

Adapt'Action

**TUNISIE – CONTRIBUTION AUX ELEMENTS DE LA PHASE PREPARATOIRE
DU PROCESSUS DU PLAN NATIONAL D'ADAPTATION (AXE 2)**

Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire

Avril 2021

Version finale



LIVRABLE
DCP-2017-060 CZZ2152 – MS-2019-08

N°3/5

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 : « Tounis el khadra » Paysage agricole du nord-est de la Tunisie, avec la forêt utilisée comme parcours pour l'élevage jusqu'à la plaine labourée et irriguée par un lac collinaire au pied du djebel Zaghouan.
15 avril 2012*

Crédit photo : Denis POMMIER

Hommage



Notre collègue Rachid KHANFIR nous a quitté brutalement le 9 novembre dernier.

Nous avons partagé avec lui des moments intenses d'échanges dans le domaine de l'eau et du changement climatique cette année.

C'est toujours avec calme et sourire qu'il faisait passer ses idées et sa vision. Il a apporté une formidable contribution pour l'adaptation aux changements climatiques.

**Céline DEANDREIS
Denis POMMIER
Jamila BEN SOUSSI
Kamel TOUNSI
Mustapha JOULI
Riad BALAGHI
Rim ZITOUNA-CHEBBI
Stéphane SIMONET**

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES CARTES, FIGURES, TABLEAUX ET ENCADRÉS.....	6
RÉSUMÉ EXÉCUTIF	9
LES PROJECTIONS CLIMATIQUES ET AGROCLIMATIQUES	10
LES ENSEIGNEMENTS DE L'ANALYSE DES RISQUES DU CC SUR LA PRODUCTION NATIONALE	10
L'ÉVOLUTION DE LA DISPONIBILITÉ DES ALIMENTS.....	14
L'ÉVOLUTION DE L'ACCÈS AUX ALIMENTS.....	16
L'ÉVOLUTION DE L'UTILISATION DES ALIMENTS	17
STABILITÉ DU SYSTÈME ALIMENTAIRE	19
QUELS ENSEIGNEMENTS POUR LA TUNISIE ET SES PARTENAIRES.....	20
INTRODUCTION.....	21
1 PROJECTIONS CLIMATIQUES ET AGROCLIMATIQUES	23
1.1 SYNTHÈSE DES PROJECTIONS CLIMATIQUES POUR LA TUNISIE	23
1.1.1 <i>Évolution des variables et indicateurs climatiques</i>	23
1.1.2 <i>Évolution des étages bioclimatiques</i>	24
1.2 INDICATEURS AGROCLIMATIQUES PERTINENTS POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE	25
1.3 ÉVOLUTION DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES	26
1.3.1 <i>Un bilan hydrique moins favorable</i>	26
1.3.2 <i>Une hausse des températures hivernales impactant les productions</i>	27
1.3.3 <i>Un stress thermique accru</i>	27
1.3.4 <i>Synthèse de l'évolution des indicateurs agroclimatiques</i>	28
1.4 PERCEPTION DE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT	28
1.4.1 <i>Perception de l'évolution des températures</i>	28
1.4.2 <i>Perception de l'évolution de la pluviométrie</i>	28
1.4.3 <i>Perception de l'évolution des événements extrêmes</i>	28
2 RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES SYSTÈMES AGRO-SYLVO-PASTORAUX	31
2.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	31
2.1.1 <i>Cadre de l'analyse du risque</i>	31
2.1.2 <i>Chaînes de risque</i>	31
2.1.3 <i>Évaluation des composantes du risque</i>	32
2.1.4 <i>Modélisation de la production et des apports en eau</i>	36
2.1.5 <i>Modélisation des aires de répartition des plantes étudiées</i>	36
2.2 LE RISQUE LIÉ AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR L'EAU AGRICOLE	38
2.2.1 <i>Situation et défis de l'eau face au changement climatique</i>	38
2.2.2 <i>Indicateurs et probabilité d'occurrence de l'aléa du stress hydrique</i>	39
2.2.3 <i>Impact du changement climatique sur l'apport en eau</i>	40
2.2.4 <i>Impacts sur la qualité de l'eau</i>	44
2.2.5 <i>Perception des impacts du climat sur l'eau agricole</i>	44
2.2.6 <i>Facteurs de vulnérabilités de l'eau agricole</i>	45
2.2.7 <i>Autres facteurs de résilience</i>	46
2.3 RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES CULTURES CÉRÉALIÈRES	46
2.3.1 <i>Situation et défis du changement climatique</i>	46

2.3.2	<i>Tendances climatiques actuelles et futures affectant la production (aléas)</i>	46
2.3.3	<i>Impact du changement climatique sur la production de céréales</i>	48
2.3.4	<i>Perception des impacts de l'évolution du climat sur la céréaliculture</i>	56
2.3.5	<i>Facteurs de vulnérabilités de la production</i>	57
2.4	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR L'OLEICULTURE	59
2.4.1	<i>Situation et défis du changement climatique</i>	59
2.4.2	<i>Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas</i>	59
2.4.3	<i>Impact du changement climatique sur la production d'olives</i>	61
2.4.4	<i>Perception des impacts de l'évolution du climat sur l'oléiculture</i>	66
2.4.5	<i>Facteurs de vulnérabilités de la production</i>	66
2.5	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES PARCOURS ET L'ELEVAGE	67
2.5.1	<i>Situation et défis du changement climatique</i>	67
2.5.2	<i>Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas</i>	68
2.5.3	<i>Impact du changement climatique sur la production fourragère des parcours</i>	69
2.5.4	<i>Perception des impacts du climat sur les parcours et l'élevage</i>	76
2.5.5	<i>Facteurs de vulnérabilités de la production</i>	76
2.6	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LA PECHE	79
2.6.1	<i>Situation et défis du changement climatique</i>	79
2.6.2	<i>Tendances climatiques actuelles et futures affectant la production halieutique (aléas)</i>	79
2.6.3	<i>Impact du changement climatique sur la production et les ressources marines</i>	84
2.6.4	<i>Perception des impacts du climat sur la pêche</i>	88
2.6.5	<i>Facteurs de vulnérabilités de la production et les ressources marines</i>	89
2.7	ÉVALUATION ET HIERARCHISATION DES RISQUES POUR LES SYSTEMES AGRO-SYLVO-PASTORAUX ET LA PECHE	91
2.7.1	<i>Matrices d'évaluation et de hiérarchisation</i>	91
2.7.2	<i>Synthèse des risques sur les secteurs étudiés</i>	97
3	IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE	101
3.1	IMPACTS SUR LA DISPONIBILITE ALIMENTAIRE	102
3.1.1	<i>Évolution de la production de céréales</i>	102
3.1.2	<i>Évolution de la production d'olives à huile et d'huile d'olive</i>	105
3.1.3	<i>Évolution de la production de viande rouge pastorale (parcours)</i>	106
3.1.4	<i>Évolution de la production halieutique nationale</i>	108
3.1.5	<i>Synthèse de l'évolution de la production nationale</i>	108
3.1.6	<i>Évolution des Importations alimentaires</i>	109
3.2	IMPACTS SUR L'ACCES AUX ALIMENTS	110
3.2.1	<i>Perspectives d'évolution des prix alimentaires</i>	111
3.2.2	<i>Perspectives d'évolution de la pauvreté</i>	112
3.3	IMPACTS SUR L'UTILISATION DES ALIMENTS	114
3.3.1	<i>Évolution de la population</i>	114
3.3.2	<i>Évolution de la demande en eau bleue et du bilan hydrique</i>	115
3.3.3	<i>Évolution de la consommation et transition alimentaire</i>	117
3.3.4	<i>Couverture des besoins alimentaires futurs</i>	119
3.4	IMPACTS SUR LA STABILITE ALIMENTAIRE	120
3.4.1	<i>Stabilité de la production nationale : impact des événements extrêmes</i>	120
3.4.2	<i>Instabilité des marchés mondiaux</i>	121
3.4.3	<i>Perception des impacts socio-économiques à la suite d'évènements climatiques extrêmes</i>	121
4	CONCLUSIONS.....	123

LISTE DES CARTES, FIGURES, TABLEAUX ET ENCADRÉS

ENCADRE 1 LES POINTS CLES DES PROJECTIONS CLIMATIQUES POUR LA TUNISIE	30
ENCADRE 2 RESUME DE LA DEFINITION DU RISQUE SELON L'AR5	31
ENCADRE 3 PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES CLIMATIQUES POUR L'EVALUATION DES SCORES D'ALEA	36
ENCADRE 4 : MORTALITE ET LIEN AVEC LES VAGUES DE CHALEUR	89
ENCADRE 5 INCERTITUDES DES PROJECTIONS CLIMATIQUES POUR LES INDICATEURS	98
FIGURE 1: ÉCART DE TEMPERATURE MOYENNE A L'HORIZON 2050 (PERIODE 2036-2064) ET 2100 (PERIODE 2071-2100), PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981-2010, SELON LE SCENARIO RCP8.5. MEDIANE DE L'ENSEMBLE MULTI-MODELES.	24
FIGURE 2 : ÉVOLUTION DE LA REPARTITION SPATIALE DES ETAGES BIOCLIMATIQUES, A GAUCHE LA PERIODE DE REFERENCE, A DROITE EN 2100 SELON LE RCP8.5.	25
FIGURE 3 : ÉVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE (MM) DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981–2010, SUIVANT LE RCP8.5.	27
FIGURE 4 : ÉVOLUTION DE LA LONGUEUR DE LA PERIODE DE CROISSANCE VEGETATIVE DANS LE FUTUR PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010, ET TENDANCE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE, SUIVANT LE RCP8.5.	27
FIGURE 5 : CADRE CONCEPTUEL DE L'ANALYSE DU RISQUE DU 5EME RAPPORT DU GIEC (AR5).	31
FIGURE 6 : ORGANISATION DES CHAINES DE RISQUE.	32
FIGURE 7 : CARTE DES ZONES ADMINISTRATIVES DE PECHE MARITIME EN TUNISIE	33
FIGURE 8 : METHODE DE CALCUL DU SCORE D'ALEA	34
FIGURE 9: CARTES D'OCCUPATION DES TERRES DE TUNISIE.	37
FIGURE 10 : NOMBRE D'ANNEES DE SURVENUE DE L'ALEA EN 10 ANS POUR LES HORIZONS FUTURS (2050 ET 2100) ET SELON LES 2 SCENARIOS (RCP 4.5 ET RCP 8.5) POUR UN ALEA QUI SE PRODUIT UNE FOIS TOUS LES 10 ANS EN PERIODE DE REFERENCE. MEDIANE MULTI-MODELES POUR CHAQUE SCENARIO ET CHAQUE HORIZON.	39
FIGURE 11: LES APPORTS TOTAUX EN EAU DE SURFACE POUR LA PERIODE 1990/91-2015/16. SOURCE : DGRE- Mai 2017	41
FIGURE 12 : ÉVOLUTION DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE ET SOUTERRAINE SELON SCENARIOS RCP 4.5 ET 8.5	43
FIGURE 13: NOMBRE D'ANNEES DE SURVENUE DE L'ALEA EN 10 ANS POUR LES HORIZONS FUTURS (2050 ET 2100) ET SELON LES 2 SCENARIOS (RCP 4.5 ET RCP 8.5) POUR UN ALEA QUI SE PRODUIT UNE FOIS TOUS LES 10 ANS EN PERIODE DE REFERENCE. MEDIANE MULTI-MODELES POUR CHAQUE SCENARIO	47
FIGURE 14 : VARIATION DU RENDEMENT NATIONAL DU BLE DUR EN FONCTION DES PROJECTIONS CLIMATIQUES	49
FIGURE 15 : VARIATION DU RENDEMENT NATIONAL DU BLE TENDRE EN FONCTION DES PROJECTIONS CLIMATIQUES	49
FIGURE 16 : VARIATION DU RENDEMENT NATIONAL DE L'ORGE EN FONCTION DES PROJECTIONS CLIMATIQUES	49
FIGURE 17 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS DU BLE DUR POUR 2100	51
FIGURE 18 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS DU BLE TENDRE POUR 2100	51
FIGURE 19 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS DE L'ORGE	51
FIGURE 20 : VARIATION DU RENDEMENT DU BLE DUR PLUVIAL HORIZON 2100- PERIODE DE REFERENCE EN %	52
FIGURE 21 : VARIATION DU RENDEMENT DU BLE TENDRE PLUVIAL HORIZON 2050 ET 2100 / PERIODE DE REFERENCE EN %	52
FIGURE 22 : VARIATION DU RENDEMENT DE L'ORGE PLUVIAL HORIZON 2050 ET 2100 / PERIODE DE REFERENCE EN %	52
FIGURE 23 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DU BLE DUR (QX/HA) PAR GOUVERNORAT	53
FIGURE 24 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DU BLE TENDRE (QX/HA) PAR GOUVERNORAT	53
FIGURE 25 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DE L'ORGE (QX/HA) PAR GOUVERNORAT	53
FIGURE 26: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A LA CULTURE DES CEREALES A L'HORIZON 2100 POUR LE SCENARIO RCP8.5.	55
FIGURE 27 : NOMBRE D'ANNEES DE SURVENUE DE L'ALEA EN 10 ANS POUR LES HORIZONS FUTURS (2050 ET 2100) ET SELON LES 2 SCENARIOS (RCP 4.5 ET RCP 8.5) POUR UN ALEA QUI SE PRODUIT UNE FOIS TOUS LES 10 ANS EN PERIODE DE REFERENCE. MEDIANE MULTI-MODELES POUR CHAQUE SCENARIO ET CHAQUE HORIZON	60
FIGURE 28 : SIMULATION DU RENDEMENT NATIONAL OLIVE A HUILE JUSQU'A 2100	61

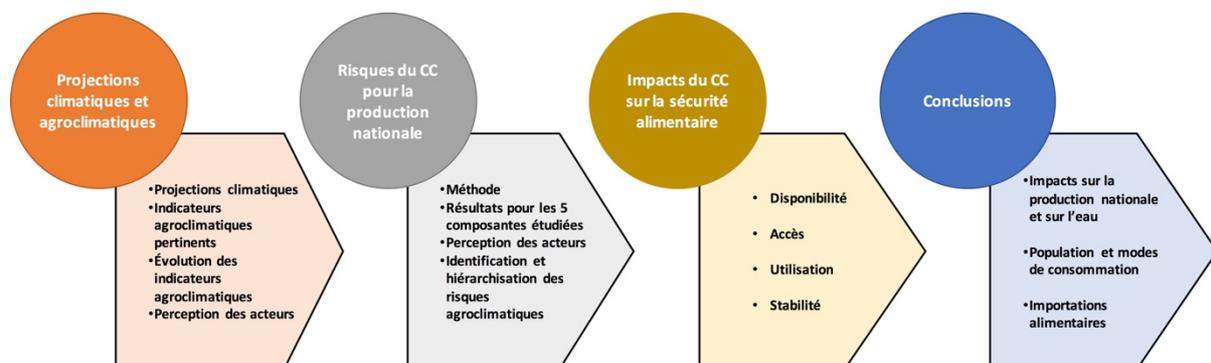
FIGURE 29 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS	62
FIGURE 30 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELES DES RENDEMENTS DE L'OLIVE A HUILE (T/HA) PAR GOUVERNORAT - RCP 4.5 ET RCP 8.5 POUR 2100	62
FIGURE 31 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE EN % DES RENDEMENTS DE L'OLIVE A HUILE PAR GOUVERNORAT - RCP 4.5 ET RCP 8.5 POUR LA PERIODE DE REFERENCE, 2050 ET 2100	63
FIGURE 32: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A LA CULTURE DE L'OLIVIER AUX HORIZONS 2050 ET 2100 POUR LE SCENARIO RCP8.5.	65
FIGURE 33 : NOMBRE D'ANNEES DE SURVENUE DE L'ALEA EN 10 ANS POUR LES HORIZONS 2050 ET 2100 ET LES SCENARIOS RCP 4.5 ET 8.5 POUR UN ALEA QUI SE PRODUIT UNE FOIS TOUTS LES 10 ANS EN PERIODE DE REFERENCE. MEDIANE MULTI-MODELES PAR SCENARIO ET HORIZON	68
FIGURE 34 : COMPARAISON DE LA PRODUCTION FOURRAGERE DES PARCOURS DE TUNISIE POUR LES SCENARIOS RCP4.5 ET RCP8.5 EN TERMES DE MEDIANE MULTIMODELES AVEC Q10 ET Q90	70
FIGURE 35: : PRODUCTION DES PARCOURS (MEDIANE MULTIMODELES) POUR LA PERIODE DE REFERENCE ET LES HORIZONS 2050 ET 2100 ENCADRES PAR Q10 ET Q90 ESTIMEE EN MILLIONS D'UNITES FOURRAGERES	71
FIGURE 36 : RENDEMENTS EN UNITES FOURRAGERES PAR HA, PAR AN ET PAR GOUVERNORAT A L'HORIZON 2100 POUR RCP8.5	72
FIGURE 37 : VARIATION DE RENDEMENT DES PARCOURS EN 2050 ET 2100 SELON RCP 5.5 ET 8.5	73
FIGURE 38: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE DS PLANTES FOURRAGERES ETUDIEES A L'HORIZON 2100.	75
FIGURE 39: ÉVOLUTION MOYENNE DE LA TEMPERATURE DES EAUX DE SURFACE LE LONG DES COTES TUNISIENNES ENTRE 1958- 2007. SOURCE SODA (SIMPLE OCEAN DATA ASSIMILATION)	79
FIGURE 40: GRILLE DE POINTS DU MODELE (1° x 1°), DONNEES MENSUELLES DE NOVEMBRE 1981 A JUIN 2020.	80
LES REPARTITIONS SPATIALES DES TEMPERATURES DE SURFACE DE LA MER POUR LA SITUATION DE REFERENCE, CELLE ACTUELLE ET PROJETEES MONTRENT CLAIREMENT LA TENDANCE A LA HAUSSE. (FIGURE 41)	80
FIGURE 42 : VARIATION SPATIALE DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER :	81
FIGURE 43 : GRILLE DE POINTS DU MODELE (1° x 1°), DONNEES MENSUELLES DE L'ÉLEVATION DU NIVEAU DE LA MER (JANVIER 1980 A JUIN 2015)	82
FIGURE 44 VARIATION SPATIALE DE NIVEAU DE SURFACE DE LA MER	83
FIGURE 45 : ÉVOLUTION DE LA BIOINVASION ET DE LA TEMPERATURE DES EAUX DE SURFACE EN TUNISIE ENTRE 1990 ET 2020	85
FIGURE 46 : ÉVOLUTION DE LA BIOINVASION EN TUNISIE ENTRE 1990 ET 2100	85
FIGURE 47 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS DES CAPTURES MARITIME EN TUNISIE EN TONNES PAR KM2	86
FIGURE 48 : RETRECISSEMENT DE LA ZONE D'IMPLANTATION DES PECHERIES FIXES A KERKENNAH A L'HORIZON 2100 POUR RCP 4.5 ET 8.5	87
FIGURE 49 : SCORES DE RISQUE POUR LA CEREALICULTURE, LE PASTORALISME, L'OLEICULTURE ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION NORD EST.	91
FIGURE 50 : SCORES DE RISQUE POUR LA CEREALICULTURE, LE PASTORALISME, L'OLEICULTURE ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION NORD-OUEST.	92
FIGURE 51 : SCORES DE RISQUE POUR LA CEREALICULTURE, LE PASTORALISME, L'OLEICULTURE ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION CENTRE EST.	93
FIGURE 52 : SCORES DE RISQUE POUR LA CEREALICULTURE, LE PASTORALISME, L'OLEICULTURE ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION CENTRE OUEST.	94
FIGURE 53 : SCORES DE RISQUE POUR LA CEREALICULTURE, LE PASTORALISME, L'OLEICULTURE ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION SUD EST.	95
FIGURE 54 : SCORES DE RISQUE POUR LA CEREALICULTURE, LE PASTORALISME, L'OLEICULTURE ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION SUD-OUEST.	96
FIGURE 55: SYNTHESE DU NIVEAU DE RISQUE POUR L'ENSEMBLE DES RISQUES SUR LES SECTEURS ETUDIES.	97
FIGURE 56 : SCORES DE RISQUE POUR LA PECHE DANS LES ZONE NORD, CENTRE ET SUD DE PECHE DE LA TUNISIE	99
FIGURE 57 : REPRESENTATION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE SELON FAO	101
FIGURE 58 : INDICE DE PRIX A LA PRODUCTION SELON LES DIFFERENTS SCENARIOS	112
FIGURE 59 : ÉVOLUTION DE L'INDICE DE GINI POUR LA TUNISIE (INS)	113
FIGURE 60: PROJECTION DE LA POPULATION TUNISIENNE (EN MILLION)	114

TABLEAU 1 : RAPPEL DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES SELECTIONNES.	25
TABLEAU 2 : REGROUPEMENT DES GOUVERNORATS DE LA TUNISIE EN GRANDES REGIONS	32
TABLEAU 3 : GRILLE D'ÉVALUATION DE LA CAPACITE D'ADAPTATION ET DE LA SENSIBILITE ET AGREGATION ARITHMETIQUE DES SCORES DE SENSIBILITE ET DE CAPACITE D'ADAPTATION EN UN SCORE DE VULNERABILITE	35
TABLEAU 4 ÉVOLUTION RELATIVE DES QUANTITE DE PLUIES REÇUES PAR BASSIN VERSANT POUR LES HORIZONS 2050 ET 2100 DANS LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (SOURCE : CALCUL DE L'ÉTUDE)	40
TABLEAU 5 : APPORTS D'EAU CALCULES SELON LES DIFFERENTES FORMULES D'ESTIMATION DES ECOULEMENTS. SOURCE : ÉLABORATION ETUDE	41
TABLEAU 6: APPORTS EN EAU COMPARES POUR LES SCENARIOS RCP 4.5 ET 8.5 AUX HORIZONS 2050 ET 2100. SOURCE : ÉLABORATION ETUDE, 2020	42
TABLEAU 7 : APPORTS D'EAU CALCULES POUR UNE PLUVIOMETRIE CONSTANTE. SOURCE : ÉLABORATION ETUDE	42
TABLEAU 8 : ÉVOLUTION DES RESSOURCES ANNUELLES EN EAUX SOUTERRAINES SELON SCENARIO RCP4.5 ET 8.5. SOURCE : ÉLABORATION ETUDE	43
TABLEAU 9 : COMPARAISON DES RENDEMENTS DES CEREALES EN VALEUR ABSOLUE ET EN % DE VARIATION POUR LES SCENARIOS RCP4.5 ET 8.5 AUX HORIZONS 2050 ET 2100	48
TABLEAU 10 : PROJECTION DES RENDEMENTS DE L'OLIVE A HUILE AUX HORIZONS 2050 ET 2100.	61
TABLEAU 11 : RECAPITULATIF DE L'ÉVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER ACTUELLE, A L'HORIZON DE 2050 ET A LA FIN DU SIECLE (2100).	81
TABLEAU 12 : RECAPITULATIF DE LA HAUSSE EN CM DU NIVEAU DE SURFACE DE LA MER (SHL) PAR RAPPORT A L'ANNEE DE REFERENCE 1980	82
TABLEAU 13 : FACTEURS D'AJUSTEMENT DES QUANTITES DEBARQUEES POUR LE CALCUL DE LA PRODUCTION	84
TABLEAU 14 : ÉVOLUTION DE LA BIOINVASION FAUNISTIQUE ACTUELLE ET A L'HORIZON DE 2050 PAR SECTEUR DE PECHE EN TUNISIE	85
TABLEAU 15: RECAPITULATIF DU RENDEMENT DE LA PECHE PAR SECTEUR DE CAPTURE AUX DIFFERENTS HORIZONS EXPRIME EN TONNES/KM ² .	86
TABLEAU 16 : ÉVOLUTION DES EXPORTATIONS EN QUANTITE ET EN VALEUR DE CRABES BLEUS (SOURCE GIPP)	90
TABLEAU 17 : ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE CEREALES EN PLUVIAL ET IRRIGUE A SURFACE ET TECHNOLOGIE CONSTANTE POUR LES HORIZONS 2050 ET 2100 DANS LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP8.5	102
TABLEAU 18 : VARIATION TOTALE DE LA PRODUCTION DE CEREALES EN PLUVIAL ET IRRIGUE AVEC L'EFFET DE L'APTITUDE CLIMATIQUE AUX HORIZONS 2050 ET 2100 DANS LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP8.5	102
TABLEAU 19 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION NATIONALE DE CEREALES A L'HORIZON 2050 POUR LES TROIS SCENARIOS (FAO, 2018)	104
TABLEAU 20 CONSOMMATION, PRODUCTION NATIONALE ET COMMERCE NET DES CEREALES (IFPRI)	104
TABLEAU 21 : PROJECTION DE LA PRODUCTION OLEICOLE AUX HORIZONS 2050 ET 2100	105
TABLEAU 22 : PROJECTION DE LA PRODUCTION OLEICOLE AUX HORIZONS 2050 ET 2100	105
TABLEAU 23 : PRODUCTION OLEICOLE DANS LES DIFFERENTS SCENARIOS A L'HORIZON 2050 (FAO, FOFA, 2018)	106
TABLEAU 24 PRODUCTION NATIONALE DES PARCOURS EN UNITES FOURRAGERES ET CONVERSION EN VIANDE ROUGE.	107
TABLEAU 25 PRODUCTION NATIONALE DES AVEC VARIATION DE L'APTITUDE CLIMATIQUE AUX PLANTES FOURRAGERES	107
TABLEAU 26 PROJECTION DU POTENTIEL DE PECHE MARINE AUX HORIZONS 2050 ET 2100.	108
TABLEAU 27 BILAN ALIMENTAIRE COMPARES 2012-2050 SELON TROIS SCENARIOS (FAO, FOFA)	110
TABLEAU 28 : COMMERCE NET DES PRODUITS ALIMENTAIRES EN MILLIONS DE TONNES (IFPRI)	110
TABLEAU 29 : ÉVOLUTION DU PIB DE LA TUNISIE EN USD PER CAPITA	112
TABLEAU 30 : LES BILANS HYDRIQUES EN EAU BLEUE COMPARES ENTRE 2018, 2050 ET 2100 POUR DIFFERENTS SCENARIOS	115
TABLEAU 31: HYPOTHESES D'ÉVOLUTION DES PRINCIPAUX CRITERES DANS LES SCENARIOS FAO – FOFA (2018)	118
TABLEAU 32 ÉVOLUTION DES PRINCIPAUX INDICATEURS ALIMENTAIRES SELON LES TROIS SCENARIOS FOFA 2018	119
TABLEAU 33 EFFETS DES SCENARIOS D'ÉVOLUTION DES MODELES DE CONSOMMATION ALIMENTAIRE SUR LA SENSIBILITE AU CC	120

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

La Tunisie est passée en quelques décennies, d'une situation de relative autosuffisance alimentaire au lendemain de l'indépendance à une croissante exposition aux aléas des marchés mondiaux de matières premières alimentaires comme aux aléas climatiques. Les perspectives du changement climatique font craindre une accentuation de ces phénomènes. Dès lors, se pose la question des moyens à mobiliser pour améliorer durablement la sécurité alimentaire et en particulier des moyens de protéger et renforcer les capacités nationales de production et les possibilités de réduire la dépendance aux marchés mondiaux pour l'approvisionnement en aliments de base.

Le présent rapport s'attache à caractériser les impacts du changement climatique principalement par rapport aux conséquences sur la production nationale pour cinq composantes phares de l'alimentation en Tunisie que sont l'eau, les céréales, l'oléiculture, les fourrages et donc les productions animales et les produits de la pêche. L'évolution de la demande alimentaire, qui n'est pas directement corrélée au CC est également étudiée pour pouvoir produire une évaluation des impacts sur la composante utilisation des aliments, qui est un facteur clé de la sécurité alimentaire. Le graphique ci-dessous présente le lien entre les différentes étapes du présent travail, constituant chacun un chapitre du rapport.



Notre démarche, présentée en introduction, apporte de nombreuses innovations qu'il convient de souligner :

- Pour la première fois en Tunisie, un modèle climatique national de 1981 à 2100 à 5 km de résolution, échelle pertinente pour l'analyse agroclimatique, a été construit et décliné en deux scénarios RCP 4.5 (fourchette haute de l'accord de Paris) et RCP 8.5 (tendance actuelle).
- La distribution des étages bio-climatiques qui datait des années 70 a été actualisée puis projetée dans le futur.
- Une analyse de l'évolution des aires d'aptitude climatique en fonction des cultures a été réalisée pour la première fois à l'échelle nationale.
- Un bilan hydrique national (demande/ressource) a été construit pour la première fois en tenant compte de l'évolution climatique par bassin versant.
- Des modèles mathématiques permettant d'estimer l'évolution des rendements en lien avec les facteurs climatiques ont été mis au point pour la première fois
- Une estimation de l'évolution de la production aux horizons 2050 et 2100 pour les cultures étudiées a été réalisée pour la première fois à l'échelle nationale à la fois sous l'hypothèse de maintien des surfaces et de variation de l'aptitude climatique.

- Une analyse quantitative et qualitative spécifique aux zones de pêche tunisiennes a permis de produire pour la première fois une estimation de l'évolution des ressources halieutiques marines à l'échelle nationale.
- L'analyse spatiale à différentes échelles a permis d'identifier les espaces les plus vulnérables aux impacts du CC

Les projections climatiques et agroclimatiques

Les principaux enseignements de l'analyse des projections climatiques et agroclimatiques sont les suivants :

- Au niveau national, une augmentation des températures (entre +1.5°C et +1.9°C à l'horizon 2050 et entre +1.9°C et +3.9°C à l'horizon 2100) et une diminution des précipitations annuelles (entre -6% et -9% en 2050 et entre -9% et -18% en 2100 par rapport à la période de référence 1981-2010) sont attendues sous changement climatique ;
- Le changement climatique devrait entraîner une augmentation des événements climatiques extrêmes, notamment des phénomènes de sécheresse ;
- La distribution des étages bioclimatiques devrait évoluer avec une remontée des étages bioclimatiques vers le Nord, une extension de l'étage saharien et la quasi-disparition de l'étage humide d'ici 2100 ;
- Les projections climatiques indiquent un bilan hydrique moins favorable sur l'ensemble du territoire entraînant une diminution de l'apport en eau disponible pour les productions ;
- Une hausse des températures hivernales est aussi attendue, affectant les stades de développement des cultures et les rendements ;
- L'augmentation des températures va accroître le stress hydrique avec notamment un plus grand nombre des jours de chaleur extrême.

Les enseignements de l'analyse des risques du CC sur la production nationale

Les modélisations effectuées de l'évolution du changement climatique sur la production nationale a été réalisée pour 5 composantes phares de l'alimentation tunisienne :

- L'eau
- Les principales céréales (blé dur, blé tendre et orge) conduites en pluvial
- L'olivier à huile
- Les parcours et la production de viande rouge (ovins, caprins) associée
- Les produits issus de la pêche maritime

Pour chacune de ces cinq composantes sont modélisés et quantifiés de manière précise les impacts des indicateurs agroclimatiques en termes de production. Les principaux résultats obtenus pour chacune de ces composantes sont présentés ci-dessous.

Conclusions pour l'évolution des ressources en eau :

En Tunisie, les ressources en eau constituent l'une des ressources naturelles les plus menacées. Le tiers des ressources en eau souterraine provient de nappes très faiblement renouvelables et sont, de ce fait, épuisables. Les ressources en eau renouvelable représentent une fraction des

eaux pluviales et tout changement quantitatif ou qualitatif des précipitations, des températures et de l'évaporation aura un impact direct sur le potentiel en eau de surface et souterraine.

Sous l'effet du changement climatique, les caractéristiques hydrologiques vont très probablement changer dans le futur ce qui va nécessiter un nouveau modèle de gestion des ressources en eau afin de réduire la vulnérabilité des différentes activités dépendantes.

Sous l'effet de la diminution de la pluviométrie et l'augmentation de la température, les résultats des formules empiriques de Tixeront, de Turc et de Schreiber basées sur l'approche du bilan hydrologique, montrent une nette diminution des apports en eau qui varie selon les scénarios de 25 à 36% à l'horizon 2050 et de 33 à 61% à l'horizon 2100. En considérant uniquement l'élévation de température et en prenant une pluviométrie constante jusqu'à 2100, les écoulements baissent de 7 à 11% en 2050 et de 9 à 20% en 2100 selon les différentes formules. Nous constatons que le tiers de la diminution des écoulements est dû à l'augmentation de l'évapotranspiration et les 2/3 reviennent à la diminution de la quantité de pluie.

En considérant l'étroite relation entre les écoulements de surface et l'infiltration, le taux de variation des volumes infiltrés seraient équivalents à celui des eaux d'écoulement de surface. Seules les nappes à ressources renouvelables sont affectées par le changement climatique, les réserves en eau des nappes du Sahara septentrional ne seront concernées que par l'augmentation de la demande en eau.

Le quota en ressources renouvelables par habitant et par an pourrait passer de 366 m³ actuellement à 200 m³ en 2050 et moins de 150 m³ en 2100. Ces chiffres sont très faibles et en dessous du seuil du stress hydrique et ne peuvent pas satisfaire la demande eau des différents secteurs avec les technologies actuelles.

Au centre et au sud, les agriculteurs s'orientent de plus en plus vers l'arboriculture irriguée qui était traditionnellement exclusivement pluviale. Au nord, les céréales s'étendent de plus en plus dans les périmètres publics irrigués par les eaux des barrages. Pour satisfaire leur demande en eau, les agriculteurs se sont orientés vers les techniques d'économie d'eau. Celles-ci sont devenues une composante essentielle de l'équipement des superficies irriguées.

Les agriculteurs du nord perçoivent mieux le changement climatique, que ceux du centre et du sud, ces derniers insistent surtout sur le phénomène de l'élévation de la température et se sont orientés depuis longtemps vers l'irrigation intensive ou complémentaire à partir des eaux souterraines. L'accès direct à la ressource, parce que souterraine, et les prélèvements intensifs sur les réserves semblent à l'origine d'une plus faible sensibilité des agriculteurs irrigants aux effets du changement climatique.

Conclusions pour les céréales conduites en pluvial :

Toutes les régions de la Tunisie devraient subir une augmentation majeure de la survenue des aléas touchant la céréaliculture tels que l'échaudage, les hivers doux menant à un non-nettoyage des maladies et des ravageurs et l'avancée du cycle de développement des cultures. Ce dernier aléa présente un risque important s'il coïncide avec l'apparition de gel printanier, dont la fréquence devrait augmenter dans le Centre Est. Enfin, les régions du Sud et du Centre Ouest seront les plus exposées à la survenue de périodes de stress hydrique.

Toutes les prévisions montrent que l'impact du changement climatique sur le rendement céréalier est négatif pour les trois principales céréales cultivées en Tunisie.

Ainsi, pour le blé dur, les projections climatiques indiquent une baisse du rendement de l'ordre de 14 à 26% à l'horizon 2100, ce qui signifie entre moins 1,7 qx/hectare et moins 3,2 qx/ha à l'horizon 2100 pour les scénarios RCP 4.5 et RCP8.5. La baisse de rendement du blé tendre en pluvial serait encore plus marquée avec moins 18% jusqu'à moins 33% selon les scénarios à l'horizon 2100. Le rendement national simulé pour l'orge pourrait connaître une baisse située entre 14 et 32%.

L'analyse de la variabilité interannuelle (approchée par l'écart-type) des rendements simulés des céréales à l'échelle des gouvernorats ne montre pas de bouleversements majeurs concernant l'aptitude climatique des gouvernorats pour les deux horizons temporels (2050 et 2100) et pour les deux RCP considérés.

Les aires d'aptitude climatique favorables à la céréaliculture se contracteraient et remonteraient vers le nord de la Tunisie, en raison des changements climatiques. Les incertitudes dans les projections des aires d'aptitude, liées aux différences de projection entre les modèles climatiques, s'accroissent avec le temps et sont plus importantes pour le scénario RCP8.5.

A l'horizon 2100, les aires favorables aux céréales (blés et orge) diminueraient en moyenne de 16% (entre -31% et +4% selon les modèles climatiques) pour le scénario RCP8.5 et en moyenne de -8% (entre -20% et +9%) pour le scénario RCP4.5.

Le blé tendre serait le plus affecté avec une diminution moyenne de 26% (entre 0% et -32%), puis l'orge avec en moyenne -13% (entre -28% et +7%) et enfin le blé dur avec en moyenne -8% (entre -33% et +5%).

Ces diminutions d'aires favorables auront des impacts négatifs sur la production céréalière en Tunisie, dans les conditions technologiques et économiques actuelles qui caractérisent les pratiques de production.

Conclusions pour l'oléiculture

Contrairement à une idée communément admise, les oliveraies tunisiennes sont particulièrement exposées au risque du changement climatique. Cela s'explique en partie parce qu'elles sont principalement situées à proximité de zones déjà fortement défavorables.

Toutes les régions de la Tunisie devraient ainsi subir une forte augmentation de la survenue des aléas touchant l'oléiculture, tels que le nombre élevé de journées de canicules couplé à un stress hydrique et menant à une baisse des rendements, ou encore des hivers doux avec peu de jours frais, menaçant la satisfaction des besoins en froid de l'olivier pour la floraison. L'augmentation de la survenue du gel printanier, présentant un risque de destruction de la floraison menant à une perte de rendement, devrait être observée uniquement dans le Centre Est. Dans les autres régions, ce risque devrait diminuer voire disparaître.

Les projections climatiques RCP 4.5 révèlent une baisse de rendement de l'ordre de 30% entre la période de référence (1981-2010) et 2100 ce qui représente une perte de plus de 200 kilogrammes par hectare. Pour le scénario RCP 8.5, la diminution à l'horizon 2100 serait beaucoup plus forte, autour de 66%, avec un rendement de l'ordre de 250 kilogrammes par Ha. L'écart type moyen des rendements calculés pour les multi-modèles est estimé à 0,07 T/ha.

Les aires d'aptitude climatique à l'oléiculture se contracteraient et remonteraient vers le nord de la Tunisie, en raison des changements climatiques. Les incertitudes dans les projections des aires d'aptitude, liées aux différences de projection entre les modèles climatiques, s'accroissent avec le temps et sont plus importantes pour le scénario RCP8.5. Elles sont également très importantes

pour les classes "Très favorables" et "Très défavorables", situées aux limites climatiques de la Tunisie et donc sensibles à toute variation du climat.

A l'horizon 2100, les aires favorables à l'oléiculture diminueraient en moyenne de 14% (entre -27% et +7%, selon les modèles climatiques) pour le scénario RCP8.5 et en moyenne de -5% (entre -17% et +11%) pour le scénario RCP4.5.

Néanmoins, ces résultats sont à nuancer du fait de la faiblesse des données disponibles (voir partie sur les limites de ce travail).

Conclusions pour les parcours

L'ensemble des régions de la Tunisie devrait subir une augmentation importante de la survenue des aléas touchant les activités pastorales, tels que le nombre élevé de journées de canicules accompagné d'un stress hydrique et menant à une baisse des rendements fourragers, ou encore des précipitations spatialement et temporellement irrégulières affectant le développement de la végétation.

Les projections de la production fourragère des parcours montrent une tendance générale à la baisse dans le futur, plus prononcée vers la fin du siècle pour le scénario RCP8.5 avec une diminution de l'ordre de 40% environ par rapport à la période de référence. Pour le RCP4.5, la plus forte baisse, comparée à la période de référence, se situerait à l'horizon 2050 avec une perte de l'ordre de 20%.

A l'échelle des gouvernorats à l'horizon 2100, les pertes deviennent fortes et inquiétantes et ce surtout dans les gouvernorats du sud qui par ailleurs sont ceux qui contribuent à la majeure partie du disponible pastoral national et à un degré moindre dans les autres gouvernorats du pays.

Les aires d'aptitude climatique des plantes pastorales se contracteraient et remonteraient vers le nord de la Tunisie, en raison des changements climatiques.

A l'horizon 2100, les aires favorables aux plantes pastorales diminueraient en moyenne de 19% (entre -36% et +1%, selon les modèles climatiques) pour le scénario RCP8.5 et en moyenne de -9% (entre -27% et +3%) pour le scénario RCP4.5. Les réductions attendues sont relativement plus importantes que pour les céréales (-16%) et l'olivier (-14%).

Néanmoins, les conséquences sur la production nationale de produits carnés ne seraient pas si importantes, du fait d'un faible rôle des parcours dans l'alimentation des cheptels. En revanche les éleveurs et les populations des régions du sud et du centre de la Tunisie où se concentrent les parcours, subiront une baisse sensible de leurs revenus.

Conclusions pour l'évolution des ressources halieutiques :

L'appréhension des effets du changement climatique sur les stocks halieutiques est d'autant plus complexe que la Tunisie constitue l'une des sept écorégions marines de la Méditerranée avec des caractéristiques océanographiques particulières (zone de transition hydrodynamique, biogéographique et géologique), charnière entre sa partie occidentale et orientale du fait de sa localisation face au détroit de Sicile. Le phénomène majeur que connaît cet espace depuis plusieurs décennies est l'augmentation de la température de l'eau, qui détermine largement une dynamique d'invasion accélérée d'espèces exotiques à la productivité souvent supérieure à celle des espèces endémiques.

Les évaluations scientifiques montrent en effet que les stocks halieutiques notamment benthiques sont en pleine exploitation voire surexploités et que les principales potentialités résident dans les ressources pélagiques et les espèces exotiques.

Si cette trajectoire devait se poursuivre au même rythme d'ici à 2050 et 2100, la productivité moyenne des zones de pêche tunisienne pourrait doubler en 2100 avec 2 tonnes par km² en moyenne et jusqu'à 3 tonnes pour la zone Sud.

Les résultats présentés ci-dessus sont à nuancer si l'on tient compte des limites de ce travail qui sont exposées ci-dessous :

- L'inaccessibilité des données pluviométriques historiques nationales (INM) a conduit au recours à des sources internationales, moins précises et fiables pour certaines zones notamment littorales. L'insuffisance de la connaissance et de l'accès aux données relatives à l'évolution des stocks halieutiques, et l'imprécision des données statistiques des captures rendent les prévisions plus aléatoires.
- Les statistiques agricoles disponibles relativement bonnes pour les céréales, l'étaient nettement moins pour l'olivier (série temporelle de surface et production par gouvernorat de 15 ans seulement et sans distinction entre pluvial et irrigué) et encore moins pour les parcours.
- L'analyse avec une entrée par culture et non par système de production a l'avantage de faciliter la modélisation et l'analyse des impacts mais limite la compréhension des mécanismes d'adaptation possibles qui sont de l'ordre de l'analyse des systèmes de production et non pas des productions prises séparément.
- De nombreux autres facteurs impactent la production et interagissent avec les questions climatiques : la dynamique de dégradation des sols agricoles est un aspect particulièrement préoccupant de la viabilité future des systèmes de production, et au-delà des facteurs socio-économiques essentiels tels que l'organisation des producteurs face aux marchés, les prix et la rentabilité de la production, l'accès au financement et à l'investissement.

L'évolution de la disponibilité des aliments

Céréales (pluvial et irrigué)

Les projections mettent en évidence une baisse de la production nationale comprise entre 16 et 21% dans le RCP4.5 et entre 14 et 38% pour le RCP8.5 pour les horizons 2050 et 2100 respectivement. La production estimée à 15 millions de quintaux dans la période de référence pourrait chuter de près de 6 millions de quintaux en moins. Toutefois, ces estimations moyennes sont à relativiser au vu des incertitudes liées aux différentes projections climatiques générées par l'ensemble multi-modèles. La baisse de production pourrait donc être plus ou moins prononcée dans un intervalle de l'ordre de plus ou moins 15% autour de la moyenne. D'autre part, on remarque la sensibilité plus grande du blé tendre aux effets du CC par rapport aux deux autres céréales, en particulier lorsqu'on applique l'effet d'aptitude climatique. Ainsi à l'horizon 2100 et pour le scénario RCP8.5, la production de blé tendre pourrait connaître une baisse de deux tiers, passant de plus de 2 millions de quintaux à moins de 700 000.

Conséquence de la diminution de la production nationale de céréales et de l'augmentation de la population (+ 1,2 millions d'habitants), les importations de ces produits, essentiellement blé tendre et orge pourraient augmenter dans une fourchette de l'ordre de 600 à 900 000 tonnes, sans tenir compte des importations de maïs pour l'alimentation animale, principalement à destination de l'aviculture.

Huile d'olive

L'impact sur la production est considérable, entre moins 23% et moins 70% selon les scénarios et les horizons en considérant l'analyse de la variation de la distribution spatiale des aires d'aptitude climatique favorables. La production d'huile pourrait ainsi se situer autour de 60 000 tonnes en 2100 avec le scénario RCP8.5 au lieu des 200 000 tonnes de la période de référence. Encore une fois et plus encore que pour les céréales, ces prévisions sont sujettes aux incertitudes liées aux différents modèles climatiques disponibles et aux données partielles disponibles (pas de distinction entre irrigué et pluvial, observations limitées à une période de 15 ans). Un effort d'approfondissement serait nécessaire dans le cadre de projets de recherche. Dans le cas de certains modèles climatiques, les aires d'aptitude favorables à l'olivier pourraient augmenter dans le cas du scénario RCP8.5 en 2100 et infléchir en partie les prévisions baissières de production. La principale conséquence de la chute de la production serait donc une baisse considérable des revenus nationaux et donc d'entrée de devises provenant de l'exportation de l'huile d'olive et une hausse des importations d'huile de graine. La balance commerciale des produits alimentaires irait alors en se creusant et la question clé consiste à savoir dans quelle mesure les autres secteurs pourraient générer suffisamment de devises pour payer la facture alimentaire des importations.

Viandes rouges ovines et caprines en lien avec les parcours

La production de viande rouge correspondante à la production fourragère se situe autour de 14% de la moyenne de la production nationale de la dernière décennie soit autour de 8000 tonnes. Son évolution sous l'effet du changement climatique est décroissante à tous les horizons et pour les deux scénarios et oscille entre moins 12 et moins 51% soit une diminution entre moins 1000 et moins 4000 tonnes de viande.

La variation des aires d'aptitude climatique favorable aux trois plantes fourragères étudiées donne une indication générale de la tendance à la réduction des surfaces qui se situe en moyenne entre moins 4 et moins 19% soit entre 50 et 100 millions d'UF.

Les impacts négatifs du changement climatique sur les parcours sont donc faibles au regard de la production nationale de viande rouge ovine et caprine et ne représentent que 3 à 6% de la production nationale. En revanche les impacts locaux sur les éleveurs qui dépendent étroitement de ces ressources seront significatifs, notamment du fait de la hausse des coûts de l'alimentation des cheptels.

Produits de la mer

Les produits de la mer, qui jouent un rôle considérable dans l'alimentation des tunisiens surtout dans les régions côtières pourraient connaître une évolution positive de leur production et des volumes exportés avec un gradient croissant du Nord au Sud, ce qui contraste avec le bilan des productions agricoles. Néanmoins, à l'heure actuelle, nous ne savons pas dissocier la part de l'impact du changement climatique de celle induite par d'autres facteurs.

La modélisation avec une approche expérimentale de production halieutique montre que celle-ci pourrait doubler d'ici 2100 et dépasser les 200 000 tonnes, sous l'effet entre autres, de l'augmentation de la température de l'eau et de l'arrivée de nouvelles espèces, définissant ainsi les contours d'une nouvelle culture halieutique en Tunisie. Ces conclusions coïncident avec des publications scientifiques récentes montrant clairement le déclin des ressources marines natives en Méditerranée et leur substitution par de nouveaux stocks dont nous découvrons progressivement les comportements et la phénologie dans l'écosystème récepteur.

Les exportations de produits de la mer pourraient donc connaître une augmentation substantielle. Toutefois, certains types de pêche risquent d'affronter de lourdes difficultés, notamment la pêche au charfia et la pêche à pied, qui verront leurs aires de pêche diminuer fortement du fait de l'augmentation du niveau de la mer (Archipel des Kerkennah et golfe de Gabés). La pression adaptative

sera donc de plus en plus forte pour les pêcheurs côtiers et les milliers de femmes qui récoltent les palourdes.

Pour faire face à une demande grandissante en produits de la mer et pour garantir une pêche durable et résiliente face aux aléas du changement climatique, l'intégration par les décideurs et les pêcheurs, d'une gestion rationnelle de la ressource halieutique basée sur l'approche écosystémique est indispensable. La complexité du milieu marin et l'interférence de multiples facteurs (pollution, la pêche illégale et la surexploitation) pour la sauvegarde de la biodiversité rendent le bon état des stocks halieutiques fortement tributaires de la préservation de la santé des écosystèmes marins. En d'autres termes, il s'agit de réfléchir à comment faire évoluer les pratiques halieutiques sans occasionner de nouvelles nuisances à l'environnement marin.

L'évolution de l'accès aux aliments

Les projections de la FAO, concernant l'évolution des prix à la production, indiquent pour la Tunisie une augmentation à l'horizon 2050 qui varie entre 5% et 25% selon le scénario envisagé.

L'évolution des prix aux consommateurs dépendra de plusieurs facteurs. D'une part, la répercussion des prix mondiaux sur les prix locaux dépendra du volume d'importation des produits importés, mais aussi d'autres facteurs tel que le taux de change et la politique de subvention alimentaire. D'autre part puisque le changement climatique se traduirait par une baisse de l'offre locale on peut s'attendre à une tendance à l'augmentation des prix aux consommateurs, bien que l'effet final dépendra de l'évolution de la demande et donc du régime alimentaire.

Au niveau national, l'évolution du revenu peut être approchée au travers du PIB par habitant et par an. Pour la Tunisie, les projections de la FAO prévoient une croissance annuelle moyenne de cet indicateur entre 2012 et 2050 qui varient de 2,9% à 3,5% selon le scénario, mais cela ne signifie pas nécessairement une amélioration du pouvoir d'achat pour tous les Tunisiens. En effet, si la croissance du PIB s'accompagne d'une augmentation des inégalités de revenus, alors le pouvoir d'achat des plus modestes connaîtrait une hausse moins forte, une stagnation ou une diminution avec des conséquences explosives sur le plan politique dans un contexte géopolitique d'instabilité mondiale.

Les chiffres officiels de la Tunisie (indice de Gini) montrent que les revenus sont de mieux en mieux distribués et que les inégalités régressent depuis au moins 20 ans. L'évolution future de cet indicateur dépendra dans une large mesure des politiques publiques, notamment fiscales avec une plus ou moins forte pression sur les hauts et les bas revenus et plus ou moins de subventions pour les producteurs et les consommateurs. La crise COVID a probablement inversé cette tendance pour 2020 et 2021, avec un nombre de personnes sous le seuil de la pauvreté qui augmente de nouveau.

Concernant l'évolution des revenus des producteurs agricoles, difficile à prévoir compte tenu de leur sensibilité aux prix sur les marchés, on peut avancer deux hypothèses : l'une tendancielle à la baisse, décrite lors de nos entretiens avec des producteurs, qui combine une augmentation des coûts des intrants ainsi que des pertes dues aux phénomènes climatiques qui ne sont pas compensées par des prix rémunérateurs et qui se traduirait par un scénario de décapitalisation. L'autre, souhaitable, avec des coûts maîtrisés, une plus grande résilience aux aléas climatiques et sanitaires (COVID), une amélioration de la productivité de la terre et du travail et des prix permettant d'innover et d'investir dans l'appareil de production et les connaissances.

La baisse des ressources hydrauliques, notamment au centre et au sud, largement dépendante des nappes, souvent déjà surexploitées pourrait nettement diminuer l'emploi salarié de très nombreuses femmes rurales qui travaillent dans les champs de fruitiers, légumes, olivier, et donc fera baisser leurs

revenus et in fine affecterait négativement l'accès des femmes et des enfants à une alimentation suffisante et de qualité. Il en est de même pour les femmes qui pratiquent la pêche à pied de la palourde et qui représentent 10% de la population maritime.

Les femmes sont également soumises à l'inégalité persistante dans l'accès à terre, entre autres du fait des règles d'héritage. Selon les données de l'Enquête Structure (2004-2005), les femmes cheffe d'exploitation ne représentent que 6,4 % de l'effectif et ne gèrent que 4 % des superficies agricoles totales. Cette situation pénalise de fait les femmes dans le domaine productif et en particulier dans celui de la production alimentaire où elles représentent près de 40% de la force de travail. D'autre part, la crise COVID affecte plus durement les femmes.

L'évolution de l'utilisation des aliments

Évolution de la population

La demande alimentaire est principalement portée par l'évolution démographique. Pour la Tunisie, selon les projections de l'ONU, et si l'on retient l'hypothèse moyenne, la population atteindrait 13,8 millions en 2050 pour se stabiliser en 2100 autour de 13 millions d'habitants. Ainsi, d'ici 2100, la population tunisienne s'accroîtrait de 1,2 millions, soit de 10%.

Ainsi, les politiques publiques de natalité, de santé, d'éducation et d'égalité homme-femme, compte tenu du fait que la place des femmes dans la société joue un rôle déterminant dans la croissance démographique, constituent de puissants leviers sur la sécurité alimentaire.

Évolution de la demande en eau

La demande totale en eau augmenterait autour de 38%. Cependant, les ressources risquent de baisser considérablement avec moins 28% en 2050 et moins 59% en 2100, creusant fortement le déficit hydrique. Le recours aux eaux non conventionnelles (eaux usées traitées et dessalement) devrait monter en puissance si les investissements nécessaires sont fait (x10), mais leur contribution au bilan hydrique national restera faible (20%). Les importations nettes d'eaux virtuelles (estimées à 4,7 milliards de m³ en 2013) dépasseront largement les ressources mobilisables en eaux conventionnelles estimées autour de 3 milliards de m³ en 2050.

Évolution du régime alimentaire

Dans la région du Maghreb, les régimes alimentaires combinent une transition nutritionnelle marquée par l'éloignement de la diète méditerranéenne avec moins de céréales et de protéines végétales et plus de protéines animales, d'huile de graines et de sucres dans les repas (INRA 2015).

Pour la Tunisie, la prospective Agrimonde Terra (2015) ébauche cinq scénarios d'évolution des régimes alimentaires qui peuvent se résumer en deux grandes trajectoires contrastées en fonction des politiques publiques mises en œuvre :

- La poursuite des tendances des 30 dernières années, avec une alimentation homogène et mondialisée, entraînant une dépendance croissante aux marchés mondiaux
- Une rupture à la mesure des enjeux, avec la régionalisation de l'alimentation, fondée sur une reconnexion aux territoires et aux traditions de la diète méditerranéenne

L'analyse de l'évolution des habitudes de consommation n'a en revanche qu'un impact modéré sur l'évolution de la demande alimentaire globale selon les modèles considérés

Comme dans le cas de l'évolution démographique, la Tunisie dispose dans ce domaine, de puissants leviers sur sa sécurité alimentaire au moyen de politiques publiques de santé, d'éducation nutritionnelle pour les garçons comme les filles et d'égalité homme-femme, afin d'influer sur l'évolution des modes de consommation et inciter les tunisiens vers une transition en rupture avec les tendances actuelles.

