



# Adapt'Action

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

## **Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire**

Avril 2021

**ANNEXES (version finale)**



LIVRABLE N°3/5  
DCP-2017-060 CZZ2152 – MS-2019-08



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**

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>3</b>
<b>LISTE DES CARTES, FIGURES, TABLEAUX ET ENCADRES .....</b>	<b>5</b>
<b>1 PROJECTIONS D'EVOLUTION DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES .....</b>	<b>11</b>
1.1 ÉVOLUTION DES ETAGES BIOCLIMATIQUES .....	11
1.2 ÉVOLUTION DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES .....	12
1.3 SYNTHÈSE DE L'ÉVOLUTION DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES .....	39
<b>2 ÉVALUATION QUALITATIVE DE LA VULNERABILITE ACTUELLE DE LA TUNISIE PAR LA METHODE DELPHI 40</b>	
2.1 METHODOLOGIE DETAILLEE.....	40
2.2 SCORES DE VULNERABILITE RESULTANT DE L'ENQUETE DELPHI .....	44
2.3 RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES EVALUATIONS DE L'ENQUETE DELPHI .....	51
2.3.1 <i>Analyse des évaluations n'ayant pas fait l'objet d'un consensus et leurs justifications</i> .....	51
2.3.2 <i>Analyse de sensibilité des conditions retenues pour atteindre le consensus</i> .....	58
2.4 AVANTAGES ET LIMITES DE LA METHODE DELPHI .....	59
<b>3 PERCEPTION DE L'EVOLUTION DU CLIMAT.....</b>	<b>60</b>
3.1 METHODOLOGIE DE L'ENQUETE .....	60
3.2 DESCRIPTION DES PERSONNES ENQUETEES .....	60
<b>4 MODELISATION DE LA PRODUCTION ET DES APPORTS EN EAU .....</b>	<b>61</b>
4.1 METHODOLOGIE DE MODELISATION DES RENDEMENTS POUR LA CEREALICULTURE : .....	61
4.2 METHODOLOGIE DE MODELISATION DES RENDEMENTS POUR L'OLEICULTURE : .....	61
4.3 METHODOLOGIE DE MODELISATION DE LA PRODUCTION DES PARCOURS : .....	62
4.4 METHODOLOGIE DE MODELISATION DES APPORTS EN EAU : .....	63
4.5 METHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNEES CLIMATIQUES POUR LA PECHE MARITIME .....	65
4.5.1 <i>Le modèle v3b1</i> .....	65
4.5.2 <i>Le modèle (NOAA) v3b</i> .....	66
<b>5 METHODOLOGIE DE MODELISATION DES AIRES DE REPARTITION DES PLANTES ETUDIEES .....</b>	<b>67</b>
<b>6 IMPACTS SUR LES RENDEMENTS DES CULTURES CEREALIERES .....</b>	<b>72</b>
<b>7 IMPACTS SUR LES RENDEMENTS DES OLIVIERS A HUILE.....</b>	<b>84</b>
<b>8 IMPACTS SUR LE RENDEMENT DES PARCOURS .....</b>	<b>89</b>
8.1 INCERTITUDES .....	89
8.2 VARIABILITE DES RENDEMENTS PAR GOUVERNORAT ET PAR SCENARIO RCP .....	92
8.3 RENDEMENTS EN UF PAR HECTARE ET PAR AN, PAR GOUVERNORAT .....	99
8.4 ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION FOURRAGERE PAR GRANDE REGION .....	105
<b>9 CARTES DES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE.....</b>	<b>107</b>
9.1 BLE TENDRE.....	107
9.2 BLE DUR.....	109
9.3 ORGE .....	111
9.4 OLIVIER.....	113
9.5 ALPHA .....	115
9.6 RHANTERIUM.....	117
9.7 ARTHROPHYTUM .....	119
9.8 CHANGEMENT DANS LES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE POUR LES CEREALES (BLE TENDRE, BLE DUR ET ORGE).....	121

9.9	CHANGEMENT DANS LES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE POUR L'OLIVIER.....	122
9.10	CHANGEMENT DANS LES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE POUR LES PARCOURS.....	123
<b>10</b>	<b>CHAINES DE RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....</b>	<b>126</b>
10.1	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES CEREALES.....	126
10.2	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES OLIVIERS.....	128
10.3	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LES PARCOURS.....	131
10.4	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LA PECHE.....	133
10.5	RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR L'EAU.....	136
<b>11</b>	<b>SCORES D'EXPOSITION, DE VULNERABILITE, D'ALEA ET DE RISQUE.....</b>	<b>138</b>
11.1.1	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Nord-Est.....</i>	<i>138</i>
11.1.2	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Nord-Ouest.....</i>	<i>139</i>
11.1.3	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Centre-Est.....</i>	<i>140</i>
11.1.4	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Centre-Ouest.....</i>	<i>141</i>
11.1.5	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Sud-Est.....</i>	<i>142</i>
11.1.6	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Sud-Ouest.....</i>	<i>143</i>
11.1.7	<i>Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour les zones de pêche de la Tunisie</i>	<i>144</i>
<b>12</b>	<b>INDICATEURS AGROCLIMATIQUES ET PROBABILITE D'OCCURRENCE DES ALEAS.....</b>	<b>145</b>
12.1	INDICATEURS AGROCLIMATIQUES ET PROBABILITE D'OCCURRENCE DES ALEAS POUR LES CEREALES.....	145
12.2	INDICATEURS AGROCLIMATIQUES ET PROBABILITE D'OCCURRENCE DES ALEAS POUR LA CULTURE DE L'OLIVIER.....	146
12.3	INDICATEURS AGROCLIMATIQUES ET PROBABILITE D'OCCURRENCE DES ALEAS POUR LES PARCOURS.....	147
12.4	INDICATEURS HALIO-CLIMATIQUES ET PROBABILITE D'OCCURRENCE DES ALEAS.....	148
<b>13</b>	<b>PROJECTIONS D'EVOLUTION DE LA FREQUENCE DE SURVENUE DES ALEAS PAR GOUVERNORAT.....</b>	<b>149</b>
13.1	ARIANA.....	150
13.2	BEJA.....	151
13.3	BEN AROUS.....	152
13.4	BIZERTE.....	154
13.5	GABES.....	155
13.6	GAFSA.....	156
13.7	JENDOUBA.....	158
13.8	KAIROUAN.....	159
13.9	KASSERINE.....	160
13.10	KEBILI.....	162
13.11	LE KEF.....	163
13.12	MAHDIA.....	164
13.13	MANOUBA.....	166
13.14	MEDENINE.....	167
13.15	MONASTIR.....	168
13.16	NABEUL.....	170
13.17	SFAX.....	171
13.18	SIDI BOU ZID.....	172
13.19	SILIANA.....	174
13.20	SOUSSE.....	175
13.21	TATAOUINE.....	176
13.22	TOZEUR.....	178
13.23	TUNIS.....	179

13.24	ZAGHOUAN .....	180
-------	----------------	-----

<b>14</b>	<b>COMPTE-RENDU DE L'ATELIER DE RESTITUTION DE L'ETAPE 2 « IMPACTS DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE » .....</b>	<b>182</b>
-----------	--	------------

## LISTE DES CARTES, FIGURES, TABLEAUX ET ENCADRES

ENCADRE 1 :	REPRESENTATION DU NIVEAU DE CONVERGENCE DES MODELES PAR UN GRAPHIQUE EN VIOLON .....	149
FIGURE 1:	ÉVOLUTION DE LA REPARTITION SPATIALE DES ETAGES BIOCLIMATIQUES, A GAUCHE LA PERIODE DE REFERENCE AVEC LES OBSERVATIONS, AU MILIEU EN 2050 ET A DROITE EN 2100 SELON LES 2 SCENARIOS. ....	11
FIGURE 2 :	ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE GEL A MOYEN (2050) ET LONG (2100) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES).....	13
FIGURE 3 :	TENDANCE DU NOMBRE DE JOURS DE GEL PAR AN SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	14
FIGURE 4 :	ÉVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE D'OCTOBRE A MAI (MM) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). ....	15
FIGURE 5 :	TENDANCE DU BILAN HYDRIQUE D'OCTOBRE A MAI (MM) SUR LA PERIODE 1981 – 2010 ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	16
FIGURE 6 :	ÉVOLUTION DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE D'OCTOBRE A MAI (MM) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). ....	17
FIGURE 7 :	TENDANCE DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE D'OCTOBRE A MAI (MM) SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	18
FIGURE 8 :	ÉVOLUTION DE LA LONGUEUR DE LA PERIODE DE CROISSANCE VEGETATIVE (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). ....	19
FIGURE 9 :	TENDANCE DE LA LONGUEUR DE LA PERIODE DE CROISSANCE VEGETATIVE (JOURS) SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	20

FIGURE 10 : ÉVOLUTION DE LA DATE DE MONTAISON DU BLE (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	21
FIGURE 11: TENDANCE DE LA DATE DE MONTAISON DU BLE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	22
FIGURE 12 : ÉVOLUTION DE LA DATE DE MATURATION DU BLE (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	23
FIGURE 13 : TENDANCE DE LA DATE DE MATURATION DU BLE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	24
FIGURE 14 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS ECHAUDANTS ENTRE AVRIL ET JUIN (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	25
FIGURE 15 : TENDANCE DU NOMBRE DE JOURS ECHAUDANTS ENTRE AVRIL ET JUIN SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	26
FIGURE 16 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE GEL PRINTANIER (FEVRIER A AVRIL) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	27
FIGURE 17 : TENDANCE DU NOMBRE DE JOURS DE GEL PRINTANIER (FEVRIER A AVRIL) SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	28
FIGURE 18 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE GEL FORT (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	29
FIGURE 19 : TENDANCE DU NOMBRE DE JOURS DE GEL FORT SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	30
FIGURE 20: ÉVOLUTION DE LA DATE DE SATISFACTION DES BESOINS EN FROID DE L'OLIVIER (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	31
FIGURE 21 : TENDANCE DE LA DATE DE SATISFACTION DES BESOINS EN FROID DE L'OLIVIER SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	32
FIGURE 22 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR EXTREME ENTRE JUIN ET AOUT (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	33
FIGURE 23 : TENDANCE DU NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR EXTREME SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ..	34
FIGURE 24: ÉVOLUTION DE L'INDICE DE REPARTITION PLUVIOMETRIQUE A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). .....	35
FIGURE 25 : TENDANCE DE L'INDICE DE REPARTITION PLUVIOMETRIQUE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	36
FIGURE 26 : ÉVOLUTION DU NOMBRE DE JOUR ENTRE LES DEUX PREMIERES PLUIES JOURNALIERES EFFICACES (J) A MOYEN (2050, A GAUCHE) ET LONG (2100, A DROITE) TERME PAR RAPPORT A LA PERIODE DE REFERENCE 1981 – 2010 SELON LES SCENARIOS RCP 4.5 ET RCP 8.5 (MEDIANES DE L'ENSEMBLE DES MODELES). ....	37
FIGURE 27 : TENDANCE DU NOMBRE DE JOURS ENTRE LES DEUX PREMIERES PLUIES EFFICACES SUR LA PERIODE 1981 – 2100 PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	38
FIGURE 28 : RESULTATS DES NOTES DE SENSIBILITE POUR LE RISQUE DE PERTE DE RENDEMENT PAR STRESS HYDRIQUE. LES REGIONS ENCADREES EN ROUGE N'ONT PAS FAIT L'OBJET D'UN CONSENSUS. ....	42
<b>FIGURE 29 : PORTAIL EcoCROP DE LA FAO DES EXIGENCES ECOLOGIQUES DES CULTURES</b> .....	67
FIGURE 30 : PARAMETRES DU BLE TENDRE. ....	68
FIGURE 31: PARAMETRES DU BLE DUR.....	68
FIGURE 32: PARAMETRES DE L'ORGE.....	68
FIGURE 33 : PARAMETRES DE L'OLIVIER. ....	68
FIGURE 34 : PARAMETRES DE <i>STIPA TENACISSIMA</i> .....	68
FIGURE 35: PARAMETRES DE <i>ARTHROPHYTUM SCOPARIUM</i> . ....	68
FIGURE 36: PARAMETRES DE <i>RHANTERIUM SUAVEOLENS</i> . ....	68

FIGURE 37: DETERMINATION DES SAISONS DE CROISSANCE POSSIBLES EN FONCTION DE LA TEMPERATURE. ....	69
FIGURE 38 : METHODOLOGIE UTILISEE DANS DIVA-GIS POUR CARTOGRAPHIER L'AIRES DE REPARTITION DES CULTURES. ....	70
FIGURE 39: CARTES D'OCCUPATION DES TERRES DE TUNISIE. SOURCE : ÉLABORATION A PARTIR DE L'INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL .....	71
FIGURE 40 : VARIATION DU RENDEMENT NATIONAL DU BLE DUR EN FONCTION DES PROJECTIONS CLIMATIQUES .....	73
FIGURE 41 : VARIATION DU RENDEMENT NATIONAL DU BLE TENDRE EN FONCTION DES PROJECTIONS CLIMATIQUES.....	73
FIGURE 42 : VARIATION DU RENDEMENT NATIONAL DE L'ORGE EN FONCTION DES PROJECTIONS CLIMATIQUES .....	73
FIGURE 43 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS DU BLE DUR .....	75
FIGURE 44 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS DU BLE TENDRE.....	76
FIGURE 45 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS DE L'ORGE .....	77
FIGURE 46 : VARIATION DU RENDEMENT DU BLE DUR PLUVIAL HORIZON 2050- PERIODE DE REFERENCE EN % .....	78
FIGURE 47 : VARIATION DU RENDEMENT DU BLE TENDRE PLUVIAL HORIZON 2050 ET 2100 / PERIODE DE REFERENCE EN %.....	79
FIGURE 48 : VARIATION DU RENDEMENT DE L'ORGE PLUVIAL HORIZON 2050 ET 2100 / PERIODE DE REFERENCE EN % .....	80
FIGURE 49 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DU BLE DUR (QX/HA) PAR GOUVERNORAT.....	81
FIGURE 50 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DU BLE TENDRE (QX/HA) PAR GOUVERNORAT.....	82
FIGURE 51 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DE L'ORGE (QX/HA) PAR GOUVERNORAT .....	83
FIGURE 52 : SIMULATION DU RENDEMENT NATIONAL OLIVE A HUILE JUSQU'A 2100 .....	84
FIGURE 53 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES ECARTS TYPE DES RENDEMENTS.....	85
FIGURE 54 : VARIATION INTERANNUELLE ET INTER MODELE DES RENDEMENTS DE L'OLIVE A HUILE (T/HA) PAR GOUVERNORAT - RCP 4.5 ET RCP 8.5 POUR LA PERIODE DE REFERENCE, 2050 ET 2100 .....	86
FIGURE 55 : 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.....	88
FIGURE 56 RENDEMENTS DES PARCOURS EN UF/HA / AN DE 1981 A 2100 POUR LES 12 MODELES RCP 4.5.....	90
FIGURE 57 RENDEMENTS DES PARCOURS EN UF/HA / AN DE 1981 A 2100 POUR LES 12 MODELES RCP 8.5.....	91
FIGURE 58 : 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 .....	92
FIGURE 59 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 12 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP4.5 POUR LA PERIODE DE REFERENCE PAR GOUVERNORAT EN %.....	94
FIGURE 60 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 18 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP8.5 POUR LA PERIODE DE REFERENCE PAR GOUVERNORAT EN %.....	95
FIGURE 61 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 12 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP4.5 A L'HORIZON 2050 PAR GOUVERNORAT EN % .....	96
FIGURE 62 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 18 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP8.5 A L'HORIZON 2050 PAR GOUVERNORAT EN % .....	97
FIGURE 63: REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 12 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP4.5 A L'HORIZON 2100 PAR GOUVERNORAT EN UF EN %.....	98
FIGURE 64 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DE LA VARIABILITE DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 18 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP8.5 A L'HORIZON 2100 PAR GOUVERNORAT EN % .....	99
FIGURE 65 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 12 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP4.5 POUR LA PERIODE DE REFERENCE PAR GOUVERNORAT EN UF PAR HECTARE ET PAR AN.....	100
FIGURE 66 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 18 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP8.5 POUR LA PERIODE DE REFERENCE PAR GOUVERNORAT EN UF PAR HECTARE ET PAR AN.....	101
FIGURE 67 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 12 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP4.5 A L'HORIZON 2050 PAR GOUVERNORAT EN UF PAR HECTARE ET PAR AN. ....	101
FIGURE 68 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 18 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP8.5 A L'HORIZON 2050 PAR GOUVERNORAT EN UF PAR HECTARE ET PAR AN. ....	102

FIGURE 69 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 12 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP4.5 A L'HORIZON 2100 PAR GOUVERNORAT EN UF PAR HECTARE ET PAR AN.	102
FIGURE 70 : REPRESENTATION EN BOITES A MOUSTACHES DES RENDEMENTS MEDIANS, DECILES (Q10;Q90) ET MIN, MAX POUR LES 18 MODELES CLIMATIQUES DU SCENARIO RCP8.5 A L'HORIZON 2100 PAR GOUVERNORAT EN UF PAR HECTARE ET PAR AN.	103
FIGURE 71 VARIATION DE RENDEMENT DES PARCOURS EN 2050.....	104
FIGURE 72 PRODUCTION FOURRAGERE DES PARCOURS PAR REGION EN MILLIONS D'UH .....	106
FIGURE 73 : PRODUCTION FOURRAGERE DES PARCOURS PAR REGION EN MILLIONS D'UF.....	106
FIGURE 74: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A LA CULTURE DU BLE TENDRE.....	108
FIGURE 75: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A LA CULTURE DU BLE DUR.....	110
FIGURE 76: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A LA CULTURE DE L'ORGE.....	112
FIGURE 77: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A LA CULTURE DE L'OLIVIER.....	114
FIGURE 78: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A L'ALFA (STIPA TENACISSIMA).....	116
FIGURE 79: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE AU RHANTERIUM SUAVEOLENS.....	118
FIGURE 80: CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE CLIMATIQUE A L'ARTHROPHYTUM SCOPARIUM.....	120
FIGURE 81 ÉVOLUTION DE LA PART RELATIVE (%) DES AIRES D'APTITUDES CLIMATIQUES FAVORABLES (CLASSES "FAVORABLE" ET "TRES FAVORABLE"). LES ZONES OMBREES REPRESENTENT LA GAMME DE VARIATION ENTRE LES QUANTILES 10 ET 90 DE L'ENSEMBLE MULTI-MODELES.....	121
FIGURE 82 ÉVOLUTION DE LA PART RELATIVE (%) DES AIRES D'APTITUDES CLIMATIQUES FAVORABLES (CLASSES "FAVORABLE" ET "TRES FAVORABLE"). LES ZONES OMBREES REPRESENTENT LA GAMME DE VARIATION ENTRE LES QUANTILES 10 ET 90 DE L'ENSEMBLE MULTI-MODELES.....	122
FIGURE 83 ÉVOLUTION DE LA PART RELATIVE (%) DES AIRES D'APTITUDES CLIMATIQUES FAVORABLES.....	123
FIGURE 84: VARIATION DE LA PART RELATIVE (%) DES AIRES D'APTITUDES CLIMATIQUES FAVORABLES (CLASSES "FAVORABLE" ET "TRES FAVORABLE"), PAR RAPPORT A LA PERIODE HISTORIQUE, POUR LES ESPECES ETUDIEES.....	125
FIGURE 85: VARIATION DE LA PART RELATIVE (%) DES AIRES D'APTITUDES CLIMATIQUES FAVORABLES (CLASSES "FAVORABLE" ET "TRES FAVORABLE"), PAR RAPPORT A LA PERIODE HISTORIQUE, PAR CATEGORIE D'ESPECES.....	125
FIGURE 86 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE PERTE DE RENDEMENT PAR STRESS HYDRIQUE POUR LA CEREALICULTURE.....	126
FIGURE 87 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE PERTE DE DESTRUCTION DES CULTURES LORS DU DEVELOPPEMENT POUR LA CEREALICULTURE.....	126
FIGURE 88 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE BAISSSE DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS CULTIVES DEGRADEES POUR LA CEREALICULTURE.....	127
FIGURE 89: CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE DIMINUTION DE LA QUANTITE ET LA QUALITE DE LA PRODUCTION DUE A DES PROBLEMES SANITAIRES POUR LA CEREALICULTURE.....	127
FIGURE 90 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE SUR LA PRODUCTION DE FRUITS POUR L'OLEICULTURE.....	128
FIGURE 91 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE PERTE DE RENDEMENT PAR STRESS HYDRIQUE POUR L'OLEICULTURE.....	129
FIGURE 92 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE BAISSSE DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS CULTIVES DEGRADEES POUR L'OLEICULTURE.....	129
FIGURE 93 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE DIMINUTION DE LA QUANTITE ET LA QUALITE DE LA PRODUCTION DUE A DES PROBLEMES SANITAIRES POUR L'OLEICULTURE.....	130
FIGURE 94 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE D'UNE PRODUCTION DE FOURRAGES INSUFFISANTE AUX BESOINS DE L'ALIMENTATION ANIMALE POUR L'ELEVAGE SUR PARCOURS.....	131
FIGURE 95 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE DEGRADATION DE L'ETAT DE SANTE DES FOURRAGES ET ANIMAUX DUE A DES PROBLEMES SANITAIRES POUR L'ELEVAGE SUR PARCOURS.....	132
FIGURE 96 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE BAISSSE DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS DEGRADEES POUR L'ELEVAGE SUR PARCOURS.....	132
FIGURE 97 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE DECLIN DE LA PRODUCTION HALIEUTIQUE LIE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR LA PECHE.....	133
FIGURE 98 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE DEGRADATION DES HABITATS ET DE PERTE DE LA BIODIVERSITE POUR LA PECHE.....	134
FIGURE 99 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE REDUCTION DES ZONES ET DES ACTIVITES DE PECHE (ESTRAN).....	134

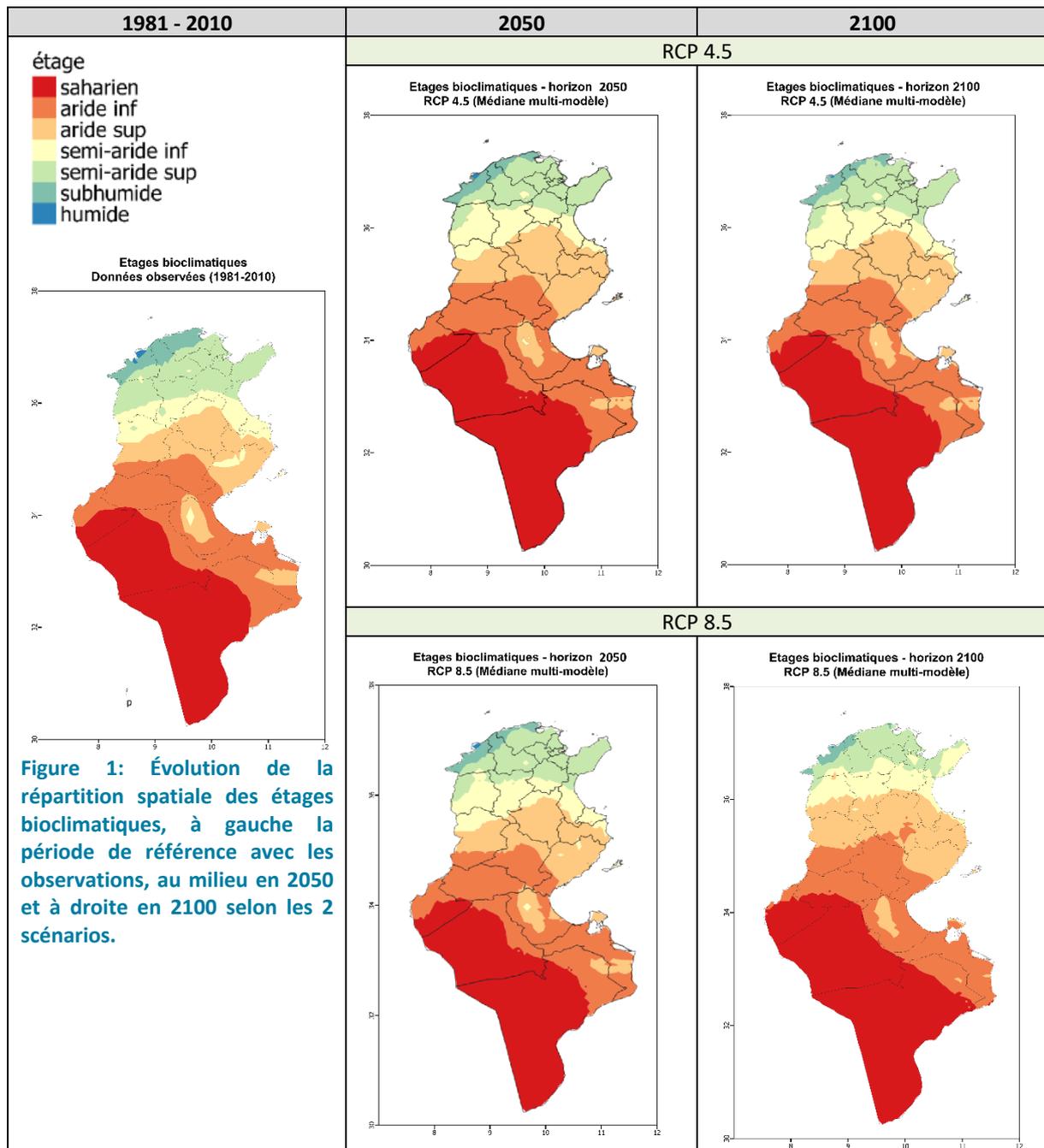
FIGURE 100 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE SANITAIRE D'INVASION BIOLOGIQUE POUR LA PECHE.....	135
FIGURE 101 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE REDUCTION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POUR L'IRRIGATION POUR L'EAU AGRICOLE. ....	136
FIGURE 102 : CHAINE DE RISQUE PRESENTANT LE RISQUE DE BAISSSE DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS DEGRADES PAR SALINISATION POUR L'EAU AGRICOLE. ....	137
TABLEAU 1 : TAUX D'EVOLUTION (JOUR/DECENNIE) DU NOMBRE DE JOURS DE GEL ANNUEL SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	14
TABLEAU 2 :TAUX D'EVOLUTION (MM/DECENNIE) DU BILAN HYDRIQUE SUR LA PERIODE 1981 – 2110 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	16
TABLEAU 3 :TAUX D'EVOLUTION (MM/DECENNIE) DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	18
TABLEAU 4 : TAUX D'EVOLUTION (JOUR/AN) DE LA LONGUEUR DE LA PERIODE DE CROISSANCE VEGETATIVE SUR LA PERIODE 1981 – 2010 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	20
TABLEAU 5 : TAUX D'EVOLUTION (JOUR/DECENNIE) DE LA DATE DE MONTAISON DU BLE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	22
TABLEAU 6 : TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DE LA DATE DE MONTAISON DU BLE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	24
TABLEAU 7 : TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DU NOMBRE DE JOURS ECHAUDANTS SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	26
TABLEAU 8 : TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DU NOMBRE DE JOURS DE GEL PRINTANIER SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	28
TABLEAU 9 TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DU NOMBRE DE JOURS DE GEL FORT SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	30
TABLEAU 10: TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DE LA DATE DE SATISFACTION DES BESOINS EN FROID DE L'OLIVIER SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	32
TABLEAU 11 : TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DU NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR EXTREME ENTRE JUIN ET AOUT SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE. ....	34
TABLEAU 12: TAUX D'EVOLUTION (PAR DECENNIE) DE L'INDICE DE REPARTITION PLUVIOMETRIQUE SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	36
TABLEAU 13 : TAUX D'EVOLUTION (JOURS/DECENNIE) DU NOMBRE DE JOURS ENTRE LES DEUX PREMIERES PLUIES JOURNALIERES EFFICACES SUR LA PERIODE 1981 – 2100 POUR LA TUNISIE ET PAR ETAGE BIOCLIMATIQUE.....	38
TABLEAU 14 SYNTHSE DE LA DIFFERENCE (DELTA) DES INDICATEURS AGROCLIMATIQUES ENTRE LA PERIODE DE REFERENCE ET LES HORIZONS FUTURS, ET TAUX DE VARIATION ENTRE 1981 ET 2100. LES TAUX DE VARIATIONS EN ITALIQUE NE PRESENTENT PAS D'EVOLUTION SIGNIFICATIVE. ....	39
TABLEAU 15 : COMPARAISON DU NIVEAU DE PARTICIPATION LORS DU PREMIER ET DU DEUXIEME TOUR DE L'ENQUETE DELPHI.....	41
TABLEAU 16 : NOMBRE DE PARTICIPANTS HOMMES ET FEMMES LORS DU PREMIER TOUR DE L'ENQUETE DELPHI. ....	41
TABLEAU 17 : NOTE MEDIANE EAM ET INTERVALLE A LA MEDIANE POUR LE RISQUE DE PERTE DE RENDEMENT PAR STRESS HYDRIQUE. ....	42
TABLEAU 18: SYNTHSE DES JUSTIFICATIONS DES NOTES QUI ONT ETE FOURNIES PAR LES EXPERTS POUR LES REGIONS N'AYANT PAS FAIT L'OBJET D'UN CONSENSUS. ....	43
TABLEAU 19 : SCORES DE VULNERABILITE POUR LA CEREALICULTURE, L'OLEICULTURE, L'ELEVAGE SUR PARCOURS ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION NORD EST. ....	44
TABLEAU 20: SCORES DE VULNERABILITE POUR LA CEREALICULTURE, L'OLEICULTURE, L'ELEVAGE SUR PARCOURS ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION NORD-OUEST. ....	45
TABLEAU 21: SCORES DE VULNERABILITE POUR LA CEREALICULTURE, L'OLEICULTURE, L'ELEVAGE SUR PARCOURS ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION CENTRE EST. ....	46

TABLEAU 22: SCORES DE VULNERABILITE POUR LA CEREAICULTURE, L'OLEICULTURE, L'ELEVAGE SUR PARCOURS ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION CENTRE OUEST.....	47
TABLEAU 23: SCORES DE VULNERABILITE POUR LA CEREAICULTURE, L'OLEICULTURE, L'ELEVAGE SUR PARCOURS ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION SUD EST.....	48
TABLEAU 24: SCORES DE VULNERABILITE POUR LA CEREAICULTURE, L'OLEICULTURE, L'ELEVAGE SUR PARCOURS ET L'EAU AGRICOLE DANS LA REGION SUD-OUEST.....	49
TABLEAU 25: SCORES DE VULNERABILITE POUR L'ENSEMBLE DES ZONES DU SECTEUR PECHE.....	50
TABLEAU 26 : ÉVOLUTION DU NIVEAU DE CONVERGENCE ENTRE LE PREMIER ET LE DEUXIEME TOUR.....	51
TABLEAU 27 : RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE ET JUSTIFICATIONS DES EVALUATIONS DE SENSIBILITE N'AYANT PAS FAIT L'OBJET D'UN CONSENSUS.....	54
TABLEAU 28 : RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE ET JUSTIFICATIONS DES EVALUATIONS DE CAPACITE D'ADAPTATION N'AYANT PAS FAIT L'OBJET D'UN CONSENSUS.....	57
TABLEAU 29: RESULTATS DE L'ANALYSE STATISTIQUE ET JUSTIFICATIONS DES EVALUATIONS DE SENSIBILITE N'AYANT PAS FAIT L'OBJET D'UN CONSENSUS POUR LE SECTEUR DE LA PECHE.....	57
TABLEAU 30: ANALYSE DE LA SENSIBILITE DES CONDITIONS DEFINISSANT LE CONSENSUS (EAM ET POURCENTAGE DE REPONSES COMPRISES DANS L'INTERVALLE A LA MEDIANE).....	58
TABLEAU 31: AVANTAGES ET LIMITES DE LA METHODE DELPHI POUR L'EVALUATION A DIRE D'EXPERTS.....	59
TABLEAU 32 : 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.....	72
TABLEAU 33 : PROJECTION DES RENDEMENTS DE L'OLIVE A HUILE AUX HORIZONS 2050 ET 2100.....	84
TABLEAU 34: IDENTIFICATION DES MODELES CLIMATIQUES EMPLOYES UTILISES POUR LES SCENARIOS RCP4.5 ET RCP8.5.....	89
TABLEAU 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.....	93
TABLEAU 36 PRODUCTION FOURRAGERE MEDIANE EN MILLIONS D'UF POUR LA PERIODE DE REFERENCE ET LES HORIZONS 2050 ET 2100.....	106
TABLEAU 37 : PRODUCTION FOURRAGERE MEDIANE EN MILLIONS D'UF POUR LA PERIODE DE REFERENCE ET LES HORIZONS 2050 ET 2100.....	106
TABLEAU 38: CHANGEMENT DANS LES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE AUX HORIZONS 2050 ET 2100, EN DIFFERENCE PAR RAPPORT A LA PERIODE HISTORIQUE, POUR LES CEREALES (BLE TENDRE, BLE DUR ET ORGE).....	121
TABLEAU 39: CHANGEMENT (%) DANS LES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE AUX HORIZONS 2050 ET 2100, EN DIFFERENCE PAR RAPPORT A LA PERIODE HISTORIQUE, POUR L'OLIVIER.....	122
TABLEAU 40: CHANGEMENT (%) DANS LES AIRES D'APTITUDE CLIMATIQUE AUX HORIZONS 2050 ET 2100, EN DIFFERENCE PAR RAPPORT A LA PERIODE HISTORIQUE, POUR LES CULTURES PASTORALES PARCOURS (STIPA TENACISSIMA, RHANTERIUM SUAVEOLENS ET ARTHROPHYTUM SCOPARIUM).....	123
TABLEAU 41: INDICATEURS DE SURVENUE DES ALEAS AFFECTANT LA CEREAICULTURE.....	145
TABLEAU 42: INDICATEURS DE LA SURVENUE DES ALEAS AFFECTANT L'OLEICULTURE ET LIEN ENTRE LEUR TENDANCE ET LA SURVENUE DES ALEAS.....	146
TABLEAU 43 : INDICATEURS DE LA SURVENUE DES ALEAS AFFECTANT LES ACTIVITES PASTORALES ET LIEN ENTRE LEUR TENDANCE ET LA SURVENUE DES ALEAS.....	147
TABLEAU 44 : INDICATEURS DE LA SURVENUE DES ALEAS AFFECTANT L'ACTIVITE DE PECHE MARITIME ET TENDANCE DANS LA SURVENUE DES ALEAS.....	148

# 1 Projections d'évolution des indicateurs agroclimatiques

## 1.1 Évolution des étages bioclimatiques

Les étages bioclimatiques de la Tunisie ont été déterminés grâce à l'indice bioclimatique d'Emberger<sup>1</sup>, 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'une certaine catégorie de végétation. Nous présentons ici l'évolution des étages bioclimatiques aux horizons futurs selon les 2 scénarios par rapport à la période de référence.



<sup>1</sup> IN : carte bioclimatique de la Tunisie issue de la classification d'Emberger Etages et variantes.

L'évolution de la distribution des étages bioclimatiques entre la période actuelle les périodes futures selon les 2 scénarios montre :

- la remontée des étages bioclimatiques vers le Nord encore plus marquée en 2100 qu'en 2050 et suivant le scénario RCP 8.5, avec ;
- l'extension de l'étage saharien, qui remonte et s'étend vers l'intérieur au niveau du littoral,
- la quasi-disparition de l'étage humide.

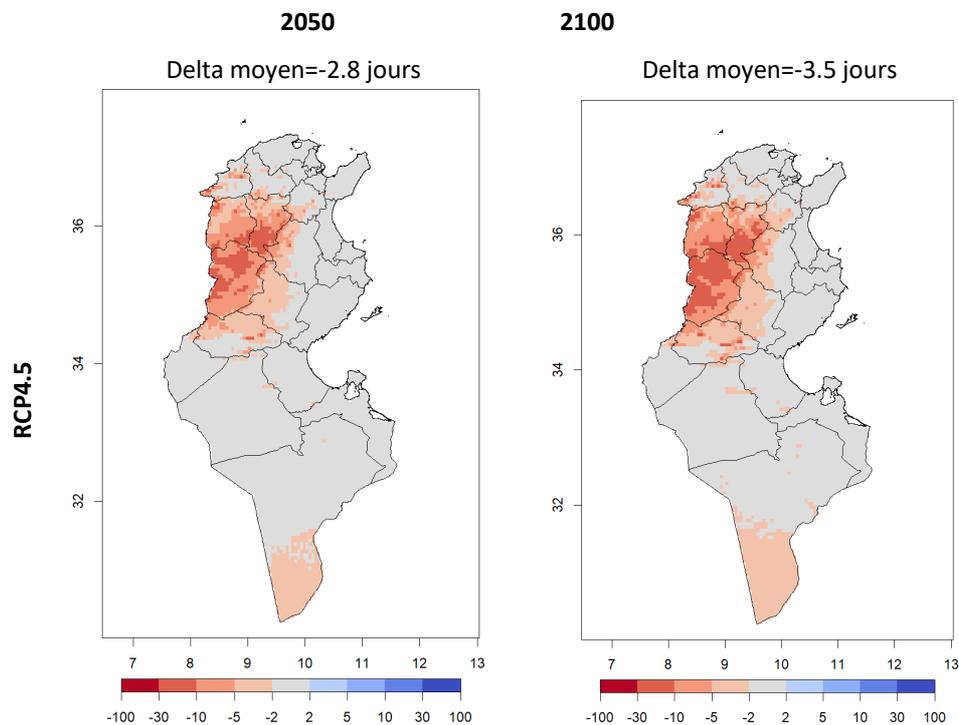
Ainsi, l'ensemble des gouvernorats de la Tunisie, et plus particulièrement ceux du Centre et du Nord, vont être touchés par une modification des conditions climatiques ayant un impact sur les productions.

## 1.2 Évolution des indicateurs agroclimatiques

Pour chaque indicateur agro-climatique, il a été réalisé :

- **Une carte** représentant la différence (le « delta ») entre les valeurs modélisées 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 bioclimatique<sup>2</sup>. 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.

### Nombre de jours de gel au cours de l'année (N\_gel\_an)



<sup>2</sup> Cette agrégation spatiale a été réalisée selon la distribution actuelle des étages bioclimatiques.

