



Adapt'Action

**TUNISIE – Contribution aux éléments de la phase
préparatoire
du processus du Plan National d'Adaptation (Axe 2)**

**Analyse des effets des scénarios de
changement climatique RCP 4.5 et RCP 8.5**

02 - 2020



LIVRABLE N°2/5



Cette opération d'assistance technique est financée par l'Agence Française de Développement (AFD) dans le cadre de la Facilité Adapt'Action. Cette Facilité, démarrée en mai 2017, appuie les pays africains, les PMA et les PEID dans la mise en œuvre de leurs engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris sur le Climat, par le financement d'études, d'activités de renforcement des capacités et d'assistance technique, dans le secteur de l'adaptation en particulier. Les auteurs assument l'entière responsabilité du contenu du présent document. Les opinions exprimées ne reflètent pas nécessairement celle de l'AFD ni de ses partenaires.

Photo de couverture : Illustration d'un épisode de pluie intense le 19 Novembre 2016 entre Hammamet et Hergla avec des champs inondés.

Crédit photo : Denis POMMIER

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES CARTES, FIGURES ET TABLEAUX	5
LISTE DES ACRONYMES, CONVENTIONS ET ABREVIATIONS	10
CONTACTS	15
INTRODUCTION	16
RESUME EXECUTIF	18
ANALYSE DE LA SECURITE ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE EN TUNISIE	19
ANALYSE DES EVOLUTIONS CLIMATIQUES ET AGROCLIMATIQUES ACTUELLES ET FUTURES	22
<i>Le traitement des incertitudes</i>	<i>25</i>
<i>Données utilisées, climatologie de référence et descente d'échelle,</i>	<i>26</i>
<i>Evolutions climatiques et agroclimatiques observées</i>	<i>27</i>
<i>Indicateurs climatiques.....</i>	<i>29</i>
<i>Indicateurs agroclimatiques</i>	<i>31</i>
<i>Tendances et évolutions climatiques futures.....</i>	<i>35</i>
<i>Synthèse des évolutions des variables climatiques.....</i>	<i>36</i>
<i>Synthèse des évolutions des indicateurs climatiques.....</i>	<i>37</i>
<i>Indicateurs agroclimatiques</i>	<i>38</i>
IMPACTS ACTUELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE EN TUNISIE	39
I. ANALYSE DE LA SECURITE ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE EN TUNISIE	45
I.1 RAPPEL DU CONCEPT DE LA SECURITE ALIMENTAIRE	45
I.2 POLITIQUES DE SECURITE ALIMENTAIRE DEPUIS L'INDEPENDANCE	45
I.3 LA DISPONIBILITE ALIMENTAIRE ACTUELLE	47
I.3.1 <i>Les agriculteurs (trices) et l'accès aux ressources productives</i>	<i>47</i>
I.3.2 <i>Evolution de la production nationale.....</i>	<i>53</i>
I.3.3 <i>Evolution des échanges agricoles</i>	<i>55</i>
I.3.4 <i>La disponibilité alimentaire tunisienne actuelle</i>	<i>56</i>
I.4 L'ACCES AUX ALIMENTS	56
I.4.1 <i>Organisation et régulation des marchés.....</i>	<i>56</i>
I.4.2 <i>Part de l'alimentation dans le budget des ménages.....</i>	<i>57</i>
I.4.3 <i>Inflation, pouvoir d'achat et pauvreté.....</i>	<i>57</i>
I.4.4 <i>Infrastructures de transport, froid et stockage.....</i>	<i>58</i>
I.5 UTILISATION BIOLOGIQUE DES ALIMENTS	59
I.5.1 <i>Eau potable.....</i>	<i>59</i>
I.5.2 <i>Nutrition</i>	<i>60</i>
I.6 STABILITE DU SYSTEME AGRO-ALIMENTAIRE	61
I.6.1 <i>Instabilité de la production agricole nationale</i>	<i>62</i>
I.6.2 <i>Instabilité des marchés alimentaires mondiaux</i>	<i>62</i>
II. ANALYSE DES EVOLUTIONS CLIMATIQUES ET AGROCLIMATIQUES ACTUELLES ET FUTURES	65
II.1 APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	65
II.1.1 <i>Rappel du cadre général de l'analyse de vulnérabilité au changement climatique</i>	<i>65</i>
II.1.2 <i>Identification des principaux aléas et risques climatiques en lien avec la sécurité alimentaire</i>	<i>66</i>
II.1.3 <i>Les horizons temporels et tranches climatiques analysées</i>	<i>74</i>
II.1.4 <i>Le traitement des incertitudes.....</i>	<i>74</i>

II.1.5	<i>Données climatiques utilisées.....</i>	76
II.1.6	<i>Création de la climatologie de référence.....</i>	77
II.1.7	<i>Descente d'échelle.....</i>	79
II.2	EVOLUTIONS CLIMATIQUES ET AGROCLIMATIQUES OBSERVEES	83
II.2.1	<i>Indicateurs climatiques</i>	87
II.2.2	<i>Etages bioclimatiques.....</i>	91
II.2.3	<i>Indicateurs agroclimatiques</i>	93
II.3	TENDANCES ET EVOLUTIONS CLIMATIQUES FUTURES	103
II.4	SYNTHESE DES EVOLUTIONS CLIMATIQUES.....	128
III.	IMPACTS ACTUELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE EN TUNISIE	131
III.1	CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SECURITE ALIMENTAIRE.....	131
III.1.1	<i>Rappels conceptuels.....</i>	131
III.1.2	<i>Les principaux aléas climatiques en lien avec la sécurité alimentaire.....</i>	132
III.1.3	<i>Impacts différenciés du changement climatique sur les hommes et sur les femmes.....</i>	132
III.2	IMPACTS SUR LA DISPONIBILITE ALIMENTAIRE	134
III.2.1	<i>Impacts sur la céréaliculture</i>	135
III.2.2	<i>Impacts sur l'oléiculture</i>	140
III.2.3	<i>Impacts sur les parcours et l'élevage</i>	145
III.2.4	<i>Impacts sur les ressources en eau</i>	152
III.2.5	<i>Impacts sur la pêche et l'aquaculture</i>	155
III.3	IMPACTS SUR LES AUTRES DIMENSIONS DE LA SECURITE ALIMENTAIRE.....	159
III.4	SYNTHESE DES IMPACTS SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE.....	164
IV.	CONCLUSIONS.....	165

Liste des cartes, figures et tableaux

Sauf indication contraire, toutes les cartes, figures et tableaux ont été élaborés par les consultants.

FIGURE 1 : EVOLUTION DES DISPONIBILITES ALIMENTAIRES EN TUNISIE (KG/PERSONNE/AN) – FAO- 2017	56
FIGURE 2 : DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DE LA PAUVRETE (INS 2015).....	58
FIGURE 3 L'INDEX GLOBAL DE SECURITE ALIMENTAIRE DE LA TUNISIE EN 2018 AU SEIN DU GROUPE DES PAYS A REVENU INTERMEDIAIRE (SOURCE : 2018 ; THE ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT)	61
FIGURE 4 : CADRE CONCEPTUEL DE L'ANALYSE DU RISQUE DU 5EME RAPPORT DU GIEC (AR5).	65
FIGURE 5: CASCADE D'INCERTITUDES. SOURCE : WILBY AND DESSAI, 2010.....	75
FIGURE 6: CLIMATOLOGIE DES PRECIPITATIONS (MM/AN), TEMPERATURE MINIMALE DE SURFACE (°C), TEMPERATURE MOYENNE DE SURFACE (°C), TEMPERATURE MAXIMALE DE SURFACE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2010.	78
FIGURE 7 : MOYENNE MULTI-MODELES DU CUMUL DE PRECIPITATION (MM/AN) SUR LA PERIODE 1981-2010 ET BIAIS MOYEN PAR RAPPORT AUX OBSERVATIONS SUR LA MEME PERIODE.....	80
FIGURE 8 CYCLE SAISONNIER DU CUMUL DE PRECIPITATIONS (MM) SUR LA PERIODE 1981-2010 POUR LES 5 ETAGES BIOCLIMATIQUES ET A L'ECHELLE NATIONALE : MOYENNE MULTI-MODELES AVANT ET APRES DESCENTE D'ECHELLE ET OBSERVATIONS	80
FIGURE 9 : MOYENNE MULTI-MODELES DE LA TEMPERATURE MOYENNE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2010 ; BIAIS MOYEN PAR RAPPORT AUX OBSERVATIONS SUR LA MEME PERIODE.....	81
FIGURE 10 : CYCLE SAISONNIER DE LA TEMPERATURE MINIMALE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2010 : MOYENNES MULTI-MODELES AVANT ET APRES DESCENTE D'ECHELLE ET POUR LES OBSERVATIONS POUR LES 5 ETAGES BIOCLIMATIQUES ET POUR LA MOYENNE TUNISIENNE.....	81
FIGURE 11: MOYENNE (°C) DES TEMPERATURES MOYENNES DE SURFACE OBSERVEES EN HIVER, PRINTEMPS, ETE ET AUTOMNE POUR LA PERIODE 1981-2010.	84
FIGURE 12 : MOYENNE (°C) DES CUMULS JOURNALIERS DE PRECIPITATIONS OBSERVEES EN HIVER, PRINTEMPS, ETE ET AUTOMNE POUR LA PERIODE 1981-2010.....	86
FIGURE 13: NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS SUPERIEURES A 10MM, 20MM, 40MM, 70MM SUR LA PERIODE 1981-2010.....	88
FIGURE 14: NOMBRE DE JOURS MAXIMUMS CONSECUTIFS HUMIDES ET SECS SUR LA PERIODE 1981-2010.	89
FIGURE 15: NOMBRE DE JOURS DE CANICULES ET DE VAGUES DE FROID SUR LA PERIODE 1981-2010.....	90
FIGURE 16 : CARTES DES ETAGES BIOCLIMATIQUES 1981-2010 – A GAUCHE DONNEES DE 1976 A DROITE, CARTE ACTUALISEE	92
FIGURE 17 : A – CARTE DE L'ETP MOYENNE POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DE L'ETP POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES	94
FIGURE 18 : A – CARTE DU BILAN HYDRIQUE MOYEN POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DU BILAN HYDRIQUE POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	94
FIGURE 19 : A – CARTE DE LA LPC POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DE LA LPC POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	95
FIGURE 20 : A – CARTE DE LA DATE DE MONTAISON DU BLE POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DE LA DATE DE MONTAISON DU BLE POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	96
FIGURE 21: A – CARTE DE LA DATE DE MATURATION DU BLE POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DE LA DATE DE MATURATION DU BLE POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	96
FIGURE 22 : A – CARTE DU NOMBRE DE JOURS ECHAUDANT POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS ECHAUDANT POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES.....	97
FIGURE 23 : A – CARTE DU NOMBRE DE JOURS DE GEL ANNUELS POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS GEL ANNUELS POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	97
FIGURE 24 : A – CARTE DU NOMBRE DE JOURS DE GEL PRINTANIER POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS GEL PRINTANIER POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES.....	98
FIGURE 25: A – CARTE DU NOMBRE DE JOURS DE GEL FORT ANNUELS POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS GEL FORT ANNUELS POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	98

FIGURE 26: A – CARTE DE LA QUANTITE DE PERIODES DE FROID POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DE LA QUANTITE DE PERIODES DE FROID POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	99
FIGURE 27: A – CARTE DE LA DATE DE SATISFACTION DES BESOINS EN FROID DE L’OLIVIER POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DE LA DATE DE SATISFACTION DES BESOINS EN FROID POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	100
FIGURE 28: A- CARTE DU NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR EXTREME POUR LE CLIMAT DE REFERENCE ; B – SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR EXTREME POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	100
FIGURE 29 : A- CARTE DE L’INDICE DE REPARTITION PLUVIOMETRIQUE ; B – SERIES TEMPORELLES DE L’INDICE DE REPARTITION PLUVIOMETRIQUE POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	101
FIGURE 30: A- CARTE DU NOMBRE DE JOURS ENTRE 2 PLUIES EFFICACES POUR LE CLIMAT DE REFERENCE. LES ZONES PRESENTANT MOINS DE 15 ANNEES AVEC 2 PLUIES UTILES NE SONT PAS PRESENTEES, CAR ELLES DONNENT DES VALEURS TROP INSTABLES. ; B – SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS ENTRE 2 PLUIES EFFICACES POUR LES DIFFERENTS ETAGES ET TENDANCES LINEAIRES ASSOCIEES	102
FIGURE 31: CHANGEMENT DE CUMUL ANNUEL DE PRECIPITATIONS (MM) DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS DE GRILLES POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N’EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D’UN POINT NOIR.	104
FIGURE 32 : TENDANCE DU CUMUL ANNUEL DE PRECIPITATIONS (MM) SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LES SCENARIOS RCP4.5 ET RCP8.5. LES DROITES EN TRAITS PLEINS CORRESPONDENT A UNE TENDANCE SIGNIFICATIVE ET LES DROITES EN POINTILLES A UNE TENDANCE NON SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%).....	106
FIGURE 33 : CHANGEMENT DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES MINIMALES DE SURFACE (°C) DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010.	107
FIGURE 34 : TENDANCE DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES MINIMALES DE SURFACE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2010. LES DROITES EN TRAITS PLEINS CORRESPONDENT A UNE TENDANCE SIGNIFICATIVE ET LES DROITES EN POINTILLES A UNE TENDANCE NON SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%).....	109
FIGURE 35: CHANGEMENT DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES MOYENNES DE SURFACE (°C) DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010.	111
FIGURE 36: TENDANCE DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES MOYENNES DE SURFACE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2100. LES DROITES EN TRAITS PLEINS CORRESPONDENT A UNE TENDANCE SIGNIFICATIVE ET LES DROITES EN POINTILLES A UNE TENDANCE NON SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%).....	112
FIGURE 37 : CHANGEMENT DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES MAXIMALES DE SURFACE (°C) DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010	113
FIGURE 38 : TENDANCE DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES MAXIMALES DE SURFACE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2100. LES DROITES EN TRAITS PLEINS CORRESPONDENT A UNE TENDANCE SIGNIFICATIVE ET LES DROITES EN POINTILLES A UNE TENDANCE NON SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%).....	114
FIGURE 39 : SERIES TEMPORELLES DES MOYENNES SAISONNIERES (JFM, AMJ, JAS, OND) DES TEMPERATURES MAXIMALES DE SURFACE (°C) SUR LA PERIODE 1981-2100. LES DROITES EN TRAITS PLEINS CORRESPONDENT A UNE TENDANCE SIGNIFICATIVE ET LES DROITES EN POINTILLES A UNE TENDANCE NON SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%).	115
FIGURE 40: SERIES TEMPORELLES DES MOYENNES SAISONNIERES (JFM, AMJ, JAS, OND) DES CUMULS DE PRECIPITATIONS (MM) SUR LA PERIODE 1981-2100.....	117
FIGURE 41: CHANGEMENT DU NOMBRE MAXIMUM DE JOURS CONSECUTIFS HUMIDES DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS DE GRILLE POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N’EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D’UN POINT NOIR.	119
FIGURE 42 : CHANGEMENT DU NOMBRE MAXIMUM DE JOURS CONSECUTIFS SECS DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N’EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D’UN POINT NOIR.	120
FIGURE 43 : CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS SUPERIEURES A 10MM DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N’EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D’UN POINT NOIR.	121

FIGURE 44 : CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS SUPERIEURES A 20MM DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N'EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D'UN POINT NOIR.	122
FIGURE 45: CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS SUPERIEURES A 40MM DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N'EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D'UN POINT NOIR.	123
FIGURE 46: CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATIONS SUPERIEURES A 70MM DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N'EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D'UN POINT NOIR.	124
FIGURE 47: CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS DE CANICULE DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N'EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D'UN POINT NOIR.	125
FIGURE 48: SERIES TEMPORELLES DU NOMBRE DE JOURS DE CANICULE PAR AN SUR LA PERIODE 1981-2100 EN MOYENNE POUR LA TUNISIE. LES DROITES EN TRAITS PLEINS CORRESPONDENT A UNE TENDANCE SIGNIFICATIVE ET LES DROITES EN POINTILLES A UNE TENDANCE NON SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%).....	126
FIGURE 49: CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS DE VAGUES DE FROID DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010. LES POINTS POUR LESQUELS LE CHANGEMENT N'EST PAS SIGNIFICATIF (TEST DE WILCOXON – SEUIL DE 5%) SONT MARQUES D'UN POINT NOIR.	127
FIGURE 50 : LIENS ENTRE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SECURITE ALIMENTAIRE (FAO, 2017)	131
FIGURE 51 : DEMARCHE GENERALE SUR LA QUANTIFICATION DES IMPACTS POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES SYSTEMES AGRO-SYLVO-PASTORAUX EN TUNISIE	134
FIGURE 52 : VARIATION DE LA PRODUCTION, DES SUPERFICIES EMBLAVEES ET DU RENDEMENT DES CEREALES EN TUNISIE 1982-2018	135
FIGURE 53: PREMIERS RESULTATS DES PREVISIONS DES RENDEMENTS DU BLE DUR, DU BLE TENDRE ET DE L'ORGE	139
FIGURE 54 : REPARTITION DE LA PRODUCTION PAR GOUVERNORAT	141
FIGURE 55 : EVOLUTION DES PRINCIPAUX INDICATEURS (DJ, DJ12NI_NDJFM ET DJ40NS)	142
FIGURE 56 : EVOLUTION COMPAREE DE LA PRODUCTIVITE BRUTE DE L'EAU AVEC LES DONNEES NATIONALES ET OTD.....	143
FIGURE 57 : PREMIERS RESULTATS DES PREVISIONS DE RENDEMENTS D'OLIVE A HUILE (MODELE 9 DUMMY).....	144
FIGURE 58 : REGRESSION LINEAIRE SIMPLE ENTRE PRODUCTION DE MATIERE SECHE DES PARCOURS EN KG/HA/AN EN 2005 ESTIMEE SELON LA METHODE DE LEHOUEIROU ET LES PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES DE LA MEME ANNEE.....	149
FIGURE 59 : EVOLUTION DU DISPONIBLE FOURRAGER TOTAL PERMIS PAR LES TERRES DE PATURAGE COMPARE A LA MOYENNE DE LA SERIE 1981ET 2009 EN UNITE UF.....	149
FIGURE 60 : REGRESSION LINEAIRE SIMPLE ENTRE PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES ET EFFECTIF DU CHEPTEL ENTRE 1984 ET 2009	150
FIGURE 61: NAPPES SOUTERRAINES SUREXPLOITEES – DGRÉ	153
FIGURE 62 NOMBRE DE NOUVELLES INTRODUCTIONS DE LA FAUNE EXOTIQUE /GROUPE TAXONOMIQUE / DECENNIE (SOURCE OUNIFI - BEN AMOR ET AL., 2016)	157
FIGURE 63: AUGMENTATION DES PRIX DES PRODUITS AGRICOLES SUR LE MARCHE DE GROS DE TUNIS ENTRE 1987 ET 1988....	160
FIGURE 64: INSTABILITE DE L'INDICE DES PRIX DES PRODUITS ALIMENTAIRES, JANVIER 1991-DECEMBRE 2017 (EN %) - FAO.....	161

TABLE 1 :	ALEAS CLIMATIQUES ETUDIES	67
TABLE 2 :	RISQUES ET ALEAS CORRESPONDANT PAR PRODUCTION	70
TABLE 3 :	PRESENTATION DES INDICATEURS. LES DEFINITIONS DETAILLEES ET METHODES DE CALCUL SONT DISPONIBLES EN ANNEXE 3.	72
TABLE 4 :	REPRESENTATION DES RISQUES AGRICOLES PAR LES INDICATEURS (AGRO)CLIMATIQUES.....	73
TABLE 5:	TAUX D'AUGMENTATION DES TEMPERATURES MINIMALES, MOYENNES ET MAXIMALES ANNUELLES (°C/AN) SUR LA PERIODE 1981-2018 PAR ZONES BIOCLIMATIQUES. LES CELLULES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SAISONS/ZONES POUR LESQUELLES LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (SEUIL DE 5%)	83
TABLE 6:	TAUX D'AUGMENTATION DES TEMPERATURES MOYENNES SAISONNIERES (°C/AN) SUR LA PERIODE 1981-2018 PAR ZONES BIOCLIMATIQUES. LES CELLULES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SAISONS/ZONES POUR LESQUELLES LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (SEUIL DE 5%)	85
TABLE 7:	TAUX DE CHANGEMENT DES CUMULS DE PRECIPITATIONS (MM/AN) SUR LA PERIODE 1981-2018 PAR ZONES BIOCLIMATIQUES. LES CELLULES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SAISONS/ZONES POUR LESQUELLES LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL - SEUIL DE 5%)	87
TABLE 8:	TAUX DE CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS PAR AN DE PRECIPITATIONS FORTES A EXTREMES SUR LA PERIODE 1981-2018 PAR ZONES BIOCLIMATIQUES. LES CELLULES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SAISONS/ZONES POUR LESQUELLES LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL - SEUIL DE 5%).....	89
TABLE 9:	TAUX DE CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS MAXIMUMS CONSECUTIFS HUMIDES (CWD) ET SECS (CDD) SUR LA PERIODE 1981-2010 PAR ZONES BIOCLIMATIQUES (JOURS/AN). LES CELLULES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SAISONS/ZONES POUR LESQUELLES LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL - SEUIL DE 5%).....	90
TABLE 10:	TAUX DE CHANGEMENT DU NOMBRE DE JOURS PAR AN DE VAGUES DE CHALEUR ET DE VAGUES DE FROID SUR LA PERIODE 1981-2018 PAR ZONES BIOCLIMATIQUES (JOURS/AN).	91
TABLE 11:	TAUX DE REDUCTION (MM/AN) DU CUMUL DE PRECIPITATIONS EN MM/AN SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. LES DONNEES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SCENARIOS/ZONES POUR LESQUELS LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%). 107	
TABLE 12 :	TAUX D'AUGMENTATION (°C/AN) DES TEMPERATURES MINIMALES SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. LES DONNEES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SCENARIOS/ZONES POUR LESQUELS LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%)... 108	
TABLE 13 :	TAUX D'AUGMENTATION (°C/AN) DES TEMPERATURES MOYENNES SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. LES DONNEES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SCENARIOS/ZONES POUR LESQUELS LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%)... 112	
TABLE 14:	TAUX D'AUGMENTATION (°C/AN) DES TEMPERATURES MAXIMALES SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. LES DONNEES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SCENARIOS/ZONES POUR LESQUELS LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%)... 114	
TABLE 15 :	TAUX D'AUGMENTATION (°C/AN) DES TEMPERATURES MOYENNES SAISONNIERES SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. LES DONNEES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SCENARIOS/ZONES/SAISONS POUR LESQUELS LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%)..... 116	
TABLE 16 :	TAUX D'AUGMENTATION (MM/AN) DU CUMUL SAISONNIER DE PRECIPITATION SUR LA PERIODE 1981-2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. LES DONNEES EN GRAS CORRESPONDENT AUX SCENARIOS/ZONES/SAISONS POUR LESQUELS LA TENDANCE EST SIGNIFICATIVE (TEST DE MANN-KENDALL – SEUIL DE SIGNIFICATIVITE DE 5%)..... 118	
TABLE 17 :	SYNTHESE DES EVOLUTIONS DES VARIABLES CLIMATIQUES	128

TABLE 18 :	SYNTHESE DES EVOLUTIONS DES INDICATEURS CLIMATIQUES.....	129
TABLE 19 :	SYNTHESE DES EVOLUTIONS DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES	130
TABLE 20 :	PRINCIPALES INONDATIONS ET LEUR CONSEQUENCE DEPUIS 1973	163
TABLE 21 :	PRINCIPAUX IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE EN TUNISIE (ADAPTE DE PAM, 2018)	164

Liste des Acronymes, Conventions et Abréviations

AC	Agriculture de Conservation
ACC	Adaptation aux changements climatiques
AFAT	Agriculture, Forêt et les autres Affectations des Terres
AFD	Agence Française de Développement
AFOLU	Agriculture, Forestry and Other Land Use ou AFAT en FR
ALECA	Accord de Libre Échange Complet et Approfondi
AMCP	Aires Marines et Côtières Protégées
AND	Autorité Nationale Désignée
ANGeD	Agence Nationale pour la Gestion des Déchets
ANME	Agence Nationale de Maîtrise de l'Énergie
APAL	Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral
APIA	Agence pour la Promotion des Investissements Agricoles
ARP	Assemblée des Représentants du Peuple
ATFP	Agence Tunisienne de Formation Professionnelle
AVFA	Agence de Vulgarisation et de Formation Agricole
BaU	Simulation se basant sur un scénario tendanciel (Business as Usual)
BCT	Banque Centrale de Tunisie
BFPME	Banque de Financement des Petites et Moyennes Entreprises
BIRH	Bureau de l'Inventaire et des Recherches Hydrauliques
BPEH	Bureau de la Planification des Équilibres Hydrauliques
CATU	Code de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme
CC	Changement Climatique
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CDN	Contribution Déterminée au niveau National
CE	Code des Eaux
CEDAW	Convention sur l'élimination des discriminations contre les femmes
CES	Conservation des Eaux et du Sol
CIEDE	Cellule d'Information sur l'Energie Durable et l'Environnement
CIHEAM	Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes
CITET	Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis
CMI	Centre pour l'Intégration en Méditerranée
CN	Communication Nationale

CNCC	Comité National sur les Changements Climatiques
CNEA	Centre National des Etudes Agricoles
CNDD	Commission Nationale pour le Développement Durable
COP	Conférence des Parties (CCNUCC)
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
CRDA	Commissariat Régional au Développement Agricole
CREDIF	Centre de Recherches, d'Etudes et de Documentation sur la Femme
CSNER	Chambre Syndicale Nationale des Energies Renouvelables
DD	Développement Durable
DGACTA	Direction Gle de l'Aménagement et la Conservation des Terres Agricoles
DGBGTH	Direction Générale des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques
DGE	Direction Générale de l'Energie
DGEDA	Direction des Etudes et de Développement Agricole
DGEQV	Direction Générale de l'Environnement et la Qualité de la Vie
DGF	Direction Générale des Forêts
DGFIOP	Direction Gle Financement Investissements et Organismes Professionnels
DGGREE	Direction Générale du Génie Rural et de L'Exploitation des Eaux
DGPA	Direction Générale de la Production Agricole
DGPAq	Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture
DGRE	Direction Générale des Ressources en Eau
DHMPE	Direction de l'Hygiène du Milieu et de la protection de l'environnement
DSSB	Direction des Soins de Santé de Base
TND	Dinar tunisien
EANM	Élévation Accélérée du Niveau de la Mer
EE	Efficacité Energétique
ENM	Élévation du Niveau de la Mer
ER	Energies Renouvelables
ESAMO	École Supérieure d'Agriculture de Mograne
ESIER	École Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural
ETAP	Entreprise Tunisienne des Activités Pétrolières
FAO	Organisation pour l'alimentation et l'agriculture
FNAR	Fond National d'Adaptation et de Résilience
FNME	Fonds National de Maîtrise de l'Energie
FOSDAP	Fonds Spécial de Développement Agricole et la Pêche
FTE	Fonds de Transition Energétique
FVC	Fonds Vert pour le Climat
FVWN	Fièvre Virale du West Nile
GDA	Groupement de Développement Agricole

GES	Gaz à Effet de Serre (GHG en anglais)
GFIC	Groupement Forestier d'Intérêt Collectif
GIEC	Groupement Inter gouvernemental des Experts sur l'évolution du Climat
GIZ	Agence Allemande de coopération technique au développement
GWP-Med	Global Water Partnership-Mediterranean
ha	Hectare
Hab	Habitant
HT	Haute Tension
IDG	Indice de Développement de Genre
IDH	Indice de Développement Humain
IIG	Indice d'Inégalité de Genre
INAT	Institut National Agronomique de Tunisie
INDC	Intended Nationally Determined Contributions
INGC	Institut National des Grandes Cultures
INM	Institut National de la Météorologie
INRAT	Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
INRGREF	Institut National de Recherche du Génie Rural des Eaux et Forêts
INS	Institut National de la Statistique
INSTM	Institut National des Sciences et Technologies de la Mer
IRA	Institut des Régions Arides
IRMC	Institut de recherche sur le Maghreb contemporain
ISSBAT	Institut Supérieur des Sciences Biologiques Appliquées de Tunis
ITES	Institut Tunisien des Etudes Stratégiques
km	Kilomètre
MALEn	Ministère des Affaires Locales et de l'Environnement
MARHP	Ministère de l'Agriculture des Ressources Hydrauliques et de la pêche
Md€	Milliards d'Euros
MDP	Mécanisme de Développement Propre
MEAT	Ministère de l'Equipeement de l'Aménagement du Territoire
mm	Millimètre
Mm3	Million de mètres cubes
NAMAs	Mesures d'atténuation appropriées au niveau national
NEXUS	Eau-Énergie-Alimentation
OC	Office des Céréales
ODD	Objectifs de Développement Durable
OIM	Organisation Internationale pour les Migrations
OIT	Ordre des Ingénieurs Tunisiens
OMC	Organisation Mondiale du Commerce

OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OMVVM	Office de Mise en Valeur de la Vallée de la Medjerda
ONAGRI	Observatoire National de l'Agriculture
ONAS	Office National de l'Assainissement
ONE	Observatoire National de l'Energie
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONMNE	Observatoire National des Maladies Nouvelles et Emergentes
ONTT	Office National du Tourisme Tunisie
ONU	Organisation des Nations Unies
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
OTEDD	Observatoire Tunisien de l'Environnement et du Développement Durable
PAM	Programme Alimentaire Mondial (WFP)
PCTI	Plans climats territoriaux intégrés
PFNL	Produit Forestier Non-Ligneux
PIB	Produit Intérieur Brut
PNA	Plan National d'Adaptation
PNDER	Plan National de Dessalement par l'Energie Renouvelable
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PPLT	Programme de Protection du Littoral Tunisien
PPP	Partenariat Public Privé
PST	Plan Solaire Tunisien
QA/QC	Assurance Qualité et Contrôle Qualité
qx	Quintaux (un quintal = 100 kilos ; 10 qx = une tonne)
R&D	Recherche et Développement
RACCM	Regional Assessment Climate Change In the Mediterranean
RC	Renforcement de Capacité
RCP	Representative Concentration Pathway - Scénarios climatiques GIEC
SA	Sécurité Alimentaire
SAP	Système d'Alerte Précoce
SASS	Système Aquifère du Sahara Septentrional
SAU	Superficie Agricole Utile
SCEQE	Système communautaire d'échange de quotas d'émission
SDAZS	Schéma Directeur d'Aménagement des Zones Sensible
SECADENORD	Société d'Exploitation du Canal et des Adductions des Eaux du Nord
SIG	Système d'Information Géographique
SME	Système de Management de l'Energie
SMSA	Société Mutuelle de Services Agricoles

SNCC	Stratégie Nationale sur le Changement Climatique
SONEDE	Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux
STEG	Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz
STEP	Station d'épuration
STIR	Société Tunisienne des industries de Raffinage
tep	Tonne Equivalent Pétrole
TNA	Technology Needs Assessment
TVA	Taxe sur la valeur ajoutée
UE	Union Européenne
UF	Unité Fourragère
UFe	Unité Femelle pour estimer la taille d'un cheptel
UGPO	Unité de Gestion Par Objectif
UCP	Unité Coopérative de Production
USD	Dollar Etats-unien
UTAP	Union Tunisienne de l'Agriculture et de la Pêche
UTICA	Union Tunisienne de l'industrie, du commerce et de l'artisanat

CONTACTS

Nom	Sonia ESSADDAM
Position	Responsable du Pôle international de la Direction Conseil & Stratégie (DCS)
Organisation	SAFEGE / SUEZ Consulting
Adresse	Parc de L'Ile - 15-27, Rue du Port - 92022 Nanterre cedex - France
Téléphone	+331 46 14 72 07 / +336 08 68 49 03
E-mail	Sonia.essaddam@suez.com

Nom	Guillaume QUELIN
Position	Ingénieur de projet – point focal du projet Direction Conseil & Stratégie (DCS)
Organisation	SAFEGE / SUEZ Consulting
Adresse	Parc de L'Ile - 15-27, Rue du Port - 92022 Nanterre cedex - France
Téléphone	+331 46 14 72 31
E-mail	Guillaume.quelin@suez.com

Introduction

Grâce à la Facilité Adapt'Action lancée en 2017, l'AFD apporte son soutien au Gouvernement Tunisien et en particulier au Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche (MARHP), afin d'accompagner le pays face au changement climatique dans la définition et l'adoption de trajectoires de développement bas carbone et résilientes au changement climatique.

Dans ce cadre, une étude visant à contribuer à la préparation du Plan National d'Adaptation de la Tunisie a été lancée en Juillet 2019. Cette étude porte sur la phase préparatoire du PNA pour la sécurité alimentaire et doit être menée en étroite collaboration avec la FAO.

L'étude se concentre sur l'analyse de la vulnérabilité au changement climatique et sur la nature et l'étendue des actions d'adaptation dans les systèmes alimentaires et agro-alimentaires.

Elle comporte 3 étapes principales :

- **Etape 1.** Analyse des effets des scénarios de changement climatique RCP 4.5 et 8.5 ;
- **Etape 2.** Évaluation des facteurs de vulnérabilité au climat et identification des options ;
- **Etape 3.** Examen et estimation des options d'adaptation.

Ce rapport constitue le second livrable prévu au marché et porte sur l'Etape 1 « Analyse des effets des scénarios climatiques RCP 4.5 et 8.5 ».

Conformément aux termes de référence de l'étude et à la méthodologie présentée dans le rapport de démarrage de la mission, l'objectif de ce premier rapport est de compléter et d'actualiser les connaissances scientifiques disponibles concernant « les grands risques climatiques de demain ainsi que les niveaux d'incertitudes entourant ces risques en Tunisie ».

Le parti pris de l'étude et du présent rapport est de proposer une approche innovante s'appuyant sur une démarche de quantification des aléas liés au changement climatique en Tunisie et de modélisation de leurs effets sur la sécurité alimentaire du pays, en se concentrant sur trois productions à la base de cette sécurité, à savoir la céréaliculture, l'oléiculture et l'élevage extensif sur parcours. Le secteur de la pêche est également intégré au périmètre de l'analyse à partir notamment des travaux menés actuellement en Tunisie par les instituts scientifiques spécialisés et leurs partenaires techniques.

Le rapport est donc organisé en trois chapitres. Le premier chapitre analyse la situation actuelle de la Tunisie en matière de sécurité alimentaire et nutritionnelle à partir de ses quatre dimensions clefs que sont la **disponibilité, l'accès et l'utilisation des aliments** ainsi que **la stabilité** des trois dimensions dans le temps.

Le second chapitre analyse les évolutions actuelles et futures du climat en Tunisie et propose une série d'indicateurs pertinents pour évaluer la vulnérabilité climatique des trois productions ciblées. Ce chapitre vise notamment à fournir les données de projections futures des principaux paramètres climatiques et agroclimatiques afin de répondre aux besoins de la modélisation des effets du changement climatique sur les systèmes productifs prévue en étape 2.

Le troisième chapitre s'intéresse quant à lui aux impacts actuels du changement climatique sur la sécurité alimentaire en Tunisie. Sous le volet « disponibilité alimentaire », le chapitre présente les résultats du travail inédit à l'échelle nationale en Tunisie de conception de modèles d'impact pour les céréales, l'olivier et les parcours grâce à l'établissement de relations statistiques entre les rendements des cultures et la production de biomasse d'une part et les données climatiques historiques produites au chapitre 2 d'autre part.

Un ensemble d'annexes techniques est proposé dans un volume séparé du rapport principal. Les auteurs assument l'entière responsabilité du contenu du présent rapport. Les opinions exprimées n'engagent ni l'AFD ni ses partenaires tunisiens.

Résumé exécutif

Analyse de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Tunisie

L'analyse des quatre piliers de la sécurité alimentaire que sont : i) la disponibilité ii) l'accès, iii) l'utilisation et iv) la stabilité, ainsi que la dimension nutritionnelle pour la Tunisie permet de poser le cadre nécessaire pour appréhender les impacts des changements climatiques et les options d'adaptation.

Les politiques de développement depuis l'indépendance ont été marquées par une période de collectivisation (1962-1969) ; puis de libéralisme contrôlé (1970-1985) ; suivie d'un désengagement progressif de l'état et des privatisations (1986-1995) et enfin depuis 1995, l'ouverture croissante sur les marchés extérieurs. Ces politiques ont pour trait commun l'asservissement du secteur agricole aux besoins du reste de l'économie, par le biais de prix peu rémunérateurs pour les producteurs et le plus bas possible pour les consommateurs, et ont été misent en œuvre avec volontarisme par un Etat qui s'appuie sur une puissante administration, notamment avec la réalisation d'un grand nombre d'investissements productifs. La transition post-révolution après 2011 aurait pu déboucher sur un recentrage du rôle de l'agriculture dans le modèle de développement national, une meilleure prise en compte des intérêts des paysans majoritaires, le renforcement du rôle des services publics en matière de formation et d'accompagnement, une nouvelle vision en matière de gestion des écosystèmes et des ressources essentielles que sont les sols et les eaux, ainsi qu'une remise à plat des politiques foncières, notamment pour les terres domaniales. Force est de constater que la politique de développement rural et agricole est restée à ce jour, dans la continuité des anciennes orientations, alimentant de fait l'instabilité politique et sociale qui caractérise l'étape actuelle.

En termes [de disponibilité alimentaire](#) (production nationale + import - export), la situation se caractérise par un niveau d'autosuffisance en céréales situé en moyenne autour de 60% pour le blé dur, 16 % pour le blé tendre et 52 % pour l'orge pour la période 2008-2017. Si l'effectif des cheptels connaît une tendance à la baisse depuis quelques années, la production des viandes, lait et dérivés assure un taux d'autosuffisance apparent proche de 100%.

Cette évolution est le fruit du travail quotidien de plus d'un million de femmes et d'hommes regroupés autour de plus de 550 000 unités de productions qui valorisent environ 10 millions d'Ha, dont la moitié sont considérées comme des terres labourables.

La structure foncière nationale décrite en 2005 met en évidence à la fois : i) l'existence d'un important morcellement du foncier – les trois quarts des agriculteurs accèdent à des surfaces trop faibles (<10 ha) pour générer des revenus suffisants, ii) le poids significatif des exploitations de taille moyenne (10-50ha) qui occupent 41% des surfaces, ainsi que la concentration de la terre agricole pour un tiers des surfaces. Cette différenciation dans l'accès au foncier dessine une mosaïque complexe de systèmes de productions plus ou moins spécialisés. De fait, les grands exploitants (souvent absentéistes) qui produisent des céréales ont tendance à adopter un comportement rentier et ne sont pas intéressés par l'intensification en travail et la diversification (Sethom, 1992).

Les arbres fruitiers, particulièrement l'olivier occupent 56% de la superficie cultivée et les céréales, produites par un agriculteur sur deux occupent environ 30% de l'espace labourable.

La valeur ajoutée de l'agriculture, qui a été multipliée par 4 depuis l'indépendance, est dominée par l'élevage (37%) suivie par l'arboriculture (28%), les cultures maraichères (16%) et les céréales (10%).

La pêche génère environ 50 000 emplois et a contribué durant la période 2007-2016 à la formation de 7,5% de la valeur de la production agricole et 15,2% à la valeur des exportations agricoles. La pêche côtière et artisanale assure actuellement un quart de la production. L'aquaculture continentale et maritime apporte 13% de la production nationale.

L'agriculture pluviale, les parcours et les forêts contribuent entre la moitié et deux tiers de la valeur de la production agricole selon les années et consomment deux tiers du total pluviométrique moyen estimé autour de 36 milliards de m³. L'agriculture irriguée qui occupe environ 5% des terres agricoles, pour moitié aménagés par l'Etat et le reste à l'initiative d'opérateurs privés s'est développée surtout depuis l'indépendance au moyen, dans un premier temps, d'une politique de grands projets de mobilisation des eaux de surface, dont la capacité actuelle est estimée à 2,3 milliards de m³. L'extension rapide du domaine irrigué s'est faite grâce à l'accès de plus en plus facile aux eaux souterraines qui fournissent jusqu'à 94% des volumes consommés en 2017, alors que l'exploitation des eaux souterraines atteint un taux moyen d'exploitation alarmant de 117%, jusqu'à 400% pour certaines nappes.

Malgré la modernisation des réseaux collectifs pour trois quarts des superficies irriguées et l'équipement des parcelles par du matériel d'économie d'eau pour deux tiers de la superficie, la consommation d'eau dans les périmètres publics n'a pas baissé, et le faible consentement réel à payer le service de l'eau à la parcelle surtout depuis 2011 ainsi que le gel des tarifs ont réduit la capacité de couvrir les frais d'entretien et d'approvisionnement en eau potable, révélant ainsi un approfondissement de la crise de gouvernance des ressources en eau.

L'investissement dans le secteur agricole (public et privé) représente environ 10% de l'investissement total, à la hauteur de la contribution de l'agriculture au PIB. L'accès aux services (crédit, conseil, formation) touche une faible proportion des producteurs, excepté les grandes unités de production. C'est pourquoi de nombreux d'agriculteurs sont contraints de recourir à des modalités plus onéreuses de financement, pour acquérir des intrants et de la main d'œuvre par l'intermédiaire de commerçants, distributeurs ou sociétés de microfinance.

En termes de structuration économique et professionnelle, les agriculteurs s'impliquent peu dans des organisations formelles dans lesquelles ils pourraient être acteurs de la résolution de leurs problèmes. Les pratiques de contrôle des organisations locales, courantes avant 2011 ont largement contribué à cet état de fait. Toutefois, de nombreuses formes de coopération et de solidarité informels – souvent familiaux - existent partout pour contribuer à satisfaire des besoins à l'échelle locale.

D'autre part le pays a maintenu une capacité financière suffisante pour acquérir toujours plus de denrées complémentaires sur les marchés mondiaux. Entre 2000 et 2018, les importations alimentaires ont progressé avec un taux annuel moyen de 11% et leur part dans les importations totales 'est située autour de 8%. Ces importations permettent de : i) combler le déficit structurel en céréales (principalement le blé tendre pour le pain). Ainsi les quantités importées ont fluctué en fonction de la production nationale avec un pic de 4 millions de tonnes

de céréales importées en 2016. ii) maximiser les revenus d'exportation de l'huile d'olive en important autour de 300000 tonnes d'huiles de graines pour la consommation interne, iii) développer l'élevage hors sol avec des importations d'intrants de l'alimentation animale pour nourrir bovins, petits ruminants et volailles de l'ordre EUR 160 millions en 2018 ; iv) consommer des aliments qui ne se produisent pas en Tunisie tels le sucre, le thé, le café qui représentent une dépense de l'ordre de EUR 270 millions.

En conclusion, [la disponibilité alimentaire](#) exprimée en kg/personne/an a augmenté depuis les années quatre-vingt notamment pour les légumes (250 kg), les fruits (90), les viandes (30) et produits laitiers (115), alors qu'elle diminue légèrement pour les céréales tout en restant à un niveau élevé de 200 kg. Cela signifie une disponibilité calorique estimée à 3550 Kcalories par jour et par personne, nettement au-dessus du seuil de la malnutrition (2400).

En termes [d'accès aux aliments](#), la part de l'alimentation dans le budget des ménages tunisiens reste importante malgré une tendance à la baisse. Elle représente près de 40 % du budget familial pour les deux premières tranches de dépenses (< 750 TND) et 20% pour la dernière (> 4500 TND). Le coût de l'alimentation est donc un élément central pour les ménages aux plus faibles revenus. Les viandes et volailles occupent la première position avec 23,5% de la valeur des dépenses alimentaires, loin devant les céréales (13,3%).

La Tunisie a mis en place de nombreux outils de régulation des marchés alimentaires et dispose d'importantes infrastructures de transport (24000 km de routes et voies ferrées), de stockage (673000 tonnes pour les céréales) et de froid (1,5 millions de m3). Le ministère du commerce a joué historiquement un rôle fort dans le contrôle des prix des produits alimentaires de base. Les prix des céréales, du pain, de l'huile et du lait sont réglementés et subventionnés aux producteurs et plus encore aux consommateurs.

Malgré cette intervention, depuis 2010, l'indice des prix à la consommation a augmenté d'environ 60 % notamment pour les produits alimentaires ce qui accroît les difficultés des plus pauvres pour se nourrir. L'indice de pauvreté globale est descendu autour de 15% en 2015 soit 1,7 millions de personnes. La pauvreté est plus forte en milieu rural et dans les régions du Centre et du Nord-Ouest où se concentrent plus du tiers de tous les pauvres, avec un indice qui oscille entre 28 et 35% de la population. Les femmes rurales, et notamment les veuves, divorcées et mères célibataires sont souvent les plus pauvres. Les salaires payés aux femmes dans l'activité agricole (environ 3 EUR par jour), sont souvent inférieurs à ceux payés aux hommes. Bien que le recul de la pauvreté ait également concerné les différentes catégories socioprofessionnelles, les ouvriers et les exploitants agricoles, avec des taux de pauvreté respectifs de 38,3% et 21,4%, demeurent parmi les plus pauvres.

En termes [d'utilisation des aliments et de nutrition](#), la Tunisie connaît une rapide transition d'un régime alimentaire de type méditerranéen vers une alimentation plus riche en huiles de graine et protéines animales particulièrement pour les populations urbaines. Malgré la baisse des quantités consommées, les céréales continuent en 2015 d'assurer 49 % des apports caloriques, 51% des apports protéiniques et 43% des apports ferriques. D'autre part, une famille tunisienne gaspille des aliments à hauteur d'environ 5% de ses dépenses. Cette proportion atteint 16% pour le pain, 10% pour les dérivés de céréales (pâtes et couscous) et 6% pour les légumes.

Le système de protection des consommateurs et de contrôle de qualité et de la sécurité sanitaire des produits en Tunisie est relativement développé. Néanmoins, il présente encore de nombreuses faiblesses, notamment du fait de la multiplicité des intervenants.

Le pourcentage d'enfants de moins de 5 ans souffrant d'une insuffisance pondérale est de l'ordre de 2,3%. Cependant, 10% de ces enfants présentent un retard de croissance et 29,5% sont anémiques. La prévalence de l'anémie chez les femmes enceintes est également de 29% (FAO, 2016). Les changements du régime alimentaire se sont accompagnés par la dégradation de l'état de santé de la population avec la prévalence des maladies liées à une alimentation déséquilibrée. Selon les données de l'OMS, les maladies non transmissibles (MNT) sont responsables de 82% des décès en Tunisie. Ces données dévoilent que 19% des Tunisiens de plus de 15 ans sont diabétiques. De plus environ 46% des tunisiens sont en surpoids et 10% souffrent d'obésité.

Le fait que 98% de la population ait accès à des sources d'eau potable est un acquis positif du point de vue de l'utilisation biologique des aliments. Néanmoins, malgré les efforts considérables réalisés pour assainir les eaux usées grâce à plus d'une centaine de stations d'épuration qui desservent les grandes agglomérations, environ la moitié de la population dépend de fosses septiques et de puits perdus, avec des conséquences locales souvent négatives sur la santé, notamment lors de pluies intenses et d'inondations.

En termes de [stabilité de la sécurité alimentaire](#) dans ses différentes dimensions, il existe de nombreuses menaces :

- La dégradation de la fertilité des sols, l'érosion du fait de mauvaises pratiques agricoles telle que la monoculture et la salinisation dans les périmètres irrigués
- L'eau agricole est de plus en plus rare, profonde et salée.
- De bonnes terres agricoles à la périphérie des villes sont détruites par des logements et constructions, conséquence d'une intense spéculation immobilière
- La dépendance structurelle aux importations alimentaires, notamment pour les céréales, expose le pays aux aléas des marchés mondiaux devenus plus instables et spéculatifs, dans une tendance haussière, du fait de leur connexion croissante aux marchés financiers.

En conclusion, la sécurité alimentaire s'est progressivement améliorée en Tunisie pour atteindre aujourd'hui la 15^{ème} place sur 57 pays à revenus intermédiaires comme le montre le Global Food Security Index. De fait, la Tunisie n'a pas connu de famine depuis près de deux siècles.

Analyse des évolutions climatiques et agroclimatiques actuelles et futures

Dans cette étude, l'approche adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique repose sur la notion du **risque** lié au changement climatique et s'inscrit dans le cadre conceptuel du 5^{ème} rapport du GIEC (AR5). Selon cette approche, un risque climatique est le produit de l'interaction entre l'**aléa**, la **vulnérabilité** (qui comprend la sensibilité et la capacité d'adaptation) et l'**exposition**.

L'aléa correspond à la survenue potentielle d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturel ou anthropique, pouvant entraîner des pertes humaines, des blessures, d'autres effets sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes aux biens, aux infrastructures, aux moyens de subsistance, à la prestation de services, aux écosystèmes et aux ressources environnementales.

La vulnérabilité se définit comme la propension ou la prédisposition à subir des dommages. Elle recouvre plusieurs concepts et éléments, notamment la sensibilité qui est la susceptibilité d'être atteint. Elle comprend aussi le manque de capacités à s'adapter, telles que les capacités à anticiper, faire face et récupérer. La vulnérabilité se caractérise à travers différentes dimensions dont les dimensions sociale, économique, environnementale, institutionnelle et culturelle.

L'exposition est construite sur les aléas et la vulnérabilité et représente des éléments à risque. Elle correspond par exemple aux surfaces de céréales sujettes à la sécheresse. Par conséquent, l'exposition fait partie du risque, mais n'a pas été considérée comme une composante individuelle au même titre que l'aléa et la vulnérabilité.

La première étape de l'étude s'intéresse à une des dimensions constitutives du risque, à savoir les aléas climatiques et aux risques qui en découlent. L'évaluation **de la vulnérabilité** et de l'exposition seront, quant à elles, abordées dans la Phase 2 de l'étude.

Afin d'apprécier l'évolution des aléas au présent et au futur, il est nécessaire :

- 1) D'identifier les principaux aléas climatiques en lien avec la sécurité alimentaire et en particulier la production agricole,
- 2) D'identifier les risques agricoles découlant des aléas climatiques,
- 3) De définir des indicateurs climatiques et agroclimatiques (« *proxies* ») permettant de décrire les aléas et les risques agricoles associés.

Il convient de rappeler ici que, conformément au périmètre défini lors la phase de démarrage, cette démarche et les résultats qui en découlent s'applique uniquement aux trois productions à la base de la sécurité alimentaire tunisienne, à savoir **la céréaliculture, l'oléiculture et l'élevage sur parcours**.

Le territoire tunisien est exposé à de multiples aléas climatiques que le changement climatique pourrait accentuer ou atténuer. Une revue bibliographique et l'expertise des consultants ont permis de procéder à une sélection des principaux aléas pouvant affecter la sécurité alimentaire. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres aléas climatiques comme le Sirocco ou la salinisation des terres et des ressources hydriques par exemple pourraient être ajoutés. Mais pour les besoins de l'étude, il a été choisi de se concentrer sur un certain nombre d'aléas en tenant compte notamment des événements les plus critiques mais également des possibilités de calcul et d'analyse que permettait la modélisation climatique dans les délais impartis (par exemple l'aléa lié aux tempêtes et au Sirocco ou à l'élévation du niveau de la mer nécessitent des jeux de données et des efforts d'analyse qui sortent du cadre de cette étude.

La production agricole influence directement la disponibilité alimentaire, première dimension de la sécurité alimentaire. Il est donc essentiel d'établir un inventaire des risques liés à la variabilité et au changement climatique qui pèsent sur celle-ci.

En lien avec les aléas climatiques, sont recensés ci-dessous les principaux risques transversaux ou spécifiques aux trois productions ciblées par l'étude :

- **Risques transversaux aux différentes productions agricoles**

- **Baisse de la productivité des sols dégradés par l'érosion** hydrique sous l'effet des événements de **pluviométrie intense**, engendrant un appauvrissement en éléments nutritifs, une baisse de la qualité du sol (texture, structure, stabilité), jusqu'à la perte de terre arable.
- **Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'absence de nettoyage des maladies et ravageurs** en raison d'un **hiver doux**.
- **Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies**. Ceux-ci sont favorisés par le déplacement des conditions climatiques des basses latitudes vers les hautes latitudes et/ou l'émergence de conditions de température et d'humidité favorables aux bio-agresseurs à certains stades critiques de la plante.
- **Destruction des exploitations engendrée par les dégâts physiques** sur les infrastructures, les équipements, et la production lors d'**inondations** en période de crue.

- **Risques spécifiques aux cultures céréalières**

- **Destruction des cultures causée par la verse** lors d'événements de **pluviométrie intense**. Les cultures sont couchées au sol sous l'effet d'intempéries violentes, affectant la qualité et la quantité de la production.
- **Diminution de la quantité et de la qualité des grains** due à l'aggravation du phénomène d'**échaudage** à cause de la **hausse tendancielle des températures ou de canicule**. L'échaudage correspond à l'altération du remplissage des grains de céréales qui restent de petite taille sous l'effet des hautes températures (à partir de 25°C).
- **Destruction des cultures** liée au **gel printanier** au stade d'épi 1cm, particulièrement sensible aux faibles températures.
- **Perte de rendement par stress hydrique** causée par une **sécheresse agricole**, affectant directement les rendements.
- **Destruction des cultures due à un développement prématuré qui s'explique par l'avancement du cycle de développement** sous l'effet de la **hausse tendancielle des températures**. Ce risque doit être pensé en interaction avec la mortalité liée au gel : si le stade épi apparaît plus tôt, il sera plus exposé.
- **Baisse globale du rendement** générée par une hausse des températures et une baisse de la pluviométrie. Ce risque sera étudié plus en détail par un travail de modélisation statistique dont les fondements seront présentés au Chapitre 3.

- **Risques spécifiques à l'olivier**

- **Baisse qualitative et quantitative de la production de fruits due à un retard de la floraison** causés par un hiver doux, qui ne satisfait pas les besoins en froid de l'olivier.
- **Perte de rendement par stress hydrique** causée par une **sécheresse agricole**, affectant directement les rendements.
- **Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits causée par le gel printanier lors de la floraison.**
- **Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits due à un arrêt de la croissance et un dessèchement des fruits** sous l'effet de **températures très élevées (>40°C)** en été
- **Baisse globale du rendement** générée par une hausse des températures et une baisse de la pluviométrie tendancielle. Ce risque sera étudié plus en détail par un travail de modélisation statistique présenté plus loin dans le rapport.

- **Risques spécifiques à l'élevage et au parcours**

- **Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale à cause d'un faux démarrage** du cycle de croissance végétative après une première pluie à cause d'une longue période de **sécheresse météorologique**, diminuant la production de biomasse fourragère.
- **Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale causée par** un raccourcissement du cycle végétatif, en lien avec la **sécheresse agricole**.
- **Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale causée par une alimentation en eau discontinue.** Ceci s'explique par une répartition de la pluviométrie très hétérogène, gênant la production de biomasse.
- **Augmentation de la mortalité et dégradation de l'état de santé des animaux dues des problèmes sanitaires causés par stress thermique** des bêtes lors d'une **vague de chaleur**.

L'évolution de l'occurrence du risque est ensuite appréciée de manière indirecte par le biais de l'évolution des aléas. La caractérisation des aléas et de leur évolution passe par l'identification et l'utilisation de variables et d'indicateurs descriptifs en s'assurant de leur **spécificité** par rapport aux risques auxquels ils se rapportent. La sélection est basée sur un état de l'art. Les choix résultent d'une revue bibliographique, dont l'étude de la DG FIOP¹ sur les risques agricoles, et à dire d'experts, notamment avec l'INM. Chacun de ces indicateurs a ensuite été calculé et analysé à partir des données climatiques produites et analysées.

Le traitement des incertitudes

La notion d'incertitude est inhérente à l'effort de modélisation climatique et par conséquent au domaine des changements climatiques. Toute information relative aux conditions futures mais également passées des systèmes naturels et sociaux comporte des incertitudes dont les utilisateurs de cette information doivent être conscients. Ces incertitudes peuvent être classées en 3 catégories principales :

¹ Etude sur la gestion des risques et la mise en place d'un système d'assurances agricoles en Tunisie. 2018. FINACTU, DGFIOP/MARHP.

1. Les **incertitudes socio-économiques** ou **incertitude réflexive** : liées aux scénarios futurs d'émission des gaz à effet de serre. En effet, les trajectoires futures des émissions de GES déterminent l'ampleur et le rythme du changement climatique futur. Les niveaux d'émission futurs dépendent de l'évolution démographique, économique et technologique, ainsi que des accords internationaux sur l'atténuation des changements climatiques.
2. Les **incertitudes scientifiques et techniques** ou **l'incertitude épistémique** : liées à une connaissance imparfaite des phénomènes et à leur représentation approximative dans les modèles physiques et statistiques utilisés.
3. L'incertitude liée à la **variabilité naturelle du climat** aussi appelée **incertitude stochastique**. La *variabilité naturelle* résulte de processus naturels intrinsèques au sein du système climatique (variabilité climatique interne ; variabilité atmosphérique et océanique) et qui comprend également la problématique des conditions initiales du système climatique modélisé.

La caractérisation des changements climatiques repose sur différentes étapes. La première étape consiste à générer des scénarios de GES/aérosols en se basant sur des hypothèses de développement socio-économique et technologique futur (Wilby and Dessai, 2010). Ces scénarios d'émissions sont ensuite transformés en scénarios de concentration de GES à l'aide de modèles biogéochimiques. Les scénarios de concentration de GES/aérosols constituent l'intrant fondamental pour produire des projections climatiques globales. Ces projections globales peuvent ensuite être réduites à l'échelle régionale/locale grâce à l'utilisation de méthodes de descente d'échelle dynamique (modèles climatiques régionaux) ou statistiques. Les informations obtenues lors de cette dernière étape peuvent être enfin utilisées pour les études d'impact (modélisation des impacts à travers des modèles de rendements par exemple ou des modèles hydrologiques) et de vulnérabilité. Chaque étape de cette chaîne introduit une source d'incertitude, de sorte que cette dernière augmente au fur et à mesure que l'on descend dans la chaîne de modélisation. Il est alors question de cascade d'incertitudes.

Notre approche dans cette étude offre une analyse des « incertitudes socio-économiques » avec plusieurs scénarios socio-économiques. Le scénario d'émissions de GES RCP 8,5 (sans politique climatique, les émissions de GES continuent d'augmenter au rythme actuel) constitue l'axe principal d'analyse compte tenu de la haute probabilité de se trouver sur cette trajectoire au regard du niveau des émissions actuelles de GES. Toutefois le scénario RCP 4,5 (scénario avec politiques climatiques permettant de stabiliser les concentrations en CO₂ à un niveau plus faible en 2100) est également pris en compte. Nous avons également intégré une analyse des « incertitudes techniques » liées à la modélisation à l'échelle globale et aux différentes étapes de descente d'échelle (dynamique et statistique). Le jeu de données CORDEX n'offre pas un nombre de simulations d'ensemble suffisant pour étudier proprement l'« incertitude stochastique ». Nous avons tout de même utilisé le test de tendance de Mann-Kendall pour comprendre si les tendances de changement sont significatives et non pas le résultat de la variabilité naturelle.

Données utilisées, climatologie de référence et descente d'échelle,

Les horizons 2050 et 2100 sont retenus pour faciliter la comparaison avec les projections internationales. La durée des tranches climatiques analysées a été fixée à 30 ans :

- 1981-2010 pour la période de référence
- 2036-2065 pour le moyen terme (2050)
- 2071-2100 pour le long-terme (2100)

Le jeu de données produits pour cette étude a permis de mettre à jour la base de données de scénarios climatiques produites par l'INM en 2017 en intégrant l'ensemble des jeux de données les plus récents mis à disposition par la communauté internationale (CHIRPS, ERA5, WorldClim) mais également en lui apportant les qualités requises pour l'étude des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire.

En particulier, il permet d'avoir accès à :

- Un jeu de données grillées (climatologie de référence et projections climatiques) à 5 km de résolution pour 4 variables climatiques clés dont les précipitations sur l'ensemble du territoire.
- Un jeu de données corrigé présentant une distribution et un cycle saisonnier en accord avec les observations sur la période observée.
- Un jeu de données permettant de simuler correctement les aléas climatiques clés pour l'agriculture et la sécurité alimentaire.

Au vu des analyses réalisées, la seule limitation de ce jeu de données pour cette étude concerne la représentation des événements les plus extrêmes tels que les précipitations très fortes et intenses.

Ce jeu de données présente cependant les caractéristiques requises pour étudier les impacts du changement climatique à une échelle quasi-locale (analyse au niveau du groupe de parcelles) sur l'ensemble du territoire.

Evolutions climatiques et agroclimatiques observées

A partir de la climatologie de référence produite dans l'étape précédente, sont présentées ci-dessous l'évolution des variables et indicateurs (agro) climatiques pour la période 1981-2018. L'objectif étant de rendre compte de la climatologie moyenne de la période historique et dans la mesure du possible des évolutions constatées au cours des dernières décennies.

Les résultats sur les climatologies annuelles et le cycle saisonnier des 4 variables d'intérêt ont été présentés dans le chapitre dédié à la création de la climatologie de référence et à la descente d'échelle. Dans cette section, nous proposons une analyse plus détaillée les caractéristiques de ces variables suivant les 2 axes suivant :

- Les climatologies moyennes saisonnières des températures et des précipitations pour la période de référence choisie pour cette étude (1981-2010).
- Les coefficients des tendances observées (annuelles et saisonnières) sur la période 1981-2018. Cette période est courte pour une analyse de tendance et les résultats doivent être interprétés avec précaution. Un test de significativité des tendances (test de Mann-Kendall) a été réalisé dont les résultats sont indiqués dans les tables correspondantes.

Les résultats sont comparés à ceux de l'étude réalisée par l'INM dans le cadre de la 3^{ème} Communication Nationale sur le changement climatique (INM, 2017)².

² INM, 2017 : Etude des tendances et des projections climatiques en Tunisie. Haythem Belghrissi. 46 pages.

Nous présentons dans le tableau suivant les tendances annuelles des températures minimales, moyennes et maximales pour la Tunisie et par zones bioclimatiques pour la période 1981-2018.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
T maximale	0.044	0.046	0.044	0.041	0.030	0.025
T moyenne	0.037	0.038	0.037	0.035	0.028	0.024
T minimale	0.032	0.034	0.032	0.031	0.025	0.022

Une tendance significative à la hausse est observée pour l'ensemble des zones étudiées. A variabilité de cette tendance entre les différentes régions est faible.

Cet accroissement des températures est en accord avec les résultats de l'étude réalisée par l'INM (INM, 2017). Cet accroissement est légèrement moins élevé dans notre analyse. D'autre part nous observons une augmentation plus rapide des températures maximales par rapport aux températures moyennes et par rapport aux températures minimales. Ces différences peuvent être attribuées d'une part au fait que l'analyse de l'INM porte sur un nombre limité de stations alors que nous travaillons sur un jeu de données grillées et d'autre part au fait que la période d'analyse est légèrement différente dans nos deux études (1979-2012 dans l'étude de l'INM et 1981-2010 dans le cadre de cette étude.

Concernant les températures moyennes saisonnières sur la période 1981-2010, les maximums de sont observés dans les zones les plus continentales (Sud et Ouest). Une tendance significative à la hausse est observée pour l'ensemble des saisons avec des disparités régionales et saisonnières. Les zones bioclimatiques saharienne et aride ont été les plus touchées par cette augmentation (bien que le taux de croissance le plus élevé soit enregistré pour les températures printanières de la zone semi-aride avec +1,9°C sur 30 ans). Les zones humide et subhumide ont connu la moins forte augmentation de leur température avec un minimum de +0.8°C pour la zone humide en hiver.