Couverture des besoins alimentaires futurs

Sachant que le seuil de la sous-alimentation se situe autour de 1800 kcal par personne et par jour et que les besoins énergétiques d'un adulte se situent autour de 2400 kcal x personne x jour, la consommation énergétique journalière en Tunisie qui dépasse les 3200 kcal par jour met en évidence une couverture complète des besoins et au-delà, une consommation excessive pour une part majoritaire de la population. C'est l'un des facteurs qui explique la forte prévalence du surpoids et la croissance de l'obésité dans la population tunisienne. L'évolution tracée par la FAO pour 2050 renforce cette tendance avec une augmentation de l'ordre de 5%. La disponibilité en protéines (végétales et animales) tendrait également à augmenter de l'ordre de 8% (moyenne des trois scénarios) pour se situer autour de 103 grammes par jour et par personne. Enfin, selon ses estimations, le nombre de personnes sous alimentées pourrait diminuer d'un tiers en 2050 soit autour de 3% de la population. Néanmoins, la crise COVID a inversé cette tendance depuis 2020.

Ces estimations sont basées sur deux hypothèses principales :

- Le maintien d'une croissance soutenue de la production agricole nationale grâce à l'incorporation de nouveaux progrès techniques, qui neutralisent les impacts négatifs du changement climatique.
- Le maintien d'une capacité de financement des importations alimentaires, notamment celles qui résultent de l'augmentation de la population. Cette capacité de financement en devises, pouvant provenir comme nous l'avons vu précédemment du secteur agricole lui-même (huile d'olive, fruits et légumes, viandes, pêche) et d'autres secteurs générant des revenus en devises (tourisme, industrie, services).

Mais dans le cas où les progrès techniques ne seraient pas suffisants et où d'autres facteurs essentiels comme la dégradation des sols viendraient à s'accélérer, l'équilibre de la balance alimentaire pourrait être bien plus difficile à atteindre si la production nationale baisse alors que la demande alimentaire augmente du fait de la démographie. De fait, la dépendance structurelle aux importations de céréales (blé tendre, orge, maïs) et soja suit une tendance croissante depuis plusieurs décennies.

L'évolution de la diète alimentaire pourrait donc avoir des effets d'amplification des conséquences du changement climatique comme des effets d'amortissement. Avec une alimentation mondialisée, les importations alimentaires augmenteraient fortement, alors que dans le retour à la diète méditerranéenne connectée aux territoires, la dépendance aux marchés mondiaux pourrait être sensiblement moins forte.

Stabilité du système alimentaire

La Tunisie sera plus vulnérable aux événements climatiques extrêmes, plus fréquents dans le futur, en particulier les sécheresses ce qui tendra à augmenter l'instabilité du système alimentaire. Compte tenu de la tendance à la baisse de la production nationale pour les céréales et l'huile d'olive principalement et son corolaire, la hausse des importations alimentaires sur les marchés mondiaux instables eux aussi, notamment sous l'effet de la crise climatique qui touche l'ensemble de la planète laissent craindre l'accentuation de l'instabilité du système alimentaire.

Une plus grande volatilité des marchés internationaux peut perturber l'approvisionnement alimentaire en créant des pics de prix alimentaires, qui peuvent être amplifiés par la mise en place de barrières commerciales et non commerciales aux exportations de la part de pays cherchant à assurer leur sécurité alimentaire domestique. En outre, la perception des problèmes peut alimenter les achats de panique sur les marchés qui, à leur tour, font monter les prix. Les menaces sanitaires, notamment celles en lien avec des zoonoses, tel la COVID font peser de nombreuses incertitudes sur les évolutions futures à court et moyen terme. L'impact COVID va se faire sentir pendant au moins une décennie et d'autres pandémies pourraient perturber lourdement les activités humaines.

En résumé, le système alimentaire tunisien court un risque croissant de perturbation avec des incertitudes quant à la manière dont cela pourrait se manifester : rupture d'approvisionnement provoquant des pénuries temporaires, hausse des prix et spéculation, entre autres.

Quels enseignements pour la Tunisie et ses partenaires

Les défis posés par l'évolution de la sécurité alimentaire sous contrainte climatique sont considérables pour la Tunisie et ses partenaires.

Nous avons raisonné ici sur la base de cultures et non de systèmes de production avec des manières de cultiver constantes, or ce sont bien des systèmes de production qui peuvent et doivent évoluer en termes structurels pour répondre à des menaces qui sont également structurelles. Les conditions de ces évolutions seront étudiées dans des étapes ultérieures à la démarche de construction du PNA. Nous pouvons dresser ici quelques pistes de réflexion.

En particulier, nous livrons deux conditions nécessaires mais non suffisantes en faveur de l'adaptation de l'agriculture tunisienne au changement climatique.

Les agriculteurs, qui sont les acteurs centraux, sans lesquels aucun développement agricole n'est possible, doivent être proactifs, mis en responsabilité, sur le terrain comme dans les instances de dialogue de politiques publiques. L'agriculture tunisienne souffre de la faible organisation des producteurs et ne les reconnaît pas suffisamment comme force motrice des changements structurels rendus nécessaires à la fois, par le constat des mauvaises performances environnementales, productives et économiques du secteur agricole après l'indépendance, et qui ne feront que s'aggraver avec les effets croissants du changement climatique.

La conviction partagée avec le monde politique, des affaires et l'administration publique, que l'accélération des processus d'exclusion et de paupérisation du monde agricole ne peuvent conduire qu'à un désastre socio-économique du fait de l'effondrement des ressources naturelles du pays (sols, eaux, biodiversité). En outre, tous doivent être convaincus qu'il est possible de trouver des solutions adaptées et plus rentables.

Ces deux conditions pourront être mises en perspectives dans le cadre du rapport de la troisième phase qui s'attachera à explorer les options d'adaptation identifiées collectivement et à les prioriser.

INTRODUCTION

Au travers de 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 troisième livrable prévu au marché et porte sur l'Etape 2 « **Évaluation des facteurs de vulnérabilité au climat et identification des options** ».

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 troisième rapport est d'analyser les impacts potentiels du changement climatique sur les systèmes agro-sylvo-pastoraux et les ressources halieutiques et leurs implications en termes de sécurité alimentaire 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 les secteurs à la base de cette sécurité, à savoir la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage extensif sur parcours, l'eau agricole et la pêche.

Le rapport est organisé en quatre chapitres :

1. **Le premier chapitre analyse l'évolution actuelle et future du climat de la Tunisie** au travers de projections d'indicateurs climatiques et agroclimatiques, sur la période future de 2010 à 2100, par rapport à la période de référence de 1981 à 2010. Ces données de projections climatiques sont ensuite utilisées pour évaluer l'évolution des aléas climatiques et des impacts du changement climatique sur la production agricole et pastorale. Cette analyse est contrastée par l'étude de la perception de l'évolution du climat en se fondant sur une série d'enquêtes participatives avec des producteurs et non-producteurs, interrogés sur leurs impacts dans leur région ou sur leur système de production. Ces entretiens ont aussi permis de mettre en évidence des options d'adaptation envisageables pour faire face aux risques liés au changement climatique à court et long termes.
2. **Le deuxième chapitre analyse les impacts du changement climatique** sur les systèmes agro-sylvo-pastoraux et sur les secteurs de l'eau et de la pêche. La disponibilité alimentaire est étudiée grâce à un travail de modélisation inédit en Tunisie, permettant d'évaluer les rendements des céréales, de l'oléiculture et des parcours, sur la période future de 2010 à 2100, par rapport à la période de référence de 1981 à 2010. Dans ce chapitre, l'évaluation des risques affectant ces secteurs est obtenue par décomposition du risque en aléa, vulnérabilité et exposition, selon la

définition donnée dans le 5ème rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Pour ce faire, nous avons organisé cinq panels d'une dizaine d'experts nationaux chacun pour traiter le cas des céréales, de l'olivier, des parcours, de l'eau et de la pêche en nous appuyant sur la méthode DELPHI¹.

3. **Le troisième chapitre s'intéresse aux impacts que représente le changement climatique pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle de la Tunisie** à partir des quatre dimensions clés que sont la disponibilité, l'accès, l'utilisation des aliments ainsi que la stabilité dans le temps. Ce chapitre est ainsi basé sur une analyse de la dynamique de la population, de l'évolution des modèles de consommation et de la production nationale aux horizons 2050 et 2100, ainsi que sur une analyse socio-économique permettant d'identifier les tendances attendues pour les quatre dimensions de la sécurité alimentaire face aux impacts du changement climatique.

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.

¹ <https://blog.mesydel.com/la-m%C3%A9thode-delphi-un-outil-puissant-dintelligence-collective-ea58d08aa68a>

1 Projections climatiques et agroclimatiques

1.1 Synthèse des projections climatiques pour la Tunisie

1.1.1 Évolution des variables et indicateurs climatiques

La première étape de l'étude s'est concentrée sur l'analyse des effets du changement climatique, en étudiant notamment les principaux aléas pouvant affecter la sécurité alimentaire. L'expertise des consultants ainsi qu'une revue bibliographique ont permis de procéder à une sélection de ces aléas climatiques (voir Rapport 1 Table 1 : Aléas climatiques étudiés). Afin de caractériser l'évolution des aléas, des variables physiques ou climatiques et des indicateurs climatiques ont été identifiés.

Les évolutions de ces variables et indicateurs ont été étudiées à partir des modélisations climatiques pour la période de référence (1981-2010), l'horizon 2050 dit de « moyen terme » (2036-2065), et l'horizon 2100 dit de « long terme » (2071-2100), suivant les scénarios du GIEC RCP4.5 et RCP8.5².

Les modèles climatiques ont continué à être développés et améliorés depuis le quatrième rapport du GIEC publié en 2007 (AR4). En général, la crédibilité d'un modèle climatique est d'autant plus grande que celui-ci est capable de simuler les variations climatiques passées, mais cette aptitude ne garantit pas une fiabilité des projections climatiques futures. Afin donc de cerner les incertitudes liées aux projections des différents modèles climatiques existants, pour chacun des scénarios (RCPs), un ensemble de modèles a été utilisé pour obtenir les projections des évolutions des variables et indicateurs climatiques :

- **12 modèles** étudiés pour le RCP4.5 ;
- **18 modèles** étudiés pour le RCP8.5.

Le détail des données climatiques utilisées, de la création d'une climatologie de référence et du traitement des incertitudes est donné dans le rapport 1.

L'analyse de l'évolution des variables physiques et des indicateurs climatiques a permis de constater une tendance nette au réchauffement et à une baisse des précipitations sur le long terme, avec :

- Une **augmentation des températures minimales, moyennes et maximales au niveau national**, avec une hausse des températures moyennes comprise entre +1.5°C (RCP 4.5) et +1,9°C (RCP 8.5) à l'horizon 2050, et +1.9°C (RCP 4.5) et +3,9°C (RCP 8.5) à l'horizon 2100³ (Figure 1: Écart de température moyenne à l'horizon 2050 (période 2036-2064) et 2100 (période 2071-2100), par rapport à la période de référence 1981-2010, selon le scénario RCP8.5. Médiane de l'ensemble multi-modèles.(Figure 1). L'augmentation est plus importante dans le sud et le sud-est de la Tunisie.
- Une **diminution des précipitations annuelles au niveau national** entre -14 mm (RCP 4.5) et -22 mm (RCP 8.5) à l'horizon 2050 (soit entre -6% et -9%), et -23 mm (RCP 4.5) et -45 mm (RCP 8.5) à l'horizon 2100 (soit entre -9% et -18%) par rapport à la période de référence³ pour laquelle les précipitations annuelles moyennes observées sont de 250 mm.

² Le scénario d'émissions de GES RCP4.5 implique la mise en place de politiques climatiques permettant de modérer les concentrations en CO₂. Le scénario RCP8.5 correspond à un scénario sans politique climatique où les émissions de GES continuent d'augmenter au rythme actuel. Ce dernier scénario 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 au niveau mondial.

³ En moyenne sur tout le territoire Tunisien, selon la médiane de l'ensemble multi-modèles.

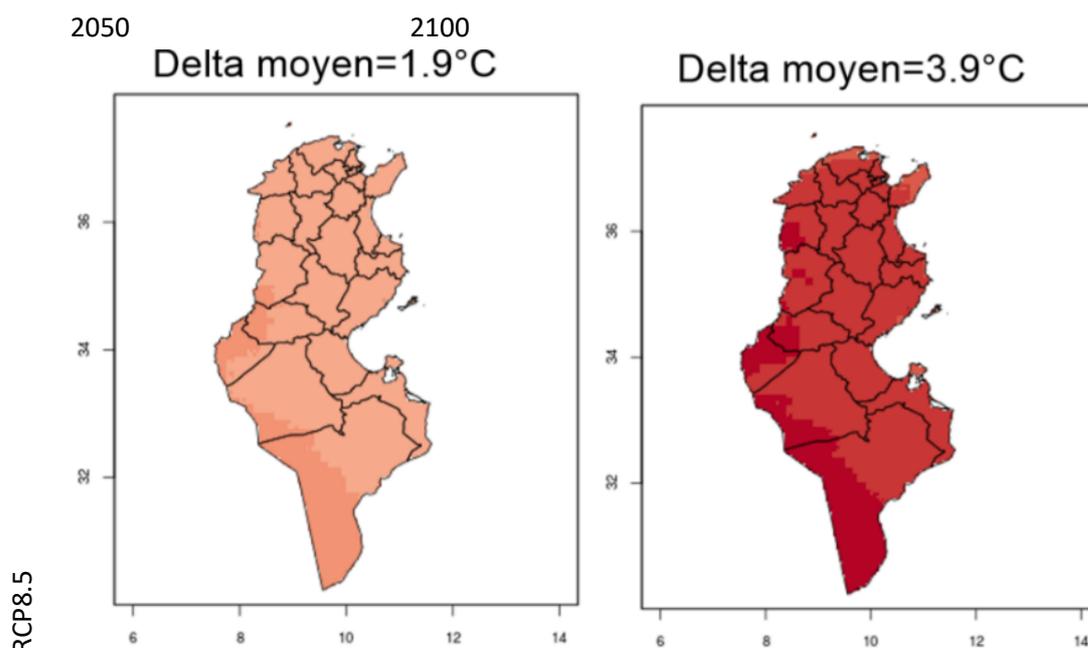


Figure 1: Écart de température moyenne à l'horizon 2050 (période 2036-2064) et 2100 (période 2071-2100), par rapport à la période de référence 1981-2010, selon le scénario RCP8.5. Médiane de l'ensemble multi-modèles.

Concernant les événements climatiques extrêmes, l'analyse de l'évolution des indicateurs climatiques a mis en évidence :

- une **augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes de sécheresse**, avec des vagues de chaleur qui pourraient voir leur nombre multiplié par 7 ;
- une diminution des vagues de froid et de la durée des périodes humides ;
- une évolution de l'occurrence des pluies fortes et extrêmes non homogène sur le territoire avec une **diminution au Nord et une augmentation au Centre, au Sud et à l'Ouest du pays**.

1.1.2 Évolution des étages bioclimatiques

Les étages bioclimatiques de la Tunisie ont été déterminés grâce à l'indice bioclimatique d'Emberger⁴, calculé à partir de la pluviométrie annuelle et des températures mensuelles minimales et maximales. Chaque étage bioclimatique correspond à des conditions climatiques autorisant le développement d'un groupement de végétaux. Les seuils de Le Houerou⁵ ont été utilisés afin de définir les étages bioclimatiques correspondant aux indices d'Emberger calculés. Nous présentons ci-dessous l'évolution de la distribution des étages bioclimatiques de la Tunisie en 2100 selon le RCP8.5 par rapport à la distribution actuelle (Figure 2).

⁴ INRF, 1976. Carte bioclimatique de la Tunisie issue de la classification d'Emberger Etages et variantes.

⁵ Lehouerou, 1969. La végétation de la Tunisie steppique (avec références au Maroc, à l'Algérie et à la Libye).

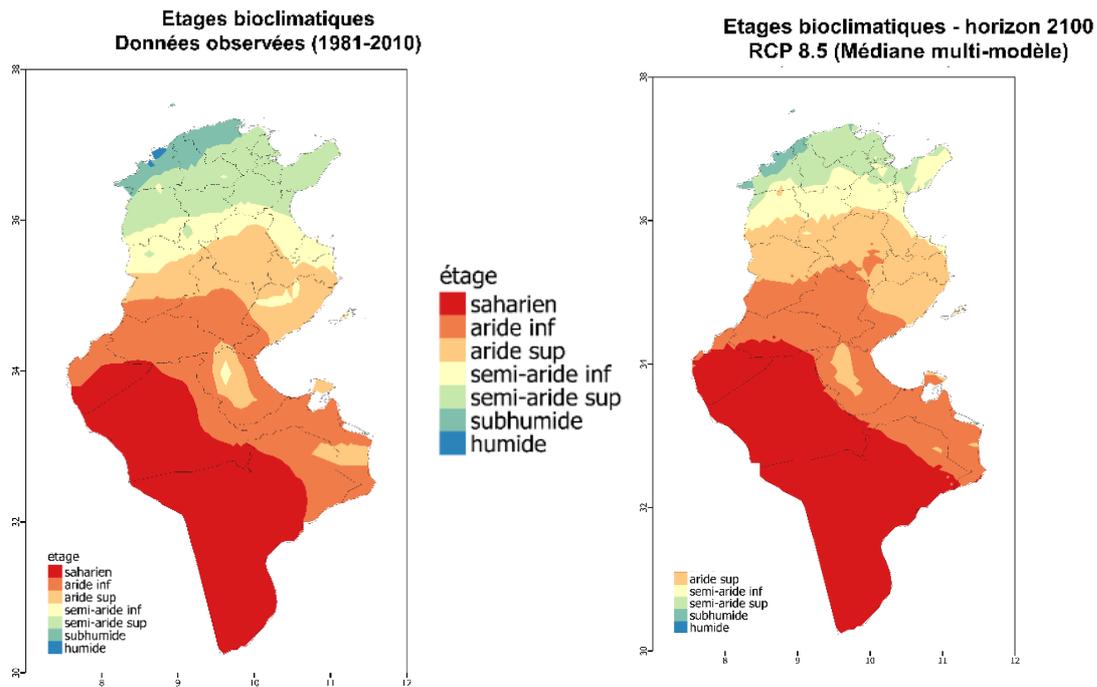


Figure 2 : Évolution de la répartition spatiale des étages bioclimatiques, à gauche la période de référence, à droite en 2100 selon le RCP8.5.

L'évolution de la distribution des étages bioclimatiques entre la période actuelle et 2100 selon le RCP8.5 met en évidence :

- la remontée des étages bioclimatiques vers le Nord ;
- l'extension de l'étage saharien, qui remonte et s'étend vers l'intérieur;
- la quasi-disparition de l'étage humide.

L'évolution des étages bio-climatiques dans le futur suggère donc une modification des aires naturelles des différentes espèces cultivées et pastorales en Tunisie.

1.2 Indicateurs agroclimatiques pertinents pour la sécurité alimentaire

Les principaux aléas climatiques en lien avec la sécurité alimentaire ainsi que les risques agricoles qui en découlent ont été identifiés lors de la première étape de l'étude (voir Rapport 1 Table 2 : Risques et aléas correspondant par production). Lors de cette précédente étape, des indicateurs agroclimatiques pertinents ont été choisis pour chacun des risques afin d'évaluer la survenue des aléas associés à ces risques (voir Rapport 1 Table 3: Présentation des indicateurs et Table 4 : Représentation des risques agricoles par les indicateurs agroclimatiques). La sélection des indicateurs agroclimatiques spécifiques aux risques agricoles identifiés s'est basée sur une revue bibliographique et la consultation d'un panel d'experts. Un rappel de ces indicateurs est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Rappel des indicateurs agroclimatiques sélectionnés.

Abréviation	Définition des indicateurs agroclimatiques
ETP	Évapotranspiration potentielle : pertes d'eau du sol vers l'atmosphère d'octobre à mai
BH	Bilan hydrique : les précipitations moins les pertes par évapotranspiration, d'octobre à mai
LPC	Longueur de la période de croissance végétative : période pendant laquelle le bilan hydrique est positif, avec un délai supplémentaire pour l'exploitation des réserves en eau du sol par la végétation
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
N_gel_an	Nombre de jours de gel (Tmin < 0°C) au cours de l'année
N_gel_F_an	Nombre de jours de gel fort (Tmin < -5°C) au cours de l'année
N_gel_pr	Nombre de jours de gel printanier (février à avril)
N_ech	Nombre de jours échaudant (Tmax ≥ 25°C) entre avril et juin
N_40	Nombre de jours de chaleur extrêmes (Tmax > 40°C) entre juin et août
N_P_eff	Nombre de jours entre les 2 premières pluies journalières efficaces
IRP	Indice de Répartition Pluviométrique : traduit les conditions de pluviométrie en termes de développement de la végétation. Une répartition homogène de la pluviométrie donnera un IRP plus élevé. Un indice de répartition des pluies compris entre 8 et 16 traduit des conditions favorables pour la végétation.

L'étude des indicateurs agroclimatiques a été réalisée sur des périodes de 30 ans pour la période de référence et pour les deux horizons futurs 2050 et 2100. Pour cela, l'ensemble des indicateurs agroclimatiques ont été calculés à partir des données climatiques telles que les précipitations, les températures moyennes, minimales et maximales, modélisées sur la période de 1981 à 2100.

1.3 Évolution des indicateurs agroclimatiques

Pour chaque indicateur agroclimatique, ont été réalisés :

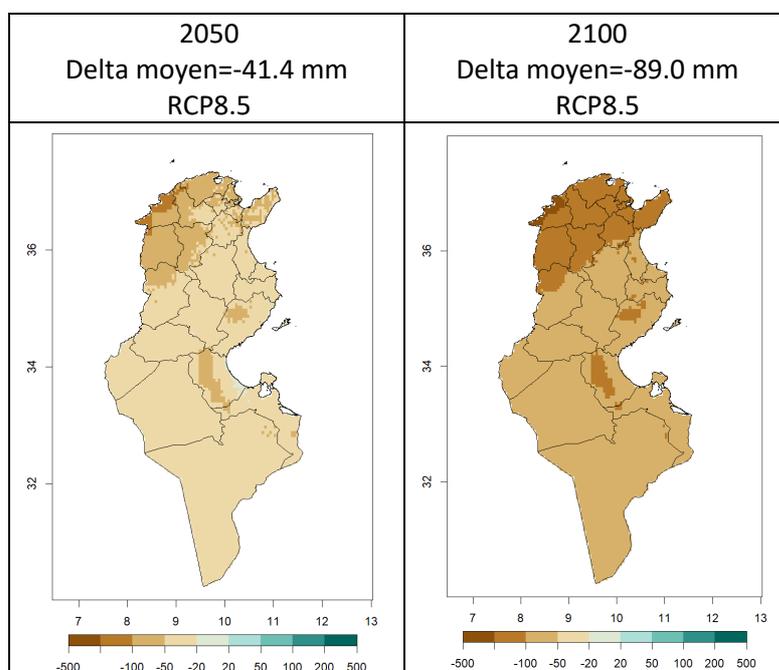
- **Une carte** représentant la différence (le « delta ») entre les modélisations pour les horizons futurs (2050 et 2100) et la période de référence pour chacun des scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Plusieurs modèles étant utilisés pour obtenir des projections climatiques de ces deux scénarios RCPs, la carte représente la médiane des résultats.
- **La série temporelle** sur la période 1981 à 2100, avec une agrégation spatiale par étage bioclimatique⁶. Pour chaque étage bioclimatique, les points illustrent les données observées. La ligne brisée représente la série temporelle de la médiane des valeurs modélisées et la zone colorée représente l'enveloppe des valeurs entre le Q10 et le Q90. La droite en pointillés représente la régression linéaire à partir de la médiane.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons un bilan de l'étude des évolutions des indicateurs agroclimatiques. Les détails de l'évolution de l'ensemble des indicateurs agroclimatiques étudiés sont présentés en annexe 1.

1.3.1 Un bilan hydrique moins favorable

Les projections montrent une réduction de l'apport en eau disponible pour les productions avec :

- Une **diminution du bilan hydrique** d'octobre à mai, plus marquée dans les étages bioclimatiques les plus humides au Nord-Ouest de la Tunisie (Figure 3). Ceci s'explique principalement par une baisse de la pluviométrie plus importante dans les étages humides ;



⁶ Cette agrégation spatiale a été réalisée selon la distribution actuelle des étages bioclimatiques.

Figure 3 : Évolution du bilan hydrique (mm) dans le futur par rapport à la période de référence 1981–2010, suivant le RCP8.5.

- Une **augmentation de l'évapotranspiration potentielle** d'octobre à mai touchant davantage les étages bioclimatiques les plus arides ;
- Une **baisse de l'indice de répartition pluviométrique** localisée au Centre du territoire et impactant en majorité l'étage semi-aride ;
- Une **augmentation globale du nombre de jours entre les deux premières pluies journalières efficaces**.

1.3.2 Une hausse des températures hivernales impactant les productions

La hausse des températures hivernales pourrait entraîner une baisse des rendements agricoles, avec notamment :

- Une **réduction de la longueur de la période de croissance végétative** plus importante au Nord du territoire et pour l'étage semi-aride
- Une **avancée de la date de montaison et de maturation du blé** touchant majoritairement le Nord-Ouest du pays et les étages semi-arides, subhumide et humide. Cette avancée des stades phénologiques augmente le risque de destruction des cultures en cas de gel printanier ;
- Une **diminution du nombre de jours de gel** principalement localisée dans le Nord-Ouest au niveau de l'étage bioclimatique semi-aride. Cette baisse du nombre de jours de gel peut être à l'origine de la propagation des ravageurs et nuisibles, et entraîne aussi un retardement de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier qui devrait toucher majoritairement le littoral tunisien.

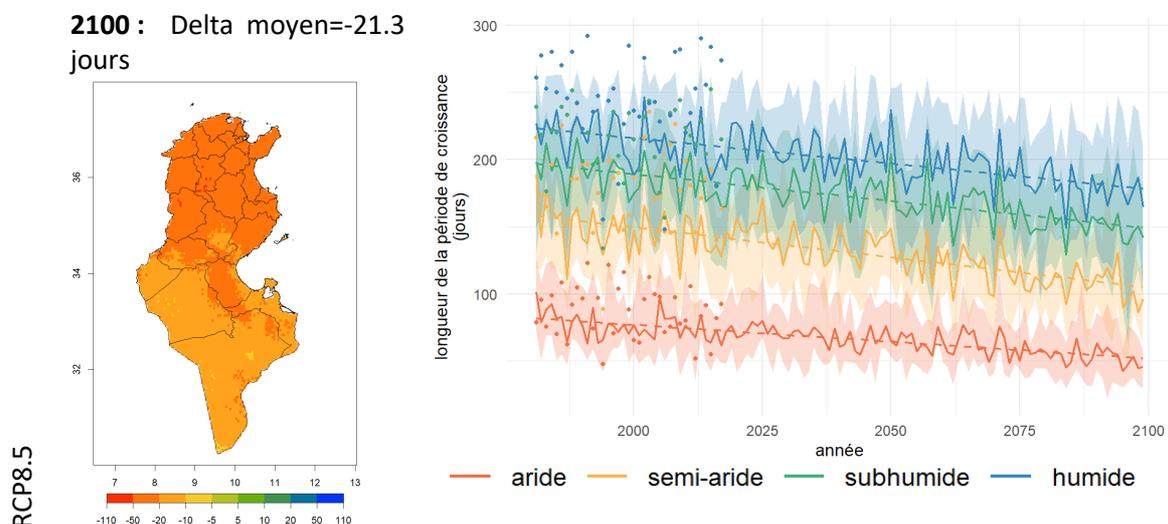


Figure 4 : Évolution de la longueur de la période de croissance végétative dans le futur par rapport à la période de référence 1981 – 2010, et tendance sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique, suivant le RCP8.5.

1.3.3 Un stress thermique accru

L'augmentation des températures indiquée par les modèles va aussi accroître le risque de dégradation des productions s'expliquant par :

- Une **augmentation du nombre de jours échaudant** en particulier dans le Nord du pays pour les étages humide et subhumide ;
- Une **hausse du nombre de jours de chaleur extrême** qui sera plus sévère pour les étages bioclimatiques les plus arides du Sud de la Tunisie.

1.3.4 Synthèse de l'évolution des indicateurs agroclimatiques

Consulter Annexe 1 pour le tableau synthétique des variations des indicateurs agroclimatiques par étage bioclimatique, scénarios RCP4.5 et 8.5 pour les horizons 2050 et 2100

1.4 Perception de l'évolution du climat

La confrontation des résultats de l'analyse des données climatiques avec la perception des producteurs et des chercheurs interrogés dans le cadre d'une enquête, permet de prendre du recul par rapport aux données, de mieux comprendre les interactions entre les producteurs et les effets du changement climatique et prépare l'analyse à faire en troisième phase en ce qui concerne les options d'adaptation. L'approche méthodologique suivie et la description des personnes enquêtées se trouve en annexe 3.

1.4.1 Perception de l'évolution des températures

Un fort consensus se dégage concernant la hausse des températures. Ainsi 96% des producteurs déclarent que le climat est de plus en plus chaud (87% des experts), et les femmes ont une perception plus marquée de ce changement que les hommes (95% contre 91%). Pour 7 personnes sur 10, les nuits sont de plus en plus chaudes, pour 89% des enquêtés, la saison chaude est de plus en plus chaude (100% du point de vue des femmes) et pour 88% la saison froide est de plus en plus chaude.

1.4.2 Perception de l'évolution de la pluviométrie

Pur 85% des personnes enquêtées (90% pour les femmes), les saisons sont de plus en plus sèches, mais 7% disent qu'elles sont stables et 5% qu'il pleut plus abondamment. Le nombre d'années pluvieuses diminue pour 93% (100% pour les femmes) des réponses et 96% (100% pour les femmes) déclarent que les pluies sont plus irrégulières. De même, 88% perçoivent une augmentation de la fréquence des sécheresses. Il n'y a pas de différence significative entre la perception des producteurs et celle des experts sur ces points. Comme pour le cas des températures, les femmes sont dans l'ensemble plus unanimes que les hommes dans leurs réponses.

1.4.3 Perception de l'évolution des évènements extrêmes

Les inondations sont de plus en plus fréquentes pour 62% des réponses, mais moins de la moitié des producteurs pensent cela (47%) alors que les trois quarts des experts l'affirment. Pour deux tiers des réponses (95% pour les femmes), les inondations sont de plus en plus fortes. Enfin, les vents violents sont de plus en plus violents pour 63% des réponses (74% pour les femmes), alors que 22% déclarent ne pas savoir. Chez les experts, moins de la moitié des hommes perçoit cette aggravation, contre plus de deux tiers des femmes.

En résumé :

La perception des producteurs et des experts appartenant à la communauté scientifique est similaire pour tous les points analysés : il existe un large consensus sur le fait que le climat se réchauffe, les pluies sont plus rares et irrégulières, la fréquence et la gravité des évènements extrêmes augmente.

Les femmes ont une appréciation plus tranchée que les hommes.

Ces perceptions coïncident avec les mesures objectives de l'évolution des indicateurs climatiques de ces trente dernières années.

Encadré 1

Les points clés des projections climatiques pour la Tunisie

- **Au niveau national, une augmentation des températures (entre +1.5°C et +1.9°C à l'horizon 2050 et entre +1.9°C et +3.9°C à l'horizon 2100) et une diminution des précipitations annuelles (entre -6% et -9% en 2050 et entre -9% et -18% en 2100 par rapport à la période de référence) sont attendues sous changement climatique ;**
- **Le changement climatique devrait entraîner une augmentation des évènements climatiques extrêmes, notamment des phénomènes de sécheresse ;**
- **La distribution des étages bioclimatiques devrait évoluer avec une remontée des étages bioclimatiques vers le Nord, une extension de l'étage saharien et la quasi-disparition de l'étage humide d'ici 2100 ;**
- **Les projections climatiques indiquent un bilan hydrique moins favorable sur l'ensemble du territoire entraînant une diminution de l'apport en eau disponible pour les productions ;**
- **Une hausse des températures hivernales est aussi attendue, affectant les stades de développement des cultures et les rendements ;**
- **L'augmentation des températures va accroître le stress hydrique avec notamment une augmentation des jours de chaleur extrême.**

Encadré 1 Les points clés des projections climatiques pour la Tunisie

2 Risques liés au changement climatique pour les systèmes agro-sylvo-pastoraux

2.1 Approche méthodologique

2.1.1 Cadre de l'analyse du risque

Les risques liés au changement climatique ont été analysés selon le cadre du 5ème rapport du GIEC (AR5) (Figure 5), présenté dans le rapport 1. Nous rappelons ici que :

- Le **risque** résulte de l'interaction entre la vulnérabilité, l'exposition et l'aléa ⁷ ;
- L'**aléa** est défini comme la survenue potentielle d'un phénomène naturel ou induit par l'homme ou une tendance, ou un impact physique, pouvant entraîner des pertes et des dommages. Un aléa est généralement défini par sa fréquence et son intensité.
- La **vulnérabilité** se définit comme la propension ou la prédisposition à être affecté de manière négative. Elle recouvre la sensibilité (qui dépend des caractéristiques physiques mais aussi humaines, sociales, économiques et culturelles du système étudié) et du degré de la capacité d'adaptation (capacités à anticiper, faire face et récupérer) ^{8,9} :
- L'**exposition** représente les éléments à risque, par exemple le nombre de personnes vivant dans les zones sujettes à une sécheresse future.

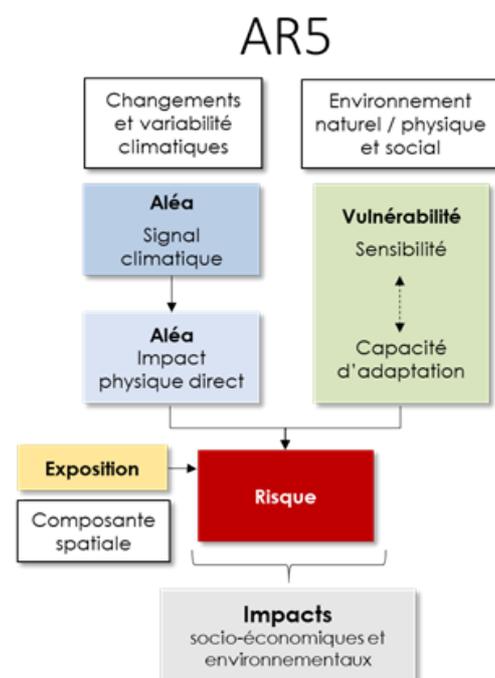
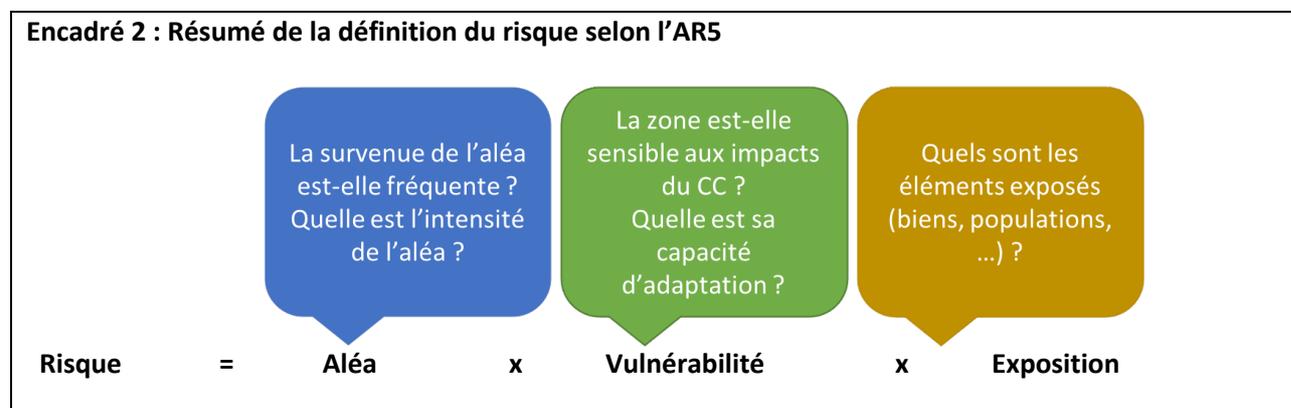


Figure 5 : Cadre conceptuel de l'analyse du risque du 5ème rapport du GIEC (AR5).

Encadré 2 : Résumé de la définition du risque selon l'AR5



Encadré 2 Résumé de la définition du risque selon l'AR5

2.1.2 Chaînes de risque

Afin de mieux comprendre les facteurs responsables des risques affectant les productions des secteurs étudiés, des **chaînes de risque** ont été produites pour chacun des risques intervenant dans ces productions. Les chaînes de risque nous permettent d'identifier les risques majeurs du changement

⁷ IPCC WGII AR5 Part A, p. 1048 ; IPCC 2014a, Oppenheimer et al 2014

⁸ Birkmann et al. 2013

⁹ Kienberger & Hagenlocher 2014

climatique dans la zone étudiée. Elles illustrent aussi les relations de cause à effet du changement climatique en discernant les facteurs liés aux aléas et à l'exposition, et ceux liés à la sensibilité et à la capacité d'adaptation, qui sont les composantes de la vulnérabilité.

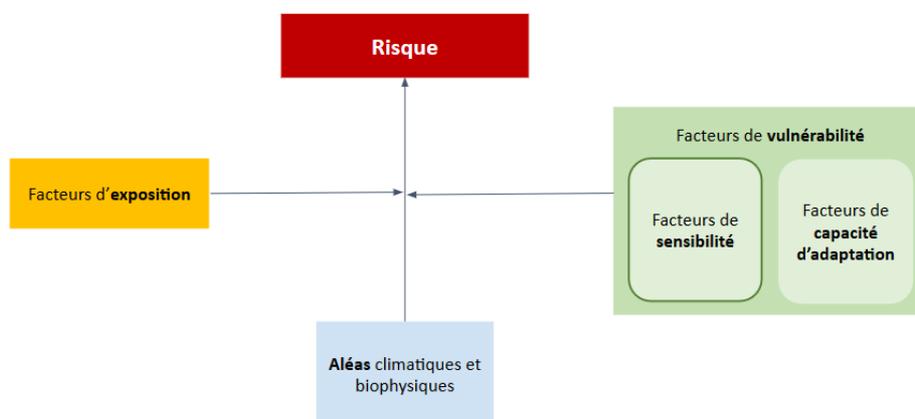


Figure 6 : Organisation des chaînes de risque.

Les chaînes de risque ont été élaborées en se basant sur le cadre conceptuel de l'AR5 (cf. Figure 5)

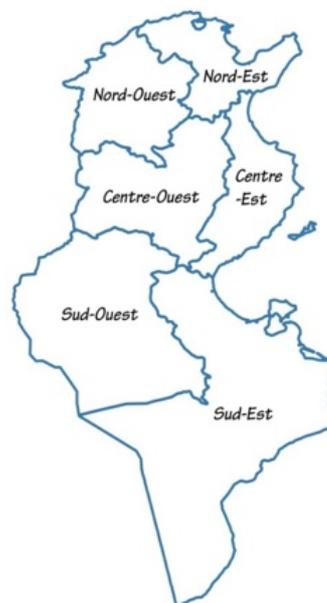
2.1.3 Évaluation des composantes du risque

2.1.3.1 Échelle d'analyse

L'évaluation des risques affectant les productions de céréales, l'oléiculture, l'élevage extensif sur parcours, l'eau agricole a été menée à l'échelle des six grandes régions de Tunisie telles que définies par l'INS. Celles-ci regroupent les gouvernorats présentant des similarités sur le plan administratif, économique et social.

Régions	Nord Est	Nord Ouest	Centre Est	Centre Ouest	Sud Est	Sud Ouest
Gouvernorats	Tunis L'Ariana Ben Arous Manouba Nabeul Zaghouan Bizerte	Béja Jendouba Le Kef Siliana	Sousse Monastir Mahdia Sfax	Kairouan Kasserine Sidi Bouzid	Gabès Médenine Tataouine	Gafsa Tozeur Kébili

Tableau 2 : Regroupement des gouvernorats de la Tunisie en grandes régions





Concernant la pêche, le découpage des zones maritimes tunisiennes mis en place par arrêté du ministre de l'agriculture (Réf. JORT N° 80 du 6/10/1995) a été utilisé :

- **Zone Nord** : située entre la frontière tuniso-algérienne et le parallèle passant par le phare de Kélibia ;
- **Zone Centre** : située entre le parallèle passant par le phare de Kélibia et celui de Ras Kapoudia ;
- **Zone Sud** : s'étend depuis Ras Kapoudia jusqu'à la frontière avec la Libye.

Figure 7 : Carte des zones administratives de pêche maritime en Tunisie

2.1.3.2 Principe

Pour chaque secteur, le risque majeur lié à la production a été décomposé en plusieurs risques intermédiaires. Pour chacun de ces risques intermédiaires :

- Une chaîne de risque a été élaborée par les consultants ;
- Des scores ont été établis pour les différentes composantes du risque (aléas, exposition et vulnérabilité) ;
- Ces scores ont été combinés pour obtenir un score de risque par zone géographique considérée¹⁰.

Cette évaluation permet de déterminer les secteurs de production et les régions les plus à risques face au changement climatique.

Il convient de préciser que l'évaluation de la vulnérabilité et de l'exposition est faite aux conditions actuelles, c'est-à-dire qu'aucune projection des conditions socio-économiques en milieu ou en fin de siècle n'a été envisagée. Afin d'évaluer l'impact de l'évolution du climat sur la production, la vulnérabilité et l'exposition « actuelles » sont confrontées aux aléas futurs.

2.1.3.3 Évaluation quantitative de l'aléa

Pour chaque chaîne de risque, les aléas climatiques ou agroclimatiques susceptibles d'impacter la production, ainsi que les indicateurs correspondants, ont été listés. Pour chacun de ces indicateurs, un « indice d'aléa » a été calculé. Cet indice est basé sur l'intensité des aléas climatiques en climat présent d'une part, et sur l'évolution de leur fréquence sous changement climatique d'autre part :

- L'intensité de l'aléa en climat présent est représentée par l'événement de période de retour 10 ans (soit le Quantile 10, ou le Quantile 90, des observations de l'indicateur) ;
- L'évolution de la fréquence de retour de ce même événement sous changement climatique est ensuite évaluée.

Les seuils d'intensité de l'aléa (Q10 ou Q90) pour chaque indicateur et par région sont définis en fonction des données observées sur la période de référence. La survenue des aléas pour les horizons futurs 2050 et 2100 est simulée pour chaque modèle du RCP 4.5 et du RCP 8.5. La figure suivante présente le calcul de l'indice d'aléa pour un indicateur donné en fonction de l'intensité et de la survenue de l'aléa.

¹⁰ Méthode basée sur le guide référence de la GIZ : GIZ et EURAC 2017, Guide complémentaire sur la vulnérabilité : le concept de risque. Lignes directrices sur l'utilisation de l'approche du Guide de référence sur la vulnérabilité en intégrant le nouveau concept de risque climatique de l'AR5 du GIEC. Bonn, GIZ.

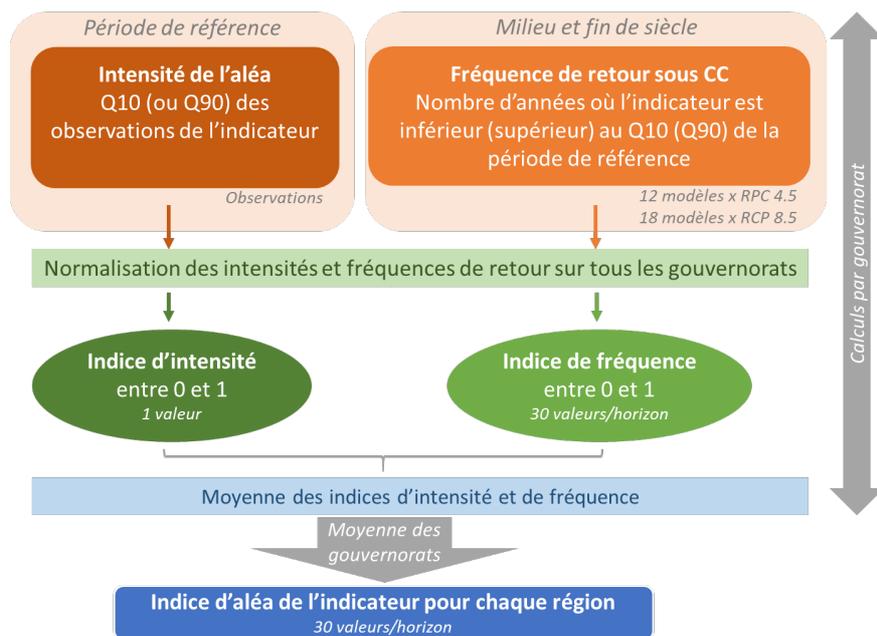


Figure 8 : Méthode de calcul du score d'aléa

Un aléa peut être représenté par plusieurs indicateurs. L'indice d'aléa a alors été calculé en agrégeant les indices de chaque indicateur par une moyenne arithmétique, en appliquant des pondérations égales pour chaque indicateur.

2.1.3.4 Évaluation quantitative de l'exposition

Pour chaque chaîne de risque, les indicateurs représentant l'exposition de chaque région au risque ont été listés. Un indice d'exposition a ensuite été obtenu en normalisant les données des indicateurs par région par rapport au minimum et au maximum de leurs valeurs sur toutes les régions et en agrégeant éventuellement les indicateurs par une moyenne arithmétique à pondérations égales.

2.1.3.5 Évaluation qualitative à dire d'experts de la vulnérabilité

Pour l'évaluation de la vulnérabilité actuelle, un score de 1 à 5 a été établi à dire d'experts pour chaque chaîne de risque et chaque région de la Tunisie. Un processus de consultation en ligne basé sur la méthode Delphi a été appliqué pour mobiliser l'intelligence collective (cf. annexe 2). La grille de notation utilisée pour évaluer la sensibilité et la capacité d'adaptation de chaque région est présentée ci-dessous (Tableau 3) Le score de vulnérabilité a ensuite été obtenu par une agrégation arithmétique (moyenne arithmétique) des scores de sensibilité et de capacité d'adaptation.

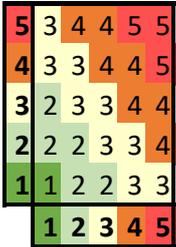
Score	Manque de capacité d'adaptation	Sensibilité	Vulnérabilité
5	Incapacité de s'adapter sans une nette amélioration des moyens et un soutien accru	La survenue de l'aléa se fait extrêmement ressentir sur l'activité de production	 <p>Manque de capacité d'adaptation</p>
4	Incapacité potentielle de s'adapter sans une amélioration des moyens et un soutien accru	La survenue de l'aléa se fait fortement ressentir sur l'activité de production	
3	En mesure de s'adapter mais devra faire face à des obstacles	La survenue de l'aléa se fait particulièrement ressentir sur l'activité de production	
2	En mesure de s'adapter mais devra faire face à des obstacles mineurs	La survenue de l'aléa se fait ressentir de manière modérée sur l'activité de production	
1	En mesure de s'adapter sans problème	La survenue de l'aléa ne se fait pas ressentir sur l'activité de production	
NSP	Ne se prononce pas : choix de ne pas attribuer de score aux régions où l'expertise n'est pas considérée suffisante	Ne se prononce pas : choix de ne pas attribuer de score aux régions où l'expertise n'est pas considérée suffisante	

Tableau 3 : Grille d'évaluation de la capacité d'adaptation et de la sensibilité et agrégation arithmétique des scores de sensibilité et de capacité d'adaptation en un score de vulnérabilité

2.1.3.6 Agrégation et évaluation de risques

Pour chaque région, chacun des risques présentés dans les chaînes de risque a été évalué en croisant les scores d'aléa, de vulnérabilité et d'exposition. Les indices d'aléa et d'exposition (valeurs comprises entre 0 et 1) ont été convertis en scores de 1 à 5 afin de les combiner avec les scores de vulnérabilité. L'agrégation des scores des 3 composantes du risque est faite de manière géométrique afin d'obtenir une note de risque pour chaque région. L'agrégation géométrique permet de limiter la compensation des scores entre eux lors de l'agrégation. Elle est également plus proche que l'agrégation arithmétique de la définition du risque, défini comme le produit de l'aléa, la vulnérabilité et l'exposition. Une situation de risque est en effet engendrée par la présence d'un aléa ET d'une vulnérabilité : sans aléa ou sans vulnérabilité, le risque est nul.

La matrice ci-dessous montre l'obtention d'une note de risque par agrégation géométrique de l'aléa, la vulnérabilité et l'exposition.

		Exposition																								
		1				2				3				4				5								
Aléa	5	2	2	2	3	3	2	3	3	3	4	2	3	4	4	4	3	3	4	4	5	3	4	4	5	5
	4	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	5
	3	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	4	2	3	3	4	4	2	3	4	4	4
	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	4
	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	3
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
		1				2				3				4				5								
		Vulnérabilité																								

Encadré 3 : Prise en compte des incertitudes climatiques pour l'évaluation des scores d'aléa

Pour chaque indicateur, un score d'aléa est calculé pour chaque modèle du RP 4.5 et du RCP 8.5. Plusieurs scores d'aléa sont ainsi obtenus pour un même risque.

Cette approche multi-modèles nous permet de prendre en compte les incertitudes scientifiques et techniques liées à une connaissance imparfaite des phénomènes et à leur représentation dans les modèles physiques et statistiques utilisés.

Les scores d'aléa obtenus pour chaque modèle permettent alors d'évaluer la dispersion entre les différents modèles pour chaque indicateur. L'approche multi-modèles de la composante aléa se retrouve ensuite dans le score final de risque, avec l'obtention de plusieurs scores de risque pour un même risque, dans une région donnée et à un horizon donné.

Encadré 3 Prise en compte des incertitudes climatiques pour l'évaluation des scores d'aléa

2.1.4 Modélisation de la production et des apports en eau

La modélisation des rendements pour les céréales, l'olivier et les parcours ainsi que celle des apports en eau ont commencé durant la première étape de l'étude. La méthode pour chaque élément est présentée en annexe 4.

2.1.5 Modélisation des aires de répartition des plantes étudiées

La méthodologie pour évaluer les aires d'aptitudes climatiques de l'agriculture pluviale consiste à comparer l'évolution, en fonction des changements climatiques, des aires de distribution des principales cultures (blé, orge et olivier) et espèces pastorales (*Stipa tenacissima*, *Rhanterium suaveolens* et *Arthrophytum scoparium*), qui forment le socle de la sécurité alimentaire de Tunisie. Cette approche est présentée de manière détaillée en annexe 5.

L'aptitude climatique, tenant compte des paramètres de pluie et de température, est catégorisée selon les classes suivantes :

Classe	Aptitude	Description
Marginale	0%	Aires désertiques, incultes ou ne permettant la survie de l'espèce qu'en présence d'aménagements coûteux, sauf en quelques endroits à microclimats cléments et où l'eau d'irrigation est disponible (oasis, pompage des eaux souterraines, mise en défend, etc.).
Très défavorable	0 à 20%	Aires où la croissance et le développement de l'espèce est très limité par les conditions de pluviométrie et de température. Dans ces aires la production de biomasse est très faible, sauf en cas d'années très pluvieuses ou en présence d'aménagements (cuvettes, terrassements, irrigation localisée, etc.).
Défavorable	20 à 40%	Aires où les niveaux de production de biomasse sont inférieurs à ce que l'espèce peut produire dans des conditions de pluviométrie et de températures normales et nécessitant des pratiques d'aridoculture (semis direct, irrigation localisée, espèces résistantes à la sécheresse, protection intégrée, etc.).
Favorable	40 à 60%	Aires où les niveaux de production de biomasse permettent une culture économiquement viable.
Très favorable	> 60%	Aires où les niveaux de production de biomasse permettent d'atteindre un optimum économique.

Les espaces désertiques, incultes, bâtis, les étendues d'eau n'ayant pas d'intérêt pour ces espèces ont été supprimées des cartes d'aptitude climatique réalisées, en utilisant la cartographie des terres agricoles et des parcours (Occupation du sol en Tunisie issue du second Inventaire Forestier et Pastoral National, 2000) disponible en Tunisie en format SIG.

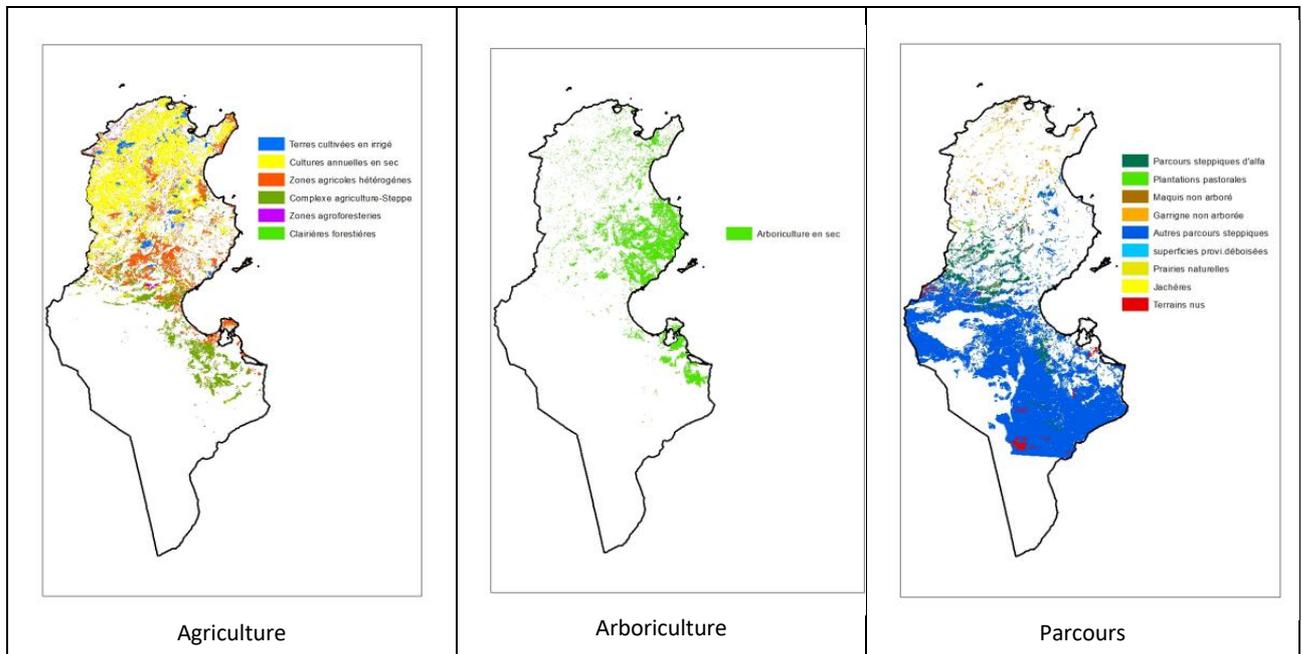


Figure 9: Cartes d'occupation des terres de Tunisie.