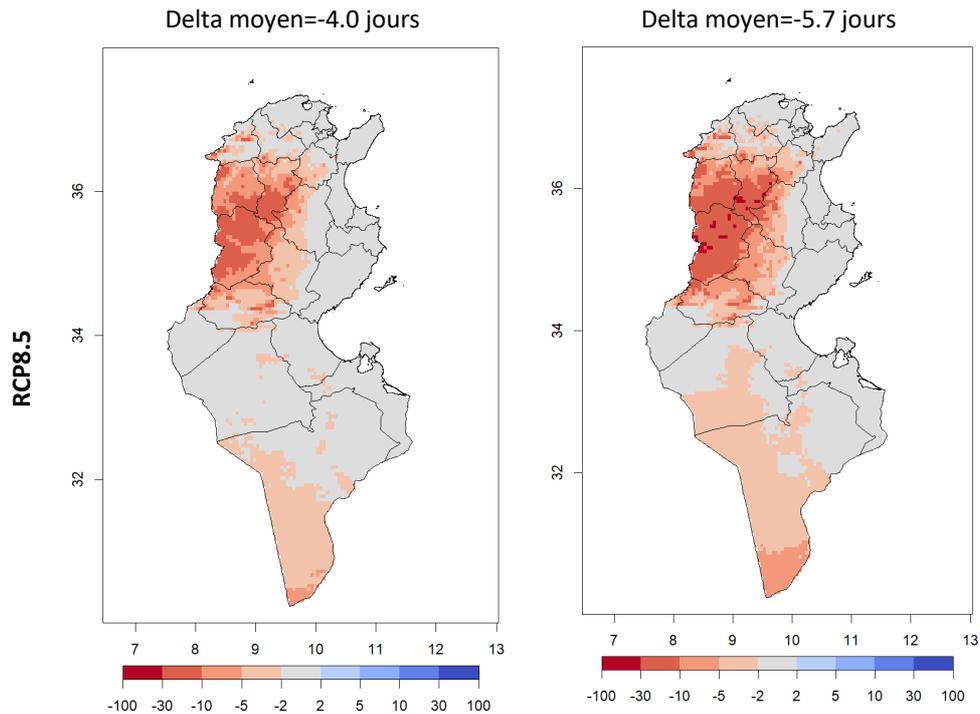
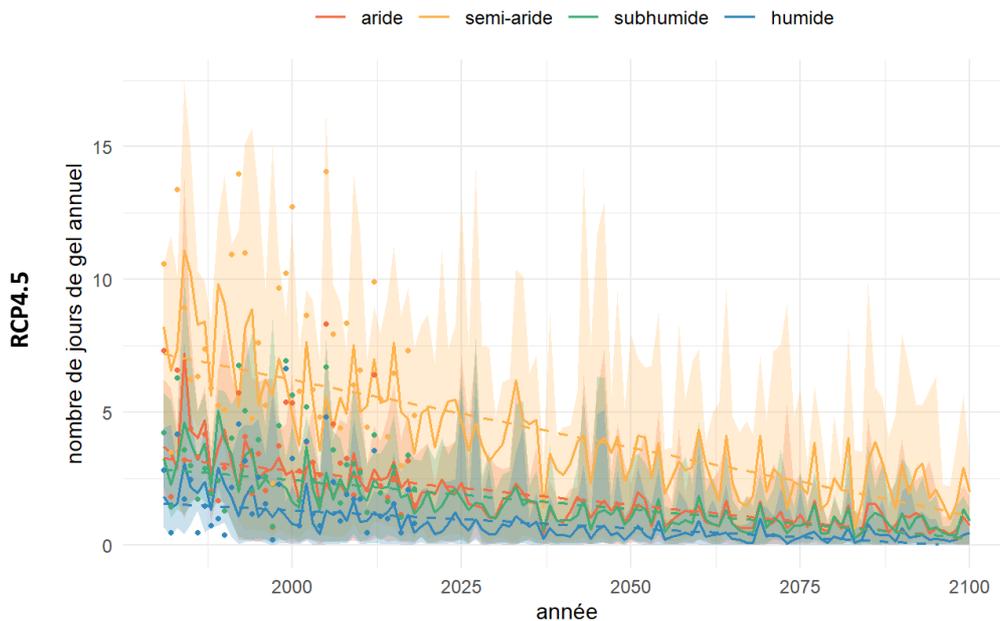


Figure 2 : Évolution du nombre de jours de gel à moyen (2050) et long (2100) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

Les projections montrent une diminution du nombre de jours de gel annuel **entre -2.8 et -4.0 jours en 2050** et **entre -3.5 et -5.7 jours en 2100** par rapport à la période de référence. Le RCP 8.5 indique ainsi que le nombre de jours de gel annuel devrait atteindre zéro en 2100.

L'évolution du nombre de jours de gel annuel est très variable spatialement. La diminution est la plus forte au Nord-Ouest du territoire tunisien. Le Sud de la Tunisie devrait aussi être affecté par une baisse du nombre de jours de gel et cette tendance devrait s'étendre considérablement vers le Nord dans le scénario RCP8.5.



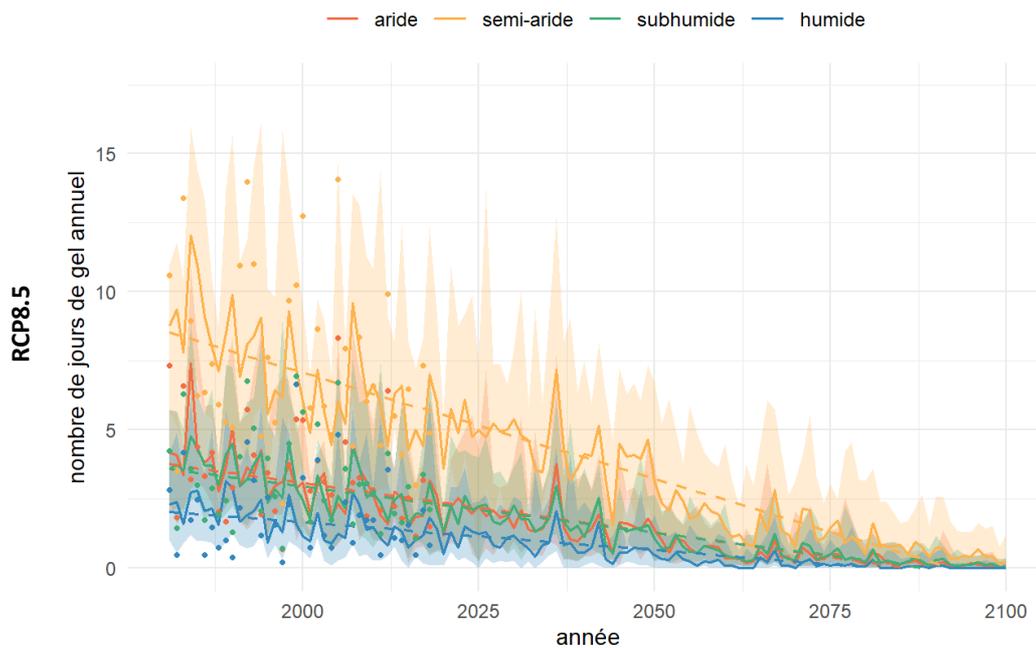


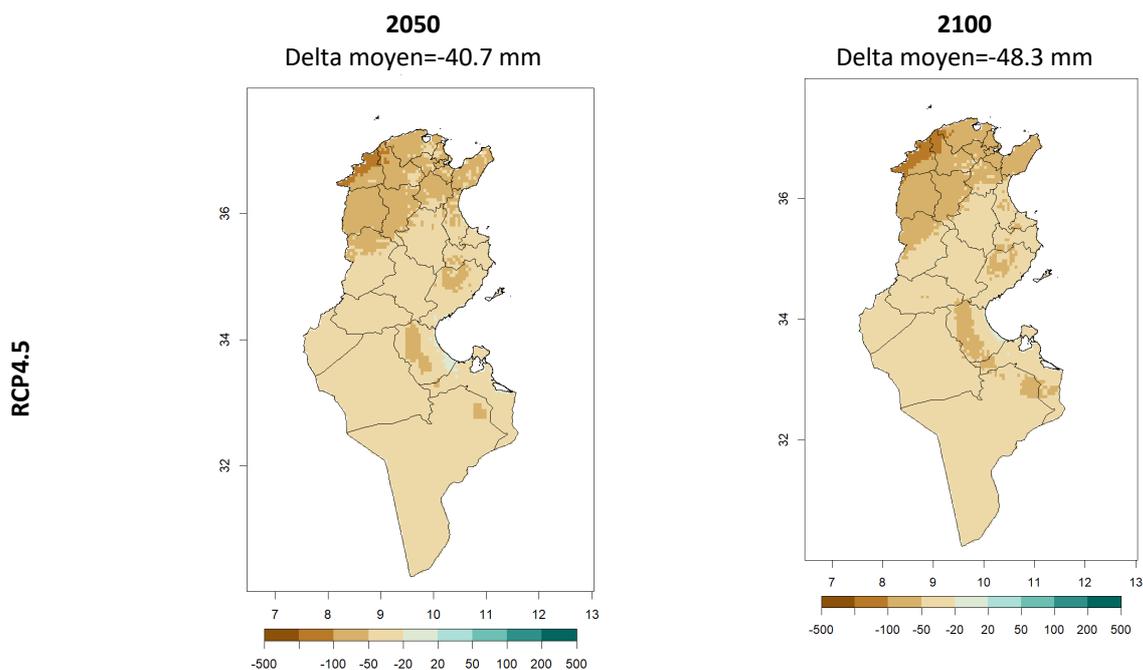
Figure 3 : Tendence du nombre de jours de gel par an sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.2	-0.1
RCP8.5	-0.4	-0.3	-0.4	-0.8	-0.3	-0.2

Tableau 1 : Taux d'évolution (jour/décennie) du nombre de jours de gel annuel sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique

Les tendances à la baisse **sont significatives** pour tous les étages bioclimatiques sur la période 1981 – 2100. L'étage semi-aride sera le plus fortement touché par cette baisse alors que l'étage humide devrait subir la plus faible diminution dans les deux scénarios.

#### Bilan hydrique d'octobre à mai (BH)



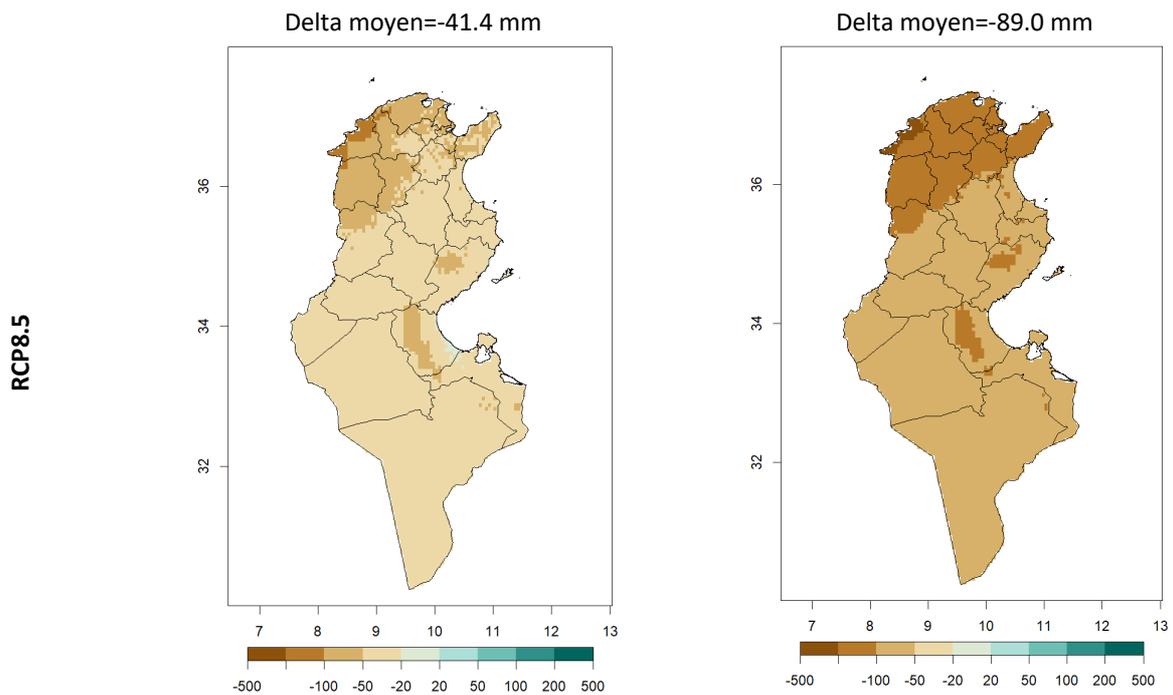
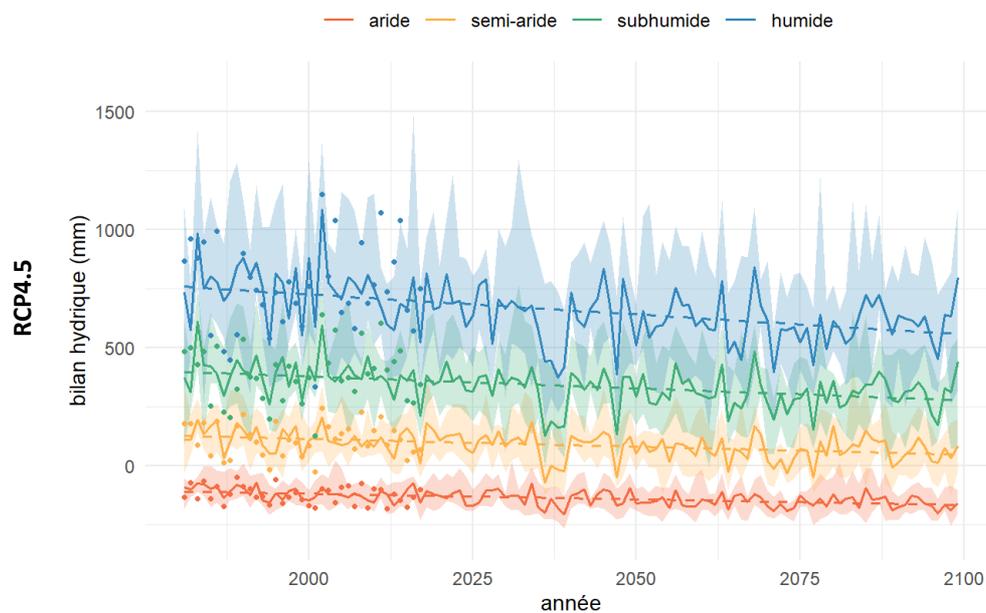


Figure 4 : Évolution du bilan hydrique d’octobre à mai (mm) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l’ensemble des modèles).

Les projections montrent une baisse du bilan hydrique comprise **entre -40.7 mm et -41.4 mm en 2050** et **entre -48.3 mm et -89.0 mm en 2100** par rapport à la période de référence. Le bilan hydrique observé en moyenne sur le territoire en période de référence est de -94 mm. Les diminutions les plus importantes devraient être localisées au Nord et Nord-Ouest de la Tunisie. Ces zones de baisse importante du bilan hydrique correspondent aux étages bioclimatiques humide, subhumide et semi-aride.



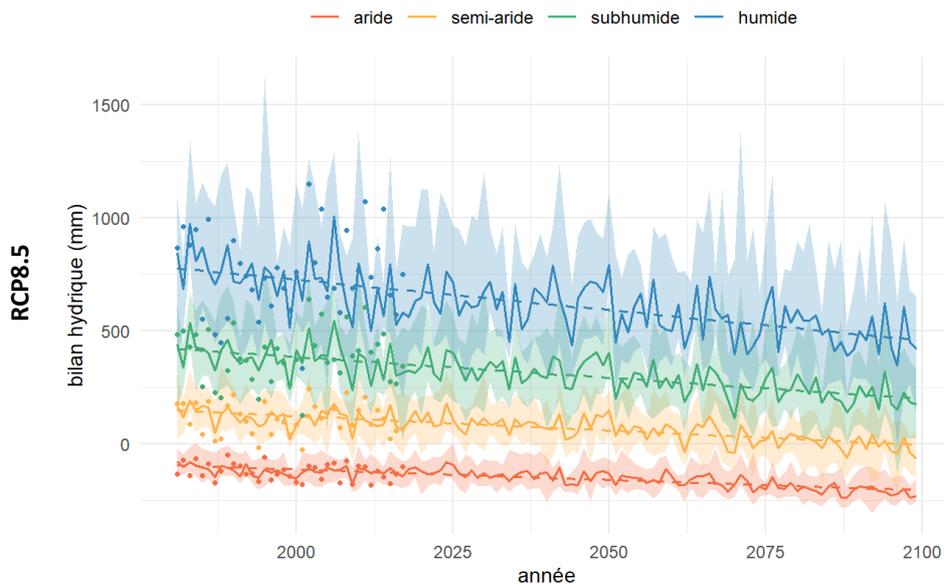


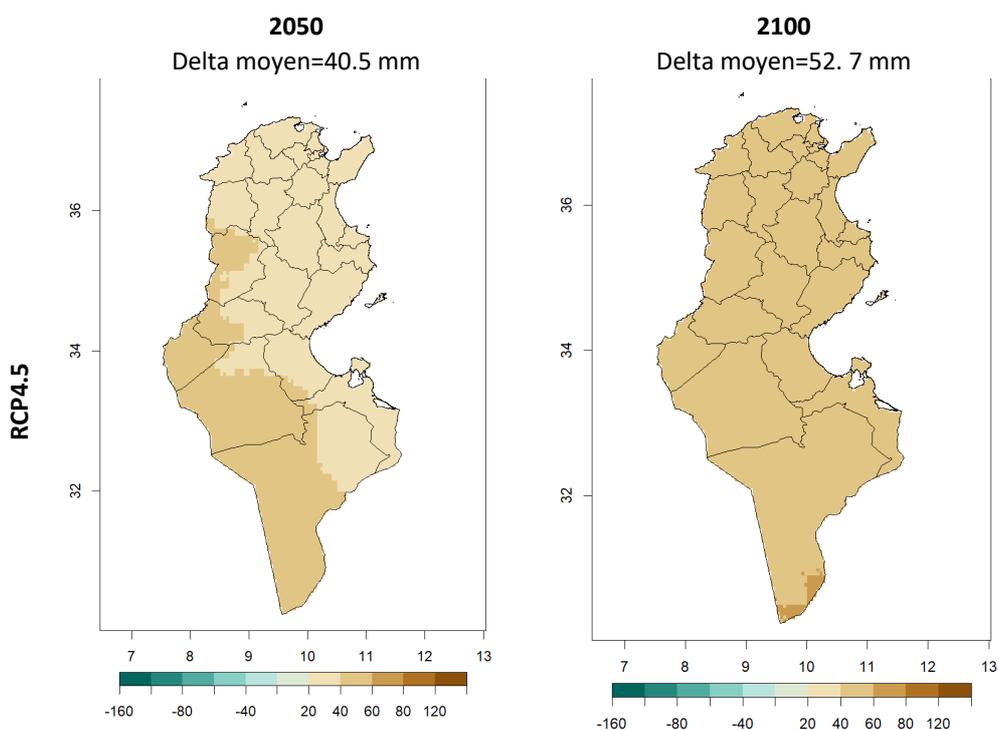
Figure 5 : Tendence du bilan hydrique d'octobre à mai (mm) sur la période 1981 – 2010 et par étage bioclimatique.

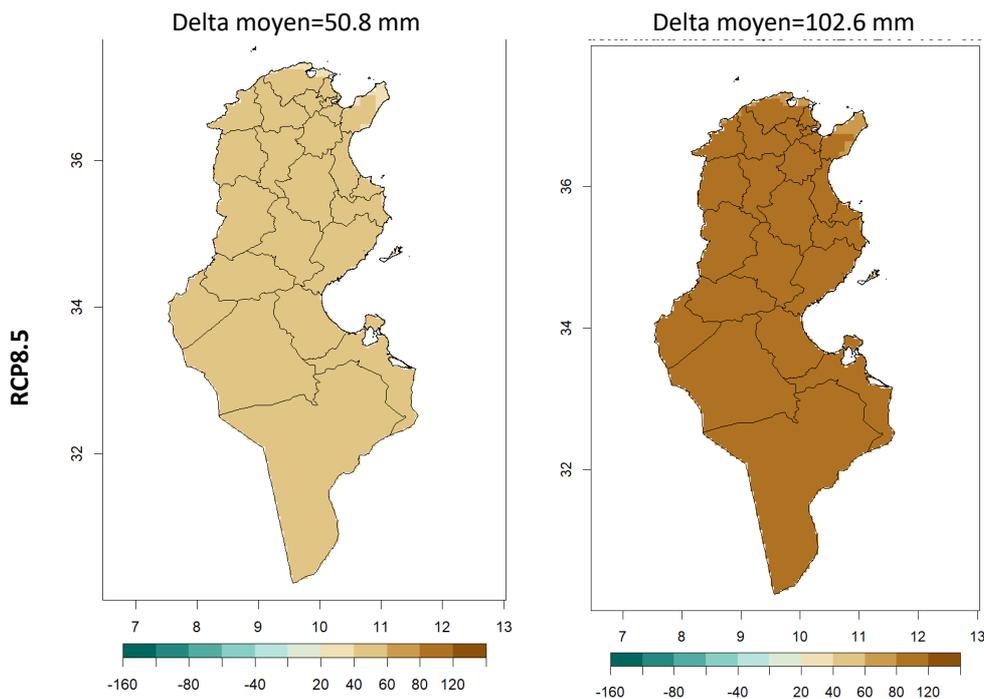
	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-5.2	-4.4	-4.8	-6.7	-10.1	-17.0
RCP8.5	-9.9	-8.7	-9.2	-12.8	-18.5	-26.7

Tableau 2 :Taux d'évolution (mm/décennie) du bilan hydrique sur la période 1981 – 2110 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

L'évolution du bilan hydrique **est significative** pour tous les étages bioclimatiques et confirme ce qui est observé sur les cartes avec une diminution plus importante au niveau des étages où le bilan hydrique est le plus élevé.

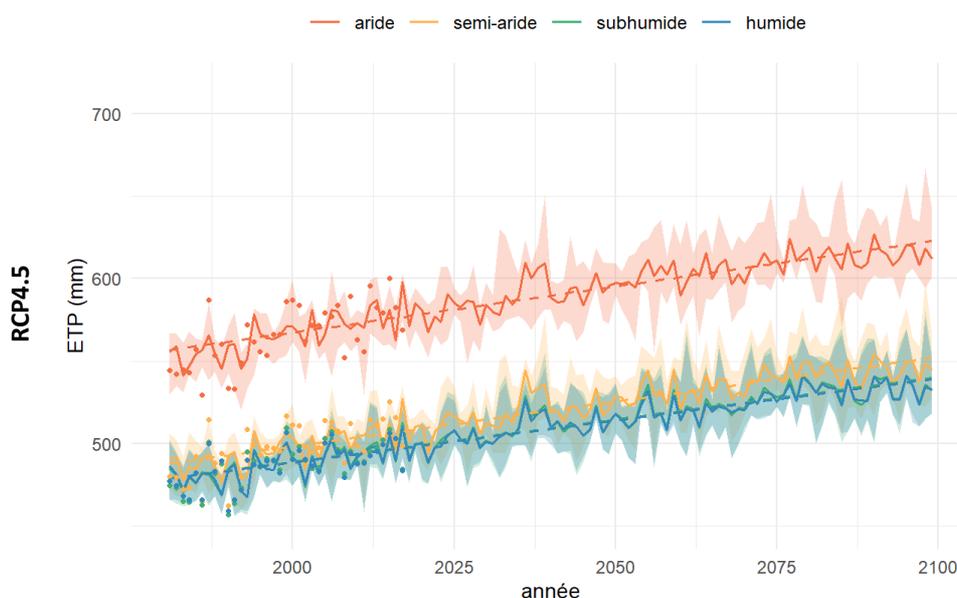
#### Evapotranspiration potentielle d'octobre à mai (ETP)





**Figure 6 : Évolution de l'évapotranspiration potentielle d'octobre à mai (mm) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).**

Les cartes montrent une augmentation de l'évapotranspiration potentielle **entre 40.5 mm et 50.8 mm en 2050** et **entre 52.7 mm et 102.6 mm en 2100** par rapport à la période de référence. Les observations indiquent une évapotranspiration potentielle de 564 mm en moyenne sur la Tunisie en période 1981-2010. Cette augmentation de l'évapotranspiration potentielle pouvant accroître le risque de sécheresse agricole est plus importante dans le Sud-Ouest de la Tunisie pour le scénario RCP4.5 en 2050. Pour l'horizon 2100 avec le scénario RCP4.5 ou pour les deux horizons temporels suivant le scénario RCP8.5, l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle semble homogène sur la majeure partie du territoire.



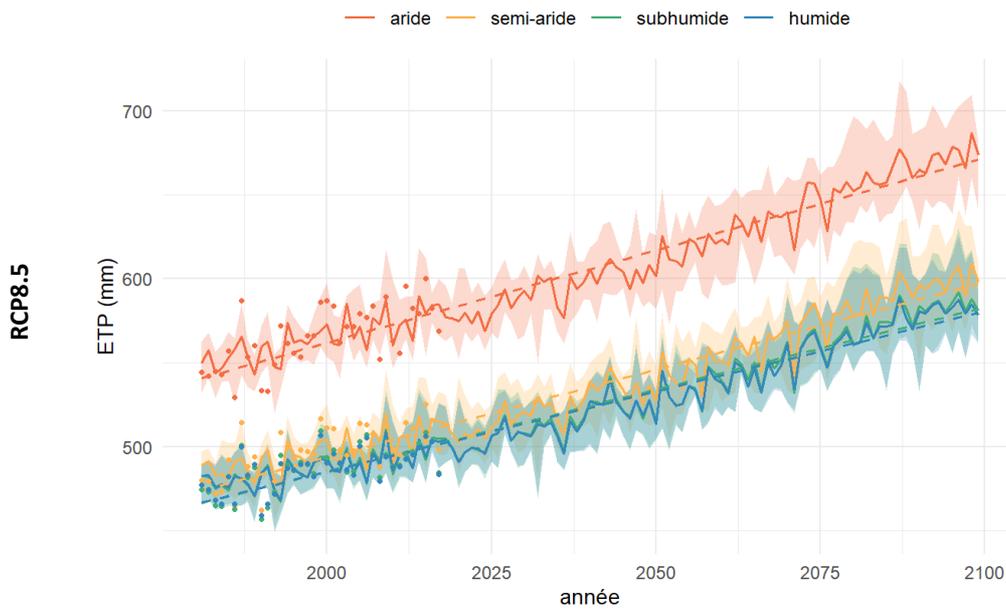


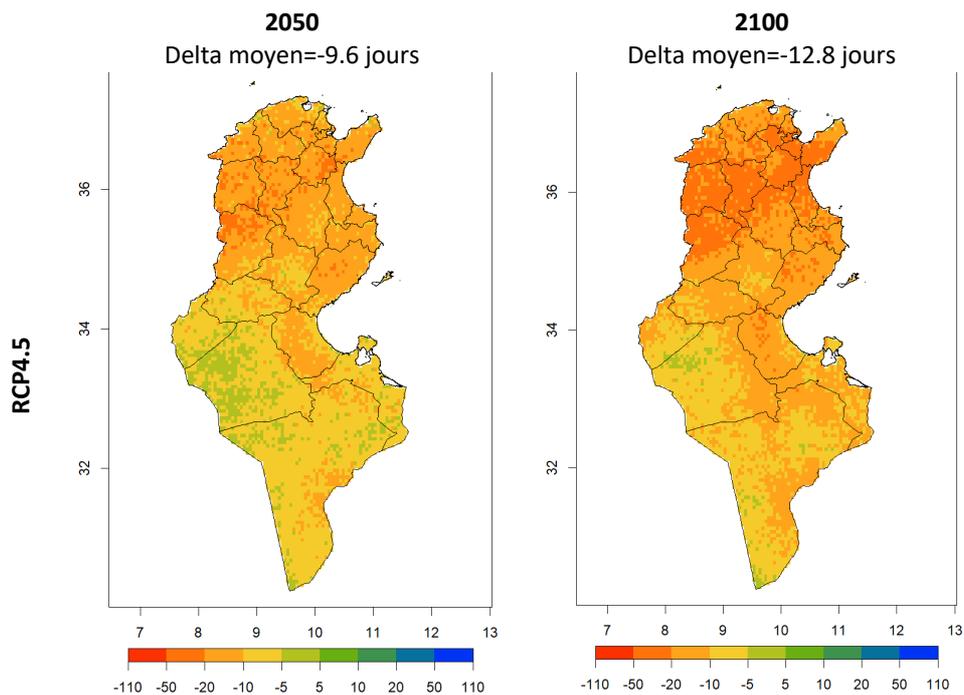
Figure 7 : Tendence de l'évapotranspiration potentielle d'octobre à mai (mm) sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

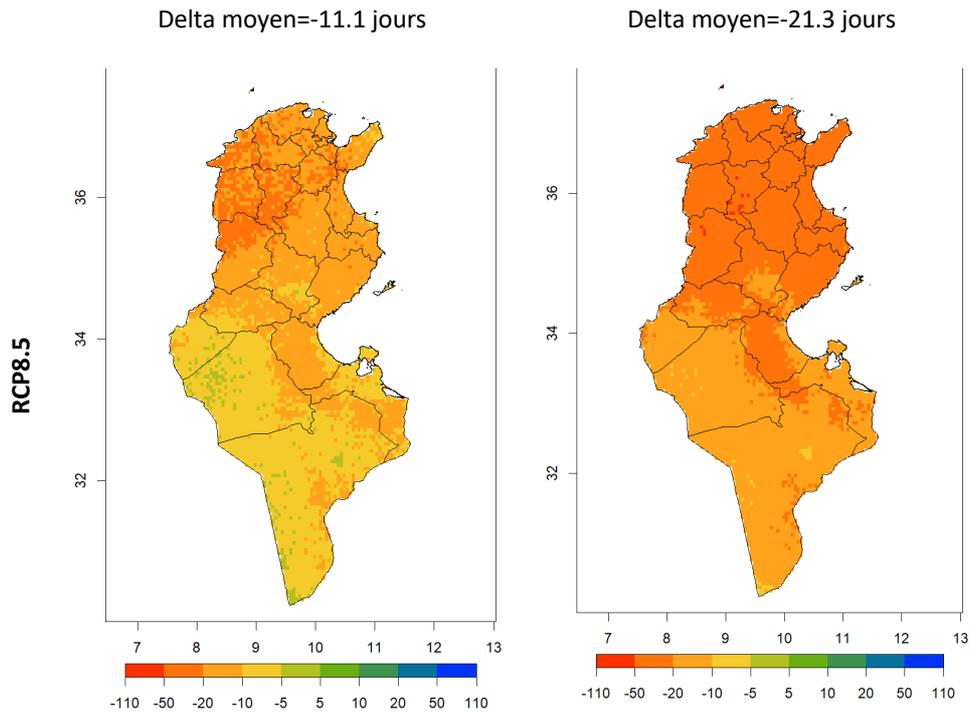
	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	5.8	6.4	5.6	5.4	5.2	5.1
RCP8.5	11.3	12.2	11.0	10.4	9.8	9.6

Tableau 3 : Taux d'évolution (mm/décennie) de l'évapotranspiration potentielle sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les évolutions de l'évapotranspiration potentielle **sont significatives** pour tous les étages bioclimatiques. Les taux d'augmentation les plus importants sont ceux des étages saharien et aride. Les taux d'augmentation des étages subhumide et humide sont relativement proches et plus faibles.

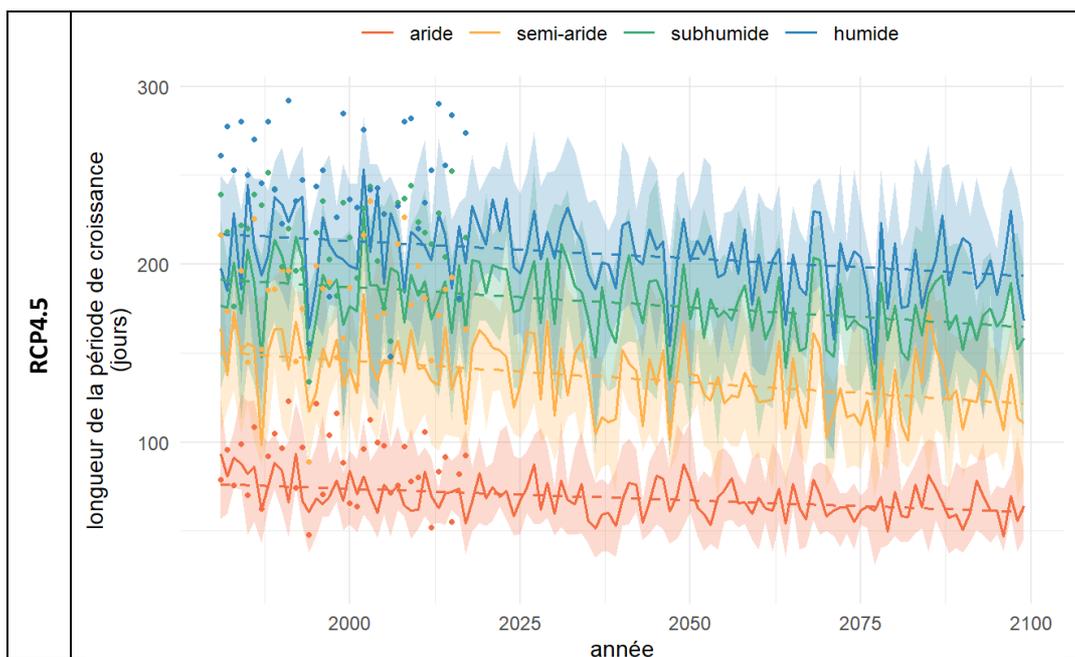
#### Longueur de la période de croissance végétative (LPC)





**Figure 8 :Évolution de la longueur de la période de croissance végétative (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).**

Les projections montrent une réduction de la longueur de la période de croissance végétative **entre - 9.6 jours et - 11.1 jours en 2050** et **entre - 12.8 jours et - 21.3 jours en 2100** par rapport à la période de référence. La longueur de la période de croissance végétative observée est de 95 jours en moyenne sur le territoire pour la période de référence. Pour les deux scénarios RCPs et les deux horizons considérés, un gradient apparaît entre le Nord et le Sud du territoire avec une diminution de la longueur de la période de croissance végétative plus importante vers le Nord-Ouest.



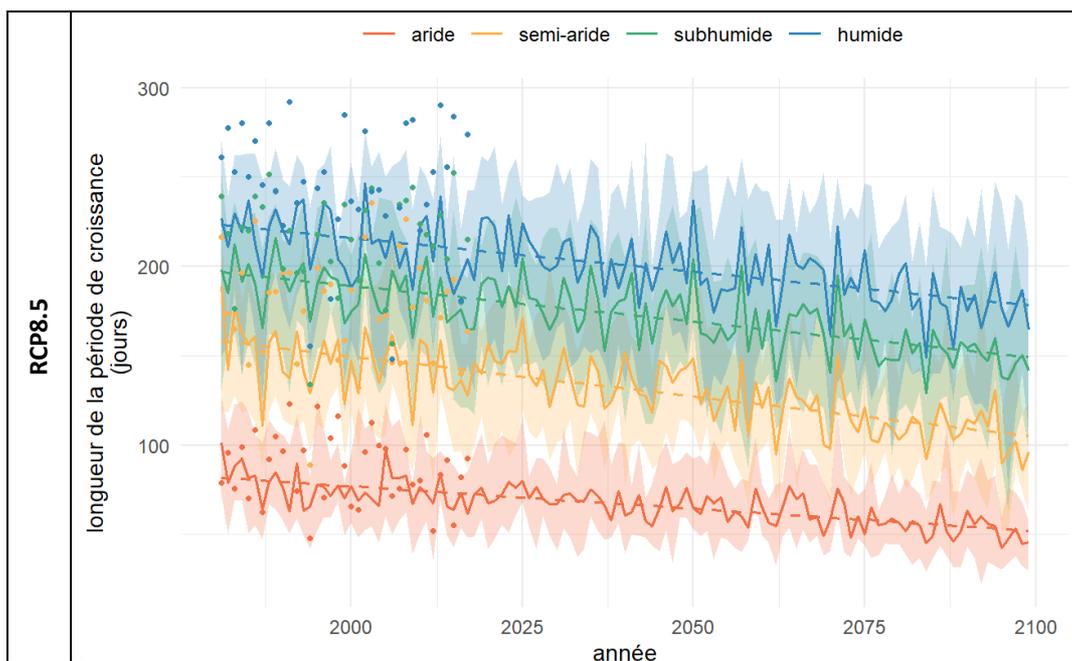


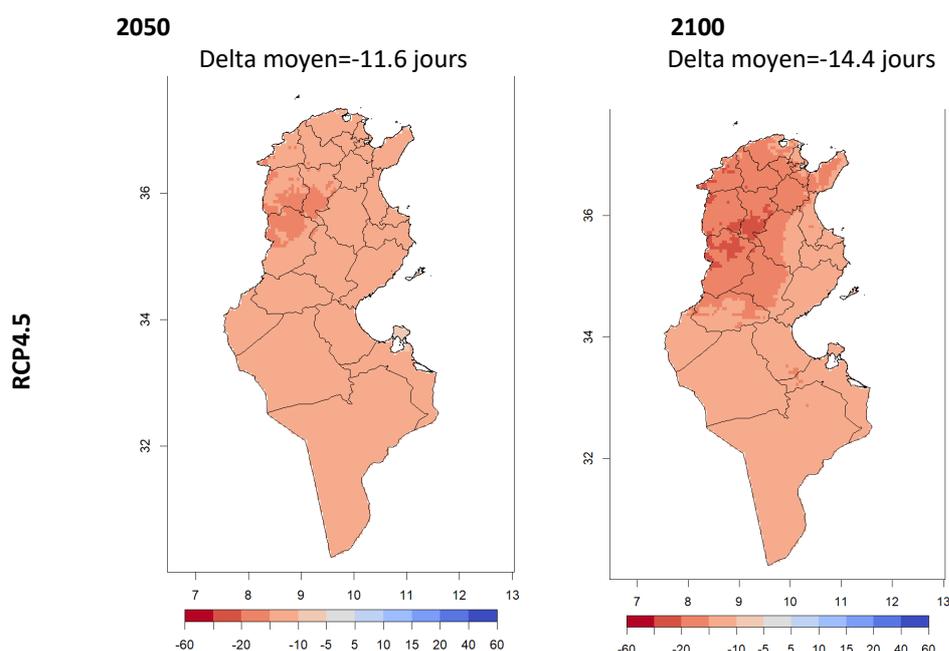
Figure 9 : Tendence de la longueur de la période de croissance végétative (jours) sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-1.4	-0.8	-1.3	-2.4	-2.3	-2.0
RCP8.5	-2.7	-1.6	-2.5	-4.5	-4.0	-3.8

Tableau 4 : Taux d'évolution (jour/an) de la longueur de la période de croissance végétative sur la période 1981 – 2010 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

La diminution de la longueur de la période de croissance végétative est significative pour tous les étages bioclimatiques. L'étage semi-aride devrait être le plus fortement impacté alors que la zone saharienne sera la plus épargnée par cette diminution de la longueur de la période de croissance végétative.