Le cumul saisonnier de précipitations met en évidence des disparités spatiales et saisonnières très marquées. On observe sur la côte sud-ouest Méditerranéenne (zones humide et subhumide) un cycle saisonnier marqué avec une saison humide de septembre à mai (favorisée par les entrées maritimes et le relief dans cette zone) et une saison sèche s'étalant de juin à août. La partie désertique dans le sud du pays reste sèche toute l'année avec un cumul annuel de précipitation souvent inférieur à 50mm. Sur la période 1981-2018, une tendance à la hausse est observée pour la plupart des saisons et zones bioclimatiques avec cependant de fortes disparités. A noter que la plupart de ces tendances ne sont pas significatives car inférieures au seuil de 5%.

Cette tendance à la hausse, également décelée dans les travaux récents de l'INM (2017), résulte d'une succession d'années de sécheresse en début de période (1981-2000) suivi par des années plus humides récemment. Elle ne représente que l'évolution court-terme de ses 30 dernières années et n'est pas en accord avec ce que l'on observe sur une échelle de temps plus importante. Les zones sahariennes et aride ont été le plus touchées par cette augmentation. Les zones humides et subhumides ont connu la moins forte augmentation.

Indicateurs climatiques

Dans cette section nous présentons :

- Les climatologies moyennes annuelles des 8 indicateurs climatiques sélectionnés pour la période de référence 1981-2010 ;
- Les coefficients des tendances observées sur la période 1981-2018. Cette période est courte pour une analyse de tendance et les résultats doivent être interprétés avec précaution. Un test de significativité des tendances (test de Mann-Kendall) a été réalisé dont les résultats sont indiqués dans les tables correspondantes.

Lorsque c'est possible, nous proposons une comparaison de ces résultats avec ceux de l'INM (INM, 2017). Il est à noter que pour de nombreux phénomènes climatiques, les indicateurs choisis par l'INM sont différents de ceux que nous avons sélectionnés dans cette étude (notre objectif étant d'étudier l'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire et non une analyse générale de ces changements sur la Tunisie).

Nombre de jours de précipitations fortes à extrêmes

Il s'agit du nombre de jours par an où les précipitations dépassent un seuil variant de 10mm (précipitations fortes) à 70mm (précipitations intenses).

Les structures spatiales des indicateurs de précipitations fortes à extrêmes sont semblables à celles du cumul des précipitations. On observe un contraste très fort en fonction des zones bioclimatiques avec très peu de jours de précipitations fortes et extrêmes même sur les zones les plus humides. Seul le nord-ouest est affecté par des événements de précipitations extrêmes (cumul de précipitations >70mm/jour). Sur la période 1981-2018, une très légère tendance à la hausse est observée pour le nombre de jours de plus de 20mm, 40mm et 70mm principalement pour les zones subhumides et humides. Cette tendance est significative au seuil de 5% dans la plupart des cas.

Ces tendances sont en accord avec les résultats de l'étude réalisée par l'INM pour la 3^{ème} communication nationale sur le changement climatique (INM, 2017) qui indique une augmentation du nombre de jours de précipitations extrême sur la période 1978-2012. Cet accroissement est cependant moins élevé dans notre analyse.

Indicateurs de persistance de jours secs et de jours humides

Il s'agit du nombre de jours consécutifs humides et sec par an. Le nombre maximum de jours humides consécutifs varie entre moins de 2 jours dans le sud du pays à presque 5 jours dans le Sud-Ouest du pays. Les structures spatiales sont très proches de celles des cumuls de précipitations. Le nombre maximum de jours secs consécutifs est le plus fort dans le Sud du pays avec un record de 374 jours sans pluie. Dans le Nord, les périodes maximales sèches sont d'environ 30 jours. Sur la période 1981-2018, les tendances de ces deux indicateurs sont très faibles et de signes variables en fonction de la zone considérée. Seules les tendances à la baisse du nombre de jours maximums consécutifs humides et secs pour les zones humides et subhumides sont significatives

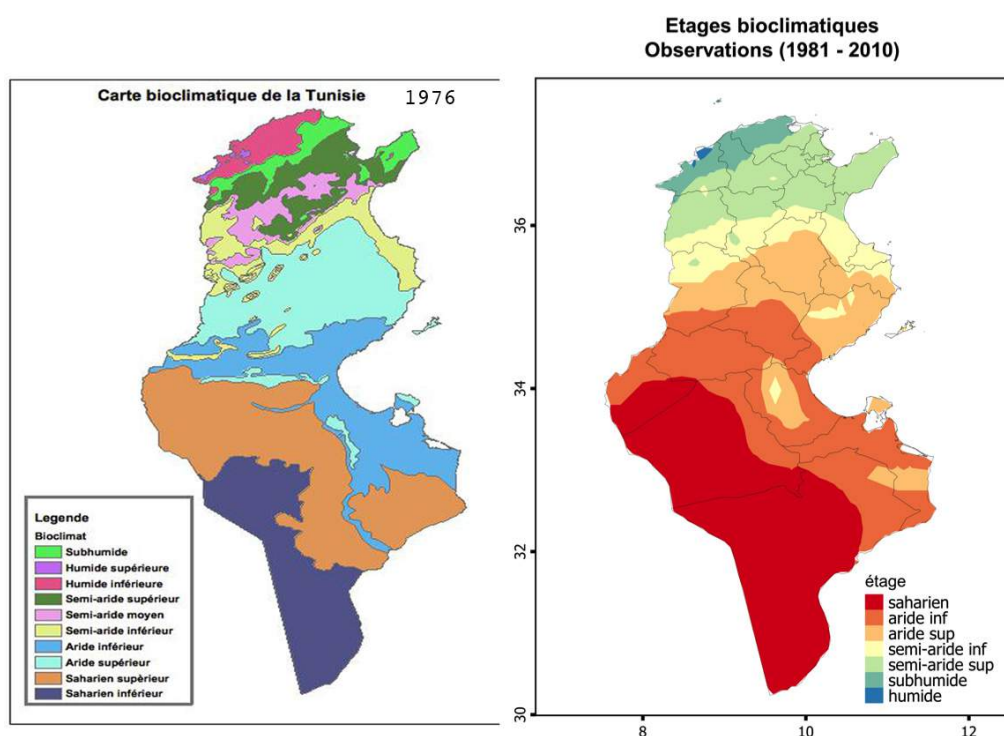
Indicateurs de canicule et de vague de froid

Le nombre de jours de canicule varie en moyenne entre 10 et 22 jours sur l'ensemble du pays avec une forte disparité temporelle et spatiale. Les régions côtières proches de la Méditerranée sont moins impactées par ces événements à l'inverse des régions plus continentales. Le nombre de jours de vague de froid varie quant à lui entre moins de 1 et 7.5 jours par an. La partie centrale du pays est la plus touchée par les vagues de froid. On observe une forte tendance positive et significative au seuil de 5% pour les vagues de chaleurs avec en moyenne

sur la Tunisie une augmentation de presque 6 jours de vagues de chaleur par décennie. La zone bioclimatique la plus touchée par cette augmentation est la zone Saharienne. Les régions humides sont quant à elles moins affectées avec une augmentation de 2.2 jours par décennie. La tendance des vagues de froid est également significative mais négative avec une réduction de 2,1 jours par décennie en moyenne sur la Tunisie. Cette diminution est moins contrastée spatialement avec une réduction maximale pour la zone aride de 2,4 jours par décennie et un minimum de 1,7 jours par décennie pour la zone humide. L'INM (2017) a étudié des indicateurs proches de ceux présentés dans ce paragraphe et obtient les mêmes tendances à la hausse pour les jours de forte chaleur et à la baisse pour les jours de froid.

Etages bioclimatiques

L'indice bioclimatique d'Emberger permet de décomposer le territoire tunisien en étages bioclimatiques. Il est calculé à partir de la pluviométrie annuelle et des températures mensuelles minimales et maximales. A chaque étage correspond des conditions climatiques autorisant le développement d'une végétation particulière. Cette approche a été appliquée dans le cadre de plusieurs travaux scientifiques en Tunisie³⁴, et pour l'élaboration de la carte bioclimatique de la Tunisie⁵ (INRF, 1976). En reprenant les seuils prescrits par Le Houerou⁶ et utilisés récemment par le CNEA (carte à gauche), une version actualisée de la carte bioclimatique a été réalisée pour la période 1981-2010 (carte à droite) :



Cartes des étages bioclimatiques 1981-2010 – à gauche données de 1976 à droite, carte actualisée

³ Delhoume, 1981. Etude en milieu méditerranéen semi-aride. Ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale.

⁴ CNEA, 2007. Elaboration d'une étude sur l'état de désertification pour une gestion durable des RN

⁵ INRF, 1976. Carte bioclimatique de la Tunisie issue de la classification d'Emberger Etages et variantes.

⁶ Le Houerou, 1969. La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye).

La distribution des étages se fait globalement selon la latitude, mais des zones remarquables se démarquent. Le littoral méditerranéen fait reculer l'étage saharien vers l'intérieur des terres. Nous retrouvons de plus une partie des étages aride supérieur et semi-aride inférieur au sein de l'étage aride inférieur, à l'intérieur des côtes du golfe de Gabès, ainsi qu'au niveau de la frontière libyenne Nord. Un couloir moins aride longeant la côte Est semble également ressortir.

L'étage aride représente la plus grande partie de la Tunisie. A l'inverse, l'étage humide se concentre uniquement sur la partie littorale du gouvernorat de Jendouba.

Il serait intéressant de comparer cette carte avec celle établie en 1976 afin d'identifier les changements survenus depuis cette date dans la distribution des biomes. On parle en effet très souvent d'une « remontée des étages bioclimatiques » et donc de l'aridité en Tunisie. Néanmoins cette comparaison nécessite de s'assurer au préalable de la cohérence des seuils utilisés entre les deux cartes. En effet, une comparaison visuelle de la figure 35 avec la carte de 1976 semble indiquer une extension de l'étage aride et une contraction des étages supérieurs en particulier humide et subhumide. Mais sans connaître les seuils d'Emberger utilisé en 1976 il est difficile de conclure ; les différences constatées pouvant être simplement le fait de l'application de seuils différents pour la définition des étages.

Par la suite, l'établissement des cartes d'Emberger aux deux horizons temporels et pour les deux RCP nous permettra d'évaluer l'effet du changement climatique sur cette distribution biogéographique et sera de nature à informer sur l'évolution des potentialités agricoles.

Indicateurs agroclimatiques

Les résultats pour les indicateurs agroclimatiques sont présentés à la suite. Ils permettent d'établir un état initial quant à l'exposition de la Tunisie aux risques climatiques liés à la production agricole. Cette étape est un préalable avant la comparaison ultérieure avec les projections climatiques. Pour chaque indicateur, sont présentées :

- Une carte présentant la valeur moyenne de l'indicateur sur la période de référence (1981-2010), en chaque point de la grille (pour rappel, 5km x 5km). Elle permet de visualiser l'intervalle de valeurs et la distribution spatiale de l'indicateur ;
- La série temporelle des observations passées, entre 1981 et 2018. L'agrégation spatiale est faite par étage bioclimatique (voir plus haut). Les tendances d'évolution temporelle sont représentées par une droite obtenue par régression linéaire prenant en compte l'influence de l'étage bioclimatique. La tendance pour le climat de référence est un premier élément d'information, mais doit être confirmée par l'analyse du climat futur pour confirmer un effet du changement climatique. Le détail des tests statistiques réalisés (ANCOVA) est disponible en Annexe 4.

Evapotranspiration potentielle d'octobre à mai (ETP)

L'évapotranspiration potentielle estime les pertes d'eau du sol vers l'atmosphère. La période d'octobre à mai est sélectionnée car elle correspond au moment où les apports et les pertes d'eau sont le plus déterminants pour la croissance végétative. Dans les zones méditerranéennes, l'ETP est approchée par une fonction de la température et de la radiation solaire.

Pour la période de référence, la valeur moyenne de l'ETP d'octobre à mai de la Tunisie est de **564 mm**. Elle est plus forte dans le sahel tunisien et à la frontière libyenne (étage saharien), et plus faible sur la dorsale tunisienne et aux alentours. Dans cette période, on observe une **tendance à la hausse très significative**, en moyenne de **11.3 mm par décennie** au niveau national. Néanmoins, cette évolution n'est pas statistiquement différente d'un étage climatique à l'autre. Cette augmentation peut engendrer un **renforcement du risque de sécheresse agricole**.

Bilan hydrique d'octobre à mai (BH)

Le bilan hydrique traduit la différence entre les apports par les précipitations et les pertes par l'évapotranspiration réelle (que nous avons supposée approximativement égale à la moitié de l'ETP). Pour la période de référence, la valeur moyenne du bilan hydrique entre octobre et mai est de **- 94 mm**. La côte Nord-Ouest bénéficie du bilan hydrique le plus élevé (> 250 mm). Le passage d'un bilan négatif à un bilan positif est approximativement marqué par la dorsale tunisienne. Entre 1981 et 2018, nous n'observons **pas de tendance significative**. L'augmentation de l'évapotranspiration a été masquée par la forte variabilité des précipitations, voire une légère tendance à la hausse de celle-ci comme indiqué plus haut.

Longueur de la période de croissance végétative (LPC)

La période de croissance végétative correspond à la période pendant laquelle le bilan hydrique est positif, avec un délai supplémentaire pour l'exploitation des réserves en eau du sol par la végétation. La longueur de la période de croissance est en moyenne de **95 jours** sur l'ensemble de la Tunisie entre 1981 et 2010. L'écart entre étages est cependant très marqué. L'étage aride, où se situent beaucoup de parcours a par exemple une longueur moyenne de 90 jours (3 mois), contre 220 jours pour l'étage subhumide (7 mois). Il n'y a **pas de tendance statistiquement significative** détectée au regard de la forte variabilité climatique. L'analyse du climat futur sera nécessaire pour infirmer ou confirmer ce constat.

Date de montaison du blé (D_mon)

La montaison du blé est la phase de développement du blé au cours de laquelle l'épi se développe et les entrenœuds s'allongent. La date de début est estimée en calculant le cumul de chaleur depuis le semis. Pour rappel, le stade « épi 1cm » lors de la montaison est très sensible au gel. La date moyenne de début de montaison se situe autour du **22 mars** au niveau national. Toutefois, en étage subhumide, où se trouve la vallée de la Medjerda qui concentre une grande partie de la production de blé, ce jour est retardé au 31 mars.

Un **avancement très significatif** de la date de montaison est constaté pour la période 1981-2010, de l'ordre de **2.8 jours par décennie** en moyenne sur l'ensemble de la Tunisie, sans différence significative entre étages, indiquant un net raccourcissement du cycle de la culture sur tout le territoire. Cet élément doit être analysé avec le risque de gel.

Date de maturation du blé (D_mat)

La maturation du blé correspond au dernier stade de son développement, durant lequel les grains se remplissent et mûrissent avant la moisson. Tout comme la montaison, la date de début de maturation est calculée par le cumul de chaleur (température de base 0 °C). La date moyenne de début de maturation se situe autour du **17 mai** au niveau national, et le 1^{er} juin pour l'étage subhumide. Là encore, un **avancement très significatif** est détecté, plus important que pour la montaison. Il est estimé à **3.5 jours par décennie** sur l'ensemble de la Tunisie, sans différence significative entre étages, avec pour conséquence des **moissons plus précoces**.

Nombre de jours échaudant entre avril et juin (N_ech)

Le risque d'échaudage est étudié pendant la période de remplissage des grains, entre avril et juin. Le nombre de jours échaudant moyen est de **62 jours** au niveau national, mais n'est que de 36 jours dans l'étage subhumide. **L'augmentation** du nombre de jours échaudant est **très significative**, avec **3 jours supplémentaires par décennie en moyenne** dans tous les étages, sans différence statistique. **Le risque d'échaudage** est donc devenu plus important entre 1981 et 2018.

Nombre de jours de gel annuels (N_gel_an)

En moyenne, le nombre de jours de gel par an en Tunisie entre 1981 et 2010 est de **4.2 jours**. Le risque gel se concentre très majoritairement au Nord-Ouest, dans l'extension du massif de l'Atlas, et dans une moindre mesure dans le sahel tunisien. Le littoral est protégé du gel. L'augmentation des températures cause une **diminution significative** du nombre de jours de gel, de **0.55 jours par décennie**. Il n'y a **pas de différence statistique** de l'évolution temporelle entre les étages.

Nombre de jours de gel printaniers (N_gel_pr)

Le gel printanier mérite un focus particulier, car s'il est plus rare que le gel hivernal, son impact sur le blé est très fort au stade "épi 1 cm" survenant à cette période.

En moyenne, le nombre d'événements de gel printanier en Tunisie entre 1981 et 2010 est de **1.3 jours** par an. Sa répartition spatiale est similaire au gel annuel, avec des valeurs moyennes moindres. Il n'y a par contre **pas de tendance significative détectable**.

Nombre de jours de gel fort annuels (N_gel_F_an)

Un gel fort est défini comme une température minimale inférieure à -5°C. Il peut provoquer des gros dégâts sur la floraison de l'olivier et le développement des céréales. Le risque de gel fort est faible au niveau national, avec seulement **0.03 jours de gel fort par an**. Le risque est toutefois beaucoup plus élevé au sein des zones montagneuses du Nord-Ouest, ponctuellement supérieur à 1 jour annuel. Au regard des dégâts qu'il peut engendrer, il ne doit donc pas être négligé. **Aucune tendance significative** n'a par contre été détectée.

Quantité de périodes de froid (« chilling portions ») entre octobre et mars (CP)

L'olivier, comme beaucoup d'autres cultures arboricoles fruitières, est une espèce dont l'induction de développement est dépendante d'un apport de froid suffisant au cours de l'hiver précédent. Si ses besoins ne sont pas satisfaits, la floraison est retardée et d'une qualité dégradée, pouvant causer une baisse de la production de fruits. La quantité de froid compatible avec les besoins de l'olivier peut être estimée par les périodes ou portions de froid (« chilling portions »), un indicateur adapté aux climats méditerranéens. Nous retrouvons une répartition spatiale proche des autres indicateurs dépendants de la température, autour d'une valeur moyenne de **68 portions de froid** d'octobre à mars. La diminution, de l'ordre de **5.1 portions par décennie** est **très significative**, avec des conséquences potentielles sur la production, sans différence de tendance temporelle entre étages. Les hivers sont donc **de plus en plus doux** au sens des périodes de froid.

Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier (D_fr_oli)

Un indicateur complémentaire des périodes de froid permet d'estimer la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier à partir du nombre de jours de température moyenne inférieure à 12°C. La date moyenne dans le gouvernorat de Sfax où se situe une importante partie de la production d'olivier renvoie des dates très variables, comprises **entre le 5 et le 30 janvier**. La date de satisfaction semble être retardée entre 1981 et 2018, mais les tests statistiques ne permettent pas de conclure avec certitude (significativité au seuil de 10% uniquement). Les analyses pour le climat futur pourront nous apporter plus d'éléments d'analyse.

Nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août (N_40)

Les chaleurs extrêmes (température maximale supérieure à 40°C) tendent à freiner la croissance des fruits, voire les dessécher. Le nombre de jours de chaleur extrême moyen est de **14 jours** au niveau national, mais est largement influencé par l'étage saharien. Il passe à 10 et 3 jours pour les étages aride et semi-aride. **L'augmentation** du nombre de jours de chaleur extrême est **très significative**, avec **1.5 jours supplémentaires par décennie en moyenne**. On constate par contre **des différences de pente significatives** entre étages. **Le risque de chaleur extrême** est donc devenu plus important entre 1981 et 2018.

Indice de répartition pluviométrique (IRP)

L'indice de répartition pluviométrique (IRP) traduit les conditions de pluviométrie en termes de développement de la végétation. Plus l'IRP est élevé, plus la pluviométrie est favorable à la végétation. L'IRP est construit à partir de la pluviométrie mensuelle et de sa variabilité intra-annuelle. Une répartition homogène de la pluviométrie donnera un IRP plus élevé. L'indice de répartition des pluies pour les classes 8-12 et 12-16 traduit des conditions favorables pour les végétations, et par conséquent pour l'agriculture. Il confirme ainsi les niveaux de pressions élevés sur les terres de parcours de la Tunisie aride (en particulier les nappes alfatières de l'aride supérieur) pour les transformer en agriculture (céréaliculture mais surtout arboriculture). Entre le premier et le second inventaire forestier, les surfaces de nappes alfatières de la Tunisie centrale sont passées d'environ 750.000 à 400.000 ha. Néanmoins, le changement climatique n'est pas le seul facteur en jeu dans cette évolution. La menace de changement d'affectation reste élevée, d'autant plus que l'IRP est à minima stable voire croissant (**pas de résultat significatif** cependant).

Nombre de jours entre les 2 premières pluies journalières efficaces (N_P_eff)

Cet indicateur est adapté à l'étude des parcours, dont les occupations prioritaires sont la Tunisie centrale (en dessous de la dorsale) et le sud. Plus l'intervalle entre deux pluies efficaces (supérieures à 10mm) est grand, plus le risque augmente de voir le départ de la végétation s'arrêter. On remarque que l'indicateur calculé dans la quasi-totalité des territoires d'intérêt est supérieur à **25 jours**. Il s'agit d'un délai assez long qui sépare deux pluies utiles, ce qui risque d'augmenter la vulnérabilité du couvert végétal de ces zones face à la sécheresse et en particulier les espèces annuelles. Ces plantes risquent de germer et de démarrer une période de croissance normale qui sera ensuite perturbée voire bloquée par une sécheresse prolongée. Ce phénomène influence par conséquent le développement végétatif des espèces et de fait le disponible fourrager. Nous constatons aussi la forte variabilité, à la fois spatiale et temporelle de cet indicateur. Cependant, il n'y a ainsi pas de tendance temporelle statistiquement remarquable.

Tendances et évolutions climatiques futures

Dans cette section, nous analysons les effets du changement climatique sur les 4 variables physiques ainsi que sur les six indicateurs climatiques sélectionnés. Les effets futurs du changement climatique sur les indicateurs agroclimatiques seront traités dans la phase 2 du projet. Pour chaque variable/indicateur, nous présentons une carte de delta (différence entre le futur et la période de référence) pour chacune des périodes cibles (2050 et 2100) ainsi que pour chacun des 2 scénarios RCPs. Nous rappelons que le scénario RCP4.5 correspond à un effort international soutenu de réduction des gaz à effet de serre alors que le RCP8.5 correspond à un scénario « sans politique » qui s'avère aujourd'hui le plus probable au regard du dernier rapport du GIEC et de l'absence de baisse des émissions au niveau mondial. La médiane multi-modèles a été tracée. Elle correspond à la meilleure estimation possible du delta au vu des difficultés des modèles à représenter les différents processus en jeu (incertitudes techniques). Un test d'inférence statistique de Wilcoxon a été réalisé pour chaque modèle séparément afin de définir si le delta est significatif au seuil de significativité de 5%. Enfin une analyse de la cohérence de l'ensemble multi-modèle a été réalisée. Nous estimons que le delta multi-modèle est significatif si au moins 67% des modèles simulent un delta de même signe et significatif d'après le test de Wilcoxon. Cette information est présentée sur les cartes de delta.

Nous présentons également les séries temporelles des moyennes annuelles entre 1981 et 2100 pour chaque étage bioclimatique. Elles incluent :

- La série temporelle 1981-2100 de la médiane multi-modèle pour le RCP8.5 (série rouge) ainsi que l'enveloppe correspondant aux percentiles 25 et 75 de l'ensemble multi-modèles ;
- La série temporelle 1981-2100 de la médiane multi-modèles pour le RCP4.5 (série bleue) ainsi que l'enveloppe correspondant aux percentiles 25 et 75 de l'ensemble multi-modèles ;
- La droite de régression linéaire pour le RCP8.5 (rouge) et le RCP4.5 (bleue). Cette droite est tracée en **trait plein dans le cas où la tendance est significative** d'après le test d'inférence statistique de Mann-Kendall (seuil de significativité de 5%), et en pointillé dans le cas contraire.

Il est important de noter que les séries de données modélisées et observées ne correspondent pas à la même information en termes de variabilité. Les séries modélisées sont lissées car elles correspondent aux médianes et percentiles de l'ensemble multi-modèle alors que la série observée est beaucoup plus « chaotique » du fait qu'elle représente des valeurs brutes annuelles.

Les changements constatés pour la période de référence (1981-2010) et les horizons considérés indiquent clairement une tendance au réchauffement et à une baisse des précipitations sur le long terme :

- Pour la température moyenne au niveau national : entre +1,5°C et +1,9°C à l'horizon 2050, et +1,9°C et +3,9°C à l'horizon 2100. Des évolutions très similaires sont attendues concernant les températures minimales et maximales ;
- Pour les précipitations annuelles au niveau national : entre -14 mm et -22 mm à l'horizon 2050, et -23 mm et -45 mm à l'horizon 2100.

Ces évolutions sont du même ordre que les résultats des projections de l'INM publiées à l'occasion de la Troisième Communication Nationale de la Tunisie. Ces tendances vont continuer à s'accroître à l'avenir avec une variabilité spatiale marquée par des gradients entre l'est et l'ouest mais aussi entre le nord et le sud.

Synthèse des évolutions des variables climatiques

Variables climatiques	Evolution actuelle	Commentaires	Evolution attendue	Commentaires	Concordance des modèles
Cumul de précipitation	Augmentation faible	tendance non-significative	Diminution moyenne	-14 à -22mm en 2050 -23 à -45mm en 2100	Forte
Température minimale	Augmentation forte	+0.32°C/décennie	Augmentation forte	+1.5 à 1.9°C en 2050 +1.9 à 3.9°C en 2100	Forte
Température moyenne	Augmentation forte	+0.37°C/décennie	Augmentation forte	+1.6 à 1.9°C en 2050 +2.0 à 3.9°C en 2100	Forte
Température maximale	Augmentation forte	+0.44°C/décennie	Augmentation forte	+1.7 à 1.9°C en 2050 +2.1 à 3.9°C en 2100	Forte

Les projections d'extrêmes climatiques indiquent une recrudescence des phénomènes de sécheresses en fréquence et en intensité, en particulier dans le scénario RCP 8.5. Les vagues de chaleur pourraient voir leur nombre multiplié par 7. Les vagues de froid et la durée des périodes humides, quant à elles, diminueraient. Les événements de pluie fortes et extrêmes diminueraient dans le Nord du pays mais pourraient augmenter dans le Centre, le Sud et l'Ouest en fonction du type d'événements considérés.

Synthèse des évolutions des indicateurs climatiques

Indicateurs climatiques	Evolution actuelle	Commentaires	Evolution attendue	Commentaires	Concordance des modèles
Nombre maximum de jours consécutifs humides	Augmentation très faible	Tendance non-significative	Diminution faible	Changement non significatif en 2050 -6 à -12% en 2100	Moyenne en 2100
Nombre maximum de jours consécutifs secs	Diminution très faible	Tendance non-significative	Augmentation moyenne	Changement non significatif en 2050+13 à +31% en 2100	Moyenne à forte en 2100
Nombre de jours de précipitations > 10mm	Stable	Pas de tendance	Diminution faible	Changement non significatif en 2050-7 à -15% en 2100 pouvant atteindre 18% localement	Moyenne en 2100
Nombre de jours de précipitations > 20mm	Stable	Pas de tendance	Changement contrasté	Changement non significatif en 2050 En 2100 : - diminution pouvant atteindre -30% localement dans les zones humides et subhumides - légère augmentation dans certaines zones au Sud, à l'Ouest et au Centre du pays	Moyenne en 2100
Nombre de jours de précipitations > 40mm	Stable	Pas de tendance	Indéterminée	Incapacité des modèles à représenter ce phénomène	Faible
Nombre de jours de précipitations > 70mm	Augmentation très faible	+0.01 jour / an	Indéterminée	Incapacité des modèles à représenter ce phénomène	Faible
Nombre de jours de canicule	Augmentation forte	+0,58 jour / an	Augmentation très forte	Multiplication par 3 en 2050 Multiplication par un facteur 4 à 7 en 2100	Forte en 2100
Nombre de jours de vague de froid	Forte diminution	-0.21 jours / an	Forte diminution	-61 à -70% en 2050 -71% à -79% en 2100	Forte en 2100

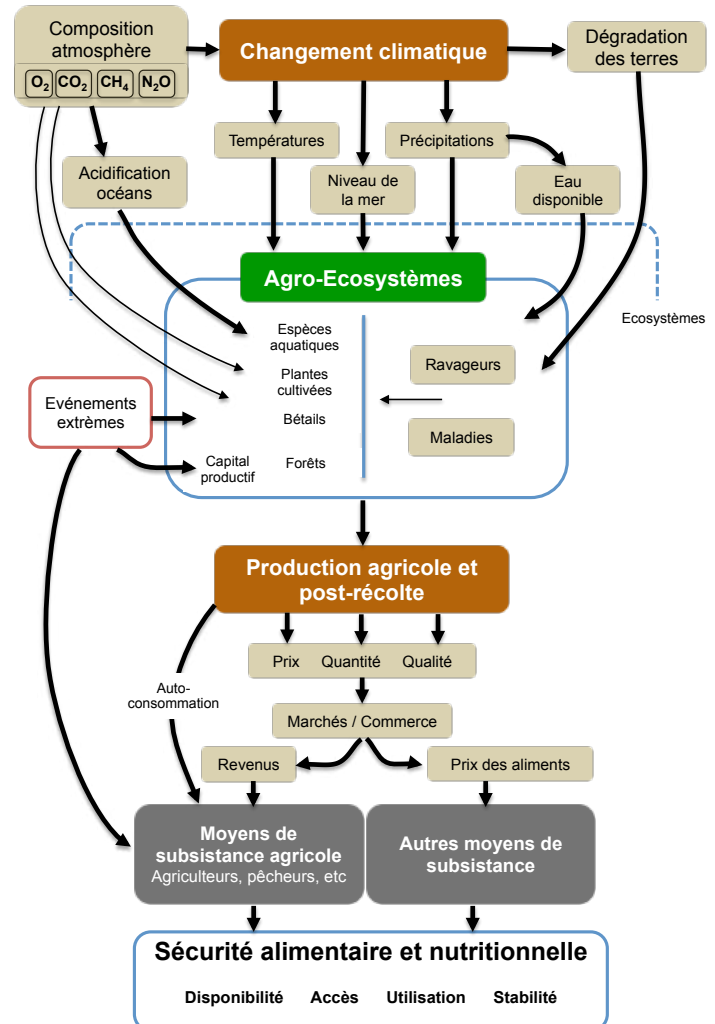
Indicateurs agroclimatiques

Indicateurs agroclimatiques	Evolution actuelle	Commentaires	Evolution attendue
ETP	Augmentation forte	+ 11,3 mm / décennie	à venir en phase 2
Bilan hydrique	Stable	Pas de tendance significative détectée	
Longueur de la période de croissance	Stable	- 2,7 jours / décennie, mais non significatif	
Date de montaison du blé	Diminution forte	- 2,8 jours / décennie	
Date de maturation du blé	Diminution forte	- 3,5 jours / décennie	
Nombre de jours échaudant	Augmentation forte	+ 3 jours / décennie	
Nombre de jours de gel annuels	Diminution moyenne	- 0,55 jours / décennie	
Nombre de jours de gel printaniers	Stable	Pas de tendance significative détectée	
Nombre de jours de gel fort annuels	Stable	Pas de tendance significative détectée	
Quantité de portions de froid	Diminution forte	- 5,1 portions / décennie	
Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier	Indéterminée	+ 1,2 jour / décennie, mais faible significativité	
Nombre de jours de chaleur extrême	Augmentation forte	+ 1,5 jour / décennie	
IRP	Stable	+ 1,3 point / décennie, mais non significatif	
Nombre de jours entre 2 pluies efficaces	Stable	Pas de tendance significative détectée	

Impacts actuels du changement climatique sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Tunisie

Changement climatique et sécurité alimentaire

Le changement climatique a des interactions complexes avec les systèmes alimentaires et sur la disponibilité, l'accès, l'utilisation et la stabilité des aliments, qui sont les piliers de la sécurité alimentaire. Le schéma ci-contre montre les liens entre le changement climatique et la sécurité alimentaire. Le rapport spécial sur le changement climatique et les terres du GIEC⁷ (2019) indique que les changements climatiques observés ont déjà une incidence sur la sécurité alimentaire en raison de la hausse des températures, de la modification des régimes de précipitations et de la fréquence accrue de certains événements extrêmes. Les changements climatiques devraient avoir un impact négatif sur les quatre piliers de la sécurité alimentaire - disponibilité, accès, utilisation et stabilité - et leurs interactions (FAO et al. 2018). Les modèles économiques mondiaux prévoient une hausse du prix des céréales qui pourrait atteindre 30% en 2050, en raison du changement climatique ce qui aurait un impact sur les consommateurs du monde entier du fait de la hausse des prix des denrées alimentaires, les pays et ménages à faible revenu étant particulièrement à risque. Face aux phénomènes extrêmes et aux interconnexions croissantes, les risques de perturbation du système alimentaire augmentent.



La vulnérabilité des systèmes pastoraux au changement climatique est très élevée. Le pastoralisme est pratiqué dans plus de 75% des pays par 200 à 500 millions de personnes, parmi lesquelles des communautés nomades, des éleveurs transhumants et des agropasteurs. Les impacts sur les systèmes pastoraux en Afrique incluent la baisse de productivité des pâturages et des animaux, la détérioration de la fonction de reproduction et la perte de biodiversité. La vulnérabilité des systèmes pastoraux est exacerbée par des facteurs non climatiques (appropriation privée de l'espace, sédentarisation, effondrement des communs, espèces envahissantes, manque de marchés et conflits). D'autre part, la sécurité alimentaire et le changement climatique ont une dimension liée au genre et à l'équité. Dans le monde entier, les femmes jouent un rôle clé dans la sécurité alimentaire, bien qu'il existe des

⁷ <https://www.ipcc.ch/srccl/>

différences régionales. L'inégalité des femmes au sein du ménage limite leur capacité à acheter de la nourriture ; les limitations comprennent également le manque de mobilité des femmes ayant une incidence sur les déplacements vers le marché et le manque de prise de décision au sein du ménage. Par ailleurs, les hommes, les femmes, les enfants et les personnes âgées ont des besoins nutritionnels différents (notamment pendant la grossesse et l'allaitement). A l'instar des femmes, les impacts du changement climatique sont plus forts pour d'autres populations vulnérables et pauvres, notamment les jeunes ruraux, les personnes âgées, les personnes handicapées et les migrants, notamment ceux se trouvant en situation irrégulière.

Impacts sur la disponibilité alimentaire

Les effets avérés et potentiels de la variabilité et du changement climatiques sur la production agricole ont déjà été synthétisés pour la Tunisie dans la Troisième Communication Nationale (2018). Il s'agit donc ici de tenter d'améliorer la quantification des impacts climatiques sur les rendements agricoles et pastoraux à l'échelle nationale. Ainsi des modèles statistiques d'impact sur la disponibilité alimentaire appliqués aux trois productions ciblées par l'étude ont été construits. Ces relations permettent d'expliquer certains effets déjà constatés pour les 3 filières et serviront en Phase 2 à modéliser l'impact attendu du changement climatique sur la disponibilité alimentaire en appliquant les conditions climatiques futures présentées au chapitre 2 aux fonctions de production et de rendement.

Céréales

La construction d'un modèle simulant les rendements des céréales en fonction des paramètres climatiques passés se base sur une série statistique des productions et superficies en blé dur, blé tendre, orge et triticale, à partir de 1982 à l'échelle du gouvernorat, grâce aux données mises à disposition par le ministère de l'agriculture, ainsi que des données complémentaires sur la part de la céréaliculture en irrigué à l'échelle des gouvernorats. Ceci a permis de restreindre la modélisation aux seules céréales conduites en pluvial.

Les paramètres climatiques journaliers, calculés selon la méthodologie présentée dans le chapitre II, offrent une information beaucoup plus fine spatialement (5 km²) que celle des statistiques agricoles (par gouvernorat). C'est pourquoi le climat moyen par gouvernorat et par zone agricole a été calculé. La délimitation des zones agricoles a été produite à partir de la carte de l'inventaire forestier national. Les pluies, la somme des températures, les évapotranspirations journalières, le bilan hydrique climatique ainsi qu'un indicateur de longueur du cycle végétatif ont été calculés. Les corrélations entre ces paramètres annuels, saisonniers et mensuels ont été établies et ont permis une première sélection des modèles de prévision. La stationnarité des données a été prouvée statistiquement et des régressions linéaires multiples ont été réalisées. Ainsi, les pluies et les ETP saisonnières, ainsi que la longueur du cycle végétatif sont des variables pertinentes du modèle sélectionné pour l'interprétation des rendements passés et la projection future.

Tous les modèles présentés s'adaptent aux spécificités des données agricoles disponibles en Tunisie et aux paramètres climatiques qui sont simulés pour le futur. Les modèles sélectionnés permettent de tenir compte des effets des variations des quantités et de la distribution des pluies saisonnières, la longueur de la période humide et les variations des températures

Il ressort de cet exercice que parmi tous les indicateurs utilisés, le bilan hydrique climatique (BH_{an}=P-0.5 ETP) est un indicateur clé pour la prévision des rendements du blé dur, blé

tendre et de l'orge avec des corrélations fortes et positives de l'ordre de 0,675, 0,755 et 0,630 respectivement pour le blé dur, blé tendre et orge.

Oliviers à huile

De même que pour les céréales, la modélisation des rendements de l'olive à huile s'est adaptée aux spécificités des données statistiques disponibles et aux paramètres climatiques disponibles. Les données de production et de superficie à l'échelle du gouvernorat couvrent seulement douze années (2006-2017), ce qui est relativement faible particulièrement à cause du phénomène d'alternance de la production pour l'olivier. Une série plus longue sur les surfaces et la production ainsi que la part de l'irrigué permettrait d'améliorer la simulation des rendements. D'autre part, les données disponibles ne permettent pas de tenir compte de l'impact de certains menaces et aléas climatiques tels le sirocco ou la grêle. Cet exercice de prévision est limité aux variables climatiques disponibles.

Les données climatiques issues des modèles présentés au chapitre 2 et moyennées par gouvernorat et par zone arboricole ont été utilisées. Ainsi la température est exprimée en somme de degrés jours (DJ) (les températures supérieures à 0), l'évapotranspiration potentielle a été calculée à l'échelle de la journée à partir de la température, le bilan hydrique climatique a été estimé également selon la formule P-0.5 ETP. Pour les indicateurs de besoin en froid de la floraison de l'olivier, le nombre de jours pour lesquels la température moyenne est inférieure à 12 degrés a été estimé pour trois périodes : novembre-décembre-janvier ; novembre-décembre-janvier-février et novembre-décembre-janvier-février-mars. Finalement, afin de tenir compte de l'arrêt potentiel de la croissance et du dessèchement des fruits. Le nombre de jours pour lesquels la température maximale est supérieure à 40 degrés ($>40^{\circ}\text{C}$) a été calculé.

Il ressort de cette analyse que le bilan hydrique climatique, le nombre de jours où la température est supérieure à 40°C et l'alternance apparaissent comme les indicateurs les plus significatifs pour la prévision des rendements de l'olivier à huile. L'indicateur des besoins en froid utilisé (nombre de jours où la température est $<12^{\circ}\text{C}$) apparaît avec une moindre importance.

Parcours

La modélisation de la production des terres de parcours s'est fondée sur des observations de terrain réalisées lors de deux inventaires forestiers et pastoraux nationaux en 1990 et 2000 dans le but d'estimer la quantité de matière sèche par hectare puis le nombre d'unités fourragères correspondantes. Ces d'observations, ont été complétées par des relevés réalisés en 2008 et 2009 par les chercheurs de l'Institut des Régions Arides sur les parcours du Sud Est (Médenine).

L'ensemble de l'échantillon statistique est constitué de 215 points d'observation. Les variables climatiques et autres indicateurs qui ont été employés pour les tests de modélisation sont calculés à l'échelle de toutes les unités cartographiques classées comme terres de parcours dans le deuxième inventaire forestier et pastoral national.

Trois modèles ont été testés pour établir des relations entre la production fourragère et les variables climatiques (températures moyennes, minimales, maximales et précipitations annuelles et par saison. Le modèle retenu est inspiré des travaux de LEHOUEIROU (1992),

que nous avons adapté au contexte actuel, et qui estime la production en kilogrammes de matière sèche par hectare et par an sur la base de la pluie efficace.

Le coefficient d'efficacité pluviométrique (CEP) de 1,9 que nous avons déterminé sur la base des relevés terrain est inférieur à ceux proposés par d'autres chercheurs en Tunisie et en Algérie avec 2,1 et 2,4 respectivement. Cette baisse de l'efficacité de la pluviométrie peut être due à plusieurs facteurs d'ordre biophysiques, de gouvernance, mais aussi climatiques.

Néanmoins, les effets du climat sur la production pastorale ici démontrés peuvent être aggravés par les activités humaines comme l'ont démontré divers auteurs qui considèrent que la dégradation anthropique du tapis végétal entraîne une augmentation de la température du sol ce qui a pour effet de diminuer ses capacités de stockage de l'eau et tend à renforcer l'aridité d'origine climatique.

En revanche, il n'existe pas de relation forte entre disponible fourrager et effectif des cheptels, ce qui met en évidence un mode d'élevage basé essentiellement sur des apports alimentaires de substitution procurés par des importations. En effet, selon les données officielles, les parcours procurent entre 8 et 16% des besoins alimentaires des cheptels selon les années. Ceci confirme le diagnostic déjà posé par divers auteurs qui expliquent que ces dynamiques ont permis l'émergence d'une nouvelle catégorie d'"entrepreneurs de l'élevage" de moins en moins dépendants des ressources fourragères pastorales. Ces mutations, les nouveaux modes de gestion adoptés et les stratégies individuelles mises en œuvre, sont de nature à amplifier davantage la vulnérabilité intrinsèque des terres de parcours face aux changements climatiques et fragilise les filières dépendantes et finalement la sécurité alimentaire nationale.

Impact sur les ressources en eau

La politique de gestion centralisée de l'eau fondée sur le développement de l'offre rencontre depuis une vingtaine d'années ses limites, puisque la quasi totalité des ressources ont été mobilisées, dessinant ainsi une perspective de plus en plus conflictuelle, d'autant dans une perspective de baisse et de plus grande irrégularité des précipitations et de hausse des températures. Tous les modèles climatiques convergent sur la diminution des cumuls de précipitation sur tout le pays, particulièrement sur l'étage humide et sub humide du Nord.

D'autre part, l'augmentation moyenne du niveau de la mer de 30 à 50 cm à l'horizon 2050, sera à l'origine d'une perte par salinisation d'environ 50% des ressources actuellement disponibles dans les nappes côtières et perte indirecte du potentiel de la superficie irrigable d'environ 38000 ha, soit 10% de la superficie irriguée actuelle (MEDD - Aout 2015). La demande en eau de l'agriculture irriguée augmentera sous l'effet des changements climatiques (prolongation des périodes sèches et de l'élévation des températures) et aura des impacts liés aux disponibilités des stocks d'eau de surface et souterraines et de leurs qualités qui seront affectés par une exploitation plus intensive engendrant des coûts plus élevés du pompage, dégradation de la qualité et concurrence entre les différents secteurs de développement.

Impacts sur la pêche et l'aquaculture

« Selon la FAO il est bien établi que « les variations de température et d'autres éléments résultant du changement climatique auront un impact profond sur la pêche et l'aquaculture ». La pêche de capture est fondamentalement différente d'autres systèmes de production alimentaire dans ses liens et ses réactions au changement climatique et les effets sur la sécurité alimentaire qui en résultent. A la différence de la plupart des animaux terrestres, les espèces animales aquatiques utilisées pour la consommation humaine sont poïkilothermes,

ce qui signifie que leurs températures corporelles varient selon les températures ambiantes. Tout changement de température de l'habitat influence de manière significative leur métabolisme, leur taux de croissance, productivité, leur reproduction saisonnière et leur susceptibilité aux maladies et aux toxines».

Les activités de pêche sont donc particulièrement vulnérables à l'élévation de la température moyenne, ainsi qu'aux variations physico-chimiques du milieu marin (turbidité, salinité, acidité, etc.), mais également aux extrêmes climatiques (crues terrestres, vents et tempêtes, vagues de chaleurs).

Pour les côtes tunisiennes, l'évolution observée du niveau de la mer est +2,6 cm/décennie pour la période 1999-2007. Le Golfe de Gabès apparaît comme une des régions les plus affectées par les surcotes maritimes en Méditerranée. Les infrastructures portuaires sont donc vulnérables à la hausse du niveau des océans et aux risques de submersion marine. Les impacts de la surexploitation, la pollution, la dégradation des habitats auxquelles s'ajoutent les changements climatiques impactent déjà les ressources marines.

Toutes les études s'accordent sur le fait que la production phytoplanctonique, surtout dans le golfe de Gabès est régie par la fluctuation de la salinité et de la marée (cycle des nutriments) et dans un moindre degré par la variation de la température. La production primaire connaît :

- Une modification profonde dans la composition et la structure de la communauté halieutique
- Abondance d'espèces nuisibles dont la prolifération est généralement imprévisible, irrégulière et de courte durée
- Fréquence plus élevée des blooms d'algues toxiques (HAB's) à l'origine de mortalités massives d'organismes marins notamment d'espèces d'intérêt halieutique et des conséquences dramatiques sur l'environnement.
- Les événements extrêmes (inondations) peuvent perturber la saisonnalité de la production primaire et entraîner une modification des biomasses phytoplanctoniques

Il ressort de cette étude que les pressions trophiques des méduses sur les stocks de poissons sont loin d'être négligeables et qu'ils peuvent affecter négativement et sérieusement l'équilibre des écosystèmes marins et lagunaires.

D'autres études montrent que les pêcheries artisanales des Kerkennah et la pêche à pied des palourdes dans le golfe de Gabes pratiquées par plusieurs milliers de femmes, sont menacées par l'augmentation du niveau de la mer.»

Impacts du CC sur l'accès, l'utilisation et la stabilité du système alimentaire

En termes d'accès aux aliments, les événements extrêmes et les dégâts qui en résultent, affectent les moyens de subsistance et les revenus des producteurs de denrées alimentaires et plus généralement des ménages, en particulier les plus pauvres. . A titre d'illustration, les inondations de mars 1979 (Médenine, sud du pays) ont engendré la perte de 7600 têtes ovines alors que celles du Janvier 1990, (Sidi Bouzid, Gafsa, Kairouan, Jeffara), en plus de 50 000 hectares endommagés ont causé la perte de 7800 têtes de bétail. De même, les inondations ont endommagé 85% des récoltes en 2003 (Nord du pays et grand Tunis) et 3.000 hectares de terres agricoles en 2011 (Nord du pays, Zaghuan, basse vallée de la Medjerda), Enfin, récemment, 1791 agriculteurs ont été sinistrés par les inondations de septembre 2018 (Nabeul, Cap Bon et Kasserine). La baisse des revenus des producteurs et des ménages

ruraux est de nature à limiter la capacité de ces populations à accéder à la nourriture dont ils ont besoin.

Ces événements extrêmes et la dégradation des conditions de production peuvent engendrer une hausse et une plus grande volatilité des prix des denrées alimentaires à l'échelle mondiale et nationale, contraignant ainsi les ménages les plus pauvres à réduire leur consommation alimentaire en quantité et en qualité.

En termes d'utilisation biologique des aliments, plusieurs phénomènes se conjuguent :

- la réduction de la qualité de l'eau potable suite à des vagues de chaleur et des inondations, entraîne une recrudescence de maladies diarrhéiques, affectant principalement les populations à faible revenus.
- des conditions d'humidité ou de températures plus favorables au développement de micro-organismes et de toxines induisent des phénomènes de contamination des aliments et de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. (stockage, chaîne de froid)
- l'aridification peut provoquer une baisse de la qualité nutritive des aliments notamment de leur concentration en vitamines et en oligo-éléments.
- la perte de revenus suite à un choc climatique, induit pour les ménages les plus modestes, une baisse des dépenses de santé.

En termes de stabilité, le principal événement manquant la décennie actuelle est la hausse des prix alimentaires en 2007-2008, qui a mis en évidence la vulnérabilité de la Tunisie. Des épisodes climatiques extrêmes, y compris sécheresses et inondations, ont touché les principaux pays producteurs de céréales en 2005-2006. La production céréalière mondiale a chuté de 3,6 pour cent en 2005 et de 6,9 pour cent en 2006 avant de se rétablir en 2007.

En Tunisie, après une période de relative stabilité, les prix à l'importation des céréales ont connu une augmentation spectaculaire en 2008 puisqu'ils ont été multipliés par 3,69 pour le blé dur, par 2,56 pour le blé tendre et par 2,4 pour l'orge. Quant aux huiles de graines, importées, leur prix moyen à l'importation est passé de 944 dinars la tonne en 2005 à 1200 dinars en 2007, soit une augmentation de l'ordre de 27%. Cet accroissement des prix à l'importation s'est répercuté en partie sur les prix à la consommation avec une hausse de l'indice général des prix à la consommation de 5,7%, de 9,4 % pour les produits céréaliers et de 14,6 %, pour les produits laitiers.

L'augmentation de la fréquence et de la sévérité des événements extrêmes, notamment les sécheresses affecte la stabilité des approvisionnements, réduit les revenus des agriculteurs et des ménages les plus pauvres, alors que la plus grande rareté de l'eau tend à générer des conflits entre usagers et une course à la concurrence qui favorise ceux qui disposent de moyens pour extraire de l'eau toujours plus profond.

I. Analyse de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Tunisie

I.1 Rappel du concept de la Sécurité Alimentaire

Le concept de sécurité alimentaire⁸ n'est pas unique et universel. Il a évolué depuis son apparition dans les années 70. Plus de trente définitions ont pu être repérées entre 1975 et 1991 (MAXWELL et FRANKENBERGER, 1995), ce qui montre la diversité des approches. Il a évolué à partir de considérations économiques et quantitatives vers des dimensions plus sociales et qualitatives.

Les différentes définitions mettent en évidence quatre types d'évolutions :

- Du niveau macro au micro, de l'évaluation des stocks nationaux de denrées alimentaires vers le niveau familial
- Du niveau suffisance de l'offre alimentaire, vers une préoccupation de satisfaction de la demande
- Du niveau du ménage vers le niveau individuel
- Du court terme (l'année) vers le long terme (à tout moment)

Aujourd'hui, la définition de référence est celle adoptée lors du Sommet mondial de l'alimentation de 1996 :

« La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active ».

Les quatre piliers de la sécurité alimentaire qui se dégagent implicitement de cette définition sont : i) la disponibilité ii) l'accès, iii) l'utilisation et iv) la stabilité des trois premières dimensions. La nutrition fait partie intégrante du concept de sécurité alimentaire (FAO, 2009a).

I.2 Politiques de sécurité alimentaire depuis l'indépendance⁹

En plus de la courte période libérale (1957-1961) pendant laquelle les impératifs de construction nationale et de reconquête de la souveraineté ont orienté les politiques de l'Etat, on peut distinguer quatre périodes successives depuis l'indépendance : collectivisation (1962-1969) ; libéralisme contrôlé (1970-1985) ; désengagement progressif et privatisation (1986-1995) et enfin depuis 1995 une période d'ouverture croissante sur le marché extérieur, qui continue après 2011.

⁸ <http://www.fao.org/3/ab788f/ab788f07.htm>

⁹ Note détaillée en annexe IV

La collectivisation (1962-1969)

Marquée par le dirigisme étatique, elle a officiellement poursuivi l'objectif d'atteindre l'autonomie alimentaire en 10 ans. Pourtant le rôle assigné à l'agriculture était de soutenir les autres secteurs économiques en particulier l'industrie et le tourisme en fixant des prix bas aux producteurs et en bloquant les salaires des ouvriers. Avec la réforme des structures agraires – création de coopératives par collectivisation des terres – il s'agit de moderniser l'agriculture (mécanisation et nouvelles techniques de production). De grands aménagements hydrauliques sont décidés et la surface des périmètres irrigués double entre 1960 et 1969 pour atteindre 110 000 Ha.

Avec la dégradation du niveau de vie des coopérateurs, les difficultés financières des UCP auxquelles s'ajoutait l'hostilité à la fois des paysans et de la bourgeoisie foncière, l'expérience de la collectivisation est un échec et tourne court.

Libéralisme avec contrôle étatique (1970-1985)

Dès le début des années 1970, la stratégie de développement a été axée sur l'industrie exportatrice (notamment textile, chaussures) tout en maintenant comme rôle principal à l'agriculture, la fourniture de produits alimentaires à bas prix afin de préserver l'avantage compétitif de la Tunisie fondé sur les bas salaires aux ouvriers.

En termes réels et exception faite des viandes ovine et bovine, les prix à la production des produits agricoles de base ont plutôt eu tendance à baisser affectant les revenus des producteurs (Bedoui 1989, Ben Romdhane 1983, Sethom 1992).

L'Etat a soutenu l'agriculture avec la bonification des taux d'intérêt et avec des subventions (mécanisation, engrais chimiques, irrigation) dont ont bénéficié en particulier les grands propriétaires fonciers. (Dimassi 1983, Sethom 1992).

Désengagement et privatisation (1986-aujourd'hui)

Avec la mise en place d'un Programme d'ajustement structurel (PAS) et sa composante agricole (PASA) le pays a connu une accélération de l'ouverture commerciale. Pour l'agriculture, l'objectif était le renforcement de sa contribution à la croissance économique, à l'équilibre de la balance des paiements et à la création d'emplois, et ce notamment par des incitations au secteur privé.

Il s'agit alors de relever les prix aux producteurs, de réduire les subventions accordées aux intrants, de désengager les services publics des activités concurrentielles au profit du secteur privé, de restructurer la recherche et vulgarisation et rationaliser l'utilisation des ressources naturelles. Parallèlement, des réformes du régime foncier et du crédit agricole ont été entreprises pour encourager l'entrepreneuriat privé.

C'est dans ce cadre qu'a été promulgué le code unique d'incitation à l'investissement en 1993 et que des terres appartenant au domaine de l'Etat ont été cédées en concession à des sociétés de Mise en Valeur et de Développement Agricole (SMVDA) et à des techniciens agricoles.

Ouverture croissante sur les marchés extérieurs (De 1995 à nos jours)

Cette période est caractérisée par une accélération du processus de libéralisation économique et d'ouverture des marchés. L'adhésion à l'OMC (1995), puis l'accord d'association avec l'UE (1998) témoignent de cette plus grande ouverture commerciale.

L'accent a été mis sur la poursuite de la « mise à niveau » du secteur agricole, la consolidation du rôle de la profession ; l'amélioration de l'environnement général du secteur et la mise en œuvre de multiples stratégies sous-sectorielles de production, ainsi que la promotion de l'investissement privé, national et international.

La transition post-révolution après 2011 aurait pu déboucher sur un recentrage du rôle de l'agriculture dans le modèle de développement national, une meilleure prise en compte des intérêts des producteurs agricoles majoritaires, le renforcement du rôle des services publics en matière de formation et d'accompagnement, une nouvelle vision en matière de gestion des écosystèmes et des ressources essentielles que sont les sols et les eaux, ainsi qu'une remise à plat des politiques foncières, notamment pour les terres domaniales. Force est de constater que la politique de développement rural et agricole est restée à ce jour, dans la continuité des anciennes orientations, alimentant ainsi l'instabilité politique et sociale qui caractérise l'étape actuelle.

I.3 La disponibilité alimentaire actuelle

I.3.1 Les agriculteurs (trices) et l'accès aux ressources productives

Qui sont-ils – elles ?

L'enquête des structures agricoles de 2005 estime à 516.000 le nombre d'exploitants (contre 326.000 en 1960) dont 6% seraient aux mains de femmes cheffe d'exploitation.

En 2017, le Ministère de l'Agriculture évalue à environ 550.000 le nombre de femmes travaillant dans le secteur agricole, dont 43 000 dirigent une unité de production et près de 100 000 sont des salariées temporaires et permanentes. Elles représentent 38% de l'ensemble de la force de travail du secteur.

Seuls 44% des exploitants exercent l'agriculture comme activité principale. L'agriculture n'est pas l'activité principale de la moitié de ceux qui possèdent moins de 5 ha et de 20% de ceux qui possèdent 50 ha ou plus. L'âge moyen des exploitants ne cesse d'augmenter, il est passé de 50 ans en 1980 à 54 ans en 2004. L'exode rural a touché principalement les jeunes. En 2005, 84 % des agriculteurs ont un niveau d'instruction primaire et 3 % ont suivi des études supérieures. L'analphabétisme touche un agriculteur sur deux.

Accès à la terre

En Tunisie, la superficie agricole totale est estimée à 10,2 millions d'hectares, soit 63 % du territoire, dont 4,8 millions d'hectares de terres cultivables et 4,8 millions d'hectares de terres de parcours et 0.6 millions d'ha de forêts (INS 2012).

Selon l'enquête des structures (CNEA, 2005), la répartition des exploitations selon leur taille montre que :

- 75% disposent de moins de 10 ha et occupent 25% de la surface ;

- 22% disposent de 10 à 50 ha et occupent 41% de la surface ;
- 3% disposent de plus de 50 ha et occupent 34% de la surface.

Ces données mettent en évidence à la fois l'existence d'un morcellement foncier, mais également le poids des exploitations de taille moyenne, ainsi que la concentration foncière de la terre agricole pour un tiers des surfaces.

Bien que les statistiques nationales ne permettent pas de rendre compte de l'accès au foncier selon le genre, celui-ci est plus difficile pour les femmes. Le Code du Statut Personnel de 1956 stipule que : i) Les époux héritent l'un de l'autre mais différemment selon qu'il y a progéniture ou non : le mari hérite le quart ou la moitié des biens de son épouse qui, elle, n'hérite que du huitième ou du quart du mari. ii) La fille hérite de la moitié de la part du fils. Dans certaines régions rurales, la tradition interdit aux femmes d'hériter des terres de leurs parents. Il est courant que la part des filles dans l'héritage soit réduite au profit des garçons, en contradiction avec la loi. A noter que le partage égalitaire est possible si le propriétaire exprime sa volonté de son vivant ou au moyen d'un testament.

De nombreuses enquêtes de terrain mettent en évidence l'existence de marchés fonciers actifs et de dynamiques foncières caractérisées par :

- La persistance de l'emprise foncière de grands propriétaires souvent absentéistes et de l'Etat avec les terres domaniales qui représentent un sixième des terres agricoles ;
- L'ampleur des appropriations privées sur les terres collectives, notamment les espaces de parcours, encouragés par une législation favorable ;
- Le morcellement continu du foncier agricole sous l'effet naturel des successions et d'un marché foncier actif dans certains territoires, notamment locatif dans les périmètres irrigués publics et privés ;
- De nombreux conflits autour du foncier, notamment après 2011 avec l'occupation de nombreuses terres domaniales ;
- Des processus de concentration foncière significatifs, grâce à des investissements nationaux et étrangers encouragés par une politique fiscale très favorable ;
- Une augmentation sensible de la valeur du foncier agricole, ce qui rend encore très difficile l'accès au foncier pour des jeunes agriculteurs.

Accès à l'eau

La quantité de pluie reçue sur tout le pays est estimée à 36 milliards m³/an en moyenne. Environ deux tiers est retenue par le sol et exploitée directement par le couvert végétal composé par l'agriculture pluviale (essentiellement oliviers et céréales), les parcours et les forêts. La partie mobilisable représente seulement 13% mais elle garantit une satisfaction plus régulière de la demande en eau et de la production agricole. Le quart restant correspond aux eaux évaporées et aux eaux de ruissellement.

Les eaux vertes et l'agriculture pluviale

L'agriculture pluviale consomme en moyenne 13 milliards m³/an soit un bon tiers du total pluviométrique et contribue entre la moitié et deux tiers de la valeur de la production agricole selon les années. Les rendements dépendent étroitement de la pluviométrie qui est très variable d'une année à une autre et de la bonne distribution de la pluie durant le cycle de culture. Le minimum enregistré était de 11 milliards m³ en 1993-1994 et le maximum a été estimé¹⁰ autour de 90 milliards m³ en 1969-1970. L'enjeu pour le secteur agricole est de réduire les risques liés à la variabilité des pluies. Pour profiter des séquences pluvieuses même pendant les périodes de sécheresse, les agriculteurs cherchent à augmenter les réserves hydriques dans le sol à travers des travaux qui limitent le ruissellement de l'eau de pluie, qui capturent de cette eau vers les parcelles et contribuent à son infiltration dans le sol avec les petits ouvrages réduisant la vitesse de l'eau, tels que les banquettes, les jessours, les tabias, entre autres.

Les eaux bleues

La mobilisation des eaux de surface (barrages, barrages collinaires et lacs collinaires) a atteint 2285 millions m³ en 2018 (Rapport national du secteur de l'eau - MARH-2018). La capacité utile¹¹ des barrages est de 2253 millions m³ (DGBGTH - situation des barrages 01/09/2019) ne permet pas de mobiliser les apports des années excédentaires et même pas les apports d'une année moyenne si on tient compte des réserves retenues dans les barrages ce qui explique en partie les problèmes d'inondations et perte d'eau enregistrés au cours des périodes très pluvieuses.

Les prélèvements d'eau sont très variables d'une année à une autre selon les apports et les réserves d'eau retenues dans les barrages. Les restrictions d'approvisionnements en eau pendant les périodes de sécheresse s'appliquent en premier lieu le secteur irrigué.

En 2017, l'exploitation des eaux souterraines a atteint des niveaux alarmants, avec 2574 millions m³ soit un taux moyen d'exploitation de 117%, jusqu'à 400% pour certaines nappes.

Les eaux souterraines ont contribué à 94% de la consommation en eau d'irrigation. Le volume surexploité est estimé à 609 millions m³ dont une partie est prélevée au moyen de puits et forages illicites créés pour l'irrigation de périmètres privés dans le centre et le sud du pays. Les répercussions sont des baisses continues du niveau d'eau et du débit dans les puits et les forages, la dégradation de la qualité de l'eau, et l'augmentation des coûts d'investissement et de pompage.

Alors que les ressources en eau étaient encore sous-exploitées et le secteur irrigué peu développé, le Code des Eaux de 1975 a favorisé la mobilisation croissante de l'eau. L'exploitation des nappes phréatiques n'est pas soumise à autorisation et la Police des eaux n'a pas été activée et soutenue. Pour répondre la surexploitation de la plupart des nappes d'eau souterraines, le nouveau Code des Eaux (en cours actuellement) a intégré plusieurs

¹⁰ Un chiffre jugé exagéré par certains experts

¹¹ L'envasement est estimé en 2018 à 22 millions m³, soit une perte de 21% de la capacité initiale des barrages

mesures pour améliorer la gouvernance et maîtriser la gestion des eaux souterraines. Il a prévu, entre autres, de généraliser la demande d'autorisation de création de points d'eau pour toutes les nappes profondes et phréatiques, un suivi plus rigoureux des prélèvements à travers les compteurs et paiement des redevances, la création d'un corps spécifique de la police des eaux, l'implication des utilisateurs dans la gestion des nappes et le renforcement du rôle des autorités régionales à travers la création de Comités Régionaux de l'Eau.

Les périmètres irrigués

La surface totale irrigable est estimée à près de 435.000 ha dont la moitié ont été aménagés par l'Etat comme Périmètres Publics Irrigués et l'autre moitié à l'initiative d'opérateurs privés.

Jusqu'en 1990, la gestion des périmètres publics irrigués était assurée par les Offices de Mise en Valeur Agricole. Dans le cadre de la stratégie nationale de décentralisation et de participation des usagers, la gestion des périmètres publics irrigués a été confiée aux GDA avec l'appui des CRDAs. Le désengagement de l'État des activités de gestion des PPI a été rapide ce qui n'a pas permis le transfert normal de la gestion de l'eau aux associations d'usagers. A l'heure actuelle, seuls 17 % des GDA prennent en charge les frais d'exploitation de leurs systèmes d'irrigation, alors que les frais d'entretien sont assurés totalement par les CRDAs. Les autres GDA ne prennent en charge qu'une partie des frais d'exploitation à des niveaux variables.