2.2 Le risque lié au changement climatique pour l'eau agricole

2.2.1 Situation et défis de l'eau face au changement climatique

Les ressources en eau renouvelable représentent une fraction des eaux pluviales et tout changement quantitatif ou qualitatif des précipitations, des températures et in fine de l'évapotranspiration aura un impact direct sur le potentiel en eau de surface et souterraine.

« La quantité de pluie reçue sur tout le pays est estimée à 36 milliards m³/an en moyenne. Environ deux tiers est retenue par les sols et exploitée par le couvert végétal notamment les oliviers et les céréales, ainsi que les parcours et les forêts. Les eaux bleues mobilisables dans les réservoirs de surface et dans les nappes souterraines représentent seulement 13% du total, mais elles garantissent une satisfaction plus régulière de la demande en eau et de la production agricole irriguée. Le quart restant correspond aux eaux évaporées et aux eaux de ruissellement. »¹¹

Depuis son indépendance, la Tunisie s'est engagée dans une politique de mobilisation des ressources en eau conventionnelle pour satisfaire la demande des différents secteurs économiques en eau potable et en eau d'irrigation. Cette politique a contribué à un développement substantiel du secteur irrigué et à l'approvisionnement en eau potable de plus de 90% de la population en milieu urbain et rural. Depuis plus d'une décennie, cette politique s'est heurtée aux limites des ressources disponibles, à la surexploitation des eaux souterraines et à l'irrégularité de la pluviométrie entraînant de fortes variations des réserves d'eau disponibles dans les barrages et les nappes. La gestion de la demande est présentée comme une nouvelle politique pour maîtriser les problèmes de l'approvisionnement en eau. Malheureusement l'impact du changement climatique n'a pas été pris en compte dans les différentes stratégies de l'eau en Tunisie ce qui pourrait expliquer en partie que les problèmes rencontrés ces dernières années au niveau de la satisfaction de la demande surtout pour l'eau potable et l'irrigation n'ont pas été anticipés, notamment à cause des sécheresses hydrologiques enregistrées pour des périodes relativement prolongées. Seule l'étude Eau 2050¹² initiée en 2019 intègre pour la première fois les effets du changement climatique sur les ressources en eau à partir des projections de l'INM à 2050.

Les pratiques actuelles de gestion des ressources pourraient ne pas être suffisamment efficaces pour atténuer les impacts du changement climatique et les impacts concernent tous les secteurs dépendants de cette gestion comme l'approvisionnement fiable en eau potable (domestique, industrielle et touristique), la protection contre les inondations, les besoins de l'agriculture et des écosystèmes aquatiques. Le changement climatique remet en question la méthode jusqu'à présent adoptée selon laquelle l'information hydrologique passée est une base solide pour l'étude des conditions futures. Or, les caractéristiques hydrologiques vont très probablement changer dans le futur. Ces évolutions questionnent la pertinence de la création de nouvelles infrastructures de stockage des eaux de surface et la vulnérabilité des différentes activités dépendantes de celles-ci.

En effet, l'augmentation de l'ETP a des conséquences négatives sur les besoins en eau des plantes cultivées et sur la capacité des sols à retenir de l'eau. D'autre part, l'idée selon laquelle les événements pluviométriques extrêmes seront à la fois plus fréquents et plus intenses dans le futur du fait du changement climatique ne fait pas consensus pour la Tunisie.

¹¹ Extrait du rapport "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 », SUEZ, ACTERRA, GRET, Adapt'Action, 2020.

¹² "Élaboration de la vision et de la stratégie du secteur de l'eau à l'horizon 2050 pour la Tunisie Eau 2050 » STUDI-GKW, 2020.

Dans le cadre de la présente étude, les résultats de l'analyse montrent une évolution à la baisse des ressources plus prononcée après 2050 et une augmentation sensible des besoins, notamment sous l'effet de l'ETP croissante, produisant ainsi un effet « tenaille » conduisant à un bilan hydrique déficitaire à moyen terme (2050).

2.2.2 Indicateurs et probabilité d'occurrence de l'aléa du stress hydrique

Afin d'évaluer la survenue des aléas climatiques affectant l'eau agricole aux horizons 2050 et 2100, nous avons identifié le bilan hydrique comme l'indicateur nous permettant de décrire la survenue du stress hydrique, l'aléa principal affectant le secteur de l'eau agricole. Le bilan hydrique d'octobre à mai est en effet un indicateur clé pour la prévision des rendements agricoles. Un bilan hydrique déficitaire est ainsi lié à la survenue du stress hydrique.

Pour chaque région de la Tunisie, nous présentons l'évolution de la fréquence de survenue du stress hydrique associé à l'indicateur bilan hydrique. Pour rappel, **l'occurrence de l'aléa est définie par rapport à la valeur atteinte par l'indicateur une fois tous les 10 ans en période de référence** (événement décennal, cf. Approche méthodologique). On considère donc que l'aléa survient quand l'indicateur est supérieur (ou inférieur, en fonction des indicateurs) à l'événement décennal. Par exemple dans la région Centre Est, l'événement décennal pour le bilan hydrique déficitaire correspond à un bilan hydrique de -109 mm (le bilan hydrique est inférieur ou égal à -109 mm en moyenne 1 année sur 10). A l'horizon 2100, selon le RCP 4.5, le bilan hydrique serait inférieur ou égal à -109 mm en moyenne 3 ans sur 10.

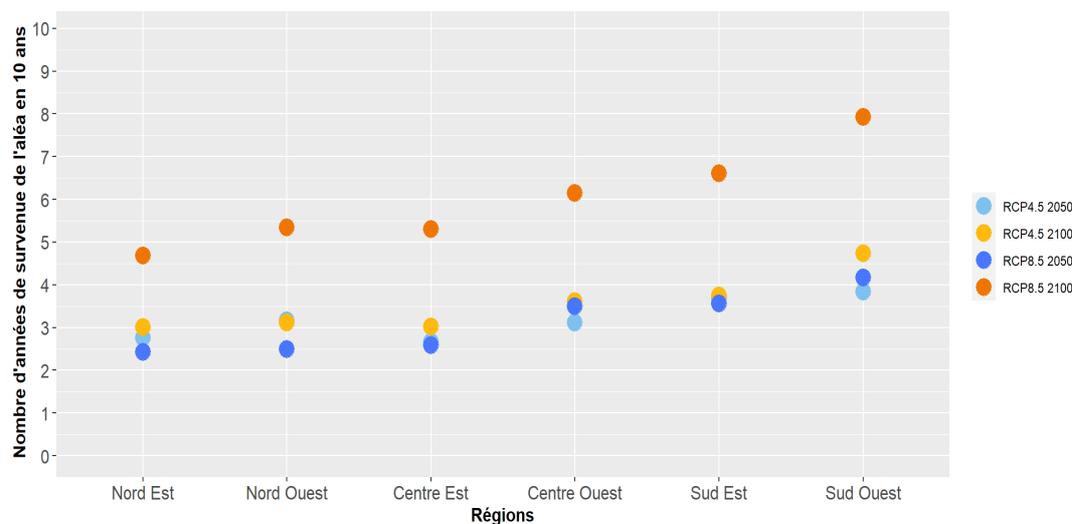


Figure 10 : Nombre d'années de survenue de l'aléa en 10 ans pour les horizons futurs (2050 et 2100) et selon les 2 scénarios (RCP 4.5 et RCP 8.5) pour un aléa qui se produit une fois tous les 10 ans en période de référence. Médiane multi-modèles pour chaque scénario et chaque horizon.

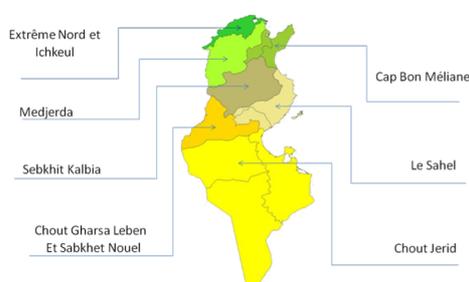
Les modèles montrent une augmentation de la survenue du stress hydrique pour l'ensemble des régions de la Tunisie. Cette augmentation de la fréquence de l'aléa semble suivre un gradient croissant du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest pour les 2 scénarios et les 2 horizons. En effet, le RCP 8.5 indique une survenue du stress hydrique environ tous les 2 ans en 2100 pour le Nord Est alors que la survenue de cet aléa atteint 8 années sur 10 pour le Sud Ouest. Il est à noter que la fréquence de survenue de l'aléa lié au stress hydrique en 2100 selon le RCP 8.5 devrait être supérieure d'environ 2 années sur 10 à celle du RCP 4.5 pour le même horizon, qui se rapproche fortement de la fréquence attendue en 2050 selon les 2 scénarios. Le scénario suivi en 2100 devrait ainsi avoir une importance majeure sur la fréquence de survenue du stress hydrique pour l'ensemble des régions de la Tunisie.

2.2.3 Impact du changement climatique sur l'apport en eau

La Tunisie fait partie des pays du sud de la Méditerranée où les ressources en eau constituent l'une des ressources naturelles les plus menacées. Le potentiel en eau bleue est modeste de l'ordre de 4.8 milliards de m³ soit un quota de 436 m³ par habitant et par an. Environ le tiers des ressources en eau souterraine proviennent de nappes très faiblement renouvelables et sont, de ce fait, épuisables. Les autres ressources en eau souterraine subissent, elles, les effets d'un climat contraignant et qui risque de le devenir encore plus sous l'effet des changements climatiques. Toutes les ressources en eau souffrent d'une pression humaine croissante et de défis socio-économiques nombreux. Elles sont donc fragiles et très menacées. La demande totale en eau a été satisfaite durant les dernières décennies grâce à l'eau virtuelle importée essentiellement sous forme de produits agricoles qui représentait déjà en 2013, près de 5 milliards de m³ soit légèrement plus que les eaux bleues mobilisables.

Les interrelations entre le système climatique et le cycle de l'eau sont nombreuses et d'une redoutable complexité. La montée des températures et la réduction des précipitations ainsi que leur intensité et leur fréquence affectent simultanément les différentes composantes des systèmes hydrologiques. Tous ces phénomènes interagissent les uns avec les autres de manière différente en fonction des conditions régionales, ce qui rend les modélisations et les projections relatives aux ressources en eau particulièrement délicates. Une hausse importante des températures entraîne une augmentation de la demande en eau agricole à cause de l'évapotranspiration croissante au niveau des cultures. Elle réduit également l'infiltration vers les nappes.

L'évolution des quantités moyennes de pluies reçues par bassin versant pour les horizons 2050 et 2100 et dans les deux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5, mettent en évidence une diminution qui oscille entre moins 6 et moins 19%, affectant en particulier l'agriculture pluviale ainsi que les parcours et les forêts.



Bassins versants	RCP 4.5		RCP8.5	
	2050	2100	2050	2100
SudEst_et_Chott_Jerid	-4%	-8%	-5%	-22%
Chott_Gharsa_et_Leben	-7%	-8%	-4%	-21%
Sahel_Sousse_et_Sfax	-9%	-7%	-5%	-18%
Sebkhita_Kalbia	-9%	-7%	-4%	-18%
Medjerdah	-10%	-10%	-7%	-18%
CapBon_et_Miliane	-10%	-9%	-5%	-17%
Extreme_Nord_et_Ichkeul	-10%	-11%	-9%	-16%
TOTAL	-8%	-9%	-6%	-19%

Tableau 4 Évolution relative des quantités de pluies reçues par bassin versant pour les horizons 2050 et 2100 dans les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (Source : calcul de l'étude)

Les apports en eau de surface sont irréguliers et les volumes sont très variables à l'échelle pluriannuelle. Le climat de la Tunisie est caractérisé beaucoup plus par la fréquence de la sécheresse que par l'abondance. Durant les 3 dernières décennies (90/91-2015/2016), on a enregistré 11 années hydrologiquement sèches pour uniquement 6 années humides. L'apport moyen en eau de surface pour la période est de l'ordre de 2700 millions de m³. Cette variabilité des apports complique déjà la gestion des eaux retenues et la satisfaction de la demande.

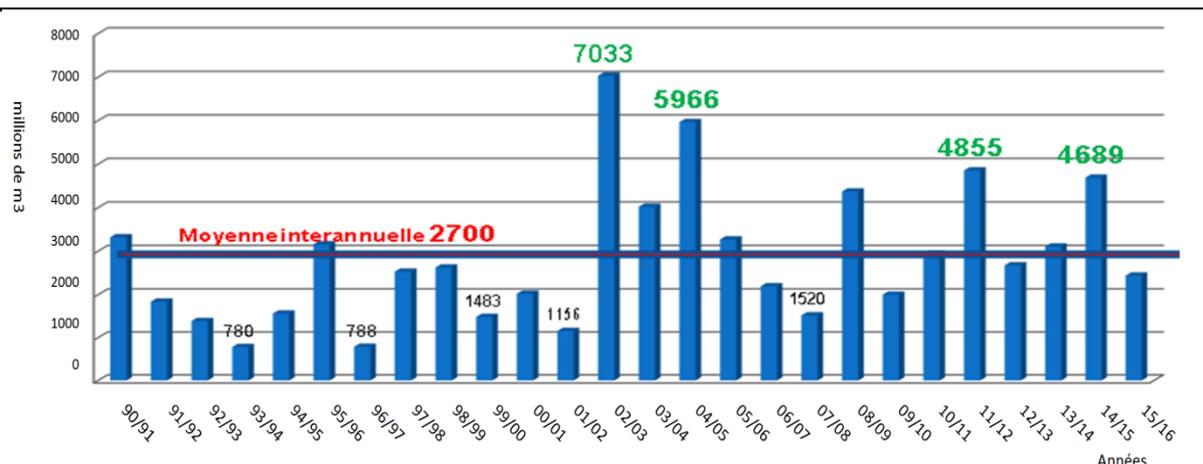


Figure 11: Les apports totaux en eau de surface pour la période 1990/91-2015/16. Source : DGRE- Mai 2017

Cette irrégularité au niveau des apports en eau de surface s'accroîtra dans le futur du fait du changement climatique. En effet, les différents scénarios climatiques prévoient en plus de l'augmentation de la température et la réduction de la pluviométrie, des événements extrêmes de plus en plus nombreux et des sécheresses plus longues.

Tous ces facteurs auront un impact différencié sur les apports en eau des bassins hydrologiques. Les apports d'eau par bassin sont estimés, pour les différentes échéances, par l'approche du bilan fournie par des modèles pluie-débit sous forme de formulations mathématiques reliant le débit (Q) à la pluie (P) et l'évapotranspiration potentielle (E) qui a été calculée avec la formule de Turc. Les apports en eau par bassin ont été calculés avec les trois formules empiriques de Tixeront, de Turc et de Schreiber. Les résultats de ces modèles montrent une nette diminution des apports en eau dans les différents bassins qui varie selon les scénarios de 25 à 36% à l'horizon 2050 et de 31 à 61% à l'horizon 2100.

Formules des écoulements	Horizons / Apports	Période de référence	RCP 4.5		RCP 8.5		Valeur officielle du MARHP
			2050	2100	2050	2100	
Schreiber	Apport mm ³	2329	1485	1426	1604	909	2700 mm ³
	Variation en %		-36%	-39%	-31%	-61%	
Turc	Apport mm ³	2080	1472	1426	1562	1016	
	Variation en %		-29%	-31%	-25%	-51%	
Tixeront	Apport mm ³	1589	1084	1051	1158	734	
	Variation en %		-32%	-34%	-27%	-54%	

Tableau 5 : Apports d'eau calculés selon les différentes formules d'estimation des écoulements. Source : Élaboration étude

Par conséquent, Les ressources en eau de surface pourraient passer de 2700 millions de m³ en moyenne actuellement à moins de 1600 Millions de m³ en 2050 et à moins de 1400 millions de m³ en 2100. Cette diminution substantielle aura un impact sur les volumes mobilisés et nécessite une nouvelle approche de gestion des infrastructures hydrauliques.

Les résultats des différents modèles pour la période de référence 1980-2010 montrent que les volumes des apports obtenus par la formule de Turc sont plus cohérents avec les valeurs officielles des bassins du Centre et du Sud alors que celles de la formule de Schreiber se rapprochent des valeurs officielles pour les bassins du Nord.

Bassin	Horizons /Apports Millions m ³	Période de référence	RCP 4.5		RCP 8.5		Valeurs officielles MARHP	Formule
			2050	2100	2050	2100		
Extrême nord et Medjerda	Apports	1915	1246	1185	1314	780	1960	Schreiber
Meliane et Cap Bon	Apports	244	149	149	178	90	250	
Sahel et Sebket Kelibia	Apports	274	201	199	220	130	275	Turc
Sud	Apports	61	49	44	50	25	215	
National	Apports	2494	1645	1577	1762	1025	2700	
	Variation en %		-34%	-37%	-29%	-59%		

Tableau 6: Apports en eau comparés pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 aux horizons 2050 et 2100. Source : Élaboration étude, 2020

Avec l'irrégularité du climat et la plus grande fréquence des événements extrêmes principalement de sécheresse, les apports connaîtront une plus grande variabilité interannuelle. Une étude récente¹³ montre que les événements extrêmes de précipitations pourraient être moins fréquents et moins intenses au Sud de la Méditerranée qu'au Nord sous l'effet du changement climatique.

L'idée selon laquelle, des précipitations extrêmes plus fréquentes et plus copieuses pourraient être suffisantes en 2050 pour recharger les ouvrages et les nappes apparaît donc comme une hypothèse particulièrement optimiste.

La satisfaction de la demande en eau sera de plus en plus difficile et l'approvisionnement des périmètres irrigués connaîtra de plus en plus de perturbations. Une nouvelle approche de l'allocation des ressources devient inéluctable et aura un impact très important sur les différents secteurs et surtout le secteur agricole qui exploite plus de 80% des ressources.

En considérant uniquement l'élévation de température et en prenant une pluviométrie constante jusqu'à 2100, les écoulements baisseraient de 7 à 11% en 2050 et de 9 à 20% en 2100. Ainsi nous constatons que le tiers de la diminution des écoulements est dû à l'augmentation de l'évapotranspiration et les deux tiers reviennent à la diminution de la quantité de pluie.

Formules des écoulements	Horizons /Apports	Période de référence	RCP 4.5		RCP 8.5		Valeur officielle du MARHP
			2050	2100	2050	2100	
Schreiber	Apport mm ³	2329	2128	2052	2072	1864	2700 Mm3
	Variation en %		-9%	-12%	-11%	-20%	
Turc	Apport mm ³	2080	1947	1895	1905	1765	
	Variation en %		-6%	-9%	-8%	-15%	
Tixeront	Apport mm ³	1589	1473	1428	1438	1320	
	Variation en %		-7%	-10%	-10%	-17%	

Tableau 7 : Apports d'eau calculés pour une pluviométrie constante. Source : Élaboration étude

Pour les eaux souterraines et en considérant l'étroite relation entre les écoulements de surface et l'infiltration, on a pris l'hypothèse que le taux de variation des volumes infiltrés seraient équivalents à celui des eaux d'écoulement de surface. Seules les nappes à ressources renouvelables sont affectées par le changement climatique, les réserves en eau des nappes du Sahara septentrional ne seront concernées que par l'augmentation de la demande en eau.

¹³. Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean, Tramblay & Somot – IRD-CNRS, 2018

Les eaux souterraines renouvelables pourraient passer de 1524 millions de m³ actuellement à pratiquement 1000 millions de m³ en 2050 et 700 millions en 2100, soit la moitié des ressources actuelles. Au niveau des nappes côtières les pertes seront plus importantes à la suite de l'élévation du niveau de la mer et pourraient atteindre 50% de leurs ressources en 2050 et beaucoup plus en 2100. Sous l'effet conjugué de la demande et du changement climatique, le phénomène de surexploitation va s'accroître et une grande partie des prélèvements sera prise sur les réserves géologiques des nappes avec toutes les conséquences sur la qualité des eaux et la durabilité de la ressource.

Régions	Valeurs officielles MARHP en Mm3	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2050	2100	2050	2100
Nord	681	449	429	484	279
Centre	571	377	360	405	234
Sud	368	243	232	261	151
Total	1620	1069	1021	1150	664
Variation en %		-34%	-37%	-29%	-59%

Tableau 8 : Évolution des ressources annuelles en eaux souterraines selon scénario RCP4.5 et 8.5. Source : Élaboration étude

L'impact du changement climatique pourrait être très important sur les ressources en eaux renouvelables, les volumes d'eau disponibles vont beaucoup diminuer d'ici 2050 et encore plus en 2100. Le quota en ressources renouvelables par habitant et par an passe de 366 m³ actuellement à 200 m³ en 2050 et moins de 150 m³ en 2100. Ces chiffres sont très faibles et en dessous du seuil du stress hydrique et ne peuvent en aucun cas satisfaire la demande eau des différents secteurs ce qui va pousser à augmenter l'importation d'eau virtuelle essentiellement sous formes de produits agricoles pour faire face à la demande.

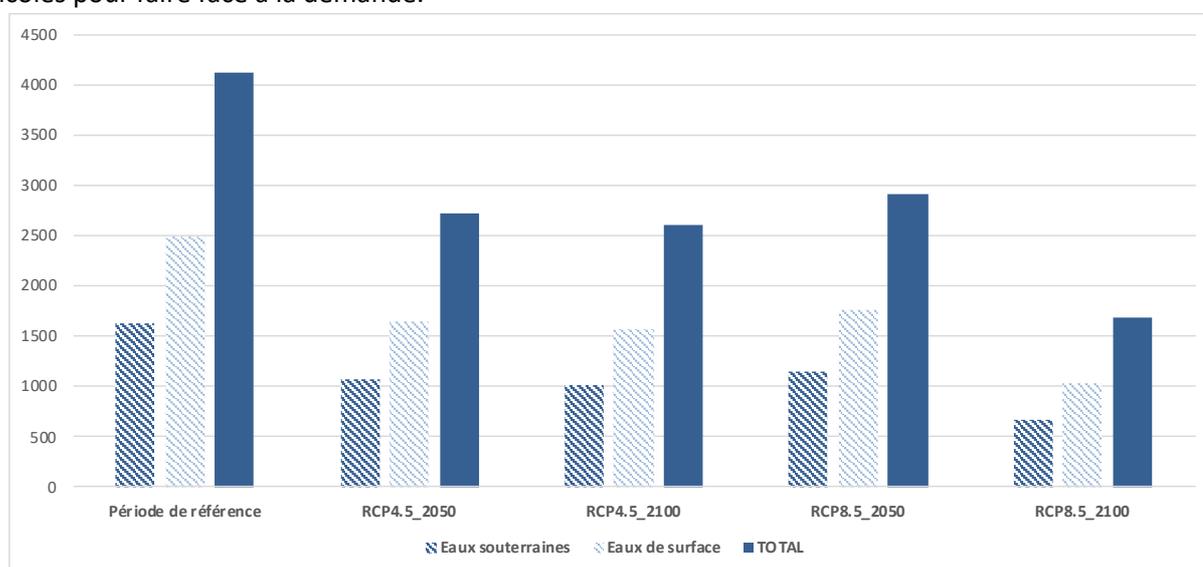


Figure 12 : Évolution des ressources en eau de surface et souterraine selon scénarios RCP 4.5 et 8.5

2.2.4 Impacts sur la qualité de l'eau

Les ressources en eau potable qui souffrent déjà d'un stress en termes de qualité et de quantité subiront des impacts négatifs avec le changement climatique. Le réchauffement aura des conséquences sur la qualité de l'eau disponible pour la consommation humaine aussi bien en termes biologiques que chimiques. L'intensité accrue des précipitations extrêmes favorise l'érosion et aggrave la pollution de l'eau ainsi que l'envasement des barrages, et amèneraient avec elles davantage de polluants vers les aquifères souterrains et les retenues d'eau.

Les nappes côtières qui connaissent une surexploitation subiront une accélération de l'intrusion marine sous l'effet de la remontée du niveau de la mer estimée entre 30 et 50 cm en 2050. Environ la moitié des réserves dans les nappes phréatiques littorales risquent de disparaître.

2.2.5 Perception des impacts du climat sur l'eau agricole

2.2.5.1 Description de l'activité d'irrigation des enquêtés

Au centre et au sud Les agriculteurs s'orientent de plus en plus vers l'arboriculture irriguée et essentiellement l'olivier et l'amandier qui était traditionnellement exclusivement pluviale. Au nord, les céréales s'étendent de plus en plus dans les périmètres publics irrigués par les eaux des barrages. Les ressources en eau disponibles sont considérées faibles et ne répondent pas à la demande des producteurs pendant les périodes sèches ce qui a obligé la plupart des agriculteurs à s'orienter de plus en plus vers les techniques d'économie d'eau. Celles-ci sont devenues une composante essentielle de l'équipement des superficies irriguées. L'olivier et les autres arbres fruitiers sont irrigués par les systèmes de goutte à goutte et les céréales par des systèmes d'aspersion.

Les agriculteurs ayant des puits privés jouissent d'un accès direct à la ressource ce qui leur permet d'avoir de l'eau sans beaucoup de contrainte et sans respect du volume d'eau alloué par les autorités administratives. Ces agriculteurs disent ne pas souffrir du manque d'eau pour l'instant et participent ainsi à la surexploitation des nappes d'eau souterraine. Dans ce cas, le recours à la technique du goutte à goutte leur a permis d'augmenter les surfaces en irrigué et finalement extraire toujours plus d'eau des nappes. L'hypothèse de l'étude prospective Eau 2030 réalisée à la fin des années 90, selon laquelle, les prélèvements sur les nappes devaient se stabiliser dans un premier temps, puis décroître, ne s'est pas vérifiée.

Pendant les périodes de sécheresse, les périmètres publics souffrent d'un manque d'eau d'irrigation et procèdent régulièrement au rationnement de l'eau entraînant une réduction des superficies effectivement irriguées, donc une économie d'eau forcée.

Il y a en plus une tendance au recours à l'irrigation complémentaire pour les cultures pluviales pour diminuer l'impact de la sécheresse, garantir un minimum de production et dans le cas limite sauvegarder le patrimoine agricole, notamment pour les plantations arboricoles.

2.2.5.2 Phénomènes climatiques impactant l'eau agricole

Bien que l'irrigation dépende essentiellement des jours sans pluie, les agriculteurs consultés éprouvent des difficultés à se souvenir des périodes de sécheresse par cycle de culture. Les phénomènes annuels sont beaucoup mieux mémorisés que ceux d'un cycle cultural. Dans le centre et le sud le nombre de jours sans pluie n'est pas toujours significatif, la sécheresse peut durer couramment plus d'un mois par cycle cultural.

Dans le centre et le sud, on sent qu'il y a une tendance de remplacer les cultures maraichères par l'arboriculture (olivier et amandier) dans l'objectif de diminuer les coûts, notamment en main d'œuvre et ainsi améliorer la rentabilité financière. Cette évolution renforce le caractère absentéiste de la production.

2.2.5.3 Les impacts sur l'eau agricole

Les agriculteurs du nord perçoivent mieux le changement climatique, que ceux du centre et du sud, ces derniers insistant surtout sur le phénomène de l'élévation de la température.

De fait la sécheresse et les températures élevées sont des phénomènes courants dans le centre et le sud du pays. Ils se sont orientés depuis longtemps vers l'irrigation intensive ou complémentaire à partir des eaux souterraines. L'accès direct à la ressource et les prélèvements intensifs sur les réserves semblent à l'origine d'une plus faible sensibilité des agriculteurs irrigants aux effets du changement climatique.

Cependant, dans le nord, les agriculteurs dans les périmètres irrigués savent que l'approvisionnement en eau dépend de l'état des stocks dans les barrages en lien avec les conditions climatiques (pluviométrie et sécheresse). La réduction de l'approvisionnement et même le rationnement de l'eau sont des actions courantes pendant les périodes de sécheresse. Par ailleurs, des inondations provoquent régulièrement des problèmes dans les exploitations agricoles notamment l'érosion et la submersion des cultures.

2.2.6 Facteurs de vulnérabilités de l'eau agricole

2.2.6.1 Les facteurs de vulnérabilité

Alors que la Tunisie s'approche d'une mobilisation totale de ses ressources, le changement climatique devrait donc accroître et accélérer les pressions sur l'eau et exacerber la compétition entre les différents secteurs économiques, alors que les ressources en eau sont modestes, irrégulières et inégalement réparties dans l'espace et le temps, et subissent les effets d'un climat contraignant et d'une pression anthropique forte. De ce fait elles sont très fragiles et très vulnérables aux changements climatiques.

Les ressources en eau bleue sont très vulnérables à plusieurs facteurs du changement climatique dont essentiellement la réduction des quantités de pluie, leur irrégularité, les phénomènes extrêmes (sécheresse et inondation) et l'élévation de température, et de leurs conséquences (érosion, évapotranspiration et élévation du niveau de la mer).

Les ressources en eau de surface sont beaucoup plus vulnérables que les eaux souterraines car l'effet du changement climatique est beaucoup plus rapide, diminution des volumes mobilisés, envasement des barrages sous l'effet d'une érosion plus intense et perte en quantité et en qualité sous l'effet de l'évaporation. Le secteur irrigué dépendant de cette ressource sera par conséquent très vulnérable à travers une production très irrégulière et un impact socioéconomique sur les producteurs et toutes les activités liées au secteur.

Les nappes d'eau souterraine sont très vulnérables à l'accroissement de la surexploitation causé par une augmentation de la demande sous l'effet, entre autres, de l'élévation de la température et l'évapotranspiration. S'ajoute en plus l'effet de l'intrusion marine sur la dégradation de la qualité des eaux des nappes côtières.

2.2.6.2 Adaptations existantes

2.2.6.2.1 Stratégies d'adaptation spontanée

L'adaptation spontanée est la réaction rapide et immédiate à une contrainte climatique liée aux changements climatiques. Elle est associée généralement à la réaction des usagers de l'eau et essentiellement ceux de l'eau agricole. L'adaptation spontanée se caractérise actuellement par une gestion plus économe de l'eau disponible en adoptant le goutte à goutte, la réduction des superficies irriguées, le renforcement de l'irrigation d'appoint des cultures pluviales et à moyen terme par le changement d'orientation productive avec le passage du maraichage à l'arboriculture qui demande beaucoup moins d'eau.

2.2.6.2.2 Stratégies d'adaptation planifiées

C'est l'adaptation qui résulte de décisions stratégiques fondées sur une perception claire des conditions qui ont changé et sur les mesures prises pour arriver à la situation souhaitée. La gestion actuelle se résume dans une politique d'encouragement de l'utilisation de techniques d'économie d'eau, et même le rationnement de l'eau agricole provenant des barrages pendant les périodes de sécheresse, et la gestion des apports en eau de surface pendant les périodes humides à travers une stratégie de transfert des eaux entre régions.

2.2.7 Autres facteurs de résilience

Les agriculteurs consultés mentionnent l'intérêt de cultures moins consommatrices en eau. La collecte de données, l'exécution de recherches et la présentation de données probantes pour la prise de décisions constituent également des éléments pour renforcer la confiance des producteurs et des décideurs. L'innovation et les technologies appropriées peuvent améliorer l'efficacité des systèmes de gestion de l'eau et augmenter la productivité de l'eau.

2.3 Risques liés au changement climatique pour les cultures céréalières

2.3.1 Situation et défis du changement climatique

Les céréales occupent une place majeure dans l'alimentation et la production agricole nationale avec une consommation de l'ordre de 220 kilos x an x personne (c'est l'aliment le plus consommé après l'eau et les fruits et légumes) et mobilise 1,2 millions hectares dont 7% en irrigué, soit près de 30% du total des terres cultivées pour une production de l'ordre de 1,7 millions de tonnes ces dix dernières années (2009-2018) dont plus de 80% en pluvial. 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 et les importations de ces céréales n'ont cessé d'augmenter pour atteindre près de 2 millions de tonnes soit une facture en devise de l'ordre de 500 millions d'EUR. Malgré les progrès techniques réalisés, les rendements s'établissent toujours à des niveaux faibles et très fluctuants autour de 14 quintaux à l'hectare en pluvial. Le changement climatique avec ses deux versants principaux que sont l'augmentation des températures et l'allongement des périodes de sécheresse, surtout après 2050, pose des défis majeurs du fait de la vulnérabilité à la fois de la composante pluviale de la production directement affectée par ces évolutions mais aussi de la composante irriguée, qui commence à subir les effets de la réduction de la disponibilité en eau. Comment, dans ce contexte en évolution, augmenter la production nationale de céréales sous contrainte climatique croissante afin de réduire l'exposition aux risques inhérents aux marchés internationaux ?

2.3.2 Tendances climatiques actuelles et futures affectant la production (aléas)

Pour chaque région de la Tunisie¹⁴, nous présentons l'évolution de la fréquence de survenue de l'aléa associé à chacun de ces indicateurs. Pour rappel, **l'occurrence de l'aléa est définie par rapport à la valeur atteinte par l'indicateur une fois tous les 10 ans en période de référence** (événement décennal, cf. Approche méthodologique). On considère donc que l'aléa survient quand l'indicateur est supérieur (ou inférieur, selon le cas) à l'événement décennal.

Par exemple dans la région Nord-Ouest, l'événement décennal pour les jours échaudants est de 55 jours (le nombre de jours échaudant est supérieur ou égal à 55 jours en moyenne 1 année sur 10). A l'horizon 2100, selon le RCP 8.5, le nombre de jours échaudants serait supérieur ou égal à 55 jours en moyenne 9 années sur 10.

Nord-Ouest

Nord Est

¹⁴ Voir 2.1.3.1 Échelle d'analyse Tableau 3

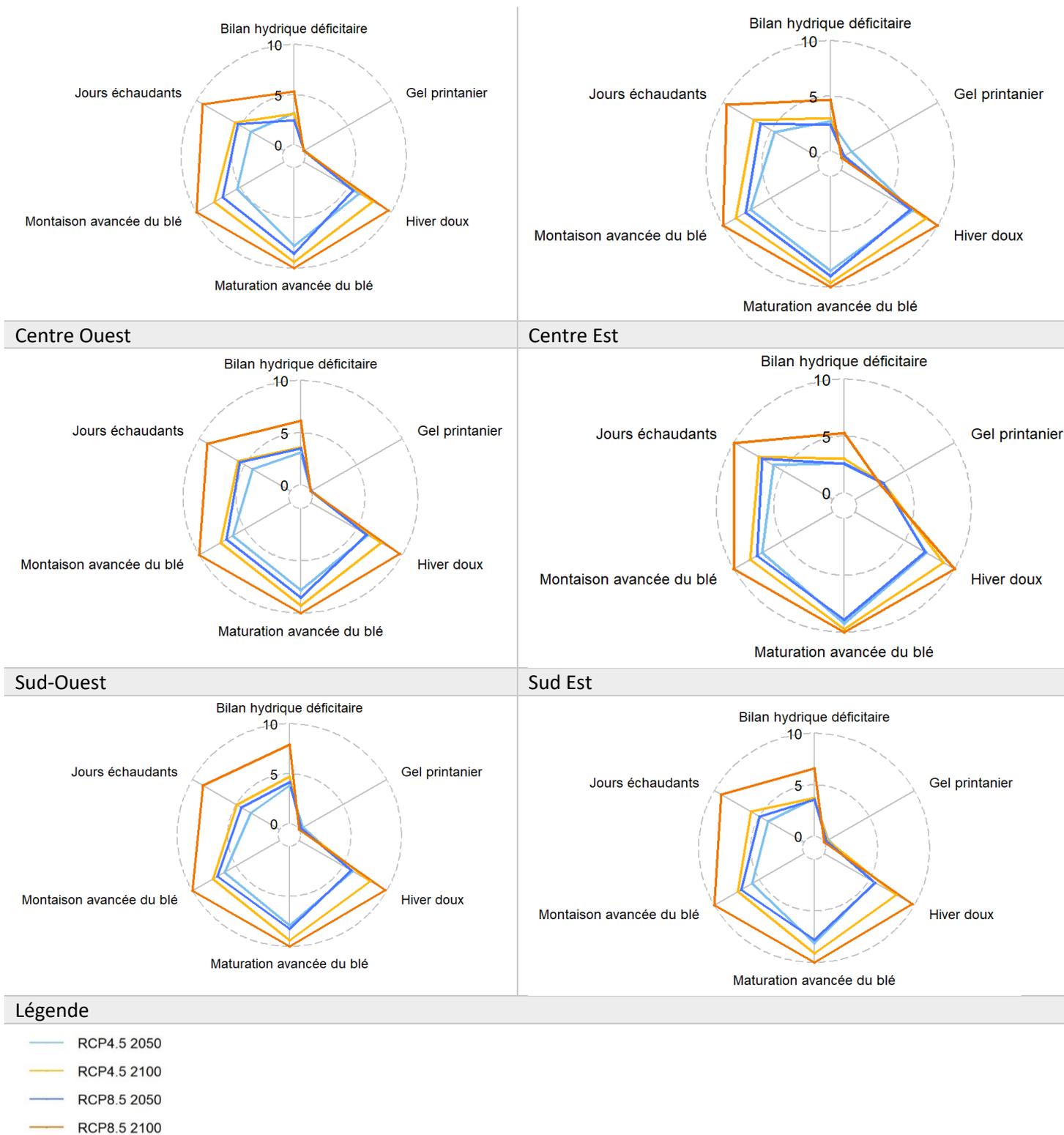


Figure 13: Nombre d'années de survenue de l'aléa en 10 ans pour les horizons futurs (2050 et 2100) et selon les 2 scénarios (RCP 4.5 et RCP 8.5) pour un aléa qui se produit une fois tous les 10 ans en période de référence. Médiane multi-modèles pour chaque scénario

Les modèles montrent une augmentation de la survenue de tous les aléas pour l'ensemble des régions, excepté pour l'aléa lié au gel printanier. L'évolution des fréquences de retour des aléas montrent notamment :

- Des hivers doux qui seraient observés au moins tous les 2 ans dans toutes les régions dès 2050. Cet aléa pourrait devenir annuel en 2100 selon le RCP 8.5 ;

- Une avancée de la date de montaison et de maturation du blé qui devrait aussi être observée plus d'un an sur deux dès 2050 selon les 2 scénarios, et qui serait attendue tous les ans à l'horizon 2100 suivant le RCP 8.5 ;
- Des phénomènes d'échaudage plus fréquents, en particulier pour les régions Centre Est et Nord Est avec un aléa qui devrait se produire tous les ans en 2100 selon le RCP 8.5 ;
- Un stress hydrique plus fréquemment observé pour les régions du Sud et Centre Est, avec une fréquence allant de 6 à 8 ans sur 10 ans en 2100 selon le RCP 8.5 ;
- Un gel printanier qui devrait diminuer dans toutes les régions et pourrait disparaître, sauf pour le Centre Est où cet aléa devrait être observé 3 années sur 10.

Toutes les régions de la Tunisie devraient ainsi subir une augmentation majeure de la survenue des aléas touchant la céréaliculture tels que l'échaudage, les hivers doux menant à un non-nettoyage des maladies et des ravageurs et l'avancée du cycle de développement des cultures. Ce dernier aléa présente un risque important s'il coïncide avec l'apparition de gel printanier, dont la fréquence devrait augmenter dans le Centre Est. Enfin, les régions du Sud et du Centre Ouest seront les plus exposées à la survenue de périodes de stress hydrique.

2.3.3 Impact du changement climatique sur la production de céréales

2.3.3.1 Impact sur les rendements

Toutes les prévisions montrent que l'impact du changement climatique sur le rendement céréalier est négatif pour les trois principales céréales cultivées en Tunisie.

Le tableau suivant présente les simulations multi modèles du RCP 4.5 et du RCP 8.5 des rendements nationaux en céréales conduites en pluvial.

Scénarios et périodes	Période de référence	RCP 4.5		RCP8.5	
		2050	2100	2050	2100
Blé dur (Qx xHa)	12,26	10,53	10,52	11,16	9,06
Blé tendre (Qx x Ha)	13,69	11,41	11,16	11,91	9,14
Orge (Qx x Ha)	7,35	6,34	6,22	6,52	5,03
Blé dur (% variation)		-14,1%	-14,3%	-9,0%	-26,1%
Blé tendre (% variation)		-16,6%	-18,5%	-13,0%	-33,2%
Orge (% Variation)		-13,7%	-15,4%	-11,2%	-31,5%

Tableau 9 : Comparaison des rendements des céréales en valeur absolue et en % de variation pour les scénarios RCP4.5 et 8.5 aux horizons 2050 et 2100

Ainsi, pour le blé dur, les projections climatiques RCP 4.5 indiquent une baisse du rendement de l'ordre de 14% aux horizons 2050 et 2100. Cette baisse est encore plus marquée pour RCP 8.5 avec moins 26% à l'horizon 2100. Concrètement, cela représente une baisse de rendement de l'ordre de 1,7 qx/hectare et de 3,2 qx/ha à l'horizon 2100 pour les scénarios RCP 4.5 et RCP8.5.

L'impact du changement climatique sur le rendement du blé tendre en pluvial serait encore plus marqué que celui sur le blé dur (voir Figure 14 et Figure 15) à l'horizon 2100. Ainsi, les projections climatiques RCP 4.5 indiquent une baisse du rendement par rapport à la période de référence de l'ordre de 18% en 2100 alors que le scénario RCP8.5 montre une diminution de l'ordre de 33%.

Pour le blé tendre dans le scénario RCP 4.5, le rendement national pourrait passer de 13,7 qx/ha à 11,2 qx/ha soit une perte de 2,5 qx/ha en 2100. Cette tendance s'accroît pour le scénario RCP 8.5. Ainsi, le rendement du blé tendre descendrait à 9,1 qx/ha pour l'horizon 2100 soit une perte de l'ordre de 4,5 qx/ha.

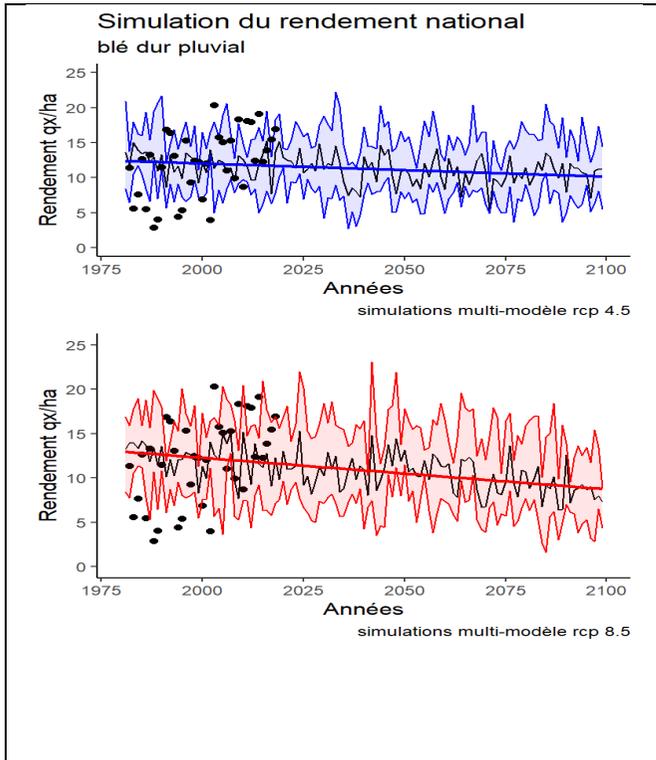


Figure 14 : Variation du rendement national du blé dur en fonction des projections climatiques

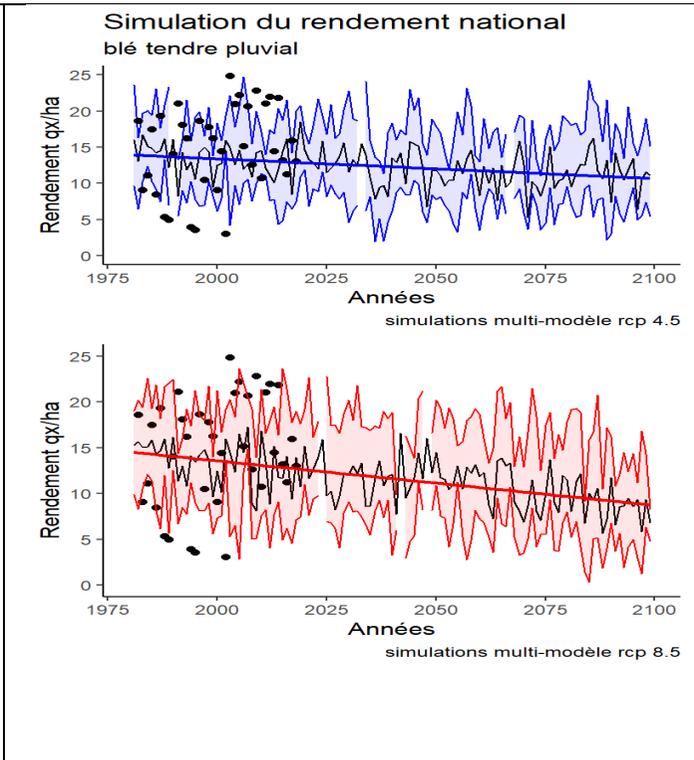


Figure 15 : Variation du rendement national du blé tendre en fonction des projections climatiques

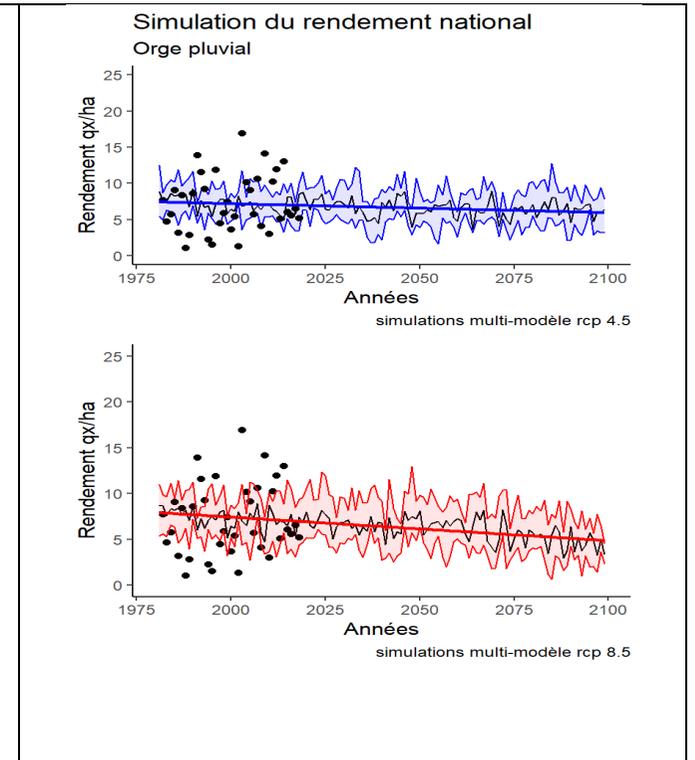


Figure 16 : Variation du rendement national de l'orge en fonction des projections climatiques

Les simulations multi-modèles du RCP 4.5 et du RCP 8.5 du rendement national de l'orge sont présentées dans la Figure 16. Les projections climatiques RCP 4.5 signalent une baisse du rendement de l'orge en pluvial de l'ordre de 15% à l'horizon 2100 par rapport à la période de référence. Cette baisse est encore plus marquée pour les projections climatiques RCP 8.5 avec une baisse de l'ordre de 32%.

Ainsi, dans le cas du scénario RCP 4.5, le rendement national simulé pour l'orge pour la période de référence passerait de 7,4 qx/ha à 6,2 qx/ha soit une perte de 1,1 qx/ha en 2100. Pour le scénario RCP 8.5, le rendement de l'orge pourrait enregistrer une baisse de 2,3 qx/ha en 2100.

Variabilité entre les horizons.

L'analyse de la variabilité interannuelle (approchée par l'écart-type) des rendements simulés des céréales à l'échelle des gouvernorats ne montre pas de bouleversements majeurs concernant l'aptitude climatique des gouvernorats pour les deux horizons temporels (2050 et 2100) et pour les deux RCP considérés.

En effet, pour le blé dur, les écarts types sont de l'ordre de 5,5-8 qx/ha à Jendouba, 5-6 qx/ha à Béja et Bizerte, 4-5 qx/ha Grand Tunis, Zaghouan et Nabeul, 3-4 Kef et Siliana, et moins que 4 qx/ha pour le reste des gouvernorats. Ces écarts types sont d'autant plus importants que les rendements sont importants.

Pour le blé tendre, les ordres de grandeurs sont plus élevés que pour le blé dur avec un maximum de 9 qx/ha à Jendouba pour le RCP 8.5 versus période de référence. Quant à la simulation du rendement de l'orge, les ordres de grandeurs des écarts types sont plus faibles ne dépassant pas les 5 qx/ha pour Jendouba, sachant que les rendements n'ont pas dépassé les 18 qx/ha pour ce gouvernorat.

Pour chaque gouvernorat, la variation du rendement entre les différents scénarii et les horizons temporels a été illustrée avec des cartes (Figure 20, Figure 21, Figure 22). Les simulations des rendements avec les scénarios 4.5 et 8.5 ont montré également une baisse du rendement en pluvial pour les gouvernorats disposant de la meilleure aptitude climatique pour les cultures céréalières.

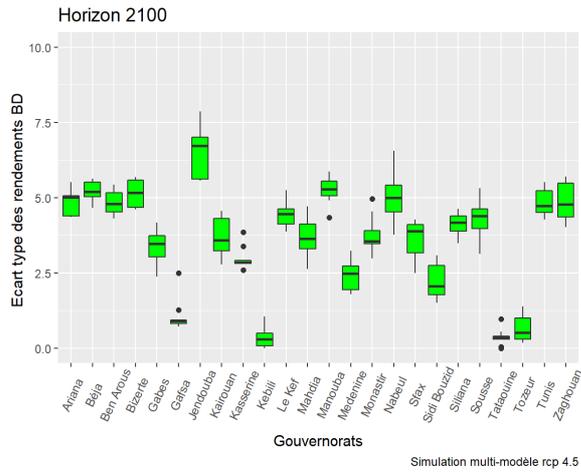
Le scénario RCP 4.5 montre des chutes des rendements du blé dur entre 10 et 15% pour les gouvernorats de Beja, Bizerte, Zaghouan et Nabeul pour les horizons 2050 et 2100. Pour le blé tendre, la chute des rendements est encore plus marquée que celle du blé dur.

Pour le RCP 8.5, les baisses des rendements peuvent dépasser les 20% pour tous les gouvernorats et les trois céréales. Les détails pour chaque gouvernorat sont présentés dans les graphiques ci-dessous.

A l'échelle nationale, l'impact du changement climatique sur le rendement de l'orge est plus marqué que sur le blé tendre et le blé dur en pluvial. Les projections climatiques RCP 4.5 à l'horizon 2100 indiquent une baisse du rendement de l'ordre de 14% pour le blé dur, de 18% pour le blé tendre et de 15% pour l'orge. Cette baisse est plus forte pour les projections climatiques RCP 8.5 à 2100 avec moins 26% pour le blé dur, moins 33% pour le blé tendre et moins 32% pour l'orge.

La baisse des rendements à l'horizon 2100 concernerait tous les gouvernorats pour les trois céréales tant dans le scénario RCP 4.5 comme dans le RCP 8.5 y compris ceux qui présentent la meilleure aptitude climatique.