#### Date de montaison du blé (D\_mon)



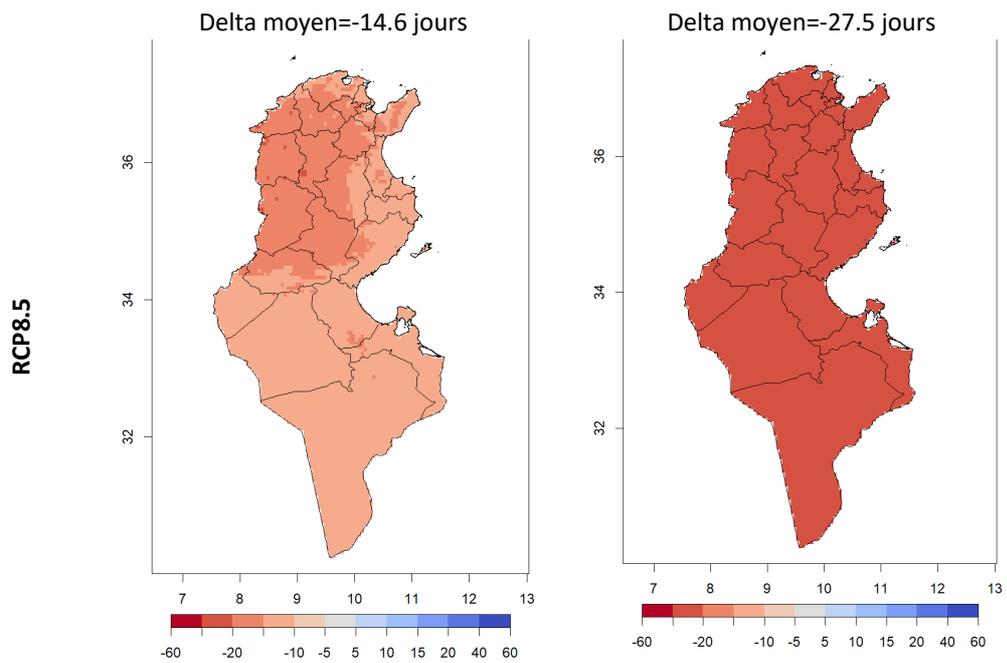
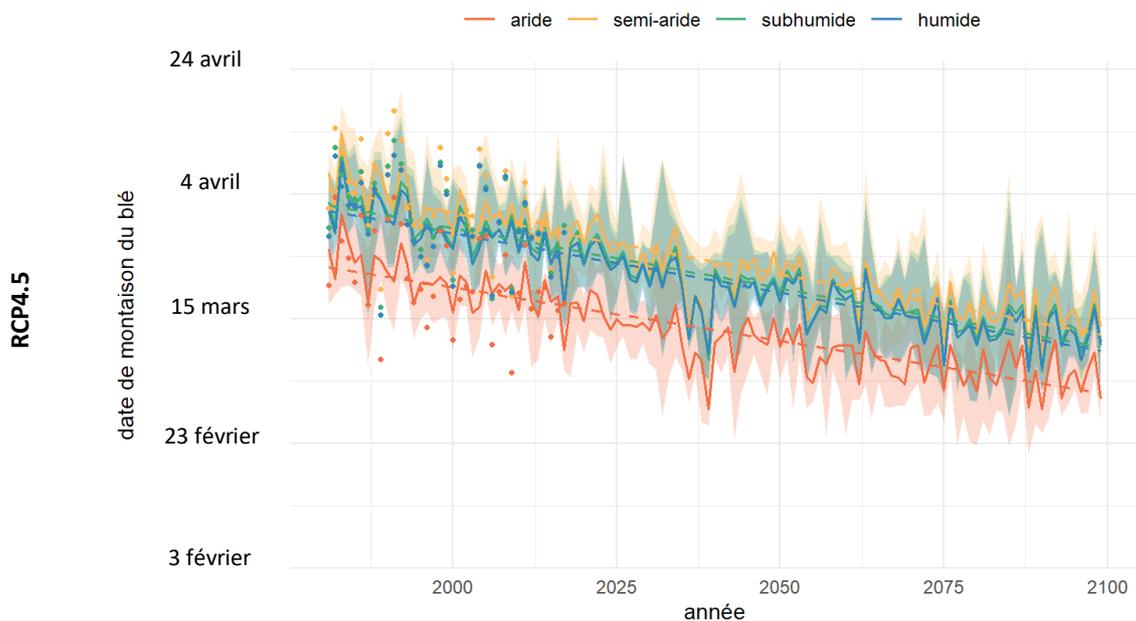


Figure 10 :Évolution de la date de montaison du blé (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

La montaison du blé devrait se produire plus tôt, avec une **avancée entre 11.6 jours et 14.6 jours en 2050** et **entre 14.4 jours et 27.5 jours en 2100** par rapport à la date moyenne actuelle de la Tunisie qui est le 22 mars. L'avancement le plus important de la date de montaison du blé se trouve dans le Nord-Ouest du territoire tunisien pour les deux horizons du scénarios RCP4.5 et pour l'horizon 2050 suivant le scénario RCP8.5. Ce dernier scénario montre une avancée de la date de montaison du blé homogène sur toute la Tunisie en 2100.



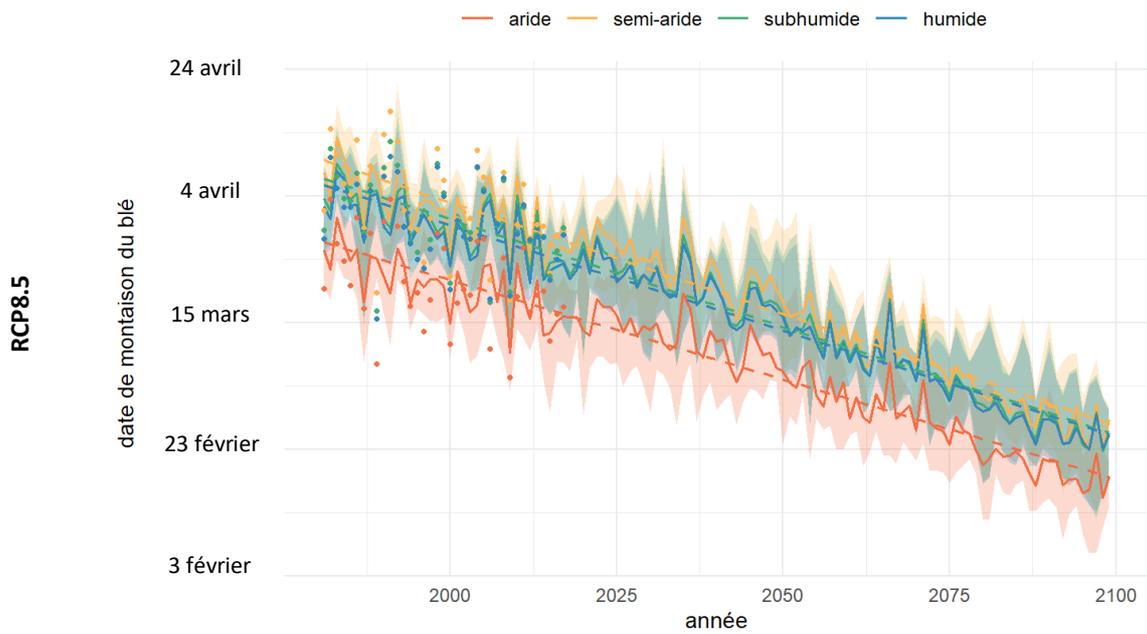


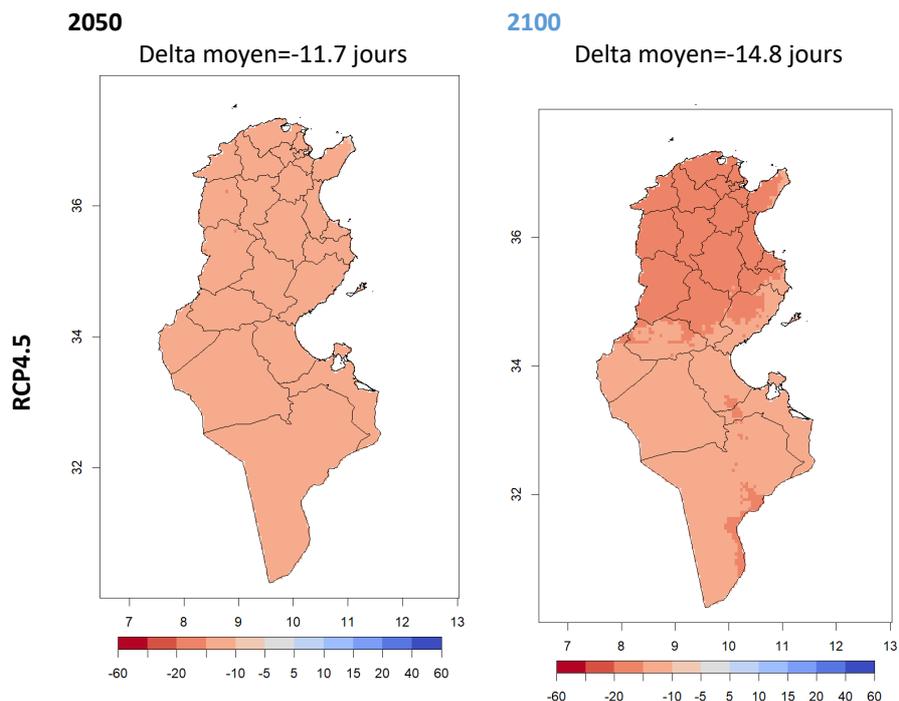
Figure 11: Tendence de la date de montaison du blé sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-1.7	-1.5	-1.7	-2.0	-1.9	-1.9
RCP8.5	-3.1	-2.9	-3.1	-3.5	-3.4	-3.3

Tableau 5 : Taux d'évolution (jour/décennie) de la date de montaison du blé sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les tendances de l'avancement de la date de montaison du blé **sont significatives** pour tous les étages bioclimatiques. Les taux d'avancement sont plus importants pour les étages semi-arides, subhumide et humide.

#### Date de maturation du blé (D<sub>mat</sub>)



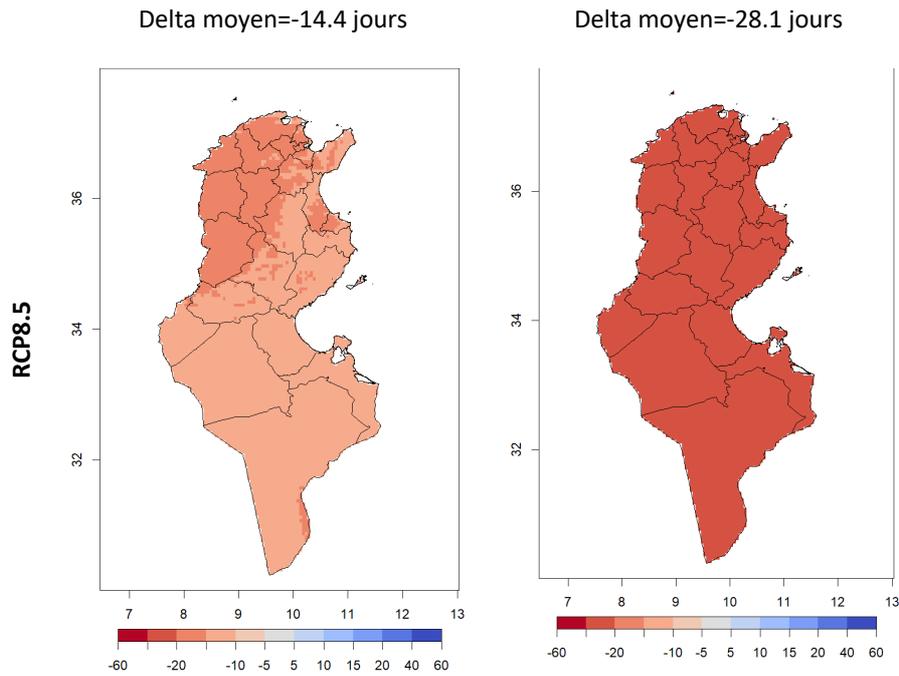
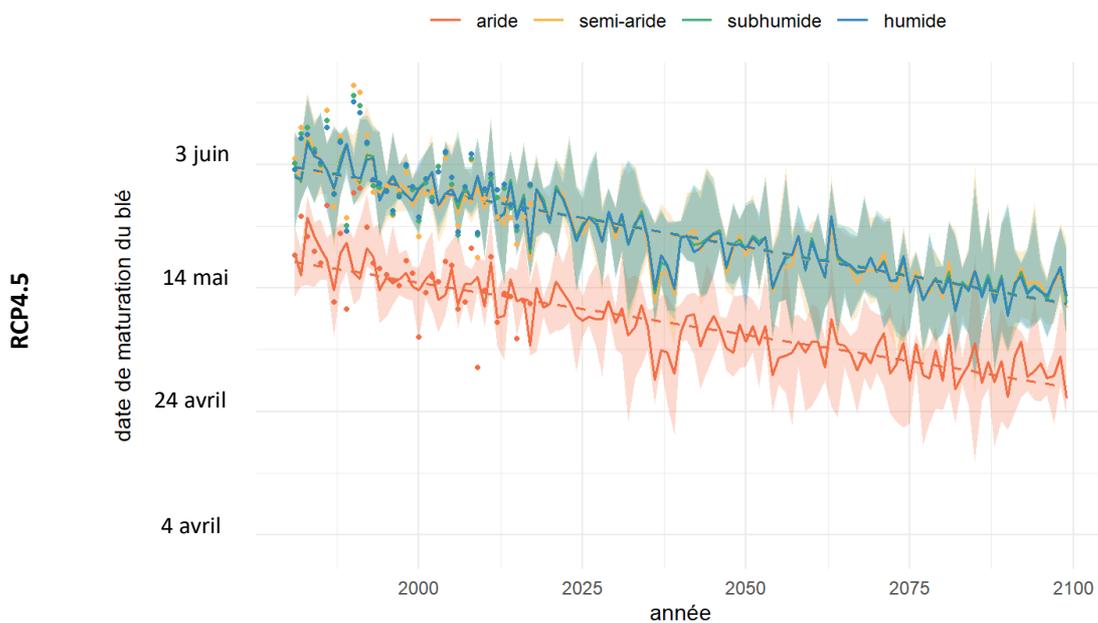


Figure 12 : Évolution de la date de maturation du blé (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

L'évolution de la date de maturation du blé est similaire à celle attendue pour la date de montaison. L'ensemble multi-modèles montre une avancée de la date de maturation **entre 11.7 jours et 14.4 jours en 2050** et **entre 14.8 jours et 28.1 jours en 2100** par rapport à la date moyenne actuelle du territoire qui est le 17 mai. Cette avancée est aussi plus importante au Nord du territoire pour le scénario RCP4.5 en 2100 et pour le scénario RC8.5 en 2050 et devient homogène sur toute le Tunisie pour ce même scénario en 2100.



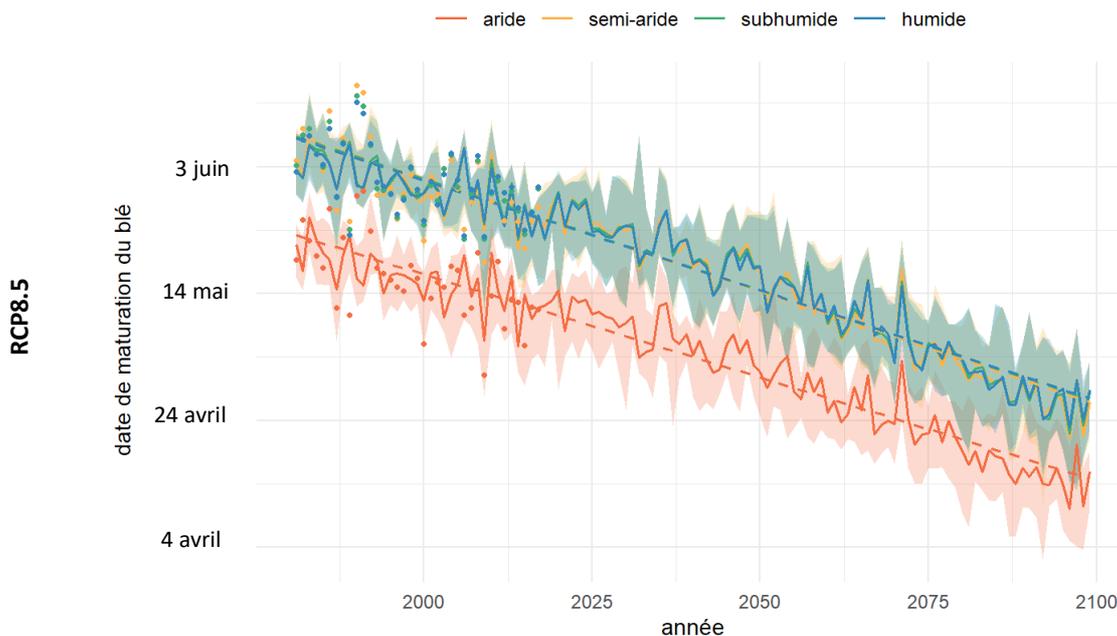


Figure 13 : Tendence de la date de maturation du blé sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-1.7	-1.6	-1.7	-1.9	-1.9	-1.9
RCP8.5	-3.3	-3.0	-3.3	-3.6	-3.5	-3.5

Tableau 6 : Taux d'évolution (jours/décennie) de la date de montaison du blé sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les tendances à l'avancement de la date de maturation du blé **sont significatives** et suivent aussi celles vues précédemment pour la date de montaison. Les trois étages bioclimatiques les plus touchés sont le semi-aride, le subhumide et l'étage humide.

## Nombre de jours échaudants entre avril et juin (N\_ech)

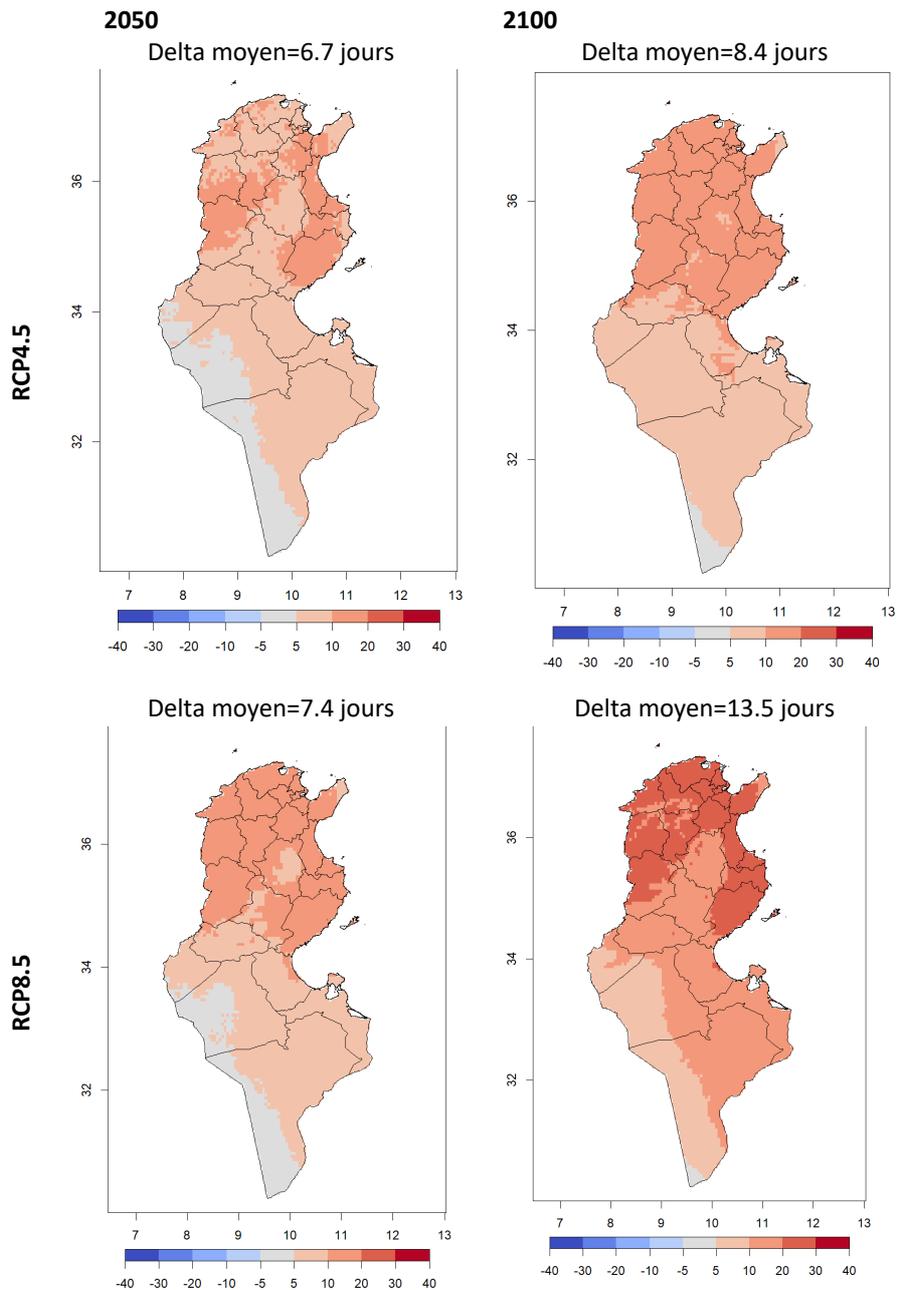


Figure 14 : Évolution du nombre de jours échaudants entre avril et juin (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

Les projections montrent une augmentation du nombre de jours échaudants **entre 6.7 jours et 7.4 jours en 2050 et entre 8.4 jours et 13.5 jours en 2100** par rapport à la période de référence. Les observations indiquent un nombre de jours échaudants de 62 jours en moyenne sur le territoire en période de référence. Le Sud-Ouest de la Tunisie devrait être faiblement impacté par ce changement alors que le Nord du territoire devrait subir la plus forte augmentation.

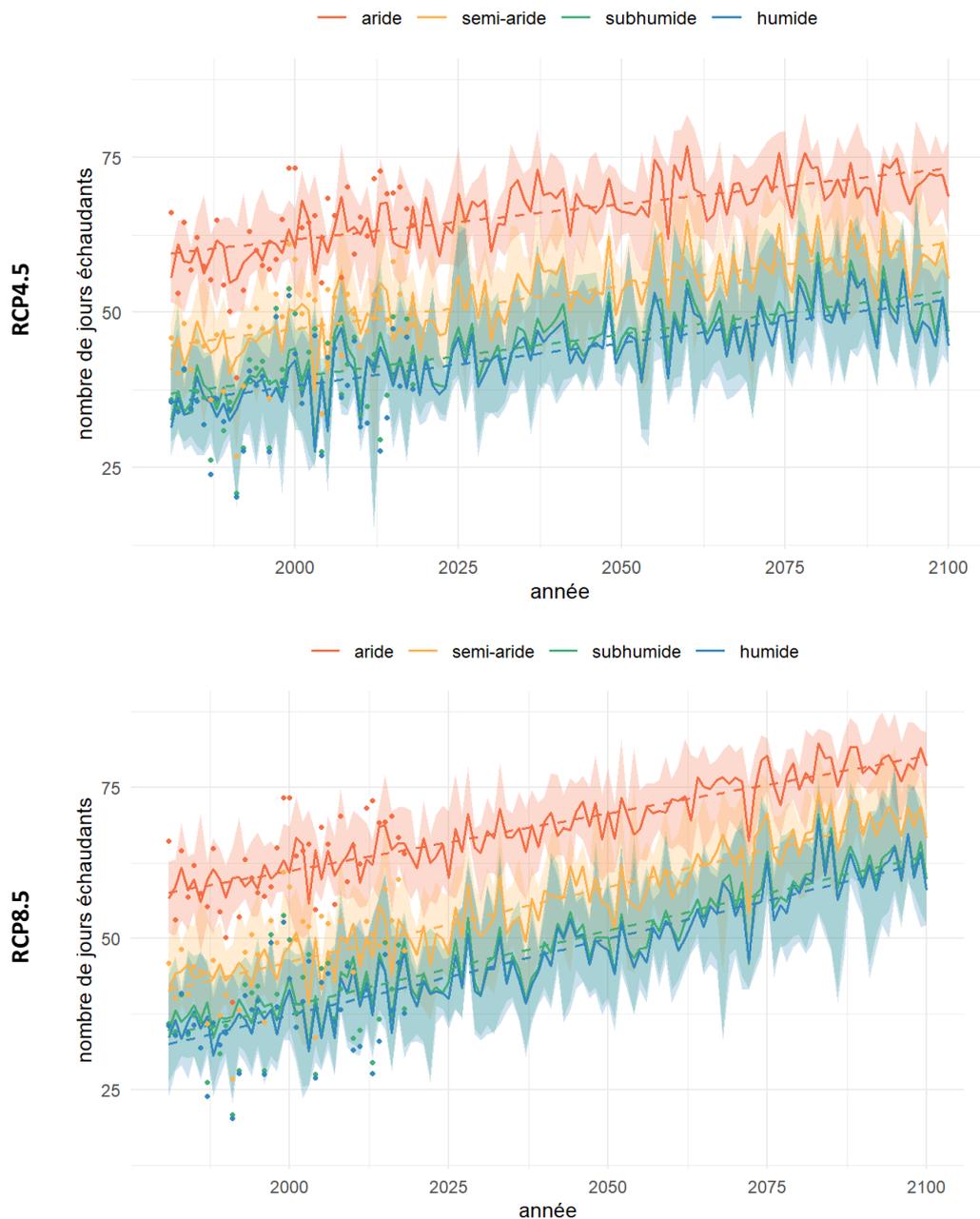


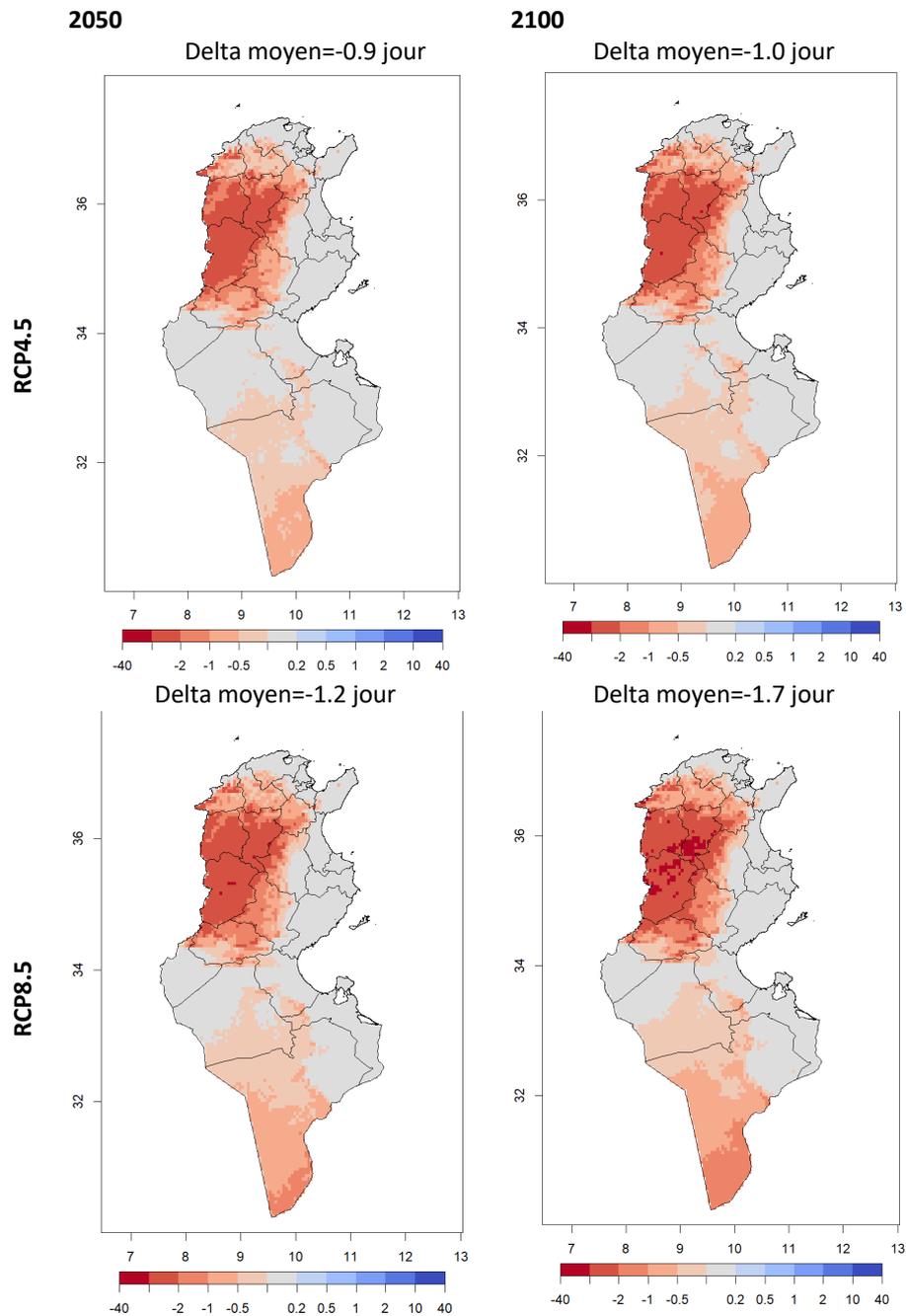
Figure 15 : Tendence du nombre de jours échaudants entre avril et juin sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	1.1	0.8	1.2	1.4	1.4	1.4
RCP8.5	1.8	1.1	1.9	2.5	2.5	2.5

Tableau 7 : Taux d'évolution (jours/décennie) du nombre de jours échaudants sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les taux d'augmentation **sont significatifs** pour tous les étages bioclimatiques et montrent un gradient de l'étage saharien vers les étages les plus humides. En effet, les étages semi-aride, subhumide et humide devraient subir la hausse la plus importante du nombre de jours.

## Nombre de jours de gel printanier (février à avril) (N\_gel\_pr)



**Figure 16 : Évolution du nombre de jours de gel printanier (février à avril) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).**

Une diminution du nombre de jours de gel printanier est attendue en moyenne sur le territoire tunisien. Cette diminution est comprise **entre -0.9 jour et -1.2 jour en 2050** et **entre -1.0 jour et -1.7 jour en 2100** par rapport à la période de référence. Le RCP 8.5 indique qu'il ne devrait en moyenne plus y avoir de gel printanier en 2100. Le changement du nombre de jours de gel printanier n'est pas homogène sur toute la Tunisie. Le Nord-Ouest devrait être le plus touché par cette diminution, ainsi que le Sud du territoire.

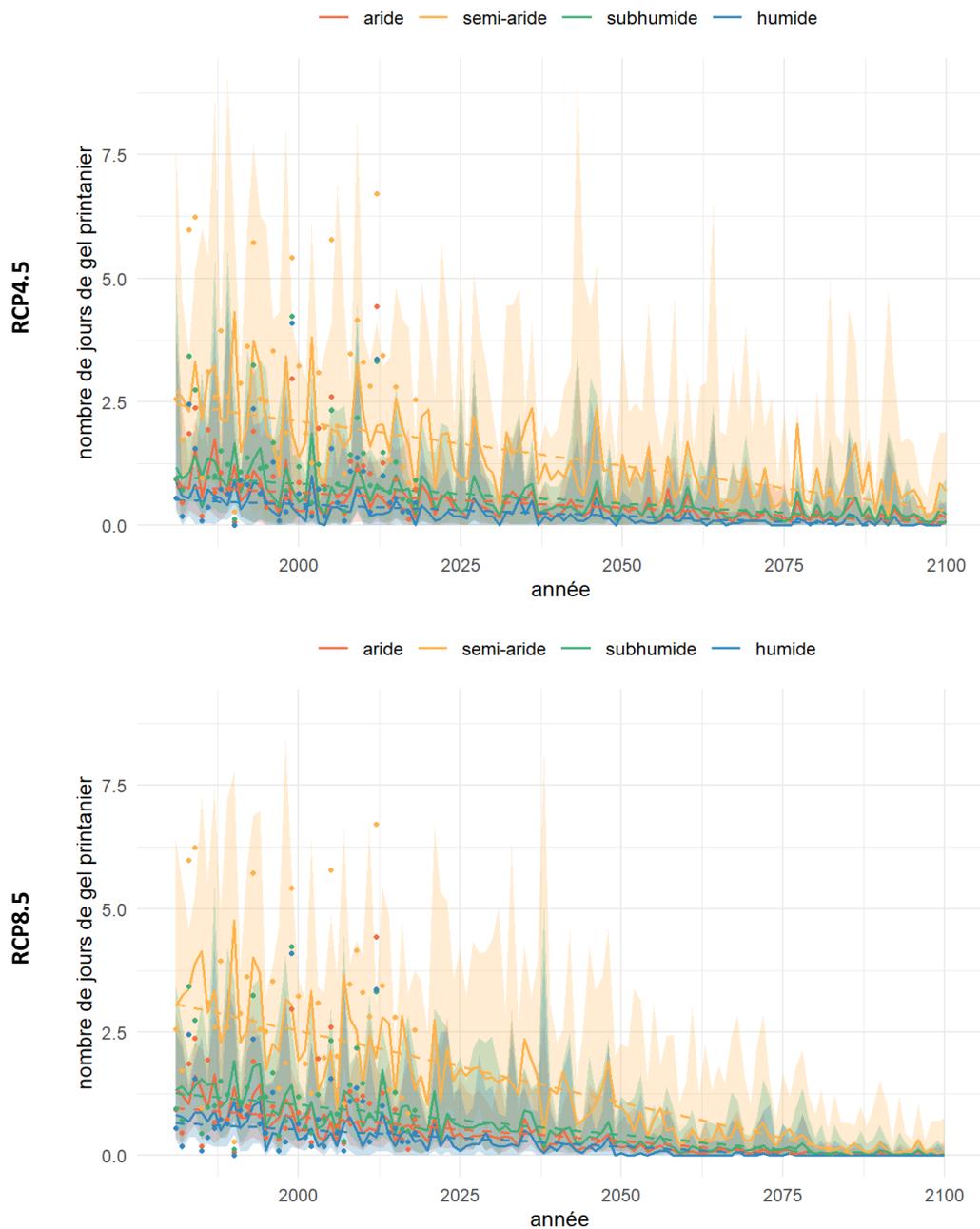


Figure 17 : Tendence du nombre de jours de gel printanier (février à avril) sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-0.08	-0.02	-0.06	-0.2	-0.08	-0.05
RCP8.5	-0.1	-0.03	-0.1	-0.3	-0.1	-0.07

Tableau 8 : Taux d'évolution (jours/décennie) du nombre de jours de gel printanier sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les tendances à la baisse du nombre de jours de gel printanier **sont significatives** pour tous les étages bioclimatiques. La tendance la plus marquée est celle de l'étage semi-aride. L'étage saharien devrait être l'étage bioclimatique le moins touché par le changement du nombre de jours de gel printanier.

## Nombre de jours de gel fort ( $T_{min} < -5^{\circ}C$ ) annuels ( $N_{gel\_F\_an}$ )

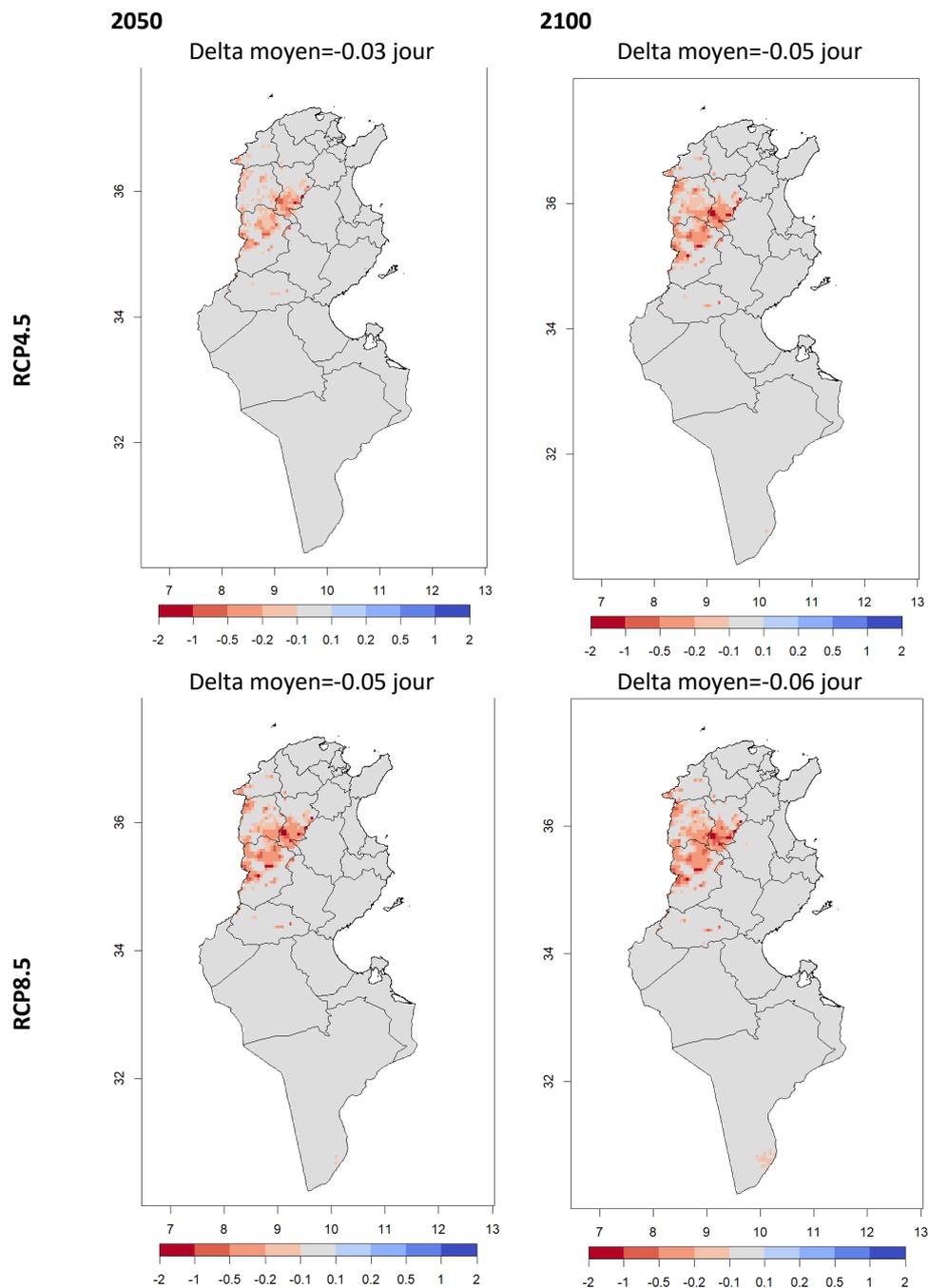


Figure 18 : Évolution du nombre de jours de gel fort (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

Les projections montrent une légère diminution du nombre de jours de gel fort qui représente **moins d'un jour** pour les deux horizons et les deux scénarios. Cette diminution est localisée au Nord-Ouest de la Tunisie.