Le refus de paiement de certains agriculteurs depuis 2011 et le gel imposé des tarifs d'eau d'irrigation aux agriculteurs, ont réduit la capacité des GDA de couvrir les frais d'entretien et d'approvisionnement en eau potable, renforçant ainsi le cercle vicieux du non recouvrement par les CRDA des dettes des GDA.

Malgré la modernisation des réseaux collectifs pour trois quarts des superficies irriguées et l'équipement des parcelles par du matériel d'économie d'eau pour deux tiers de la superficie, la consommation d'eau dans les périmètres publics n'a pas baissé. L'un des facteurs en jeu est le faible niveau d'efficacité des réseaux qui est de 59 % en moyenne entre le point de livraison et la borne des irrigants sur la période 2010-2016 (eau et sécurité alimentaire - FAO). Ces pertes sont dues principalement à la détérioration des compteurs et aux prélèvements illégaux sur les canalisations.

Le développement d'aménagements privés accentue la pression sur les nappes d'eau souterraine et aggrave les conséquences de la surexploitation (baisse du niveau d'eau, du débit et dégradation de la qualité de l'eau).

La politique d'économie d'eau fondée essentiellement sur la technologie de l'irrigation localisée, qui est supposée réduire la demande en eau agricole n'a pas atteint ses objectifs, en particulier dans les périmètres privés.

Dans la pratique, la diffusion massive du « goutte à goutte » grâce à une généreuse politique de subventions publiques, a conduit à l'extension des superficies irriguées, ainsi qu'à des phénomènes de sur-irrigation des cultures.

La durabilité de la ressource et des périmètres irrigués privés n'est pas assurée du fait du non-respect du code des eaux (création de points d'eau sans autorisation, allocation non respectée, absence de paiement de la redevance). Le suivi de l'exploitation des eaux souterraines à travers le compteur STEG n'est pas réalisé. Tous ces éléments mettent en évidence des défaillances graves et persistantes dans la gouvernance de la ressource, à la fois imputables aux faiblesses de l'administration dans l'application des politiques publiques et à la force des intérêts privés, animés par l'espoir de gains à court terme. Il existe en effet une insuffisante prise de responsabilité des acteurs privés et notamment des agriculteurs dans la gestion de la ressource. La domanialisation de l'eau consacrée dans le code des eaux de 1975, n'a été ni comprise ni acceptée par la majorité des usagers. L'attention publique concentrée sur l'eau bleue et le développement des espaces irrigués, a provoqué un déséquilibre de moyens et d'attention vis à vis de l'agriculture pluviale, pourtant largement majoritaire en termes d'occupation des sols et de production agricole. Enfin, les institutions en charge de l'eau, qui ont dû jouer un rôle complexe de fournisseur et de régulateur, n'ont pas eu les moyens suffisants – en termes politiques et matériels, pour assurer : i) une connaissance appropriée de l'état et de l'emploi des ressources ; ii) un contrôle efficace de l'accès et de l'usage de l'eau, en particulier des eaux souterraines, qui se manifeste notamment par le très faible recouvrement des redevances domaniales sur l'eau.

La nouvelle approche de la gouvernance de l'eau consiste à donner plus de transparence à la gestion des périmètres irrigués, garantir l'accès à l'eau aux usagers et bien définir les devoirs des différents intervenants tout en renforçant l'efficacité des institutions.

Le fait que la régulation de l'eau soit une attribution du ministère chargé de la production agricole augmente la vulnérabilité des agriculteurs au changement climatique, tant dans les périmètres publics et privés. C'est ainsi que les comités régionaux de l'eau et d'autres espaces de réflexions auront un rôle important à jouer dans le nouveau modèle de régulation proposé.

Le nouveau projet du Code des Eaux, les études stratégiques, les études sectorielles et les études d'adaptation au changement climatique sont des opportunités pour décortiquer les problèmes rencontrés au niveau des périmètres irrigués et proposer des solutions pour améliorer leur gestion et adopter un modèle de gouvernance qui diminue la vulnérabilité au changement climatique.

Accès au crédit

L'investissement agricole (public et privé) représente environ 10% de l'investissement total. Le crédit agricole a représenté en moyenne (2000-2017) 5,3 % du total des crédits contre 9% en 1995 et le nombre de producteurs ayant accès continue de régresser. Un tiers des exploitations de plus 100 ha ont accès au crédit bancaire, contre seulement 4% pour des propriétés de moins de 5 ha (MARHP, 2006). Le FOSDAP¹² soutenait en 2018 environ 20 000 projets agricoles privés pour un montant total de l'ordre de 250 millions EUR, dont la moitié en autofinancement, un tiers sous forme de primes (subvention publique) et un sixième sous forme de crédit bancaire.

Le crédit bancaire touche donc une faible proportion des producteurs. C'est pourquoi un nombre important d'agriculteurs a recours à des modalités indirectes de financement pour acquérir des intrants et de la main d'œuvre auprès de commerçants ou de sociétés de microfinance. L'accès au financement d'investissements – équipements, infrastructures notamment – est rare pour la grande majorité des producteurs. Il n'existe pas de données sexo-différenciées sur l'accès au crédit agricole, mais il est clair que les institutions de microfinance ont une clientèle féminine majoritaire (BTS, ENDA).

Accès aux services agricoles

Les données des enquêtes sur les structures des exploitations agricoles montrent que la proportion d'exploitants ayant bénéficié des services de vulgarisation et formation n'a pas dépassé un tiers entre 1999-2004. Actuellement, l'ensemble du dispositif de vulgarisation (AVFA) compte environ 400 vulgarisateurs, soit un taux d'encadrement de 1 pour 1300 exploitants. Il n'y pas de données sexo-différenciées pour analyser l'accès aux services agricoles.

En revanche des services de conseillers agricoles privés se développent, ce qui accentue les inégalités entre les agriculteurs. Les organisations professionnelles de base sont par ailleurs, peu engagées dans le processus d'encadrement technique et de formation.

Les principaux services auxquels les agriculteurs ont accès sont de nature privée :

- Transport et commercialisation, ce qui contribue fortement à la baisse des revenus
- Mécanisation, un domaine qui permet aux grands propriétaires de générer des revenus importants
- Transformation des produits (huile, lait, viande)

Organisation professionnelle

La majeure partie des agriculteurs ne s'implique pas dans des organisations formelles à caractère économique ou de développement territorial dans lesquelles ils seraient acteurs de la résolution de leurs problèmes. Les pratiques de cooptation et de contrôle des organisations locales, courantes avant 2011 ont largement contribué à cet état de fait.

¹² "Rapport sur les investissements agricoles privés et des activités du FOSDAP pour l'année 2018 », DGFIOP

Malgré l'existence de nombreux GDA, de coopératives et de SMSA, le monde agricole et rural souffre d'une très faible structuration économique et professionnelle.

Néanmoins, de nombreuses formes de coopération et de solidarité informels – souvent familiaux - existent un peu partout pour contribuer à régler des problèmes à l'échelle locale.

1.3.2 Evolution de la production nationale

Entre 1960 et 2018, la valeur ajoutée agricole (en prix courants) a augmenté à un rythme moyen de 4% par an. L'agriculture qui représentait 20% du PIB en 1962 constituait le secteur économique le plus important à l'indépendance, ne représente plus en 2018 que 10 % du PIB et n'emploie que 15 % de la population active.

En valeur, la production agricole (pêche exclue) est dominée par l'élevage (37%) suivi par l'arboriculture (28%), les cultures maraichères (16%) et les céréales (10%). Les arbres fruitiers, particulièrement l'olivier occupent 56% de la superficie cultivée et les céréales environ 30%. Le cheptel national se compose principalement de 437.500 Unité Femelle (UFe) bovines, 3.889.000 UFe ovines, et 692.000 UFe caprines.

La moitié des agriculteurs cultive des céréales et deux tiers des céréaliculteurs sont des petits exploitants (MARH, 2006). Pour leur part, les grands exploitants (souvent absentéistes) qui produisent des céréales ont tendance à adopter un comportement rentier et ne sont pas intéressés par l'intensification en travail et la diversification (Sethom 1992).

Ces éléments expliquent en partie pourquoi la production céréalière ne parvient pas à satisfaire la demande croissante, en particulier pour le blé tendre destiné à la fabrication de pain. Sur la période 2008-2017, le taux d'autosuffisance s'est situé à une moyenne de 60% pour le blé dur, 16 % pour le blé tendre et 52 % pour l'orge, ce qui induit une dépendance accrue des importations.

La superficie totale plantée en oliviers en Tunisie est d'environ 1,7 million d'hectares (dont 95% en pluvial) représentant 79% de la superficie arboricole. Le nombre total d'oliviers est estimé à 88 millions alors que 309 000 producteurs soit 60% de l'ensemble des agriculteurs tirent tout ou partie de leurs revenus de la culture de l'olivier (DGAP, 2017 ; ONH, 2017).

L'oléiculture génère environ 50 millions de jours de travail par an, notamment pour des femmes et des jeunes qui constituent la main-d'œuvre temporaire pendant les récoltes. La production d'olive et d'huile d'olive est très fluctuante en fonction des aléas climatiques. D'une moyenne de 172000 tonnes sur la période 2000-2018, la production d'huile d'olive a oscillé entre un minimum de 30 milles tonnes (2001) et un maximum de 340.000 en 2015.

L'élevage occupe une place importante dans l'économie tunisienne du fait qu'il contribue à raison de 35-40% au PIB agricole et 4-5% au PIB global (Givlail 2018). La majeure partie des éleveurs sont des petits exploitants - 73 % des éleveurs de bovins, 70% pour les ovins et 67% pour les caprins (MARHP 2006).

L'effectif des cheptels connaît une tendance à la baisse depuis quelques années. La production des viandes s'est stabilisée autour d'une moyenne de 122 milles tonnes assurant un taux d'autosuffisance de 97%.

Le sous-secteur de la pêche occupe une place essentielle en termes socio-économiques du fait que la Tunisie possède un large accès à la mer Méditerranée, avec une côte dont la

longueur réelle est évaluée à 2300 km et un vaste plateau continental principalement au Sud, parsemé par sept îles et îlots. De plus il existe également 12 lacs et lagunes qui couvrent environ 1300 Km² ainsi que plusieurs barrages utilisés pour la production d'espèces d'eau douce. Plus de deux tiers de la population tunisienne est installée à proximité du littoral.

La pêche génère environ 50.000 emplois directs, dont environ 2/3 sont des pêcheurs côtiers et artisanaux. Au total le secteur génère direct et indirectement environ 100.000 emplois. Très peu de données sexo-différenciées existent. Néanmoins, l'activité de pêche est essentiellement masculine à l'exception de la pêche à pied des palourdes qui occupe entre 5 et 7000 femmes chaque année durant une courte période. En revanche dans le domaine de la transformation et de l'exportation, l'essentiel de la main d'œuvre est féminine. Environ 80% de la production provient des gouvernorats de Monastir, Sfax, Nabeul, Mahdia et Médenine.

Le secteur a contribué durant la période 2007-2016 à la formation de 7,5% de la valeur de la production agricole et 15,2% à la valeur des exportations agricoles.

Selon les statistiques de la Direction Générale de la pêche et de l'Aquaculture (DGPAq), la production annuelle en produits de la pêche a atteint, en 2016, 126000 tonnes, d'une valeur de l'ordre de 350 millions d'Euros. La pêche côtière et artisanale assure actuellement un quart de la production. L'aquaculture continentale et maritime apporte 13% de la production nationale.

En 2015, les exportations tunisiennes en produits de la pêche ont atteint environ 21.000 tonnes soit 17% de la production nationale pour une valeur de 145 millions d'euros. Plus de 80% des exportations s'orientent vers l'UE. Les importations ont atteint une moyenne de 40 mille tonnes pour une valeur de l'ordre de 34 millions d'Euros. Les évolutions dans la dernière décennie montrent :

- La dominance des captures de la pêche au poisson bleu, la pêche côtière, et la pêche au chalut, qui représentent respectivement 45%, 24% et 23% de la production totale ;
- Une légère tendance vers la hausse avec un taux de croissance annuel moyen (+1,6%) ;
- Une tendance à la baisse de la production de la pêche au chalut pélagique (-12%) en grande partie due à la surexploitation des ressources halieutiques, notamment dans le golfe de Gabès ;
- Une tendance à la hausse de la production aquacole (+16,4%) ;
- Une augmentation marquée des volumes de captures à partir de 2011.

Le secteur de la pêche fait face à de nombreux problèmes et en particulier, l'exploitation excessive de certaines ressources halieutiques, le renchérissement du prix des carburants, le manque de main d'œuvre qualifiée, la pollution, notamment dans le golfe de Gabès. Durant la dernière décennie, la surexploitation, la pêche abusive et celle pratiquée dans des zones interdites ou moyennant des engins prohibés constitue une menace majeure.

Ces éléments sont le résultat d'une crise aiguë de la gouvernance de ces ressources, avec dans la sphère publique un vaste ensemble d'acteurs qui peinent à se coordonner et à intervenir, souvent faute de soutien politique et de moyens matériels. A cela s'ajoute au sein du secteur privé, une compétition de plus en plus forte entre pêcheurs industriels qui cherchent à rentabiliser au maximum leurs investissements, et pêcheurs artisanaux qui sont affectés par

la destruction des biotopes côtiers et la baisse des ressources qui leurs sont accessibles, menaçant ainsi l'équilibre économique et social sur le littoral. Le dynamisme du secteur observé ces dernières années en termes macro-économiques (hausse de la production, de la valeur et des exportations) est fragile et ses vulnérabilités risquent de s'accroître avec les effets combinés de la baisse des ressources et les impacts négatifs du changement climatique.

L'élévation du niveau des mers et les risques de submersion du littoral tunisien menacent les infrastructures portuaires et les activités agricoles proches de la côte. (APAL, PNUD).

1.3.3 Evolution des échanges agricoles

Entre 2000 et 2018, les importations alimentaires ont progressé avec un taux annuel moyen de 11% et leur part dans les importations totales s'est située autour de 8%. L'envolée de la facture des importations alimentaires peut être expliquée par la dépréciation du dinar, l'accroissement des prix à l'importation (pour certains produits) ainsi que les quantités importées. Les importations alimentaires de la Tunisie sont dominées par les céréales, les huiles végétales et le sucre qui ont représenté près de 70% de ces importations sur la période 2000-2018.

En valeur, les importations céréalières ont connu une forte augmentation à partir de 2008, notamment pour le blé tendre qui représente à lui seul plus de 30% de la valeur. Les quantités importées ont fluctué en fonction de la production nationale avec un pic de 4 millions de tonnes de céréales importées en 2016.

Les importations d'huiles de graine ont augmenté sensiblement pour répondre à une demande croissante en substitution de l'huile d'olive devenue trop chère. En 2017, ces importations représentaient plus de 300 000 tonnes, principalement de l'huile de soja, de l'huile de maïs et de l'huile de palme.

Une partie de ces importations en vrac est destinée à être réexportée sous forme de produit conditionné. Gérées par l'Office du commerce, les importations de sucre ont augmenté depuis le début des années 2000, tant en valeur qu'en volume. En 2017, le pays importe 734 000 de tonnes de sucre pour environ 300 millions de dollars).

Sur la période 2000-2017, les exportations alimentaires de la Tunisie ont augmenté avec un taux annuel moyen de 10,2% et leur part dans les exportations totales s'est située autour de 9%. Les exportations alimentaires sont dominées par l'huile d'olive, les dattes et les produits de la pêche qui concentrent plus de 60% des exportations alimentaires.

Sur la période 2000-2017, les exportations d'huile d'olive ont atteint une moyenne de 140 milles tonnes soit 80% de la production d'huile et 35% des exportations alimentaires. Ces exportations sont caractérisées par une forte irrégularité en raison des fluctuations de la production mais aussi en relation avec l'instabilité des marchés à l'exportation, notamment l'Union européenne son premier client.

Bien qu'étant un petit producteur (3% de la production mondiale en 2014), la Tunisie est le premier exportateur mondial de dattes en 2017 avec 105 000 tonnes écoulées pour une valeur de 231 millions de dollars (environ 18 % du marché mondial). Les exportations tunisiennes de dattes ont progressé de 24 % en volume et de 16 % en valeur entre 2000 et 2017. Leur part dans les exportations alimentaires totales s'est située à une moyenne de 14% pour la même période.

En termes de balance alimentaire, le taux de couverture des importations par les exportations est estimé en moyenne à 76 % pour la période 2008-2018, ce qui représente un déficit annuel moyen de l'ordre de 781 millions de dinars, soit l'équivalent de 16 % de la valeur ajoutée du secteur agricole et des industries agro-alimentaires en Tunisie.

1.3.4 La disponibilité alimentaire tunisienne actuelle

Les disponibilités alimentaires en Kg/personne/an ont augmenté depuis les années quatre-vingt, à l'exception des céréales. Cette évolution est liée à l'augmentation de la production nationale conjuguée à un recours croissant aux importations.

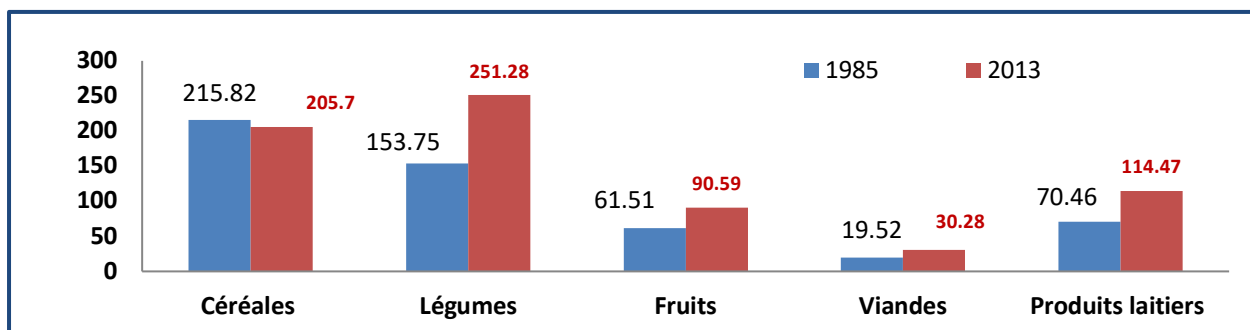


Figure 1 : Evolution des disponibilités alimentaires en Tunisie (kg/personne/an) – FAO- 2017

1.4 L'accès aux aliments

1.4.1 Organisation et régulation des marchés

La mise en marché de la production agricole et de la pêche en Tunisie est soutenue par le secteur public à travers les marchés de production et de gros des fruits et des légumes (100), marchés de gros de poissons (35) marchés de détails (241 dont 16 pour les poissons, les marchés aux bestiaux (148) et les abattoirs des viandes rouges (217). Les circuits de distribution des produits avicoles sont monopolisés par le secteur privé. La régulation des marchés des produits agricoles est confiée aux groupements interprofessionnels, à l'exception du sucre dont le monopole est détenu par l'Office Tunisien du Commerce.

La politique des prix consacre la liberté des prix comme principe général mais elle exclue des biens et services de première nécessité. Les prix de certains produits agricoles et agro-alimentaires sont encadrés selon trois régimes. Le régime de l'homologation des prix à tous les stades (produits agroalimentaires considérés de première nécessité et subventionnés), le régime d'homologation des prix au stade de la production (le sel, la levure de panification et le café torréfié) et l'encadrement des marges de distribution (riz, agrumes, raisins de table, dattes, pommes de terre, tomates, piments, oignons, plantes et condiments, volailles, œufs, sons, beurre, concentré de tomates, sucre en morceaux, café torréfié...).

Pour les producteurs, les prix des céréales sont fixés et annoncés en début de campagne. Ces prix sont révisés en fonction de l'évolution des prix mondiaux. Dans l'objectif d'encourager la production locale des céréales, les prix à la production ont été maintenus supérieurs aux prix frontières moyennant des subventions. Comparativement aux prix internationaux, les subventions ont été en moyenne de 22% pour le blé dur et de 34% pour le blé tendre ces dernières années. Toutefois, il apparaît que cette subvention est insuffisante pour déclencher des investissements de la part des agriculteurs.

Les prix à la consommation des denrées alimentaires de base (pain, farine, lait, huile, ...) sont généralement encadrés par l'Etat et certains d'entre eux sont même subventionnés au niveau du consommateur (pain, semoule, farine, huile, sucre, ...). Dès 1970 la Tunisie a mis en place une Caisse Générale de Compensation (CGC) dont le but était la maîtrise des prix des produits de base, notamment les produits céréaliers et de palier aux augmentations des prix. La charge des subventions accordées à l'ensemble des produits alimentaires a fortement progressé, en particulier après la crise alimentaire de 2008, pour atteindre 1 486 millions de dinars en 2017, soit 1,5 % du PIB de la Tunisie. Les céréales et dérivées et les huiles végétales ont consommé respectivement 80% et 15% des subventions sur la période 2010-2018.

1.4.2 Part de l'alimentation dans le budget des ménages

Bien qu'elle soit en baisse, la part de l'alimentation dans le budget des ménages tunisiens reste importante. Elle représente près de 40 % du budget familial pour les deux premières tranches de dépenses (< 750 TND) et 20% pour la dernière (> 4500 TND). Le coût de l'alimentation est donc un élément central pour les ménages aux plus faibles revenus. Les viandes et volailles occupent la première position avec 23,5% de la valeur des dépenses alimentaires, suivis par le lait et produits laitiers (14,5%), les légumes (14,3%) et les céréales (13,3%).

1.4.3 Inflation, pouvoir d'achat et pauvreté

Bien que la hausse des cours mondiaux des céréales en 2008 a été en partie absorbée par la CGC, l'indice des prix à la consommation a augmenté d'environ 60 % entre 2010 et 2018 notamment pour les produits alimentaires.

L'inflation contribue à rendre l'accès à une alimentation suffisante et équilibrée plus compliqué, particulièrement pour les ménages ayant des revenus faibles. L'indice de pauvreté globale, estimé à 25% en 2000, est descendu à 15,2% en 2015 soit 1,7 millions de personnes. La pauvreté extrême touche actuellement 2,9% des tunisiens contre 7,7% en 2000 (INS, 2016).

[illegible]

Task de Passivitat

2.5 - 5

5 - 10

10 - 15

15 - 20

20 - 25

25 - 30

30 - 35

0 60 120

km

Les salaires payés aux femmes dans l'activité agricole (environ 3 EUR par jour), sont souvent inférieurs à ceux payés aux hommes.

1.4.4 Infrastructures de transport, froid et stockage

L'infrastructure portuaire publique compte 41 ports de pêche (dont 10 hauturiers et 31 ports côtiers et digues-abris) et dispose d'une capacité d'accueil d'environ 15.000 unités pour 150.000 tonnes. Le pays dispose également de 7 ports de commerce plus ou moins spécialisés (produits pétroliers, produits chimiques, conteneurs). Sont en activité 7 aéroports internationaux avec une capacité totale de 13 millions de voyageurs.

Les infrastructures de stockage de céréales qui sont gérées par l'Office des Céréales (OC), se composent de trois sites portuaires de transit d'une capacité de 73 000 tonnes et 23 silos

de repli implantés dans les zones de consommation avec une capacité de l'ordre de 600 000 tonnes, qui selon l'Office des Céréales serait insuffisante pour faire face à des importations massives suite à une baisse brutale de la production nationale.

L'accès aux denrées alimentaires est donc facilité par un ensemble d'infrastructures, d'opérateurs et d'institutions publiques ainsi que par des importations alimentaires planifiées croissantes. Néanmoins, il est de plus en plus contraint par une inflation / dévaluation de la monnaie nationale qui touche les ménages à plus bas revenus, notamment les femmes rurales chef de famille et certains territoires ruraux qui constituent des poches importantes et persistantes de pauvreté.

I.5 Utilisation biologique des aliments

Traditionnellement le régime alimentaire qui est de type méditerranéen basé sur la consommation de céréales (couscous, tabouna, pâtes...), de fruits et légumes frais ou séchés, d'huile d'olive et peu de protéines animales. Ainsi, bien qu'élevée, la consommation des céréales par habitant est passée de 204 kg en 1985 à 174 kg en 2015, soit une chute de près de 15%. En même temps, on assiste à une augmentation remarquable de la consommation de lait et produits laitiers et de viandes rouges et volailles. Pour les fruits, bien que la quantité consommée a augmenté, la consommation des tunisiens reste modeste par rapport aux autres pays méditerranéens. Ainsi le régime alimentaire a connu une transition caractérisée par l'incorporation de davantage de produits d'origine animale et d'huiles de graines, particulièrement pour les populations urbaines.

D'autre part, on assiste à une diminution relative de la consommation des céréales traditionnelles (orge et blé dur) mais à une augmentation de celle du blé tendre, du riz et des produits à base de céréales. Ce phénomène s'accroît au fur et à mesure que la population s'urbanise. Par ailleurs, des disparités de consommation existent entre les régions et les milieux. La consommation des céréales, des huiles et des sucres est plus élevée en milieu rural alors que celle des fruits, du lait et des viandes est plus élevée dans les zones urbaines.

Malgré la baisse des quantités consommées, les céréales continuent en 2015 à assurer 49,2% des apports caloriques, 50,9% des apports protéiniques et 42,5% des apports ferriques.

Enfin, selon l'Institut National de la Consommation, une famille tunisienne gaspille des aliments à hauteur d'environ 5% des dépenses. Cette proportion atteint 16% pour le pain, 10% pour les dérivés de céréales (pâtes et couscous) et 6% pour les légumes.

1.5.1 Eau potable

Actuellement, 98% de la population a accès à des sources d'eau potable améliorées. Néanmoins, il existe des disparités dans l'accès des ménages à l'eau potable avec une couverture proche de 100% dans le Grand-Tunis, mais seulement de 93% à Sidi Bouzid. Environ 1,5 millions de personnes sont desservies par les réseaux locaux sous la responsabilité de GDA qui gèrent des systèmes alimentés soit par des forages, des branchements sur le réseau SONEDE ou quelques sources aménagées. La desserte se fait par des branchements individuels et par des bornes fontaine.

Les femmes et les jeunes filles assument souvent le transport de l'eau. Cette situation est l'un des facteurs qui explique dans certains cas la rupture de la scolarisation des filles dans le monde rural. D'autre part, les femmes sont peu ou pas impliquées dans la gestion des systèmes d'eau potable des GDA.

En cohérence avec l'exceptionnelle couverture des besoins en eau potable, des efforts considérables ont été réalisés depuis le début des années 60 pour assainir les eaux usées grâce à 122 stations d'épuration, qui couvrent principalement les besoins des populations de grandes et moyennes agglomérations urbaines— principalement situées sur le littoral. L'autre moitié de la population, principalement en zone rurale (anciennement non communale), utilise des fosses septiques et des puits perdus, sans contrôle avec des conséquences locales souvent négatives sur la santé et l'environnement local, notamment lors d'épisodes pluvieux intenses et d'inondations.

1.5.2 Nutrition

Le pourcentage d'enfants de moins de 5 ans émaciés ne dépasse pas 3%. Le pourcentage de d'enfants souffrant d'une insuffisance pondérale est de l'ordre de 2,3%. Cependant, 10% de ces enfants présentent un retard de croissance et 29,5% sont anémiques. La prévalence de l'anémie chez les femmes enceintes est également de 29% (FAO, 2016).

Les changements de régime alimentaire se sont accompagnés par la dégradation de l'état de santé de la population avec la prévalence des maladies liées à une alimentation déséquilibrée. Selon les données de l'OMS, les maladies non transmissibles (MNT) sont responsables de 82% des décès en Tunisie. Ces données dévoilent que 19% des Tunisiens de plus de 15 ans sont diabétiques, 44% des Tunisiens de plus de 15 ans souffrent de dyslipidémie, 36% des plus de 15 ans sont hypertendus 40% des adultes souffrent d'hypertension et 36% des femmes et 21% des hommes (âgés entre 15 et 19) sont anémiques (OMS 2017).

Actuellement environ 46% des tunisiens sont en surpoids et 10% souffrent d'obésité. Ces proportions se situaient à respectivement 26% et 8% en 1985. En une trentaine d'années, l'obésité chez les enfants tunisiens serait passée de 6% à 16%¹³. « La montée en flèche de l'obésité chez cette catégorie d'âge est principalement causée par des nouvelles habitudes alimentaires et par l'absence d'une éducation nutritive saine. »

Toutefois, des disparités apparaissent au niveau des maladies non transmissibles associées à l'alimentation. A titre d'exemple, la prévalence du diabète est très élevée dans le district de Tunis (23%) et dans le Centre Est (19%) alors qu'elle est relativement faible au Centre-Ouest (13%).

Par ailleurs, ce sont les femmes qui sont les plus affectées par les problèmes d'obésité (13% contre 6,6% chez hommes alors que le surpoids touche environ 48,7% des hommes et 43,6% des femmes. « Plus de deux tiers des patients obèses connaissent des complications médicales liées à l'obésité » selon le Dr Ennabli déjà cité.

¹³ Voir Dr Ennabli, <http://www.cst.rnu.tn/fr/article/l-obesite-en-tunisie-13>

L'évolution du modèle alimentaire méditerranéen vers un modèle occidental a des impacts négatifs de grande ampleur en termes de santé publique. La sous-alimentation, reste toutefois présente dans les régions rurales où se concentrent les plus pauvres.

Le système de protection des consommateurs et de contrôle de qualité et de la sécurité sanitaire des produits en Tunisie est relativement développé. Néanmoins, il présente encore de nombreuses faiblesses, notamment du fait de la multiplicité des intervenants qui crée des problèmes de coordination, de la faible implication du consommateur dans le système de sécurité sanitaire des aliments, du manque de qualification des agents chargés du contrôle et l'inadéquation des moyens matériels des services de contrôle avec les missions qui leur sont imparties et la faiblesse des budgets alloués aux analyses (ITES, 2017).

I.6 Stabilité du système agro-alimentaire

La sécurité alimentaire s'est progressivement améliorée en Tunisie pour atteindre un niveau enviable en comparaison avec d'autres pays proches comme le montre le Global Food Security Index¹⁴. L'annexe II présente de manière détaillée sa composition et ses valeurs pour la Tunisie. Dans le groupe des pays à revenu intermédiaire, la Tunisie se situe à un niveau enviable, à la 15^{ème} place sur 57 pays comme le montre le graphique suivant.

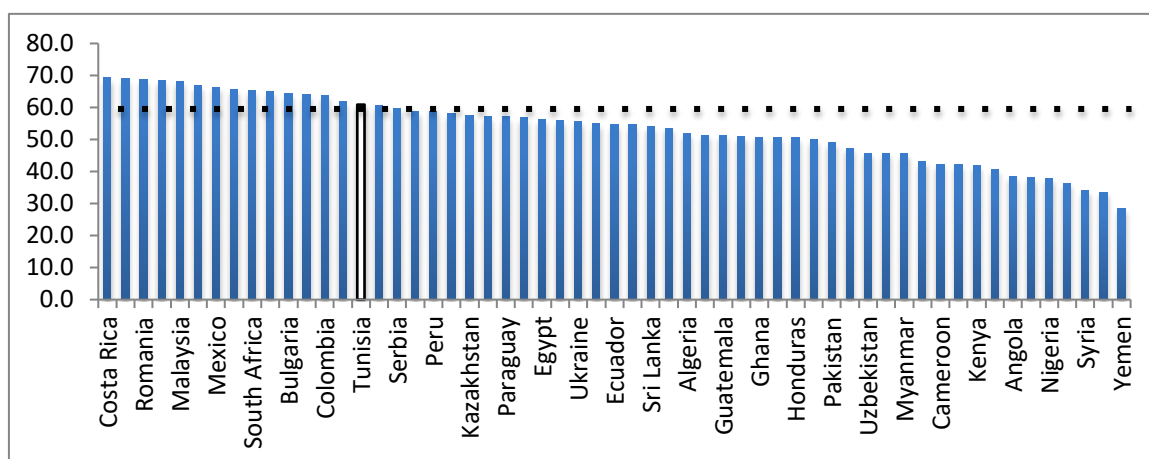


Figure 3 l'Index Global de Sécurité Alimentaire de la Tunisie en 2018 au sein du groupe des pays à revenu intermédiaire (source : 2018 ; The Economist Intelligence Unit)

Bien que la sécurité alimentaire se soit progressivement améliorée en Tunisie ses fondements restent fragiles. Plusieurs facteurs menacent la stabilité de la sécurité alimentaire dans ses différentes dimensions. En effet, La production agricole nationale est menacée par la dégradation de la fertilité des sols, l'érosion et la salinisation en particulier dans les périmètres irrigués alors que l'eau agricole est de plus en plus rare, profonde et salée. Egalement, la forte dépendance des importations, notamment pour les céréales, constitue une menace pour la sécurité alimentaire nationale dans un contexte où les marchés mondiaux de produits alimentaires sont devenus plus instables et spéculatifs, du fait de leur connexion croissante aux marchés financiers.

¹⁴ Le GFSI est un index multicritère qui regroupe 34 indicateurs pour 113 pays publié depuis 2012 par The Economist Intelligence Unit. <https://foodsecurityindex.eiu.com/>

1.6.1 Instabilité de la production agricole nationale

La production agricole nationale est menacée par la dégradation de la fertilité des sols, l'érosion et la salinisation en particulier dans les périmètres irrigués, du fait de mauvaises pratiques agricoles dont la monoculture. De plus, de bonnes terres agricoles à la périphérie des villes sont détruites par des logements et constructions, conséquence d'une intense spéculation immobilière. En effet, 46 % des cultures sont réalisées sur des terres à fertilité limitée ou très faible, et plus d'un million d'ha sont cultivés sur des terres sensibles à l'érosion. La majeure partie de la région sud présente des risques de désertification et d'érosion, avec seulement 1/6 des terres qui sont faiblement menacés ce qui réduit encore leur usage pastoral.

L'eau agricole est de plus en plus rare, profonde et salée. La disponibilité de l'eau (surface et souterraine) diminue et avec elle l'accès à l'irrigation devient plus coûteux et moins durable. La surexploitation des nappes souterraines constitue une menace considérable de la viabilité du domaine irrigué, qui est en principe un outil exceptionnel pour assurer la stabilité de la production nationale.

1.6.2 Instabilité des marchés alimentaires mondiaux

Le déficit structurel de la balance alimentaire et la forte dépendance des importations, notamment pour les céréales, constituent une menace pour la sécurité alimentaire nationale. La crise de 2008-2009, avec le renchérissement des prix des céréales a mis en évidence la vulnérabilité de la Tunisie aux aléas du marché. La hausse des prix des denrées alimentaires à partir de cette époque s'est traduite par une aggravation du déficit de la balance commerciale et des pressions sur la « Caisse Générale de Compensation » et le budget de l'Etat. La question ne se pose pas seulement pour les importations de blé et orge, mais également pour celles concernant l'alimentation animale (maïs et soja) dont les prix se maintiennent à des niveaux élevés, au point de décourager les petits producteurs nationaux de lait et de menacer à terme l'industrie laitière nationale.

D'une manière générale, les marchés mondiaux de produits alimentaires sont devenus ces dernières années plus instables et spéculatifs, du fait de leur connexion croissante aux marchés financiers. Dans ces conditions les perspectives d'évolution des prix sur le marché mondial risquent d'augmenter, du fait de la demande alimentaire croissante dans le monde et notamment de la part allouée à la production de viandes hors sols.

Avec la forte dévaluation du dinar depuis 2011 et les tendances inflationnistes sur les prix des produits alimentaires, les ménages disposant de faibles revenus, pourraient rencontrer de plus en plus de difficultés pour se nourrir avec des conséquences probables sur la quantité et la qualité des aliments ingérés. Une telle tendance, peut à terme déboucher sur des émeutes locales, des occupations de terres, voir un soutien actif à des mouvements insurrectionnels ou terroristes, comme dans le cas de la région de Kasserine.

En conclusion, depuis l'indépendance l'agriculture tunisienne a évolué dans un contexte marqué par de nombreuses contraintes naturelles, politiques, humaines et environnementales.

- Naturelles : sols peu fertiles, eau peu abondante, irrégularité du climat ;

- Politiques : asservissement de l'agriculture aux besoins de développement des autres secteurs / priorité aux urbains ; structures foncières archaïques, concurrence internationale accrue ;
- Humaines : vieillissement et difficulté d'assurer la relève générationnelle et très faible structuration du secteur privé ;
- Environnementales : dégradations des terres, de l'eau, pollution de la mer.

En dépit de ces contraintes la production agricole nationale a progressé à un rythme relativement soutenu, qui, conjugué à un recours croissant aux importations, a permis une amélioration des disponibilités alimentaires pour la plupart des produits.

L'accès aux denrées alimentaires est facilité par un ensemble d'infrastructures, d'opérateurs et d'institutions publiques ainsi que par des importations alimentaires planifiés. Néanmoins, il est de plus en plus contraint par une inflation et dévaluation de la monnaie nationale qui touche les ménages à plus bas revenus, notamment les femmes rurales chef de famille et certains territoires ruraux qui constituent des poches importantes et persistantes de pauvreté.

Le régime alimentaire traditionnel des tunisiens est de type méditerranéen, basé sur la consommation de céréales, de fruits et légumes frais ou séchés, d'huile d'olive et peu de protéines animales. Toutefois, ce régime connaît depuis les dernières décennies une transition caractérisée par l'incorporation de davantage de produits d'origine animale et d'huiles de graines, particulièrement pour les populations urbaines. Ces changements du régime alimentaire sont à l'origine de la dégradation de l'état de santé de la population avec la prévalence des maladies liées à une alimentation déséquilibrée alors que le système de protection des consommateurs et de contrôle de qualité sanitaire des produits présente encore de nombreuses faiblesses.

Aujourd'hui, la Tunisie affiche un niveau élevé de sécurité alimentaire, en comparaison avec d'autres pays à revenus intermédiaires que l'on peut attribuer en partie à la persistance de politiques publiques agricoles et de développement donnant un rôle central à l'Etat dans les investissements productifs et sociaux (infrastructures, irrigation, eau potable, électrification, éducation, santé publique). L'Etat reste aussi le plus grand propriétaire foncier du pays avec 800 000 ha de terres domaniales¹⁵.

¹⁵ En 1995, selon M. Elloumi, in « Les terres domaniales en Tunisie », *Études rurales*, 2013 <https://journals.openedition.org/etudesrurales/9888> ; DOI : 10.4000/etudesrurales.9888

Depuis l'indépendance, des axes invariants peuvent être identifiés :

- La modernisation de l'agriculture a été pensée comme une adaptation des producteurs et des structures de production aux technologies les plus rentables pour les investisseurs ;
- La paysannerie a longtemps été considérée comme un frein à la modernisation de l'agriculture, raison pour laquelle il faut la transformer et la guider ;
- Les différentes fractions de la paysannerie ont mis en œuvre des stratégies économiques et sociales satisfaisant leurs intérêts immédiats (Gachet, 1985).

Mais de nombreux facteurs menacent la sécurité alimentaire en Tunisie, notamment la lourde dépendance aux importations (notamment blé tendre), la volatilité des prix des produits de base sur les marchés intérieurs et internationaux et l'augmentation de la variabilité de la production et donc des disponibilités de produits alimentaires, en lien étroit avec l'évolution du climat.

Face aux défis posés par le changement climatique, des pistes de réflexion émergent :

- Comment mieux mobiliser l'ingéniosité des agriculteurs, attestée par plusieurs millénaires d'adaptation des pratiques aux conditions difficiles du territoire national ?
- Comment mieux valoriser les capacités des jeunes ruraux, dont la population augmente de nouveau dans les campagnes durant les dernières décennies ?
- Comment profiter des multiples innovations qui réduisent la dépendance de la production agricole au pétrole et aux intrants industriels en mobilisant micro-organismes des sols, mycorhizes, énergie solaire ?

II. Analyse des évolutions climatiques et agroclimatiques actuelles et futures

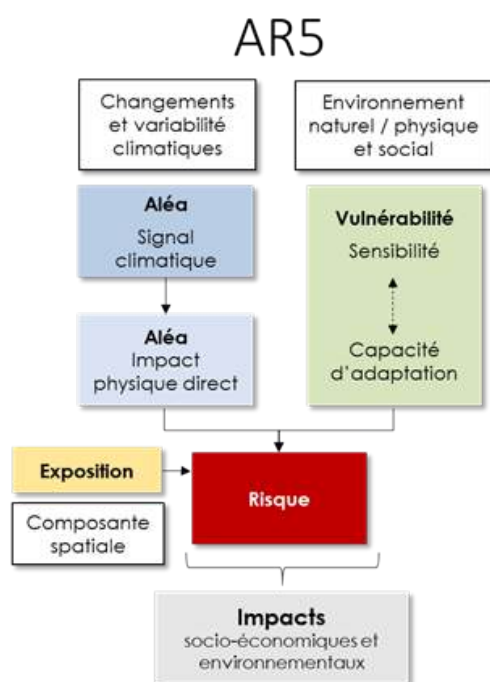
II.1 Approche méthodologique

II.1.1 Rappel du cadre général de l'analyse de vulnérabilité au changement climatique

Dans cette étude, l'approche adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique repose sur la notion du **risque** lié au changement climatique et s'inscrit dans le cadre conceptuel du 5ème rapport du GIEC (AR5). Selon cette approche, un risque climatique est le produit de l'interaction entre l'**aléa**, la **vulnérabilité** (qui comprend la sensibilité et la capacité d'adaptation) et l'**exposition**.

L'**aléa** correspond à la survenue potentielle d'un phénomène ou d'une tendance physique, naturel ou anthropique, pouvant entraîner des pertes humaines, des blessures, d'autres effets sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes aux biens, aux infrastructures, aux moyens de subsistance, à la prestation de services, aux écosystèmes et aux ressources environnementales.

La **vulnérabilité** se définit comme la propension ou la prédisposition à subir des dommages. Elle recouvre plusieurs concepts et éléments, notamment la sensibilité qui est la susceptibilité d'être atteint. Elle comprend aussi le manque de capacités à s'adapter, telles que les capacités à anticiper, faire face et récupérer. La vulnérabilité se caractérise à travers différentes dimensions dont les dimensions sociale, économique, environnementale, institutionnelle et culturelle.



L'**exposition** est construite sur les aléas et la vulnérabilité et représente des éléments à risque. Elle peut présenter différentes natures : des ressources ou services environnementaux, des espèces ou écosystèmes, des moyens de subsistance, des populations, des infrastructures ou biens économiques, sociaux ou culturels susceptibles de subir des dommages.

Il y a un risque si un système exposé présente une vulnérabilité par rapport à la survenue de l'aléa, c'est à dire une sensibilité face à cet aléa et un manque de capacité d'adaptation. Le risque lié au changement climatique sur la sécurité alimentaire résulte donc de l'interaction des aléas, auxquels les activités de production doivent faire face, et de leur vulnérabilité à ces aléas si ces activités y sont exposées.

Figure 4 : Cadre conceptuel de l'analyse du risque du 5ème rapport du GIEC (AR5).

Ce chapitre s'intéresse à une des dimensions constitutives du risque, à savoir les aléas climatiques et aux risques qui en découlent. L'évaluation de la vulnérabilité et de l'exposition seront, quant à elles, abordées dans la Phase 2 de l'étude.

Afin d'apprécier l'évolution des aléas au présent et au futur, il est nécessaire :

- 1) D'identifier les principaux aléas climatiques en lien avec la sécurité alimentaire et en particulier la production agricole,
- 2) D'identifier les risques agricoles découlant des aléas climatiques,
- 3) De définir des indicateurs climatiques et agroclimatiques (« *proxies* ») permettant de décrire les aléas et les risques agricoles associés.

Il convient de rappeler ici que, conformément au périmètre défini lors la phase de démarrage, cette démarche et les résultats qui en découlent s'applique uniquement aux trois productions à la base de la sécurité alimentaire tunisienne, à savoir **la céréaliculture, l'oléiculture et l'élevage sur parcours**.

II.1.2 Identification des principaux aléas et risques climatiques en lien avec la sécurité alimentaire

Identification des aléas climatiques

Le changement climatique est un phénomène qui englobe des modifications des propriétés de toutes les composantes du climat (températures, précipitations, vents, courants océaniques, événements extrêmes...), et selon plusieurs aspects (comportement moyen, extrêmes, cycle saisonnier...). Il en résulte un ensemble d'évolutions et d'évènements climatiques qu'il est coutume de regrouper sous le terme **d'aléas**.

Concrètement, il convient de distinguer deux grands types d'aléas :

- **Les aléas liés à un extrême climatique** (et par voie de conséquence les **risques extrêmes**) : événements climatiques ponctuels, caractérisés par leurs propriétés exceptionnelles par rapport à la norme. Ils peuvent causer des effets de grande ampleur sur une courte période (quelques heures comme les pluies torrentielles ou quelques jours à semaines comme les canicules). On parle ici de risques à « cinétique rapide » ;
- **Les aléas liés à une évolution tendancielle** (et par voie de conséquence les **risques tendanciels**) : ils correspondent à l'évolution graduelle des conditions moyennes du climat et de l'environnement sur le long terme. Leurs effets sont plus progressifs mais persistent sur la durée. On parle de risques à « cinétique lente ».

Afin de fixer rigoureusement le cadre de notre étude, il est nécessaire d'identifier les aléas climatiques susceptibles (i) d'évoluer en raison du changement climatique et (ii) d'avoir un impact significatif sur une ou plusieurs dimensions de la sécurité alimentaire tunisienne.

Le territoire tunisien est exposé à de multiples aléas climatiques que le changement climatique pourrait accentuer ou atténuer. Une revue bibliographique et l'expertise des consultants ont permis de procéder à une sélection des principaux aléas pouvant affecter la sécurité alimentaire. Ceux-ci sont présentés dans le tableau ci-dessous. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres aléas climatiques comme le Sirocco ou la salinisation des terres et des

ressources hydriques par exemple pourraient être ajoutés. Mais pour les besoins de l'étude, il a été choisi de se concentrer sur un certain nombre d'aléas en tenant compte notamment des événements les plus critiques mais également des possibilités de calcul et d'analyse que permettait la modélisation climatique dans les délais impartis (par exemple l'aléa lié aux tempêtes et au Sirocco ou à l'élévation du niveau de la mer nécessitent des jeux de données et des efforts d'analyse qui sortent du cadre de cette étude.

	Aléas climatiques	
EVOLUTIONS Tendancielle		Hausse tendancielle des températures (températures moyennes, minimales et maximales)
		Baisse des précipitations (saisonnières ou annuelles)
		Hausse des précipitations (saisonnières ou annuelles)
		Hiver doux (températures hivernales élevées, marquées notamment par l'absence de gelées)
		Déplacement des saisons (modification significative et persistante des cycles saisonniers de température et de pluviométrie affectant les dates et la durée des saisons)
EVENEMENTS EXTREMES		Gel (température minimale journalière inférieure à 0°C)
		Sécheresse météorologique (précipitations anormalement faibles pour la période considérée)
		Sécheresse agricole (pluviométrie inférieure aux besoins des cultures)
		Pluviométrie intense (précipitations anormalement élevées, supérieures à la capacité d'infiltration des sols, pouvant engendrer des inondations par ruissellement)
		Inondation (liée à un débordement de cours d'eau par fortes pluies)
		Canicule / Vague de chaleur (période de chaleur caractérisée par des températures maximales supérieures à la norme)

Table 1 : Aléas climatiques étudiés

Des aléas aux risques

La production agricole influence directement la disponibilité alimentaire, première dimension de la sécurité alimentaire. Il est donc essentiel d'établir un inventaire des risques liés à la variabilité et au changement climatique qui pèsent sur celle-ci.

En lien avec les aléas climatiques présentés plus haut, sont recensés ci-dessous les principaux risques transversaux ou spécifiques aux trois productions ciblées par l'étude. Cette liste ne vise pas l'exhaustivité et se concentre sur les risques prioritaires :

- **Risques transversaux aux différentes productions agricoles**

- **Baisse de la productivité des sols dégradés par l'érosion** hydrique sous l'effet des événements de **pluviométrie intense**, engendrant un appauvrissement en éléments nutritifs, une baisse de la qualité du sol (texture, structure, stabilité), jusqu'à la perte de terre arable.
- **Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'absence de nettoyage des maladies et ravageurs** en raison d'un hiver doux.
- **Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies.** Ceux-ci sont favorisés par le déplacement des conditions climatiques des basses latitudes vers les hautes latitudes et/ou l'émergence de conditions de température et d'humidité favorables aux bio-agresseurs à certains stades critiques de la plante.
- **Destruction des exploitations engendrée par les dégâts physiques** sur les infrastructures, les équipements, et la production lors d'**inondations** en période de crue.

- **Risques spécifiques aux cultures céréalières**

- **Destruction des cultures causée par la verse** lors d'événements de **pluviométrie intense**. Les cultures sont couchées au sol sous l'effet d'intempéries violentes, affectant la qualité et la quantité de la production.
- **Diminution de la quantité et de la qualité des grains** due à l'aggravation du phénomène d'échaudage à cause de la **hausse tendancielle des températures ou de canicule**. L'échaudage correspond à l'altération du remplissage des grains de céréales qui restent de petite taille sous l'effet des hautes températures (à partir de 25°C).
- **Destruction des cultures** liée au **gel printanier** au stade d'épi 1cm, particulièrement sensible aux faibles températures.
- **Perte de rendement par stress hydrique** causée par une **sécheresse agricole**, affectant directement les rendements.
- **Destruction des cultures due à un développement prématuré qui s'explique par l'avancement du cycle de développement** sous l'effet de la **hausse tendancielle des températures**. Ce risque doit être pensé en interaction avec la mortalité liée au gel : si le stade épi apparaît plus tôt, il sera plus exposé.
- **Baisse globale du rendement** générée par une hausse des températures et une baisse de la pluviométrie. Ce risque sera étudié plus en détail par un travail de modélisation statistique dont les fondements seront présentés au Chapitre 3.

- **Risques spécifiques à l'olivier**

- **Baisse qualitative et quantitative de la production de fruits due à un retard de la floraison** causés par un hiver doux, qui ne satisfait pas les besoins en froid de l'olivier.
- **Perte de rendement par stress hydrique** causée par une **sécheresse agricole**, affectant directement les rendements.
- **Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits causée par le gel printanier** lors de la floraison.

- **Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits due à un arrêt de la croissance et un dessèchement des fruits** sous l'effet de **températures très élevées** (>40°C) en été
- **Baisse globale du rendement** générée par une hausse des températures et une baisse de la pluviométrie tendancielle. Ce risque sera étudié plus en détail par un travail de modélisation statistique présenté plus loin dans le rapport.
- **Risques spécifiques à l'élevage et au parcours**
 - **Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale à cause d'un faux démarrage** du cycle de croissance végétative après une première pluie à cause d'une longue période de **sécheresse météorologique**, diminuant la production de biomasse fourragère.
 - **Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale causée par** un raccourcissement du cycle végétatif, en lien avec la **sécheresse agricole**.
 - **Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale causée par une alimentation en eau discontinue**. Ceci s'explique par une répartition de la pluviométrie très hétérogène, gênant la production de biomasse.
 - **Augmentation de la mortalité et dégradation de l'état de santé des animaux dues des problèmes sanitaires causés par stress thermique** des bêtes lors d'une **vague de chaleur**.

Le tableau ci-dessous présente le lien entre risques identifiés et aléa principal.

Production	Risques	Aléa
Toutes les productions	Baisse de la productivité des sols dégradés par l'érosion	
	Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'absence de nettoyage des maladies et ravageurs	
	Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies	
	Destruction des exploitations engendrée par les dégâts physiques liés aux inondations	
Céréaliculture	Destruction des cultures causée par la verse	
	Diminution de la quantité et de la qualité des grains due à l'échaudage	
	Destruction des cultures causée par le gel printanier	
	Perte de rendement par stress hydrique	
	Destruction des cultures due à un développement prématuré lors d'épisode de gel printanier	
Oléiculture	Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits causée par un retard de floraison	
	Perte de rendement par stress hydrique	
	Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits causée par le gel printanier lors de la floraison	
	Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits due à un arrêt de la croissance et un dessèchement des fruits	
Elevage et parcours	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale à cause d'un faux démarrage du cycle de croissance végétative	
	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale à cause d'un raccourcissement du cycle végétatif	
	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale causée par une alimentation discontinue	
	Augmentation de la mortalité et dégradation de l'état de santé des animaux dues des problèmes sanitaires causés par stress thermique	

Table 2 : Risques et aléas correspondant par production

- **Risques spécifiques à la pêche et l'aquaculture**

La production d'un modèle de production pour la pêche et l'aquaculture sort du cadre de l'étude. Ses risques spécifiques ne font pas ici l'objet d'une analyse quantitative via des indicateurs climatiques et agroclimatiques. Une synthèse de travaux existants est par contre proposée en section 3 et reprend les principaux risques liés au changement climatique pesant sur la pêche.

Chacun de ces risques est susceptible d'être généré par un ou plusieurs aléas. Afin d'apprécier de manière simple l'évolution actuelle et future de l'occurrence de ces risques sur l'agriculture, il est nécessaire de les associer à un aléa principal.

L'évolution de l'occurrence du risque est ensuite appréciée de manière indirecte par le biais de l'évolution des aléas. La caractérisation des aléas et de leur évolution passe par l'utilisation de variables et d'indicateurs descriptifs.

Choix et calcul d'indicateurs pertinents

Nous distinguons trois types de métriques :

- **Les variables physiques ou climatiques** : il s'agit des variables physiques de base du climat, à savoir température et précipitations. Ces variables sont disponibles directement en sortie de mesure ou de modèles ;
- **Les indicateurs climatiques** : ils décrivent l'événement climatique, indépendamment des aspects agronomiques. Ils permettent donc d'approcher l'aléa climatique, mais ne mesure pas l'impact de manière directe. Ils agrègent les variables de température et de précipitation en faisant intervenir des seuils (nombre de jours, valeur de T ou de P, etc.) ou des formules de calcul spécifiques ;
- **Les indicateurs agroclimatiques** : les conditions climatiques sont interprétées en termes agronomiques. Selon le degré de transformation de la donnée climatique, ils permettent de cibler des aléas particuliers, notamment spécifiques à une production, voire d'en estimer l'impact.

L'identification des risques a permis de guider le choix des indicateurs et de s'assurer de leur **spécificité** par rapport aux risques auxquels ils se rapportent. La sélection est basée sur un état de l'art. Les choix résultent d'une revue bibliographique, dont l'étude de la DG FIOP¹⁶ sur les risques agricoles, et à dire d'experts, notamment avec l'INM.

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs sélectionnés (définition détaillée disponible en Annexe 3).

¹⁶ Etude sur la gestion des risques et la mise en place d'un système d'assurances agricoles en Tunisie. 2018. FINACTU, DGFIOP/MARHP.

	Code	Variables et Indicateurs
Variables physiques	T_an	Température moyenne annuelle
	T_saison	Température moyenne mensuelle (cycle saisonnier)
	Tmin_an	Moyenne annuelle des températures minimales
	Tmin_sai	Moyenne mensuelle des température minimales (cycle saisonnier)
	Tmax_an	Moyenne annuelle des températures maximales
	Tmax_sai	Moyenne mensuelle des température maximales (cycle saisonnier)
	P_an	Précipitation annuelle
	P_saison	Précipitation moyenne mensuelle (cycle saisonnier)
Indicateurs climatiques	CDD	Nombre maximum de jours consécutifs secs (Consecutive Dry Days)
	CWD	Nombre maximum de jours consécutifs humides (Consecutive Wet Days)
	R10	Nombre de jours de précipitations > 10 mm au cours de l'année
	R20	Nombre de jours de précipitations > 20 mm au cours de l'année
	R40	Nombre de jours de précipitations très fortes (> 40 mm) au cours de l'année
	R70	Nombre de jours de précipitations extrêmes (> 70 mm) au cours de l'année
	N_can	Nombre de jours de canicule
	N_froid	Nombre de jours de vague de froid
Indicateurs agroclimatiques	ETP	Evapotranspiration potentielle : pertes d'eau du sol vers l'atmosphère
	BH	Bilan hydrique : les précipitations moins les pertes par évapotranspiration
	LPC	Longueur de la période de croissance végétative
	D_mon	Date de montaison du blé estimée à partir des besoins en chaleur du blé
	D_mat	Date de maturation du blé estimée à partir des besoins en chaleur du blé
	D_froid	Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier
	CP	Chilling Portions : quantité de froid apportée entre octobre et mai
	N_gel_an	Nombre de jours de gel au cours de l'année
	N_gel_pr	Nombre de jours de gel printanier (février à avril)
	N_ech	Nombre de jours échaudants entre avril et juin
	N_40	Nombre de jours de chaleur extrêmes
	N_P_eff	Nombre de jours entre les 2 premières pluies journalières efficaces
	IRP	Indice de Répartition Pluviométrique

Table 3 : Présentation des indicateurs. Les définitions détaillées et méthodes de calcul sont disponibles en Annexe 3.

Le tableau suivant présente la correspondance entre indicateurs, aléas et risques.

Production	Risques	Aléa	Variables et indicateur(s)
Toutes les productions	Baisse de la productivité des sols dégradés par l'érosion		R40, R70
	Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'absence de nettoyage des maladies et ravageurs		T_hiver, N_gel_an
	Diminution de la quantité et de la qualité de la production causée par des problèmes sanitaires dus à l'apparition de nouveaux ravageurs et maladies		T_an, T_saison
	Destruction des exploitations engendrée par les dégâts physiques liés aux inondations		R40, R70
Céréaliculture	Destruction des cultures causée par la verse		R40, R70
	Diminution de la quantité et de la qualité des grains due à l'échaudage		T_printemps, T_été, N_ech
	Destruction des cultures causée par le gel printanier		N_gel_pr
	Perte de rendement par stress hydrique		P_an, BH
	Destruction des cultures due à un développement prématuré lors d'épisode de gel printanier		D_ep, D_mat
Oléiculture	Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits causée par un retard de floraison		D_flo, CP
	Perte de rendement par stress hydrique		BH
	Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits causée par le gel printanier lors de la floraison		N_gel_pr
	Baisse quantitative et qualitative de la production de fruits due à un arrêt de la croissance et un dessèchement des fruits		N_can, N_40
Elevage et parcours	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale à cause d'un faux démarrage du cycle de croissance végétative		N_eff
	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale à cause d'un raccourcissement du cycle végétatif		LPC
	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale causée par une alimentation discontinue		IRP
	Augmentation de la mortalité et dégradation de l'état de santé des animaux dues des problèmes sanitaires causés par stress thermique		N_can

Table 4 : Représentation des risques agricoles par les indicateurs (agro)climatiques.

Chacun de ces indicateurs a ensuite été calculé et analysé à partir des données climatiques produites selon les spécifications détaillées dans ce qui suit.

II.1.3 Les horizons temporels et tranches climatiques analysées

Les horizons 2050 et 2100 sont retenus pour faciliter la comparaison avec les projections internationales. L'horizon 2030 a été écarté, étant jugé trop proche et ne permettant pas de différenciation suffisante entre les scénarios d'émissions de GES.

La durée des tranches climatiques analysées a été fixée à 30 ans :

- 1981-2010 pour la période de référence
- 2036-2065 pour le moyen terme (2050)
- 2071-2100 pour le long-terme (2100)

II.1.4 Le traitement des incertitudes

La notion d'incertitude est inhérente à l'effort de modélisation climatique et par conséquent au domaine des changements climatiques. Il est toutefois nécessaire de comprendre, décrire et intégrer les incertitudes afin qu'elles ne constituent pas un blocage dans le processus d'adaptation.

Les principales incertitudes

Plusieurs types d'informations (sources et données différentes) sont utilisées pour caractériser au mieux, d'une part, le climat, sa variabilité et son évolution future et d'autre part, les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes et les sociétés. Des informations issues des ensembles de simulations climatiques (passées et futures) sont utilisées, ainsi que, des informations issues des modèles d'évaluation des impacts, des conditions socio-économiques, du contexte politique, du contexte du marché (pour les acteurs économiques) et des prévisions de changements dans ces contextes. Toute information relative aux conditions futures mais également passées des systèmes naturels et sociaux comporte des incertitudes dont les utilisateurs de cette information doivent être conscients. Ces incertitudes peuvent être classées en 3 catégories principales :

1. Les incertitudes socio-économiques ou **incertitude réflexive** : liées aux scénarios futurs d'émission des gaz à effet de serre. En effet, les trajectoires futures des émissions de GES déterminent l'ampleur et le rythme du changement climatique futur. Les niveaux d'émission futurs dépendent de l'évolution démographique, économique et technologique, ainsi que des accords internationaux sur l'atténuation des changements climatiques.
2. Les incertitudes scientifiques et techniques ou **l'incertitude épistémique** : liées à une connaissance imparfaite des phénomènes et à leur représentation approximative dans les modèles physiques et statistiques utilisés. Les limites des modèles (modèles climatiques globaux, régionaux, méthodes de descente d'échelle statistique, modèles d'impact climatique) résultent de leur résolution limitée (entravant par exemple la résolution explicite de la physique des nuages), d'une compréhension incomplète des différents processus physiques et biogéochimiques qu'ils essaient de représenter (par exemple, les processus dynamiques de la calotte glaciaire) ou de leurs interactions et rétroactions (par exemple, les rétroactions du cycle climat-carbone), et/ou d'une compréhension incomplète du système environnemental ou social considéré (par exemple, l'évolution démographique dans les zones à risque d'inondation).
3. L'incertitude liée à la variabilité naturelle du climat aussi appelée **incertitude stochastique**. La *variabilité naturelle* résulte de processus naturels intrinsèques au

sein du système climatique (variabilité climatique interne ; variabilité atmosphérique et océanique) et qui comprend également la problématique des conditions initiales du système climatique modélisé.

Notion de Cascade d'incertitude

La caractérisation des changements climatiques repose sur différentes étapes. La première étape consiste à générer des scénarios de GES/aérosols en se basant sur des hypothèses de développement socio-économique et technologique futur (Wilby and Dessai, 2010). Ces scénarios d'émissions sont ensuite transformés en scénarios de concentration de GES à l'aide de modèles biogéochimiques. Les scénarios de concentration de GES/aérosols constituent l'intrant fondamental pour produire des projections climatiques globales. Ces projections globales peuvent ensuite être réduites à l'échelle régionale/locale grâce à l'utilisation de méthodes de descente d'échelle dynamique (modèles climatiques régionaux) ou statistiques. Les informations obtenues lors de cette dernière étape peuvent être enfin utilisées pour les études d'impact (modélisation des impacts à travers des modèles de rendements par exemple ou des modèles hydrologiques) et de vulnérabilité. Chaque étape de cette chaîne introduit une source d'incertitude, de sorte que cette dernière augmente au fur et à mesure que l'on descend dans la chaîne de modélisation. Il est alors question de cascade d'incertitudes.

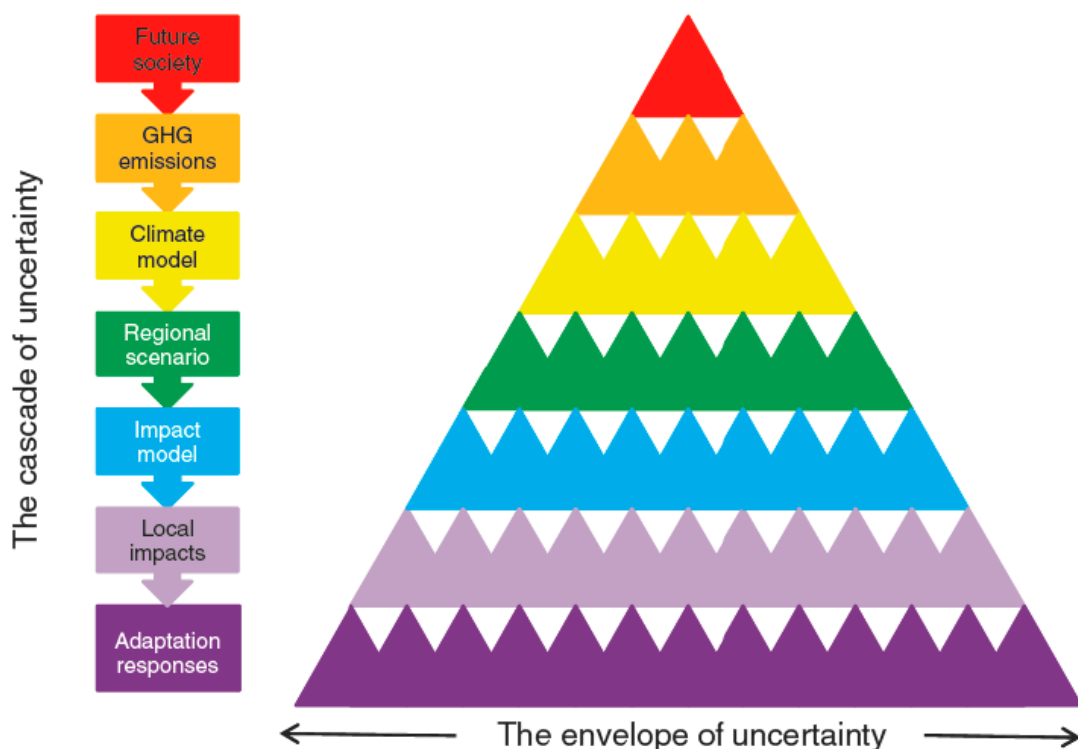


Figure 5: Cascade d'incertitudes. Source : Wilby and Dessai, 2010.