RCP4.5



RCP8.5

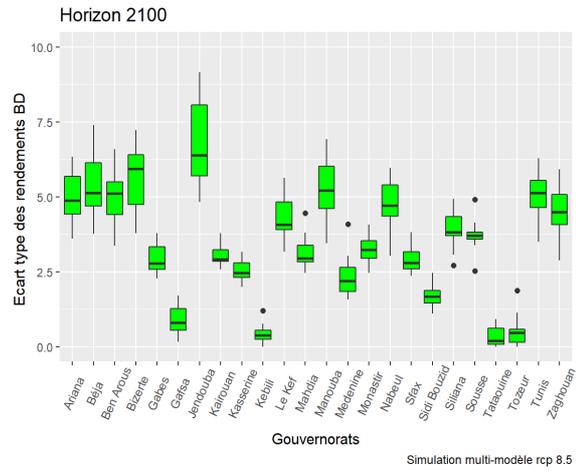


Figure 17 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements du blé dur pour 2100

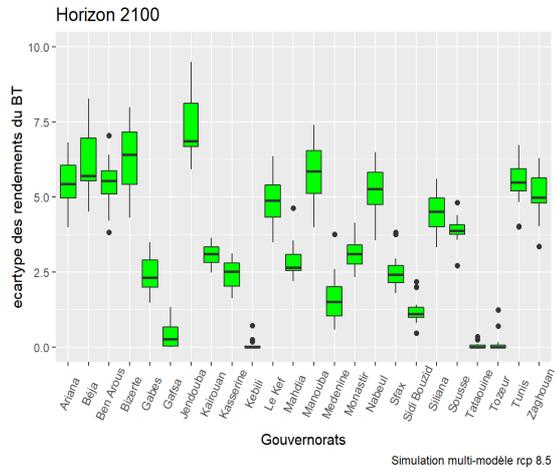
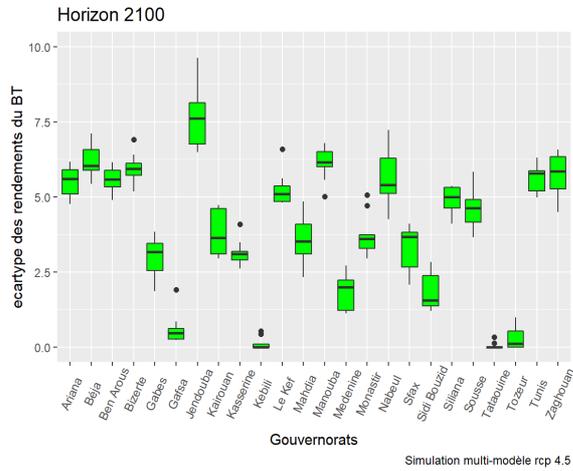


Figure 18 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements du blé tendre pour 2100

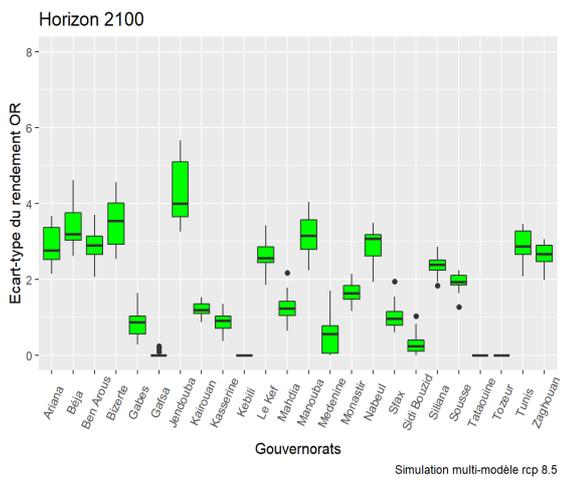
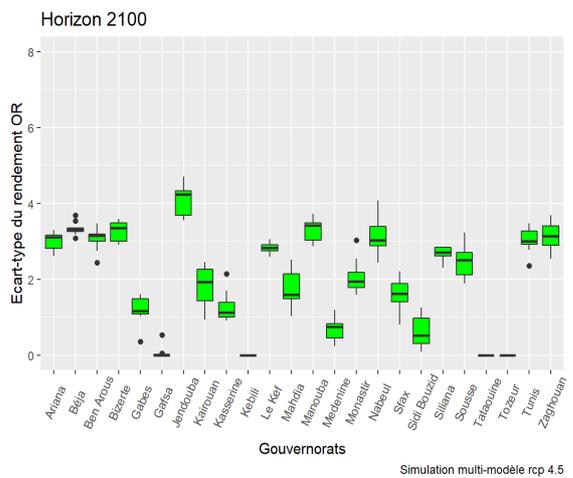


Figure 19 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements de l'orge

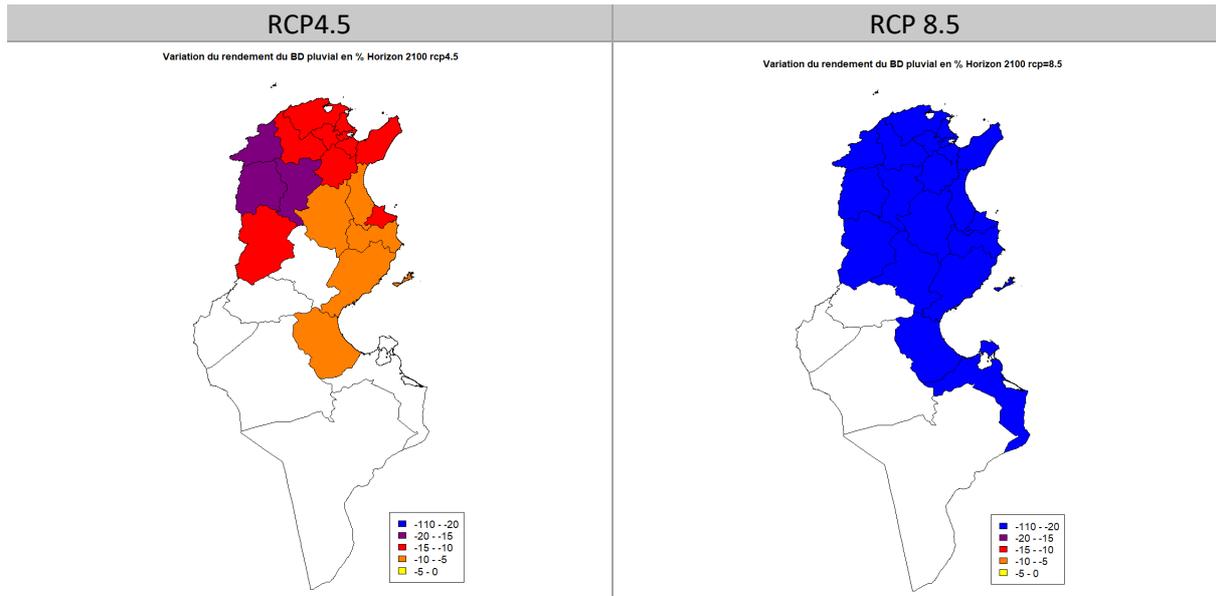


Figure 20 : Variation du rendement du blé dur pluvial horizon 2100- période de référence en %

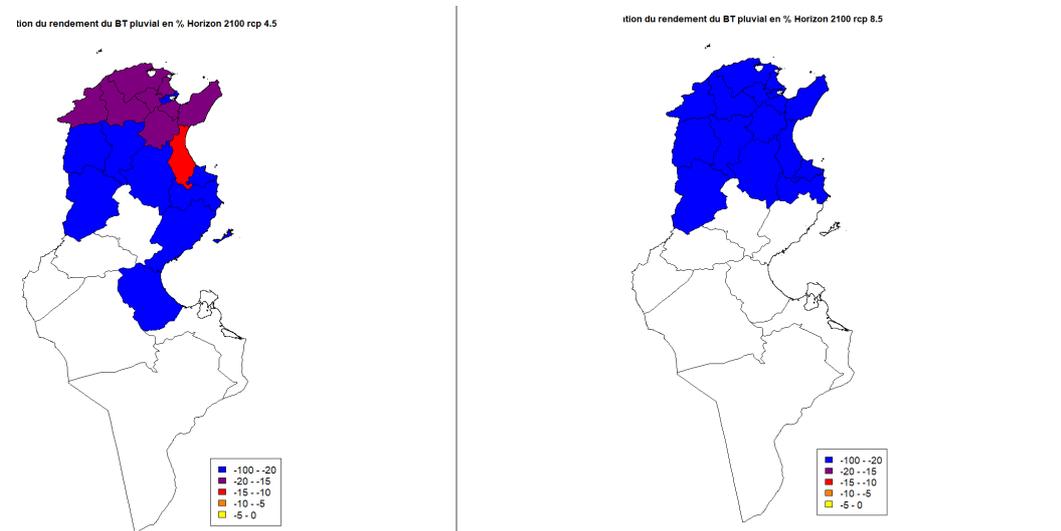


Figure 21 : Variation du rendement du blé tendre pluvial horizon 2050 et 2100 / période de référence en %

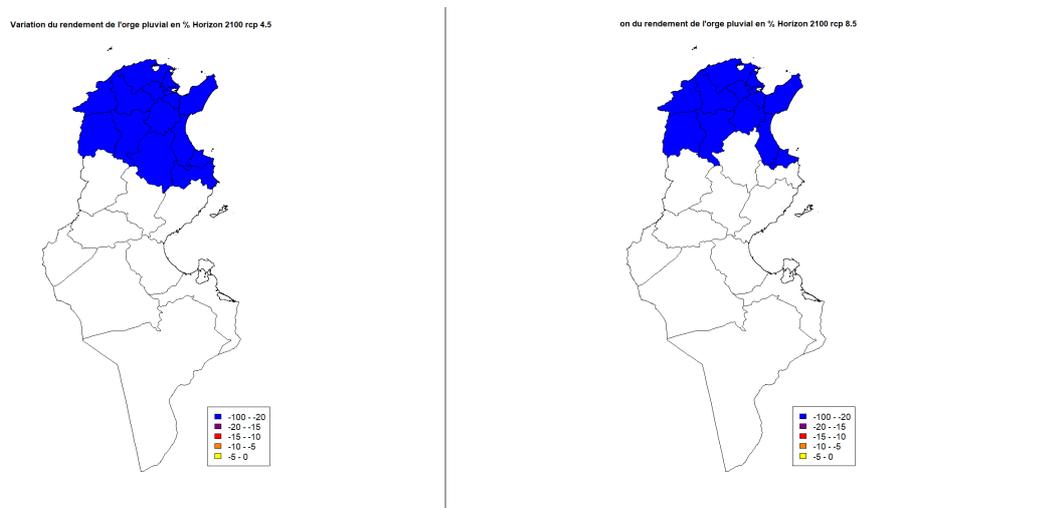
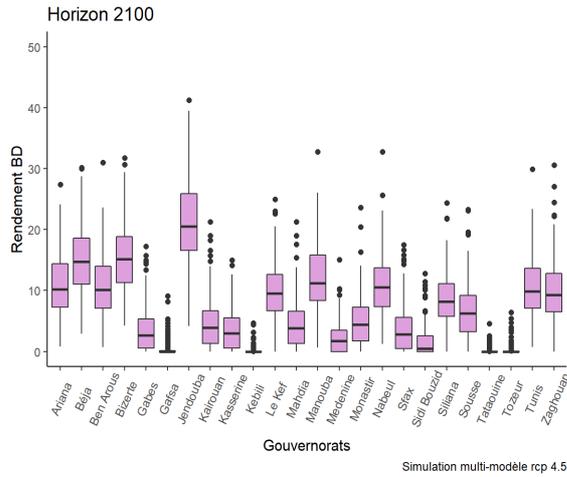


Figure 22 : Variation du rendement de l'orge pluvial horizon 2050 et 2100 / période de référence en %

RCP 4.5



RCP 8.5

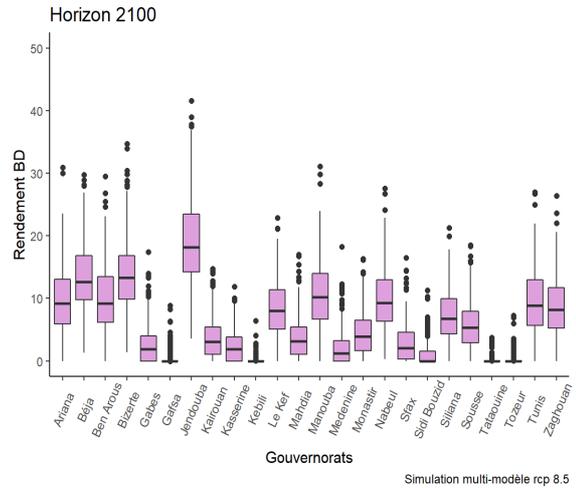


Figure 23 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements du BLE DUR (qx/ha) par gouvernorat

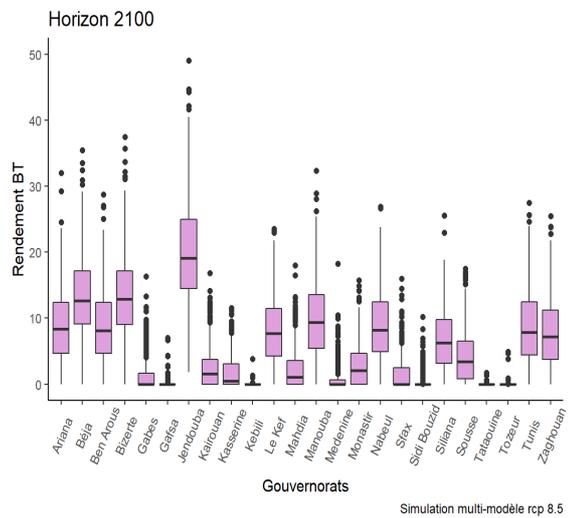
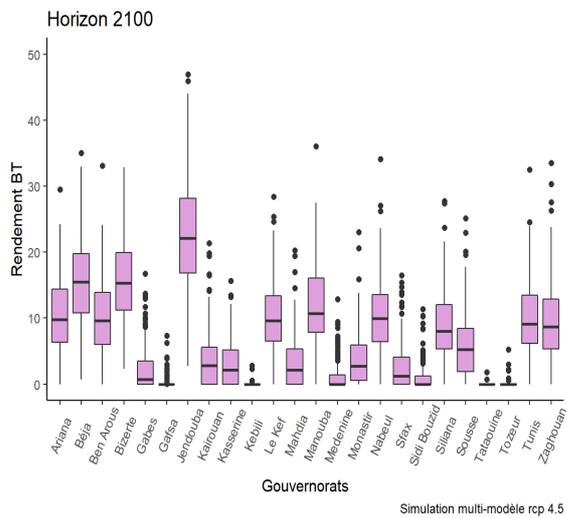


Figure 24 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements du BLE TENDRE (qx/ha) par gouvernorat

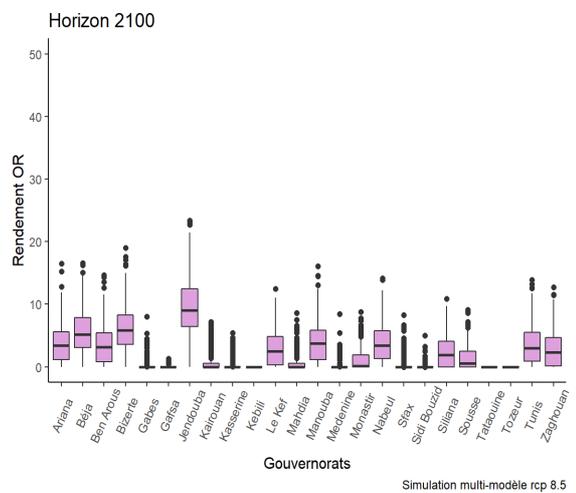
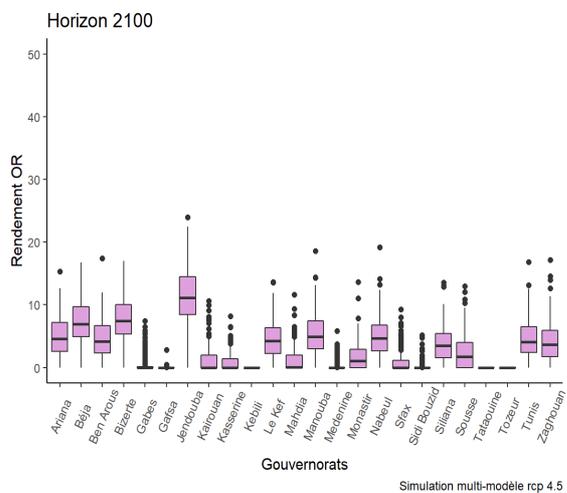


Figure 25 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements de l'ORGE (qx/ha) par gouvernorat

2.3.3.2 Impact sur les aires de culture

En raison des changements climatiques, les aires d'aptitude climatique à la céréaliculture vont se contracter, avec une remontée de ces espèces cultivées vers le nord de la Tunisie. Ceux-ci se traduiront, à tous les horizons (2050 et 2100) et pour tous les scénarios (RCP4.5 et RCP8.5), par une diminution relative de la classe d'aptitude "Très favorable" et une augmentation de la classe "Très défavorables", pour les céréales (blé et orge).

Ces diminutions des aires favorables sont à relativiser au vu de la divergence des projections entre les différents modèles climatiques considérés dans l'ensemble multi-modèles. Les quantiles 10 et 90 de la distribution statistique de cet ensemble multi-modèles permettent d'approcher la gamme de variation des différentes projections réalisées. Une différence importante entre les quantiles 10 et 90 est synonyme de divergence significative entre les modèles et donc d'incertitude importante dans les projections climatiques. Les incertitudes sont ainsi importantes pour les classes "Très favorable" et "Très défavorable", quelques soient les espèces considérées, de façon marquée à l'horizon 2100 et pour le scénario RCP8.5.

La diminution des aires favorables, par rapport à la période historique, est significative pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, pour toutes les espèces étudiées. La diminution est plus importante pour le blé tendre (-26%), et plus faible pour le blé dur (-8%). Pour le scénario RCP4.5, les changements ne sont significatifs qu'à l'horizon 2100.

Pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, les diminutions par rapport à la période historique sont de 16% pour les céréales. Ces valeurs médianes peuvent cacher des diminutions très importantes si l'on considère les quantiles 10 des projections climatiques de l'ensemble multi-modèles (projections les plus pessimistes). En effet, pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, ces diminutions seraient de 31% pour les céréales, soit près d'un tiers des aires favorables actuelles qui deviendraient défavorables. Dans le cas des projections climatiques les plus optimistes (quantile 90), les augmentations d'aires favorables (classes "Très favorable" "Favorable") sont de toutes manières inférieures à 12% pour toutes les céréales, tous les horizons et tous les scénarios, renforçant ainsi la tendance baissière des aires favorables à l'agriculture vivrière en Tunisie en raison des changements climatiques (Voir Annexe 9.8).

Nous présentons ici une série de graphiques qui concernent l'évolution de la part relative des aires d'aptitudes climatiques favorables (classes "Favorable" et "Très favorable") pour les céréales.

Enfin l'évolution des aires de production étudiées et cartographiées pour la période de référence et les horizons 2050 et 2100 sont présentée de sorte que la comparaison des trois cartes soit aisée. Les rendements étudiés correspondent au :

- Blé tendre
- Blé dur
- Orge

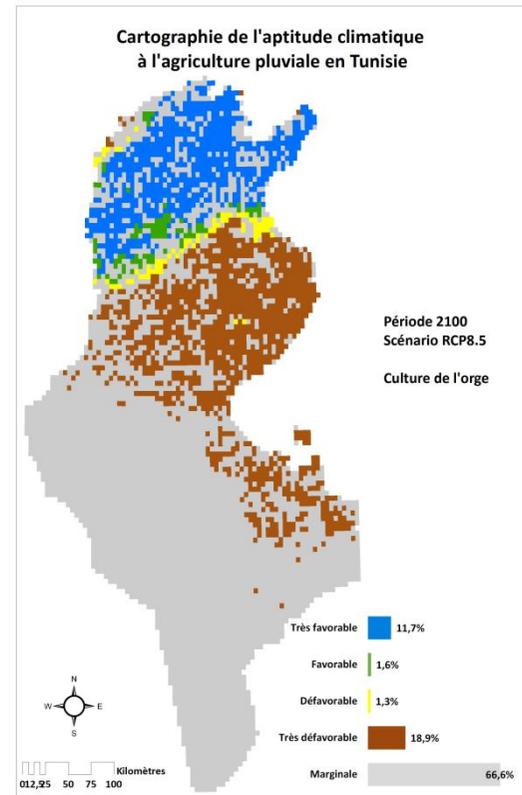
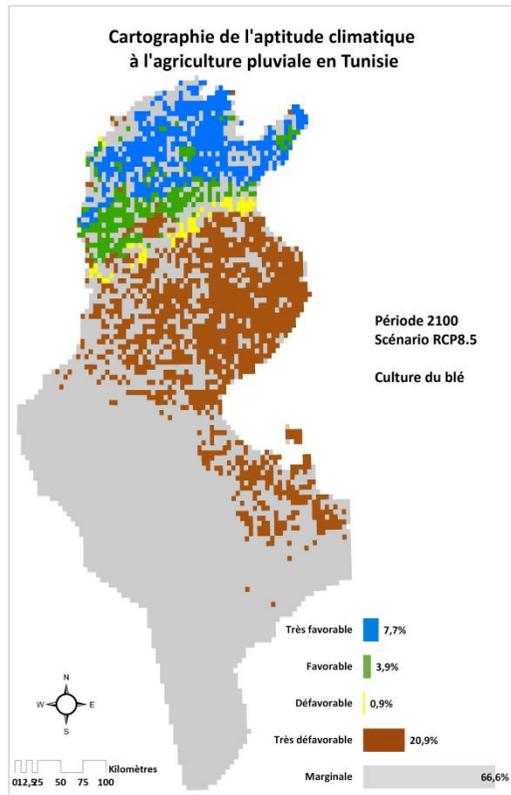
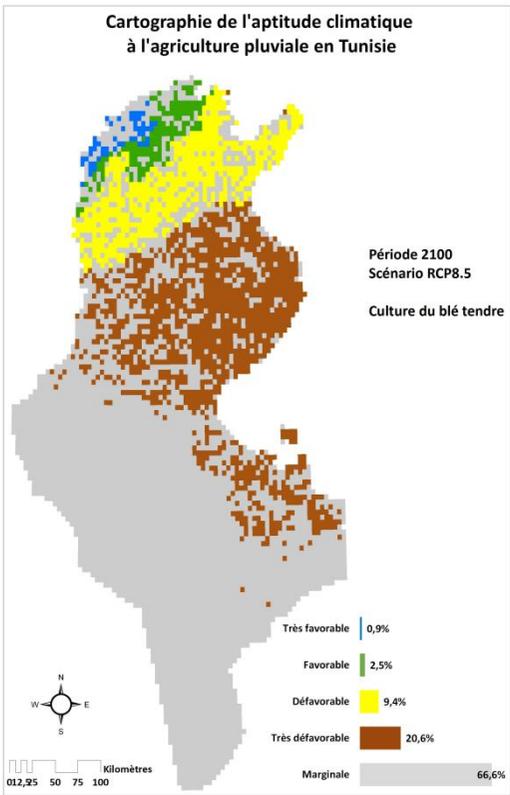


Figure 26: Cartographie de l'aptitude climatique à la culture des céréales à l'horizon 2100 pour le scénario RCP8.5.

En résumé

Les aires d'aptitude climatique à la céréaliculture se contracteraient et remonteraient vers le nord de la Tunisie, en raison des changements climatiques.

Ceci se traduirait par une diminution des aires favorables (ensemble des classes "Favorable" et "Très favorable") au profit des aires défavorables (ensemble des classes "Défavorable" et "Très défavorable"), pour toutes les céréales, de façon marquée pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, alors qu'à l'horizon 2050 les différences entre les deux scénarios ne sont pas perceptibles.

Les incertitudes dans les projections des aires d'aptitude, liées aux différences de projection entre les modèles climatiques, s'accroissent avec le temps et sont plus importantes pour le scénario RCP8.5.

Les changements dans les aires d'aptitude et leurs incertitudes sont importants pour les classes "Très favorables" et "Très défavorables", situées aux limites climatiques de la Tunisie et donc sensibles à toute variation du climat.

A l'horizon 2100, les aires favorables aux céréales (blés et orge) diminueraient en moyenne de 16% (entre -31% et +4% selon les modèles climatiques) pour le scénario RCP8.5 et en moyenne de -8% (entre -20% et +9%) pour le scénario RCP4.5.

Le blé tendre serait le plus affecté avec une diminution moyenne de 26% (entre 0% et -32%), puis l'orge avec en moyenne -13% (entre -28% et +7%) et enfin le blé dur avec en moyenne -8% (entre -33% et +5%).

Ces diminutions d'aires favorables auront des impacts négatifs sur la production céréalière en Tunisie, dans les conditions technologiques et économiques actuelles qui caractérisent les pratiques de production.

2.3.4 Perception des impacts de l'évolution du climat sur la céréaliculture

2.3.4.1 Description de l'activité de production des enquêtés

Les producteurs de céréales interviewés se répartissent sur 7 gouvernorats : Bizerte, Béja, Jendouba, Zaghouan, Siliana, Kairouan et Sidi Bouzid. L'âge moyen de ces céréaliculteurs est de 53 ans et les femmes agricultrices ne représentent que 7% des interrogés. Près de 78% des producteurs de céréales déclarent avoir fait des études supérieures (14% avec un niveau d'études secondaires et 7% avec un niveau d'école primaire).

D'après les réponses collectées, la moitié des parcelles sont conduites en pluvial. La moitié des exploitations sont de type patronal (combinant travail familial et travail salarié permanent), un tiers sont familiales, et un cinquième sont de type capitaliste (main d'œuvre salariée uniquement). Seul un céréaliculteur sur trois cultive exclusivement des céréales, près des deux tiers pratiquent aussi l'élevage et un tiers cultive des oliviers.

2.3.4.2 Phénomènes climatiques impactant la céréaliculture

Les céréaliculteurs interrogés sont unanimes quant à l'importance de l'impact des phénomènes climatiques sur la production. La sécheresse est citée par tous les agriculteurs comme le premier phénomène climatique affectant négativement la production céréalière (en irrigué ou en pluvial). Concernant les autres phénomènes climatiques affectant l'activité céréalière, les canicules et les vagues de chaleurs ont été évoqués par près de la moitié des céréaliculteurs. Les vents violents, la grêle, les pluies intenses et les inondations sont également mentionnés mais une moindre fréquence.

2.3.4.3 Les impacts sur la céréaliculture

Les phénomènes climatiques évoqués par les agriculteurs (sécheresses, canicules, vents forts, grêles, inondations, ...) engendrent plusieurs répercussions négatives en plus de la baisse des rendements, la dégradation de la qualité de la production agricole et la diminution de la disponibilité alimentaire pour l'élevage. Les coûts de production augmentent avec le re-labour et re-semis ; des traitements phytosanitaires supplémentaires ; des opérations de désherbage additionnelles dans le cas d'inondation notamment. Ces coûts supplémentaires affectent directement les revenus des agriculteurs et génèrent plus d'endettement. Face à la non-disponibilité de l'eau, l'agriculteur est aussi confronté à des choix difficiles concernant l'occupation du sol et il déclare « ne rien cultiver » avec toutes des conséquences négatives au plan économique. Pour le secteur irrigué, l'impact de la salinité a été également observé faute de drainage suffisant.

2.3.5 Facteurs de vulnérabilités de la production

2.3.5.1 Les facteurs de vulnérabilité

Deux tiers des producteurs enquêtés considèrent que les variétés cultivées sont sensibles aux changements climatiques, notamment les variétés étrangères. La moitié d'entre eux, considèrent que l'infrastructure d'irrigation est insuffisante et demande une « mise à niveau ». Un tiers des agriculteurs considèrent que la faible réserve utile en eau des sols est une contrainte importante et que les moyens de protection des cultures (couverture des sols, paillage, installation de haie ou de brise-vent, ...) sont insuffisants. La tarification de l'eau est considérée trop élevée et les délits qui lui sont associés sont mentionnés par près d'un tiers des producteurs.

D'autres facteurs de vulnérabilité sont mentionnés dans les entretiens, tel l'abandon de la jachère, l'insuffisance de protection des récoltes stockées ainsi que l'accès parfois difficile aux machines agricoles.

Quelques producteurs mentionnent l'inadaptation des politiques publiques et la faiblesse des structures collectives (coopératives, SMSA) sont également cités comme facteurs de vulnérabilité.

2.3.5.2 Adaptations existantes

Les entretiens réalisés auprès des céréaliculteurs ont permis de constater l'adoption, à différents niveaux, de plusieurs formes d'adaptations aux changements climatiques. Ces pratiques font référence à des techniques anciennes (travaux de conservation des eaux et des sols), aux modifications des pratiques culturales coutumières et à certaines avancées techniques et technologiques (pilotage de l'irrigation en utilisant les nouvelles technologies). Finalement, d'autres adaptations en relation avec la couverture des risques agricoles semblent être également adoptés tel que le recours aux systèmes d'assurances des calamités agricoles et la participation dans des structures collectives, comme les SMSA.

2.3.5.2.1 Stratégies d'adaptation spontanée

L'analyse de l'ensemble des réponses et réactions des céréaliculteurs interviewés permet de dresser un premier bilan relatif aux stratégies d'adaptation spontanée. Ces adaptations semblent reposer principalement sur les pratiques agricoles :

- Sélection d'espèces ou de variétés à cycle court (semis de l'orge à la place du blé pour son cycle court)
- Sélection d'espèces adaptées à la sécheresse et aux maladies,
- Décalage des dates des semis afin de profiter des premières pluies d'automne,
- Culture de céréales en intercalaire au milieu des oliviers,
- Diversification des cultures et expérimentation de plusieurs combinaisons de cultures :
 - o *Utilisation de légumineuses (pois-chiche, vesce commune, fenugrec, Sulla, féveroles) et production du foin de vesce-avoine plutôt que l'avoine seule.*
 - o *Introduction du triticale, qui semble être plus rustique que le blé dur face aux changements climatique, dans le système de culture*
 - o *Introduction du colza, qui semble aussi moins touché par les sécheresses de printemps que le blé, dans le système de culture.*
 - o *Le recours à un assolement triennal au lieu de quadriennal avec retrait de la légumineuse,*
- Intégration de l'élevage dans le système de culture,
 - o Production du fourrage et des aliments sur la ferme,
 - o Réduction du cheptel bovin et augmentation du cheptel ovin,

- Production autonome de l'orge pour le bétail lorsque l'année est pluvieuse et consommation des jeunes pousses de l'orge en vert lorsque l'année est sèche
- Épandage de fumier pour améliorer la fertilité du sol
- Pratique de l'agriculture de conservation et utilisation des techniques de semis direct.
- Nivellement de la terre pour diminuer la stagnation de l'eau lors des inondations
- Installation de brise-vent et essai de double brise-vent
- Mise en œuvre de capteurs pour l'irrigation automatique

Une réponse extrême consiste à abandonner la céréaliculture au profit de l'arboriculture et de l'olivier.

Certains effets négatifs ont été observés suite à la mise en place de certaines pratiques, notamment l'expérience du semis précoce qui n'a pas été toujours positive et les résultats observés ont montré une grande variabilité inter annuelle. Par ailleurs, les agriculteurs ont constaté l'apparition de nouvelles maladies sur les variétés étrangères introduites.

2.3.5.2.2 Stratégies d'adaptation planifiées

Les entretiens réalisés auprès des céréaliculteurs ont permis relever plusieurs stratégies d'adaptation mises en place par les politiques publiques. Selon les agriculteurs l'état a encouragé la rotation des cultures et l'introduction des légumineuses par la mise en place d'un « programme fèverole » et un appui aux agriculteurs pour la vente de leurs récoltes. De même, un programme de vulgarisation des associations fourragères en collaboration avec les Instituts de recherche, de vulgarisation de l'Office de l'élevage et des Centre techniques a été mis en place avec l'organisation de plusieurs journées d'information et des écoles de terrain (sur le semis direct pour conserver la matière organique et minimiser la consommation de carburant ; sur les techniques de semis homogène qui permet un gain en semences et l'obtention de plants plus vigoureux ; introduction de l'élevage pour disposer de matière organique toute l'année et résoudre le problème de la pauvreté du sol.

Les agriculteurs estiment que l'État a également favorisé l'introduction de nouvelles cultures tel que le colza et que certaines collaborations réussies existent entre les centres techniques et les agriculteurs pour valoriser des programmes d'introduction de nouvelles variétés plus résistantes à la sécheresse et aux maladies.

Malgré une perception positive de tous ces efforts, les agriculteurs estiment cependant, que ces programmes restent appliqués à des échelles locales et un effort supplémentaire devrait être fourni pour généraliser ces programmes dans l'espace et dans le temps.

Les entretiens avec les agriculteurs ont montré également le faible niveau de communication de l'État par rapport aux stratégies et programmes publics d'intérêt général.

2.3.5.3 Autres facteurs de résilience

Parmi les autres facteurs de résilience, les producteurs de céréales citent :

- Leur insertion dans des organisations à vocation économique telles que les SMSA qui peuvent faciliter la location de machines agricoles pour ensilage (raygrass avoine, trèfle) et offrir des opportunités de formation
- Les efforts de l'État pour mettre en place des mécanismes de soutien (subventions et incitations financières) aux agriculteurs sinistrés afin qu'ils puissent bénéficier notamment des avantages du fonds d'indemnisation des dommages agricoles liés aux calamités naturelles depuis fin 2019.

2.4 Risques liés au changement climatique pour l'oléiculture

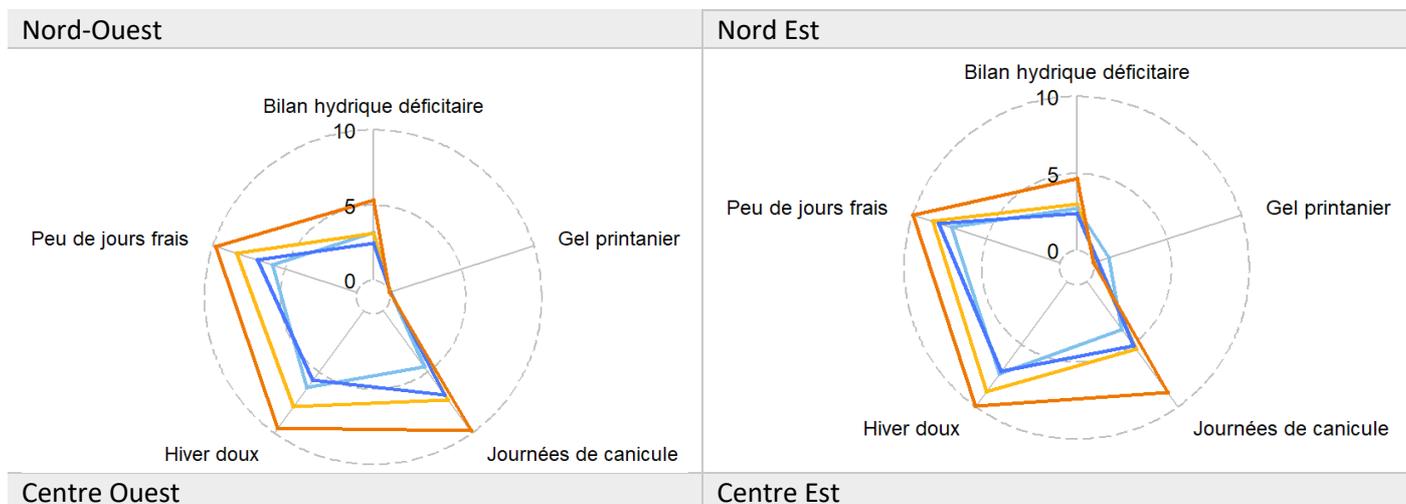
2.4.1 Situation et défis du changement climatique

L'oléiculture est pratiquée par plus de 300 000 producteurs sur tout le territoire national et 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 surface plantée en oliviers se situe autour de 1,7 millions d'hectares en 2018, soit 35% de la surface cultivable, au premier rang dans l'occupation du sol. Pour la période 2010-2019 la production moyenne s'est située autour de 900 000 tonnes d'olives à huile soit autour de 180 000 tonnes d'huile. Sur cette période de 10 ans, quatre années ont vu la production dépasser la moyenne et cinq années en dessous, avec un minimum de 375 000 tonnes (2014) et un maximum de 1,6 millions de tonnes (2018). Le centre Est de la Tunisie particulièrement les gouvernorats de Kairouan, Sfax, Mahdia et Sidi Bouzid concentrent presque les deux tiers de la production, alors que le Sud et le Nord contribuent pour 12 et 23% respectivement. La part de la production irriguée est mal connue, mais elle est croissante accompagnant une dynamique intense de plantation grâce aux aides de l'État. L'huile d'olive exportée est la plus importante source de devises parmi les produits agricoles avec 29% en moyenne durant la dernière décennie. La consommation domestique est en baisse constante depuis une vingtaine d'années pour atteindre environ 20% de l'ingestion totale, le reste provenant d'importations d'huiles de graines (soja, palme) dont le prix subventionné au consommateur est quatre fois moins cher que celui de l'huile d'olive. Ces chiffres attestent du poids considérable de cette filière dans l'économie agricole et au plan national. Bien que l'olivier soit un arbre résistant à la sécheresse, capable d'aller chercher de l'eau en profondeur dans le sol, il a besoin de périodes de froid, tout en étant sensible aux périodes de chaleur extrême ($t_p > 40^{\circ}\text{C}$), qui risquent de se multiplier et de s'allonger dans les régions centre et sud qui concentrent aujourd'hui 77% de la production nationale.

2.4.2 Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas

Afin d'évaluer la survenue des aléas climatiques affectant l'oléiculture aux horizons 2050 et 2100, nous avons sélectionné cinq indicateurs spécifiques à ce secteur parmi les indicateurs agroclimatiques présentés dans la partie II.

Pour chaque région de la Tunisie, nous présentons l'évolution de la fréquence de survenue de l'aléa associé à chacun de ces indicateurs. Pour rappel, **l'occurrence de l'aléa est définie par rapport à la valeur atteinte par l'indicateur une fois tous les 10 ans en période de référence** (événement décennal, cf. Approche méthodologique). On considère donc que l'aléa survient quand l'indicateur est supérieur (ou inférieur, en fonction des indicateurs) à l'événement décennal. Par exemple dans la région Centre Est, l'événement décennal pour le bilan hydrique déficitaire correspond à un bilan hydrique de -109 mm (le bilan hydrique est inférieur ou égal à -109 mm en moyenne 1 année sur 10). A l'horizon 2100, selon le RCP 4.5, le bilan hydrique serait inférieur ou égal à -109 mm en moyenne 3 ans sur 10.



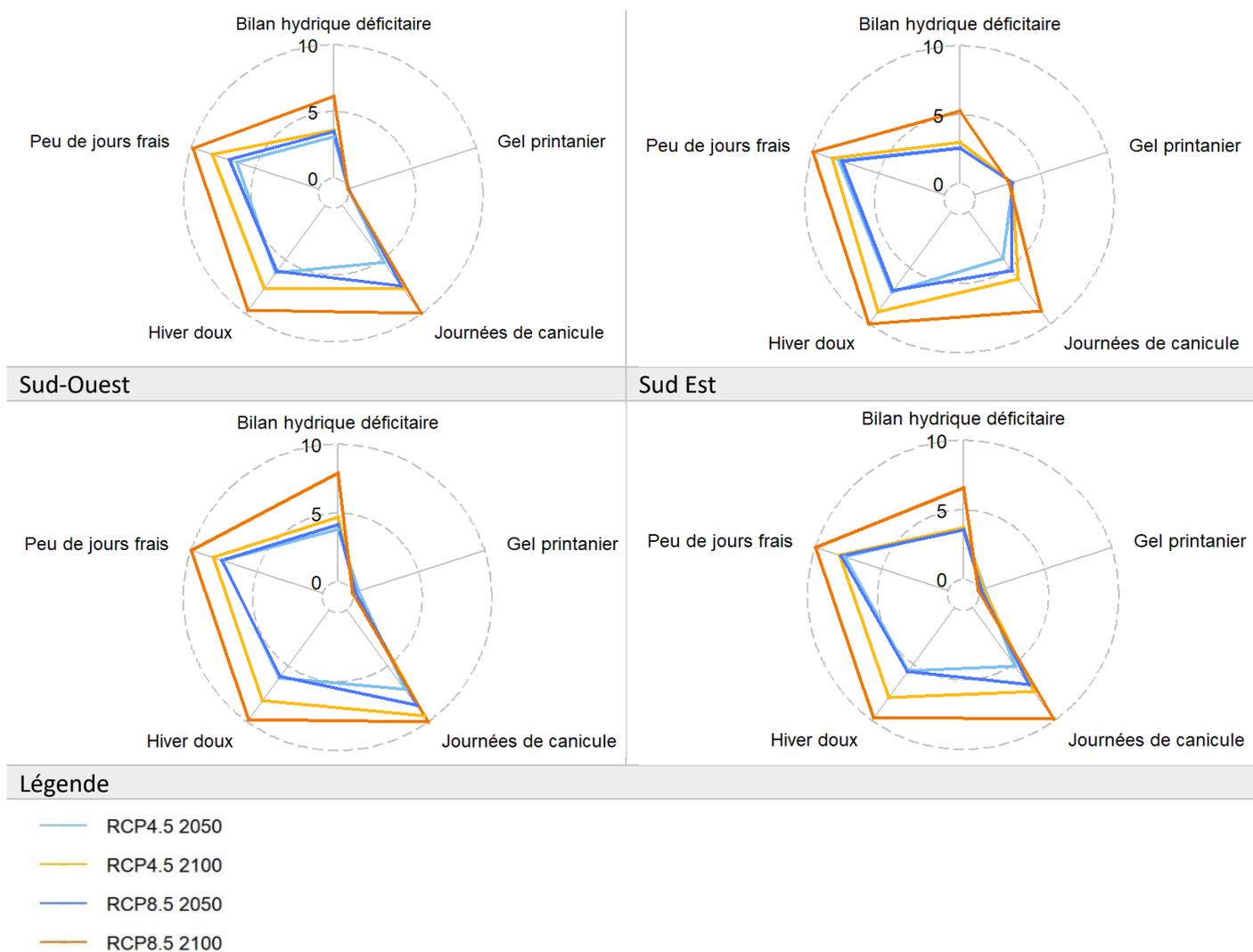


Figure 27 : Nombre d'années de survenue de l'aléa en 10 ans pour les horizons futurs (2050 et 2100) et selon les 2 scénarios (RCP 4.5 et RCP 8.5) pour un aléa qui se produit une fois tous les 10 ans en période de référence. Médiane multi-modèles pour chaque scénario et chaque horizon

Les modèles montrent une augmentation de la survenue de tous les aléas pour l'ensemble des régions, excepté pour l'aléa lié au gel printanier. L'évolution des fréquences de retour des aléas montrent notamment :

- Des hivers doux qui seraient observés au moins tous les 2 ans dans toutes les régions dès 2050. Cet aléa deviendrait annuel en 2100 selon le RCP 8.5 ;
- Une diminution du nombre de jours frais de plus en plus fréquente accompagnant les hivers doux, en particulier au Sud et à l'Est. Cependant, cet aléa devrait s'observer tous les ans dans toutes les régions en 2100 selon le RCP 8.5 ;
- Un nombre important de journées de canicule qui serait plus fréquent, plus particulièrement pour les régions du Sud et de l'Ouest qui ne bénéficient pas de l'effet régulateur du littoral. Pour ces régions, cet aléa devrait se produire entre 7 et 10 années sur 10 ans 2100.
- Un stress hydrique de plus en plus fréquent d'aujourd'hui à 2100, dont l'augmentation de la survenue devrait toucher plus fortement les régions du Sud avec une survenue de 7 à 8 années sur 10 ans 2100 selon le RCP 8.5. Dans le Nord et le Centre Est, cet aléa serait attendu 1 année sur 2 en 2100 selon ce même scénario ;
- Un gel printanier qui devrait diminuer dans toutes les régions et pourrait disparaître, sauf pour le Centre Est où cet aléa devrait être observé 3 années sur 10 ans 2050 et 2100 selon les 2 scénarios.

Toutes les régions de la Tunisie devraient ainsi subir une forte augmentation de la survenue des aléas touchant l'oléiculture, tels que le nombre élevé de journées de canicules couplé à un stress hydrique et menant à une baisse des rendements, ou encore des hivers doux avec peu de jours frais, menaçant la satisfaction des besoins en froid de l'olivier pour la floraison. L'augmentation de la survenue du gel printanier, présentant un risque de destruction de la

floraison menant à une perte de rendement, devrait être observée uniquement dans le Centre Est. Dans les autres régions, ce risque devrait diminuer voire disparaître.

2.4.3 Impact du changement climatique sur la production d'olives

2.4.3.1 Impact sur les rendements

La variation temporelle du rendement national simulé de l'olivier à huile pour les différents modèles du RCP 4.5 et du RCP 8.5 indique des impacts négatifs du changement climatique, avec une baisse des rendements dans tous les cas et pour tous les horizons.

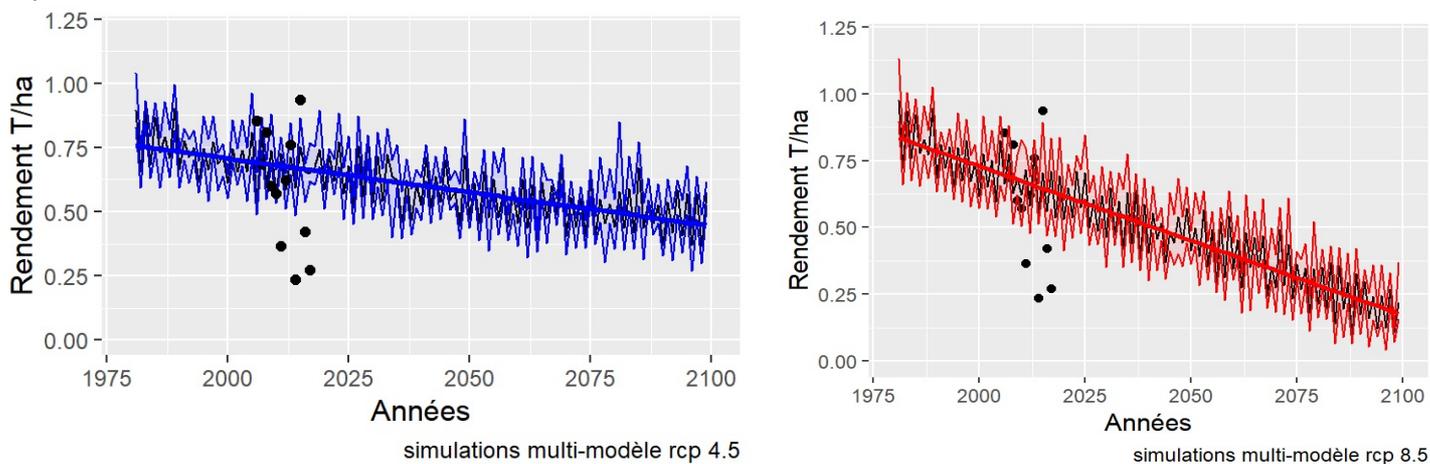


Figure 28 : Simulation du rendement national Olive à huile jusqu'à 2100

Le tableau suivant présente une synthèse des données pour les deux horizons et les deux scénarios RCP :

Rendement en olives à huile	Période de référence	RCP 4.5		RCP8.5	
		2050	2100	2050	2100
Rendement en kilos par ha	663	553	493	453	257
Variation en %		-17%	-26%	-32%	-61%
Écart-type du rendement (kg x ha)	80	71	81	77	71
Q10 du rendement (kg x ha)	591	484	417	368	180
Q90 du rendement (kg x ha)	758	639	585	547	346

Tableau 10 : Projection des rendements de l'olive à huile aux horizons 2050 et 2100.

Ainsi, les projections climatiques RCP 4.5 révèlent une baisse de l'ordre de 30% entre la période de référence et 2100 soit plus de 200 kilogrammes par hectare pour un rendement projeté de l'ordre de 500 kilogrammes par ha. Pour le scénario RCP 8.5, la diminution à l'horizon 2100 serait encore beaucoup plus forte, autour de 66%, avec un rendement de l'ordre de 250 kilogrammes par Ha. L'écart type moyen des rendements calculés pour les multi modèle est estimé à 0,07 T/ha.

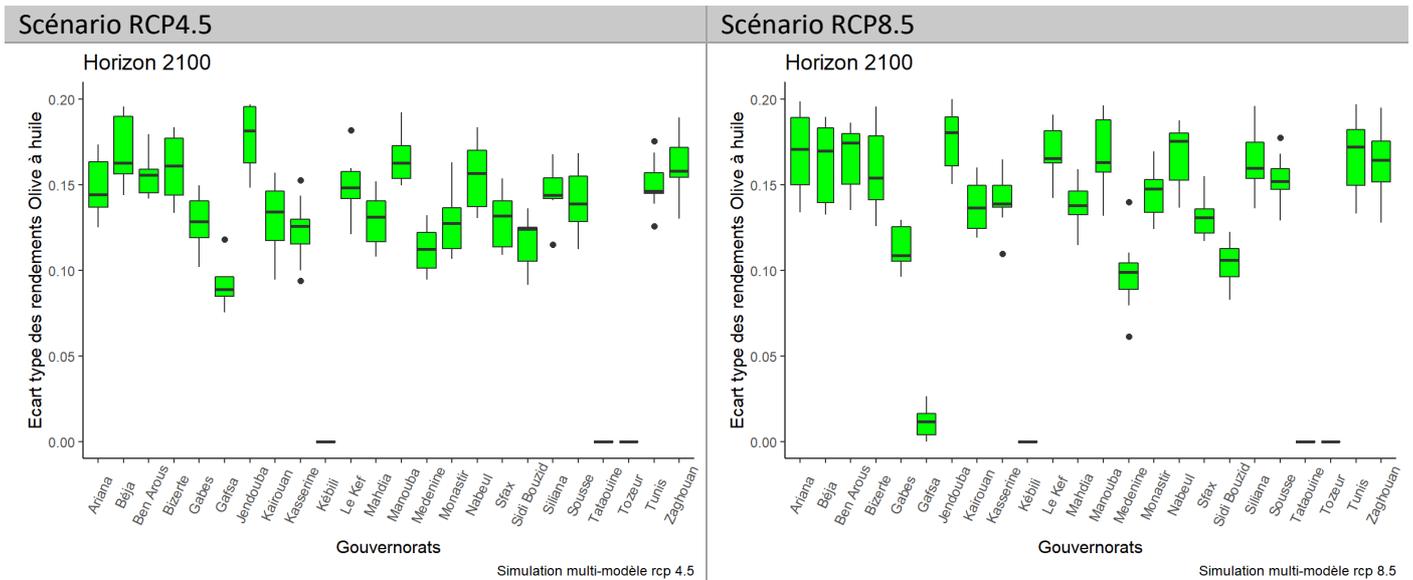


Figure 29 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements

Si on examine la variabilité interannuelle des rendements simulés par les différents modèles par gouvernorat (Figure 30), on peut constater que le scénario RCP 4.5 montre plus de variabilité à l’horizon 2050 qu’à l’horizon 2100 et que le RCP 8.5 montre moins de variabilité que le RCP 4.5.

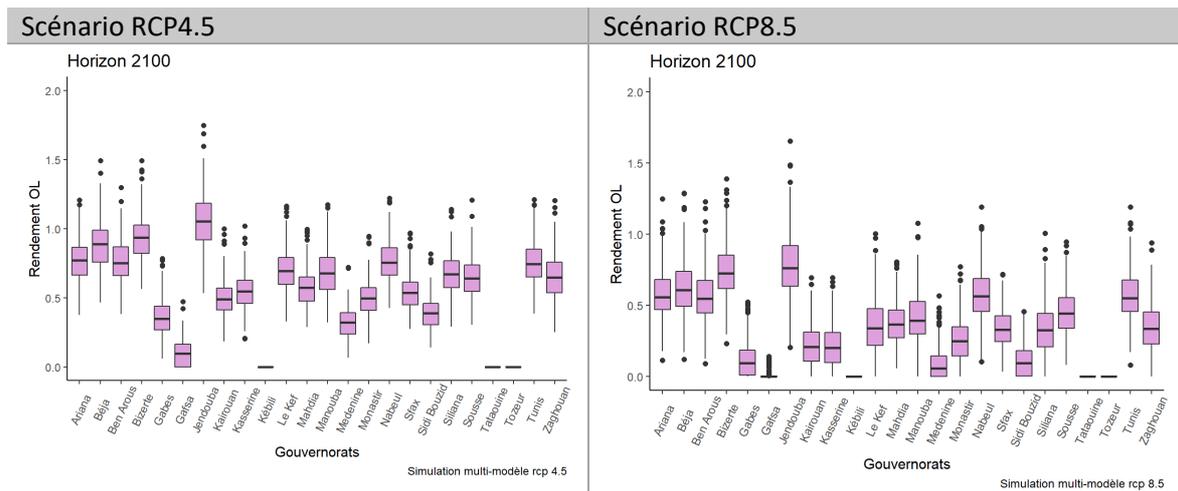
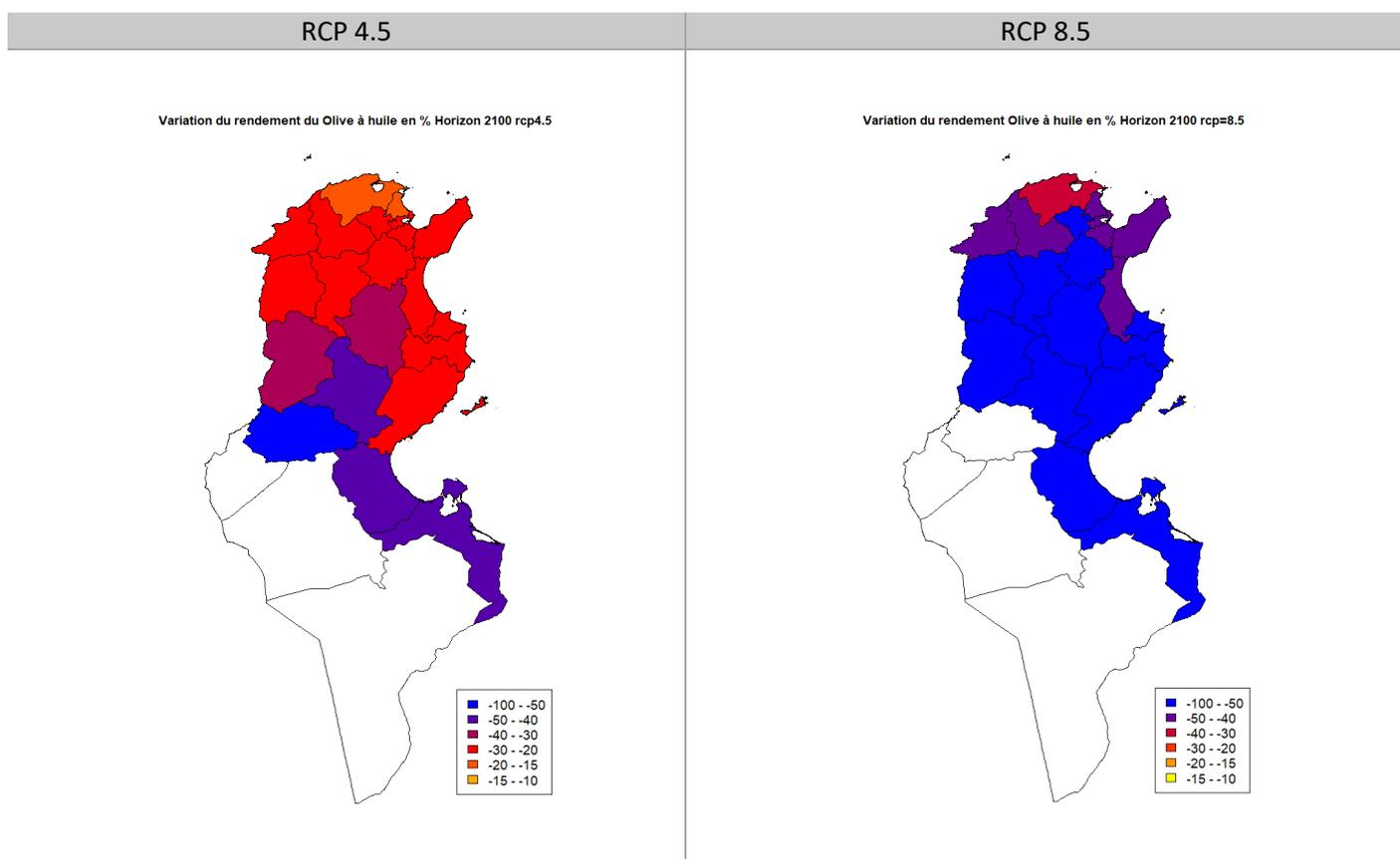


Figure 30 : Variation interannuelle et inter modèles des rendements de l’Olive à huile (T/ha) par gouvernorat - RCP 4.5 et RCP 8.5 pour 2100

Les gouvernorats du nord de la Tunisie (Bizerte, Jendouba, Béja, Grand Tunis, Nabeul) montrent plus de variabilité interannuelle des rendements que les gouvernorats du centre (Mahdia, Sousse et Sfax). Cette variabilité interannuelle des rendements est également importante pour les gouvernorats du Sud de la Tunisie où les rendements sont très faibles. Pour chaque gouvernorat, la variation du rendement entre les différents scénarii et les horizons temporels a été illustrée dans les cartes de la Tunisie.



Horizon 2100- période de référence en %

Figure 31 : Variation interannuelle et inter modèle en % des rendements de l'Olive à huile par gouvernorat - RCP 4.5 et RCP 8.5 pour la période de référence, 2050 et 2100

A l'échelle nationale, l'impact du changement climatique sur le rendement de l'olivier à huile serait nettement plus marqué que celui touchant les céréales. Les projections climatiques RCP 4.5 indiquent une baisse annuelle du rendement de l'ordre de 0,4% et de l'ordre de 1% pour les projections climatiques RCP 8.5 à l'horizon 2100

La baisse des rendements concernerait tous les gouvernorats pour les deux RCP 8.5 et RCP 4.5 et les deux horizons. Les gouvernorats de Sfax, Sidi Bouzid, Kairouan et Mahdia qui représentent plus de la moitié de la production nationale pourraient connaître des baisses comprises entre 21% et 40% à l'horizon 2100 dans le scénario RCP 4.5 et entre 51 et 86% à l'horizon 2100 dans le scénario RCP 8.5.