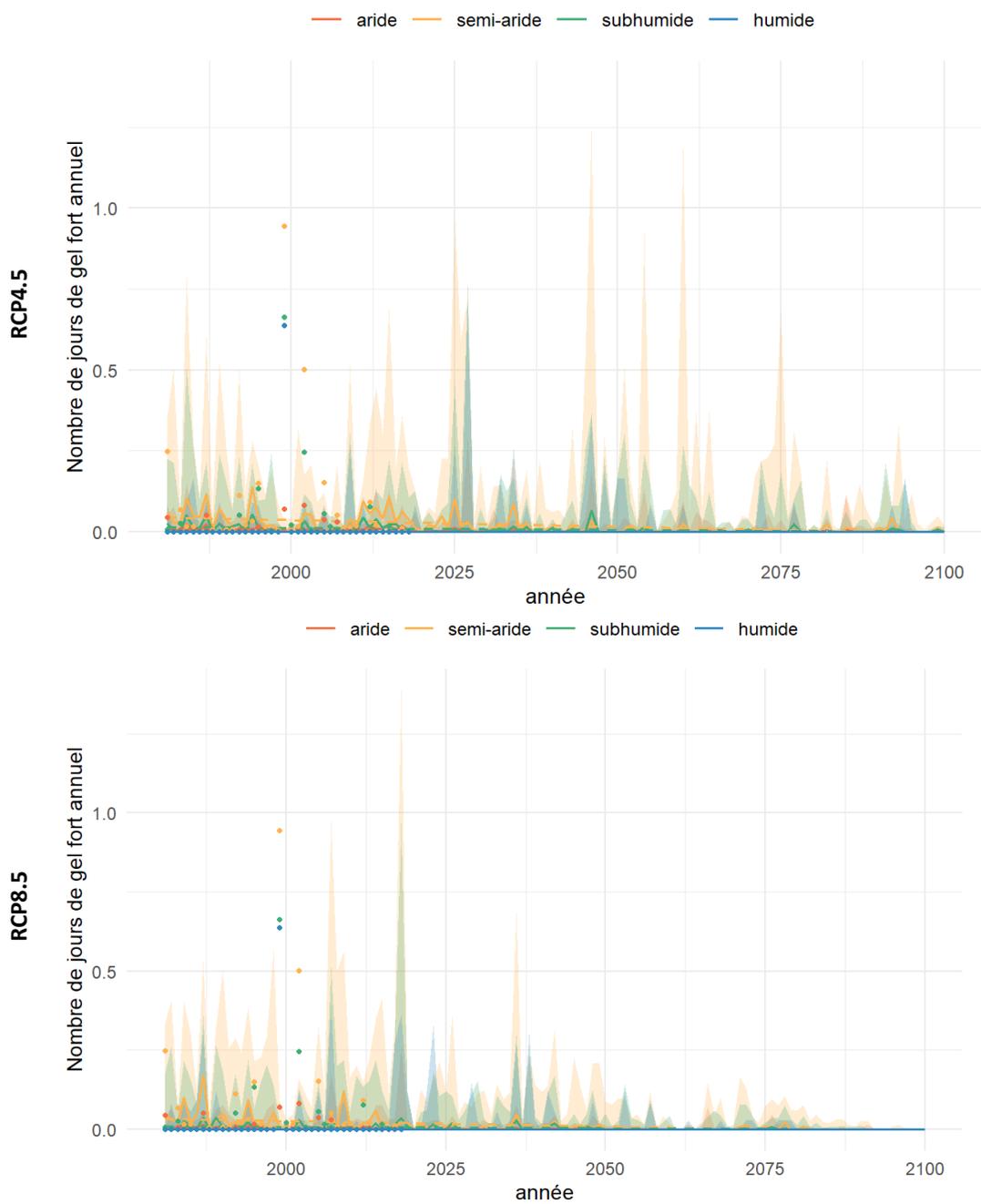


Figure 19 : Tendence du nombre de jours de gel fort sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-0,001	-0.000007	-0.0007	-0.004	-0.001	0.0
RCP8.5	-0,001	-0.000005	-0.0005	-0.003	-0.0009	0.0

Tableau 9 Taux d'évolution (jours/décennie) du nombre de jours de gel fort sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les taux de réduction du nombre de jours de gel fort annuels sont très faibles mais **significatifs pour tous les étages bioclimatiques**. De même que pour l'évolution du nombre de jours de gel printanier, l'étage semi-aride devraient subir la baisse la plus importante du nombre de jours de gel fort annuel. Les modèles montrent une quasi-disparition des jours de gel fort en fin de siècle dans tout le pays.

## Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier (D\_froid)

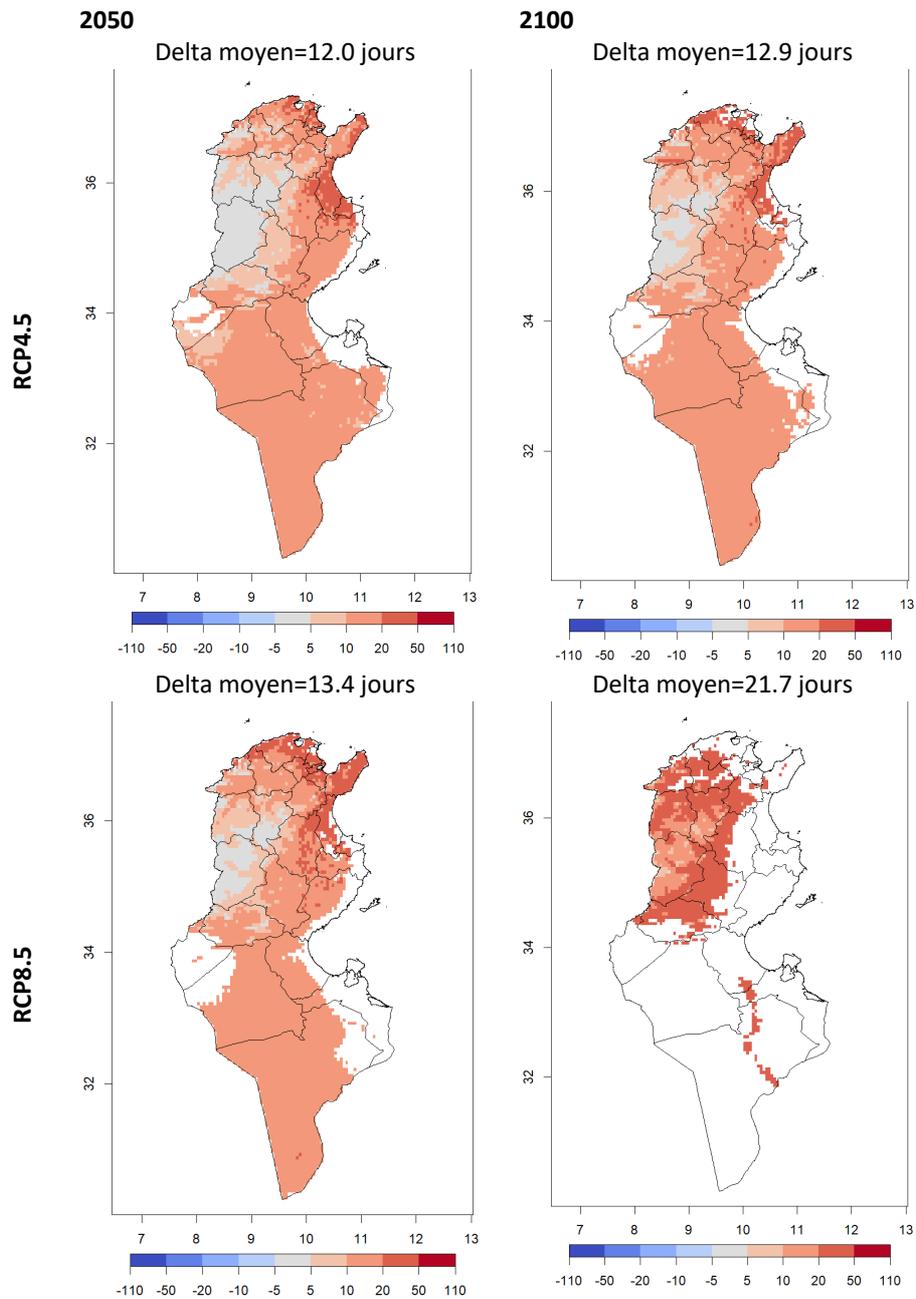


Figure 20: Évolution de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

La date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier devrait être retardée **entre 12.0 jours et 13.4 jours en 2050** et **entre 12.9 jours et 21.7 jours en 2100** par rapport à la période de référence, cette date est actuellement comprise entre le 5 et le 30 janvier à Sfax où se situe une importante partie de la production d'olivier. Ce retardement sera plus important au niveau du littoral tunisien. Le Nord-Ouest devrait quant à lui subir un faible changement dans la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier.

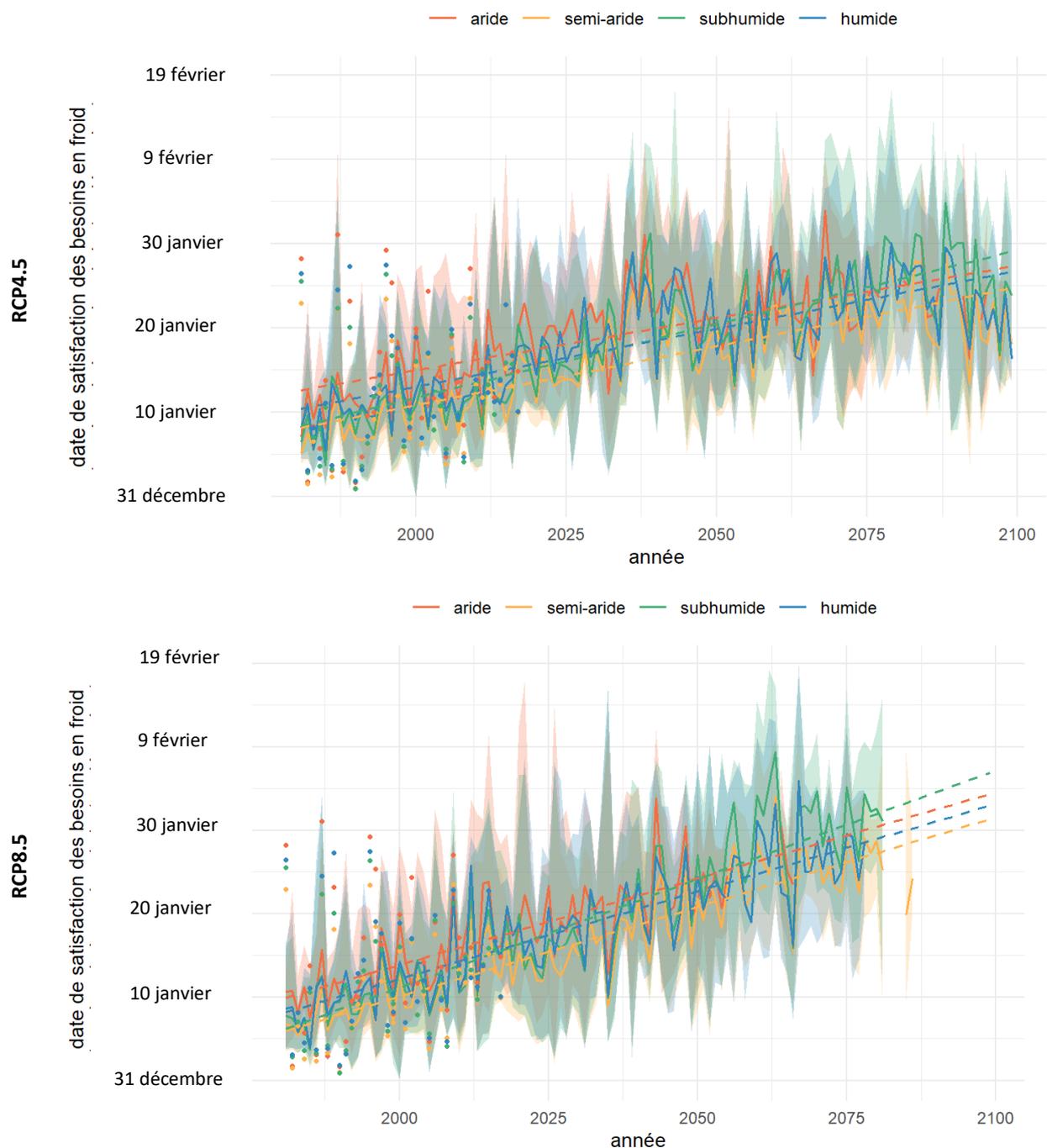


Figure 21 : Tendence de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	1.5	1.8	1.2	1.4	1.8	1.4
RCP8.5	2.3	3.0	2.1	2.2	2.6	2.1

Tableau 10: Taux d'évolution (jours/décennie) de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les tendances au recul de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier **sont significatives pour tous les étages bioclimatiques uniquement selon le scénario RCP8.5**. Pour les deux scénarios, l'étage saharien présente le plus fort recul. Le changement de la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier sera le plus faible pour l'étage aride.

## Nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août (N\_40)

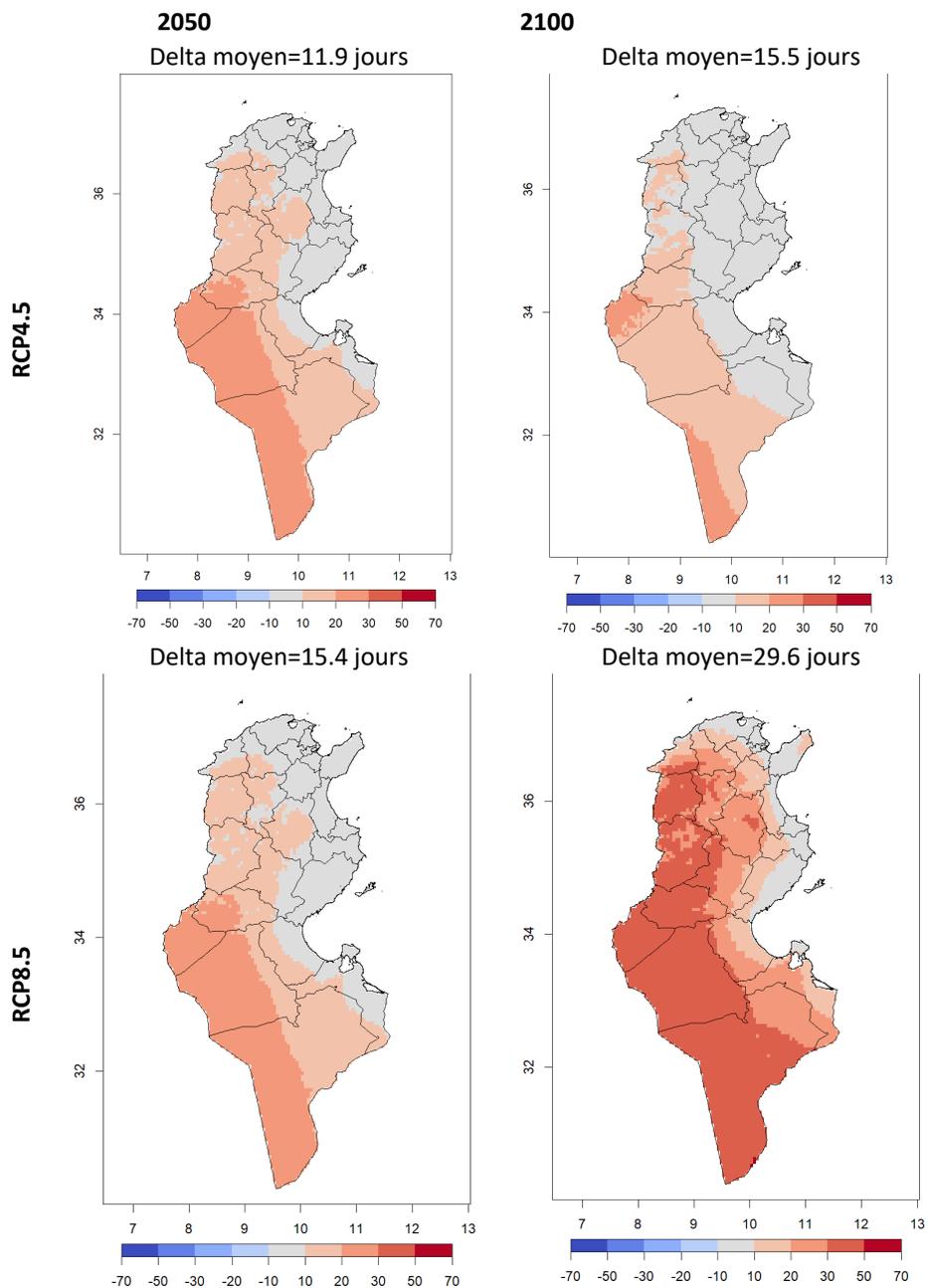


Figure 22 : Évolution du nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

Les projections montrent une augmentation du nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août **entre 11.9 jours et 15.4 jours en 2050** et **entre 15.5 jours et 29.6 jours en 2100** par rapport à la période de référence. Le nombre de jours de chaleur extrême observés en moyenne sur le territoire est de 14 jours pour la période de référence. Un gradient se dessine avec une augmentation croissante du nombre de jours de chaleur extrême des zones littorales vers l'intérieur des terres, en particulier le Sud-Ouest.

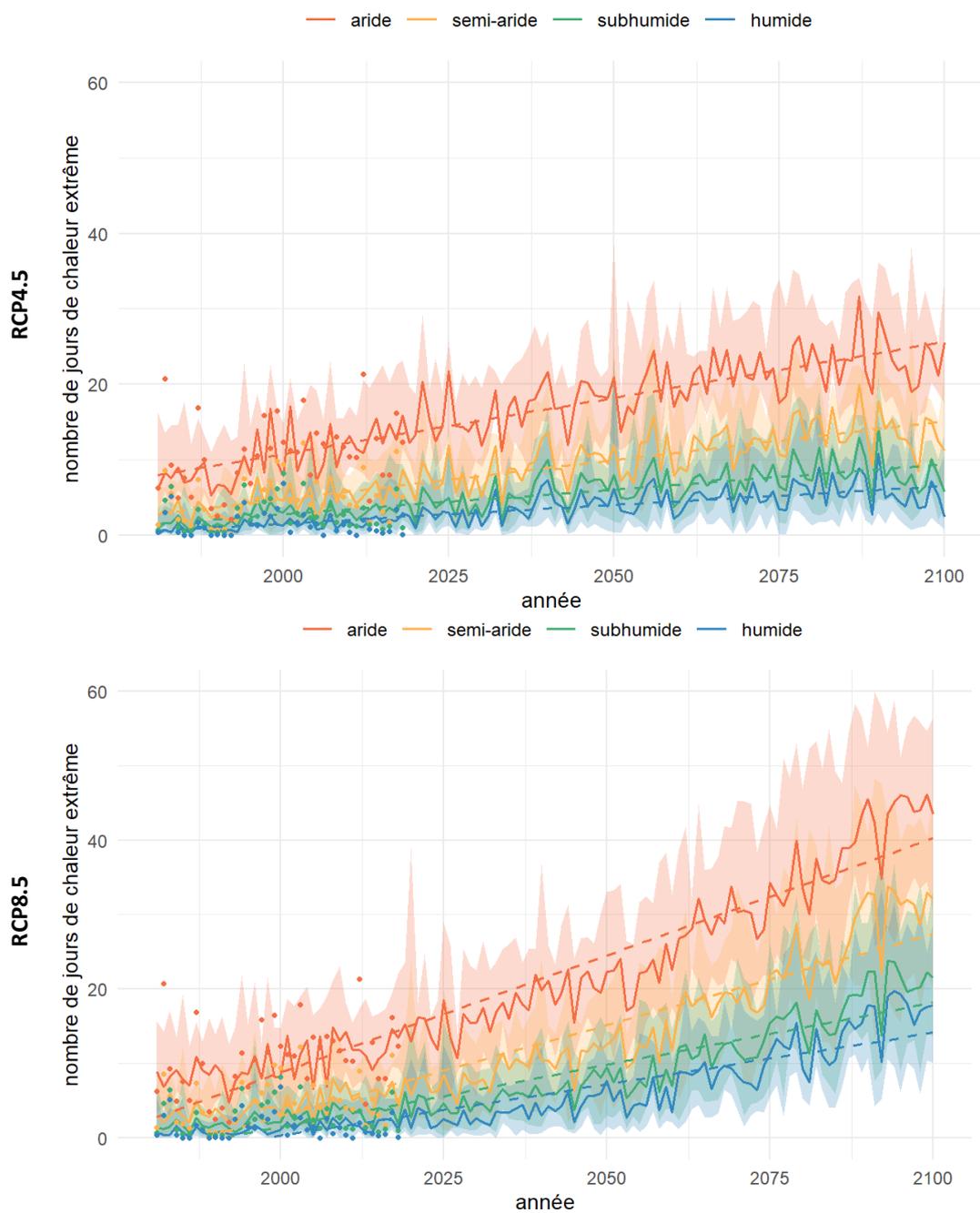


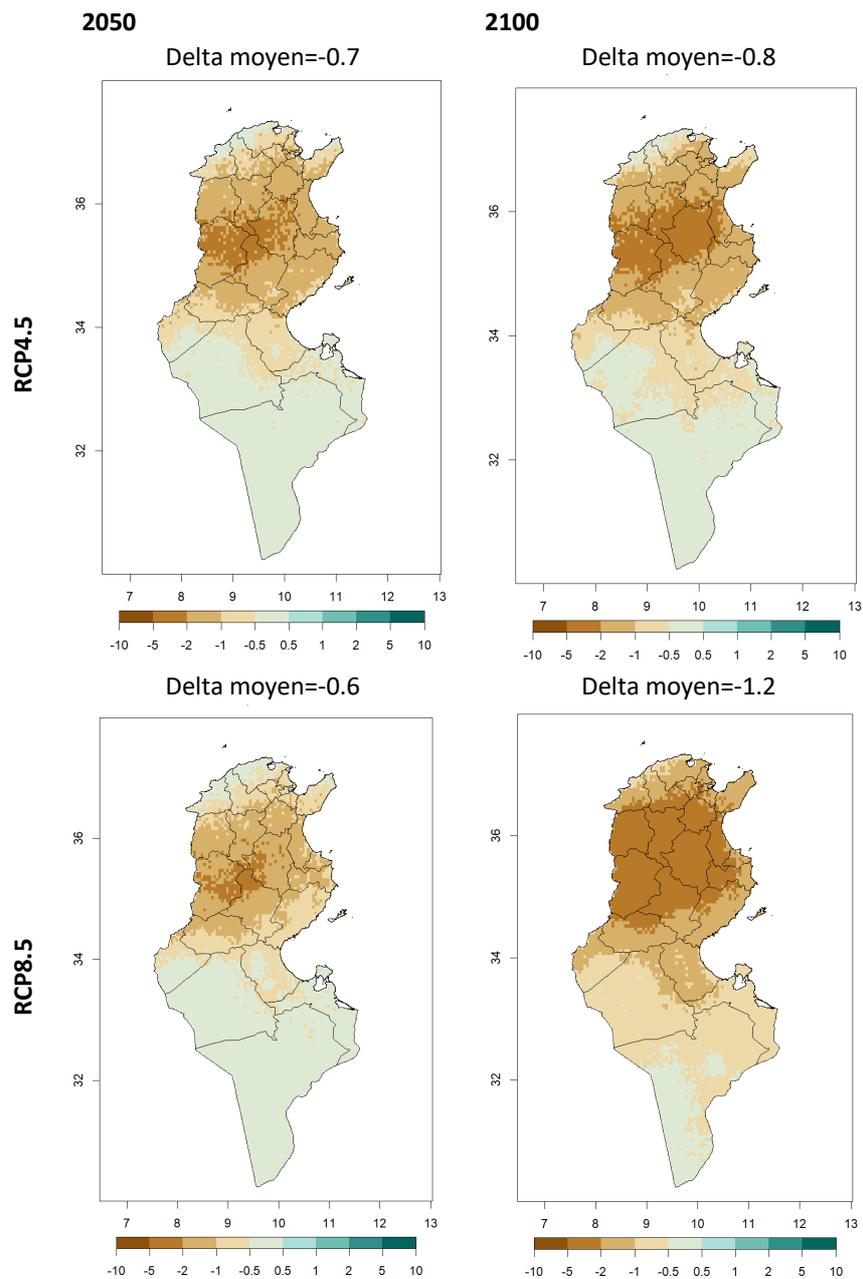
Figure 23 : Tendence du nombre de jours de chaleur extrême sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	1.7	2.5	1.5	1.0	0.7	0.5
RCP8.5	3.4	4.6	3.2	2.4	1.7	1.4

Tableau 11 : Taux d'évolution (jours/décennie) du nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les hausses du nombre de jours de chaleur extrême entre juin et août **sont significatives pour tous les étages bioclimatiques**. La tendance à la hausse augmente selon un gradient de l'étage le plus humide au plus aride. L'étage saharien devrait ainsi subir l'augmentation la plus importante.

## Indice de répartition pluviométrique (IRP)



**Figure 24: Évolution de l'indice de répartition pluviométrique à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).**

Une diminution de l'indice de répartition pluviométrique majoritairement localisée dans le Centre et Centre-Ouest est attendue. Cette baisse sera comprise **entre -0.7 et -0.6 en 2050** et **entre -0.8 et -1.2 en 2100** par rapport à la valeur de référence.

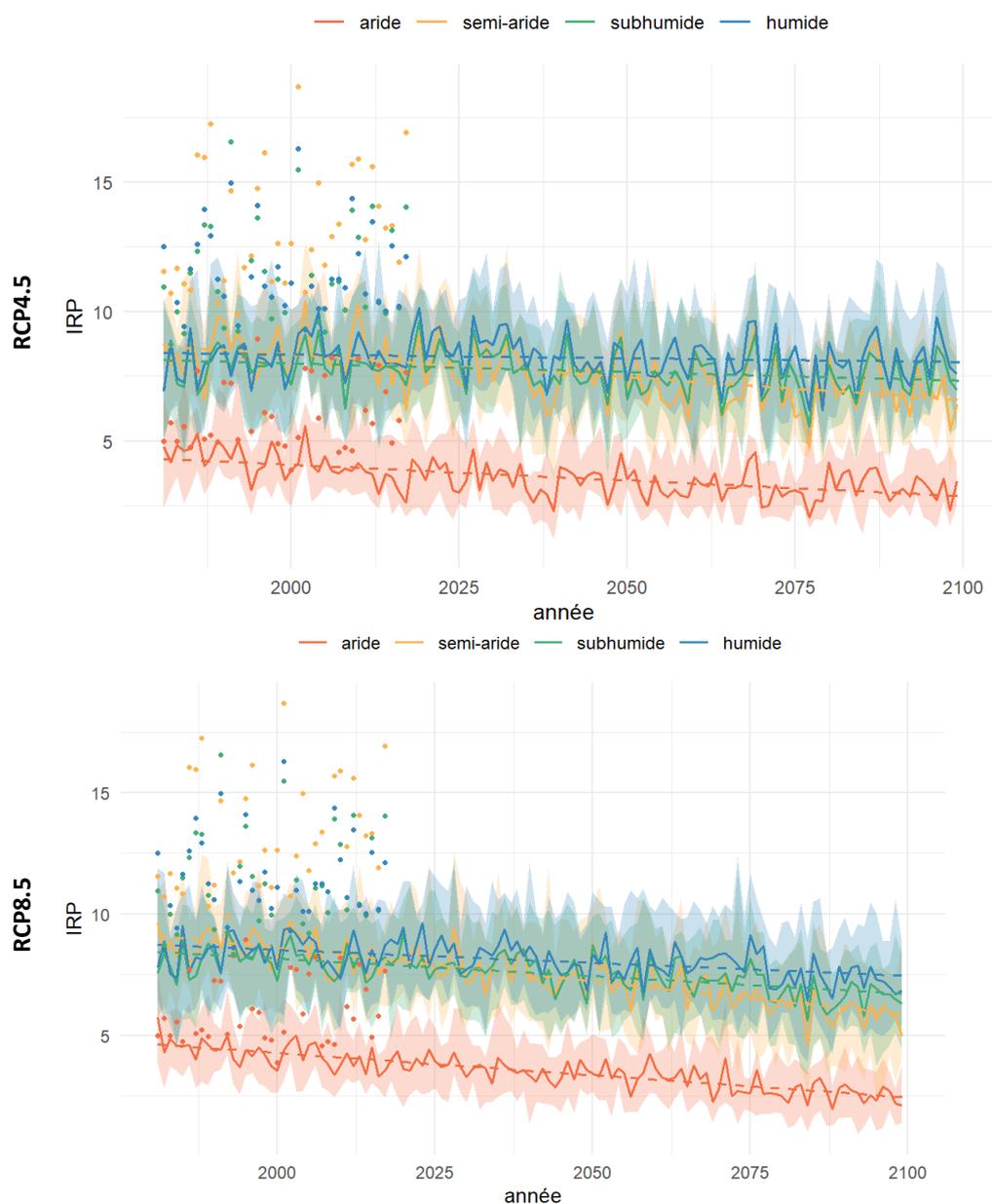


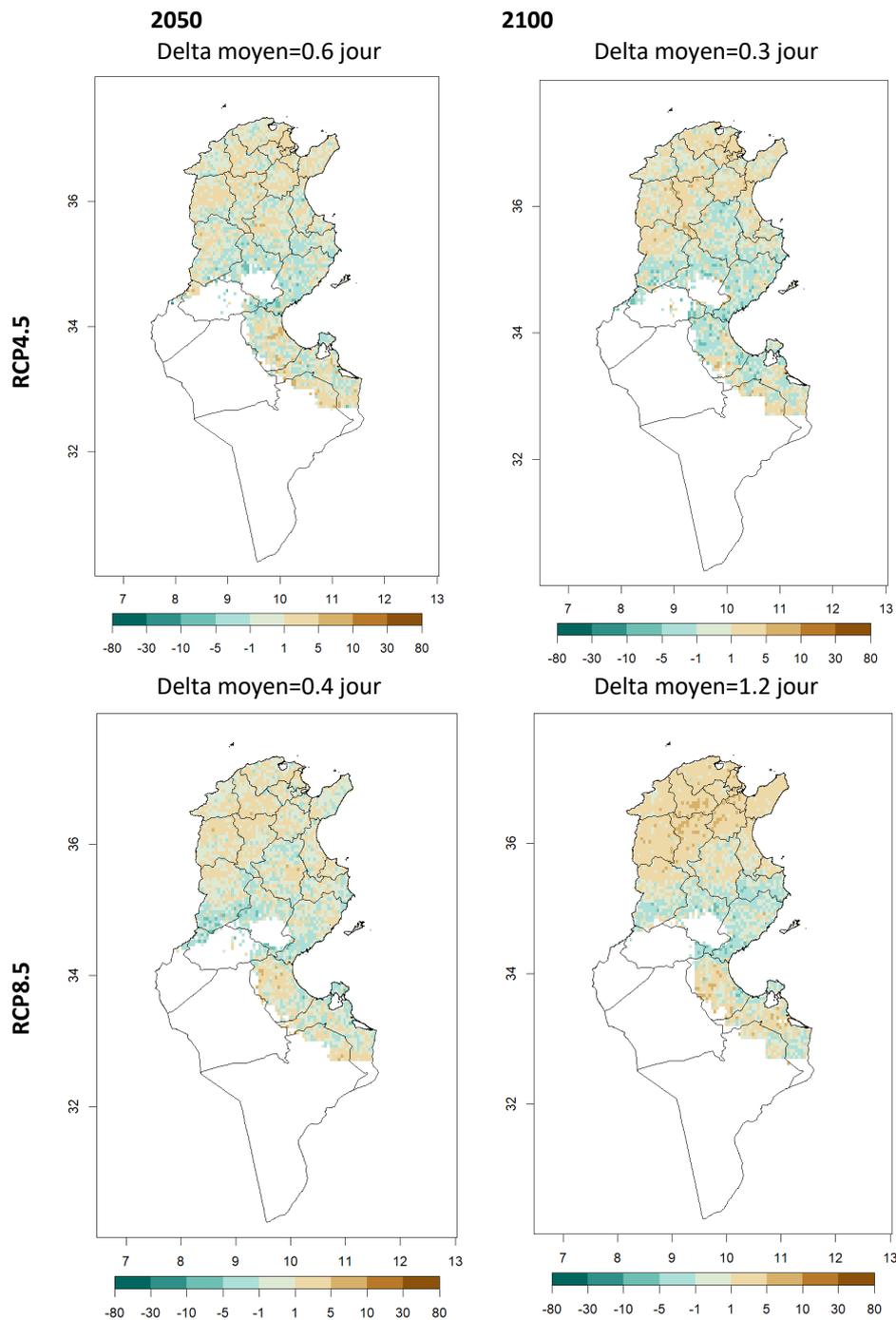
Figure 25 : Tendence de l'indice de répartition pluviométrique sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	-0.09	-0.04	-0.1	-0.2	-0.07	-0.03
RCP8.5	-0.2	-0.07	-0.2	-0.3	-0,1	-0.1

Tableau 12: Taux d'évolution (par décennie) de l'indice de répartition pluviométrique sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique.

Les tendances à la baisse de l'indice de répartition pluviométrique **sont significatives pour tous les étages bioclimatiques**. L'étage semi-aride devrait être le plus touché par cette diminution. L'étage saharien devrait être le plus épargné selon le RCP8.5 alors que le scénario RCP4.5 devrait mener à un plus faible changement de l'étage humide.

## Nombre de jours entre les deux premières pluies journalières efficaces (N\_P\_eff)

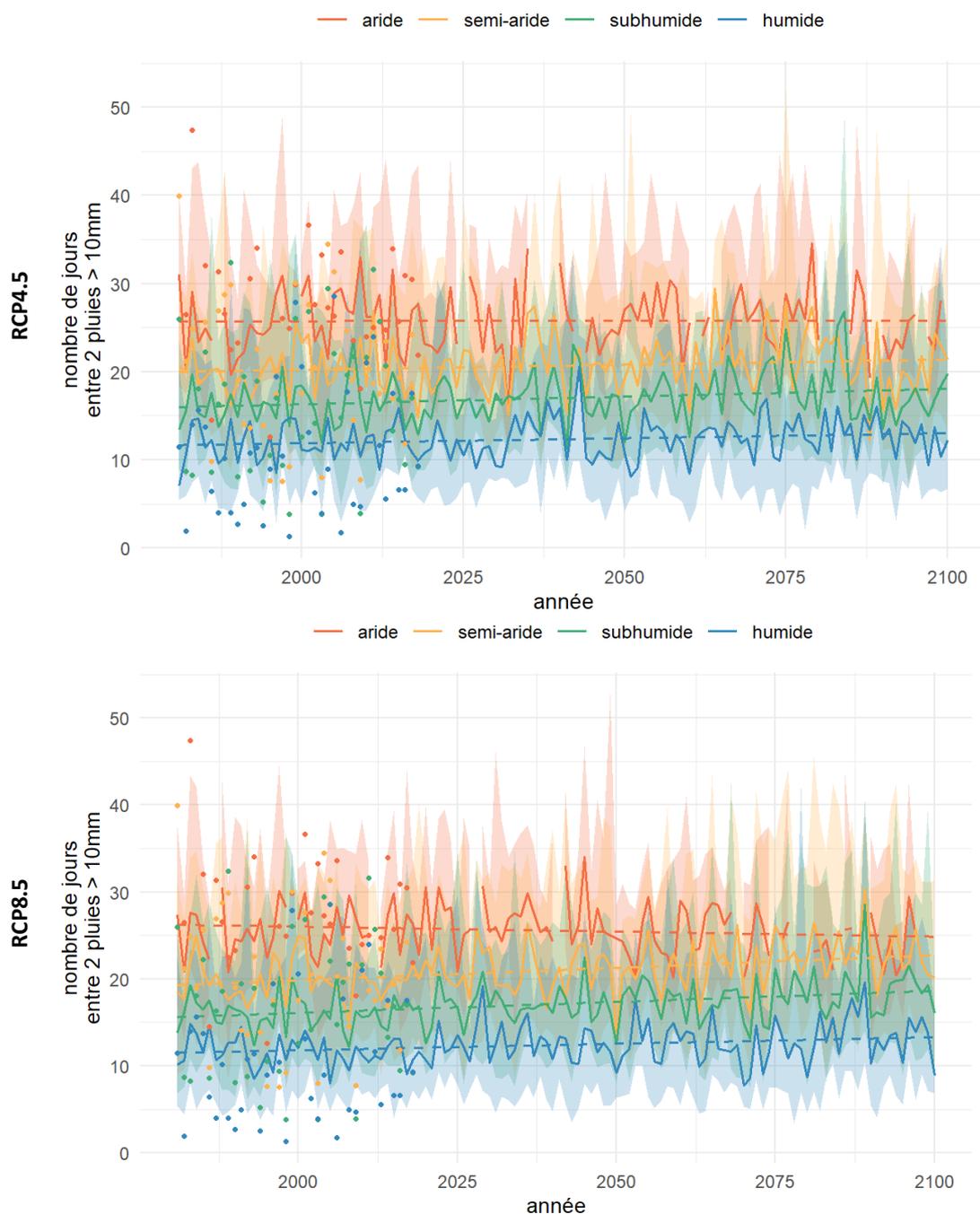


Figure

26 :

Évolution du nombre de jour entre les deux premières pluies journalières efficaces (j) à moyen (2050, à gauche) et long (2100, à droite) terme par rapport à la période de référence 1981 – 2010 selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (médianes de l'ensemble des modèles).

Les projections montrent une augmentation du nombre de jours entre les deux premières pluies journalières efficaces **entre 0.6 jours et 0.4 jours en 2050 et entre 0.3 jour et 1.2 jour en 2100** par rapport à la période de référence, qui est actuellement de plus de 25 jours dans les gouvernorats d'intérêt pour les parcours. Cette augmentation est localisée au Nord de la Tunisie.



**Figure 27 : Tendence du nombre de jours entre les deux premières pluies efficaces sur la période 1981 – 2100 par étage bioclimatique.**

	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
RCP4.5	0.03	-	0.007	0.1	0.2	0.1
RCP8.5	0.01	-	-0.1	0.3	0.3	0.2

**Tableau 13 : Taux d'évolution (jours/décennie) du nombre de jours entre les deux premières pluies journalières efficaces sur la période 1981 – 2100 pour la Tunisie et par étage bioclimatique**

Les tendances de l'évolution du nombre de jours entre les deux premières pluies journalières efficaces montrent une augmentation pour tous les étages, excepté pour l'étage aride où une diminution est attendue. Cependant, ces tendances par étages bioclimatiques ne sont pas significatives.