Notre approche des incertitudes

Cette étude offre une analyse des « incertitudes socio-économiques » via l'analyse de plusieurs scénarios socio-économiques. Le scénario d'émissions de GES RCP 8,5 (sans politique climatique, les émissions de GES continuent d'augmenter au rythme actuel) constitue l'axe principal d'analyse compte tenu de la haute probabilité de se trouver sur cette trajectoire au regard du niveau des émissions actuelles de GES. Toutefois le scénario RCP 4,5 (scénario avec politiques climatiques permettant de stabiliser les concentrations en CO₂ à un niveau plus faible en 2100) est également pris en compte.

Nous avons également intégré une analyse des « incertitudes techniques » liées à la modélisation à l'échelle globale et aux différentes étapes de descente d'échelle (dynamique et statistique). Elle englobe :

- D'une part l'analyse de la capacité des modèles à reproduire les phénomènes climatiques observés. Pour chacune des variables étudiées, nous avons réalisé une comparaison des données simulées par les modèles par rapport aux observations à l'aide de score statistique classique (biais moyen, RMSE) et également en appliquant un test de significativité statistique (test non paramétrique de Wilcoxon). L'analyse de ces résultats permet de définir si les modèles représentent proprement ces résultats ;
- D'autre part, nous avons réalisé une analyse multi-modèle. L'analyse de l'enveloppe multi-modèle fournit de l'information sur les comportements extrêmes mais non improbable de certains modèles (aussi bien en climat passé qu'en climat futur). La moyenne (ou la médiane) multi-modèles représente la meilleure estimation possible du climat par l'ensemble multi-modèles ;
- Le jeu de données CORDEX n'offre pas un nombre de simulations d'ensemble suffisant pour étudier proprement l'« incertitude stochastique ». Nous avons tout de même réalisé des tests afin de déterminer si les changements observés sont susceptibles d'être uniquement le résultat de la variabilité naturelle : Le test de tendance de Mann-Kendall a été utilisée pour comprendre si les tendances de changement sont significatives ;
- Le test de significativité de Wilcoxon a été appliqué au delta simulé par l'ensemble multi-modèle (différence entre le climat futur et celui de la période de référence) pour définir si ce changement est significatif.

II.1.5 Données climatiques utilisées

L'étude du climat et de ses impacts sur la sécurité alimentaire nécessite un jeu complet de données climatiques pour les périodes historique et future. Un tel jeu de données comprend :

- Une climatologie de référence grillée sur l'ensemble de la Tunisie pour les paramètres clés à étudier. La climatologie de référence sert à analyser et comprendre le climat historique, à caler les modèles d'impact mais aussi de jeu de données de référence pour le travail de descente d'échelle et de correction des scénarios climatiques simulées ;
- Des scénarios d'évolutions climatiques simulées par les modèles régionaux de climat pour les paramètres clés couvrant la période historique et les projections futures jusqu'à 2100. Les scénarios climatiques produits par la communauté internationale nécessitent en général d'être adapté aux besoins de l'étude à réaliser.

Les caractéristiques des jeux de données produits ont été fixées en accord avec les besoins de l'étude (analyse de rendements, cartes d'aptitudes, calcul d'indicateurs agroclimatiques). Les caractéristiques suivantes ont ainsi été sélectionnées :

- Des jeux de données grillés sur l'ensemble du territoire tunisien ;
- Variables climatiques : maximum journalier de la température de surface, moyenne journalière de la température de surface, minimum journalier de la température de surface et cumul journalier de précipitation ;
- Fréquence temporelle journalière ;
- Résolution spatiale : 5km ;
- Couverture temporelle : 1981-2100 pour les scénarios climatiques, 1981-2010 pour la climatologie de référence ;
- Deux scénarios RCP pour les projections climatiques futures : RCP4.5 et RCP8.5.
- Deux horizons 2050 et 2100.

La construction des jeux de données s'est faite à partir de jeux de données existants divers (CHIRPS pour les précipitations, ERA5 et WorldClim pour les températures). Les caractéristiques, les sources des jeux de données utilisés et les traitements réalisés pour l'obtention d'un jeu homogène sont détaillés en Annexe V.

II.1.6 Création de la climatologie de référence

Pour les précipitations, la base de données CHIRPS présente toutes les caractéristiques requises et n'a nécessité aucun traitement supplémentaire. Elle a été validée par l'INM par rapport aux stations de référence en Tunisie avec des résultats très satisfaisants. Elle permet de capturer la variabilité spatiale et la variabilité temporelle des précipitations à la résolution de 5km. Ce jeu de données va permettre de désagréger mais surtout de corriger les données de projections climatiques de précipitations EURO-CORDEX qui présentent des biais importants, frein à l'étude des impacts du changement climatique pour la sécurité alimentaire.

Pour les températures, ni la base de données ERA5 (résolution spatiale d'environ 30 km) ni Worldclim (fréquence temporelle mensuelle) ne présentent les caractéristiques requises. Un travail de fusion de ces deux jeux de données a donc permis de créer un jeu de données bénéficiant de la haute résolution spatiale de Worldclim et de la fréquence temporelle de ERA5. Il a consisté à appliquer un recalage du biais moyen des données ERA5 par rapport aux données WorldClim.

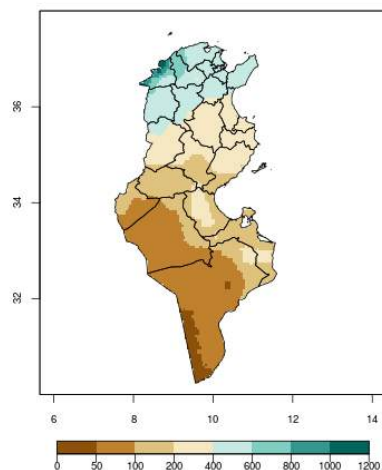
L'utilisation des ré analyses ERA5 permet de réactualiser les travaux de correction de données climatiques réalisées par l'INM qui avaient été réalisées à partir des ré analyses ERA-I. La fusion avec la climatologie WorldClim permet de capturer la variabilité spatiale des températures moyennes à haute résolution, par contre elle ne permet pas d'améliorer la représentativité de la variabilité journalière des températures.

La méthode et les outils utilisés pour créer une climatologie de référence se trouvent détaillées en Annexe VI.

La climatologie de référence obtenue à partir des bases de données CHIRPS (précipitations), ERA5 et WorldClim (températures minimales, moyennes et maximales) est présentée sur la Figure 6.

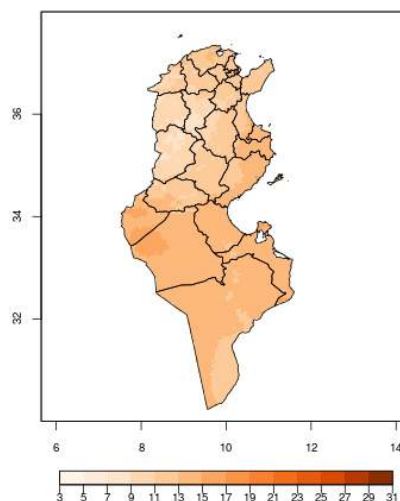
Cumul de précipitation Annuelle :

Moyenne = 221 mm



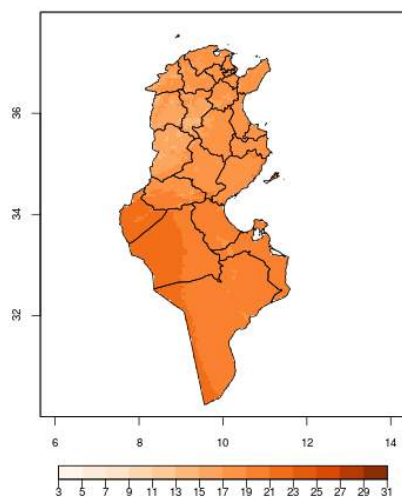
Température Minimale Annuelle

Moyenne = 12.9 C



Température Moyenne Annuelle

Moyenne = 19.1 °C



Température Moyenne Annuelle

Moyenne = 25.4 °C

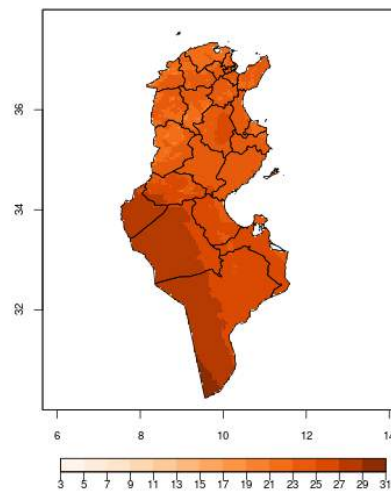


Figure 6: Climatologie des précipitations (mm/an), température minimale de surface (°C), température moyenne de surface (°C), température maximale de surface (°C) sur la période 1981-2010.

II.1.7 Descente d'échelle

La descente d'échelle a permis de désagréger les scénarios climatiques EURO-CORDEX disponibles à 0.11° (soit environ 12km) à une résolution de 5km. Elle a été appliquée aux 4 variables cibles : température minimale, température moyenne, température maximale et précipitations.

Une descente d'échelle statistique de type CDFT a été appliquée directement sur les données journalières. Le détail de la procédure de descente d'échelle est présenté en détails en Annexe VII. En plus de sa fonction de descente d'échelle, la méthode CDFT offre une action de correction de certains des biais des modèles. Elle permet de recalibrer l'amplitude de la variable cible par rapport aux observations. En revanche, elle ne permet pas de recalibrer les effets de persistance temporelle et n'intègre pas les effets de dépendances spatiales et multivariées. Elle a été appliquée de façon mensuelle afin d'assurer une correction du cycle saisonnier des modèles. Elle permet ainsi :

- Une forte amélioration de la qualité des projections climatiques de précipitations par rapport aux produits de l'INM (non corrigés) ;
- Une mise à jour des projections de température de l'INM grâce aux jeux de données ERA-5 et l'amélioration de la variabilité spatiale.

Les résultats de la descente d'échelle sont présentés ci-dessous pour les précipitations et température moyenne (les résultats pour les températures minimales, maximales et indicateurs climatiques sont présentés en Annexe V). L'ensemble des modèles a été analysé séparément pour s'assurer de l'absence de données aberrantes ou « outliers ». L'analyse de la moyenne multi-modèle est présentée ci-dessous. Un test de significativité (test de Wilcoxon, seuil de significativité de 10%) a également été réalisé afin de détecter la capacité de chaque modèle à représenter correctement la variable analysée (incertitude technique). Les points de grille pour lesquels on considère que l'ensemble multi-modèle ne représente pas correctement les observations sont marqués d'un point noir¹⁷.

On observe que malgré son effet de correction, la méthode de descente d'échelle entraîne un biais positif systématique sur l'ensemble de la Tunisie en moyenne de 15mm par an (soit environ 6,5%). Ce biais moyen est légèrement supérieur au biais moyen avant la descente d'échelle (4,5%). Il est dû aux difficultés de corriger le nombre de jour de précipitations dans les modèles. En revanche, ce biais n'est pas significatif et on peut considérer que l'ensemble multi-modèle représente correctement cette variable. De plus, on observe une très forte amélioration du cycle saisonnier des précipitations avec un recalage quasi-parfait pour l'ensemble des 5 étages bioclimatiques.

La descente d'échelle des températures de surface est de très bonne qualité avec un biais moyen quasi-nul et un cycle saisonnier presque parfait. Comme pour les précipitations, le biais résiduel n'est pas significatif.

¹⁷ Points pour lesquels plus de 66% des modèles de l'ensemble présentent une différence significative ou pour lesquels il n'y a pas d'accord des modèles sur l'existence d'un biais.

Cumul annuel de précipitations (mm) :

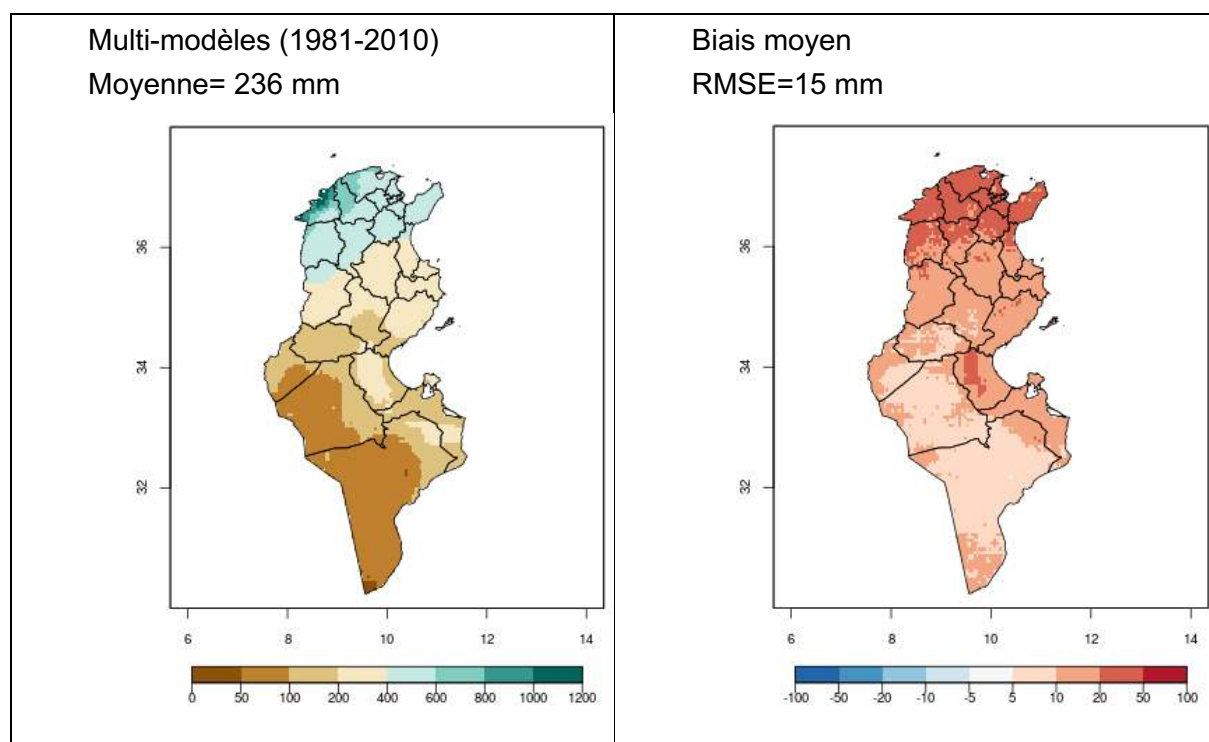


Figure 7 : Moyenne multi-modèles du cumul de précipitation (mm/an) sur la période 1981-2010 et biais moyen par rapport aux observations sur la même période.

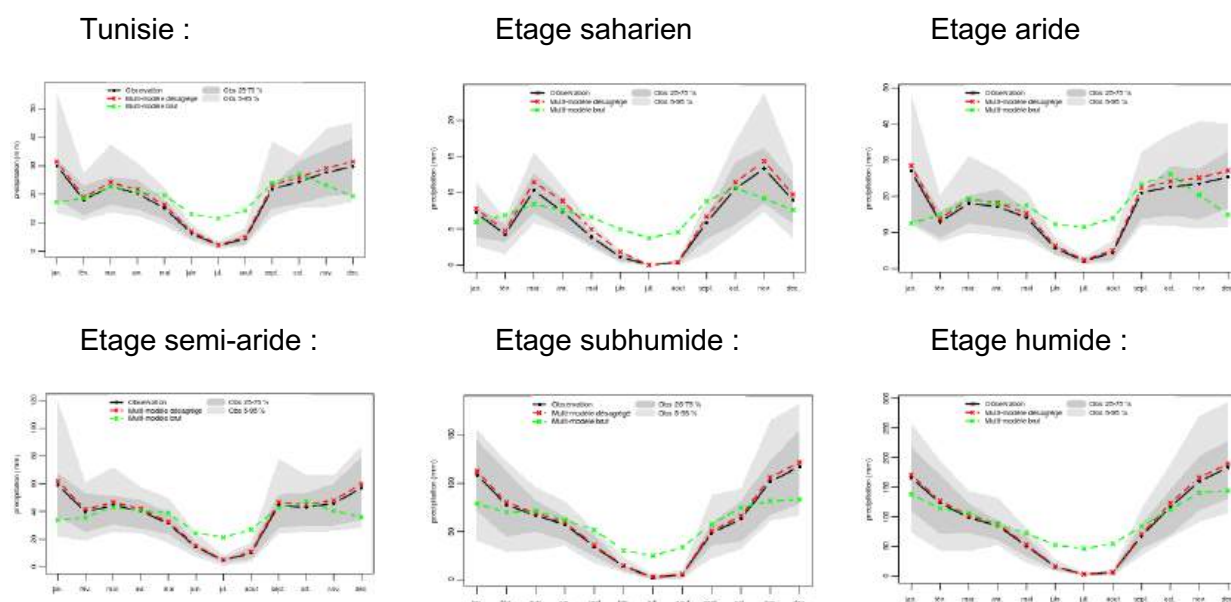


Figure 8 Cycle saisonnier du cumul de précipitations (mm) sur la période 1981-2010 pour les 5 étages bioclimatiques et à l'échelle nationale : moyenne multi-modèles avant et après descente d'échelle et observations

Température Moyenne Annuelle :

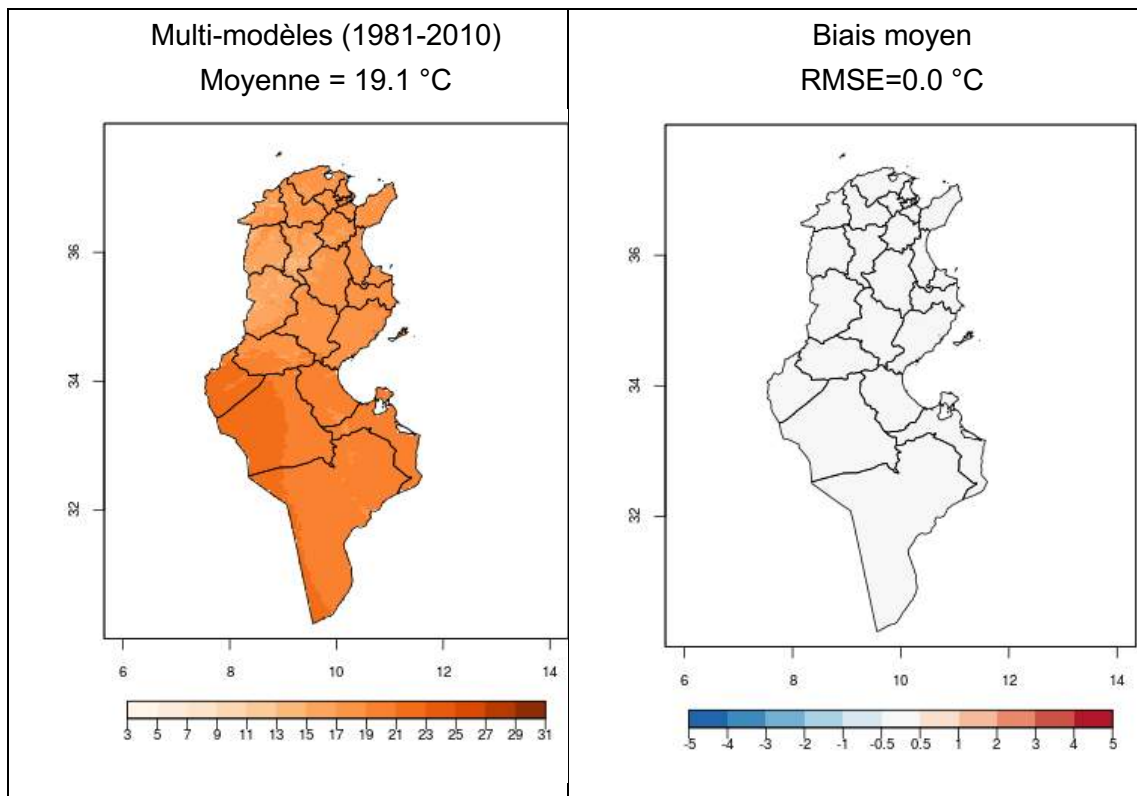
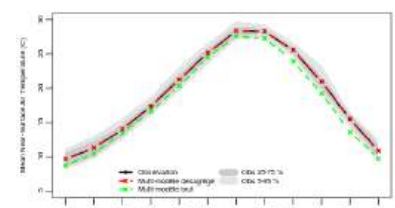
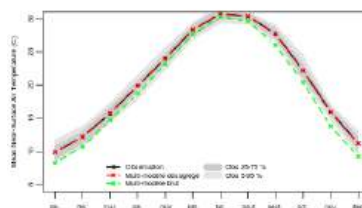
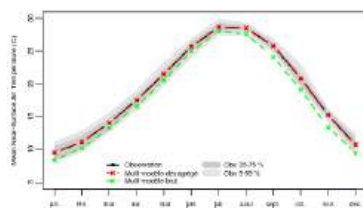


Figure 9 : Moyenne multi-modèles de la température moyenne (°C) sur la période 1981-2010 ; biais moyen par rapport aux observations sur la même période

Tunisie :

Etage saharien

Etage aride



Etage semi-aride :

Etage subhumide :

Etage humide :

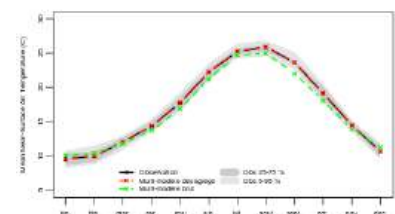
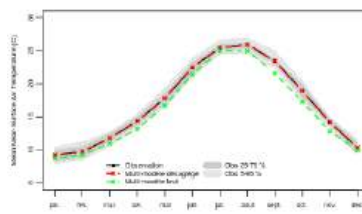
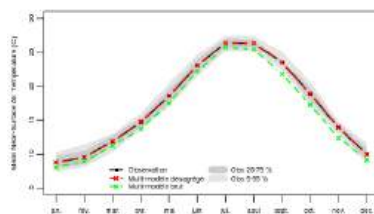


Figure 10 : Cycle saisonnier de la température minimale (°C) sur la période 1981-2010 : moyennes multi-modèles avant et après descente d'échelle et pour les observations pour les 5 étages bioclimatiques et pour la moyenne Tunisienne.

En résumé, le jeu de données produits pour cette étude a permis de mettre à jour la base de données de scénarios climatiques produites par l'INM en 2017 en intégrant l'ensemble des jeux de données les plus récents mis à disposition par la communauté internationale mais également en lui apportant les qualités requises pour l'étude des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire.

En particulier, il permet d'avoir accès à :

- Un jeu de données grillées (climatologie de référence et projections climatiques) à 5 km de résolution pour 4 variables climatiques clés dont les précipitations sur l'ensemble du territoire.
- Un jeu de données corrigé présentant une distribution et un cycle saisonnier en accord avec les observations sur la période observée.
- Un jeu de données permettant de simuler correctement les aléas climatiques clés pour l'agriculture et la sécurité alimentaire.

Au vu des analyses réalisées, la seule limitation de ce jeu de données pour cette étude concerne la représentation des événements les plus extrêmes tels que les précipitations très fortes et intenses.

Ce jeu de données présente cependant les caractéristiques requises pour étudier les impacts du changement climatique à une échelle quasi-locale (analyse au niveau du groupe de parcelles) sur l'ensemble du territoire.

II.2 Evolutions climatiques et agroclimatiques observées

A partir de la climatologie de référence produite dans l'étape précédente, sont présentées ci-dessous l'évolution des variables et indicateurs (agro)climatiques pour la période 1981-2018. L'objectif étant de rendre compte de la climatologie moyenne de la période historique et dans la mesure du possible des évolutions constatées au cours des dernières décennies.

Les résultats sur les climatologies annuelles et le cycle saisonnier des 4 variables d'intérêt ont été présentés dans le chapitre dédié à la création de la climatologie de référence et à la descente d'échelle (voir chapitres II.1.6 et II.1.7). Dans cette section, nous proposons une analyse plus détaillée les caractéristiques de ces variables suivant les 2 axes suivant :

- Les climatologies moyennes saisonnières des températures et des précipitations pour la période de référence choisie pour cette étude (1981-2010) ;
- Les coefficients des tendances observées (annuelles et saisonnières) sur la période 1981-2018. Cette période est courte pour une analyse de tendance et les résultats doivent être interprétés avec précaution. Un test de significativité des tendances (test de Mann-Kendall) a été réalisé dont les résultats sont indiqués dans les tables correspondantes.

Les résultats sont comparés à ceux de l'étude réalisée par l'INM dans le cadre de la 3^{ème} Communication Nationale sur le changement climatique (INM, 2017)¹⁸.

Températures moyennes annuelles

Nous présentons dans le tableau suivant les tendances annuelles des températures minimales, moyennes et maximales pour la Tunisie et par zones bioclimatiques pour la période 1981-2018.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
T maximale	0.044	0.046	0.044	0.041	0.030	0.025
T moyenne	0.037	0.038	0.037	0.035	0.028	0.024
T minimale	0.032	0.034	0.032	0.031	0.025	0.022

Table 5: Taux d'augmentation des températures minimales, moyennes et maximales annuelles (°C/an) sur la période 1981-2018 par zones bioclimatiques. Les cellules en gras correspondent aux saisons/zones pour lesquelles la tendance est significative (seuil de 5%)

Une tendance significative à la hausse est observée pour l'ensemble des zones étudiées. A variabilité de cette tendance entre les différentes régions est faible.

Cet accroissement des températures est en accord avec les résultats de l'étude réalisée par l'INM (INM, 2017). Cet accroissement est légèrement moins élevé dans notre analyse. D'autre part nous observons une augmentation plus rapide des températures maximales par rapport aux températures moyennes et par rapport aux températures minimales. Ces différences peuvent être attribuées d'une part au fait que l'analyse de l'INM porte sur un nombre limité de stations alors que nous travaillons sur un jeu de données grillées et d'autre part au fait que la période d'analyse est légèrement différente dans nos deux études (1979-2012 dans l'étude de l'INM et 1981-2010 dans le cadre de cette étude).

Températures moyennes saisonnières

¹⁸ INM, 2017 : Etude des tendances et des projections climatiques en Tunisie. Haythem Belghrissi. 46 pages.

Les maximums de température sont observés dans les zones les plus continentales (Sud et Ouest). Sur la période 1981-2018, une tendance significative à la hausse est observée pour l'ensemble des saisons avec des disparités régionales et saisonnières comme le montre la [Table 6](#). Les zones bioclimatiques saharienne et aride ont été les plus touchées par cette augmentation (bien que le taux de croissance le plus élevé soit enregistré pour les températures printanières de la zone semi-aride avec $+1,9^{\circ}\text{C}$ sur 38 ans). Les zones humide et subhumide ont connu la moins forte augmentation de leur température avec un minimum de $+0,8^{\circ}\text{C}$ pour la zone humide en hiver.

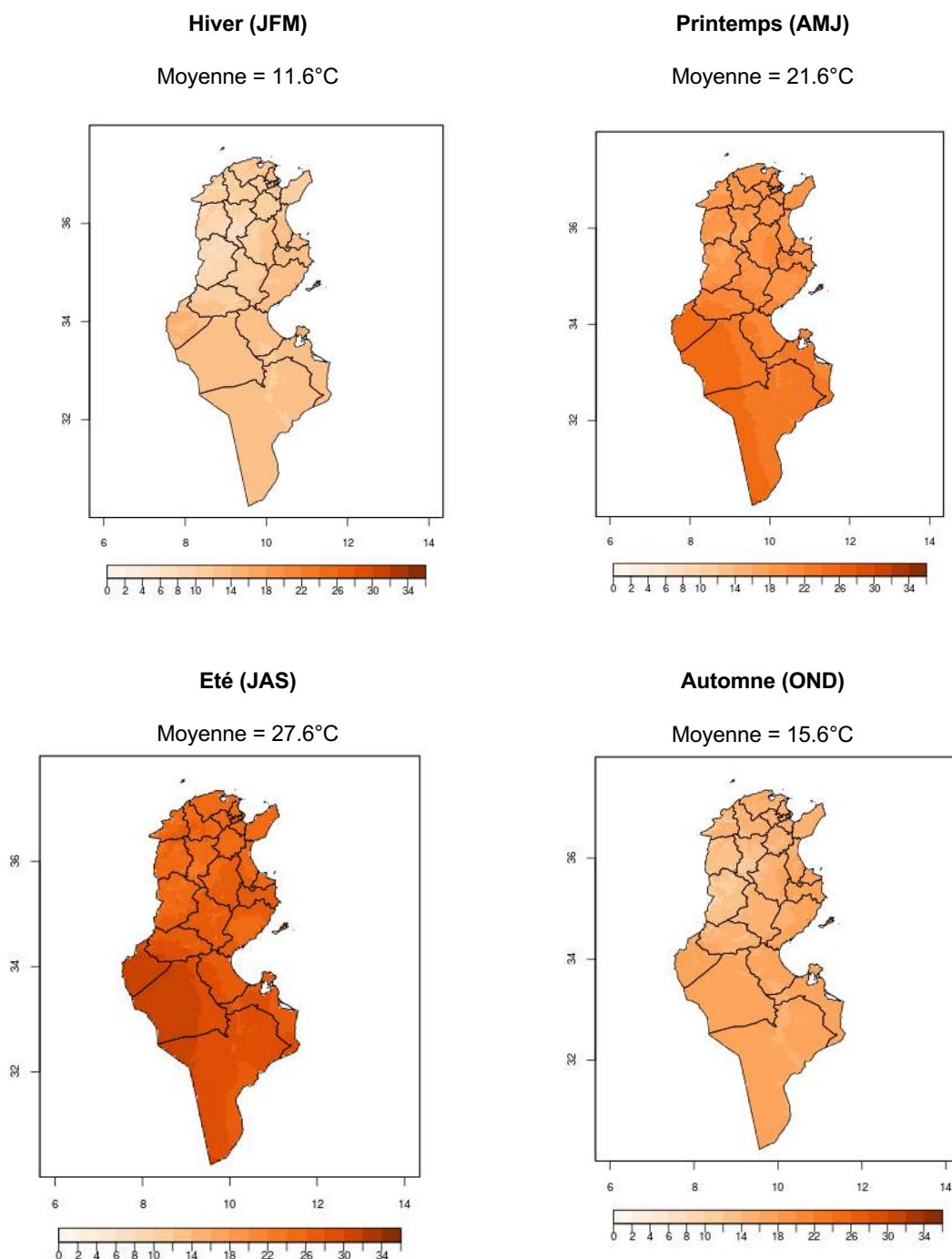


Figure 11: Moyenne ($^{\circ}\text{C}$) des températures moyennes de surface observées en hiver, printemps, été et automne pour la période 1981-2010.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
Hiver	0.034	0.039	0.034	0.029	0.024	0.020
Printemps	0.047	0.044	0.043	0.049	0.040	0.034
Eté	0.036	0.040	0.036	0.034	0.027	0.024
Automne	0.029	0.030	0.030	0.027	0.022	0.021

Table 6: Taux d'augmentation des températures moyennes saisonnières (°C/an) sur la période 1981-2018 par zones bioclimatiques. Les cellules en gras correspondent aux saisons/zones pour lesquelles la tendance est significative (seuil de 5%)

Les structures spatiales observées pour les températures minimales et maximales saisonnières sont très proches de celles obtenues pour les températures moyennes et ne sont donc pas présentées en détail dans cette section.

Cumul saisonnier de précipitations

La figure suivante présente les cartes de cumul saisonnier de précipitations sur la période 1981-2010. Les disparités spatiales et saisonnières sont très marquées avec au premier plan le contraste entre les différentes zones bioclimatiques couvrant la Tunisie. On observe sur la côte sud-ouest Méditerranéenne (zones humide et subhumide) un cycle saisonnier marqué avec une saison humide de septembre à mai (favorisée par les entrées maritimes et le relief dans cette zone) et une saison sèche s'étalant de juin à août. La partie désertique dans le sud du pays reste sèche toute l'année avec un cumul annuel de précipitation souvent inférieur à 50mm.

Sur la période 1981-2018, une tendance à la hausse est observée pour la plupart des saisons et zones bioclimatiques avec cependant de fortes disparités comme le montre la figure suivante. Il est également important de noter que la plupart de ces tendances ne sont pas significatives au seuil de significativité de 5%.

Cette tendance à la hausse, également décelée dans les travaux récents de l'INM (2017), résulte d'une succession d'années de sécheresse en début de période (1981-2000) suivi par des années plus humides récemment. Elle ne représente que l'évolution court-terme de ses 30 dernières années et n'est pas en accord avec ce que l'on observe sur une échelle de temps plus importante.

Les zones sahariennes et aride ont été le plus touchées par cette augmentation. Les zones humides et subhumides ont connu la moins forte augmentation.

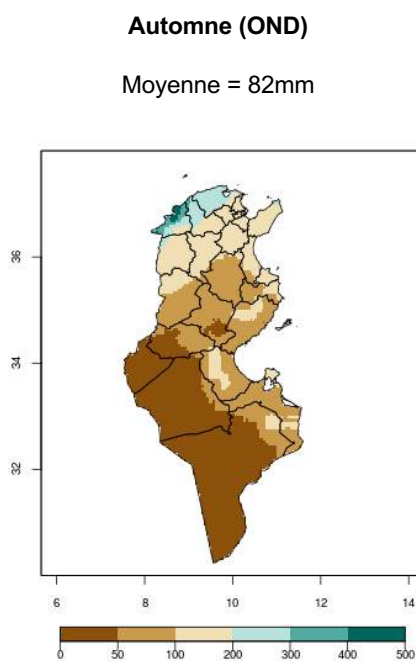
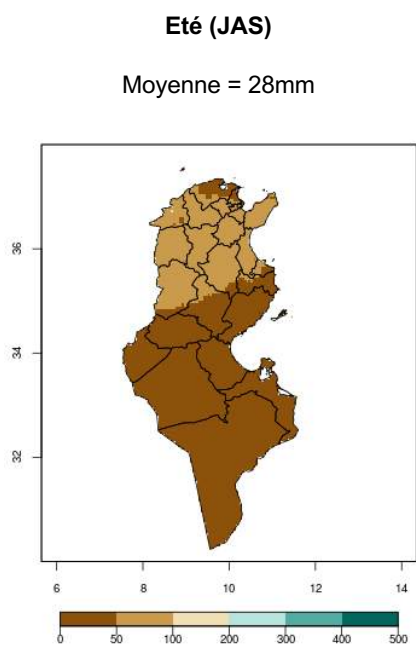
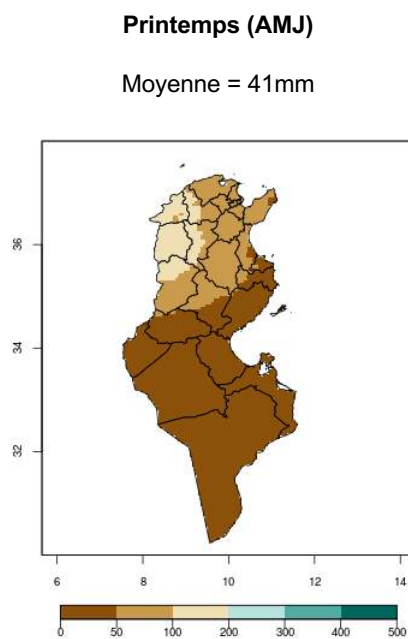
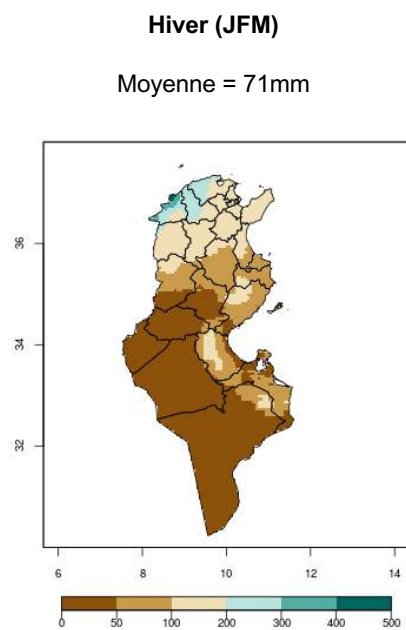


Figure 12 : Moyenne (°C) des cumuls journaliers de précipitations observées en hiver, printemps, été et automne pour la période 1981-2010.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
Annuelle	0.32	-0.00	+ 0.17	+0.92	+1.75	+2.39
Hiver	0.12	-0.01	0.052	0.26	1.26	2.05
Printemps	0.01	0.02	0.04	-0.05	-0.15	-0.35
Eté	0.29	0.04	0.27	0.70	0.65	0.76
Automne	-0.09	-0.05	-0.19	0.02	+0.00	-0.07

Table 7: Taux de changement des cumuls de précipitations (mm/an) sur la période 1981-2018 par zones bioclimatiques. Les cellules en gras correspondent aux saisons/zones pour lesquelles la tendance est significative (test de Mann-Kendall - seuil de 5%)

II.2.1 Indicateurs climatiques

Dans cette section nous présentons :

- Les climatologies moyennes annuelles des 8 indicateurs climatiques sélectionnés pour la période de référence 1981-2010 ;
- Les coefficients des tendances observées sur la période 1981-2018. Cette période est courte pour une analyse de tendance et les résultats doivent être interprétés avec précaution. Un test de significativité des tendances (test de Mann-Kendall) a été réalisé dont les résultats sont indiqués dans les tables correspondantes.

Lorsque c'est possible, nous proposons une comparaison de ces résultats avec ceux de l'INM (INM, 2017). Il est à noter que pour de nombreux phénomènes climatiques, les indicateurs choisis par l'INM sont différents de ceux que nous avons sélectionnés dans cette étude (notre objectif étant d'étudier l'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire et non une analyse générale de ces changements sur la Tunisie).

Nombre de jours de précipitations fortes à extrêmes

La figure suivante présente le nombre de jours par an dont les précipitations dépassent un seuil variant de 10mm (précipitations fortes) à 70mm (précipitations intenses).

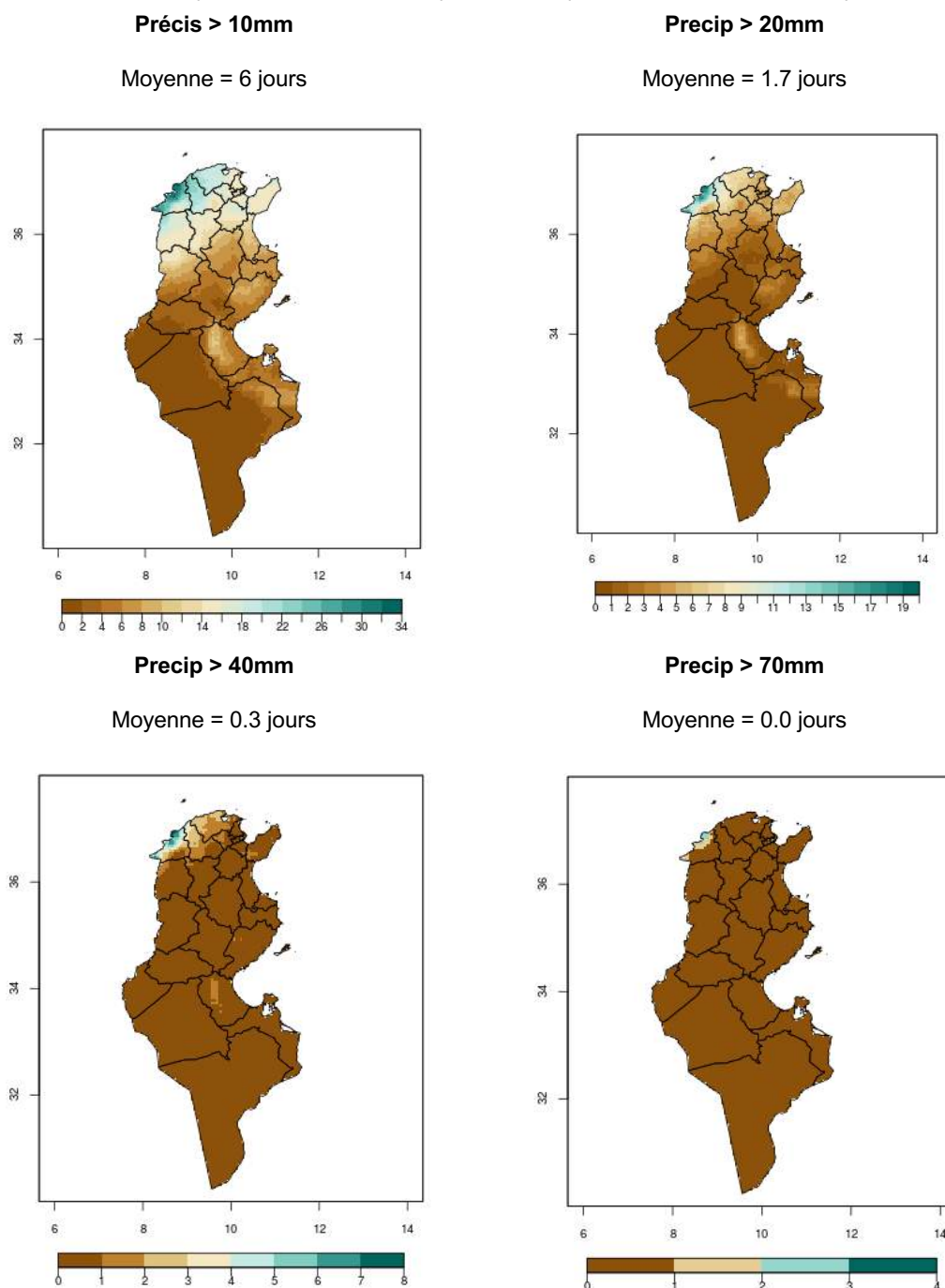


Figure 13: Nombre de jours de précipitations supérieures à 10mm, 20mm, 40mm, 70mm sur la période 1981-2010

Les structures spatiales des indicateurs de précipitations fortes à extrêmes sont semblables à celles des cumuls des précipitations. On observe un contraste très fort en fonction des zones bioclimatiques avec très peu de jours de précipitations fortes et extrêmes même sur les zones

les plus humides. Seul le nord-ouest est affecté par des événements de précipitations très extrêmes (cumul de précipitations >70mm/jour).

Sur la période 1981-2018, une très légère tendance à la hausse est observée pour le nombre de jours de plus de 20mm, 40mm et 70mm principalement pour les zones subhumides et humides. Cette tendance est significative au seuil de 5% dans la plupart des cas. Ces tendances sont en accord avec les résultats de l'étude réalisée par l'INM pour la 3^{ème} communication nationale sur le changement climatique (INM, 2017) qui indique une augmentation du nombre de jours de précipitations extrême sur la période 1978-2012. Cet accroissement est cependant moins élevé dans notre analyse.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
R10	+0.00	-0.00	-0.00	+0.01	+0.00	-0.07
R20	+0.00	+0.00	-0.00	+0.02	+0.06	+0.03
R40	+0.00	+0.00	+0.00	+0.00	+0.04	+0.05
R70	+0.01	+0.00	+0.00	+0.00	+0.01	+0.04

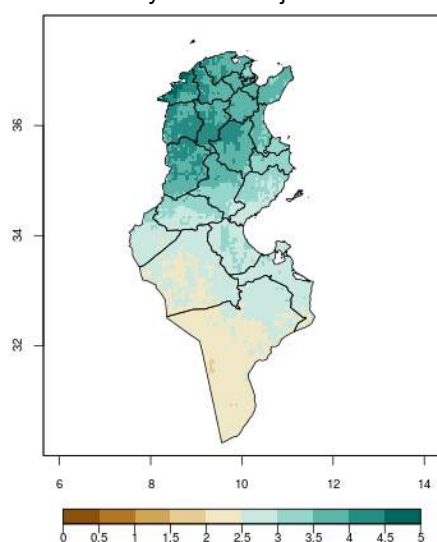
Table 8: Taux de changement du nombre de jours par an de précipitations fortes à extrêmes sur la période 1981-2018 par zones bioclimatiques. Les cellules en gras correspondent aux saisons/zones pour lesquelles la tendance est significative (test de Mann-Kendall - seuil de 5%)

Indicateurs de persistance de jours secs et de jours humides :

Les cartes ci-dessous présentent le nombre de jours consécutifs humides et sec par an.

Nombre de jours maximum consécutifs humides

Moyenne = 3.1 jours



Nombre de jours maximum consécutifs secs

Moyenne = 87.5 jours

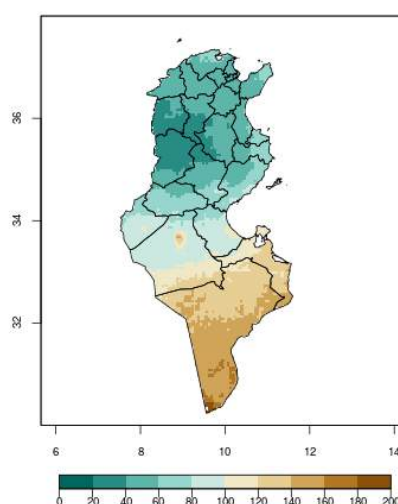


Figure 14: Nombre de jours maximums consécutifs humides et secs sur la période 1981-2010.

Le nombre maximum de jours humides consécutifs varie entre moins de 2 jours dans le sud du pays à presque 5 jours dans le Sud-Ouest du pays. Les structures spatiales sont très proches de celles des cumuls de précipitations.

Le nombre maximum de jours secs consécutifs est quant à lui le plus fort dans le Sud du pays avec un record de 374 jours sans pluie. Dans le Nord, les périodes maximales sèches sont d'environ 30 jours.

Sur la période 1981-2018, les tendances de ces deux indicateurs sont très faibles et de signes variables en fonction de la zone considérée. Seules les tendances à la baisse du nombre de jours maximums consécutifs humides et secs pour les zones humides et subhumides sont significatives (Table 9)

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
CWD	+0.06	+0.01	+0.01	+0.00	-0.04	-0.08
CDD	-0.01	-0.05	+0.00	+0.03	+0.03	+0.25

Table 9: Taux de changement du nombre de jours maximums consécutifs humides (cwd) et secs (cdd) sur la période 1981-2010 par zones bioclimatiques (jours/an). Les cellules en gras correspondent aux saisons/zones pour lesquelles la tendance est significative (test de Mann-Kendall - seuil de 5%)

Indicateurs de canicule et de vague de froid :

La Figure 17 présente le nombre de jours de canicule par an sur la période 1981-2010.

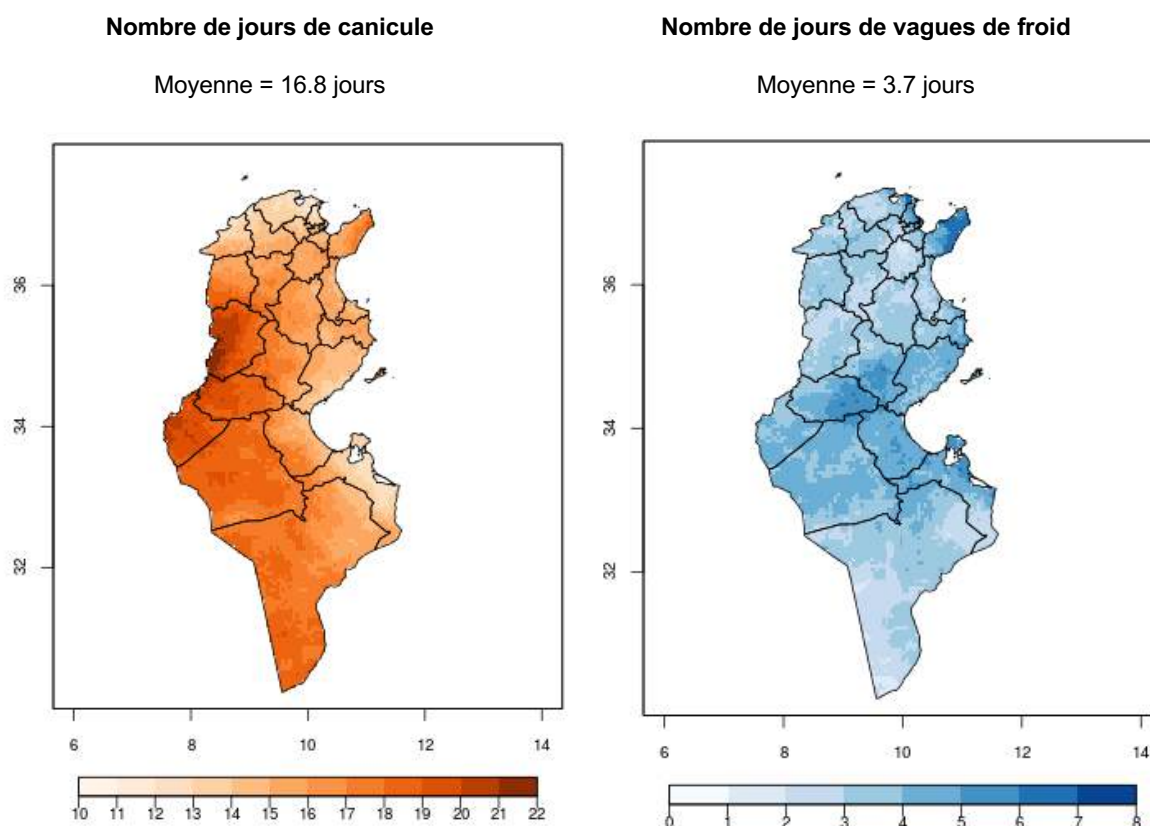


Figure 15: Nombre de jours de canicules et de vagues de froid sur la période 1981-2010

Le nombre de jours de canicule varie en moyenne entre 10 et 22 jours sur l'ensemble du pays avec une forte disparité temporelle et spatiale. Les régions côtières proches de la Méditerranée sont moins impactées par ces événements à l'inverse des régions plus continentales.

Le nombre de jours de vague de froid varie quant à lui entre moins de 1 et 7.5 jours par an. La partie centrale du pays est la plus touchée par les vagues de froid.

Les tendances au cours de la période 1981-2018 sont présentées dans la Table 10. On observe une forte tendance positive et significative au seuil de 5% pour les vagues de chaleurs avec en moyenne sur la Tunisie une augmentation de presque 6 jours de vagues de chaleur par décennie. La zone bioclimatique la plus touchée par cette augmentation est la zone Saharienne. Les régions humides sont quant à elles moins affectées avec une augmentation de 2.2 jours par décennie. La tendance des vagues de froid est également significative mais négative avec une réduction de 2,1 jours par décennie en moyenne sur la Tunisie. Cette diminution est moins contrastée spatialement avec une réduction maximale pour la zone aride de 2,4 jours par décennie et un minimum de 1,7 jours par décennie pour la zone humide.

L'INM (2017) a étudié des indicateurs proches de ceux présentés dans ce paragraphe et obtient les mêmes tendances à la hausse pour les jours de forte chaleur et à la baisse pour les jours de froid.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
Vague de chaleur	+0.58	+0.67	+0.55	+0.53	+0.30	+0.22
Vague de froid	-0.21	-0.19	-0.24	-0.19	-0.16	-0.17

Table 10: Taux de changement du nombre de jours par an de vagues de chaleur et de vagues de froid sur la période 1981-2018 par zones bioclimatiques (jours/an).

Les cellules en gras correspondent aux saisons/zones pour lesquelles la tendance est significative (test de Mann-Kendall - seuil de 5%)

II.2.2 Etages bioclimatiques

L'indice bioclimatique d'Emberger permet de décomposer le territoire tunisien en étages bioclimatiques. Il est calculé à partir de la pluviométrie annuelle et des températures mensuelles minimales et maximales. A chaque étage correspond des conditions climatiques autorisant le développement d'une végétation particulière. Cette approche a été appliquée dans le cadre de plusieurs travaux scientifiques en Tunisie¹⁹²⁰, et pour l'élaboration de la carte bioclimatique de la Tunisie²¹ (INRF, 1976).

¹⁹ Delhoume, 1981. Etude en milieu méditerranéen semi-aride. Ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale.

²⁰ CNEA, 2007. Elaboration d'une étude sur l'état de désertification pour une gestion durable des RN

²¹ INRF, 1976. Carte bioclimatique de la Tunisie issue de la classification d'Emberger Etages et variantes.

En reprenant les seuils prescrits par Le Houerou²² et utilisés récemment par le CNEA (carte à gauche), une version actualisée de la carte bioclimatique a été réalisée pour la période 1981-2010 (carte à droite) :

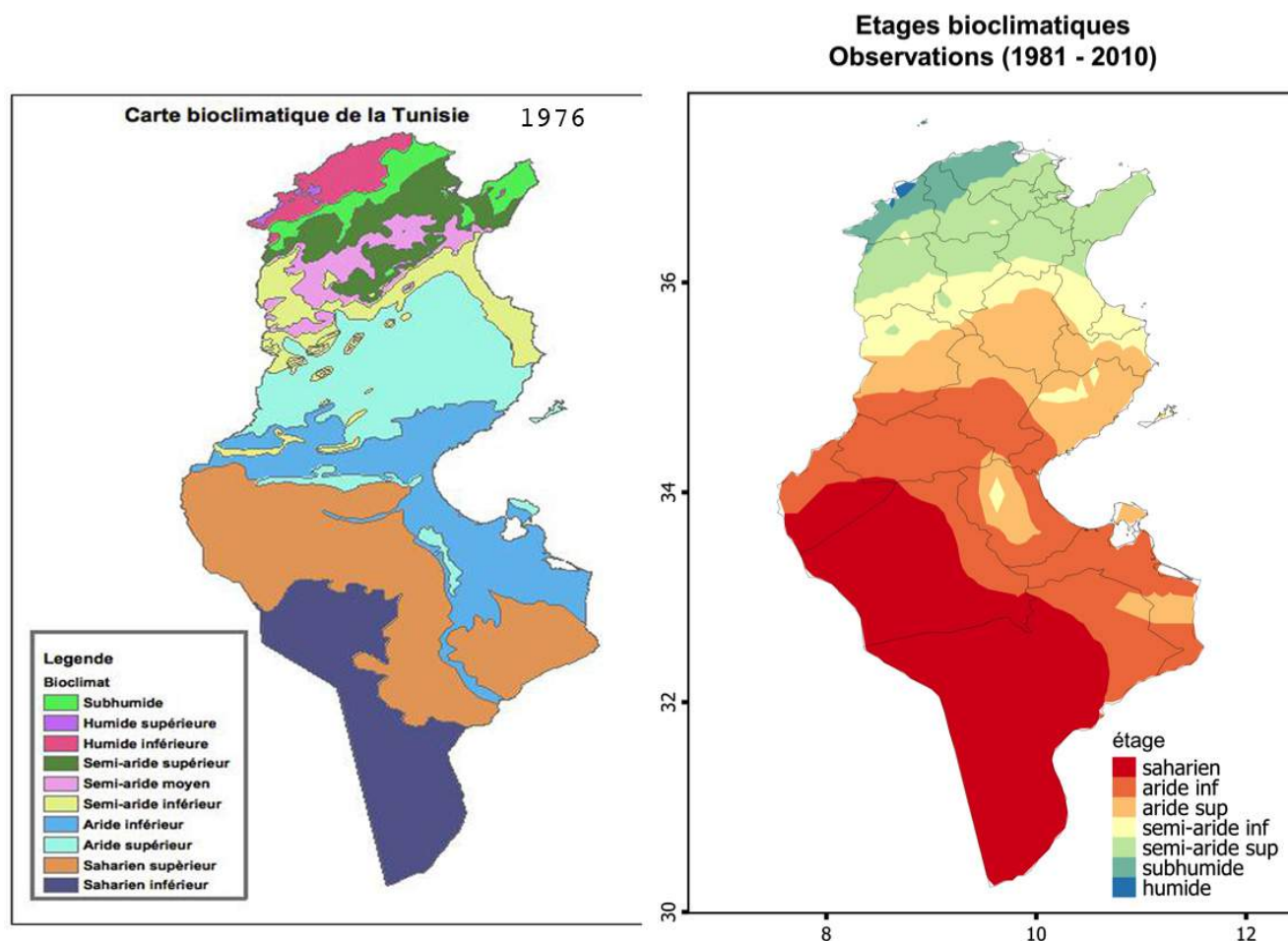


Figure 16 : Cartes des étages bioclimatiques 1981-2010 – à gauche données de 1976 à droite, carte actualisée

La distribution des étages se fait globalement selon la latitude, mais des zones remarquables se démarquent. Le littoral méditerranéen fait reculer l'étage saharien vers l'intérieur des terres. Nous retrouvons de plus une partie des étages aride supérieur et semi-aride inférieur au sein de l'étage aride inférieur, à l'intérieur des côtes du golfe de Gabès, ainsi qu'au niveau de la frontière libyenne Nord. Un couloir moins aride longeant la côte Est semble aussi ressortir.

L'étage aride représente la plus grande partie de la Tunisie. A l'inverse, l'étage humide se concentre uniquement sur la partie littorale du gouvernorat de Jendouba.

Il serait intéressant de comparer cette carte avec celle établie en 1976 afin d'identifier les changements survenus depuis cette date dans la distribution des biomes.

²² Le Houerou, 1969. La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye).

On parle en effet très souvent d'une « remontée des étages bioclimatiques » et donc de l'aridité en Tunisie. Néanmoins cette comparaison nécessite de s'assurer au préalable de la cohérence des seuils utilisés entre les deux cartes.

En effet, une comparaison visuelle de la figure 16 avec la carte de 1976 semble indiquer une extension de l'étage aride et une contraction des étages supérieurs en particulier humide et subhumide. Mais sans connaître les seuils d'Emberger utilisé en 1976 il est difficile de conclure ; les différences constatées pouvant être simplement le fait de l'application de seuils différents pour la définition des étages.

Par la suite, l'établissement des cartes d'Emberger aux deux horizons temporels et pour les deux RCP nous permettra d'évaluer l'effet du changement climatique sur cette distribution biogéographique et sera de nature à informer sur l'évolution des potentialités agricoles.

II.2.3 Indicateurs agroclimatiques

Les résultats pour les indicateurs agroclimatiques sont présentés à la suite. Ils permettent d'établir un état initial quant à l'exposition de la Tunisie aux risques climatiques liés à la production agricole. Cette étape est un préalable avant la comparaison ultérieure avec les projections climatiques. Pour chaque indicateur, sont présentées :

- Une carte présentant la valeur moyenne de l'indicateur sur la période de référence (1981-2010), en chaque point de la grille (pour rappel, 5km x 5km). Elle permet de visualiser l'intervalle de valeurs et la distribution spatiale de l'indicateur ;
-
- La série temporelle des observations passées, entre 1981 et 2018. L'agrégation spatiale est faite par étage bioclimatique (voir plus haut). Les tendances d'évolution temporelle sont représentées par une droite obtenue par régression linéaire prenant en compte l'influence de l'étage bioclimatique. La tendance pour le climat de référence est un premier élément d'information, mais doit être confirmée par l'analyse du climat futur pour confirmer un effet du changement climatique. Le détail des tests statistiques réalisés (ANCOVA) est disponible en Annexe 4.

Evapotranspiration potentielle d'octobre à mai (ETP)

L'évapotranspiration potentielle estime les pertes d'eau du sol vers l'atmosphère. La période d'octobre à mai est sélectionnée car elle correspond au moment où les apports et les pertes d'eau sont le plus déterminants pour la croissance végétative. Dans les zones méditerranéennes, l'ETP est approchée par une fonction de la température et de la radiation solaire.

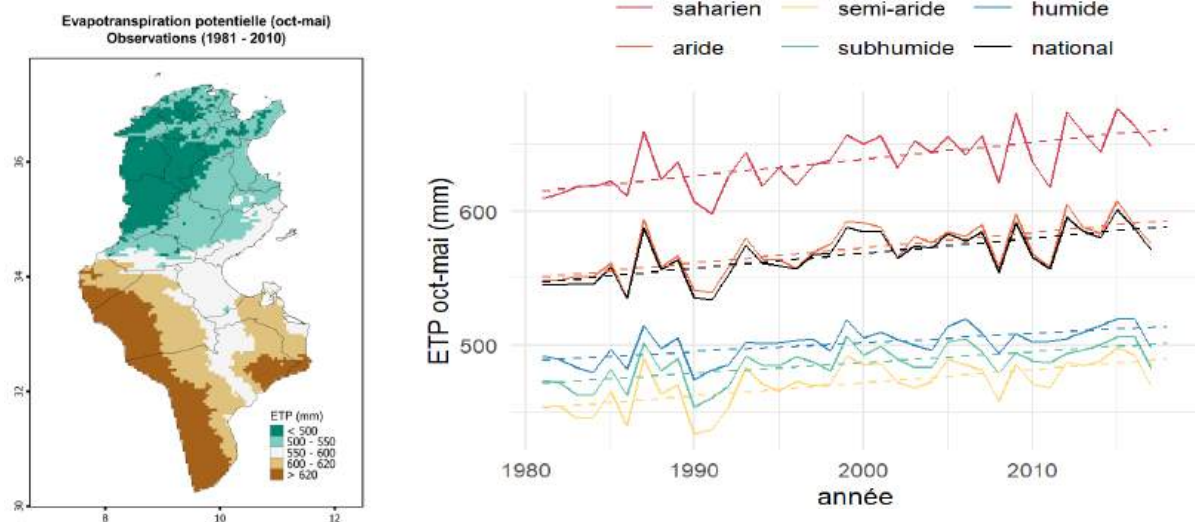


Figure 17 : a – carte de l'ETP moyenne pour le climat de référence ; b – séries temporelles de l'ETP pour les différents étages et tendances linéaires

Pour la période de référence, la valeur moyenne de l'ETP d'octobre à mai de la Tunisie est de **564 mm**. Elle est au plus fort dans le sahel tunisien et à la frontière libyenne (étage saharien), et au plus faible sur la dorsale tunisienne et aux alentours. Entre 1981 et 2018, on observe une **tendance à la hausse très significative**, qui s'élève en moyenne à **11.3 mm par décennie** au niveau national. Cette évolution n'est par contre pas statistiquement différente d'un étage à l'autre. Cette augmentation peut engendrer un **renforcement du risque de sécheresse agricole**. Le bilan hydrique, qui fait intervenir les précipitations, permettra de le confirmer ou non.

Bilan hydrique d'octobre à mai (BH)

Le bilan hydrique traduit la différence entre les apports par les précipitations et les pertes par l'évapotranspiration réelle (que nous avons supposée approximativement égale à 0,5 ETP).