2.4.3.2 Impact sur les aires de culture

En raison des changements climatiques, les aires d'aptitude climatique à la culture de l'olivier va se contracter, avec une remontée de cette espèce cultivée vers le nord de la Tunisie. Ceux-ci se traduiront, à tous les horizons (2050 et 2100) et pour tous les scénarios (RCP4.5 et RCP8.5), par une augmentation relative de la classe d'aptitude "Très favorable" et une augmentation de la classe "Très défavorables", pour l'olivier. Ainsi les changements climatiques se traduiront par une diminution des classes d'aptitude "Favorables" (Voir annexe 9.9). Ces diminutions des aires favorables sont à relativiser comme déjà mentionné pour les céréales

La diminution des aires favorables (classes Très favorables et Favorables), par rapport à la période historique, est significative pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, pour l'olivier. Pour le scénario RCP4.5, les changements ne sont significatifs qu'à l'horizon 2100. Les diminutions relatives des aires favorables sont moins importantes pour l'olivier que pour les parcours et les céréales. Pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, la diminution par rapport à la période historique est de 14% pour l'olivier. Ces valeurs médianes peuvent cacher des diminutions très importantes qui peuvent atteindre 34% pour l'olivier, soit un tiers des aires favorables actuelles qui deviendraient défavorables. Dans le cas des projections climatiques les plus optimistes (quantile 90), les augmentations d'aires favorables (classes "Très favorable" "Favorable") sont de toutes manières inférieures à 12% pour toutes les espèces, tous les horizons et

tous scénarios, renforçant ainsi la tendance baissière des aires favorables en Tunisie en raison des changements climatiques.

En résumé

Les aires d'aptitude climatique à l'oléiculture se contracteraient et remonteraient vers le nord de la Tunisie, en raison des changements climatiques.

Cela se traduirait par une diminution des aires favorables (ensemble des classes "Favorable" et "Très favorable") au profit des aires défavorables (ensemble des classes "Défavorable" et "Très défavorable"), de façon marquée pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, alors qu'à l'horizon 2050 les différences entre les deux scénarios ne sont pas perceptibles.

Les incertitudes dans les projections des aires d'aptitude, liées aux différences de projection entre les modèles climatiques, s'accroissent avec le temps et sont plus importantes pour le scénario RCP8.5. Elles sont également très importantes pour les classes "Très favorables" et "Très défavorables", situées aux limites climatiques de la Tunisie et donc sensibles à toute variation du climat.

A l'horizon 2100, les aires favorables à l'oléiculture diminueraient en moyenne de 14% (entre -27% et +7%, selon les modèles climatiques) pour le scénario RCP8.5 et en moyenne de -5% (entre -17% et +11%) pour le scénario RCP4.5.

Les réductions attendues sont de même ordre de grandeur que pour les céréales (-16%).

Ces diminutions d'aires favorables auront des impacts sur la production d'huile d'olive en Tunisie, dans les conditions technologiques et économiques actuelles qui caractérisent les pratiques de production.

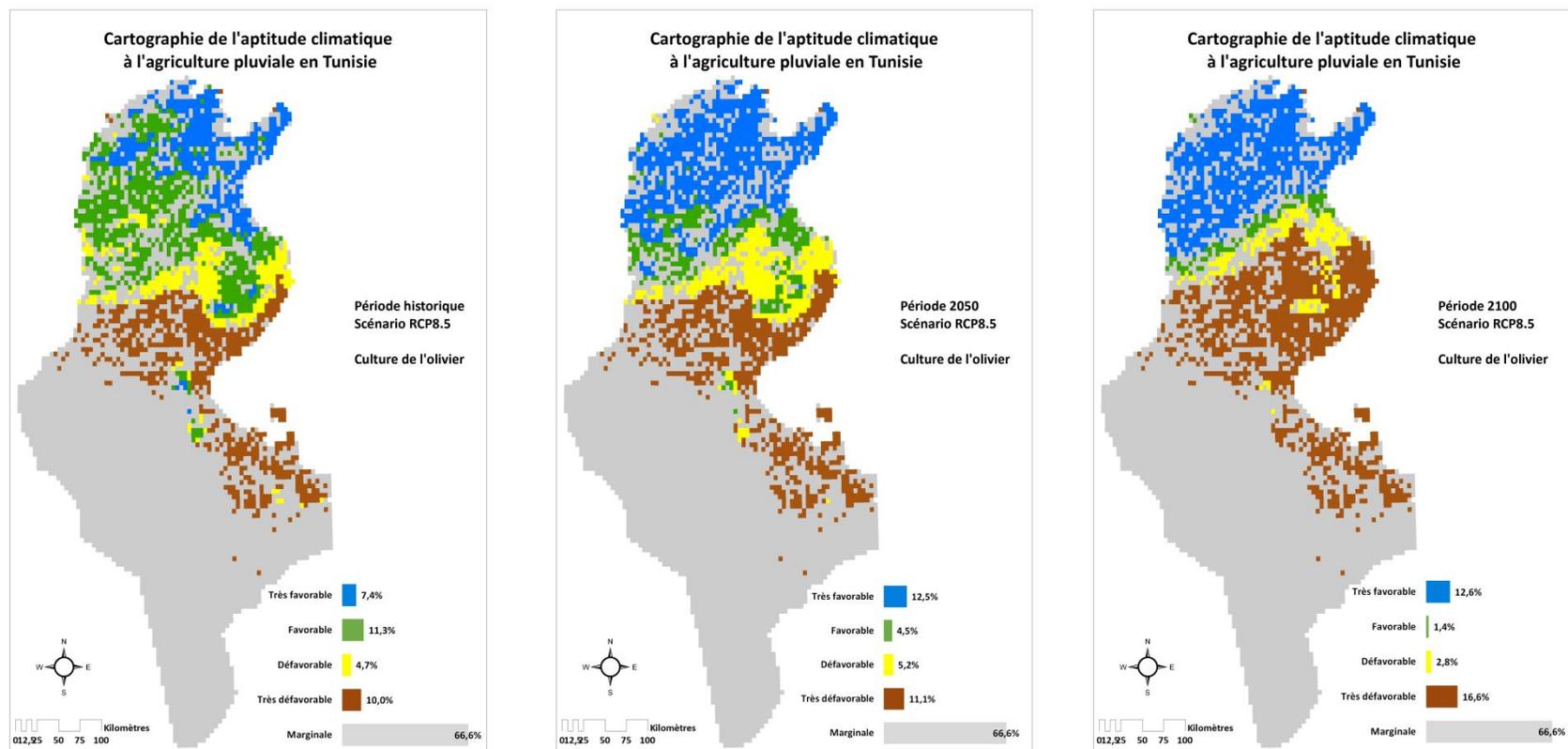


Figure 32: Cartographie de l'aptitude climatique à la culture de l'olivier aux horizons 2050 et 2100 pour le scénario RCP8.5.

2.4.4 Perception des impacts de l'évolution du climat sur l'oléiculture

2.4.4.1 Description de l'activité de production des enquêtés

Les vingt oléiculteurs (dont deux femmes) interviewés produisent dans une grande diversité de gouvernorats (12 sur 24), ils sont expérimentés et formés avec près de deux tiers de niveau universitaire et un âge moyen de plus 50 ans. La moitié de leurs parcelles sont conduites en irrigué. La moitié des exploitations est de type patronal, un tiers peuvent être considérées comme des unités familiales de production et le reste (1/6) sont des grandes unités de production à salariés. La moitié des producteurs enquêtés sont uniquement oléiculteurs, l'autre moitié pratique aussi l'élevage et/ou la céréaliculture.

2.4.4.2 Phénomènes climatiques impactant l'oléiculture

Le phénomène le plus souvent mis en avant par les producteurs est de la sécheresse. D'autres aléas importants sont mentionnés, tels les vents violents, les canicules et vagues de chaleurs ainsi que la grêle et gel. Les inondations et les pluies intenses n'ont pas été cités comme phénomène climatique impactant l'oléiculture.

2.4.4.3 Les impacts sur l'oléiculture

La dégradation de la qualité des fruits a été observée à cause de la sécheresse qui augmente l'acidité de l'huile. Les pluies d'été détériorent la qualité également avec la prolifération de parasites (vers). L'augmentation de l'apparition et de la propagation des maladies dans les oliveraies au cours des dernières années a été majoritairement mentionnée par les producteurs en pluvial comme en irrigué. Les hautes températures durcissent les olives, avec des impacts physiologiques qui engendrent une baisse des rendements et une qualité inférieure d'huile voire l'impossibilité de presser. Une dégradation des sols cultivés au cours des dernières années a été largement observée en particulier les phénomènes érosifs de déflation causée par les vents violents et les ravines et croûtes de battance causée par des pluies intenses. A son tour la baisse de la rentabilité engendre une diminution de la main d'œuvre et l'augmentation des coûts de production.

2.4.5 Facteurs de vulnérabilités de la production

2.4.5.1 Les facteurs de vulnérabilité

Les oléiculteurs interrogés observent largement une baisse de fertilité et de la réserve utile en eau de leurs sols ainsi qu'une chute de la biodiversité. Les traitements phytosanitaires ont un coût élevé, et « si on traite et que le voisin ne le fait pas c'est comme si on n'a rien fait ». Certains producteurs utilisent de grandes quantités d'engrais. Le manque de formation est également évoqué par les producteurs durant les entretiens.

La rentabilité de l'activité est de plus en plus incertaine avec des prix considérés trop faibles et un marché instable et insuffisamment organisé face à des coûts qui augmentent. A cela s'ajoute des problèmes de sécurité (vandalisme, vol). Neuf producteurs sur dix considèrent manquer de moyens financiers et la moitié mentionne l'insuffisance des assurances agricoles.

Quant aux facteurs non-climatiques ayant accentué les impacts du climat, les agriculteurs ont cité la difficulté pour acquérir de la main d'œuvre (faible disponibilité et coût trop élevé) notamment pour la récolte. Nombreux sont ceux qui mentionnent l'inadéquation de certaines variétés cultivées, trop sensibles et l'insuffisance de moyens de lutte contre l'apparition et la propagation des maladies et ravageurs.

Certains pointent la tarification trop élevée de l'eau et des systèmes d'irrigations insuffisants tout en reconnaissant une « mauvaise » gestion de l'eau du fait de la surexploitation de certaines nappes et du pompage illicite.

2.4.5.2 Adaptations existantes

Les entretiens réalisés auprès des oléiculteurs ont permis de constater l'adoption, à différents niveaux, de plusieurs types d'adaptations aux changements climatiques. Ces adaptations existantes font référence en premier lieu à l'itinéraire technique et particulièrement à l'intensification. Aussi, les adaptations en relation avec la couverture des risques agricoles semblent être également adoptés tel que le recours aux systèmes d'assurances des calamités agricoles et l'insertion dans des SMSA.

2.4.5.2.1 Stratégies d'adaptation spontanée

Certains producteurs développent de nouveaux itinéraires techniques en lien avec l'intensification en capital de la production (plus haute densité de plantation, mécanisation, irrigation). Le recours aux pesticides et aux engrais de synthèse progresse également, ainsi que le pilotage de l'irrigation avec des capteurs détectant l'humidité du sol en vue de consommer moins d'eau. Certains producteurs cultivent des céréales en intercalaire avec l'olivier afin de garantir une production alimentaire pour l'autoconsommation. Certaines entreprises développent des stratégies de fidélisation du personnel, notamment les ingénieurs et la main d'œuvre temporaire.

2.4.5.2.2 Stratégies d'adaptation planifiées

Les oléiculteurs enquêtés ont mentionné l'accès aux subventions publiques pour la plantation de l'olivier comme facteur de développement de leur activité. Le fond public de calamités est également reconnu comme un outil aidant les producteurs en difficulté après des événements climatiques.

2.4.5.3 Autres facteurs de résilience

La mise en place de projets intégrés (agriculture, huilerie, embouteillage, export) permet aux producteurs d'olive à huile de retenir une plus grande partie de la valeur ajoutée de la production entre leurs mains, ce qui constitue un facteur de résilience additionnel. La participation dans des organisations de producteurs telles les Sociétés Mutuelles de Services Agricole (SMSA) constitue également un facteur de sécurisation face aux aléas naturels et économiques.

2.5 Risques liés au changement climatique pour les parcours et l'élevage

2.5.1 Situation et défis du changement climatique

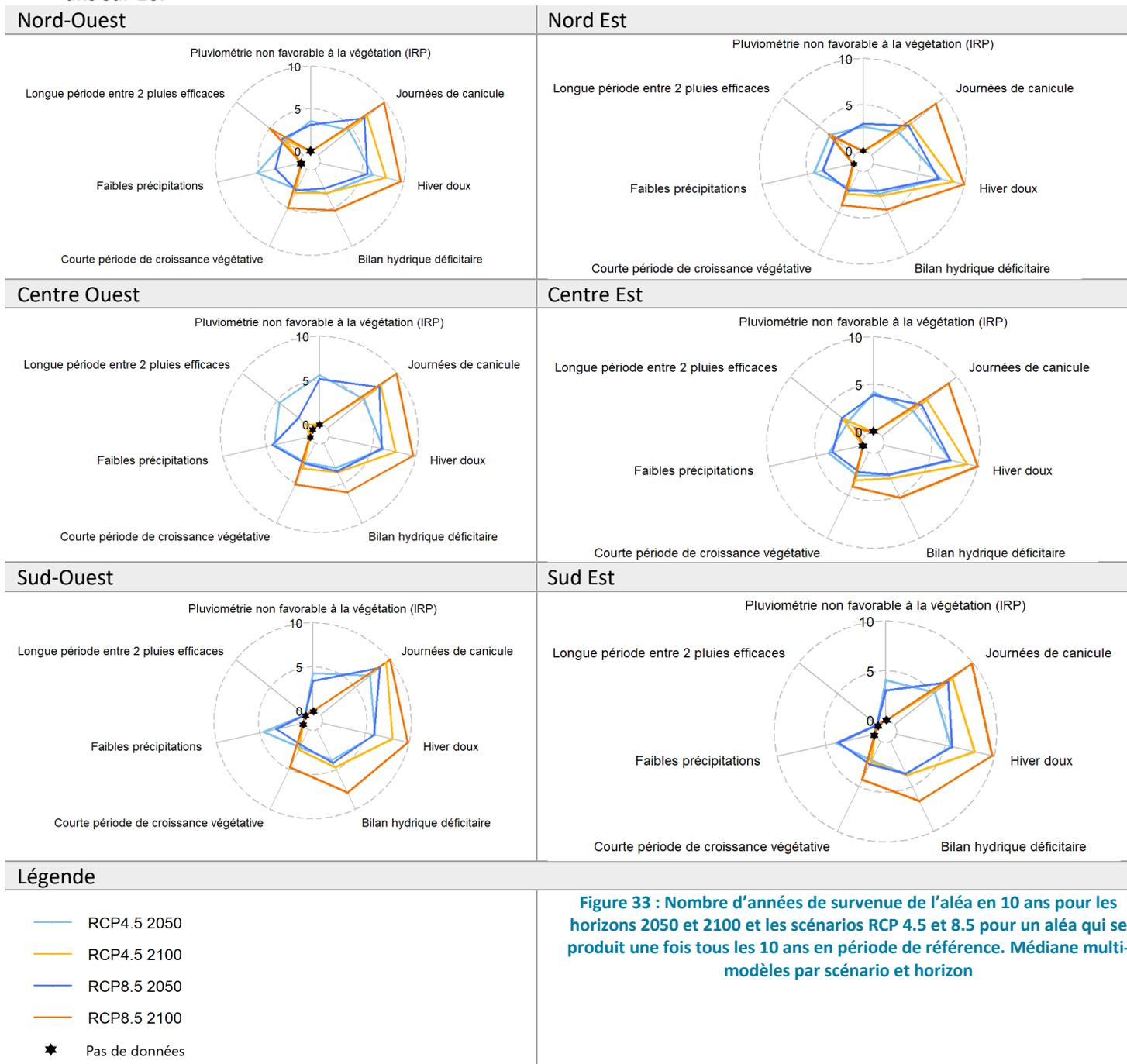
Les principales formes de dégradation des ressources sont le surpâturage, l'érosion des sols et la salinisation, conséquence à la fois d'une évolution climatique défavorable et d'une gouvernance inappropriée. En effet, dans le Centre et le Sud, le surpâturage s'est largement aggravé au cours des dernières décennies. Un cinquième des parcours ont déjà disparu. Selon la Banque Mondiale¹⁵ à l'horizon 2050, les effectifs du bétail risquent de baisser de 20% et la production animale pourrait diminuer de 36 à 50%, respectivement, pour les espèces ovines et caprines au niveau national. Cette situation risque de s'aggraver encore à l'horizon 2100 avec les effets croissants du CC, ce qui conduirait à une dépendance extérieure complète pour l'alimentation animale et/ou à une migration vers des pâturages plus au nord. Cette évolution menace l'ensemble du secteur, ses filières et les revenus des ménages concernés particulièrement dans le Centre et le Sud de la Tunisie. Le défi central pour le pays et pour les populations concernées, est de réussir à mettre en œuvre des innovations sociales, économiques et institutionnelles permettant dans un premier temps de stopper le surpâturage afin de construire ensuite une activité d'élevage en équilibre avec les ressources disponibles.

¹⁵ . [Banque Mondiale 2010 : La Tunisie face aux changements climatiques. Évaluation et Actions pour accroître la résilience et le développement](#). 174 pages.

2.5.2 Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas

Afin d'évaluer la survenue des aléas climatiques affectant les activités pastorales aux horizons 2050 et 2100, nous avons sélectionné sept indicateurs spécifiques à ce secteur parmi les indicateurs agroclimatiques présentés dans la partie I.

Pour chaque région de la Tunisie, nous présentons l'évolution de la fréquence de survenue de l'aléa associé à chacun de ces indicateurs. Pour rappel, **l'occurrence de l'aléa est définie par rapport à la valeur atteinte par l'indicateur une fois tous les 10 ans en période de référence** (événement décennal, cf. Approche méthodologique). On considère donc que l'aléa survient quand l'indicateur est supérieur (ou inférieur, en fonction des indicateurs) à l'événement décennal. Par exemple dans la région Centre Est, l'événement décennal pour le bilan hydrique déficitaire correspond à un bilan hydrique de -109 mm (le bilan hydrique est inférieur ou égal à -109 mm en moyenne 1 année sur 10). A l'horizon 2100, selon le RCP 4.5, le bilan hydrique serait inférieur ou égal à -109 mm en moyenne 3 ans sur 10.



Les modèles montrent une augmentation de la survenue de tous les aléas affectant les activités pastorales pour l'ensemble des régions de la Tunisie. L'évolution des fréquences de retour des aléas montrent notamment :

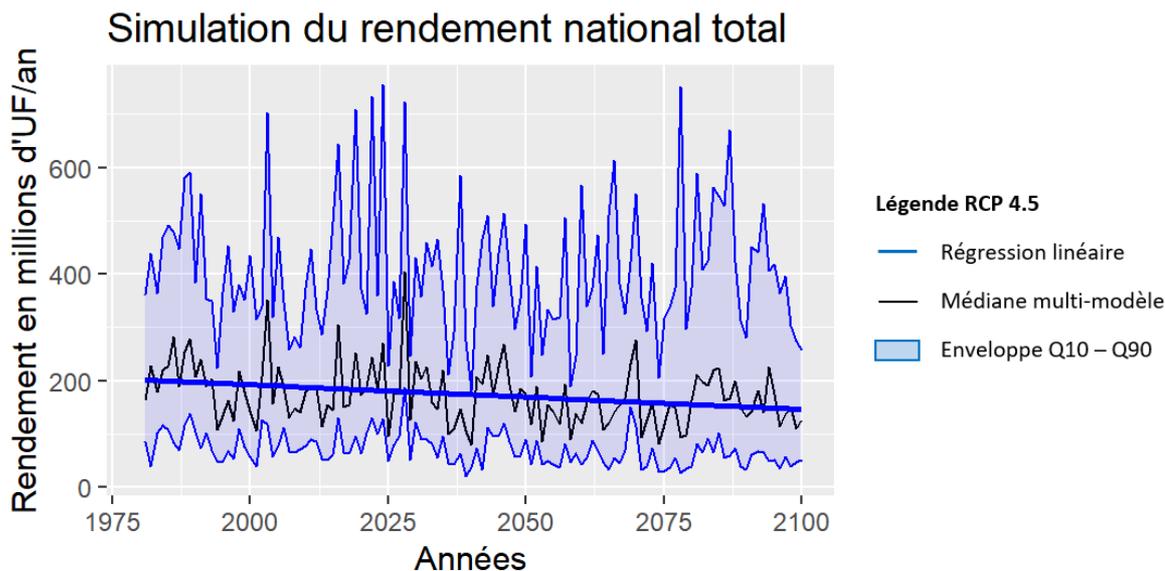
- Des hivers doux qui seraient observés au moins tous les 2 ans dans toutes les régions dès 2050. Cet aléa deviendrait annuel en 2100 selon le RCP 8.5 ;
- Un nombre important de journées de canicule qui serait plus fréquent pour l'ensemble des régions mais dont la survenue affecterait moins souvent les régions Nord Est et Centre Est qui bénéficient de l'effet régulateur du littoral. Pour ces régions, cet aléa devrait se produire entre 5 et 8 années sur 10 ans 2100, alors qu'il devrait se produire entre 7 et 10 années sur 10 pour les régions du Sud et de l'Ouest ;
- Un stress hydrique de plus en plus fréquent d'aujourd'hui à 2100, dont l'augmentation de la survenue devrait toucher plus fortement les régions du Sud avec une survenue de 7 à 8 années sur 10 ans 2100 selon le RCP 8.5, alors qu'elle ne devrait pas dépasser 1 année sur 2 pour les régions du Nord et du Centre Est ;
- Une augmentation de la fréquence des années à faibles précipitations participant au stress hydrique et affectant particulièrement les régions de l'Ouest. La survenue de faibles précipitations pourrait notamment atteindre une fréquence d'une année sur deux dès 2050 selon le RCP 4.5 ;
- Une longue période entre les 2 premières pluies efficaces devrait être observée de plus en plus fréquemment, tous les 2 ans pour le Nord-Ouest en 2100 selon le RCP 8.5 par exemple ;
- L'aléa de pluviométrie non favorable à la végétation devrait aussi être plus fréquent, en particulier pour le Centre Ouest où il devrait se produire presque tous les 2 ans en 2050 selon le RCP 4.5 ;
- Une courte période de croissance végétative devrait être plus fréquemment rencontrée, en particulier pour les régions de l'Ouest où cet aléa devrait se produire tous les 2 ans en 2100 selon le RCP 8.5.

L'ensemble des régions de la Tunisie devraient ainsi subir une augmentation importante de la survenue des aléas touchant les activités pastorales, tels que le nombre élevé de journées de canicules accompagné d'un stress hydrique et menant à une baisse des rendements, ou encore des précipitations spatialement et temporellement irrégulières affectant le développement de la végétation.

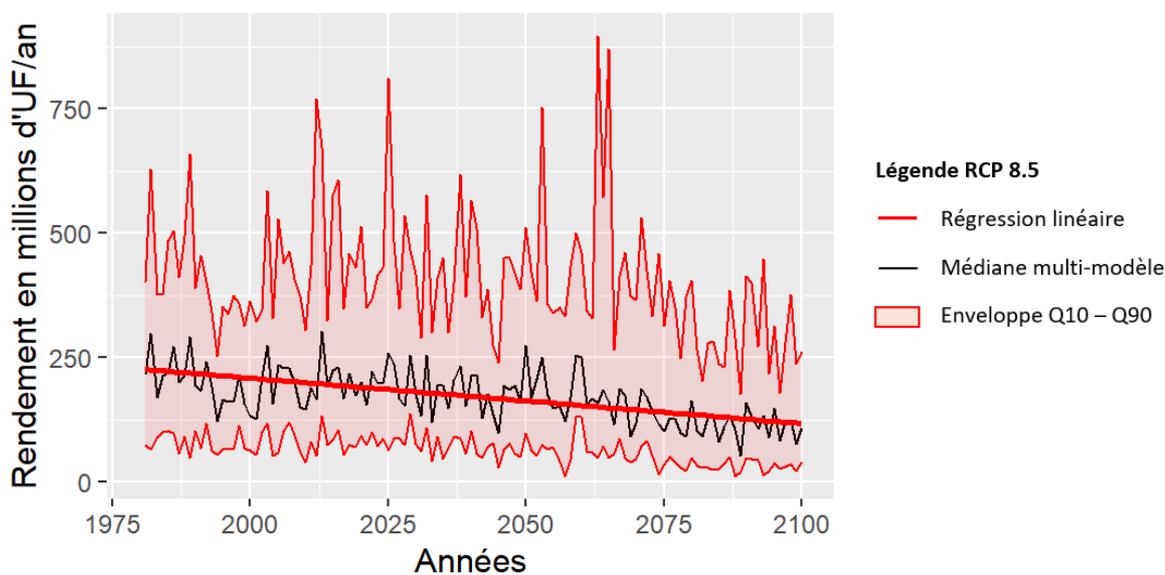
2.5.3 Impact du changement climatique sur la production fourragère des parcours

2.5.3.1 Impact sur les rendements fourragers des parcours

L'analyse comparée des productions des parcours de Tunisie sur la période 1981-2100 pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (analyse multimodèles basée sur les médianes), montre une tendance générale à la baisse, plus forte pour le scénario RCP8.5 que le RCP4.5.



Simulations multi-modèle RCP 4.5



Simulations multi-modèle RCP 8.5

Figure 34 : Comparaison de la production fourragère des parcours de Tunisie pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 en termes de médiane multimodèles avec Q10 et Q90

En début de période, 1981-2030, le scénario RCP8.5 semble plus favorable en termes de précipitations et donc de production en UF. C'est à partir des années 2030 que les droites de régression se croisent et les résultats du scénarios RCP8.5 deviennent moins favorables tout en maintenant la tendance générale à la baisse. Quelques valeurs extrêmes apparaissent autour des années 2070 et 2085 avec des pics de production allant jusqu'à 800 millions d'UF, ce qui confirme l'extrême variabilité de la production mais aussi les limites dues aux modèles climatiques eux-mêmes.

La dispersion interannuelle sur la série temporelle 1981-2100 de la production fourragère analysée à travers les intervalles inter déciles Q10 et Q90 autour de la médiane, montre que ces intervalles sont nettement plus importants entre la médiane et les valeurs hautes (Q90) – de l'ordre de 250 millions d'UF qu'entre celle-ci et les valeurs basses (Q10), de l'ordre de 100 millions d'UF. Les écarts tendanciels aux horizons 2050 et 2100 sont de l'ordre de 300 millions d'UF (Q90 moins Q10)

soit plus de deux fois la médiane. Pour le scénario RCP8.5, l'écart entre médiane et Q90 augmente avec le temps, alors qu'il diminue avec le Q10.

Les médianes comparées de la production fourragère des parcours pour les trois séries temporelles de trente ans chacune avec la période de référence (1981-2010), l'horizon 2050 (intervalle 2036-2065) et la fin de siècle 2100 (période 2071-2100) confirment bien la tendance générale à la baisse de la production dans le futur. Une baisse qui sera plus prononcée vers la fin du siècle pour le scénario RCP8.5 avec une perte de l'ordre de 40% environ par rapport à période de référence. Pour le RCP4.5, la plus forte baisse, comparée à la période de référence, se situerait à l'horizon 2050 avec une perte de l'ordre de 20%.

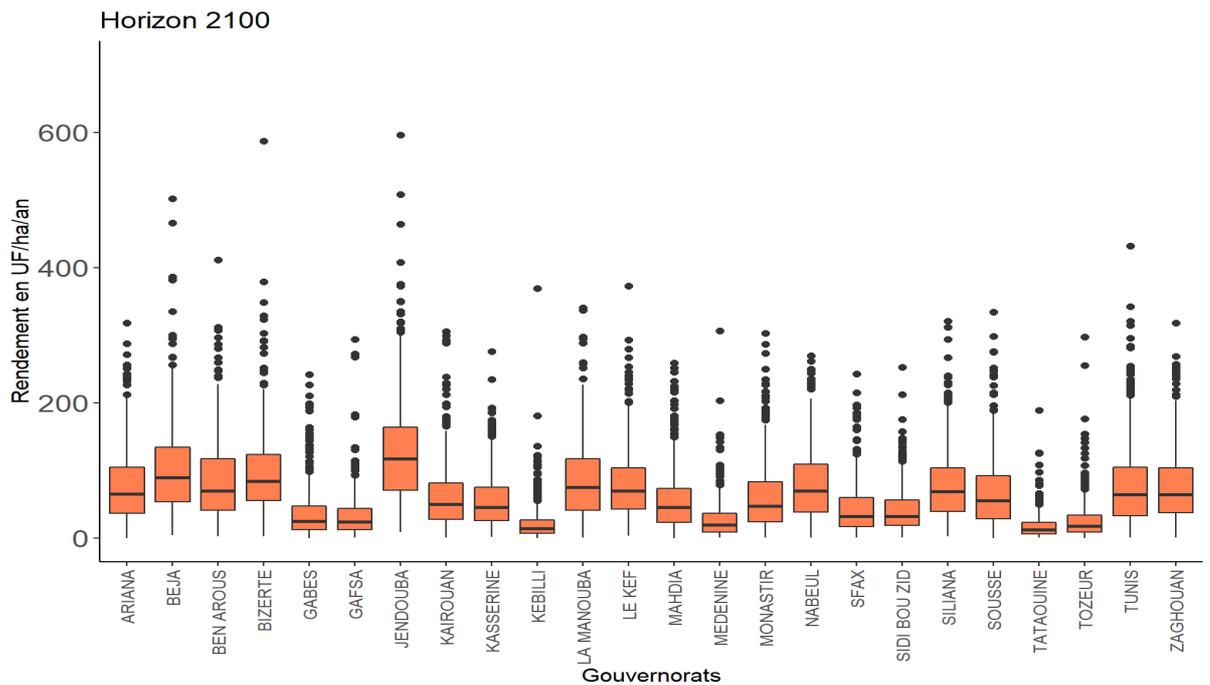
Production des parcours en Unités Fourragères (UF)	Période de référence	RCP4.5		RCP 8.5	
		2050	2100	2050	2100
Nombre d'Unités fourragères par hectare	36	29	29	34	22
Production fourragère des parcours en millions d'UF	198	157	155	183	119
Variation en %		-21%	-22%	-8%	-40%
Q10 en millions UF	82	63	54	67	36
Q90 en millions UF	408	370	413	454	322

Figure 35: : Production des parcours (médiane multimodèles) pour la période de référence et les horizons 2050 et 2100 encadrés par Q10 et Q90 estimée en millions d'Unités Fourragères

La comparaison des rendements en UF/Ha/an estimés par les 12 modèles du scénario RCP4.5 et les 18 modèles du scénario RCP8.5, a montré une grande disparité intermodèles au niveau national et pour les 24 gouvernorats. Voir annexe parcours pour les graphiques et l'analyse détaillée.

Par ailleurs, l'analyse des rendements par gouvernorat pour les trois périodes : la période de référence et les horizons 2050 et 2100 exprimés à travers l'intervalle interdéciles autour de la médiane, distinguent nettement trois groupes de gouvernorats et ce quelle que soit l'horizon et le scénario considérés (RCP4.5 et RCP8.5). Ces résultats traduisent la réalité de la Tunisie et distinguent les particularités climatiques des trois grandes régions du pays : Nord, Centre et Sud avec une expression importante de l'influence maritime largement prouvée par ailleurs. En effet, le premier groupe qui rassemble les gouvernorats du Sud-Ouest : Gafsa, Tataouine, Tozeur et Kébili enregistre les rendements les faibles mais le niveau d'homogénéité le plus élevé tellement la variation des précipitations entre les modèles est minime. Le deuxième groupe composé des gouvernorats de Gabès, Kasserine, Kairouan, Mahdia, Monastir, Sfax, Sidi Bouzid et Médenine enregistre des rendements (inférieurs à 100UF/ha/an) mais une amplitude plus élevée. Le troisième renferme les gouvernorats du Nord avec les niveaux de rendements mais aussi d'hétérogénéité les plus élevés. Dans ce groupe le gouvernorat de Jendouba, connu pour être le plus pluvieux du pays, se distingue nettement du groupe avec des rendements légèrement supérieurs à 200UF/ha/an.

La même comparaison effectuée entre les deux scénarios RCP4.5 et 8.5 confirme le fait que, indépendamment de cette variabilité intermodèles, les plus grandes baisses des rendements, tous modèles confondus et ce pour tous les gouvernorats, risquent de se produire vers la fin du siècle (Horizon 2100). Le graphique suivant présente les variations autour de la médiane pour l'horizon 2100 et le scénario RCP8.5. Tous les graphiques RCP 4.5 et 8.5 pour les trois périodes sont présentés en annexe 8.



Simulation multi-modèle RCP 8.5

Figure 36 : Rendements en Unités Fourragères par ha, par an et par gouvernorat à l'horizon 2100 pour RCP8.5

Le suivi de ces évolutions ramenées à l'échelle des gouvernorats pour les horizons 2050 et 2100 et représentée par les séries de cartes, montrent qu'à l'horizon 2050, les plus fortes baisses (-40 à -50%) seront observées dans deux gouvernorats du Sahel (Centre Est) à savoir Monastir et Mahdia. Les autres gouvernorats observeront des baisses moins élevées. La plus faible baisse sera enregistrée dans le gouvernorat de Kébili. Selon ce même scénario, à l'horizon 2100, les baisses seront moins importantes certes mais concerneront plus de gouvernorats parmi lesquels figureront certains appartenant à la région du Nord-Ouest plus pluvieuse (Jendouba et Le Kef en l'occurrence). En revanche, pour le RCP 8.5, les résultats projetés à l'horizon 2050 ne semblent pas être significatifs et les pertes demeurent faibles à très faibles (0 à -10%). C'est plutôt à l'horizon 2100 que les pertes deviennent plus fortes et inquiétantes et ce surtout dans les gouvernorats du sud et à un degré moindre dans les autres gouvernorats du pays. Cette forte baisse qui affectera surtout les gouvernorats du sud, qui par ailleurs sont ceux qui contribuent à la majeure partie du disponible pastoral national, risque de perturber fortement les équilibres alimentaires du cheptel avec les conséquences sociales et économiques qui en découleront.

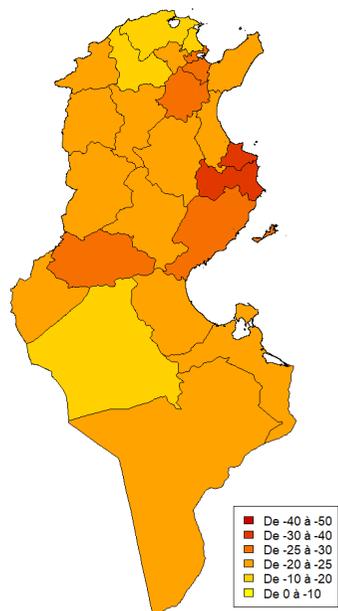
Variation de rendement des parcours en % à l'horizon 2050 selon RCP4.5

Variation de rendement des parcours en % à l'horizon 2100 selon RCP4.5

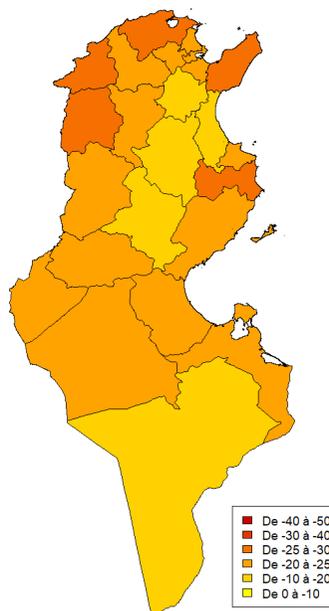
Variation de rendement des parcours en % à l'horizon 2050 selon RCP8.5

Variation de rendement des parcours en % à l'horizon 2100 selon RCP8.5

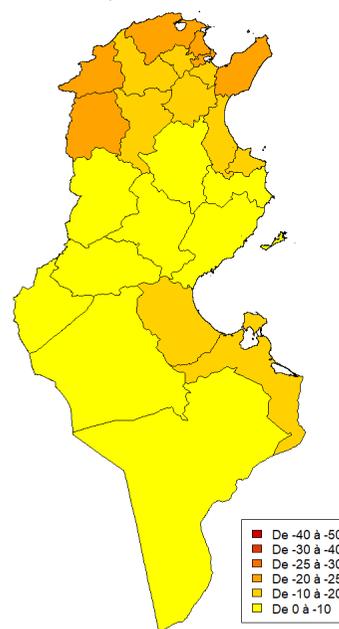
Variation du rendement des parcours (%) à l'horizon 2050 selon le RCP4.5



Variation du rendement des parcours (%) à l'horizon 2100 selon le RCP4.5



Variation du rendement des parcours (%) à l'horizon 2050 selon le RCP8.5



Variation du rendement des parcours (%) à l'horizon 2100 selon le RCP8.5

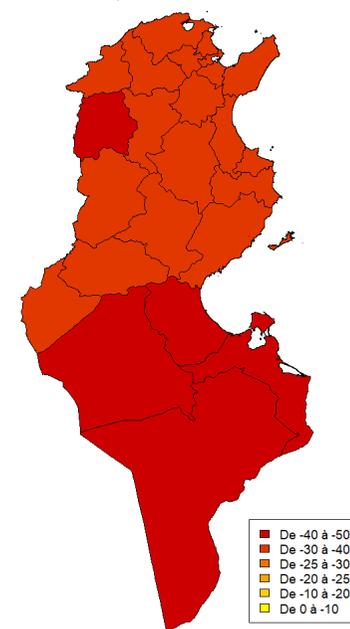


Figure 37 : Variation de rendement des parcours en 2050 et 2100 selon RCP 5.5 et 8.5

2.5.3.2 Impact sur les aires d'élevage et de parcours

En raison des changements climatiques, les aires d'aptitude climatique aux plantes pastorales vont se contracter, avec une remontée de ces espèces vers le nord du pays. Ceux-ci se traduiront, à tous les horizons (2050 et 2100) et pour tous les scénarios (RCP4.5 et RCP8.5), par une diminution relative de la classe d'aptitude "Très favorable" et une augmentation de la classe "Très défavorable", pour les plantes pastorales (*Stipa tenacissima*, *Rhanterium suaveolens* et *Arthrophytum scoparium*)

Ces diminutions des aires favorables sont à relativiser au vu de la divergence des projections entre les différents modèles climatiques considérés dans l'ensemble multi-modèles. Les quantiles 10 et 90 de la distribution statistique de cet ensemble multi-modèles permettent d'approcher la gamme de variation des différentes projections réalisées. Une différence importante entre les quantiles 10 et 90 est synonyme de divergence significative entre les modèles et donc d'incertitude importante dans les projections climatiques. Les incertitudes sont ainsi importantes pour les classes "Très favorable" et "Très défavorable", quelques soient les espèces considérées, de façon marquée à l'horizon 2100 et pour le scénario RCP8.5.

La diminution des aires favorables, par rapport à la période historique, est significative pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, pour toutes les espèces étudiées. La diminution est plus importante pour l'*Arthrophytum scoparium* (-25%) et le *Rhanterium suaveolens* (-24%) et plus faible *Stipa tenacissima* (-9%).

Pour le scénario RCP4.5, les changements ne sont significatifs qu'à l'horizon 2100. Les diminutions relatives des aires favorables sont plus importantes pour les parcours, que pour les céréales et l'olivier. Pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, les diminutions par rapport à la période historiques sont de 19% pour les parcours.

Ces valeurs médianes peuvent cacher des futurs des diminutions très importante si l'on considère les quantiles 10 des projections climatiques de l'ensemble multi-modèles (projections les plus pessimistes). En effet, pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, ces diminutions seraient de 36% pour les parcours, soit plus d'un tiers des aires favorables actuelles qui deviendraient défavorables. Enfin l'évolution des aires de production étudiées et cartographiées pour la période de référence et les horizons 2050 et 2100 sont présentée de sorte que la comparaison des trois cartes soit aisée.

En résumé

Les aires d'aptitude climatique des plantes pastorales se contracteraient et remonteraient vers le nord de la Tunisie, en raison des changements climatiques.

Les changements climatiques se traduiraient par une diminution des aires favorables (ensemble des classes "Favorable" et "Très favorable") au profit des aires défavorables (ensemble des classes "Défavorable" et "Très défavorable"), de façon marquée pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2100, alors qu'à l'horizon 2050 les différences entre les deux scénarios ne sont pas perceptibles.

Les changements dans les aires d'aptitude et leurs incertitudes sont importants pour les classes "Très favorables" et "Très défavorables", situées aux limites climatiques de la Tunisie et donc sensibles à toute variation du climat.

Les incertitudes dans les projections des aires d'aptitude, liées aux différences de projection entre les modèles climatiques, s'accroissent avec le temps et sont plus importantes pour le scénario RCP8.5.

A l'horizon 2100, les aires favorables aux plantes pastorales diminueraient en moyenne de 19% (entre -36% et +1%, selon les modèles climatiques) pour le scénario RCP8.5 et en moyenne de -9% (entre -27% et +3%) pour le scénario RCP4.5. Les réductions attendues sont relativement plus importantes que pour les céréales (-16%) et l'olivier (-14%).

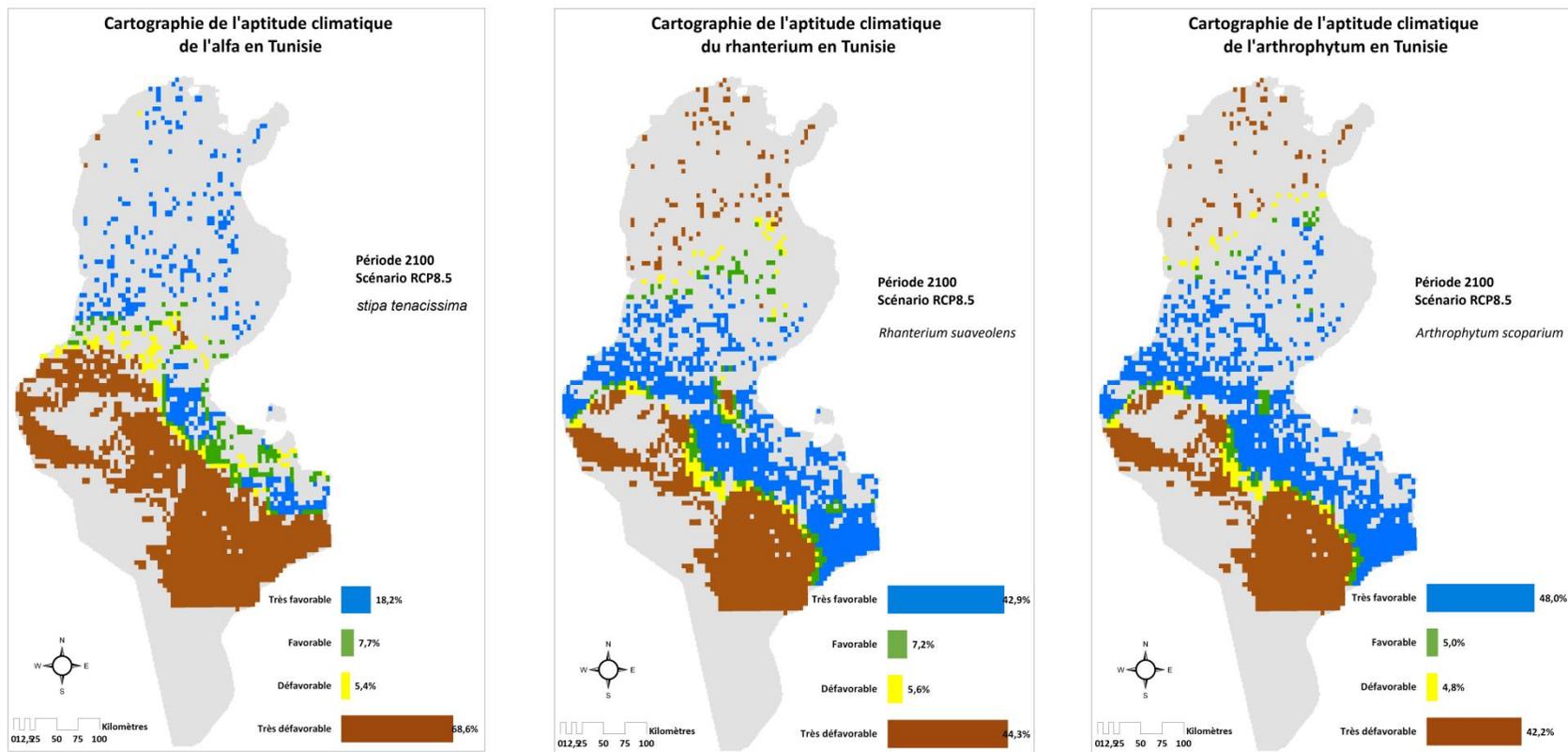


Figure 38: Cartographie de l'aptitude climatique ds plantes fourragères étudiées à l'horizon 2100.

2.5.4 Perception des impacts du climat sur les parcours et l'élevage

2.5.4.1 Description de l'activité de production des enquêtés

La totalité des personnes enquêtées, qu'elles soient au nord, au centre ou au sud, pratiquent un élevage semi-extensif qui combine un accès libre aux pâturages avec des complémentations, surtout le soir, à base d'aliments concentrés. Dans leur grande majorité, ces éleveurs disent avoir un recours régulier aux services vétérinaires surtout lors des campagnes de vaccination et occasionnellement en cas de maladies. Les petits éleveurs ont toujours recours aux méthodes traditionnelles basées sur le savoir-faire local pour soigner leurs cheptels. Ils sont tous conscients de leur dépendance croissante vis à vis de l'approvisionnement en alimentation, qui augmente leurs charges et menace la rentabilité de leur activité.

2.5.4.2 Phénomènes climatiques impactant les parcours et l'élevage

Parmi les aléas climatiques qui expliquent ces impacts, les producteurs classent en premier lieu la sécheresse suivie des vents violents et de la grêle.

2.5.4.3 Les impacts sur les parcours et l'élevage

Tous les éleveurs enquêtés considèrent que les phénomènes climatiques ont impactés leur production en quantité et qualité, notamment le disponible fourrager, le cheptel, les marchés et in fine les éleveurs eux-mêmes. Ces impacts se sont exprimés par des chutes de rendement des parcours, l'augmentation du nombre de conflits pour l'accès à la ressource pastorale, les difficultés financières en lien avec un recours plus fréquent à la complémentation de l'alimentation du cheptel par l'achat d'aliments à prix élevés et la vente prématurée, non planifiée voire forcée du cheptel sur un marché peu ou pas contrôlé. Ces éléments affectent en retour de manière négative l'état des parcours, le cheptel, les éleveurs et tous les autres acteurs de la filière. Ils déclarent aussi, de manière unanime, avoir acheté plus d'aliments concentrés ces dernières années pour faire face aux baisses en Unités Fourragères (UF) fournies par les parcours naturels en lien avec les facteurs climatiques. C'est une solution à laquelle ils n'adhèrent pas de manière spontanée, mais qu'ils sont contraints d'adopter pour sauver leur cheptel.

Ces impacts sur la production ont eu des effets socio-économiques parfois graves surtout sur les producteurs et les salariés et ce par manque de moyens financiers mobilisables pour y faire face, mais aussi du fait de leur exposition forte à ces phénomènes climatiques. Le recours aux assurances contre les aléas climatiques demeure très faible dans la communauté des éleveurs ce qui contribue à amplifier les impacts du climat sur leurs productions.

Par ailleurs, d'autres facteurs non climatiques ont souvent amplifiés les impacts du climat sur les productions des éleveurs, qui citent entre autres : (i) le surpâturage des parcours à cause d'un déséquilibre devenu structurel entre le cheptel et le disponible fourrager pastoral surtout sur les terres collectives où règne aujourd'hui le principe du premier arrivé - premier servi, ce qui amplifie l'inéquité dans l'accès aux ressources fourragères, en favorisant les propriétaires des plus grands troupeaux (ii) le manque de main d'œuvre salariée qu'elle soit spécialisée ou non à cause de la pénibilité du métier et du salaire considéré trop bas par rapport à l'effort fourni (iii) l'apparition et la propagation, encore modeste mais en croissance, de maladies émergentes qui affectent le cheptel impliquant des dépenses supplémentaires que les éleveurs et en particulier les plus petits ne peuvent assurer.

2.5.5 Facteurs de vulnérabilités de la production

2.5.5.1 Les facteurs de vulnérabilité

Dans cette catégorie on distingue deux types de vulnérabilité : intrinsèque au secteur de l'élevage et ses facteurs de production et externe. Dans la première catégorie, les producteurs consultés signalent :

- La dégradation des terres, le surpâturage et la réduction accrue des espèces pastorales palatables et domination des espèces non appréciées par le cheptel,
- La pratique de l'élevage sur les terres collectives surtout dans le sud et partiellement au centre. Dans le Nord, les paysans qui pratiquent de l'élevage sur parcours ont recours à la location des terres.
- La main d'œuvre employée dans l'élevage extensif, est majoritairement temporaire. C'est une pratique qui peut être justifiée par les exigences économiques et de conduite de l'activité mais empêche néanmoins

la capitalisation du savoir-faire et l'utilisation de ces acquis au profit de l'unité de production. Il s'agit d'une forme de vulnérabilité significative.

- Dans le Centre et le Sud, l'élevage est pratiqué sur des terres collectives soumises à la règle du « premier arrivé – premier servi » alors que la céréaliculture et/ou l'oléiculture sont généralement pratiquées sur les terres privées.
- Par ailleurs, il existe des formes de vulnérabilité de nature externe qui affectent le secteur de l'élevage en Tunisie. Parmi ces facteurs l'enquête révèle : (i) la faible capacité des organisations des éleveurs, en dépit de leur adhésion aux structures syndicales et/ou de base, (ii) l'intervention inappropriée de l'État avec son caractère aléatoire qui cherche surtout à répondre aux urgences, (iii) le dérèglement du marché, (iv) l'importation insuffisamment régulée de la viande et des compléments alimentaires, (v) l'absence de prévision et de gestion de l'offre pastorale pour satisfaire la demande d'où un déséquilibre devenu structurel.
- D'autre part, les prix de plus en plus élevés des produits de base (aliments concentrés, foin et fourrages) et des services (vétérinaires, traitements...) ont considérablement réduits les bénéfices réalisés par les éleveurs et de fait augmenté leur vulnérabilité économique. Est mentionné également le désintérêt des jeunes pour l'activité de l'élevage, provoquant des difficultés de continuité de l'activité au sein des familles.
- Enfin, le système de vulgarisation devenu très faible, ce qui augmente la distance déjà importante entre les chercheurs et les éleveurs.

2.5.5.2 Adaptations existantes

Selon les éleveurs enquêtés, leurs réponses aux effets du changement climatique sont soit de nature spontanée et qui de ce fait sont développées et adoptées par les éleveurs eux-mêmes chacun selon ses capacités, son expérience et les moyens qu'il engage. Le plus grand nombre de solutions indiquées par les éleveurs relèvent de cette catégorie. D'autres solutions, moins nombreuses, proviennent de l'État et d'organisations non gouvernementales qui viennent en aide aux éleveurs dans le cadre de projets structurés. La principale distinction entre ces deux formes d'adaptation employées tient au fait que celles émanant des éleveurs seuls ou en groupes sont principalement d'ordre technique et organisationnel et accessoirement de nature financière,

Quant à l'efficacité des options d'adaptation conduites par l'État, elles sont qualifiées d'inefficaces par la plupart des producteurs compte tenu de leur caractère pilote, du manque de continuité dans le temps et de la faiblesse des dispositifs organisationnels et de suivi/évaluation mis en place.

2.5.5.2.1 Stratégies d'adaptation spontanée

Les producteurs enquêtés ont, dans leur grande majorité, considéré qu'ils disposent déjà d'un capital de connaissances et de maîtrise de la pratique de l'élevage qui leur a permis de s'adapter aux impacts du climat sur leur activité. Ils disent avoir usé des techniques traditionnelles et de nouvelles techniques qu'ils ont été contraints de mettre en pratique pour pouvoir maintenir leur activité. Parmi ces pratiques ils citent :

- Les prix de l'unité fourragère des fourrages et pailles peuvent atteindre, durant les mauvaises années, 5 à 8 fois plus élevés que ceux de l'unité fourragère de l'orge (bénéficiant d'un prix plancher) pour l'aliment concentré, ce qui finit par exercer une grande pression sur cette denrée qui devient l'objet de manœuvres spéculatives (CNEA, 2005).
- L'affiliation des éleveurs aux groupements de développements et aux organisations syndicales et de la société civile. En effet, la majorité des éleveurs approchés lors cet exercice ont déclarés être affiliés à ces structures. Ils prétendent ainsi constituer une force de revendication, faciliter leur accès à l'information, pouvoir bénéficier de manière privilégiée des compléments alimentaires subventionnés et des autres aides et services de l'État,
- L'intégration quasi systématique de l'élevage avec une agriculture pluviale et/ou irriguée à base de céréales et oliviers. En effet, les activités agricoles apportent au cheptel des aliments tels que l'orge, la paille, feuillage issu de la taille des arbres, entre autres.
- Le choix des races d'ovins, de caprins et de bovins selon la nature des parcours, leur richesse spécifique et la vitesse de leur régénération naturelle est une pratique adaptative spontanée et régionalisée qui est employée par les éleveurs pour faire face aux aléas climatiques. Elle émane d'un savoir-faire capitalisé par

les éleveurs et transmis de génération en génération. Il s'agit de tirer le meilleur profit d'un disponible pastoral faible qui ne cesse de s'amenuiser. En effet, le cheptel qui exploite les parcours extensifs du centre et du sud est essentiellement à base de petits ruminants (ovins et caprins). Dans la partie saharienne, ce sont les camélidés qui prennent la relève pour valoriser une végétation plus xérique, épineuse, salée et peu palatable pour les petits ruminants. En revanche, au nord on note la présence des bovins surtout en conduite intensive ou hors sol.

- La pratique de la transhumance, même locale et de courte durée, est aussi une option d'adaptation spontanée qui permet aux parcours surexploités de bénéficier d'un repos biologique qui améliore sa qualité et augmente le stock de graines des espèces pastorales surtout annuelles.
- Le recours à l'achat des foin, pailles et fourrages en saison et stockage, sur place, pour couvrir les périodes de soudure et faire face aux baisses occasionnées sur les parcours naturels sous l'effet des aléas climatiques ou des autres aléas amplificateurs du phénomène.
- Le recours devenu presque systématique aux services des vétérinaires et la pratique de la prophylaxie préventive. Une pratique qui s'étend surtout chez les grands et moyens éleveurs. Les petits éleveurs ont encore recours aux techniques de soin classiques qui sont basées sur des pratiques héritées et/ou des produits naturels souvent disponibles sur place.

2.5.5.2.2 Stratégies d'adaptation planifiées

Comme mentionné plus haut, les stratégies d'adaptation planifiées sont le plus souvent menées par les services de l'État. Les éleveurs enquêtés citent : La distribution de compléments alimentaires subventionnés, l'aménagement et la réhabilitation de certains parcours surtout privés soit par les plantations pastorales ou le resemis d'espèces autochtones, l'exhaure pour l'approvisionnement du cheptel en eau dans les parcours, surtout ceux du Sud, l'existence des GDAPs et SMSA et la révision prochaine de leur statut vers une réduction de leurs champs d'intervention et prérogatives.