### 1.3 Synthèse de l'évolution des indicateurs agroclimatiques

Indicateur agroclimatique	Valeur moyenne observée pour la Tunisie sur la période de référence	Scénario	Delta moyen par rapport à la période de référence <sup>3</sup>		Taux de variation par décennie					
			2050	2100	Tunisie	Saharien	Aride	Semi-Aride	Subhumide	Humide
Bilan hydrique (mm)	-94	RCP4.5	-40.7	-48.3	-5.2	-4.4	-4.8	-6.7	-10.1	-17.0
		RCP8.5	-41.4	-89.0	-9.9	-8.7	-9.2	-12.8	-18.5	-26.7
Évapotranspiration potentielle (mm)	564	RCP4.5	40.5	52.7	5.8	6.4	5.6	5.4	5.2	5.1
		RCP8.5	50.8	102.6	11.3	12.2	11.0	10.4	9.8	9.6
Indice de répartition pluviométrique	Très variable	RCP4.5	-0.7	-0.8	-0.09	-0.04	-0.1	-0.2	-0.07	-0.03
		RCP8.5	-0.6	-1.2	-0.2	-0.07	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1
Nombre de jours entre 2 pluies efficaces (jours)	>25 dans les territoires d'intérêts pour les parcours	RCP4.5	0.6	0.3	0.03	-	0.007	0.1	0.2	0.1
		RCP8.5	0.4	1.2	0.01	-	-0.1	0.3	0.3	0.2
Longueur de la période de croissance végétative (jours)	95	RCP4.5	-9.6	-12.8	-1.4	-0.8	-1.3	-2.4	-2.3	-2.0
		RCP8.5	-11.1	-21.3	-2.7	-1.6	-2.5	-4.5	-4.0	-3.8
Date de montaison du blé (jours)	22 mars	RCP4.5	-11.6	-14.4	-1.7	-1.5	-1.7	-2.0	-1.9	-1.9
		RCP8.5	-14.6	-27.5	-3.1	-2.9	-3.1	-3.5	-3.4	-3.3
Date de maturation du blé (jours)	17 mai	RCP4.5	-11.7	-14.8	-1.7	-1.6	-1.7	-1.9	-1.9	-1.9
		RCP8.5	-14.4	-28.1	-3.3	-3.0	-3.3	-3.6	-3.5	-3.5
Nombre de jours de gel par an (jours)	4.2	RCP4.5	-2.8	-3.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.2	-0.1
		RCP8.5	-4.0	-5.7	-0.4	-0.3	-0.4	-0.8	-0.3	-0.2
Nombre de jours de gel fort par an (jours)	0.03	RCP4.5	-0.03	-0.05	-0,001	-7.00E-06	-7.00E-04	-0.004	-0.001	0.0
		RCP8.5	-0.05	-0.06	-0,001	-5.00E-06	-5.00E-04	-0.003	-9.00E-04	0.0
Nombre de jours de gel printanier (jours)	1.3	RCP4.5	-0.9	-1.0	-0.08	-0.02	-0.06	-0.2	-0.08	-0.05
		RCP8.5	-1.2	-1.7 <sup>4</sup>	-0.1	-0.03	-0.1	-0.3	-0.1	-0.07
Date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier (jours)	Très variable (entre le 5 et le 30 janvier à Sfax)	RCP4.5	12.0	12.9	1.5	1.8	1.2	1.4	1.8	1.4
		RCP8.5	13.4	21.7	2.3	3.0	2.1	2.2	2.6	2.1
Nombre de jours échaudants (jours)	62	RCP4.5	6.7	8.4	1.1	0.8	1.2	1.4	1.4	1.4
		RCP8.5	7.4	13.5	1.8	1.1	1.9	2.5	2.5	2.5
Nombre de jours de chaleur extrême (jours)	14	RCP4.5	11.9	15.5	1.7	2.5	1.5	1.0	0.7	0.5
		RCP8.5	15.4	29.6	3.4	4.6	3.2	2.4	1.7	1.4

**Tableau 14 Synthèse de la différence (Delta) des indicateurs agroclimatiques entre la période de référence et les horizons futurs, et taux de variation entre 1981 et 2100. Les taux de variations en italique ne présentent pas d'évolution significative.**

<sup>3</sup> Le delta correspond à la différence entre les valeurs modélisées pour les périodes futures et pour la période de référence.

<sup>4</sup> Le delta étant calculé sur les valeurs modélisées en périodes future et de référence, il peut dans certains cas dépasser la valeur observée, en valeur absolue.

## 2 Évaluation qualitative de la vulnérabilité actuelle de la Tunisie par la méthode Delphi

### 2.1 Méthodologie détaillée

Objectifs : L'objectif de l'enquête Delphi est **d'évaluer la vulnérabilité actuelle** des différentes régions de la Tunisie pour chaque risque affectant la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage extensif sur parcours, la pêche et l'eau agricole. La consultation devant s'effectuer à distance du fait des contraintes sanitaires lié au Covid 19, un processus basé sur la méthode Delphi est appliqué pour mobiliser l'intelligence collective.

Méthode Delphi : La méthode Delphi a été développée pour mener des évaluations ou prendre des décisions « à dire d'experts » tout en palliant certains écueils tels que le manque d'objectivité ou l'influence de groupes de pression, ou encore la convergence des évaluations vers l'avis d'un ou plusieurs « meneurs » de groupe. La méthode Delphi repose sur le partage anonyme d'avis argumentés de manière itérative : un coordinateur recueille les avis argumentés, les synthétise et les remet à disposition des experts pour qu'ils s'expriment à nouveau.

Dans le cas présent, l'enquête fait appel à un panel d'experts pour évaluer la vulnérabilité actuelle de chaque région de Tunisie pour chaque risque affectant la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage extensif sur parcours, la pêche et l'eau agricole. Pour cela, les experts s'appuient sur les grilles de notation fournies avec le questionnaire.

Les chaînes de risque produites pour chacun des risques des différents secteurs et présentées dans le rapport illustrent 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. Les experts sont amenés à considérer les facteurs de vulnérabilité présentés dans les chaînes de risque pour noter la sensibilité et la capacité d'adaptation actuelles.

Cette évaluation de la vulnérabilité actuelle se fait en deux temps :

- 1- Les experts participants répondent à un premier questionnaire leur demandant d'attribuer des notes de sensibilité et de capacité d'adaptation actuelles pour chaque risque et chaque région en fonction des facteurs de sensibilité et capacité d'adaptation pour chaque secteur. Les experts sont amenés à justifier leurs choix lors de la notation.  
Les résultats du questionnaire sont analysés et synthétisés.
- 2- Un deuxième questionnaire est envoyé aux experts. Il comprend la présentation anonyme des résultats du premier questionnaire et les arguments avancés pour justifier les choix de chacun. Les experts ayant ainsi pris connaissance de l'avis des autres experts, ils sont invités à noter à nouveau la sensibilité et de capacité d'adaptation actuelles de chaque risque par région et ont ainsi la possibilité de modifier leur avis par rapport au premier questionnaire.

**Les résultats finaux sont à nouveau analysés et donnent lieu à la notation de la vulnérabilité actuelle par région et par risque pour les différents secteurs étudiés.**

### Niveau de participation à l'enquête Delphi :

Secteur	Nombre de participants lors du premier tour	Nombre de participants lors du deuxième tour	Taux de participation entre le premier et le deuxième tour (%)
Eau agricole	11	10	91
Parcours	15	13	87
Céréales	15	11	73
Oléiculture	18	10	56
Pêche	10	10	100

**Tableau 15 : Comparaison du niveau de participation lors du premier et du deuxième tour de l'enquête Delphi.**

A l'issue du second tour de l'enquête Delphi, le taux de participation est relativement élevé par rapport au nombre de répondants lors du premier tour pour l'ensemble des secteurs (entre 73% et 100%) sauf pour l'oléiculture où il est de 56%. Le nombre de participants minimum est cependant toujours d'au moins 10 participants.

### **Encadré 1: Intégration de la dimension genre dans l'enquête Delphi**

A l'issue du premier tour de l'enquête Delphi, 58 experts ont répondu à l'enquête, dont certains ont évalué la vulnérabilité pour plusieurs secteurs. Nous avons ainsi identifié au total **18 femmes et 40 hommes**. Le tableau suivant présente le nombre de femmes et d'hommes ayant répondu pour chaque secteur.

Secteur	Nombre de femmes	Pourcentage de femmes par rapport au nombre total de participants (%)	Nombre d'hommes	Pourcentage d'hommes par rapport au nombre total de participants (%)
Céréales	3	4	12	17
Eau agricole	4	6	7	10
Oléiculture	5	7	13	19
Parcours	1	1	14	20
Pêche	6	9	4	6

**Tableau 16 : Nombre de participants hommes et femmes lors du premier tour de l'enquête Delphi.**

### Analyse statistique des résultats :

A l'issue de chaque tour, les notes de sensibilité et de capacité d'adaptation ainsi que les justifications des notations sont analysées avec :

- Le calcul de la médiane des notes des experts pour chaque risque et par région ;
- Le calcul du pourcentage de notes comprises dans l'intervalle à la médiane [médiane – 1 ; médiane + 1] ;
- Le calcul de l'écart moyen absolu à la médiane (EAM), selon la formule :

$$EAM = \frac{|\sum_i^n x_i - M|}{n}$$

avec :

- $x_i$  la note de l'expert  $i$
- $M$  la médiane des notes
- $n$  le nombre total d'experts

### Définition du consensus :

#### Conditions pour avoir consensus

Dans le cadre de cette étude, deux conditions sont retenues pour qu'il y ait consensus :

- L'écart absolu moyen à la médiane (EAM) doit être inférieur à 1 ;
- Plus de 80% des notes du premier tour doivent être comprises dans l'intervalle à la médiane [médiane-1 ; médiane+1].

Il n'y a pas consensus si l'une des deux conditions ou les deux conditions ne sont pas vérifiées.

➔ Il y a consensus uniquement si l'EAM < 1 et plus de 80% des notes sont comprises dans l'intervalle de la médiane.

### Présentation des résultats du premier tour :

Les résultats du premier tour n'ayant pas fait l'objet d'un consensus sont représentés sous forme d'histogramme et envoyés aux experts avec un tableau regroupant les justifications des notations. Les experts prennent alors connaissance de ces résultats afin d'évaluer à nouveau la vulnérabilité pour ces risques. Voici ci-dessous un exemple de présentation des résultats du premier tour pour la sensibilité du risque de perte de rendements par stress hydrique.

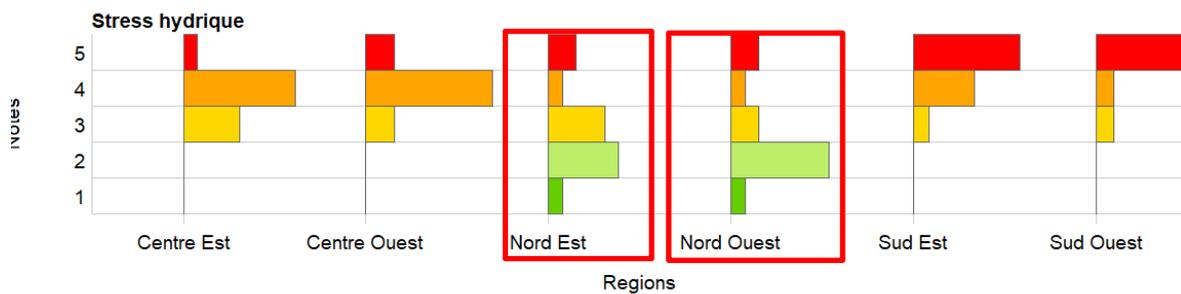


Figure 28 : Résultats des notes de sensibilité pour le risque de perte de rendement par stress hydrique. Les régions encadrées en rouge n'ont pas fait l'objet d'un consensus.

Région	Centre Est	Centre Ouest	Nord Est	Nord-Ouest	Sud Est	Sud-Ouest
Médiane	4	4	3	2	5	5
EAM	0.38	0.31	0.92	0.85	0.50	0.30
Pourcentage des notes comprises dans l'intervalle de la médiane (%)	100	100	77	77	91	90

Tableau 17 : Note médiane EAM et intervalle à la médiane pour le risque de perte de rendement par stress hydrique.

Les évaluations de la sensibilité des régions Nord Est et Nord-Ouest ne font pas l'objet d'un consensus parmi les experts. Ci-dessous sont synthétisées les justifications des différentes notes lorsqu'elles ont été fournies par les experts.

Note	Nord Est	Nord-Ouest
1	-	Ce risque ne se fait pas ressentir sur la céréaliculture puisqu'il s'agit de la région la plus favorable à la céréaliculture en termes de pluviométrie.
2	Variabilité selon l'étage bioclimatique, les sécheresses sont plus fréquentes dans les zones semi-arides et arides, le risque de perte du rendement par stress hydrique est plus faible au Nord + La sensibilité à ce risque est généralement faible au-dessus de 400mm de pluie (sauf en zone hydromorphe), elle est plus forte au-dessus de 300 mm + Face au déplacement des étages bioclimatiques, certaines zones à vocation céréalière présentent un risque de perte de rendement par stress hydrique	Variabilité selon l'étage bioclimatique, les sécheresses sont plus fréquentes dans les zones semi-arides et arides, le risque de perte du rendement par stress hydrique est plus faible au Nord + La sensibilité à ce risque est généralement faible au-dessus de 400mm de pluie (sauf en zone hydromorphe), elle est plus forte au-dessus de 300 mm + L'aléa du stress hydrique est peu fréquent en cette région (sauf pour le Kef sud). Les pertes de rendement ne sont que modérées en années sèches.
3	Le stress hydrique du au déficit pluviométrique survient fréquemment et nuit grandement au rendement des céréales.	-
4	L'adaptation au stress hydrique des espèces et variétés de céréales est plus importante sous forte pluviosité et sur coteaux sains. Toutefois la recherche en Tunisie a été toujours axée sur la résistance à la sécheresse & sans s'attarder sur les types de sols. La perte de rendement par stress hydrique est plus forte sur sol appauvri en matière organique ; cas plutôt fréquent dans les zones céréalières	L'adaptation au stress hydrique des espèces et variétés de céréales est plus importante sous forte pluviosité et sur coteaux sains. Toutefois la recherche en Tunisie a été toujours axée sur la résistance à la sécheresse & sans s'attarder sur les types de sols. La perte de rendement par stress hydrique est plus forte sur sol appauvri en matière organique ; cas plutôt fréquent dans les zones céréalières
5	La sécheresse affecte plus sévèrement les zones du Nord, puisque les zones du centre et du sud ne sont pas des zones favorables à la production de céréales et notamment en sec	La sécheresse affecte plus sévèrement les zones du Nord, puisque les zones du centre et du sud ne sont pas des zones favorables à la production de céréales et notamment en sec

**Tableau 18: Synthèse des justifications des notes qui ont été fournies par les experts pour les régions n'ayant pas fait l'objet d'un consensus.**

**Détermination de la vulnérabilité actuelle pour chaque risque par région :**

Après avoir pris connaissance des résultats du premier tour, les experts doivent attribuer une note pour les régions n'ayant pas fait l'objet d'un consensus. Pour cela les experts ont 2 choix :

- Conserver la note du premier tour ;
- Modifier la note du premier tour après avoir pris connaissance des justifications lorsqu'elles sont fournies par les autres experts.

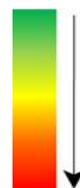
**Les scores de sensibilité et de capacité d'adaptation qui sont retenus correspondent à la médiane des notes finales des experts pour chaque risque par région.**

Dans le cas où un consensus n'a pas été atteint, la section suivante rend compte des divergences et de leurs justifications.

## 2.2 Scores de vulnérabilité résultant de l'enquête Delphi

Pour chacun des risques décrits dans les chaînes de risque des différents secteurs, la moyenne des scores de sensibilité et de capacité d'adaptation a été calculée pour donner le score de vulnérabilité actuelle.

Les scores de vulnérabilité actuelle pour chaque région sont présentés dans les tableaux ci-dessous et suivent l'échelle de couleur ci-contre :



1 : Situation optimale  
3 : Situation intermédiaire  
5 : Situation critique

### Nord Est

Secteur	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	2	
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	
Moindre production de fruits	Sensibilité	2	3	
	Manque de C.A.	3		
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	
	Destruction des cultures durant le développement	Sensibilité	2	3
		Manque de C.A.	3	
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	2		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Sensibilité	2	2
		Manque de C.A.	2	
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	2	3
Baisse de la productivité des sols dégradés	Sensibilité	2	3	
	Manque de C.A.	3		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	2	
Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	2		

Tableau 19 : Scores de vulnérabilité pour la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole dans la région Nord Est.

## Nord-Ouest

Secteur	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	3.5	3
		Manque de C.A.	3	
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	2.5	3
		Manque de C.A.	3	
Moindre production de fruits	Sensibilité	2	2	
	Manque de C.A.	2		
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	
	Destruction des cultures durant le développement	Sensibilité	2	2
		Manque de C.A.	2.5	
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	2	2	
	Manque de C.A.	2		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	3		
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Sensibilité	2	2
		Manque de C.A.	2	
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
Manque de C.A.		3		
Baisse de la productivité des sols dégradés	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	2.5		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Sensibilité	2	2
		Manque de C.A.	2	
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Sensibilité	2	2
Manque de C.A.		2		

Tableau 20: Scores de vulnérabilité pour la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole dans la région Nord-Ouest.

## Centre Est

Secteur	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
Moindre production de fruits	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
	Destruction des cultures durant le développement	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	3		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
Baisse de la productivité des sols dégradés	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	3		

Tableau 21: Scores de vulnérabilité pour la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole dans la région Centre Est.

## Centre Ouest

Secteur	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	
Moindre production de fruits	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	3	4
		Manque de C.A.	4	
	Destruction des cultures durant le développement	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
Baisse de la productivité des sols dégradés	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	

Tableau 22: Scores de vulnérabilité pour la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole dans la région Centre Ouest.

## Sud Est

Secteur	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4.5	4
		Manque de C.A.	4	
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
Moindre production de fruits	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4.5	4	
	Manque de C.A.	4		
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
	Destruction des cultures durant le développement	Sensibilité	4	5
		Manque de C.A.	5	
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4.5		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	2	2	
	Manque de C.A.	2		
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
Manque de C.A.	3			
Baisse de la productivité des sols dégradés	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	3	
Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		

Tableau 23: Scores de vulnérabilité pour la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole dans la région Sud Est.

## Sud-Ouest

Secteur	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4.5	4
		Manque de C.A.	4	
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3.5	3
		Manque de C.A.	3	
Moindre production de fruits	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Sensibilité	4.5	4
		Manque de C.A.	4	
	Destruction des cultures durant le développement	Sensibilité	5	5
		Manque de C.A.	5	
Perte de rendement par stress hydrique	Sensibilité	5	5	
	Manque de C.A.	4.5		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	2	2	
	Manque de C.A.	2		
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Sensibilité	4.5	4
		Manque de C.A.	4	
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Sensibilité	3	3
Manque de C.A.		3		
Baisse de la productivité des sols dégradés	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Sensibilité	4	4	
	Manque de C.A.	4		

Tableau 24: Scores de vulnérabilité pour la céréaliculture, l'oléiculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole dans la région Sud-Ouest.

## Pêche

Région	Risque	Scores des composantes de la vulnérabilité		Scores de vulnérabilité
Nord	Déclin de la production halieutique	Sensibilité	2.5	3
		Manque de C.A.	2.5	
	Dégradation des habitats menant à une perte de la biodiversité	Sensibilité	2.5	3
		Manque de C.A.	2.5	
Réduction des zones et des activités de pêche	Sensibilité	2	2	
	Manque de C.A.	2		
Risque sanitaire avec invasions biologiques	Sensibilité	2	3	
	Manque de C.A.	3		
Centre	Déclin de la production halieutique	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	
	Dégradation des habitats menant à une perte de la biodiversité	Sensibilité	3	3
		Manque de C.A.	3	
Réduction des zones et des activités de pêche	Sensibilité	3	3	
	Manque de C.A.	3		
Risque sanitaire avec invasions biologiques	Sensibilité	3	4	
	Manque de C.A.	4		
Sud	Déclin de la production halieutique	Sensibilité	4.5	4
		Manque de C.A.	4	
	Dégradation des habitats menant à une perte de la biodiversité	Sensibilité	4	4
		Manque de C.A.	4	
Réduction des zones et des activités de pêche	Sensibilité	4.5	4	
	Manque de C.A.	4		
Risque sanitaire avec invasions biologiques	Sensibilité	5	5	
	Manque de C.A.	5		

Tableau 25: Scores de vulnérabilité pour l'ensemble des zones du secteur pêche.

## 2.3 Résultats de l'analyse statistique des évaluations de l'enquête Delphi

### Analyse de l'évolution du niveau de convergence entre le premier et le deuxième tour de l'enquête Delphi

Secteur	Nombre d'évaluations n'ayant pas fait consensus à l'issue du premier tour/Nombre d'évaluations total	Nombre d'évaluations n'ayant pas fait consensus à l'issue du second tour/Nombre d'évaluations total	Pourcentage de gain d'évaluations ayant fait consensus entre le premier et le second tour (%)	Pourcentage d'évaluations ayant fait consensus à l'issue de l'enquête (%)
Eau agricole	5/24	3/24	8	<b>87</b>
Parcours	10/36	5/36	14	<b>86</b>
Céréales	17/48	10/48	14	<b>79</b>
Oléiculture	13/48	6/48	14	<b>87</b>
Pêche	5/48	1/48	8	<b>98</b>

**Tableau 26 : Évolution du niveau de convergence entre le premier et le deuxième tour.**

Le tableau précédent présente l'évolution du niveau de consensus entre le premier et le second tour de l'enquête Delphi. Le déroulement du second tour permettant une deuxième notation des évaluations n'ayant pas fait l'objet d'un consensus lors du premier tour a permis d'augmenter le nombre d'évaluations ayant fait consensus d'entre 8% et 14%. A l'issue du second tour de l'enquête Delphi, nous obtenons ainsi entre 79% et 98% des évaluations qui ont fait l'objet d'un consensus.

#### **2.3.1 Analyse des évaluations n'ayant pas fait l'objet d'un consensus et leurs justifications**

En rouge sont indiqués les résultats de l'enquête Delphi n'ayant pas fait l'objet d'un consensus avec un consensus défini comme suivant : EAM <1 et plus de 80% des réponses dans l'intervalle à la médiane [médiane-1 ; médiane+1].

**Evaluations n'ayant pas fait l'objet d'un consensus pour les secteurs de l'oléiculture, la céréaliculture, l'élevage sur parcours et l'eau agricole**

Sensibilité :

Région	Secteur	Risque	Médiane	EAM	Pourcentage de réponse compris dans l'intervalle à la médiane (%)	Justifications des notes données par les experts	
						Note	Justifications
Nord Est	Oléiculture	Stress hydrique	3	0.7	80	5	
						4	Présence de l'irrigation.
						3	L'ETP est plus importante au Sud et l'humidité est importante au Nord + Baisse moyenne des précipitations
						2	Possibilité d'aggraver le phénomène de saisonnement.
						1	Le Nord est plus arrosé que le Sud.
	Parcours	Baisse de la productivité des sols dégradés	2	0.85	77	5	
						4	La disparition des espèces et du couvert végétal entrainera systématiquement l'exposition des sols aux phénomènes physiques d'érosion éolienne et hydrique, par conséquent la perte des couches des sols les plus fertiles.
						3	Les terres sont plus sensibles en zones montagneuses et désertiques, le phénomène de dégradation est plus poussé et visible dans ces zones.
						2	Productivité moyenne minimale assurée + La baisse de la productivité des sols sera plus accentuée au Nord et au Centre si on a affaire à des inondations qui vont encore accélérer le phénomène d'érosion des sols dans ces régions + L'attribution du score est basée sur le climat et essentiellement la pluviométrie.
						1	
		Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	2	1	77	5	
						4	Les problèmes sanitaires dépendent des différents usages des ressources, notamment dans le nord du pays.
						3	Un bilan négatif d'affouragement entrainera une baisse de la production et un état sanitaire très fragile des animaux qui ne seront pas en mesure de faire face aussi bien aux maladies existantes que celles qui vont émergées.
						2	Etat de santé des fourrages et des animaux mieux contrôlés + Le risque est surtout visible sur l'avoine (60 % des superficies des fourrages d'automne) par l'attaque de la rouille couronné, pour les autres fourrages pas de maladies graves qui pourraient affecter la production ou la qualité + Les problèmes sanitaires bien qu'ils affectent la productivité du cheptel, il y'a toujours des campagnes de vaccination et intervention de l'état (protection).
						1	Les effets de la sécheresse sont plus durs au Centre et au Sud + L'attribution du score est basée sur le mode d'élevage + Les races d'ovins introduites d'Algérie sont plus sensibles que les races locales Tunisiennes, leur sensibilité aux fluctuations des ressources pastorales est en train de baisser.
Eau agricole	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	3	0.9	70	5	Nappes profondes surexploitées, infiltration d'eau de la mer, salinisation des sols par une fertilisation chimique intensive, cultures intensives exigeantes en fertilisants chimiques.	
					4		
					3	Plutôt des risques d'hydromorphie + Les zones côtières présentent un risque par l'intrusion marine et l'utilisation des eaux souterraines chargées + La salinisation dépend aussi de la qualité de l'eau	

							d'irrigation qui est meilleure au NE, NO et CO que dans les autres régions + Risque dû à la surexploitation et à la salinisation des nappes.
						2	
						1	
Nord Ouest	Céréaliculture	Diminution de la quantité et de la qualité de la production due à des problèmes sanitaires	4	1	67	5	Particulièrement sensible en années pluvieuses et en l'absence d'un programme de traitements antifongique. Nous citons en particulier le Tan spot qui nuit grandement au Blé dur pendant l'hiver, la septoriose pendant tout le printemps, et les rouilles qui s'attaquent au blé tendre, à l'avoine et au triticale. Ils deviennent très récurrents et problématiques presque chaque année.
						4	L'humidité en synchronie avec une forte température est beaucoup plus importante au Nord qu'au Centre + Les maladies cryptogamiques sont exacerbées par une température élevée et une humidité très forte.
						3	
						2	Les maladies cryptogamiques (septoriose et rouilles) peuvent avoir un impact important dans les zones à fort potentiel de rendement, dans le Nord-Ouest.
						1	
	Oléiculture	Perte de rendement par stress hydrique	3	0.86	71	5	Manque d'entretien et culture considérée de 3eme ordre
						4	
						3	L'humidité est importante au Nord.
						2	Faible baisse des précipitations.
						1	
	Diminution de la quantité et de la qualité de la production due à des problèmes sanitaires	2.5	0.88	63	5		
					4	On commence à constater l'élargissement des zones attaquées par la mouche de l'olive.	
					3		
					2	A l'exception des variétés étrangères, les variétés locales sont résistantes aux maladies et le stockage est en amélioration (bio, certification, normalisation, agrément sanitaire...) + Milieu hostile à la pullulation des ravageurs.	
					1		
Centre Est	Céréaliculture	Destruction des cultures lors du développement	4	0.63	75	5	
						4	Les automnes peu pluvieux combinés à des sécheresses hivernales peuvent souvent réduire à néant les cultures dans des régions comme Kairouan.
						3	Dans le Centre-Est le risque de destruction de la culture est assez important dans les sols sablonneux à faible capacité de rétention de l'eau. La sensibilité à ce risque peut être la conséquence de températures élevées sur le remplissage des grains. Les conséquences de ces températures sont globalement négatives sur le rendement.
						2	Les céréales seront beaucoup plus affectées par l'augmentation des températures (ou chaleurs extrêmes), plutôt que par le gel printanier. De ce fait, c'est la faculté de tallage (qui détermine le nombre d'épis) qui sera la plus affectée.
						1	Variétés locales adaptées.
	Eau agric ole	Baisse de la productivité des sols	4	0.7	80	5	
						4	Les zones côtières présentent un risque par l'intrusion marine et l'utilisation des eaux souterraines chargées + Les choix culturels actuels, incités par les marchés, induisent des pratiques culturales

		dégradés par salinisation					qui ne préservent pas la fertilité des sols. L'appauvrissement des sols en carbone ne fait qu'exacerber le phénomène de salinisation + Manque de lessivage des sols par la pluie.
						3	Salinité des nappes élevée.
						2	La majorité des cultures sont pluviales et extensives, la plupart des surfaces irrigués sont autour des puits de surface de qualité d'eau variable et peu salée + Les régions du Centre et du Sud sont irriguées à partir des eaux souterraines surexploitées et les nappes sont fortement menacées en termes de disponibilité d'eau et de qualité.
						1	
Centre Ouest	Céréaliculture	Diminution de la quantité et de la qualité de la production due à des problèmes sanitaires	3	0.8	70	5	
						4	
						3	Pour le Centre Ouest il n'y a pas de recherche variétale, l'agriculteur a recours à d'anciennes variétés résistantes aux maladies + Dans les zones où les céréales sont conduites en irrigué, les problèmes sanitaires peuvent s'avérer limitants
						2	
						1	Le Centre Ouest évoluerait en zone non favorable au développement des maladies + Les maladies ne sont pas un facteur limitant dans ces régions même sous irrigation. C'est une région présentant une humidité relative basse, des températures printanières élevées et une faible présence de l'inoculum primaire des maladies les plus connues.
Sud Ouest	Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols dégradés	4.5	0.83	67	5	
						4	
						3	Au Sud la sensibilité est surtout dictée par les vents et les températures trop fortes.
						2	
						1	
	Oléiculture	Diminution de la quantité et de la qualité de la production due à des problèmes sanitaires	3.5	0.88	63	5	On constate déjà aujourd'hui l'apparition et l'extension des périodes d'attaques des ravageurs.
						4	On commence à constater l'élargissement des zones attaquées par la mouche de l'olive.
						3	Problèmes sanitaires importants en milieu oasisien et en pluvial.
						2	A l'exception des variétés étrangères, les variétés locales sont résistantes aux maladies et le stockage est en amélioration (bio, certification, normalisation, agrément sanitaire...) + + Milieu hostile à la pullulation des ravageurs.
						1	

Tableau 27 : Résultats de l'analyse statistique et justifications des évaluations de sensibilité n'ayant pas fait l'objet d'un consensus.

Capacité d'adaptation :

Région	Secteur	Risque	Médiane	EAM	Pourcentage de réponse compris dans l'intervalle à la médiane (%)	Justifications des notes données par les experts	
						Note	Justifications
Nord Est	Oléiculture	Baisse de la productivité des sols dégradés	2	0.67	78	5	
						4	
						3	
						2	Intervention de l'Etat pour renforcer les travaux des ouvrages de rétention des eaux de surface et choix des techniques adéquates de travail des sols et des moyens nécessaires + Au Nord les sols sont moins dégradés + Présence de l'irrigation et de la fumure.
						1	
	Parcours	Baisse de la productivité des sols dégradés	3	1	75	5	Les capacités d'adaptation face au risque de baisse de la productivité des sols dégradés sont disponibles pour toutes les régions. Toutefois, la diversité des mesures d'adaptation face aux impacts des aléas climatiques sont plus importantes et plus diversifiées en allant du Nord vers le Sud et les résultats attendus de ces mesures peuvent être plus encourageants.
						4	Le risque de dégradation des sols est très élevé dans toutes les régions si les moyens d'adaptation ne sont pas mis en place + L'Etat doit sauver le capital cheptel surtout au niveau de l'alimentation et la santé.
						3	Un grand effort de réhabilitation et d'aménagement serait nécessaire pour ces espaces déjà dégradés.
						2	Une productivité annuelle moyenne suffisante est assurée.
						1	
Nord Ouest	Céréaliculture	Destruction des cultures lors du développement	2.5	0.75	75	5	
						4	Les recherches n'ont pas pris en considération les CC et la recherche pour aboutir à des variétés qui s'adaptent aux CC est encore limitée, collaboration limitée entre les chercheurs, besoin de la profession et absence des plans de formation surtout au Nord.
						3	
						2	
						1	Valoriser les pluies automnales précoces à travers les semis précoces, l'adoption de l'Agriculture de Conservation permettant un semis plus précoce et immédiatement après les premières pluies
	Parcours	Baisse de la productivité des sols dégradés	2.5	1.10	50	5	Les capacités d'adaptation face au risque de baisse de la productivité des sols dégradés sont disponibles pour toutes les régions. Toutefois, la diversité des mesures d'adaptation face aux impacts des aléas climatiques sont plus importantes et plus diversifiées en allant du Nord vers le Sud et les résultats attendus de ces mesures peuvent être plus encourageants.
						4	L'Etat doit sauver le capital cheptel surtout au niveau de l'alimentation et la santé.

		Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	2	0.75	75	3	Le risque de dégradation des sols est très élevé dans toutes les régions si les moyens d'adaptation ne sont pas mis en place + Un grand effort de réhabilitation et d'aménagement serait nécessaire pour ces espaces déjà dégradés.	
						2	Une productivité annuelle moyenne suffisante est assurée.	
						1		
						5	Les zones du Nord Tunisien sont plus soumises à la diminution des productions fourragères car le système de production animale se base principalement sur les fourrages.	
						4		
						3		
						2	Conditions normales en régions méditerranéennes.	
1	L'attribution est basée sur les conditions climatiques de la région							
Centre Ouest	Oléiculture	Baisse de la productivité des sols dégradés	3	0.67	78	5	Dégradation importante de la fertilité des sols.	
						4		
						3	Labours limités + Absence de fertilisation et travail mal adapté des sols + Il faudrait un changement important des techniques culturales pour pouvoir lutter contre cette dégradation.	
						2		
						1		
Sud Est	Céréaliculture	Destruction des cultures lors du développement	5	0.71	71	5	Très difficile de faire face au phénomène d'échaudage même en utilisant des variétés précoces ou à cycle court.	
						4		
						3	Au Sud les variétés cultivées sont plus résistantes + recherche de ressources alternatives.	
						2		
						1		
						5		
	Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation		3	0.91	73	5	La gestion du risque quantitative et qualitative est très mal maîtrisée, faibles performances de gestion collective (échelles d'actions), coûts d'investissement et d'exploitation élevés, réduction des pertes dans les réseaux de distributions d'eau d'irrigation, pratiques de conservations des eaux et des sols contre l'envasement des réservoirs et développement de la recharge artificielle d'aquifères exploitables.
							4	Le climat aride des régions du centre et du sud réduit la capacité d'adaptation, le milieu est plus hostile.
							3	Consolidation des techniques agricoles Dry Farming par les travaux CES et les Jessours pour un meilleur captage d'eau de pluie, cultures en étage (palmier/arbo et maraichage) pour baisser l'ETP, désalinisation des eaux de mer comme à Djerba et Jerjiss (régions côtières) +
							2	Le Ministère procède aux systèmes d'alerte précoce, les variétés résistantes sont plus identifiées au Sud.
							1	Zone non favorable au développement des maladies.

							Dessalement pour l'eau potable et laisser l'eau pour l'irrigation, Dessalement pour l'irrigation des cultures à haute valeur ajoutée (primeurs).
						2	
						1	
Sud Ouest	Céréaliculture	Destruction des cultures lors du développement	5	0.6	80	5	
						4	
						3	Au Sud les variétés cultivées sont plus résistantes + recherche de ressources alternatives.
						2	
						1	
		Diminution de la quantité et de la qualité de la production due à des problèmes sanitaires	2	1	67	5	
						4	
						3	
						2	Le Ministère procède aux systèmes d'alerte précoce, les variétés résistantes sont plus identifiées au Sud.
						1	Zone non favorable au développement des maladies.

**Tableau 28 : Résultats de l'analyse statistique et justifications des évaluations de capacité d'adaptation n'ayant pas fait l'objet d'un consensus.**

**Evaluations n'ayant pas fait l'objet d'un consensus pour le secteur de la pêche :**

Sensibilité :

Région	Risque	Médiane	EAM	Pourcentage de réponse compris dans l'intervalle à la médiane (%)	Justifications des notes données par les experts	
					Note	Justifications
Nord	Dégradation des habitats menant à une perte de la biodiversité	2.5	0.7	80	5	
					4	Les espèces pêchées au Nord sont plus sensibles aux changements de températures, elles dépendent d'habitats d'eau plus froides qui pourraient être plus touchés par le CC + La région Nord garde un haut degré de sensibilité, étant un hotspot de biodiversité (formations coralligènes de surface et de fonds, espèces sessiles de fonds rocheux, grottes, etc.)
					3	La région Nord abrite des écosystèmes remarquables très sensibles à l'élévation de la température et l'acidification + La zone Sud est la plus touchée par le changement climatique par rapport au Nord et au Centre, risque de la pollution qui a un effet direct sur l'habitat et la biodiversité.
					2	Du Nord au Sud augmentation des espèces thermophiles et installation d'espèces envahissantes allochtones fortement compétitrices dans un milieu déstabilisé + Impact non négligeable des effets de la pollution aussi bien urbaine qu'industrielle dans les zones Nord centrale et Sud fortement urbanisées et impactées par des industries très fortement.
					1	

**Tableau 29: Résultats de l'analyse statistique et justifications des évaluations de sensibilité n'ayant pas fait l'objet d'un consensus pour le secteur de la pêche.**

### 2.3.2 Analyse de sensibilité des conditions retenues pour atteindre le consensus

Secteur	Nombre d'évaluations n'ayant pas fait consensus si le consensus est : - EAM < 1 et - Plus de 80% de réponses dans l'intervalle à la médiane	Nombre d'évaluations n'ayant pas fait consensus si le consensus est : - EAM ≤ 1 et - Au moins 80% de réponses dans l'intervalle à la médiane	Nombre d'évaluations n'ayant pas fait consensus si le consensus est : - EAM ≤ 1 et - Au moins 75% de réponses dans l'intervalle à la médiane
Eau agricole	3	2	2
Parcours	5	5	1
Céréales	10	8	6
Oléiculture	6	5	3
Pêche	1	0	0

**Tableau 30: Analyse de la sensibilité des conditions définissant le consensus (EAM et pourcentage de réponses comprises dans l'intervalle à la médiane).**

Les conditions d'EAM et de pourcentage de réponses comprises dans l'intervalle à la médiane qui définissent le consensus ont été données précédemment. Cependant, la définition du consensus n'est pas établie dans la littérature. Ainsi selon les études, le pourcentage de réponses dans l'intervalle à la médiane retenu pour définir le consensus varie entre 50% et 80%<sup>5</sup>. Dans cette étude Delphi destinée à l'évaluation de la vulnérabilité des régions de la Tunisie face au changement climatique, nous avons choisi de travailler avec un seuil de 80% de réponses comprises dans l'intervalle à la médiane afin de d'affiner le niveau de convergence pour considérer qu'il y a consensus.

Le tableau \* d'analyse de la sensibilité de nos conditions choisies pour la définition du consensus nous montre qu'une définition légèrement moins stricte du consensus (EAM ≤ 1 et au moins 75% des réponses dans l'intervalle à la médiane) diviserait par plus de 2 le nombre total d'évaluations n'ayant pas fait l'objet d'un consensus.

<sup>5</sup> Borel A., Mertz E., Élaboration par méthode Delphi du contenu d'une formation à l'abord de la sexualité en consultation de médecine générale, destinée aux internes de médecine générale, et réflexion sur sa forme, HAL (2019).

## 2.4 Avantages et limites de la méthode Delphi

Avantages	Limites
La mobilisation et la consultation des experts peuvent se faire à distance, ce qui a permis de maintenir l'évaluation de la vulnérabilité à dire d'experts en période de crise sanitaire, alors qu'elle devait initialement se faire en atelier en présentiel.	Le choix de l'échelle spatiale est un compromis entre le nombre de zones à évaluer et la finesse de l'évaluation. Si le nombre de zones à évaluer est très grand, les participants risquent de ne pas répondre à un questionnaire très long. Le choix d'un découpage par région a été relevé pour la céréaliculture dans la région Nord où il existe une certaine hétérogénéité entre les gouvernorats.
La mise en commun des résultats d'évaluation des experts et la prise de connaissance de l'ensemble des avis favorisent la réactivité et l'expression des participants.	La convergence s'obtient à travers l'agrégation autour de valeurs centrales qui ne signifie pas forcément la cohérence (tout le monde peut être d'accord mais se tromper).
La consultation individuelle et anonyme minimise les effets liés à certaines personnalités (leader, échanges agressifs...) et assure la retranscription de tous les avis.	Le choix des seuils des conditions qui définissent le consensus influence le nombre d'évaluations que l'on considère ayant fait l'objet d'un consensus (voir la partie « Analyse de sensibilité des conditions retenues pour atteindre le consensus »).
La consultation permet l'expression de connaissances difficilement accessibles (savoirs locaux...).	Certains participants peuvent se lasser et abandonner si le nombre de tours est trop grand.

**Tableau 31: Avantages et limites de la méthode Delphi pour l'évaluation à dire d'experts.**

## 3 Perception de l'évolution du climat

La démarche suivie et le profil des personnes ayant répondu à notre enquête sont présentés ici.