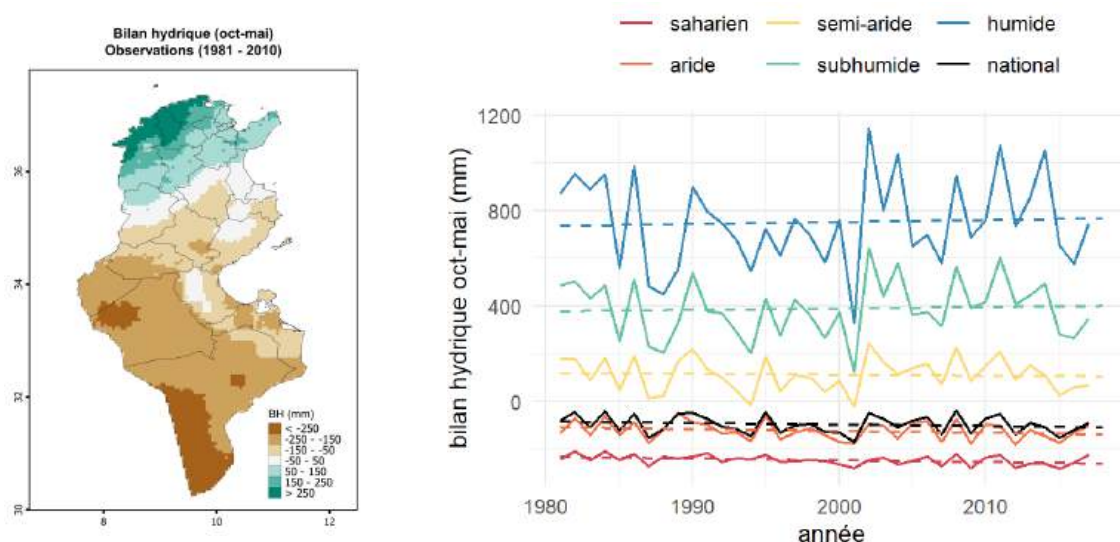


Figure 18 : a – carte du bilan hydrique moyen pour le climat de référence ; b – séries temporelles du bilan hydrique pour les différents étages et tendances linéaires associées

Pour la période de référence, la valeur moyenne du bilan hydrique entre octobre et mai est de **- 94 mm**. La côte Nord-Ouest bénéficie du bilan hydrique le plus élevé (> 250 mm). Le passage d'un bilan négatif à un bilan positif est approximativement marqué par la dorsale tunisienne. Entre 1981 et 2018, nous n'observons **pas de tendance significative**. L'augmentation de l'évapotranspiration a été masquée par la forte variabilité des précipitations, voire une légère tendance à la hausse de celle-ci comme indiqué plus haut.

Longueur de la période de croissance végétative (LPC)

La période de croissance végétative correspond à la période pendant laquelle le bilan hydrique est positif, avec un délai supplémentaire pour l'exploitation des réserves en eau du sol par la végétation.

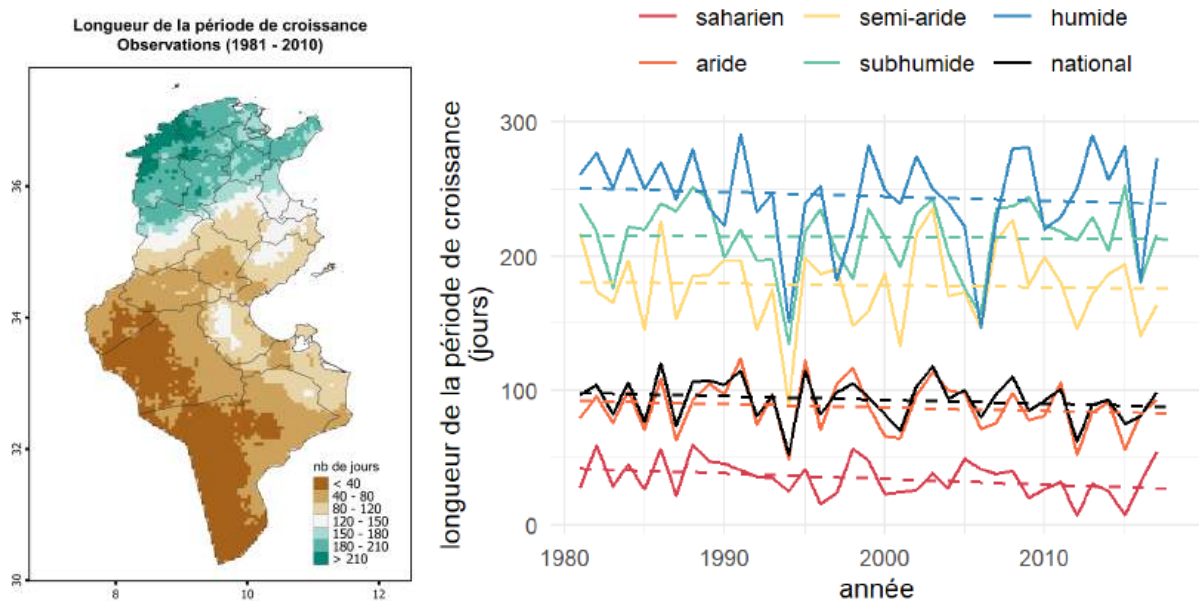


Figure 19 : a – carte de la LPC pour le climat de référence ; b – séries temporelles de la LPC pour les différents étages et tendances linéaires associées

La longueur de la période de croissance est en moyenne de **95 jours** sur l'ensemble de la Tunisie entre 1981 et 2010. L'écart entre étages est cependant très marqué. L'étage aride, où se situent beaucoup de parcours a par exemple une longueur moyenne de 90 jours, contre 220 jours pour l'étage subhumide (3 à 7 mois). Même si la figure semble montrer un raccourcissement de la période de croissance, il n'y a **pas de tendance statistiquement significative** détectée au regard de la forte variabilité climatique. L'analyse du climat futur sera nécessaire pour infirmer ou confirmer ce constat.

Date de montaison du blé (D_mon)

La montaison du blé est la phase de développement du blé au cours de laquelle l'épi se développe et les entrenœuds s'allongent. La date de début est estimée en calculant le cumul de chaleur depuis le semis. Pour rappel, le stade « épi 1cm » lors de la montaison est très sensible au gel.

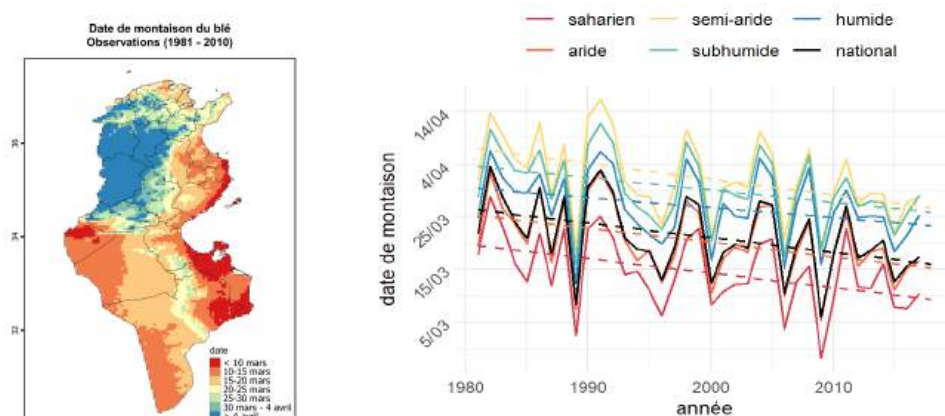


Figure 20 : a – carte de la date de montaison du blé pour le climat de référence ; b – séries temporelles de la date de montaison du blé pour les différents étages et tendances linéaires associées

La date moyenne de début de montaison se situe autour du **22 mars** au niveau national. Toutefois, en étage subhumide, où se trouve la vallée de la Medjerda qui concentre une grande partie de la production de blé, ce jour est retardé au 31 mars. Un **avancement très significatif** de la date de montaison est constaté pour la période 1981-2018, de l'ordre de **2.8 jours par décennie** en moyenne sur l'ensemble de la Tunisie, sans différence significative entre étages, indiquant un net raccourcissement du cycle de la culture sur tout le territoire. Cette avancée doit être croisée avec le risque de gel.

Date de maturation du blé (D_mat)

La maturation du blé correspond au dernier stade de son développement, durant lequel les grains se remplissent et mûrissent avant la moisson. Tout comme la montaison, la date de début de maturation est calculée par le cumul de chaleur (température de base 0 °C).

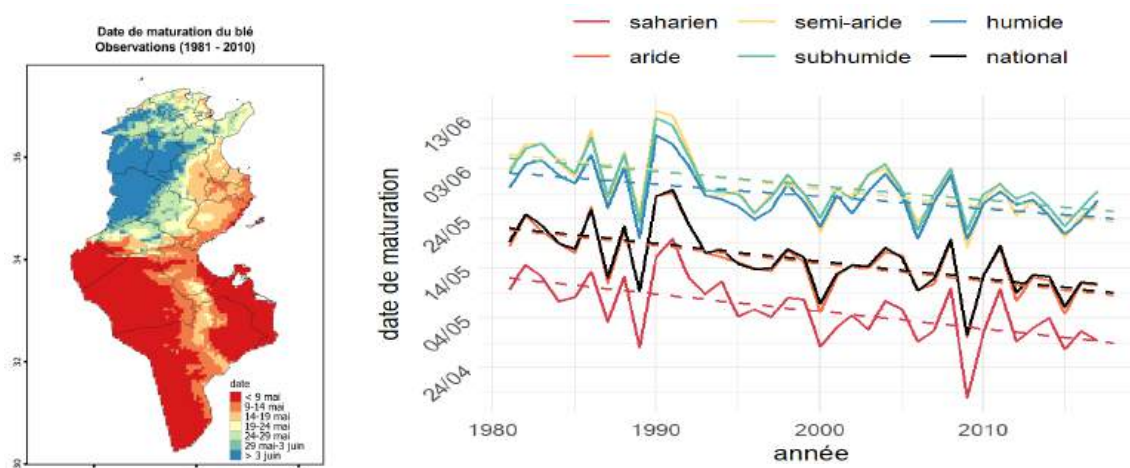


Figure 21: a – carte de la date de maturation du blé pour le climat de référence ; b – séries temporelles de la date de maturation du blé pour les différents étages et tendances linéaires associées

La date moyenne de début de maturation se situe autour du **17 mai** au niveau national, et le 1^{er} juin au sein de l'étage subhumide. Là encore, un **avancement très significatif** est détecté,

plus important que pour la montaison. Il est estimé à **3.5 jours par décennie** sur l'ensemble de la Tunisie, sans différence significative entre étages, avec pour conséquence des **moissons plus précoces**.

Nombre de jours échaudants entre avril et juin (N ech)

Le risque d'échaudage est étudié pendant la période de remplissage des grains, entre avril et juin.

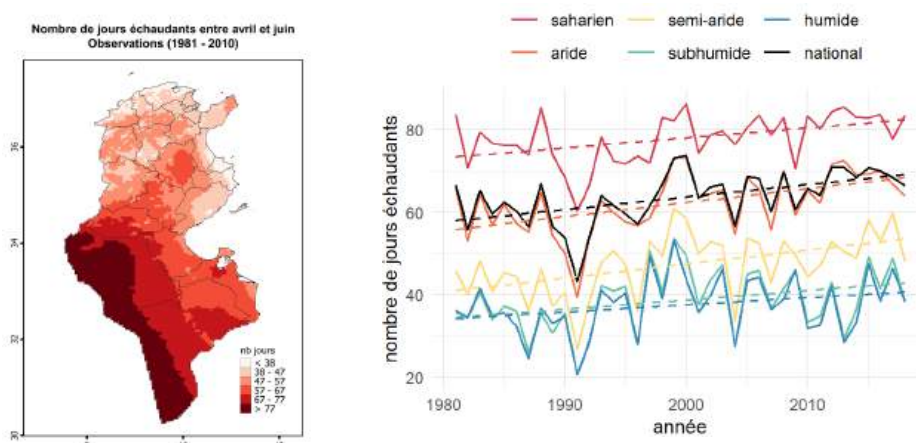


Figure 22 : a – carte du nombre de jours échaudant pour le climat de référence ; b – séries temporelles du nombre de jours échaudant pour les différents étages et tendances linéaires associées

Le nombre de jours échaudant moyen est de **62 jours** au niveau national, mais n'est que de 36 jours dans l'étage subhumide. **L'augmentation** du nombre de jours échaudant est **très significative**, avec **3 jours supplémentaires par décennie en moyenne** dans tous les étages, sans différence statistique. **Le risque d'échaudage** est donc devenu plus important entre 1981 et 2018.

Nombre de jours de gel annuels (N gel_an)

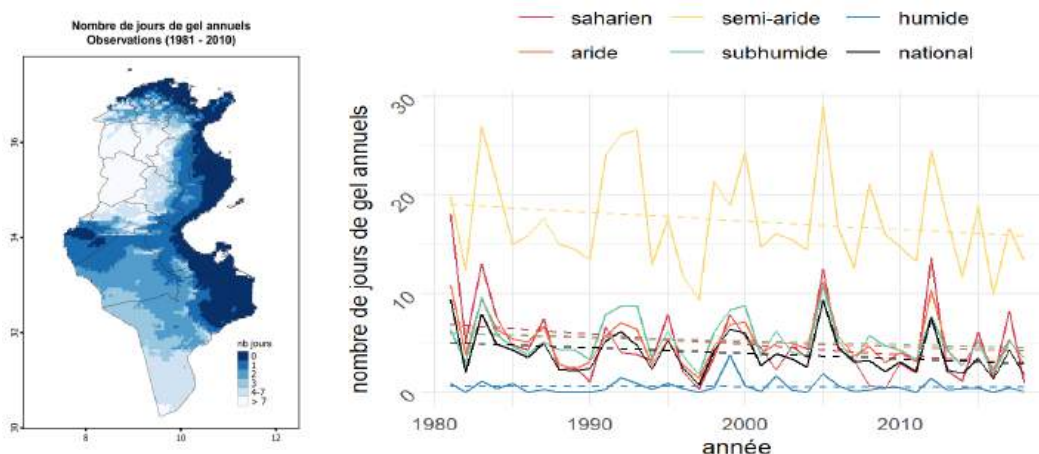


Figure 23 : a – carte du nombre de jours de gel annuels pour le climat de référence ; b – séries temporelles du nombre de jours de gel annuels pour les différents étages et tendances linéaires associées

En moyenne, le nombre de jours de gel par an en Tunisie entre 1981 et 2010 est de **4.2 jours**. Le risque gel se concentre très majoritairement au Nord-Ouest, dans l'extension du massif de l'Atlas, et dans une moindre mesure dans le sahel tunisien. La côte est protégée du gel. L'augmentation des températures cause une **diminution significative** du nombre de jours de gel, de **0.55 jours par décennie**. Malgré ce que la lecture de la figure peut laisser penser, il n'y a pas de différence statistique de l'évolution temporelle entre les étages.

Nombre de jours de gel printaniers (N_gel_pr)

Le gel printanier mérite un focus particulier, car s'il est plus rare que le gel hivernal, son impact sur le blé est très fort au stade "épi 1 cm" survenant à cette période.

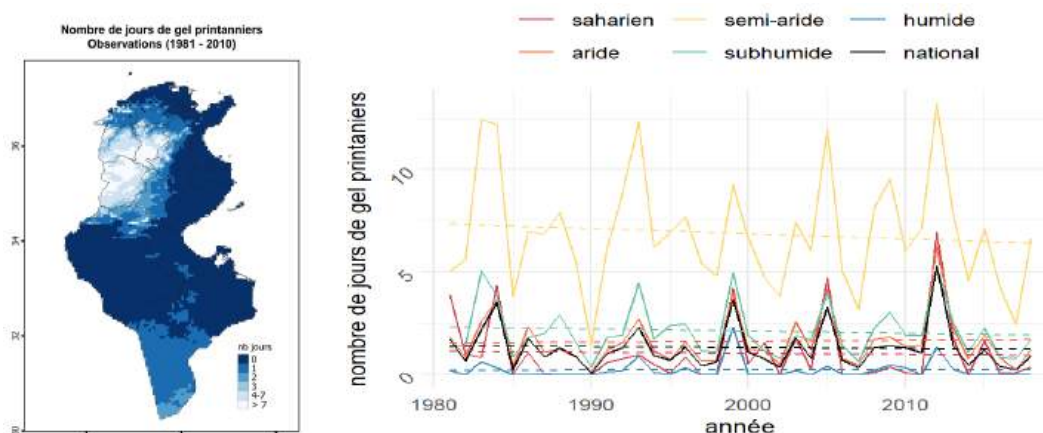


Figure 24 : a – carte du nombre de jours de gel printaniers pour le climat de référence ; b – séries temporelles du nombre de jours gel printaniers pour les différents étages et tendances linéaires associées

En moyenne, le nombre d'événements de gel printanier en Tunisie entre 1981 et 2010 est de **1,3 jours** par an. Sa répartition spatiale est similaire au gel annuel, avec des valeurs moyennes moindres. Il n'y a par contre **pas de tendance significative détectable**.

Nombre de jours de gel fort annuels (N_gel_F_an)

Un gel fort est défini comme une température minimale inférieure à -5°C. Il peut provoquer des gros dégâts sur la floraison de l'olivier et le développement des céréales

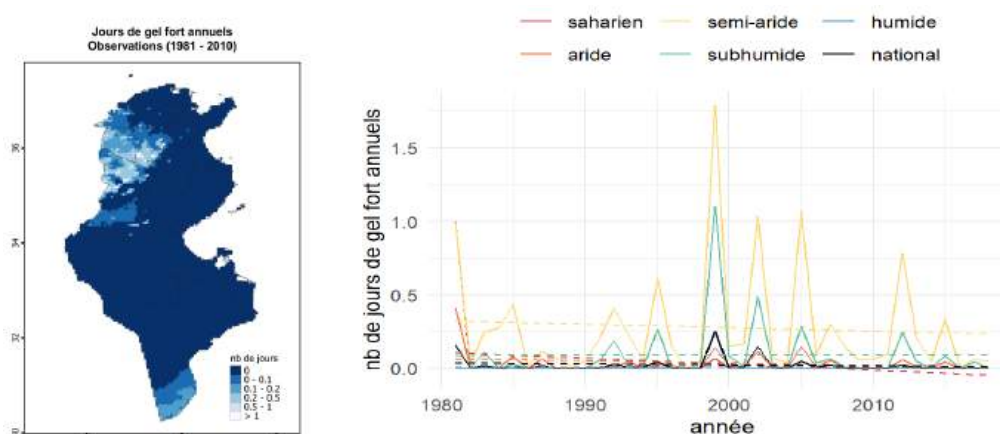


Figure 25: a – carte du nombre de jours de gel fort annuels pour le climat de référence ; b – séries temporelles du nombre de jours gel fort annuels pour les différents étages et tendances linéaires associées

Le risque de gel fort est faible au niveau national, avec seulement **0.03 jours de gel fort par an**. Le risque est toutefois beaucoup plus élevé au sein des zones montagneuses du Nord-Ouest, ponctuellement supérieur à 1 jour annuel. Au regard des dégâts qu'il peut engendrer, il ne doit donc pas être négligé. **Aucune tendance significative** n'a par contre été détectée.

Quantité de périodes de froid (« chilling portions ») entre octobre et mars (CP)

L'olivier, comme beaucoup d'autres cultures arboricoles fruitières, est une espèce dont l'induction de développement est dépendante d'un apport de froid suffisant au cours de l'hiver précédent. Si ses besoins ne sont pas satisfaits, la floraison est retardée et d'une qualité dégradée, pouvant causer une baisse de la production de fruits. La quantité de froid compatible avec les besoins de l'olivier peut être estimée par les périodes ou portions de froid (« chilling portions »), un indicateur adapté aux climats méditerranéens.

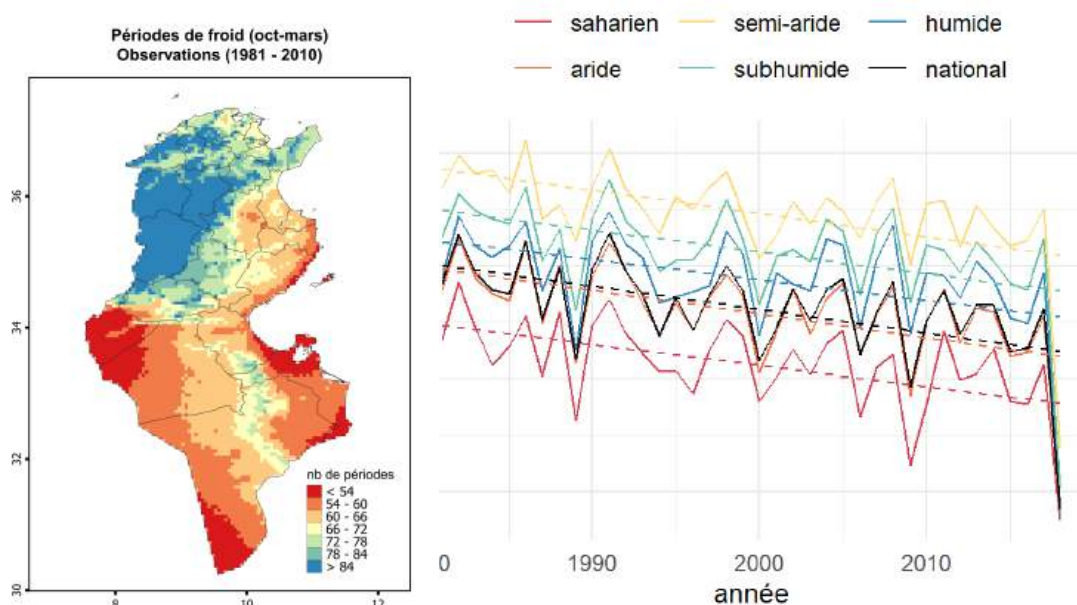


Figure 26: a – carte de la quantité de périodes de froid pour le climat de référence ; b – séries temporelles de la quantité de périodes de froid pour les différents étages et tendances linéaires associées

Nous retrouvons une répartition spatiale proche des autres indicateurs dépendants de la température, autour d'une valeur moyenne de **68 portions de froid** d'octobre à mars. La diminution, de l'ordre de **5.1 portions par décennie** est **très significative**, avec des conséquences potentielles sur la production, sans différence de tendance temporelle entre étages.

Les hivers sont donc **de plus en plus doux** au sens des périodes de froid.

Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier (D_fr_oli)

Un indicateur complémentaire des périodes de froid permet d'estimer la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier à partir du nombre de jours de température moyenne inférieure à 12°C. La date moyenne dans le gouvernorat de Sfax où se situe une importante partie de la production d'olivier renvoie des dates très variables, comprises **entre le 5 et le 30 janvier**. La date de satisfaction semble être retardée entre 1981 et 2018, mais les tests statistiques ne permettent pas de conclure avec certitude (significativité au seuil de 10% uniquement). Les analyses pour le climat futur pourront nous apporter plus d'éléments d'analyse.

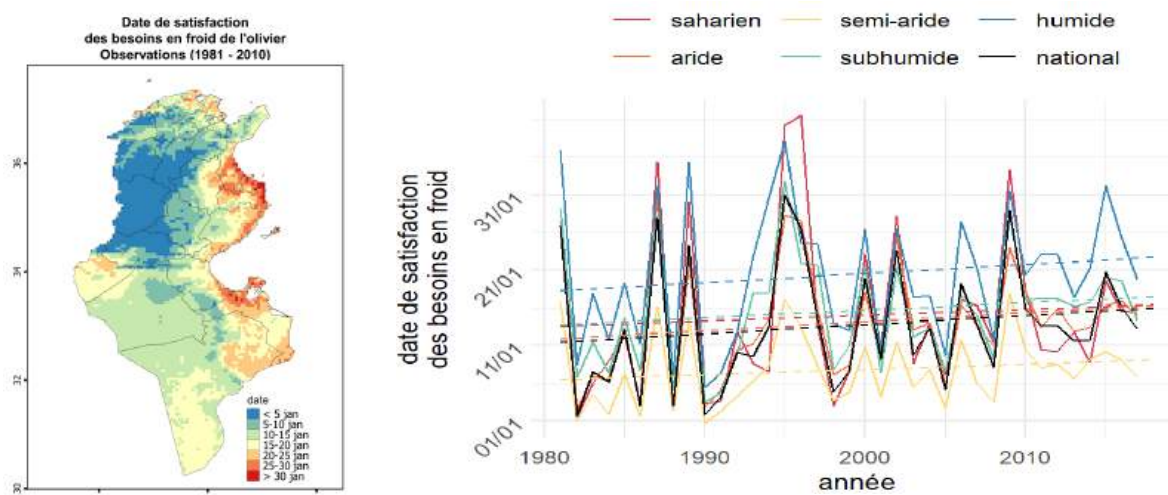


Figure 27: a – carte de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier pour le climat de référence ; b – séries temporelles de la date de satisfaction des besoins en froid pour les différents étages et tendances linéaires associées

Nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août (N_40)

Les chaleurs extrêmes (température maximale supérieure à 40°C) tendent à freiner la croissance des fruits, voire les dessécher.

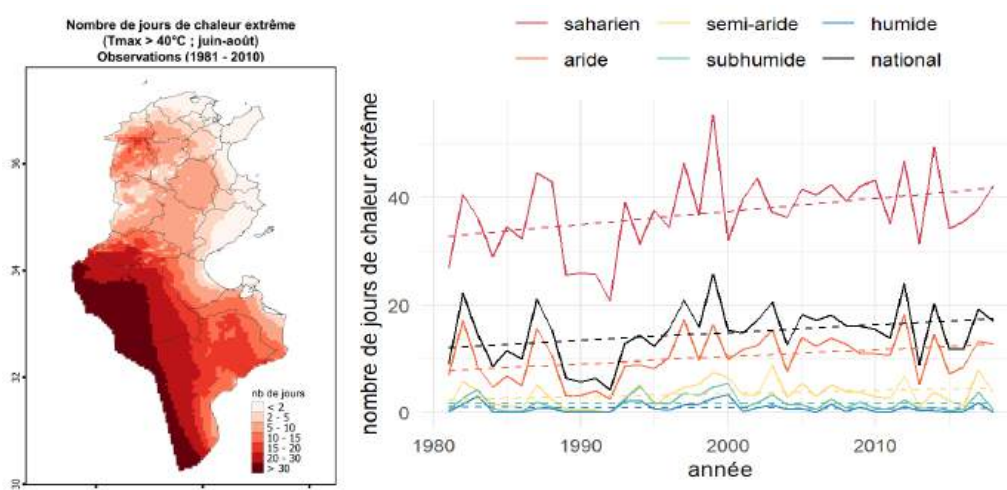


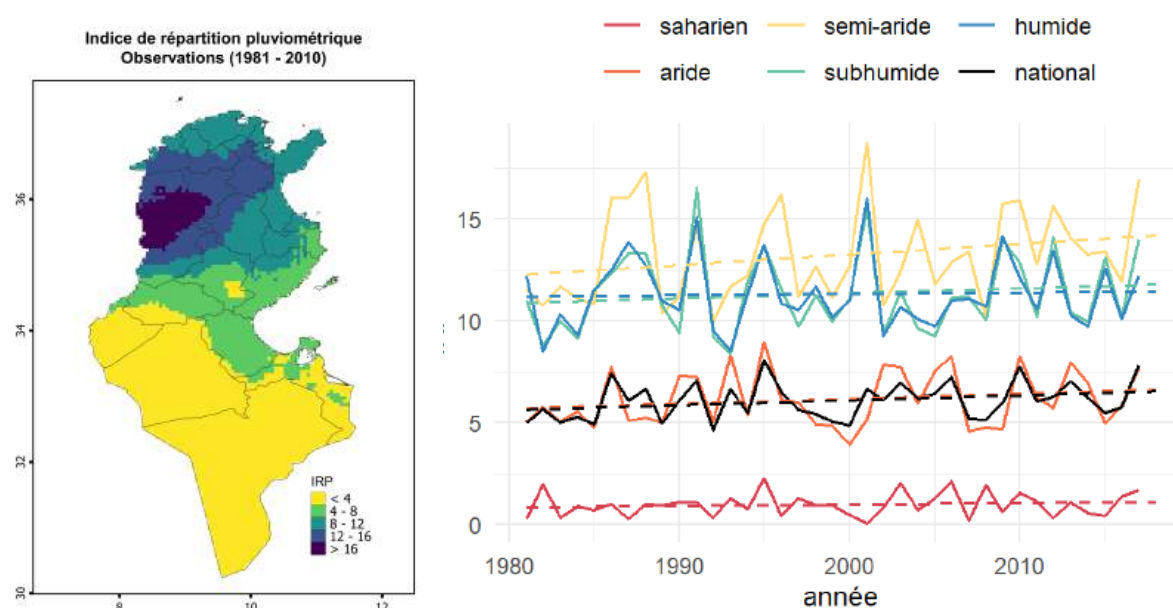
Figure 28: a- carte au nombre de jours de chaleur extrême pour le climat de référence ; b – séries temporelles du nombre de jours de chaleur extrême pour les différents étages et tendances linéaires associées

Le nombre de jours de chaleur extrême moyen est de **14 jours** au niveau national, mais est largement influencé par l'étage saharien. Il passe à 10 et 3 jours pour les étages aride et semi-

aride. **L'augmentation** du nombre de jours de chaleur extrême est **très significative**, avec **1.5 jours supplémentaires par décennie en moyenne**. On constate par contre **des différences de pente significatives** entre étages. **Le risque de chaleur extrême** est donc devenu plus important entre 1981 et 2018 et demande une attention accrue pour la suite.

Indice de répartition pluviométrique (IRP)

L'indice de répartition pluviométrique (IRP) traduit les conditions de pluviométrie en termes de développement de la végétation. Plus l'IRP est élevé, plus la pluviométrie est favorable à la végétation. L'IRP est construit à partir de la pluviométrie mensuelle et de sa variabilité intra-annuelle. Une répartition homogène de la pluviométrie donnera un IRP plus élevé.



L'indice de répartition des pluies pour les classes 8-12 et 12-16 traduit des conditions favorables pour les végétations, et par conséquent de l'agriculture.

Il confirme ainsi les niveaux de pressions élevés sur les terres de parcours de la Tunisie aride (en particulier les nappes alfatières de l'aride supérieur) pour les transformer en agriculture (céréaliculture mais surtout arboriculture).

Entre le premier et le second inventaire forestier, les surfaces de nappes alfatières de la Tunisie centrale sont passées d'environ 750.000 à 400.000 ha. Néanmoins, le changement climatique n'est pas le seul facteur en jeu dans cette évolution. La menace de changement d'affectation reste aujourd'hui encore élevée, d'autant plus que l'IRP est à minima stable voire croissant (**pas de résultat significatif** cependant).

Nombre de jours entre les 2 premières pluies journalières efficaces (N P_eff)

Cet indicateur est adapté à l'étude des parcours, dont les occupations prioritaires sont la Tunisie centrale (en dessous de la dorsale) et le sud. Plus l'intervalle entre deux pluies efficaces (supérieures à 10mm) est grand, plus le risque augmente de voir le départ de la végétation s'arrêter.

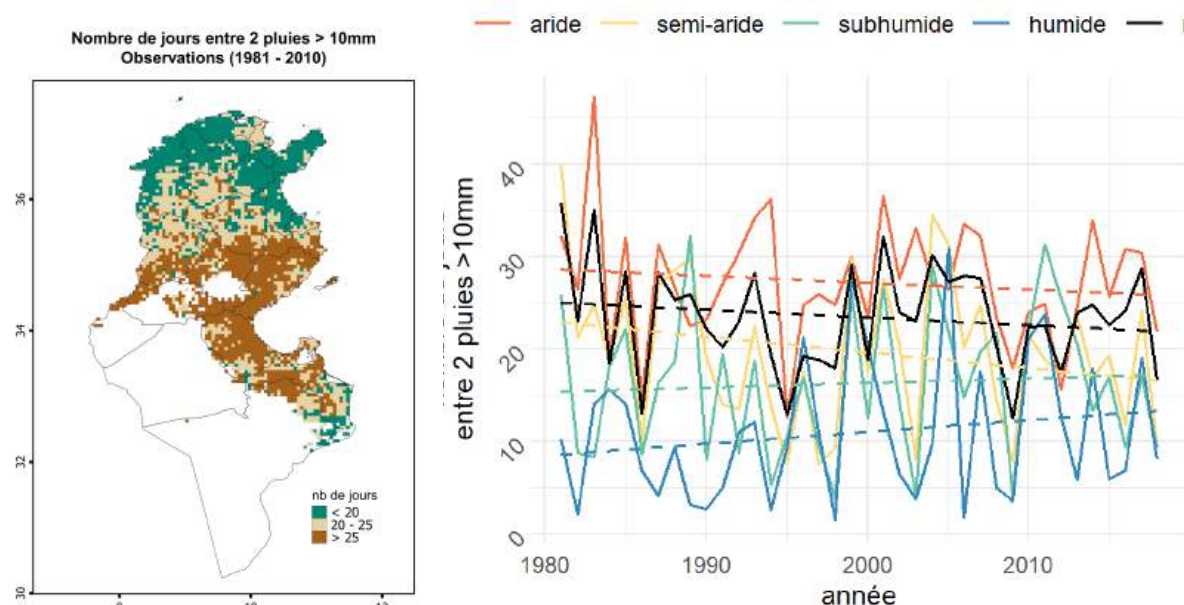


Figure 30: a- carte du nombre de jours entre 2 pluies efficaces pour le climat de référence. Les zones présentant moins de 15 années avec 2 pluies utiles ne sont pas présentées, car elles donnent des valeurs trop instables. ; b - séries temporelles du nombre de jours entre 2 pluies efficaces pour les différents étages et tendances linéaires associées

On remarque que l'indicateur calculé dans la quasi-totalité des territoires d'intérêt est supérieur à **25 jours**. Il s'agit d'un délai assez long qui sépare deux pluies utiles, ce qui risque d'augmenter la vulnérabilité du couvert végétal de ces zones face à la sécheresse et en particulier les espèces annuelles. Ces plantes risquent de germer et de démarrer une période de croissance normale qui sera ensuite perturbée voire bloquée par une sécheresse prolongée. Ce phénomène influence par conséquent le développement végétatif des espèces et de fait le disponible fourrager.

Nous constatons aussi la forte variabilité, à la fois spatiale et temporelle de cet indicateur. Cependant, il n'y a ainsi pas de tendance temporelle statistiquement remarquable.

II.3 Tendances et évolutions climatiques futures

Dans cette section, nous analysons les effets du changement climatique sur les 4 variables physiques ainsi que sur les six indicateurs climatiques sélectionnés. Les effets futurs du changement climatique sur les indicateurs agroclimatiques seront traités dans la phase 2 du projet.

Pour chaque variable/indicateur, nous présentons une carte de delta (différence entre le futur et la période de référence) pour chacune des périodes cibles (2050 et 2100) ainsi que pour chacun des 2 scénarios RCPs. Nous rappelons que le scénario RCP4.5 correspond à un effort international soutenu de réduction des gaz à effet de serre alors que le RCP8.5 correspond à un scénario « sans politique » qui s'avère aujourd'hui le plus probable au regard du dernier rapport du GIEC et de l'absence de baisse des émissions au niveau mondial. La médiane multi-modèle a été tracée. Elle correspond à la meilleure estimation possible du delta au vu des difficultés des modèles à représenter les différents processus en jeu (incertitudes techniques). Un test d'inférence statistique de Wilcoxon a été réalisé pour chaque modèle séparément afin de définir si le delta est significatif au seuil de significativité de 5%. Enfin une analyse de la cohérence de l'ensemble multi-modèle a été réalisée. Nous estimons que le delta multi-modèle est significatif si au moins 67% des modèles simulent un delta de même signe et significatif d'après le test de Wilcoxon. Cette information est présentée sur les cartes de delta : les points de grille pour lesquels le delta n'est pas significatif sont marqués d'un point noir.

Nous présentons également les séries temporelles des moyennes annuelles entre 1981 et 2100 pour chaque étage bioclimatique. Elles incluent :

- La série temporelle 1981-2100 de la médiane multi-modèle pour le RCP8.5 (série rouge) ainsi que l'enveloppe correspondant aux percentiles 25 et 75 de l'ensemble multi-modèles ;
- La série temporelle 1981-2100 de la médiane multi-modèles pour le RCP4.5 (série bleue) ainsi que l'enveloppe correspondant aux percentiles 25 et 75 de l'ensemble multi-modèles ;
- La droite de régression linéaire pour le RCP8.5 (rouge) et le RCP4.5 (bleue). Cette droite est tracée en **trait plein dans le cas où la tendance est significative** d'après le test d'inférence statistique de Mann-Kendall (seuil de significativité de 5%), et en pointillé dans le cas contraire.
- La série observée en points noirs.

Il est important de noter que les séries de données modélisées et observées ne correspondent pas à la même information en termes de variabilité. Les séries modélisées sont lissées car elles correspondent aux médianes et percentiles de l'ensemble multi-modèle alors que la série observée est beaucoup plus « chaotique » du fait qu'elle représente des valeurs brutes annuelles.

Précipitation Annuelle

La figure suivante présente l'évolution du cumul de précipitations annuelles par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

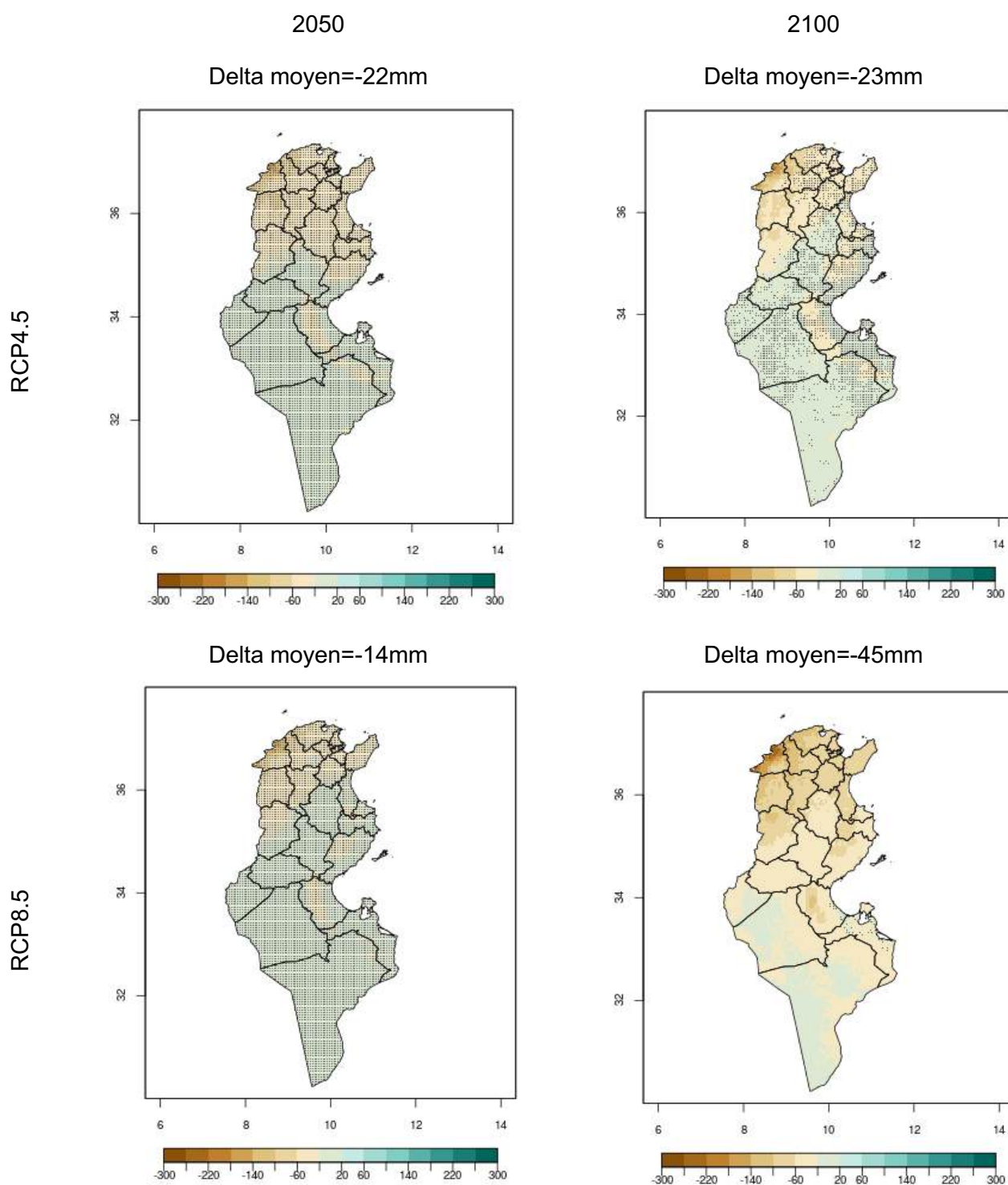


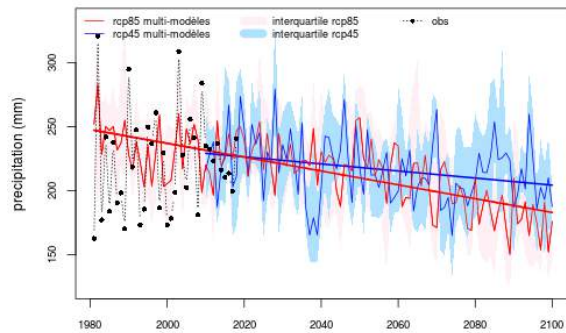
Figure 31: Changement de cumul annuel de précipitations (mm) dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points de grilles pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

Les modèles prévoient une **réduction des précipitations entre 14mm et 22mm en 2050** (soit entre 6% et 9% de la valeur actuelle) et **entre 23mm et 45mm en 2100** (soit entre 9% et 18% de la valeur actuelle) par rapport à la période de référence (valeur moyenne sur l'ensemble du territoire).

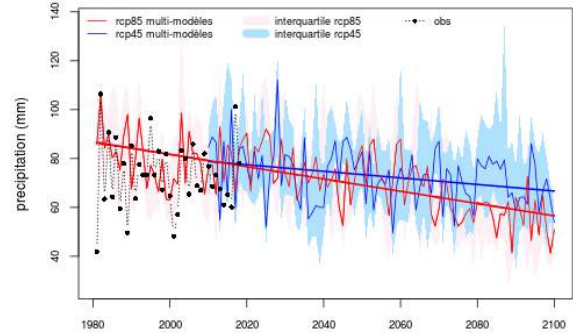
L'évolution des cumuls de précipitation est très variable spatialement. La diminution des précipitations touche principalement les régions des étages bioclimatiques humide et subhumide du Nord de la Tunisie. Les régions plus au Sud (dont l'étendue varie en fonction de l'horizon temporel et du scénario considéré) ne devraient pas être affectées par cette diminution. Ces résultats sont à interpréter avec précaution pour toutes les zones où le changement n'est pas significatif (zones en pointillés sur les cartes) et donc en particulier pour l'horizon 2050. Les changements deviennent significatifs en 2100 (seulement pour une partie du territoire suivant le RCP4.5).

Ces résultats prévoyant une baisse des précipitations au cours du siècle sont en accord avec ceux de l'INM (INM, 2017). Cependant, des différences apparaissent quant à la distribution spatiale de ce changement. Ces écarts sont principalement liés à la faible significativité des résultats même à l'horizon 2100 et à aux différences dans la méthodologie utilisée (sous-échantillonnage des modèles CORDEX, descente d'échelle, analyse statistique).

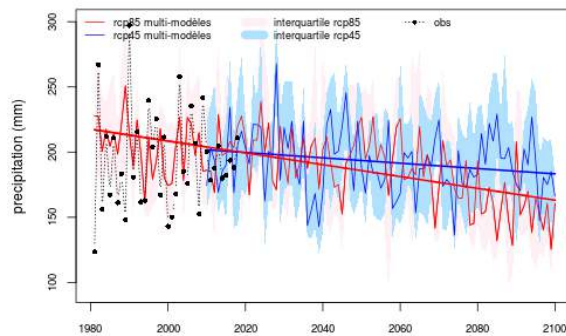
Tunisie :



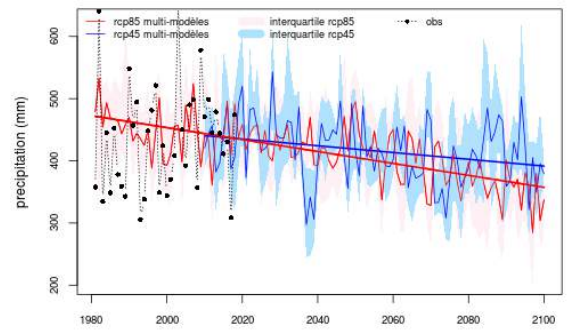
Etage saharien :



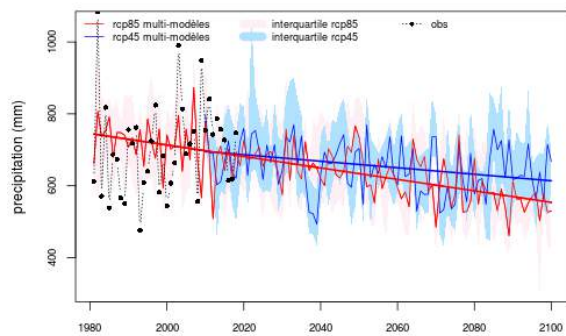
Etage aride :



Etage semi-aride :



Etage subhumide :



Etage humide :

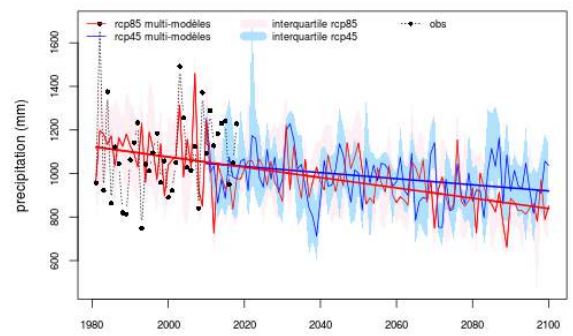


Figure 32 : Tendence du cumul annuel de précipitations (mm) sur la période 1981-2100 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Les tendances à la baisse sont significatives sur la période 1981-2100 pour l'ensemble des étages bioclimatiques et pour les 2 scénarios RCPs. Les taux de baisse sont fournis dans la table suivante. Ils sont d'autant plus forts que le niveau de précipitation de l'étage est important avec un maximum d'environ -237mm sur 100 ans pour la zone humide.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
RCP8.5	-0.54	-0.25	-0.45	-0.96	-1.59	-2.37
RCP4.5	-0.27	-0.13	-0.21	-0.54	-0.90	-1.40

Table 11: Taux de réduction (mm/an) du cumul de précipitations en mm/an sur la période 1981-2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique. Les données en gras correspondent aux scénarios/zones pour lesquels la tendance est significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Température Minimale Annuelle

La Figure 33 présente l'évolution de la moyenne annuelle des températures minimales par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

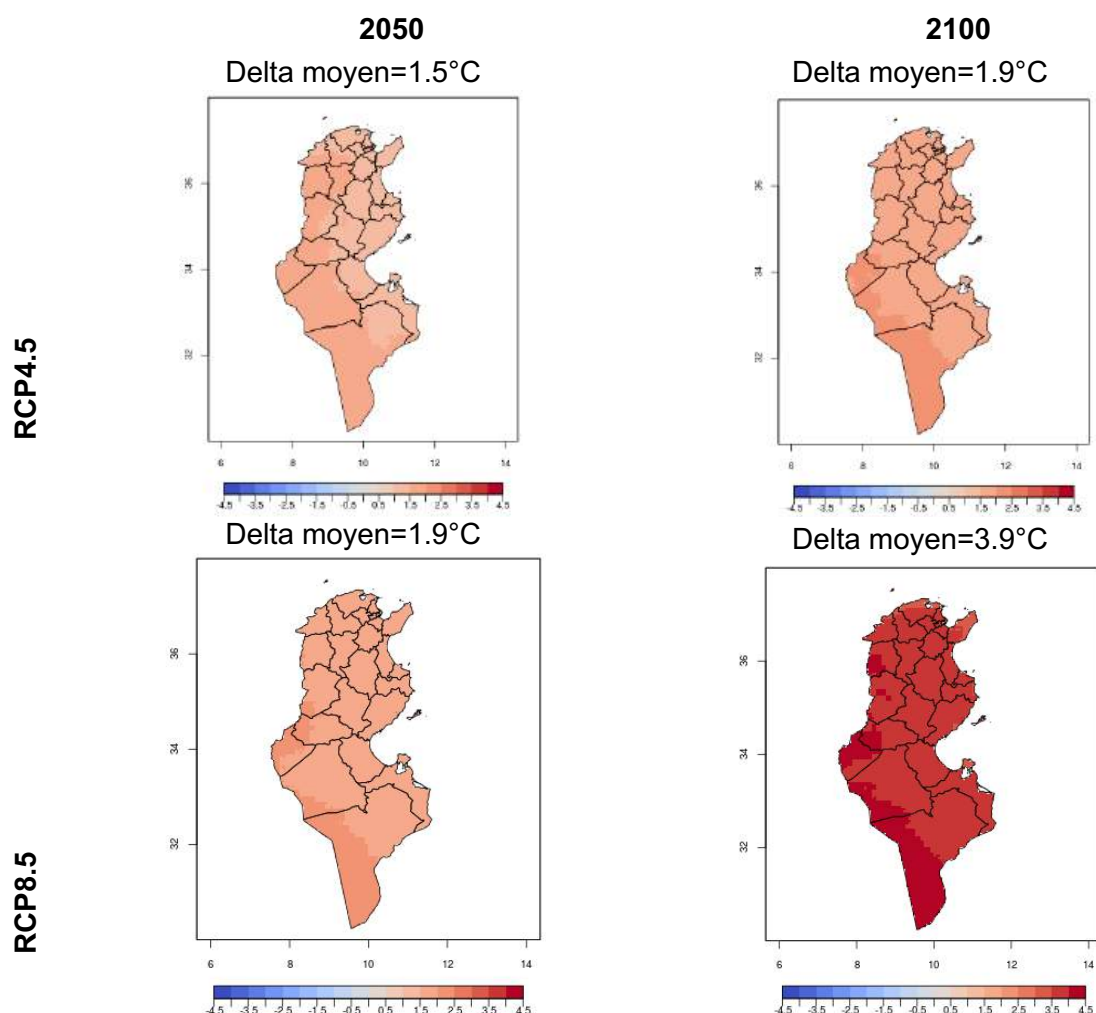


Figure 33 : Changement de la moyenne annuelle des températures minimales de surface (°C) dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010.

Les modèles prévoient une **augmentation des températures minimales** (moyenne sur l'ensemble du territoire) **entre 1.5°C et 1.9°C en 2050** (soit entre 11% et 15% par rapport à la valeur actuelle) et **entre 1.9°C et 3.9°C en 2100** (soit entre 15% et 30% par rapport à la valeur actuelle) par rapport à la période de référence. Le changement est significatif selon le test de Wilcoxon pour l'ensemble des points de grille et quel que soit l'horizon temporel et le scénario considéré.

En termes de répartition spatiale, on note que les bordures littorales de la Tunisie au Nord et à l'Est du pays se réchaufferont moins vite que les zones continentales à l'Ouest et au Sud. Cet effet régulateur de la mer sur la hausse des températures est actif quel que soit le scénario et l'horizon temporel considéré.

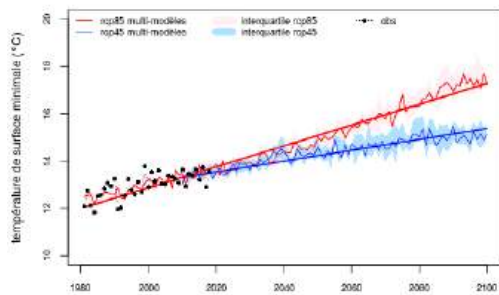
Les tendances à la hausse sont significatives sur la période 1981-2100 pour les 2 scénarios RCPs et pour l'ensemble des étages bioclimatiques. Les taux de hausse sont quasi-identiques pour l'ensemble des étages avec le RCP4.5 (0.023°C/an) et plus variable avec le RCP8.5.

L'étage saharien est le plus fortement touché par cette hausse des températures minimales avec une augmentation qui pourra atteindre 4.7°C en 100 ans suivant le RCP8.5. Les zones humide et subhumide seront les plus épargnées par cette augmentation des températures.

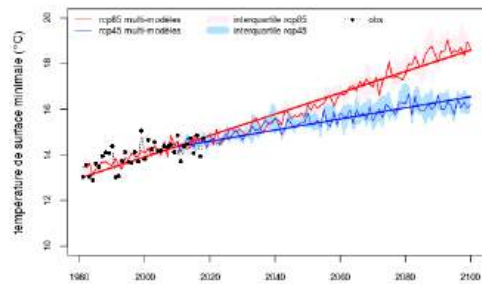
	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
RCP8.5	0.044	0.047	0.043	0.042	0.040	0.039
RCP4.5	0.023	0.024	0.023	0.022	0.022	0.021

Table 12 : Taux d'augmentation (°C/an) des températures minimales sur la période 1981-2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique. Les données en gras correspondent aux scénarios/zones pour lesquels la tendance est significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

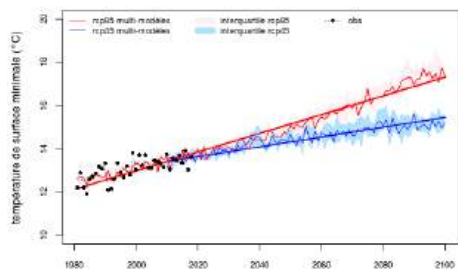
Tunisie :



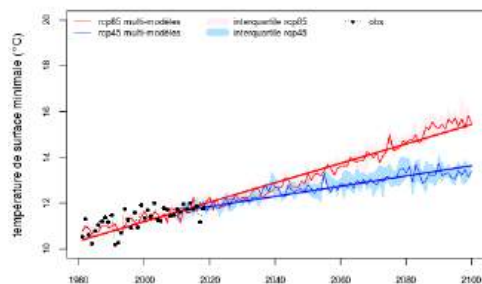
Etage saharien :



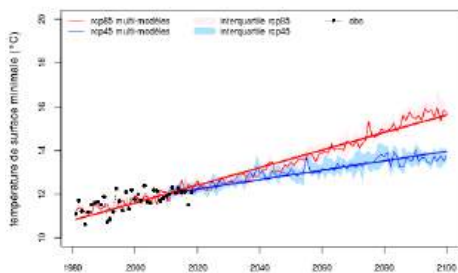
Etage aride :



Etage semi-aride :



Etage subhumide :



Etage humide :

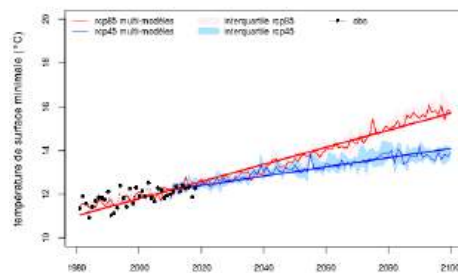


Figure 34 : Tendance de la moyenne annuelle des températures minimales de surface (°C) sur la période 1981-2100. Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Température Moyenne Annuelle

Les cartes suivantes présentent l'évolution de la moyenne annuelle de température par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

Les modèles prévoient une **augmentation des températures moyennes** (moyenne sur l'ensemble du territoire) **entre 1.6°C et 1.9°C en 2050** (soit entre 8% et 10% par rapport à la valeur actuelle) et **entre 2.0°C et 3.9°C** (soit entre 10% et 20% par rapport à la valeur actuelle) **en 2100** par rapport à la période de référence. Le changement est significatif selon le test de Wilcoxon pour l'ensemble des points de grille et quel que soit l'horizon temporel et le scénario considéré. Comme pour les températures minimales, on constate l'effet régulateur de la mer sur la répartition spatiale des températures moyennes entraînant un réchauffement moins rapide des bordures littorales de la Tunisie par rapport au réchauffement des régions continentales. Ainsi le gradient de réchauffement entre les zones les plus fortement impactées et celles les moins impactées pourra atteindre entre 0.5°C et 0.7°C en 2050 (RCP4.5 et RCP8.5 respectivement) et entre 0.8°C et 1.4°C en 2100 (RCP4.5 et RCP8.5 respectivement).

L'ensemble des résultats que nous obtenons est très proche de ceux présentés par l'INM (2017). Les amplitudes de changement peuvent légèrement différer dues aux choix méthodologiques (sous-échantillonnage des modèles CORDEX, descente d'échelle, analyse statistique).

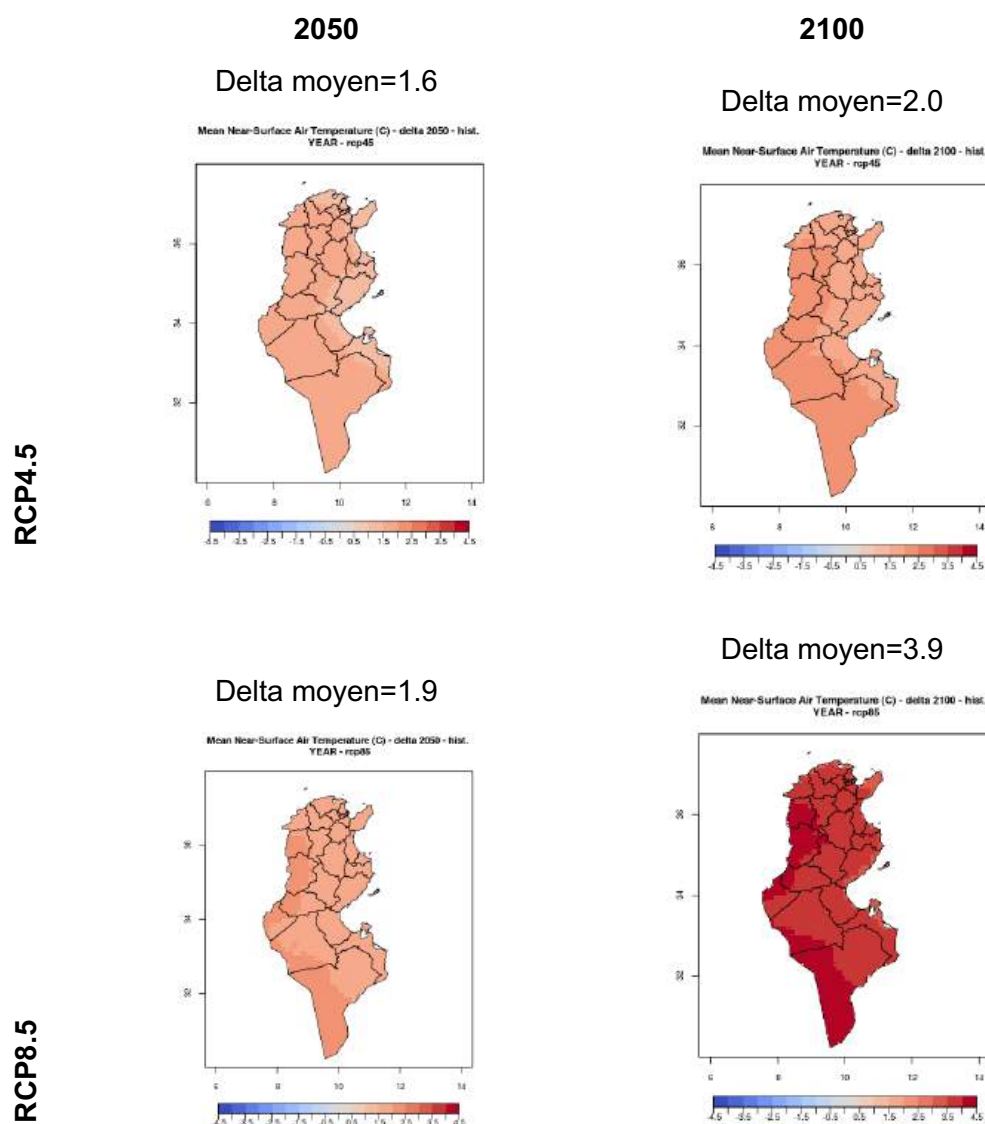


Figure 35: Changement de la moyenne annuelle des températures moyennes de surface (°C) dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010.

Au niveau des étages bioclimatiques, on observe que les tendances à la hausse sont significatives sur la période 1981-2100 pour les 2 scénarios RCPs et pour l'ensemble des étages (Table 13).

