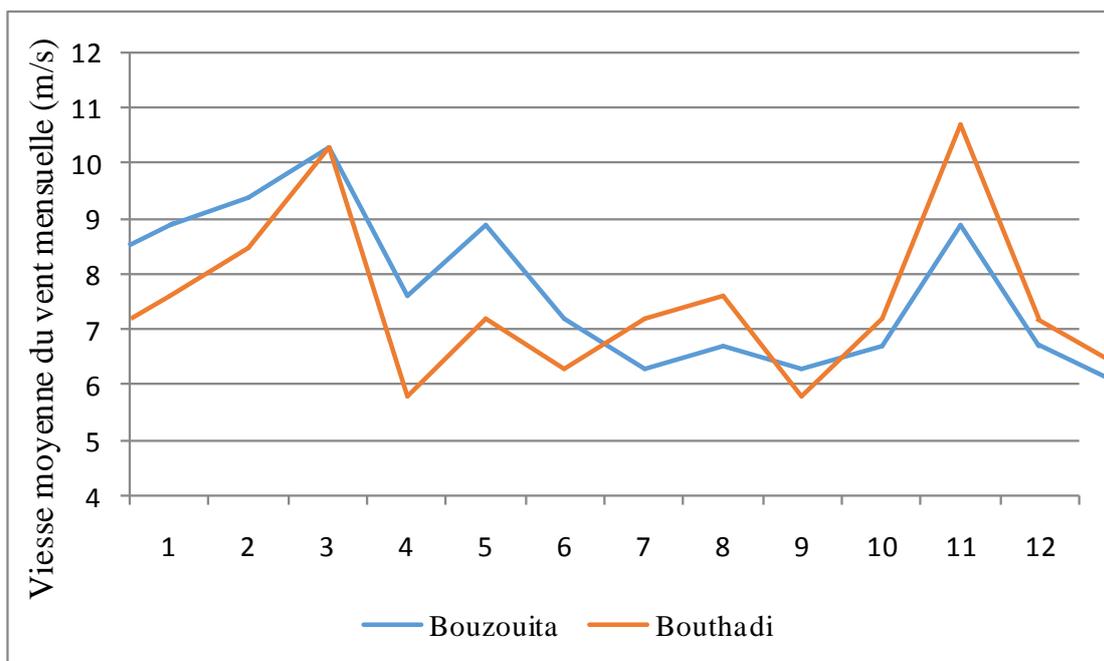


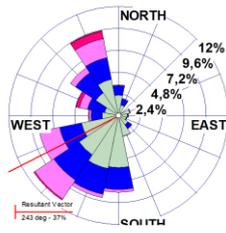
Figure V.14. Variabilité spatio-temporelle de la vitesse moyenne mensuelle du vent maximal aux stations de Bouzouita et Bouthadi (Données Davis, 2021 et 2022)

### V.5.2 Roses des vents mensuelles moyennes

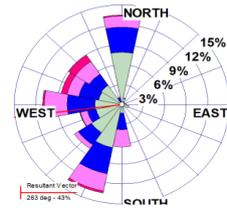
Les modifications barométriques influencent le régime aérologique (Dahech, 2007). Ces modifications sont dues, d'une part, à l'extension de l'anticyclone subtropical atlantique (dit des Açores) vers l'ouest et sa migration vers le nord en été et d'autre part, à l'évolution des centres d'action d'origine thermique de basses pressions en hautes pressions selon la saison. Ces centres d'action se situent sur le Sahara africain, la Méditerranée et la Sibérie (Bartzokas et Metaxas, 1991 ; Lolis et *al.*, 2002).

L'examen des roses des vents mensuelles moyennes des deux stations Bouzouita et Bouthadi entre 2021 et 2022 montre une nette variabilité spatio-temporelle.

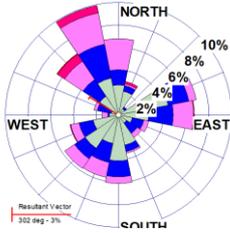
En effet, à Bouzouita domine les vents venant de l'est du mois du mars jusqu'à juillet. Ce constat concorde les travaux de Dahech (2007) qui ont noté que la saison estivale est marquée par la prédominance des vents soufflant de la mer vers le continent. Or, les vents venant du nord ouest sont observés en février et octobre. En novembre, décembre et janvier il domine les vents venant du sud et du sud ouest. Les mois d'août et septembre se caractérisent par la dominance des vents du nord et de l'est. En revanche, à la station de Bouthadi il domine les vent et brises venant du nord pendant sept mois (avril, mai, juin, juillet, septembre, octobre et novembre). En janvier, février et mars, nous avons observé la dominance des vents du nord, du nord ouest et sud ouest. En août les vents du nord, nord ouest et du sud est dominant. En effet, d'après la figure V.15, la ressemblance entre les deux stations n'est observée qu'en janvier et février où dominant les vents synoptiques venant de l'ouest. Alors qu'une nette variabilité mensuelle est observée pour tous les autres mois de l'année durant lesquels des brises thermiques ont des directions différentes. Les brises d'amont dominant à Bouthadi, elles soufflent du nord quant à Bouzouita, nous avons observé la dominance du vent venant de l'est qui peut correspondre à des brises littorales. Cette différence s'explique par l'orographie à Bouthadi dans la partie nord et l'emplacement de Bouzouita un peu plus décalé vers l'est, et peut être influencée par les vents venant de la mer.



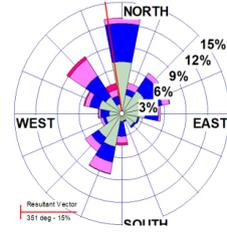
Ja1



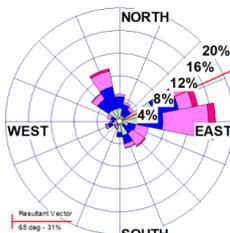
Ja2



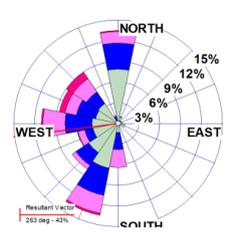
F1



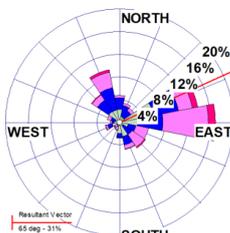
F2



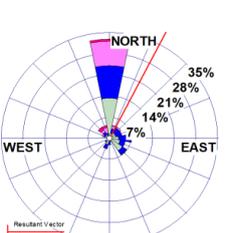
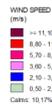
M1



M2

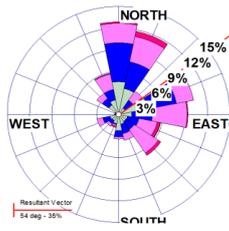


A1

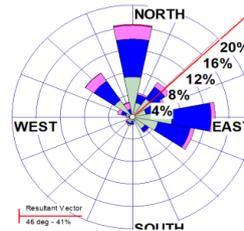
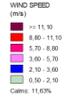


A2

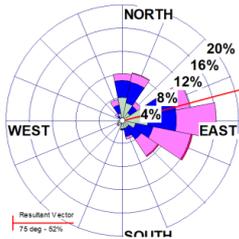




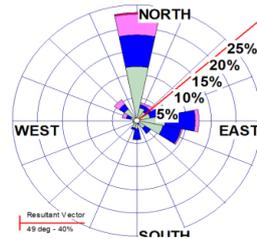
Ma 1



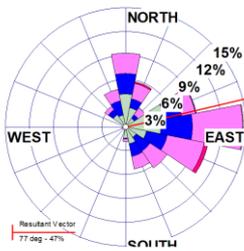
Ma 2



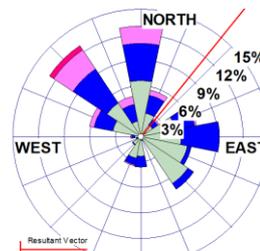
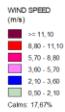
J1



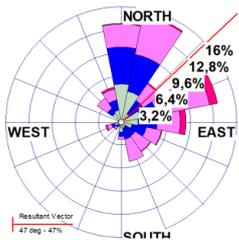
J2



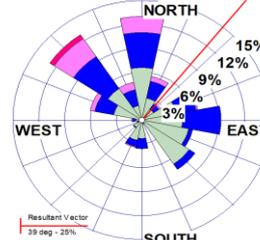
Ju 1



Ju 2



Aa 1



Aa 2



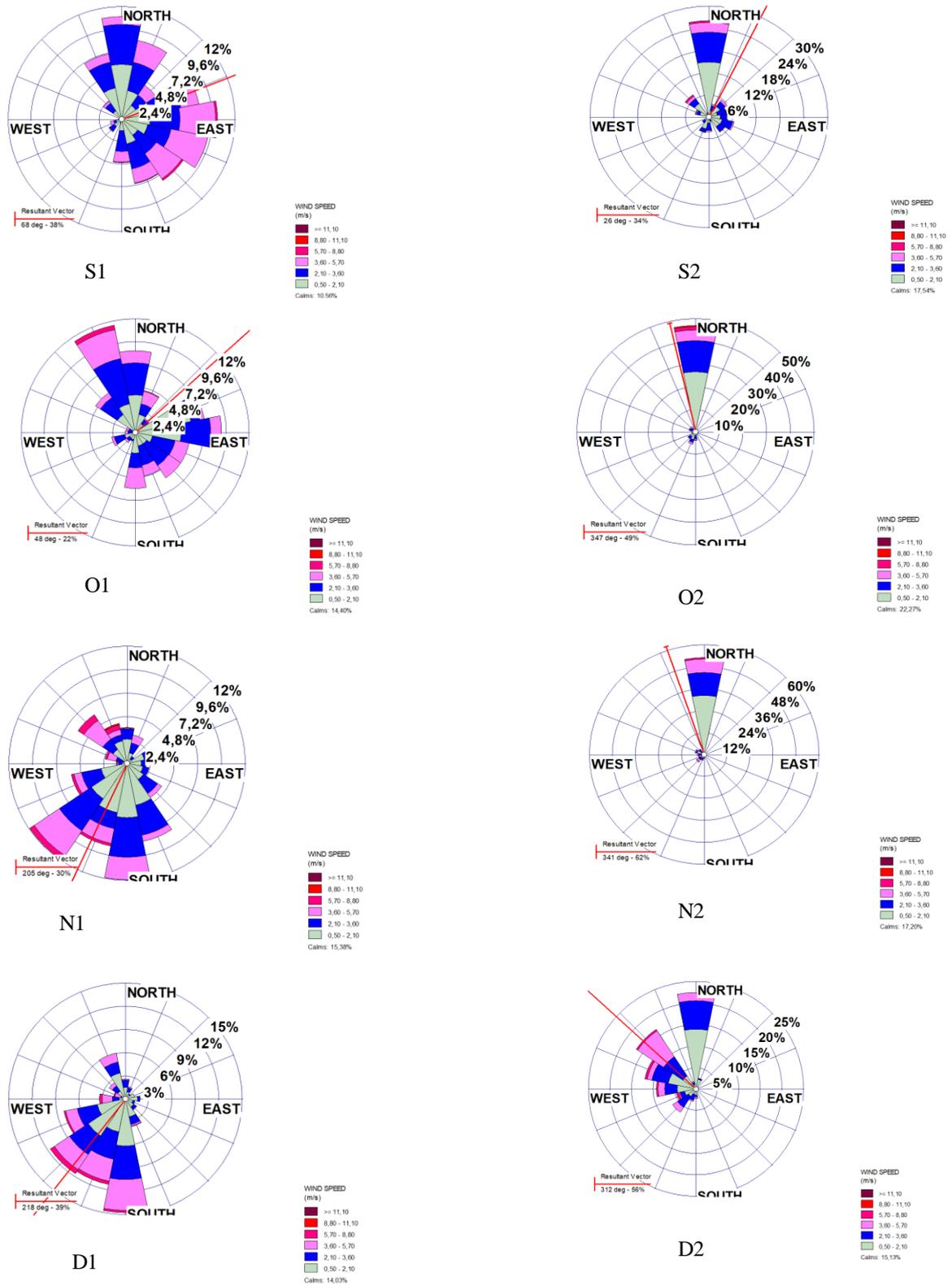


Figure V.15. Roses des vents mensuelles moyennes par tranches de vitesses en 2021-2022 (1= Bouzouita et 2=Bouthadi; les vitesses sont exprimées en m/s et les observations horaires sont représentées en %).

(Ja :janvier ; F : février ; M : mars ; A : avril ; Ma : mai ; J : juin ; Ju :Juillet ; Aa :aout)

## Conclusion de la deuxième partie

L'étude des éléments du climat dans la région de Sfax (Pluies orageuses, périodes sèches, évapotranspiration, températures et vents) a montré une variabilité spatio-temporelle.

- Pour les précipitations, à l'échelle annuelle, les seuils quintiles varient en fonction des stations. En effet, les seuils les plus élevés ont été enregistrés en premier lieu à Elhencha et en second lieu à Sfax et Borj la Marne. Par contre, la station de Bir Ali ben Khelifa enregistre les seuils les plus bas notamment pour les trois premiers quintiles. Quant à la quatrième quintile cette dernière station est classée après Elhencha, Bouthadi et Borj la Marne mais elle est avantagée par rapport aux autres stations. En effet, le caractère spécifique de la pluviométrie de cette station est conditionné par l'effet du relief et l'emplacement géographique. À propos des taux de distribution des cumuls pluviométriques annuels selon les classements des quintiles, il s'observe la dominance des années soit sèches et très sèches ou celles légèrement et largement supérieures à la normale. Par contre, la fréquence des années normales est faible, elle n'a pas dépassé 20%. La durée des périodes sèches et très sèches et celles humides et très humides varient selon les stations. Les périodes sèches et très sèches sont assez longues à Elhencha et assez courtes à Menzel Chaker et Borj la Marne. Alors qu'elles sont alternantes avec celles normales et légèrement et largement supérieures à la normale à la station de Sfax. Alors que les durées les plus longues des années supérieures à la normale, ont été observées à Bouthadi et celles les courtes à Menzel Chaker. Ce fait confirme la forte variabilité

Certainement, les années sèches et très sèches et celles largement supérieures à la normale se chevauchent avec celles observées aux échelles régionales et nationales. En contrepartie, certains cas sont isolés et ne sont observés qu'à l'échelle locale.

La répartition annuelle des pluies varie entre les stations telles que les valeurs les plus élevées de l'indice de concentration des pluies (PCI) ont été enregistrées à Elhencha, Borj la Marne et Bouthadi. Par contre, les valeurs les plus basses ont été enregistrées à Menzel Chaker et Sfax.

Également, à l'échelle mensuelle un changement de position des mois les plus pluvieux dans certaines stations comme celles de Sfax et Elhencha. Ce changement reflète la modification de leurs régimes pluviométriques mensuels. Alors que dans les autres stations,

ces mois ont gardé leurs premières positions. Ces résultats confirment la forte variabilité des précipitations dans la région de Sfax. Cette variabilité a été validée par les tests des ruptures et des tendances qui sont globalement non significatives à l'exception de quelques indices dans certaines stations.

- L'étude des orages ponctuels dans la région de Sfax durant les dernières années a montré des événements orageux comme ceux enregistrés à Bouthadi le 20 mars 2022, à MejelEdarj le 11 mai 2022 et à Elhencha le 25 mai 2023. Ces orages sont très localisés dans l'espace et dans le temps. Leurs spatialisations a été faite à l'aide de l'outil télédétection, en utilisant le NDVI reflétant l'apparition de l'herbacée après ces pluies notamment sur les banquettes, dans les lits des oueds, et dans les parcelles non labourées.

- L'étude de l'ETP a montré de fortes valeurs annuelles. Cependant, ces valeurs cachent une variabilité spatiale et temporelle. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à Bouthadi. A l'échelle mensuelle, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en saison estivale notamment au mois d'août 2021 confirmant la dépendance de l'ETP à la température.

- L'étude de la température a montré que les températures maximales mensuelles durant les deux années 2021 et 2022 sont plus élevées à Bouthadi et Bouzouita que Sfax et contre versa pour les températures minimales. En effet, une forte amplitude thermique journalière et annuelle est observée dans les stations intérieures influencées par l'effet de continentalité.

- Les vitesses du vent les plus élevées sont enregistrée à Bouzouita que Bouthadi durant tous les mois à l'exception de juillet, août et novembre. Quant a l'examen des roses des vents mensuels moyens, des deux stations Bouzouita et Bouthadi entre 2021 et 2022, a montré une nette variabilité spatio-temporelle. A Bouzouita, il domine les roses de vents venant de l'est du mars jusqu'à juillet. Alors qu'il domine le vent du nord du mois d'avril jusqu'à novembre à l'exception d'août. Cette variabilité est expliquée par la latitude et la distance par rapport à la mer. Par contre, la ressemblance entre les deux stations n'est observée qu'en janvier et février.

## **LA TROISIEME PARTIE : LES FACTEURS IMPACTANTS LA PRODUCTION OLEICOLE**

La présente partie de thèse est composée de trois chapitres qui s'intéressent à étudier la relation entre la production oléicole et les divers facteurs décisifs. L'hypothèse retenue ici est que les productions inter annuelles varient en fonction de plusieurs facteurs climatiques, anthropiques physiques et autres. Pour ce faire, nous avons recouru à des méthodes statistiques telle que le coefficient de corrélation ( $r$ ) et les régressions linéaires simples pas à pas tout en croisant d'abord les données des productions oléicoles annuelles avec la pluviométrie à différents pas de temps. Puis un croisement a été fait en introduisant les divers paramètres climatiques y compris la pluviométrie pour étudier leurs effets sur la variabilité spatio-temporelle de la production. Aussi, nous avons pris des échantillons de sols de différents endroits pour connaître leurs caractéristiques pédologiques et mettre en évidence leurs impacts sur la production. De plus, des analyses de profils topographiques ont été faites à des échelles très fines pour connaître l'effet de l'emplacement géographique sur l'état de l'olivier en s'appuyant sur un Modèle Numérique du Terrain. En complément, ces données ont été complétées par une enquête auprès de 150 intervenants dans le secteur oléicole dans notre zone d'étude. Ces données d'enquêtes nous permettent de savoir les différentes façons culturales pratiquées dans les différents secteurs de la zone d'étude afin de savoir leurs effets sur la variabilité spatio-temporelle de la production.

## **Sixième chapitre : Paramètres climatiques impactant la production oléicole dans la délégation de Menzel Chaker**

### **Introduction du sixième chapitre**

L'objectif de ce chapitre de thèse est d'étudier la relation entre la production oléicole et les paramètres climatiques, et principalement la pluviométrie pendant la période 1994/1995 et 2022/2023 en utilisant des méthodes statistiques principalement quantitatives (régression linéaire simple) et en analysant la variabilité spatiale de la production en utilisant les moyennes des productions de la délégation par milles hectares et celles des terres publiques (Bouzouita, Essalema et Bechka). En fait, nous avons choisi d'étudier cette variabilité pendant une décennie pour les raisons suivantes : Les données ne sont disponibles qu'à travers les sources officielles notamment les organismes publics (CRDA, OTD et Municipalité de Sfax). Les données communes entre ces divers organismes ne sont disponibles que pour dix ans. Tous les paramètres climatiques qui agissent sur l'olivier ont été introduites notamment la pluviométrie. La place prépondérante de cette dernière est très fréquemment mentionnées dans les études bibliographiques (Hénia, 1993 ; Ben Rhouma et *al.*, 1998 ; Ben Rouina et *al.*, 2007 ; Ben Ahmed et *al.*, 2007 ; Hlaoui, 2007 ; Chiab et *al.*, 2022 ; Mzoughi et *al.*, 2022 ; Feki et *al.*, 2023).

### **VI.1 Variabilité temporelle de la production**

#### **VI.1.1 Production oléicole et précipitations**

##### **VI.1.1.1 Corrélation entre la production oléicole et les précipitations à différents pas de - temps : (annuelle, saisonnière, bimestrielle, mensuelle et décadaire)**

Le tableau VI.1 met en relief une forte relation ( $r > 0,5 - 0,8 <$ ) entre la production oléicole et les pluies (années végétatives) dans la région de Menzel Chaker :

À l'échelle annuelle, le coefficient de corrélation est significatif, de l'ordre de 0.55, en raison de phénomène de l'alternance qui marque l'olivier dont l'indice d'alternance est à 0.55, considéré moyen ( $> 0,3 - 0,6 <$ ). Cela confirme que la production elleunnasib est parfois interrompue (une année de récolte et plusieurs années de repos). Cependant, à l'échelle saisonnière le coefficient de corrélation n'est significatif que pour la saison automnale (0.58). Également, au niveau mensuel, la corrélation n'est significative que pour les deux mois septembre et juin. Au niveau décadaire, nous avons observé des corrélations plus fortes au niveau de plusieurs décades, répartis comme suit : la deuxième et la troisième décade du mois

d'octobre, la deuxième décade du mois de janvier, la deuxième décade de février et la première décade de juin (0.46, 0.39, 0.49 et 0.61 respectivement). Ces derniers résultats permettent de déterminer les périodes critiques où l'olivier a besoin de l'eau. Cela nous amène à faire une prédiction de la production avec la régression linéaire pas à pas.

Tableau VI.1 : Corrélations entre production et pluviométries dans la région de Menzel Chaker (1994/1995 et 2019/2020), en gras : Significatif.

Mois	r mensuel	r décadaire			r saisonnier		r annuel
		D1	D2	D3			
Septembre	0.29	0.13	0.3	0.1	Automne	0.58	0.55
Octobre	0.54	0.21	0.46	0.46			
Novembre	0.32	0.03	0.3	0.25			
Decembre	0.18	-0.12	0.07	0.23	Hiver	0.33	
Janvier	0.16	0.09	0.39	0.1			
Février	0.27	0.01	0.49	0.07			
Mars	0.3	0.16	0.33	0.16	Printemps	0.18	
Avril	0.12	0.11	0.15	0.25			
Mai	-0.2	0.27	0.14	0.3			
Juin	0.6	0.61	0.36	0.25	Été	0.19	
Juillet	0.1	0.1	0.37	0.2			
Aout	0.32	-0.24	0.21				

### VI.1.1.2 Prédiction de la production avec la régression pas à pas :

Une régression linéaire multiple pas à pas a été appliquée en prenant comme prédicteurs les totaux décadaires des pluies, nous donne l'équation suivante :

$$\text{Production/Tonne} = 12686.6 + 3234.8 * \text{novembre}_2(N-1) + 1180 * \text{janvier}_2(N-1) + 1152.9 * \text{mars}_2(N-1) - 1826 * \text{avril}_2(N-1) + 4494.1 * \text{mai}_3(N-1) + 2042 * \text{J1}(N-1) + 1570.5 * \text{septembre}_2(N) ; \text{ avec } R = 0.95 \text{ et } R^2 = 0.90$$

(1,2 et 3 = n° de la décade ; N-1 = année qui précède celle de la récolte ; N= année de la récolte).

Les prédicteurs retenus par le modèle de régression représentent les décades décisives durant lesquelles la variabilité spatio-temporelle des pluies a une grande influence sur la production oléicole. Il s'agit de sept décades ayant des coefficients de corrélation partielle significatives

qui montrent la dépendance de la production oléicole aux quantités de pluies tombées notamment :

- En premier lieu, pendant la 1<sup>ère</sup> décennie de juin (0.81) et la 2<sup>ème</sup> décennie de janvier et celle de septembre (0.73) ;

- En second lieu, pendant la 2<sup>ème</sup> décennie de novembre et la 3<sup>ème</sup> décennie de mai (0.68 et 0.69, respectivement) ;

- .-et dans un degré de moindre importance durant la 2<sup>ème</sup> décennie de mars et avril (0.53 et - 0.47, respectivement).

Les écarts entre productions oléicoles calculées et observées sont très variables d'une année à l'autre. Ils oscillent entre 3 et 38% notamment durant les années végétatives et témoignent d'une grande variation selon les années où d'autres paramètres climatiques (10% non prises par le modèle). Les écarts entre productions oléicoles estimées et observées sont peu variables d'une année à l'autre (fig VI.1). La grande variabilité de ces écarts est influencée par le phénomène de l'alternance biologique de l'olivier et la variabilité spatiale des pluies, voire d'autres facteurs climatiques et anthropiques. On peut citer les années à récoltes exceptionnelles 1996/1997 et 2003/2004 qui ont été sous estimées. Aussi, l'année 2020/2021 a été sur estimée contrairement à celle 2010/2011 qui a été sous estimée.

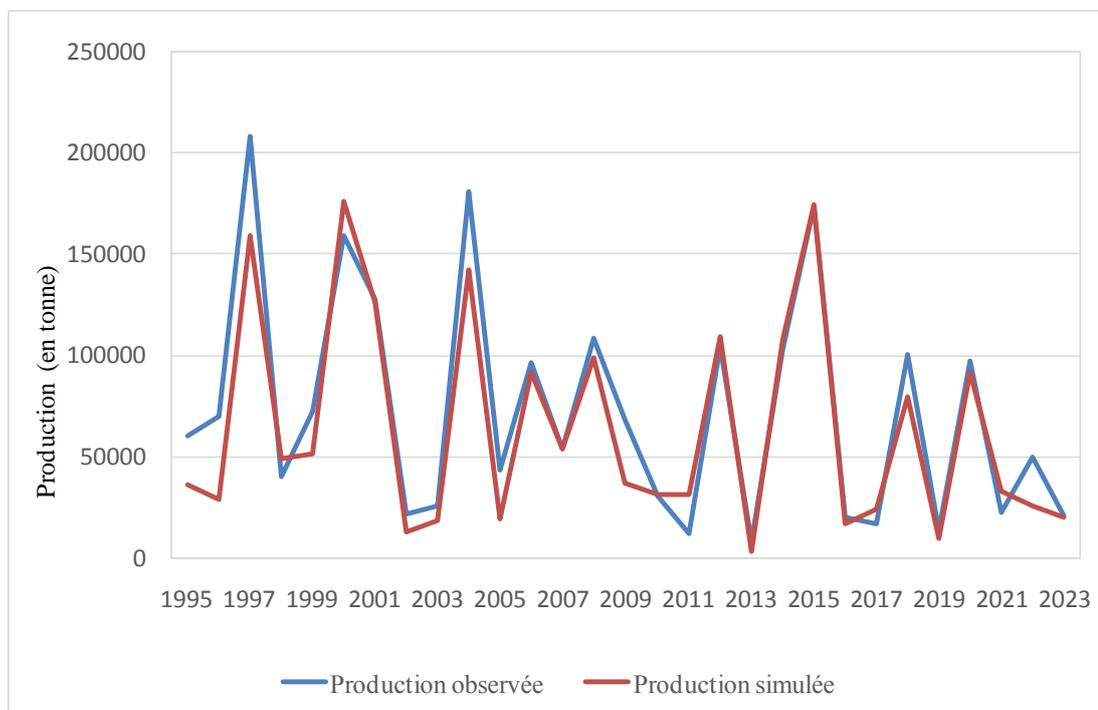


Figure VI.1 : Évolution des écarts entre production simulée et observé dans la délégation de Menzel Chaker (modèle1)

## VI.1.2 Production oléicole et facteurs climatiques

### VI.1.2.1 Corrélation entre la production oléicole et les différents paramètres climatiques.

Le tableau VI.2 met en relief la corrélation entre la production oléicole et les cumuls pluviométriques décennaux et ceux mensuels des températures  $< 7.2$  °C pendant la saison hivernale, le nombre mensuel des jours ayant des températures maximales  $> 35$ °C en saison estivale et celui du vent fort  $> 11$ m/s en mois d'avril et les cumuls décennaux du point de rosée. Le coefficient de corrélation n'est significatif qu'avec quelques paramètres pour des périodes bien déterminées. Les corrélations entre la production et les pluviométries ont été significatives à signes positives pendant les trois décades de septembre et la première décade d'octobre, aux premières et deuxième décades de janvier et février, la troisième décade du mai et la troisième décade du mois d'octobre de l'année en cours. Également, ce coefficient est significatif à signe positif en mois de janvier pour les cumuls des températures  $< 7.2$  (le zéro végétatif), le nombre des jours à températures  $> 25$ °C en avril et celui de l'amplitude thermique durant les mois de janvier, février et mars. Le même constat a été observé avec le point rosé telle que la production est corrélée positivement pendant les deuxième décades de septembre et d'octobre et à la première décade de décembre (0.45 et 0.39 et 0.50 respectivement). Cependant, la corrélation avec ce même paramètre est négative en troisième décades du novembre et décembre avec -0.48 et -0.50 d'une manière respective. De même, le coefficient de corrélation des températures minimales et maximales avec la production est négatif notamment pendant les mois de janvier, février et mars pour les températures minimales (-0.38, -0.51 et -0.58 respectivement) et seulement janvier et février pour les températures maximales avec -0.65 et -0.57 d'une manière respective.

Tableau VI.2 : Corrélation entre production et de divers paramètres climatiques dans la région de Menzel Chaker (1994/1995 et 2019/2023), en gras : Significatif.

Mois	Pluies décennales			Points rosés décennales			Tn	Tx
	D1	D2	D3	D1	D2	D3		
Janvier	<b>0,39</b>	<b>0,47</b>	0,15	-0,04	0,15	0,36	<b>-0,38</b>	<b>-0,65</b>
Février	<b>0,63</b>	<b>0,45</b>	0,18	0,11	0,35	0,34	<b>-0,51</b>	<b>-0,57</b>
Mars	0,31	0,33	0,13	-0,23	-0,09	0,17	<b>-0,58</b>	0,05
Avril	-0,18	0,04	-0,29	0,20	0,20	0,08	-0,19	0,25
Mai	-0,26	0,15	<b>0,42</b>	0,19	0,23	-0,15	-0,24	0,04
Juin	0,33	0,26	0,26	<b>-0,51</b>	-0,08	0,08	-0,45	0,05
Juillet	-0,04	-0,03	-0,01	0,18	0,27	0,20	-0,23	0,23
Aout	0,33	0,29	0,11	0,05	0,02	0,04	-0,01	0,24
Septembre	<b>0,56</b>	<b>0,53</b>	<b>0,57</b>	-0,35	<b>0,45</b>	0,08	-0,05	0,23
Octobre	<b>0,49</b>	0,03	-0,19	0,29	<b>0,39</b>	-0,03	0,05	0,25
Novembre	0,25	0,08	0,32	0,21	0,09	<b>-0,48</b>	-0,32	-0,26
Décembre	0,19	0,11	-0,33	<b>0,50</b>	0,10	<b>-0,50</b>	-0,23	-0,15
Septembre N	0,36	-0,33	0,00					
Octobre N	0,07	-0,23	<b>0,39</b>					

Paramètres	Cumul des températures <=7,2°C			T>25°C			Tm>35°C			Vent fort	AMP
	Decembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Avril	J-F-M
R	0,17	0,41	0,35	0,12	0,42	0,26	0,20	0,30	0,34	-0,15	-0,49

### VI.1.2.2 Prédiction de la production avec la régression pas à pas :

Une régression linéaire multiple pas à pas a été appliquée en prenant comme prédicteurs les totaux décennaires des pluies et de points de rosé, les cumuls mensuels des températures <7.2°C, le nombre des jours mensuel à températures >25°C en mars, avril et mai et celui des températures moyennes >35°C en juin, juillet et aout, des températures minimales et maximales mensuelles, et l'amplitude thermique nous donne l'équation suivante :

**Production/Tonne=**

$$7702+1006*O2+4111*N2+6368*Ma2+10880*J35+1421*S2N$$

(O2 : deuxième décennie d'octobre ; N2 : deuxième décennie de novembre ; Ma2 : deuxième décennie de mai ; J35 : nombre de jour où les températures moyennes dépassent 35°C et S2N : la deuxième décennie de septembre de l'année de production ; N : année en cours)

Les prédicteurs retenus par le modèle de régression représentent les périodes durant lesquelles les facteurs climatiques ont une grande influence sur la production oléicole. Certains d'entre eux ont des coefficients de corrélations partielles significatives. Il s'agit des cumuls pluviométriques décennaires des deuxièmes décennies d'octobre, de novembre et de mai de l'année-1 et celle de septembre de l'année en cours. Ces décennies sont décisives pour l'olivier. Pour les décennies automnales (O2 et N2), elles coïncident avec la deuxième phase de la croissance végétative automnale qui sert à préparer l'arbre à maintenir son cycle reproductif. Quant à celle de mai, elle assure le bon déroulement de cycle végétatif après la phase de floraison à partir de nouaison jusqu'à le grossissement de fruit. Aussi, la deuxième décennie de septembre de l'année en cours permet l'alimentation de l'arbre en eau pour assurer le grossissement de fruit et par conséquent la maturité. Également, le nombre élevé de jours pendant lesquels les températures maximales dépassent 35 °C pendant les mois de juin est bénéfique pour l'olivier puisque le coefficient de corrélation est significative à signe positif. En effet, les températures >35°C pendant le mois de juin soignent l'olivier et peuvent lutter contre les insectes ravageurs notamment le psylle (conforme avec les résultats d'enquête) dans une période sensible qui se coïncide avec la phase de durcissement des noyaux.

Les écarts entre productions oléicoles estimées et observées sont très variables d'une année à l'autre (fig VI.2). La variabilité de ces écarts confirme bien le phénomène de l'alternance de l'olivier et attire l'attention envers d'autres paramètres, outre les pluies et les températures, qui peuvent influencer la variation de la production de l'olivier. A titre d'exemple on peut citer l'année 2014/2015 qui est sous estimée à celle 2020/2021 qui est sur estimée.

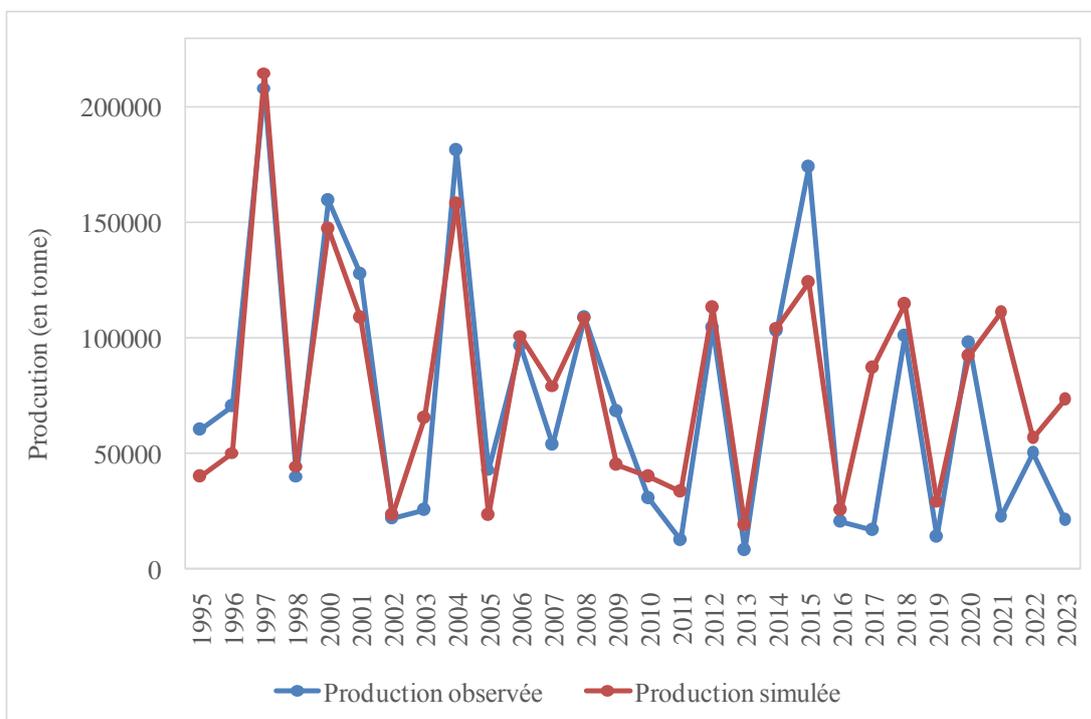


Figure VI.2. Evolution des écarts entre production simulée et observé dans la délégation de Menzel Chaker

### **VI.1.3 Production oléicole et cumuls pluviométriques à différents pas du temps selon des scénarios de production**

D'après le graphique, le croisement entre la production oléicole interannuelle de la délégation de Menzel Chaker avec les totaux pluviométriques annuels (n-1), les totaux pluviométriques de 14 mois (n-1+cumul de 2mois) et les totaux pluviométriques des décades décisives durant 14 mois qui coïncident évidemment avec le cycle biologique de l'olivier nous permet de dégager plusieurs scénarios selon le volume de la production:

- La première classe renferme les années à fortes productions qui dépassent 160 milles tonnes d'olives, elles sont comme suit : 1996/1997 ; 1999/2000 ; 2003/2004 et 2014/2015. Ces années enregistrent des quantités importantes des pluies durant les décades décisives qui coïncident avec les phases phénologiques importante du cycle biologique de l'olivier (Mzoughi et *al.*, 2022).

En effet, deux années entre elles, 1996/1997 et 2014/2015, sont précédées par des totaux pluviométriques exceptionnels qui dépassent 400 mm/an durant l'année qui précède celle de la production. Cela nous permet de déduire qu'à partir d'un total pluviométrique exceptionnel, l'olivier peut donner de très hautes récoltes. Il reste à montrer l'effet des autres paramètres climatiques.

Alors que les deux années, 1999/2000 et 2003/2004, ont été précédées par des pluies satisfaisantes (environ 250 mm/an). L'année 1999/2000, est précédée par deux années successives ayant une moyenne pluviométrique autour de 250 mm tenant compte que le total pluviométrique de l'année n-2 +2mois (14mois) est beaucoup plus élevé que celui de l'année n-2 (12 mois seulement). Il reflète l'importance des pluies automnales qui ont un effet important sur l'olivier. Il met cet arbre en bon état toute en assurant la croissance végétative pendant sa deuxième vague. Cette croissance se manifeste par l'élongation des rameaux sur lesquels l'olivier va porter des fruits. Quant à l'année 2003/2004, elle a enregistré des quantités satisfaisantes de pluies notamment pour les cumuls pluviométriques de l'année n-1 +2mois (figVI.3).

Enconclusion, les récoltes exceptionnelles dépendent en premier lieu des quantités pluviométriques exceptionnelles pendant l'année n-1 (400mm) et en deuxième lieu par des pluies annuelles (n-1) autour de 250mm sous réserve d'une bonne répartition de pluies c'est-à-dire avec des totaux pluviométriques importants durant les décades décisives (80mm et plus) et/ou d'un cumul pluviométrique de l'année n-1+2m important.

Par contre, le deuxième scénario comporte des années prévues à hautes récoltes mais en réalité elles étaient moyennes. Elles sont comme suit : 1998/1999 ; 2005/2006 ; 2007/2008 ; 2013/2014 ; 2017/2018 ; 2019/2020).

-Pour l'année 1998/1999 les données de production sont manquantes c'est pour cela qu'on a introduit la moyenne annuelle. Étant donné que cette année est précédée par des cumuls pluviométriques moyens (200mm) mais avec des totaux décennaires relativement faibles notamment pendant les décades décisives. Or, pour l'année 2005/2006, la production est moyenne malgré la faible quantité des totaux annuels et ceux des décades décisives. Mais, cette récolte est précédée par des quantités importantes de pluie durant l'année 2003/2004 (n-2), elles sont plus élevées pendant le n-2+2mois (14 mois). Il se peut que les pluies automnales aient sauvé une part de la récolte. De plus, les stations de Bouthadi et Bouzouita ont enregistré des quantités plus importantes suite à des orages ponctuels. Cette répartition inégale des pluies a influencé la répartition spatiale de la production oléicole telle que les oliveraies de la partie Est sont en situation « on » contrairement à celles à la partie Ouest qui sont en situation « off ». Même constat a été éprouvé pour la récolte de 2017/2018. En effet, la production a été moyenne malgré les totaux annuels (n-1) et ceux de 14 mois (n-2+2mois) satisfaisants et de même pour les totaux des décades décisives.

En revanche, les récoltes de 2007/2008 et 2013/2014 sont moyennes. Les totaux pluviométriques annuels de n-1 et n-1+2m sont relativement suffisants mais, ceux des décades décisives sont faibles. Probablement que la mauvaise répartition des pluies a affectée la récolte. Par contre, pendant la campagne 2019/2020, les totaux pluviométriques annuels sont relativement insuffisants mais, ils sont satisfaisants pour ceux des décades décisives et de l'année n-1+2m. En effet, l'importance des pluies enregistrées au début de l'automne, n'a pas pu permettre à l'olivier de garder la bonne récolte (figVI.3).

Dans d'autres cas, les récoltes ont été prévues « on » mais elles étaient faibles notamment pendant les campagnes de 2002/2003, 2009/2010, 2010/2011 ; 2016/2017 ; 2021/2022 et 2022/2023. Pour les années 2002/2003 et 2016/2017, les pluies annuelles (n-1) et celles des décades décisives sont faibles. Quant à celles de 2009/2010 et 2010/2011, les pluies annuelles sont relativement faibles et mal réparties. Cependant, les pluies du début d'automne des années n en cours sont importantes mais elles n'ont aucun effet sur la production pour ces années. Or, les cumuls sont moyens à l'échelle annuelle et faible à l'échelle de décades décisives en 2021/2022 alors qu'ils sont faibles pour l'année 2022/2023.

En contre-exemple, et d'une manière exceptionnelle, l'année 2000/2001 est prévue « off » puisque l'olivier est biologiquement alternant et cette année est précédée par une autre à haute production mais la production a été moyenne. Autrement dit, les deux années 1999/2000 et 2000/2001 ont fait l'exception par leur succession au niveau de la production. Cette dernière année s'est caractérisée par des conditions pluviométriques favorables. En effet, les pluies annuelles (n-1) sont moyennes, celles automnales de l'année en cours sont bonnes et les cumuls de décades décisives sont très élevés reflétant une bonne répartition des pluies. L'étude de ce cas exceptionnel doit être plus approfondie tout en cherchant les autres facteurs climatiques y compris les autres facteurs climatiques. D'après le graphique la répartition des pluies a été bonne pour les deux années 1999/2000 et 2000/2001. Dans une première hypothèse, il est probable que la production a été relativement alternante au niveau spatial pendant ces deux années. De ce fait, 60% de l'oliveraie ont donné le plafond de la production durant 1999/2000 et de même pour les 40% restantes pendant l'année suivante. Dans une deuxième hypothèse, probablement les jeunes individus d'oliviers qui ont connu des cueillettes précoces et ont profité des conditions climatiques favorables pour reproduire dans la même année notamment ceux qui poussent sur un sol fertile. Autrement dit, le cycle reproductif peut se déclencher juste après la récolte.

D'après les scénarios cités en haut on va essayer de répondre aux questionnements suivants :

**1/** La production exceptionnelle, est-elle dépendante des quantités énormes des pluies et de leur bonne répartition spatiale suivant les phases décisives indépendamment aux autres facteurs ? Ou les conditions pluviométriques doivent être couplées par obligation avec d'autres facteurs climatiques favorables ?

**2/** Les récoltes moyennes pendant des années attendues de hautes récoltes dépend-elle de la répartition inégale des pluies suite aux orages ponctuels ou par l'effet des autres facteurs climatiques ?

**3/** Quels sont les facteurs explicatifs de la faiblesse de la récolte pendant une année prévue « on » malgré l'importance des pluies décadales ?

**4/** La succession de deux années « on » dont l'une est à haute récolte et l'autre à moyenne récolte, dépend-elle de l'effet des facteurs climatiques favorables qui peuvent surmonter l'alternance biologique notamment pour les jeunes individus ou elle est due au caractère orageux des pluies qui induisent l'alternance spatiale de la production ?

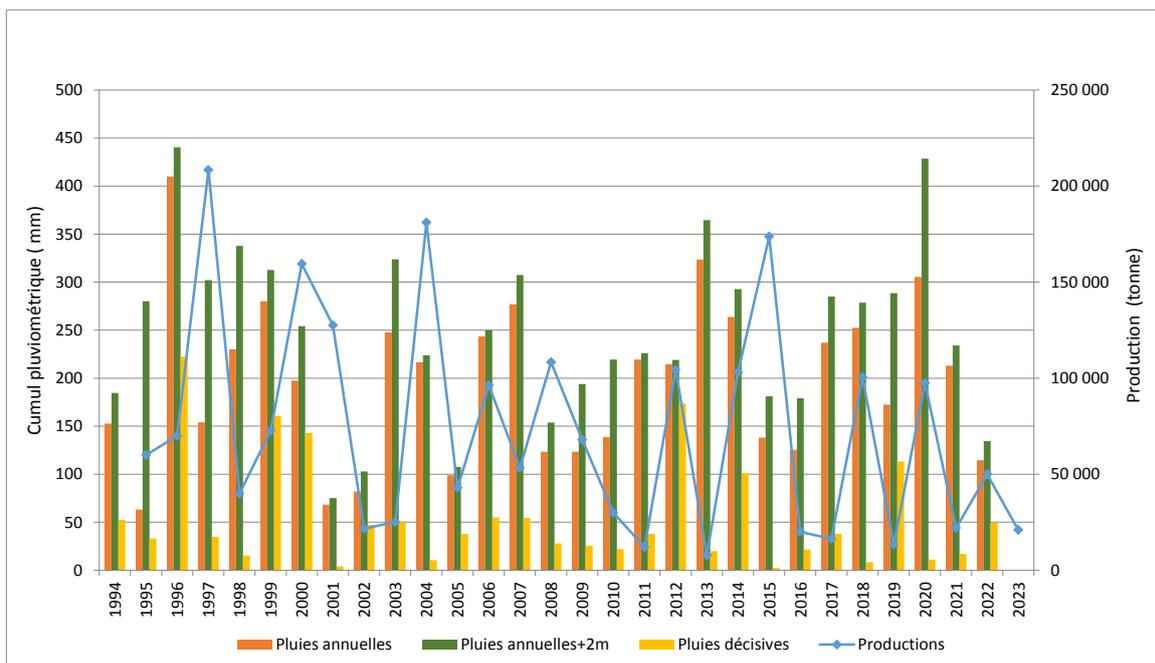


Figure VI.3 : Croisement entre les précipitations annuelles (n-1), annuelles (n-1+ 2mois) et celles décisives avec la production annuelle de la délégation de Menzel Chaker entre 1994/1995 et 2022/2023

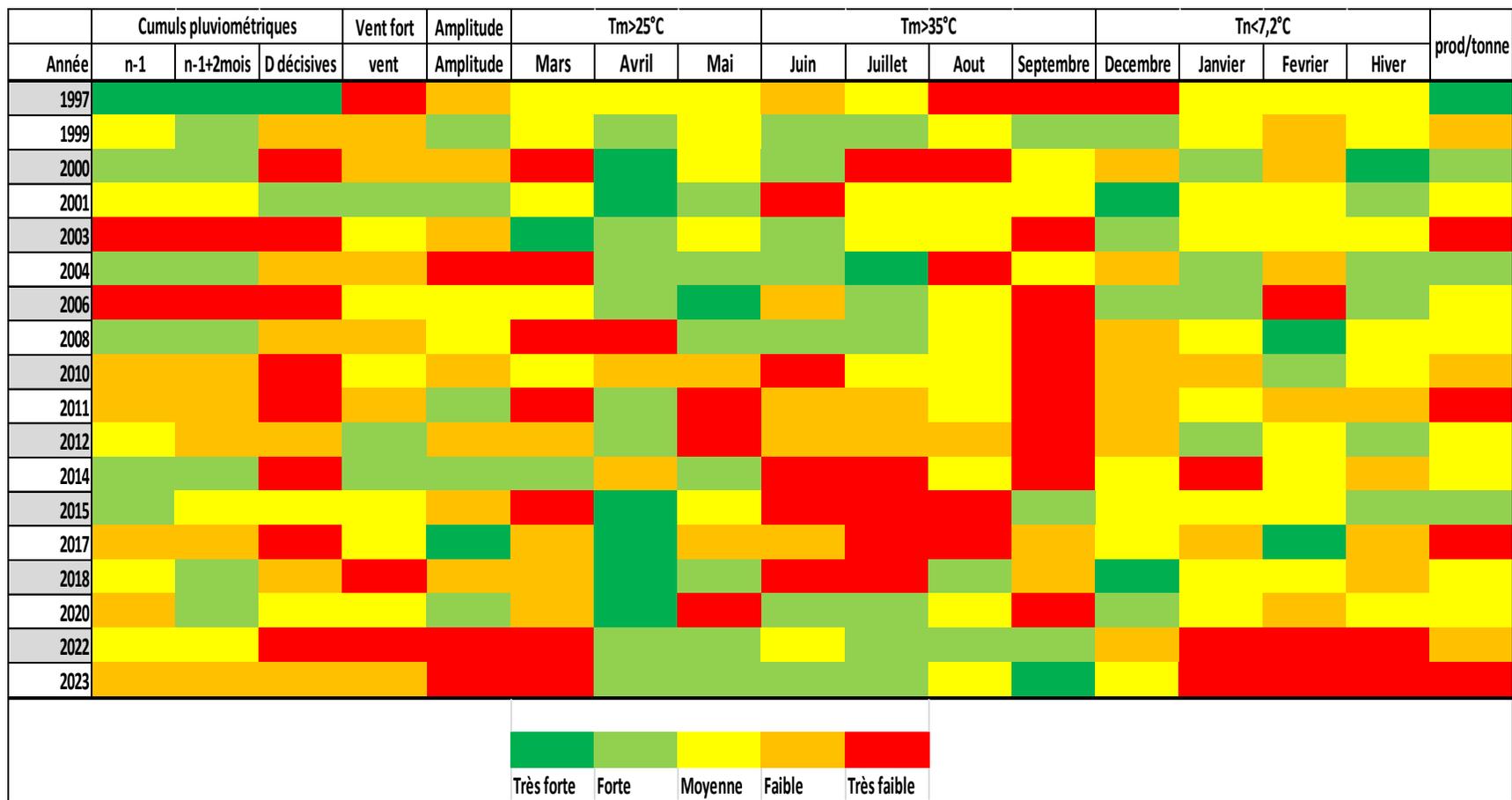
#### VI.1.4 Synthèse de la production oléicole en fonction des facteurs climatiques

D'après la figure, et en se basant sur les années à hautes récoltes, on a déduit que la production oléicole dépend en premier lieu des précipitations annuelles (n-1) et celles de début de l'automne de l'année en cours. Ce constat a été confirmé par l'enquête du terrain tel que tous les enquêtés s'accordent sur le rôle primordial des pluies automnales. Ils indiquent selon leur expérience que ces pluies sont décisives pour l'année agricole. Elle assure le bon démarrage de la saison agricole. Notamment, l'olivier profite des pluies automnales pour la bonne croissance végétative tout en préparant les rameaux sur lesquelles il va porter de fruits. En outre, ces pluies garantissent le bon déroulement des dernières phases de la reproduction en servant au grossissement des fruits. En effet, leurs effets seront remarquables aux niveaux quantitatifs et qualitatifs. Dans le même contexte, la production peut être optimale si elle coïncide avec des fortes pluies pendant des décades décisives comme était le cas de la récolte 1997. En outre, l'olive n'exige pas les fortes chaleurs en juillet et août telle que le nombre de jours où les températures dépassent 35°C est faible. Pendant ces mois, les températures maximales aboutissent à l'augmentation de la demande évaporatoire de l'atmosphère pendant une période de pénurie en eau et par conséquent entraîne l'olivier dans un stress hydrique aigu (Ben Rouina,

2007). Même constat a été éprouvé pour le mois de mars avec des températures  $> 25^{\circ}\text{C}$  car pendant ce mois débute la phase de la floraison qui tolère les températures élevées. Alors que cet arbre semble indifférent avec les températures de juin et septembre. Par contre, il préfère un faible nombre de jours ayant une amplitude thermique supérieure à  $10^{\circ}\text{C}$  durant les mois de janvier, février et mars. En revanche, le nombre total des jours de froids  $< 7.2^{\circ}\text{C}$  a été soit fort ou moyen pendant les campagnes à hautes récoltes ce qui prouve que le froid hivernal est bénéfique pour l'olivier. Ce constat a été confirmé par l'enquête du terrain puisque 90% des enquêtés croient que le froid hivernal est indispensable pour le bon déroulement du cycle reproductif. Pour les récoltes prévues hautes mais en réalité étaient moyennes comme le cas de 2006, elles ont été précédées par de faibles précipitations annuelles, automnales de l'année en cours et aussi pour les décades décisives. De plus, le nombre de jours à températures  $> 25^{\circ}\text{C}$  au mois du mai et celles  $> 35^{\circ}\text{C}$  de juillet se sont élevés. Or, pour la récolte 2017/2018, les cumuls des décades décisives sont faibles mais les quantités des précipitations annuelles (n-1) et celles automnales sont satisfaisantes. De plus, le nombre de jour des températures d'avril dépassant  $25^{\circ}\text{C}$  et celui de juillet  $> 35^{\circ}\text{C}$  se sont élevés. Aussi, les jours de froid hivernal ayant des températures inférieures à  $7.2^{\circ}\text{C}$  sont faibles. Quant à celle de 2019/2020, les précipitations annuelles ont été faibles et le nombre de jours de l'amplitude thermique, des températures d'avril  $> 25^{\circ}\text{C}$  et celles de juillet  $> 35^{\circ}\text{C}$  sont élevés.