### 3.1 Méthodologie de l'enquête

Il était prévu initialement de réaliser en mars et avril des groupes de discussion (focus group) avec des producteurs et des agents du Ministère de l'Agriculture dans huit gouvernorats représentatifs des quatre filières sur lesquelles cette étude est centrée. Des entretiens individuels avec des producteurs étaient également prévus ainsi que des rencontres spécifiques avec des femmes rurales engagées dans des projets productifs. Compte tenu de l'impossibilité de réaliser ces activités sur le terrain, nous avons opté pour la réalisation d'entretiens individuels (semi directif) par téléphone d'une durée d'une à deux heures avec un panel composé de 45 producteurs et de 46 experts du secteur public, en utilisant un guide d'enquête comprenant une centaine de questions (ouvertes et fermées) consultable à l'adresse suivante : <https://docs.google.com/forms/d/12xRba5LtB5AadhZie84rkCWulzJiPol-Nvp3CPd3MZy/prefill>

Ce panel a été construit grâce aux liens professionnels et personnels préexistants entre les experts travaillant dans le cadre de la présente étude et les personnes invitées à participer à cette enquête. Il s'agit donc d'un échantillon qualitatif, qui n'est pas représentatif du point de vue statistique. Toutefois, nous avons tenu à construire un échantillon diversifié en termes géographiques (16 gouvernorats appartenant aux régions Nord, Centre et Sud), de genre (21% de femmes) et de systèmes de production avec 30% des 45 unités de production qui ont les céréales pour activité principale, 20% la production d'olives, 30% l'élevage sur parcours et 20% sont des pêcheurs. La moitié des unités de productions enquêtés se situent dans l'étage bioclimatique Aride, 11% dans l'étage Saharien, 20% dans le Semi-Aride et autant dans le Subhumide. Finalement, le guide d'enquête a été utilisé par chaque enquêteur comme outil de saisie en ligne des données recueillies, afin de réaliser ensuite un traitement à l'aide d'Excel.

### 3.2 Description des personnes enquêtées

Les producteurs enquêtés dont 13% sont des femmes, ont une moyenne d'âge de 51 ans, et un niveau de scolarité élevé avec 51% qui déclarent avoir fait des études supérieures, 33% avec un niveau d'études secondaires et 16% avec un niveau d'école primaire.

A partir d'une analyse de la taille des espaces cultivés, de celle des troupeaux et des volumes de pêche ainsi que du poids relatifs de la main d'œuvre salariée (temporaire et/ou permanente) par rapport la main d'œuvre familiale, nous avons construit une typologie socio-économique simplifiée qui permet de distinguer 19 unités de production de caractère familial soit 42% de l'échantillon (petite taille <10 ha, reposant sur le travail familial et n'employant pas ou très peu de main d'œuvre salariés temporaire), 22 unités de production de type patronale (taille moyenne comprise entre 10 et 100 ha ayant recours en plus du travail familial à de la main d'œuvre salariée temporaire et parfois permanente) soit 49% de l'échantillon et 4 unités de production de grande taille (> 100 ha jusqu'à 800 ha) recourant essentiellement à de la main d'œuvre salariée temporaire et permanente.

Les 46 experts consultés dont 28% sont des femmes, ont une moyenne d'âge de 54 ans, et sont tous des ingénieurs (hydraulique, agronomie, halieutique) et des enseignants chercheurs travaillant sur les filières objet de l'étude, au sein du MARHP et ses instituts de recherche.

## 4 Modélisation de la production et des apports en eau

### 4.1 Méthodologie de modélisation des rendements pour la céréaliculture :

L'approche méthodologique employée pour la prévision des rendements de céréales en pluvial pour la période 1982-2018 en fonction des facteurs climatiques (pluie et températures journalière, évapotranspiration potentielle ETP et durée de la période de croissance gdl) est basée sur les techniques de modélisation linéaire. Afin d'isoler le cas des céréales conduites en pluvial, les données correspondantes aux céréales irriguées ont été déduites à partir des informations fournies par la DGPA. D'autre part, l'analyse de la stationnarité des rendements céréaliers en pluvial a été réalisée par l'application des tests de racine unitaire de Dickey-Fuller Augmenté (ADF) et a montré que ces séries sont stationnaires<sup>6</sup>

Les trois modèles retenus pour la prévision après les tests de validation (voir premier rapport) se formulent comme suit :

**Rendement du blé dur**<sup>7</sup> = -13,713\*\*\* - 0,006.ETP\_FEV\_MAR\_AVR\_MAI + 0,048.ETP\_OCT\_NOV\_DEC\_JAN\*\* + 0,025.gdl\*\*\* + 0,032.PJ\_Precipitation Journalière\_FEV\_MAR\_AVR\_MA\*\*\* + 0,045.PJ\_OCT\_NOV\_DEC\_JAN \*\*\*

**Rendement du blé tendre** = -11,709\*\* - 0,012.ETP\_FMAM + 0,038.ETP\_ONDJ\*\* + 0,013.gdl\*\* + 0,050.PJ\_FMAM\*\*\* + 0,049.PJ\_ONDJ\*\*\*

**Rendement de l'orge** = -2,093 - 0,051.ETP\_FMAM\*\*\* + 0,081.ETP\_ONDJ\*\*\* + 0,022.gdl\*\*\* + 0,019.PJ\_FMAM\*\*\* + 0,027.PJ\_ONDJ\*\*\*

### 4.2 Méthodologie de modélisation des rendements pour l'oléiculture :

La majeure partie production d'olives en Tunisie est consacrée à la fabrication de l'huile d'olive et les statistiques nationales permettent de distinguer cette production de celle des olives de table. C'est pourquoi la modélisation du rendement a été focalisée sur la production d'olives destinées à la transformation en huile. Une démarche séquentielle a été adoptée dans la sélection des meilleures spécifications pour la prévision en fonction du bilan hydrique climatique BH, le nombre de jours où la température est supérieure à 40 °C DJ40ns, l'alternance (Dummy alternance) et l'indicateur des besoins en froid (nombre de jours où la température est <12°C). Ces différents indicateurs climatiques annuels ont été retenus pour l'explication du rendement de l'olive à huile à l'échelle nationale pour la période 2006-2017.

<sup>6</sup> Stationnarité d'une série temporelle : Voir Dickey, D.A. and Fuller, W.A. (1979) Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. Journal of the American Statistical Association, 47, 427-431. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Stationnarit%C3%A9\\_d%27une\\_s%C3%A9rie\\_temporelle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Stationnarit%C3%A9_d%27une_s%C3%A9rie_temporelle)

<sup>7</sup> \* indique un seuil de significativité à 10% ; \*\* indique un seuil à 5% et \*\*\* indique un seuil à 1%.

Ainsi, le modèle de prévision retenu pour le cas de l'oléiculture se formule comme suit :

$$\text{Rendement de l'olivier à huile} = 1,442^{***} + 0,001 \text{ BH\_an}^{***} - 0,023 \text{ DJ40ns\_anH}^{***} - 0,003 \text{ DJ12ni\_NOV\_DEC\_JAN\_FEV} - 0,163 \text{ Dummy\_Alternance}^{***}$$

Il convient de rappeler que le nombre d'observations pour les séries statistiques concernant la production et la superficie des oliviers à huile à l'échelle des gouvernorats est réduit, ce qui limite la fiabilité du modèle, d'autant plus que les données disponibles ne permettent pas de distinguer la production de l'olivier conduit en pluvial de celui conduit en irrigué.

Ces modèles de prévision pour le secteur céréalier et le secteur oléicole, ont été appliqués pour neuf modèles climatiques du RCP 4.5 et douze modèles climatiques du RCP 8.5. Les indicateurs climatiques ont été calculés à l'échelle d'un maillage de 5 km afin d'obtenir des prévisions des rendements également à cette échelle. Dans une seconde étape, les rendements ont été moyennés à l'échelle des gouvernorats.

Finalement, pour la prévision du rendement national, la moyenne des superficies emblavées durant la période 2007- 2018 a été retenue pour les céréales. Pour l'olivier étant donnée la pérennité de la culture, la moyenne des superficies des années 2015-2017 a été retenue.

Pour tenir compte de la variabilité des simulations multi-modèles du RCP 4.5 et du RCP 8.5, le rendement médian pour le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'olivier a été calculé, ainsi que les Q10 et les Q90 des différents rendements nationaux simulés. Ces quantiles ont été calculés pour apprécier la variabilité des prévisions pour les différentes cultures sur toute la période 1980-2100.

En plus, pour évaluer la variabilité des rendements à l'échelle de chaque gouvernorat, la variabilité inter annuelle des modèles a été calculée pour trois horizons : la période de référence, l'horizon 2050 et l'horizon 2100.

Finalement, et afin de faciliter la lecture des résultats obtenus pour les deux RCP, des cartes de la Tunisie indiquant la variation médiane en valeur relative (%) entre la période de référence et les horizons 2050 et 2100 par gouvernorat ont été élaborées pour les rendements.

### 4.3 Méthodologie de modélisation de la production des parcours :

L'approche méthodologique employée pour réaliser l'exercice de modélisation des productions pastorales du pays, exprimés en kilogrammes de matière sèche par hectare puis en unités fourragères, a été développée selon le modèle linéaire proposé Henri Noel LE HOUEROU (1992) que nous avons adapté à l'état actuel des terres de pâturage dans le pays. Il s'agit d'un modèle qui permet de déterminer la production en kilogrammes de matière sèche par hectare et par an sur la base de la pluie efficace, de la pluie cumulée pour l'année considérée et de la pluie moyenne de la série d'observation (trente années dans notre cas).

La formule mathématique employée combine le Coefficient d'Efficacité Pluviale (CEP<sup>8</sup>) et le Rapport de la Variabilité de la Production à celle des Pluies (RVPP) soit :

$$\text{Production}^9 \text{ de Matière Sèche par hectare et par an en kilogrammes} = (b \cdot r / R) + (1 - b) \cdot P$$

L'application de ce modèle pour la détermination des productions et l'analyse de la régression entre ces valeurs et les pluies annuelles pour 2005 et 2006 ont donné des résultats hautement significatifs ( $R^2=0.9332$  pour 2005 et  $0.9725$  pour 2006).

Le coefficient d'efficacité pluviométrique CEP que nous avons déterminé sur la base des relevés terrain est inférieur à celui proposé par LE HOUEROU en 1969 et 1992 en Tunisie et AIDOU en 1987 en Algérie, soit 1,9 au lieu de 2,1 et 2,4 respectivement. Ce niveau plus bas d'efficacité de la pluviométrie peut être dû à plusieurs facteurs d'ordre biophysique, climatique et de gouvernance, notamment le surpâturage qui entraîne une raréfaction des espèces palatables et une baisse du stock de graines dans le sol surtout des espèces annuelles qui n'arrivent pas à finir leur cycle végétatif.

La relation étroite entre le CEP et la production de matière sèche atteste du rôle déterminant de cette variable climatique sur le disponible fourrager, et in fine sur la production de viandes rouges (principalement des petits ruminants et des camelins) et donc sur la sécurité alimentaire.

Cette interdépendance permet non seulement d'estimer le stock en Unités Fourragères (UF)<sup>10</sup> à l'année considérée mais aussi d'estimer les stocks futurs sur la base des projections climatiques aux horizons déterminés 2050 et 2100 pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

#### 4.4 Méthodologie de modélisation des apports en eau :

Une approche par bilan de modélisation pluie-débit au pas de temps pluriannuel a été utilisée pour estimer l'évolution des apports d'eau par grand bassin versant sous changement climatique.

L'approche par bilan fournit des modèles pluie-débit sous forme de simples formulations mathématiques reliant le débit (Q) à la pluie (P) et l'évapotranspiration potentielle (E) soit :

$$[Q = f(P, E)].$$

L'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle est calculée par la formule de Turc en fonction des températures moyennes mensuelles et des radiations solaires moyennes, soit :

$$ETP = (0,4 \cdot t / t + 15) \cdot (I_g + 50).$$

Pour le calcul du débit d'écoulement Q, trois modèles ont été testés sur chacun des grands bassins versants : le modèle de Schreber, le modèle de Tixeront et enfin la formule de Turc. Pour chaque

---

<sup>8</sup> Production en kilogramme de matière sèche par ha, par an et par millimètre de pluie :  $CEP = (b \cdot r / R)$

<sup>9</sup> Avec « b » =  $CVPr / CVPI$ , où « CVPr » est le coefficient de variation de la production en Kg de MS/ha/an mesurée, « CVPI » est le coefficient de variation de la pluie de l'année sur l'ensemble des stations d'observation, « r » est la pluviométrie moyenne de l'année en mm (pour les années observées), « R » mesure la pluviométrie moyenne de la série des années (de 1981 à 2009) et « P » la pluviométrie moyenne de l'année considérée.

<sup>10</sup> Comme indiqué dans le premier rapport, (p.118) trois kilogrammes de Matière Sèche donnent une Unité Fourragère.

bassin le modèle dont le résultat sur la période de référence était le plus proche de la valeur moyenne des apports annuels officiels du MARHP a été sélectionné. La formule de Turc a été sélectionnée pour les bassins du centre et du sud, le modèle de Schreber a été sélectionné pour les bassins du nord :

$$\text{Formule de Turc : } Q = P - \left( \frac{P}{\sqrt{1 + \left(\frac{P}{E}\right)^2}} \right)$$

$$\text{Modèle de Schreber : } Q = P \times e^{-\left(\frac{P}{E}\right)}$$

Pour les eaux souterraines et en considérant l'étroite relation entre les écoulements et les infiltrations, l'hypothèse utilisée est de considérer que le taux de variation des volumes infiltrés devrait être équivalent à celui des eaux de surfaces

Cette approche nous permet de calculer les apports en eau et déduire l'impact des changements climatiques sur les ressources disponibles (surface et souterraines) pour l'approvisionnement en eau potable et d'irrigation. Ainsi, les mesures techniques, agronomiques et de gouvernance à entreprendre pour s'adapter aux nouvelles conditions hydrauliques de l'offre et de la demande seront fondés sur une évaluation raisonnée des ressources.

## 4.5 Méthodologie d'analyse des données climatiques pour la pêche maritime

### 4.5.1 Le modèle v3b1

L'ensemble de données ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) est une analyse mensuelle globale de la température de la surface de la mer dérivée de l'International Comprehensive Ocean – Atmosphere Dataset avec des données manquantes complétées par des méthodes statistiques. Cette analyse mensuelle débute en janvier 1854 et se poursuit jusqu'à aujourd'hui. Elle comprend des anomalies calculées par rapport à une climatologie mensuelle de 1971-2000. La dernière version d'ERSST, la version 3b, est optimisée pour exclure les régions sous-échantillonnées des moyennes mondiales. Les améliorations d'ERSST v3 sont justifiées par des tests avec des données simulées.

#### Description de l'analyse

La génération d'ERSST v3b utilise des données SST in situ et des méthodes statistiques améliorées qui permettent une reconstruction stable à l'aide de données éparses. L'analyse mensuelle s'étend de janvier 1854 à nos jours, mais en raison de la rareté des données dans les premières années, il y a un amortissement du signal analysé avant 1880. Après 1880, la force du signal est plus constante dans le temps. L'ERSST convient aux études mondiales à long terme et à l'échelle du bassin, et des variations locales et à court terme lissées sont utilisées dans l'ensemble de données. Le produit de température de surface fusionnée terre-océan utilise ERSST comme entrée (accès aux données NCD CERSST Data Optional Registration & ASCII ERSST Gridded Data)

Les données mensuelles maillées ERSST au format ASCII sont disponibles de 1854 à aujourd'hui. Les données maillées mensuelles au format NetCDF sont disponibles de 1854 à aujourd'hui (Références ERSST v1<sup>11</sup> ; ERSST v2<sup>12</sup> et Xue et al., 2003<sup>13</sup>).

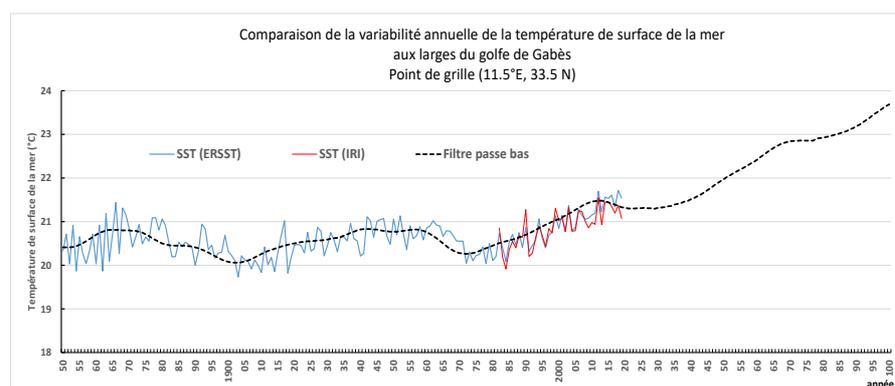


Figure : Comparaison de la variabilité annuelle de la température de la surface de la mer au large du golfe de Gabès au point de grille (11.5°E, 33.5°N)

<sup>11</sup> ERSST v1: Smith, T.M., and R.W. Reynolds, 2003: Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temps Based on COADS 1854-1997. *Journal of Climate*, 16, 1495–1510.

<sup>12</sup> ERSST v2: Smith, T.M., and R.W. Reynolds, 2004: Improved Extended Reconstruction of SST 1854-1997. *Journal of Climate*, 17, 2466–2477.

<sup>13</sup> Xue, Y., T.M. Smith, and R.W. Reynolds, 2003: Interdecadal Changes of 30-Yr SST Normals during 1871–2000. *Journal of Climate*, 16, 1601–1612.

#### **4.5.2 Le modèle (NOAA) v3b**

Le second modèle correspond aux Températures mensuelles de surface de la mer SST de NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn\_SmithOlv2 : champs SST mis à jour à partir de la version 1 avec plus de données COADS, nouvel algorithme de conversion sea-ice en SST et 1971-2000 climatologie. La figure 2 constitue une comparaison entre les données à un point précis de la grille pris comme référence.

## 5 Méthodologie de modélisation des aires de répartition des plantes étudiées

La méthodologie pour évaluer les aires d'aptitudes climatiques de l'agriculture pluviale a consisté 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.

L'évolution des aires d'aptitudes climatiques a été cartographiée pour la période historique de référence (1981-2010) et les horizons 2050 et 2100, selon les scénarios RCP4.5 et RCP 8.5 et pour la médiane ainsi que les quantiles 10 et 90 de l'ensemble multi-modèles. Les quantiles 10 et 90 permettent de saisir l'incertitude des projections des aires d'aptitude. La construction des jeux de données climatiques s'est faite à partir de données internationales existantes (CHIRPS pour les précipitations, ERA5 et WorldClim pour les températures). Les caractéristiques, les sources des jeux de données utilisés et les traitements réalisés pour l'obtention d'un ensemble homogène sont détaillés dans le rapport d'étape 1 de la présente étude.

Figure 29 : Portail EcoCrop de la FAO des exigences écologiques des cultures

(<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>).

Ecology	Optimal		Absolute		Soil depth	Optimal		Absolute		
	Min	Max	Min	Max		medium (50-150 cm)	shallow (20-50 cm)	heavy, medium	heavy, medium	
Temperat. require	15	23	5	27	Soil texture	medium, organic	heavy, medium			
Rainfall (annual)	750	900	300	1600	Soil fertility	high	moderate			
Latitude	30		60	65	Soil AL. tox	low (<4 dS/m)	medium (4-10 dS/m)			
Altitude				4500	Soil salinity	well (dry spells)	medium (dry spells)			
Soil PH	6	7	5.5	6.5	Soil drainage	well (dry spells)	well (dry spells)			
Light intensity	very bright	very bright	cloudy	very bright						
Climate zone	tropical wet & dry (Aw), tropical wet (Ar), desert or arid (Bw), steppe or semiarid (Bs), subtropical humid (Cf), subtropical dry summer (Cs), subtropical dry winter (Cw), temperate oceanic (Dc), temperate continental (Dc), temperate with humid winters (Df), temperate with dry winters (Dw)								Photoperiod	neutral day (12-14 hours), long day (14-16 hours)
Killing temp. during rest	-20								Killing temp. early growth	0
Abiotic toler.									Abiotic suscept.	
Introduction risks.										

L'évolution des aires d'aptitude climatique des espèces cultivées et pastorales a été cartographiée grâce au logiciel gratuit DIVA-GIS14 version 7.5 (<http://www.diva-gis.org/>) qui permet de visualiser la répartition spatiale d'espèces végétales, en fonction de leurs exigences en eau et en température. Les exigences en types de sols et la sensibilité aux maladies ne sont pas prises en compte. Pour l'olivier, l'humidité de l'air au moment de la pollinisation est un facteur important qui n'est pas pris en compte par cette méthodologie.

DIVA-GIS intègre la base de données EcoCrop de la FAO qui fixe les exigences écologiques des cultures, développée par Hijmans et al. (2001). Il est cependant possible de modifier les

paramètres par défaut de ces exigences selon les données spécifiques à chaque pays.

14 Un manuel de formation à l'analyse spatiale de la diversité et de la distribution des plantes est disponible à l'adresse :

[http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/Manuel\\_de\\_formation\\_%C3%A0\\_l'analyse\\_spatiale\\_de\\_la\\_diversit%C3%A9\\_et\\_de\\_la\\_distribution\\_des\\_plantes.pdf](http://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/Manuel_de_formation_%C3%A0_l'analyse_spatiale_de_la_diversit%C3%A9_et_de_la_distribution_des_plantes.pdf)

Les paramètres des exigences écologique (saison de croissance, température et pluviométrie), pour les blés, l'orge, l'olivier, *Stipa tenacissima*, *Arthrophytum scoparium* et *Rhanterium suaveolens* sont en figures 30 à 36.

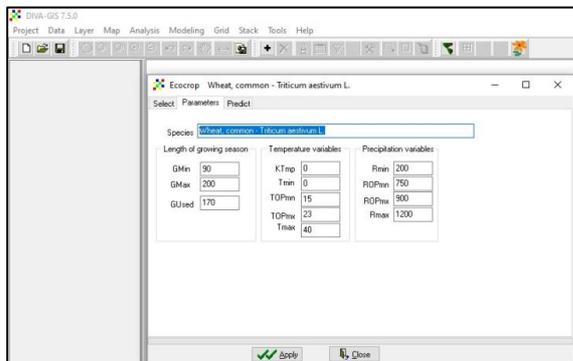


Figure 30 : Paramètres du blé tendre.

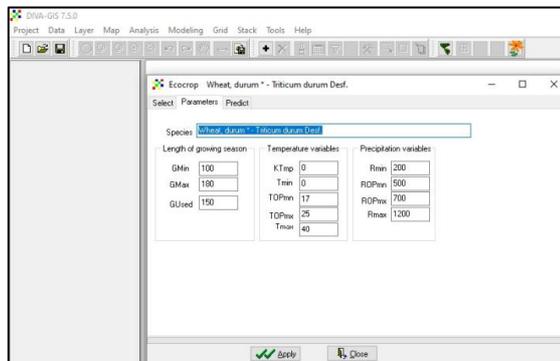


Figure 31: Paramètres du blé dur

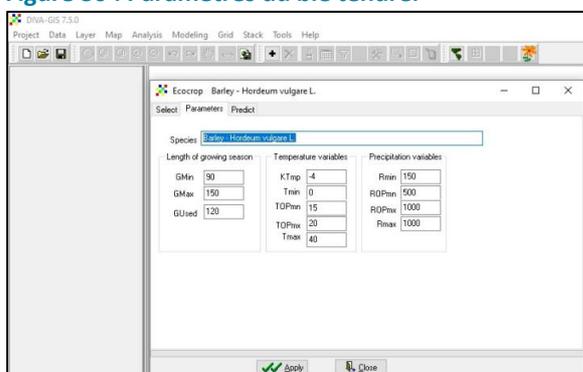


Figure 32: Paramètres de l'orge.

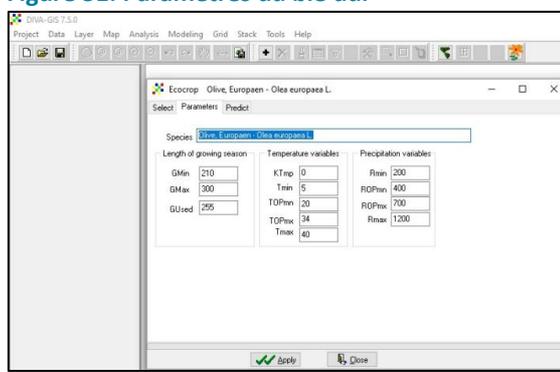


Figure 33 : Paramètres de l'olivier.

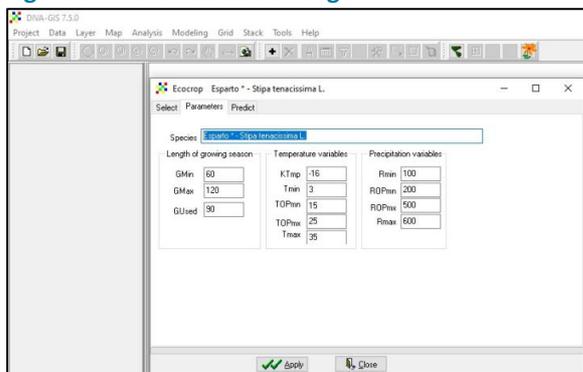


Figure 34 : Paramètres de *Stipa tenacissima*

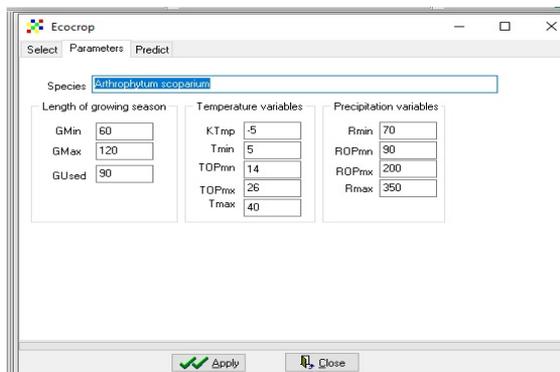


Figure 35: Paramètres de *Arthrophytum scoparium*.

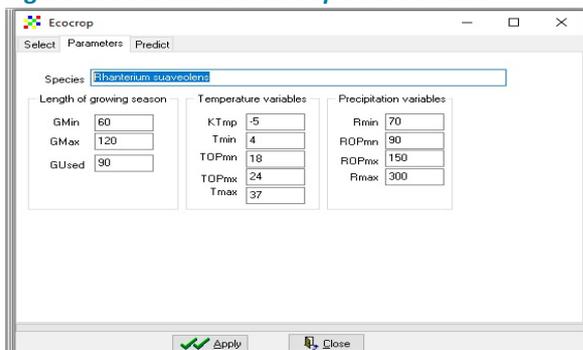
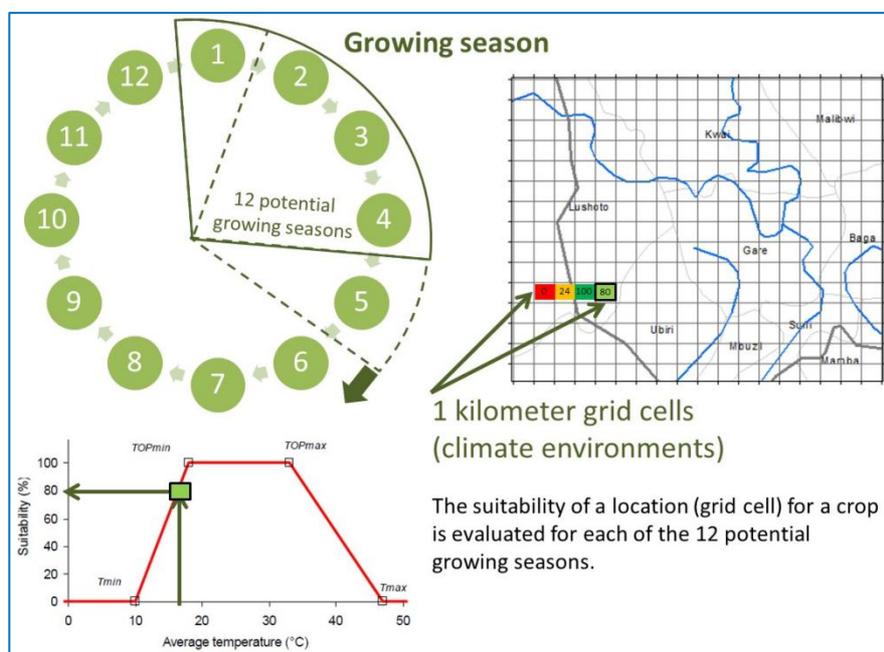


Figure 36: Paramètres de *Rhanterium suaveolens*.

Dans EcoCrop, la période de croissance est définie en jours entre Gmin (début de la croissance) et Gmax (fin de la croissance). Dans DIVA-GIS, 12 saisons de croissance possibles sont considérées, à compter du premier de chaque mois.



**Figure 37: Détermination des saisons de croissance possibles en fonction de la température.**

L'aptitude climatique d'une aire géographique pour une espèce végétale donnée est évaluée vis-à-vis de la température et de la pluviométrie (Figure 9) :

**Aptitude vis-à-vis des paramètres de température (0 à 100%) :**

- KTMP: température absolue létale pour la culture (Tkill) ;
- TMIN: température moyenne minimale à laquelle la culture se développera ;
- TOPMAN: température moyenne minimale à laquelle la culture va croître de façon optimale ;
- TOPAMAX: température moyenne maximale à laquelle la culture va croître de façon optimale ;
- TMAX: température moyenne maximale à laquelle la plante cessera de croître.

Si par exemple la température moyenne minimale de l'un des mois est au plus égale à 4°C au-dessus de KTMP, alors on suppose que, en moyenne, KTMP sera atteint un jour du mois, et que la culture va donc mourir. L'aptitude de la culture vis-à-vis de la température pour ce mois est donc de 0%. Dans le cas contraire, l'aptitude vis-à-vis de la température pour ce mois est évaluée en utilisant les autres paramètres de température. L'aptitude globale d'une culture vis-à-vis de la température pour chaque maille de la grille climatique (de 5 km de résolution spatiale) est égale au score d'aptitude le plus faible obtenu en n'importe quel mois de la saison de croissance.

**Aptitude vis-à-vis des paramètres de pluviométrie (0 à 100%) :**

- Rmin: précipitations minimales (mm) au cours de la saison de croissance ;
- Rmin: précipitations optimales minimales (mm) au cours de la saison de croissance ;
- Rmax: précipitations optimales maximales (mm) au cours de la saison de croissance ;

- Rmax: précipitations maximales (mm) au cours de la saison de croissance.

La méthode d'évaluation de l'aptitude d'une culture vis-à-vis des précipitations est similaire à celle de la température, excepté le fait qu'il n'y a pas de précipitations létales et qu'il n'y a qu'une seule évaluation pour toute la période de croissance (le nombre de mois définis par Gmin et Gmax) et non pour chaque mois. L'aptitude d'une culture vis-à-vis des précipitations est égale au score le plus élevé (en pourcentage), pour une saison de croissance, à partir de n'importe quel mois de l'année (Figure 38).

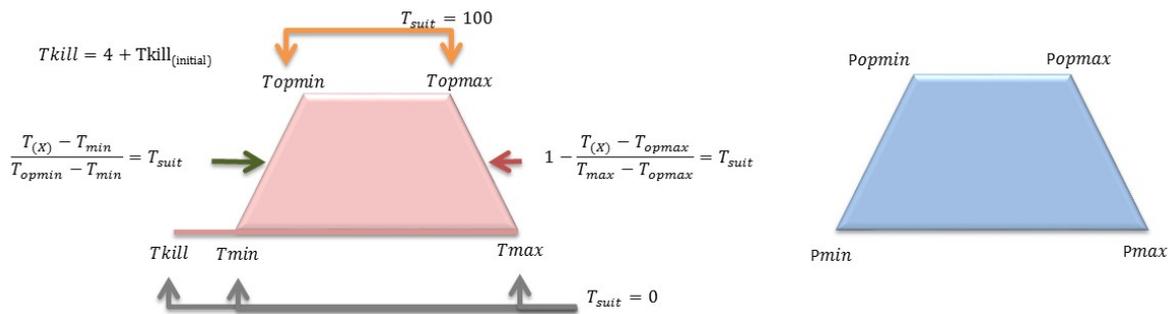
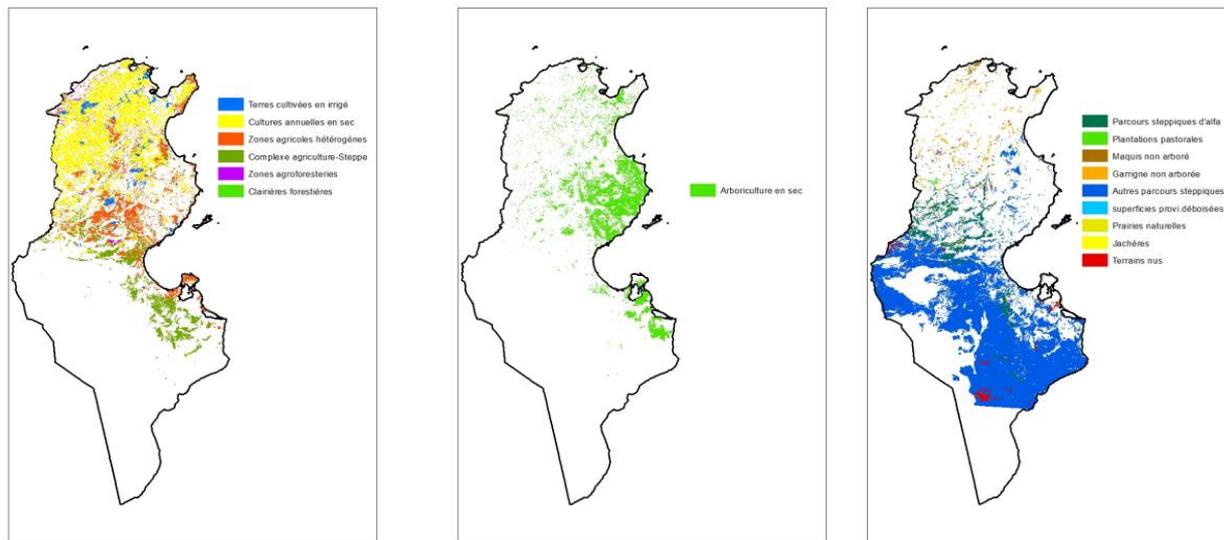


Figure 38 : Méthodologie utilisée dans DIVA-GIS pour cartographier l'aire de répartition des cultures.

L'aptitude finale, 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 micro-climats 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 (Occupation du sol en Tunisie issue du second Inventaire Forestier et Pastoral National) et des parcours (inventaire forestier et pastoral national de 2000) disponibles en Tunisie en format SIG.



Agriculture

Arboriculture

Parcours

**Figure 39: Cartes d'occupation des terres de Tunisie. Source : Élaboration à partir de l'Inventaire forestier national**

## 6 Impacts sur les rendements des cultures céréalières

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.

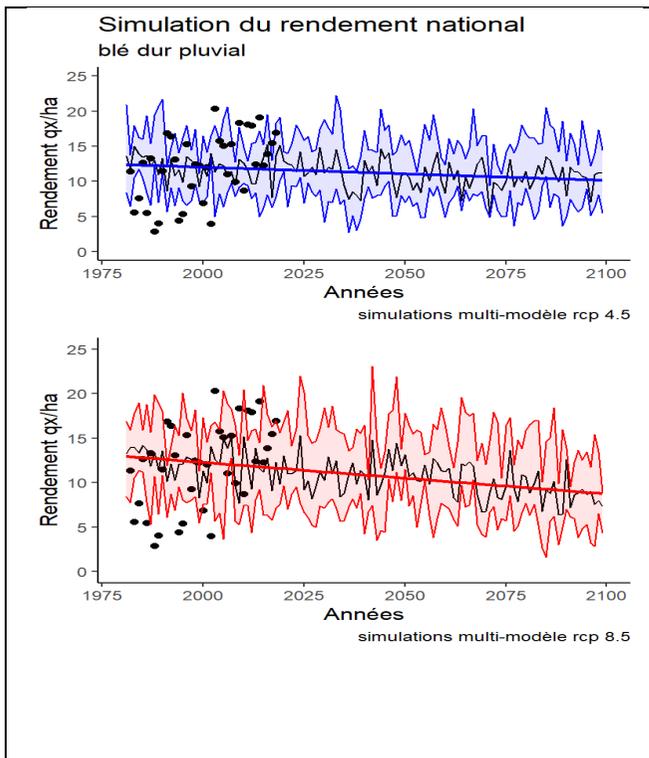
Scénarios et périodes	Période de référence	RCP 4.5		RCP8.5	
		2050	2100	2050	2100
Blé dur (Qx xHa)	12,26	10,53	10,52	11,16	9,06
Blé tendre (Qx x Ha)	13,69	11,41	11,16	11,91	9,14
Orge (Qx x Ha)	7,35	6,34	6,22	6,52	5,03
Blé dur (% variation)		-14,1%	-14,3%	-9,0%	-26,1%
Blé tendre (% variation)		-16,6%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

**Tableau 32 : 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**

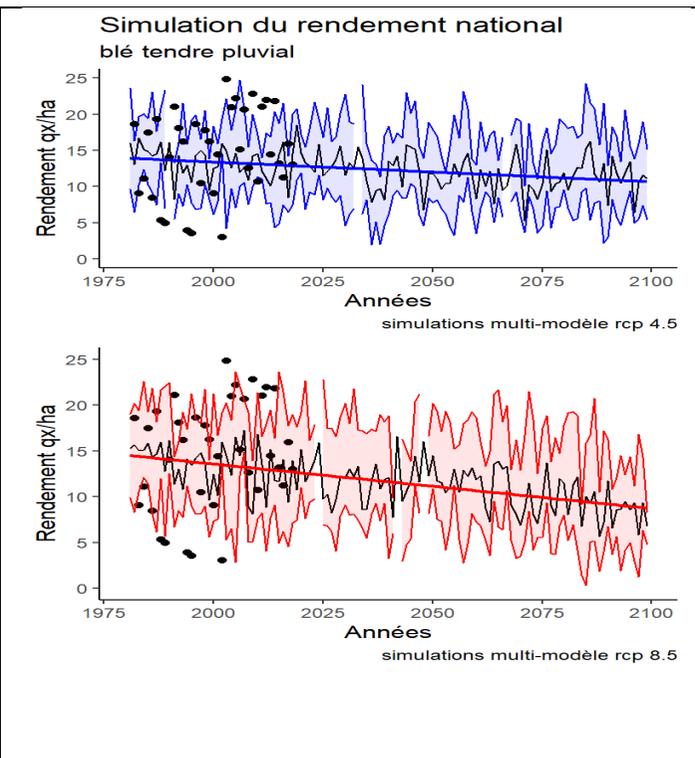
Ainsi, pour le blé dur, les projections climatiques RCP 4.5 indiquent une baisse du rendement de l'ordre de 14% aux horizons 2050 et 2100. Cette baisse est encore plus marquée pour RCP 8.5 avec moins 26% à l'horizon 2100. Concrètement, cela représente une baisse de rendement de l'ordre de 1,7 qx/hectare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

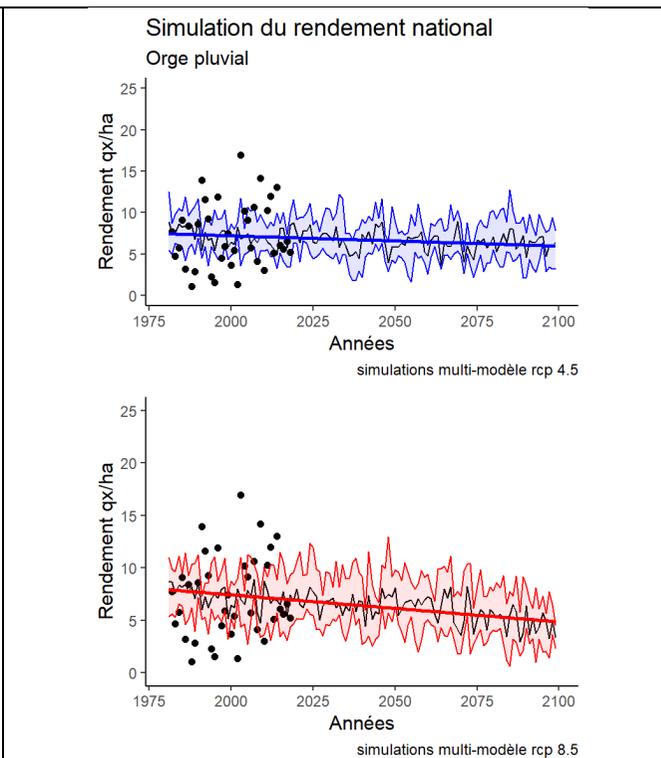
Pour le blé tendre dans le scénario RCP 4.5, le rendement national pourrait passer de 13,7 qx/ha à 11,2 qx/ha soit une perte de 2,5 qx/ha en 2100. Cette tendance s'accroît pour le scénario RCP 8.5. Ainsi, le rendement du blé tendre descendrait à 9,1 qx/ha pour l'horizon 2100 soit une perte de l'ordre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



**Figure 40 : Variation du rendement national du blé dur en fonction des projections climatiques**



**Figure 41 : Variation du rendement national du blé tendre en fonction des projections climatiques**



**Figure 42 : 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 42. 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 écart 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 écart types sont d'autant plus important 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 écart 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 (voir plus bas). 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.