Les taux d'augmentation sont quasi-identiques pour l'ensemble des étages avec le RCP4.5 (0.023°C/an) et plus variable avec le RCP8.5. L'étage saharien est le plus fortement touché par cette hausse des températures minimales avec une augmentation qui pourra atteindre 4.7°C en 100 ans suivant le RCP8.5. Les zones humide et subhumide seront les plus épargnées par cette augmentation des températures.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
RCP8.5	0.047	0.047	0.043	0.044	0.041	0.040
RCP4.5	0.024	0.024	0.023	0.024	0.023	0.023

Table 13 : Taux d'augmentation (°C/an) des températures moyennes sur la période 1981-2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique. Les données en gras correspondent aux scénarios/zones pour lesquels la tendance est significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

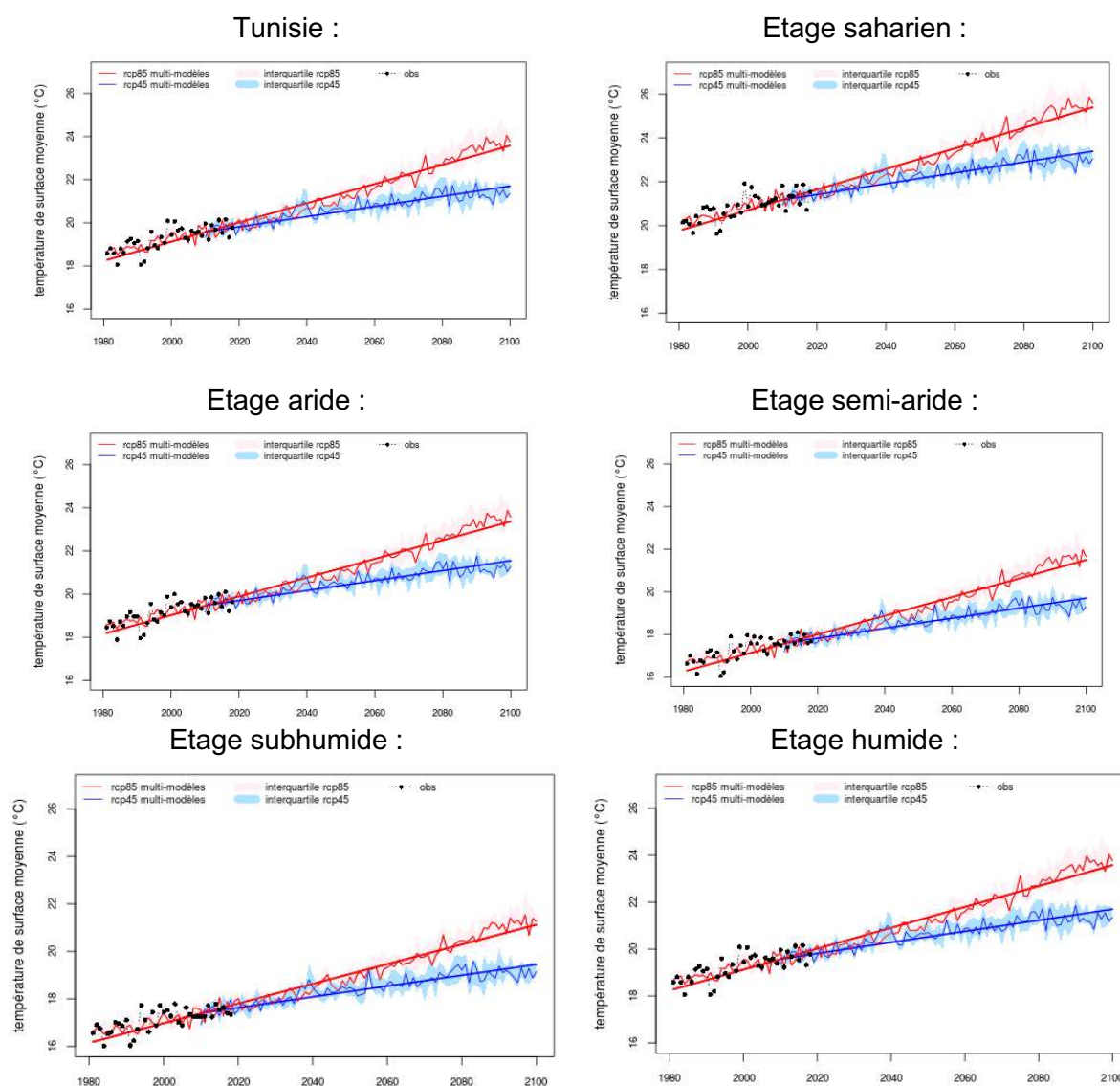


Figure 36: Tendance de la moyenne annuelle des températures moyennes de surface (°C) sur la période 1981-2100. Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Température Maximale Annuelle

Les cartes suivantes présentent l'évolution de la moyenne annuelle des températures maximales par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

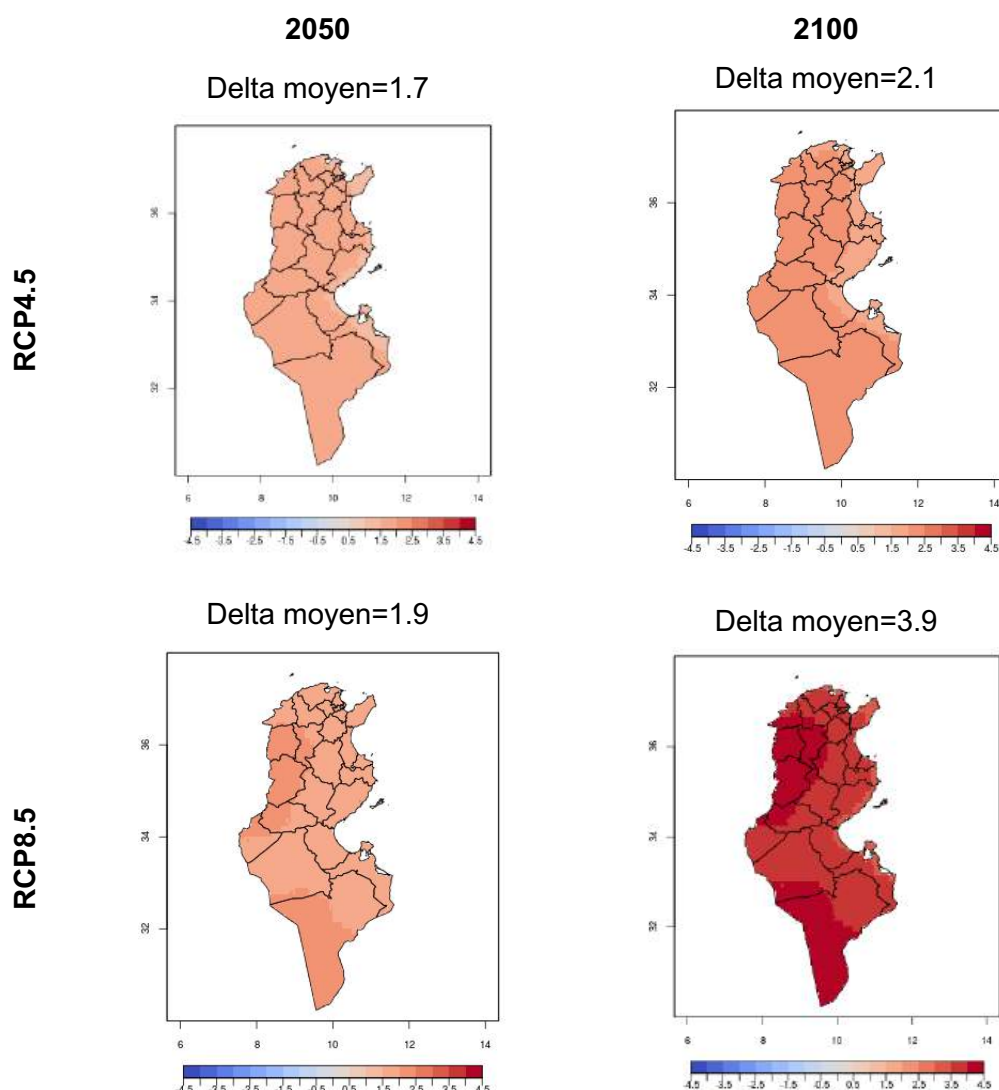


Figure 37 : Changement de la moyenne annuelle des températures maximales de surface (°C) dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010

Les modèles prévoient une **augmentation des températures maximales** sur l'ensemble du territoire **entre 1.7°C et 1.9°C en 2050** (soit entre 6.5% et 7.5 % par rapport à la valeur actuelle) et **entre 2.1°C et 3.9°C** (soit entre 8% et 15% par rapport à la valeur actuelle) **en 2100** par rapport à la période de référence. Comme pour les températures minimales, on constate l'effet régulateur de la mer sur la répartition spatiale des températures maximales entrainant un réchauffement moins rapide des bordures littorales de la Tunisie par rapport au réchauffement des régions continentales.

Les tendances au réchauffement sont significatives sur la période 1981-2100 pour les 2 scénarios RCPs et pour l'ensemble des étages bioclimatiques. Les taux d'augmentation sont quasi-identiques pour l'ensemble des étages avec le RCP4.5 (0.024°C/an) et légèrement plus

variable suivant le RCP8.5. L'étage saharien sera plus fortement touché avec une augmentation possible de ses températures maximales de 4.7°C en 100 ans. Les zones humide et subhumide seront les plus épargnées par cette augmentation des températures.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
RCP8.5	0.046	0.047	0.045	0.046	0.044	0.042
RCP4.5	0.024	0.025	0.024	0.025	0.024	0.023

Table 14: Taux d'augmentation (°C/an) des températures maximales sur la période 1981-2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique. Les données en gras correspondent aux scénarios/zones pour lesquels la tendance est significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

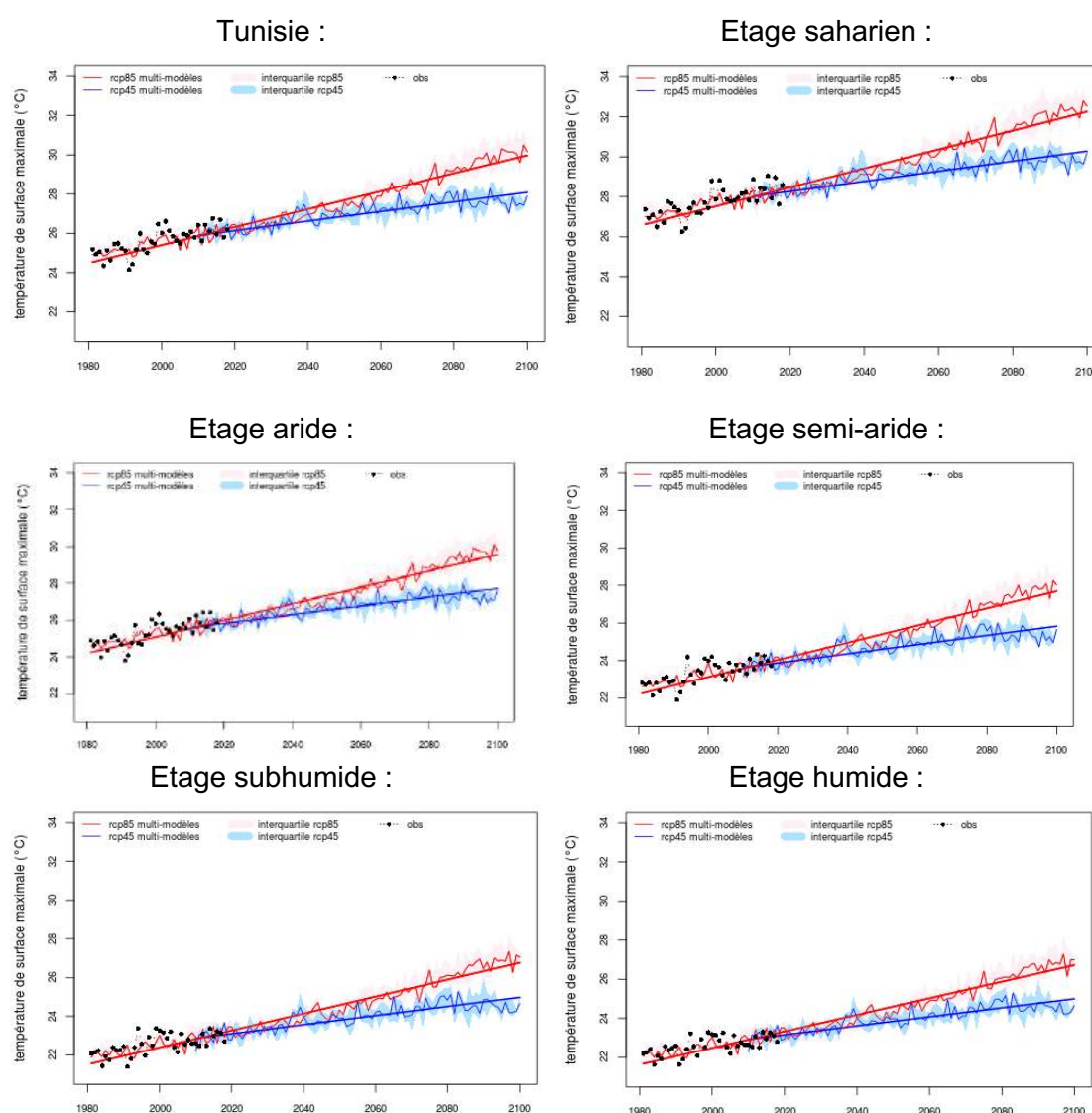


Figure 38 : Tendance de la moyenne annuelle des températures maximales de surface (°C) sur la période 1981-2100. Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Température Moyenne Saisonnière

Pour la température moyenne et les précipitations, nous avons intégré les séries temporelles des valeurs saisonnières pour les 4 saisons : hiver (JFM), printemps (AMJ), été (JAS), automne (OND). La figure suivante présente les séries temporelles des températures moyennes saisonnières d'hiver (JFM), printemps (AMJ), été (JAS) et automne (OND). C'est en été que les températures augmenteront le plus. Cet écart de réchauffement entre l'été et les autres saisons est fortement marqué avec le RCP8.5, moins avec le RCP4.5.

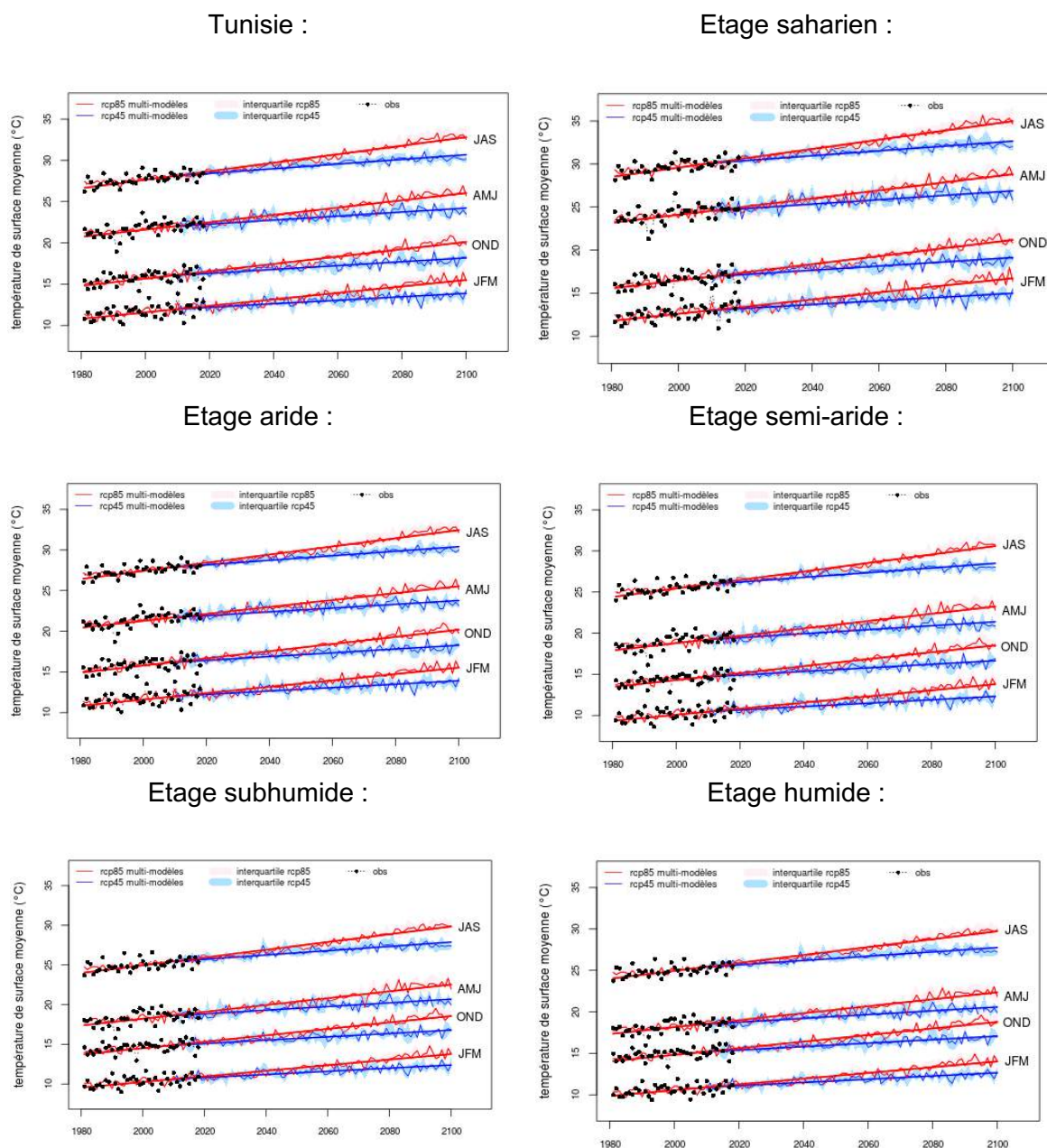


Figure 39 : Séries temporelles des moyennes saisonnières (JFM, AMJ, JAS, OND) des températures maximales de surface (°C) sur la période 1981-2100. Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

La table suivante présente les taux d'augmentation des températures moyennes saisonnières par étage bioclimatique.

		Tunisie	saharien	aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
JFM	RCP8.5	0.039	0.041	0.039	0.037	0.035	0.035
	RCP4.5	0.021	0.022	0.021	0.021	0.020	0.019
AMJ	RCP8.5	0.044	0.047	0.048	0.044	0.043	0.042
	RCP4.5	0.024	0.026	0.023	0.024	0.023	0.023
JAS	RCP8.5	0.052	0.054	0.050	0.052	0.049	0.048
	RCP4.5	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.026
OND	RCP8.5	0.044	0.047	0.044	0.042	0.040	0.040
	RCP4.5	0.023	0.025	0.023	0.022	0.021	0.021

Table 15 : Taux d'augmentation (°C/an) des températures moyennes saisonnières sur la période 1981-2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique. Les données en gras correspondent aux scénarios/zones/saisons pour lesquels la tendance est significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Cumul Saisonnier de précipitations

La présente les séries temporelles du cumul saisonnier de précipitation en hiver (JFM), printemps (AMJ), été (JAS) et automne (OND). Pour des raisons de lisibilité, seules les tendances sont présentées. On observe une tendance à la baisse pour toutes les saisons et tous les étages bioclimatiques. Cependant les tendances à la baisse en été ne sont pas significatives avec le RCP4.5. C'est également le cas pour quelques zones pour les autres saisons.

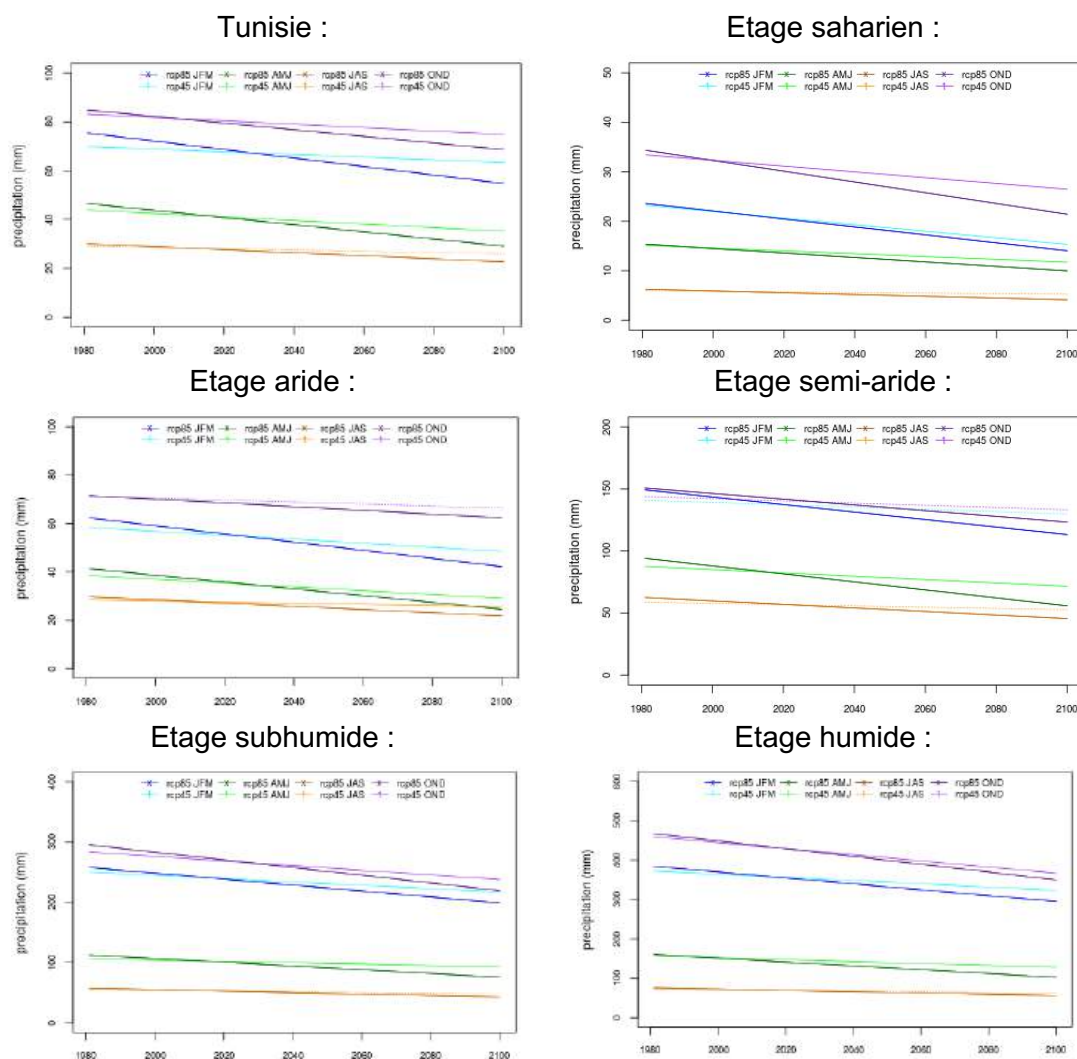


Figure 40: Séries temporelles des moyennes saisonnières (JFM, AMJ, JAS, OND) des cumuls de précipitations (mm) sur la période 1981-2100.

Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%). La Table 16 présente les taux d'augmentation des températures moyennes saisonnières par étage bioclimatique. C'est en automne et en hiver que la baisse des pluies est la pluie importante.

		Tunisie	Saharien	Aride	Semi-aride	Subhumide	Humide
JFM	RCP8.5	-0.174	-0.080	-0.169	-0.302	-0.493	-0.752
	RCP4.5	-0.054	-0.066	-0.083	-0.093	-0.276	-0.409
AMJ	RCP8.5	-0.147	-0.045	-0.141	-0.322	-0.312	-0.484
	RCP4.5	-0.073	-0.029	-0.078	-0.134	-0.110	-0.239
JAS	RCP8.5	-0.062	-0.018	-0.066	-0.142	-0.118	-0.163
	RCP4.5	-0.026	-0.006	-0.022	-0.050	-0.053	-0.077
OND	RCP8.5	-0.136	-0.109	-0.077	-0.231	-0.639	-0.985
	RCP4.5	-0.070	-0.058	-0.042	-0.089	-0.386	-0.777

Table 16 : Taux d'augmentation (mm/an) du cumul saisonnier de précipitation sur la période 1981-2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique. Les données en gras correspondent aux scénarios/zones/saisons pour lesquels la tendance est significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Nombre de jours maximum consécutifs humides

La figure suivante présente l'évolution du nombre maximum de jours consécutifs humides dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

L'ensemble multi-modèles prévoit une diminution **du nombre de jours maximum consécutifs humides** (valeur moyenne sur le territoire) soit un changement relatif de -5 à -6 % en 2050 et de -6 à -12% en 2100 par rapport à la période de référence pour les RCP4.5 et RCP8.5 respectivement. Cette diminution n'est pas homogène spatialement (zone de hausse sur certaine partie du territoire) mis à part à l'horizon 2100 avec le scénario RCP8.5 pour lequel cette diminution est la plus marquée. Elle s'intensifie dans le temps.

Ces résultats sont à interpréter avec précaution pour toutes les zones où le changement n'est pas significatif (zones en pointillés sur les cartes) et donc en particulier pour l'horizon 2050. Les changements deviennent significatifs en 2100 seulement pour une partie du territoire suivant le RCP8.5.

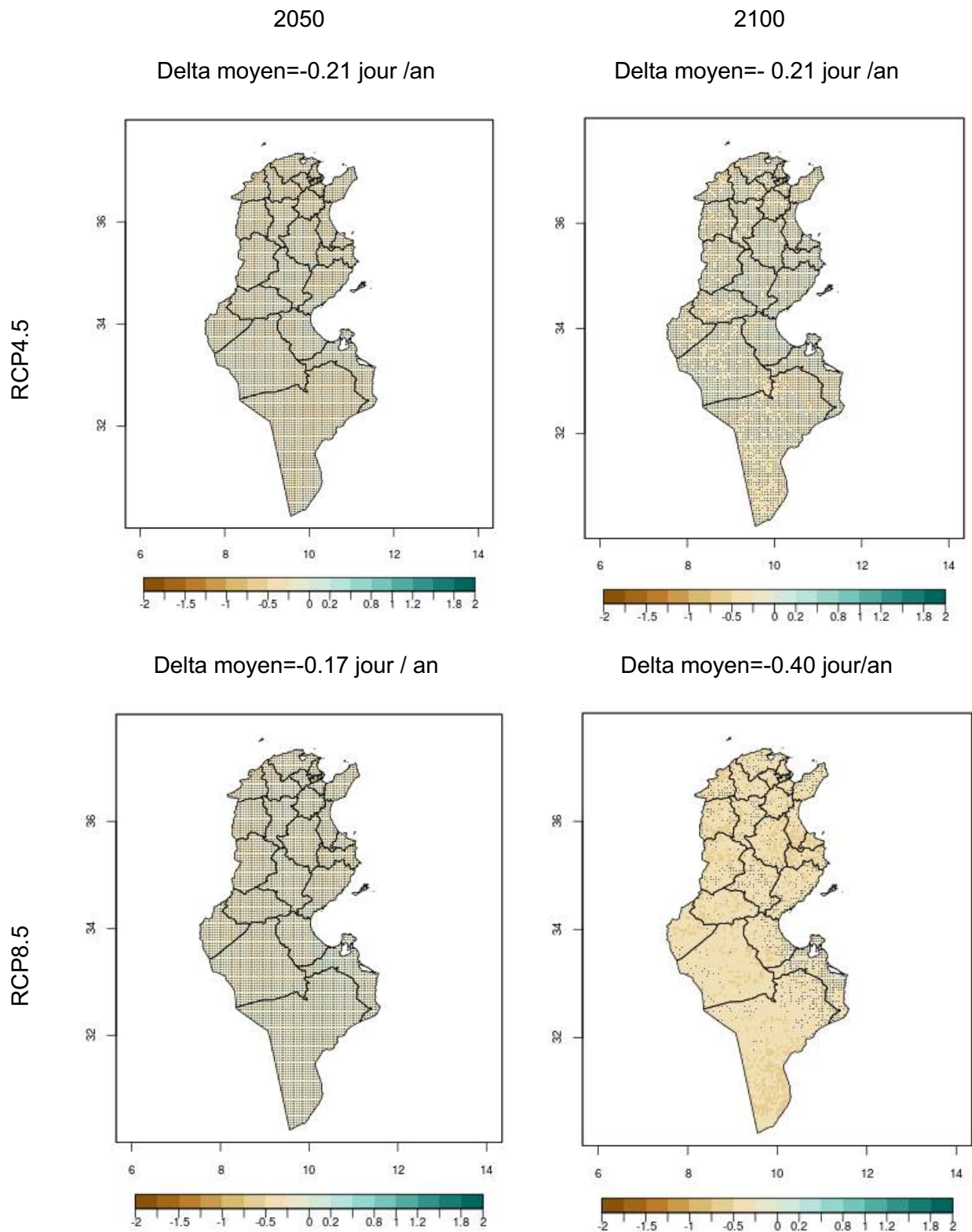


Figure 41: Changement du nombre maximum de jours consécutifs humides dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points de grille pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

Nombre de jours maximum consécutif sec

La figure suivante présente l'évolution du nombre maximum de jours consécutifs secs dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

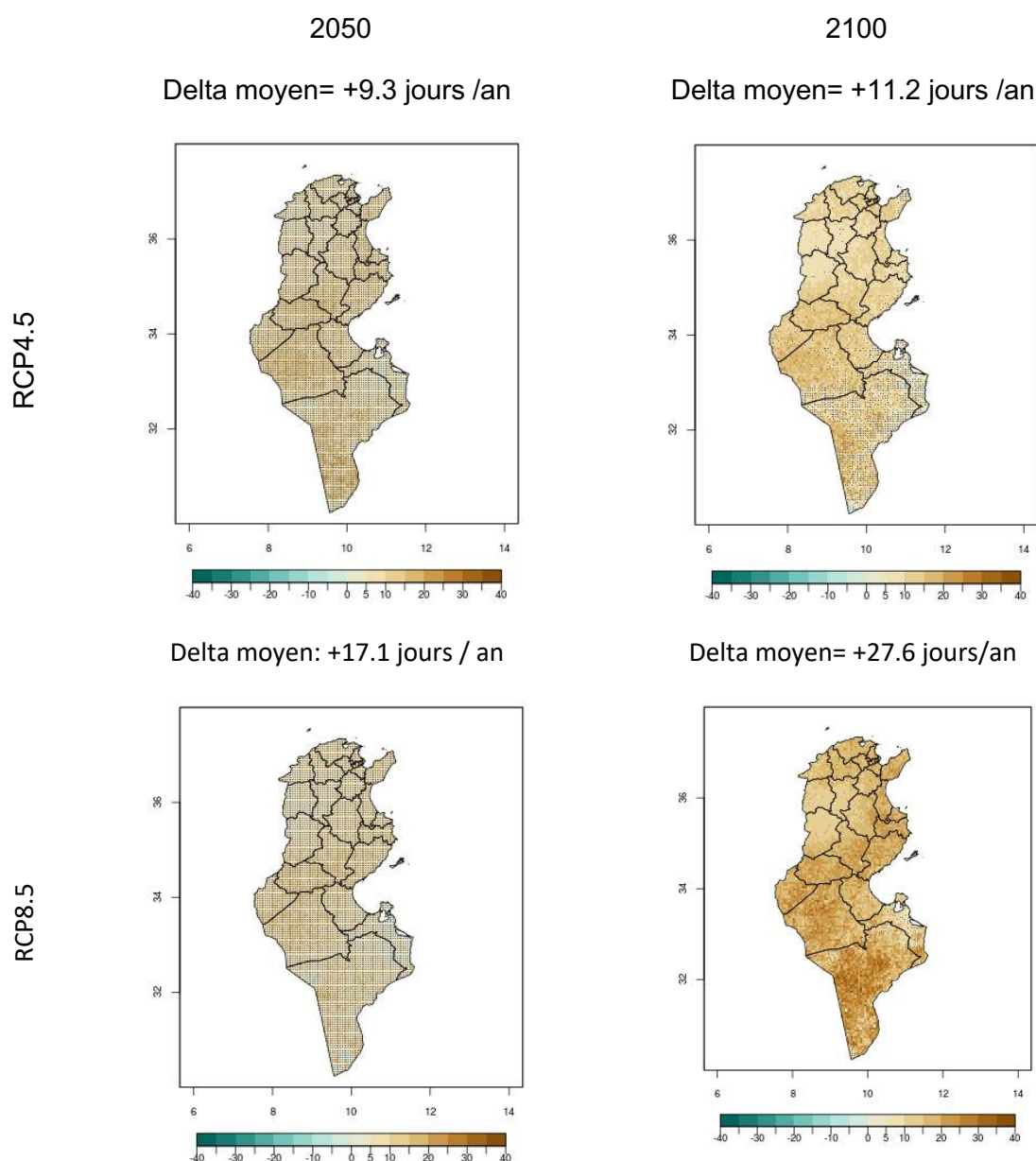


Figure 42 : Changement du nombre maximum de jours consécutifs secs dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

L'ensemble multi-modèle prévoit **une augmentation du nombre de jours maximum consécutifs secs** (valeur moyenne sur le territoire) variant de +9.3 jours/an à +17.1 jours/an en 2050 (soit un changement relatif de +11% et +19%) et de +11.2 jours/an à +27.6 jours/an en 2100 (soit un changement relatif de +13% et +31%) par rapport à la période de référence pour les RCP4.5 et RCP8.5 respectivement. L'amplitude de cette augmentation varie légèrement spatialement. Elle s'intensifie dans le temps principalement sous le RCP8.5 et peut atteindre plus de 40 jours en 2100 dans certaines zones du pays. Ces résultats sont à interpréter avec précaution pour toutes les zones où le changement

n'est pas significatif (zones en pointillés sur les cartes) et donc en particulier pour l'horizon 2050. Les changements deviennent significatifs en 2100 seulement pour une partie du territoire suivant le RCP4.5 et pour l'ensemble du territoire pour le RCP8.5.

Nombre de jours de précipitations supérieures à 10mm

La figure suivante présente l'évolution du nombre de jours de précipitations supérieures à 10mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5. L'ensemble multi-modèles prévoit une **diminution du nombre de jours de précipitations supérieures à 10mm** (valeur moyenne sur le territoire) variant de 0.2 à 0.5 jour/an en 2050 (soit un écart relatif de -3% et -6% de réduction par rapport à la valeur actuelle) pour les RCP4.5 et RCP8.5 respectivement et de 0.5 jours/an à 1 jours/an en 2100 (soit un écart relatif de -7% et -15%)

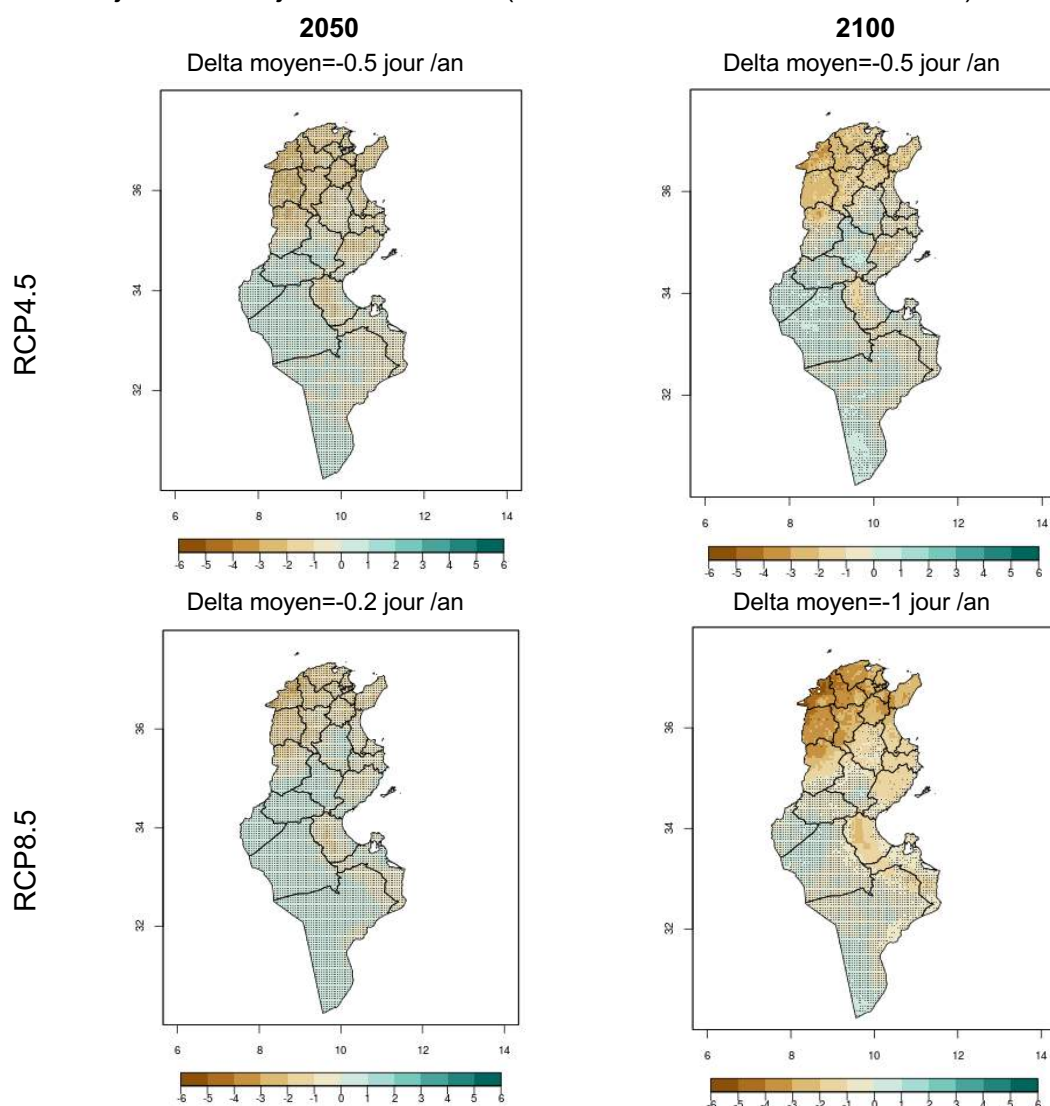


Figure 43 : Changement du nombre de jours de précipitations supérieures à 10mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

L'amplitude de cette augmentation varie fortement spatialement avec une forte réduction de ce nombre de jours dans le nord du pays (en particulier en 2100 sous le RCP8.5) et une très légère augmentation dans les régions sud-ouest. Cette zone d'augmentation est à considérer en tenant compte que les précipitations supérieures à 10mm dans cette zone sont quasi nulles

et ne peuvent donc pas diminuer. Ces résultats sont à interpréter avec précaution pour toutes les zones où le changement n'est pas significatif (zones en pointillés sur les cartes) et donc en particulier pour l'horizon 2050. Les changements deviennent significatifs en 2100 principalement pour les zones de réduction de ces événements (région littorale et Nord du pays).

Nombre de jours de précipitations supérieures à 20 mm

La Figure 44 présente l'évolution du nombre de jours de précipitations supérieures à 20mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

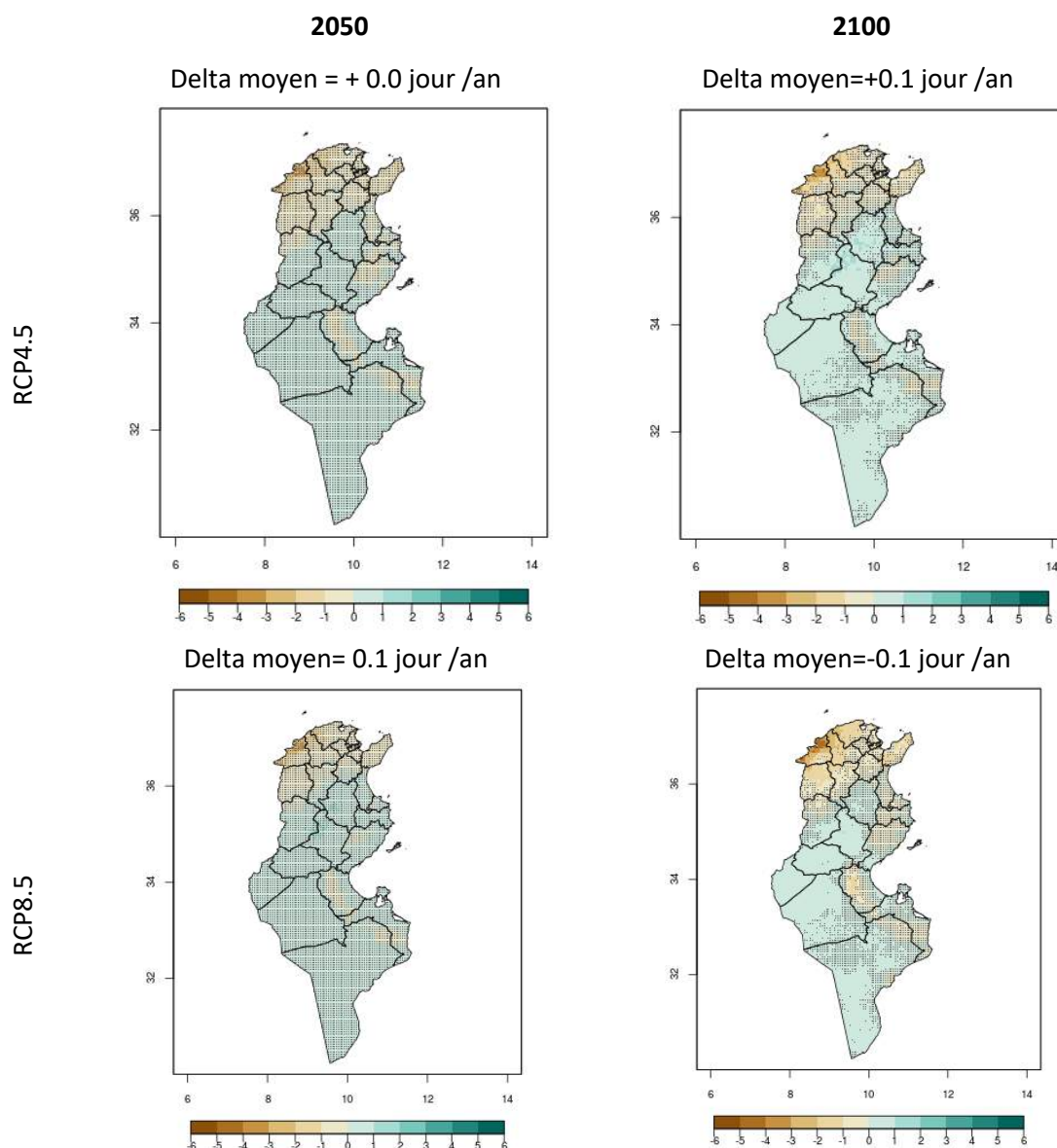


Figure 44 : Changement du nombre de jours de précipitations supérieures à 20mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

L'ensemble multi-modèle prévoit une très faible diminution **du nombre de jours de précipitations supérieures à 20mm** en moyenne sur l'ensemble du territoire. De nombreuses

zones au Sud et à l'Ouest du pays devraient connaître une légère augmentation de ces événements. Les étages humides et subhumides connaîtront une baisse de ces événements pouvant atteindre 30% de la valeur actuelle.

Ces résultats sont à interpréter avec précaution pour toutes les zones où le changement n'est pas significatif (zones en pointillés sur les cartes) et donc en particulier pour l'horizon 2050. Les changements deviennent significatifs en 2100 principalement dans le Nord-Ouest, l'Ouest et le Sud du pays.

Nombre de jours de précipitations très fortes

Les cartes suivantes présentent l'évolution du nombre de jours de précipitations supérieures à 40mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5..

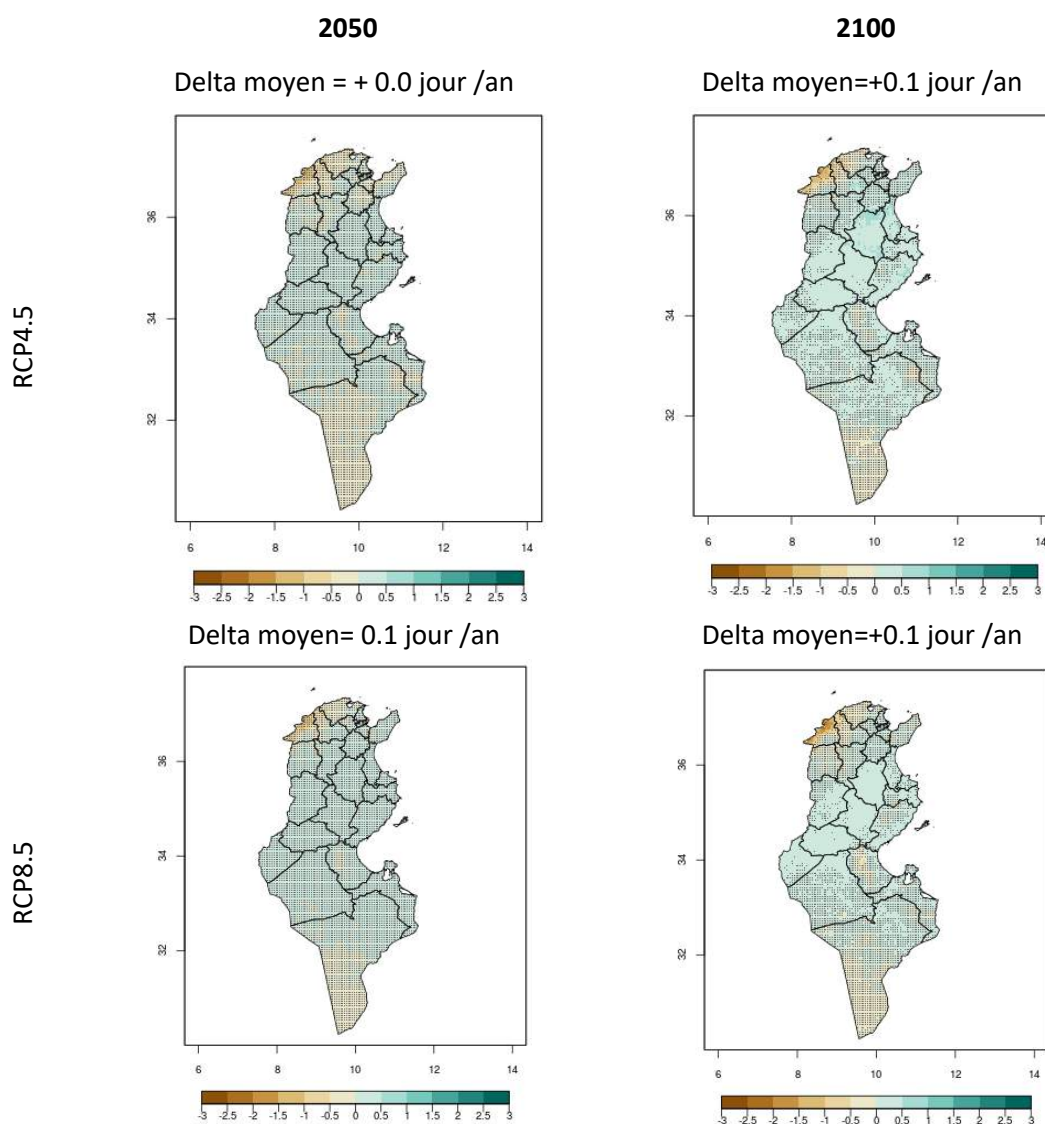


Figure 45: Changement du nombre de jours de précipitations supérieures à 40mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

Pour rappel, les modèles utilisés pour cette étude ne sont pas capables de représenter ce type d'évènement avec précision (biais moyen supérieur à 50% par rapport aux données

observées). Les cartes présentées ci-dessous sont donc à analyser avec beaucoup de précaution

Nombre de jours de précipitations extrêmes

La figure suivante présente l'évolution du nombre de jours de précipitations supérieures à 70mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

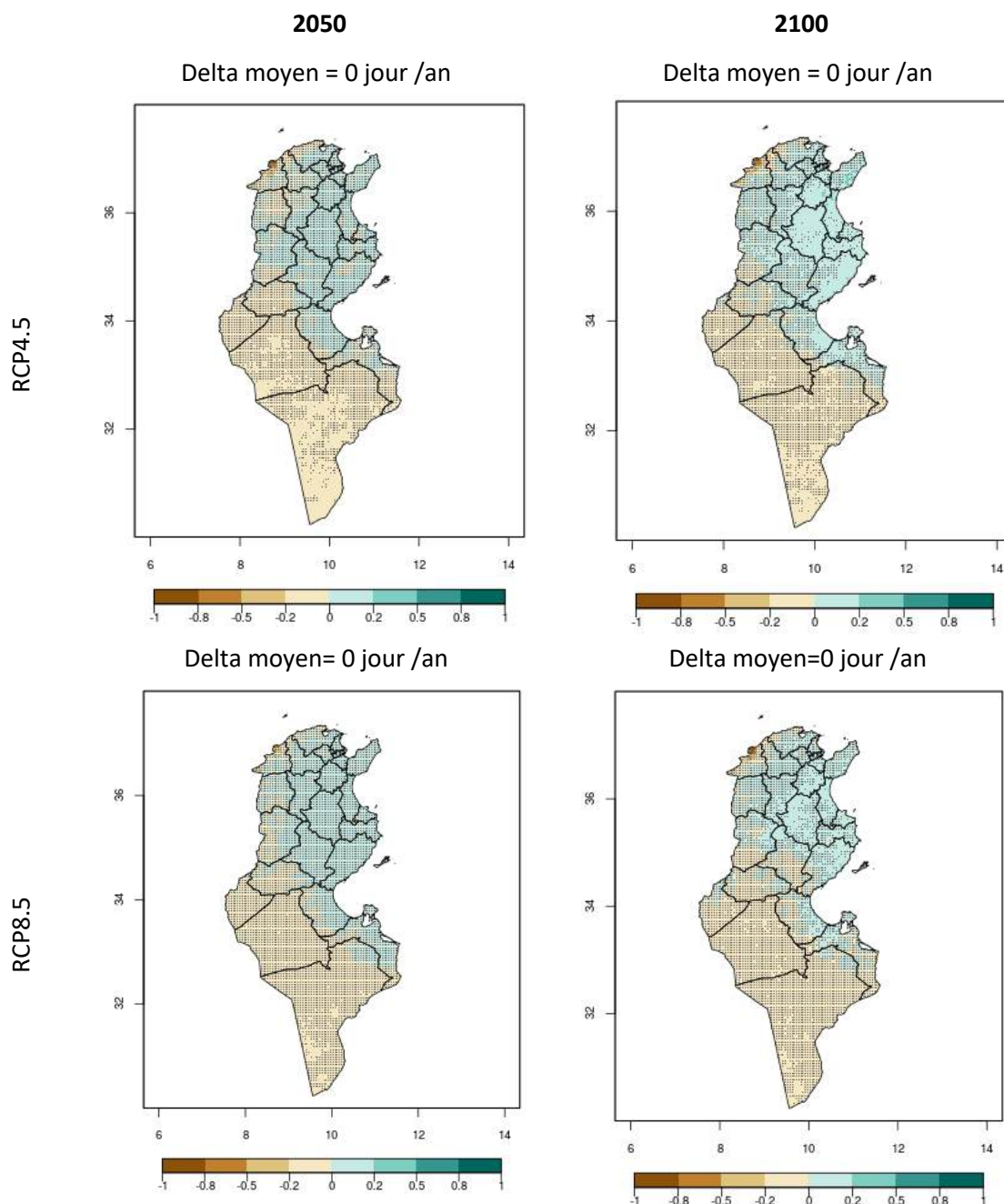


Figure 46: Changement du nombre de jours de précipitations supérieures à 70mm dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

Pour rappel, les modèles utilisés pour cette étude ne sont pas capables de représenter ce type d'évènement avec précision (erreur supérieure à 100% par rapport aux données observées). Les cartes présentées ci- sont donc à analyser avec précaution.

Nombre de jours de canicule

La Figure suivante présente l'évolution du nombre maximum de jours consécutifs secs dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

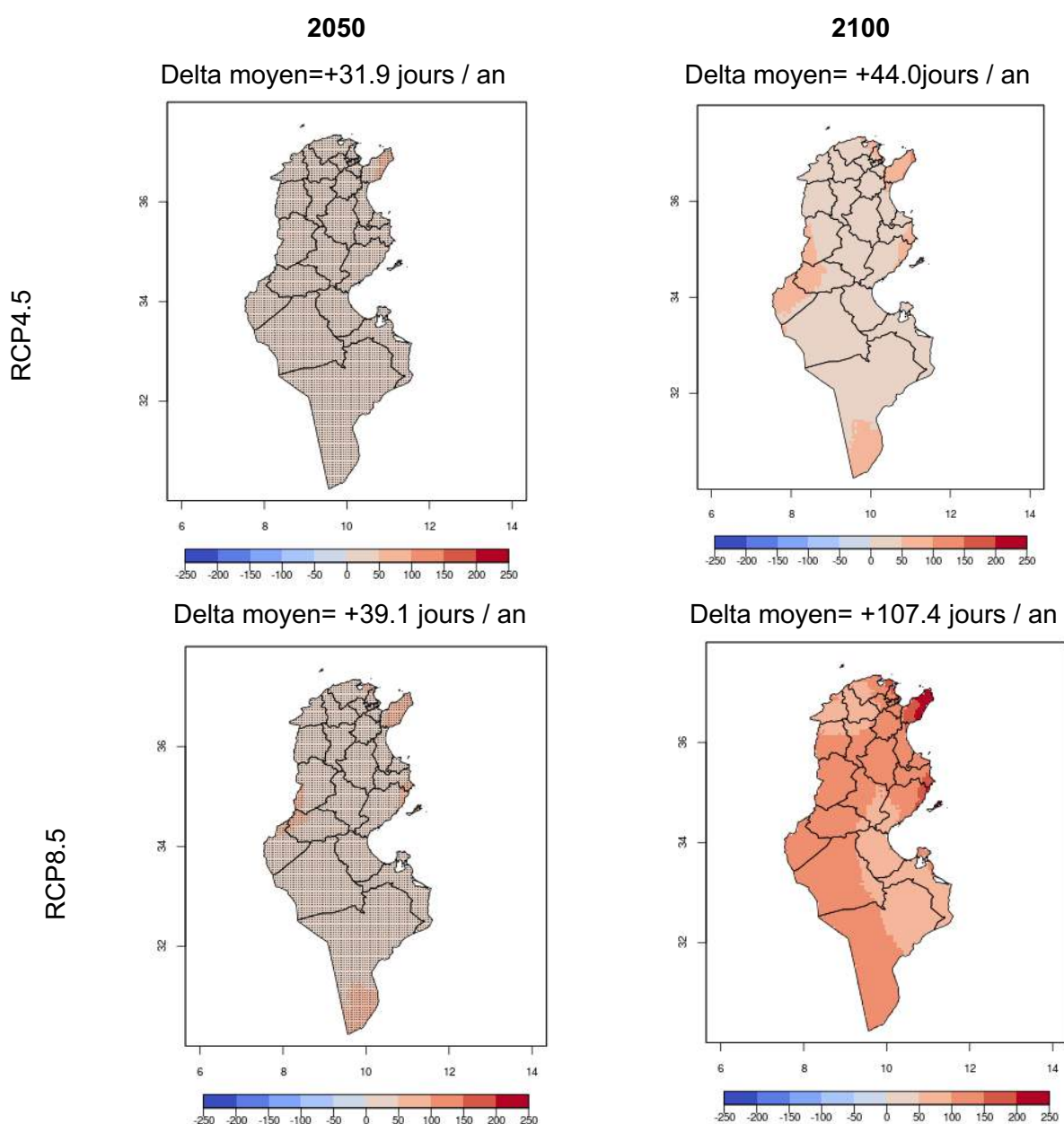


Figure 47: Changement du nombre de jours de canicule dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

L'ensemble multi-modèle prévoit **une augmentation du nombre de jours de canicules** (valeur moyenne sur le territoire) variant de +32 jours/an à +39 jours/an en 2050 (augmentation

d'un facteur 3 environ) et de +44 jours/an à +107 jours/an en 2100 augmentation d'un facteur 4 à 7) par rapport à la période de référence (16.5 jours par an) pour les RCP4.5 et RCP8.5 respectivement. L'augmentation du nombre de jours de canicules s'intensifie avec le temps principalement sous le RCP8.5. Il est important de noter que pour le RCP8.5 la tendance n'est pas linéaire avec un taux d'augmentation qui s'accroît fortement à partir des années 2060 (figure 51)

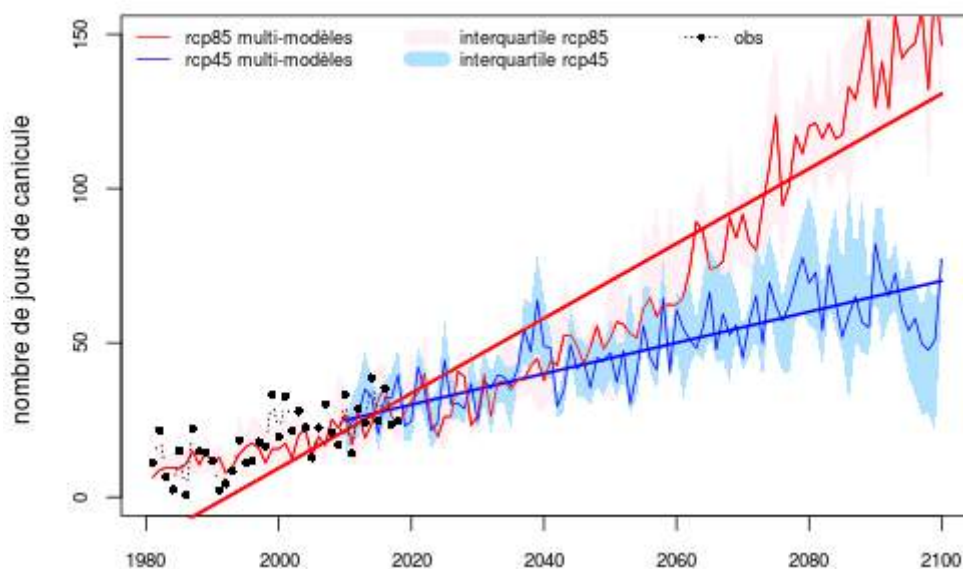


Figure 48: Séries temporelles du nombre de jours de canicule par an sur la période 1981-2100 en moyenne pour la Tunisie. Les droites en traits pleins correspondent à une tendance significative et les droites en pointillés à une tendance non significative (test de Mann-Kendall – seuil de significativité de 5%).

Nombre de jours de vagues de froid

La Figure suivante présente l'évolution du nombre de jours de vagues de froid dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010 pour les deux périodes cibles 2050 et 2100 et les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

L'ensemble multi-modèles prévoit **une diminution du nombre de jours de vagues de froid** (valeur moyenne sur le territoire) variant de -2.5 jours/an à -2.8 jours/an en 2050 (soit un écart relatif de -61% et -70%) et de -2.9 jours/an à -3.2 jours/an en 2100 (soit un écart relatif de -71% et -79%) par rapport à la période de référence pour les RCP4.5 et RCP8.5 respectivement. La diminution du nombre de jours de vagues de froid varie légèrement spatialement.

Ces résultats sont à interpréter avec précaution pour toutes les zones où le changement n'est pas significatif (zones en pointillés sur les cartes) et donc en particulier pour l'horizon 2050.

2050

2100

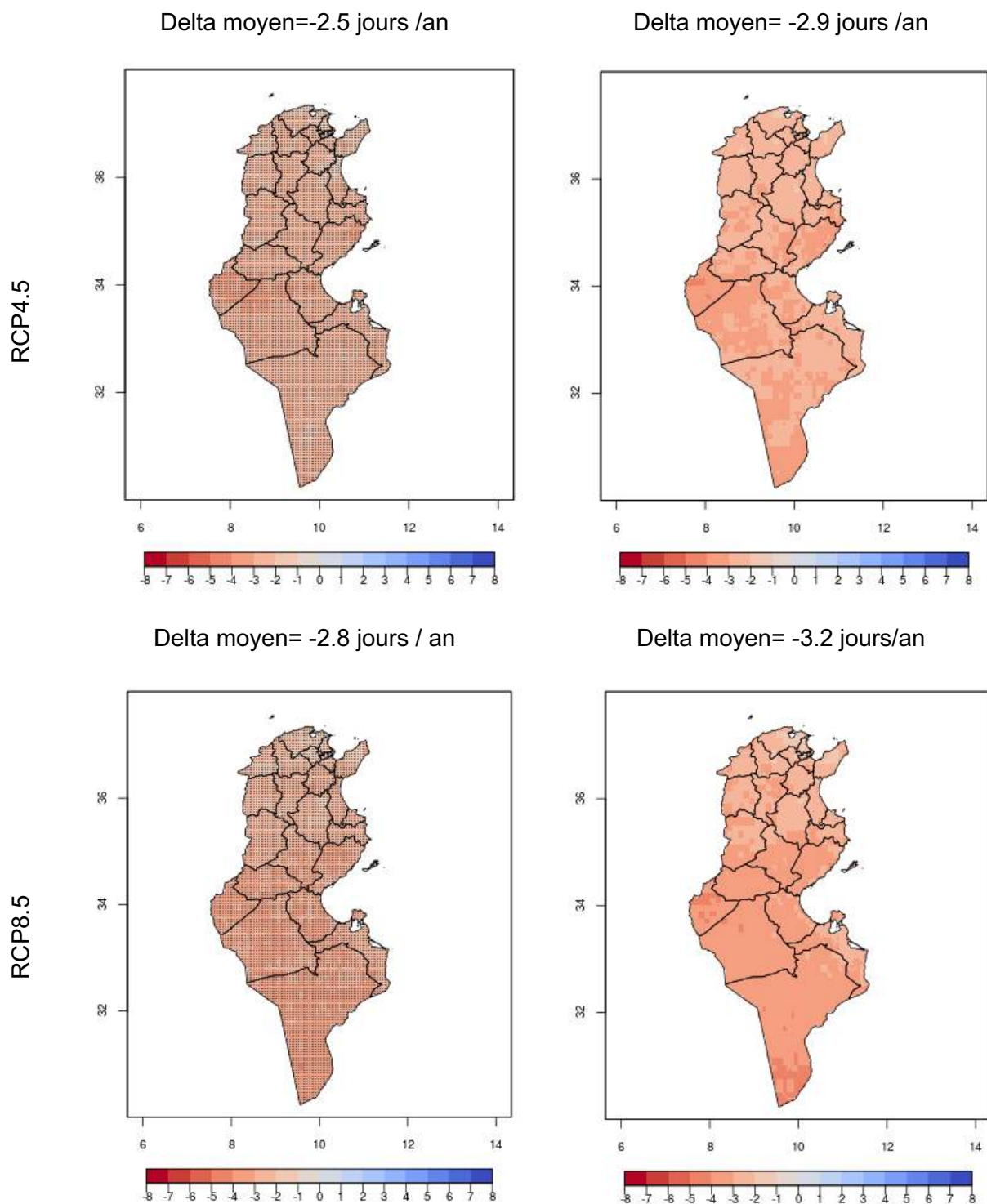


Figure 49: Changement du nombre de jours de vagues de froid dans le futur par rapport à la période de référence 1981-2010. Les points pour lesquels le changement n'est pas significatif (test de Wilcoxon – seuil de 5%) sont marqués d'un point noir.

II.4 Synthèse des évolutions climatiques

Les changements constatés pour la période de référence (1981-2010) et les horizons considérés indiquent clairement une tendance au réchauffement et à une baisse des précipitations sur le long terme :

- Pour la température moyenne au niveau national : entre +1,5°C et +1,9°C à l'horizon 2050, et +1,9°C et +3,9°C à l'horizon 2100. Des évolutions très similaires sont attendues concernant les températures minimales et maximales.
- Pour les précipitations annuelles au niveau national : entre -14 mm et -22 mm à l'horizon 2050, et -23 mm et -45 mm à l'horizon 2100.

Ces évolutions sont du même ordre que les résultats des projections de l'INM publiées à l'occasion de la Troisième Communication Nationale de la Tunisie.

Ces tendances vont continuer à s'accroître à l'avenir avec une variabilité spatiale marquée par des gradients entre l'est et l'ouest mais aussi entre le nord et le sud.

Les principales évolutions observées et futures décrites dans ce chapitre sont synthétisées dans le Table 17 pour les variables climatiques.

Variables climatiques	Evolution actuelle	Commentaires	Evolution attendue	Commentaires	Concordance des modèles
Cumul de précipitation	Augmentation faible	Tendance non significative	Diminution moyenne	-14 à -22mm en 2050 -23 à -45mm en 2100	Forte
Température minimale	Augmentation forte	+0.32°C/décennie	Augmentation forte	+1.5 à 1.9°C en 2050 +1.9 à 3.9°C en 2100	Forte
Température moyenne	Augmentation forte	+0.37°C/décennie	Augmentation forte	+1.6 à 1.9°C en 2050 +2.0 à 3.9°C en 2100	Forte
Température maximale	Augmentation forte	+0.44°C/décennie	Augmentation forte	+1.7 à 1.9°C en 2050 +2.1 à 3.9°C en 2100	Forte

Table 17 : Synthèse des évolutions des variables climatiques

Les projections d'extrêmes climatiques indiquent une recrudescence des phénomènes de sécheresses en fréquence et en intensité, en particulier dans le scénario RCP 8.5. Les vagues de chaleur pourraient voir leur nombre multiplié par 7. Les vagues de froid et la durée des périodes humides, quant à elles, diminueraient. Les événements de pluie fortes et extrêmes diminueraient dans le Nord du pays mais pourraient augmenter dans le Centre, le Sud et l'Ouest en fonction du type d'événements considérés.

Les principales évolutions observées et futures décrites dans ce chapitre sont synthétisées dans le tableau 18 pour les indicateurs climatiques.