A propos la récolte de 2000/2001, elle a été précédée par une autre exceptionnelle mais la récolte était moyenne. Pendant cette année les précipitations ont été moyennes et bien réparties suivant les décades décisives. De plus, le nombre de jour ayant des températures estivales qui dépassent  $35^{\circ}\text{C}$  n'ai été pas élevées contrairement au nombre de jours du froids hivernal  $< 7.2$  qui ont été élevées.

Concernant l'année 2014, les précipitations annuelles (n-1) et automnales de l'année en cours ont été fortes. Cependant, le nombre de jours à vent fort et celui d'amplitude thermique  $> 10^{\circ}\text{C}$  et de températures  $> 25^{\circ}\text{C}$  en mars sont élevés. Ces résultats peuvent expliquer la récolte modérée en dépit que cette année est prévue de haute récolte tout en confirmant l'effet des paramètres climatiques autres que pluies (fig VI.4).



FigureVI.4 : La synthèse de l'effet de divers paramètres climatiques sur la production oléicole entre 1994/1995 et 2022/2023

### VI.1.5 Relation entre la production oléicole et le nombre total des jours secs durant les trois ans qui précèdent la production

D'après la figure VI.5, l'effet du cumul des jours secs consécutifs durant les trois ans qui précèdent la production n'est apparu qu'en année 2003/2004 qui avait une récolte exceptionnelle. Cette année a enregistré un cumul de 1005 jours sec, ce nombre est le plus bas dans la série. Par contre, ce constat n'est pas confirmé pour les autres années à récoltes exceptionnelles comme celles de 1996/1997 et 2014/2015. En revanche, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées durant les années 1995/1996 (année végétative) et 2016/2017 (année reproductive). Pour cette dernière, en dépit qu'elle est prévu « on », elle n'a enregistré qu'une faible quantité d'olives (16400 tonnes). Étant donné que l'olivier est théoriquement alternant (1 sur 2) mais en réalité la production bisannuelle est parfois interrompue (une année de récolte et plusieurs années de repos). L'indice d'alternance est égal à 0.55, considéré moyen (Mzoughi et al., 2022). En contre-exemple, l'année 2002/2003 est prévue « on » (année reproductive) mais la production y était faible malgré sa coïncidence avec un cumul bas des jours secs par rapport à la normale. Ces résultats reflètent la quasi-indépendance de la production oléicole de type « *chemlali* » en fonction du cumul des jours secs. Ce constat est expliqué, d'une part, par la capacité de cette variété à s'adapter aux conditions climatiques défavorables (Gimenez et al., 1997 ; Trigui et Msallem, 2002 ; Ben Rouina, 2007) et d'autre part, par la dépendance de la production oléicole à la répartition temporelle des pluies (Ben Rouina, 2007 ; Mzoughi et al., 2022) et pas forcément aux cumuls annuels et/ou le nombre des jours secs consécutifs.

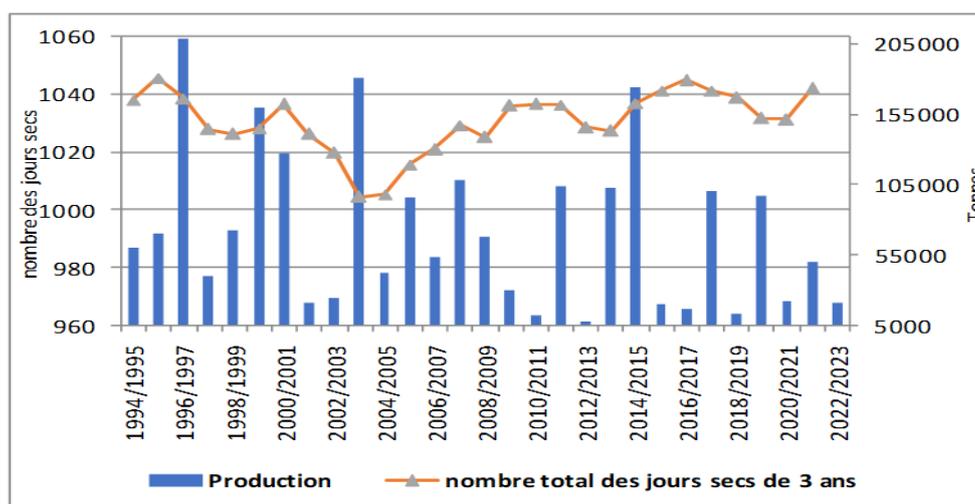


Figure VI.5 : Production oléicole et nombre des jours secs durant trois ans qui précèdent l'année de production

(données CRDA et DGRE, 2023)

## **VI.2 Variabilité spatio-temporelle de la production intra délégation**

Pour étudier la variabilité spatio-temporelle de la production oléicole nous avons fait recours à une comparaison entre la production annuelle de la délégation de Menzel Chaker et celles des deux complexes agricoles Bouzouita et Essalema et la ferme de Bechka. Étant donné que le nombre d'individus d'oliviers varie entre les entités spatiales étudiées nous avons calculé la moyenne de la production oléicole par milles individus en tonnes. D'après la figure VI.8 nous avons observé une nette variabilité spatiale au niveau de la moyenne annuelle de la production oléicole par mille individus entre celles de la délégation Menzel Chaker, les complexes agricoles de Bouzouita et Essalema et la ferme de Bechka. En effet, les moyennes annuelles de la production marquent une nette variabilité spatiale. La valeur la plus élevée est enregistrée à l'échelle de la délégation. Cette variabilité est observée aussi à l'échelle de l'intra délégation telles que la production moyenne annuelle par mille individus est plus élevée à Bouzouita que les deux autres. Par contre, la valeur la plus basse est enregistrée à la ferme de Bechka. Cette variabilité spatiale ne dépend pas uniquement des précipitations puisque les valeurs annuelles (l'année agricole qui précède la production) et celles de l'année  $n-1 + 2$  mois soit 14 mois (année qui précède la production et les deux mois de septembre et octobre de l'année en cours) sont très proches sauf un léger avantage est observée pour celle de Bouzouita. Malgré l'importance des pluies annuelles enregistrées à Bouzouita notamment pour les années à hautes productions, les valeurs enregistrées dans ce complexe sont plus basses que celles à l'échelle de la délégation. Ces résultats confirment que la variabilité de la production dépend, en partie, d'autres facteurs que pluies. Probablement, elle est expliquée principalement par les pratiques agricoles qui dépendent de la nature des propriétaires. En effet, à l'échelle de la délégation, la plupart des propriétés sont privées. En revanche, les terres publiques ne dépassent pas 30% du total. Ces terres appartiennent aux complexes de Bouzouita et Essalema sous la propriété des terres domaniales quant à la ferme de Bechka, elle est sous la propriété de la municipalité de Sfax. La mode de conduite de ces terres publiques est uniquement en pluvial. De plus, la fertilisation de ces terres est globalement quasi-absente. De plus, elles sont sous forme de vastes champs d'olivier caractérisée par la quasi absence de toutes traces des travaux de conservation des eaux et des sols (CES). En contrepartie, la majorité des propriétés privées est fertilisée et caractérisée par l'importance des équipements de conservation des eaux et des sols notamment les banquettes qui jouent un rôle primordial au niveau de la collecte de l'eau et par conséquence au niveau de l'état de l'olivier et de son rendement (fig VI.6).



Figure VI.6 : Le rôle important de la banquette dans l'amélioration de l'état de l'olivier et sa production

Les propriétaires privés sont, en majorité, des grands investisseurs qui utilisent l'irrigation complémentaire en cas des sécheresses (résultats d'enquêtes). Ces pratiques agricoles utilisées par les agriculteurs jouent un rôle primordial dans l'amélioration du rendement de l'olivier. Concernant le rendement relativement élevé à Bouzouita il peut être expliqué, d'une part, par l'importance des quantités des pluies précipitées par rapport aux autres fermes et d'autre part par les types du sol qui sont globalement plus favorables à l'oléiculture. Par contre, au complexe Essalema les sols notamment au secteur de Bouthadi sont majoritairement défavorables. Certains d'entre eux sont gypseux, d'autres ils apparaissent sableux mais réellement se sont défavorables puisque la texture sableuse ne se trouve que dans la couche superficielle. Cette couche est formée depuis des millions d'années sous l'effet de l'érosion éolienne notamment le vent de l'ouest qui apporte les graines de sable arrachées de TlilElajla pour les déposer dans les alentours de Bouthadi (résultats d'entretien) (figVI.7).



Figure VI.7: Accumulation éolienne du sable dans la couche superficielle du sol

Enfin, la ferme de Bechka enregistre les valeurs les plus basses. Elle est probablement expliquée par l'importance des sols défavorables notamment en cas de la persistance de la sécheresse. De plus, elle est due à la vieillesse des individus dans certaines parcelles et qui ont

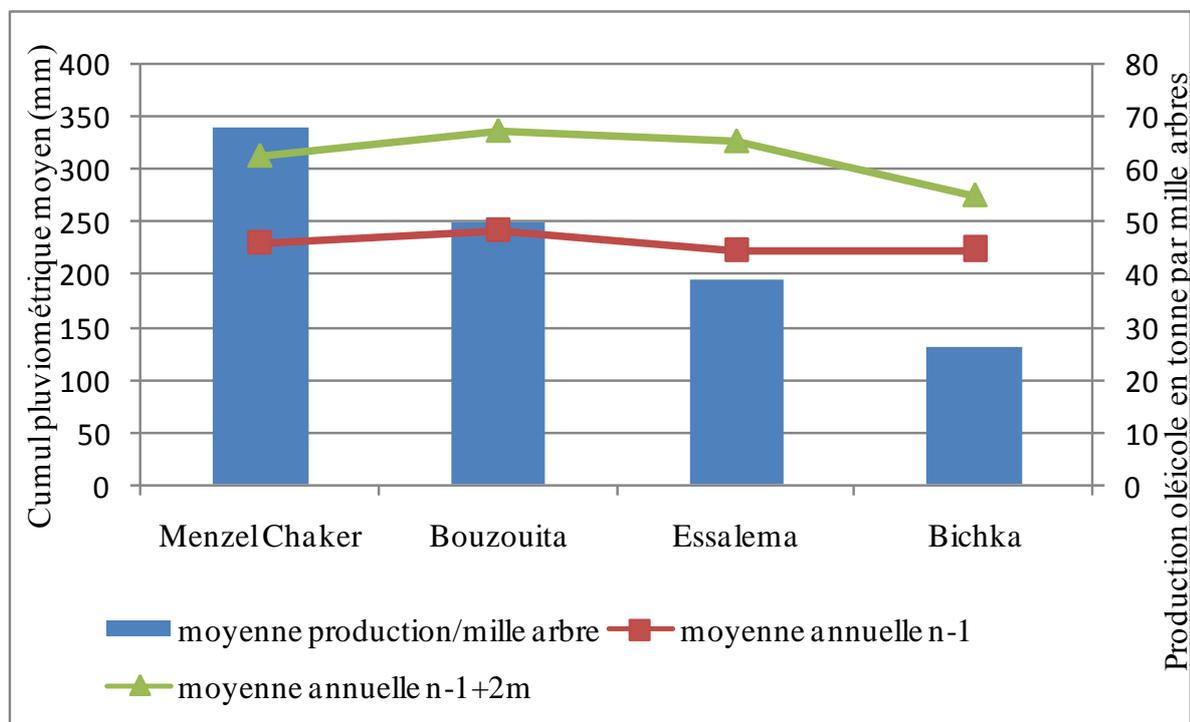
subies des essaies de rajeunissement (figVI.8). Sachant que l'arbre ne reprend son état normal avec une frondaison satisfaisante qui permet de donner des quantités importantes d'olives qu'après deux ou trois ans si les conditions pluviométriques sont favorables (résultats d'entretien).



Figure VI.8 : rajeunissement des vieilles arbres d'oliviers à travers une taille aigu (cliché personnel).

D'après la figureVI.9,nous avons remarqué une ressemblance entre l'allure des courbes de la moyenne annuelle de la production oléicole par mille arbres entre le complexe agricole de Bouzouita et celle de la délégation de Menzel Chaker mais toujours avec un avantage en faveur de cette dernière. La ressemblance a été observée aussi partout (au niveau de la délégation, les deux complexes et le ferme de Bechka) notamment durant lesannées à faibles productions comme celles de 2015/2016 et 2016/2017. Également, la production est médiocre en 2012/2013 que se soit dans les deux complexes agricoles et la ferme de Bechkaou dans la délégation. De même, des valeurs élevées ont été enregistrées en 2014/2015 au niveau de la délégation et aux deux complexes mais avec une moindre importance pour la ferme de Bechka. Cette année coïncide avec la récolte record à l'échelle régionale. Cette récolte est précédée par deux années successives de faibles productions, en dépit que chacune entre elles areçu un cumul pluviométrique autour de 200mm. De surcroît,les totaux de 14 mois qui précèdent cette récolte dépassent 300mm. Ces résultats confirment l'importance des totaux pluviométriques annuels et plus précisément les pluies

automnales pendant deux années successives (figVI.10). Ces pluies permettent d'assurer la croissance végétative pendant la saison automnale et par conséquence assurent une très haute récolte.



FigureVI.9 : Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles et celles de 14 mois et des productions oléicoles moyennes par mille individus entre 2011/2012 et 2020/2021 (données issues de CRDA Sfax et Municipalité de Sfax).

Selon l'enquête 99% des agriculteurs croient que les pluies d'automne sont primordiales pour l'olivier. Elles assurent la croissance végétative et mettent l'olivier en bon état tout en induisant l'élongation des rameaux portant les fruits. Pour la récolte 2017/2018, la production survient après deux années de repos, elle est plus importante à Bouzouita et Bechka qu'Essalema. Pour Bouzouita, elle a reçu des quantités importantes de pluies qui ont dépassée 400mm. Alors que pour la ferme de Bechka, les oliviers ont subi une taille aiguë après la récolte de 2014/2015. En effet, les arbres ont besoin de trois ans pour reprendre leur frondaison et donner de bonne récolte pendant la campagne de 2017/2018. Par contre, au complexe d'Essalema, la récolte a été faible malgré les quantités satisfaisantes des pluies reçues pendant l'année (n-1) et de l'importance des pluies précipitées pendant les deux mois septembre et octobre de l'année prévu « on » (figVI.11).

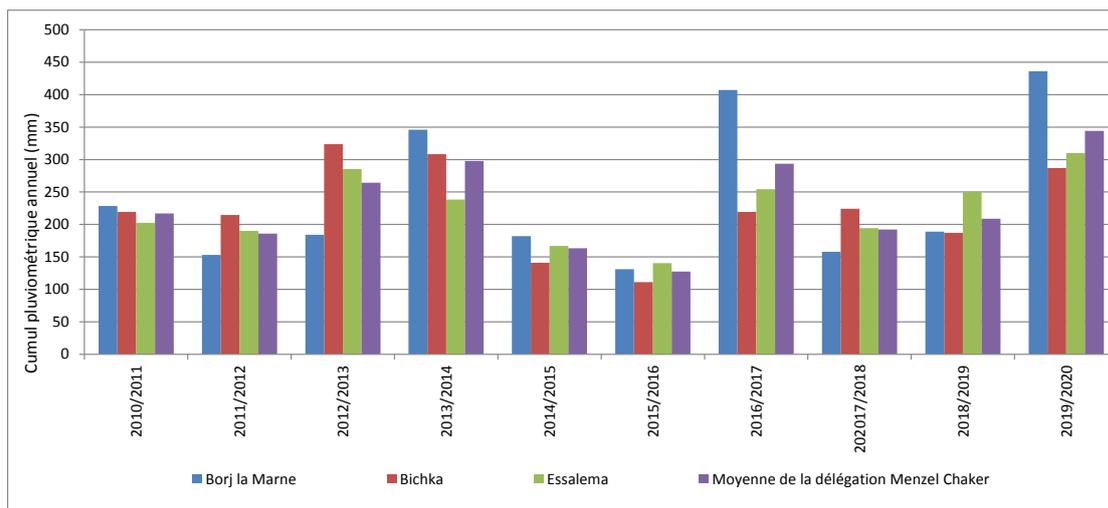


Figure VI.10 : Répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles entre 2011/2012 et 2020/2021 dans la délégation de Menzel Chaker, Borj la Marne, Bechka et Essalema (données issues de CRDA Sfax et Municipalité de Sfax).

Probablement, les oliviers soient mal entretenus et essentiellement au niveau de la taille. Un autre facteur peut intervenir pour expliquer le léger avantage qu'a connu Bouzouita. Cet avantage se manifeste par le taux le plus élevé des ouvriers qui ont eu une formation agricole et qui habitent dans les secteurs qui englobent les fermes de Bouzouita par rapport à ceux situés un peu loin. Cette priorité est expliquée par l'existence d'un centre de formation agricole nommé Boughrara situé au secteur de Mejl Edarj et que la majorité des ouvriers du complexe de Bouzouita ont été formés dans ce centre.

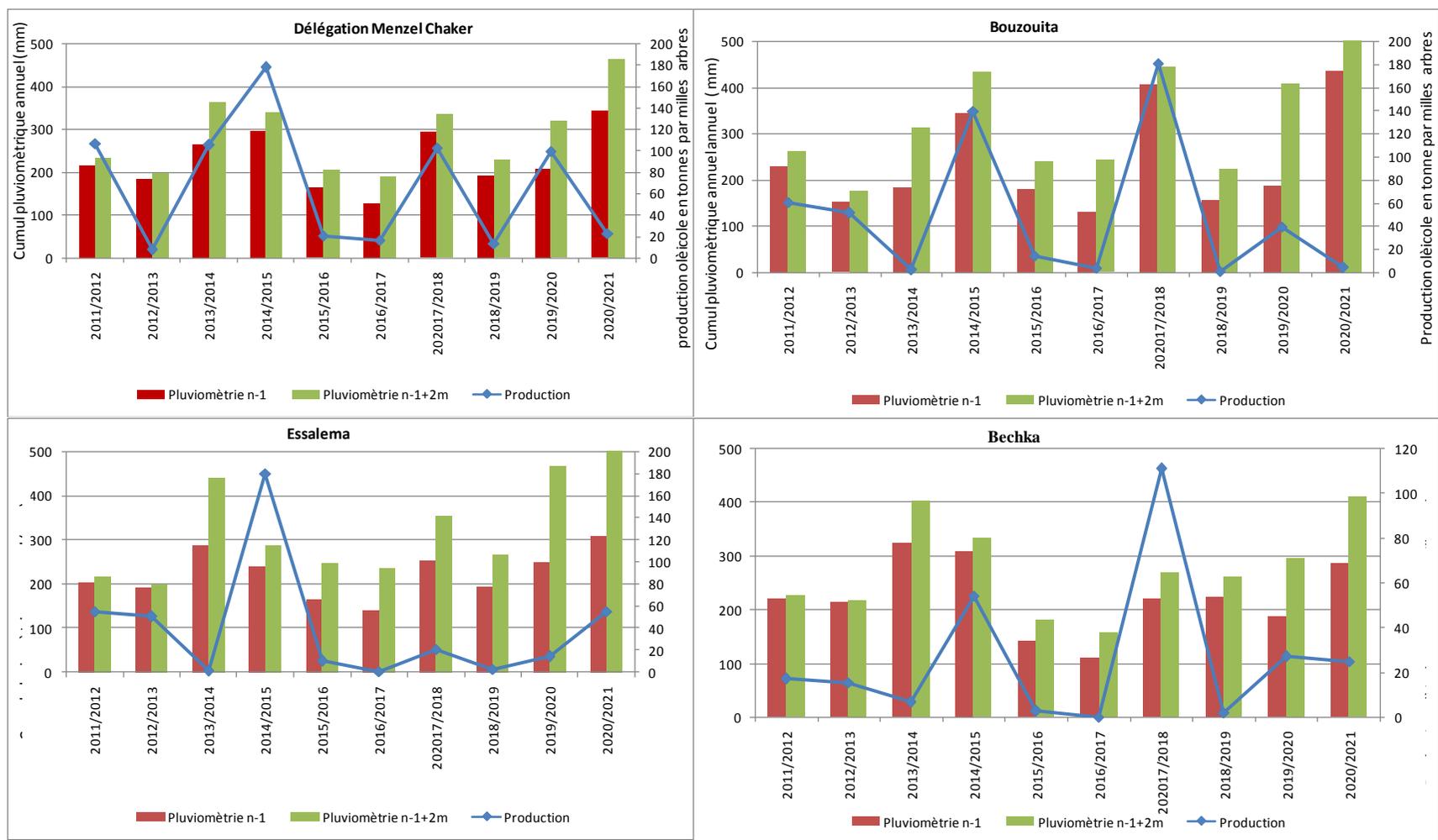


Figure VI.11 : Croisement des pluviométries annuelles (n-1) et celles (n-1+2 mois de septembre et d’octobre avec les productions moyennes en tonne par mille arbre de la délégation de Menzel Chaker, des complexes agricoles de Bouzouita et Essalema et la ferme de Bechka entre 2011/2012 et 2020/2021.

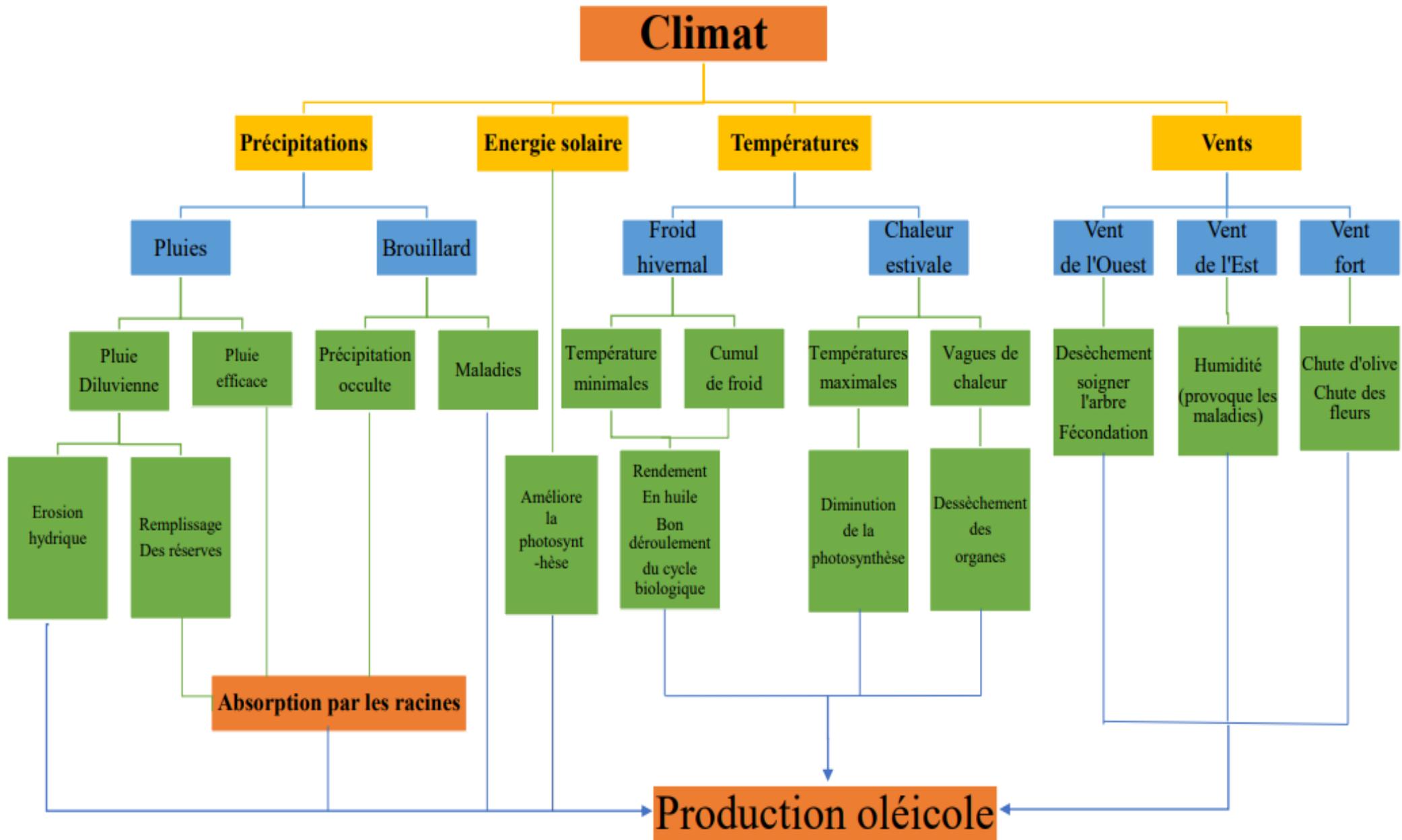


Figure VI.12 : Organigramme de divers paramètres climatiques sur la production oléicole

# **Chapitre VII : Production oléicole et facteurs autres que climat**

## **Introduction du septième chapitre**

Outre le facteur climatique, ce chapitre essaie à présenter, en se basant sur des investigations de terrain, une cartographie de précision et des analyses de laboratoire, d'autres facteurs naturels et anthropiques pouvant affecter la production oléicole à savoir l'effet :

- de la microtopographie qui a été étudiée en se basant sur des profils topographiques réalisés sous le programme Google Earth et qui ont tenu compte des différents emplacements/positions géographiques telle que les oueds, les Hamada (sol caillouteux) et les dépressions de types Sebkhass (sols salés) Garaâ (zone de stagnation des eaux mais pas forcément salée).

- de la pédologie, qui joue un rôle primordial dans l'évolution de l'olivier et sa productivité. Cette étude a été réalisée sur la base de différents échantillons prélevés de différents endroits et analysés au laboratoire (PH, granulométrie et calcimétrie). Les résultats ont été validés par des observations du terrain qui visent à comprendre le comportement de l'olivier pendant les périodes de sécheresses mais aussi après un événement pluviométrique.

- de l'âge de l'olivier, les maladies qui peuvent l'affecter et aussi l'absence de la mise en valeur des terrains oléicoles souvent abandonnés.

### **VII.1 Production oléicole et topographie :**

Nous rappelons que la topographie de Menzel Chaker est généralement monotone. Ses altitudes varient entre 216 et 120 m. Toutefois, l'étude détaillée permet de distinguer des différences sensibles entre des terrains élevés et d'autres déprimés correspondant généralement à des dépressions de type sebkhass ou Garaâs vers lesquelles convergent les écoulements des oueds à la suite des événements pluviométriques (fig VII.1). Ces deux unités topographiques sont reliées par des talus/versants faiblement pentus. Dans tous les cas cette microtopographie a influencé de manière ou d'autres l'évolution et le comportement de l'olivier mais surtout la répartition spatiale des types de sols, sujet qui sera traité ultérieurement.

Pour visualiser ce contraste topographique et/ou paysager, des profils topographiques ont été réalisés en tenant compte des différentes positions altimétriques comme Hamadet El-bokâaElbitha, les alentours de des sebkhass Bou Jmal, En Njayla et BirTebeg qui représente l'exutoire des Oued Essekoum, et GaraatBechka (figVII.2 et 3).

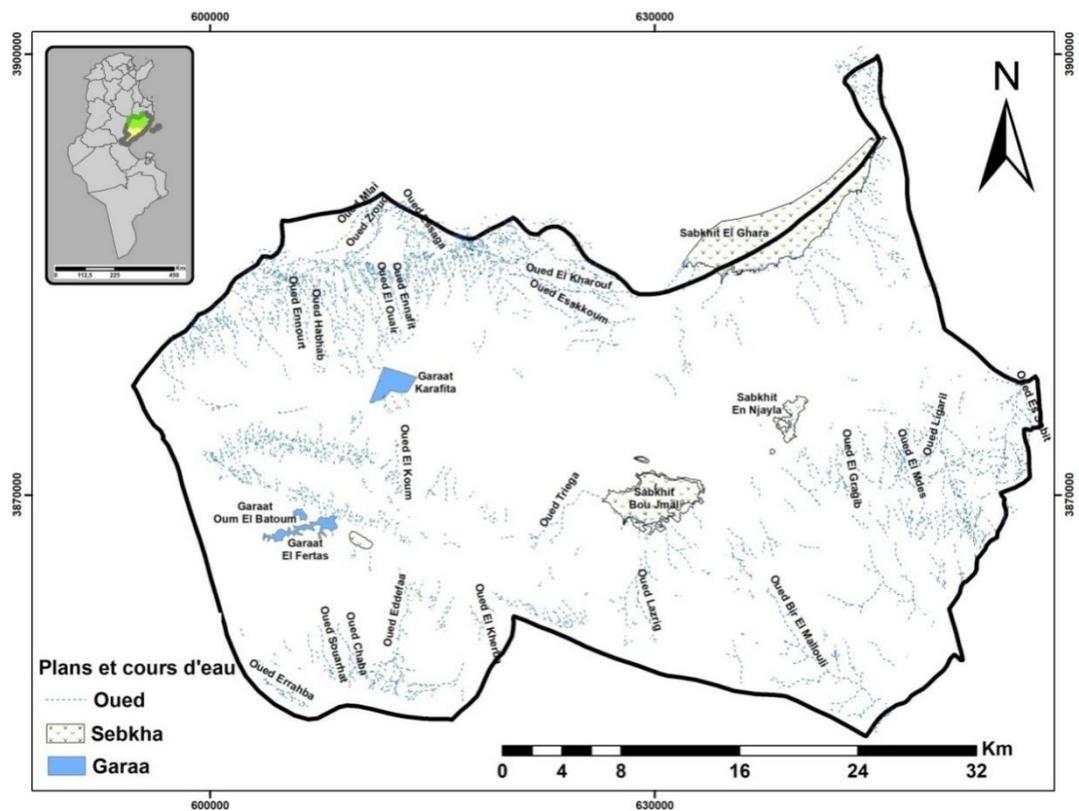


Figure VII.1 : Répartition géographique des sebkhas, des Garaas et les oueds qu'y convergent

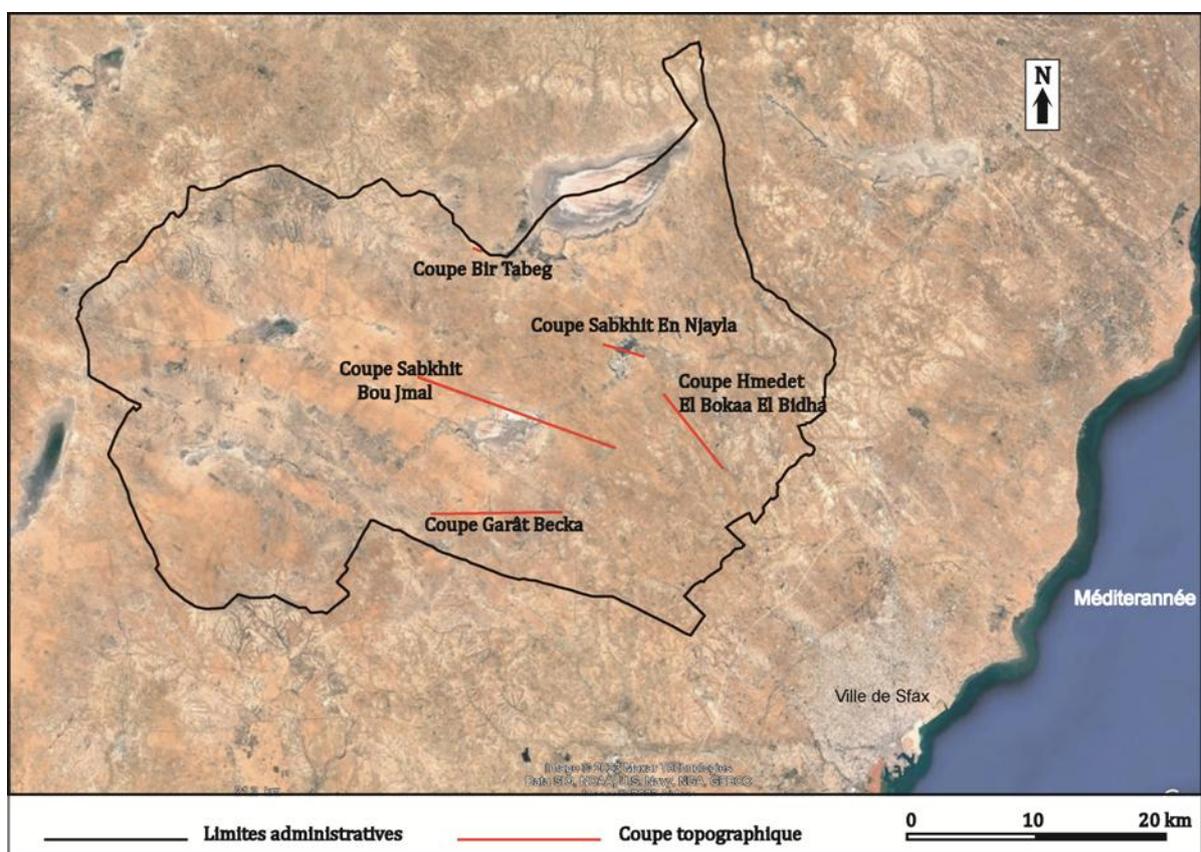


Figure VII.2 : Localisation de coupes topographiques réalisées dans la délégation de Menzel chaker, (source, Google Earth Pro)

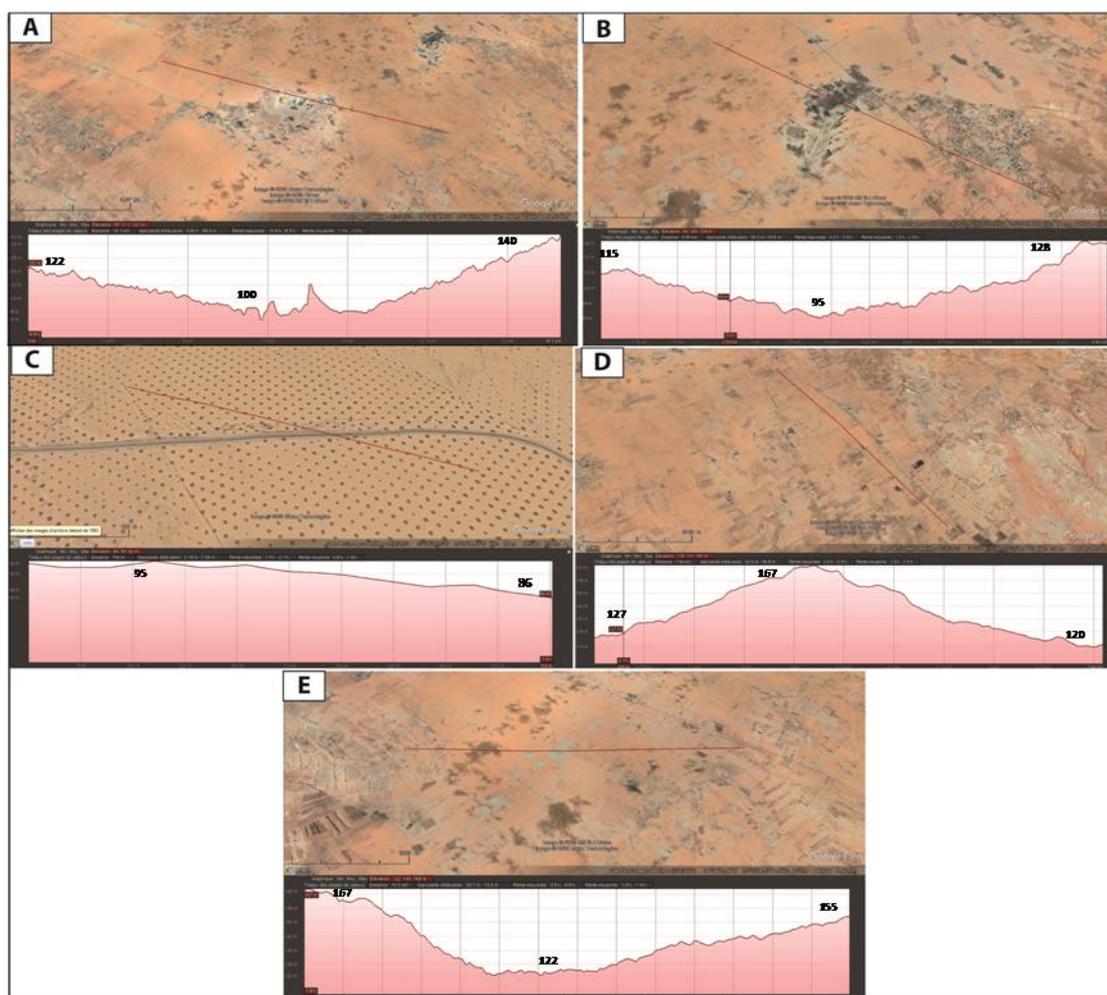


Figure VII.3 : Les profils topographiques effectués (l'altitude en mètre) (A : Sebkhât Bou Jmel, B : Sebkhât En Njeyla, C : Oued BirTabeg, D : Hmedad'ElbokaaElbitha et E : GaraadeBechka) (données, Google Earth Pro)

Les investigations de terrain montrent que toute la zone d'étude est occupée par des plantations (oliviers ou autres) à l'exception des terrains de sebkhas (comme le cas de Sabkhet Menzel Chaker ou des zones fortement dégradées ou à croûte calcaire épaisse comme c'est le cas des hauteurs de Bouthadi. Toutefois des différences peuvent être distinguées au niveau de la fertilité et la productivité des oliviers d'une zone à l'autre.

En effet, **les terrains les plus bas** (les alentours des sebkhas ou dans les dépressions non salées de type Garâa), qui représentent le réceptacle des eaux des écoulements sont souvent occupés par des oliviers de grande taille et dont la productivité est meilleure (fig VII.3 E et fig VII.4). Les cinq profils topographiques qui ont été réalisés à l'aide du programme Google Earth Pro illustrent bien ce constat et précisent le rôle de la

microtopographie dans l'organisation des écoulements dans la zone d'étude et par conséquence sur l'évolution de l'olivier ainsi que sa productivité (fig VII.3).



Figure VII.4 : Olivier situé à Garaa de Bechka (*Cliché personnel*)

A cet avantage (zone de convergence des écoulement), les terrains bas constituent des endroits favorables à la formation de brouillard (fig VII.5) qui peut être, d'après les agriculteurs les plus âgées, bénéfique pour l'arbre en jouant le rôle d'une précipitation occulte pendant la saison estivale permettant l'absorption de l'eau à travers les feuilles et le refroidissement du sol tout en conservant son humidité. Mais en contrepartie il peut être la source majeure de plusieurs maladies notamment durant certaines périodes sensibles comme celle de floraison.



Figure1 X.5 : L'accumulation de brouillard dans les dépressions (*Cliché personnel*)

Toutefois, il faut insister sur le fait que la majorité des pieds d'oliviers plantés juste autour des sebkhas (qui représente théoriquement la zone d'épandage des écoulements) sont en mauvais état et subissent le stress hydrique, notamment pendant les périodes sèches, à cause de la salinité des sols. Ce constat a été validé sur le terrain à partir de la petite taille des oliviers et aussi sur la base des enquêtes que nous avons faites auprès des agriculteurs dont 95% d'entre eux ont confirmé l'effet néfaste de la salinité des sols sur la croissance de l'olivier et par conséquent sur la production oléicole.

Notons également que ces terrains, bien qu'ils soient envahis par la végétation halophile de type salicorne connaissent aujourd'hui des opérations de mise en valeur par de nouvelles plantations des oliviers (fig VII.6.A). Ceci s'explique à la fois par l'augmentation des prix d'olive dans le marché international et par la faiblesse de la valeur foncière de ces terrains qui ont attiré plusieurs familles à faible revenus (figVII.6.B).



Figure VII. : Les plantations aux alentours des sebkats (A : olivier près de sebkhat Bou jmel, B : nouvelles plantations près de sebkhat En Njeyla) (Cliché personnel)

**Dans les terrains en pente/sur les versants**, les oliviers sont également en bon état à la fois au niveau de la croissance et de la productivité. En se basant sur les images satellites du programme Google Earth ainsi que les observations de terrain, les pieds d'oliviers montrant la croissance la plus importante se situent soit :

- dans les lits des oueds qui sont très peu encaissés et dont l'écoulement se fait de manière superficielle. Outre les eaux de ruissellement des oliviers profite bien de l'accumulation de la matière organique.

- en contact avec les aménagements de Conservation des Eaux et du Sol (CES), souvent de type banquettes, qui piègent les eaux de ruissellement pour alimenter les oliviers surtout ceux qui se trouvent en à proximité de l'ouvrage du côté amont. Dans ce cadre il faut

insister que ces ouvrages, qui ont été aménagés pour protéger le sol de l'érosion, vont minimiser les quantités des charges liquides et solides qui devraient atteindre les terres situées plus en aval (les dépressions). Notons, toutefois que les oliviers plantés sur des terres en pente non aménagées par des travaux de CES sont souvent en mauvais état (fig VII.7).



Figure VII.7 : Le rôle important de la banquette dans la collecte des eaux (*Cliché personnel*)

**Quant aux terres situées sur les surfaces des plateaux et des collines**, elles constituent des terrains peu favorables pour la croissance des oliviers et ainsi pour leur productivité. En effet, ces terrains, qui forment la ligne de partage des eaux, sont de type Hamada dont la surface est occupée par une croûte calcaire souvent dure. Ceci constitue un handicap pour que l'olivier puisse bien pousser et que le système racinaire puisse se développer. C'est pour cette raison que les oliviers sont dans la majorité des observations de petites tailles et de faibles productions bien qu'ils soient adultes (fig VII.8).



Figure VII.8 : Individus d'olivier situés à Hamada en mauvais état (*Cliché personnel*)

Ainsi, la position topographique explique en partie le comportement de l'olivier et par conséquent sa productivité. La zone de départ de l'écoulement et des matériaux (partie amont) subit une érosion hydrique et éolienne importante et correspond, par conséquent, aux terres les moins favorables au développement oléicole (fig VII.9). Cependant les terrains en pentes aménagés par des travaux de CES et les parties avales (dépressions) qui correspondent aux zones d'accumulation des sédiments et des eaux des écoulements forment des terrains favorables pour la croissance et la productivité de l'olivier.



Figure VII.9 : Sols soumis sous l'érosion hydrique (*Cliché personnel*)

Éventuellement, la topographie peu contrastée de la zone d'étude explique en grande partie la répartition des types de sol dont le rôle est primordial dans la croissance et la productivité de l'olivier. Sujet qui sera traité avec détail dans le paragraphe réservé à l'étude de l'impact de la pédologie sur la production agricole.

## **VII.2 Production oléicole et pédologie :**

Les différences d'altitudes remarquées dans l'étude de la topographie de la zone d'étude expliquent en grande partie (avec la tectonique, la dynamique érosive et l'évolution paléo-environnementale) la variété des sols et leur répartition spatiale. Pour bien expliquer les caractéristiques pédologiques, huit échantillons de différents types du sol ont été prélevés dans les secteurs de Menzel Chaker ouest, Elhajkacem, Chieleb Nord, Chieleb sud, Elaitha, Essaeda, Agarba et Choucha. Ces **Echantillons Sols** (codés selon une abréviation « ES » et numérotés de 1 à 8) ont été choisis en fonction de l'état de l'olivier par type de sols (fig VII.10

et (tab VII.1) et en s'appuyant, aussi, sur l'interprétation des images satellites de type sentinelle 2 qui ont montré une nette variabilité spatio-temporelle de l'activité photosynthétique de l'olivier. Constat, qui a été validé par des observations de terrain.