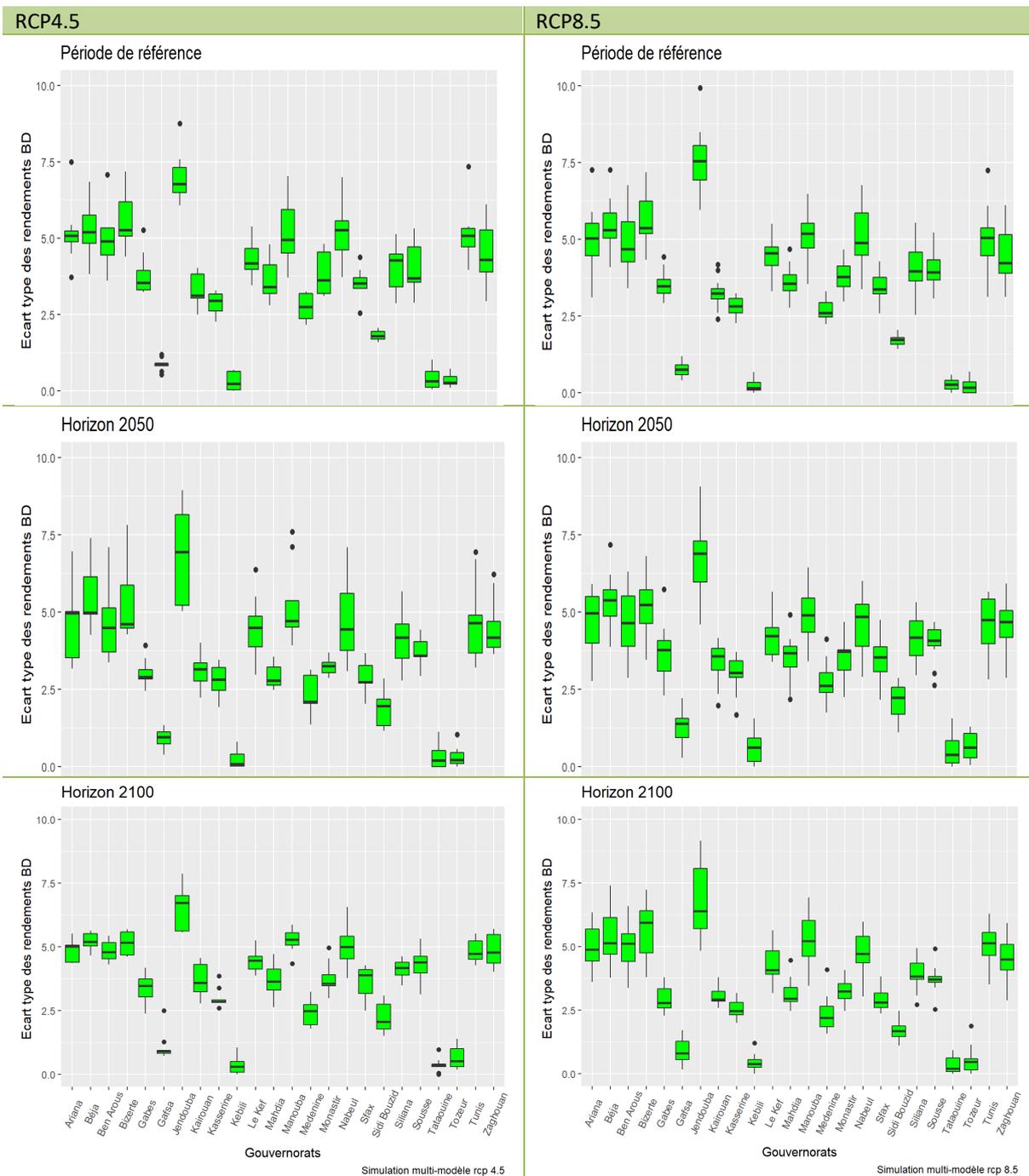


Figure 43 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements du blé dur

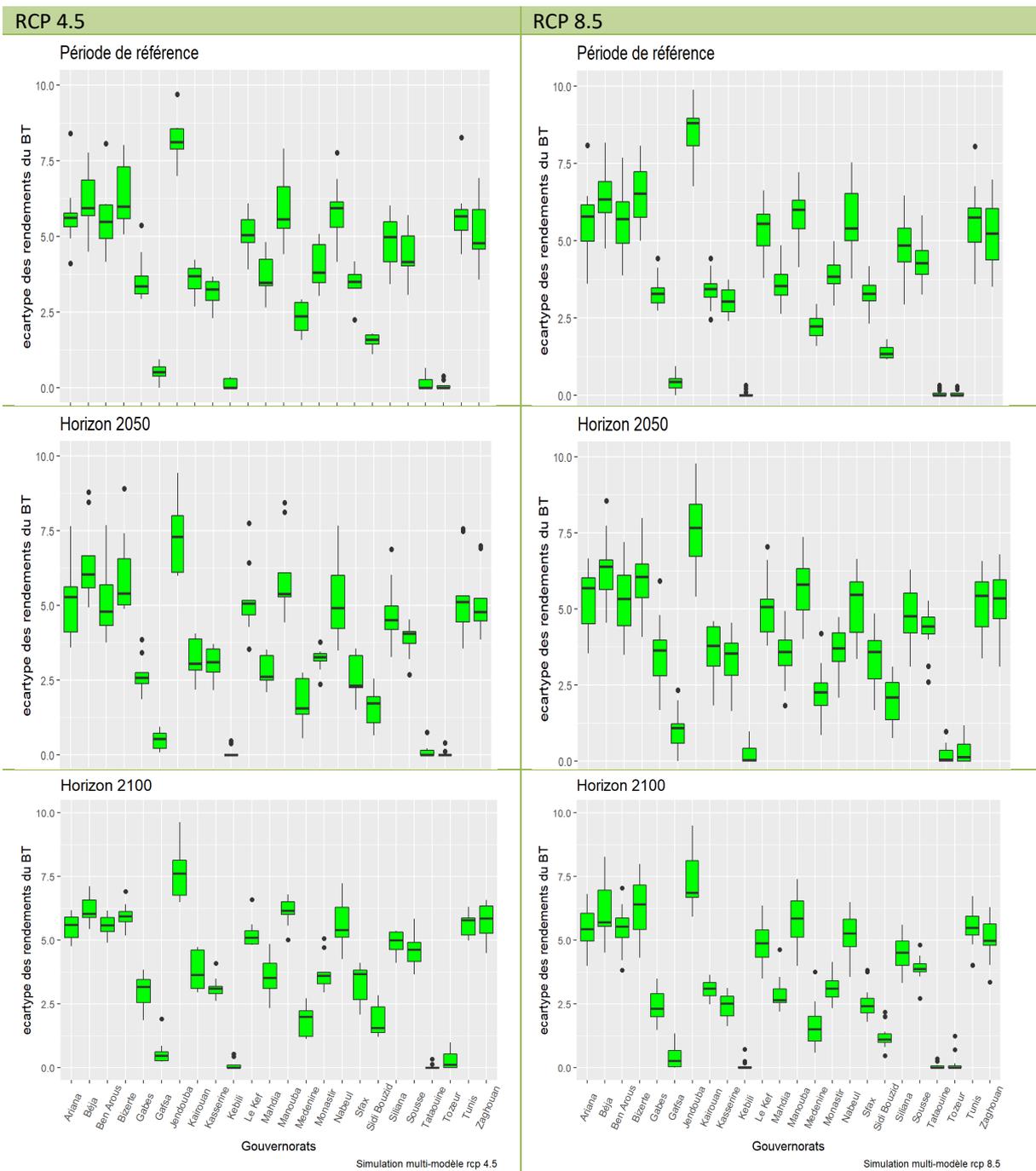


Figure 44 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements du blé tendre

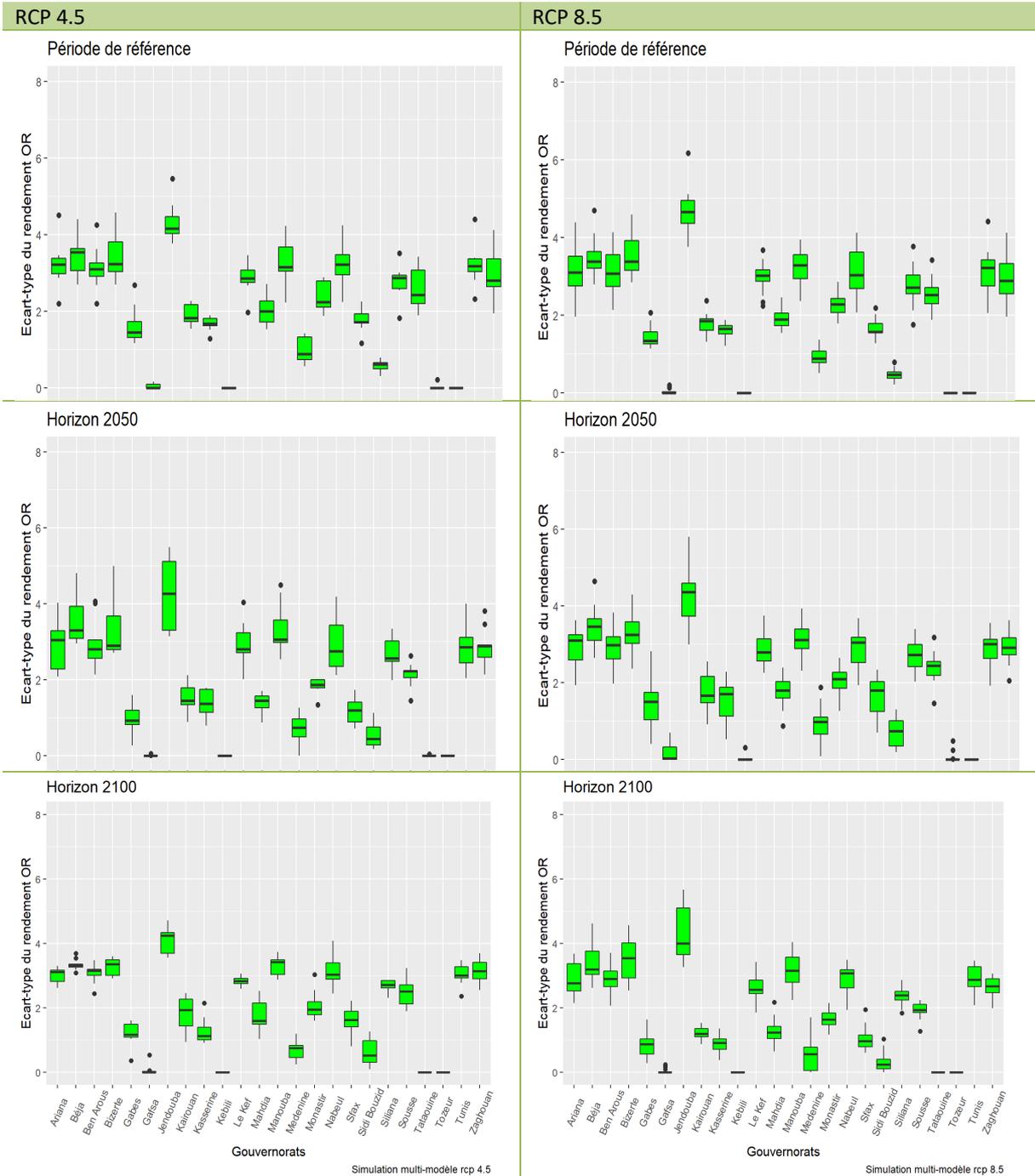
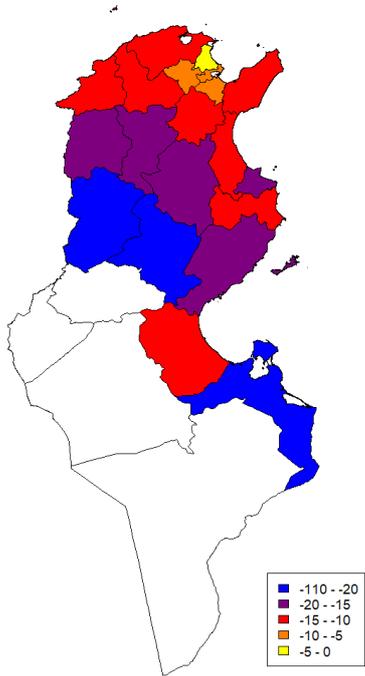


Figure 45 : Variation interannuelle et inter modèle des écarts type des rendements de l'orge

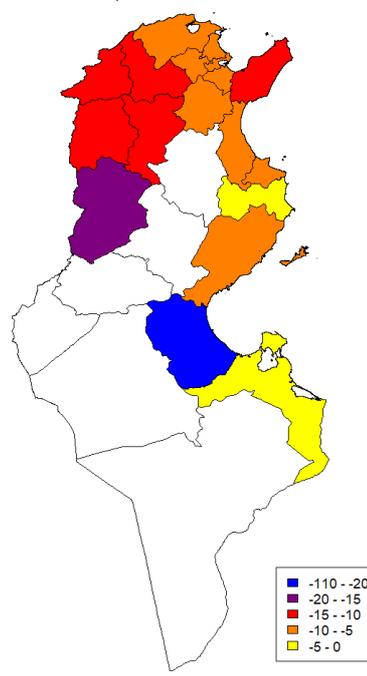
RCP4.5

Variation du rendement du BD pluvial en % Horizon 2050 rcp4.5

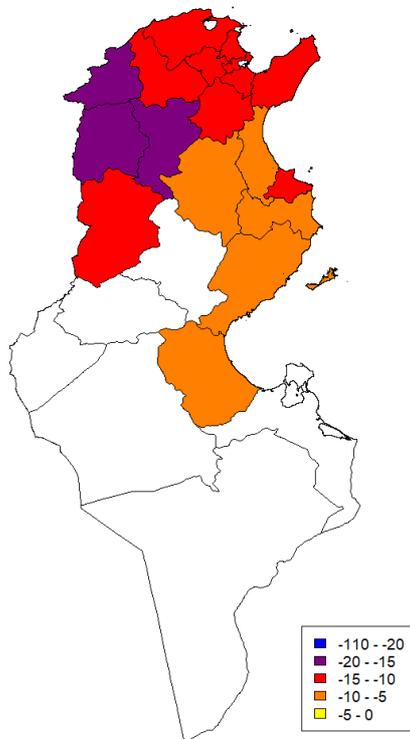


RCP 8.5

Variation du rendement du BD pluvial en % Horizon 2050 rcp8.5



Variation du rendement du BD pluvial en % Horizon 2100 rcp4.5



Variation du rendement du BD pluvial en % Horizon 2100 rcp=8.5

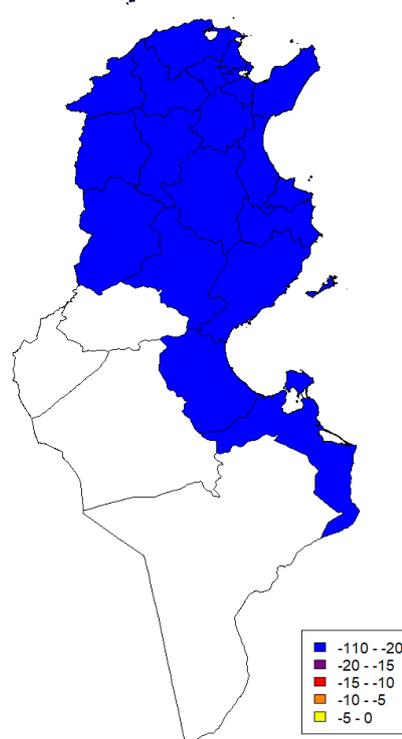
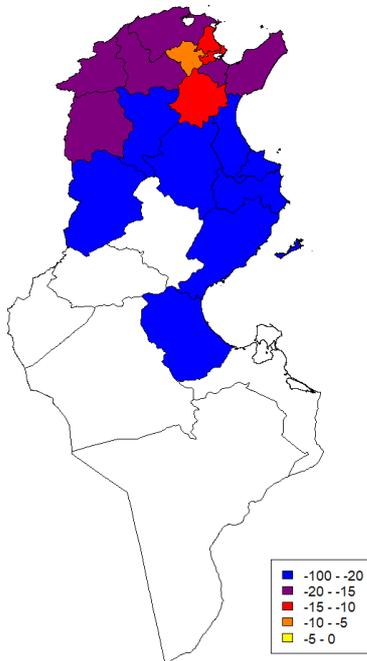


Figure 46 : Variation du rendement du blé dur pluvial horizon 2050- période de référence en %

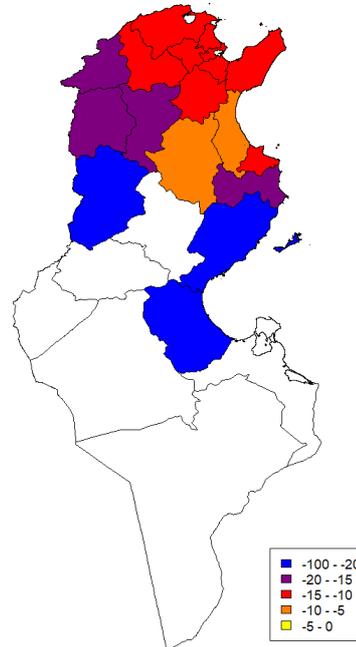
RCP 4.5

Variation du rendement du BT pluvial en % Horizon 2050 rcp 4.5

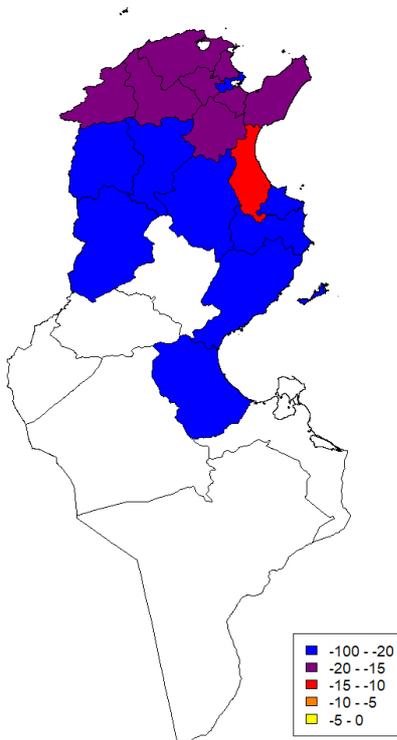


RCP.85

Variation du rendement du BT pluvial en % Horizon 2050 rcp 8.5



tion du rendement du BT pluvial en % Horizon 2100 rcp 4.5



tion du rendement du BT pluvial en % Horizon 2100 rcp 8.5

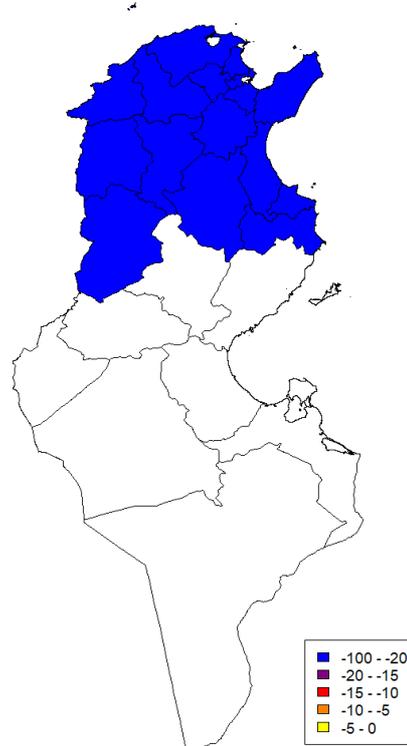


Figure 47 : Variation du rendement du blé tendre pluvial horizon 2050 et 2100 / période de référence en %

RCP 4.5

Variation du rendement du OR pluvial en % Horizon 2050 rcp 4.5



RCP 8.5

Variation du rendement du OR pluvial en % Horizon 2050 rcp 8.5



Variation du rendement de l'orge pluvial en % Horizon 2100 rcp 4.5



on du rendement de l'orge pluvial en % Horizon 2100 rcp 8.5

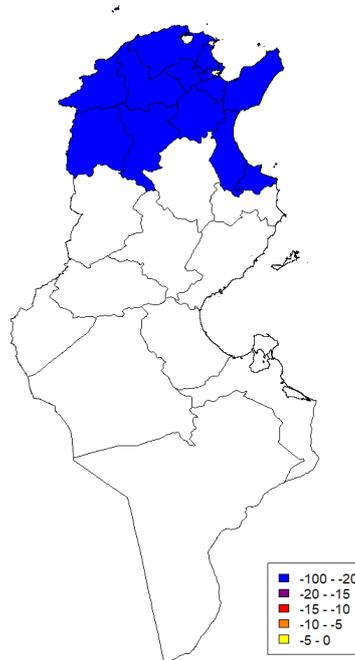
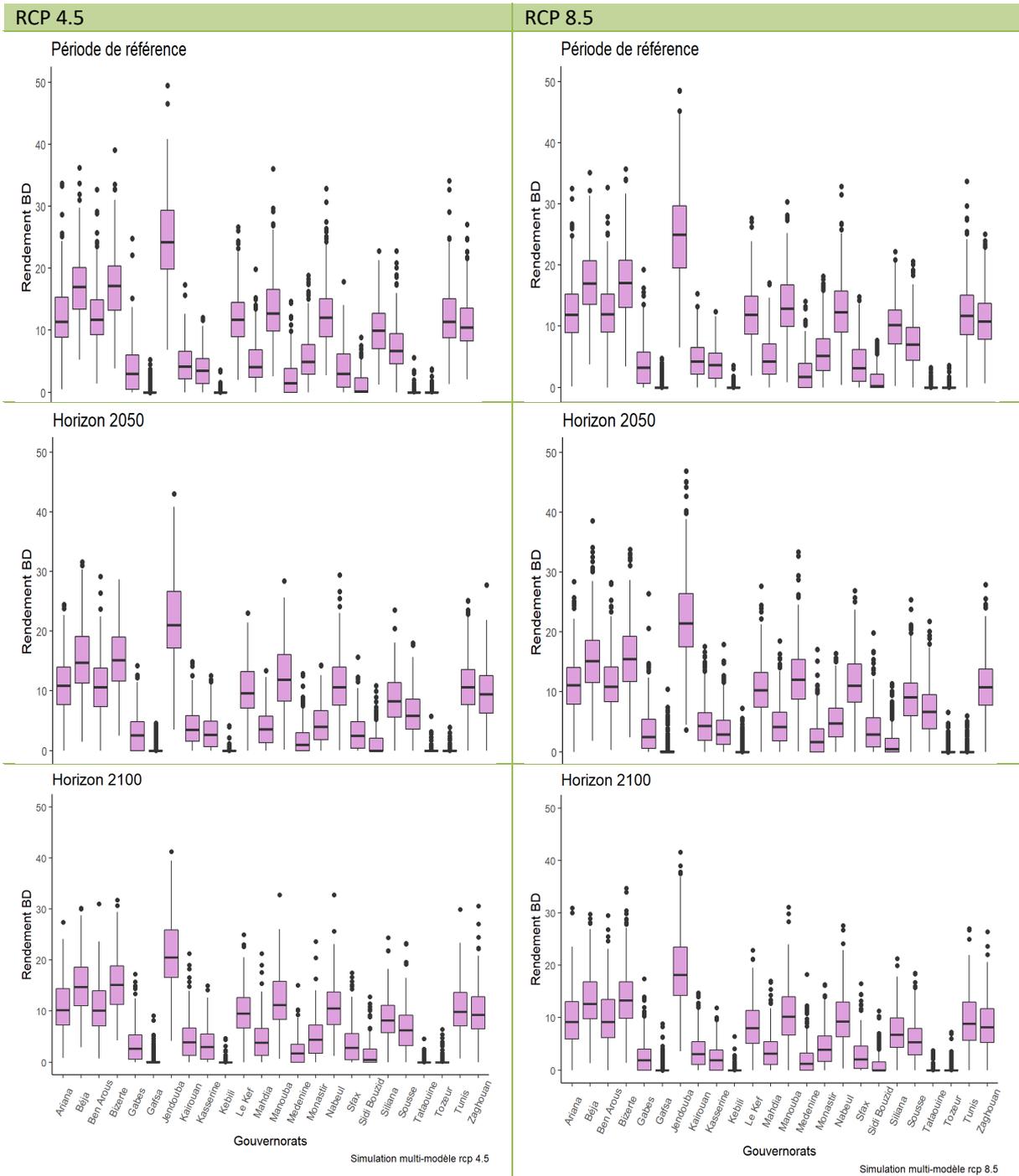


Figure 48 : Variation du rendement de l'orge pluvial horizon 2050 et 2100 / période de référence en %



**Figure 49 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements du BLE DUR (qx/ha) par gouvernorat**

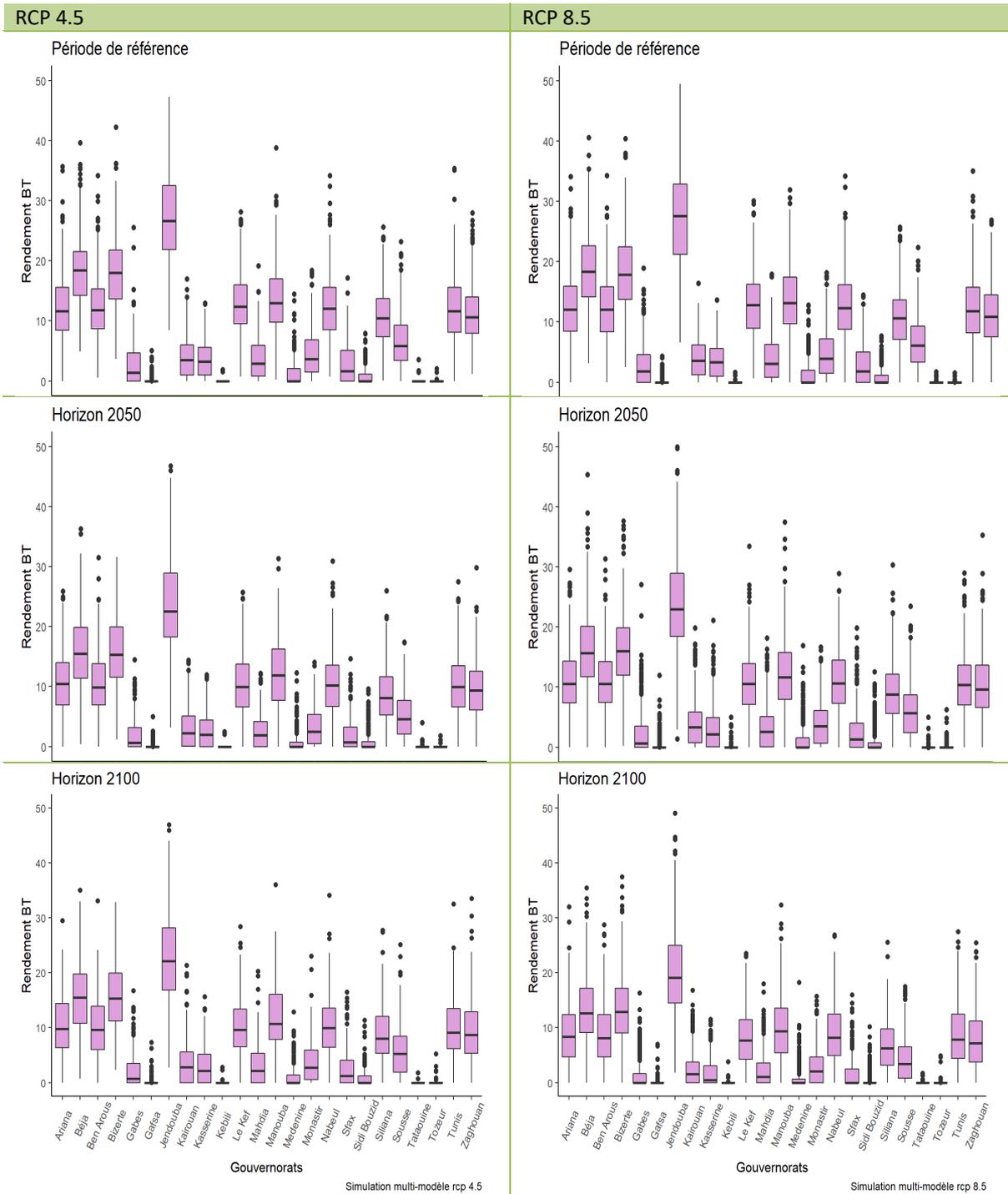
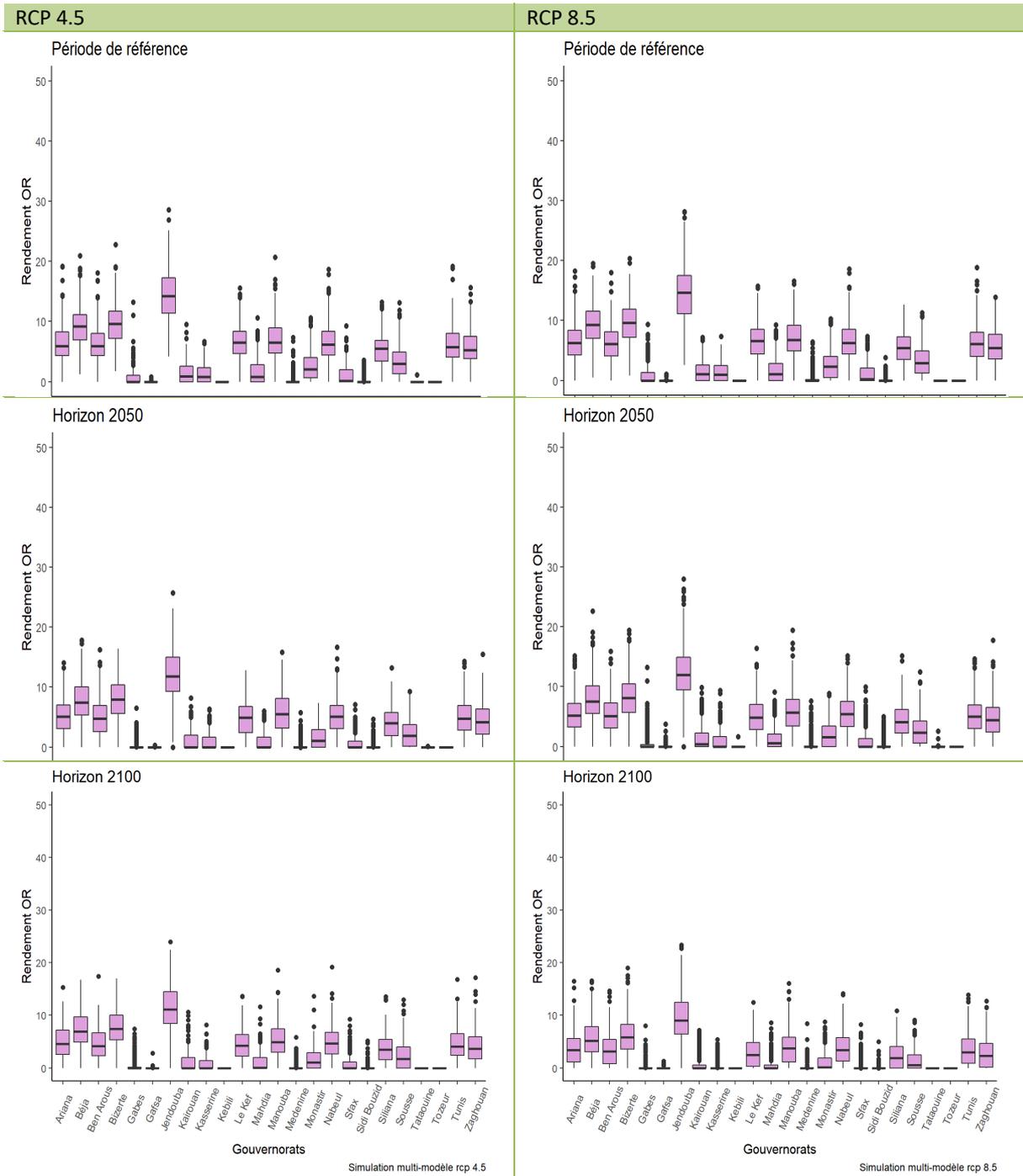


Figure 50 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements du BLE TENDRE (qx/ha) par gouvernorat

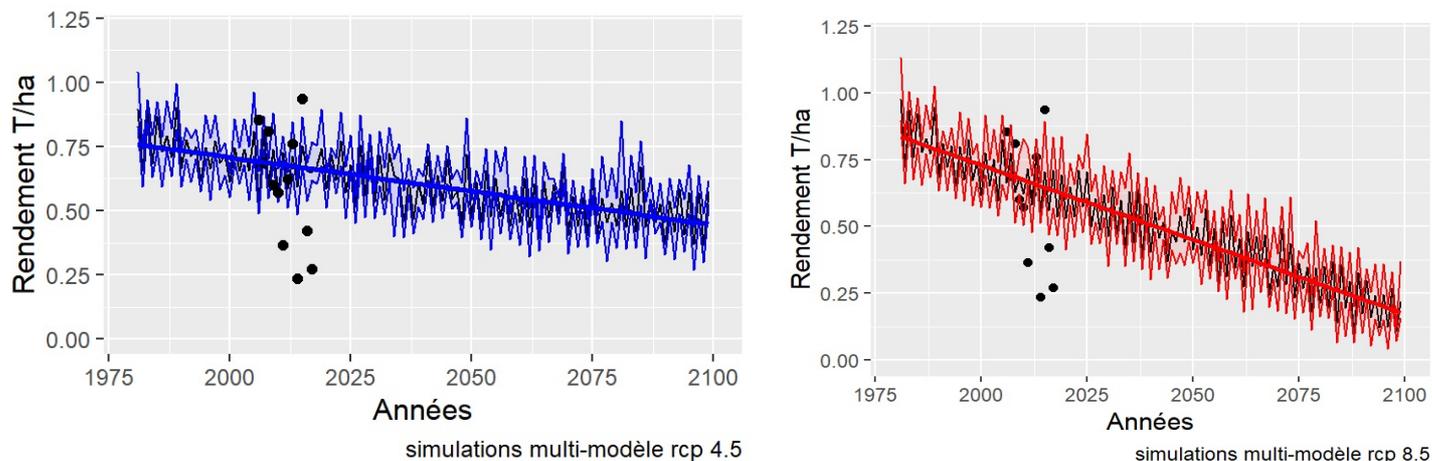


**Figure 51 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements de l'ORGE (qx/ha) par gouvernorat**

Voir l'ensemble des cartes d'aptitude, tableaux et graphiques en annexe 9

## 7 Impacts sur les rendements des oliviers à huile

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.