Indicateurs climatiques	Evolution actuelle	Commentaires	Evolution attendue	Commentaires	Concordance des modèles
-------------------------	--------------------	--------------	--------------------	--------------	-------------------------

Nombre maximum de jours consécutifs humides	Augmentation très faible	Tendance non significative	Diminution faible	Changement non significatif en 2050 -6 à -12% en 2100	Moyenne en 2100
Nombre maximum de jours consécutifs secs	Diminution très faible	Tendance non significative	Augmentation moyenne	Changement non significatif en 2050+13 à +31% en 2100	Moyenne à forte en 2100
Nombre de jours de précipitations > 10mm	Stable	Pas de tendance	Diminution faible	Changement non significatif en 2050-7 à -15% en 2100 pouvant atteindre 18% localement	Moyenne en 2100
Nombre de jours de précipitations > 20mm	Stable	Pas de tendance	Changement contrasté	Changement non significatif en 2050 En 2100 : - diminution pouvant atteindre -30% localement dans les zones humides et subhumides - légère augmentation dans certaines zones au Sud, à l'Ouest et au Centre du pays	Moyenne en 2100
Nombre de jours de précipitations > 40mm	Stable	Pas de tendance	Indéterminée	Incapacité des modèles à représenter ce phénomène	Faible
Nombre de jours de précipitations > 70mm	Augmentation très faible	+0.01 jour /an	Indéterminée	Incapacité des modèles à représenter ce phénomène	Faible
Nombre de jours de canicule	Augmentation forte	+0,58 jour / an	Augmentation très forte	Multiplication par 3 en 2050 Multiplication par un facteur 4 à 7 en 2100	Forte en 2100
Nombre de jours de vague de froid	Forte diminution	-0.21 jours / an	Forte diminution	-61 à -70% en 2050 -71% à -79% en 2100	Forte en 2100

Table 18 : Synthèse des évolutions des indicateurs climatiques

Les principales évolutions observées et futures décrites dans ce chapitre sont synthétisées dans le tableau 19 pour les indicateurs agroclimatiques

Indicateurs agroclimatiques	Evolution actuelle	Commentaires	Evolution attendue
ETP	Augmentation forte	+ 11,3 mm / décennie	à venir en phase 2
Bilan hydrique	Stable	Pas de tendance significative détectée	
Longueur de la période de croissance	Stable	- 2,7 jours / décennie, mais non significatif	
Date de montaison du blé	Diminution forte	- 2,8 jours / décennie	
Date de maturation du blé	Diminution forte	- 3,5 jours / décennie	
Nombre de jours échaudants	Augmentation forte	+ 3 jours / décennie	
Nombre de jours de gel annuels	Diminution moyenne	- 0,55 jours / décennie	
Nombre de jours de gel printaniers	Stable	Pas de tendance significative détectée	
Nombre de jours de gel fort annuels	Stable	Pas de tendance significative détectée	
Quantité de portions de froid	Diminution forte	- 5,1 portions / décennie	
Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier	Indéterminée	+ 1,2 jour / décennie, mais faible significativité	
Nombre de jours de chaleur extrême	Augmentation forte	+ 1,5 jour / décennie	
IRP	Stable	+ 1,3 point / décennie, mais non significatif	
Nombre de jours entre 2 pluies efficaces	Stable	Pas de tendance significative détectée	

Table 19 : Synthèse des évolutions des indicateurs agroclimatiques

III. Impacts actuels du changement climatique sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Tunisie

III.1 Changement climatique et sécurité alimentaire

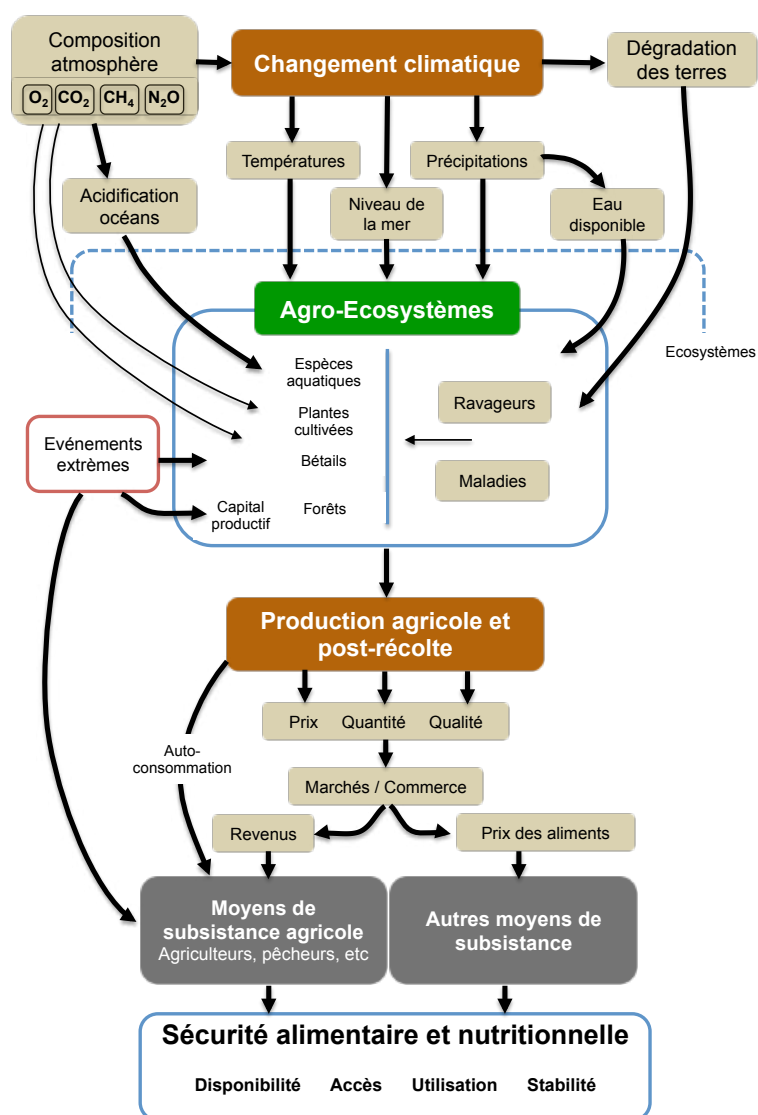
III.1.1 Rappels conceptuels

Le système alimentaire englobe toutes les activités et tous les acteurs de la production, du transport, de la fabrication, de la vente au détail, de la consommation alimentaire y compris le gaspillage, ainsi que leurs effets sur la nutrition, la santé et le bien-être, ainsi que sur l'environnement. Le changement climatique a des interactions complexes avec les systèmes alimentaires et sur la disponibilité, l'accès, l'utilisation et la stabilité des aliments, qui sont les piliers de la sécurité alimentaire (Voir définition au chapitre I).

Bien que le concept de la sécurité alimentaire soit clair, il n'est pas facile de la mesurer dans toutes ses dimensions. Il existe de nombreuses méthodes pour évaluer l'insécurité alimentaire à différentes échelles spatiales (mondial, régional, national, territoire, ménage, individu) et temporelles (court, moyen et long terme).

Les liens entre le système climatique, système alimentaire, les écosystèmes (terre, eau et océans) déterminent la sécurité alimentaire. Les mesures d'adaptation peuvent aider à réduire les impacts négatifs du changement climatique sur le système alimentaire et les écosystèmes. Les mesures d'atténuation peuvent réduire les émissions de GES provenant du système alimentaire et des écosystèmes (GIEC, 2019).

Figure 50 : Liens entre changement climatique et sécurité alimentaire (FAO, 2017)



III.1.2 Les principaux aléas climatiques en lien avec la sécurité alimentaire

Le rapport spécial sur le changement climatique et les terres du GIEC²³ (2019) indique que les changements climatiques observés ont déjà une incidence sur la sécurité alimentaire en raison de la hausse des températures, de la modification des régimes de précipitations et de la fréquence accrue de certains événements extrêmes. Des études séparant le changement climatique des autres facteurs affectant les rendements des cultures ont montré que les rendements de certaines cultures (par exemple, le maïs et le blé) dans de nombreuses régions de basse latitude ont été affectés négativement par les changements climatiques observés. Le réchauffement aggravé par la sécheresse a eu d'importants effets négatifs sur les rendements dans certaines parties de la Méditerranée. Le changement climatique affecte la sécurité alimentaire dans les zones arides, en particulier celles d'Afrique, ainsi que dans les régions de haute montagne d'Asie et d'Amérique du Sud.

Les changements climatiques devraient avoir un impact négatif sur les quatre piliers de la sécurité alimentaire - disponibilité, accès, utilisation et stabilité - et leurs interactions (FAO et al. 2018). Les modèles économiques mondiaux prévoient une hausse du prix des céréales qui pourrait atteindre 30% en 2050, en raison du changement climatique (RCP 6.0), ce qui aurait un impact sur les consommateurs du monde entier du fait de la hausse des prix des denrées alimentaires, les pays et ménages à faible revenu étant particulièrement à risque. Face aux phénomènes extrêmes et aux interconnexions croissantes, les risques de perturbation du système alimentaire augmentent.

La vulnérabilité des systèmes pastoraux au changement climatique est très élevée. Le pastoralisme est pratiqué dans plus de 75% des pays par 200 à 500 millions de personnes, parmi lesquelles des communautés nomades, des éleveurs transhumants et des agro-pasteurs. Les impacts sur les systèmes pastoraux en Afrique incluent la baisse de productivité des pâturages et des animaux, la détérioration de la fonction de reproduction et la perte de biodiversité. La vulnérabilité des systèmes pastoraux est exacerbée par des facteurs non climatiques (appropriation privée de l'espace, sédentarisation, effondrement des communs, espèces envahissantes, manque de marchés et conflits).

Pour une adaptation et une atténuation dans l'ensemble du système alimentaire, des conditions favorables doivent être créées par le biais de politiques, de marchés, d'institutions et d'une gouvernance appropriée. Pour l'adaptation, la résilience aux événements extrêmes croissants peut être augmentée grâce à des mécanismes de partage des risques notamment l'assurance. Sans l'inclusion de réponses globales du système alimentaire dans les politiques plus larges sur le changement climatique, les potentiels d'atténuation et d'adaptation ne seront pas réalisés et la sécurité alimentaire sera compromise.

III.1.3 Impacts différenciés du changement climatique sur les hommes et sur les femmes

La sécurité alimentaire et le changement climatique ont de fortes dimensions liées au genre et à l'équité. Dans le monde entier, les femmes jouent un rôle clé dans la sécurité alimentaire, bien qu'il existe des différences régionales. Les impacts du changement climatique varient selon les groupes sociaux, en fonction de l'âge, de l'ethnie, du sexe, de la richesse et de la classe. Les phénomènes climatiques extrêmes ont des répercussions immédiates et à long terme sur les moyens de subsistance des communautés pauvres et vulnérables, ce qui contribue à accroître les risques d'insécurité alimentaire, ce qui peut être un facteur de stress

²³ <https://www.ipcc.ch/srccl/>

supplémentaire pour les migrations internes et externes. L'autonomisation des femmes et les approches de prise de décision fondées sur les droits peuvent créer des synergies entre la sécurité alimentaire, l'adaptation et l'atténuation des ménages.

À l'échelle mondiale, les femmes jouent un rôle clé dans la sécurité alimentaire et les quatre piliers de la sécurité alimentaire ont une forte dimension de genre (Thompson 2018). En termes de disponibilité alimentaire, les femmes ont généralement moins accès aux ressources productives, y compris à la terre, et donc à une moindre capacité de production alimentaire (encadré 11 du chapitre 7 du chapitre 7). En ce qui concerne l'accès à la nourriture, les normes sexospécifiques dans la manière dont la nourriture est divisée au moment des repas peuvent conduire à des portions plus réduites pour les femmes et les filles.

L'inégalité des femmes au sein du ménage limite leur capacité à acheter de la nourriture ; les limitations comprennent également le manque de mobilité des femmes ayant une incidence sur les déplacements vers le marché et le manque de prise de décision au sein du ménage (Ongoro et Ogara 2012 ; Mason et al. 2017 ; Riley et Dodson 2014). En termes d'utilisation des aliments, les hommes, les femmes, les enfants et les personnes âgées ont des besoins nutritionnels différents (par exemple pendant la grossesse ou l'allaitement).

En termes de stabilité alimentaire, les femmes risquent davantage d'être touchées de manière disproportionnée par les flambées des prix (Vellakkal et al. 2015 ; Arndt et al. 2016 ; Hossain et Green 2011 ; Darnton-Hill et Cogill 2010 ; Cohen et Garrett 2010 ; Kumar et Quisumbing 2013) parce que lorsque la nourriture est rare, les femmes réduisent leur consommation alimentaire par rapport aux autres membres de la famille, bien que ces normes varient en fonction de l'âge, de l'ethnie, de la culture, de la région et de la position sociale, ainsi que de la localisation dans les zones rurales ou urbaines (Arora-Jonsson 2011). ; Goh 2012 ; Niehof 2016 ; Ongoro et Ogara 2012).

Les impacts différenciés, la vulnérabilité, la perception des risques, les comportements et les stratégies de gestion du changement climatique liés à la sécurité alimentaire découlent de normes culturelles liées au genre. C'est-à-dire les comportements, tâches et responsabilités qu'une société définit comme « masculins » ou « féminins », ainsi que l'accès différencié aux ressources selon le genre (Paris et Rola-Rubzen 2018 ; Aberman et Tirado 2014 ; Lebel et al. 2014 ; Bee 2016). Dans de nombreuses zones rurales, les femmes cultivent souvent la plupart des cultures pour la consommation domestique et sont principalement responsables de l'entreposage, de la transformation et de la préparation des aliments ; manutention du bétail ; ramasser de la nourriture, du fourrage et du bois de feu ; gérer l'approvisionnement en eau domestique ; et fournir la majeure partie de la main-d'œuvre nécessaire aux activités post-récolte (FAO 2011a).

Elles sont principalement touchées par des difficultés accrues, des implications pour les rôles du ménage et des responsabilités organisationnelles ultérieures (Boetto et McKinnon 2013 ; Jost et al. 2016). La pénurie d'eau peut toucher particulièrement les femmes, car elles ont besoin de plus de temps et d'énergie pour aller chercher de l'eau, où elles peuvent être davantage exposées à la violence physique et sexuelle (Sommer et al. 2015 ; Aipira et al. 2017). Ils peuvent être forcés d'utiliser de l'eau insalubre dans le ménage, ce qui augmente le risque de maladies d'origine hydrique (Parikh 2009). Les changements climatiques ont également des impacts différenciés selon le sexe sur la sécurité alimentaire des éleveurs

(McKune et al. 2015 ; Ongoro et Ogara 2012 ; Fratkin et al. 2004). A l'instar des femmes, les impacts du changement climatique sont plus forts pour d'autres populations vulnérables et pauvres, notamment les jeunes ruraux, les personnes âgées, les personnes handicapées.

III.2 Impacts sur la disponibilité alimentaire

Les effets avérés et potentiels de la variabilité et du changement climatiques sur la production agricole sont assez largement documentés en Tunisie. Cette section ne vise donc pas à reproduire la littérature disponible sur le sujet qui, par ailleurs, a été en grande partie synthétisée dans la Troisième Communication Nationale (2018), mais cherche avant tout à combler le manque de quantification à l'échelle nationale de la relation entre climat et rendements agricoles et pastoraux. Dans cette partie, nous présenterons donc les résultats des travaux entrepris par les consultants pour construire des modèles statistiques d'impact sur la disponibilité alimentaire appliqués aux trois productions ciblées par l'étude. Ces modèles reposent sur des fonctions de rendements liant données climatiques issues du Chapitre 2 et données de productivité des cultures et de la biomasse pastorale émanant des statistiques agricoles nationales. Ces relations permettent d'expliquer certains effets déjà constatés pour les 3 filières et serviront en Phase 2 à modéliser l'impact attendu du changement climatique en appliquant les conditions climatiques futures présentées au chapitre 2 aux fonctions de rendement ainsi établies.

La production de modèles intégrant les données d'irrigation nouvellement acquises s'insère dans une démarche d'amélioration de la qualité prédictive, pour dégager des tendances d'évolution plus nettes face au changement climatique. Ainsi, les nouveaux modèles produits ne s'opposent pas aux modèles déjà construits mais viennent confirmer, infirmer ou nuancer les premiers résultats obtenus. L'objectif général n'est pas de prédire précisément quels seront les rendements futurs, mais bien de dégager une tendance générale. Nous avons donc cherché un juste compromis entre robustesse de la modélisation et coût demandé (dans lequel s'intègre la disponibilité des données). L'apport de données nouvelles a posteriori a permis d'accroître la qualité du modèle à moindre coût. Le schéma suivant présente une vue d'ensemble de la rationalité des modélisations pour les céréales, l'olivier et les parcours.

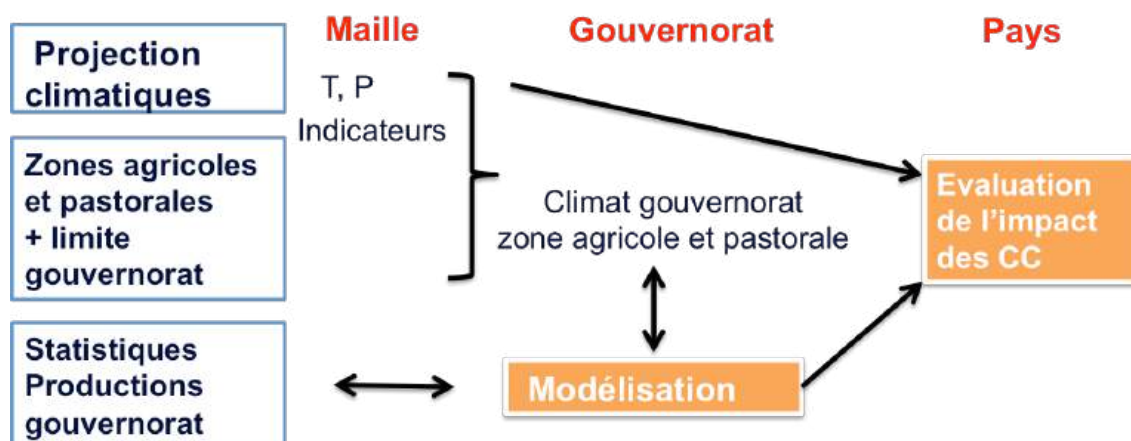


Figure 51 : Démarche générale sur la quantification des impacts potentiels du changement climatique sur les systèmes agro-sylvo-pastoraux en Tunisie

III.2.1 Impacts sur la céréaliculture

L'impact sur la disponibilité en céréales (production nationale) a été examiné en analysant les interactions et les impacts des facteurs climatiques et les rendements des céréales à l'échelle des gouvernorats de 1982 à 2018.

III.2.1.1 Analyse de l'évolution de la production céréalière

A l'échelle nationale, la production des principales céréales (blé dur, blé tendre, orge et triticales) est estimée à 15.7 millions de quintaux (Mqx) durant la période d'étude. Cette production est caractérisée en Tunisie par sa grande variabilité d'une année à l'autre, en raison de la variabilité pluviométrique (un coefficient de variation de la production de l'ordre de 44% et des extrêmes qui ont atteint un minimum de 2.9 Mqx en 1988 et un maximum de 29 Mqx en 2003). Le rendement moyen en céréales durant cette même période était de l'ordre 10.8 qx/ha, (15,4 qx/ha pour le blé tendre ; 12,3 qx/ha pour le blé dur et 7,5 qx/ha pour l'orge).

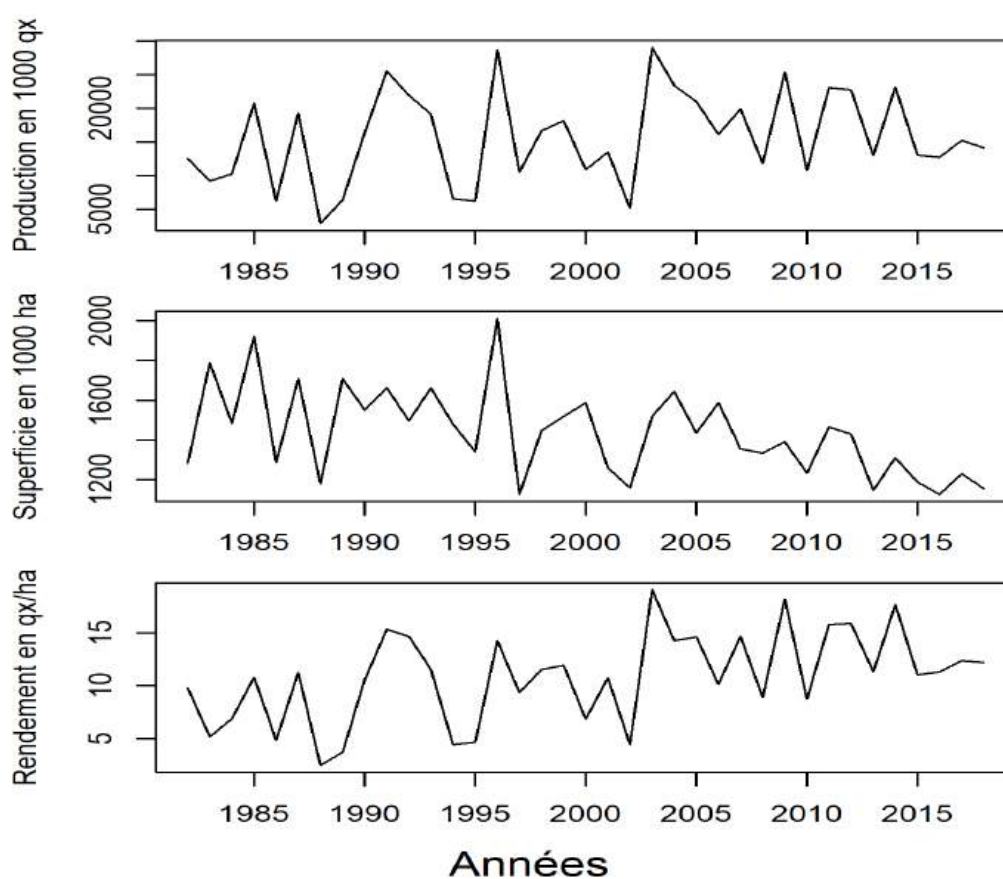


Figure 52 : Variation de la production, des superficies emblavées et du rendement des céréales en Tunisie 1982-2018

Le blé dur est la céréale la plus produite représentant plus que la moitié de la production (56,7%), suivie par l'orge 24,8% puis le blé tendre 15% et 3% le triticales. En comparant la période 1982-1999 à celle de 2000-2018, des tendances temporelles sur les productions on observe une augmentation de 19% - de 14.3 à 17 Mqx.

Pour les mêmes périodes, les superficies de production ont baissé de 200 mille ha soit (12%) et les rendements ont augmenté en moyenne de 7,1 à 12,7 qx/ha soit plus 80%.

L'évolution temporelle de la production du blé dur montre une variabilité interannuelle de 41% avec un minimum de 1.7 et un maximum de 17 Mqx. Pour les productions de blé tendre, d'orge et de triticales, des variations plus importantes sont détectées (avec des coefficients de variations de l'ordre de 46%, 56%, 76% respectivement, voir Annexe 12)²⁴.

En termes de répartition spatiale, les gouvernorats de Jendouba, Bizerte et Béja recevant plus que 500 mm de pluie concentrent plus que 47 et 44% de la production du blé dur et blé tendre, 13% d'orge et 70% du triticales. Les gouvernorats recevant entre 400 et 500 mm de pluie Siliana, Zaghouan, Ariana, Tunis, Nabeul, Ben Arous, Le Kef et Manouba produisent plus que 45% du blé dur et 48% du blé tendre, et plus que 27% du triticales et 69% d'orge. Les régions du centre produisent seulement 7% de blé et 12.5% d'orge, alors que le sud tunisien produit 5% d'orge.

Il est à noter que les gouvernorats de (Bizerte, Béja, Jendouba et de Nabeul montrent les coefficients de variations des productions les plus faibles (inférieures à 40%) et que les céréales sont essentiellement conduites en pluvial, un focus sur les évolutions des productions, des rendements et des superficies de ces gouvernorats de Béja, Bizerte et Jendouba est présenté en annexe 11. Dans la partie modélisation des rendements, nous analysons uniquement les rendements pluviaux. Il est à rappeler aussi que les superficies de céréales en irriguées ont une tendance à la hausse (Annexe 12). Fort est de constater que la production des céréales irriguées représente près de 12% de la production totale (chiffre de ces dernières années). Aussi la production de blé dans les zones à un apport pluviométrique inférieur à 300 mm est assurée par l'irrigation (exemple, le gouvernorat de Kairouan couvre 112.000 ha de céréales dont 20.000 ha en céréales irriguées).

III.2.1.2 Identification des variables climatiques pertinentes

Le climat de la zone agricole est moyenné pour chaque gouvernorat et en utilisant un masque agricole (les données climatiques correspondent aux espaces réellement cultivés). Nous disposons de données journalières de pluie et de température que nous avons agrégées, à l'échelle de l'année agricole (de septembre à août), du mois et de la saison. La température est exprimée en température moyenne ou en somme de degrés jours (DJ) (les degrés supérieurs à 0 pour les céréales). L'évapotranspiration potentielle a été calculée à l'échelle de la journée à partir de la température. Le calcul de bilan hydrique climatique a été estimé par P-0.5 ETP, il a été calculé mensuellement et un indicateur de la longueur du cycle (growth duration length ou gdl) a été calculé pour chaque mois et agrégé à l'échelle de l'année, le nombre de jours du mois sont cumulés lorsque le bilan hydrique est positif. La liste des indicateurs climatiques calculés et utilisés pour la modélisation des rendements des céréales en pluvial est présentée dans l'Annexe 12.

²⁴ L'analyse statistique de l'évolution historique de la production nationale pour les quatre céréales n'a montré la présence d'une tendance que pour le blé dur. L'effet Trend n'est pas statistiquement significatif pour les trois autres céréales où en moyenne une augmentation annuelle de 1.6% est observée.

La pluviométrie moyenne durant la période d'étude a été de 346 mm/an à l'échelle du pays. Elle a montré une fluctuation au cours des années sans une tendance temporelle particulière même si la pluie moyenne de la période 2000-2018 est de 4% plus importante. Cette augmentation a eu lieu majoritairement entre juin et septembre soit hors période de culture des céréales. L'augmentation de la pluie en fonction du temps n'a pas été statistiquement significative (Annexe 12). Un tableau détaillant les pluies annuelles et saisonnières à l'échelle des gouvernorats est présenté aussi à l'annexe 11. Cependant la température a montré une tendance à l'augmentation de l'ordre de 0.8°C/jour à partir de l'année 2000. 18° de 1982-1999 et 18.8° de 2000 à 2018 soit 4% d'augmentation. L'analyse de la température en fonction du temps a montré une tendance significative avec 0.19 % d'augmentation moyenne par an. La tendance à l'augmentation a été observée pour toute l'année mais aussi pour la saison de culture.

III.2.1.3 Modèle de prévision des rendements de céréales en pluvial

Un exercice de modélisation par la technique des Moindres Carrés Ordinaire (MCO) de la variabilité du rendement des céréales conduites en pluvial en fonction des facteurs climatiques (pluie, degrés jours, ETP et gdl) a été réalisé²⁵.

Une analyse préliminaire de la stationnarité des rendements céréaliers en pluvial a été réalisée par l'application des tests Dickey-Fuller Augmenté (ADF). Le jeu de données testé considère les rendements annuels pour chaque gouvernorat. Cette analyse est destinée à modéliser les rendements des gouvernorats ce qui est différent d'une analyse spécifique au rendement national (qui devait tenir compte des superficies). L'application des tests ADF pour l'analyse de stationnarité montre que les différentes séries de rendement des céréales (blé dur, blé tendre et orge) sont stationnaires (Les p-value obtenus sont inférieurs aux niveaux de signification usuels et permettent de rejeter l'hypothèse nulle de non-stationnarité).

Pour l'établissement d'une première liste de combinaisons de facteurs explicatifs des rendements, une analyse de corrélation bivariée a été conduite entre les rendements de chacune des céréales et les variables climatiques pertinentes (voir Annexe 12).

Ainsi, onze modèles de régression multiple ont été présélectionnés et estimés afin de retenir et choisir la meilleure spécification en se basant principalement sur la minimisation des critères d'information d'Akaike et de Schwarz (en relation avec la minimisation des variances résiduelles) pour la période 1982-2018.

Fort est de rappeler que la nature des séries statistiques disponibles ne permet pas de tenir compte de la variabilité des paquets techniques et des conduites culturales de chacune des céréales considérées (variétés, dates de semis de chacune des variétés, types de sols, assolements, ...). Cet exercice de prévision est limité aux variables climatiques disponibles pour les scénarios futurs.

²⁵ Les superficies et les productions des céréales conduites en irrigué par gouvernorat proviennent de la DGPA. Ces données ont permis l'estimation des rendements en pluvial.

Les détails concernant l'approche séquentielle pour la sélection des modèles de prévision des rendements des céréales en pluvial en fonction des facteurs climatiques sont présentés dans l'Annexe 12. Les trois modèles retenus peuvent s'écrire comme suit :

$$\text{Rendement du blé dur} = -13,713^{***} - 0,006.ETP_FMAM + 0,048.ETP_ONDJ^{**} + 0,025.gdl^{***} + 0,032.PJ_FMAM^{***} + 0,045.PJ_ONDJ^{***}$$

Statistiques d'évaluation des prédictions

Erreur Moyenne : 2,5393e-015

Racine de la moyenne des erreurs au carré : 4,767

Erreur absolue moyenne : 3,688

$$\text{Rendement du blé tendre} = -11,709^{**} - 0,012.ETP_FMAM + 0,038.ETP_ONDJ^{**} + 0,013.gdl^{**} + 0,050.PJ_FMAM^{***} + 0,049.PJ_ONDJ^{***}$$

Statistiques d'évaluation des prédictions

Erreur Moyenne : 8,8915e-015

Racine de la moyenne des erreurs au carré : 5,2241

Erreur absolue moyenne : 4,0154

$$\text{Rendement de l'orge} = -2,093 - 0,051.ETP_FMAM^{***} + 0,081.ETP_ONDJ^{***} + 0,022.gdl^{***} + 0,019.PJ_FMAM^{***} + 0,027.PJ_ONDJ^{***}$$

Statistiques d'évaluation des prédictions

Erreur Moyenne : 2,0826e-014

Racine de la moyenne des erreurs au carré : 3,7852

Erreur absolue moyenne : 2,9806

Ces formulations montrent notamment une relation positive entre les rendements et l'indicateur de la longueur du cycle de culture et aussi une relation positive entre les rendements et les pluies automnales et printanières. Les prévisions obtenues à partir de ces trois ajustements linéaires sont présentées dans la figure qui suit.

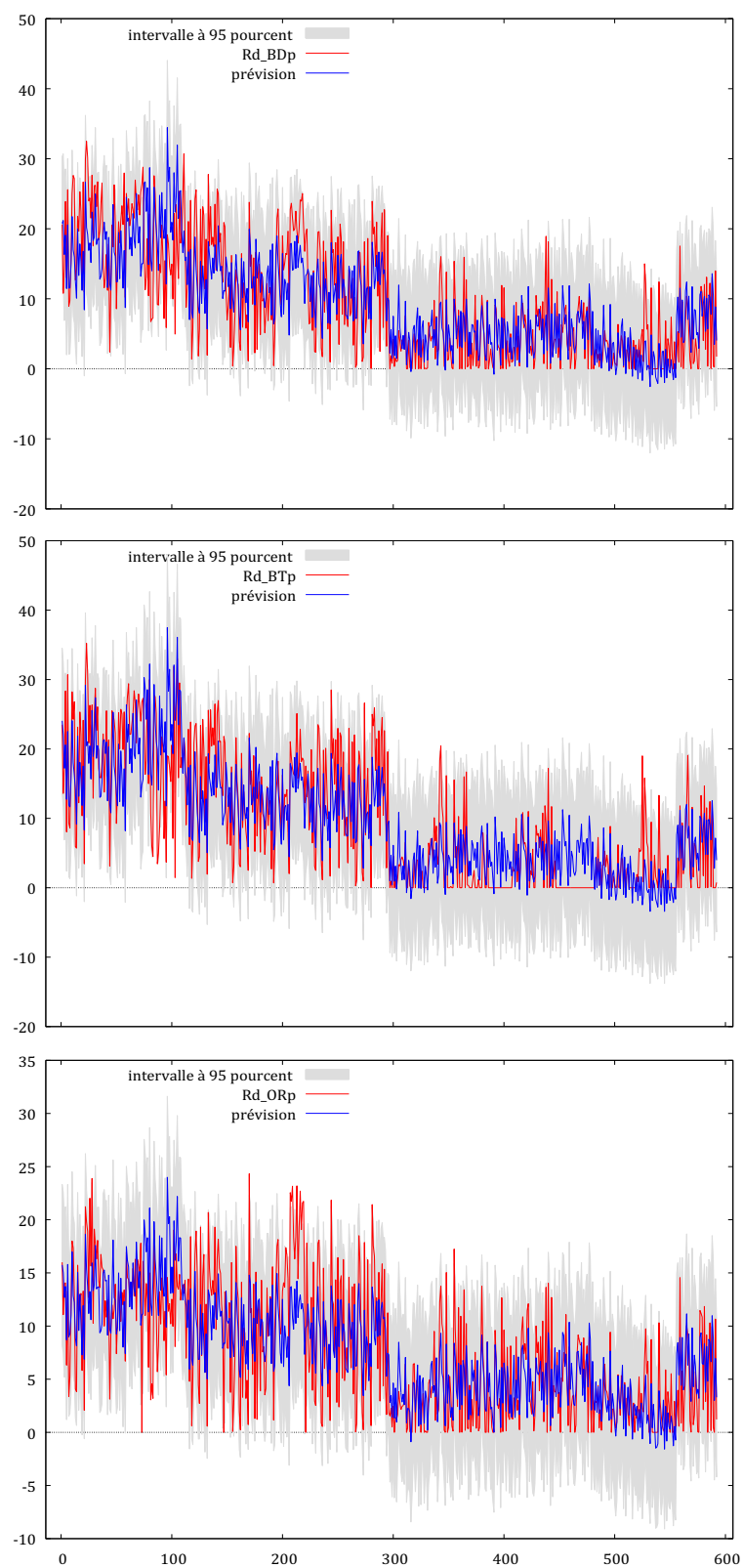


Figure 53: Premiers résultats des prévisions des rendements du blé dur, du blé tendre et de l'orge

D'autre part, une série d'estimation des rendements céréaliers ont été réalisés par la procédure « Stepwise » (pas à pas). Le niveau de probabilité pour l'entrée de variables et le maintien dans chaque modèle est fixé à $\alpha = 5\%$. Les ajustements des modèles obtenus sont de qualités variables, en fonction des Gouvernorats et des trois céréales avec des coefficients de détermination (R^2), variant de 0,157 à 0,665 (voir Annexe 12).

Ces estimations permettent de dégager un premier constat : Parmi les indicateurs utilisés, le bilan hydrique climatique (BH_an=P-0.5 ETP) est un indicateur clé pour la prévision des rendements du blé dur, blé tendre et de l'orge avec des corrélations fortes et positives de l'ordre de 0,6750, 0,7552 et 0,6308 respectivement avec les rendements de blé dur, blé et orge (Voir annexe 12). La modélisation n'a pas pu être affinée spatialement afin de tenir compte des étages bioclimatiques vue la limitation les données de rendement. L'échelle spatiale la plus fine pour laquelle les données de rendement sont disponibles est celle du gouvernorat.

III.2.2 Impacts sur l'oléiculture

III.2.2.1 Analyse de l'évolution de la production

Pour l'étude de l'impact du changement climatique sur la productivité de l'olivier à huile, nous avons disposés de deux jeux de données statistiques pour les superficies et les productions.

Le premier jeu de données est celui publié par le MARHP et concerne 24 gouvernorats (dans un but d'harmonisation, les données des gouvernorats de l'Ariana, de Tunis, de Ben Arous et de Manouba ont été regroupées pour constituer la Zone du Grand Tunis). Ces données ne sont disponibles que pour la période 2006-2017. Un deuxième jeu de données a été collecté (artisanalement) auprès de l'Office des Terres Domaniales (OTD) et concerne 28 agro-combinats répartis sur 18 gouvernorats.

Même si ces dernières données couvrent la période 1995-2017 et permettent de capter une certaine variabilité spatiale, la part de la production de ces agro-combinats ne représente en moyenne que 2,1% de la production nationale de l'olivier à huile en Tunisie. Ainsi, l'exercice de modélisation a été réalisée principalement en se basant sur les données nationales²⁶.

A l'échelle nationale, la production de l'olive à huile est estimée à 964 mille T/an durant la période d'étude (moyenne de la période 2006-2017). La production nationale s'inscrit dans une faible tendance à la baisse mais elle est caractérisée par une forte variation annuelle inhérente à la nature de la culture réalisée principalement en sec et dépend donc de la pluviométrie (le coefficient de variation est de 40% avec un maximum de 1,5 million de tonnes produites en 2015 et un minimum de 376 mille tonnes en 2014, voir les annexes pour plus de détails).

²⁶ Les principales statistiques descriptives de ces deux jeux de données sont présentées dans les tableaux des annexes **. En plus des données DGEDA actuellement disponibles, des séries temporelles plus longues sont en cours de collecte auprès de la DGPA.

Selon les derniers chiffres officiels disponibles pour 2017, les oliveraies tunisiennes s'étendent sur 1, millions d'hectares (une augmentation de la superficie de l'ordre de 16% depuis 2006 et de 25% depuis 1996)²⁷.

En Tunisie, le rendement moyen en olives à huile est estimé à 0,63 tonne/ha en moyenne pour la période 2006-2017 (avec un max. de 0,94 tonne/ha en 2015 et un min. de 0,24 tonne/ha en 2014).

Il existe une grande disparité en termes de répartition géographique de la production. Ainsi, les gouvernorats de Sfax, Sidi Bouzid et Kairouan concentrent respectivement 21,4%, 10,5% et 9,7% de la production nationale (moyenne de la période 2006-17).

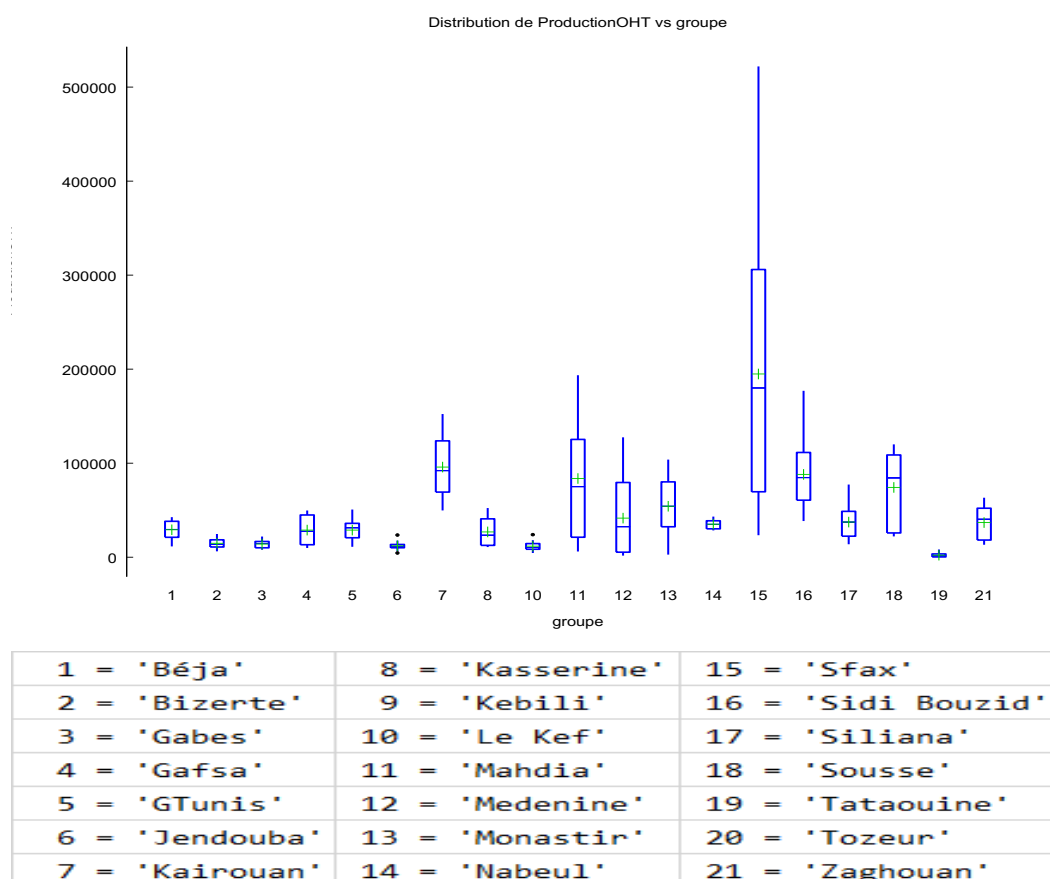


Figure 54 : Répartition de la production par gouvernorat

III.2.2.2 Identification des variables climatiques pertinentes

Le climat de la zone arboricole est moyenné pour chaque gouvernorat considéré. Nous disposons de données journalières de pluie et de température que nous avons agrégées, à l'échelle de l'année hydrologique (de septembre à août), de la saison, de l'année et du mois.

²⁷ Les oliviers sont présents dans toutes les régions de la Tunisie. Au Nord et dans certaines zones du Centre, ils sont cultivés en association avec d'autres cultures annuelles (céréales ou arbres fruitiers tels que les agrumes, la vigne ou les amandes), tandis qu'au Sud, ils sont exclusivement cultivés en monoculture. Le Centre de la Tunisie représente près de 65% de la superficie oléicole

La température est exprimée en somme de degrés jours (DJ) (les températures supérieures à 0). L'évapotranspiration potentielle a été calculée à l'échelle de la journée à partir de la température.

Le calcul du bilan hydrique climatique (BH_an) a été estimé également selon la formule P-0.5 ETP.

Pour les indicateurs de besoin en froid de la floraison de l'olivier, le nombre de jours pour lesquels la température moyenne est inférieure à 12 degrés ($<12^{\circ}\text{C}$) a été estimé pour les trois saisons : novembre-décembre-janvier (DJ12ni_NDJ) ; novembre-décembre-janvier-février (DJ12ni_NDJF) et novembre-décembre-janvier-février-mars (DJ12ni_NDJFM).

Le nombre de jours pour lesquels la température maximale est supérieure à 40 degrés ($>40^{\circ}\text{C}$) a été calculé (DJ40ns) afin de tenir compte de l'arrêt potentiel de la croissance et du dessèchement des fruits.

La Figure 57 synthétise l'évolution des principaux indicateurs (DJ, DJ12ni_NDJFM et DJ40ns) en fonction du temps.

Ainsi, la somme annuelle de degrés jours (DJ) présente une tendance à la hausse malgré une évolution en dents de scie. On constate que le nombre de jours pour lesquels la température moyenne est inférieure à 12 degrés pendant les mois de novembre-décembre-janvier-février-mars (DJ12ni_NDJFM) a rarement dépassé les 30 jours depuis 2010 indiquant des hivers plus doux. Finalement, le nombre de jours pour lesquels la température maximale est supérieure à 40 degrés (DJ40ns_anH) ne semble pas montrer une grande variabilité dans son évolution. Les détails des statistiques descriptives par gouvernorat de l'ensemble des variables climatiques sont présentés dans l'Annexe**.

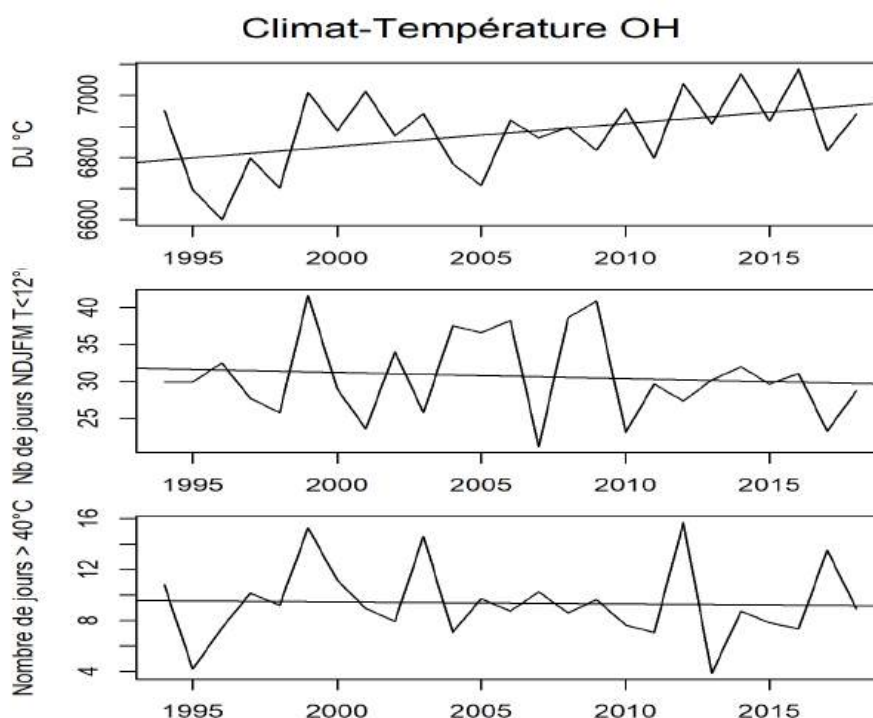


Figure 55 : Evolution des principaux indicateurs (DJ, DJ12ni_NDJFM et DJ40ns)

Il faut rappeler que les indicateurs climatiques présentent une certaine variabilité spatiale. Les détails statistiques concernant l'ampleur de cette variabilité sont présentés dans les annexes.

Ce premier examen des données climatiques permet de poser des hypothèses relatives à l'impact des facteurs climatiques sur la productivité de l'olive durant la période 1995-2017 :

- En Tunisie, les hivers sont de plus en plus doux ce qui pourrait impacter négativement la floraison sur les plans quantitatif et qualitatif. Une rupture de la tendance de l'indicateur DJ12ni_NDJFM (nombre de jours pour lesquels la température moyenne est inférieure à 12 degrés pendant les mois de novembre-décembre-janvier-février-mars) a été observée à partir de 2010 ;
- Le bilan hydrique (indiquant le niveau de la sécheresse agricole) a montré une légère tendance à la baisse pendant la saison printanière ;
- La température exprimée en somme de degrés jours (DJ) a montré une tendance haussière alors que les schémas d'évolution du nombre de jours de températures extrêmes ($>40^{\circ}\text{C}$) et de la pluviométrie tendancielle ne semblent pas indiquer des mouvements particuliers.

L'exercice de modélisation de la variabilité du rendement de l'olive à huile en fonction des indicateurs climatiques (BH_an, PJ_an, PJ_J, PJ_F, PJ_M, PJ_Av, PJ_Ma, PJ_Jn, PJ_Jt, PJ_At, PJ_S, PJ_O, PJ_N, PJ_D, ETP_an, DJ40ns_anH, DJ_J, DJ_F, DJ_M, DJ_Av, DJ_Ma, DJ_Jn, DJ_Jt, DJ_At, DJ_S, DJ_O, DJ_N, DJ_D, DJ12ni_NDJ, DJ12ni_NDJF, DJ12ni_NDJFM) a été réalisé.

Pour cela, une démarche séquentielle a été adoptée dans la sélection des modèles afin de retenir et choisir la meilleure spécification. Ainsi dans une première étape, des indicateurs climatiques annuels ont été retenus pour l'explication du rendement des céréales à l'échelle nationale pour la période 2006-2017. Dans une deuxième étape, ces indicateurs ont été remplacés par des indicateurs infra annuels. Une « variable indicatrice » a été introduite afin de capter le phénomène d'alternance au niveau de la production. D'ailleurs une analyse graphique de la productivité de l'eau (rendement/pluie annuelle) confirme la présence de ce phénomène d'alternance à l'échelle nationale (Figure 57).

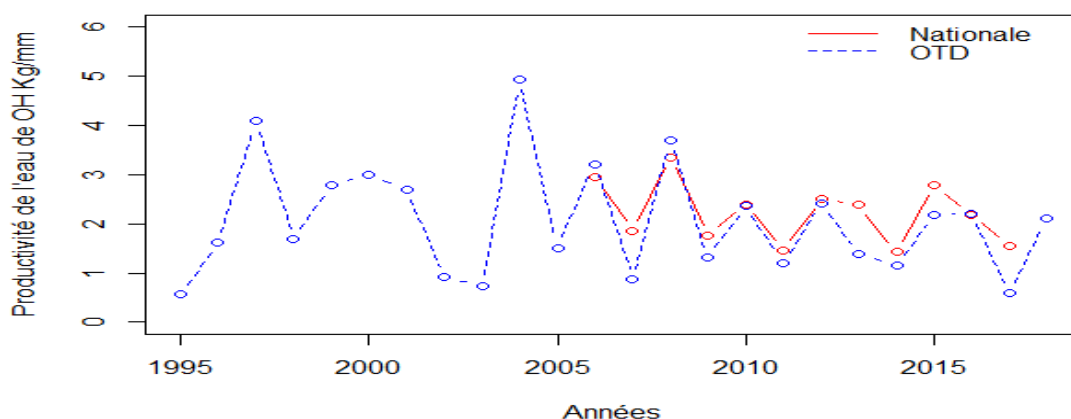


Figure 56 : Evolution comparée de la productivité brute de l'eau avec les données nationales et OTD

III.2.2.3 Modèles de prévision des rendements en olives

Comme il est d'usage, les critères d'information d'Akaike et de Schwarz (qui se basent sur la minimisation de la variance résiduelle et qui tiennent compte simultanément du nombre des facteurs explicatifs et de la taille de l'échantillon) ont été utilisés pour la sélection des modèles les plus appropriés. Le Tableau ** résume les deux modèles retenus pour cette phase de l'étude et qui permettent d'estimer le rendement des olives en fonction des facteurs climatiques (indicateurs annuels versus indicateurs infra annuels). Les détails des estimations sont présentés en Annexe 12.

Ainsi les deux premiers modèles retenus se présentent linéairement comme suit :

Modèle (9 Dummy)

$$\begin{aligned} \text{RdtNAT} = & \text{Constante} + 0,006 \text{ PJ_J}^{***} + 0,002 \text{ PJ_F} + 0,001 \text{ PJ_M} - 0,004 \text{ PJ_Av}^* - 0,009 \\ & \text{PJ_Ma}^{***} - 0,005 \text{ PJ_Jn} - 0,021 \text{ PJ_Jt}^* - 0,006 \text{ PJ_At} - 0,005 \text{ PJ_S}^{**} + 0,005 \text{ PJ_O}^{**} + 0,002 \\ & \text{PJ_N} - 0,004 \text{ PJ_D}^{***} + 0,001 \text{ DJ_J} - 0,002 \text{ DJ_F} + 0,000 \text{ DJ_M} - 0,004 \text{ DJ_Av}^{***} + 0,008 \\ & \text{DJ_Ma}^{***} - 0,001 \text{ DJ_Jn} - 0,005 \text{ DJ_Jt}^{**} - 0,004 \text{ DJ_At}^{***} - 0,005 \text{ DJ_S}^{***} - 0,002 \text{ DJ_O} + 0,000 \\ & \text{DJ_N} + 0,002 \text{ DJ_D} - 0,268 \text{ Dummy_Alternance}^{***} \end{aligned}$$

Note : * indique un seuil de significativité à 10% ; ** indique un seuil de significativité à 5% et *** indique un seuil de significativité à 1%.

Modèle (4 Dummy)

$$\begin{aligned} \text{Rdt_NAT} = & 1,442^{***} + 0,001 \text{ BH_an}^{***} - 0,023 \text{ DJ40ns_anH}^{***} - 0,003 \text{ DJ12ni_NDJF} \\ & - 0,163 \text{ Dummy_Alternance}^{***} \end{aligned}$$

La figure suivante présente à échelle de chaque gouvernorat les simulations des prévisions réalisées en se basant sur les estimations du modèle (9 Dummy).

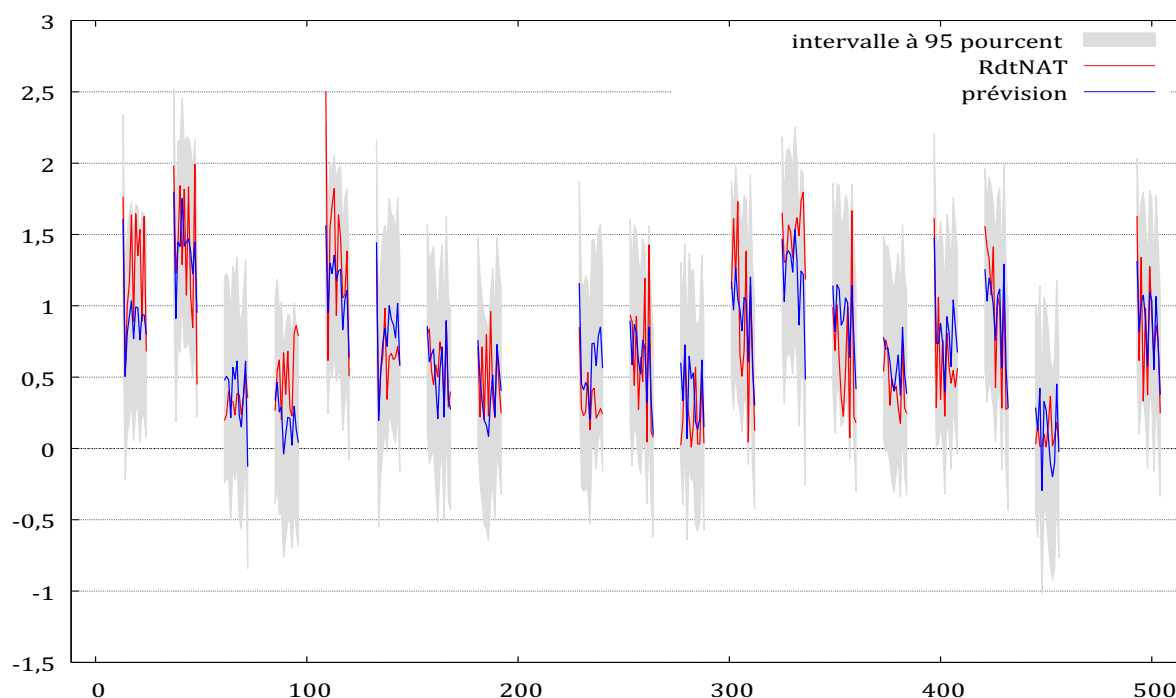


Figure 57 : Premiers résultats des prévisions de rendements d'olive à huile (modèle 9 Dummy)

Ces estimations permettent de dégager un premier constat :

Parmi les indicateurs utilisés, le bilan hydrique climatique, le nombre de jours où la température est supérieure à 40°C et l'alternance apparaissent comme les indicateurs les plus importants pour la prévision des rendements de l'olivier. L'indicateur des besoins en froid utilisé (nombre de jours où la température est <12°C) apparaît dans l'équation avec une moindre importance.

Il serait souhaitable de disposer d'une série de données statistiques plus longue concernant la production et la superficie des olives à huile en général. Il serait également utile d'obtenir des données sur la production et les superficies où l'olivier est conduit en irrigué. Ces informations permettront de perfectionner le modèle de prévision qui sera utilisé pour la simulation de l'impact des changements climatiques.

Les séries statistiques disponibles ne permettent pas de tenir compte de l'impact de certaines menaces et aléas climatiques, notamment sirocco et grêle. Cet exercice de prévision est limité aux variables climatiques disponibles pour les scénarios futurs.

III.2.3 Impacts sur les parcours et l'élevage

III.2.3.1 Analyse de l'évolution de la production fourragère

En Tunisie, les terrains de parcours couvrent environ 5,6 millions d'ha, dont 0,4 millions sont de type alfatier et près d'un million d'ha sont des parcours sous maquis, garrigues et forêts. On estime qu'environ la moitié de ces espaces sont des parcours collectifs, alors que les parcours domaniaux ne représentent qu'un pour cent de l'ensemble.

Les parcours collectifs et alfatiers sont situés dans leur majorité en zones semi-arides et arides du centre et du sud et constituent les principales ressources pastorales pour les populations se trouvant dans ces zones et dont l'activité d'élevage notamment extensif, constitue la principale source d'occupation et de revenu.

Les parcours forestiers sont essentiellement localisés dans le Nord et le Centre-ouest. L'inventaire pastoral distingue plusieurs catégories de parcours forestiers parmi lesquels : Les parcours sur maquis ; Les parcours sur garrigue ; Les parcours d'altitude (Dorsale et Hautes steppes) ; Les prairies et pelouses. L'état et le potentiel de chaque catégorie sont variables. La contribution des parcours forestiers au potentiel pastoral du pays est estimée à 430 millions d'UF soit 40% des ressources totales en année moyenne.²⁸

De tous les temps, les parcours ont joué et continuent à jouer un rôle primordial dans la durabilité des systèmes d'élevage pastoraux et dans le maintien de l'équilibre environnemental et l'économie rurale. Dans le cas des parcours sous forêts, ils constituent 59% de la valeur totale des biens et services du secteur qui a été évaluée en 2012 à 204 Millions de DT soit 0.3% du PIB²⁹.

Par ailleurs, si la forêt a bénéficié d'une politique volontariste de conservation et de reboisement dès les premières années de l'indépendance, les terrains de parcours ont subi, au contraire, une politique de mise en valeur inadaptée et contraire aux mesures de sauvegarde du couvert végétal naturel. En effet, les terrains de parcours, qu'ils soient

²⁸ FAO. 2010. Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 rapport national Tunisie Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Département des forêts. FRA2010/213. Rome, 2010.

²⁹ . DALY H, CROITORU L, TOUNSI K, ALOUI A, 2012 : Evaluation économique des biens et services des forêts tunisiennes. FAO., 2012 :

collectifs ou individuels, privés ou domaniaux, sous régime forestier ou non, font tous, de plus en plus, l'objet de défrichements et de changement d'affectation, de prélèvements abusifs "surpâturage" et d'appropriation de fait et même de droit par les déclassements à des fins d'attribution à titre privé. En conséquence, 37 % des zones forestières et pastorales du pays sont dégradées, tandis que 20 pour cent des terres de parcours ont été défrichées au cours des 35 dernières années³⁰.

Ils souffrent aussi et surtout d'une situation foncière peu claire, constamment reportée et rarement abordée avec les outils, mécanismes et moyens nécessaires et suffisants pour pouvoir l'apurer et ainsi libérer les initiatives individuelles et collectives motivées par le sentiment d'appropriation³¹. GIBON 1997, pense que les relations entre sociétés et territoires à travers l'activité pastorale étaient structurées collectivement ; il y a eu déstructuration sans apparition d'un ordre cohérent nouveau et une tendance dominante vers l'individualisation d'abord de l'espace puis de la décision. BADUEL P.R. (1984)³², a qualifié cette situation de "faux-collectif, voire de système bâtard". Il continue en précisant que "le dépérissement des institutions « traditionnelles » accompagnant la déstructuration des sociétés pastorales a engendré un vide que des institutions nouvelles n'ont pas comblé... L'intermédiaire institutionnel est obligatoire pour de multiples raisons, dont l'une des principales réside dans la propriété privée du bétail et l'usage collectif des parcours ». D'où à terme plus ou moins long deux solutions : ou la collectivisation du bétail ou la privatisation totale des parcours. En attendant l'une ou l'autre solution, il faut mettre en place une structure « qui disciplinerait la liberté liée à la propriété privée du bétail au profit de la préservation du bien collectif (sol et végétation) ».

L'extension de ce phénomène, dans le temps et dans l'espace et notamment après la révolution de 2011, a eu pour conséquence une réduction doublée d'une dégradation de plus en plus importante de la superficie pastorale, une réduction de la capacité productive de ces terrains de parcours, une perte de diversité biologique et donc un déséquilibre environnemental et une rupture de l'équilibre entre la production fourragère et les besoins alimentaires des troupeaux dont le nombre se multiplie par l'effet du commerce avec l'Algérie et la Libye voisines.

A ces éléments s'ajoutent les effets et les impacts sévères et structurels des changements climatiques sur ces espaces et écosystèmes marqués notamment par l'avancée de la désertification et les sécheresses récurrentes, ce qui rend le pastoralisme et les conditions de vie des populations qui en dépendent plus difficiles, pouvant avoir des répercussions sur la sécurité alimentaire des individus et de la société voire même la stabilité du pays.

³⁰ . Le coût de la dégradation et du défrichement des parcours a été estimé à 73 millions de DT par an, soit 10 % de leur valeur économique totale (DGF & Banque Mondiale, 2015).

³¹ BOURBOUZE A., et al., 1997 : *Pastoralisme et foncier : Impacts du régime foncier sur la gestion de l'espace pastoral et la conduite des troupeaux en régions arides et semi-arides. Actes du quatrième séminaire international du réseau parcours. 17-19 Octobre 1996. Gabès, Tunisie. In Options Méditerranéennes. Série A, N°32. CIHEAM/IRA Mednine. 1977.*

³² BADUEL Pierre-Robert., 1984 : *Rationalité scientifique, rationalité agropastorale et développement en Tunisie aride. In : Cahiers de la Méditerranée, hors-série n°8, 1984. Innovations et technologies dans les pays méditerranéens (XVIe-XXe siècles). Actes des journées d'études Bendor 22, 23 et 24 avril 1982. pp. 157-171; doi : <https://doi.org/10.3406/camed.1984.1611> - https://www.persee.fr/doc/camed_0395-9317_1984_hos_8_1_1611*

III.2.3.2 Identification des variables climatiques pertinentes

La notion de parcours ici considérée fait en réalité référence à l'utilisation pastorale que font les paysans et les éleveurs des différentes occupations agricoles qu'à la notion stricte des parcours au sens du code forestier³³. Compte tenu de cette considération nous préférons employer le terme de terres de pâturage plutôt que parcours pour éviter les confusions et donner à la notion une acceptation plus large qui ne se limite pas aux seules espèces spontanées. Nous avons fait ce choix car dans la réalité les éleveurs tunisiens du nord comme du sud exploitent toutes les ressources fourragères produites par les forêts, maquis et garrigues ainsi que les terres agricoles et pastorales voire même les terrains incultes et les lisières de plan d'eau et de sebkhas. Le cas de la classe : mosaïques de steppes + agriculture retenue lors de la réalisation du deuxième inventaire forestier et pastoral national est le meilleur exemple. Elle couvre des surfaces importantes. Ceci est d'autant plus justifié que la tendance actuelle de l'évolution des élevages : de l'extensif presque exclusif il y a quelques années au semi intensif où la contribution de l'agriculture à la production de ressources fourragères (en vert ou secs) ou d'aliments de complémentation : orge, fèverole, ... ne font que prendre de l'importance pour couvrir les déficits que les parcours ne peuvent couvrir.

Le processus de modélisation conduit dans ce cadre, afin d'établir les relations statistiques entre la production des terres de pâturages en Matière Sèche puis en Unités fourragères avec les variables climatiques a été effectué selon les bases suivantes :

- I Les résultats du deuxième inventaire forestier et pastoral national (IFPN/DGF/MARHP 2010) et en particulier les produits cartographiques ;
- II Les mesures de terrain employées pour étalonner les modèles que nous avons testés sont ceux fournis par les services forestiers de la DGF et réalisés lors des deux inventaires forestiers et pastoraux (celui pris ici pour référence et celui qui l'a précédé - IFPN/DGF/MARHP 1995) auxquels nous avons ajouté quelques relevés géographiquement localisés (Dhahar et Ouaara) et réalisées en 2008 et 2009 dans le cadre d'un projet de développement (PRODEFIL), soit 215 placettes au total ;
- III Parmi les variables climatiques, celles retenues sont : températures moyennes, minimales, maximales et précipitations annuelles et par saison ainsi que deux indicateurs parmi les plus significatifs en lien avec les parcours selon la littérature.

III.2.3.3 Modèle de prévision des rendements

Trois modèles ont été employés (voir détails dans le texte intégral en annexes) :

- a) **Le premier modèle** a cherché à établir le lien par régression simple entre ces variables et les productions mesurées sur le terrain ;
- b) **Le deuxième modèle** est celui proposé Henri Noel LEHOUEIROU (1992) que nous avons adapté à l'état actuel des terres de pâturage dans le pays. Il se base sur l'efficacité de la pluie qu'il exprime en termes de productivité d'un millimètre de pluie tombé en kilogramme de matière sèche par ha et par an ;

³³ Dans son article 3 de la loi de 1988 promulguant le code forestier définit les nappes alfatières comme étant "tout terrain couvert essentiellement d'une végétation alfatière. Il Considère aussi les terrains de parcours comme étant : "les terrains non cultivés couverts d'une végétation spontanée ou introduite, herbacée ou ligneuse pour servir de nourriture pour le cheptel". Par ailleurs, l'OTEDD, l'ANPE et le MEAT : 2005, a apporté des précisions aux deux types de parcours à savoir :

- **Parcours forestiers** : Ils sont constitués par les forêts de chênes, les forêts de pins et de thuya, les maquis et les garrigues. Leur utilisation varie suivant le type des formations forestières.

- **Parcours steppiques** : Ils sont représentés par les différentes steppes et en particulier par les nappes alfatières, la steppe à *Rantherium*, celle à armoise blanche et la steppe à halophytes.

- c) **Le troisième et dernier modèle** a été développé au Maroc sur des terres de parcours identiques à celles auxquelles nous nous intéressons. C'est un modèle basé sur les valeurs des Indices Normalisés de Végétation générés à partir des données eMODIS³⁴.