Ces échantillons ont été soumis sous des analyses laboratoires (PRODIG) pour étudier la granulométrie et calcimétrie et le PH (fig III.5) des différents sols. Le volume d'acide chlorhydrique dilué à 50%, employé sur chaque échantillon = 10 ml. Le pourcentage de carbonate de calcium a été calculé en se basant sur l'équation suivante :

$$\text{CaCO}_3 = \frac{-\text{Poids CaCO}_3 \text{ pur} * \text{volume CO}_2 \text{ de l'échantillon}}{\text{Poids de l'échantillon} * \text{volume CO}_2 \text{ du CaCO}_3} * 100$$

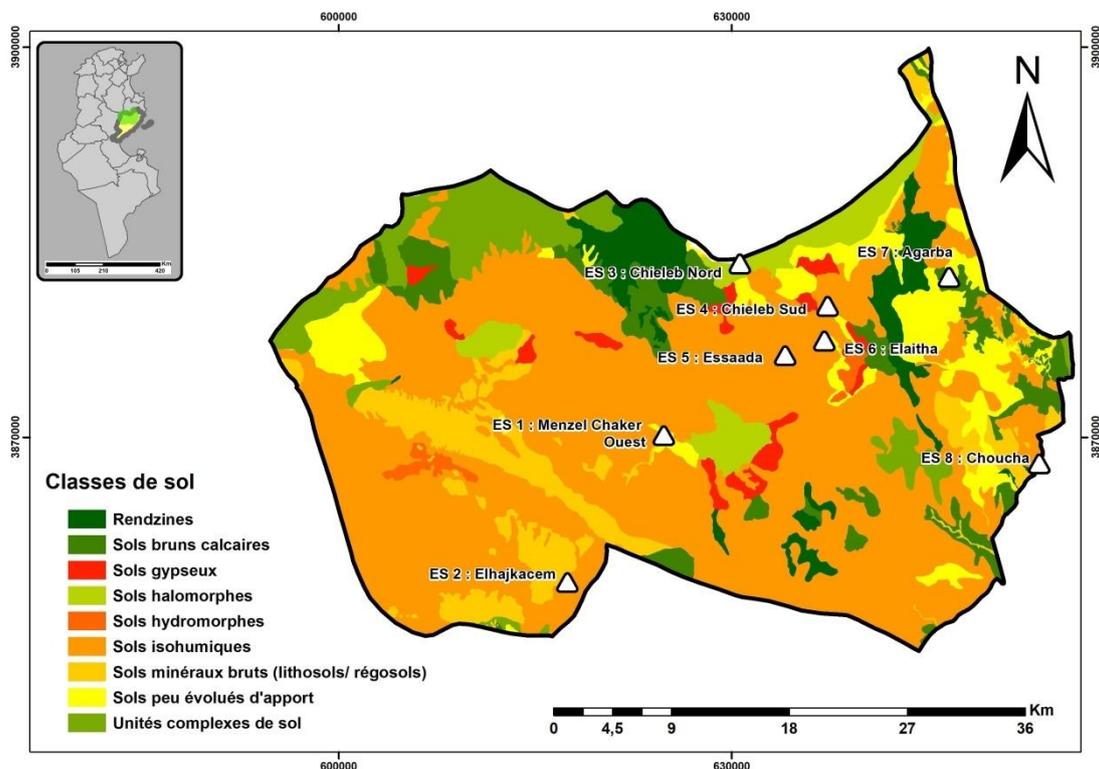


Figure VII.10: Localisation des échantillons des sols analysés

Tableau VII.1: Les échantillons du sol nommés, codés, numérotés et geo référencés (données Google Earth Pro)

Name	Code	Name Code	X_UTM	Y_UTM	X_DD	Y_DD
Menzel Chaker Ouest	ES 1	ES 1 : Menzel Chaker Ouest	624755.89	3869976.35	10.37	34.97
Elhajkacem	ES 2	ES 2 : Elhajkacem	617393.59	3858687.53	10.28	34.87
Chieleb Nord	ES 3	ES 3 : Chieleb Nord	630560.62	3883174.92	10.43	35.09
Chieleb Sud	ES 4	ES 4 : Chieleb Sud	637267.74	3879910.09	10.51	35.06
Essaada	ES 5	ES 5 : Essaada	634023.34	3876120.72	10.47	35.02
Elaitha	ES 6	ES 6 : Elaitha	637014.46	3877239.97	10.50	35.03
Agarba	ES 7	ES 7 : Agarba	646534.29	3882125.37	10.61	35.08
Choucha	ES 8	ES 8 : Choucha	653412.04	3867792.01	10.68	34.95

Les résultats présentés dans le tableau VII.2, montrent une variabilité nette du taux de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) qui a influencé l'évolution de l'olivier. Plus le  $\text{CaCO}_3$  est élevé, plus la production diminue et vice-versa (corrélation négative).

**En effet, les terres ayant les valeurs les plus élevées en  $\text{CaCO}_3$  ont été observés à Menzel Ouest (ES1), Chieleb Nord (ES3) et Agarba (ES7) qui ont respectivement les valeurs 8.8 ; 9.4 et 10.6%. Elles correspondent à des dépressions de type sebka et chotts. Ce constat confirme ce que nous avons signalé dans la partie topographique. Ainsi, d'après les investigations de terrain et surtout l'enquête qui a été faite auprès des agriculteurs, les oliviers poussant sur les sols à teneur élevée de  $\text{CaCO}_3$  sont en mauvais état voir même non productifs notamment en cas d'une sécheresse prolongée comme celle de 2021 (fig VII.11). Sur ces types de sols, l'olivier est plus vulnérable pendant les périodes sèches. Cependant, son état peut s'améliorer à la suite d'un épisode humide permettant la baisse de  $\text{CaCO}_3$ .**

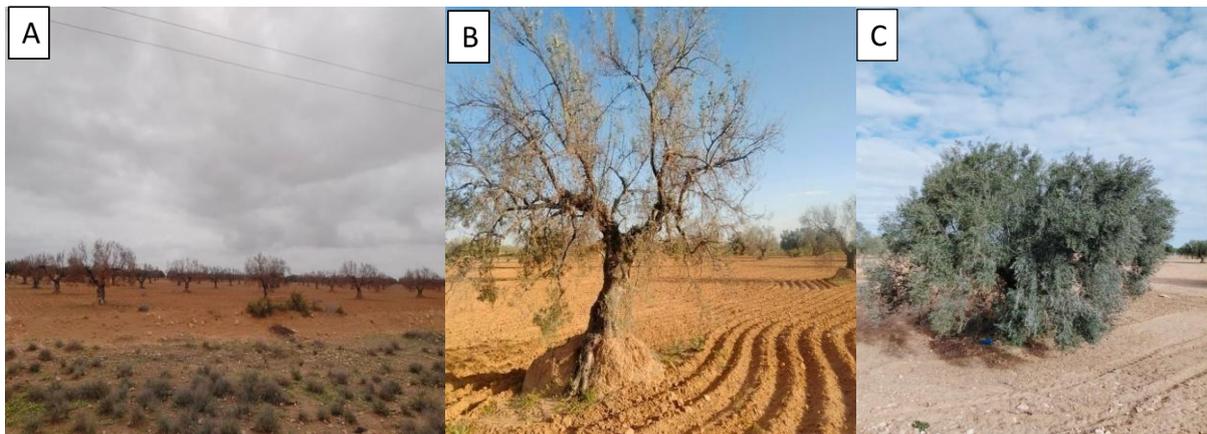


Figure VII.11 : État de l'olivier janvier 2022 (A : Menzel Chaker ouest, B : Chieleb nord, C : Agarba) (Cliché personnel)

Quant aux oliviers plantés dans des terres ayant des taux de  $\text{CaCO}_3$  moyens de 6.9% (Elhajkacem ES2), à faible entre 2 et 3.5% (Essaeda ES5), Chieleb Sud ES4 et Choucha (S8) à très faible inférieur à 2% (Elaitha ES6), elles sont en bon état et productifs. Ces arbres sont capables de résister au stress hydrique pendant les sécheresses prolongées (fig VII.12).

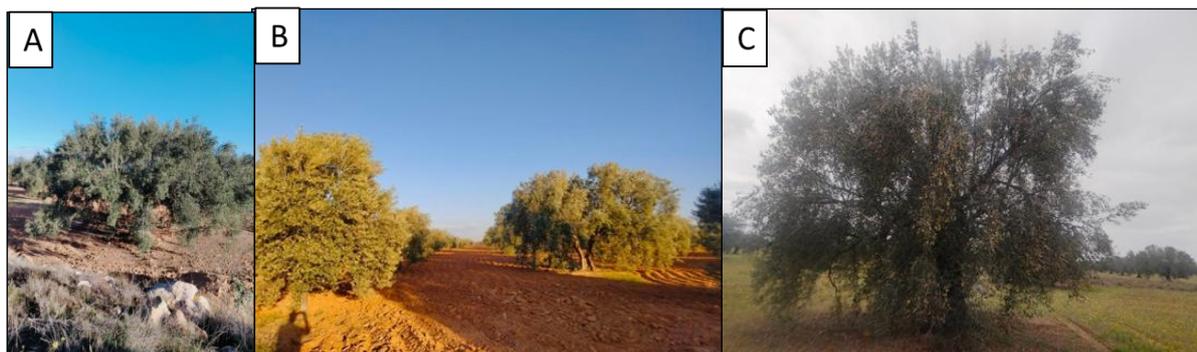


Figure VII.12 : État de l'olivier en mars 2022 (A : Choucha, B : Chieleb sud, C : Essaada) (Cliché personnel)

**En ce qui concerne le Potentiel Hydrogène (PH)**, les analyses montrent des résultats homogènes avec une légère différence entre les différents échantillons : des valeurs comprises entre 8.06 à Agarba et 8.35 à Chieleb sud. Dans tous les cas ces valeurs élevées (> à 8) en PH sont considérées importantes étant donné que le sol qui dépasse 6.5 est considéré satisfaisant pour l'olivier.

Tableau VII.2 : Résultats des analyses de calcimétrie du sol et PH.

Echantillon	Code	Poids de l'échantillon (g)	Graduation de départ en ml (a)	Graduation finale en ml (b)	Volume de CO <sub>2</sub> dégagé par l'échantillon en ml (b)-(a)	Poids CaCO <sub>3</sub> pur (g)	Volume de CO <sub>2</sub> dégagé par le CaCO <sub>3</sub> pur (ml)	% CaCO <sub>3</sub> (%)	pH
Menzel Chaker ouest	ES1	3	1.5	62.5	61	0.3	69	8.8	8.27
Elhajkacem	ES2	3	1	48.5	47.5	0.3	69	6.9	8.23
Chieleb nord	ES3	3	0.5	65.5	65	0.3	69	9.4	8.18
Chieleb sud	ES4	10	0.5	57.5	57	0.3	69	2.5	8.35
Essaâda	ES5	10	0	48	48	0.3	69	2.1	8.18
Aitha	ES6	10	1.5	9.5	8	0.3	69	0.3	8.27
Agarba	ES7	3	1.5	74.5	73	0.3	69	10.6	8.06
Choucha	ES8	10	0.5	79	78.5	0.3	69	3.4	8.31

**Quant aux analyses granulométriques**, elles sont déterminantes dans cette étude parce que la production oléicole dépend, en partie, des types du sol (tab VII.3). Ces analyses visent à étudier la portion de la texture formant le sol et sa répartition spatiale (fig VII.13).

**Concernant la portion de la fraction fine, constituée par des argiles et des limons**, elle se diffère d'un endroit à l'autre. En effet, dans les zones de Chieleb sud, Choucha et Essaada, la texture du sol se distingue par la faiblesse de la présence des argiles et des limons. Dans ces endroits, les oliviers sont généralement en bon état. Au contraire, Ces sols formant les terres de Menzel Chaker ouest, Chieleb nord et Agarba se caractérisent par l'importance de la fraction fine surtout les limons. Dans ces endroits, les oliviers plantés sont en mauvais état et leur situation se dégrade davantage durant les épisodes secs comme en 2021.

Tableau VII.3: Résultat de l'analyse granulométrique du sol

Echantillon	Code	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Total sable	Elements gras	Total
Menzel Chaker ouest	ES1	4	20	51	19	94	6	100%
Elhajkacem	ES2	8	17	55	18	73	2	100%
Chieleb nord	ES3	5	20	50	48	98	2	100%
Chieleb sud	ES4	0	4	31	63	94	2	100%
Essaâda	ES5	5	10	60	23	83	2	100%
Aitha	ES6	0	5	70	20	90	5	100%
Agarba	ES7	5	40	30	20	90	5	100%
Choucha	ES8	0	2	68	25	95	5	100%

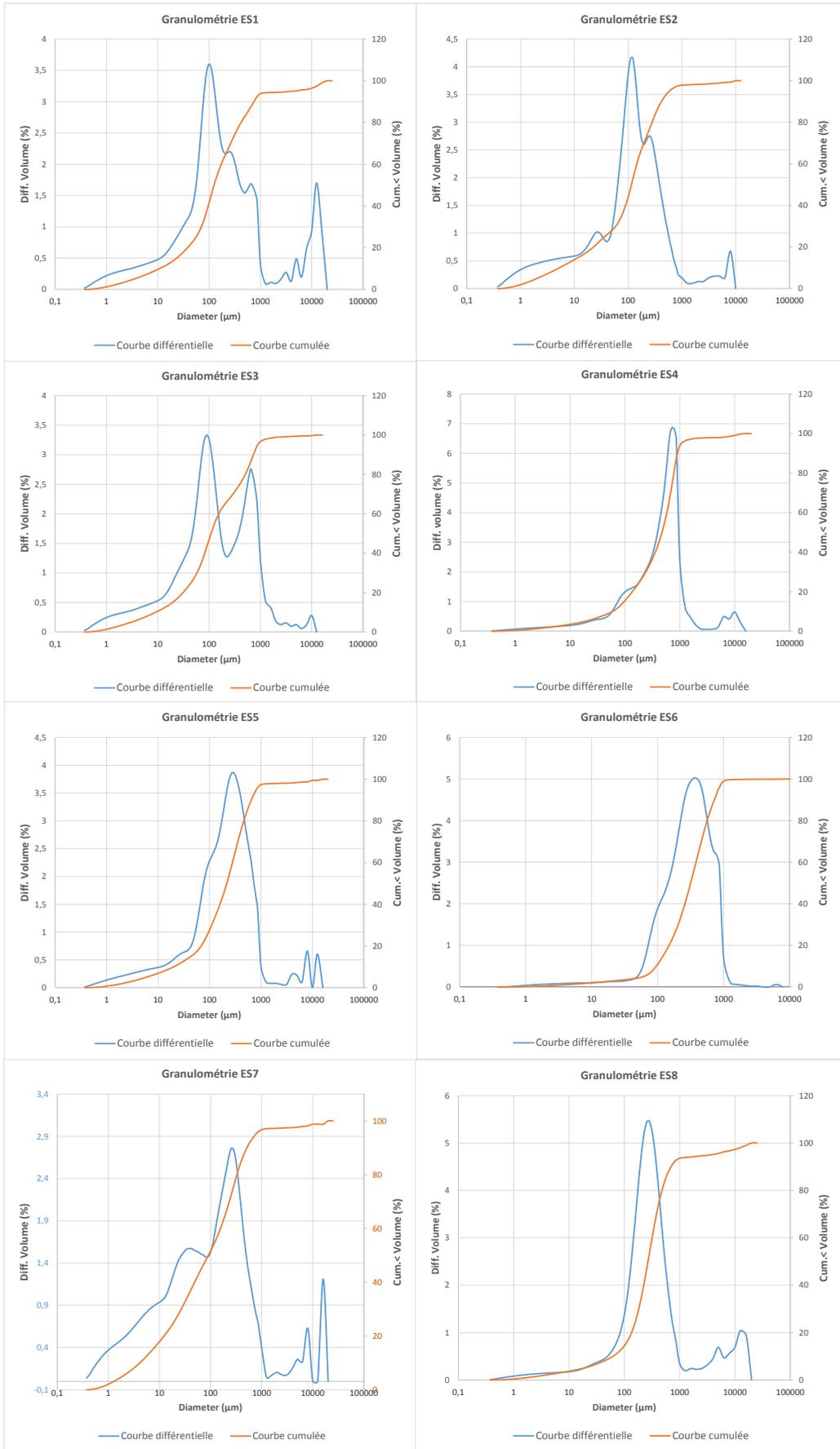


Figure VII.13 : Résultats de l'analyse granulométrique des sols de différents échantillons

**Contrairement aux fractions fines, les sables fins** se présentent avec des portions importantes dépassant 50% dans tous les échantillons (ES6, ES8, ES5 et ES2 qui représentent respectivement 70, 68, 60 et 55% de la texture du sol) à l'exception des zones Chieleb sud (ES4) et Agarba (ES7) qui forment respectivement 31% et 30% de la texture du sol (tab VII.3 et fig VII.7). Ainsi les investigations de terrain et les enquêtes permettent de déduire que les oliviers plantés dans les sols dominés par des sables fins sont en bon état même en cas d'un épisode sec aigu comme le cas de 2021 (fig VII.14). Aussi, l'enquête du terrain a montré que près des  $\frac{3}{4}$  des enquêtés pensent que les sols dominés par des sables fins sont parmi les plus productifs et 50% des agriculteurs considèrent que les sols sableux sont les plus propices pour l'olivier.



Figure VII.14 : Olivier en bon état poussant sur un sol sableux (*Cliché personnel*)

Concernant les sols caillouteux de type Hamada ou reg, déjà signalés dans le paragraphe réservé à la topographie, ils sont présents surtout dans le secteur d'Elhajkacem. D'après certains agriculteurs, ces sols permettent de conserver l'humidité surtout à la suite des brouillards et de surmonter l'effet néfaste des températures élevées et par conséquence de réduire l'évapotranspiration excessive (d'après l'encyclopédie de Magon carthaginois et validé par l'enquête du terrain) (fig VII.15).



Figure VII.15: Olivier poussant sur un sol caillouteux à Elhajkacem (*Cliché personnel*)

### VII.3 Production oléicole et autres facteurs :

Même si les oliviers sont plantés dans un contexte topographique et pédologique favorable, la productivité des arbres restes, toutefois, dépendantes d'autres facteurs déterminants comme l'âge de l'arbre et les maladies ravageurs...

**En ce qui concerne l'âge**, 60.8% des enquêtés ont évoqué que la production oléicole est intimement liée à l'âge dont 41% d'entre eux considèrent que les arbres d'olivier notamment de type chemlali atteignent le maximum de leurs productions oléicoles quand ils sont âgés de 40 à 70ans (fig VII.16).

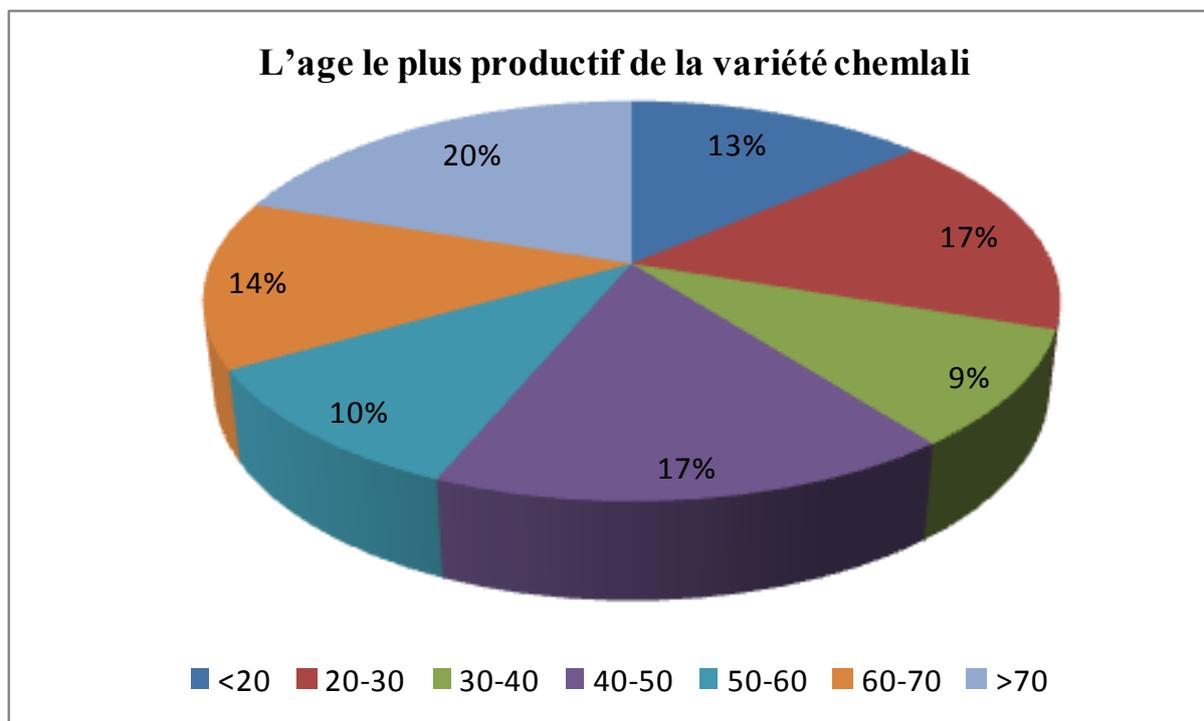


Figure VII.16 : Productivité de l'olivier en fonction de l'âge selon la perception des agriculteurs (*source, enquête du terrain*)

Dans la zone d'étude, les arbres les moins âgés et plantés en pluvial se trouvent dans le secteur d'Elhajkacem. La mise en valeur de ces terres agricoles remonte aux années soixante et soixante-dix du siècle précédent. Elle a été faite dans le cadre d'une stratégie politique visant à fixer la population notamment l'arrière-pays de la région de Sfax et limiter l'exode rural. C'est ainsi que les parcelles ont été plantées par des oliviers qui apparaissent, jusqu'aujourd'hui, en bon état et productif, très probablement, parce que leur âge juvénile leur permet de résister aux différents épisodes secs (fig VII.17).



Figure VII.17 : Résistance de l'olivier d'Elhajkacem pendant les périodes sèches (*Cliché personnel*).

**Quant aux maladies affectant l'olivier**, elles sont variées et affectent vraisemblablement la production oléicole. Dans la zone d'étude, et en se basant, toujours, sur l'enquête du terrain, 95% des enquêtés évoque la fréquence de la maladie nommée « tabrouma » qui affecte les troncs (bois) et de manière moins importante les maladies de psylle et elhamra. Alors que la maladie de mouche d'olive n'est signalée que par 2% des enquêtés (fig VII.18).

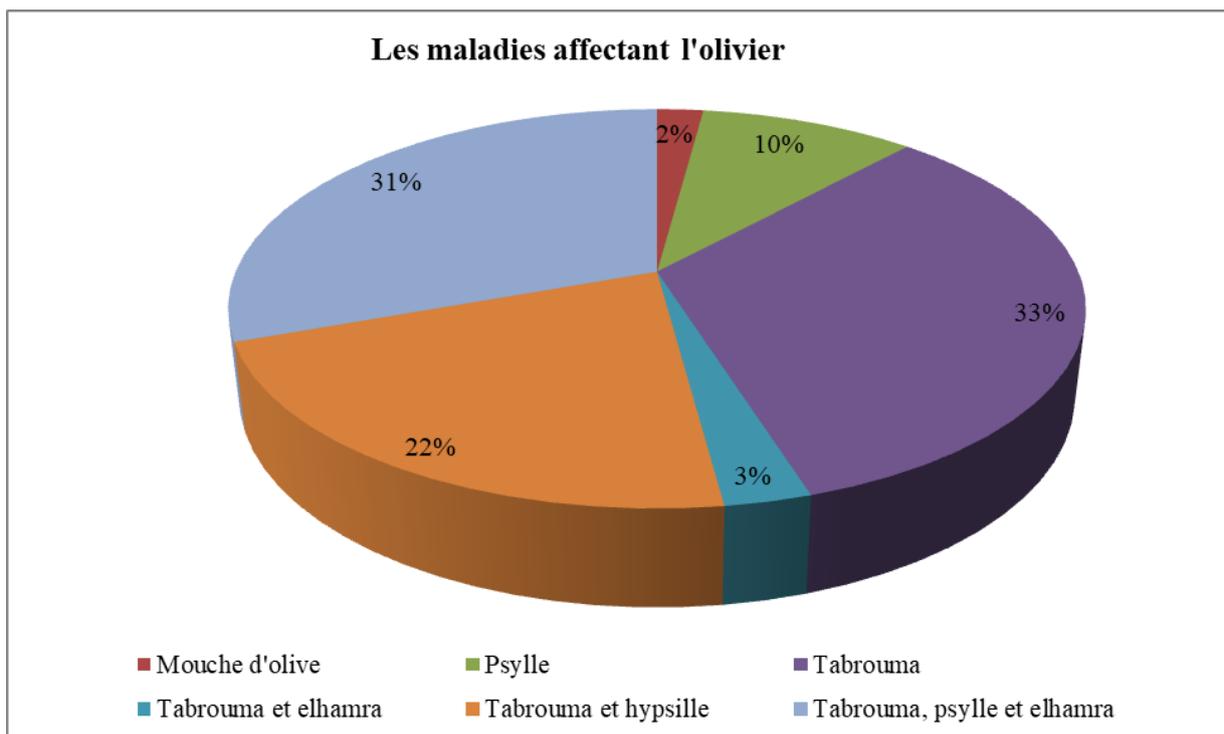


Figure VII.18 : Les maladies affectant l'olivier selon la perception des agriculteurs (*source, enquête du terrain*)

Selon les agriculteurs enquêtés, la maladie tabrouma est contagieuse et peut aboutir à la mort partiel ou total de l'arbre (fig19A). Elle est liée à une complication due à des maladies des racines qui peuvent se déclencher après :

- les labours profonds qui affectent les racines et qui sont suivis par l'engorgement du sol par les eaux d'irrigation de pluies. Ceci aboutit à des asphyxions (figVII.20). A travers l'absorption, cette maladie se propage vers le tronc et les rameaux.



Figure VII.20: Maladie de bois affectant le tronc de l'arbre (*Cliché personnel*)

- Une contamination liée à la scie de la taille qui peut transférer cette maladie d'un arbre à un autre. De ce fait, les agriculteurs insistent sur la nécessité de nettoyer et stériliser le matériel de la taille notamment la scie.

- La taille tardive notamment qui se fait à la fin du printemps et qui coïncide avec l'élévation des températures. Cette dernière aboutit au dessèchement de la partie taillée qui va être montré rapidement des fissures et à l'éclatement du bois. La situation devient plus grave lorsque cette taille tardive est suivie par des pluies ou du brouillard. En effet, la pénétration des gouttelettes d'eau dans ces fissures contribue à l'apparition de ce type de maladie.

Pour faire face à cette maladie et arrêter la contamination, plusieurs agriculteurs brûlent la partie affectée du tronc parfois en creusant des trous pour l'aération et pour permettre la pénétration du feu à l'intérieur. Cette méthode est ancienne et très efficace pour lutter les oliviers contre cette maladie (fig VII.19B).

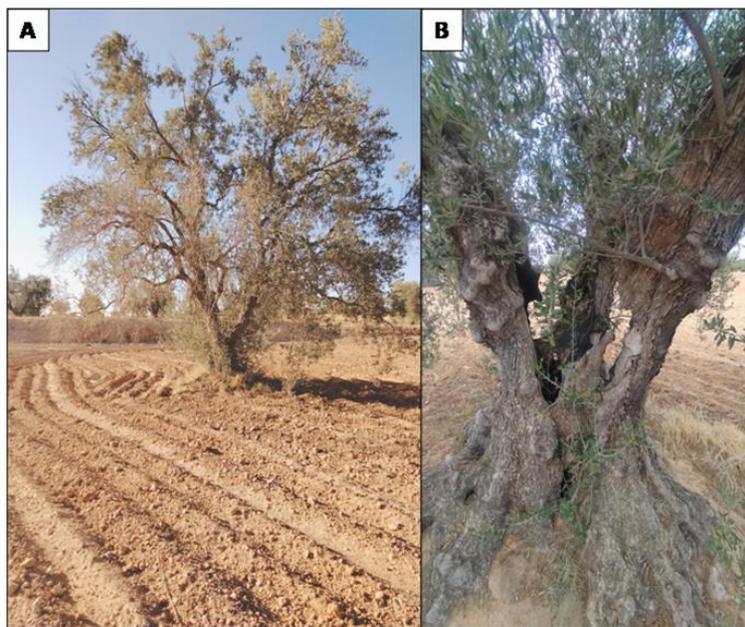


Figure VII.19 : A= Dessèchement partiel des organes suite à la maladie de bois ; B= État du tronc soigné de la maladie de tabrouma à l'aide du feu (*Cliché personnel*).

Dans des cas particuliers le dessèchement total de l'arbre est provoqué par la foudre en raison de l'énergie dégagée. En effet, la décharge électrique très violente et la chaleur très élevée autour de l'éclair entraînent la brûlure de l'arbre (fig VII.21).



Figure VII.21 : Dessèchement total de l'arbre suite à un coup de foudre violent (*Cliché personnel*).

**En ce qui concerne le psylle**, il est une maladie ravageuse sous forme d'un insecte qui conduit à la chute des fleurs notamment pendant la phase de floraison en affectant par conséquent la production oléicole.

**Quant à elhamra**, c'est une maladie qui affecte le pétale ce qui rend sa couleur rouge. Cette maladie devient plus fréquente avec l'effet du vent de l'est (nommé localement Chargui), d'origine marin, et qui est souvent humide. Ce constat a été validé par 84% des agriculteurs enquêtés (figVII.22).

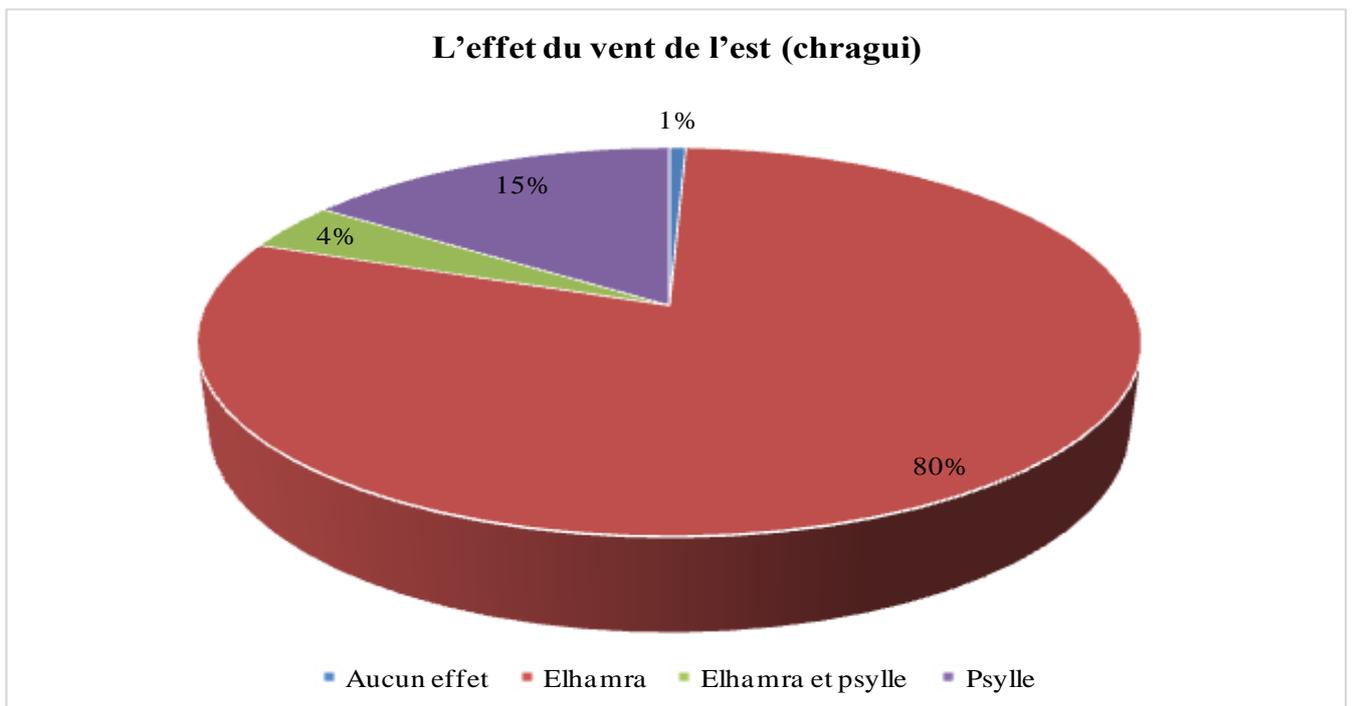


Figure VII.22 : L'effet du vent de l'est sur l'olivier selon la perception des agriculteurs (*source, enquête du terrain*)

Bref, les analyses du sol, les enquêtes et des images satellites qui ont été confrontés par des observations sur terrain ont montré l'influence de la pédologie, la micro-topographie, l'âge et les maladies sur l'état de l'olivier et par conséquence sur la quantité et la qualité de la production. En effet, l'olivier donne de bonne production lorsqu'il pousse sur les sols sableux et les dépressions non salées, les oueds. Mais, son état dépend de l'âge. Comme il peut être affecté par des maladies notamment tabrouma et psylle.

## Chapitre VIII: Production oléicole et facteurs anthropiques:

### Introduction du huitième chapitre

L'homme joue un rôle important dans la fluctuation de la production oléicole à travers ses pratiques agricoles qui influencent l'état de la végétation (Masmoudi-Charfi, 2012; Ghrab et *al.*, 2014). La compréhension de ces pratiques a été faite en se basant sur l'enquête qui nous a fourni plusieurs informations abordant les pratiques culturelles utilisées dans l'oléiculture par les divers intervenants que ce soit privés ou étatiques. Ces pratiques oléicoles ont été cartographiées et analysées tout en étudiant leurs effets sur l'état de l'arbre, la fluctuation de la production et le rendement de ces individus.

Ce chapitre évoque, également, la perception des différents enquêtés des changements climatiques et l'effet de divers paramètres climatiques sur l'olivier pour savoir comment ces agriculteurs ont réagi pour anticiper les effets néfastes des changements climatiques et de savoir dans quelle mesure ils ont réussi à s'adapter avec les conditions climatiques défavorables dans un milieu contraignant caractérisé par la pénurie de l'eau et la persistance de la sécheresse.

### VIII.1 Les pratiques agricoles utilisées

Les pratiques agricoles utilisées dans les champs d'oliviers, conduit en pluvial, sont multiples et varient en fonction des types d'exploitations, de la mode de conduite, de la taille de parcelle, des moyens financiers de l'exploitant, des types de propriétés (étatique ou privée) et de l'endroit dans le secteur d'étude. Les pratiques dominantes correspondent en premier lieu aux labours et à la taille et en second lieu à la fertilisation et l'arrosage de sauvetage et les travaux de conservation des eaux et des sols.

**Les labours sont indispensables** pour l'olivier. Ils permettent de lutter contre la poussée de la végétation adventice (principalement le chiendent) tout en assurant la bonne croissance des pousses fructifères afin d'assurer une production convenable d'olives (Ben Rouina, 2021). Le passage annuel des outils de labours varie en fonction de la fréquence des pluies, de l'état de fructification de l'olivier, du degré de la végétation adventive présente dans le verger, des moyens financiers des agriculteurs et de types de propriétaires (privés ou publics).

Selon l'enquête, 90% des agriculteurs affirment que les terres sont labourées annuellement plus que 4 fois (dont 26% labourent leurs terres plus que six fois en utilisant

divers outils surtout le soc, en forme de queue d'hirondelle, qui a été cité par 93% des enquêtés dont 47% d'entre eux affirment qu'ils utilisent uniquement ce type d'outil. Cependant, 42% des agriculteurs enquêtés n'utilisent cet outil que pendant les saisons automnales, hivernales et printanières. Selon ces agriculteurs les socs en queues d'hirondelles permettent l'aération du sol et facilitent l'absorption de l'eau par les racines.

Durant la saison estivale le laboure se fait avec les outils à lames appelé localement « m'hacha ». C'est un outil traditionnel tiré par les animaux et fréquemment utilisé dans les petites parcelles. Il permet le binage du sol et le coupage des mauvaises herbes et il est très utile pour la conservation de l'humidité du sol pendant la saison sèche et l'amélioration de la production et le rendement en huile (fig VIII.1).

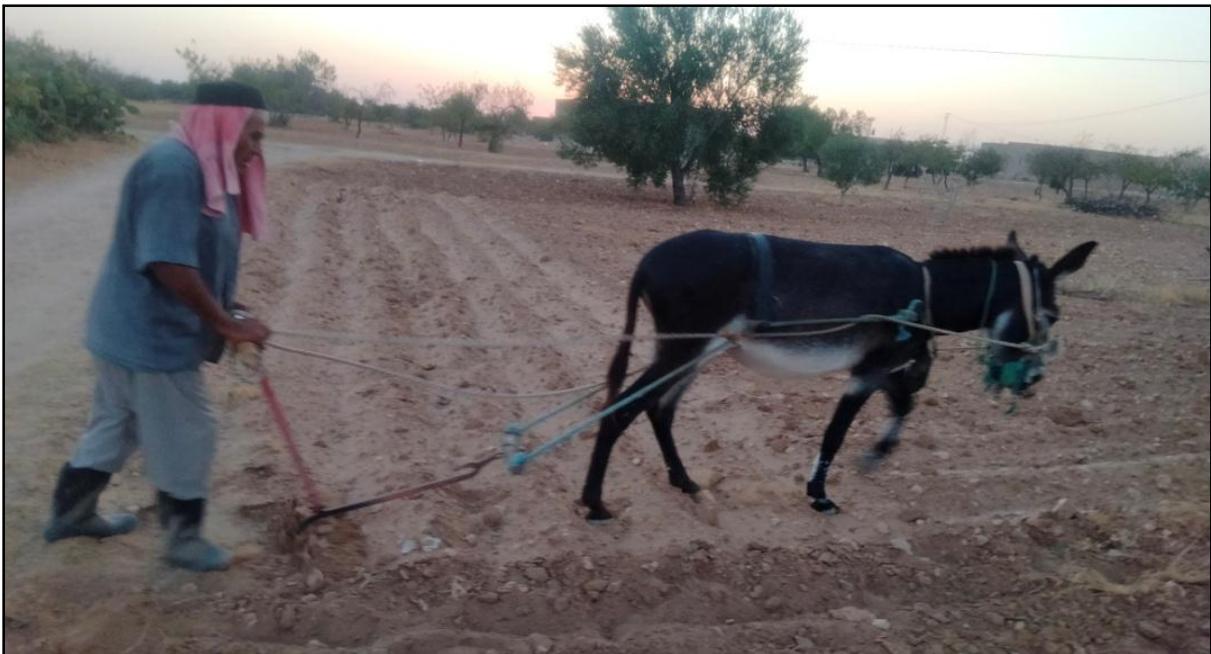


Figure VIII.1 : Outil traditionnel de laboure nommé « m'hacha » et utilisé en saison estivale (*Cliché personnel*)

En revanche, les charrues à soc sont faiblement utilisées en dépit qu'ils facilitent l'infiltration de l'eau de pluie et assurent la croissance des pousses fructifères (fig VIII.2).

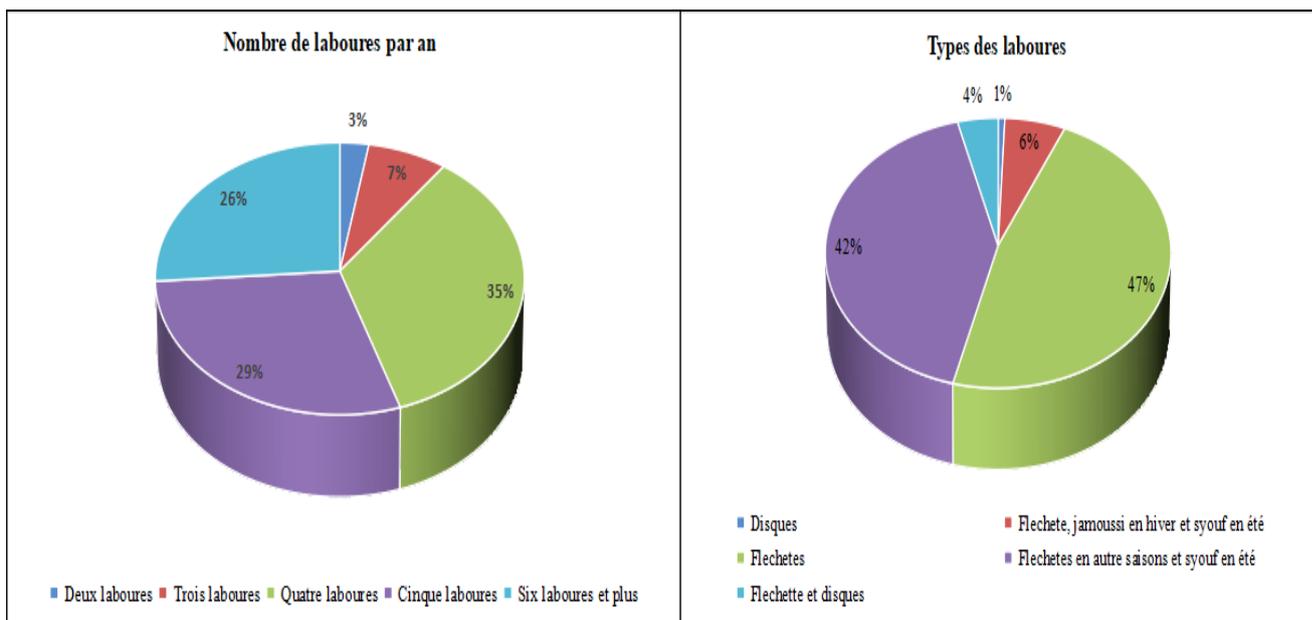


Figure VIII.2 : Nombre annuel et types des labours pratiqués par les agriculteurs (source, enquête du terrain)

Les dates de ces labours varient selon les conditions pluviométriques et d'autres labours supplémentaires s'ajoutent en cas des pluies fréquentes (fig VIII.3).

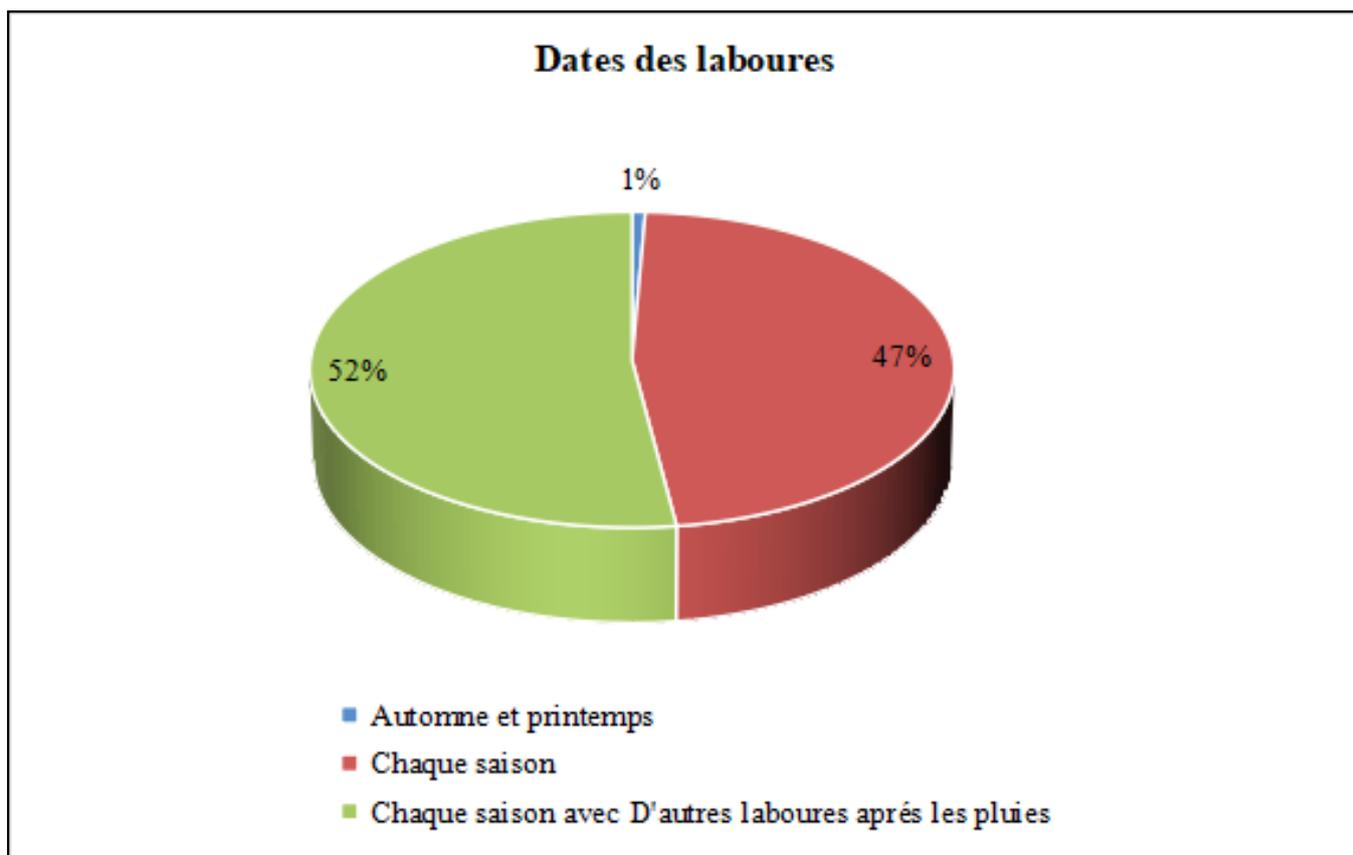


Figure VIII.3 : Les dates de labours effectuées par les agriculteurs (source, enquête du terrain)

**La taille est, également, l'une des pratiques agricoles les plus intéressantes.** Elle se fait manuellement à l'aide d'une scie (fig VIII.4A). Cette pratique consiste à éliminer les gourmands et les bois morts situés à l'intérieur de l'olivier et d'alléger la frondaison pour exposer les rameaux de l'arbre à la lumière (ONIGC, 2006 ; Mazouni, 2014, confirmé par l'enquête du terrain) (fig VIII.4B). En effet, elle permet de suivre le développement de l'arbre (surtout jeune) tout en augmentant sa productivité (Metzidakis, 2000 ; Cherbiy-Hoffmann et al., 2012).

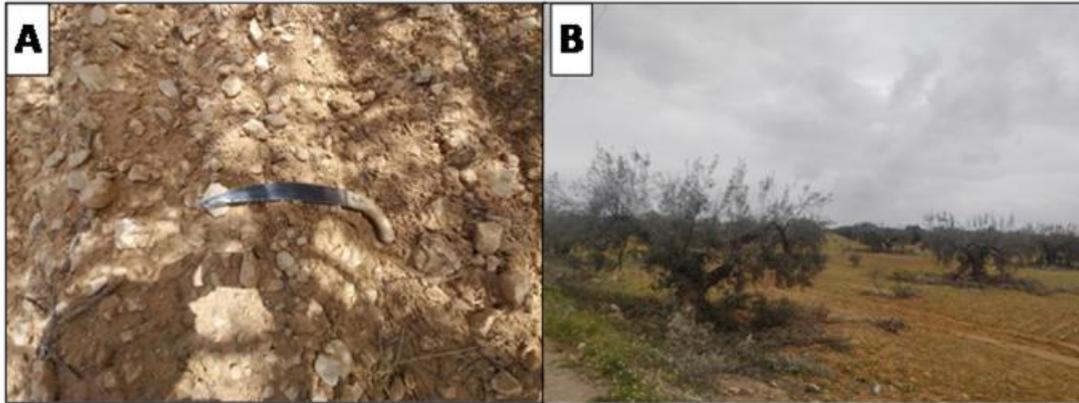


Figure VIII.4: A= Scie traditionnelle utilisée pour la taille de l'olivier ; B= Taille de l'olivier pour la réduction du bois et l'exposition des rameaux au soleil.

D'après la figure VIII.5, 79% des enquêtés considèrent que la taille se fait généralement après chaque récolte avec une alternance d'une année de taille aiguë et une autre de taille faible. Cependant les 21% restants pensent qu'une taille faible doit être faite régulièrement chaque année.