2.5.5.3 Autres facteurs de résilience

Parmi les autres facteurs de résilience / capacités d'adaptation cités par les éleveurs pour faire face aux effets des aléas climatiques, on trouve :

- L'implication de plus en plus grande des éleveurs et de leurs organisations dans les processus de planification et de mise en œuvre des actions et projets en faveur du secteur de l'élevage.
- Le partage de l'information, climatique ou non, l'accès facilité aux outils modernes de communication et la banalisation de leur utilisation rend les éleveurs plus résilients en ce sens que ça leur permet d'organiser leur action individuelle ou collective et d'agir en temps opportun,
- Dans certaines zones, la coexistence de GDA pastoraux et d'un conseil tribal de sages et notables (Majless / Myaâd) chargé de la gestion des ressources locales est à l'origine de conflits entre producteurs.
- Au cas où les aléas climatiques seraient plus fréquents et plus intenses, les éleveurs proposent différentes stratégies d'amélioration de la résilience de l'élevage sur parcours : un recours plus fréquent et mieux planifié à la aux marchés pour faire baisser la taille du troupeau ; généraliser et augmenter les achats précoces d'orge, de foin, de fourrages et de pailles pour les stocker dans les zones de production ; diversifier les activités agricoles et non agricoles pour équilibrer le budget du ménage.
- Ils préconisent également le recours aux moyens et méthodes de communication orientées vers les éleveurs à travers des messages clairs et facilement compréhensibles de tous qui traitent du changement climatique, de ses effets sur les territoires et les communautés rurales et les moyens d'augmenter la résilience de leurs activités.
- Par ailleurs, tous les éleveurs enquêtés attribuent leur adaptation difficile et lente aux effets du changement climatique au manque de moyens financiers, à la défaillance des services de vulgarisation, de formation et de recherche quant à la diffusion de l'information et au manque de visibilité et de transparence de la filière et du marché ainsi que la multiplicité des acteurs et autres intervenants.

2.6 Risques liés au changement climatique pour la pêche

2.6.1 Situation et défis du changement climatique

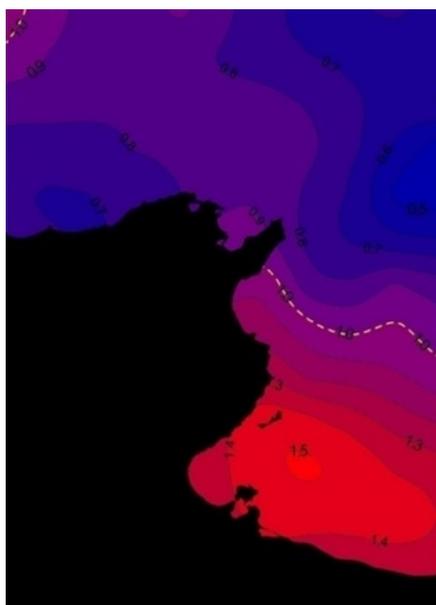
La pêche en Tunisie représente un des piliers de l'économie nationale. Avec une large façade maritime, la Tunisie a misé depuis son indépendance sur la pêche et a doté le pays, lors des plans quinquennaux successifs de développement économique et social d'une importante flotte et infrastructure portuaire. En 2020, la Tunisie compte 41 ports hauturiers et côtiers répartis tout le long de la côte hormis les digues abris. Ces investissements ont dynamisé le secteur et ont conduit à une augmentation de la production halieutique nationale qui a contribué à la sécurité alimentaire du pays. Avec plus de 2 100 km de côtes, 37 000 km² de littoral et 124 000 km² de zones de pêche propres à la Tunisie, la pêche génère 7,5% de la valeur de la production agricole et 15,2% à la valeur des exportations agricoles. Les pêcheries tunisiennes, dont dépendent plus de 100 000 personnes et qui procurent en moyenne 11,5 kg/an/habitant en produits de la mer, se trouvent aujourd'hui confrontées à de nombreux défis. Ce secteur déjà fortement fragilisé par la surexploitation des ressources halieutiques benthiques, la pollution et la pêche illégale (INN), fait actuellement face à de nouvelles menaces liées au changement climatique. La pêche en Tunisie subit les conséquences de l'augmentation du rythme du niveau de la mer, l'élévation de la température et l'acidification des eaux marines. Les implications des événements climatiques extrêmes terrestres (crues, vagues de chaleurs et tempêtes) sont également lourdes de conséquences sur la durabilité de l'activité de la pêche en Tunisie.

2.6.2 Tendances climatiques actuelles et futures affectant la production halieutique (aléas)

Selon l'Atlas de l'Océan, publié en mai 2018, la Tunisie, se trouve au cœur du changement climatique en Méditerranée. Avec sa position particulière, la Tunisie est fortement influencée par le processus de circulation des masses d'eau en Méditerranée. Elle subit le flux en provenance de l'Océan Atlantique et constitue une zone de transit en perpétuel mouvements des masses d'eau vers le bassin oriental. Le canal siculo-tunisien joue aussi un rôle crucial dans la circulation des masses d'eau et conditionne les habitats marins et l'installation et la distribution des communautés notamment les ressources d'intérêt pour la pêche.

2.6.2.1 Indicateurs halio-climatiques et probabilité d'occurrence des aléas

Pour esquisser la survenue des aléas climatiques affectant le secteur de la pêche aux horizons 2050 et 2100, nous avons identifié cinq indicateurs : la température des eaux de surface de la mer et celles extrêmes, l'avancée de la mer, les Bulletins Météorologiques Spéciaux (BMS) et le pH marin comme étant pertinents pour décrire la survenue du stress thermique, l'Élévation du Niveau de la Mer (ENM), les fortes tempêtes et l'acidification marine. Le principal aléa affectant incontestablement les ressources halieutiques étant le stress thermique. Il est unanimement admis que l'augmentation des températures de l'eau déjà perçue et en cours constitue un indicateur clé pour la prévision des rendements halieutiques.



Ainsi, pour les 3 secteurs de la pêche de la Tunisie (Nord, Centre et Sud), les données SODA (Simple Ocean Data Assimilation) de la température des eaux de surface (SST) au cours du demi-siècle (1958-2007) montrent que celles-ci se sont réchauffées en moyenne d'au moins 0,8°C avec un gradient croissant du Nord au Sud de la Tunisie. Le golfe de Gabès a connu la plus forte élévation de la température (1,5°C). Cet accroissement moyen est passé respectivement selon les zones de pêche de 0,8°C au Nord à 1°C au Centre pour atteindre 1,5°C dans la région Sud de la Tunisie.

Figure 39: Évolution moyenne de la température des eaux de surface le long des côtes tunisiennes entre 1958- 2007. Source SODA (Simple Ocean Data Assimilation)

La tendance actuelle de l'évolution de la température a engendré la survenue de l'aléa stress thermique ; un processus

qui risque de s'accroître dans le futur et induirait de profondes perturbations au niveau de la ressource halieutique. Pour la survenue future de l'aléa stress thermique, nous avons modélisé les tendances de l'élévation de la température des eaux impactant la production halieutique d'origine marine. A cet effet, nous avons eu recours à 2 approches ((ERSST) v3b16 et le modèle (NOAA) v3b). Le détail des modèles utilisés figure dans le document annexe de ce rapport. Le travail réalisé consiste à représenter graphiquement les situations moyennes en 1980 et aussi de 2020. La grille de points du modèle correspond aux données mensuelles de novembre 1981 à juin 2020 (Figure 66)

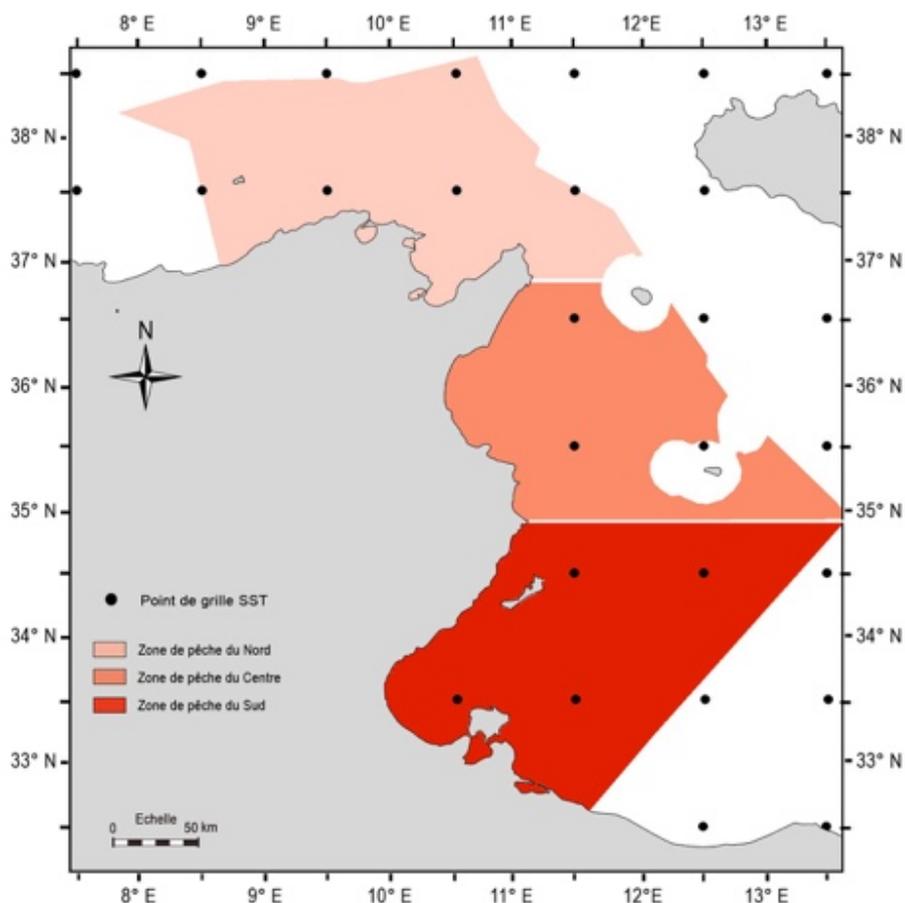


Figure 40: Grille de points du modèle (1° x 1°), données mensuelles de novembre 1981 à juin 2020.

Les répartitions spatiales des températures de surface de la mer pour la situation de référence, celle actuelle et projetées montrent clairement la tendance à la hausse. (Figure 41)

Ces températures augmenteront de façon inégale dans les 3 zones de pêche. Le golfe de Gabès constituera un « hot spot » de cette élévation avec une SST oscillant entre 20,4°C à 20,8°C à l'horizon de 2050 et fluctuant entre 21,8°C à 22,4°C vers la fin du siècle (Tableau 2). Cette élévation atteindra 2,4°C en 2100 en comparaison avec les SST observées actuellement et se traduira par l'occurrence de fortes vagues de chaleur marines comme celles déjà vécues en 1994, 2003 et 2009, avec des fréquences et durées plus importantes.

Les observations que nous avons effectuées, au niveau de l'Aire Marine Protégée de Zembra, à l'aide d'enregistrements continus de la SST de 0 à 40m de bathymétrie (<http://www.t-mednet.org/t-sites/list-t-series>) révèlent au niveau des premiers mètres de profondeur une fréquence accrue de conditions exceptionnellement chaudes et du nombre de jours avec des températures extrêmes. Le réchauffement de l'eau de surface augmente également la profondeur de la thermocline. Ces élévations auront des impacts certains sur les habitats marins. Elles affecteront la biodiversité et les ressources marines dont celles exploitées par la pêche et seront détaillées plus loin.

¹⁶ ERSST v3: Smith, T.M., R.W. Reynolds, T.C. Peterson, and J. Lawrimore, 2008: Improvements NOAAs Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006). *Journal of Climate*, 21, 2283–2296.

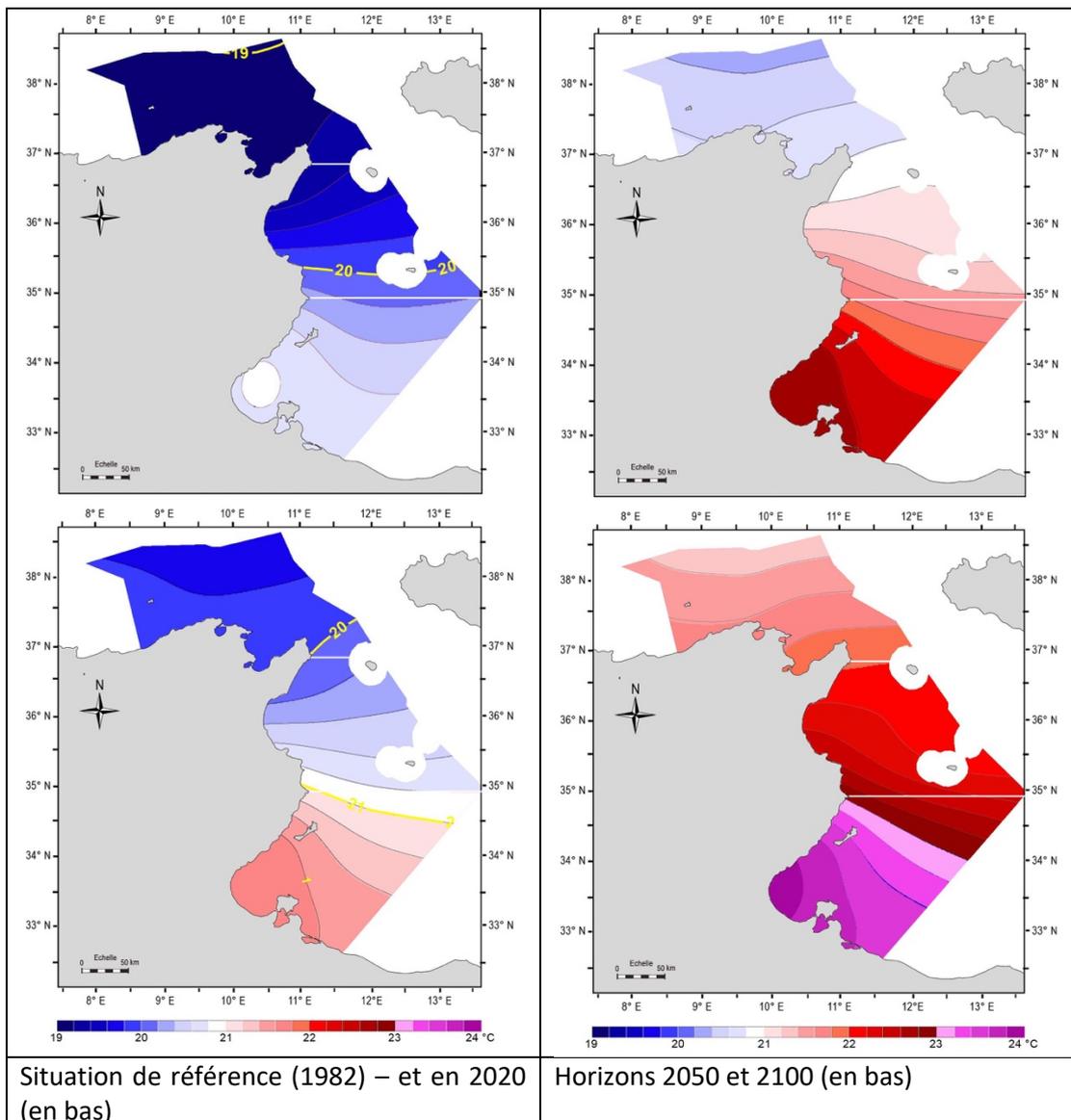


Figure 42 : Variation spatiale de la température de surface de la mer :

Le tableau suivant présente les évolutions de la température des eaux de surface (SST) aux différents horizons temporels

Horizon temporel	1980	2020	2050	2100
SST (zone de pêche nord)	19.0 - 19.4°C	19.8 - 20°C	20.4 - 20.8°C	21.8 - 22.4°C
SST (zone de pêche centre)	19.6 - 20.0°C	20 - 21°C	21.2 - 22°C	22.2 - 23°C
SST (zone de pêche sud)	20 - 21°C	21 - 21.6°C	22.6 - 23°C	23.2 - 23.8°C

Tableau 11 : Récapitulatif de l'évolution de la température de surface de la mer actuelle, à l'horizon de 2050 et à la fin du siècle (2100).

L'élévation du niveau de la mer est l'un des effets les plus importants du changement climatique, causée par la conjugaison de la hausse des températures de l'air et la fonte des glaciers. Selon le dernier rapport du GIEC, le niveau de la mer à l'échelle mondiale augmenterait à un rythme alarmant pour les 80 années à venir. Cette hausse atteindrait à la fin du siècle entre 0,28 à 0,61m selon le scénario optimiste et 0,52 à environ 1m dans les conditions pessimistes de fortes émissions de GES. Toutefois, le degré d'augmentation du niveau de la mer reste tributaire de l'altitude et de l'ampleur des effets combinés sur les sites locaux. Ainsi, le golfe de Gabès, situé à basse altitude serait plus touché par l'augmentation du niveau de la mer.

Dans cette étude, le système mondial d'assimilation des données océaniques NCEP a été utilisé. Ce nouveau système mondial d'assimilation des données océaniques (GODAS) a été développé pour remplacer RA6 et fournir les conditions océaniques initiales du système mondial de prévisions climatiques (CFS) nouvellement développé au NCEP (2006). Une évaluation simple de GODAS est rapportée par Behringer et Xue (2004)¹⁷ et dans un article en préparation.

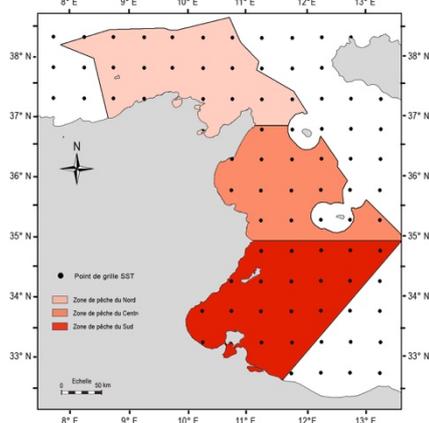


Figure 43 : Grille de points du modèle (1° x 1°), données mensuelles de l'élévation du niveau de la mer (janvier 1980 à juin 2015)

Le GODAS est basé sur une configuration quasi-globale du GFDL MOM.v3. Le domaine du modèle s'étend de 75° S à 65° N et a une résolution de 1° par 1° augmentée à 1/3° dans la direction N-S à moins de 10° de l'équateur. Le modèle a 40 niveaux avec une résolution de 10 mètres dans les 200 mètres supérieurs. Cette configuration représente une petite amélioration par rapport au RA6 qui avait une résolution de 1,5° dans la direction E-W et 28 niveaux dans la verticale. D'autres nouvelles fonctionnalités incluent une surface libre explicite, le schéma de mélange isoneutre de Gent-Mc Williams et le schéma de mélange vertical KPP. Le GODAS¹⁸ est forcé par le flux de quantité de mouvement, le flux de chaleur et le flux d'eau douce provenant de la réanalyse atmosphérique NCEP 2 (R2). De plus, la température du niveau supérieur du modèle est assouplie aux analyses hebdomadaires de la température de la surface de la mer, tandis que la salinité de surface est assouplie à la climatologie annuelle de la salinité.

Les répartitions spatiales de la hausse du niveau de la mer pour la situation de référence observée en 1980, celle correspondant à 2015 et projetées (figure 69) mettent en évidence l'élévation relativement accélérée du niveau de la mer en Tunisie. Le tableau 13 montre une élévation d'environ 30 cm d'ici la fin du siècle ce qui correspondrait aux prévisions du scénario du changement climatique du GIEC le plus optimiste. Ce résultat pourrait être expliqué par la méthode adoptée et qui ne tient pas compte des paramètres externes autres que la série de données. De même, il y a lieu de mentionner que l'élévation du niveau de la mer diffère dans les océans et les mers. Elle est plus faible dans les mers et surtout en Méditerranée, mer semi fermée et caractérisée par un important plateau.

Année	1980	2015	2050	2100
ENM (zone de pêche nord)	-60 - -42 cm	≈ 2 - 5 cm	≈ 5 - 7 cm	≈ 15 - 25 cm
ENM (zone de pêche centre)	-50 - -45 cm	≈ 2 - 5 cm	≈ 7 - 10 cm	≈ 15 - 25 cm
ENM (zone de pêche sud)	-65 - -42 cm	≈ 5 - 7 cm	≈ 15 cm	≈ 25 - 30 cm

Tableau 12 : Récapitulatif de la hausse en cm du niveau de surface de la mer (SHL) par rapport à l'année de référence 1980

¹⁷ Behringer, D. W. et Y. Xue, 2004: Evaluation du système mondial d'assimilation des données océaniques au NCEP: The Pacific Ocean. Huitième symposium sur les systèmes intégrés d'observation et d'assimilation pour l'atmosphère, les océans et la surface terrestre, 84e réunion annuelle de l'AMS, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, 11-15.

¹⁸ <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>

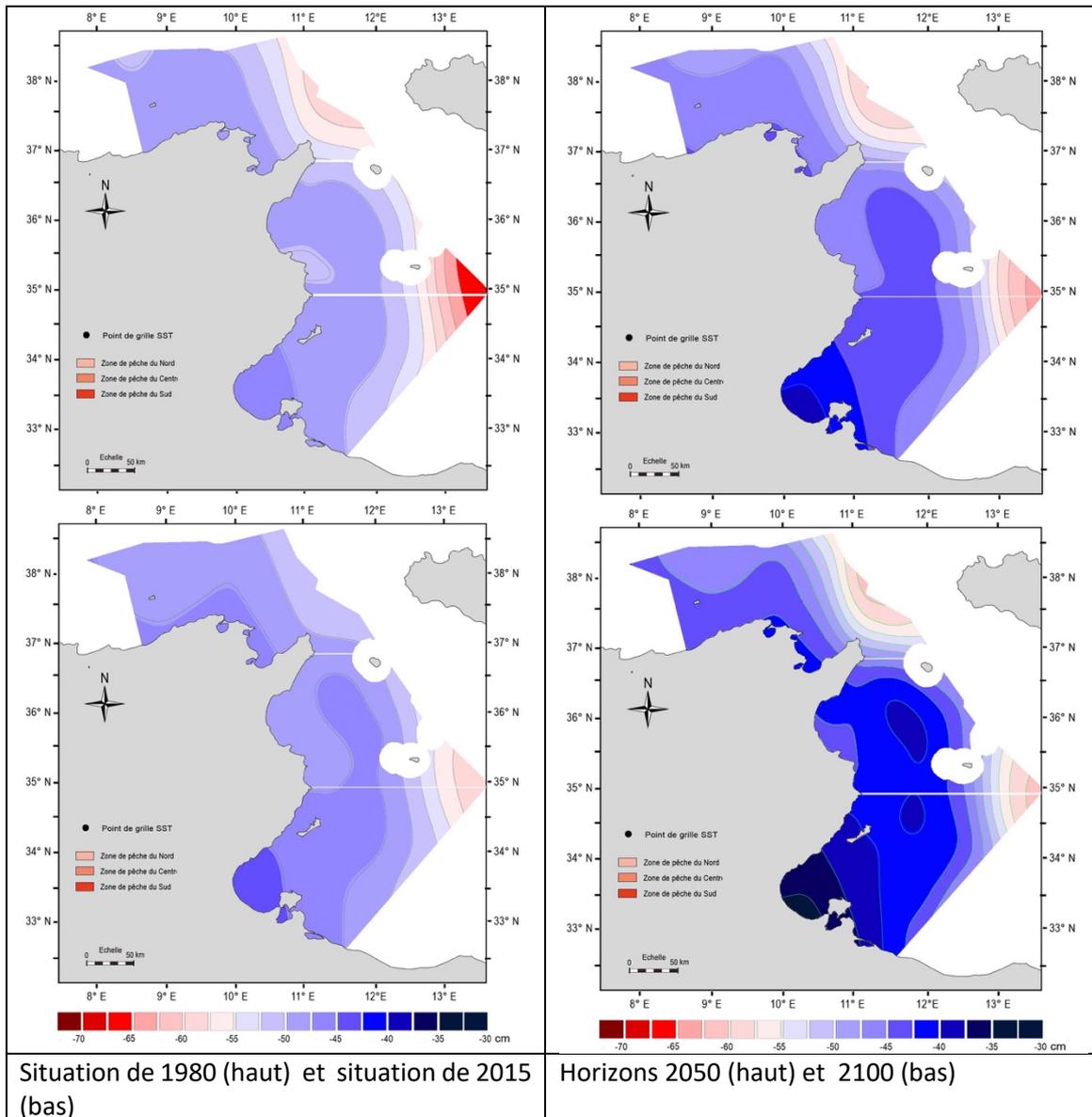


Figure 44 Variation spatiale de niveau de surface de la mer

Concernant les tendances actuelles et futures de l'aléa acidification des mers et des océans qui sont généralement alcalins avec un pH se situant $\approx 8,2$ en dehors de toutes formes de pollutions de nature à modifier leur composition chimique et altérer la qualité de leurs eaux. En Méditerranée, les estimations de l'acidification sont rares, toutefois, le fait qu'elle soit une mer semi-fermée, la rend particulièrement sensible à l'augmentation du CO_2 atmosphérique et constituera l'une des régions du globe les plus affectées par l'acidification. Les séries de données disponibles attestent que durant les 2 dernières décennies, l'acidité a augmenté de 10%. Selon les prévisions le pH atteindrait une valeur de 7,7 à la fin du siècle soit une augmentation de 0,07 à 0,13 unités contre 0,04 unités observées actuellement. Les mesures continues du pH en Tunisie sont rares voire inexistantes, dans la mesure où les bouées acquises pour l'observatoire du littoral ne prennent pas ce paramètre en considération malgré ses conséquences sur la qualité des eaux et certaines activités de pêche et de collecte.

Les fortes tempêtes constituent un aléa majeur pour l'accomplissement de l'activité de pêche. Les Bulletins Météorologiques Spéciaux (BMS) rendent compte du nombre de périodes où la mer est impraticable. Selon les données de l'INM, l'occurrence des BMS a augmenté de 30% pour le secteur Nord du pays contre 17% et 12% respectivement pour la région Est et Sud de la Tunisie par rapport à la période de référence. Ainsi, une immobilisation plus fréquente entrainerait une baisse des captures halieutiques. La diminution des rendements de la pêche liée à cet indicateur pourrait toutefois être contrebalancée par une production de meilleure qualité (taille des individus pêchés plus grande) suite à la récupération des stocks halieutiques non traqués par l'opération de pêche pendant le mauvais temps.

2.6.3 Impact du changement climatique sur la production et les ressources marines

2.6.3.1 Impact sur les rendements

Dans un contexte caractérisé par la complexité du milieu marin et des limitations de connaissance (production et accès à l'information) concernant les ressources marines, l'analyse de l'impact du CC sur les ressources halieutiques se fonde sur une approche expérimentale de modélisation du rendement à l'horizon de 2050 et fin du siècle, qui comporte des facteurs de biais et des limites et nécessite des travaux complémentaires qui relèvent du domaine de la recherche scientifique.

La principale limite étant la fiabilité des données statistiques fournies par la DGPAq . Cet organisme dispose de 2 types de données: les volumes débarqués et les volumes de production. La DGPAq utilise des facteurs de correction pour calculer les quantités produites qui ne transitent pas par les sites officiels de débarquement mais passent plutôt par des circuits parallèles. Les quantités débarquées sont rectifiées comme suit:

Type de pêche	Facteur d'ajustement du volume débarqué
Côtière :	x 1,42
Au chalut :	x 1,17
Petits pélagiques (feu et à la senne):	x 1,15

Tableau 13 : Facteurs d'ajustement des quantités débarquées pour le calcul de la production

Ces facteurs n'ont pas été actualisés depuis plusieurs décennies et les « fuites » sont devenues plus importantes après la création de l'APIP (Agence des Ports et Installations de Pêche), du fait que les producteurs sont tenus de payer à cette agence une redevance portuaire correspondant à 2 % de la valeur de la production au moment du débarquement.

L'approche par l'évaluation des stocks est pertinente, mais difficile et coûteuse à mettre en œuvre. De plus, les rapports et les résultats des évaluations des stocks sont confidentiels. D'autre part, la disparition d'espèces endémiques et l'arrivée de nouvelles espèces nous oblige à relativiser la pertinence de cette approche. Dans l'étude récente sur les ressources halieutiques du golfe de Gabès, intitulée « Biologie, dynamique des populations, exploitation et aménagement des pêcheries », figurent des données relatives à l'évolution des stocks pour la crevette royale et une quantification sommaire de l'effort de pêche optimal pour le chalutage benthique en termes de caractéristiques techniques des bateaux et nombre de producteurs. Cette étude recommande une réduction estimée entre 4 et 10% du nombre d'exploitants dans le golfe de Gabès et concerne les bateaux ayant une puissance motrice < 900 cv (la majorité).

Les recherches actuelles effectuées par l'INSTM ciblent surtout les estimations instantanées des biomasses car l'évaluation des stocks exige des recherches sur plusieurs années et surtout des données de captures fiables notamment pour estimer les mortalités par pêche. Un effort national d'amélioration de la connaissance est nécessaire.

Les projections réalisées dans le cadre de la présente étude valorisent les statistiques officielles de la période 1990-2018, issues de la Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture (DGPAq) pour esquisser l'évolution tendancielle de la productivité de la pêche par unité de surface (en tonnes x km²) au moyen d'une modélisation des séries historiques¹⁹, en considérant uniquement les captures maritimes, hors aquaculture et pêche continentale.

Les projections des séries de données historiques de la bioinvasion et celles des températures des eaux indiquent que la tendance de ce phénomène va s'amplifier d'ici 2050 et que les ressources halieutiques vont vers la tropicalisation. Certaines de ces espèces introduites depuis les années 90 sont maintenant exploitables et font parties de la faune naturalisée et ont eu des impacts positifs sur le secteur de la pêche en Tunisie comme les crevettes *M.monoceros*, *P.aztecus*, les poissons barracuda, la sardine de mer rouge *E.golanii*, entre autres.

¹⁹ Méthode basée sur le principe de l'entropie maximale (Burg, 1967) déjà utilisée pour les précédents rapports de la Tunisie soumis à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

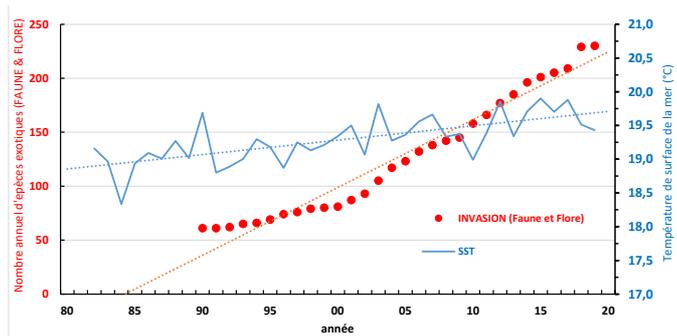


Figure 45 : Évolution de la bioinvasion et de la température des eaux de surface en Tunisie entre 1990 et 2020

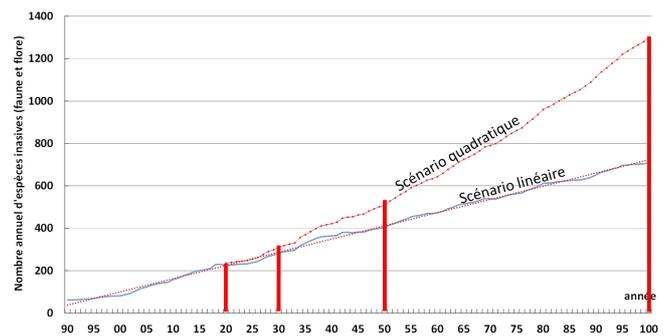


Figure 46 : Évolution de la bioinvasion en Tunisie entre 1990 et 2100

Régions / Horizon	1990	2020	2050	
			Projection linéaire	Projection quadratique
Nord	9	39	160	300
Centre	2	30	40	120
Sud	22	86	150	290
N° d'espèces faunistiques	34	185	350	640

Tableau 14 : Évolution de la bioinvasion faunistique actuelle et à l'horizon de 2050 par secteur de pêche en Tunisie

En revanche, certaines espèces invasives bien qu'exploitables ont d'abord constitué un handicap pour la pêche comme les crabes bleus qui ont impacté négativement l'activité de pêche côtière artisanale suite à la dégradation et diminution des captures d'espèces natives.

L'une des conséquences majeures du réchauffement climatique sur les ressources marines en Tunisie consiste donc en l'occurrence massive d'espèces marines exotiques. L'élévation de la température des eaux de la mer a favorisé l'introduction et la prolifération de ces espèces en Tunisie. Selon l'inventaire actualisé (2019), la Tunisie compte 230 espèces non indigènes soit le ¼ du nombre global de la bioinvasion marine en Méditerranée. Durant le siècle passé, la Tunisie comptait seulement 34 espèces exotiques réparties essentiellement dans le golfe de Gabès (22 contre 9 au Nord et 3 dans le secteur Est du pays). Au cours de 1990, considérée comme année de référence, 61 espèces ont été recensées. Depuis, ce nombre a explosé suite à l'accélération du rythme d'introduction et surtout d'installations réussies de ces espèces dont la plupart sont devenues invasives et ont impacté les écosystèmes marins, la ressource halieutique et l'activité de pêche en Tunisie. Selon certains experts²⁰, la moitié de la faune du golfe de Gabès aura une origine exotique d'ici 2050.

Selon le programme *Jelly Watch*²¹, la Tunisie est la zone la plus touchée par les blooms de méduses (endémiques et exotiques) et de macro plancton gélatineux à l'échelle de toute la Méditerranée (carrefour à méduses). Les suivis hebdomadaires dans le cadre du programme Jelly Watch font état de 1094 proliférations entre avril 2013 et août 2020. La prolifération des méduses a stimulé de nombreuses hypothèses sur les causes possibles, notamment : la surpêche, la perte de la biodiversité marine, la destruction des habitats, le déclin des espèces menacées prédatrices des méduses, la pollution, le changement climatique et les invasions biologiques. Mais les preuves d'augmentation durable font défaut. Selon la littérature scientifique 124 espèces de poissons se nourrissent soit partiellement ou exclusivement de méduses. Contrairement à ce qui est largement répandu, les tortues ne constituent pas le principal prédateur de ces organismes gélatineux.

²⁰ Source : INSTM, Atlas de l'Océan 2018

²¹ Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée (CIESM) <http://www.ciesm.org/marine/programs/jellywatch.htm>

Les projections des séries de données historiques de la bioinvasion et celles des températures des eaux indiquent que la tendance de ce phénomène va s'amplifier d'ici 2050 et que les ressources halieutiques vont vers la tropicalisation. Certaines de ces espèces introduites depuis les années 90 sont maintenant exploitables et font parties de la faune naturalisée et ont eu des impacts positifs sur le secteur de la pêche en Tunisie comme les crevettes *M.monoceros*, *P.aztecus*, les poissons barracuda, la sardine de mer rouge *E.golanii*, entre autres.

Il ressort de cette projection que la tendance à la hausse constatée jusqu'à aujourd'hui, pourrait se poursuivre avec un gradient croissant du Nord au Sud. Le golfe de Gabès pourrait notamment être dominé par des espèces tropicales d'intérêt halieutique du fait de la restructuration de son écosystème. Une nouvelle culture halieutique est en train de naître en Tunisie du fait de la substitution progressive de la ressource traditionnellement pêchée par des espèces allochtones exploitables ayant un intérêt commercial à l'instar de la crevette grise *P. aztecus*, qui a envahi en 2019 les zones de pêche maritime du pays. Ces conclusions coïncident avec des publications scientifiques récentes montrant clairement le déclin des ressources marines natives en Méditerranée et leur substitution par de nouveaux stocks dont nous découvrons progressivement les comportements et la phénologie dans l'écosystème récepteur.

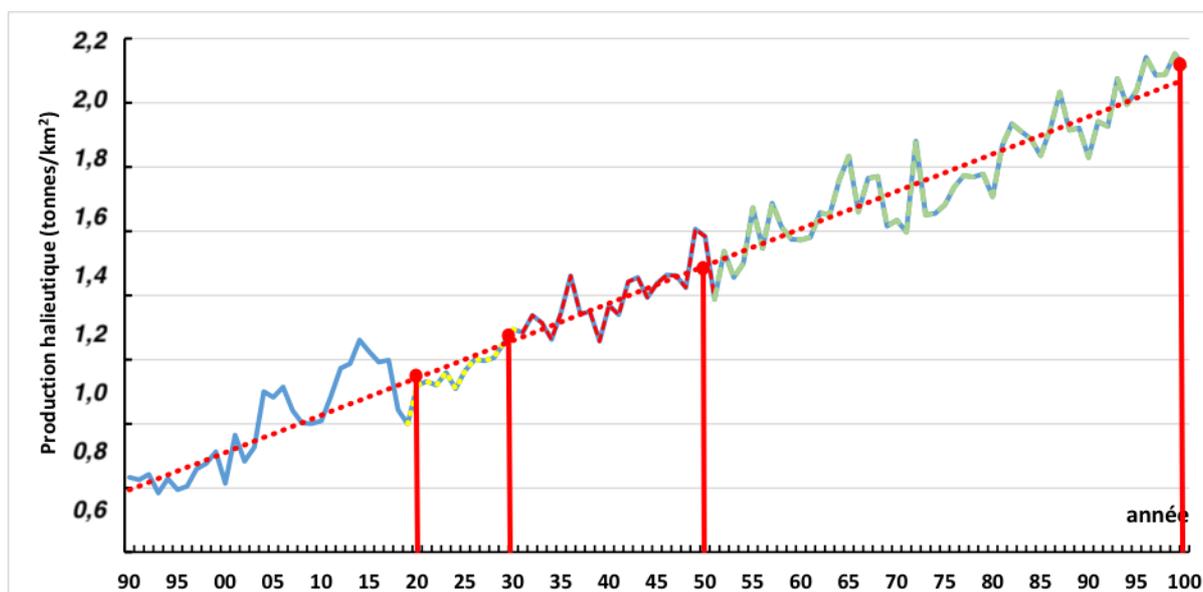


Figure 47 Évolution des rendements des captures maritime en Tunisie en Tonnes par km²

Secteur / Année	2020	2030	2050	2100
Nord	0,65	0,78	0,85	1,2
Centre	0,8	1,1	1	1,4
Sud	1,4	1,5	2,15	3,30

Tableau 15: Récapitulatif du rendement de la pêche par secteur de capture aux différents horizons exprimé en tonnes/km².

Toutefois, cet accroissement attendu du rendement ne tient pas compte de l'état présent des stocks et des progrès futurs réalisés dans le domaine des techniques de pêche. A l'heure actuelle, nous ne savons pas dissocier la part de l'impact du changement climatique de celle induites par d'autres facteurs. Seuls les suivis en cours dans les Aires Marines Protégées permettront d'estimer l'évolution de la ressource halieutique liée uniquement au changement climatique dans des écosystèmes qui sont de véritables laboratoires grandeur nature à l'abri des actions anthropiques comme la pollution et où l'activité de pêche est insignifiante voire inexistante.

2.6.3.2 Impact sur les zones de pêche et de collecte

Les zones de pêche et de collecte, surtout côtières, sont essentiellement tributaires de l'effet de l'élévation du niveau de la mer. L'étude de la vulnérabilité de la pêche et de l'aquaculture en Tunisie face au changement climatique réalisée en 2018 a révélé que deux activités de la pêche côtière sont particulièrement vulnérables à cet aléa, en l'occurrence les pêcheries fixes type charfias, installées sur des hauts fonds et la collecte des palourdes dite pêche à pied pratiquée

au niveau de la zone de balancement de marées. Dans cette étude, nous avons approfondi les investigations et estimé la perte en superficie des zones de pêche et de collecte pour les activités précitées.

Nous avons considéré comme cas d'école les pêcheries fixes des îles Kerkennah et la collecte des palourdes dans l'estran du gouvernorat de Médenine et ceci à l'horizon de 2100, selon le RCP 4.5 et RCP 8.5. L'aléa Élévation du Niveau de la Mer (ENM), même dans le cas du scénario le plus optimiste va incontestablement conduire à une perte de zones de pêche pour les charfiyas de Kerkennah de moins 15000 Ha par rapport à 2018, soit moins 20% pour le RCP 4.5 et de moins 73000 Ha (moins 90%) pour le RCP 8.5, et compromettre cette activité ancestrale faisant partie du patrimoine national dans le cas du scénario pessimiste. Les figures 71 illustrent cette évolution.

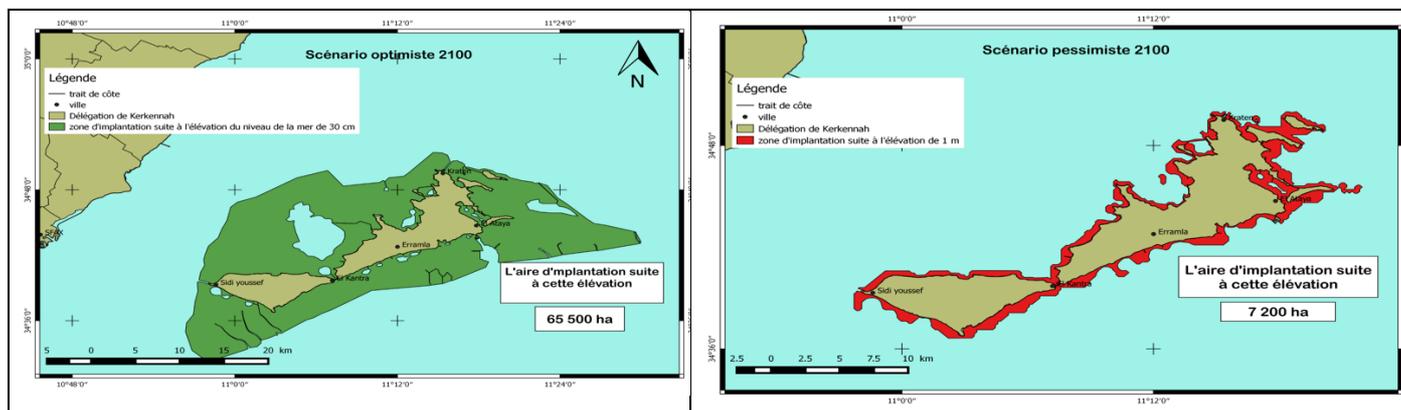


Figure 48 : Rétrécissement de la zone d'implantation des pêcheries fixes à Kerkennah à l'horizon 2100 pour RCP 4.5 et 8.5

Pour la pêche à pied, qui est pratiquée au niveau de l'estran de Médenine dans 4 zones de collectes d'une superficie totale de 3050 Ha, celle-ci-serait réduite quasiment de moitié à l'horizon de 2100 selon le RCP 8.5, Soit une perte de superficie de 1420 Ha. Il est important de souligner que la collecte de la palourde est une activité familiale, saisonnière et employant essentiellement des femmes.

2.6.3.3 Impact sur la production halieutique et les ressources marines

Une étude²² régionale publiée en 2018 qui regroupe neuf pays méditerranéens dont la Tunisie montre clairement que le changement climatique remodèle la répartition des poissons et restructure les communautés biologiques de nombreux écosystèmes. Cette étude repose sur plus de 500 enquêtes menées auprès de pêcheurs dans 95 localités en Méditerranée. Elle nous a permis de comprendre les effets du changement climatique sur les modifications spatio-temporelles récentes de l'abondance des poissons et de reconstituer la dynamique des poissons perçus comme « nouveaux » ou en augmentation dans différentes zones de pêche. Au total, 75 espèces ont été mentionnées, toutes d'affinité chaude d'origine exotique. Les pêcheurs appartenant aux mêmes secteurs biogéographiques ont décrit des modèles spatiaux et temporels cohérents, et des gradients le long des axes latitudinaux et longitudinaux ont été révélés. Ces informations fournissent une compréhension plus complète de la distribution changeante de la ressource halieutique ichthyologique de la Méditerranée. Cette étude, publiée dans « *Global Change Biology* » et qui repose sur l'utilisation de l'outil LEK (Local Ecological Knowledge) qui améliore notre potentiel de surveillance intégrée et de planification de la conservation au niveau régional et mondial. Dans ce contexte de modification rapide de l'identité biotique de la Méditerranée, l'interaction, entre les aspects écologiques et sociaux, a été largement reconnue et validée notamment par la FAO. Elle est considérée comme un ingrédient clé pour soutenir des politiques de conservation solides et efficaces dans le domaine de la pêche.

Il ressort de cette étude que les ressources halieutiques ne vont pas forcément régresser en termes de tonnages de capture suite au changement climatique. En revanche, ces ressources connaîtront une modification dans leur structure avec une tendance à l'augmentation d'espèces natives et exotiques dites « d'eau chaude » ou thermophiles et la régression d'espèces d'affinité froide. C'est pourquoi, dans les décennies à venir, les producteurs tunisiens pourraient pêcher, au cas où les actions anthropiques (pollution et autres) soient maintenues à leur niveau actuel de nuisance,

²² Azzurro E, Sbragaglia V, Cerri J, et al. Climate change, biological invasions, and the shifting distribution of Mediterranean fishes: A large-scale survey based on local ecological knowledge. *Glob Change Biol.* 2019;00:1–14. <https://doi.org/10.1111/gcb.14670>

les mêmes quantités voire davantage. La nature des captures sera toutefois différente avec des revenus probablement plus faibles, du fait que les espèces endémiques ont une valeur commerciale plus élevée sur le marché domestique et international.

2.6.4 Perception des impacts du climat sur la pêche

Le panel de producteurs et d'experts retenu pour l'enquête sur la perception des effets du climat sur le secteur de la pêche répond à plusieurs critères dont principalement la représentativité géographique, les types d'activités de pêche pratiquées en Tunisie, la longue expérience dans le domaine halieutique et également l'aspect genre. En effet, les femmes productrices ont été favorisées pour les quelques activités halieutiques qu'elles exercent comme la collecte de la palourde et la pêche à la charfia. Pour les experts, leur socle de formation de base est le génie halieutique ou autres sciences de l'environnement marin. La plupart justifie en plus de leur longue carrière en Tunisie, d'une expérience au sein des organisations internationales (FAO, CGPM, IUCN, JICA, CIESM). D'ailleurs la majorité d'entre eux a coordonné et suivi des projets ayant trait au changement climatique. En comparaison avec l'ensemble du panel, toutes spéculations confondues, il existe pour le domaine de la pêche un large consensus, leur perception étant unanime pour les facteurs climatiques liés directement à leur activité comme la force et la fréquence des vents violents.

2.6.4.1 Description de l'activité de pêche des enquêtés

L'échantillon retenu regroupe les principaux types de pêche pratiqués en Tunisie en termes de répartition géographique (du Nord au Sud du pays), de contribution dans la production nationale en produit de la mer et de la création d'emplois. Il a été également tenu compte de l'aspect social (activité familiale) et de l'importance patrimoniale lors du choix des activités. Ainsi, la pêche au chalut benthique, la pêche à la senne ou appelée aussi pêche aux petits pélagiques, la pêche côtière moyennant une large gamme d'engins (différents types de filets, nasses) et les pêcheries fixes type charfia ont été couverts.

2.6.4.2 Phénomènes climatiques impactant la pêche

Les pêcheurs sont quasiment unanimes sur le fait que les phénomènes climatiques ayant les impacts les plus significatifs sur leurs activités sont incontestablement les vents violents et les vagues de chaleurs. En revanche les inondations ont un effet indirect sur la pêche. Quant aux facteurs non climatiques et qui ont accentué les effets du changement climatique, il existe un consensus autour de la surexploitation des ressources benthiques, la pêche INN²³ et la pollution.

2.6.4.3 Les impacts sur la pêche

Pour l'activité de pêche au chalut, aux petits pélagiques et la pêche côtière, les vents violents contraignent les pêcheurs à des immobilisations de plus en plus importantes en termes de fréquence et de durée. Cependant, ce phénomène climatique a un effet à la fois négatif, se traduisant par une baisse de l'effort de pêche (nombre de jour de mer/an) et un impact positif matérialisé par une sorte de « repos biologique » ou temps de répit permettant la régénération des ressources halieutiques et par voie de conséquence, une amélioration surtout qualitative des prises (produits marins pêchés de plus grande taille).

Les vagues de chaleur provoquent une mortalité massive et récurrente des ressources halieutiques. Elles sont notamment à l'origine de l'apparition des eaux colorées du fait de la prolifération des algues toxiques responsables d'hypoxie. De même, elles sont responsables de nécroses de plusieurs espèces sessiles comme les coraux, phénomène mis en évidence lors de plongées scientifiques dans l'aire marine protégée de Zembra.

²³ INN : Illégale, Non régulée, Non enregistrée

Mortalité et lien avec les vagues de chaleur

La base de données relative aux mortalités massives en Méditerranée a permis de recenser 65 évènements de mortalités massives en Tunisie sur un total de 622 observations dans 12 pays appartenant aux 7 écorégions de la Méditerranée pour la période de 2015-2019. Les mesures continues de la température ont révélé la concomitance des vagues de chaleur et l'occurrence des phénomènes de mortalités.

Encadré 4 : Mortalité et lien avec les vagues de chaleur

Conséquence des inondations, les eaux pluviales charriées depuis le continent sont chargées entre autres par des substances nutritives de nature à améliorer le recrutement et le rendement de certains types de pêche comme la crevette. En revanche, pour la collecte de la palourde, elles induisent une eutrophisation et une turbidité élevées. Ces deux phénomènes de dégradation de la qualité du milieu marin constituent un facteur limitant pour l'activité de pêche à pied.

2.6.5 Facteurs de vulnérabilités de la production et les ressources marines

2.6.5.1 Les facteurs de vulnérabilité

Les pêcheurs côtiers sont les plus touchés par les effets du changement climatique dans la mesure où leur activité se concentre dans des zones de fortes pressions de pêche et d'autres actions anthropiques, constituant ainsi des zones de conflits et de convoitise. Toutefois, le changement climatique présente de nouvelles opportunités suite au changement de la biodiversité et la répartition d'espèces comme l'illustre bien le cas du golfe de Gabès avec le crabe bleu et la crevette exotique.

2.6.5.2 Adaptations existantes

2.6.5.2.1 Stratégies d'adaptation spontanée

Selon le témoignage des pêcheurs enquêtés, leur savoir-faire a largement contribué à la mise en place de nouvelles pratiques pour faire face aux difficultés liées au changement climatique. Parmi ces adaptations spontanées ou autonomes figurent :

- La modernisation de la flottille de pêche, en incorporant des moteurs plus puissants leur permettant de regagner rapidement le port en cas de tempêtes imprévues. Cette mesure, associée à l'acquisition d'équipements de navigation et de pêche est de nature à sécuriser davantage le métier de pêcheur face aux aléas climatiques.
- Le renouvellement de la flottille côtière par l'acquisition d'embarcations plus grandes et plus performantes pour garantir une meilleure autonomie en mer. En effet, avec le déplacement et la migration des bancs de poissons en particulier, et la ressource halieutique en général, causés par la modification des propriétés physico-chimiques et biologiques de la mer, les cartes actuelles de la distribution de la ressource sont obsolètes et les pêcheurs sont obligés de prolonger la durée des sorties en mer pour prospecter, repérer puis pêcher.
- Le changement de la zone de pêche et la migration vers des zones encore rentables. Certains pêcheurs ont opté pour des campagnes plus longues (nombre de jours successifs passés en mer) pour optimiser la consommation du carburant surtout dans le golfe de Gabès où les zones de pêche sont loin de la côte.
- L'autogestion d'une nouvelle ressource exotique. En l'absence de résultats immédiats de la recherche concernant la disponibilité des stocks et les données biologiques et écologiques relatives aux crabes bleus, les pêcheurs ont procédé à l'autogestion de la ressource en fixant eux même la taille minimale de capture (11cm de carapace), l'interdiction de pêche des femelles gravides, celles-ci sont remises systématiquement en mer pour la durabilité de la ressource considérée comme une véritable opportunité.
- Une étude du marché pour écouler leur produit à l'échelle internationale avec une diversification de la gamme à commercialiser (vivant, congelé entier, décortiqué, farine de crabe). Les pêcheurs ont pris en charge le problème des espèces exotiques envahissantes et ont transformé cette bioinvasion perçue comme une catastrophe, en une opportunité. Actuellement, une véritable dynamique s'est créée concernant les crabes bleus avec plus de 16 usines de transformation et de commercialisation. L'État est intervenu dans une seconde phase pour consolider et appuyer les pêcheurs grâce à une stratégie nationale pour la valorisation des crabes bleus ayant comme principaux points la consolidation de la recherche scientifique dans le domaine, le ciblage

des captures à l'aide de techniques appropriées, la recherche de nouveaux marchés internationaux. De même, des points de collecte des crabes bleus et une subvention allant de 1,6 à 2 dinars/kg a été accordée aux pêcheurs via le Groupement Interprofessionnel des Produits de la Pêche (GIPP) pour pallier aux dégâts causés par le crabe bleu aux captures et aux engins de pêche (filets) en attendant la mise en place de techniques de pêche adéquates (nasses).

Année	2015	2016	2017	2018	2019 (10 mois)
Exportations en tonnes	38	141	770	3355	3549
Valeur des exportations en million de dinars	0.2	0.6	5,4	25	35,5

Tableau 16 : Évolution des exportations en quantité et en valeur de crabes bleus (source GIPP)

Ce produit est actuellement commercialisé sur trois continents (Afrique, Asie et Europe) et dans 24 pays avec le marché asiatique qui absorbe 80% des quantités exportées.

2.6.5.2.2 Stratégies d'adaptation planifiées

Elles sont l'œuvre de l'État et ont pour objectif l'accompagnement du pêcheur dans l'exercice du métier.

Les actions d'adaptation au changement climatique entreprises ou en cours sont surtout celles liées au littoral. Ce dernier s'étend sur 37000 km² et englobe comme zone de pêche les eaux intérieures et la mer territoriale. La Tunisie, à l'instar des pays en développement, a bénéficié des fonds pour l'environnement et autre fonds spécial changement climatique pour financer des actions d'adaptation avec comme action prioritaire la mise en place de mécanismes d'adaptation des zones côtières et des écosystèmes.

Les stratégies d'adaptation au changement climatique aussi bien autonomes que planifiées doivent conduire à la durabilité des écosystèmes formant un patrimoine naturel à l'origine des biens et services indispensables pour l'humanité. Les principales actions menées par l'Agence de Protection et Aménagement du Littoral (APAL) consistent à lutter contre la vulnérabilité et risques du changement climatique dans les zones côtières vulnérables de la Tunisie à travers :

- La consolidation du dispositif d'observation (mise en place d'un réseau de suivi océanographique)
- La mise en place d'instruments juridiques et réglementation pour la prévention des risques
- La mise en place d'une stratégie nationale pour la gestion intégrée des zones côtières.