Les premières analyses ont concerné d'abord nos résultats recueillis sur le terrain lors des campagnes effectuées en 2005 et 2006 à la fin de la période de végétation soit les mois de Mars, Avril Mai et Juin. Les régressions linéaires simples effectuées entre ces deux variables (production et pluviométrie moyenne annuelle) montrent des niveaux de détermination variables selon les saisons. Les meilleurs résultats sont obtenus pour les observations réalisées au mois d'Avril, ce qui correspond à la fin de la période végétative pour les espèces annuelles qui constituent souvent l'essentiel du disponible fourrager dans la plupart des terres de pâturage du pays. Ces valeurs sont de l'ordre de 0.7966 pour l'année 2005 et 0.6848 pour 2006.

Le deuxième modèle que nous avons employé, après l'avoir adapté aux circonstances actuelles des terres de pâturages, est fortement inspiré par les travaux effectués sur les parcours Tunisiens par LEHOUEIROU H.N. 1992 et 1996, FLORET C & PONTANIER R. 1982 et qui détermine la production en kilogrammes de matière sèche par hectare et an sur la base de la pluie efficace, de la pluie moyenne annuelle et de la pluie moyenne de la série d'observation. La formule est la suivante :

$$\text{Production en MS/ha/an (Kg Pr)} = (b \cdot r / R) + (1 - b) \cdot P$$

RVPP ou b : CVPr/CVPI (Quotient des coefficients de variation de la production et de la pluie.

CVPr : Coefficient de Variation de la production en Kg de MS/ha/an mesurée

CVPI : Coefficient de Variation de la pluie de l'année sur l'ensemble des stations d'observations

r : Pluviométrie moyenne de l'année en mm (dans notre cas la moyenne de 2005 et 2006)

R : Pluviométrie moyenne de la série des années (dans notre cas de 1981 à 2009)

CEP (b*r/R) : (Coefficient d'efficacité pluviale : quotient de la production en Kg de MS/ha/an et par millimètre de pluie)

P : Pluie moyenne de l'année considérée

L'application du nouveau modèle pour la détermination des productions et l'analyse de la régression entre ces valeurs et les pluies annuelles pour 2005 et 2006 ont donné des résultats hautement significatifs ($R^2=0.9332$ pour 2005 et 0.9725 pour 2006) comme le montrent les graphiques suivants :

³⁴ . HAMID MAHYOU, BERNARD TYCHON, MARIE LANG & RIAD BALAGHI. 2018: Phytomass estimation using eMODIS NDVI and ground data in arid rangelands of Morocco. In African Journal of Range & Forage Science. ISSN: 1022-0119 (Print) 1727-9380 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tarf20>. 11 Avril 2018. 12 pages.

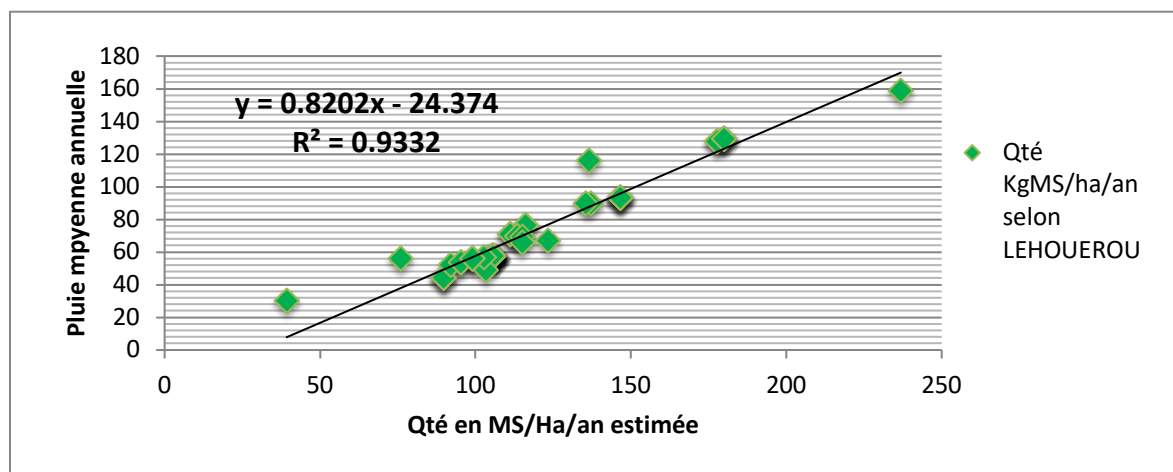


Figure 58 : Régression linéaire simple entre production de matière sèche des parcours en Kg/ha/an en 2005 estimée selon la méthode de LEHOUEROU et les précipitations annuelles moyennes de la même année

Le troisième et dernier modèle employé est celui proposé par MAHIUO et al. 2018 et qui se base sur l'estimation de la production primaire des parcours steppiques du Maroc sur la base de l'indice Normalisé de Végétation (NDVI) selon l'équation suivante : $Y = -1.03 + 7.69 \cdot \text{NDVI}$. Les régressions calculées ont montré des coefficients de détermination moyens à faibles (0.5 et 0.3) et de fait peu significatifs.

Compte tenu de ces résultats, notre choix s'est donc porté sur le second modèle. C'est celui que nous avons employé pour estimer le disponible pastoral fourni par les terres de pâturage du pays. L'analyse de la distribution du disponible fourrager sur l'ensemble de la série 1981-2009 montre une forte fluctuation qui peut atteindre presque le double de la quantité moyenne de la série à certaines années.

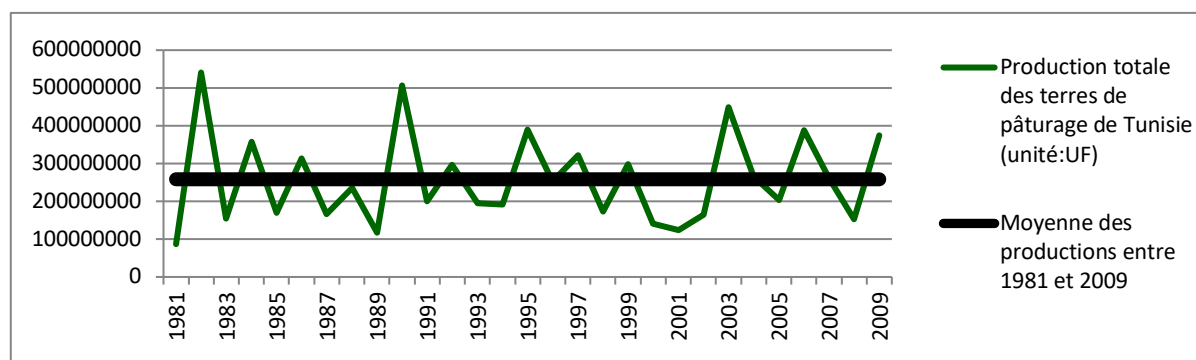


Figure 59 : Evolution du disponible fourrager total permis par les terres de pâturage comparé à la moyenne de la série 1981 et 2009 en Unité UF

Le disponible fourrager exprimé en Unités Fourragères (UF) que fournissent les espaces pâturés du pays, est nettement en deçà de ce qui est nécessaire pour couvrir les besoins du cheptel. Les calculs effectués pour la période 1984-2009 (pour lesquelles nous disposons de chiffres officiels sur les effectifs) montrent que pour un cheptel total moyen (exprimé en unité de mouton adulte) de l'ordre 11 millions unités, qui nécessitent des besoins annuels moyens

de l'ordre à 3400 millions d'UF ne disposent sur le territoire que de 258 millions UF³⁵, soit un déficit moyen annuel de 92% (équivalent à 3121 millions UF). Cette situation est d'autant plus préoccupante que l'évolution des effectifs du cheptel est très peu corrélée avec la pluviométrie ($R^2:0.01$), ce qui confirme la dépendance de l'élevage d'apports alimentaires ne provenant pas des pâturages (chaumes, résidus des récoltes,...) mais des marchés internationaux via l'importation. Ceci est de nature à aggraver la situation de vulnérabilité déjà forte et accentue les pressions sur les terres de pâturages qui sont déjà dans un état de dégradation assez avancé dans la plupart des régions suite aux mauvaises pratiques de gestion et au surpâturage.

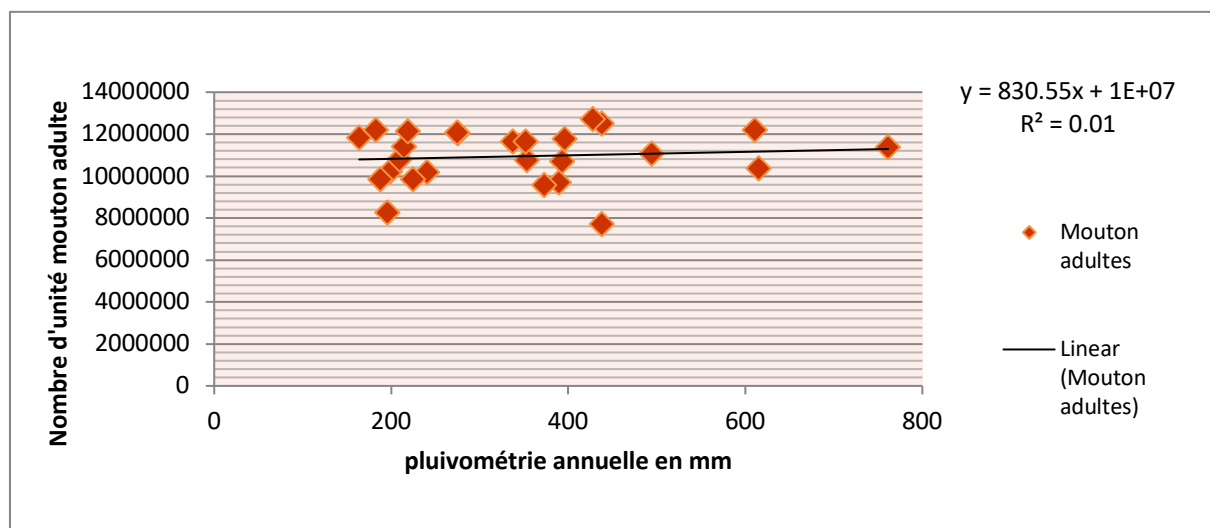


Figure 60 : Régression linéaire simple entre précipitations annuelles moyennes et effectif du cheptel entre 1984 et 2009

Il existe une relation avérée entre la pluie efficace et la production primaire des terres de pâturage de Tunisie. Les modèles mathématiques testés et celui retenu et employé pour cette étude nous a permis d'estimer le disponible fourrager permis par les terres de pâturage de la Tunisie pendant les années passées choisies pour son étalonnage. Il sera employé pour les prévisions futures sur la base des projections climatiques retenues pour le présent Plan National d'Adaptation aux effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire du pays.

L'analyse plus fine des résultats obtenus, les choix effectués et les arguments proposés ainsi que leurs conséquences sur la sécurité alimentaire sont les suivants :

- La pluviométrie enregistrée au niveau des espaces occupés par des pâturages est caractérisée par une grande variabilité inter et intra annuelles (saisonniers).
- Cette variabilité pluviométrique est marquée par des niveaux plus ou moins élevés selon le gradient bioclimatologique du pays et ont évolués de manière reliée avec l'aridité. Il s'agit d'une variabilité qui est inversement reliée aux hauteurs des précipitations et qui s'est avérée déterminante pour les niveaux de dépendance des

³⁵ Le guide des forêts durables (OTEDD, ANPE et MEAT 2005) indique que « la production fourragère annuelle moyenne des parcours a été évaluée à **950 millions d'UF** (IPFN 1995). Elle est cependant sous la dépendance directe des précipitations annuelles. Par l'augmentation des effectifs d'une part et la production limitée des parcours d'autre part, ces derniers qui contribuaient pour 80% dans l'alimentation du cheptel national, ne couvrent plus aujourd'hui que 25 à 30% des besoins des troupeaux. »

espèces pastorales pérennes, mais aussi et surtout annuelles, de la disponibilité de l'eau et de fait de leur production primaire.

- En revanche, les variables de températures moyennes, maximales, minimales ainsi que leurs variantes saisonnières ne se sont pas avérées significatives vis à vis de la production de ces terres de pâturage.
- Nous avons fait le choix d'employer la variable précipitations pour expliquer les productions primaires des terres de pâturages de la Tunisie et ce à travers un échantillon de 215 individus élargi à 5354 unités spatiales avec une répétition de six années.
- Trois modèles mathématiques ont été développés pour analyser et établir les relations entre les précipitations et les productions primaires. Tous ont été soit réalisés à partir de nos données de terrain ou alors inspirés de travaux réalisés sur les parcours soit en Tunisie ou dans la région, Marco et Algérie.
- Parmi ces modèles, celui qui a présenté les résultats les plus significatifs est basé sur l'indicateur agroclimatique nommé le coefficient d'efficacité pluviale (CEP). Sur la base de nos résultats nous avons procédé à l'adaptation de la formule de passage de la pluie efficace à la production primaire, telle que proposée par LEHOUEIROU 1992, en lui appliquant des valeurs actualisées.
- Le coefficient d'efficacité pluviométrique CEP que nous avons déterminé sur la base des relevés terrain est inférieur à ceux proposés par LEHOUEIROU en 1969 et 1992 en Tunisie et AIDOUUD en 1987 en Algérie, soit 1,9 au lieu de 2,1 et 2,4 respectivement. Cette baisse de l'efficacité de la pluviométrie peut être dû à divers facteurs d'ordre biophysiques, de gouvernance, ..., mais aussi climatiques.
- Les coefficients de détermination établis entre les CEP et les productions primaires prouvent qu'il existe une relation forte entre ces deux variables et renseigne ainsi sur le rôle déterminant de cette variable climatique sur le disponible fourrager et de fait la sécurité alimentaire.
- Cette interdépendance est d'autant utile qu'elle permet non seulement d'estimer le stock en unités fourragères à l'année considérée mais aussi de pouvoir prévoir les stocks futurs sur la base des projections climatiques aux horizons déterminés.

Les effets du climat sur la production pastorale ici démontrés peuvent être masqués ou aggravés par les modes des activités humaines comme l'ont démontré divers auteurs (IONESCO 1965, STEWART 1968 et DAGET 1977) qui vont jusqu'à considérer que la dégradation anthropique du tapis végétal entraîne une augmentation des maximums de températures, et celle du sol a pour effet de diminuer les capacités de stockage de l'eau. Ils concluent que ces facteurs se conjuguent leurs effets pour renforcer l'aridité d'origine climatique.

En revanche, la relation entre la pluviométrie, et par conséquent le disponible fourrager, et les effectifs du cheptel ne semble pas se confirmer. Elle est très faible et renseigne sur un mode d'élevage basé essentiellement sur les apports alimentaires de substitution procurés par les importations. Ceci confirme le diagnostic déjà posé par divers auteurs qui expliquent que l'élevage pastoral est confronté à un nouveau contexte qui dévoile une transition fondamentale des vocations et des usages des territoires pastoraux. Ces dynamiques, ont permis

l'émergence d'une nouvelle catégorie d'éleveurs "entrepreneurs de l'élevage"³⁶ qui pratiquent un élevage de moins en moins dépendant des ressources fourragères. Ces mutations, les nouveaux modes de gestion adoptés et les stratégies individuelles mises en œuvre, sont de nature à amplifier davantage la vulnérabilité intrinsèque des terres de pâturage face aux divers effets dont le climat et fragilise par conséquent le secteur, les filières dépendantes, le marché et par conséquent la sécurité alimentaire des individus et de la société.

III.2.4 Impacts sur les ressources en eau

L'irrégularité de la pluviométrie et des apports en eau de surface, et la fréquence de plus en plus importante des extrêmes (sécheresses et inondations) implique une gestion adaptée, qui permet de mieux valoriser des eaux pluviales et mobiliser le maximum d'eau pendant les périodes humides et sécuriser l'approvisionnement en eau et la production agricole pendant les périodes sèches.

Au nord du pays, l'irrégularité est moins accentuée, les apports de l'année humide représentent 3,6 fois les apports de l'année sèche pour une période de retour de 10 ans ce rapport est de 6,2 pour le Centre et atteint 29 pour le Sud Tunisien (Eau 21).

Les calculs statistiques montrent que les apports hydrologiques enregistrent un excédent de 33% une fois tous les 5 ans et un excédent de 66% une fois tous les 10 ans (Zahar - ISTEUB). Pour profiter des excédents d'eau des années pluvieuses, la capacité des retenues d'eau doit évoluer pour récupérer les pertes dues à l'envasement des barrages et retenir les excédents d'eau afin de pouvoir répondre à la demande pendant les périodes sèches. Pour augmenter la capacité de retenue, les politiques publiques s'orientent vers la construction de nouveaux barrages, l'interconnexion des barrages et le transfert d'eau inter-régional.

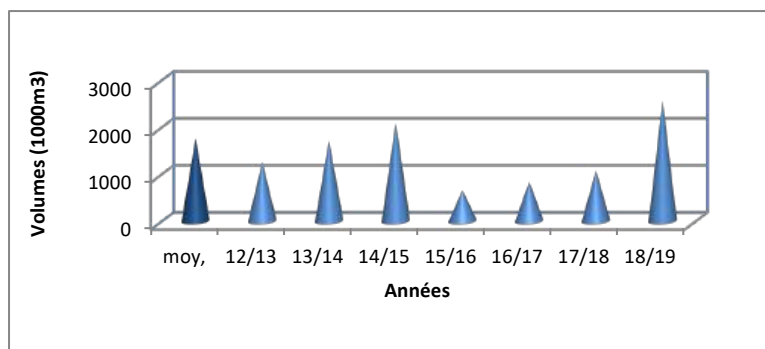
En Tunisie, la sécheresse est un phénomène courant, la sécheresse d'une année est très fréquente dans tout le pays alors que les sécheresses de deux années ou plus sont peu fréquentes dans le Nord, moyennement fréquentes dans le Centre et plus fréquentes dans le Sud.

Une année de sécheresse a un impact direct sur les cultures pluviales (céréales et oliviers) et sur les apports d'eau de surface et un impact beaucoup moins important sur le secteur irrigué. Par contre, deux années successives de sécheresse ont des répercussions négatives sur les stocks des barrages, sur l'exploitation des nappes, sur l'approvisionnement en eau et la production agricole pluviale et irriguée.

Depuis 30 ans, la Tunisie a subi 2 périodes de deux ans de sécheresse 1987/89, 1993/95 et une période de sécheresse de trois ans 2015/2018 qui a touché le nord et le centre ouest du pays. Pour les deux premières périodes, le déficit pluviométrique a varié de 5% à 43 % dans le sud, de 17% à 51 % dans le centre et de 34 à 44 % dans le Nord. (Gestion de la sécheresse MARHP 1999).

Au cours de la période de sécheresse 2015/2018 qui a touché le nord et le centre ouest, les apports annuels ont varié de 650 millions m³ à 1072 millions m³ soit de 37% à 61% des apports moyens estimés à 1762 millions m³ (DGBGTH - situation des barrages).

³⁶ . Terme emprunté à BOURBOUZE et Al., 1997. Op. Cit.1 - Voir comptes rendus des communications du séminaire.



Au cours de cette période, la deuxième et la troisième année de sécheresse ont été caractérisées par des restrictions au niveau de l'approvisionnement en eau des périmètres irrigués et au recours au pompage des eaux souterraines.

Figure 65 : Apport annuels aux barrages

L'impact a été très important au niveau de la baisse de la production du secteur irrigué et la surexploitation des nappes d'eau souterraine. Les quotas appliqués sur la consommation d'eau d'irrigation avaient pour priorité la conservation de l'arboriculture. Des dérogations ont été accordées sur décision ministérielle autorisant la création et l'utilisation de forages dans des périmètres publics irrigués normalement par les eaux de surface.

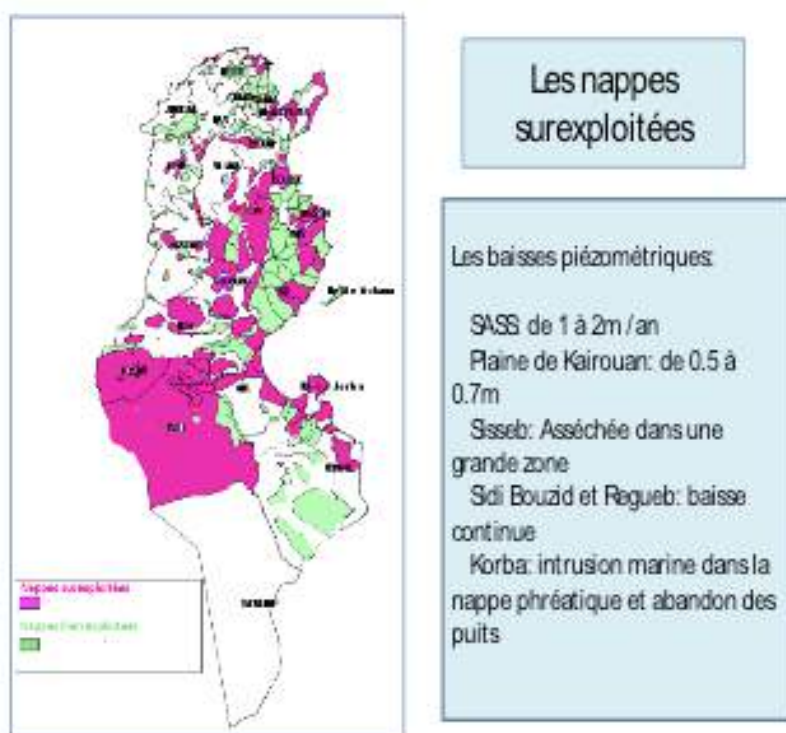


Figure 61: Nappes souterraines surexploitées – DGRE

En effet, au moment de la sécheresse, l'alimentation des nappes diminue considérablement alors que l'exploitation augmente d'une façon significative. Cette situation se traduit par le tarissement des sources, la baisse des débits des puits, des forages et des émergences. La plupart des nappes sont déjà surexploitées et avec la

sècheresse, la surexploitation s'accroît et aggrave de plus en plus la situation au niveau de l'approvisionnement en eau potable et des périmètres irrigués.

Les coûteux efforts de mobilisation consentis depuis plus de cinq décennies, (accès à l'eau potable, aménagements hydro agricoles) et le recours massif à l'eau virtuelle ont assuré un haut niveau de sécurité hydrique pour la grande majorité des tunisiens. Néanmoins, cette politique n'a pas induit une réorientation des choix culturels de manière à favoriser les cultures d'exportation peu consommatrices d'eau et l'importation de produits dont la production nécessite beaucoup d'eau. Cette politique de gestion centralisée fondée sur le développement de l'offre rencontre depuis une vingtaine d'années ses limites, puisque la quasi-totalité des ressources ont été mobilisées, dessinant ainsi une perspective de plus en plus conflictuelle, d'autant dans une perspective de baisse des précipitations, de plus grande irrégularité et de hausse des températures. Tous les modèles convergent sur ce résultat et ils confirment ainsi la diminution des cumuls de précipitation sur tout le pays. En effet, Les précipitations moyennes connaîtront une diminution variant entre **14 mm et 22 mm** en 2050, qui s'aggraverait davantage en fin de siècle pour atteindre **23 mm à 45 mm** en 2100.

Cette baisse s'accompagnerait d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes de sécheresse et d'inondation et de perturbation de la répartition saisonnière des précipitations.

L'augmentation moyenne du niveau de la mer de 30 à 50 cm à l'horizon 2050, sera à l'origine d'une perte par salinisation d'environ 50% des ressources actuellement disponibles dans les nappes côtières et perte indirecte du potentiel de la superficie irrigable d'environ 38000 ha, soit 10% de la superficie irriguée actuelle (MEDD - Aout 2015).

L'augmentation de la fréquence des extrêmes (inondation et sécheresse), aura des répercussions sur la gestion de l'eau soit au niveau de la maîtrise et la mobilisation des eaux des inondations soit au niveau de la satisfaction d'une demande de plus en plus accrue en eau des différents secteurs économiques.

L'agriculture pluviale très liée à la répartition spatio-temporelle sera affectée par le changement climatique pendant les périodes sèches, la demande en eau d'irrigation complémentaire sera de plus en plus accentuée ce qui constituera une pression supplémentaire sur les ressources souterraines.

La demande en eau de l'agriculture irriguée augmentera sous l'effet des changements climatiques (prolongation des périodes sèches et de l'élévation des températures) et aura des impacts liés aux disponibilités des stocks d'eau de surface et souterraines et de leurs qualités qui seront affectés par une exploitation plus intensive engendrant des coûts plus élevés du pompage, dégradation de la qualité et concurrence entre les différents secteurs de développement.

III.2.5 Impacts sur la pêche et l'aquaculture³⁷

« Selon la FAO il est bien établi que « les variations de température et d'autres éléments résultant du changement climatique auront un impact profond sur la pêche et l'aquaculture, avec des conséquences significatives sur la sécurité alimentaire pour certaines populations. »

La pêche de capture est fondamentalement différente d'autres systèmes de production alimentaire dans ses liens et ses réactions au changement climatique et les effets sur la sécurité alimentaire qui en résultent. A la différence de la plupart des animaux terrestres, les espèces animales aquatiques utilisées pour la consommation humaine sont poïkilothermes, ce qui signifie que leurs températures corporelles varient selon les températures ambiantes. Tout changement de température de l'habitat influence de manière significative leur métabolisme, leur taux de croissance, productivité, leur reproduction saisonnière et leur susceptibilité aux maladies et aux toxines ».

Les activités de pêche sont donc particulièrement vulnérables à l'élévation de la température moyenne, ainsi qu'aux variations physico-chimiques du milieu marin (turbidité, salinité, acidité, etc.), mais également aux extrêmes climatiques (crues terrestres, vents et tempêtes, vagues de chaleurs).

Selon le dernier rapport du GIEC, les océans se sont élevés de 19 cm depuis la fin du XIXe siècle. Pour les côtes tunisiennes, les enregistrements disponibles et publiés par l'INSTM, montrent que le niveau de la mer est monté entre 1993 et 2005 à un rythme moyen de 2 mm/an. Selon A. Harzallah (2011), l'évolution observée du niveau de la mer est +2,6 cm/décennie pour la période 1999-2007. Le Golfe de Gabès apparaît comme une des régions les plus affectées par les surcotes maritimes en Méditerranée. Les infrastructures portuaires en Tunisie sont vulnérables à la hausse du niveau des océans et aux risques de submersion marine.

La SSS (Sea Surface Salinity) montre des tendances faibles pour le Golfe de Gabès, bien qu'il y ait une tendance à une légère baisse de la salinité à l'échelle de temps à long terme.

Les impacts de la surexploitation, la pollution, la dégradation des habitats auxquelles s'ajoutent les changements climatiques impactent déjà les ressources marines. En effet, les modifications physiques et chimiques du système marin liées aux changements climatiques comme l'augmentation de la température des eaux, celle de la salinité et de la stratification des masses d'eau qui en découle, l'élévation du niveau de la mer et l'acidification ont pour conséquence le bouleversement de l'ensemble des composantes biologiques des écosystèmes de l'individu à la communauté. Ces perturbations intéressent toute la chaîne depuis les producteurs primaires (phytoplancton et macrophytes) jusqu'aux prédateurs vertébrés (Menut, 2017).

Toutes les études s'accordent sur le fait que la production phytoplanctonique, surtout dans le golfe de Gabès est influée par la fluctuation de la salinité et de la marée (cycle des nutriments) et dans un moindre degré par la variation de la température. La production primaire connaît :

- Une modification profonde dans la composition et la structure de la communauté
- Une abondance d'espèces nuisibles dont la prolifération est généralement imprévisible, irrégulière et de courte durée ;
- Une fréquence plus élevée des blooms d'algues toxiques (HAB's) à l'origine de mortalités massives d'organismes marins notamment d'espèces d'intérêt halieutique et des conséquences dramatiques sur l'environnement ;

³⁷ Ce sous-chapitre est tiré du rapport "Etude de la vulnérabilité du secteur de la pêche et de l'aquaculture face aux changements climatiques en Tunisie : synthèse" FAO, MARHP, INSTM, Ben Souissi, J ; Zahar, Y, ; 2018

- Des événements extrêmes (inondations) peuvent perturber la saisonnalité de la production primaire et entraîner une modification des biomasses phytoplanctoniques.

Il apparaît clairement que les méduses constituent un prédateur redoutable de l'ichtyoplancton. Pour les espèces *Aurelia aurita* et *Pelagia noctiluca* prélevées vivantes ou moribondes, les proies identifiées étaient des larves de Sardine (*Sardina pilchardus*), des œufs et des larves d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) quant au bol alimentaire de la méduse *Rhizostoma pulmo* en provenance de la lagune des Bibans, il est constitué majoritairement de larves de muges.

Il ressort de cette étude que les pressions trophiques des méduses sur les stocks de poissons sont loin d'être négligeables et qu'elles peuvent affecter négativement et sérieusement l'équilibre des écosystèmes marins et lagunaires (Ghanem et al, 2015).

Les résultats disponibles attestent que les impacts des changements climatiques affecteront plus la structure du zooplancton que sa biomasse et que les modifications de la production primaire et secondaire affecteront la dynamique de la chaîne trophique et le recrutement des espèces.

Une étude pilote (213 enquêtes) en Tunisie a été effectuée entre 2010 et 2013 et a concerné les poissons du golfe de Tunis. Parmi les fluctuations, on note l'arrivée de plusieurs espèces de poissons d'origine atlanto-méditerranéenne très rare ou non encore mentionnés dans les eaux tunisiennes (*Lobotes surinamensis*, *Aulopus filamentosus*, *Sphyrna viridensis*, *Phycis phycis*, *Phycis blennoides*, *Sparisoma cretense*..) qui prennent peu à peu place dans les pêcheries locales.

Au-delà de ces effets positifs de diversification des ressources halieutiques notamment benthiques, des modifications au niveau physiologiques, de ponte, de recrutement, de périodes et routes de migrations ont été constatées surtout pour les espèces pélagiques. Ainsi des baisses de captures de petits pélagiques comme la sardine et l'anchois sont déjà constatées en Tunisie. Les pêches basées sur les routes de migrations comme les madragues pour la capture des thons sont également compromises.

Selon les derniers inventaires publiés en 2016, la faune et la flore exotiques des côtes tunisiennes s'élèvent à 163 espèces (27 algues, 27 mollusques, 30 crabes, 13 vers annélides et 21 poissons (Ounifi-Ben Amor, 2016). Plusieurs facteurs interviennent dans l'introduction de ces espèces exogènes comme le trafic maritime, les eaux de ballasts et l'aquaculture. Les changements climatiques constituent un facteur de succès d'installation d'espèces invasives et d'amplification du phénomène de la bio invasion. La moitié des premières mentions d'espèces exotiques a lieu dans le golfe de Gabès et environ 61,7% des occurrences ont une origine lessepsienne (Mer Rouge).

Il est unanimement admis que le rythme de la bio invasion s'est nettement accéléré au cours des dernières décennies. La figure suivante illustre clairement cette tendance qui est mise en évidence par le progrès taxonomique et l'intensification des efforts de prospection.

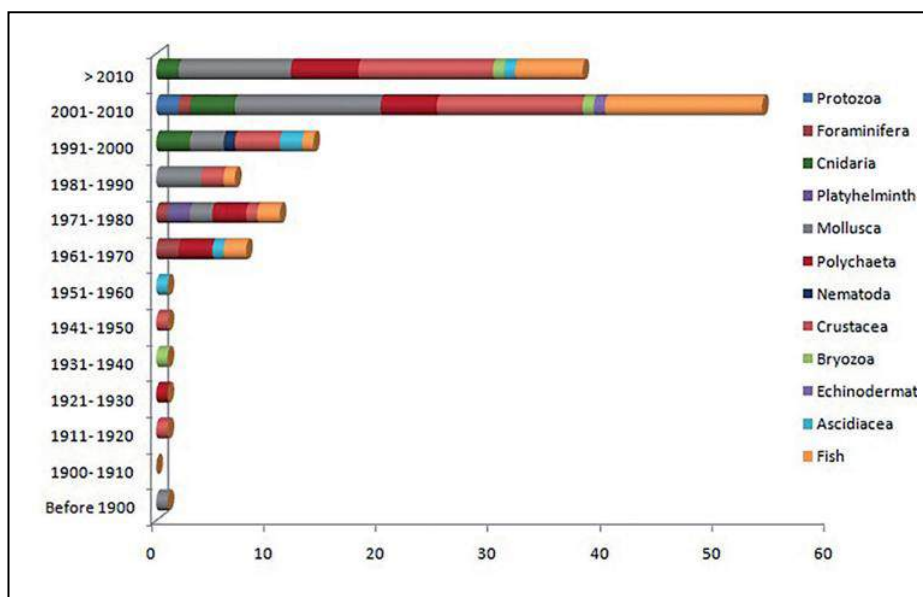


Figure 62 Nombre de nouvelles introductions de la faune exotique /groupe taxonomique / décennie (Source Ounifi - Ben Amor et al., 2016)

Parmi ces espèces, certaines une fois installées dans leur milieu récepteur, commencent à impacter négativement ce dernier et deviennent de ce fait invasives. En Tunisie l'huître perlière (*Pinctada radiata imbricata*), le crabe araignée (*Libinia dubia*) et le crabe bleu (*Portunus segnis*) sont classés comme les "pires invasives" et figurent dans la liste noire de l'IUCN en raison de leurs effets désastreux sur les écosystèmes et les activités économiques.

Les pêcheries tunisiennes subissent à l'heure actuelle des modifications progressives qui aboutiront à long terme (horizon 2100) à des mutations profondes. Selon Harzallah, (2010), le taux d'occurrence d'espèces exotiques dans le golfe de Gabès par décennie est de 15% et à ce rythme à l'horizon de 2050, la moitié de la biodiversité de ce milieu serait d'origine allochtone. Par ailleurs, il est important de souligner que certaines introductions qualifiées de catastrophe sociale et économique sont en train d'évoluer en véritables opportunités. Les exemples les plus pertinents sont ceux de la crevette de la mer Rouge *Metapenaeus monoceros*, qui lors de son apparition au cours des années 90 a été considérée comme une véritable menace pour l'espèce endémique, la crevette royale *Penaeus keratourus* en raison de sa rapide expansion, sa faible valeur marchande et son altération très rapide (noircissement de la carapace). Son prix de vente actuel s'élève à 35 dinars (décembre 2017) contre 4 dinars maximum au début de son exploitation et ceci sans compter les difficultés d'acceptation de ce nouveau produit par le consommateur tunisien.

Le second exemple est celui du crabe bleu (*Portunus segnis*), également originaire de la mer Rouge. Ses premières retombées socio-économiques, suite à sa propagation fulgurante étaient désastreuses dans la mesure où il a handicapé l'activité de pêche côtière dans le golfe de Gabès, notamment du fait qu'il colmate et déchire tous les types de filets et abîme en moyenne 25% des captures. Tous ces préjudices se répercutent lourdement sur le pêcheur artisanal du golfe de Gabès qui se trouve dépassé par le coût du ramendage et de changement de ses filets. Dans les zones les plus touchées (Gannouch et Houmt Souk) sa productivité est mise à l'épreuve et ne lui permet plus d'assurer une viabilité économique. En effet, le revenu

par sortie a chuté dramatiquement en passant de 875 TND à 120 TND. S'agissant d'une espèce comestible à haute valeur marchande, cette bio invasion par le crabe bleu est aujourd'hui perçue comme une opportunité. L'état tunisien a mis en place une stratégie nationale pour la valorisation de cette espèce. Ainsi des circuits de commercialisation et d'exportation ont vu le jour et des techniques de pêche appropriées comme les nasses ont été conçues à cet effet.

La pêche artisanale de type « Chrafi », patrimoine halieutique méditerranéen, respectueux de l'environnement, est aujourd'hui dans une situation précaire. Outre la baisse drastique de rentabilité, les pêcheries fixes font face aux défis des changements climatiques. Cette activité, étant essentiellement pratiquée sur les hauts fonds de l'archipel de Kerkennah va connaître une régression des superficies qui lui sont destinées. En effet, avec l'élévation du niveau de la mer d'un mètre (scénario pessimiste) à l'horizon de 2100, l'implantation de ces pêcheries fixes, basée sur les branches de palmiers, sera condamnée dans les hauts fonds submergés. Par conséquent, leur nombre va encore régresser malgré qu'il s'agisse d'une activité dont dépend la population locale insulaire pour leur sécurité alimentaire. Le morcellement de l'archipel en un nombre plus important d'îlots est de nature à modifier la courantologie, la fixation des herbiers de posidonies et par voie de conséquence, compromettre d'avantage cette pêche artisanale.

La pêche à pied de la palourde, est pratiquée essentiellement par les femmes des régions les plus pauvres des gouvernorats de Sfax, Gabès et Médenine. Selon les années, le nombre de collecteurs peut varier de 4000 à 8000 personnes. En dépit du fait qu'il s'agisse d'une activité dont le produit a une haute valeur commerciale et destinée presque exclusivement à l'exportation (92%), la saisonnalité de l'activité, la rareté des stocks, l'insalubrité et l'interdiction de la commercialisation des palourdes augmentent la précarité des populations dont les revenus sont tributaires de cette activité. Cette activité va subir à la fois les conséquences de l'élévation du niveau de la mer et les risques liés aux événements climatiques extrêmes et inondations. En effet, la collecte de la palourde se fait au niveau de l'estran (zone de balancement de la marée) à marée basse et avec l'élévation du niveau de la mer, une superficie importante de l'estran sera submergée ce qui restreindra considérablement la zone réservée à cette activité. De même, les inondations, lorsqu'elles ont lieu drainent vers la mer des quantités importantes de nutriments susceptibles de modifier la structure des communautés planctoniques et favoriser dans certains cas l'occurrence des proliférations algales nuisibles.

La pêche dans les douze lagunes que compte la Tunisie où toutes les activités sont représentées (pêche autorisée, illégale, aquaculture, récréative, industrielle...) est fragilisée. Elles ont été considérées depuis les temps les plus reculés comme des réceptacles des villes voisines et la majorité d'entre elles présentent aujourd'hui un seuil inquiétant voire alarmant de pollution, d'eutrophisation, de perte de vocation halieutique suite à la perte de biodiversité et rareté de la ressource. A ces pressions anthropiques majeures, s'ajoutent les impacts des changements climatiques. En effet l'augmentation de la température des eaux, les vagues de chaleurs, l'acidification et autres événements extrêmes (tempêtes, inondations.) sont de nature à compromettre davantage les services rendus par ces écosystèmes. »

III.3 Impacts sur les autres dimensions de la sécurité alimentaire

En Tunisie, les études ont démontré, sans équivoque, que le pays subit déjà, les impacts du changement climatique et notamment l'accentuation de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, en particulier les sécheresses et les inondations. Ces changements ont contribué à l'aggravation du stress hydrique et à la dégradation des écosystèmes et des agro écosystèmes (production oléicole, arboriculture, élevage, grandes cultures, etc.) avec des effets négatifs sur les différentes dimensions de la sécurité alimentaires.

Impact sur l'accès

Les impacts du changement climatiques ne se limitent pas à la production et à la disponibilité des aliments. En effet, le changement climatique, en particulier les événements extrêmes et les dégâts qui en résultent, peuvent affecter les moyens de subsistance et les revenus des producteurs de denrées alimentaires et plus généralement des ménages, en particulier les plus pauvres. . A titre d'illustration, les inondations de mars 1979 (Médénine, sud du pays) ont engendré la perte de 7600 têtes ovines alors que celles du Janvier 1990, (Sidi Bouzid, Gafsa, Kairouan, Jeffara), en plus de 50 000 hectares endommagés ont causé la perte de 7800 têtes de bétail. De même, les inondations ont endommagé 85% des récoltes en 2003 (Nord du pays et grand Tunis) et 3.000 hectares de terres agricoles en 2011 (Nord du pays, Zaghouan, basse vallée de la Medjerda), Enfin, récemment, 1791 agriculteurs ont été sinistrés par les inondations de septembre 2018 (Nabeul, Cap Bon et Kasserine). La baisse des revenus des producteurs et des ménages ruraux est de nature à limiter la capacité de ces populations à accéder à la nourriture dont ils ont besoin.

De même, les événements extrêmes et la dégradation des conditions de production peuvent engendrer une hausse et une plus grande volatilité des prix des denrées alimentaires à l'échelle mondiale et nationale. En effet, le changement climatique entraîne une hausse significative de la variabilité interannuelle des rendements et une probabilité plus importante de connaître des « chocs » de production. Certains travaux récents montrent d'ailleurs une probabilité plus élevée de connaître des « chocs » de production simultanés entre les plus gros producteurs mondiaux de céréales, entraînant potentiellement une flambée des prix des denrées sur le marché international.

La volatilité et l'augmentation des prix peuvent donc contraindre les ménages les plus pauvres à réduire leur consommation alimentaire en quantité et en qualité. Ainsi, dans le cas de sécheresse, on parle de « sécheresse socio-économique » qui traduit les effets économiques et sociaux des autres formes de la sécheresse (Boubaker H, 2007) et se manifeste lorsque l'offre d'un bien économique ne peut plus satisfaire la demande de ce produit et que la cause est un déficit d'eau lié au climat. L'un des aspects de la sécheresse socio-économique est la hausse des prix des denrées alimentaires. Ainsi la sécheresse de 1987-88 s'est traduite par une hausse remarquable des prix sur les marchés des gros pour un certain nombre des produits agricoles (Henia. L et Benzarti. Z, 2006)

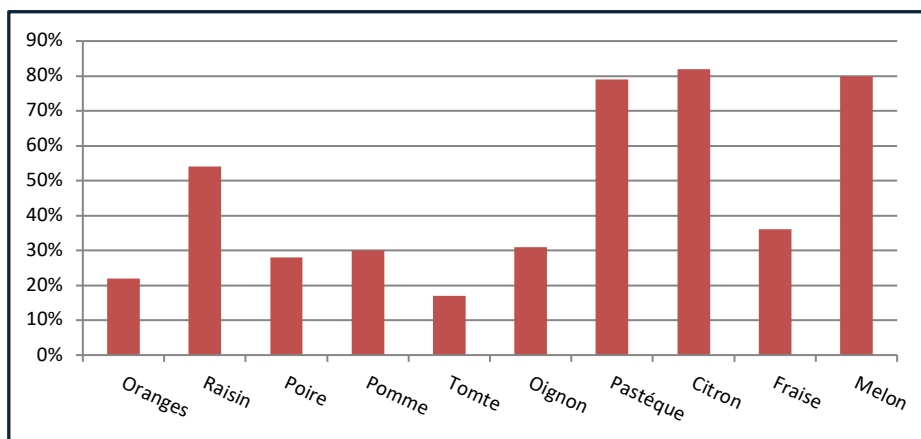


Figure 63: Augmentation des prix des produits agricoles sur le marché de gros de Tunis entre 1987 et 1988

Impact sur l'utilisation

Par rapport aux autres dimensions de la sécurité alimentaire, les impacts potentiels du changement climatique sur la nutrition ont été beaucoup moins étudiés. Néanmoins, plusieurs voies d'impact du changement climatique sur l'utilisation des aliments peuvent être identifiées (FAO, 2016).

Les extrêmes climatiques peuvent également avoir comme effet, une réduction de la production et/ou de la consommation de certains aliments qui jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des populations rurales. Il en est ainsi des sécheresses agricoles qui arrêtent la croissance végétale, diminuent les rendements et la production et mettent en danger le bétail. Au cours des années sèches 1987-88, 1993-94 et 1996-97, les déficits dans la production céréalière par rapport à la moyenne de la période considérée ont été de 77 % dans le Nord et de 93 % dans le Centre. Bien que l'olivier supporte facilement un déficit hydrique annuel dépassant 50 %, le déficit de la production d'olive à huile était de 62 % en 1987-88 et de 51 % en 1994-95 (Ben Boubaker. H, 2007).

Par ailleurs, la sécheresse de la fin des années 1980 a eu des impacts très négatifs sur les ressources en eau et le secteur agricole. Le niveau piézométrique de certaines nappes phréatiques a diminué de 60 % et même plus par rapport à sa situation d'avant la sécheresse. Les retenues des barrages ont diminué de 65 % (Henia L, 2003). De même, la sécheresse de 1993-94 a eu des répercussions très importantes sur les forages en termes de disparition de l'artésianisme (Kairouan, Siliana, Testour, Ben Arous..), d'épuisement des réserves (Gaafour, Siliana, Fahs) et de tarissement complet de certains forages dont l'exploitation se faisait essentiellement pour l'irrigation d'appoint (Boubaker H, 2007).

Enfin, bien qu'on ne dispose pas des données à ce niveau, le changement climatique devrait réduire la qualité de l'eau, ce qui présente des risques pour la qualité de l'eau potable. Cela risque d'exacerber les risques de maladies liées à l'eau réduisant l'absorption des aliments.

Selon l'OMS (2014), le changement climatique devrait augmenter les maladies diarrhéiques, affectant principalement les populations à faible revenu. De même, les changements climatiques sont également susceptibles de réduire les dépenses de santé avec des effets potentiels sur la nutrition. De la même manière, le changement climatique est susceptible d'affecter la qualité des aliments produits. L'aridification du climat de certaines régions agricoles du pays associée à des extrêmes de températures ou de précipitations peuvent entraîner une baisse de la qualité nutritive des produits (exemple : baisse des concentrations en vitamines ou en oligo-éléments).

Egalement, des conditions d'humidité ou de températures plus favorables au développement de certains micro-organismes ou de toxines peuvent induire des phénomènes de contamination de certains produits ou compartiments de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. A cela s'ajoute l'impact potentiel sur les chaînes de froid, de conservation et de stockage qui peuvent dégrader la sécurité sanitaire des aliments et en limiter l'utilisation par les ménages ou entraîner des maladies alimentaires en cas d'absorption en particulier par les ménages les plus pauvres.

Impact sur la stabilité

La variabilité climatique accrue, notamment la fréquence accrue des événements extrêmes, ont certainement affecté la stabilité de l'approvisionnement alimentaire, de son accès et de son utilisation. Pour la Tunisie, cela s'observe dans les fluctuations de la production agricole (céréales et produits d'élevage en particulier) en fonction des aléas climatiques. Les fluctuations de la production se traduisent par une irrégularité des revenus des personnes dépendant de l'agriculture pour leurs moyens de subsistance ainsi que l'augmentation des prix des denrées alimentaires et la volatilité qui affectent l'accès économique à la nourriture.

La stabilité des dimensions de la sécurité alimentaire en Tunisie est indirectement par les changements climatiques via le commerce extérieur. Notamment, dans un contexte de forte dépendance de la Tunisie des importations alimentaires et de la tendance à l'augmentation des prix et leur volatilité qui caractérisent les marchés mondiaux des produits agricoles. Certes, plusieurs facteurs expliquent ces tendances (concentration des marchés, manœuvres spéculatives, ...).



Figure 64: Instabilité de l'indice des prix des produits alimentaires, janvier 1991-décembre 2017 (en %) - FAO

En mai 2011, la revue Science a publié une étude sur les tendances climatiques et la production mondiale de céréales depuis 1980, selon laquelle le blé et le maïs auraient vu leur production baisser à cause des changements climatiques. Depuis 1980, la production mondiale de maïs et de blé a diminué de 3,8% et 5,5% respectivement et il est estimé que cette baisse de production serait responsable d'une hausse de 6% des prix alimentaires depuis 1980. De même, "les tendances climatiques dans certains pays sont suffisamment importantes pour effacer une portion importante des augmentations des rendements moyens liés aux progrès techniques, aux gains de fertilisation associés au CO₂ et à d'autres facteurs", notent les auteurs de l'étude.

La hausse des prix alimentaires en 2007-2008 a clairement mis en évidence la vulnérabilité de la sécurité alimentaire de la Tunisie. Des épisodes climatiques extrêmes, y compris sécheresses et inondations, ont touché les principaux pays producteurs de céréales en 2005-07. La production céréalière mondiale a chuté de 3,6 pour cent en 2005 et de 6,9 pour cent en 2006 avant de se rétablir en 2007. L'indice FAO des prix alimentaires, a augmenté de 54 % entre le premier trimestre 2007 et le premier trimestre 2008 (FAO, 2008). La hausse des prix a touché en particulier les denrées alimentaires de base : +157 % pour le blé, +140% pour le maïs, +93% pour le riz. Il en est de même pour le lait, les œufs et la viande (avec respectivement +48 %, +26 %, +8 %).

Cette évolution n'a pas manqué d'affecter la situation de la sécurité alimentaire en Tunisie. Après une période de relative stabilité, les prix à l'importation des produits agricoles de base ont connu une augmentation spectaculaire. Entre 2005 et le début de l'année 2008, les prix à l'importation ont été multipliés par 3,69 pour le blé dur, par 2,56 pour le blé tendre et par 2,4 pour l'orge. Quant aux huiles de graines importées, leur prix moyen est passé de 944 dinars la tonne en 2005 à 1200 dinars en 2007, soit une augmentation de l'ordre de 27%, alourdissant considérablement la facture alimentaire du pays. En valeur, les importations des céréales ont presque triplé passant de 599 MD en 2006 à 1438 MD en 2008. Celles des huiles végétales sont passées de 286 MD en 2006 à 560 MD en 2008, soit presque un quasi doublement.

Cet accroissement des prix à l'importation s'est répercuté en partie sur les prix à la consommation. Après des années de stabilité, des augmentations de prix des produits céréaliers sont annoncées le 12 août 2007. A son tour, l'huile de graines connaît un mouvement similaire et il en est de même du lait et des produits laitiers. Une seconde vague d'augmentations touchant ces produits est survenue en 2008. Ainsi, à partir de l'été 2007, les ménages tunisiens, en particulier les plus pauvres d'entre eux sont désormais aux prises avec une détérioration rapide de leur pouvoir d'achat. Ainsi entre février 2007 et février 2008, l'indice général des prix à la consommation s'est accru de 5,7%, les produits céréaliers de 9,4 % et les produits laitiers de 14,6 %.

Par ailleurs, bien que la flambée des cours mondiaux des produits de base a été en partie absorbée par l'inflation, une augmentation des dépenses de la CGC n'a pu être évitée. Face à la hausse des cours mondiaux, les dépenses de compensation ont grimpé pour les céréales à 433 millions de dinars en 2007 contre 240 millions de dinars en 2006.

Période	Région	Nombre de décès	Dommages	Coût
Mars 1973	Nord du pays, en particulier le bassin de la Medjerda	100	Importants dégâts matériels	-
Mars 1979	Médenine, sud du pays	-	7600 têtes ovines perdues et 1400 Km de pistes agricoles endommagées	-
Octobre 1982	Ville de Sfax		Près de 1000 logements complètement détruit + 8500 logements endommagés	-
Janvier 1990	Sidi Bouzid, Gafsa, Kairouan, Jeffara	60	7800 têtes de bétail perdues et 50 000 hectares endommagés	90 millions TND
Septembre 1995	Tataouine	20		Plus de 6 millions TND
Mai 2000	Plaine de Jendouba		1170 personnes sinistrés + dégâts matériels	3 millions TND
Janvier – Février 2003	Nord du pays et grand Tunis	-	Récoltes endommagées à 85%	20 millions TND
Septembre 2003	Grand Tunis	4	2500 personnes sans abri + dégâts matériels importants	-
Octobre 2007	Grand Tunis, en particulier le secteur de Sabelet Ben Ammar	16	-	-
Septembre 2009	Redayef	17	Importants dégâts matériels	
Septembre 2011	Nord du pays, Zaghuan, basse vallée de la Medjerda	-	3.000 hectares de terres agricoles endommagées	30 millions TND
Septembre 2018	Nabeul, Cap Bon et Kasserine	5	1791 agriculteurs sinistrés	250 millions TND

Table 20 : Principales inondations et leur conséquence depuis 1973

III.4 Synthèse des impacts sur la sécurité alimentaire

Nous avons vu dans ce qui précède que les interactions entre changement climatique, production agricole et sécurité alimentaire sont complexes et multifactorielles. Le tableau ci-dessous propose une synthèse des principaux impacts du changement climatique sur les différentes dimensions de la sécurité alimentaire en Tunisie.

Dimensions SA	Impacts potentiels
DISPONIBILITÉ	• La réduction des précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration réduisent les rendements des cultures pluviales et des terrains de parcours pastoraux. • La fertilité des sols se réduit et la dégradation des terres augmente avec les températures, l'évaporation et la sécheresse. • Le changement climatique induit une augmentation de l'incidence des ravageurs des cultures et des maladies des animaux. • Les pertes après-récolte augmentent avec le changement climatique.
ACCÈS	• Perte de revenus agricoles du fait de la baisse des rendements et des coûts plus élevés des intrants, notamment l'eau. • En affectant les quantités produites, les prix des denrées agricoles et alimentaires auront tendance à augmenter au niveau mondial et local. • Du fait de déplacements en lien avec des extrêmes climatiques et désastres, l'accès aux aliments peut être plus difficile.
UTILISATION	• Les températures élevées affectent la conservation des aliments et leur qualité sanitaire • La réduction de la quantité et qualité d'eau disponible affecte la nutrition • Le changement climatique induit une mortalité plus élevée.
STABILITÉ	• L'augmentation de la fréquence et sévérité des événements extrêmes et sécheresse affecte la stabilité des approvisionnements • Les revenus des agriculteurs sont plus imprévisibles • La plus grande rareté de l'eau tend à générer des conflits entre usagers et une course à la concurrence qui favorise ceux qui disposent de moyens pour extraire de l'eau plus profond.

Table 21 : Principaux impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire en Tunisie (adapté de PAM, 2018)

IV. Conclusions

Ce premier rapport a montré que si l'autosuffisance alimentaire n'a pas été atteinte, le secteur agricole dans son ensemble a connu une croissance de sa valeur ajoutée de plus de 4% par an pendant les 50 dernières années – le multipliant par 4 en valeur, alors que sa contribution au PIB national diminuait de moitié, de 20% au début des années 60 à un peu moins de 10% aujourd'hui. En toile de fonds du niveau élevé de sécurité alimentaire que connaît la Tunisie aujourd'hui, en comparaison avec ses voisins d'Afrique du Nord et d'autres pays à revenu intermédiaire, se trouvent des politiques publiques agricoles et de développement dont les fondements ont été maintenus depuis l'indépendance, notamment le rôle central de l'Etat dans les investissements productifs et sociaux (infrastructures, irrigation, eau potable, électrification, éducation, santé publique). Mais le déficit extérieur se creuse avec des importations alimentaires qui augmentent fortement et renforcent la dépendance et la vulnérabilité aux chocs extérieurs. Enfin, le glissement d'une alimentation de type méditerranéen à une alimentation déséquilibrée, a des impacts négatifs considérables sur la santé publique, avec plus de la moitié des personnes en surcharge pondérale.

Aujourd'hui, l'asservissement de l'agriculture aux besoins des autres secteurs, les structures foncières trop inégalitaires et la concurrence internationale accrue renforcent les contraintes et dessinent les contours d'une problématique structurelle qui s'aggrave. C'est le cas en premier lieu pour les ressources naturelles indispensables au développement de la production agricole, notamment des sols déjà peu fertiles et en voie de dégradation, de l'eau peu abondante mais de plus en plus surexploitée, tout comme les ressources halieutiques victimes à la fois de la pollution et de la surpêche. C'est également le cas pour les femmes et les hommes occupés dans l'agriculture, l'élevage et la pêche, très faiblement organisés en tant que secteur privé, qui dans l'ensemble s'appauvrissent et rencontrent des difficultés croissantes pour assurer la relève générationnelle.

Le changement climatique impacte ces contraintes structurelles, en les renforçant ou en les atténuant. Le rapport a permis de bâtir une base de connaissances solides qui éclaire sur la nature des risques concernant la production agricole et la sécurité alimentaire. Les changements constatés pour la période de référence (1981-2010) et les horizons considérés indiquent clairement une tendance au réchauffement et à une baisse des précipitations sur le long terme :

- Pour la température moyenne au niveau national : entre +1,5°C et +1,9°C à l'horizon 2050, et +1,9°C et +3,9°C à l'horizon 2100. Des évolutions très similaires sont attendues concernant les températures minimales et maximales.
- Pour les précipitations annuelles au niveau national : entre -14 mm et -22 mm (moins 6 à moins 9% des valeurs actuelles) à l'horizon 2050, et -23 mm et -45 mm (moins 9 à moins 18% des valeurs actuelles) à l'horizon 2100.

Ces évolutions sont du même ordre que les résultats des projections de l'INM publiées à l'occasion de la Troisième Communication Nationale de la Tunisie.

Ces tendances vont continuer à s'accroître à l'avenir avec une variabilité spatiale marquée par des gradients entre l'est et l'ouest mais aussi entre le nord et le sud.

Les projections d'extrêmes climatiques indiquent une recrudescence des phénomènes de sécheresses en fréquence et en intensité, en particulier dans le scénario RCP 8.5. Les vagues de chaleur pourraient voir leur nombre augmenter par 7. Les vagues de froid et la durée des périodes humides, quant à elles, diminueraient. Les événements de pluie fortes et extrêmes diminueraient dans le Nord du pays mais pourraient augmenter dans le Centre, le Sud et l'Ouest en fonction du type d'évènements considérés.

En outre, une version actualisée de la carte bioclimatique a été réalisée pour la période 1981-2010. Une comparaison visuelle de cette carte avec celle de 1976 semble indiquer une extension de l'étage aride et une contraction des étages supérieurs en particulier humide et subhumide. La Phase 2 de l'étude permettra de projeter ces indicateurs dans le futur et d'affiner ainsi le diagnostic.

Un ensemble d'indicateurs climatiques et agroclimatiques pertinents pour l'agriculture ont pu également être proposés, apportant un éclairage nouveau sur la nature des risques sur les productions étudiées ainsi que sur leur évolution récente. Il ressort de l'analyse des tendances passée (1981-2010) une évolution marquée en termes d'augmentation de l'ETP, l'avancée de stades phénologiques du blé, à la baisse de la vernalisation, à l'augmentation des jours échaudants et globalement à la baisse des périodes de froid et l'augmentation des hivers doux. Ces évolutions sont de nature à renforcer le risque de sécheresse agricole, le risque d'échaudage du blé ou encore le risque de développement des bio-agresseurs dues à des hivers plus doux et des températures élevées.

D'une manière générale, la tendance à l'aridification du climat résultant de températures durablement plus élevées, d'une augmentation de l'évapotranspiration (+ 11,3 mm / décennie) associée à une augmentation des épisodes de canicule (multiplication par 3 en 2050 et par 4 à 7 en 2100) et une baisse irréversible des précipitations de l'ordre de 18% à l'horizon 2100 font peser des contraintes considérables sur le secteur agricole. D'autre part, la diminution des précipitations touche principalement les régions des étages bioclimatiques humide et subhumide du Nord de la Tunisie, c'est à dire les grandes régions céréalières et agricoles, alors que les régions du Sud ne devraient pas être affectées par cette diminution.

Il en résulte des interrelations complexes entre déterminants climatiques et non climatiques de la sécurité alimentaire. Un travail de quantification des effets sur la disponibilité alimentaire a été proposé à partir de la construction de plusieurs modèles statistiques liant climat et productivité physique des céréales, de l'olivier et des terres de pâturage.

En s'adaptant aux spécificités des données statistiques et climatiques disponibles, cinq modèles de simulations des rendements en fonction de variables climatiques significatives ont été construits : blé dur, blé tendre, orge, olivier à huile et production fourragère sur les terres de parcours. Ces modèles sont plus consistants pour les céréales, grâce à une série statistique de 27 années et au fait que les simulations ont été réalisées sur les seules cultures conduites en pluvial, ce qui n'a pas été possible pour l'olivier à huile. Pour la production fourragère, l'approche a été nettement expérimentale, du fait de l'inexistence de séries temporelles de mesures de la production nationale.

Pour les céréales, il ressort de cet exercice que parmi tous les indicateurs utilisés, le bilan hydrique climatique ($BH_{an} = P - 0.5 ETP$) est un indicateur clé pour la prévision des rendements du aussi bien à l'échelle nationale que régionale avec des corrélations positives et fortes.

Pour l'olivier à huile, il ressort de cette analyse que le bilan hydrique climatique, le nombre de jours où la température est supérieure à 40°C et l'alternance, apparaissent comme les indicateurs les plus significatifs pour la prévision des rendements. L'indicateur des besoins en

froid utilisé (nombre de jours où la température est $<12^{\circ}\text{C}$) apparaît avec une moindre importance.

Le modèle retenu pour la modélisation de la production fourragère des terres de parcours, est fondé sur l'analyse de la pluie efficace. Le coefficient d'efficacité pluviométrique (CEP) de 1,9 que nous avons déterminé sur la base des relevés terrain est inférieur à ceux proposés par d'autres chercheurs en Tunisie et en Algérie avec 2,1 et 2,4 respectivement. Cette baisse de l'efficacité de la pluviométrie peut être due à plusieurs facteurs d'ordre biophysiques, de gouvernance, mais aussi climatiques.

Néanmoins, les effets du climat sur la production pastorale ici démontrés peuvent être aggravés par les modes des activités humaines comme l'ont démontré divers auteurs qui considèrent que la dégradation anthropique du tapis végétal entraîne une augmentation de la température du sol ce qui a pour effet de diminuer ses capacités de stockage de l'eau et tend à renforcer l'aridité d'origine climatique. En revanche, il n'existe pas de relation forte entre disponible fourrager et effectif des cheptels, ce qui met en évidence un mode d'élevage basé essentiellement sur des apports alimentaires de substitution procurés par des importations. En effet, selon les données officielles, les parcours procurent entre 8% et 16% des besoins alimentaires des cheptels selon les années. Ceci confirme le diagnostic déjà posé par divers auteurs qui expliquent que ces dynamiques ont permis l'émergence d'une nouvelle catégorie d'"entrepreneurs de l'élevage" de moins en moins dépendants des ressources fourragères pastorales. Ces mutations, les nouveaux modes de gestion adoptés et les stratégies individuelles mises en œuvre, sont de nature à amplifier davantage la vulnérabilité intrinsèque des terres de parcours, notamment du fait des pratiques de surpâturage, ce qui fragilise encore plus les filières dépendantes et finalement la sécurité alimentaire nationale.

Ces modélisations permettront de quantifier les effets futurs du changement climatique sur la production alimentaire nationale et d'affiner ainsi la connaissance de la vulnérabilité du système de sécurité alimentaire de la Tunisie.

Pour ce qui concerne la pêche, la présente étude n'a pas développé de modèle de prédiction des évolutions de la production. Néanmoins, plusieurs études qualitatives montrent que ce secteur est déjà impacté par le changement climatique avec :

- Une modification profonde dans la composition et la structure de la communauté halieutique
- L'abondance d'espèces nuisibles dont la prolifération est généralement imprévisible, irrégulière et de courte durée
- La fréquence plus élevée des blooms d'algues toxiques (HAB's) à l'origine de mortalités massives d'organismes marins notamment d'espèces d'intérêt halieutique et des conséquences dramatiques sur l'environnement.
- Des événements extrêmes (inondations) peuvent perturber la saisonnalité de la production primaire et entraîner une modification des biomasses phytoplanctoniques
- L'augmentation des pressions trophiques des méduses sur les stocks de poissons notamment pour les écosystèmes lagunaires.
- Les pêcheries artisanales des Kerkennah et la pêche à pied des palourdes dans le golfe de Gabes pratiquées par plusieurs milliers de femmes, sont menacées par l'augmentation du niveau de la mer.

Les impacts d'ores et déjà constatés sur l'accès et l'utilisation des aliments en Tunisie ainsi que la stabilité de ces dimensions ont été illustrés à partir d'évènements climatiques récents et ont notamment montré les effets différenciés constatés entre homme et femmes.

L'augmentation de la fréquence et de la sévérité des évènements extrêmes, notamment les sécheresses affecte la stabilité des approvisionnements, réduit les revenus des agriculteurs et des ménages les plus pauvres, alors que la plus grande rareté de l'eau tend à générer des conflits entre usagers et une course à la concurrence qui favorise ceux qui disposent de moyens pour extraire de l'eau toujours plus profond.