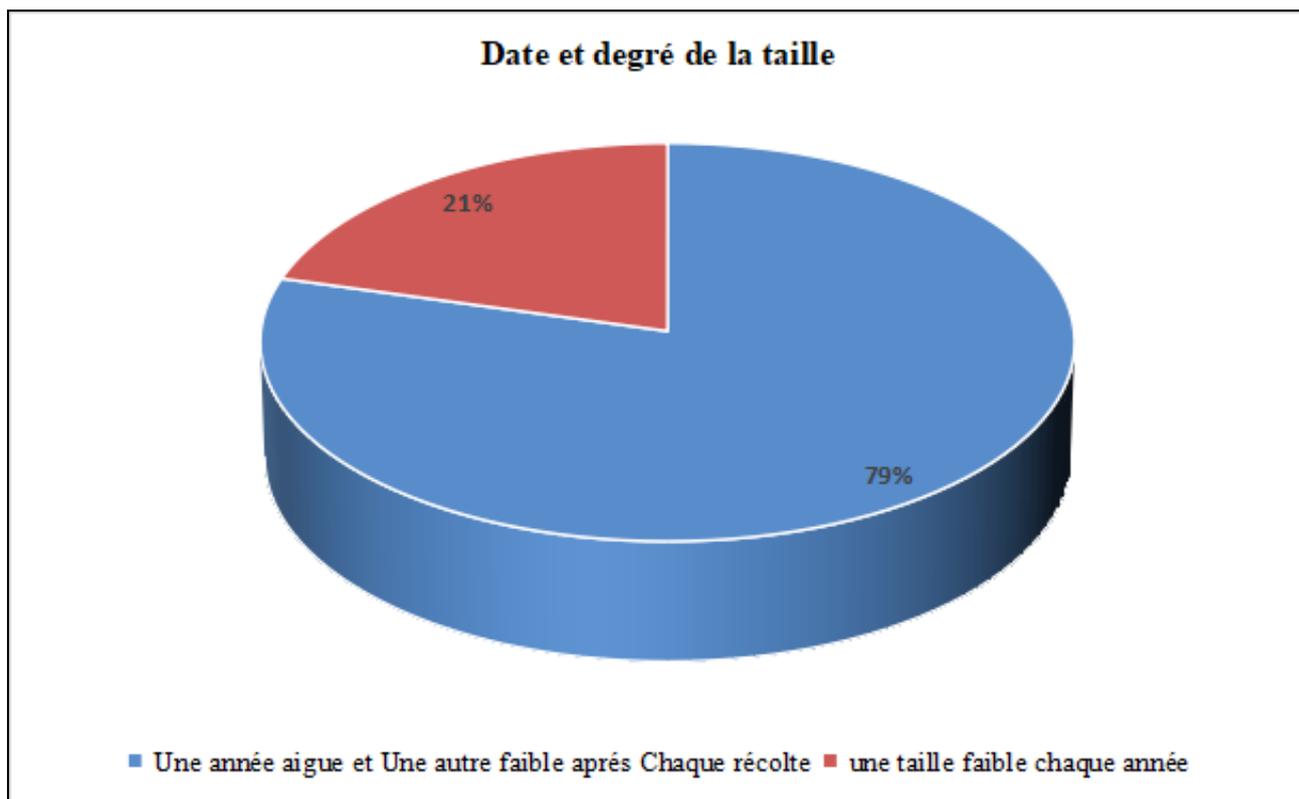


Figure VIII.5 : Date et degré de la taille suivant les agriculteurs enquêtés (*Source, enquête du terrain*).

D'après l'ONIGC, 2006 et les entretiens qui ont été réalisés auprès des techniciens spécialistes en agriculture dans les fermes publiques, les arbres doivent être bien taillés dans leur partie nord pour avoir plus de lumière. Ce constat a été confirmé par les observations du terrain. En effet, pendant l'épisode sec de 2021 qui a été aggravé par les vagues de chaleurs estivales, les parties nord des oliviers apparaissent sèches par rapport à celles sud qui sont plus exposées au soleil (fig VIII.6).



Figure VIII.6 : Hétérogénéité de l'état de l'arbre : Dessèchement de la partie non exposée à la lumière contre un état normal pour celle exposée et située à côté de la banquette (*Cliché personnel*).

Entre autres, la fertilisation occupe une place déterminante dans la croissance de l'arbre et l'augmentation de sa production. Cette place a été renforcée suite à la dégradation du sol sous l'effet de l'érosion hydrique et éolienne aggravée par la mécanisation récemment introduite dans le labour (Ben Rouina, 2021).

D'après l'enquête, la fertilisation de l'olivier en pluvial à travers la fumure est prédominante avec 91% des enquêtés (figVIII.7). Ce type de fertilisation est la plus répandue dans toute la région puisque la majorité des agriculteurs sont spécialisés en élevage des moutons. De plus, il évite les apports systématiques et excessifs des nutriments. En effet, ce fertilisant est très efficace dans l'enrichissement du sol en matières organiques tout en satisfaisant les besoins nutritifs de l'olivier. De surcroît, il améliore la texture des sols lourds, maintient l'humidité du sol, augmente la capacité de rétention et active le micro-organisme et par conséquent augmente la production de l'arbre. C'est pour cela, les agriculteurs apportent d'abord les fumures de leurs bergeries. Puis, ils l'accumulent dans leurs fermes (figVIII.7) avant de l'épandre dans leurs champs.



Figure VIII.7 : La préparation de la fumure dans les parcelles avant de son utilisation (*Cliché personnel*)

D'autres manières d'utilisation des fumures, telle que certains agriculteurs creusent, dans la partie Est de chaque olivier, une tranchée de deux mètres de longueur et un mètre de largeur et 60 cm de profondeur. Puis, ils la remplissent avec les fumures mélangées avec l'eau. Enfin, ils les couvraient par le sol. Ces agriculteurs qui sont en majorité expérimentés croient que cette méthode est très efficace pour l'olivier notamment dans la partie Est la moins exposé au soleil (fig VIII.8). En effet, elle permet de lutter contre la résistance racinaire due au froid.



Figure VIII.8 : Un tranché de fertilisation du sol de la partie Est de l'olivier (Cliché personnel)

En dépit que la majorité des agriculteurs s'accorde sur la fiabilité de ce fertilisant, ils ne sont pas unanimes sur la fréquence de son utilisation et les dates d'interventions. La fertilisation annuelle est notée par 38% des enquêtés alors que celle quinquennale est décrite par 15%. Or, les autres enquêtés sont en discordance entre eux au niveau de la fréquence de son utilisation (fig VIII.9). Cette variabilité au niveau de la fréquence de la fertilisation dépend d'une part des moyens financiers des agriculteurs et d'autre part du degré de conscience des paysans de la fragilité du sol et la nécessité de son enrichissement.

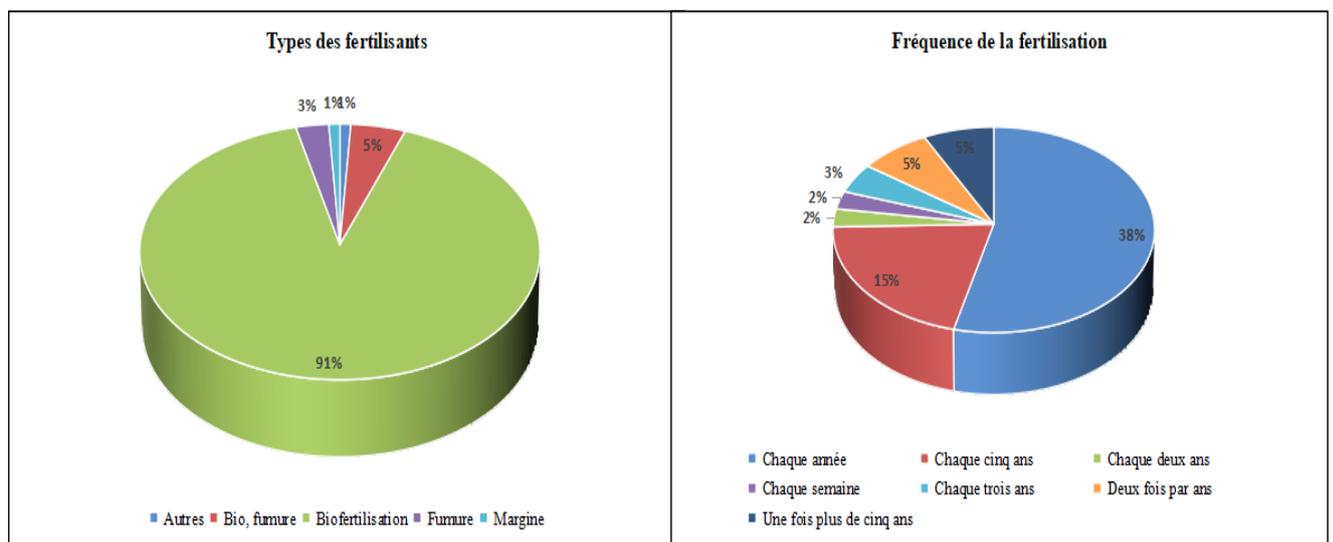


Figure VIII.9 : Types des fertilisants utilisés et fréquence de son utilisation (Source, enquête du terrain)

Aussi, la fertilisation à l'aide du margine est rarement utilisé dans notre zone d'étude. Elle n'a pas dépassé 1% (fig VIII.9). Ce faible taux est expliqué par sa disponibilité et le coût élevé de son utilisation. Ce type de fertilisation est apparu pendant les dernières années. Mais, il n'est pas disponible pour tous les agriculteurs puisque son utilisation se fait uniquement par les

propriétaires d'huileries. A la fin de chaque récolte, ils apportent les margines de leurs huileries à l'aide des citernes pour l'épandre dans leurs parcelles. Généralement, l'épandage de ce fertilisant se fait juste après la récolte. Selon un enquêté chargé de l'épandage de margine, ce fertilisant est très efficace s'il est utilisé d'une manière rationnelle et lorsqu'il est suivi par les pluies (fig VIII.10A). Par contre, la fertilisation excessive induit l'accumulation des quantités énormes du margine sous l'arbre induisant à l'asphyxions des racines et par conséquence la mort de l'arbre (fig VIII.10B).

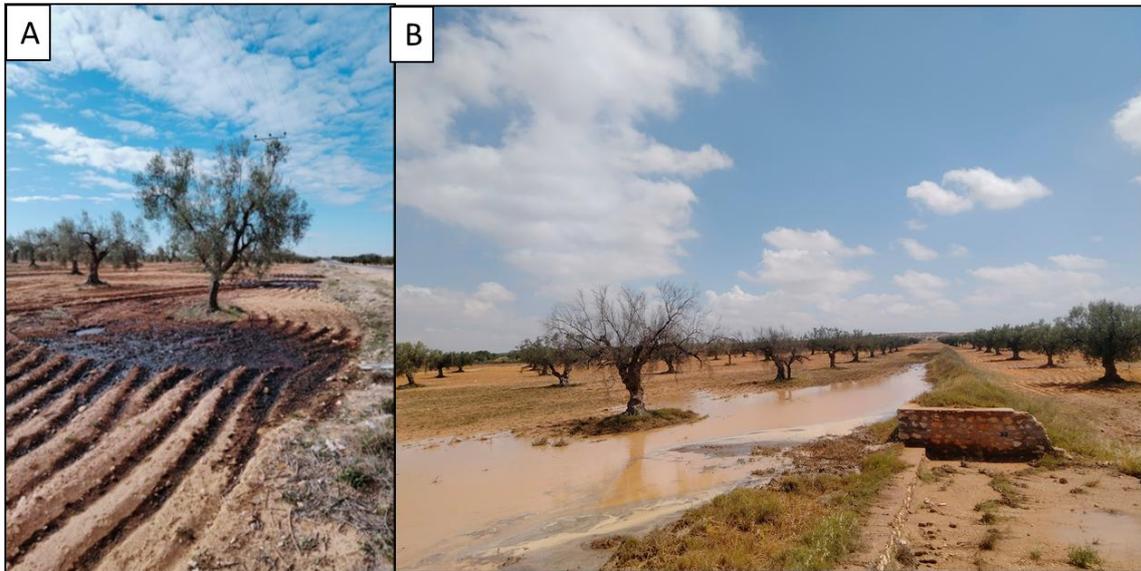


Figure VIII.10: Fertilisation par margine (A : fertilisation avec une dose quantifiée, B : Surdosage de fertilisation)

La date de la fertilisation varie d'une saison à une autre selon les agriculteurs. La majorité entre eux soit 78% fertilisent leurs parcelles entre l'automne et l'hiver contre 13% en printemps. La nette concentration de la fertilisation dans ces deux saisons est expliquée par le savoir-faire des agriculteurs. Certains d'entre eux choisissent l'automne, la saison la plus pluvieuse. De ce fait les premières pluies permettent la fixation d'une part de ces fertilisants dans le sol et de l'épandage de l'autre part restants dans le champ de telle façon que la fertilisation soit très efficace et bien répartie. Également, ceux qui ont choisi la saison hivernale considèrent que les pluies d'hiver non orageuses permettent la fixation de ces fertilisants aux sols et donnent l'occasion à l'olivier d'y profiter pour assurer la première vague de la croissance végétative printanière. En revanche, le taux de la fertilisation en saison estivale est très faible (fig VIII.11).

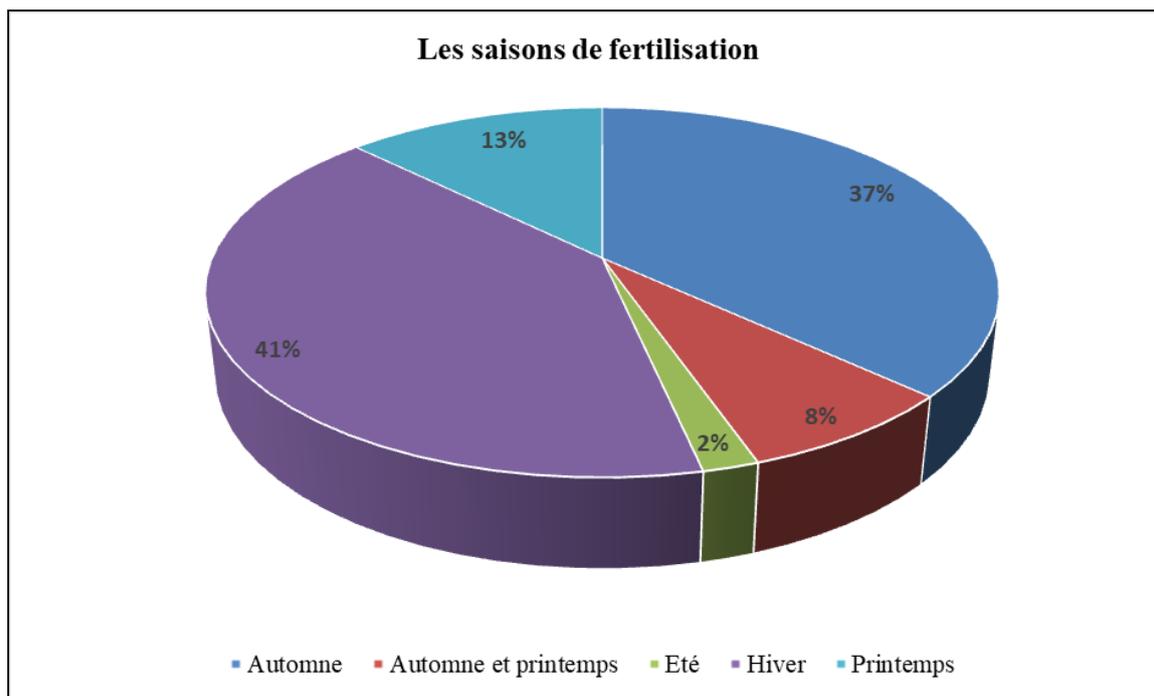


Figure VIII.11 : Les saisons durant lesquels se fait la fertilisation (*source, enquête du terrain*)

Suite à l'élévation continue de la température et l'occurrence des vagues de chaleur la demande évaporatoire a augmenté. En effet, **l'arrosage de récupération (ou de sauvetage)** est devenu incontournable. En se basant sur l'enquête, 95.3% des enquêtés affirment que l'été de 2021 a été exceptionnel au niveau des températures élevées. Également, 99.3% croient qu'un changement climatique a été observé. En effet, 100% des enquêtés ont indiqué l'élévation progressive des températures et 87.9% entre eux croient que les pluies sont en train de diminuer et les 12.1% restants voient que les pluies sont irrégulières. Cependant, malgré la conscience des agriculteurs de la nécessité de l'irrigation complémentaire, seulement 59.1% des enquêtés ont utilisé l'arrosage de sauvetage. Cela est expliqué par le coût élevé de l'arrosage surtout pour les parcelles situées un peu loin des sources d'eau notamment pour les agriculteurs qui n'ont pas suffisamment de moyens financiers.

D'après l'enquête, 69% des oliviers ont été affectés par l'effet de la sécheresse aiguë de 2021 aggravé par les vagues de chaleurs suite aux canicules enregistrées pendant l'été de cette année. Autrement dit, seulement 31% des oliviers ont gardé leur état normal. Probablement, certains de ces oliviers poussent sur des sols favorables à l'oléiculture et d'autres ont bénéficié de l'irrigation de sauvetage notamment pour ceux qui ont été arrosés de deux à trois fois dès le début de l'été. En revanche, le degré de l'effet de ces anomalies varie selon les parcelles telle que 42% des enquêtés ont noté l'état mauvais de leurs oliviers et 20%

ont mentionné l'état catastrophique de leurs arbres. Alors que 7% des agriculteurs enquêtés ont observé une différence de l'état de leurs oliviers d'une parcelle à une autre et même entre les individus au sein de la même parcelle (fig VIII.12). En effet, certains individus ont été en état mauvais et d'autres en état catastrophique. Ils ont expliqué cette variabilité par plusieurs facteurs telle que les types des sols, l'emplacement géographique et l'effet des banquettes. Aussi, certains propriétaires qui ont plusieurs parcelles éparpillées dans l'espace et éloignées les unes aux autres ont expliqué cette variabilité par la répartition inégale des pluies suite aux orages ponctuels très fréquemment observés.

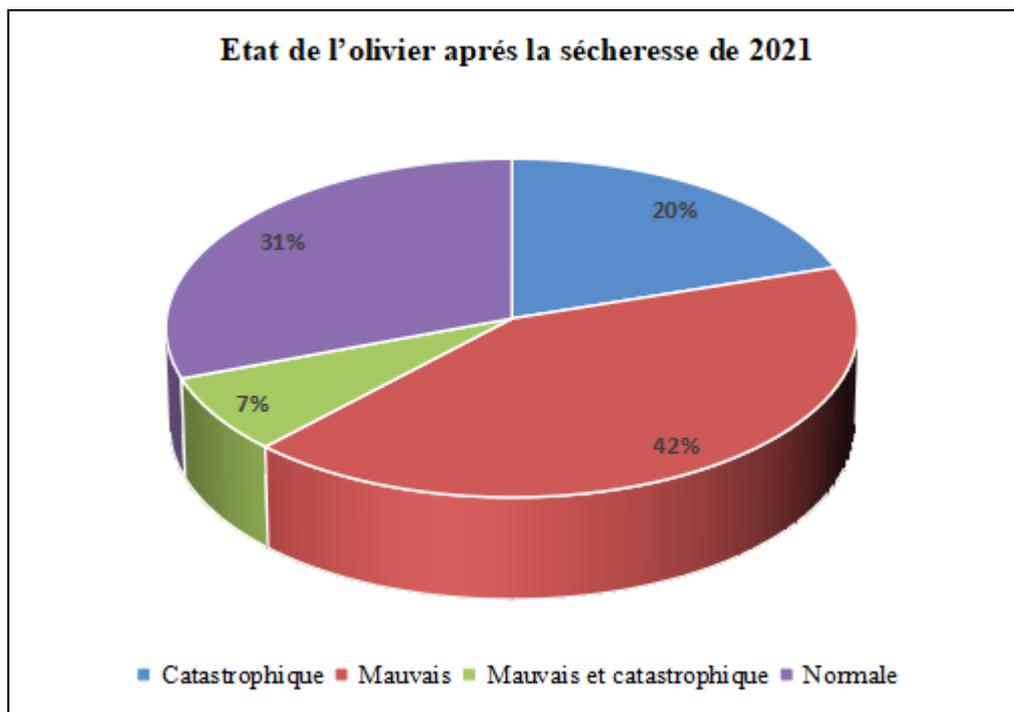


Figure VIII.12 : L'état de l'olivier après la sécheresse de 2021 (source, enquête du terrain)

En effet, suite à ces événements exceptionnels, plusieurs agriculteurs ont recouru à l'arrosage de récupération. Les résultats de cet arrosage de sauvetage suivi par les agriculteurs ont été hétérogènes. Le pourcentage le plus élevé des enquêtés (soit 87%) a signalé l'effet positif de cet arrosage. Mais, le degré de l'amélioration qu'a connu l'olivier n'est pas la même : 41% des enquêtés ont remarqué une légère amélioration contre 46% qui ont observé une nette amélioration. Par contre, les 14% restants des enquêtés ont noté l'indifférence envers l'irrigation de sauvetage. En effet, la réaction de l'olivier suite à cette sécheresse se différencie d'une parcelle à une autre voir d'un individu à un autre. Aussi, l'intervention des agriculteurs pour arroser leurs arbres n'est pas la même entre eux ni au niveau de la date de l'arrosage ni de sa fréquence. Ces facteurs ont joué un rôle important dans la variabilité de la production

oléicole. Cette variabilité s'est manifestée dans l'estimation de la production oléicole 2020/2021 : elle était en rapport avec une récolte normale dans une année prévue « on ». D'après les réponses, la production est marquée par une forte variabilité telle que 50% des enquêtés nous ont renseigné que leurs productions ont été supérieures ou égales à la moitié d'une récolte normale et le 1/3 des agriculteurs enquêtés ont noté que les productions sont inférieures ou égales à 30% sachant que la production médiocre n'a pas dépassé 2% (fig VIII.13). Ces résultats montrent que la sécheresse de l'année 2021 et les vagues des chaleurs ont affectées la production oléicole. Cependant, la réaction de l'olivier envers ces anomalies n'est pas la même. Cette réaction n'est pas conditionnée uniquement par les facteurs climatiques mais par d'autres facteurs notamment ceux anthropiques, topographiques et pédologiques.

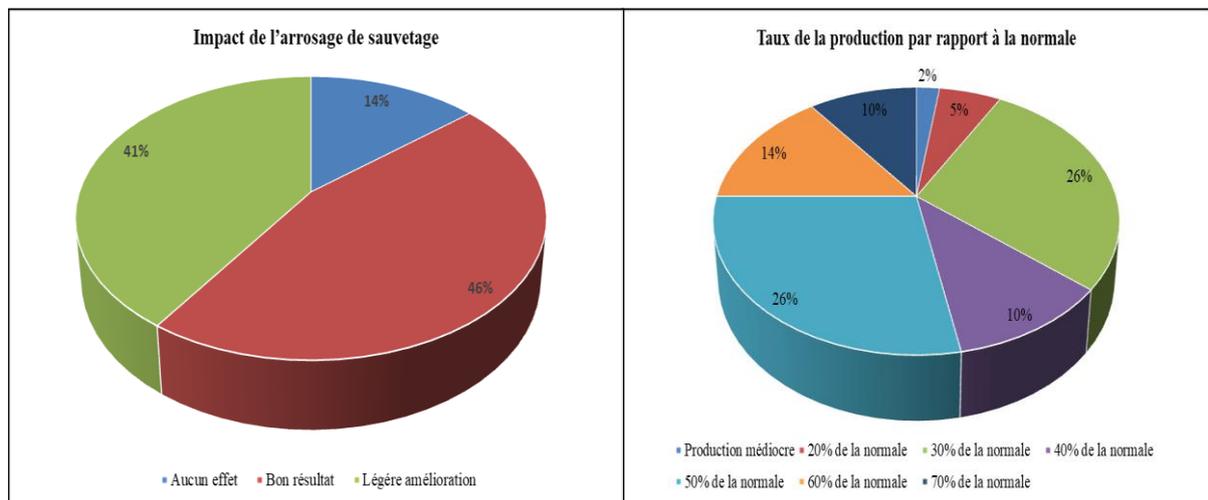


Figure VIII.13 : L'impact de l'arrosage de sauvetage sur l'olivier après la sécheresse de 2021 et le taux de la production oléicole par rapport à la normale (*source, enquête du terrain*)

En guise de conclusion, l'état de l'olivier dépend de l'effet conjugué de divers facteurs physiques, climatiques et anthropiques et autres. En effet, nous avons observé des individus de l'olivier en très bon état. Ces oliviers sont de grandes tailles poussant sur des sols favorables. Elles ont bénéficié aussi des bonnes pratiques agricoles comme la taille régulière, la fertilisation annuelle, le labour régulier et l'irrigation complémentaire. (fig VIII.14)



Figure VIII.14: Olivier en bon état bénéficiant de l'effet conjugué des facteurs physiques, climatiques et anthropiques (*Cliché personnel*)

Malgré l'importance de ces divers facteurs, l'eau reste le facteur décisif pour la production oléicole.

Pour confirmer ce constat nous avons fait une descente d'échelle pour suivre l'évolution interannuelle de la production oléicole entre 2003/2004 et 2021/2022 d'une parcelle nommée « Henchir Abid » ayant une superficie de 120 hectares. Cette parcelle, située à l'extrême Est de la zone d'étude, est conduite en mode pluvial jusqu'à 2010/2011. Puis, la conduite est devenue en mode irrigué après l'équipement de la parcelle par un réseau d'irrigation goutte à goutte. D'après le graphique VIII.15, nous avons remarqué que la production oléicole a été interrompue pendant la première période à mode pluvial de telle sorte qu'une année de récolte est suivi par plus qu'une année de repos. Or, pendant la deuxième période (2011/2021 et 2021/2022), la production est devenue plus régulière suivant le rythme de l'alternance biologique telle qu'une année de récolte est suivie strictement par une seule année de repos. De plus, la production oléicole pendant les années « on » de la deuxième période sont plus élevées que celles de la première période. Ce résultat montre l'importance de l'irrigation qui permet d'atténuer l'irrégularité de la production oléicole tout en gardant un rythme biologique régulier de telle façon que cette production soit similaire à la forme des dents de scie (fig VIII.15). En effet, l'intervention humaine, ponctuellement de préférence, est primordiale pour régulariser la production et pour surmonter les effets néfastes de longues sécheresses, de l'élévation des températures et l'occurrence des vagues de chaleurs.

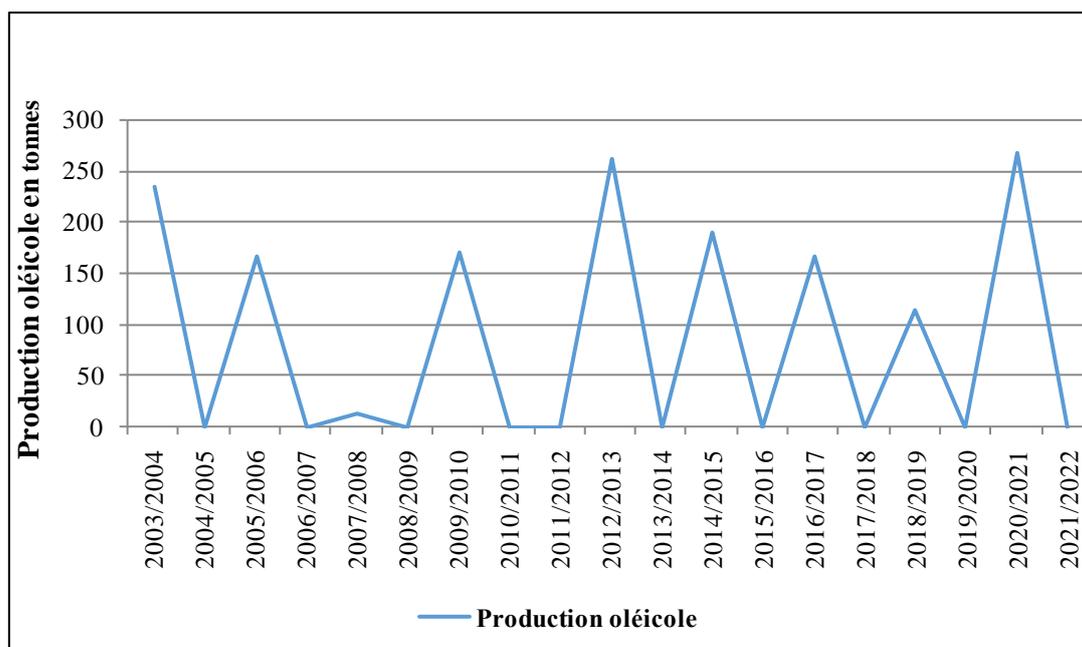


Figure VIII.15 : Evolution de la production oléicole annuelle de Henchir Abid entre 2003/2004 et 2021/2022

## VIII.2 La perception des agriculteurs envers le climat et son effet sur la production oléicole

D'après l'enquête, les agriculteurs sont suffisamment conscients des changements climatiques : les enquêtés pensent que la température ne cesse d'augmenter et 87.9% entre eux voient une tendance à la baisse des précipitations. Par contre, les autres pensent que les pluies sont irrégulières. Dans cette optique, ils citent, d'une part les périodes de famines ancrées dans la mémoire et qui ont été décrites dans l'histoire et d'autres parts, ils justifient leurs points de vue en faisant un rappel sur les inondations les plus réputées comme celles de 1969 et 1982 et 1990. Globalement, ces agriculteurs sont très cultivés. Ils ont une très bonne connaissance à propos l'oléiculture et l'interaction entre l'olivier et les divers paramètres climatiques notamment la pluviométrie.

La majorité des enquêtés insistent sur la dépendance quasi totale de la production oléicole à la pluviométrie. De plus, ils considèrent que l'olivier a besoin d'eau pendant des périodes clés. En effet, la période automnale occupe la première place dans toutes les réponses puisque cette période a été mentionnée par tous les enquêtés. En deuxième lieu se classe les périodes d'automne, janvier, février et mars avec plus de la moitié des enquêtés. Aussi, le mois de juin est décrit par 29% des agriculteurs notamment les plus expérimentés. Ils justifient leurs points de vue par l'efficacité de ces pluies et leur utilité dans le stockage de l'eau au sol à travers le remplissage des réserves utiles du sol pour se préparer aux périodes estivales les plus critiques

(fig VIII.16). Ces réponses sont concordantes avec notre étude statistique menée à l'échelle décadaire (chapitre VI)

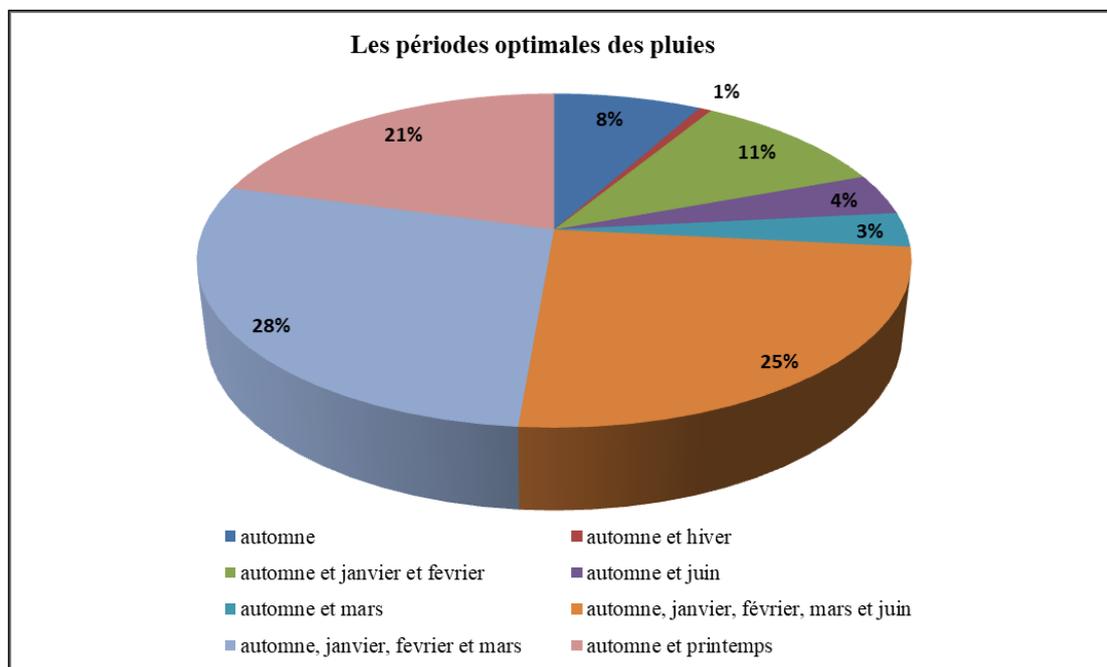


Figure VIII.16 : La perception des agriculteurs envers les pluies optimales pour l'olivier (source, enquête du terrain)

Concernant le brouillard, 74% des agriculteurs croient qu'il est néfaste à l'olivier. D'autres croient qu'il est efficace dans certaines périodes et néfaste durant d'autres. Alors que 10% entre eux constatent qu'il n'a aucun effet. En effet, 48% des enquêtés considèrent qu'il est la source majeure des maladies et 18% voient que ce paramètre engendre la chute des fleurs pendant la floraison et 6% indiquent son effet négatif sur l'arbre pendant les périodes de tailles et de récoltes. Alors que 14% mentionnent que le brouillard a un double rôle contradictoire. Il est la source majeure des maladies notamment en période de floraison. Par contre, il peut jouer le rôle d'une source d'alimentation de l'arbre en eau pendant la saison estivale sous forme d'une précipitation occulte (fig VIII.17).

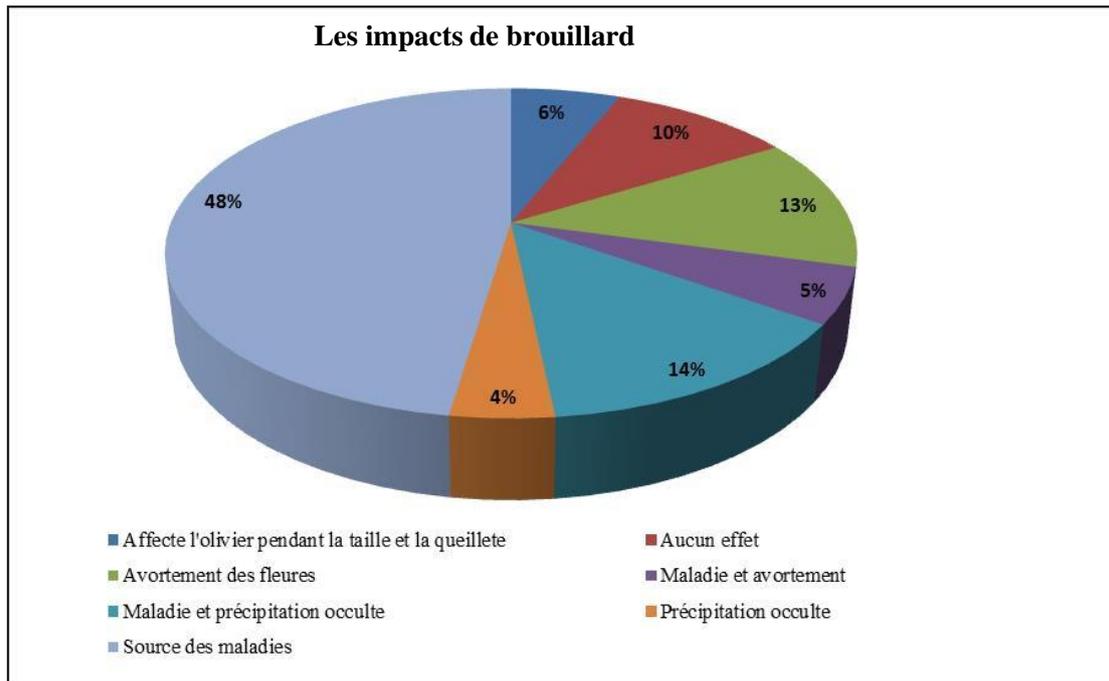


Figure VIII.17 : Les impacts du brouillard sur l'olivier selon la perception des agriculteurs (*source, enquête du terrain*)

Parmi les paramètres climatiques qui peuvent influencer l'olivier on peut citer le sirocco. Selon 38% des agriculteurs enquêtés le sirocco est bénéfique pour l'olivier dont la moitié entre eux voient qu'il est utile à la fécondation et l'autre moitié considère qu'il est bénéfique pour le traitement des maladies notamment le psylle. Quant à 12% ils croient qu'il est destructif. Il cause le dessèchement des organes et affecte la floraison. Alors que les autres croient que ce paramètre est efficace dans des périodes et néfaste dans d'autres. Il peut assurer la fécondation et soigner les maladies de la phase de floraison jusqu'à celle de la nouaison mais il peut conduire au dessèchement des organes notamment lorsqu'il persiste pendant plusieurs jours successifs (fig VIII.18). D'après ces résultats les réponses sont hétérogènes ce qui reflète la discordance des enquêtés envers les effets de ce paramètre et la difficulté d'avoir une réponse précise et claire sur son effet ce qui ouvre la voie à d'autres recherches scientifiques pour étudier les effets de ce vent sur l'olivier d'une manière plus précise.

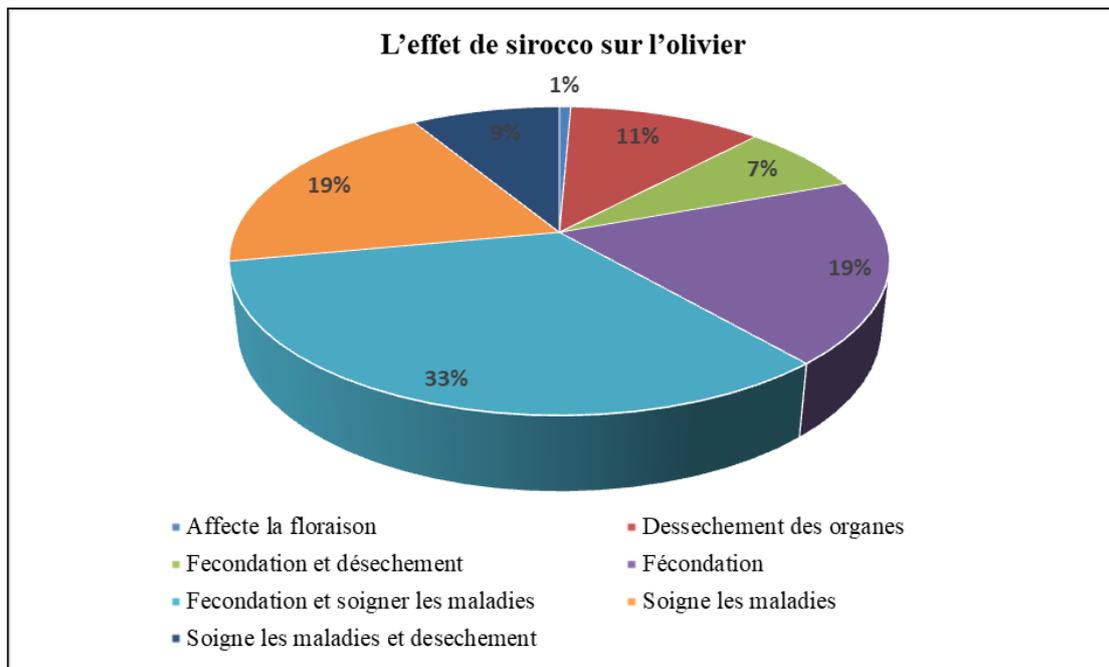


Figure VIII.18 : L'effet de sirocco selon la perception des agriculteurs, (source, enquête du terrain)

Également, les réponses des enquêtés envers l'effet du froid hivernal sont hétérogènes.

Ce paramètre a un rôle important dans le rendement d'huile selon plus que la moitié des agriculteurs enquêtés (55%). Quant à 20% affirment que le bon déroulement du cycle reproductif de l'olivier nécessite un nombre important des jours de froids hivernaux. Enfin, 8% des enquêtés voient que le vent n'a aucun effet sur l'arbre (fig VIII.19).

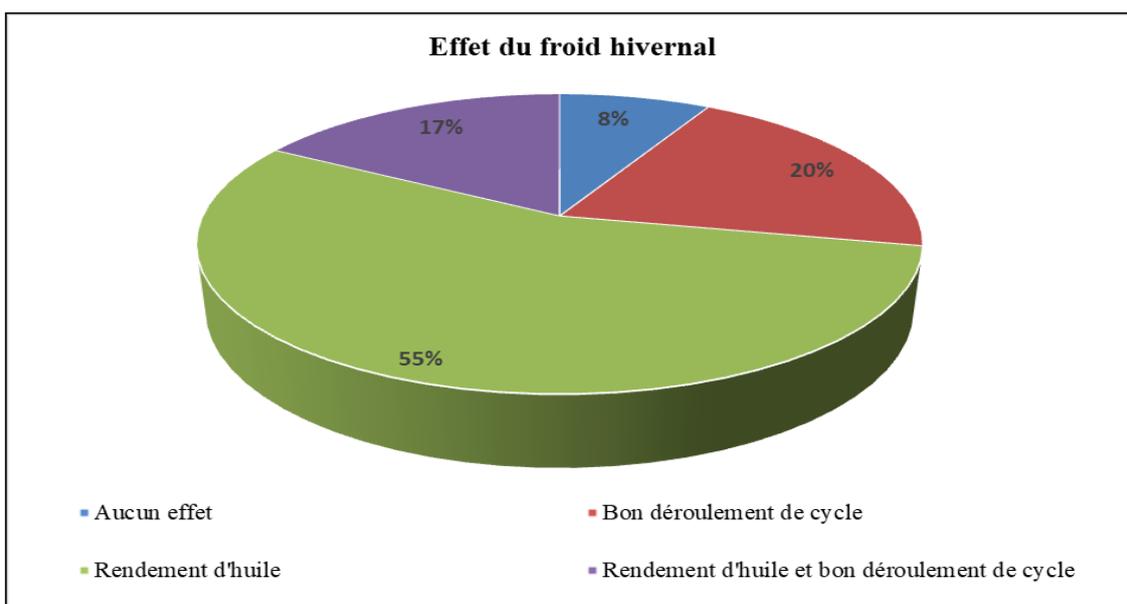


Figure VIII.19 : L'effet du froid hivernal sur l'olivier selon la perception des agriculteurs (source, enquête du terrain)

Le même constat a été observé au niveau de l'effet des vents forts. En effet, les réponses sont hétérogènes : 31% des agriculteurs considèrent que ce type de vent provoque la chute d'olives notamment durant le stade de maturité et 15% voient qu'il induit la chute des fleurs. Quant aux autres représentant 14% des enquêtés considèrent qu'il peut amener à la chute d'olives et la destruction des branches. Alors que 30% de ces enquêtés notent l'effet négligeable du vent fort sur l'arbre de l'olivier (fig VIII.20).

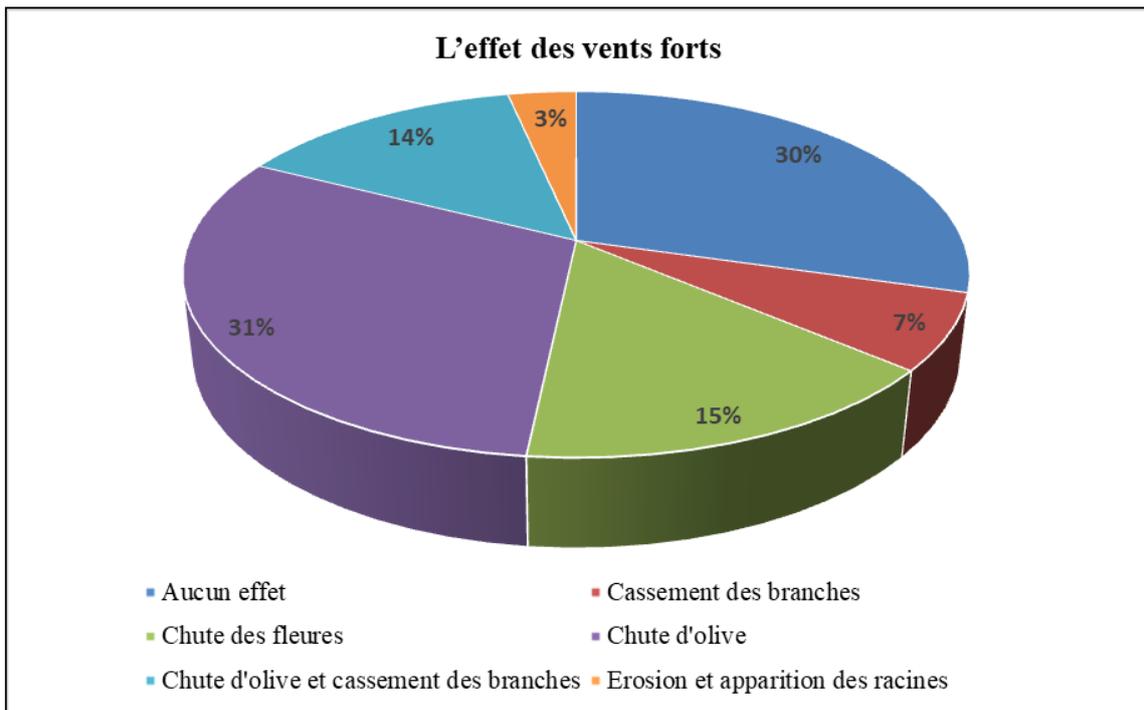


Figure VIII.20 : L'effet des vents forts sur l'olivier selon la perception des agriculteurs (source enquête du terrain)

## Conclusion générale de la troisième partie

La présente partie de l'étude a mis en évidence les facteurs impactant la production oléicole dans la délégation de Menzel Chaker. La corrélation de cette production avec les divers paramètres climatiques a montré le rôle déterminant de la pluviométrie. L'étude nous a montré la fiabilité des corrélations décennales des pluies ce qui nous a permis de déduire les décades décisives durant lesquelles les pluies sont très efficaces. Ces décades représentent des périodes clés du cycle biologique de l'olivier reflétant la dépendance de la production oléicole à la bonne répartition temporelle des pluies. Également, ces corrélations ont montré que la production oléicole peut être influencée par les autres paramètres climatiques. En effet, l'olivier tolère moins les températures élevées pendant la saison printanière notamment pendant la période de la floraison et celles les plus élevées pendant juillet et août. Cependant, les températures élevées en juin sont bénéfiques pour l'olivier. Elles permettent de traiter l'arbre et faire face aux maladies notamment le psylle. De surcroît, la production oléicole dépend des cumuls pluviométriques de l'année qui précède la production et ceux de septembre et octobre de l'année en cours. En effet, ces pluies automnales assurent le développement de la deuxième vague de la croissance végétative pendant l'année «off» et le grossissement du fruit en année «on».

A l'échelle spatiale, la variabilité des moyennes de la production de la délégation et celles des complexes agricoles de Bouzouita et Essalema et la ferme de Bechka ne dépend pas uniquement de la variabilité spatiale des pluies. Mais, elle peut être influencée par des facteurs autres que le climat. En effet, les façons culturales jouent un rôle important dans cette variabilité. Également, les types du sol ont une nette influence sur la variabilité spatiale de la production oléicole.

Ce constat a été validé à travers, les résultats des analyses du sol, des enquêtes faites auprès des agriculteurs et des images satellites qui ont été confrontés par des observations sur terrain. Ces diverses données retenues nous permettent de distinguer l'effet primordial de la pédologie sur l'état de l'arbre et par conséquent sur la quantité et la qualité de la production. De surcroît, l'emplacement géographique des individus d'olivier joue un rôle important dans sa croissance et sa productivité. En effet, les dépressions non salées, les oueds et les parcelles aménagés par des banquettes sont considérés des meilleurs endroits pour l'olivier. En contrepartie, les dépressions salées, les Hamadas et les pentes sans banquettes se sont

considérées comme des lieux défavorables à l'oléiculture. Ces endroits ne permettent pas une meilleure croissance de l'arbre.

En outre, la variabilité de la production est très influencée par les façons culturales pratiquées par les agriculteurs. En effet, les travaux d'enquêtes ont montré que certaines pratiques se différencient d'un agriculteur à un autre. En outre, la différence est observée au niveau des dates d'interventions sachant qu'il y a des dates clés durant lesquelles l'intervention est décisive. En effet, cette différence va induire à une variabilité spatio-temporelle de la production. Les pratiques les plus efficaces se résument en des labours réguliers, de la taille durant des dates convenables et suivant les normes, la fertilisation biologique et rationnelle du sol et l'arrosage de sauvetage en cas de sécheresse. Aussi, les travaux de conservations des eaux et des sols (CES) jouent un rôle important dans la collecte des eaux et par conséquent dans la productivité de l'arbre. Ces pratiques se sont les plus recommandées et les plus efficaces pour un bon déroulement du cycle végétatif et reproductif de l'olivier.

Par conclusion cet arbre, bien adapté aux conditions climatiques d'un milieu contraignant, nécessite un entretien contenu et une adoption des pratiques culturales adéquates pour garantir une bonne croissance végétative et par conséquent pour avoir des bonnes récoltes.

## Conclusions : Bilans et perspectives

L'objectif de ce travail est de montrer, en premier lieu, l'impact des éléments climatiques sur la variabilité de la production oléicole et en deuxième lieu d'évoquer le rôle que jouent les techniques culturales et les qualités pédologiques dans cette variabilité. Le sujet est original car peu étudié dans la région jusqu'à maintenant. En outre, ce travail a un intérêt d'ordre appliqué. Nous souhaitons cerner l'impact des facteurs impactant la production oléicole dans la délégation de Menzel Chaker. La finalité est de mieux orienter, dans le futur, les études d'impact et de déterminer les facteurs déterminants de la production oléicole, une question qui préoccupe les agriculteurs et intéresse l'économie régionale voire nationale.