2.6.5.3 Autres facteurs de résilience

Parmi les solutions permettant la résilience de la mer on trouve la mise en place d'Aires Marines et Côtières Protégées (AMCP) avec une couverture de 10% de la superficie des mers et océans selon l'objectif 11 d'Aichi. En 2019, la contribution de la Tunisie, qui a instauré un cadre juridique et amorcé la mise en place de plans de gestion, reste très modeste avec 1,02% pour 6 AMCP ainsi que la partie nord de l'archipel de Kerkennah.

Un autre facteur de résilience réside dans l'innovation des techniques de construction des navires de pêche qui doivent être conçus de manière à minimiser leur consommation de carburant sachant que la pêche consomme 1,2% des combustibles fossiles utilisés dans le monde. La suppression des subventions sur le carburant en Tunisie peut constituer un autre facteur de résilience. En effet, un carburant bon marché est un frein à la réduction de la consommation ou efficacité énergétique et par voie de conséquence, un obstacle à la limitation de l'empreinte écologique. Par ailleurs, il y a lieu de réguler l'effort de pêche afin d'éviter la surexploitation des ressources par une meilleure gouvernance des pêches.

2.7 Évaluation et hiérarchisation des risques pour les systèmes agro-sylvo-pastoraux et la pêche

L'évaluation des risques et leur hiérarchisation aux horizons futurs pour les systèmes de production étudiés permet de mettre en évidence les productions et les régions prioritaires pour l'adaptation au changement climatique.

2.7.1 Matrices d'évaluation et de hiérarchisation

Pour chaque région, l'évaluation des risques liés au changement climatique affectant la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours, l'eau agricole et la pêche sont représentés sous la forme :

- D'une matrice présentant les scores d'exposition, de vulnérabilité et d'aléa (médiane multi-modèles) qui ont été normalisés sur une échelle de 1 à 5 comme présenté dans la méthodologie. La matrice donne ainsi les scores de risque découlant de l'agrégation géométrique des scores de ces 3 composantes pour la période de référence et les horizons futurs selon les 2 scénarios (médiane multi-modèles) ;
- D'un diagramme en radar représentant les scores de risque pour chacun des risques des différents secteurs étudiés pour la période de référence et les horizons futurs. Chaque horizon futur (2050 et 2100) est représenté par une enveloppe qui est délimitée par le minimum et le maximum du score de risque pour tous les modèles et les 2 RCPs confondus.

Les scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque présentés dans les matrices de risque suivent l'échelle de couleur ci-contre :

Sur les diagrammes en radar, une situation optimale correspond à un score de risque valant 1, situé le plus proche du centre. Plus le score de risque est proche des bords extérieurs du diagramme en radar, plus le risque augmente et plus la situation est critique, le score de risque maximum étant 5.

L'exposition et la vulnérabilité étant évaluées en période actuelle et l'aléa étant évalué grâce aux projections climatiques de 1981 à 2100, les résultats présentés ci-dessous montrent **l'impact potentiel du climat** sur les secteurs de production aux horizons futurs et permet de **mettre en évidence les secteurs et les zones prioritaires pour l'adaptation au changement climatique**.

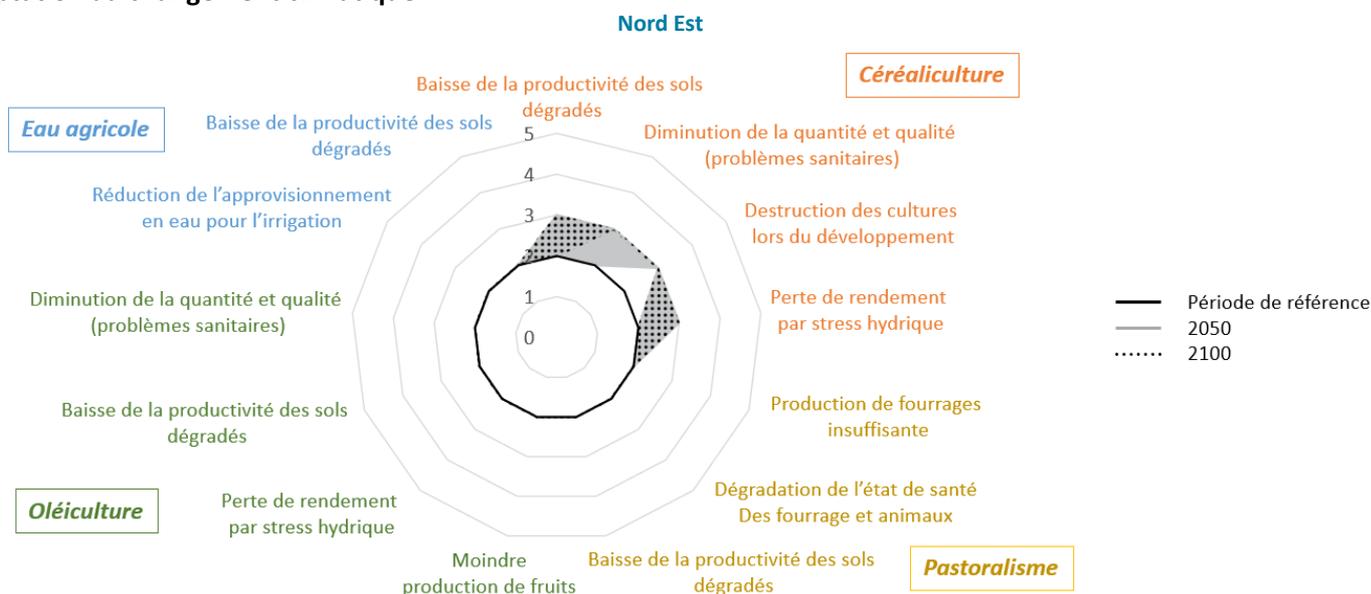


Figure 49 : Scores de risque pour la céréaliculture, le pastoralisme, l'oléiculture et l'eau agricole dans la région Nord Est.

Dans la région Nord Est, en climat actuel, les risques sur les productions agricoles étudiées sont relativement faibles en regard de la situation nationale. En effet, en plus de présenter des aléas climatiques limités et une vulnérabilité faible à moyenne, **la région a été considérée comme faiblement exposée, pour ce qui concerne le pastoralisme et l'oléiculture dont les surfaces sont faibles dans cette région.**

Ainsi pour l'oléiculture, malgré une hausse sensible de la survenue des hivers doux sous changement climatique (dans tous les scénarios et pour les deux horizons, cf. Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas) à l'origine d'un non-nettoyage des maladies et des ravageurs, le score du risque de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires reste faible (2), du fait d'une exposition très faible (1). Ce score faible de risque n'implique pas que les exploitations d'oléiculture présentes dans cette région ne pourraient pas être potentiellement touchées par les évolutions climatiques, mais que les risques pour l'oléiculture face au changement climatique dans la région Nord Est ne représentent pas un point chaud au niveau inter-régional et intersectoriel pour la production agricole.

La production céréalière paraît la plus impactée par les évolutions climatiques, du fait d'une augmentation sensible des aléas (stress hydrique, hausse sensible du nombre de jours échaudants et avancée des stades de maturation, (cf. Tendances climatiques actuelles et futures affectant la production (aléas)) conjuguée avec une vulnérabilité moyenne.

Nord-Ouest

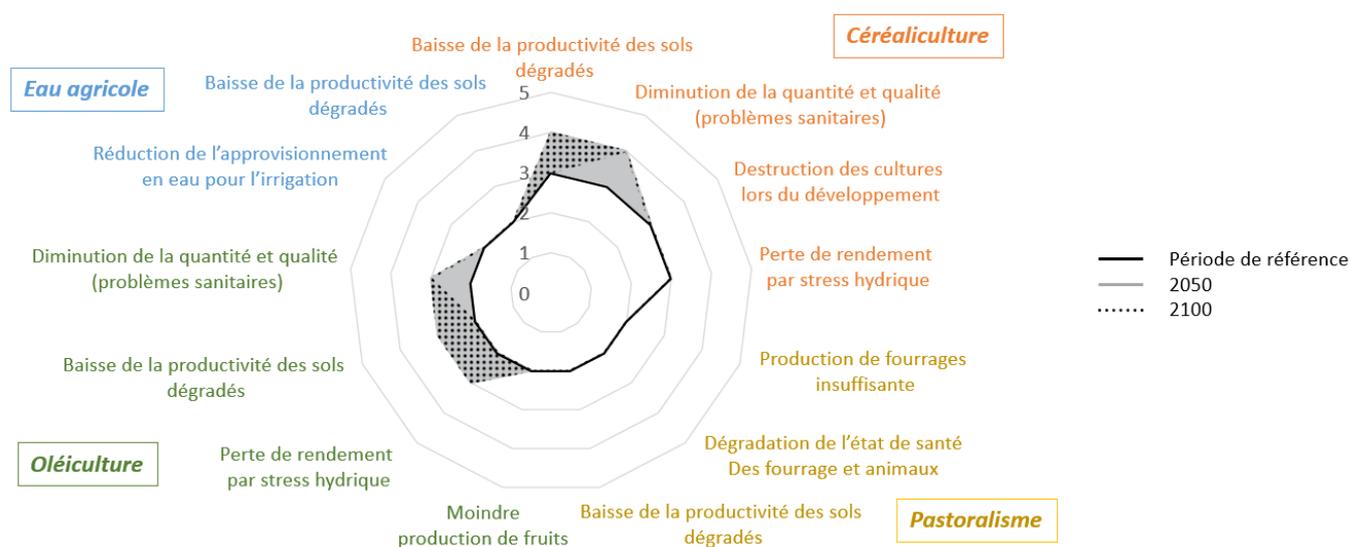


Figure 50 : Scores de risque pour la céréaliculture, le pastoralisme, l'oléiculture et l'eau agricole dans la région Nord-Ouest.

En climat actuel, la région Nord-Ouest présente des risques sur l'eau agricole, l'oléiculture et le pastoralisme relativement faibles par rapport à la situation nationale. En effet, ces secteurs sont faiblement exposés, font face à des aléas climatiques limités et présentent une vulnérabilité faible à moyenne. **La céréaliculture présente un niveau de risque moyen en climat actuel car ce secteur étant très présent dans cette région, l'exposition est très importante.**

Malgré sa présence limitée dans cette région, l'oléiculture devrait être impactée par le changement climatique du fait d'une augmentation des aléas couplée à une vulnérabilité moyenne. En effet, la hausse de l'aléa de stress hydrique (plus particulièrement en 2100 selon le RCP 8.5, pourrait être à l'origine d'une augmentation des risques de perte de rendement par stress hydrique et de baisse de la productivité des sols dégradés, passant d'un risque faible à moyen. De plus, la hausse de la survenue des hivers doux (dans tous les scénarios et pour les deux horizons, devrait aussi augmenter le risque de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires en raison d'un non-nettoyage des maladies et des ravageurs.

La **production céréalière** qui présente déjà un score de risque moyen **devrait voir son niveau de risque augmenter davantage avec le changement climatique** pour les risques de baisse de la productivité des sols dégradés et de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires. Cela s'explique par **l'augmentation des aléas en lien avec ses risques** (respectivement la survenue du stress hydrique et des hivers doux, conjugués à une très forte exposition et une vulnérabilité moyenne à forte dans cette région.

Centre Est

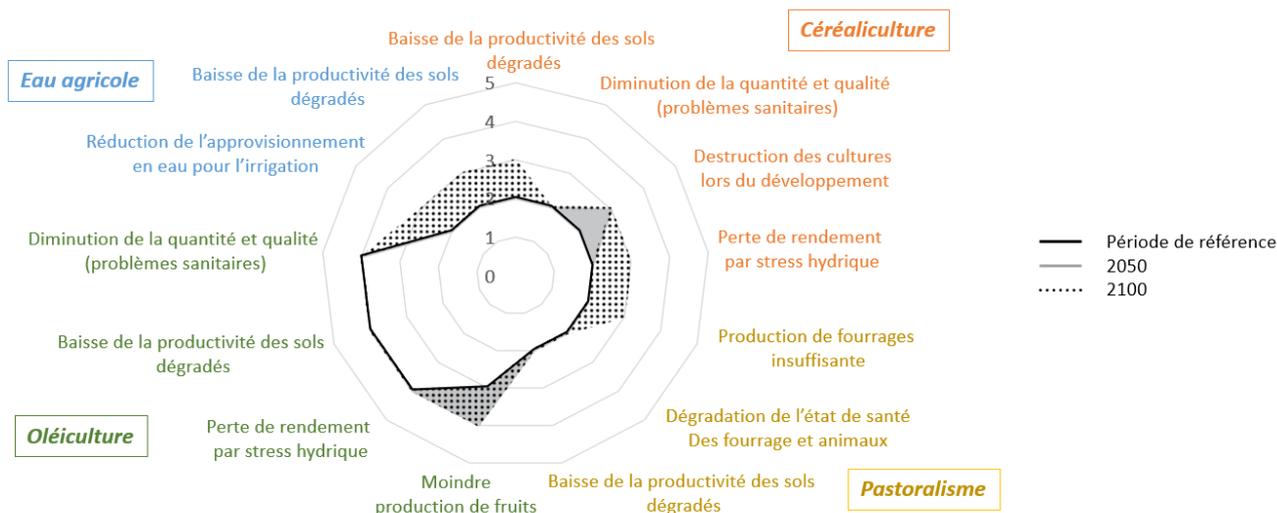


Figure 51 : Scores de risque pour la céréaliculture, le pastoralisme, l'oléiculture et l'eau agricole dans la région Centre Est.

Dans la région Centre Est en climat actuel, les risques sur la céréaliculture, le pastoralisme et l'eau agricole sont faibles en regard de la situation nationale. En effet, ces secteurs sont peu présents dans la région (exposition notée à 1), et bien que présentant une vulnérabilité moyenne à forte, ils font face à des aléas climatiques relativement limités. **L'oléiculture se distingue des autres secteurs par un risque déjà important en climat actuel, s'expliquant par une très forte exposition couplée à des aléas climatiques moyens et à une vulnérabilité moyenne à forte.**

Du fait de la présence très limitée des céréales, du pastoralisme et des cultures irriguées (eau agricole), leurs risques face au changement climatique dans la région Centre Est ne représentent pas un point chaud au niveau inter-régional et intersectoriel. Néanmoins les impacts du changement climatique, particulièrement en fin de siècle, pourraient être notables.

Ainsi, **l'augmentation de la survenue du stress hydrique pour la production céréalière** sous changement climatique pourrait entraîner une augmentation des risques de perte de rendement et de baisse de la productivité des sols à l'horizon 2100. De plus, **la conjugaison d'une forte vulnérabilité à une augmentation sensible des aléas** (hausse du nombre de jours échaudants et avancée des stades de maturation couplée à une augmentation du gel printanier, devrait accentuer le risque de destruction des cultures lors du développement dès 2050.

Le changement climatique pourrait impacter la production de fourrage qui présente aussi une forte vulnérabilité dans cette région. L'augmentation des aléas en lien avec ce risque (longue période entre deux pluies efficaces, pluviométrie non favorable à la végétation et courte période de croissance végétative, (cf. Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas) pourrait ainsi mener à un risque plus élevé à l'horizon 2100.

L'eau agricole, présentant une forte vulnérabilité, pourrait être impactée par le changement climatique à l'horizon 2100 en raison d'une survenue plus fréquente du stress hydrique selon certains modèles du RCP 8.5 (cf. Indicateurs et probabilité d'occurrence de l'aléa).

Pour la production oléicole, **très présente dans cette région (exposition notée à 5), la hausse des aléas climatiques impactant la production de fruits** (augmentation du gel printanier, du nombre de jours de canicule, des hivers doux, devrait mener à une augmentation du risque sous changement climatique.

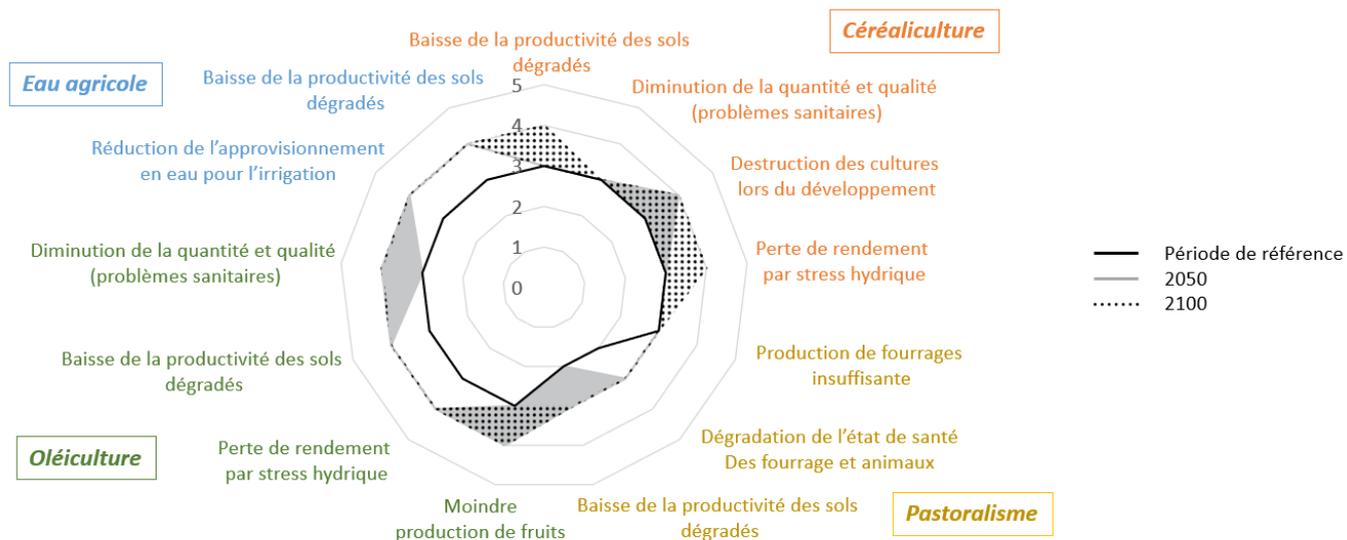


Figure 52 : Scores de risque pour la céréaliculture, le pastoralisme, l'oléiculture et l'eau agricole dans la région Centre Ouest.

En climat actuel, la région Centre Ouest présente déjà des risques sur la production agricole de niveau moyen, soit un risque relativement fort par rapport à la situation nationale, avec un risque plus faible pour le pastoralisme. En effet, les activités pastorales sont relativement peu présentes dans cette région, alors que l'exposition est moyenne pour la céréaliculture et très importante pour l'oléiculture et l'eau agricole. Les aléas touchant le pastoralisme sont aussi plus faibles que ceux affectant les autres secteurs. Cela étant couplé à une vulnérabilité moyenne à forte pour l'ensemble des secteurs étudiés.

Ainsi pour l'oléiculture, la conjugaison d'une forte exposition et d'une vulnérabilité moyenne à forte avec la hausse des aléas sous changement climatique devrait augmenter le niveau de tous les risques de ce secteur dès 2050 pour passer d'un niveau de risque moyen à fort. L'augmentation du stress hydrique devrait accentuer les risques de perte de rendement par stress hydrique et de baisse de productivité des sols dégradés, alors que la hausse du nombre de jours de canicule, des hivers doux et la diminution du nombre de jours frais devrait augmenter le risque de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires et le risque sur la production de fruits.

L'eau agricole devrait aussi voir son niveau de risque augmenter dès 2050 sous l'effet du changement climatique, en raison d'une hausse des aléas climatiques. En effet, la survenue plus fréquente du stress hydrique (en particulier en 2100 selon le RCP 8.5, devrait accentuer les risques de réduction de l'approvisionnement en eau et de baisse de la productivité des sols.

Malgré son exposition moyenne, la production céréalière devrait également être impactée par le changement climatique. Ceci s'explique par une augmentation des aléas couplée à une forte vulnérabilité pour les risques de perte de rendement par stress hydrique et de baisse de productivité des sols dégradés (survenue plus fréquente du stress hydrique), ainsi que pour le risque de destruction des cultures lors du développement (hausse du nombre de jours échaudant et avancée des stades de maturation couplée à une augmentation du gel printanier).

La région Centre Ouest représente ainsi un point chaud prioritaire pour la production agricole sous changement climatique.

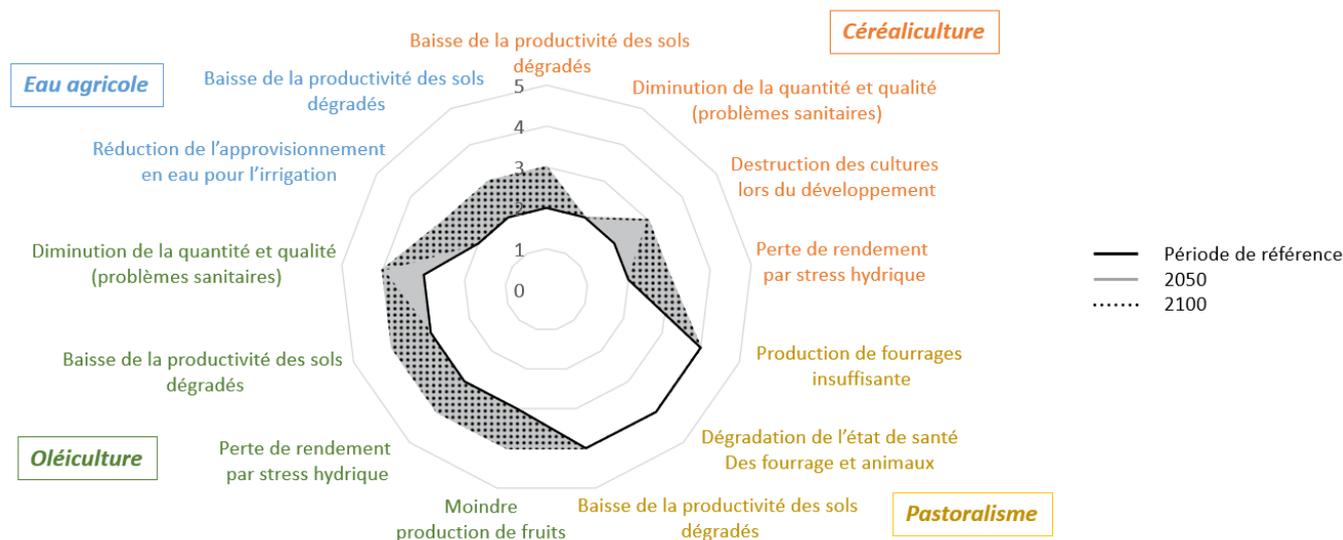


Figure 53 : Scores de risque pour la céréaliculture, le pastoralisme, l'oléiculture et l'eau agricole dans la région Sud Est.

Dans la région Sud Est, en climat actuel, les risques sur la céréaliculture et sur l'eau agricole sont relativement faibles en regard de la situation nationale de par leur très faible exposition et des aléas climatiques limités. L'oléiculture présente des risques moyens et **le pastoralisme fait face à des risques déjà forts s'expliquant par une très forte exposition et des aléas climatiques moyens à forts.**

Du fait de la très faible exposition de la céréaliculture et de l'eau agricole, les risques de ces productions face au changement climatique dans la région Sud Est ne représentent pas un point chaud au niveau inter-régional et intersectoriel pour la production agricole. Néanmoins ces secteurs devraient être impactés par les évolutions climatiques.

Ainsi pour l'eau agricole qui présente une **forte vulnérabilité**, les risques de baisse de la productivité des sols dégradés et de réduction de l'approvisionnement en eau devraient augmenter en raison d'une **hausse des aléas** (stress hydrique, tout particulièrement à l'horizon 2100. La céréaliculture qui présente aussi une **vulnérabilité forte à très forte** pour les risques de baisse de la productivité des sols dégradés, de perte de rendement par stress hydrique et de destruction des cultures lors du développement, **devrait être impactée par la hausse des aléas climatiques** (stress hydrique, hausse du nombre de jours échaudants et avancée des stades de maturation dans tous les scénarios et pour les deux horizons.

Sous changement climatique, l'augmentation des aléas conjuguée à une exposition moyenne et à une vulnérabilité forte devrait aussi accentuer les risques pour l'oléiculture. En effet, la hausse du stress hydrique devrait augmenter les risques de perte de rendement par stress hydrique et de baisse de la productivité des sols dégradés en particulier à l'horizon 2100. De plus, la hausse de la survenue des hivers doux dès 2050 devrait augmenter le risque de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires en raison d'un non-nettoyage des maladies et des ravageurs.

Les activités pastorales qui sont très exposées dans cette région devraient toujours faire face à des risques élevés en raison d'une vulnérabilité et d'aléas climatiques moyens à forts.

Le Sud Est constitué ainsi un enjeu majeur pour les risques sur la production agricole sous changement climatique.

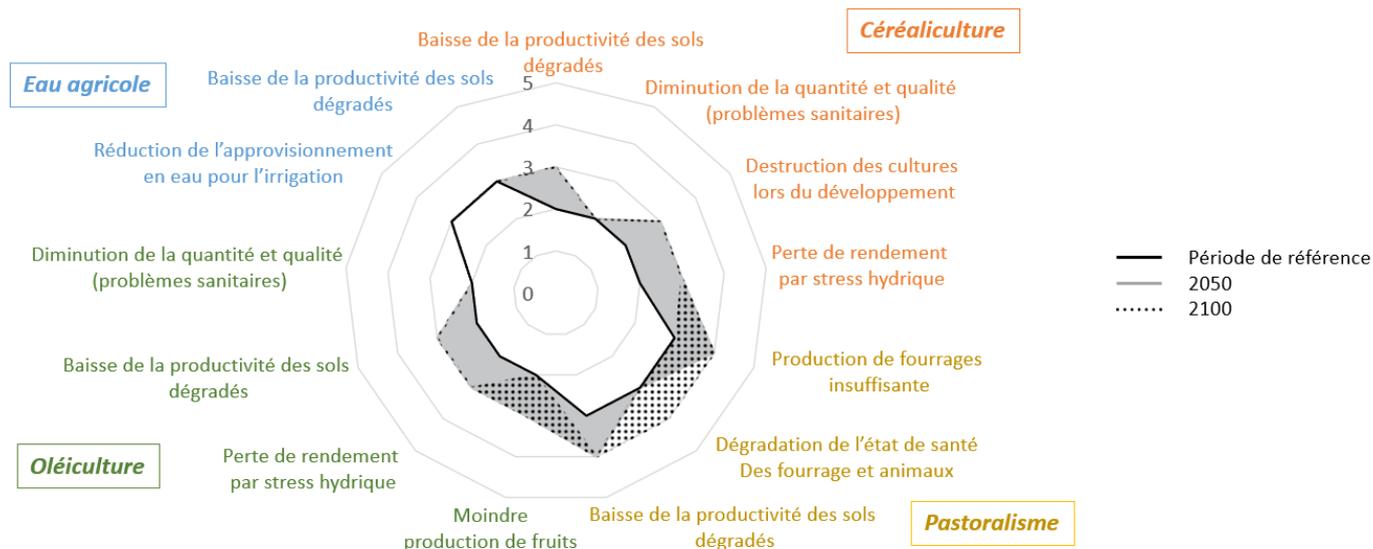


Figure 54 : Scores de risque pour la céréaliculture, le pastoralisme, l'oléiculture et l'eau agricole dans la région Sud-Ouest.

Les risques sur la céréaliculture et l'oléiculture en climat actuel sont relativement faibles dans le Sud-Ouest en raison d'une exposition très faible et d'aléas climatiques limités malgré une vulnérabilité moyenne à très forte. **Le pastoralisme et l'eau agricole dont le niveau de vulnérabilité est aussi moyen ou fort présentent une exposition et des aléas climatiques plus importants.**

La céréaliculture devrait être impactée par le changement climatique avec une **augmentation des aléas** (stress hydrique, hausse du nombre de jours échaudant et avancée des stades de maturation dans tous les scénarios et pour les deux horizons, **qui se conjuguent avec une forte ou très forte vulnérabilité** pour les risques de perte de rendement par stress hydrique, de baisse de la productivité des sols dégradés et de destruction des cultures lors du développement dès 2050.

Pour l'oléiculture, la conjugaison d'une forte vulnérabilité avec des aléas climatiques qui deviennent forts (notamment hausse du stress hydrique, devrait mener à une augmentation du niveau de risque, en particulier pour les risques de perte de rendement par stress hydrique et de baisse de la productivité des sols dégradés.

L'augmentation des aléas climatique (stress hydrique, pour l'eau agricole ne devrait pas faire augmenter son niveau de risque qui est déjà intermédiaire en raison d'une exposition relativement faible.

Les activités pastorales devraient être les plus impactées par le changement climatique de par la hausse des aléas climatiques (longue période entre 2 pluies efficaces, pluviométrie non favorable à la végétation et courte période de croissance végétative, **couplée à une exposition moyenne et une vulnérabilité moyenne à forte**, qui devrait mener à un risque fort en particulier sur la production de fourrages et sur la productivité des sols dégradés dès 2050. Le Sud-Ouest représente ainsi un point chaud pour la production agricole sous changement climatique, en particulier pour les activités pastorales.

2.7.2 Synthèse des risques sur les secteurs étudiés

Le tableau de synthèse suivant présente les niveaux de risque des productions étudiées pour la période de référence et les horizons futurs. Chaque horizon futur (2050 et 2100) est représenté par une enveloppe qui est délimitée par le minimum et le maximum du score de risque pour tous les modèles et les 2 RCPs confondus.



Figure 55: Synthèse du niveau de risque pour l'ensemble des risques sur les secteurs étudiés.

Encadré 4 : Incertitudes des projections climatiques pour les indicateurs

L'incertitude des modèles climatiques se retrouve dans les calculs des indicateurs climatiques et agroclimatiques réalisés à partir des données des modèles. Ces indicateurs ont été utilisés comme indicateurs de l'évolution de l'aléa et ont permis de définir un score d'aléa pour chaque horizon temporel (période de référence, 2050 et 2100). L'incertitude des projections climatiques est ainsi illustrée par les différentes valeurs de score d'aléa obtenues avec l'ensemble des modèles d'un même scénario et pour un horizon temporel donné.

Cette dispersion des scores d'aléa est relativement faible par rapport à celle de la survenue des aléas (Annexe 13). En effet, l'agrégation des différents indices d'aléa qui participent à un même risque, puis la conversion des indices en scores d'aléa (compris entre 1 et 5) mènent à une faible dispersion (souvent d'uniquement 1 point) des modèles d'un même scénario pour les 2 RCPs.

De plus, l'agrégation du score d'aléa basé sur les modèles climatiques avec des facteurs non climatiques représentés par les scores de vulnérabilité et d'exposition mène à un impact relativement limité des incertitudes des modèles climatiques sur le score de risque final. **Les scores de risque par région nous permettent ainsi de dégager des tendances sur l'évolution du risque lié au changement climatique sur les secteurs de production étudiés pour les horizons 2050 et 2100, tout en distinguant les scénarios climatiques.**

Encadré 5 Incertitudes des projections climatiques pour les indicateurs

Les points clés de l'évaluation des risques sur la production

- Le Centre Ouest constitue un point chaud prioritaire pour l'ensemble des secteurs de la production agricole sous changement climatique en raison de leur forte présence dans cette région et d'une vulnérabilité élevée couplée à une augmentation des aléas climatiques ;
- La région Sud-Est représente un enjeu mineur pour la production agricole face aux impacts du changement climatique du fait des faibles surfaces cultivées et parcours. Néanmoins, du fait de sa forte vulnérabilité conjuguée à une hausse des aléas climatiques affectant tous les secteurs et donc à un niveau de risque élevé pour les activités existantes ;
- Le Sud-Ouest constitue un deuxième point chaud pour les risques, principalement pour la production oléicole sous changement climatique qui devrait faire face à de forts aléas climatiques dès 2050 couplés à une vulnérabilité élevée ;
- Les régions du Nord devraient subir une augmentation limitée des aléas climatiques pour l'ensemble les secteurs, impactant majoritairement la céréaliculture très présente dans ces régions ;
- Le Centre Est est un troisième point chaud qui présente une vulnérabilité élevée et devrait faire face à une hausse des aléas climatiques affectant tous les secteurs de la production, et en particulier l'oléiculture du fait de sa forte présence dans la région.

2.7.2.1 Matrices d'évaluation du risque pour la pêche

L'évaluation des risques liés au changement climatique pour la pêche sont représentés sous la forme :

- D'une matrice présentant les scores d'exposition, de vulnérabilité et d'aléa qui ont été normalisés sur une échelle de 1 à 5 comme présenté dans la méthodologie. La matrice donne ainsi les scores de risque découlant de l'agrégation géométrique des scores de ces 3 composantes pour la période de référence et les horizons futurs ;
- D'un diagramme en radar représentant les scores de risque pour la période de référence et les horizons futurs.

Les scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque présentés dans les matrices de risque suivent l'échelle de couleur ci-contre :



Sur les diagrammes en radar, une situation optimale correspond à un score de risque valant 1, situé le plus proche du centre. Plus le score de risque est proche des bords extérieurs du diagramme en radar, plus le risque augmente et plus la situation est critique, le score de risque maximum étant 5.

L'exposition et la vulnérabilité étant évaluées en période actuelle et l'aléa étant obtenu par modélisation pour les différents horizons, les résultats présentés ci-dessous montrent **l'impact potentiel du climat** sur la pêche aux horizons futurs et permet de **mettre en évidence les zones prioritaires pour l'adaptation au changement climatique**.

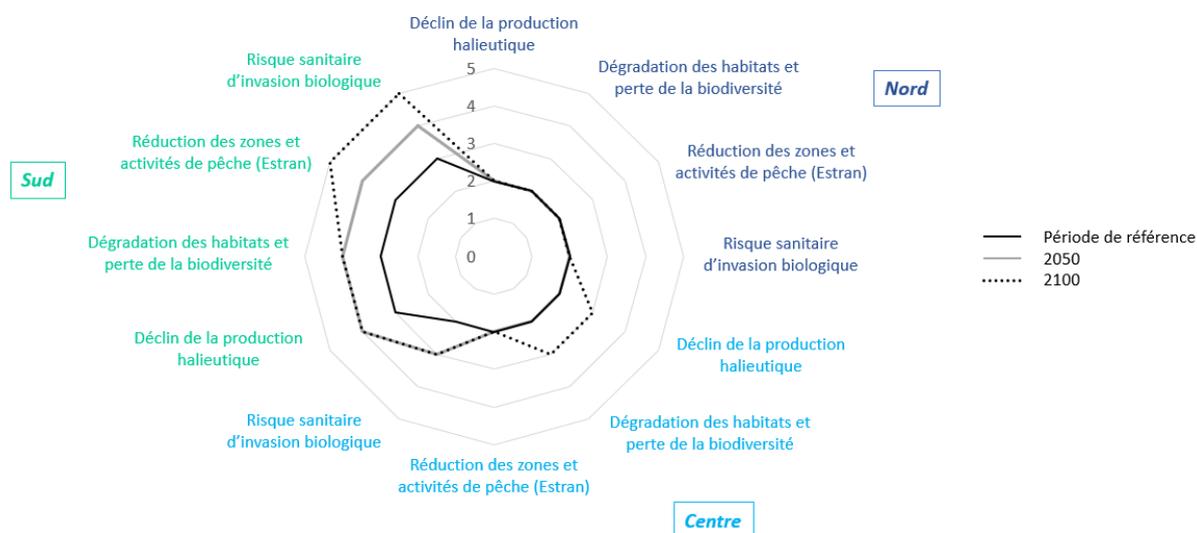


Figure 56 : Scores de risque pour la pêche dans les zone Nord, Centre et Sud de pêche de la Tunisie

En climat actuel, les risques sur la production halieutique sont relativement faibles pour les zones Nord et Centre. En effet, ces zones sont peu exposées par rapport à la zone Sud et présentent des aléas faibles couplés à une vulnérabilité moyenne. **Le risque est moyen sur la zone Sud qui fait face à peu d'aléas mais qui présente une forte exposition et vulnérabilité.**

La zone Sud devrait voir son niveau de risque augmenter sous changement climatique dû à une hausse importante des aléas climatiques, conjuguée à une exposition et une vulnérabilité élevée. L'augmentation de la température des eaux de surface intervenant dans tous les risques sur la production halieutique et l'élévation du niveau de la mer qui caractérise aussi le risque de réduction des zones et activités de pêche devraient mener à une augmentation de l'ensemble des risques dans cette zone. Cette hausse du risque devrait impacter le secteur dès 2050 et s'accroître en 2100 pour le risque de réduction des zones et activités de pêche et le risque sanitaire d'invasion biologique.

La zone Centre devrait aussi être impactée par le changement climatique avec une augmentation des aléas couplée à une vulnérabilité moyenne, ceci malgré une faible exposition. Ainsi, la hausse de la température des eaux de surface devrait être à l'origine d'une augmentation du risque de déclin de la production halieutique, de dégradation des habitats et perte de biodiversité à l'horizon 2100, ainsi que du risque sanitaire d'invasion biologique dès 2050. Malgré une forte augmentation des aléas pour le risque de réduction des zones et des activités de pêche, le niveau de risque ne devrait pas augmenter dans cette zone en raison d'une très faible exposition.

La zone Nord devrait aussi subir une hausse importante des aléas mais cela ne devrait pas mener à une augmentation du niveau de risque du fait de la faible exposition de cette zone. Ce score faible de risque n'implique pas que les activités halieutiques dans cette région ne pourraient pas être potentiellement touchées par les évolutions climatiques, mais que les risques pour la pêche face au changement climatique dans cette zone ne représentent pas un point chaud au niveau inter-régional pour la production.

3 Impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle

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 et que nous avons choisi comme axes d'analyse. Le rapport spécial sur le changement climatique et les terres du GIEC (2019) indique que les changements climatiques observés ont déjà une incidence négative sur la sécurité alimentaire, particulièrement pour les régions arides. Le schéma ci-contre montre les liens entre le changement climatique et la sécurité alimentaire.

Pour la Tunisie, seront analysés en premier lieu les impacts sur l'offre générée par la production nationale. Néanmoins, le bilan alimentaire national futur dépendra surtout des perspectives d'évolution de la demande alimentaire, qui est étroitement liée aux changements démographiques ainsi qu'aux modifications des habitudes de consommation de la population. Les principaux déterminants de cette évolution seront la taille et la structure de la population (âge, degré d'urbanisation), le niveau de revenus, les régimes alimentaires et les modes de vie ainsi que les politiques publiques de développement agricole (soutien aux agriculteurs) et les politiques de l'eau.

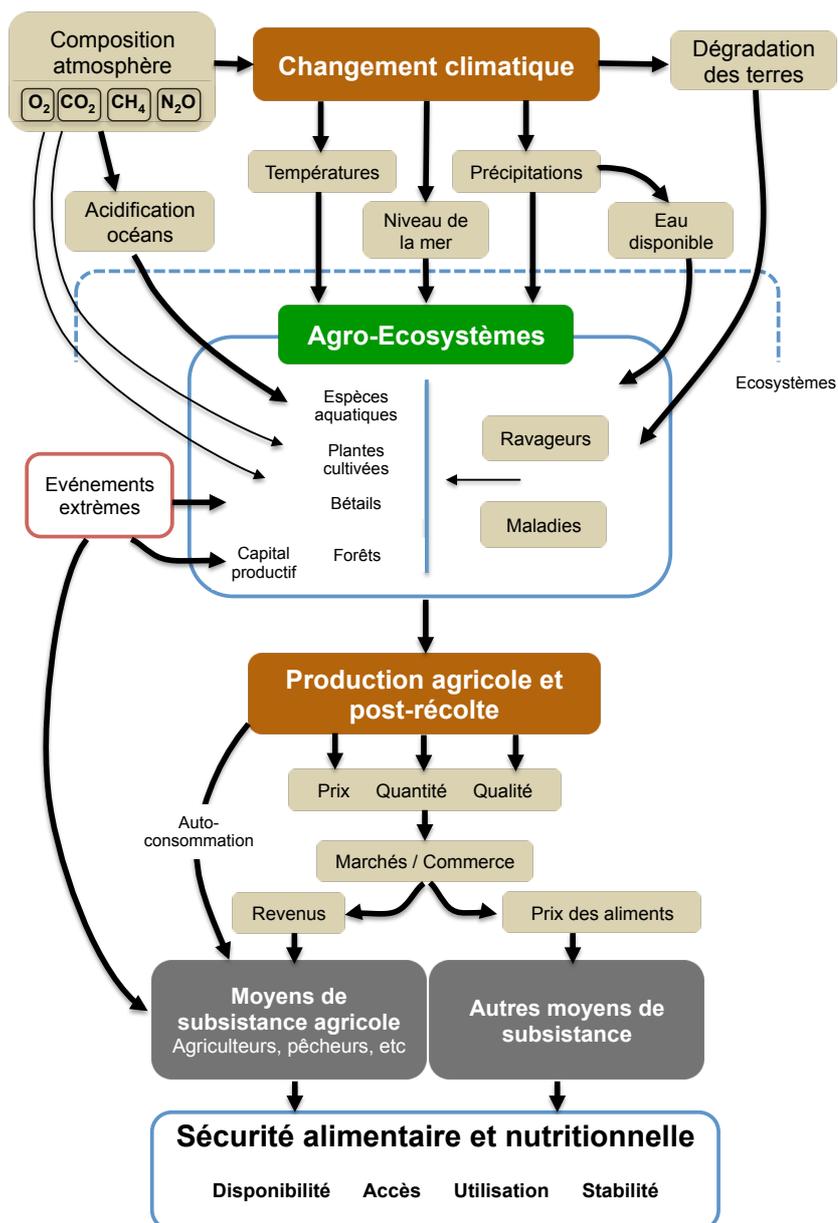


Figure 57 : Représentation des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire selon FAO

3.1 Impacts sur la disponibilité alimentaire

3.1.1 Évolution de la production de céréales

En s'appuyant sur les projections de rendement des céréales et l'estimation des aires d'aptitude climatique réalisé dans la présente étude, il est possible d'apprécier l'évolution de la composante nationale de la disponibilité alimentaire de ces produits. Pour évaluer la production nationale et la comparer dans le temps, il faut traduire les évolutions de rendements en volume total, d'une part pour la composante pluviale modélisé dans cette étude et ajouter la composante irriguée. Pour les céréales, l'hypothèse de départ est d'utiliser les mêmes surfaces de la période de référence en considérant les mêmes niveaux de technologie et les mêmes rendements pour la composante irriguée, qui souffre moins des variations de la pluviométrie. Le tableau suivant montre l'effet de la diminution des rendements de la composante pluviale sur la production nationale aux horizons 2050 et 2100 pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5

X 1000 Quintaux	Période de référence	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2050	2100	2050	2100
Blé dur	9 148	7 823	8 552	8 615	6 386
Blé tendre	2 079	1 714	1 714	2 017	1 382
Orge	3 890	3 371	3 315	3 531	2 748
Total	15 117	12 908	13 581	14 163	10 516
Variation par rapport à la période de référence %					
Blé dur		-14%	-7%	-6%	-30%
Blé tendre		-18%	-18%	-3%	-34%
Orge		-13%	-15%	-9%	-29%
Total		-15%	-10%	-6%	-30%

Tableau 17 : Évolution de la production de céréales en pluvial et irrigué à surface et technologie constante pour les horizons 2050 et 2100 dans les scénarios RCP 4.5 et RCP8.5

Ces projections ont été affinées pour tenir compte de l'évolution de l'aptitude climatique des aires de culture favorables aux céréales, qui diminuent dans tous les gouvernorats pour les trois céréales, excepté pour l'Orge, dont l'aptitude climatique augmente légèrement à Béja, Bizerte, Jendouba et Le Kef. Le tableau suivant résume les variations de production en pourcentage combinant l'effet « rendement » et l'effet « aptitude climatique »

Variation totale %	RCP 4.5		RCP 8.5	
	2050	2100	2050	2100
Blé dur	-20%	-12%	-12%	-33%
Blé tendre	-32%	-35%	-24%	-67%
Orge	-16%	-16%	-13%	-34%
Total	-21%	-16%	-14%	-38%

Tableau 18 : Variation totale de la production de céréales en pluvial et irrigué avec l'effet de l'aptitude climatique aux horizons 2050 et 2100 dans les scénarios RCP 4.5 et RCP8.5

Ces projections mettent en évidence une baisse de la production nationale comprise entre 16 et 21% dans le RCP4.5 et entre 14 et 38% pour le RCP8.5 pour les horizons 2050 et 2100 respectivement. La production estimée à 15 millions de quintaux dans la période de référence pourrait chuter de près de 40% en 2100 pour le RCP8.5 soit près 6 millions de quintaux en moins. Toutefois, ces estimations

moyennes sont à relativiser au vu des incertitudes liées aux différentes projections climatiques générées par l'ensemble multi-modèles. La baisse de production pourrait donc être plus ou moins prononcée dans un intervalle de l'ordre de plus ou moins 15% autour de la moyenne. D'autre part, on remarque la sensibilité plus grande du blé tendre aux effets du CC par rapport aux deux autres céréales, en particulier lorsqu'on applique l'effet d'aptitude climatique. Ainsi à l'horizon 2100 et pour le scénario RCP8.5, la production de blé tendre pourrait connaître une baisse de deux tiers, passant de plus de 2 millions de quintaux à moins de 700 000.

Ces projections sont critiquables dans la mesure où elles n'intègrent pas le facteur du progrès technologique, difficile à anticiper. En effet, les projections ont été réalisées en partant de l'hypothèse de la persistance des pratiques et technologies agricoles actuelles et en ne faisant varier que les facteurs climatiques. Dans la réalité les pratiques des agriculteurs ainsi que les politiques publiques évoluent plus ou moins rapidement. L'expérience dans d'autres pays à climat similaire, ont montré qu'il est possible de réduire partiellement les impacts des changements climatiques par le progrès technologique et sa diffusion auprès des agriculteurs.

D'autre part, ces projections sous-estiment d'autres facteurs cruciaux difficiles eux aussi à modéliser :

- L'hypothèse de surface et de rendements constants en irrigué devra être évaluée de manière approfondie. En effet, si une meilleure maîtrise de l'irrigation pourrait déterminer une hausse sensible des rendements actuels, qui sont déjà trois fois supérieurs en moyenne aux rendements en pluvial, les espaces irrigués sont menacés à la fois par la baisse des disponibilités et donc des allocations en eau et par les phénomènes de dégradation des sols liés à l'irrigation elle-même, notamment la salinisation.
- La dégradation des sols concerne aussi les surfaces conduites en pluvial. L'augmentation de la température, la baisse des précipitations et la fréquence accrue de fortes pluies sur le moyen et long terme, risquent de renforcer les dynamiques actuelles de baisse de fertilité et d'érosion des sols agricoles.
- Les stratégies des agriculteurs ne sont pas motivées uniquement par des considérations climatiques, mais également par l'environnement institutionnel et politique, les flux migratoires, le prix du foncier, les habitudes alimentaires, le développement de l'agro-industrie, ainsi que les politiques commerciales. Ces facteurs sont difficiles à modéliser et peuvent modifier sensiblement les prévisions de production agricole.
- Sous l'effet du changement climatique, le rythme actuel du progrès technologique, pourrait diminuer ou stagner, car les options génétiques et agronomiques peuvent atteindre leurs limites, entraînant dans leur sillage des évolutions radicales des stratégies agricoles.
- Enfin, on constate que les surfaces emblavées diminuent à un rythme compris entre 0,4% (Orge) et 2,2% (Blé tendre) chaque année depuis trente ans. Cette désaffection des producteurs qui est liée en partie avec les effets progressifs du changement climatique, l'est aussi avec la rentabilité décroissante de ces productions (rapports entre coûts et prix) au fur et à mesure que s'intensifie la concurrence internationale. Ainsi, la réponse des producteurs semble de plus en plus faible malgré les incitations des politiques agricoles publiques.

Les hypothèses de la FAO à l'horizon 2050 sont nettement plus optimistes.

TOUTES LES CEREALES	2012	2050		
		BAU	Durabilité	Stratifié
Surface récoltée (1000 Ha)	1176	1149	1209	1194
Irrigué	173	159	142	145
Pluvial	1003	991	1066	1049
Rendement (Qt / Ha)				
Irrigué	33,8	46,2	42,12	42,06
Pluvial	14,0	17,0	17,0	17,7
Intensité de culture				
Irrigué	0,93	1,07	1,25	1,06
Pluvial	0,68	0,57	0,70	0,49
Facteur climatique				
Irrigué	1	0,97	0,97	0,93
Pluvial	1	0,93	0,99	0,97
Facteur technologique				
Irrigué	1	1,41	1,27	1,33
Pluvial	1	1,34	1,20	1,26
Production totale				
Production irriguée (millions Qt)	5,8	7,3	6,0	6,1
Production pluviale (Millions Qt)	14,1	16,9	18,1	18,6
Total Production (Millions Qt)	19,9	24,2	24,1	24,7

Tableau 19 Évolution de la production nationale de céréales à l'horizon 2050 pour les trois scénarios (FAO, 2018)

Ces projections sont fondées sur des hypothèses d'évolution des rendements qui combinent quatre facteurs à la fois : a) des progrès techniques considérables avec une hausse des rendements de 41 à 20% respectivement pour les céréales irriguées et pluviales ; b) une faible incidence du CC sur les rendements (de moins 1 à moins 7% ; c) une forte augmentation de l'intensité des cultures irriguées (de +6 à +25%) en considérant une surface irriguée très élevée (173 000 Ha en 2012) ; d) une augmentation des surfaces emblavées pour deux des trois scénarios. Tous ces facteurs conjugués déterminent une hausse de l'ordre de 20 à 25% de la production céréalière nationale à l'horizon 2050 et cela, malgré une diminution des surfaces irriguées de l'ordre de 15%.

Le bilan alimentaire de la Tunisie pour les céréales, présenté par IFPRI pour 2050²⁴ (scénario climatique RCP8.5) se fonde sur l'hypothèse du maintien d'un même niveau élevé de consommation de céréales par habitant.

Ces projections sont proches de celles de la FAO.

CEREALES	2010	2050	
		Sans CC	Avec CC
Consommation en kg /habitant / an	208,3	217,7	210,6
Production en Millions Qt	21	33	25
Commerce net en Millions Qt	-26	-48	-55

Tableau 20 Consommation, production nationale et commerce net des céréales (IFPRI)

On remarquera que le modèle IFPRI met bien en évidence une baisse de l'ordre de 25% de la production céréalière future sous l'effet du changement climatique par rapport à l'absence de CC en 2050. Néanmoins, malgré les effets du CC, la production nationale poursuivrait une trajectoire ascendante, de l'ordre de 20% par rapport à 2010. L'hypothèse sous-jacente à ce modèle est que les producteurs accompliront des progrès technologiques considérables pour permettre une augmentation telle des rendements quelle sera capable de compenser la réduction des aires d'aptitude climatique et les contraintes imposées par le CC.

²⁴ Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options IFPRI, 2010

La comparaison des résultats de l'approche suivie dans la présente étude avec les données proposées par FAO et IFPRI montre à quel point les « sorties » des modèles sont dépendantes des hypothèses retenues et notamment de la qualité et désagrégation des données historiques. Toutefois, tous les modèles convergent sur le fait que le CC aura un impact négatif sur les rendements des céréales en Tunisie. L'évolution du progrès technique et son impact sur les rendements est difficile à anticiper sur une longue période. Des avancées scientifiques déterminantes pourraient voir le jour dans les 30 prochaines années, à fortiori d'ici à 2100. Dans l'état actuel des connaissances, il règne donc une grande incertitude sur le fait que le rythme annuel de progrès dans les rendements céréaliers durant les quarante dernières années (+2,4% pour le blé dur, +1% pour le blé tendre et + 1,4% pour l'orge) se poursuive de manière continue durant une longue période, et ce, bien que le potentiel productif des variétés actuelles, lorsqu'elles sont utilisées en conditions optimales de climat et de sols, le permette largement. La faiblesse relative des rendements céréaliers en Tunisie par rapport au potentiel productif de ces plantes est donc liée à des conditions structurelles d'ordre géographique et physique (climat, sols), mais aussi techniques (itinéraires, fertilisation, protection des cultures) et socio-économiques (prix, mode de production entre autres). C'est pourquoi le choix qui a été fait dans la présente étude d'isoler les facteurs climatiques des autres pour étudier l'évolution future des rendements est pertinent dans la mesure où il constitue une première base avant d'élargir la réflexion aux autres facteurs.

3.1.2 Évolution de la production d'olives à huile et d'huile d'olive

Avec une forte baisse des rendements selon les scénarios et les horizons, la production oléicole serait fortement impactée par les changements climatiques. Avec des projections basées sur la surface moyenne (2015-2017) et le même niveau de technologie que celui appliqué aujourd'hui, les effets sur la production nationale sont résumés dans le tableau suivant :

Surface constante	Période de référence	RCP 45		RCP8.5	
		2050	2100	2050	2100
Olives à huile (1000 T)	1033	921	825	742	409
Huile d'olive (1000T)	207	184	165	148	82
Variation Huile (%)		-11%	-20%	-28%	-60%

Tableau 21 : Projection de la production oléicole aux horizons 2050 et 2100²⁵

L'impact sur la production est considérable, entre moins 11 et moins 60% selon les scénarios et les horizons. L'analyse de la variation de la distribution spatiale des aires d'aptitude climatique favorables montre que les impacts sur la production pourraient être bien plus importants encore comme le montre le tableau suivant :

Surface variable	Période de référence	RCP 45		RCP8.5	
		2050	2100	2050	2100
Olives à huile (1000 T)	1033	792	743	672	306
Huile d'olive (1000T)	207	158	149	134	61
Variation Huile (%)		-23%	-28%	-35%	-70%

Tableau 22 : Projection de la production oléicole aux horizons 2050 et 2100²⁶

²⁵ Conversion sur la base de 20% du poids des olives converti en huile ou 200 kg d'huile par tonne d'olives.

²⁶ Conversion sur la base de 20% du poids des olives converti en huile ou 200 kg d'huile par tonne d'olives.

La tendance des dernières décennies à l'augmentation des surfaces, notamment dans le Centre et le Nord, en particulier en irrigué, compensera au moins partiellement la diminution des rendements dans les grandes régions productrices (Sahel et Sfax) et au Sud. Mais la baisse des disponibilités en eau conventionnelle à moyen et long terme constituera une limitation supplémentaire.

Encore une fois et plus encore que pour les céréales, ces prévisions sont sujettes aux incertitudes liées aux différents modèles climatiques disponibles et aux données partielles disponibles (pas de distinction entre irrigué et pluvial, observations limitées à une période 15 ans). Dans le cas de certains modèles climatiques, les aires d'aptitude favorables à l'olivier pourraient augmenter dans le cas du scénario RCP8.5 en 2100 et infléchir en partie les prévisions baissières de production.

Les données provenant de la FAO (FOFA, 2018), permettent de contraster nos résultats.