Nous disposons, pour la période 1976-2023, des données pluviométriques journalières pour comprendre la variabilité des précipitations dans la région de Sfax aux échelles annuelles et mensuelles. Mais, les données nécessaires pour cerner la répartition spatio-temporelle des variables climatiques autres que pluie n'existent pas à cause de l'absence des stations météorologiques dans notre zone d'étude où la seule station dans la région se situe, près du littoral, dans l'agglomération de Sfax. Pour pallier ce manque de données, un réseau de 3 stations météorologiques fixes (température, vent et humidité relative) a été mise en place. Les images Landsat 8 et 9 ont aussi été utilisées pour tenter de spatialiser les précipitations. Aussi, des échantillons du sol ont été prélevés pour étudier la granulométrie, le PH et la calcimétrie. De plus, des coupes topographiques ont été faites à l'aide de Google Earth Pro et sur le terrain pour avoir des données sur la micro-topographie. Les enquêtes et les observations de terrain, ont fourni d'importantes informations complémentaires sur l'oléiculture, les pratiques agricoles adéquates et la perception des agriculteurs du climat.

Les principales conclusions concernent (1) La variabilité spatio-temporelle des éléments du climat (2) la variabilité spatio-temporelle de la variabilité oléicole et les facteurs climatiques, pédologiques, topographiques et anthropiques y impactant.

### **Variabilité climatique dans la région de Sfax.**

- Les données journalières des précipitations sur la période 1976-2019 ont permis de montrer la variabilité annuelle et mensuelle des précipitations.

En effet, l'étude a montré une forte variabilité spatio-temporelle. Cette variabilité a été confirmée à travers le calcul des quintiles pour réaliser une typologie multi scalaire des précipitations.

À l'échelle annuelle, les seuils quintiles varient en fonction des stations. En effet, les seuils les plus élevés ont été enregistrés en premier lieu à Elhencha et en second lieu à Sfax et Borj la Marne. Par contre, la station de Bir Ali ben Khelifa enregistre les seuils les plus bas notamment pour les trois premiers quintiles. Quant au quatrième quintile Bir Ali ben Khelifa est classée après Elhencha, Bouthadi et Borj la Marne mais elle est avantagée par rapport aux autres stations. En effet, le caractère spécifique de la pluviométrie de cette station est conditionné par l'effet du relief et l'emplacement géographique.

Les précipitations sont très irrégulières dans la région d'une année à autre. En effet, nous constatons la dominance des années soit sèches et très sèches ou celles légèrement et largement supérieures à la normale. Par contre, la fréquence des années normales est faible, elle n'a pas dépassé 20%. La durée des périodes sèches et très sèches et celles humides et très humides varient selon les stations. Les périodes sèches et très sèches sont assez longues à Elhencha et assez courtes à Menzel Chaker et Borj la Marne. Alors qu'elles sont alternantes avec celles normales et légèrement et largement supérieure à la normale à la station de Sfax. Alors que les durées les plus longues des années supérieures à la normale, ont été observées à Bouthadi et celles les courtes à Menzel Chaker. Ce fait confirme la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations.

Il paraît évident que, les années sèches et très sèches et celles largement supérieures à la normale se chevauchent avec des situations observées aux échelles régionales et nationales. En contrepartie, certains cas sont isolés et ne sont observés qu'à l'échelle locale.

La variabilité concerne aussi la répartition annuelle des pluies. Les valeurs les plus élevées de l'indice de concentration des pluies (PCI) ont été enregistrées à Elhencha, Borj la Marne et Bouthadi. Par contre, les valeurs les plus basses ont été enregistrées à Menzel Chaker et Sfax.

Également, la variabilité est observée à l'échelle mensuelle. En effet, les mois les plus pluvieux ont connus un changement dans certaines stations comme celles de Sfax et Elhencha. Ce changement reflète la modification probable du régime pluviométrique depuis le milieu des années 1990. Alors que dans les autres stations, ces mois ont gardé leurs premières positions. Ces résultats confirment la forte variabilité des précipitations dans la région de Sfax. Cette variabilité a été validée par les tests de ruptures et des tendances qui sont globalement non significatives à l'exception de quelques indices dans certaines stations.

● L'étude des jours secs consécutifs (CDD) montre une grande variabilité spatio-temporelle bien que les stations pluviométriques soient proches l'une de l'autre de 10 à 20 km. Les jours secs représentent en moyenne plus que 93% de l'année. Cependant, cette variabilité concerne soit le nombre total annuel des jours secs consécutifs ou la durée maximale des séquences sèches. En effet, la station de la Dune de salinité enregistre les valeurs les moins basses au contraire à Borj la Marne les valeurs sont plus élevées. Autrement dit, cette dernière est la moins favorisée au niveau de la répartition des pluies en faveur de la station de la Dune de salinité et en deuxième lieu celle de Bouthadi. Ces stations peuvent bénéficier des pluies qui accompagnent le flux perturbé venant du nord-ouest. De plus, elles reçoivent les pluies convectives de fin d'été influencées par l'orographie.

● L'étude de l'ETP en 2021 et 2022 a montré de fortes valeurs annuelles, les chiffres se situent entre 1243 et 1400 mm soit en moyenne 3.5 et 4 mm/jour. Les valeurs sont plus élevées à Bouthadi qu'à Bouzouita reflétant une baisse en se rapprochant de la frange littorale.

● L'étude de la température a montré une variabilité interannuelle de la température (2021-2022). Le réseau des stations fixes que nous avons installé a permis de caractériser l'intensité des vagues de chaleur notamment pendant l'été 2021. La station la plus éloignée de la mer, à savoir Bouthadi, a enregistré une canicule exceptionnelle en tûoa 2021.

● L'étude du vent a montré que les vitesses les plus élevées sont enregistrées à Bouzouita que Bouthadi durant tous les mois à l'exception de juillet, tûoa et novembre. Quant à l'examen des roses des vents mensuels moyennes, des deux stations Bouzouita et Bouthadi entre 2021 et 2022, a montré une nette variabilité spatio-temporelle. À Bouzouita, dominant les vents venant de l'est de mars jusqu'à juillet. Alors que le vent venant du continent (du sud au nord en passant par l'ouest) domine du mois d'avril jusqu'à novembre à Bouthadi. Cette variabilité est expliquée par la distance par rapport à la mer et l'effet euqihpargoro qui canalise le vent à Bouthadi. Ce changement de direction du vent est l'un des stnemélé expliquant la différence des températures entre les deux stations.

### **Variabilité spatio-temporelle de la production oléicole et facteurs explicatifs**

L'étude de l'impact des facteurs influençant la production a été faite d'abord en évoquant les facteurs climatiques puis, les facteurs pédologiques, topographiques et anthropiques.

● Les corrélations de la production oléicole et la pluviométrie à divers pas de temps nous a montré l'importance des pluies décadaires dans l'étude de la variabilité de la production oléicole à Menzel Chaker. Cette étude nous permet de distinguer les périodes critiques pendant

lesquelles l'olivier a besoin de l'eau. De même, elle nous donne une idée sur la production oléicole en fonction des quantités de pluie et de sa répartition temporelle. En effet, l'olivier préfère une bonne répartition des pluies même avec des quantités moyennes que de grandes quantités mal réparties.

Les récoltes exceptionnelles dépendent en premier lieu des quantités pluviométriques exceptionnelles pendant l'année n-1 (400mm) et en deuxième lieu par des pluies annuelles (n-1) autour de 250mm (soit légèrement supérieure à la normale) sous réserve d'une bonne répartition mensuelle des pluies. En effet, la production augmente quand les totaux pluviométriques durant les décades décisives (80mm et plus) et/ou le cumul pluviométrique de l'année n-1+2m sont élevés.

En outre, d'après le modèle de corrélation entre la production oléicole et les paramètres climatiques et de la synthèse de la corrélation faite suivant les scénarios de la production nous avons constaté l'importance des pluies automnales de l'année n-1 et celle en cours et de février. Les températures maximales >35 °C pendant le mois de juin sont bénéfiques pour l'olivier. Par contre, elles sont néfastes à l'olivier en juillet et août. Aussi, les températures maximales >26°C pendant la phase de la floraison et un taux d'humidité élevé en automne sont nuisibles à l'arbre. En revanche, le froid hivernal est bénéfique pour l'olivier. Alors que cet arbre est quasiment indifférent au vent fort pendant la phase de floraison.

En calculant les moyennes annuelles de la production en tonne par mille arbres, une nette variabilité spatiale a été observée. En effet, la valeur la plus élevée est enregistrée à l'échelle de la délégation. Cette variabilité est observée aussi à l'échelle intra délégation telles que les valeurs sont plus élevées à Bouzouita que les deux autres. Par contre, la valeur la plus basse est enregistrée à la ferme de Bechka. Cette variabilité spatiale ne dépend pas uniquement des précipitations. Mais, d'autres facteurs interviennent comme la pédologie, la micro-topographie et les pratiques agricoles.

- A l'échelle spatiale, la variabilité de la production oléicole peut être influencée par la pédologie et la micro-topographie. En effet, ces facteurs expliquent, en grande partie, la variabilité spatiale observée des moyennes de la production de la délégation et celles des complexes agricoles de Bouzouita et Essalema et la ferme de Bechka.

Ce constat a été validé à travers, les résultats des analyses du sol, des enquêtes faites auprès des agriculteurs et des images satellites qui ont été validés par des observations sur le terrain. Ces diverses données retenues nous permettent de distinguer l'effet primordial de la pédologie

sur l'état de l'arbre et par conséquent sur la quantité et la qualité de la production. D'après les analyses granulométriques, une différence a été observée au niveau de la composition des sols. En effet, l'état de l'olivier est corrélé positivement avec le taux de la composition du sol en sable fin et négativement avec ceux d'argile et limon. Autrement dit, l'arbre t'arappa en bon état lorsqu'il pousse sur un sol à taux élevé de sable fin et faible en argile et limon et contre versa. Par contre, la teneur du sol en CaCO<sub>3</sub> semble corrélée négativement avec la production. En effet, l'arbre est soit en bon état si sa teneur en CaCO<sub>3</sub> est faible et l'inverse est correct. Mais, la teneur du sol en PH ne peut pas expliquer cette variabilité puisque tous les échantillons traités ont montré presque la même teneur.

De surcroît, l'emplacement géographique des individus d'olivier joue un rôle important dans sa croissance et sa productivité. En effet, dans les dépressions non salées, les lits des oueds et les parcelles aménagées par des banquettes erutlucielo conduite en pluvial prospère. En contrepartie, les dépressions salées, les Hmadas et les pentes sans banquettes se sont considérées comme des lieux défavorables à l'oléiculture.

- La variabilité de la production est très influencée par les façons culturales pratiquées par les agriculteurs. En effet, les travaux d'enquêtes ont montré que certaines pratiques se différencient d'un agriculteur à un autre. En outre, la différence est observée au niveau des dates d'interventions sachant qu'il y a des dates clés durant les quelles l'intervention est décisive. En effet, cette différence va induire une variabilité spatio-temporelle de la production. Les pratiques les plus efficaces se résument en des labours réguliers, de la taille ponctuelle durant des dates convenables et suivant les normes, la fertilisation biologique et rationnelle du sol et la fréquence et la date d'arrosage de sauvetage en cas de sécheresse. En outre, les travaux de conservation des eaux et des sols (CES) jouent un rôle important dans la collecte des eaux et par conséquent dans la productivité de l'arbre. Ces pratiques se sont les plus reconnues et les plus efficaces pour un bon déroulement du cycle végétatif et reproductif de l'olivier.

### **Contraintes rencontrées**

Nous avons rencontré plusieurs contraintes lors de la réalisation de ce travail. Au début, nous évoquons la coïncidence du début de la thèse avec l'apparition du COVID 19 qui a bloqué tous mouvements et accès aux organismes publics pour collecter les données. Puis, nous avons rencontré un problème de recueillir les données de production oléicole puisque les données les plus anciennes ne sont pas numérisées. Sachant que l'autorisation pour l'accès à l'archive se fait à travers un circuit administratif long et complexe. De plus, les données de la

production des complexes et des fermes agricoles ne sont disponibles que pour seulement dix ans.

A propos des données météorologiques, nous avons rencontré un problème de l'absence des données climatiques autres que la pluie puisque la zone d'étude est dépourvue de toutes stations météorologiques et la seule station qui existe dans toute la région se situe dans l'agglomération de Sfax. Ces conditions nous ont poussées à installer des stations météorologiques automatiques (type Davis) pour créer les données durant deux années successives. La récupération de ces données et l'entretien de ces stations se fait périodiquement. L'accès à ces stations notamment à Bouzouita est un peu contrarié par la viabilité des pistes empreintes pour atteindre les stations. De même, la période de l'enquête a coïncidé avec un contexte politique particulier marqué par la lutte contre l'évasion fiscale. De ce fait, j'ai trouvé des difficultés pour convaincre les acteurs enquêtés que ce questionnaire a une finalité purement scientifique.

### **Perspectives et recommandations**

Dans des travaux ultérieurs, nous souhaitons exécuter des campagnes de mesure et d'installer d'autres stations Davis afin de densifier le réseau de mesures et d'identifier d'autres paramètres climatiques peu étudiés dans notre zone d'étude comme le brouillard sachant que cet élément est un sujet de controverse. En effet, une étude sur une échelle plus fine avec des mesures régulières et continues peut nous répondre sur l'occurrence de ce phénomène climatique tout en suivant son effet sur la végétation notamment l'oléiculture. Aussi, l'étude de l'effet de ces divers éléments climatiques devrait être approfondie en travaillant sur une série plus longue pour démontrer la variabilité interannuelle de ces éléments dans notre zone d'étude notamment le vent et l'ETP. De plus, les analyses des sols seront approfondies en prenant en considération la variation en profondeur. Il est évident de tester d'autres images satellites pour pouvoir suivre la dynamique végétative dans les milieux arides et semi arides à couvert clairsemé. Notons que la coopération entre les divers acteurs publics liés au sujet de l'oléiculture et les différents services de mesures météorologiques est nécessaire. En effet, nos résultats notamment ceux liés au calendrier d'irrigation pendant les périodes clés devraient être valorisés et appliqués dans le cadre d'un projet pilote en collaboration avec l'institut de l'olivier pour tester sa fiabilité et enfin l'utiliser comme un modèle d'irrigation de sauvetage en cas d'absence des pluies pendant les phases décisives du cycle reproductif de l'olivier.

L'ensemble des résultats obtenus pourraient être pris en considération par les agriculteurs. En effet, les décades décisives qui coïncident avec les périodes clés peuvent être utilisées comme un calendrier pour l'irrigation. Ce calendrier peut être utilisé comme l'une des solutions pour surmonter l'irrégularité et la faiblesse des pluies.

La distinction des façons culturales adéquates et fiables et les mettre à la disposition des agriculteurs sont indispensables pour améliorer la production oléicole et surmonter les effets néfastes du climat. En outre, les acteurs publics doivent intervenir sérieusement et rapidement pour protéger ce secteur stratégique. L'intervention doit être faite de différentes manières tout en suivant l'approche participative qui inclut les divers intervenants mais aussi doit être à finalité protectrice. Il est temps de sanctionner des infractions relatives à l'exploitation illicite et abusive des ressources en eau notamment les nappes d'eau non renouvelable. En outre, il est très important de valoriser la variété chemlali adaptée au climat aride et semi aride et de lutter grièvement l'importation des variétés non durable de l'étranger qui sont très sensibles au climat et aux maladies ravageurs. Éventuellement, le ministère de l'agriculture doit contrôler l'irrigation tout en encourageant la séquestration du sel des eaux salées et la construction de bassins de collecte des sels et de décharger ces bassins régulièrement pour protéger à la fois les sols et les nappes superficielles. De surcroît, vu la fiabilité des travaux de conservation des eaux et des sols (CES), les autorités publiques doivent subventionner ces petits aménagements et sensibiliser les agriculteurs.

Les conclusions de cette étude peuvent être transposables à d'autres terrains, en voisinage, qui ont les mêmes caractéristiques de notre zone d'étude et les recommandations doivent être prises en considération et améliorer la rentabilité du secteur.

## Bibliographie

- 1) **Abderrahmen A et Hlaoui Z., 2007.** Les pluies torrentielles en Tunisie : fréquences et tendances, *Actes du XXème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 3-8septembre 2007* (55-60). Carthage. Tunisie
- 2) **Abderrahmen A., 2015.** Les périodes sèches intra-annuelles en Tunisie : Distribution pour différentes seuils de précipitations et probabilités. *Actes du XXVIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 1-4juillet 2015* (409-414). Liège. Belgique.
- 3) **Abichou M., 2016.** L'oléiculture pluvial quel avenir? Dans un contexte des changements climatiques, édaphiques, biologiques et socioéconomiques. Institut de l'olivier, 45p.
- 4) **AbichouM et Msellem M., 2015.**The effects of climate change on the olive tree phenology. *J. Glob. Biosciences* 4(6): 2513-2517.
- 5) **Adeboe O B., Osunbtan J.A., Adekaluk O et Okunaded A., 2009.** Evaluation of FAO-56 Penman-Monteith and temperature based models in estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Engineering International: the CIGR E journal*, manuscript n°1291, vol. XI, 25 p.
- 6) **Abu hammad A., Salameh A and Fallah R.Q., 2022.** Precipitation Variability and Probabilities of Extreme Events in the Eastern Mediterranean Region (Latakia Governorate-Syria as a Case Study). *Atmosphère* , 13 (1), 131 ; <https://doi.org/10.3390/atmos13010131>
- 7) **Aillaud, G., 1988.** L'olivier et l'huile d'olive, le point de vue des botanistes. *IREMAM - UMR 7310 - CNRS/Aix Marseille Université*, p 13-24.
- 8) **Alexander M.A et Deser C., 1995.** Un mécanisme pour la récurrence des anomalies SST aux latitudes moyennes en hiver. *J. Phys. Océanogr.*, 25,122-137.
- 9) **Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D. B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M and Vazquez-Aguirre J.L., 2006:** Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of geophysical research*,vol. 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290, 2006
- 10) **Allalout A et Zarrouk M., 2013.** Culture hyperintensive de l'olivier dans le monde et applications en Tunisie. *HTE* n° 157-158, 2013
- 11) **Allalout A., Krichen D., Methenni K., Taamalli A., Oueslati A., Daoud D et Zarrouk M., 2009.** Caractérisation de l'huile d'olive vierge issue des variétés Super Intensives espagnoles et grecques cultivées au nord de la Tunisie. *ScientiaHorticulturae*, vol 120, n° 1, 2009, pages 77-8
- 12) **Allen R.G., Pereira L.S., Raes Det Smith M., 1998.** Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop requirements. *FAO irrigation and drainage paper*, vol. 56, Rome,15 p
- 13) **Allen M., et Ingram W., 2002.** Contraintes sur les changements futurs du climat et du cycle hydrologique. *Nature*, 419, 224-232.

- 14) **Allen M.R., Frame D.J., Huntingford C., Jones C.D., Lowe JA., Meinshausen M and Meinshausen N., 2009.** Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature* 458:1163–6
- 15) **Almeida F.J., 1940.** « Safra e contra safrana oliveira ». Pub. Min. Agr. (Lisboa), *Direccao Geral dos Servicos Agricolas, serie investigacao*, n°7, 154p.
- 16) **Alpert P et coll., 2002.** L'augmentation paradoxale des précipitations journalières extrêmes méditerranéennes malgré la diminution des valeurs totales. *Géophysique*. Rés. Lett.
- 17) **Andrews T et Forster P.M., 2008.** Le forçage du CO2 induit des effets semi-directs avec des conséquences sur les interprétations de la rétroaction climatique. *Géophysique*. Rés. Lett., 35, L04802, est ce que je:10.1029/2007GLO
- 18) **Angles S., 2016.** Oléiculture, systèmes oléicoles et territoires méditerranéens : De la filière au paysage. Mémoire de HDR, Université Paris 13 UFR. 164p.
- 19) **Angles S., 2012.** L'olivier et les territoires méditerranéens. in BRETON C., BERVILLE A. (coord.), L'histoire de l'olivier. Versailles, *Quæ*, 195-211.
- 20) **Angles S., 2014.** Les paysages de l'olivier, entre le mythe de la « méditerranéité » et la réalité des enjeux territoriaux. *Caietele Echinox*, n° 27, 2014, p. 259-266 ; dans Caiozzo, A. (dir.), Paysages et Utopies, Valenciennes, Presses universitaires de Valenciennes, 2018.
- 21) **Angles, S., 2016.** L'olivier dans les religions du Livre. *Géo confluences*, URL : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/fait-religieux-etconstruction-de-l-espace/corpus-documentaire/olivier-dans-les-religions-du-livre>.
- 22) **Anonyme., 2009.** Mémento de l'Agronome, CTA, Paris, 1689.
- 23) **Antognozzi E and Proietti P., 1995.** Effect of CPPU (Cytokinin) on table olive trees cv. Ascolana Tenera under nonirrigated conditions. *Acta Horticulturae*, 379: 159-166.
- 24) **Apse M.P et Blumwald E., 2007.** Transport Na<sup>+</sup> dans les plantes. *Lettres FEBS*, 581, 2247-2254 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17459382>
- 25) **Ardoin S., Lubès-Niel H., Servat É., Dezertter A., Paturel J.E., Mahé G et Boyer J., 2003.** Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 90. Dans: *Hydrology of the Mediterranean and Semi arid Regions*. SERVAT É., W. NAJEM, C. LEDUC et S. AHMED (Éditeurs), IAHS Publication, No 278, Montpellier, France, p. 223-228.
- 26) **Arenas-Castro S., João F., Gonçalves., Moreno M., Villar R., 2020.** Projected climate changes are expected to decrease the suitability and production of olive varieties in southern Spain. *Science de l'environnement total*, vol 709. pp 136-161.
- 27) **Arfaoui F., Cohen M., Oudin L., Ronchail J., 2021.** Évolution, modélisation et cartographie des rendements de l'oliveraie dans la province de Jaen en Espagne (1959-2018). *Climatologie*, vol 18, n° 4, 19p <https://doi.org/10.1051/climat/202118004>.
- 28) **Argenson C., Regis S., Jourdain J., Vaysse P., 1999.** L'olivier. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), Paris, France, 204 p. Arji, I., 2015. *Biological Forum*, 7 (1): 1865-1870.
- 29) **Atkinson B.W., 2003.** Numerical modelling of urban heat island intensity. *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 109, p. 285-310.

- 30) **Bai X., Wang J., Sellinger C., Clites A and Assel R., 2010:** The impacts of ENSO and AO on the interannual variability of Great Lakes ice cover. NOAA Tech. *Memo. GLERL-152*, 48 p.
- 31) **Babqiqi A., 2014.** Changements Climatiques au Maroc : Etude du cas de la Région de Marrakech Tensift Al Haouz et implications sur l'agriculture à l'horizon 2030. Thèse de doctorat, Université cadi Ayyad, Maroc, 143 pp
- 32) **Badr A et Hartmann T., 1972.** Réponse de la floraison de l'olivier (*Olea Europaea L.*) à certains régulateurs de croissance appliqués dans des environnements inductifs et non inductifs. *Gazette Botanique*. Vol. 133, n° 4 (décembre 1972), p. 387-392.
- 33) **Baghdadi N., Zribi M., Loumagne C., Ansart P., Anguela T., 2008.** Analyse des données TerraSAR-X et leur sensibilité aux paramètres de surface du sol sur champs agricoles dénudés. *Téledétection Environ*, 112, 4370-4379
- 34) **Bague M., Nagaz K et Ben Rouina B., 2014.** Comportement écophysologique et biochimique de l'olivier variété "Chemlali Sfax" cultivé en plein champ en relation avec les conditions hydriques et édaphiques. *Revue des Régionss Arides - Numéro Spécial - n° 35 (3/2014) - Actes du 4ème Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes: Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides*, 17-19/12/2013.
- 35) **Bagues M., Nagaz K et Ben Rouina R., 2014.** Comportement échophysologique et biochimique de l'olivier cultivé en plein champ en relation avec les conditions hydriques et édaphiques de la variété Chemlali Sfax. *Revue des Régions Arides - Numéro Spécial - n° 35 (3/2014) - Actes du 4ème Meeting International*
- 36) **Bagues. M., 2016.** Comportements écophysologique et biochimique de l'olivier variété "Chemlali Sfax" cultivé en plein champ en relation avec les conditions hydriques Et édaphiques. Mémoire de mastère en biodiversité et dynamique des écosystèmes. Université de Sfax. 78p.
- 37) **Bakhtiari B., Ghirmann N., Liaghat A.M et Hoogenboom G., 2011.** Evaluation of reference evapotranspiration models for a semi-arid environment using lysimeter measurements. *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol. 13, n° 2, p. 223-237.
- 38) **Baldoni L., and Belaj A., 2009.** "Olive," in Oil Crop Breeding. *Handbook of Plant Breeding*, vol. 4, eds J vollmann and I. Rajcan (*New York, NY: Springer Science Business Media*), 397–422.
- 39) **Baldy CH., 1990.** Le climat de l'olivier (*Olea europeae L.*). Volume jubilaire du professeur P. QUEZEL. Ecole. *Méditerranée*, 113-121.
- 40) **Baldy CH., 1986a.** L'agro météorologie et le développement agricole des régions arides et semi-arides et semi-arides. INRA Edit. Coll. Agrométéorologie. 120p.
- 41) **Baldy CH et Trigui A., 1981.** Propriétés optiques des limbes d'oliviers (*o. europea l.*, cv. Picholine) en fonction de leur âge et de l'état de production des arbres pendant la phase physiologique de repos végétatif. In : signatures spectrales d'objet en télédétection, *colloque INRA n°5*, 85-94.
- 42) **Baptist, R., 2011.** Valeur économique de l'unité d'ICV. Programme Gestion des Ressources Naturelles. ProGRN : Nouakchott, Mauritanie.

- 43) **Bárdossy, A and Filiz, F., 2005.** Identification of flood producing atmospheric circulation patterns. *J. Hydrol.* 313, 48–57. Brázdil, R., Glaser, R., Pfister, C. & Stangl, H. (2002) Floods in Europe. A look into the past. *Newsletter* 10(3), 21–23.
- 44) **Baret F., Guot G et majeur D.J., 1989.** Évaluation de la biomasse des cultures par mesures radiométriques. *Photogrammétrie*. vol 43, n°5, 241-256
- 45) **Bargaoui Z., 1989.** Occurrence des sécheresses dans le bassin de la Medjerda (Tunisie) Drought occurrence in the Medjerda basin. *Journal of Water Science*, vol2, n°3, URI : <https://id.erudit.org/iderudit/705038ar>
- 46) **Bartzokas A et Metaxas D.A., 1991.** Climatic fluctuations of temperature and air circulation in the Mediterranean, in Duplessey, J.C., Pons, A. and Fantechi, R. (eds), Proceedings of the Course on Climate and Global Change of the European School of Climatology and Natural Hazards, Arles, European Commission, Luxembourg, 279–298.
- 47) **Bazzaz F et Sombroek., 1996.** Changement climatique mondial et production agricole. Effets directs et indirects de l'évolution des processus hydrologiques, pédologiques et physiologiques des plantes. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. S600.7.C54G58 1996
- 48) **Beach R.H., DeAngelo B.J., Rose SK., Li C., Salas W., DelGrosso et S.J., 2008.** Potentiel et coûts d'atténuation des émissions mondiales de gaz à effet de serre agricoles. *Economie Agricole*. 38 : 1-7.
- 49) **Beaumont, C., Fullsack, P and Hamilton, J., 1992.** . Erosional control of active compressional orogens, in Thrust Tectonics, edited by *K.R.Mc Clay*, pp.1–18.
- 50) **Bélangier G et Bootsma A., 2002.** Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Québec. 20p.
- 51) **Belguerri H., 2016.** Contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation et la fertilisation azotée et potassique sur les performances productives et qualitatives de l'olivier super-intensif. Thèse de doctorat. Université de Lleida 166p.
- 52) **Beltrando and Chemery, 1995:** Dictionnaire du climat meteo\_1997\_74. *revue Météorologie*
- 53) **Ben Ahmed Ch., Ben Rouina B and Boukhris M., 2007.** Effects of water deficit on olive trees cv. Chemlali under field conditions in arid region in Tunisia. *Scientia Horticulture*, 113: 267-277.
- 54) **Ben Amar F., Msallem M., Khabou W, Yengui., 2010.** Caractérisation de la variabilité clonale de la variété locale d'olive (*Olea europea L.*) de table "Meski". *Ezzaitouna*, vol. 11 (no 02), pp. 18-31
- 55) **Ben Amar F., Elloumi O., Yengui A., Belguith H et Kharroubi M., 2019.** Potentialités productives des variétés et ecotypes d'olivier (*oleaeuropea L*) dans la collection de Boughrara (Sfax, Tunisie) *Revue Ezzaitouna* 15 (1 et 2)
- 56) **Ben Ammar F., Msallem M., Khabou W., Guedri F., Larguech I., Yengui A., Belguith H et Ouled Amor A., 2010.** Ressources génétiques de la collection de l'olivier à Boughrara (Tunisie). *Actes du séminaire international « la gestion et la conservation de la biodiversité continentale dans le bassin méditerranéen »* à Tlemcen (Algérie).

- 57) **Ben Boubaker H., 1998** : Les flux de sud-est maritimes (Chlouk) et ses incidences topothermiques en Tunisie. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, vol 11, 401-408.
- 58) **Ben Boubaker H., 2010** : Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : Approches méthodologique et étude de cas. *Climatologie*, vol. 7 p57-87.
- 59) **Ben Rhouma, B. 1998a** : contribution à l'étude de l'effet du climat et du sol sur la croissance et la production de l'olivier « Chemlali de Sfax » planté en milieu aride. Mémoire de DEA en Ecologie générale, faculté des sciences de Sfax. 76p.
- 60) **Ben Rouina B et Trigui A., 2002**. Les exigences d'une oléiculture pluviale performante : Climat, sol et façons culturales, *Seminaire Internationale sur l'olivier, Acquis de recherches et contraintes du secteur oléicole. Maroc*, pp- 220—239.
- 61) **Ben Rouina B., Ben Ahmed Ch et Bedbabis S, 2011**. Effets des eaux usées municipales traitées sur la fertilité des sols, l'état minéral des oliviers, le rendement et la qualité de l'huile. *OLIVEBIOTEQ*. La Canée, Grèce Tome1
- 62) **Ben Rouina B., Gargouri K., Ayedi M., Abichou M., Rhouma A., Bentaher H et Taamallah H., 2004**. La gestion des effluents liquides des huileries : Etude de l'effet de l'épandage direct des margines sur le sol et la plante en oliveraie. Cours : Le traitement et la valorisation des sous-produits des huileries. Sfax, 2004
- 63) **Ben Rouina B., Omri A et Triqui A., 2002c**. Effect of hard pruning on tree vigor and yields of old olive orchards. *Acta Horticulturae* 586 (1): 321-323.
- 64) **Ben Rouina B., 2021**. Travail du sol et lutte contre les plantes. Fiche thématique 6. Institut de l'olivier 10p.
- 65) **Ben Rouina B., 1998a**. Contribution à l'étude de l'effet du climat et du sol sur la croissance et la production de l'olivier « Chemlali de Sfax » planté en milieu aride. Mémoire de DEA en Ecologie générale, faculté des sciences de Sfax. 76p.
- 66) **Ben Rouina B., 1998b**. Le travail du sol dans les oliveraies en milieu aride. *13<sup>ème</sup> Congrès International du Génie Rural*, Rabat 2-6 fév. 98. *Proceedings*, vol 3 : 67-76.
- 67) **Ben Rouina B., 2007**. Etude des relations sol-eau- plante et de l'effet du stress hydrique sur la croissance et la fructification de l'olivier (*Olea europea* L.) Thèse de doctorat en science biologique, faculté des sciences de Sfax, 229p.
- 68) **Ben Rouina B., Boukhris M et Trigui A., 2002a**. Effet of climate and the soil conditions on corps performance of the chemlali de Sfax olive trees. *Acta Horticulturae*, 586 (1): 285-289.
- 69) **Ben Rouina B., Boukhris M., Triqui A., Jilani S., Omri A et Jribi A., 2006a**. Quelques aspects de la gestion de l'eau durant la sécheresse 2000-2002 en Tunisie aride. *Proceeding Olivebioteq*. Edition Actes. Edited by My M. Ismaili-Alaoui. S. Roussos and I. Perraud-Gaime. 119-1127.
- 70) **Ben Rouina B., Taamallah H et Triqui A., 1999**. L'enracinement de l'olivier et ses variations en fonction de la nature du sol en milieu aride. *Revue des régions Arides*. Numéro spécial : 182-190.
- 71) **Ben Rouina B., Trigui A., Andria R., Boukhris M and Chaib M., 2007**. Effects of water stress and soil type on photosynthesis, leaf water potential and yield of olive trees (*Olea europea* L. Cv Chemlali Sfax). *Australian journal of Experimental Agriculture*, vol47(12): 1484-1490

- 72) **Ben Rouina B., Triqui A et Boukhris M., 2002b.** Effect of the tree growth and nutrients status of Chemlali de Sfax trees and their productivity. *Acta Horticulturae*, 586 (1): 349-352.
- 73) **BenTemime S., 2006.** Effet du terroir sur les caractéristiques physico-chimique de l'huile d'olive de la variété chetoui. Thèse de doctorat, Université Tunis II, Faculté des sciences, 242p.
- 74) **Ben Temime S., Abaza L., Ben Youssef N., Taamalli W., Msallem M., Daoud D and Zarrouk M., 2004.** Etude de la composition de l'huile d'olive de la variété Chétoui en fonction du site géographique *la Rivista Italiana Delle Sostanza Grasse*, vol. LXXXI, 277-283
- 75) **Ben Temime S., TaamalliW.,Baccouri B., Abaza L., Daoud D and Zarrouk M., 2000.** Changes in olive oil quality of chétoui variety according to originof plantation. *Journal of Food Lipids* 13: 88–99
- 76) **Benasri M, Calmes J et Viala G., 1990.** Deficit hydrique et distrubition du carbone photosynthétique entre saccharose at amidon. *Acta. Oecolog*, 11 (6) : 848-855.
- 77) **Beniston M., Stephenson Davis B., Ferro C., Freric C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylha K., Koffi B., Palutikof J., Scoll R., Smmler T et Woth K., 2007.** Futurs événements extremes dans le climat européen: Une exploration des projections des modèles climatiques régionaux. *Changement climatique* (2007) 81 : 71-95
- 78) **Benmoussa H., 2018.** Estimation des besoins en froid et en chaleur des variétés d'amandier (*Prunus dulcis* Mill.) et de pistachier (*Pistaciavera* L.) en Tunisie. Thèse de doctorat. Institut national agronomique en Tunisie. 167p.
- 79) **BERD et FAO., 2017** : <https://www.webmanagercenter.com>
- 80) **Besbes S, Blecker C, Deroa Anne C, DriraN.E, Attia H., 2004.** Date graines: chimique composition et caractéristique profils de til lipide fraction. *Nourriturem.* 84 : 577-58
- 81) **Blanchet J., Molinié G and Touati, J. 2016b.** Spatial analysis of trend in extreme daily rainfall in southern France. *Climate Dynamics*, 1–14.
- 82) **Blanfort V et Demenois J., 2019.** Changements climatiques et agriculture : quels enjeux, quels impacts aujourd'hui et demain ? *Les Grands Dossiers de Diplomatie* n° 49
- 83) **Blum I., 2002.** Vues contemporaines sur la prise sèche. *Une revue critique. IJOS*, 31, 309-317.
- 84) **Bodian N., diayeo O et Dacosta H., 2016.** Évolution des caractéristiques des pluies journalières dans le bassin versant du fleuve Sénégal : avant et après rupture. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 61, n° 5, p. 905-913.
- 85) **Bogardi J., Budhakooncharoen S., Shrestha D.L. and Nandalal K.D.W., 1988.** Effects of state space discretization on stochastic dynamic programming-based reservoir operation rules and system performance. *Proceedings of the Sixth Congress of the Asian and Pacific Regional Division, IAHR* (Kyoto, 1988): 429-436.
- 86) **Bogardi J and Duckstein L., 1992.** Interactive multiobjective analysis embedding the decision maker's implicit preference function. *Water Resources Bulletin*, 28(1): 75-88.
- 87) **Boisson S., Kiyombo M., Sthreshley L., Tumba S., Makambo J., Clasen T., 2010.** Field assessment of a novel house hold-based water filtration device: a randomised,

- placebo-controlled trial in the Democratic Republic of Congo. PLoS One 5:e12613, doi: 10.1371/journal.pone.0012613.
- 88) **Bonnet J., 1924.** L'olivier et les produits de l'olivier, l'huile d'olive. Bibliothèque des connaissances utiles, 331p.
  - 89) **BorchaniCh ,Besbes S, Blecker C, Masmoudi M, Baati R and Attia H., 2010.** Chemical properties of 11 date cultivars and their corresponding fiber extracts. *African Journal of Biotechnology* vol. 9 (26), 4096-4105,
  - 90) **Bouat., 1974.** Physiologie de l'olivier. Relation avec son amélioration culturale. *CIHEAM. Option méditerranéenne*, n°24 63-68.
  - 91) **Bouaziz A., 1984.** Coltura intensiva ed irrigazione dell'olivo (olea europea L) con acqua salmastra. *Olivae*, 2 : 48-49
  - 92) **Bouaziz R., 2008.** Les oueds exoréiques de la côte de Sfax: Leur évolution au cours du Quaternaire. Thèse de la Faculté des sciences Humaines et Sociales de Tunis, 276 p.
  - 93) **Boukaissi N., 1987.** L'alternance de la production chez l'olivier. *Geography*, Corpus ID : 132731142.
  - 94) **Boukhris M et Lausaint P., 1975.** Aspects écologiques de nutrition minérale des phrases gypsiques de Tunisie. *Ecologie et Biologie des sols*, vol. 12 (1).
  - 95) **Bousnina X., 1997.** Le climat de Sfax, Altaïr - Éditions, 1997.
  - 96) **Bousnina A., 1986.** Variabilité des précipitations en Tunisie. Université de Tunis, 2<sup>ème</sup> édition. *Géographie*, vol 22. 310p.
  - 97) **Boutkhil M., Habi M et Meddi M., 2013.** Dynamique de l'érosion en zone méditerranéenne algérienne : facteurs explicatifs de variation du ruissellement et de l'érosion sous différentes occupations du sol. *Revue des sciences de l'eau*, vol 26, n°2, 89–105
  - 98) **Boyce R. L and Lucero S.A., 1999.** Role of roots in winter water relations of Englemann spruce seedlings, *Tree Physiol.*, 19, 893 – 898.
  - 99) **Brackstone G, 1993.** Data relevance: keeping pace with user needs. *Journal of Official Statistics*, 9, 49-56.
  - 100) **Brackstone G, 1999.** Managing data quality in a statistical agency. *Survey Methodology*, 139 Vol. 25, No. 2, pp. 139-149 Statistics Canada, Catalogue No. 12-001
  - 101) **Brahem M, 1997.** Activité écophysiological, état et croissance de l'olivier (*Olea europea L*) soumis à une contrainte hydrique. Thèse de doctorat, Université de gent-Belgique. 242p.
  - 102) **Brugnara Y., Brunetti M., Maugeri M., Nanni T and Simolo C., 2012.** High-resolution analysis of daily precipitation trends in the central Alps over the last century. *International Journal of Climatology*, 32, 1406–1422, doi:10.1002/joc.2363, 2012.
  - 103) **Brunet M., Jones P.D., Sigro J., Saladie O., Aguilar E., Moberg A., Della Marta P.M., Lister D., Walther A and Lopez D 2007.** Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005, *J. Geophys. Res.*, 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.

- 104) **Brunetti G., Farrag K., Soler-Rovira P., Ferrara M., Nigro F and Senesi N., 2011.** Heavy metals accumulation and distribution in durum wheat and barley grown in contaminated soils under Mediterranean field conditions. *Journal of Plant Interactions*, DOI:10.1080/17429145.2011.603438
- 105) **Brunetti M., Mauger M., Nanni T., Auer I., Bohm R and Schonew., 2006.** Variabilité et changements des précipitations dans la grande région alpine au cours de la période 1800–2003. *Journal de recherche géophysique*, 2006, Vol. 111, 29 p.
- 106) **Brunetti M., Maugeri M., Monti F., et Nanni T., 2004.** Changements dans la fréquence des précipitations quotidiennes en Italie au cours des 120 dernières années, *J. Geophys. Rés.*, 109, D05102, doi : 10.1029/2003JD004296 .
- 107) **Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., Auer I., BöhmRetSchöner W., 2003.** Précipitation variabilité et changements dans la grande région alpine 1800-2003. *Journal de recherche géophysique*, vol 111, D11107, doi:10.1029/2005JD006674, 20.
- 108) **Brunetti M., Colacino M., Maugeri M., Nanni T., 2001.** Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996: *Int. J. Climatol.*, 21, 299-316.
- 109) **Buffoni L., Maugeri M et Nanni T., 1999.** Precipitation in Italy 1833 to 1996. *Theor Appl Climatol* 63: 33–40
- 110) **Buishand T. A., 1982.** Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* 50, 11-27.
- 111) **Callaway R.M., 1986.** Les interactions positives sont-elles spécifiques à une espèce ? *Oikos* vol. 82, n° 1 (mai 1998), 202-207
- 112) **Caloiero T., Caloiero B et Frustaci F., 2018.** Analyse des tendances des précipitations à long terme en Europe et dans le bassin méditerranéen. *Eau et Environnement*, 32 (3) <https://doi.org/10.1111/wej.12346>
- 113) **Candall G., Le Quéré C., Raupoch R., Field B., Buitenhuis T., Ciais P., Conway T., Gillet N., Houghton R.A et Marland G., 2007.** Contributions à l'accélération de la croissance du CO<sub>2</sub> atmosphérique provenant de l'activité économique, de l'intensité carbone et de l'efficacité des puits naturels. *Proc Natl Acad Sci. États-Unis*, 104(47):18866-70
- 114) **Candiago S., Remondino F., De Giglio M et coll., 2015.** Évaluation d'images multispectrales et d'indices de végétation pour les applications d'agriculture de précision à partir d'images de drones. *Téledétection* 7(4) 4026-4047
- 115) **Carrega P., 1993.** Les tendances actuelles du climat de la Côte d'Azur (France), *Publ. Assoc. Intern. Climatol.*, 6, 173-182
- 116) **Carrega P., 1994.** "Topo climatologie et habitat", *Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, 35 et 36, 408p.
- 117) **Centritto M., Loretto F et Chartzoulakis K., 2003.** The use of mow (CO<sub>2</sub>) to estimate diffusion and non-diffusional limitations of photosynthetic capacity of salt-stressed olive saplings. *Plantcell and Environment* 26: 585-594.
- 118) **Centritto M., Wahbi S., Serraj R and Chaves M.M., 2005.** Effects of partial rootzone dryng (RPD) on adult olive tree (*Olea europea* L) in field conditions under arid climate II. Photosynthetic responses. *Agriculture, Ecosystems and environment* 106: 303-311.

- 119) **Chahbar A., 1977.** Contribution à l'étude de la biologie florale de six cultivars d'olivier dans la région de Meknès. Mémoire de 3ème Cycle I.A.V. Rabat 69 p.
- 120) **Channaoui S., El Idrissi I.S., Mazouz H et Nabloussi A., 2019.** Réaction de certains génotypes de colza (*Brassicanapus L.*) à différents niveaux de stress hydrique au cours des stades de germination et de croissance des plantules. *Agronomie*. Volume 26 n°23 (2019) 10p
- 121) **Channaoui S., El Kahkahi R., Charafi J., Mazouz H., El Fechtali M et Nabloussi A., 2017.** Germination et croissance des semis d'un ensemble de variétés de colza (*Brassicanapus L.*) dans des conditions de stress de sécheresse. *Int J EnvirAgric Biotechnologie* 2(1) : 487-494.
- 122) **Chebbi W., 2019.** Caractérisation des échanges d'eau et d'énergie dans une oliveraie pluviale en zone aride : modélisation et intégration des données de télédétection. These de doctorat en ED SDU2E : Surfaces et interfaces continentales, hydrologie Université de Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) Cotutelle internationale avec: l'Université de Carthage/Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) 219p.
- 123) **Chen X., Vierling L et Deering D., 2005.** A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment* 98, 63–79.
- 124) **Cherbiy-Hoffmann S., Searles P., Hall A et Rousseaux M., 2012.** Influence de l'environnement lumineux sur les déterminants et les composants du rendement dans les grandes haies d'oliviers suite à la taille mécanique dans les zones subtropicales de l'hémisphère sud. *Scientia Horticulturae*, vol 137, 36-42
- 125) **Chevalier A., 1948.** L'origine de l'olivier cultivé et ses variations. *Revue d'Agri. Trop.*, n° 303-304, 1-24.
- 126) **Chiab I., Dahech S., Chkir N et Bouaziz R., 2022.** Impact de la Sécheresse et de la vague de chaleur estivale de 2021 sur l'oliveraie pluviale à Skhira (Sfax - Tunisie centrale). *Actes du XXXVème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie*, 6-9 juillet 2022. Toulouse. France.
- 127) **Chiab I., Dahech S., Chkir N et Bouaziz R., 2023.** Impact de la sécheresse sur l'extension de l'oléiculture irriguée dans un contexte de changement climatique : Le cas de Skhira (Tunisie méridionale). *Actes du XXXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 3-7 juillet 2023 (141-144). Bucarest. Roumanie.
- 128) **Chmielewski F.M et Rotzer T., 2001.** Réponse de la phénologie des arbres au changement climatique en Europe. *Météorologie agricole et forestière*, vol 108, n°2, 4 juin 2001, pages 101-112
- 129) **Chou C., Chiang J., Wei Lan C., Hui Chung C., Liao Y et Jung Lee C., 2013.** Augmentation de l'écart entre les précipitations de saison humide et sèche. *Géosciences naturelles*, vol 6, 263-267
- 130) **Chouari W et Belarem M., 2016.** Enjeux de la Tunisie orientale : un territoire développé et un environnement à protéger. *Open journal of political science*, vol. 10 n°1.
- 131) **Christensen, J, H, Tr, Carter, Mrummu Krainen et G. Amanatidis., 2007.** Evaluation de la performance et de l'utilité des modèles climatiques régionaux. *Projet PRUDENCE, clim, Modifier doi, 10, 1007/s 10584-006- 9211-6.*

- 132) **CITEPA, 2018.** (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). Rapport d'activité. *Science de l'environnement* (S54). INIS-FR-21-0385
- 133) **COI, 1998.** Document technique du Conseil oléicole international.
- 134) **COI, 2022.** Journal officiel du conseil oléicole internationale n° 170 Éd. Française janvier et février 2022.
- 135) **Colbrant P et Fabre P., 1972.** Stades repères de l'olivier. A.C.T.A. *Fiches Serv. Prot. Végétaux*. Comité technique de l'olivier, p 24-25.
- 136) **Collins M., Knutti R., Arblaster J., Dufresne J.L., Fichet T., Friedlingstein P., Gao X., Gutowski W.J et al., 2013.** Chapitre 12 – Changement climatique à long terme : Projections, engagements et irréversibilité. Dans : *Changement climatique 2013 : Les bases des sciences physiques. Contribution du Groupe de travail I du GIEC au RE5.* Éd. GIEC, Cambridge : Cambridge University Press.
- 137) **Concerse J.M et Presser S., 1986.** Survey Questions: Handcrafting the Standardized Questionnaire. Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, Sage Publications, Thousand Oaks, California, 7-63.
- 138) **Connor D.J et Fereres E, 2004.** Durable eau gestion dans agriculture. Dans Cabera E, Cabacho R. éd. *Deficit de la nouvelle eau stratégies pour le XXI ème siècle.* Lisse. Le pays bas : AA Balkema. 157-170.
- 139) **Costa A.C, Soares A., 2009.** Homogénéisation des données climatiques. Examen et nouvelles perspectives à l'aide de la géostatistique. *Math Geosci* 41, 291–305 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11004-008-9203-3>.
- 140) **Cloude-Gausson G., 1990 :** Les régions sources de poussières au Sahara. *Sécheresse*, N ° 2, 134-141.
- 141) **Craparo A.C.W., van Asten P.J.A., Laderach P., Jassogne LTP et Grab S.W., 2012.** L'influence et les implications du changement et de la variabilité climatiques sur *Coffea arabica* dans les hauts plateaux d'Afrique de l'Est : étude de cas du mont Kilimandjaro. Dans : *Actes de la 24e Conférence internationale sur la science du café*, (1225-1230), San Jose, 11-16 novembre. Paris : ASIC.
- 142) **Creutin J.D et Obled C., 1982.** Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison. *Water Resour. Res.*, (18) 2:413-431.
- 143) **Cudennec C., Slimani M., et Le Goulven P., 2005.** Prise en compte de la variabilité spatio-temporelle des précipitations peu observées dans un modèle pluie-débit d'un bassin tunisien semi-aride. *Hydrol. Sci. J.* 50 (4), 617-630
- 144) **Cutter B.E et Garrett H.E., 1993.** Qualité du bois de noyer noir de l'Est cultivé en allées. *AgroforSyst.* 22 : 25-32. <https://doi.org/10.1007/BF00707467>
- 145) **D'Andria R., Tognetti R., Morales-Sillero A., Fernandez J.E., Sebastiani L. and Troncoso A. 2008.** Deficit irrigation and fertirrigation practices in olive growing: Convergences and divergences in two case studies. *Plant. Biosyst.* 142, 138-148
- 146) **Da Silva N., 2019.** Autour des relations température-précipitations dans la région Euro-Méditerranéenne. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay. 192p.
- 147) **Dahech S., 2007.** Le vent à Sfax (Tunisie), impacts sur le climat et la pollution atmosphérique. Thèse de doctorat de l'Université Paris VII, 309 p + annexes.

- 148) **Dahech S., 2012.** Evolution de la répartition spatiale des températures de l'air et de surface dans l'agglomération de Sfax (1975-2010) et impact sur la consommation d'énergie durant la saison chaude. *Climatologie*, numéro spécial 'Climats et changement climatique dans les villes', 11-33 p.
- 149) **Dahech S., Beltrando G et Henia L., 2006a.** Le sirocco et son impact sur l'agriculture et la qualité de l'air dans la région de Sfax (Tunisie) : *Sécheresse* (sous presse), 16 p.
- 150) **Dallel C., 2009.** Etude comparative de quelques variétés de blé sur (TricumdurumDesl) et analyse diallèle de leur hybrides F1. Master en agronomie. Institut national d'agronomie. Alger, 123p.
- 151) **Daoud A et Dahech S., 2012.** Résilience de l'agglomération de Sfax (Tunisie Méridionale) face au changement climatique. Essai d'évaluation. *Climatologie*, vol9, 2012. Numéro spécial « climats et changements climatiques dans les villes.
- 152) **Daoud A., 1992.** A propos des inondations exceptionnelles d'octobre 1982 à Sfax. In *Revue Tunisienne de Géographie.* ; 21/22 ; p. 11-31.
- 153) **Daoued A et Dahech S., 2017.** Manifestations des changements climatiques et leurs impacts en Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéenne.* p5-13. 128. 2017
- 154) **Daoued A., 2013.** Retour d'expérience sur les inondations dans l'agglomération de Sfax (Tunisie méridionale) de 1982 à 2009 : de la prévention à la territorialisation du risque. *Géographique de l'Est*, vol. 53 / 1-2 |. Gestion du risque et sécurité civile.
- 155) **Daoui K et Fatemi Z.E.A., 2014.** Agroforestrysystems in Morocco: The case of olive tree and annualcrops association in Saïs Region. Science, Policy and Politics of Modern Agricultural System: Global Context to Local Dynamics of Sustainable Agriculture. Netherlands, Dordrecht:Springer, 281–289. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7957-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7957-0_19).
- 156) **Daouyi K., ZinElabidine F., Sarah R etAbderahim K., 2012.** Effet de l'ombrage et de la proximité des oliviers sur la productivité de la féverole (*Vicia faba* L.). *12ème Congrès de la Société Européenne d'Agronomie* À : Helsinki, Finlande 5-55.
- 157) **Darwin R., Tsigas M., Lewandrowski J et Raneses A., 1995.** World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. United States Department of Agriculture Agricultural Economic Report, 703. <http://purl.umn.edu/33933>
- 158) **Daughtry C.S.T., Walthall C.L., Kim M.S., Brown de Colstoun E et McMurtrey J.E., 2000.** Estimation de la concentration de chlorophylle des feuilles de maïs à partir de la réflectance des feuilles et du couvert forestier. *Téledétection de l'environnement* 74(2):229-239 DOI : 10.1016/S0034-4257(00)00113-9
- 159) **Davolio S., Volonté A., ManzatoA., Pucillo A., Cicogna A et Ferrario M.E., 2016.** Mécanismes produisant différents modèles de précipitations sur le nord-est de l'Italie : aperçus de HyMeX-SOP1 et des événements précédents. *Journal trimestriel de la Société royale météorologique*, 142, 188 – 205.<https://doi.org/10.1002/qj.2731>
- 160) **De Candolle A., 1983.** L'origine des plantes cultivées. Balière, Paris, France.
- 161) **De Luis, M., Raventos J., Gonzalez-Hidalgo J. C., Sanchez J. R., Cortina J., 2000.** Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East of Spain). *Int. J. Climatol.* 20, 1451–1469.

- 162) **Delcampo M.G et Garcia J.M., 2013.** Summer Deficit-Irrigation Strategies in a Hedgerow Olive cv. Arbequina Orchard: Effect on Oil Quality. *Revue de chimie agricole et alimentaire*, vol 61 n°37 8899-8905
- 163) **Delécolle R., Maas S.J., Guérif M et Baret F., 1992.** Remote sensing and crop production models: Present trends. ISPRS, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 47, 145-161.
- 164) **Denis B., 1989.** Guide des analyses courantes en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation. 1 vol. (XIV-172 p.) / ill., couv. ill. en coul. / 25 cm. *Bibliogr*, 165-170.
- 165) **Denis J. F., 1998.** L'irrigation. *Nouvel olivier*, 3: 16 -19.
- 166) **Derouich A., Jafri A., Driouch I., Elkhasui M., Aldouni A., Benajiba N., Bamoun Y., Saïlé R et Benouhoud M., 2013.** Effet de la consommation d'huile d'argan et d'olive sur le profil hormonal des androgènes chez les hommes marocains adultes en bonne santé. *Nat Prod Commun*, 8(1):51-3
- 167) **DGAT., 2013.** Atlas du gouvernorat de Sfax, 105p.
- 168) **Diouf O.C., Weihermuller L., Ba K., Faye S.C., Faye S. et Vereecken H., 2016.** Estimation of Turc reference evapotranspiration with limited data against the Penman-Monteith Formula in Senegal. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, vol. 110, n°1, p. 117-137
- 169) **Djaman K., Balde A.B., Sow A., Muller B., Irmak S., Ndiaye M.K., Manneh B., Moukoumbi Y.D., Fatakuchika K et Saito K., 2015.** Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 3, p. 139-159.
- 170) **Dodson R Marks D., 1997.** Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Clim Res* 8: 1–20. DOI 10.1007/s11269-006-9111-6
- 171) **Dodson R et Marks D., 1997.** Température quotidienne de l'air interpolée à haute résolution spatiale sur une grande région montagneuse. *CR 08* : 1-20 (1997) - DOI : <https://doi.org/10.3354/cr008001>
- 172) **Donnaire J.P., Sanchez A.J., Lopez-Gorge J et Recalde L., 1975a.** Metabolic changes in fruit and leaf during ripening in the olive. *Phytochemistry*, vol. 14, 1167-1169.
- 173) **Donnaire J.P., Sanchez A.J., Lopez-Gorge J et Recalde L., 1975b.** Estudios bioquímicos y fisiológicos en aceituna. III : Variations en el crecimiento de hojas y frutos. *Anales de Edafología y agrobiología*, 34 (3/4), 199-204.
- 174) **Donot M.G., Alexander L.V., Herold N., Dittus A.J., 2016.** Températures et précipitations extrêmes dans des observations quadrillées, des ré analyses et des simulations de modèles atmosphériques sur un siècle. *Journal of advances in Modeling Earth systems*, vol 121, n° 19 11 174 - 11 189
- 175) **Douguedroit A et Norrant C., 2003.** Annual and seasonal century-scale trends of the precipitation in the Mediterranean area during the twentieth century [dans:] *Mediterranean Climate. Variability and trends*. H.-J. Bolleed., *Springer*, 159-163.
- 176) **Douguedroit A., 1980.** Les topos climats de la Haute-Vésubie (Alpes Maritimes, France). *Méditerranée*, 40, 3-11

- 177) **Dubief J., 1953.** Les vents de sable au Sahara français. *Colloque Intern. CNRS XXXV, Alger*, 45- 70.
- 178) **Dubief J., 1952.** Le vent et le déplacement du sable au Sahara. Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, vol 8, 123-164.
- 179) **Dugelay A., 1954.** Le problème de l'olivier. *Revue forestière française*, 7, 444-461. 10.4267/2042/27009.hal-03384247
- 180) **Dupraz C et Liagre F., 2008.** Agroforesterie, des arbres et des cultures. Paris: Editions France Agricole., 413 p.
- 181) **Durand R., 1967.** Action de la température et du rayonnement sur la croissance. *Ann. Physico. Végé.*, 9 (1), 5-27
- 182) **Durao R.M., Pereira M.J., Costa A., Delgado J., del Barrio G., and Soares A., 2010:** Spatial-temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study, *Int. J. Climatol.*, 30, 1526–1537
- 183) **El Melki T., 2014.** Climatologie dynamique de la Tunisie. Université de la Manouba. 438 p.
- 184) **Elant H., 1971.** Biologie de la fleur et fructification chez l'olivier (phases végétatives et altérations). Cours international sur l'amélioration des techniques oléicoles. Cordoue (Espagne). Document ronéotypé 12p.
- 185) **Elarab M., Ticlavilca A.M., Torres-Rua A.F., Maslova I., McKee M., 2015.** Estimating chlorophyll with thermal and broadband multispectral high resolution imagery from an unmanned aerial system using relevance vector machines for precision agriculture. *Int J Appl Earth Obs*, 43, 32-42.
- 186) **Elloumi E., Regaieg I., Ali Lehiani M., Ben Ammar F et Chaari A., 2016.** Salt tolerance of new olive varieties issued from Tunisian breeding crosses. *Journal of new science*, vol *IABC (15)*. www.jnsiences.org ISSN 2286-5314
- 187) **Elloumi O., Ghrab M., Chatti A., Chaari A et Ben Mimoun M., 2020.** Performance phénologique de l'olivier dans une zone de production chaude du centre de la Tunisie. *ScientiaHorticulturae. ScientiaHorticulturae*. Tome 259, 108759
- 188) **Environnement Canada., 2009.** Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2009. Développement durable, environnement et parcs. 20p
- 189) **Erchidi A.E., Benbella M et Talouizte A., 2000.** Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grains chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. *Options méditerranéennes, série A (Séminaires Méditerranéens)* (40), 279-82.
- 190) **Euchi H., 2021.** Pollution atmosphérique, types de temps et admissions pour maladies respiratoires à Sfax (Tunisie). Thèse de doctorat en géographie (climatologie). Université de Sfax, 274p.
- 191) **FAO et BERD., 2015.** Tunisie : Analyse de la filière oléicole. Etude préparée dans le cadre du programme de coopération entre l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et la Banque européenne pour la reconstruction et le développement (BERD), I4104F/1/06.15 (Italie), 186 p.
- 192) **FAO et MA., 2013.** Cadre de programmation FAO-Tunisie (2013-2015)
- 193) **FAO, 1975.** Olivicultura moderna. Publ. CEMEDETO (INIA) (Esp), 373 p.

- 194) **FAO., 1997.** Annuaire FAO des produits forestiers. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome 1999
- 195) **FAO., 2011.** Food and Agriculture Organization of the United Nations
- 196) **Fehri N et Hlaoui Z., 2016.** Étude de l'évolution des séries pluviométriques dans des stations de plaines intérieures de la Tunisie. *Actes du XXIXème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 6-9 juillet 2016 (267-272). Lausanne - Besançon
- 197) **Fehri N., 2003.** Les rapports entre les processus morphogénique et les pratiques agropastorales dans la plaine oléicole de Sfax/ Exemple du bassin versant de l'oued Chaal-Tarfaoui (plaine de Sfax-Tunisie centro-orientale). Thèse de doctorat en géographie (géomorphologie). Université de Provence (Aix-Marseille I), 313p.
- 198) **Feki M., Samaeli H., Charfi S., 2023.** Pluies et production oléicole dans la région de Sidi Aich (Gafsa Tunisie méridionale). *Actes du XXXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 3-7 juillet 2023 (pp 141-144). Bucarest. Roumanie.
- 199) **Feki M., 2009.** Variabilité spatiotemporelle des précipitations dans l'extrême nord de la Tunisie. *Actes du XXIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 1-5 septembre 2009 (175-180). Cluj, Roumanie.
- 200) **Fenner M., 1998.** La phénologie de la croissance et de la reproduction chez les plantes. Perspectives en écologie végétale, évolution et systématique, 1, 78-91. <http://dx.doi.org/10.1078/1433-8319-00053>
- 201) **Fernandez J.E and Moreno., 1999.** Water use by the olive tree. *J. Crop Prod.* 2 (2)
- 202) **Fernandez JE., Moreno F., Arrue J.L and Martin-Aranda J., 1991.** Drip irrigation, soil characteristics, root distribution and activity of olives trees. *Plant and soil*, 133: 239-251.
- 203) **Fernandez-Fernandez E., Malwé C et Negrutiu I., 2014.** Définitions des ressources naturelles et implications pour le processus juridique. *Penser une démocratie alimentaire*, 2, 71-77.
- 204) **Fischer G., Tubiello F., Van Velhuizen H et Wiberg D., 2006.** Impacts du changement climatique sur les besoins en eau d'irrigation: effets de l'atténuation, 1990-2989. *Technologie. Société de prévision. Modification 74*, 1083-1107
- 205) **Fisher D.K et Pringle III H.C., 2013.** Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Sciences*, vol. 4, n° 8A, p. 51-60.
- 206) **Fisher L., 2004.** Spatialisation de données de température pour l'étude de l'îlot de chaleur urbain dans l'agglomération de Strasbourg. *Actes des « journées de climatologie » de la commission « Climat et société » du comité National Français de Géographie*. Nancy 25-26, 87-97.
- 207) **Fisher D.K., Hinton J., Masters M.H., Aasheim C., Butler E.S., Reichgelt H., 2004.** Improving irrigation efficiency through remote sensing technology and precision agriculture in Georgia. *In Proceedings of the ASAE Annual International Meeting*, Ottawa, ON, Canada, 1-4 August 2004; pp. 3461-3470.
- 208) **Fitz Gerald D.M et Hughes Z.J., 2019.** Les processus des marais et leur réponse au changement climatique et à l'élévation du niveau de la mer ". *Revue annuelle des sciences de la Terre et des planètes*, 47, 481 - 517.

- 209) **Fitz Gerald E., Jones A., Kucirkova N et Scanlon E., 2018.** A literature synthesis of personalized technology-enhanced learning: what work sandwhy. *Research in Learning Technology*, 26, article no. 2095.
- 210) **Fraga H et Santos J.A., 2021.** Évaluation des impacts du changement climatique sur le refroidissement et le forçage pour les principales régions de fruits frais du Portugal. *Devant. Scie.végétale*. 12:689121
- 211) **France Agri Mer., 2021.** Rapport d'activité 2020-2021.
- 212) **Frini M., 2016.** Résistances de l'huile d'olive dans la Tunisie coloniale. L'année du Maghreb. *Musiques et sociétés*, n°14. p133-146. 2016.
- 213) **Fumière Q., 2019.** Impact du changement climatique sur les précipitations extrêmes dans le sud-est de la France : apport des modèles résolvant la convection profonde. Thèse de doctorat. Université de Toulouse. 204p
- 214) **Fury R et Joly D., 1995.** «Interpolation spatiale un la maille bien des températures journalières ». *La Météorologie*, vol.8, n°11, p. 36-43
- 215) **Gabaldón-Leal C., Ruiz-Ramos M., de la Rosa R., León L., Belaj A., Rodríguez A., Lorite I.J. 2017.** Impact of changes in mean and extreme temperatures caused by climate change on olive flowering in southern Spain. *International Journal of Climatology*, 37, 940–957. <https://doi.org/10.1002/joc.5048>
- 216) **Gago J., Douthe C., Coopman R.E., Gallego P.P., Ribas-Carbo M., Flexas J., Escalona J., Médrano H., 2015.** Le défi des drones pour évaluer le stress hydrique pour une agriculture durable. *Gestion de l'eau agricole*. Tome 153, 9 - 19
- 217) **Galdner C.M.K., Laryea K.B and Unger P.W., 1999.** Soil physical constraints to plant growth and crop production. *AGL/MISC/24/99*. FAO, Rome. 110p.
- 218) **Gallego M.C., Garcia J.A., Vaquero J.M et Mateos V.I., 2006.** Changements de fréquence et d'intensité des précipitations quotidiennes au cours de la péninsule Ibérique. *Journal de recherche géophysique*, vol. 111, D24105, doi : 10.1029/2006JD007280, 2
- 219) **Gao et Giori., 2008.** Augmentation de l'aridité dans la région méditerranéenne sous l'effet du forçage des gaz à effet de serre estimée à partir de simulations à haute résolution avec un modèle climatique régional. *Changement global et planétaire* 62(3-4):195-209
- 220) **García-González D.L., Luna G., Morales M.T and Aparicio R., 2009.** Stepwise geographical traceability of virgin olive oils by chemical profiles using artificial neural network models. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111, 1003–1013.
- 221) **Garcia-Ruiz J.M., López-Moreno J.I., Vicente-Serrano S.M., Lasanta-Martínez T et Beguería S., 2011.** Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, 105, 121-139.
- 222) **Gardner D.K., Schoolcraft W.B., 1999.** In vitro culture of human blastocyst. In: Jansen R, Mortimer D (eds) *Towards Reproductive Certainty: Infertility and Genetics Beyond 1999*. Parthenon Press, Carnforth, 378–388.
- 223) **Garnier C and Tardieu F., 1999.** Water deficit and spatial pattern of leaf development. Variability in responses can be simulated using a simple model of leaf development. *Plant physiology* 119. 18: 609-620.

- 224) **Garrett H.E., Jones J.E., Kurtz W.B et Slusher J.P., 1991.** Black Walnut (*Juglans nigra* L.) Agroforestry – 575 Its Design and Potential as a Land-use Alternative. *For. Chron.* 67, 213–218. 576 <https://doi.org/10.5558/tfc67213-3>
- 225) **Gaussorgues R., 2009.** L'olivier et son pollen dans le bassin méditerranéen. Un risque allergique? L'olivier et son pollen dans le bassin méditerranéen. Un risque d'allergie. *Revue Française d'Allergologie*, vol 49, Supplément 1, S2-S6
- 226) **Gebre G., Tschaplinski T.J and Schirshac T.L., 1998.** Water relations of several hardwood species in reponse to throughfall manipulation in an upland oak forest during a wet year. *Tree Physiol.* 18: 299-308.
- 227) **Georgi A et Coppolo E., 2009.** Une évaluation des projections de changement de température et de précipitations sur l'Italie à partir de récentes simulations de modèles climatiques mondiaux et régionaux. *Journal international de la climatologie.* Tome 30, n°1, 11-32
- 228) **Ghenime O et Ghenime A., 2022.** Concentration des précipitations dans le bassin versant d'oued Chouly, nord-ouest algérien. *Communication science et technologie*, vol 11, n°2, 23
- 229) **Ghrab M., Ben Mimoun M., Masmoudi M et Ben Mechlia N., 2014.** Tendances du froid dans une zone de production chaude et leur impact sur la floraison et la fructification des pêchers. *Science direct.* Tome 178, 87-94
- 230) **Giannakopoulos C et Psiloglou B., 2006.** Trends in energy load demand for Athens, Greece: weather and non-weather related factors. *Climate Research* 13, 97–108
- 231) **Gibelin A.L., 2015,** "Évolution du climat passé en France métropolitaine depuis les années 1950", No.PowerPoint, [en ligne]. URL: [http://www.meteo.fr/cic/meetings/2015/agrometeo/documents/1\\_01](http://www.meteo.fr/cic/meetings/2015/agrometeo/documents/1_01).
- 232) **Gilbert Benhayoun G et Lazzerie Y., 2007.** « L'olivier en Méditerranée : du symbole à l'économie», Éditions L'Harmattan, 2007.
- 233) **Giménez C., Gallardo M et Thompson R.B., 2013.** Encyclopédie des sols dans l'environnement, 231-238
- 234) **Gimenez D., Parfait E., Rawlez W.J. et Pachespki O., 1997.** Modèles fractals pour prédire les propriétés hydrauliques des sols : *Une revue. Science direct, géologie de l'ingénierie*, vol 48, numéros 3 à 4, 1997, pages 161-183.
- 235) **Giorgi F., 2002.** Dependance of the surface climate inter annual variability on spatial scale, vol.29, 2101, doi:10.1029/2002
- 236) **Giorgi F., 2006.** Climate change hot-spots. *Geophysical research lettres*, vol. 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734,
- 237) **Giorio P., Sorrentino G et d'Andria R., 1999.** Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Environmental and Experimental Botany*, 42, 95-104.
- 238) **GIZ et MEATDD., 2012.** Stratégie Nationale sur le Changement Climatique Vision préférentielle et instruments d'opérationnalisation. *ALCOR-TEC* 2012, 48p.
- 239) **Gleizer S., Ben-Nissan R et Bar-On Y Metal., 2019.** Conversion of Escherichia colitogenerate all biomass carbon from CO2. 179:1255–63. e12. Gurobi Optimization, LLC. Gurobi Optimizer Reference Manual Version 8.1., URL: <https://www.gurobi.com/documentation/8.1/refman/index>.

- 240) **Gómez del campo M et García J.M., 2012.** Canopy fruit location can affect oliveoil quality in ‘Arbequina’ hedgerow orchards. *J. Amer. Oil Chemists*89:123-133.
- 241) **Gómez-Aparicio L., Zavala M.A., Bonet F.A and Zamora R., 2009.** Les plantations de pins sont-elles des outils valables pour restaurer les forêts méditerranéennes? Une évaluation selon les gradients des conditions climatiques, la densité des peuplements et la distance jusqu'aux sources de semences. *Applications écologiques, sous presse.*
- 242) **Gomez-Mejia L.R., Haynes K., Nunez-Nickel M., et al., 2007.** Richesse socio-émotionnelle et risque commercial dans les entreprises contrôlées par la famille : données probantes provenant des moulins à huile d'olive espagnols. *Trimestriel des sciences administratives*, 52, 106-137.
- 243) **Gonzales C., 2018.** Cartographie des oliviers à l'aide d'images QuickBirdpansharpened : une évaluation des analyses basées sur les pixels et les objets. *Agronomie* 8(12):288 DOI : 10.3390/agronomie8120288
- 244) **Gutiérrez-Grijalva E.P., López-Martínez L.X., Contreras-Angulo L.A., Elizalde-Romero C.A., et Heredia J.B., 2020.** Alcaloïdes végétaux : structures et propriétés bioactives. Dans : *Swamy, M. (éd.) Bioactifs d'origine végétale. Springer, Singapour.* [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2361-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2361-8_5)  
<https://doi.org/10.2189/asqu.52.1.106>
- 245) **International Olive Council (IOC), 2017.** Determination of the content of waxes, fatty acid methyl esters and fatty acid ethyl esters by Capillary gas Chromatography. COI/T.20/Doc. No 28/Rev. 2
- 246) **International Olive Council (IOC), 2018.** Adopting the best practice guidelines for the storage of olive oils and olive-pomace oils for human consumption. *DECISION n° DEC-III.4/107-VI/2018*
- 247) **Khadari B et Moukhilil A., 2016.** L’oléiculture au Maroc de la préhistoire à nos jours : pratiques, diversité, adaptation, usages, commerce et politiques. Montpellier : *CIHEAM*, p3-6 (option méditerranéennes. Série A. *Séminaires Méditerranéens* n° 118)
- 248) **Globale climate trends., 2005.** Centres nationaux d'information environnementale de la NOAA, *Monthly Global Climate Report for Annual 2005.* <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/200513>.
- 249) **Grijalva-Contreras R.L., Macías-Duarte R., Martínez-Díaz G., Robles-Contreras F., Valenzuela-Ruiz M.J et Nuñez-Ramírez F., 2013.** Effect of RegulatedDeficit Irrigation on Productivity, Quality and Water Use in Olive cv. “Manzanilla”. *American Journal of Plant Sciences* 4: 109-113
- 250) **Grazzini F., George C., Keil C.C., Antolini G et Pavan V., 2020.** Pluiesextrêmes sur le nord de l’Italie. Pluies extrêmes sur le nord de l’Italie. Partie I : Classification systématique avec des techniques d'apprentis QJR *Météoro* 1 Soc. 2020 ; 146 : 69-8. DOI : 10.1002/qj.3635
- 251) **Gleizer S., Ben-Nissan R., Bar-On Y.M., Antonovsky N., Noor E., Zohar Y., Jona G., Krieger E., Shamshoum M., Bar-Even A. and Milo R., 2019.** Conversion of *Escherichia coli* to generate all biomass carbon from CO<sub>2</sub>. *Cell* 179: 1255–1263.e12.
- 252) **Gonzalez-dugo., Zarco Tejada P.J etFererres E., 2014.** Applicabilité et limites de l’utilisation de l’indice de stress hydrique des cultures comme indicateur des déficits

- hydriques dans les vergers d'agrumes. *Météorologie agricole et forestière*, Tomes 198-199, 94-104
- 253) **Green P.S et Kupicha F.K., 1979.** Notes on the genus *Olea*. *Kew Bulletin* 34: 69–75.
- 254) **Grover V.I et Alfarrà A., 2019.** Eau, développement durable et liens. Réponse au changement climatique. *Presse CRC*. ISBN 9781498786515, 242 p.
- 255) **Groover A., 2017.** Changements liés à l'âge dans la croissance et la physiologie des arbres. *New phytologist* 214 :511-512.
- 256) **Grunderbeeck P (VAN) and Tourre M. Y., 2008.** Bassin méditerranéen: changement climatique et impacts au cours du 21ème siècle (Mediterranean basin: climate change and impacts in the 21st century). In: Thibault H. L (Eds.), *Plan bleu*, France. Changement climatique et énergie en Méditerranée. Eds. *Plan bleu*, Sophia-Antipolis (France).
- 257) **Gutiérrez-Grijalva E., Contreras L., Xochitl Lopez-Martinez L., Elizalde et Romero C., 2020.** Plant Alkaloids: Structures and Bioactive Properties. *Chapter*. DOI: 10.1007/978-981-15-2361-8\_5
- 258) **Guerfel M., Baccouri O., Boujnah D., Chaibi W et Zarrouk M., 2009.** Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea*L.) cultivars. *Sci. Horticult.*, 119, 257-263.
- 259) **Guswa Andrew J and Rhodes A.L., 2004.** Wet-season throughfall in primary and secondary tropical montane cloud forests, Monteverde, Costa Rica. *Eos Trans. AGU*, 85(47), Fall Meeting Suppl., Abstract H54C-08.
- 260) **Guario A., Lacone F., Lanotte F., Murallo O et Percaro A., 2002.** Le principal aversita parassitaire de l'olivier. *Assessorato Agricoltura, Alimentazione, Foreste, Caccia e Pesca, Riforma Fondiaria* 130p.
- 261) **Hadj-Hassan A et Ferguson L., 2004.** Chilling Requirements of Pistachio I. Determination of Chill Hours Required for Pistachio Variety Peters. *Journal of Damascus*, 1: 45–72.
- 262) **Hakala T., Honkavaara E., Saari H., Mäkynen J., Kaivosoja J., Pesonen L., Pölonen I., 2013.** Spectral imaging from UAVs under varying illumination conditions. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XL-1/W2, pp. 189–194. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-189-2013>
- 263) **Hallegatte S., 2007.** Les évaluations actuelles sous-estiment-elles les dommages futurs dus au changement climatique ? *Économie mondiale* 8 : 131-146
- 264) **Hamaoui-Laguel L., Vautard R., Liu L. et al., 2015.** Effets du changement climatique et de la dispersion des graines sur les charges de pollen d'ambrosie en suspension dans l'air en Europe. *Nature Clim Change* 5, 766-771 (2015). <https://doi.org/10.1038/nclimate2652>
- 265) **UNCCC., 2022.** Dossiers de climat en Tunisie. Info-climat n°1-21. MALE
- 266) **Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O et Blumwald E., 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Presses scientifiques du CNRC. Dossiers environ*, vol. 19, 2011

- 267) **Hartmann H.T et Whisler J.E., 1975.** Flower production in olive as influenced by various chilling temperature regimes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 100, (6), p. 670-674.
- 268) **Heilman PE., Ekuan G and Fogle D., 1996.** Above- and below-ground biomass and fine roots of 4 year-old hybrid *Populus deltoides* x *Populus nigra* and parental species in short rotation culture. *Can. J. For. Res.* 24: 1186-1192.
- 269) **Heydari M.M., Aghamajidi R., Beygipoor G.H et Heydari M., 2014.** Comparison and evaluation of 38 equations for estimating reference evapotranspiration in an arid region. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 23, n° 8, p. 1985-1996.
- 270) **Heller M.C., Keoleian G.A and Willett W.C., 2013.** To ward a life cycle-based, diet-level frame work for food environmental impact and nutritional quality assessment: A critical review. *Environ.Sci.Technol.* 47:12632-47
- 271) **Heller E., Rhemtulla J.H., Lele S., Kalacska M., Badiger S., Sengupta R et Ramankutty N., 2012.** Mapping crop types, irrigated areas, and cropping intensities in heterogeneous landscapes of southeastern India using multi-temporal medium-resolution imagery: implications for assessing water use in agriculture. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 78(8), 815-827.
- 272) **Helmann J and Biyers J., 2008.** Cinq conséquences potentielles du changement climatique sur les espèces envahissantes. *Biologie de la conservation* 22(3):534-43
- 273) **Hénia L et Hlaoui Z., 2011.** La pluviométrie dans les plaines et bassins inter telliens en Tunisie : Evolution récente et projection dans le futur. *Actes du XIVème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 3-6 septembre 2011 (303-309). Rovereto, Italie.
- 274) **Henia L et Hlaoui Z., 2015.** À propos de l'évolution des précipitations mensuelles et quotidiennes en (1950-2010) : Tendances ou non? *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 1-4 juillet 2015 (515-520). Liège, Belgique
- 275) **Hénia L., 1993.** Climat et bilans de l'eau en Tunisie, Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques, publication de l'université de Tunis I, 391 p.
- 276) **Hénia L., 2003.** Les grandes sécheresses en Tunisie au cours de la dernière période séculaire p. 25-36
- 277) **Henia L., 1980.** Les Précipitations pluvieuses dans la Tunisie tellienne. Université de Tunis, 262p.
- 278) **Hernandez A.J., Lacasta C and Pastor J.B., 2005.** Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, vol 77 (1-3): 232-248).
- 279) **Hertig E et Jacobeit J., 2008.** A novel approach to statistical downscaling considering non stationarities: application to daily precipitation in the Mediterranean area. *Journal of geophysical research. Atmosphères*, vol. 118, 520-533, doi:10.1002/jgrd.50112, 2013
- 280) **Hilaire E., Young S.A., Willard L.H., McGee J.D., Sweat T., Chittoor J.M et al., 2001.** Réponses de défense vasculaire chez le riz : accumulation de peroxydase dans les cellules du parenchyme du xylème et épaissement de la paroi du xylème. *Mol. Interaction entre les microbes végétaux*. 14, 1411-1419.
- 281) **Hirsch R.M et Slack J.R., 1984.** A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20, 727-732.

- 282) **Hlaoui Z et Hénia L., 2015.** À propos de l'évolution des précipitations mensuelles et quotidiennes en Tunisie (1950-2010) : tendances ou non ? *Actes du XXVIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 1-4 juillet 2015 (515-520). Liège, Belgique
- 283) **Hlaoui Z., 2006.** Bilans hydriques agro-climatiques de l'olivier en Tunisie ; *RTG n° 37* (43-74)
- 284) **Hlaoui Z., 2010.** Evolution du régime pluviométrique au cours du 20<sup>ème</sup> siècle en Tunisie dans un contexte du changement climatique.
- 285) **Hlaoui Z., Hénia L et Med-jerb M., 2008.** Les pluies annuelles au Maghreb: Variabilité et tendance. *Actes du XXIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 9-13 septembre 2008 (327-333). Montpellier, France
- 286) **Hoerling M., Eischeid J., Perlwitz J., Quan X., Zhang T et Pegion F., 2012.** On the creased frequency of Mediterranean Drought. NOAA/Earth System Research Laboratory, Boulder, Colorado. *Journal of Climate*. 25 (6): 2146-2161.
- 287) **Horneroa A., Zarco-Tejadac P.J., Querod J.L., Northa P.R.J., Ruiz-Gómezd F.J., Sánchez-Cuestad R et Hernandez-Clementea R., 2021.** Modelling hyperspectral- and thermal-based plant traits for the early detection of Phytophthora-induced symptoms in oak decline. *Remote Sens. Environ.*, 263, 112570 10.1016/j.rse.2021.112570
- 288) **Hornero A., Hernández-Clemente R., North P.R.J., Beck P.S.A., Boscia D., Navas-Cortes J.A et Zarco-Tejada P.J., 2020.** Monitoring the incidence of Xylella fastidiosa infection in olive orchards using ground-based evaluations, airborne imaging spectroscopy and Sentinel-2 time series through 3-D radiative transfer modelling. *Remote Sensing of Environment* 236, 111480. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111480>
- 289) **Huete A.R., 1988.** Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectro. *Theory and application of optical remote sensing*, 107-141. G.Asrai. Ed, New York.
- 290) **Iglesias A., Garrote L., Flores F et Moneo M., 2007.** Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean. *Water Resour Manage* (2007) 21:775–788
- 291) **INS., 2014.** Recensement Général de la Population et de l'Habitat, 2014.
- 292) **Iniesta F., Testi L., Goldhamer D. A et Fereres E., 2008.** Quantifying reductions in consumptive water use under regulated deficit irrigation in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Agric. Water Manage.* 95(7), 877–886
- 293) **Ioannis P., Vignesh S., Mark H., Hrvoje M., Ioannis K., Rocío Gonzalez S., Abhishek S and Willusher., 2019.** The effects of climate change mitigation strategies on the energy system of Africa and its associated water foot print. *Environ. Res. Lett.* 17 (2022) 044048.
- 294) **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001.** Summary for policymakers. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 879 p.
- 295) **IPCC., 2003.** Good Practice Guidance on Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F., Eds., Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa.

- 296) **IPCC., 2007.** Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (S. Solomon et al., eds). Cambridge: Cambridge University Press. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)
- 297) **IPCC., 2012.** Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. In: Field, CB, Barros, V., Stocker, T.F., Qin, Dokken, DJ, Ebi, KL, Mastrandrea, MD, Mach, KJ, Plattner, G.-K., Allen, SK, Tignor, M. and Midgley, P.M., Eds., *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge and New York, 582 p.
- 298) **IPCC., 2013.** *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New-York, NY, USA, 1535 p.
- 299) **IPCC., 2014.** Changement climatique 2014 : rapport de synthèse. Dans : CoreWriting Team, Pachauri, RK et Meyer, LA (Eds.) *Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève, Suisse : GIEC. 151 p.
- 300) **IPCC., 2018:** Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J.Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- 301) **Gao B.C., Goetz A.F.H., 1995.** Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical component of vegetation canopies from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, 52, 155–162
- 302) **González Hidalgo J.C., De Luis M., Raventos J et Sánchez J.R., 2003.** Tendances des précipitations quotidiennes dans la région de Valence en Espagne. *Climatologie théorique et appliquée*, vol 75, 117–130 (2003)
- 303) **González-Hidalgo J.C., Vicente-Serrano S.M., Peña-Angulo D., Salinas C., Tomas-Burguera M and Beguería S., 2018:** High-resolution spatio-temporal analyses of drought episodes in the western Mediterranean basin (Spanish mainland, Iberian Peninsula). *Acta Geophysica*, 1-12.
- 304) **Jarvis P.G., Mansfield T.A, Hale S.E, Moncrieff J.B., Rayment M and Scott S.L., 1997.** Seasonal variation of carbon dioxide, water vapour, and energy exchange of a boreal black spruce forest. *Journal of Geophysical Research* 102: 953-966
- 305) **Jellali A., Hachicha, W et Aljuaid A.M., 2021.** Sustainable Configuration of the Tunisian Olive Oil Supply Chain Using a Fuzzy TOPSIS-Based Approach. *Sustainability*, 13, 722. <https://doi.org/10.3390/su13020722>
- 306) **Johansen K., Phinn S., Witte C., Philip S and Newton L., 2009.** Mapping banana plantations from object-oriented classification of SPOT-5 imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75(9), 1069–1081.
- 307) **Joly D. (1995).** Interpolation spatiale un la maille bien des températures journalières. *La Météorologie*, vol.8, n°11, p. 36-43

- 308) **Joly S., McLenachan P.A et Lockhart P.J., 2009.** Une approche statistique pour distinguer l'hybridation et le tri incomplet des lignées. *Suis. Nat.* 174, E54-E70.
- 309) **Kahraman M., Sevim G and Bor M., 2019.** The Role of Proline, Glycinebetaine, and Trehalose in Stress Responsive Gene Expression. In Osmoprotectant Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Springer, Cham* (241- 256).
- 310) **Kasraoui MF., Braham M., Denden M., Mehri H., García M., Lamazé T et Attie F., 2005.** Effet du déficit hydrique au niveau de la phase photochimique du PSII chez deux variétés d'olivier. *Comptes Rendus Biologies*, 329 : 98-105
- 311) **Kchaou H., Larbi A., Gargouri K et Chaib M., 2010.** Évaluation de la tolérance à la salinité du NaCl de cinq cultivars d'oliviers, basée sur les caractéristiques de croissance et les mécanismes d'exclusion de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>. *Scientia Horticulturae* 124(3):306-315 DOI : 10.1016/j.scienta.2010.01.007
- 312) **Jones H et Tardieu F., 1998.** Modélisation des relations hydriques des cultures horticoles : une revue *Scientia Horticultura*. vol 74, numéros 1 à 2, pages 21-46 <https://doi.org/10.1016/S0304-4238%2898%2900081-8>
- 313) **Kingumbi A., Bargaoui Zand Hubert P., 2005b.** Investigation on rainfall variability in the central part of Tunisia. *Hydrol. Sci. J.* 50(3), 493–508.
- 314) **Klein M. G., Konnen G. P., 2003.** Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, vol. 16, 3665–3680. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442> (2003)016<3665: TIIODT>2.0.CO;2.
- 315) **Kogan, F., 1994.** NOAA Plays Leadership in Developing Satellite Technology for Drought Watch, *Earth Observation Magazine*, 18-21.
- 316) **Kogan F., 1995.** Application de l'indice de végétation et de la température de luminosité pour la détection de la sécheresse. *Avancées de la recherche spatiale*, 15(11) : 91-100. DOI : 10.1016/0273-1177(95)00079-T
- 317) **Kostopoulou E., Jones P. D., 2005.** Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 89, 69–85. DOI 10.1007/s00703-005-0122-2.
- 318) **Kramer P.J., 1983.** Water relations of plants in soils. Academic Press Inc. San Diego. 495p.
- 319) **Kramer P.J et Boyer J.S., 1995.** Water relations of plants. Academic Press Inc. San Diego. 475p.
- 320) **Laborde J.P., 1984.** Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie. Éléments d'hydrologie de Lorraine. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, École Nationale de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de Nancy, France, 484 p.
- 321) **Laborde J.P et Traboulsi M. 2002.** Cartographie automatique des précipitations : application aux précipitations moyennes annuelles du Moyen Orient. *Publications de l'Association internationale de climatologie*, vol. 14, p. 296-303
- 322) **Lagouarde J.P., 1983.** Analyse des microclimats du Mont VENTOUX par télédétection dans l'infrarouge thermique : mise au point d'une méthode d'étude de l'effet du relief sur les thermographies H. CM. M. *Méditerranée Télédétection III* - 1983
- 323) **Latiere H., 1904.** L'olivier et l'industrie oléicole. ED. Librairie Horticole, 212p

- 324) **Latrou G., Mourelatos S., Zartaloudis Z., Latrou M., Sandra Gewehr S., Kalaitzopoulou K., 2016.** Rmotesensing for the managment of verticiliumwilt of olive. Vol 25 n°4 p 327-334
- 325) **Msallem M., 2009.** L'oléiculture, OLECOMED premier forum méditerranéen de l'oléiculture, *Rev. Filla innove* n°4, Ed. mag vert Algérie.
- 326)
- 327) **Larsen F., Higgins S.S et Wir A., 1989.** Relations hydriques diurnes du pommier, de l'abricot, du raisin, de l'olivier et du pêcher dans un environnement aride (Jordanie). *Sci. Hortique*, 39, 211-222.
- 328) **Lavee S., 2007.** Biennial bearing in olive (*Olea europaea*). *Annales:Series Historia Naturalis* 17:101-112. Le Bourdelles J., 1981. L'eau en oléiculture. *Réunion de coordination du Réseau de recherche International sur l'utilisation de l'eau en oléiculture*. Bastia du 4-6 mai 1981.
- 329) **Lavee S., 1997.** Biologie et physiologie de l'olivier. In *Encyclopédie Mondiale de l'olivier*. Eds COI 1997, 61-110.
- 330) **Legrand M., Bertrand J.J., Desbois M., Menenger L et Fouquart Y., 1989.** The potential of infrared satellite data for the retrieval of Saharian dust optical depth over Africa. *J. Appl. Meteorol.*, 28, 309-318.
- 331) **Le Houerou H.N., 1970.** Ecologie, phyto sociologie et productivité de l'olivier en Tunisie méridionale. *Bull. Serv. Bot. Carte Phytogéo.*, 4 (1) : 7-71.1970
- 332) **Levitt J., 1980.** Réponses of plants to environmental stresses. In *Water radiation, salt and other stresses vol II*. 2<sup>nd</sup> Eds, *Academic press New York* p295-305.
- 333) **Lionello Pet Scarascia L., 2018.** La relation entre le changement climatique dans la région méditerranéenne et le réchauffement climatique *Rég. Environ. Changement*, 18 (5), 1481 – 149
- 334) **Lionello P., Abrantes F., Congedi L., Dulac F., Gacic M., Gomis, D., Goodess C., Hoff H., Kutiel H., Luterbacher J., Planton S., Reale M., Schröder K., Struglia M.V., Toreti A.T., simplis M., Ulbrich U., Xoplaki E., Introduction: Mediterranean Climate: Background Information (2012a) in Lionello P. (Ed.) The Climate of the Mediterranean Region. From the Past to the Future, Amsterdam: Elsevier (NETHERLANDS), XXXV-IXXX, ISBN:9780124160422**
- 335) **Lolis C.J., Bartokas A et Katsoulis B.D., 2002.** Spatial and temporal 850 hPa air temperature and sea-surface temperature covariance in the Mediterranean region and their connection to atmospheric circulation. *Int. J. Climatol.* 22, 663-676
- 336) **Louar S., 1977.** Caractéristiques écophysiologicals et aspects de l'économie de l'eau de l'olivier (*Olea europea* L) et de l'oranger (*Citrus sinensis* L). Thèse de doctorat Es-sciences, université de Paris VII, 247p.
- 337) **Loussert R et Brousse G., 1978.** « L'olivier ». Collection techniques agricoles et productions méditerranéennes, 465p.
- 338) **Maccionni A., Agati G et Mazinghi P., 2001.** Nouveaux indices de végétation pour la mesure à distance des chlorophylles basés sur les spectres de réflectance directionnelle des feuilles. *Biologie* 61(1-2):52-61

- 339) **Mahboubi A., 1974.** L'économie oléicole dans le bassin méditerranéen. *CIHEAM*, options méditerranéennes, n°24, 39-43
- 340) **Maillards R., 1975.** L'olivier Publ. I.N.V.U.F.L.E.C, 147p.
- 341) **MARH et GTZ, 2007 :** Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques, COPA consultants & ExAConsult Tunisie.
- 342) **MasmoudiCharfi C et Ben Mechlia N., 2012.** Quantitative analysis of soil water content in young drip irrigated olive orchards. *Advances in Horticultural Sciences*, 26 (3-4): 138-147.
- 343) **Masmoudi-Charfi C., Masmoudi M.M., Mahjoublet Ben Mechlia N., 2007.** Water Requirements of Individual Olive Trees in Relation to Canopy and Root Development. Options Méditerranéennes, Série B, *Studies and Research*, Vol. 1. *CIHEAM*. Proceedings of the International Conference on Water saving in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs, 73-80.
- 344) **Masmoudi-Charfi, C., Ayach-Mezghani, M., Gouia, M., Labidi, F., Lamari, S., Ouled Amor, A., Bousnina, M., 2010.** Water Relations of Olive Trees Cultivated under 57 Deficit Irrigation Regimes. *Scientia Horticulturae*, 125, 573-578.
- 345) **Mc Kenzial B.M and Dexter A.R., 1996.** Methods for studying the permeability soil aggregates. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76: 23-28.
- 346) **MEAT., 2001.** Communication Initiale de la Tunisie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire Tunisie. 179p.
- 347) **MedECC., 2020.** Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. *First Mediterranean Assessment Report* [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)]. MedECC First Mediterr. Assess. Report, UNEP/MAP, Marseille, Fr. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.4768833>.
- 348) **Mendelsohn R et Dinar A., 1999.** Changement climatique, agriculture et pays en développement : l'adaptation est-elle importante ? The World Bank Research Observer, 14, 277-293.
- 349) **Michlakis N, 2000.** Eau exigences de l'olivier sur les diverses exigences. Papier d'irrigation et de drainage, n°56 FAO Rome.
- 350) **Moberg A et Jones P.D 2005,** Tendances des indices pour les extrêmes de température et de précipitations quotidiennes en Europe centrale et occidentale 1901–1999, *Int. J. Climatol*, 25, 1149 – 117
- 351) **Moisselin J.M., Schneider M., Canellas C., Mestre O., 2002.** Les changements climatiques en France au 20<sup>ème</sup> siècle. Etude des longues séries de données homogénéisées de précipitation et température, *La Météorologie*, n° 38, pp. 45–56,
- 352) **Monselisse S.P et Golschmidt E., 1992.** Alternate bearing of fruit trees Horticultural review, vol 4, Ed. The AVIPublishingInc, (1992), pp 128-173
- 353) **Moran M.S., Clarke T.R., Inoue Y., Vidal A., 1994.** Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 46,246–263.
- 354) **Moretti M., Dias A.T.C., De Bello F., Altermatt F., Chown S.L., Azcárate F.M., Berg M.P., 2017.** Manuel de protocoles pour la mesure standardisée des traits

fonctionnels des invertébrés terrestres *Écologie fonctionnelle*, 31, 558 – 567 .<https://doi.org/10.1111/1365-2435.12776>

- 355) **Moundi E.M., 1974.** Contribution à l'étude de l'amélioration de l'olivier possibilités de sélection clonale, études varietales. Mémoires de fin d'étude I'A.V. Rabat 103 p.
- 356) **Moussa M.Y et Gerasopoulos D., 1996.** Effect of altitude on fruit and oil quality characteristics of « Mastoides » olives. *J Sci Food Agric*, 71: 345-50.
- 357) **Mousset P, Rhaïem H et Vernet A., 1968.** Réflexions sur les phases de développement de l'olivier. *Bulletin de l'E.N.S.A. Tunis*, n° 18-19, 69-76.
- 358) **Msallem M., Sai M.B., Larbi A., Khereddine N., 2004.** Normes technico-économiques pour la création de parcelles hyper intensives d'olivier. "Résultats préliminaires ». Document Technique 1/2004. Institut de l'Olivier. 7p.
- 359) **Mzoughi M., Feki M et Dahech S., 2023.** Les périodes sèches annuelles dans la région de Sfax (Tunisie centrale). *Actes du XXXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 3-7 juillet 2023 (215-218). Bucarest. Roumanie.
- 360) **Mzoughi M., Feki M et Dahech S., 2022.** Variabilité spatio-temporelle de la production oléicole en fonction des paramètres climatiques dans la délégation de Menzel Chaker (Sfax, Tunisie centrale). *Actes du XXXVème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 6-9 juillet 2022 (27-32). Toulouse. France.
- 361) **Mzoughi M., Feki M et Dahech S., 2021.** Variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la région de Sfax (Tunisie centrale). *Actes du XXXIVème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 7-9 juillet 2021 (330-334). Casablanca. Maroc.
- 362) **Naorem N et Devi, T.K., 2014.** Estimation of potential evapotranspiration using empirical models for Imphal. *International Journal of Innovative and Exploring Engineering*, vol. 4, n° 7, p. 119-123.
- 363) **Natali S., Xiloyannis C and Castagnetti M., 1985.** Effects of soil water content on leaf water potential and stomatal resistance of grapevine (*vitis vinifera*) grafted on different rootstocks. *Acta Horticulturae*, 286: 195-198.
- 364) **Navarro C., et Parra M.A., 2008 :** Plantación, In: El cultivo de olivo. Eds. *Junta d'Andalucía ET MundiPrensa*, España. P:864
- 365) **Navarro C., Fernandez Escobar R and Benloch M., 1990.** Flower induction in Manzanillo olive. *Acta Horticulturae*, 171: 175-179.
- 366) **Melgar J.C., Mohamed Y., Serrano N., GarcíaGalavís P.A., Navarro C., Parra M.A., Benloch M et Fernández-Escobar R., 2009.** Réponses à long terme des oliviers à la salinité. *Gestion de l'eau agricole* 96 : 1105 – 1113
- 367) **New MG, Hulme M, Jones PD. 2000.** Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: development of 1901–1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate* 13: 2217–2238
- 368) **Nigond J., 1974.** Expérimentation oléicole intégrée. Note ronéotypée, juillet 1974, 5p.
- 369) **Donat M.G et coll., 2013.** Analyses mises à jour des indices extrêmes de température et de précipitations depuis le début du XXe siècle : le jeu de données HadEX2. *J. Géophys. Rés.* 118, 2098-2118

- 370) **Nouaceur Z., Laignel B et Turki I., 2013.** Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo* [En ligne], vol 7 | 2013. URL : <http://physio-geo.revues.org/3671> ; DOI : 10.4000/physioge.3671
- 371) **Nobel P.S and Huang B., 1992.** Hydraulic and structural changes for lateral roots of two desert succulents in response to soil drying and rewetting. *Int. J. Plant Sci.* 1538: 163-170
- 372) **Norrant C et Douguedroit A., 2006.** Tendances des précipitations mensuelles et quotidiennes en Méditerranée (1950-2000). *Climatologie théorique et appliquée* volume 83, p 89–106 (2006)
- 373) **Norrant, C et Douguédroit, A., 2010.** Types de circulation atlantico-européens et régimes de temps pluvieux en Méditerranée (*Types of Atlantico-European circulation and rainyweatherpatterns in the Mediterranean*). *BAGF-Geographies* [87-2](#) pp. 234-244
- 374) **Nuissier O., Ducrocq V., Ricard D., Lebeau-pin C et Anquetin C., 2008.** Une étude numérique de trois événements déclencheurs catastrophiques sur le sud de la France. I : Cadre numérique et ingrédients synoptiques. *Royal météorological society*. Tome 134 n°630.
- 375) **Nuissier O et Bruno J., 2011.** Une réduction d'échelle statistique pour identifier les modèles de circulation à grande échelle associés aux événements de fortes précipitations sur le sud de la France. *Journal trimestriel de la Société royale météorologique* 137(660):1812 – 1827
- 376) **Obled C et Leousof J., 1987.** L'alerte aux crues : réseaux de mesures et traitements informatiques : l'exemple du Gard. *Actes du Colloque. « Crues et inondations »* Strasbourg Univ, 115-129.
- 377) **Olicina A.G., 1988.** Causes climatiques de las raias » dans Avenues fluviales et inondations en la cuencadelMediterráneo. *Roneo, Alicante-Murcie, Univ., 26 p.*, Alicante.
- 378) **Obled C et Leousof J., 1987.** L'alerte aux crues : réseaux de mesures et traitements informatiques : l'exemple du Gard. *Actes du Colloque. « Crues et inondations »* Strasbourg Univ., pp. 115-129.
- 379) **Olicina A.G., 1988.** Causes climatiques de las riadas » dans Avenues fluviales et inondations en la cuencadelMediterráneo. *Roneo, Alicante-Murcie, Univ., 26 p.*, Alicante.
- 380) **Oliva P., Coudee-Gaussen G., Delannoy H., Dorize L., Rognon P et Tabeaud M., 1983.** Etude de la dynamique de quelques lithométéores sahariens par télédétection spatiale. *Méditerranée, n° spécial Télédétection*, Tome 54, 21-51.
- 381) **Oke T.R., Johnson G.T., Steyn G. and Watson D., 1999.** Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorol.* 56: 339–358.
- 382) **Organisation météorologique mondiale 2013.** Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial. *Temps-climat-eau*. OMM, n°1130.
- 383) **Orgaz F., Fernández M.D., Bonachela S., Gallardo Mand Fereres E., 2005.** Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agric. Water Manage.*, 72: 81–96.