PRODUCTION OLÉICOLE	2012	2050		
		BAU	Durabilité	Stratifié
Surface récoltée (1000Ha)	1802	1810	1993	1994
Rendement (Tn / Ha)	0,49	0,53	0,42	0,39
Variation rendement en %		8%	-13%	-19%
Facteur climatique	1,00	0,87	0,76	0,68
Facteur technologique	1	1,24	1,11	1,17
Production irriguée (1000 Tn)	0	0	0	0
Total Production (1000 Tn)	876	954	841	782
Huile d'olive (1000 Tn)	175	191	168	156
Variation en %		9%	-4%	-11%

Tableau 23 : Production oléicole dans les différents scénarios à l'horizon 2050 (FAO, FOFA, 2018)

Deux scénarios sur trois font l'hypothèse d'une augmentation importante des surfaces avec près de 200 00 ha supplémentaires couplée avec une baisse sensible du rendement national (de -13 à -19 %), soit un modèle de développement extensif de la production. Ces rendements à l'horizon 2050 sont cohérent avec les données issues de notre modèle. La production est simulée en tenant compte d'un facteur de progrès technologique (+11 à +17%) ce qui amorti le choc climatique (-13 à -32%) et conduit à une variation de la production de +9% à moins 11% dans le cas le plus défavorable. Les volumes de production d'huile d'olive en 2050 (entre 156 et 191 mille tonnes) ont cohérents avec les estimations de notre modèle sans correction d'aptitude climatique (entre 148 et 184 mille tonnes).

3.1.3 Évolution de la production de viande rouge pastorale (parcours)

Les zones pastorales permettent de nourrir essentiellement des ovins et des caprins. La production bovine et cameline basée sur les parcours représente une faible proportion de la production de viandes rouges.

Le cheptel national se situe autour de 7 millions d'ovins (84%) et un 1,3 millions de caprins (16%) avec une production de l'ordre de 50 000 tonnes de viande ovine et 10 000 tonnes de viande caprine selon les données publiées par ONAGRI.

L'évaluation de la production nationale se base sur la conversion des unités fourragères en tonnes de viande. En Tunisie les besoins en UF des ovins et des caprins sont estimés respectivement à 300 et 250 UF par femelle et par an et les statistiques nationales indiquent que le poids moyen par tête d'animal abattu est de 28 et 22 kilos en moyenne ces dix dernières années. Avec un taux de conversion du poids vif en poids net de viande de 45% et 42% pour les ovins et les caprins, le poids moyen en viande par tête est de 13 kilos pour un ovin et 9 kilos pour un caprin. En croisant ces éléments avec l'effectif du cheptel et sa production nationale (Source ONAGRI, 2019) on obtient un taux de conversion moyen de l'ordre de 24 UF par kilo de viande rouge d'ovin et caprin. Le tableau suivant présente les projections de production de viande rouge aux horizons 2050 et 2100.

Production de viande rouge (ovins et caprins)	Période de référence	RCP4.5		RCP 8.5	
		2050	2100	2050	2100
Production nationale (millions UF)	198	157	155	183	119
Viande en tonnes	8340	6615	6537	7707	5027
Variation en tonnes		-1726	-1803	-633	-3314
Variation en %		-21%	-22%	-8%	-40%

Tableau 24 Production nationale des parcours en Unités Fourragères et conversion en viande rouge.

La production de viande rouge correspondante à la production fourragère se situe autour de 14% de la moyenne de la production nationale de la dernière décennie. Son évolution sous l'effet du changement climatique est décroissante à tous les horizons et pour les deux scénarios et oscille entre moins 21 et moins 40%.

La variation des aires d'aptitude climatique favorable aux trois plantes fourragères étudiées donne une indication générale de la tendance à la réduction des surfaces qui se situe en moyenne entre moins 4 et moins 19% soit entre 50 et 100 millions d'UF.

Variation de la production de fourrages et de viandes rouges	Période de référence	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2050	2100	2050	2100
Production fourrage des parcours en millions d'UF	198	157	155	183	119
Variation des aires d'aptitude favorable en %		-9%	-9%	-4%	-19%
Production fourrage selon aptitude climatique en millions UF		143	140	174	96
Production de viandes rouges ovines et caprines en tonnes	8340	6040	5931	7365	4050
Variation de la production de viande en %		-28%	-29%	-12%	-51%
Variation en tonnes de viande		-2301	-2409	-975	-4290

Tableau 25 Production nationale des avec variation de l'aptitude climatique aux plantes fourragères

L'effet de cette diminution sur la production de viande est plus prononcé avec une variation qui oscille entre moins 12 et moins 51% soit une diminution entre moins 2000 et moins 4000 tonnes de viande. Les impacts négatifs du changement climatique sur les parcours sont donc faibles au regard de la production nationale de viande rouge ovine et caprine et ne représentent que 3 à 6% de la production nationale.

3.1.4 Évolution de la production halieutique nationale

La projection de l'augmentation des rendements permettent d'estimer une trajectoire d'évolution du potentiel de pêche en fonction de l'étendue des zones de pêche exclusives de la Tunisie.

Secteur / Année	Surface en km2	Moyenne 1990-2010	2020	2050	2100
Nord	36000	21	23	30	42
Centre	29000	23	23	29	41
Sud	39000	48	56	86	132
Tunisie (1000 tn)		93	102	145	215
Variation en %			10%	56%	132%

Tableau 26 Projection du potentiel de pêche marine aux horizons 2050 et 2100.

En 2050, le potentiel de production pourrait augmenter de 50 000 tonnes par rapport à la moyenne de la production 1990-2010 (+56%) et plus que doubler à l'horizon 2100.

En revanche la pêche côtière artisanale, et de manière spécifique la pêche à la Charfia et la pêche à pieds des palourdes risquent de voir leur production décliner du fait de la hausse du niveau de la mer.

L'évolution de la production halieutique d'origine marine dépendra toutefois largement de l'intensité de l'effort de pêche, ainsi que de la bonne gestion des stocks, et d'autres facteurs déjà mentionnés tels que la pollution et l'acidification.

Pour faire face à une demande grandissante en produits de la mer et pour garantir une pêche durable et résiliente face aux aléas du changement climatique, l'intégration par les décideurs et les pêcheurs, d'une gestion rationnelle de la ressource halieutique basée sur l'approche écosystémique est indispensable. La complexité du milieu marin et l'interférence de multiples facteurs (pollution, pêche illégale, surexploitation) pour la sauvegarde de la biodiversité rendent le bon état des stocks halieutiques fortement tributaire de la préservation de la santé des écosystèmes marins. En d'autres termes comment faire évoluer les pratiques halieutiques sans occasionner de nouvelles nuisances à l'environnement marin ?

3.1.5 Synthèse de l'évolution de la production nationale

La production céréalière pourrait diminuer sensiblement comme résultat de la baisse des rendements et de la réduction des surfaces ayant une aptitude climatique favorable. Dans le scénario RCP4.5 cette diminution serait de l'ordre de 20% pour 2050 et 2100. Elle pourrait atteindre 40% dans le scénario RCP8.5 à l'horizon 2100. Le blé tendre est le plus affecté avec une chute de l'ordre de 70% (RCP8.5 en

2100). La perte de production imputable au changement climatique serait de l'ordre de 300 000 à 600 000 tonnes de céréales selon les scénarios et les horizons.

De même, la production d'huile d'olive pourrait diminuer entre 20 et 30% pour scénario RCP4.5 et jusqu'à 70% dans le cas du scénario RCP8.5 à l'horizon 2100, soit entre 50 et 150 000 tonnes d'huile d'olive.

La production de viande provenant des parcours pourrait diminuer entre 30 et 50% pour les scénarios RCP4.5 et 8.5 respectivement. Compte tenu de la faible contribution des parcours à la production de viandes rouges, les effets du changement climatiques restent toutefois très limités en termes de perte production qui se situent entre 2000 et 4000 tonnes selon scénarios et horizons, soit entre moins 3 et moins 6% de la production nationale de viandes rouges ovines et caprines.

Les ressources halieutiques pourraient connaître une évolution inverse, avec une augmentation très importante de la productivité des espaces de pêche en mer permettant une augmentation de 85% des ressources en 2050 et de 175% en 2100 soit entre +80 000 et +150 000 tonnes de produits de la pêche. En revanche, la pêche côtière artisanale, la pêche au charfia et la pêche à pied des palourdes pourraient connaître une diminution très importante avec des conséquences locales négatives au plan socio-économique.

3.1.6 Évolution des Importations alimentaires

Conséquence de la diminution de la production nationale de céréales et de l'augmentation de la population (+ 1,2 millions d'habitants), les importations de ces produits, essentiellement blé tendre et orge pourraient augmenter dans une fourchette de l'ordre de 600 à 900 000 tonnes, sans tenir compte des importations de maïs pour l'alimentation animale, principalement à destination de l'aviculture.

Avec une consommation annuelle per capita de l'ordre de 25 kg d'huile dont 15% est de l'huile d'olive nationale, les besoins en importation d'huiles de graines (soja et colza principalement) vont continuer à augmenter entre 25 à 30 000 tonnes sous l'effet de l'augmentation de la population.

Les importations de viandes rouges ovines et caprines devraient rester quasi nulles, bien que la part de l'orge importée pour la production de ces viandes devrait croître, puisque la consommation de viandes rouges devrait augmenter avec la population, d'autant plus si l'évolution de la diète nationale s'oriente vers une consommation croissante de protéines animales.

La demande alimentaire croissante en produits de la pêche devrait être satisfaite par la production nationale elle aussi croissante et les importations ne devraient pas varier de manière significative. Au contraire, la Tunisie pourrait exporter beaucoup plus de produits de la mer.

Le bilan établi par la FAO dans la prospective FOFA est plus optimiste pour les céréales dans la mesure où les trois scénarios projettent une augmentation de la production nationale de plus de 400 000 tonnes et une augmentation des importations de céréales de moins de 100 000 tonnes. A noter que ces scénarios envisagent une diminution des quantités destinées à l'alimentation animale entre moins 150 et moins 300 000 tonnes. Ces derniers chiffres paraissent en contradiction avec la tendance actuelle à l'augmentation de la consommation de viandes blanches et rouges constatées dans les dernières décennies.

BILANS ALIMENTAIRES 2012-2050		DISPONIBLE				UTILISATION					
Scénario	VOLUME x 1000 tonnes Produit / Année	PRODUCTION NATIONALE		COMMERCE NET		ALIMENTATION HUMAINE		ALIMENTATION ANIMALE		AUTRES USAGES	
		2012	2050	2012	2050	2012	2050	2012	2050	2012	2050
Business As Usual	Céréales	1991	2419	-1896	-1913	2273	2871	1106	943	509	518
	Huile d'olive	183	262	144	205	34	53	0	0	4	4
	Viande ovine et caprine	58	105	-1	23	59	81	0	0	1	1
Société Stratifiée	Céréales	1991	2470	-1896	-1819	2273	2964	1106	800	509	525
	Huile d'olive	183	320	144	260	34	55	0	0	4	4
	Viande ovine et caprine	58	97	-1	1	59	95	0	0	1	1
Vers la durabilité	Céréales	1991	2413	-1896	-1567	2273	2701	1106	896	509	383
	Huile d'olive	183	294	144	236	34	54	0	0	4	4
	Viande ovine et caprine	58	93	-1	30	59	62	0	0	1	1

Tableau 27 Bilan alimentaire comparés 2012-2050 selon trois scénarios (FAO, FOFA)

Pour l'huile d'olive, des projections indiquent une augmentation sensible de la production nationale entre 80 et 140 000 tonnes en lien avec une forte augmentation de la consommation humaine passant de 34 à plus de 50 000 tonnes, ce qui contredit la tendance observée.

Enfin, ces projections indiquent une forte augmentation de la production et de la consommation des viandes ovines et caprines et envisagent le développement d'une exportation de ces produits dans deux des trois scénarios.

Les projections réalisées par IFPRI donnent une image plus pessimiste pour les céréales, avec un doublement des importations qui pourraient atteindre plus de 5 millions de tonnes en 2050, ce qui signifie une facture alimentaire de l'ordre de trois milliards de dinars (un milliard d'EUR).

Pour les viandes en général, la Tunisie dégagerait une capacité exportatrice de l'ordre de 100 000 tonnes.

Produits	2010	2050	
		Sans CC	Avec CC
Céréales	-2,6	-4,8	-5,5
Viande	0,0	0,1	0,1
Fruits & légumes	0,1	5,9	2,4
Oléagineux	0,0	-0,1	-0,1
Légumineuses	0,0	0,0	-0,1
Racines et tubercules	-0,1	-0,1	-0,1

Tableau 28 : Commerce net des produits alimentaires en Millions de tonnes (IFPRI)

Pour les oléagineux et les légumineuses), les importations passeraient de zéro à 100 000 tonnes et pour les tubercules, les importations se maintiendraient inchangées autour de 100 000 tonnes.

Enfin, le secteur des fruits et légumes augmenterait significativement sa capacité exportatrice avec 2,4 millions de tonnes. En d'autres termes, les exportations fruitières pourraient financer le déficit croissant du bilan céréalier.

3.2 Impacts sur l'accès aux aliments

L'accès économique à l'alimentation dépend des prix (mondiaux et locaux) et des revenus : la majorité des études s'accordent sur une tendance à l'augmentation des prix mondiaux en particulier pour les céréales sous l'effet combiné du changement climatique et de l'accroissement de la demande de céréales pour des utilisations non alimentaires. L'augmentation des prix mondiaux aura un impact sur les possibilités d'importation.

3.2.1 Perspectives d'évolution des prix alimentaires

Selon un rapport de l'Académie des Sciences, « les évolutions climatiques envisagées à l'horizon 2050, bien qu'elles aggraveront les déficits régionaux, n'affecteront vraisemblablement que faiblement la disponibilité alimentaire à l'échelle mondiale. En effet, si, d'ici 2100, le changement climatique réduirait de 110 millions d'hectares les espaces cultivables dans les pays du sud, principalement par aridification, il en ferait en même temps gagner 160 millions dans les pays du Nord, par remontée de la zone du permafrost, c'est-à-dire un gain net de 3 % de la surface cultivée actuelle (Académie des Sciences, 2011, p 26). Par ailleurs, si l'on considère l'évolution des prix sur une longue période, force est de constater que les événements récents n'ont pas pour l'instant modifié la tendance de fond des prix des produits alimentaires. Cette tendance est une tendance à la baisse plutôt qu'à la hausse si l'on considère les prix alimentaires réels, c'est-à-dire corrigés de l'inflation, qui sont les seuls indicateurs pertinents (Académie des Sciences, 2011, p 174). Une amélioration de la sécurité alimentaire passera par des politiques commerciales agricoles assurant une plus grande fluidité aux marchés internationaux (Académie des Sciences, 2011, p 176) ».

Selon le rapport du GIEC (2019), la baisse de la disponibilité des aliments causée par le changement climatique est susceptible d'entraîner une augmentation du coût des aliments affectant les consommateurs à travers le monde par des prix plus élevés et un pouvoir d'achat réduit, les consommateurs à faible revenu étant particulièrement menacés par la hausse des prix des denrées alimentaires. Les modèles économiques mondiaux (testés dans ce cadre) prévoient une hausse du prix des céréales qui pourrait atteindre 30% en 2050, en raison du changement climatique (RCP 6.0). Les aliments d'origine animale devraient également voir leurs prix augmenter d'environ 15%, impactés indirectement par le coût et la disponibilité des aliments consommés par les animaux.

Selon la FAO, « la plupart des projections indiquent des augmentations futures des prix des denrées alimentaires qui seront tirées par la croissance démographique et la hausse des revenus, autant que par les effets négatifs du changement climatique sur l'offre de ces produits. Pour un scénario optimiste de faible croissance démographique et de revenu élevé et en utilisant les résultats moyens de quatre scénarios climatiques, les augmentations de prix moyennes projetées en 2050 seront de 87 % pour le maïs, 31 % pour le riz et 44 % pour le blé par rapport aux niveaux de 2010 (FAO 2016, p 21-22) ».

Selon les « Projections sur l'alimentation et l'agriculture à l'horizon 2050 » de la FAO, les prix moyens aux producteurs de produits alimentaires sont appelés à augmenter également sous l'effet du changement climatique. Entre 2012 et 2050, ces prix pourraient augmenter de 12% à 34% selon le scénario considéré.

Pour la Tunisie, les projections de la FAO, concernant l'évolution des prix à la production, indiquent une augmentation de ces prix à l'horizon 2050 qui varie entre 5% et 25% selon le scénario envisagé.

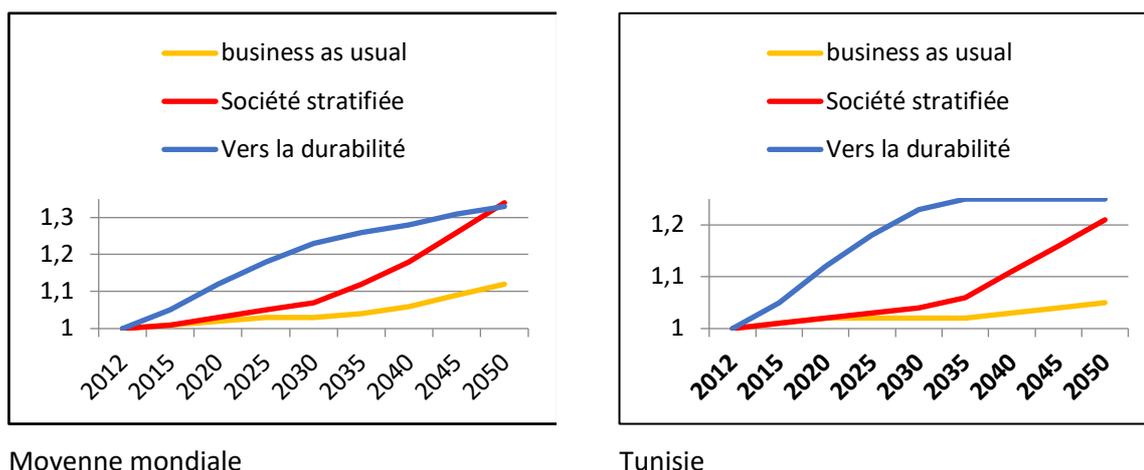


Figure 58 : Indice de prix à la production selon les différents scénarios

L'évolution des prix aux consommateurs dépendra de plusieurs facteurs. D'une part, la répercussion des prix mondiaux sur les prix locaux dépendra du volume d'importation des produits importés, mais aussi d'autres facteurs tel que le taux de change et la politique de subvention alimentaire. D'autre part puisque le changement climatique se traduirait par une baisse de l'offre locale on peut s'attendre à une tendance à l'augmentation des prix aux consommateurs, bien que l'effet final dépendra de l'évolution de la demande et donc du régime alimentaire.

3.2.2 Perspectives d'évolution de la pauvreté

Au niveau national, l'évolution du revenu peut être approchée au travers du PIB par habitant et par an. Pour la Tunisie, les projections de la FAO prévoient une croissance annuelle moyenne de cet indicateur entre 2012 et 2050 qui varient de 2,9% pour le scénario tendanciel (BAU) à 3,5% pour le scénario de « société stratifiée ».

Scénario	2012	2030	2040	2050	Taux de croissance annuel (2012-2050)
BAU	4 122	7 969	10.423	12.478	2,9%
Vers la durabilité	4 122	8.105	10.388	11.749	2,7%
Société stratifiée	4 122	8.603	12.381	16.061	3,5%

Tableau 29 : Évolution du PIB de la Tunisie en USD per capita

Si les projections de la FAO indiquent une croissance du PIB per capita, cela ne signifie pas nécessairement une amélioration du pouvoir d'achat pour tous les Tunisiens. En effet, si la croissance du PIB s'accompagne d'une augmentation des inégalités de revenus, alors le pouvoir d'achat des plus modestes connaîtrait une hausse moins forte, une stagnation ou une diminution.

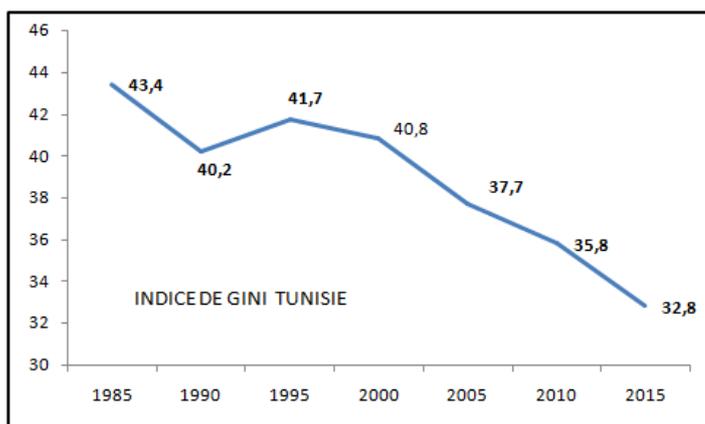


Figure 59 : Évolution de l'indice de Gini pour la Tunisie (INS)

Les chiffres officiels de la Tunisie montrent que les revenus sont de mieux en mieux distribués et que les inégalités régressent depuis au moins 20 ans. L'évolution future de cet indicateur dépendra dans une large mesure des politiques publiques, notamment fiscales – plus ou moins forte pression sur les hauts et les bas revenus ; plus ou moins de subventions pour les producteurs et les consommateurs. L'IFPRI montre dans ses projections à 2050, que le nombre de très pauvres en risque de faim resterait stable en Tunisie autour de 300 000 personnes à 2050. Mais il doit être clair qu'une croissance des inégalités aura des conséquences négatives sur l'alimentation des plus pauvres, consommateurs nets d'aliments, à la fois en quantité et en qualité (moins de protéines d'origine animale).

Concernant l'évolution des revenus des producteurs agricoles, difficile à prévoir compte tenu de leur sensibilité aux prix sur les marchés, on peut avancer deux hypothèses : l'une tendancielle à la baisse, décrite lors de nos entretiens avec des producteurs, qui combine une augmentation des coûts des intrants ainsi que des pertes dues aux phénomènes climatiques qui ne sont pas compensées par des prix rémunérateurs qui dessine une trajectoire de décapitalisation. L'autre, souhaitable, avec des coûts maîtrisés, une plus grande résilience aux aléas climatiques, une amélioration de la productivité de la terre et du travail et des prix permettant d'innover et d'investir dans l'appareil de production et les connaissances.

De manière spécifique, les revenus des femmes, représentent près de 23% de la population active agricole totale (INS 2015), et fournissent 38% des journées de travail saisonnier (MARHP, 2005) sont plus vulnérables aux changements climatiques.

La baisse des ressources hydraulique, notamment au centre et au sud, largement dépendante des nappes, souvent déjà surexploitées pourrait nettement diminuer l'emploi salarié de très nombreuses femmes rurales qui travaillent dans les champs de fruitiers, légumes, olivier, et donc faire baisser leurs revenus et in fine affecterait négativement l'accès des femmes et des enfants à une alimentation suffisante et de qualité.

Les femmes sont également soumises à l'inégalité persistante dans l'accès à terre, entre autres du fait des règles d'héritage. Selon les données de l'Enquête Structure (2004-2005), les femmes cheffe d'exploitation ne représentent que 6,4 % de l'effectif et ne gèrent que 4 % des superficies agricoles totales. Cette situation pénalise de fait les femmes dans le domaine productif et en particulier dans celui de la production alimentaire.

3.3 Impacts sur l'utilisation des aliments

Le facteur principal déterminant l'augmentation de la demande alimentaire correspond à la dynamique démographique nationale. La demande en eau est également un facteur central du fait de son statut de premier aliment en quantité et dont la qualité joue un rôle clé dans l'utilisation biologique des autres aliments.

Selon l'OMS (2014) et le GIEC (2019), le changement climatique devrait augmenter les maladies diarrhéiques, affectant principalement les populations à faible revenu et réduire à la fois les dépenses de santé et la qualité nutritionnelle des produits agricoles lorsqu'il sont soumis à des températures et des précipitations extrêmes (baisse des concentrations en vitamines ou en oligo-éléments).

Par ailleurs, la salubrité des aliments stockés et transportés est affectée par la prolifération d'organismes contaminants en raison de hautes températures mais aussi de forte humidité, caractéristiques de l'augmentation de l'intensité des événements météorologiques extrêmes.

Enfin l'évolution des modèles de consommation alimentaire aura un impact sur la santé et la sécurité alimentaire selon que l'évolution de l'origine interne ou externe des des approvisionnements.

3.3.1 Évolution de la population

Pour la Tunisie, selon les projections de l'ONU, et si l'on retient l'hypothèse moyenne, la population atteindrait 13,8 millions en 2050 pour se stabiliser en 2100 autour de 13 millions d'habitants. Ainsi, d'ici 2100, la population tunisienne s'accroîtrait de 1,2 millions, soit de 10%.

Les projections hautes situent cette augmentation à 7 millions d'habitants de plus en 2100, soit une augmentation de l'ordre de 60% par rapport à 2020. A l'inverse, l'hypothèse basse verrait la population revenir à 8,6 millions d'habitants en 2100 soit 27% de moins qu'en 2020.

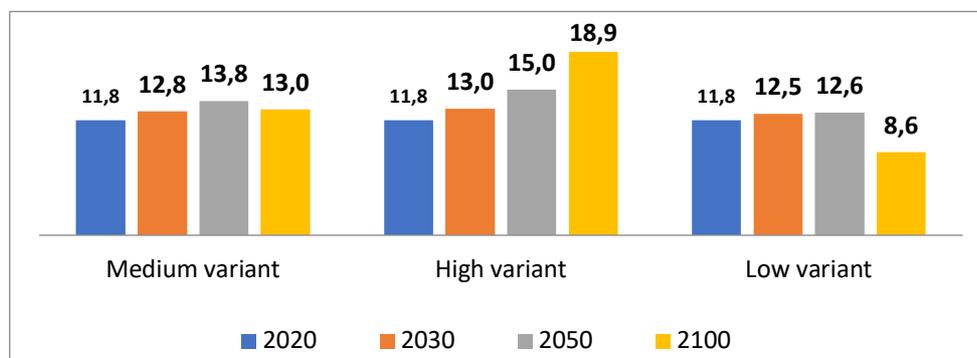


Figure 60: Projection de la population tunisienne (en million)

Ainsi, les politiques publiques de natalité, de santé, d'éducation et d'égalité homme-femme, compte tenu du fait que la place des femmes dans la société joue un rôle déterminant dans la croissance démographique, constituent de puissants leviers sur la sécurité alimentaire.

La probable augmentation de la population tunisienne (hypothèse moyenne) nécessitera donc une augmentation de la disponibilité alimentaire qui pourrait être assurée à la fois par la production nationale, elle-même dépendante des ressources en eau, et le recours aux importations alimentaires, donc à l'eau virtuelle. Au-delà, c'est aussi l'évolution des régimes alimentaires qui déterminera les composantes de cette disponibilité, notamment la part des céréales et des protéines d'origine animale dans la consommation alimentaire des Tunisiens.

Nous examinerons dans un premier temps, l'évolution du bilan hydrique des ressources en eau.

3.3.2 Évolution de la demande en eau bleue et du bilan hydrique

La demande en eau bleue a été estimée à 3,1 milliards de m³ en 2018. Elle est satisfaite par une exploitation intensive des eaux souterraines s'élevant à plus de 123% des ressources totales. Pour les eaux de surface, la satisfaction de la demande n'est pas toujours assurée pendant les périodes de sécheresse. La réduction de l'approvisionnement est une opération courante et le rationnement de l'eau pour le secteur agricole est de plus en plus fréquent. Au cours de la troisième année de sécheresse 2015/2018, le quota alloué aux périmètres publics irrigués a été réduit à 27% par rapport à l'approvisionnement habituel²⁷.

En 2018, trois quarts des ressources exploitées sont consommées par le secteur agricole pour l'irrigation de 406 540 ha, soit un volume de 2,4 milliards de m³, dont 84% provient des eaux souterraines et seulement 16% des eaux des barrages. La consommation moyenne par hectare est de l'ordre de 6000 m³/ha/an.

L'analyse comparée des bilans hydriques des eaux bleues mobilisables projetés dans différentes études permet de visualiser les ordres de grandeur des évolutions attendues.

Horizons temporels / Etudes		2018 MARHP	2050			2100
			ITES	STUDI ***	PNA RCP 8.5	PNA RCP 8.5
Demande en eau en millions de m ³	Eau agricole	2440	2000*	3063	3204	3342
	Eau potable	663	1300**	913	913	913
	Demande totale	3103	3300	3976	4117	4255
Ressources en eau en millions de m ³	Eaux conventionnelles	4508	4508	3101	2912	1689
	Non conventionnelles	66		626	66	66
	Economies d'eau			867		
	Ressources totales	4574	4508	4594	2978	1755
Bilan Demande/ ressources mm³		1471	1208	618	-1139	-2500
Taux de couverture de la demande		147%	137%	116%	72%	41%

* ITES -Eau 2050 **MARHP stratégie Eau 2030 *** Rapport Eau 2050 Étape 3 vol2, STUDI.

Tableau 30 : Les bilans hydriques en eau bleue comparés entre 2018, 2050 et 2100 pour différents scénarios

Les prévisions déjà publiées à l'horizon 2050 (ITES) se basent sur l'hypothèse d'une baisse maîtrisée de la demande en eau agricole et sur une augmentation sensible de la demande en eau potable tous secteurs confondus (domestique, industriel, touristique) selon le MARHP dans la stratégie EAU2030, mais ne tient pas compte les effets du CC sur les ressources comme sur la demande.

Les données produites par STUDI-GKW dans le cadre de l'étude sur l'eau à l'horizon 2050²⁸ » pour le scénario « Eau et Développement », projettent une croissance significative de la demande en eau agricole (+600 millions de M3 par rapport à 2018), mais une croissance plus modeste de la demande en eau potable (domestique, industrielle et touristique) qui atteindrait 913 millions de M3 en 2050

²⁷ Source : Rapport national du secteur de l'eau - MARHP-2018

²⁸ "Élaboration de la vision et de la stratégie du secteur de l'eau à l'horizon 2050 pour la Tunisie Eau 2050 » Rapport de l'étape 3 Volume 2 : Modèles Prévisionnels Offre-Demande (Bilans) – version provisoire, pages 18 et 19, STUDI-GKW, 2020.

soit 30% de moins que ce que le MARHP avait projeté dans sa stratégie EAU2030. Les ressources conventionnelles, qui sont estimées autour de 3,1 milliards de M3 sont complétées par :

- des ressources non conventionnelles mobilisables incluant REUT et dessalement, soit 626 millions de M3, ce qui représente dix les volumes actuels réutilisés et dessalés
- des économies d'eau de l'ordre de 900 millions de M3 dont un tiers sur les réseaux de distribution de l'eau potable et agricole et deux tiers dans l'entretien des réservoirs et le développement d'une stratégie proactive de conservation des eaux et des sols visant à augmenter la collecte de l'eau.

Les hypothèses ainsi retenues, permettent de montrer un bilan potentiellement excédentaire de 16% en 2050 sous réserve que soient assurés les investissements pour mobiliser les ressources non conventionnelles, éviter les pertes d'eau dans les réseaux et améliorer la collecte des eaux pluviales.

Les hypothèses retenues dans la présente étude tiennent compte des calculs de STUDI-GKW sur les ressources et la demande en eau agricole et eau potable.

Concernant la demande en eau agricole, et sans extension des surfaces irriguées, les données STUDI-GKW ont été corrigées pour prendre en compte la hausse de l'évapotranspiration, qui augmente, la demande de l'ordre de 4.6 % en 2050 et 9.1% en 2100 pour atteindre un volume compris entre 3,2 et 3,4 milliards de m3 selon les horizons. Concernant la demande en eau potable, la donnée STUDI-GKW a été reprise, soit 913 millions de m3. La demande totale en 2050 ressort à 4,1 milliards de m3, soit 4% de plus que dans l'estimation du rapport Eau 2050.

Les ressources conventionnelles mobilisables (eaux bleues) pourraient diminuer de 35% en 2050 et de 63% en 2100 par rapport aux observations de 2018. L'estimation pour l'horizon 2050 est très proche (- 6%) de celle proposée par STUDI-GKW. Les ressources non conventionnelles actuelles (EUT +27Mm3, Dessalement +39Mm3) ont été ajoutées au bilan²⁹.

Sous l'effet des changements climatiques, le bilan hydrique des eaux bleues deviendrait donc négatif pour la première fois avec une couverture des besoins par les ressources de 72% en 2050 et 41% en 2100. Le recours aux eaux non conventionnelles (eaux usées traitées et dessalement) et à l'importation d'eaux virtuelles sous forme de produits agricoles essentiellement pourrait donc augmenter sensiblement et ce d'autant plus si le déclin de l'agriculture pluviale se poursuit. Ainsi, l'importation nette d'eau virtuelle – estimée en 2013 à 4,7 milliards de m3³⁰, est en train de dépasser sensiblement le volume des ressources nationales.

Malgré l'augmentation des besoins en eau des cultures et du fait de la réduction des ressources renouvelables (barrages et nappes), le secteur irrigué risque donc de connaître un rationnement de plus en plus important notamment pendant les périodes de sécheresse aigüe, compte tenu de la priorité aux usages non agricoles de l'eau. La surexploitation des nappes souterraines risque d'être plus intense et pourrait dépasser 160% du total des ressources en 2050 et plus encore en 2100, voir beaucoup plus pour certaines nappes.

²⁹ "Élaboration de la vision et de la stratégie du secteur de l'eau à l'horizon 2050 pour la Tunisie Eau 2050 » Rapport de l'étape 3 Volume 2 : Modèles Prévisionnels Offre-Demande (Bilans) – version provisoire, pages 179, STUDI-GKW, 2020

³⁰ Idem, page 191, STUDI-GKW, 2020. Les exportations sont estimées à 1,4 milliards de m3 et les importations à 6,1 milliards de m3 soit un bilan net importateur de 4,7.

3.3.3 Évolution de la consommation et transition alimentaire

Les conséquences de l'accroissement démographique sont accentuées par l'évolution des régimes alimentaires induite par le développement économique et la forte urbanisation. Selon l'étude du CEPII à l'horizon 2050, la demande alimentaire mondiale, exprimée en Kcalories augmenterait de 46 %, tandis que celle des féculents et des autres aliments ne serait, respectivement, que de 18 % et 26 %. L'augmentation la plus rapide concernerait la demande en produits d'origine animale qui doublerait (+95 %) sur l'ensemble de la période, en graisses (+85 %) et en produits sucrants (+63 %).

Dans la région du Maghreb, les régimes alimentaires combinent une transition nutritionnelle marquée par l'éloignement de la diète méditerranéenne avec moins de céréales et de protéines végétales et plus de protéines animales, d'huile de graines et de sucres dans les repas (INRA 2015).

Pour la Tunisie, la prospective Agrimonde Terra (2015) ébauche cinq scénarios d'évolution des régimes alimentaires.

Scénario	Caractéristiques
1. Alimentation homogène et mondialisée	<ul style="list-style-type: none"> - Convergence avec les autres pays du monde : la farine de blé tendre supplante totalement le blé dur, on consomme moins de couscous et plus de pâtisseries et de pâtes - Convergence au sein des régions tunisiennes : la consommation de poulet continue à se diffuser sur l'ensemble du territoire. - La diète est de moins en moins liée aux denrées produites localement.
2. Alimentation mondialisée et carnée	<p>On retrouve les grandes caractéristiques du scénario 1 avec une :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Augmentation significative des produits d'origine animale, en particulier la viande blanche, les produits laitiers et les poissons d'élevage - Il s'agit d'un scénario tendanciel
3. Sursaut sanitaire	<ul style="list-style-type: none"> - Retour vers des aliments traditionnels et intéressants d'un point de vue nutritionnel, comme la viande de camélidé, l'huile d'olive, les légumineuses (pois, fèves, lentilles) ou les céréales secondaires. - Les produits de niche, dans un premier temps réservés à l'export, se répandent ensuite sur la table des Tunisiens. <p>Scénario de rupture, qui n'en reste pas moins possible et souhaitable</p>
4. Régionalisation de l'alimentation	<ul style="list-style-type: none"> - Les régimes alimentaires retrouvent leur diversité régionale, par exemple l'alimentation à base de blé dur et de viande dans le centre du pays, et où la datte est centrale dans le sud. - Les semences et les races locales sont exploitées et valorisées par des produits labellisés « faits en Tunisie » ou par des indications géographiques protégées <p>Scénario de rupture, peu probable à l'heure actuelle bien que souhaitable.</p>
5. Retour à l'alimentation traditionnelle des urbains et urbanisation de la diète des ruraux	<ul style="list-style-type: none"> - Les urbains reviennent à une alimentation plus naturelle et plus traditionnelle. Ils suivent donc le chemin emprunté dans le scénario 3 « Sursaut sanitaire ». - Les ruraux souhaitent avoir accès à de la nourriture fortement carnée et transformée, suivant ainsi le scénario 1 « Une alimentation homogène et mondialisée ».

Comme l'illustrent les scénarios AGRIMONDE, les trajectoires d'évolution dépendent des politiques publiques mises en œuvre qui conduisent à des scénarios futurs contrastés :

- La poursuite des tendances des 30 dernières années, avec une alimentation homogène et mondialisée, entraînant une dépendance croissante aux marchés mondiaux (S1 et S2)
- Une rupture à la mesure des enjeux, avec la régionalisation de l'alimentation, fondée sur une reconnexion aux territoires et aux traditions de la diète méditerranéenne (S3 et S4)

La FAO dans sa prospective pour l'agriculture et de l'alimentation à l'horizon 2050³¹, propose trois scénarios d'évolution au niveau mondial³², avec une déclinaison à l'échelle de chaque pays, dont la Tunisie :

- La poursuite des tendances actuelles (Business As Usual)
- Le renforcement des inégalités malgré une croissance soutenue du PIB aboutissant à une société plus inégalitaire dite « stratifiée »
- La recherche de la durabilité environnementale, sociale et économique.

Scénarios / Critères socio-économiques et climatiques	Maintien des tendances actuelles BAU	Vers la durabilité TSS	Société plus stratifiée SSS
Croissance économique	Modérée	Modérée	Forte
Inégalités de revenus	Croissante	En recul	Croissante
Consommation de protéines animales	Croissante	En recul	Croissante
Consommation de fruits et légumes	Faible croissance	Forte croissance	Faible croissance
Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)	Croissante	En recul	Croissante
Investissement dans la durabilité des systèmes alimentaires et agricoles	Faible	Très forte	Nulle
Évolution du climat (RCP)	RCP6.0 ou 8.5	RCP 4.5 ou 2.6	RCP8.5

Tableau 31: Hypothèses d'évolution des principaux critères dans les scénarios FAO – FOFA (2018)

Les trois scénarios partagent les mêmes projections démographiques pour faciliter les comparaisons et souligner l'interaction entre la croissance économique, l'égalité et la disponibilité de ressources naturelles. Ces projections montrent que la population résidant en milieu urbain continuera d'augmenter. Les besoins alimentaires différents des jeunes et des personnes âgées, ainsi que les différentes habitudes de consommation des populations urbaines et rurales, vont avoir une incidence sur la demande et la qualité de différents articles alimentaires et sur les besoins minimums d'énergie alimentaire, qui sont liés au type de travail et d'environnement de vie. Ainsi, la dynamique démographique déterminera de façon cruciale la demande alimentaire, ainsi que la main-d'œuvre disponible à l'avenir.

Chaque scénario présente des défis particuliers pour la disponibilité d'aliments, la stabilité de l'accès et l'utilisation, ainsi que pour atteindre des cibles de nutrition et la durabilité environnementale des systèmes alimentaires et agricoles. D'autre part, chaque scénario utilise différents modèles climatiques.

Comme dans le cas de l'évolution démographique, la Tunisie dispose dans ce domaine, de puissants leviers sur sa sécurité alimentaire au moyen de politiques publiques de santé, d'éducation nutritionnelle pour les garçons comme les filles et d'égalité homme-femme, afin d'influer sur l'évolution des modes de consommation et inciter les tunisiens vers une transition en rupture avec les tendances actuelles.

³¹ L'avenir de l'alimentation et de l'agriculture (FOFA) <http://www.fao.org/publications/fofa/fr/>

³² Ces scénarios ont été élaborés avec des modèles économétriques : d'une part, un modèle d'équilibre partiel, le Système mondial des perspectives agricoles de la FAO (Global Agriculture Perspectives System- GAPS), et d'autre part, un modèle d'équilibre général tenant compte de l'impact environnemental et la durabilité (Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium- ENVISAGE). Ces modèles offrent un cadre cohérent permettant la construction de scénarios d'évolution en veillant au maintien de certains équilibres physiques et économiques.

3.3.4 Couverture des besoins alimentaires futurs

Pour évaluer les évolutions dans la couverture des besoins alimentaires, nous nous sommes appuyés sur les prévisions de la FAO présentées dans l'exercice de prospective FOFA.

Indicateurs	2012	2050		
		BAU	Durabilité	Stratifiée
Consommation énergétique journalière (kcal x capita x jour)	3234	3443	3399	3328
Disponibilité en protéines journalière (grammes x capita x jour)	95	103	96	109
Nombre de personnes sous-alimentés (x 1000)	578	344	477	357
Proportion de personnes sous-alimentées (%)	5,3%	2,6%	3,5%	2,6%

Tableau 32 Évolution des principaux indicateurs alimentaires selon les trois scénarios FOFA 2018

Sachant que le seuil de la sous-alimentation se situe autour de 1800 kcal par personne et par jour et que les besoins énergétiques d'un adulte se situent autour de 2400 kcal x personne x jour, la consommation énergétique journalière en Tunisie qui dépasse les 3200 kcal par jour met en évidence une couverture complète des besoins et au-delà, une consommation excessive pour un part majoritaire de la population. C'est l'un des facteurs qui explique la forte prévalence du surpoids et la croissance de l'obésité dans la population tunisienne. L'évolution tracée par la FAO pour 2050 renforce cette tendance avec une augmentation de l'ordre de 5%. La disponibilité en protéines (végétales et animales) tendrait également à augmenter de l'ordre de 8% (moyenne des trois scénarios) pour se situer autour de 103 grammes par jour et par personne. Enfin, selon ses estimations, le nombre de personnes sous alimentées pourrait diminuer d'un tiers en 2050 soit autour de 3% de la population.

Ces estimations sont basées sur deux hypothèses principales :

- Le maintien d'une croissance soutenue de la production agricole nationale grâce à l'incorporation de nouveaux progrès techniques, qui neutralisent les impacts négatifs du changement climatique.
- Le maintien d'une capacité de financement des importations alimentaires, notamment celles qui résultent de l'augmentation de la population. Cette capacité de financement en devises, pouvant provenir comme nous l'avons vu précédemment du secteur agricole lui-même (huile d'olive, fruits et légumes, viandes) et d'autres secteurs générant des revenus en devises (tourisme, industrie, services).

Mais dans le cas où les progrès techniques ne seraient pas suffisants et où d'autres facteurs essentiels comme la dégradation des sols viendraient à s'accélérer, l'équilibre de la balance alimentaire pourrait être bien plus difficile à atteindre si la production nationale baisse alors que la demande alimentaire augmente du fait de la démographie. De fait, la dépendance structurelle aux importations de céréales (blé tendre, orge, maïs) et soja suit une tendance croissante depuis plusieurs décennies.

Au final, le bilan alimentaire doit aussi être nuancées en tenant compte de l'évolution des habitudes de consommation de la population.

	Scénario tendanciel	Scénario de rupture
Produits agricoles et de la pêche	Alimentation homogène et mondialisée, entraînant une dépendance croissante aux marchés mondiaux	Régionalisation de l'alimentation, fondée sur une reconnexion aux territoires et aux traditions de la diète méditerranéenne
Céréales	Moindre consommation directe Forte augmentation des importations pour assurer alimentation carnée	Stabilité ou croissance de la consommation directe Moindre augmentation des importations pour alimentation animale et reconnexion progressive aux territoires
Huile d'olive	Moindre consommation directe Forte augmentation des importations d'huiles de graine pour protéger le potentiel exportateur	Stabilité ou croissance de la consommation directe Moindre augmentation des importations d'huiles de graine
Viandes rouges	Augmentation de la consommation Forte augmentation des importations de produits carnés et laitiers	Stabilité ou baisse de la consommation Moindre augmentation des importations de produits carnés et laitiers
Pêche	Augmentation forte des captures et des exportations	Substitution partielle de la viande par le poisson ou les aliments à base de poisson dans la diète des tunisiens.

Tableau 33 Effets des scénarios d'évolution des modèles de consommation alimentaire sur la sensibilité au CC

L'évolution de la diète alimentaire pourrait donc avoir des effets d'amplification des conséquences du changement climatique comme des effets d'amortissement. Avec une alimentation mondialisée, les importations alimentaires augmenteront fortement, alors que dans le retour à la diète méditerranéenne connectée aux territoires, la dépendance aux marchés mondiaux pourrait être sensiblement moins forte.

3.4 Impacts sur la stabilité alimentaire

3.4.1 Stabilité de la production nationale : impact des événements extrêmes

Il existe de nombreuses incertitudes sur la variabilité future du climat, mais son accroissement, notamment la fréquence des événements extrêmes, affecte négativement la stabilité de l'approvisionnement alimentaire, ainsi que l'accès et l'utilisation des aliments.

Pour la Tunisie, on observe de grandes fluctuations inter annuelles de la production agricole (céréales, huile en particulier) en fonction des aléas climatiques. Ces fluctuations 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 est aussi impactée par une forte dépendance de la Tunisie aux importations alimentaires et de la tendance à l'augmentation des prix et leur volatilité qui caractérisent les marchés mondiaux des produits agricoles.

3.4.2 Instabilité des marchés mondiaux

S'appuyant sur les projections du GIEC, Tigchelaar et al. (2018) ont montré une instabilité croissante du commerce mondial et des prix internationaux des céréales, affectant en particulier les personnes vivant dans l'extrême pauvreté qui sont les plus vulnérables aux flambées des prix des denrées alimentaires.

Une plus grande volatilité des prix peut perturber l'approvisionnement alimentaire en créant des pics de prix alimentaires. Cette volatilité pourrait être exacerbée par l'interconnexion du système alimentaire avec d'autres secteurs (l'eau, l'énergie, le transport) de sorte que le l'impact des chocs peut se propager à travers ces secteurs et entre zones géographiques. Il y aura aussi moins de terres disponibles dans les régions arides que par le passé, de sorte qu'en cas de flambée des prix, il y a moins d'options pour la production. La volatilité des marchés peut être aussi amplifiée par la mise en place de barrières commerciales et non commerciales aux exportations de la part de pays cherchant à assurer leur autosuffisance alimentaire. En outre, la perception des problèmes peut alimenter les achats de panique sur les marchés qui, à leur tour, font monter les prix.

En résumé, étant donné la probabilité que les conditions météorologiques extrêmes augmentent, à la fois en fréquence et en ampleur, et les synergies intersectorielles, le système alimentaire court un risque croissant de perturbation avec des incertitudes quant à la manière dont cela pourrait se manifester.

3.4.3 Perception des impacts socio-économiques à la suite d'évènements climatiques extrêmes

Pratiquement tous les producteurs interrogés dans le cadre de l'enquête de perception considèrent que les évènements climatiques extrêmes ont des impacts socio-économiques sur leurs activités et leurs territoires en lien avec la sécheresse pour les trois quarts des réponses, mais aussi les vagues de chaleur et canicules ainsi que les vents violents pour près de la moitié des producteurs.

Les premiers affectés sont les producteurs eux-mêmes (95% des réponses), mais aussi les employés et salariés notamment les femmes (37% des réponses). Les artisans et commerçants sont également mentionnés comme groupe social affecté.

Pour les agriculteurs et les éleveurs, les impacts principaux sont la baisse des rendements et parfois la perte totale de la récolte, la baisse de la qualité des produits ce qui induit une augmentation des coûts de production (retravailler le sol pour semer de nouveau, s'endetter pour faire face, augmenter la part des aliments importés pour les troupeaux) et un recours plus difficile à la main d'œuvre salariée.

Pour les pêcheurs, les impacts concernent la destruction de leurs installations fixes, la baisse du rendement horaire des captures, la modification de la nature des captures, avec une moindre valeur commerciale des espèces capturées et la diminution du nombre de jours en mer conséquence principale des vents violents.

Parmi les causes identifiées, deux tiers des producteurs mentionnent la forte exposition de leurs activités productives aux évènements extrêmes, et la moitié considèrent qu'ils sont faiblement protégés. Ainsi, deux tiers des producteurs identifient la faible couverture des assurances comme facteur défavorable. Enfin, 8 producteurs sur 10 estiment manquer de moyens financiers et mentionnent des prix trop faibles de leurs produits sur les marchés, le grand nombre d'intermédiaires dans les filières commerciales ainsi que les difficultés d'accès aux financements et aux crédits, parfois faute de reconnaissance de leurs droits de propriété sur la terre.

Certains éleveurs mentionnent également le mauvais fonctionnement des mécanismes de subvention, notamment pour l'orge et le son, ainsi que des problèmes de corruption dans ce domaine.

De nombreux facteurs non climatiques aggravent les impacts des évènements extrêmes. Les producteurs interrogés mentionnent en premier lieu la difficulté à recruter des salariés, notamment des hommes et leur coût.

Les agriculteurs se plaignent de semences peu résistantes au manque d'eau notamment celles d'origine étrangère, mais aussi de l'insuffisance des moyens de lutte contre la propagation de maladies et de ravageurs et la faible protection des produits récoltés. Certains pointent le manque de diversification et l'inadaptation des systèmes de production agricole ainsi que leur formation insuffisante.

L'abandon de la pratique de la jachère, la faible couverture des sols, un travail inapproprié de la terre tendent à augmenter l'érosion et à faire baisser les réserves utiles en eau dans les sols.

De plus, pour les irrigants, la surexploitation des nappes, notamment de manière illicite, le faible entretien des réseaux de distribution et le manque de matériels d'irrigation ainsi qu'une tarification considérée trop élevée, fragilise leur capacité à faire face aux aléas extrêmes, principalement la sécheresse.

Les éleveurs sur parcours, mentionnent de manière spécifique le recul de la pratique de la transhumance et le surpâturage, en partie conséquence d'une mauvaise gestion des droits fonciers en liant avec la déstructuration des pratiques ancestrales de gouvernance locale des ressources pastorales, notamment l'abandon de la figure du Majless.

Enfin, les producteurs mentionnent des questions liées à la dégradation de la sécurité dans les campagnes (délinquance rurale) ainsi que différents aspects liés aux politiques de publiques de développement agricole en particulier des prix trop faibles, des coûts d'intrants trop élevés, des filières peu ou mal organisées avec de nombreux intermédiaires notamment pour les viandes rouges.

4 Conclusions

Tous les piliers de la sécurité alimentaire de la Tunisie sont susceptibles d'être ébranlés par les impacts du changement climatique pour les scénarios RCP 4.5 et 8.5 tant à l'horizon 2050 que 2100. Ces impacts tendent à s'aggraver significativement pour les scénarios RCP8.5 et l'horizon 2100 par rapport à 2050, montrant ainsi une accélération des effets du changement climatique.

Le Centre et le Sud de la Tunisie, déjà situés en zone saharienne et aride présentent des risques accrus pour l'olivier, les céréales et les parcours avec divers degrés d'exposition : forte pour l'oléiculture en région centre Est et Ouest, plus faible pour les céréales dont les surfaces sont réduites dans ces régions. Le Nord de la Tunisie présente des risques accrus pour les céréales du fait de sa forte exposition. Concernant la pêche, bien que l'augmentation des températures de surface de la mer provoque des effets négatifs sur les espèces endémiques, elle favorise l'invasion accélérée d'espèces exotiques, avec des conséquences positives sur la productivité du milieu marin, si toutefois les phénomènes de pollution, de pêche illégale et de surexploitation ne s'aggravent pas dans les prochaines décennies.

Les questions centrales qui sont posées aux tunisiens concernent :

- La vitalité des producteurs, leur capacité à faire évoluer leurs systèmes de production et à tirer un revenu décent de leur travail. La tendance actuelle à la baisse des revenus, décrite lors de nos entretiens avec des producteurs, qui combine une augmentation des coûts des intrants ainsi que des pertes dues aux phénomènes climatiques qui ne sont pas compensées par des prix rémunérateurs se traduirait par la poursuite de la décapitalisation du secteur agricole.
- La place des femmes dans la société et en particulier dans le monde agricole, où elles souffrent plus qu'ailleurs d'un traitement inégalitaire et dont les capacités sont insuffisamment prises en compte.
- La place de l'eau, première ressource alimentaire, qui est de moins en moins abondante et de plus en plus menacée par l'activité humaine et d'une manière plus générale le rapport des citoyens avec la gouvernance des ressources naturelles dans leur environnement.

Le tableau suivant présente une synthèse de ces impacts pour le scénario RCP8.5 (tendance actuelle) et l'horizon 2100.

DISPONIBILITÉ	ACCÈS	UTILISATION	STABILITÉ
<p><u>Eau :</u> Forte baisse des ressources annuelles avec moins 59% affectant les réservoirs et les nappes.</p> <p><u>Céréales :</u> Chute d'un peu plus d'un tiers de la production nationale, affectant plus le blé tendre et l'orge que le blé dur.</p> <p><u>Huile d'olive :</u> Effondrement de la production de plus de deux tiers.</p> <p><u>Viandes ovines et caprines</u> Faible baisse inférieure à 10% de la production nationale.</p> <p><u>Produits de la mer</u> Augmentation sensible de la productivité des zones de pêche du fait des espèces invasives (à effort de pêche constant).</p>	<p><u>Prix (2050):</u> Hausse des prix à la production entre 5 et 25% pour 2050 La hausse des prix à la consommation dépend largement des prix sur les marchés mondiaux et des politiques publiques (taux de change, subvention) pour les produits importés. La crise COVID a contribué à une inflation plus forte et une augmentation de la pauvreté</p> <p><u>Revenus (2050)</u> Hausse du PIB per capita entre 2,9 et 3,5% par an vers 2050. Tendance à une légère réduction des inégalités et du nombre de personnes très pauvres depuis 20 ans. COVID = chute des revenus d'une part importante de la population. La diminution de l'offre d'emploi salarié affectera particulièrement les femmes rurales travaillant dans l'agriculture et celles pratiquant la pêche à pied.</p>	<p><u>Population :</u> Augmentation de 10% soit 1,2 millions (estimation moyenne)</p> <p><u>Demande en eau potable :</u> Augmentation de 38% Détérioration de la qualité de l'eau</p> <p><u>Régime alimentaire :</u> Homogène et mondialisé (tendance actuelle) ou reconnexion aux territoires et aux traditions méditerranéennes</p> <p><u>Couverture des besoins alimentaires (2050):</u> Augmente faiblement pour se situer au-dessus de 3200 Kcal par jour per capita. La crise COVID a un impact négatif sur la qualité de l'alimentation du fait de la chute des revenus.</p>	<p><u>Évènements climatiques extrêmes :</u> Sécheresses plus fréquentes et plus sévères, avec une augmentation de la vulnérabilité pour des évènements se produisant dans le pays et dans les régions d'origine des principales importations alimentaires de la Tunisie</p> <p><u>Marchés internationaux instables :</u> Vulnérabilité aux crises (politiques, sanitaire) et à la spéculation sur les marchés mondiaux de céréales et soja : Volatilité des prix augmente.</p> <p><u>Pénurie alimentaire :</u> Augmentation du risque provoqué une chute de la production nationale et par des achats de panique :</p>