- 384) **Paradis G., Maurin A., 2009.** Phytosociology and vegetation cartography of a Natura 2000 site near Ajaccio airport (Corsica). Biodiversity Hotspots in the mediterranean area, *45e International Congress of SISV & FIP*, Cagliari, 22-24 / 25-29 june 2009: 152.
- 385) **Pagnol J., 1975.** « L'olivier », Éditions Aubanel.
- 386) **Palma J., Graves A., Bunce R., Burgess P., De Filippi R., Keesman K et al., 2007.** Modelling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 320–334. doi: 10.1016/j.agee.2006.07.021 Pettit A. N. (1979): A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* 28(2), 126-135
- 387) **Pansiot F.P., and Rebour H., 1961.** Improvement in olive cultivation. F. A. O., Rome, p. 249. 10. Smock, R. M. 1966. Laboratory studies of the anthocyanin development in McIntosh apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88:80-88.
- 388) **Parida A.K., Das A.B et Mohanty P., 2004.** Potentiels de défense contre le NaCl dans une mangrove, *Bruguieraparviflora* : changements différentiels des isoformes de certaines enzymes antioxydantes. *Journal de physiologie végétale*, 161, 531-542.<http://dx.doi.org/10.1078/0176-1617-01084>
- 389) **Peguy CH-P., 1970** : *Précis de climatologie*. Éditions Masson, Paris, 468 p.
- 390) **Peltonen J.T, Virtanen P., Meschke M., Koski J.V., Heikkilä T.T et Pekola J.P., 2010.** Phys. Conductance thermique par effet de proximité inverse dans un supra conducteur. *Le révérend Lett.* 105, 097004
- 391) **Peng, Liang Huang J, John E. Sheehy, Rebecca C. Laza, Roméo M. Visperas, Zhong X, Grace S. Centeno, Gurdev S. Khush, et Kenneth G. Cassman., 2004.** Les rendements du riz diminuent avec la température nocturne plus élevée due au réchauffement climatique. *Science agricole* 101 (27) 9971-9975
- 392) **Peñuelas J., Filella I., Biel C., Serrano L., Save R., 1993.** The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing* 14, 1887–1905.
- 393) **Peiris T., 2011.** Critical Evaluation of Dry Spell Research. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 11(6), 153–160
- 394) **Peyre P., 1938.** Sur l'olivier. L'histoire et la legend. L'arbre, ses fruits, son huile. Les oleagineux, 1<sup>ère</sup> série, 270p.
- 395) **Pierce., 2017.** Precipitation in a warming world: Assessing projected hydro-climate changes in California and other Mediterranean climate regions. [Rapports scientifiques](#), vol 7, n°10783 [www.nature.com/](http://www.nature.com/) Scientific reports
- 396) **Piccarreta M., Pasini A., Capolongo D and Lazzari M., 2013.** Changes in daily precipitation extremes in the Mediterranean from 1951 to 2010: the Basilicata region, southern Italy. *Int. J. Climatol*, doi: 10.1002/joc.3670, 2013.
- 397) **Philandras C.M., Nastos P.T., Kapsomenakis J., Douvis K.C., Tselioudis G et Zerefos C.S, 2011.** Tendances et variabilité des précipitations à long terme dans la région méditerranéenne. *Nat. Risques Terre Syst. Sci.* , 11, 3235-3250, est ce que je : 10.5194/nhess-11-3235-2011.
- 398) **Plan bleu, 2008.** L'environnement et le développement en Méditerranée, hier, aujourd'hui, demain. *Actes du colloque international du 5 juin 2018 à l'occasion des 40 ans du Plan Bleu.*

- 399) **Platek R., Pierre-Pierre F.K et Stevens P., 1985.** Élaboration et conception des questionnaires d'enquête. Ottawa : Statistique Canada, Division des méthodes de recensement d'enquêtes-ménages, 83 p
- 400) **Plaut G., Schuepbach E et Docteur M., 2001.** Événements de fortes précipitations sur quelques sous-régions alpines et liens avec une circulation à grande échelle, 1971–1995. *Recherche climatique*, vol. 17, n°. 3, CR special 9 : Accord : Classification de la circulation atmosphérique et réduction d'échelle régionale (29 août 2001), p. 285-302 (18p)
- 401) **PNAS., 2007.** Contributions to accelerating atmospheric CO2 growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks
- 402) **PNUE/PAM et Plan Bleu., 2020.** Les risques liés aux changements climatiques et environnementaux dans la région méditerranéenne. Une évaluation préliminaire par le réseau MedECC L'interface science-décideurs.
- 403) **Poli M., 1979a.** L'alternance de la production de l'olivier : étude bibliographique. Ed. *Conseil oléicole International* (Madrid-Espagne) T 12/Doc. N° 11, Sept. 1979, 97p.
- 404) **Poli. M., 1979b.** Etude bibliographique de la physiologie de l'alternance de production chez l'olivier (*Olea europaea* L.). *Fruits*, nov. 1979, vol. 34, no 11, p. 687-695.
- 405) **Polymerou-Kamilakis A., 2006.** The culture of the olive tree (Mediterranean world). In : *Olive oil chemistry and technology*, 2006, Boskou, D. 2eme Ed. *Aocs Press*, USA, 253 p, 1-12.
- 406) **Priestley C.H.B., 1971.** L'atmosphère globale: un mémorial à HC Russell, *Search*, 2 (8) (1971)
- 407) **Psyllakis N., 1974.** Recherches de tests pour l'aptitude des variétés d'olivier à la culture irriguée : Application aux variétés Koroneiki et mastoidis. Rapport du Réseau de recherches sur la Bioclimatologie de l'olivier.
- 408) **Psylakis N, 1976.** Méthodes d'étude des facteurs biologiques de la production chez l'olivier. Note ronéotypes, St. Res. Chania (Grèce), 25p.
- 409) **Quemada, M., Delgado, A., Mateos, L., Villalobos, F.J., 2016a.** Nitrogen fertilizationI: 579 The nitrogen balance. in: Villalobos, F.J, Fereres, E. (Eds.), *Principles of 580 Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer, Cham, Switzerland*, 341-368.
- 410) **Ozenda P., 1964.** Biogéographie végétale, Doin, Paris.
- 411) **Räisänen J., Hansson U., Ullerstig A., Döscher R., Graham L.P., Jones C., Meier H.E.M., Samuelsson P et Willén U., 2004.** European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Climate Dynamics*, 22, 13–31.
- 412) **Rallo P. and Martin G.C., 1991.** The role of chilling in releasing olive floral buds from dormancy. *J. Amer. Soc. Horti. Sci.* 116: 1058-1062.
- 413) **Ranasinghe R., Ruane A.C., Vautard R., Arnell N., Coppola E., Cruz F.A., Dessai S., Saiful I. A.K.M., Rahimi M., Carrascal D.R., Sillmann J., Sylla M.B., Tebaldi C., Wang W et Zaaboul R., 2021.** Informations sur le changement climatique pour l'impact régional et pour l'évaluation des risques. Dans : *Changement climatique 2021 : les bases des sciences physiques. Contribution du Groupe de travail 1 au*

sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *La Presse de l'Université de Cambridge, Cambridge*, 1767 à 1926.

- 414) **Rawson, H.M., Munns, R. (1984).** Leaf expansion in sunflower as influenced by salinity and short term changes in carbon fixation. *Plant Cell Environ.* 7, 207–213
- 415) **Raymond F., Ullmann A., Camberlin P., Drobinski P et Chateau Smith C., 2016.** Extreme dry spell detection and climatology over the Mediterranean Basin during the wet season. *Geophysical Research Letters*, vol. 43, 7196-7204. DOI : 10.1002/2016GL069758
- 416) **Raymond C.M., Reed M., Bieling C., et al., 2016.** Integrating different understandings of landscape stewardship into the design of agri-environmental schemes. *Environmental Conservation* 43:350–358. <https://doi.org/10.1017/S037689291600031X>
- 417) **Raymond F., Drobinski P., Ullmann A et Camberlin P., 2018a.** Extreme dry spells over the Mediterranean Basin during the wet season: assessment of HyMeX/Med-CORDEX regional climate simulations. *International Journal of Climatology*, vol. 38, 3090-3105.
- 418) **Razouk R, Daoui K, Ramdani A, Chergaoui A., 2018.** Optimal distance between olive trees and annual crops in rainfed intercropping system in northern Morocco. National Agricultural Research Institute, P.O. Box 578, Meknes,(MOROCCO)
- 419) **Riahi K et coll., 2011.** RCP8.5 — Un scénario d'émissions de gaz à effet de serre relativement élevées. *Changement climatique*, 109, 33-57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
- 420) **Ribes A., Thao S., Vautard R., Dubuisson B., Somot Sand Colin J., 2019.** Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean. *Climate Dynamics*, 52 (1–2), 1095–1114. <https://doi.org/10.1007/s1007/s10584-011-0149-y>
- 421) **Rodrigo F.S et Trigo R.M., 2007.** Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *International Journal of Climatology*, 27: 513–529.
- 422) **Rojas G.C., Catrileo S.A et Hormazábal GW., 2011.** Évaluation productive et économique de l'urée, des grains de lupin, du tourteau d'arachide et de la farine de soja dans les rations d'engraissement des génisses de boucherie. *Agro Sur*, 39 (1): 57-67
- 423) **Rosenzweig P, Rosenzweig C and Parry M., 1992.** Climate Change and World Food Supply US Environmental Protection Agency, Washington, DC (1992)
- 424) **Rollins J.A., Habte E., Templer S.E., Colby T., Schmidt J., and Von Korff M., 2013.** Leaf proteome alterations in the context of physiological and morphological responses to drought and heat stress in barley (*Hordeum vulgare* L.).
- 425) **Romand et Douguédroit., 2010.** Types de circulation atlantico-européens et régimes de temps pluvieux en Méditerranée (Types of Atlantico-European circulation and rainy weather patterns in the Mediterranean)
- 426) **Rosecrance R.C., Krueger W.H., Milliron L., Bloese J., Garcia C., Mori B., 2015.** Moderate regulated deficit irrigation can increase olive oil yields and decrease tree growth in super high density 'Arbequina' olive orchards. *Sci. Hortic.* 190, 75–82. doi: 10.1016/j.scienta.2015.03.045
- 427) **Rossini M., Fava F., Cogliati S., Meroni M., Marchesi A., Panigada C et al., 2013.** Évaluation du PRI du couvert à partir d'images aéroportées pour

- cartographier le stress hydrique du maïs. *Journal ISPRS de photogrammétrie et de télédétection*, 86, 168-177. est ce que je:10.1016/j.isprsjprs.2013.10.002.
- 428) **Roy,R., 2002.** An Overview of an Environmental Audit, *CF Bulletin*,8:28-36
- 429) **Ryan D., Robards K. and Lavee S., 1998.** Evolution de la qualité de l'huile d'olive. *Olivae*, 72, 23 – 41
- 430) **Roe G, Montgomerie D, Hallet B., 2003.** Précipitations orographiques et relief des chaînes de montagnes. *Journal of geophysical research*, Tome 108 N° B6, 2003
- 431) **Samaali H., 2023.** Impact de la variabilité climatique sur la production oléicole pluvial de Sidi Aich-Gafsa Nord/Sud-ouest de la Tunisie. Mémoire de maîtrise. Université de Sfax, 78p.
- 432) **Sambou S., Dacosta H et Paturel J.E., 2018.** Variabilité spatio-temporelle des pluies de 1932 à 2014 dans le bassin versant du fleuve Kayanga/Gêba (République de Guinée, Sénégal, Guinée-Bissau). *Physio-Géo*, 12, p. 61-78. ISSN 1958-573X.
- 433) **Sabri A et Saghir., 2017.** Department of Nutrition and Food Technology, Faculty of Agriculture, Hebron University, Hebron, Palestine. Raghad K. Rajabi, Director, Furat Food Industry, Hebron, Palestine The Secret Miracle of Olive Oil
- 434) **Sambou S., Dacosta H et Paturel J.E., 2018.** Variabilité spatio-temporelle des pluies de 1932 à 2014 dans le bassin versant du fleuve Kayanga /Gêba (République de Guinée, Sénégal, Guinée-Bissau). [Physio-Géo](#) 12(Tome 12):61-78
- 435) **Sarmiento A., Latta L., Zilioli A and Sinclair W., 1974.** The role of soft tissues in stabilization of tibial fractures. *Clin Orthop Relat Res.*105:116–129
- 436) **Sarmiento, G. 1974.** The distribution and vegetation patterns of the main savanna types in tropical America. In press.
- 437) **Savage, M. K., A. F. Sheehan, and A. Lerner-Lam 1996.** Shear-wave splitting across the Rocky Mountain Front, *Geophys. Res. Lett.*, 23(17), 2267–2270, doi:10.1029/96GL02146
- 438) **Sayed A., Badr D.A., et Hartmann H.T., 1971.** Réponse de la floraison de l'olivier (*Olea Europaea* L.) à certains régulateurs de croissance appliqués dans des environnements inductifs et non inductifs. *Gazette Botanique*, vol 133, N°4 p 387-392.
- 439) **Sharkey T.D., 1990.** Water stress effects on photosynthetic activity. *Photosynthetica* 24 (4) : 651-655
- 440) **Sandholt I., Rasmussen K and Andersen J., 2002.** A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, vol. 79, 213-224
- 441) **Savanem M., Seguin B., Guiloth B., 1989.** Utilisation des synthèses thermiques. Météo sat étalonnées par NOAA AVHRR en agro climatologie: Application à la France. *Veille Climatique Satellitaire*, n°28.
- 442) **Schonwiese C.D., Rapp J., Fuchs T et Denhard M., 1993.** Klimatrend-Atlas, Europa 1891-1990, Berichte des Zentrums für Umweltforschung, 20, 218p.
- 443) **Scoccimarro E., Gualdi S., Bellucci A., Zampieri M et Navarra A., 2016.** Heavy precipitation events over the Euro-Mediterranean region in a warmer climate: results from CMIP5 models. *Regional Environmental Change*, doi:10.1007/s10113-014-0712-y,

- 444) **Sebbar A., Fougrach H., Hsain M., Saloui A., Badri W., 2011.** Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935 – 2004). *Sécheresse*, 22, 139-48.
- 445) Sghaier A., Ayed R. B., Sghaier N., Naggaz K , Ouessar M and Boujnah D., 2019. Effect of irrigation frequency on the yield and végétative growth of two olive cultivars (CVS. Croneiki and Picholine) in arid lands..
- 446) **Sikaoui., 2006.** Réflexion sur les densités de plantation de l'olivier. IV salon international de l'olivier « OLEA 2006 »: L'oléiculture: Levier du développement agricole Marrakech ; 25-28,
- 447) **SIEE, 2019.** Réalisation d'une étude d'impact environnemental relative à une centrale solaire photovoltaïque à la commune de Sfax. GIZ et ANME, 112p
- 448) **Sinan M., Boussetta M et EL Rherari A., 2009.** Changements climatiques: Causes et conséquences sur le climat et les ressources en eau. *Revue HTE* n°142. Mars-Juin 2009, 21-3
- 449) **Slimani M., Cudennec C et Feki H., 2007.** Structure du gradient pluviométrique de la transition Méditerranée Sahara en Tunisie: déterminants géographiques et saisonnalité. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (6), 1088–1102
- 450) **Sillmann, J.,Kharin, VV, Zwiers, FW et al., 2013.** Indices des extrêmes climatiques dans l'ensemble multimodèle CMIP5 : partie 2. Projections climatiques futures. *Journal de recherche géophysique : Atmosphères*, 118, 2473-2493.
- 451) **Smith J., and Tirpack D (EDS.), 1989.** The potential effects of global climate change on the United States. Washington DC, US Environmental Protection Agency
- 452) **Soubeyrou J.M., Vidal J.P., Najac J., Kitova N., Blanchard M., Dandin P., Martin E., Pagé C et Habets F., 2011.** Projet ClimSec - Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol, rapport final, Météo-France, CNRM-GAME, CERFACS, UMR Sisyphe, Cemagref, 72p.
- 453) **Soubeyrou J.M., Neppel L., Veysseire J.-M., Trambly Y., Carreau J., et Gouget V., 2015.** Evolution des précipitations extrêmes en France en contexte de changement climatique. *La Houille Blanche*, 1, 27–33. <https://doi.org/10.1051/lhb/2015004>
- 454) **Sofo A., Dichio B., Xiloyannis C., Marsia A., 2005a.** Antioxydant differences in olive trees during drought stress: changes in some activity of antioxidant enzymes. *Functional Plant Biology*, 32: 45-53.
- 455) **Sofo A., Nuzzo V., Palese A.M., Xiloyannis C., Celano G., Zukowskyj P and Dichio B., 2005b.** Net CO2 storage in mediterranean olive and peach orchards. *Scientia Horticulturae*, 1107, Issue 1, 1: 17-24.
- 456) **Stevens J. Land Anders M.W., 1981.** Metabolism of haloforms to carbon monoxide. IV Studies on the reaction mechanism in vivo. *Chem.-biol. Interact.*, 37,365-374.
- 457) **Stour L et Agoumi A. 2009.** Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies Climatic drought in Morocco during the last decades. *Hydroécologie Appliquée* 16: 215-232
- 458) **Steudle E, 2000.** Water uptake by plant roots: an integration of views. *Plant and Soil*, 226: 45-56.
- 459) **SRTM.** Shuttle Radar Topography Mission, [consulté le 12.07.2023]. <https://srtm.csi.cgiar.org/>.

- 460) **Suraj D., Polade, Alexander Gershunov, Daniel R. Cayan, Michael D. Dettinger2 & David W., Tanasijevic L., Todorovic M., Pereira L., Pizzigalli C et Lionello P., 2014.** Impacts du changement climatique sur l'évapotranspiration des cultures d'oliviers et les besoins en irrigation dans la région méditerranéenne. *Gestion de l'eau agricole*. Tome 144, 54-68
- 461) **Tabari H et Talae P.H., 2011.** Local calibration of the Hargreaves and Priestley-Taylor equations for Estimating reference evapotranspiration in arid and cold climates of Iran based on the Penman-Monteith model. *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 16, n° 10, p.837-845.
- 462) **Tank, A.M.G.K. and Konnen G.P., 2003.** Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, 3665-3680.
- 463) **Tansey K., Chambers I., Anstee A., Denniss A and Lamb A., 2009.** Object-oriented classification of very high resolution air borne imagery for the extraction of hedgerows and fieldmargin cover in agricultural areas. *Appl. Geo*29:145–157
- 464) **Tardieu F et Davies W.J., 1992.** Stomatal response to ABA is a function of current plant water status. *Plant Physiology*, 98: 540-545.
- 465) **Therriault M., 1996.** L'intégration des études environnementales et des systèmes d'informations géographiques pour appuyer les décisions d'aménagement : un objet de recherche prometteur / The integration of environmental studies and geographical information systems to support planning and development decisions : a promising area of research. *Géographie de Lyon* 71-2, 155-156
- 466) **Tissot P., 1937.** L'olivier dans le bassin méditerranéen. In: *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 17<sup>e</sup> année, bulletin n°192-193, Août-septembre 1937, 586-610.
- 467) **Todaro V., D'Oria M., Secci D., Zanini A et Tanda M.G., 2022.** Climate change over the Mediterranean Region: local temperature and precipitation variations at five pilot sites. *Water* 14:2499. <https://doi.org/10.3390/w14162499>
- 468) **Tognetti R., D'andria R., Morelli Calandrelli G., D and Fragnito F., 2004.** Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant and Soil*, 263: 249-264.
- 469) **Tognetti A., Lorussi F., Bartalesi R., Quaglioni S., Tesconi M., Zupone G and De Rossi D., 2005.** Wearable kinesthetic system for capturing and classifying upper limb gesture in post-stroke rehabilitation. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation* 2, March.
- 470) **Tombesi A et Cartechini A., 1986.** [The effect of crown shading on the differentiation of flowering buds in olive.] – *Riv. Orto florofrutticoltura ital.* 70: 277-28, [In Ital.]
- 471) **Tombesi A., Proietti P and Nottiani G., 1986.** Effect of water stress on photosynthesis transpiration, stomata resistance and cowpea in two contrasting soil types in the semi-arid tropics. *Soil tillage Res.* 40: 89-106.
- 472) **Tombesi A., Boco M., Pilli M., 1999.** Influence of light exposure on olive fruit growth and composition. *Acta Hort*, 474: 255–258.
- 473) **Toreti A et Desiato F., 2008.** Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology*, 28:733–745. doi: 10.1002/joc.1576

- 474) **Toreti A., Xoplaki E., Maraun D., Kuglitsch F.G., Wanner H et Luterbacher J., 2010.** Caractérisation des précipitations hivernales extrêmes dans les sites côtiers méditerranéens et des modèles de circulation atmosphérique anormale associés, *Nat. Risques Terre Syst. Sci.*, 10, 1037-1050, <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1037-2010>, 2010.
- 475) **Toreti A et Desiato F., 2008.** Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology*, 28:733–745. doi: 10.1002/joc.1576
- 476) **Torquebiau E. 2017.** Le changement climatique, un défi pour la recherche : l'exemple de l'initiative " 4‰ ". *OCL. Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, 24 (1):D108, 5 p. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016054>
- 477) **Tournireraux J.A., 1929.** L'oléiculture en Tunisie. Ed. Imprimerie Centrale (Tunis-Tunisie), 371p.
- 478) **Toreti A et Desiato F., 2008.** Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology*, 28, 733–745. doi: 10.1002/joc.1576
- 479) **Tous, J., Romero, A. 1993.** Varie dades de lolivo. Fundación "La Caixa". 172 p.
- 480) **Trabelsi L., Gargouri K., Ayedi M., Mbadra C., Ben Nasria M., Ben Mbarek H., Ghrab M., Ben Ahmed G., Kammoun Y., Loukil E., Maktouf S., Khelifa M et Gargouri R., 2019.** Impact de la sécheresse et de la salinité sur le rendement potentiel des olives, la qualité de l'huile et des fruits (cv. Chemlali) dans un climat aride. *Gestion de l'eau agricole*. Tome 269, 107726
- 481) **Trabils L., 2018.** Adaptation des stratégies nutritionnelles de l'olivier (*Olea europaea* L.) à différents régimes hydriques en milieu aride. Thèse de Doctorat en Génie Biologique. L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax 242p.
- 482) **Traboulsi M., 2004.** Années arrosées et années sèches au Proche-Orient : relation avec la circulation atmosphérique régionale. Relations des années pluvieuses et sèches au Proche-Orient avec la circulation atmosphérique régionale. *Ann. de l'Associat. Internat. de Climatologie*, vol. 1 (2004) 103-116
- 483) **Tranchera A and Baretella V., 2019.** Soilphysicochemical analyses- Olsen method. *Chapter*, 248-252.
- 484) **Laborde J.P et Traboulsi M., 2002.** Cartographie automatique des précipitations : application aux précipitations moyennes annuelles du Moyen Orient. *Publications de l'Association internationale de climatologie*, vol. 14, p. 296-303
- 485) **Trenberth K., 1999.** Cadre conceptuel pour les changements des extrêmes du cycle hydrologique avec le changement climatique. *Changement climatique*, 42, 327-339. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005488920935>
- 486) **Tramblay Y., Neppel L., Carreau J et Najib K., 2013.** Analyse de fréquence non stationnaire des fortes pluies ensud de la France. *Revue des sciences hydrologiques*, 58 (2), 280-294.
- 487) **Trigui A et Msallem M., 2002.** Oliviers de Tunisie (Volume 1). Ministère de l'Agriculture, Ed. IRESA, République Tunisienne. 159p illustrées.
- 488) **Trigui A., 1987.** Relations entre le climat et le sol et la production de la variété d'olivier Chemlali dans la région de Sfax (Tunisie). Thèse annexes. Doctorat ès Sc., Montpellier. 433 p.

- 489) **Trigui. A, 1993.** Le secteur oléicole, potentiel production et évolution. Eds Institut de l'olivier. *Seris, Etudes*1/93-48p.
- 490) **Trigui A., 1983.** Les principales maladies de l'amandier en Tunisie. GREMPA, colloque 1983. Paris : *CIHEAM*, 1984. p. 151-160 (Options Méditerranéennes : Série Etudes; n. 1984-II)
- 491) **Trigui A., 1994a.**La sélection clonale et le croisement chez l'olivier : problèmes en matière de méthodologie. Actes du Symposium sur l'Amélioration ...
- 492) **Tubiello FN, Soussana JF etHowden SM (2007).** Climate change and foodsecurityspecialfeature: crop and pasture response to climate change. *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 104: 19686–19690
- 493) **UNEP/MED., 2009.** Annual report | UNEP - UN Environment Programme
- 494) **UNESCO., 2010.** Climate Change | UNESCO
- 495) **Unganai LS et Kogan F.N., 1998.** Surveillance de la sécheresse et estimation du rendement du maïs en Afrique australe à partir des données AVHRR. *Téledétection de l'environnement*, 63(3) : 219-232. DOI : 10.1016/S0034-4257(97)00132-6
- 496) **Vacheron J., Desbrosses G., Bouffaud M.L., Touraine B., Moenne-Loccoz Y., Muller D., Legendre L., Wisniewski-Dye F et Prigent-Combaret C., 2013.** Plant growth-promoting rhizo bacteria and root system functioning. *Front Plant Sci* 4:356. doi:10.3389/fpls.2013.00356
- 497) **Van Grunderbeeck P et Tourre Y.M., 2008.** Bassin méditerranéen: changement climatique et impacts au cours du XXIème siècle. In : Thibault H.-L. et Quéfélec S. (ssdir.) : Changement climatique et énergieen Méditerranée (partie I, chap. 1), 558 p., p.1.3-1.69.
- 498) **Veloso C.M., Lunga D.A and Fernandes P.O., 2017.**The teachers' satisfaction in higher education institutions as key factor of the strategic management and of the organizational competitiveness. Special Issue for INTE 2017, TOJET –*Turkish Online Journal of Educational Technology*, n° 3, 633-644
- 499) **Vernet A., 1953.** La productivité de l'olivier, oléagineux, 8e année, n° 7, 433-440.
- 500) **Vernet A., Damagnez J et D Villee O., 1964.** Besoin en eau de l'olivier et action de l'irrigation sur la production, influence de la salure. *Bull. Information oléicoles internationales*, n°27, 11-26
- 501) **Vernet A et Mousset P., 1964.** « Ecologie de l'olivier. Alimentation en eau. *Bulletin de l'ENSAT* (Tunisie), n°3, 17-42.
- 502) **Villemur P and Delmas., 1978.** Croissance, Développement et Alternance de Production Chez l'Olivier. Séminaire International sur l'Olivier et Autres Plantes Oléagineuses Cultivées en Tunisie, Mahdia, 37p.
- 503) **Villemur P., Musho S.U., Nseir S.M et Delmas J.M., 1978.** Variabilité de production chez l'olivier, improductivité et alternance. Note interne INRA Montpellier, 27p.
- 504) **Vossen P., 1992.** Forecasting national crop yields of EC countries: the approach developed by the Agriculture Project: Pages 159-176 in Proceedings of the Second Conference on The Application of Remote Sensing to Agricultural Statistics, Belgirate, Italy. Publication EUR 14262 EN of the Office for Official Publications of the EC, Luxembourg.

- 505) **Wakrim R., Wahbi S., Tahiri H., Aganchich B et Serraj R., 2005.** Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Sci. Hort.* 109, 113–11
- 506) **Wani S.P., Dixon Y., Li Z., Dar W.D., and Chander G., 2012.** Enhancing agricultural productivity and rural incomes through sustainable use of natural resources in the Semi Arid Tropics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(5), 1054–1063. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4721>
- 507) **Weiyang X., D. Mingquan and Y et Ning ., 1998.** Studio delle regioni olivicoltive all'olivicultura. *Olivae*, 70, 19-31.
- 508) **Williamson T.B., Colombo S.J., Duinker P.N., Gray P.A., Hennessey R.J., Houle D., Johnston M.H., Ogden A.E., and Spittlehouse D.L., 2009.** Climate change and Canada's forests: from impacts to adaptation. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alta., and Sustain. For. Manag. Netw., Univ. Alberta, Edmonton, Alta. 104 p. Available from <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/29616.pdf> [accessed February 2013].
- 509) **Wilcox A.C., Connor J.E.O and Major J., 2014.** Rapid reservoir erosion, hyper concentrated flow, and downstream deposition triggered by breaching of 38 m tall Condit Dam, White Salmon River, Washington, *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, 119, 1376–1394, doi:10.1002/2013JF003073
- 510) **Jia X., Scherer T., Lin D., Zhang X., Rijal, 2013.** Comparaison des calculs d'évapotranspiration de référence pour le sud-est du Dakota du Nord Irrigé. *Vidange. Système. Ing.*, 2, p. 112
- 511) **Xiolyannis C., Dichio B., Nuzzo V and Celano G., 1996.** L'olivo : piante sempreverdi per la sua capacità di resistenza in condizioni di estrema siccità. *Seminari di Olivicoltura*. Spoleto, Italia, 79-111.
- 512) **XU C.Y et Singh., 1998.** Comparaison croisée d'équations empiriques pour calculer l'évapotranspiration potentielle avec des données provenant de Suisse.
- 513) **XU C.Y et Singh V.P., 2001.** Évaluation et généralisation des méthodes basées sur la température pour calculer l'évaporation. *Hydrological process*. Tome 15, n°2, 305-319
- 514) **Tramblay Y., El Adlouni S and Servat E., 2013.** Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 3235–3248, 2013
- 515) **Yang J., Zhang H., Jia J., Zhang X., Zhong M et Ouyang Z., 2018.** Anti reflection Surfaces for Biological Analysis Using Laser Desorption Ionization Mass Spectrometry. *Science partner journal*, vol 2018 n° 5439729. DOI : 10.1155/2018/5439729
- 516) **Yankovich L et Berthelot P., 1997.** Rapport sur l'enracinement de l'olivier et des arbres fruitiers en Tunisie. *Ann. Serv. Botan. Agro. Tunisie*, 20: 109-176
- 517) **Yapo A.L.M., Diawara A., Kouassi B.K., Yoroba F., Sylla M.B., Kouadio K., Tiémoko D.T., Koné, D.I., Akobé, E.Y et Yao K.P.A.T., 2020.** Projected changes in extreme precipitation intensity and dry spell length in Côte d'Ivoire under future climates. *Theoretical and Applied Climatology*. DOI: 10.1007/s00704-020-03124-4.

- 518) Yuan, Y., Zhang K., Rohm W., Choy S., Norman R., and Wang C.S., 2014. Real-time retrieval of precipitable water vapor from GPS precise point positioning, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, doi:10.1002/2014JD021486
- 519) Zhanga L., Gua L., Ringler P., Smitha S., Rushtonb P et Shena Q., 2015. Three WRKY transcription factors additively repress abscisic acid and gibberellin signaling in aleurone cells. *Plant Science*, 236 (2015) 214–222
- 520) Zarco-Tejada P.J., Morales A., Testi L and Villalobos F.J., 2013. Spatio-temporal patterns of chlorophyll fluorescence and physiological and structural indices acquired from hyperspectral imagery as compared with carbon fluxes measured with eddy covariance. *Remote Sensing of Environment* 133, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.003>
- 521) Zarco-Tejada P.J., 2003. Detection of symptoms induced by vascular plant pathogens in tree crops using high-resolution satellite data: Modelling and assessment with airborne hyper spectral imagery
- 522) Zarrad T., 1994. Le développement agro – alimentaire de la Tunisie
- 523) Zhao L., Wang J., Zhou J., Liu L., Du G et Chen J., 2011. [Modification of carbon flux in *Sacchomyces cerevisiae* to improve L-lactic acid production]. *Wei Sheng Wu Xue Bao* 51(1):50-8
- 524) Zittis G., Hadjinicolou P., Klanjidou M., Proestos Y and Lelieved J., 2019. A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean, *Regional Environmental Change*, vol 19, pp. 2621–2635.

## Webographie

- 1) <https://www.intelligence-airbusds.com/fr/5114-commander>
- 2) <https://www.intelligence-airbusds.com/fr/5114-commande>
- 3) <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- 4) <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- 5) <https://doi.org/10.4000/mediterranee.8516>
- 6) <https://doi.org/10.1002/qj.200>
- 7) <http://www.statcan.ca/francais>
- 8) <http://www.statcan.ca/francais>
- 9) <http://journals.openedition.org/confins/11701>

## Abréviations

- AnnualRX5:** Annual max 5-day precipitation amount.
- ASTER:** Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer  
Atmosphérique
- BERD:** European Bank for Reconstruction and Development
- CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de Calcium
- CAH :** Classification Ascendante Hiérarchique
- CCNUCC :** Convention Cadres des Nations Unies des Changements Climatiques
- CDD :** Consecutive dry days
- CES :** Conservation des Eaux et des Sols
- CIHEAM :** Centre International des Hautes Etudes agronomiques
- CITEPA :** Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution  
climatiques
- COI:** Conseil International d'Olives
- CRDA :** Commissariat Régional du Développement Agricole.  
Culture
- CWD:**Consecutiverainydays
- DGAT :** Direction générale de l'aménagement de territoire.
- DGRE :** Direction générale des ressources en eau
- EPICA:** European Project for Ice Coring in Antarctica
- ES :**Echantillon du Sol
- ETCCDMI:**Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices
- ETP:** Evapotranspiration  
European regions
- FAO:** Food and agriculture organization
- GEOBIA:** Geographic Object-Based Image Analysis
- GES :** Gaz à effet de serre
- GIEC:**Grouped'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
- GTZ:** InternationaleZusammenarbeit GmbH
- HPEs:** Heavy Precipitating Events
- IDC :** Irrigation Déficitaire Continue
- INM :** Institut National de Météorologie
- INS :** Institut national de la statistique
- IPCC :** IntergouvernementalPannel on Changement Climatique

**MA:** Ministère d'Agriculture

**MALE :** Ministère des Affaires locales et de l'Environnement

**MARH :** Ministère de l'Agriculture , des Ressources Hydrauliques et de la Pêche

**MARHP :** Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche

**MDDEP :** Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs

**MEAT :** Ministère d'Environnement et d'Aménagement du Territoire

**MEATDD :** Ministère d'équipement et d'aménagement du territoire et du développement durable

**MGCTI :** Méthode Graphique Chronologique de Traitement de l'Information

**MNT :** Modèle Numérique du Terrain

**NDRE:**Indice de différence normalisé rededge

**NDVI :** Indice de Végétation par Différence Normalisée

**OMM:**Organisation Mondiale de la Météorologie

**ONA :** Observatoire National de l'Agriculture

**ONH :** Office National de l'Huile

**ONIGC :** Ordre National des Ingénieurs Génie Civils

**OTD :** Office des Terres Domaniales

**OXFAM:** Oxford Committee for Relief Famine

**PAM :** Gestion des accès privilégiés  
Parcs

**PCI :** Indice de concentration des pluies

**PIR :** Proche Infrarouge

**PNAS:** Proceedings of the national academy of sciences

**PNUE :** Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**PVI :** Indice perpendiculaire de végétation

**R :** Rouge

**r10:** Heavy precipitation days

**r20:** Very Heavy precipitation days

**r25:** Very Heavy precipitation days

**RCP :** Plateforme de Collaboration Régionale

**SAAECC :** Stratégie d'adaptation de l'agriculture aux effets des changements

**SAVI :** Soil-Adjusted Vegetation Index

**SDII:** Simple daily intensity index

**SIEE :** Société de l'Ingénierie de l'Environnement et de l'Energie

**SNCC :** Stratégie Nationale sur le Changement Climatique

**SP :** Seuil des Précipitations

**SPI :** Standardized Precipitation Index

**STAR-DEX:** Statical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for

**TRMM** : Tropical Rainfall Measuring Mission

**TSAVI**: Transformed Soil Adjusted Vegetation Index

**TVDI** : Indice de Sécheresse de la Température et de la Végétation

**UMK**: Coefficient statistique de Mann Kendal

**UNCCC** : Unité Nationale de Coordination sur les changements climatiques

**UNEP** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**UNEP**:Programme des Nations Unies pour l'environnement

**UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la

**VCI** : Indice de Condition de la Végétation

**VHR** : Very High Resolution

**WDI** : Indice de Déficit Hydrique

## Liste des figures

Figure I.1 : Organigramme de l'effet du climat sur la production oléicole selon les sources bibliographiques.....	30
Figure II.1 : Carte de la localisation de la délégation de Menzel Chaker .....	51
Figure II.2 : Répartition de l'olivier conduit en pluvial dans la délégation de menzel Chaker (travail personnel à partir d'images Google Earth, 2020 et CRDA).....	52
Figure II.3: Répartition de l'olivier conduit en pluvial selon le nombre de pieds par secteur. 3	
Figure II.4 : Répartition de l'olivier conduit en irrigué dans la délégation de Menzel chaker( <i>source, digitalisation sur Google Earth, 2020</i> ).....	54
Figure II.5 : Modèle Numérique du Terrain de la délégation de Menzel Chaker ( <i>source, SRTM</i> ) .....	55
Figure II.6 : Diagramme ombrothermique à Sfax ( <i>période 1990-2020, données INM</i> ).....	56
Figure II.7 : Répartition interannuelle des totaux pluviométriques à Sfax entre 1976 et 2020 ( <i>données INM</i> ).....	56
Figure II.8: Totaux pluviométriques saisonniers (mm) et leurs coefficients de variation (%) ( <i>période 1976-2020, données INM</i> ).....	57
Figure II.10 : Répartition mensuelle des températures minimales (tm) et maximales (Tm) à Sfax ( <i>période moyenne 1990-2020, données INM</i> ).....	59
Figure II.11 : Répartition interannuelle des températures minimales (tm) et maximales (Tm) à Sfax ( <i>période 1990-2020, données INM</i> ). .....	60
Figure II.12 : Carte du réseau hydrographique de la délégation de Menzel Chaker ( <i>source, CRDA</i> ) .....	61
Figure II.13 : Carte pédologique de la délégation de Menzel Chaker ( <i>source, CRDA</i> ) .....	63
Figure II.14 : Carte de l'occupation du sol de la délégation de Menzel Chaker ( <i>source, CRDA, 2014</i> ) .....	64
Figure II.15: Répartition des occupés de la tranche d'âge supérieure ou égale à 15 ans selon le secteur d'activité (RGPH, 2014).....	65
Figure III.1: Localisation des stations météorologiques et des postes pluviométriques de la zone d'étude.....	67
Figure III.2 : L'installation, l'enregistrement et l'entretien des trois stations Davis (A : Elhajkacem, B : Bouthadi, C : Bouzouita)( <i>cliché personnel</i> ) .....	71

Figure III.3 : Photos illustrant les enquêtes auprès des agriculteurs (A : avec un ouvrier agricole qualifié en olivier en pluvial, B : avec un technicien dans une ferme privée, C : avec un responsable agricole dans une ferme privée) ( <i>cliché personnel</i> ) .....	75
Figure VIII.4 : Classification des enquêtés selon les tranches d'âges, source, enquête du terrain). .....	76
Figure VIII.5 : Classification des enquêtés selon le niveau d'étude, source, enquête du terrain) .....	76
Figure III.6: Sorties d'étude et observation du terrain ( <i>cliché personnel</i> ) .....	78
Figure III.7 : photos illustrant les analyses du sol au laboratoire de traitement des sols à PRODIG ( <i>Clichés personnels</i> ) .....	79
Figure IV.1 : Carte Du Modèle Numérique du Terrain (MNT) de la région de Sfax et la localisation des postes pluviométriques et des stations météorologiques ( <i>source, SRTM</i> ) ...	86
Figure IV. 2 : Répartition des cumuls pluviométriques annuels selon les seuils quintiles ( <i>données INM ; 1976-2019</i> ).....	87
Figure IV.3 : Variabilité spatiotemporelle des cumuls pluviométriques annuels (année hydrologique) dans la région de Sfax ( <i>données, INM et DGRE ; 1976-2019</i> ) .....	89
Figure IV.4 : Variation interannuelle (année hydrologique) du nombre de jours cumulant 50% du total pluviométrique annuel moyen dans les 7 stations. ( <i>Données, INM et DGRE ; 1976-2019</i> )	
Figure IV.5 : Classification ascendante hiérarchique des stations pluviométriques étudiées selon les cumuls pluviométriques annuels. ( <i>données INM ; 1976-2019</i> ) .....	93
Figure IV.6 : Concentrations annuelles des précipitations de sept stations pluviométriques dans la région de Sfax ( <i>donnée INM, 1976-2019</i> ) .....	94
Figure IV.7 : Classification ascendante hiérarchique des précipitations mensuelles .....	95
Figure IV.8 : Anomalies du total pluviométrique mensuel (Elhencha, septembre et octobre ; Sfax, octobre et décembre ; Dune de salinité, octobre et janvier) .....	97
Figure IV.9 : Tests de tendances de Mann-Kendall / Tests bilatéraux : a= Elhencha, b= Borj la Marne, c= Dune de salinité ( <i>Données, INM, 1976-2019</i> ).....	8
Figure IV.10 : Diagrammes ombrothermiques des stations qui ont connu un changement de position au niveau de la fréquence des mois les plus pluvieux (a= période 1976-1995, b= période 1996-2019, <i>données INM</i> ) .....	101
Figure IV.11. Variabilité spatiotemporelle de l'écart à la moyenne mensuel en mois de septembre dans la région de Sfax ( <i>données, INM et DGRE ; 1976-2019</i> ) .....	102

Figure V.1: (A= Zoom de répartition spatiale de le NDVI à Bouthadi ; B= Couverture herbacée suite aux pluies de mars 2022 ; C= Répartition de le NDVI dans la délégation de Menzel Chaker suite aux pluies de mars 2022).....	107
Figure V.2 : Les eaux retenues par les banquettes suite à l'orage ponctuel qu'a connu MejelEdarj le 11/05/2022 ( <i>Cliché personnel</i> ).....	108
Figure V.3 : (A= Répartition de le NDVI dans la délégation de Menzel Chaker suite aux pluies de mars 2022 ; B= Zoom de la répartition spatiale de le NDVI à Bouthadi ; C= Couverture herbacée suite aux pluies de 11 mai 2022).....	109
Figure V.4 : Pluies orageuses le 25/05/2023 à Elhencha( <i>Cliché personnel</i> ) .....	110
Figure V.5: L'état de l'olivier après les pluies orageuses le 25 mai 2023 à Elhencha ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	110
Figure V.6 : (a) Caractéristiques statistiques du nombre total des jours secs consécutifs annuels. (b) Caractéristiques statistiques de la durée maximale des séquences de sécheresse intra annuelles. ....	111
Figure V.7. Totaux annuels de l'ETP (source, données Davis) .....	114
Figure V.8. Totaux mensuels moyens de l'ETP (a=2021, b=2022), (source, Données Davis) .....	114
Figure V.9. Totaux mensuels moyens de l'E.T.P et les températures moyennes mensuelles (a=2021, b=2022), (source, Données Davis) .....	115
Figure V.10. Températures maximales et minimales des stations de Bouzouita, Bouthadi et Sfax (aéroport) en 2021 et 2022 (source, Données INM et Davis) .....	116
Figure V.11. Températures maximales, minimales et moyennes des stations de Bouzouita, Bouthadi et Sfax (a=2021, b=2022) (données, INM et Davis) .....	118
Figure V.12. Températures mensuelles moyennes des stations de Bouzouita, Bouthadi et Sfax en 2021 et 2022, (a=2021, b=2022), source, données INM et Davis) .....	120
Figure V.13. Variabilité spatiotemporelle de la vitesse moyenne mensuelle du vent maximal aux stations de Bouzouita et Bouthadi (Données Davis, 2021 et 2022) .....	121
Figure V.14. Roses des vents mensuelles moyennes par tranches de vitesses en 2021-2022 (1= Bouzouita et 2=Bouthadi; les vitesses sont exprimées en m/s et les observations horaires sont représentées en %).(Ja :janvier ; F : février ; M : mars ; A : avril ; Ma : mai ; J : Juillet ; Aa :aout) .....	125
Figure VI.1 : VI.2. Evolution des écarts entre production simulée et observé dans la délégation de Menzel Chaker (modèle1).....	131

Figure VI.2 : Evolution des écarts entre production simulée et observé dans la délégation de Menzel Chaker (modèle1).....	134
FigureVI.3: Croisement entre les précipitations annuelles (n-1), annuelles (n-1+ 2mois) et celles décisives avec la production annuelle de la délégation de Menzel Chaker entre 1994/1995 et 2022/2023.....	138
FigureVI.4 : La synthèse de l'effet de divers paramètres climatiques sur la production oléicole entre 1994/1995 et 2022/2023.....	140
FigureVI.5 : Production oléicole et nombre des jours secs durant trois ans qui précèdent l'année de production ( <i>données CRDA et DGRE, 2023</i> ).....	141
Figure VI.6 : Le rôle important de la banquette dans l'amélioration de l'état de l'olivier et sa production .....	143
Figure VI. 7 : Accumulation éolienne du sable dans la couche superficielle du sol .....	143
Figure VI.8 : rajeunissement des vieilles arbres d'oliviers à travers une taille aigu (cliché personnel).....	14
FigureVI.9 : Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles et celles de 14 mois et des productions oléicoles moyennes par mille individus entre 2011/2012 et 2020/2021( <i>données issues de CRDA Sfax et Municipalité de Sfax</i> ).....	145
FigureVI.10 : Répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles entre 2011/2012 et 2020/2021 dans la délégation de Menzel Chaker, Borj la Marne, Bechka et Essalema( <i>données issues de CRDA Sfax et Municipalité de Sfax</i> ).....	146
FigureVI.11 : Croisement des pluviométries annuelles (n-1) et celles (n-1+2 mois de septembre et d'octobre avec les productions moyennes en tonne par mille arbre de la délégation de Menzel Chaker, des complexes agricoles de Bouzouita et Essalema et la ferme de Bechka entre 2011/2012 et 2020/2021. ....	147
Figure VI.12 : Organigramme de divers paramètres climatiques sur la production oléicole	148
Figure VII.1 : Répartition géographique des sebkhat, des Garaas et les oueds qu'y convergent .....	150
Figure VII.2 : Localisation de coupes topographiques réalisées dans la délégation de Menzel chaker, ( <i>source, Google EarthPro</i> ).....	151
Figure VII.3 : Les profils topographiques effectués (l'altitude en mètre) (A : Sebkhat Bou Jmel, B : Sebkhat En Njeyla, C : Oued BirTabeg, D : HmeditElbokaaElbitha et E : Garat Bechka) ( <i>données, Google Earth Pro</i> ) .....	152
Figure VII.4 : Olivier situé à Garaa de Bechka( <i>Cliché personnel</i> ).....	153

Figure X.5 : L'accumulation de brouillard dans les dépressions ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	153
Figure VII.6 : Les plantations aux alentours des sebkats (A : olivier près de sebkhat Bou jmel, B : nouvelles plantations près de sebkhat En Njeyla) ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	154
Figure VII.7 : Le rôle important de la banquette dans la collecte des eaux ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	155
Figure VII.8 : Individus d'olivier situés à Hamada en mauvais état ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	155
Fig VII.9 : Sols soumis sous l'érosion hydrique ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	156
VII.10: Localisation des échantillons des sols analysés .....	157
Figure VII.11 : Etat de l'olivier janvier 2022 (A : Menzel Chaker ouest, B : Chieieb nord, C : Agarba) ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	158
Figure VII.12 : Etat de l'olivier en mars 2022 (A : Choucha, B : Chieieb sud, C : Essaada) ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	159
Figure VII.13 : Résultats de l'analyse granulométrique des sols de différents échantillons..	160
Figure VII.14 : Olivier en bon état poussant sur un sol sableux ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	161
Figure VII.15: Olivier poussant sur un sol caillouteux à Elhajkacem( <i>Cliché personnel</i> ).....	162
Figure VII.16 : Productivité de l'olivier en fonction de l'âge selon la perception des agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	162
Figure VII.17 : Résistance de l'olivier d'Elhajkacem pendant les périodes sèches ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	163
Figure VII.18 : Les maladies affectant l'olivier selon la perception des agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	164
Figure VII.19: Maladie de bois affectant le tronc de l'arbre ( <i>Cliché personnel</i> ).....	164
Figure VII.20 : A= Dessèchement partiel des organes suite à la maladie de bois ; B= Etat du tronc soigné de la maladie de tabrouma à l'aide du feu ( <i>Cliché personnel</i> ).....	165
Figure VII.21 : L'effet du vent de l'est sur l'olivier selon la perception des agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	166
Figure VII.22 : Dessèchement total de l'arbre suite à un coup de foudre violent ( <i>Cliché personnel</i> ).....	168
Figure VIII.1 : Outil traditionnel de laboure nommé « m'hacha » et utilisé en saison estivale ( <i>Cliché personnel</i> ).....	169
Figure VIII.2 : Nombre annuel et types des labours pratiqués par les agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ).....	170
Figure VIII.3 : Les dates de labours effectuées par les agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	171

Figure VIII.4: A= Scie traditionnelle utilisée pour la taille de l'olivier ; B= Taille de l'olivier pour la réduction du bois et l'exposition des rameaux au soleil. ....	171
Figure VIII.5 : Date et degré de la taille suivant les agriculteurs enquêtés ( <i>Source, enquête du terrain</i> ).....	172
Figure VIII.6 : Hétérogénéité de l'état de l'arbre : Dessèchement de la partie non exposée à la lumière contre un état normal pour celle exposée et située à coté de la banquette ( <i>Cliché personnel</i> ). ....	172
Figure VIII.7 : La préparation de la fumure dans les parcelles avant de son utilisation ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	173
Figure VIII.8 : Un tranché de fertilisation du sol de la partie Est de l'olivier ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	174
Figure VIII.9 : Types des fertilisants utilisés et fréquence de son utilisation ( <i>Source, enquête du terrain</i> ) .....	174
Figure VIII.10: Fertilisation par margine (A : fertilisation avec une dose quantifiée, B : Surdosage de fertilisation) .....	175
Figure VIII.11 : Les saisons durant lesquels se fait la fertilisation ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	176
Figure VIII.12 : L'état de l'olivier après la sécheresse de 2021 ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	177
Figure VIII.13 : L'impact de l'arrosage de sauvetage sur l'olivier après la sécheresse de 2021 et le taux de la production oléicole par rapport à la normale ( <i>source, enquête du terrain</i> )....	178
Figure VIII.14: Olivier en bon état bénéficiant de l'effet conjugué des facteurs physiques, climatiques et anthropiques ( <i>Cliché personnel</i> ) .....	179
Figure VIII.15 : Evolution de la production oléicole annuelle de Henchir Abid entre 2003/2004 et 2021/2022 .....	180
Figure VIII.16 : La perception des agriculteurs envers les pluies optimales pour l'olivier ( <i>source, enquête du terrain</i> ).....	181
Figure VIII.17 : Les impacts du brouillard sur l'olivier selon la perception des agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	182
Figure VIII.18 : L'effet de sirocco selon la perception des agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ).....	183
Figure VIII.19 : L'effet du froid hivernal sur l'olivier selon la perception des agriculteurs ( <i>source, enquête du terrain</i> ) .....	183

Figure VIII.20 : L'effet des vents forts sur l'olivier selon la perception des agriculteurs  
(source enquête du terrain) .....184

## Liste des tableaux

Tableau II.1 : Répartition de la superficie et du nombre par secteur d'olivier ( <i>source CRDA, 2020</i> ) .....	52
Table II.2 : Exploitations et nombre des puits en 2011 (CRDA, 2020).....	62
Tableau III.1 : Localisation géographique et caractéristiques des stations pluviométriques( <i>Données, Google Earth Pro</i> ) .....	66
Tableau III.2 : Distribution et qualification des cumuls pluviométriques annuels selon les quintiles.....	68
Tableau III. 3 : Définition des indices des extrêmes pluviométriques. ( <i>Source: OMM</i> )....	68
Tableau III. 4: Période utilisée pour la corrélation des données pluviométriques avec les données de la production (l'exemple de la récolte de 2003/2004).....	74
Tableau III.4 : La disponibilité des images de très haute résolution par rapport à notre zone d'étude au niveau temporel et spatial ( <a href="https://www.intelligence-airbusds.com/fr/5114-commander">https://www.intelligence-airbusds.com/fr/5114-commander</a> ) .....	80
Tableau IV.5 : Résultats des tests de rupture à (significative en gras).....	80
Tableau IV.6 : Résultats des tests de rupture (significative en gras) .....	98
Tableau IV.4 : Fréquence du mois le plus pluvieux durant la période 1976-2019 et les sous périodes 1976-1995 et 1996-2019 ( <i>en nombre d'années, données pluviométriques INM et DGRE</i> ).....	100
Tableau V.1 : Répartition spatiotemporelles des pluies journalières entre 19/03 et 21/03 et les totaux pluviométriques du mois de mars 2022.....	106
Tableau V.2 : Répartition spatiotemporelles des pluies journalières entre 10/05 et 11/05 et des totaux pluviométriques du mois de mai 2022.....	109
Tableau VI.1 : Corrélation entre production et pluviométries dans la région de Menzel Chaker (1994/1995 et 2019/2020), en gras : Significatif.....	130
Tableau VI.2 : Corrélation entre production et de divers paramètres climatiques dans la région de Menzel Chaker (1994/1995 et 2019/2023), en gras : Significatif.....	132
Tableau VII.1: Les échantillons du sol nommés, codés, numérotés et géo référenciés ( <i>données Google Earth Pro</i> ) .....	157

Tableau VII.2 : Résultats des analyses de calcimétrie du sol et sa PH.....	159
Tableau VII.3: Résultat de l'analyse granulométrique du sol .....	159

## Table des matieres

INTRODUCTION GENERALE.....	8
<u>Première partie : Etat de l’art, cadre de l’étude, données et approches méthodologiques.....</u>	<u>18</u>
<u>PREMIER CHAPITRE : ETAT DE L’ART.....</u>	<u>18</u>
I.1 L’oléiculture.....	18
I.1.1 Répartition géographique, origine et distribution .....	18
I.1.1.1 Répartition dans le monde .....	18
I.1.1.2 Répartition en Méditerranée .....	19
I.1.1.3 Répartition en Tunisie.....	20
I.1.2 Exigences de l’olivier.....	21
I.1.2.1 Exigences climatiques.....	21
I.1.2.2 Exigences pédologiques.....	23
I.1.3 Les structures de l’olivier.....	24
I.1.3.1 Structures végétatives.....	25
I.1.3.2 Structures productives.....	25
I.1.4.Mécanismes d’adaptation de l’olivier à l’environnement .....	27
I.1.4.1 Régulation stomatique .....	27
I.1.4.2 Rôle du système racinaire.....	28
I.1.4.3 Abaissement du potentiel hydrique .....	29
I.1.4.4 Stratégies d’adaptation à la réponse au stress salin .....	29
I.1.4.5 Autres adaptations morphologiques.....	29
I.1.5 Cycle biologique.....	30
I.2 Télédétection et suivi de la végétation .....	31
I.2.1 Images satellitaires pour le suivi de la végétation .....	31
I.2.2 Les indices de végétation.....	32
I.2.3 Télédétection et étude du topo et microclimat .....	34
I.2.4. Prévision des productions à partir des modèles agro météorologiques.....	34
I.3 Changements climatiques .....	35
I.3.1 Changements climatiques et tendances actuelles et futurs .....	35
I.3.1.1 Définition des changements climatiques.....	35
I.3.2 Changements climatiques actuels et futurs .....	36
I.3.2.1 A l’échelle globale .....	37
I.3.3 Impacts des changements climatiques actuels et futurs sur l’agriculture .....	42

I.3.4 Stratégies d'adaptation tunisienne face aux changements climatiques en agriculture et en secteur oléicole.....	45
I.3.4.1 Stratégies d'adaptation en agriculture.....	45
I.3.4.2 Stratégies d'adaptation en oléiculture .....	47
<u>DEUXIEME CHAPITRE : CADRE DE L'ETUDE.....</u>	<u>49</u>
II.1 Cadre naturel et humain.....	50
II.1.1 Cadre naturel .....	50
II.1.1.1. Localisation.....	50
II.1.2 Répartition géographique de l'olivier conduit en pluvial et celui conduit en irrigué....	51
II.1.3 Topographie, géologie et géomorphologie .....	54
II.1.4 Climat.....	55
II.1.4.1 Précipitations .....	56
II.1.4.2 Pression atmosphériques et vents .....	58
II.1.4.3 Températures, insolation, humidité relative et couverture nuageuse.....	59
II.1.5 Hydrographie.....	60
II.1.5.1 Réseau hydrographique .....	60
II.1.5.2 Nappes phréatiques, semi-profondes et profondes.....	61
II.1.6 Pédologie et occupation du sol.....	62
II.1.6.1 Pédologie .....	62
II.1.7 Occupation du sol.....	63
II.2 Cadre anthropique : Une société agropastorale .....	64
<u>TROISIEME CHAPITRE: APPROCHES METHODOLOGIQUES.....</u>	<u>66</u>
III.1 Données pluviométriques et méthodes utilisées pour l'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la région de Sfax .....	66
III.1.1 Données.....	66
III.1.2 Méthodes .....	66
III.2 Données des productions oléicoles annuelles croisées avec celles météorologiques (issues du réseau conventionnel et créés) .....	69
III.2.1 Données.....	69
III.2.2 Méthodes .....	72
III.3 Autres sources de données : les analyses des sols, les enquêtes, les entretiens et les observations de terrain pour déterminer les caractéristiques agronomiques, pédologiques et topographiques de la zone d'étude .....	74
III.3.1 L'enquête du terrain et les observations de terrain.....	74
III.3.2 Les entretiens.....	77
III.3.3 Les sorties de terrain .....	77
III.3.4 Les analyses du sol .....	78
III.3.5 Le modèle Numérique du terrain.....	79
III.3.6 Les images satellites .....	79
III.3.7 Les Systèmes d'Information Géographique .....	80

La deuxième partie : variabilité climatique (précipitations, sécheresse, évapotranspiration potentielle, température et vent dans la région de sfax)  
 .....84

QUATRIEME CHAPITRE : VARIABILITE SPATIOTEMPORELLE DES PRECIPITATIONS  
 DANS LA REGION DE SFAX ..... 85

IV.1 Forte variabilité spatiotemporelle des précipitations .....85

IV.1.1 Variabilité annuelle des seuils quintiles ..... 85

IV.1.2 Fréquence des cumuls pluviométriques annuels selon les seuils quintiles..... 86

IV.1.3 Classification ascendante hiérarchique annuel .....90

IV.1.4 Variabilité des concentrations annuelles des précipitations .....92

IV.2. Eventuelles ruptures .....94

IV.2.1 Tests de ruptures appliquées à la chronique 1976-2019 (test de Pettitt, test de Buishand et test de SNHT)..... 96

IV.2.2. Test des tendances : Test de tendance non paramétrique (Man Kendall) .....97

IV.2.3 Changement du régime pluviométrique mensuel .....98

CINQUIEME CHAPITRE : VARIABILITE DES ELEMENTS CLIMATIQUES : PLUIES  
 ORAGEUSES, PERIODES SECHES, EVAPOTRANSPIRATION, TEMPERATURES ET  
 VENTS .....103

V.1 Orages ponctuels : Suivi et spatialisation de leurs impacts à l'aide de la télédétection .....104

V.1.1 Formation des nuages d'orages.....104

V.1.2 Orages ponctuels enregistrés dans la zone d'étude.....105

V.1.2.1 Orage ponctuel à Bouthadi.....105

V.2 Orage ponctuel à Mejel Edarj.....106

V.2.1 Orage ponctuel à Elhencha.....108

V-2 Forte variabilité spatiotemporelle de la sécheresse .....110

V-2-1 Nombre total des jours secs consécutifs annuels.....110

V-2-2 Durée maximale des séquences de sécheresse intra annuelles.....110

V.3 ..... Evapotranspiration  
 .....111

V.3.1 Variation annuelle de l' E.T.P.....112

V.3.2 L' ETP saisonnière et mensuelle.....113

V.4 Variabilité de la température .....114

V.4.1 Variabilité interannuelle (2021-2022).....114

V.4.2 A l'échelle mensuelle.....116

V.5 Le vent .....120

V.5.2 Roses des vents mensuelles moyennes .....121

La troisième partie : les facteurs impactants la production oléicole .....127

SIXIEME CHAPITRE : PARAMETRES CLIMATIQUES IMPACTANT LA PRODUCTION  
 OLEICOLE DANS LA DELEGATION DE MENZEL CHAKER..... 128

VI.1 Variabilité temporelle de la production .....128

VI.1.1 Production oléicole et précipitations ..... 128

VI.1.1.1 Corrélation entre la production oléicole et les précipitations à différents pas de - temps : (annuelle, saisonnière, bimestrielle, mensuelle et décadaire) .....128

VI.1.1.2 Prédiction de la production avec la régression pas à pas .....129

VI.1.2 Production oléicole et facteurs climatiques..... 130

VI.1.2.1	Corrélation entre la production oléicole et les différents paramètres climatiques. ....	130
VI.1.2.2	Prédiction de la production avec la régression pas à pas .....	131
VI.1.3	Production oléicole et cumuls pluviométriques à différents pas du temps selon des scénarios de production.....	134
VI.1.4	Synthèse de la production oléicole en fonction des facteurs climatiques.....	137
VI.1.5	Relation entre la production oléicole et le nombre total des jours secs durant les trois ans qui précèdent la production .....	140
VI.2	Variabilité spatio-temporelle de la production intra délégation .....	141
<b>CHAPITRE VII : PRODUCTION OLEICOLE ET FACTEURS AUTRES QUE CLIMAT</b>		
<hr/>		
VII.1	Production oléicole et topographie .....	148
VII.2	Production oléicole et pédologie .....	155
VII.3	Production oléicole et autres facteurs .....	161
<b>CHAPITRE VIII: PRODUCTION OLEICOLE ET FACTEURS ANTHROPIQUES.....</b>		<b>197</b>
VIII.1	Les pratiques agricoles utilisées .....	167
VIII.2	La perception des agriculteurs envers le climat et son effet sur la production oléicole.....	179
Conclusions : Bilans et perspectives.....		187
Annexes .....		245

## Annexes

Annexe1 : Superficie et production oléicole dans la délégation de Menzel Chaker et le gouvernorat de Sfax

Année	Superficie oléicole de la délégation par ha	superficie oléicole du gouvernorat par ha	production/del/ft	production gouvernorat/ft
1994/1995	109277	309577	60000	114000
<b>1995/1996</b>	<b>109277</b>	<b>309000</b>	<b>70000</b>	<b>93260</b>
1996/1997	109279	310877	208400	475000
<b>1997/1998</b>	<b>109385</b>	<b>311360</b>	<b>40000</b>	<b>137500</b>
1998/1999	109577	311870	70000	360000
<b>1999/2000</b>	<b>109577</b>	<b>312417</b>	<b>159500</b>	<b>380000</b>
2000/2001	109650	312982	127500	217500
<b>2001/2002</b>	<b>113580</b>	<b>326080</b>	<b>21650</b>	<b>35000</b>
2002/2003	113600	326520	25145	75000
<b>2003/2004</b>	<b>108000</b>	<b>326080</b>	<b>180985</b>	<b>464030</b>
2004/2005	111320	328520	42935	125000
<b>2005/2006</b>	<b>111420</b>	<b>329340</b>	<b>96260</b>	<b>300000</b>
2006/2007	112000	334000	53350	210000
<b>2007/2008</b>	<b>112000</b>	<b>334000</b>	<b>108375</b>	<b>280466</b>
2008/2009	112000	334200	68000	190000
<b>2009/2010</b>	<b>112100</b>	<b>334450</b>	<b>30000</b>	<b>110300</b>
2010/2011	113600	336350	12000	70000
<b>2011/2012</b>	<b>114000</b>	<b>338600</b>	<b>104372</b>	<b>310002</b>
2012/2013	111000	340210	7780	23400
<b>2013/2014</b>	<b>111100</b>	<b>340700</b>	<b>102872</b>	<b>310000</b>
2014/2015	111270	341200	173710	522000
<b>2015/2016</b>	<b>111270</b>	<b>341200</b>	<b>20000</b>	<b>69500</b>
2016/2017	112383	347000	16400	56000
<b>202017/2018</b>	<b>113031</b>	<b>349000</b>	<b>100532</b>	<b>343500</b>
2018/2019	103745	354517	13471	46000

Annexe2 : Données générales sur l'olivier biologique dans le gouvernorat de Sfax

Délégation	Nombre total des huileries				Nombre des huileries biologiques				Superficie des oliviers biologiques (ha)			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
Sfax Medina	34	34	34	34	0	1	1	1	0	0	0	0
Sfax Ouest	11	11	11	11	0	11	10	10	0	0	0	0
Sekit Ezit	45	45	45	45	0	1	0		0	0	0	0
Sekit Edayer	35	35	35	35	1	2	2	2	0	0	0	0
Sfax Sud	75	75	75	75	6	1	1	1	0	0	0	0
Tina	4	4	4	4	1	1	1	1	0	0	0	0
Aguerb	13	13	13	13	1	1	1	2	1377	1633	1763	1763
Jebiriana	36	36	36	36	0	0	0		0	0	0	0
Amera	12	12	12	12	0	0	0		0	0	0	0
Hancha	8	8	8	8	0	0	1	1	722	290	90	90
Menzel Chaker	17	17	17	17	2	8	4	13	13701	13746	12690	17360
Ghraiba	10	10	10	10	0	1	0	1	851	851	1011	1011
Bir Ali	12	12	12	12	0	0	0	6	715	2049	1249	5244
Skhira	3	3	3	3	0	0	0		0	0	0	0
Maheres	30	30	30	30	1	1	2	2	9093	9114	9134	9134
Kerkenah	1	1	1	1	0	0	0		0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>346</b>	<b>346</b>	<b>346</b>	<b>346</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>40</b>	<b>26459</b>	<b>27683</b>	<b>25937</b>	<b>34602</b>

Annexe3 : Superficie et nombre d'oliviers plantés et existés dans les fermes du complexe de Bouzouita (en vert : fermes appartiennent administrativement à la délégation de Menzel Chaker ; en gris : fermes appartiennent administrativement aux autres délégations)

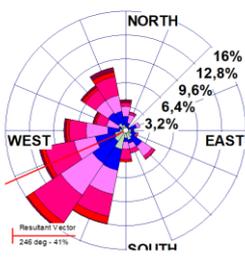
<b>Fermes</b>	<b>Superficies (Ha)</b>	<b>Nb pieds planté</b>	<b>Nb pieds existant</b>
<b>Bouzouita</b>	837	16758	16567
<b>Intilaka</b>	934	18848	18810
<b>Medellia</b>	699	14568	14563
<b>Zitouna</b>	1057	19565	18698
<b>Bir Tabeg</b>	1397	20753	20527
<b>Boughrara</b>	776	16914	16646
<b>Agair</b>	1866	35243	32378
<b>Récifa</b>	1265	27935	20055
<b>Dokhane</b>	1469	27308	27257
<b>kassas</b>	706	19785	19554
<b>TOTAL</b>	<b>11006</b>	<b>217677</b>	<b>205055</b>

Annexe4 : Précipitations annuelles dans les fermes du complexe agricole de Bouzouita entre 2018/2019 et 2021/2022 (données manquantes en 2020/2021 à l'exception de la ferme de Bouzouita)

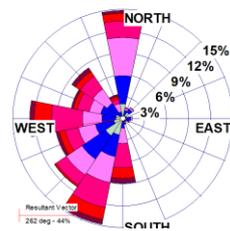
<b>Années/fermes</b>	<b>2018/19</b>	<b>2019/20</b>	<b>2020/21</b>	<b>2021/22</b>
<b>Agayer</b>	192	305		242
<b>Boughrara</b>	229	363		151
<b>Bir ettabig</b>	328	412		167
<b>Medaliya</b>	303	339		150
<b>Zitouna</b>	247	339		180
<b>Intilaka</b>	228	338		128
<b>Bouzouita</b>	238	325	308	129

Annexe5 : Roses des vents mensuelles maximales par tranches de vitesses en 2021-2022 (1= Bouzouita et 2= Bouthadi; les vitesses sont exprimées en m/s et les observations horaires sont représentées en %).

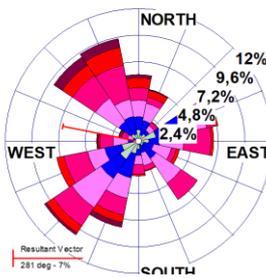
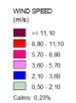
(Ja : janvier ; F : février ; M : mars ; A : avril ; Ma : mai ; J : Juin ; Ju : Juillet ; Aa : aout)



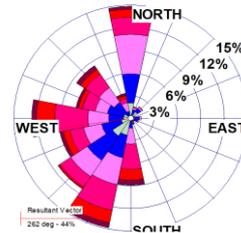
Ja1



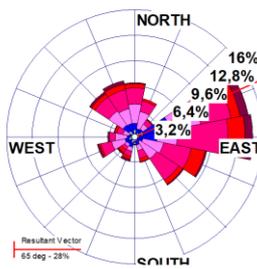
Ja2



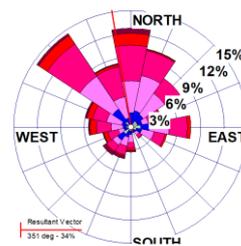
F1



F2

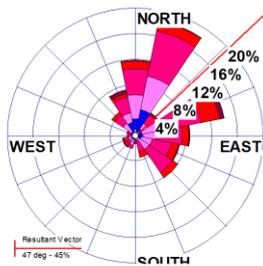


M1

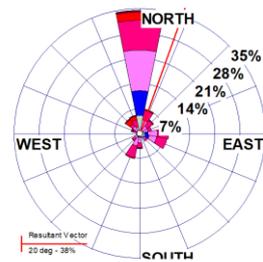


M2

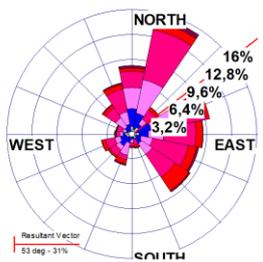
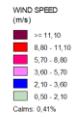




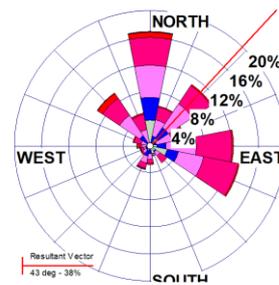
A1



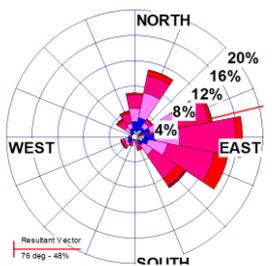
A2



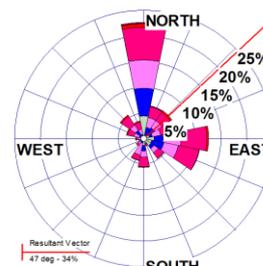
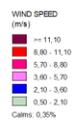
Ma1



Ma2

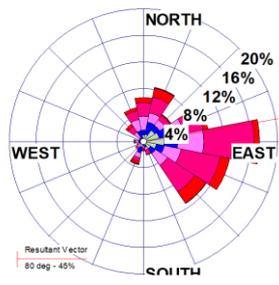


J1

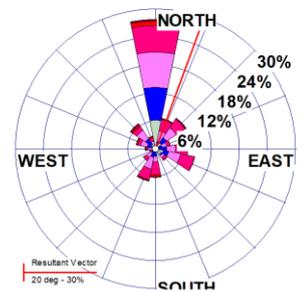
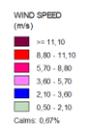


J2

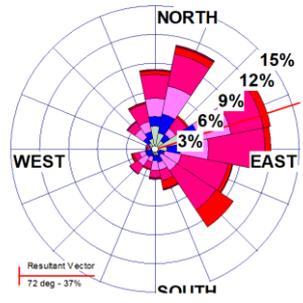




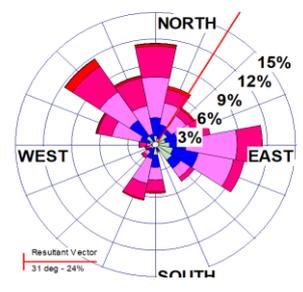
Jul



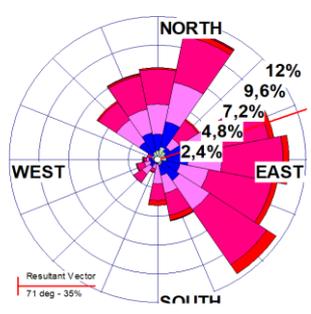
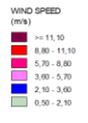
Ju2



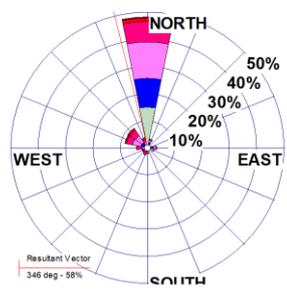
Aa1



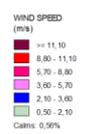
Aa2

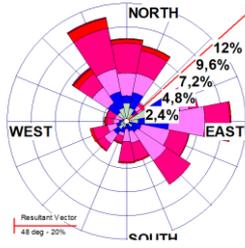


S1

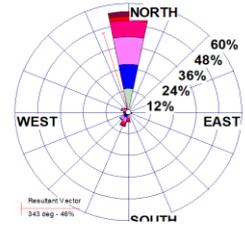


S2

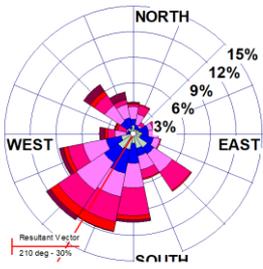




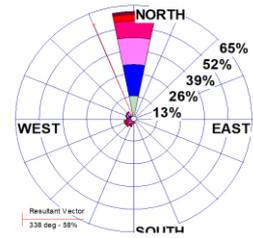
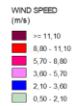
O1



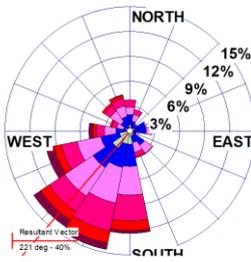
O2



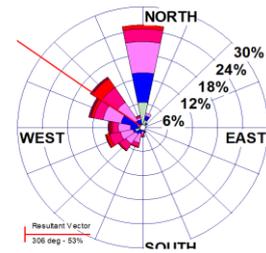
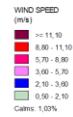
N1



N2



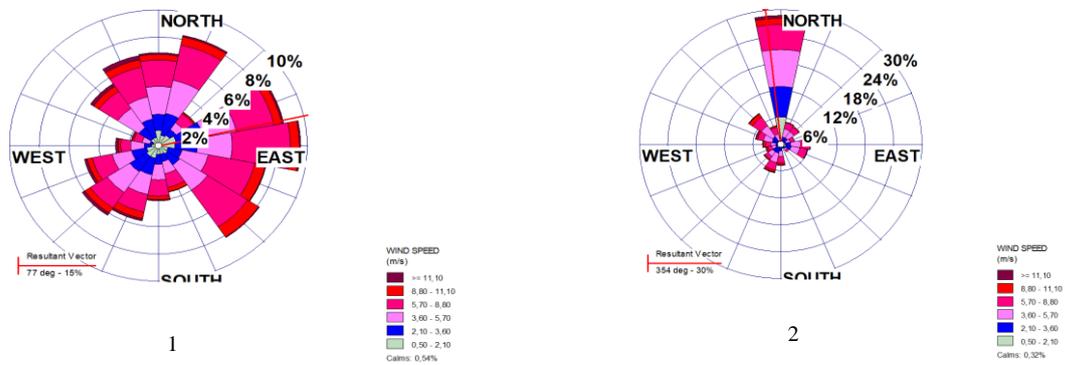
D1



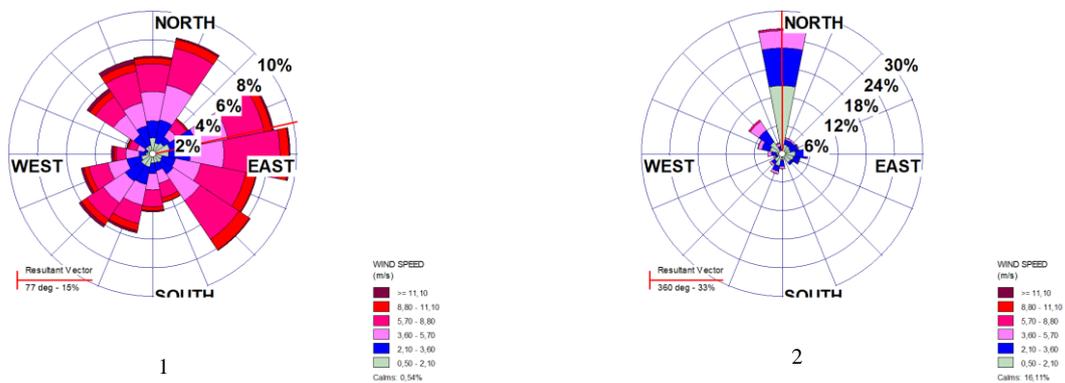
D2



Annexe 6 : Roses des vents annuelles moyennes par tranches de vitesses en 2021-2022 (1= Bouzouita et 2= Bouthadi; les vitesses sont exprimées en m/s et les observations horaires sont représentées en %).



Annexe 7 : Roses des vents annuelles maximales par tranches de vitesses en 2021-2022 (1= Bouzouita et 2=Bouthadi; les vitesses sont exprimées en m/s et les observations horaires sont représentées en %).



## Enquête auprès des agriculteurs de la délégation de Menzel Chaker

### Informations générales

-Genre : Homme  Femme

- Age : <35  35-40  45-60  >60

- Niveau d'étude :

Analphabète  Primaire  collège  supérieur

Secteur :

Menzel

Chaker  Elhaj

Kacem  TlilElajla  Bouthadi  Aouedna  Elachach  MejelEdarj  Birelmallouli  Boujarboue  Elboka  
aElbidha  Chieleb

- Catégorie socioprofessionnelle :

Propriétaire  Investisseur  Locateur  Ouvrier agricole

Procurateur

- Avez-vous une formation agricole ? oui  non

Si oui, dans quel(s) domaine (s)

---

### Structures foncières et modes d'exploitation :

- Taille de la parcelle : < 5 ha  5-10 ha  10-20 ha  > 20 ha

Type des plantations : Olivier uniquement  Olivier + arbres fruitier  Olivier + maraichères

Olivier + maraichères+ arbres fruitiers

- L'alimentation en eau :

Mode de conduite : Pluviale  irriguée

Si irrigué, quelle source vous utilisez ?

Puits traditionnels  Sondage  Citernes

Typologie :

Irrigué extensif  irrigué intensif  irrigué hyper intensif

- Méthode d'irrigation : Pulvérisateur  Goutte à goutte  Tuyau en plastique

Système d'irrigation : Automatique  Manuel

Est-ce que l'irrigation se fait d'une manière continue ? Oui  non

Si non, est ce qu'elle se fait d'une manière journalière  décadaire  mensuelle  saisonnière   
en cas de stress hydrique

Considérez vous que les évènements climatiques de l'été 2021 sont exceptionnels ?  
oui  non

Si oui, avez-vous arrosé l'olivier conduit en pluvial en cas des sécheresses aigues comme celle enregistrées cette année? Oui  Non

Si oui, combien de fois et quand ?.....

Avez-vous observé après les pluies une différence entre l'olivier conduit en irrigué et celui en pluvial ?.....

Quel est le pourcentage de la production de cette année par rapport à la moyenne des années « on » ?.....

Quels est l'état de la végétation suite à ces anomalies ? Normal  mauvais  catastrophique

Quels sont les meilleurs emplacements géographiques dans les quels l'olivier à résisté au stress hydrique? A proximité des cours d'eau  à proximité des banquettes  dans des dépressions  les sols sableux  les sols sablo-limoneux

Remarquez-vous une disparité spatiale de la production alternante entre l'est et l'ouest de Menzel Chaker ? Oui  non

Comment l'expliquez-vous.....  
.....

### **Perception des changements climatiques et leurs effets sur la production**

Avez-vous observé des changements au niveau des régimes pluviométriques et thermiques ?

Oui  non

Si oui, quel est la tendance ?

Température : Baisse  augmentation

Précipitations : Baisse  augmentation

Quelles sont les saisons durant les quelles les précipitations seraient évidentes pour la croissance végétative ? Automne  Hiver  Printemps  Eté

Considérez vous que les pluies automnales sont décisives pour garantir la production en année « on » ?  
Oui  Non

Si oui, Quels leurs effets ? .....

.....

Quelles sont les décades optimales pour l'alimentation de l'olivier en eau ?

.....  
.....  
Y a-t-il des dates durant lesquelles les pluies peuvent affecter négativement l'olivier?

Oui  Non

Si oui, qu'est ce qu'elles affectent :

La production d'olive  Le rendement en huile  Les deux

.....

.....  
.....  
Quels sont les impacts du sirocco et de vent de sable sur l'olivier ?

.....

.....  
ça affecte tout l'arbre ou uniquement la partie exposée ?

.....

Pensez vous que le brouillard peut affecter l'olivier ?

Oui  Non

Si oui, est ce qu'il est ? Positif  Négatif

Comment ?

.....

.....  
.....  
Pensez vous que le rendement de l'olivier dépend de l'âge ?

Oui  Non

Si oui, quel est l'âge optimal pour une production top ?

.....

A partir de quel âge l'olivier commence à baisser sa production ?

.....

.....  
.....  
Quels sont les sols les plus favorables pour la production oléicole ?

Sableux  Sablo- limoneux  Caillouteux  Argileux

Quels sont les types du sol qui ont une faible résistance à la sécheresse ?

.....

Pensez vous que l'élévation de la température hivernale peut perturber le cycle de l'olivier ?

Oui  Non

Si oui, comment ?

.....  
.....  
Des maladies qui ont touché l'olivier durant les 20 dernières années ?.....

.....  
Est-ce que vous ajoutez des produits pour enrichir le sol ? Oui  Non

Si oui, Quels sont les produits que vous ajoutez aux sols ?

Fumure  Bio fertilisation  Jachère  Margine  Autres

Est-ce que la fertilisation se fait d'une manière régulière ? Oui  Non

Quels sont les dates préférées pour la fertilisation ?

.....  
Quelles sont les traditions culturelles les plus efficaces pour améliorer la production ?

Laboure  Taille  fertilisation du sol  Travaux CES

Pour les es laboures, Combien de fois se fait le laboure par année ?

1  2  3  4  5  >=6

Quels sont les dates ? .....

.....  
Quels sont les types ?

.....  
Pour la taille, se fait régulièrement après chaque récolte ? Oui  non

Quelle est la date préférée?.....

Quel est le taux de bois qu'il faut réduire ?

.....  
A votre avis, est -il bénéfique d'introduire les cultures légumineuses dans les exploitations oléicoles ? Oui  Non

Si oui, quels sont les effets positifs ?

.....  
.....  
Si non, quels sont les effets négatifs ?

.....  
**Nous vous remercions d'avoir répondu à ce questionnaire**

## استمارة حول أشجار الزيتون بمعتمدية منزل شاكر في إطار بحث علمي

### معلومات عامة

- الجنس : ذكر  أنثى
- العمر : أقل من 35  35-45  45-60  أكثر من 60
- المستوى التعليمي : غير متعلم  ابتدائي  ثانوي  عالي
- العائلات : منزل شاكر  الحاج قاسم  تليل العجلة  بوثدي  العوادنة  الأعشاش  ماجل الدرج  بير الملولي  بوجربوع  البقعة البيضاء  شعلاب
- طبيعة المستغل للأرض : مالك  مستثمر  مستأجر لأرض فلاحية  عامل فلاح
- هل لديك تكوين فلاح؟ نعم  لا  إذا نعم في أي اختصاص؟ .....
- الملكية حسب عدد الزياتين : أقل من 100  100-200  200-400  أكثر من 1000
- نوعية الغراسات : زيتون فقط  زيتون وأشجار مثمرة  زيتون وخضر
- نظام الري : بعلي  سقوي . اذا سقوي بئر تقليدي  بئر حديث (sondage)
- نوعية المستغلات : سقي زيتون 24 متر  زيتون مكثف (ترايبع)  زيتون مكثف جدا
- طريقة السقي : ري قطرة قطرة  ري تحت الأرض  ري بواسطة أنبوب بلاستيكي
- نظام الري : بشكل يومي  كل أسبوع  كل أسبوعين  كل شهر  كل فصل
- أثناء العطش
- هل تعتقدون بأن صيف 2021 قد كان مرتفع الحرارة خلافا للسنوات الماضية؟ نعم  لا
- ماهي وضعية الزياتين اثر ارتفاع الحرارة ونقص الأمطار؟ عادية  سيئة  كارثية
- هل قمتم بسقي الزيتون لتدارك العطش الناجم عن هذا الصيف؟ نعم  لا
- ماهي نسبة الصابة الحالية مقارنة بالصابة العادية؟ الثلث  النصف  الثلثين  صابة عادية
- السنوات الفارطة : الحرارة ارتفعت  انخفضت . الأمطار ارتفعت  انخفضت
- ماهي أهم الفترات التي يحتاج فيها الزيتون إلى الأمطار؟

- .....
- ماهو انعكاس الأمطار الخريفية على حب الزيتون وعلى حجم الإنتاج؟ .....
- هل تؤثر الأمطار سلبا في فترة النوار؟ نعم  لا
- تأثيرات الريح الغربي على شجرة الزيتون؟ أثناء اللقاح : سلبي  ايجابي
- تأثير الغربي خلال الصيف : تيبس الأوراق  ليس له تأثير
- ماهي تأثيرات الريح الشرقي؟ .....

ماهي تأثيرات الرياح القوية؟ كسر الأغصان  إتلاف الأزهار  إسقاط حب الزيتون  ليس لها تأثير

ماهو تأثير الندوة على الزيتون؟.....

هل يخضع مردود الزيتون إلى العمر؟ نعم  لا

ماهو أفضل عمر يساهم في إنتاج عال؟.....

ماهي نوعية التربة التي تعطي إنتاجا وفيرا؟ التربة الرملية  الرملة على الصفايا  الحرش  التربة الطينية

ماهي التربة التي تتأثر سريعا بنقص الأمطار؟.....

ماهو دور البرد الشتوي لشجر الزيتون؟.....

ماهي الأمراض التي تصيب شجرة الزيتون؟.....

هل تقومون بتسميد التربة؟ نعم  لا  إذا نعم سماد  غبار  كل سنة  كل خمس سنوات

كم من مرة تحرثون الأرض؟ 2  3  4  5  6 وأكثر

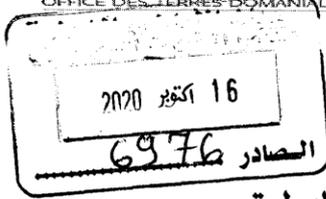
توقيت الحراثة ونوعية المحارث.....

هل يتم زبر الأشجار كل بعد صابة؟ نعم  لا  زبيرة خفيفة  زبيرة حادة

هل أن إدماج الزراعات داخل مستغلات الزيتون هو مفيد  ضار  ليس له تأثير

كيف ذلك.....

نشكركم جزيلا على إجاباتكم على الأسئلة الواردة بهذه الاستمارة



عدد/إش.إق. /

من الرئيس المدير العام لديوان الأراضي الدولية  
إلى  
السيد مدير المركب الفلاحي بوزويطة

**الموضوع :** حول طلب الترخيص للنفاز إلى المعلومة متعلق بالبحث العلمي الأكاديمي.  
**المرجع :** مكتوب الطالب محمد المزوغي مسجل تحت عدد 9934 بتاريخ  
09 أكتوبر 2020.  
**المصاحب :** نسخة من مكتوب الطالب محمد المزوغي.

وبعد،

تبعاً لمكتوب الطالب محمد المزوغي، والمتعلق بطلب الترخيص له بتركيز  
محطات لقياس الأمطار والحرارة والرطوبة بالمركب في نطاق بحث أكاديمي يقوم  
به بالتنسيق مع جامعة صفاقس؛

أتشرف بإعلامكم أن الديوان لا يرى مانعاً في القيام بالبحث المذكور.

وعليه، فالرجاء إعلام المعني بالأمر بضرورة احترام تراتيب العمل بالمركب والحرص  
على المحافظة على محيطه من أشجار ومغروسات وغيرها وبشكل لا يعيق السير العادي  
للعمل ولا يؤثر على ممتلكات المركب.

وتجدر الإشارة أن الديوان لا يتحمل أية مصاريف منجزة عن هذا البحث  
الأكاديمي بما في ذلك التغطية الاجتماعية والتأمين ضد حوادث الشغل.

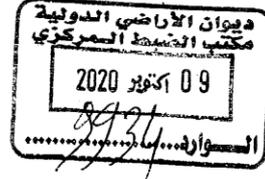
والسلام.

الرئيس المدير العام لديوان الأراضي الدولية

  
مدير الشؤون الإدارية  
والعقارية  
الإمضاء سيمسرات الشاطر  




صفاقس في 2020/08/29



## الى السيد المدير العام لديوان الأراضي الدولية بتونس

الموضوع:

طلب ترخيص للنفاذ الى المعلومة في إطار بالحث العلمي الأكاديمي

أما بعد

إني الممضي أسفله محمد المزوغي صاحب بطاقة تعريف وطنية عدد [ ] طالب دكتوراه جغرافيا بعنوان

« Variabilité spatiotemporelle de la production oléicole en fonction des paramètres climatiques en milieu semi-aride Cas de la région de Sfax Nord, délégation Menzel Chaker »

وذلك بإشراف الأستاذ سالم الداوش. بالإضافة الى أنني عضو بمخبر سيفاكس بكلية الآداب بصفاقس أرجو منكم تمكينني من الاطلاع على المعطيات المتعلقة بموضوع البحث والسماح لي بتركيز محطات لقياس الأمطار والحرارة والرطوبة بالمركبات الراجعة لكم بالنظر بمعتمدية منزل شاكر من ولاية صفاقس.

وفي انتظار ردكم الكريم تقبلوا مني فائق عبارات الاحترام والتقدير

المركب الفاكسي السلامة - المركب الفلاحي بوزرتية منزل شاكر صفاقس

امضاء مدير مخبر سيفاكس

Faculté des Lettres  
et Sciences Humaines de SFAX  
Laboratoire de Recherches  
SYFACTE  
Code: LR03ES07

امضاء الأستاذ المشرف

امضاء الطالب

العنوان: اعدادية الحسين الحاج خالد الحنشة 3010 صفاقس

الهاتف: 97957016 البريد الإلكتروني: mzooughi.mohamed23@gmail.com

## مطلب نفاذ إلى معلومة

(القانون الأساسي عدد 22 لسنة 2016 المؤرخ في 24 مارس 2016 والمتعلق بالحق في النفاذ إلى المعلومة)

### 1. إرشادات خاصة بطالب النفاذ إلى المعلومة<sup>(1)</sup>:

<input type="checkbox"/>	شخص طبيعي
- الاسم واللقب:	محمد المصطفى بن عيسى
- العنوان:	مركز الطفولة بالسنينة 310 صفاقس
- الهاتف:	97957016 الفاكس: العنوان الإلكتروني: <a href="mailto:mgorg@ta.mec.tunisia.gov.tn">mgorg@ta.mec.tunisia.gov.tn</a>
<input type="checkbox"/>	شخص معنوي
- التسمية الاجتماعية:	
- عنوان المقر الاجتماعي:	
- الهاتف:	الفاكس: العنوان الإلكتروني:

### 2. المعلومة المطلوب النفاذ إليها:

بيان المعلومة	الهيكل المعني	المرجع (إن وُجد)	ملاحظات أخرى
إنتاج الزيتون بولاية صفاقس ومعتمد يانها خلال السنين 2016 و 2017 أمكن التماينات	المدوية الجهوية للتنمية التجارية بصفاقس		

ملاحظة: لا يلزم طالب النفاذ بذكر الأسباب أو المصلحة من الحصول على المعلومة.

### 3. صيغة النفاذ إلى المعلومة المطلوب النفاذ إليها<sup>(1)</sup>:

- الحصول على نسخة ورقية من المعلومة  
 الاطلاع على المعلومة على عين المكان<sup>(2)</sup>  
 الحصول على نسخة إلكترونية من المعلومة<sup>(3)</sup>

صفاقس في 17/11/2020

(إمضاء الطالب)

17 نوفمبر 2020



وصل في إيداع مطلب نفاذ إلى المعلومة

تاريخ الإيداع:	الرقم المرجعي:
المصاحب (إن وُجدت):	الختم

- 1- توضع العلامة (x) داخل الخانة المناسبة.  
 2- ما لم يكن في ذلك إضرار بما  
 3- عند الإسكان