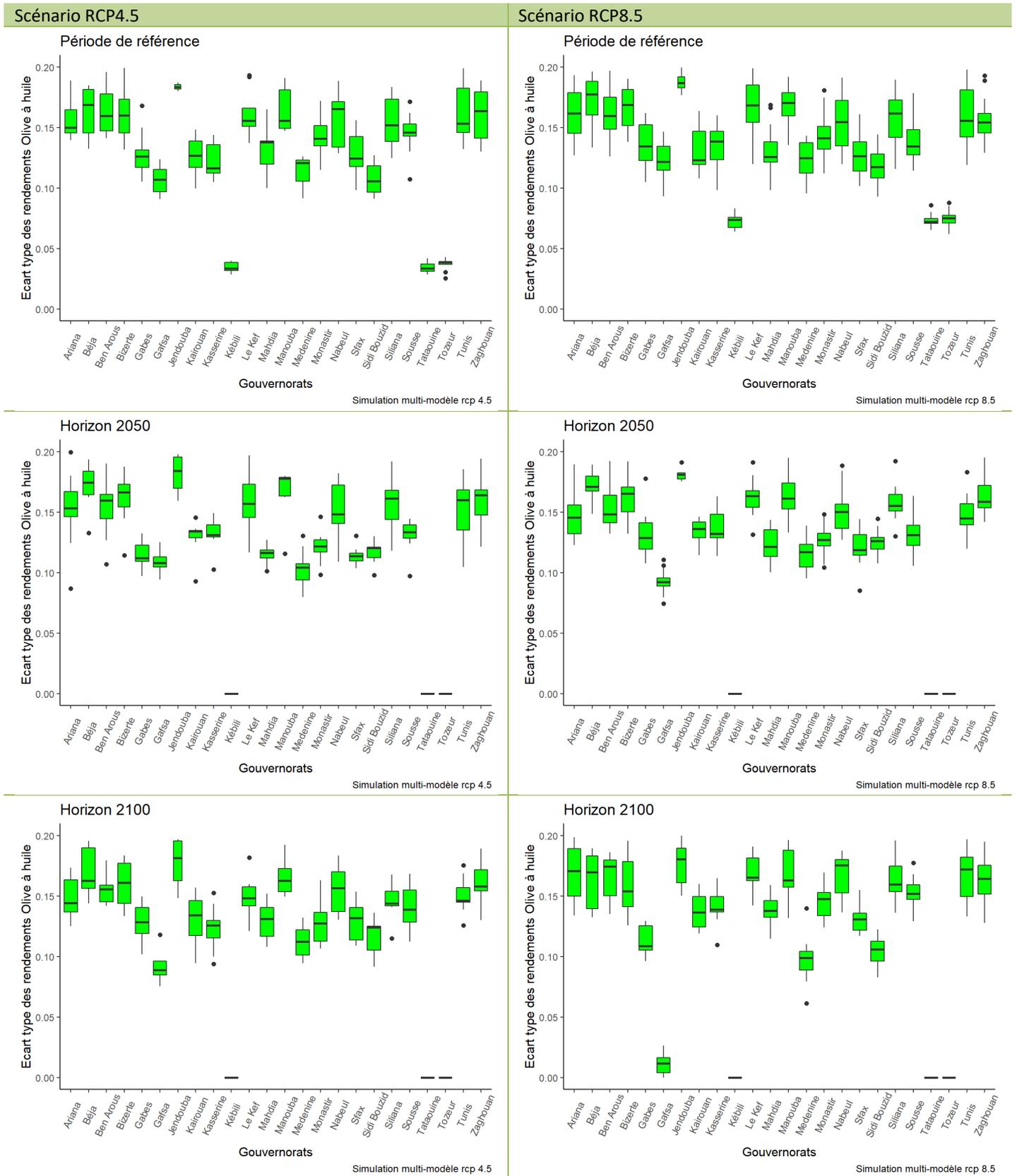
**Figure 52 : Simulation du rendement national Olive à huile jusqu'à 2100**

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

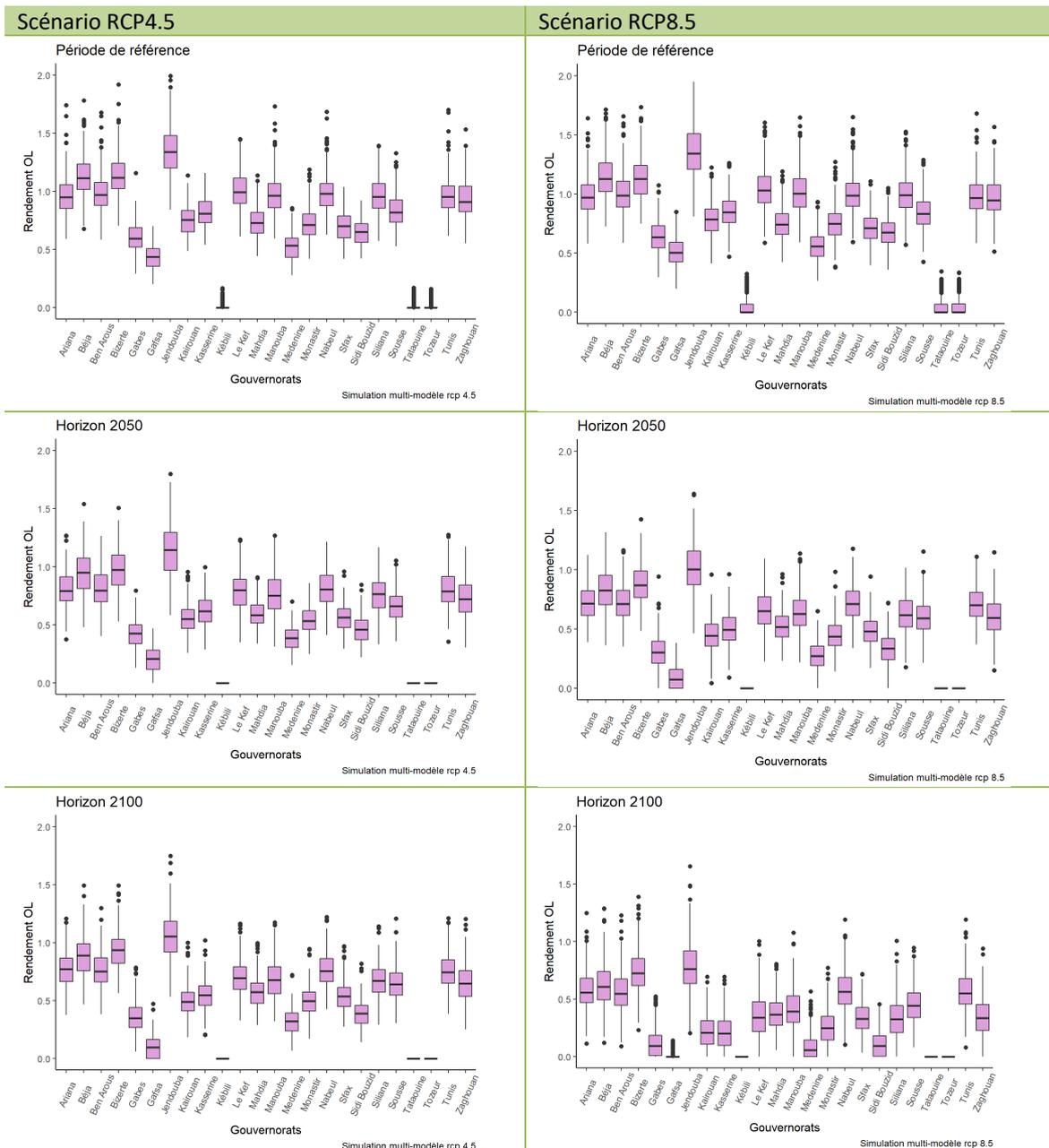
**Tableau 33 : Projection des rendements de l'olive à huile aux horizons 2050 et 2100.**

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 53 : 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, 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.



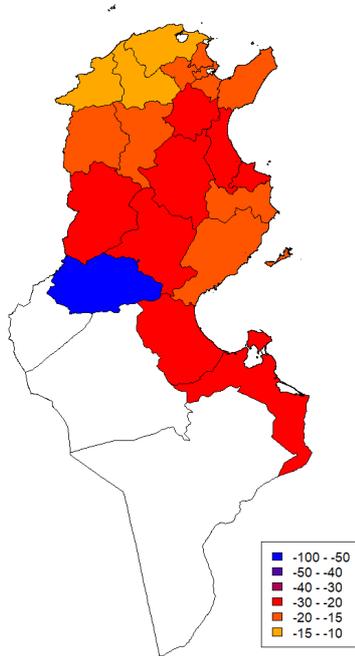
**Figure 54 : Variation interannuelle et inter modèle des rendements de l'Olive à huile (T/ha) par gouvernorat - RCP 4.5 et RCP 8.5 pour la période de référence, 2050 et 2100**

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. Pour le RCP 4.5 à l'horizon 2050, la plupart des gouvernorats montrent une baisse du rendement dépassant les 5 % (les baisses les moins fortes étant observées pour les gouvernorats de Sfax, Mahdia et Médenine). A l'horizon 2100, des baisses de rendement inférieures à 5% sont observées pour les gouvernorats de Sfax, Mahdia, Sousse, Monastir et Médenine. Pour le RCP 8.5, les gouvernorats de Siliana, le Kef, Kasserine et Gafsa seraient les plus impactés alors que pour les gouvernorats de Sfax, Mahdia, Sousse, Monastir et Médenine, les baisses des rendements resteraient inférieures à 5%.

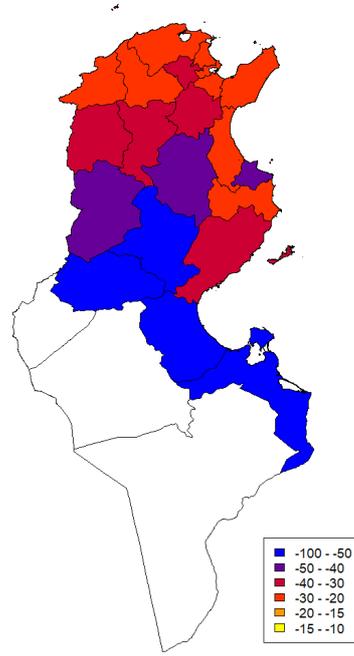
RCP 4.5

RCP 8.5

Variation du rendement du Olive à huile en % Horizon 2050 rcp4.5

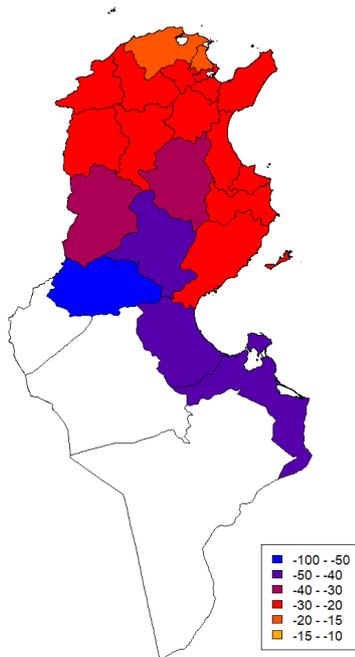


Variation du rendement Olive à huile en % Horizon 2050 rcp8.5

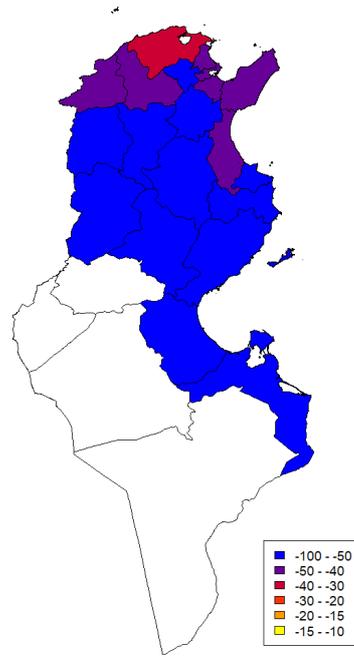


Horizon 2050 / Période de référence en %

Variation du rendement du Olive à huile en % Horizon 2100 rcp4.5



Variation du rendement Olive à huile en % Horizon 2100 rcp=8.5



Horizon 2100- période de référence en %

**Figure 55 : 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.

## 8 Impacts sur le rendement des parcours

L'analyse comparée des productions moyennes multimodèles des parcours de Tunisie le long de la période 1981-2100 et ce pour les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5, a été présentée dans le corps du rapport principal. Les annexes permettent d'approfondir certains aspects notamment les incertitudes dans les projections en analysant la médiane, et les extrêmes Q10 et Q90 pour les modèles climatiques utilisés, les rendements en UF par gouvernorat et leur variabilité, ainsi que les tendances de la production des parcours pour les six grandes régions qui composent l'espace national (Nord, Centre, Sud ; Est et Ouest).

### 8.1 Incertitudes

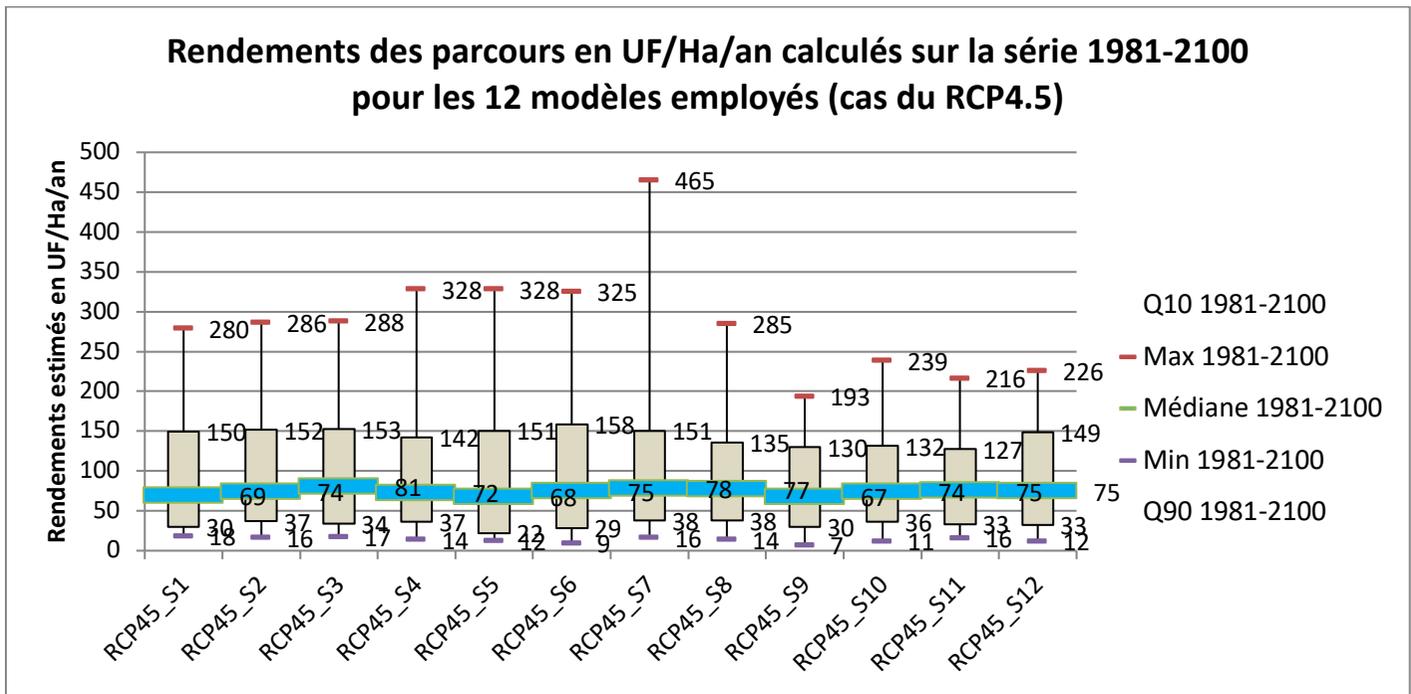
Pour aborder la variabilité des simulations multimodèles du RCP 4.5 et RCP 8.5, nous avons procédé au calcul du rendement médian des parcours exprimé en UF/ha/an sur la série 1981-2100, ainsi que les quantiles Q10 et Q90. Ces quantiles sont déterminés pour apprécier la variabilité des prévisions à travers l'homogénéité des valeurs de rendements entre ces deux extrêmes ainsi que l'emplacement de la valeur médiane dans cet intervalle. La même méthode a été employée pour apprécier la variabilité des rendements (et des productions en UF de nos parcours) pour chacun des 24 gouvernorats du pays. Dans ce cas particulier, trois périodes ont été considérées : la période de référence (P1) 1981-2010 et les deux horizons 2050 (P2) et 2100 (P2). Les graphiques qui suivent présentent les écarts-types (boîtes à moustaches) au niveau des gouvernorats pour les eux RCP 4. et 8.5.

Variabilité des modèles climatiques

RCP 45	RCP45_1	CNRM-CERFACS-rcp45_CLM	RCP 85	RCP85_1	CNRM-CERFACS-rcp85_CLM
	RCP45_2	CNRM-CERFACS-rcp45_SMH		RCP85_2	CNRM-CERFACS-rcp85_ALAI
	RCP45_3	ICHEC-EC-EARTH_rcp45_KNM		RCP85_3	CNRM-CERFACS-rcp85_SMH
	RCP45_4	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45_I		RCP85_4	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_DMI
	RCP45_5	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45_I		RCP85_5	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_KNM
	RCP45_6	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45		RCP85_6	ICHEC-EC-EARTH_rcp85_SMI
	RCP45_7	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45		RCP85_7	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85_I
	RCP45_8	MOHC-HadGEM2-ES_rcp45		RCP85_8	IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85_S
	RCP45_9	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_I		RCP85_9	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_I
	RCP45_10	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45		RCP85_10	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85C
	RCP45_11	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp45_I		RCP85_11	MOHC-HadGEM2-ES_rcp85I
	RCP45_12	NCC-NorESM1-M_rcp45_DI		RCP85_12	MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85C
		RCP85_13		MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85I	
		RCP85_14		MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85K	
		RCP85_15		MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85M	
		RCP85_16		NCC-NorESM1-M_rcp85DMI	
		RCP85_17		NCC-NorESM1-M_rcp85IPSL	
		RCP85_18		NCC-NorESM1-M_rcp85KNM	

**Tableau 34: Identification des modèles climatiques employés utilisés pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5**

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. En effet, l'analyse des intervalles inter déciles Q90 et Q10 montre que pour le scénario RCP4.5, les trois modèles qui présentent la plus faible dispersion des 80% des valeurs estimées du rendements médian en UF/ha sont : RCP4.5-M11, RCP4.5-M10 et RCP4.5-M8 pour lesquels les valeurs sont comprises entre 80 et 100. En revanche, les modèles qui présentent les valeurs les moins concentrées sont RCP4.5-M6 et RCP4.5-M5 avec des valeurs comprises entre 120 et 140. Les autres modèles ont des niveaux de dispersion moyens avec des valeurs comprises entre 100 et 120UF/ha/an. Pour le scénario RCP8.5, les disparités inter modèles sont plus prononcés au même titre que la disparité à l'intérieur de certains modèles. En effet, les valeurs des rendements médians en UF/ha se situent entre 80 et 160. Parmi ces modèles se distinguent les RCP8.5-M13, RCP8.5-M15 et RCP8.5-M7 avec des valeurs comprises entre 80 et 100. Le plus fort niveau de dispersion est atteint par le RCP8.5-M4. Les autres modèles se situent dans l'intervalle 100-140.



**Figure 56** Rendements des parcours en UF/ha / an de 1981 à 2100 pour les 12 modèles RCP 4.5

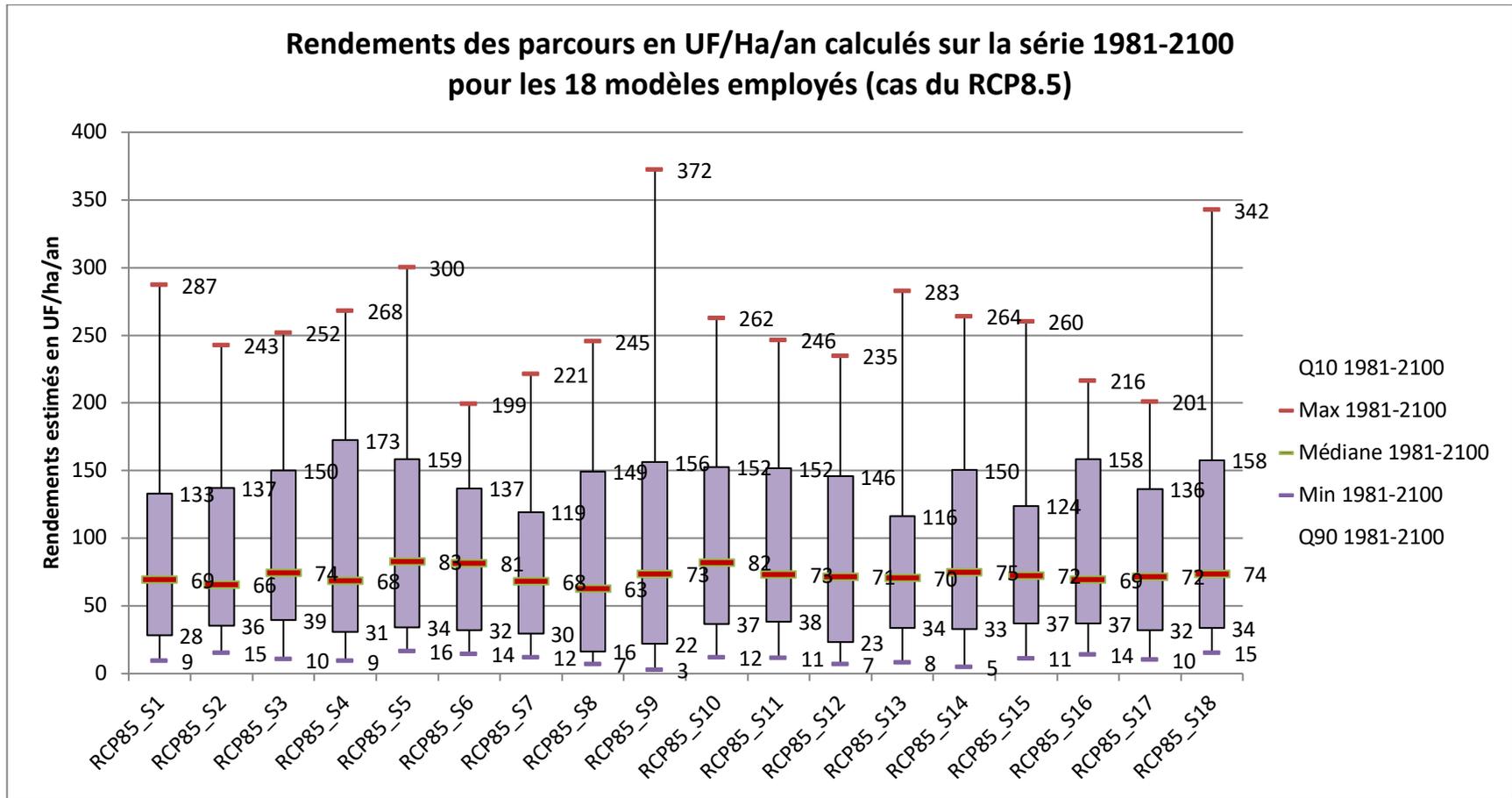
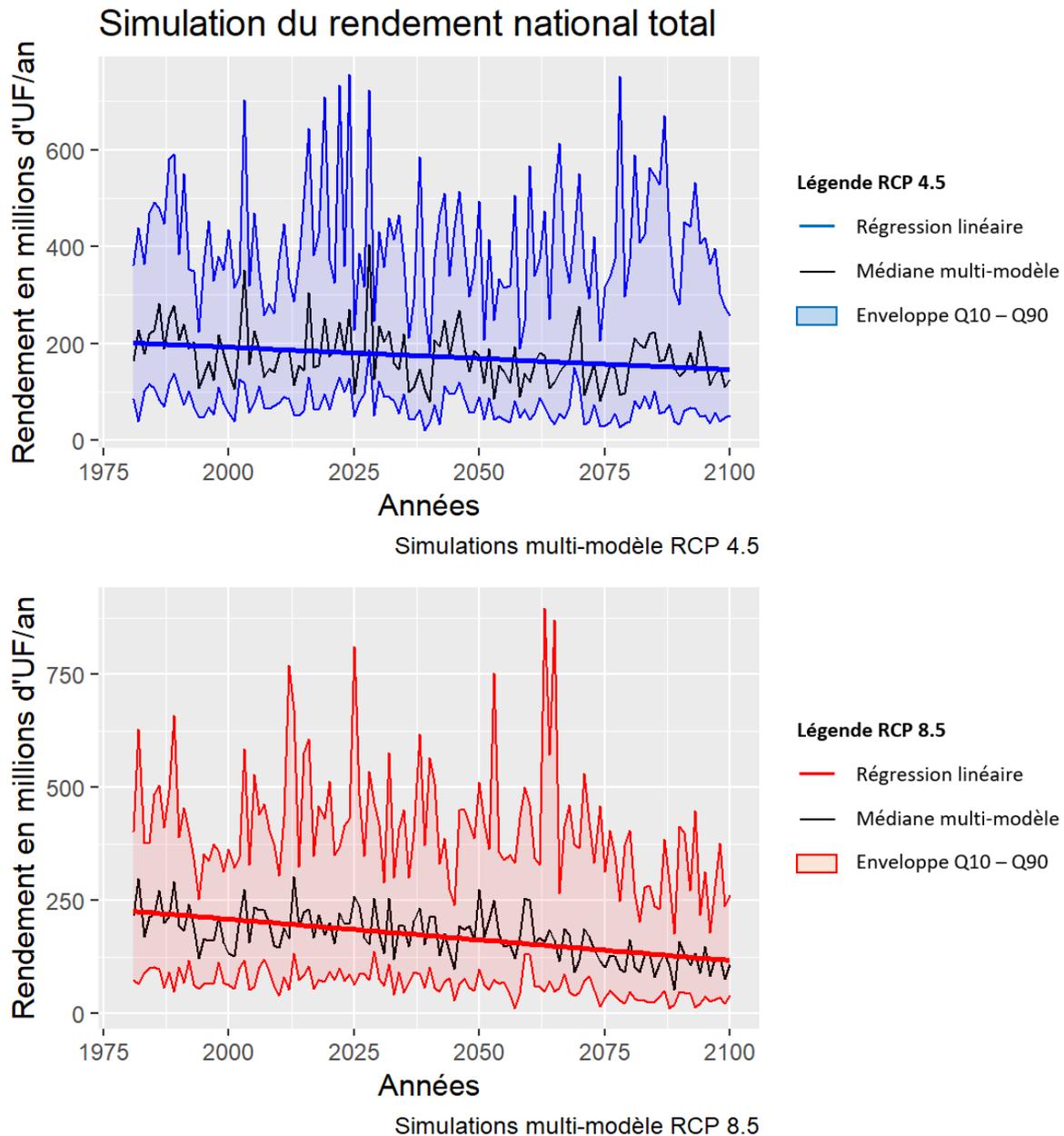


Figure 57 Rendements des parcours en UF/ha / an de 1981 à 2100 pour les 12 modèles RCP 8.5

## 8.2 Variabilité des rendements par gouvernorat et par scénario RCP

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.



**Figure 58 : 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%.

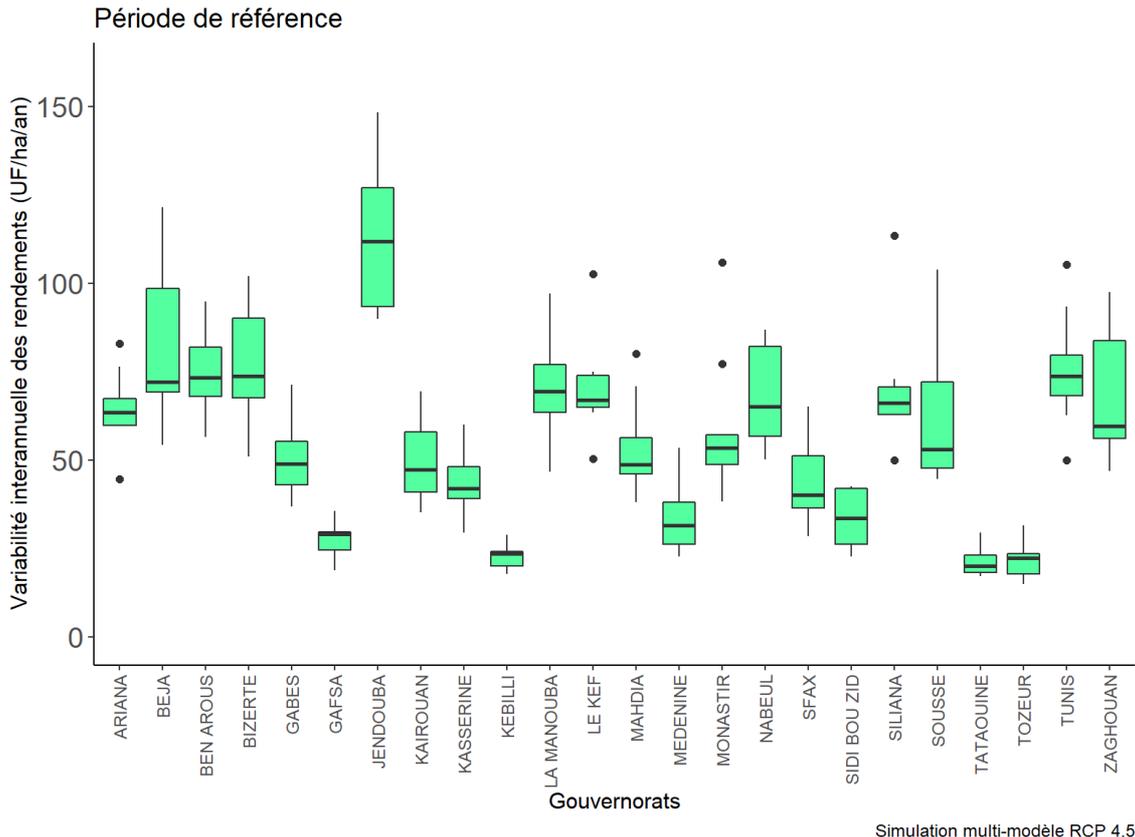
Production des parcours en Unités Fourragères (UF)	Période de référence	RCP4.5		RCP 8.5	
		2050	2100	2050	2100
Nombre d'Unités fourragères par hectare	36	29	29	34	22
Production fourragère des parcours en millions d'UF	198	157	155	183	119
Variation en %		-21%	-22%	-8%	-40%
Q10 en millions UF	82	63	54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

**Tableau 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**

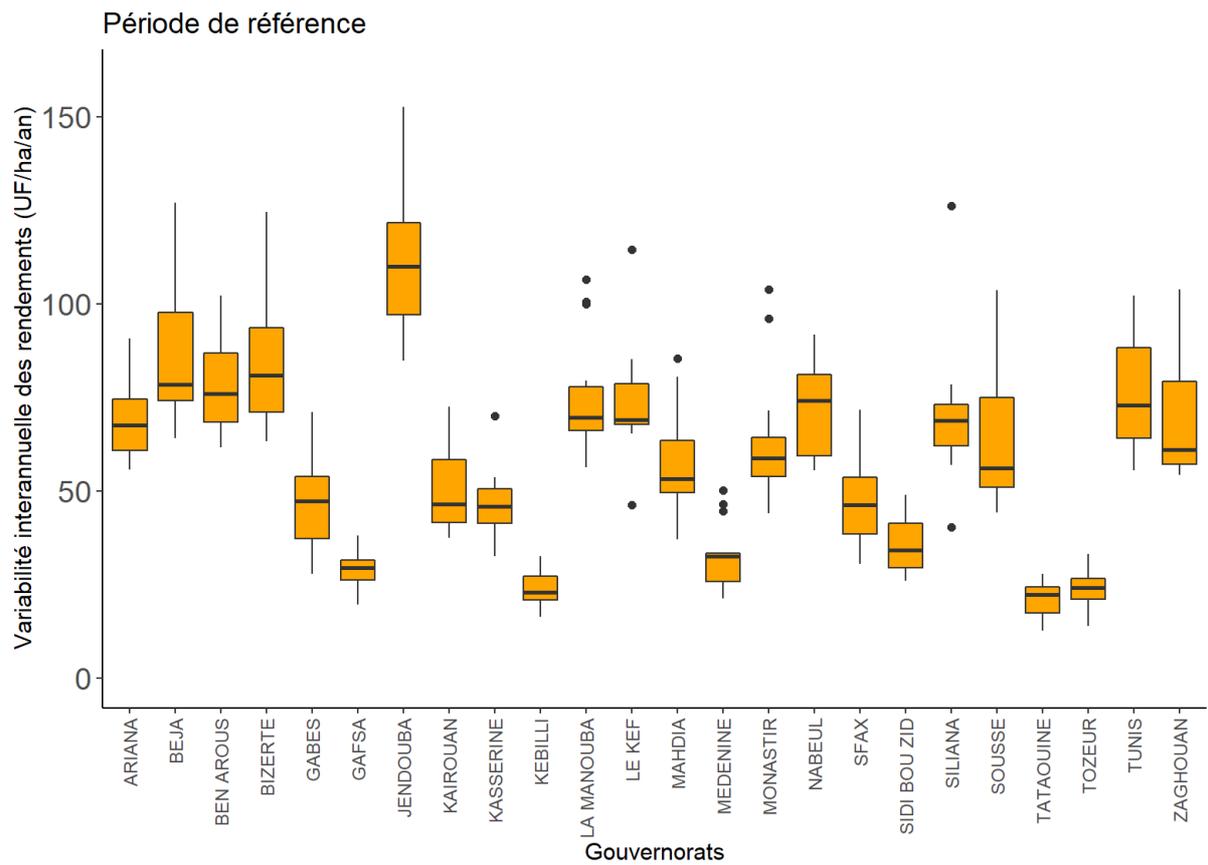
La comparaison des rendements en UF/Ha/an estimés par les 12 modèles du scénario RCP4.5 et les 18 modèles du scénario RCP8.5, a montré une grande disparité intermodèles au niveau national et pour les 24 gouvernorats.

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 minimale. 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). Les graphiques suivants présentent les variations autour de la médiane pour les horizons 2050 et 2100 et les scénarios RCP4.5 et 8.5.



**Figure 59 : Représentation en boîtes à moustaches de la variabilité des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 12 modèles climatiques du scénario RCP4.5 pour la période de référence par gouvernorat en %**



Simulation multi-modèle RCP 8.5

**Figure 60 : Représentation en boîtes à moustaches de la variabilité des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 18 modèles climatiques du scénario RCP8.5 pour la période de référence par gouvernorat en %**

Horizon 2050

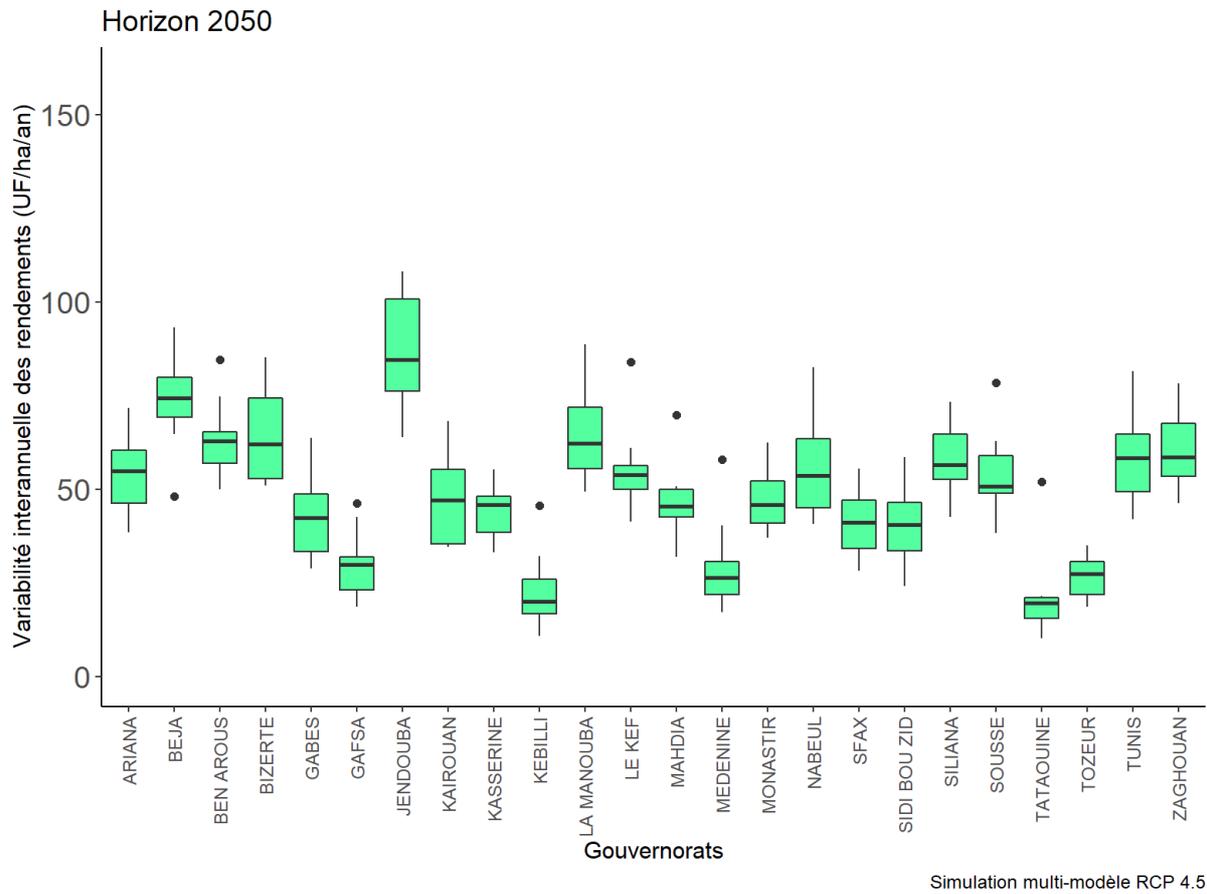
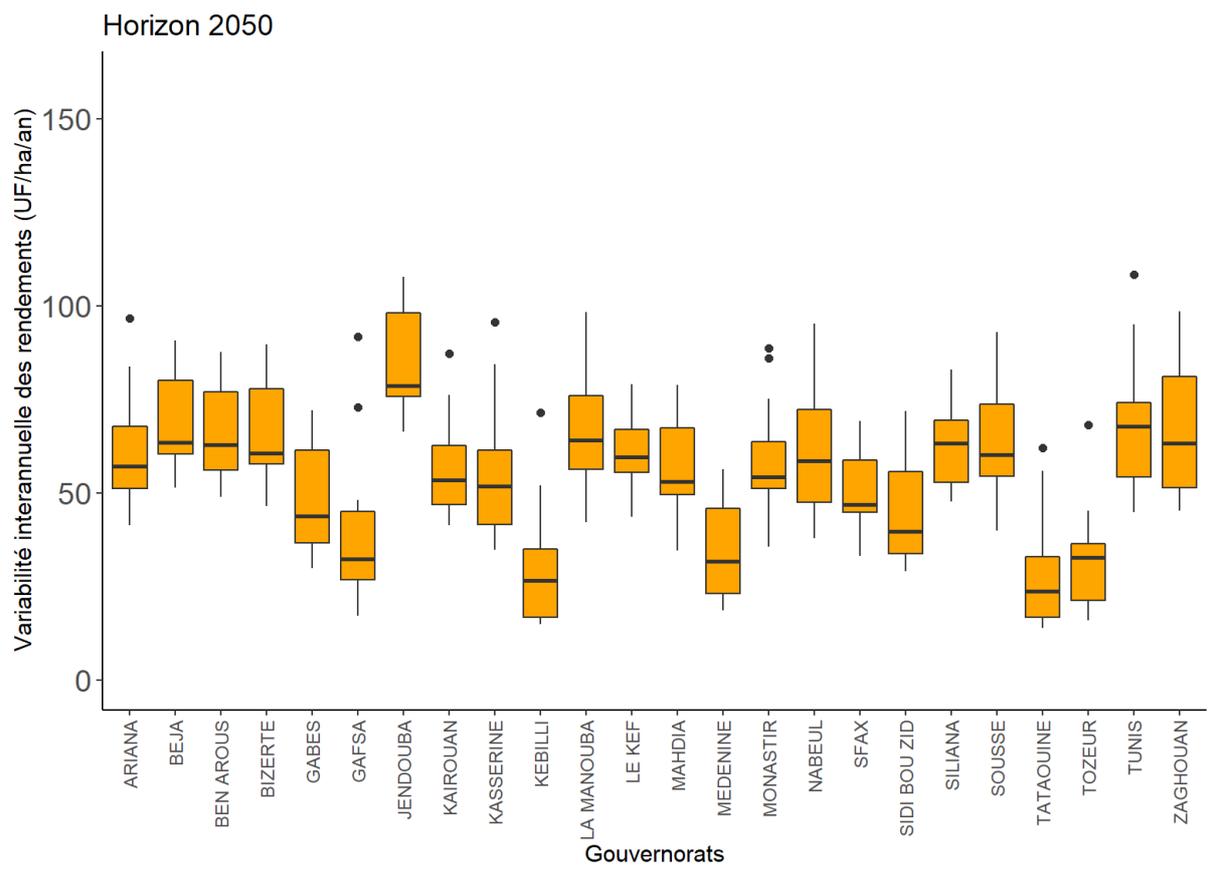
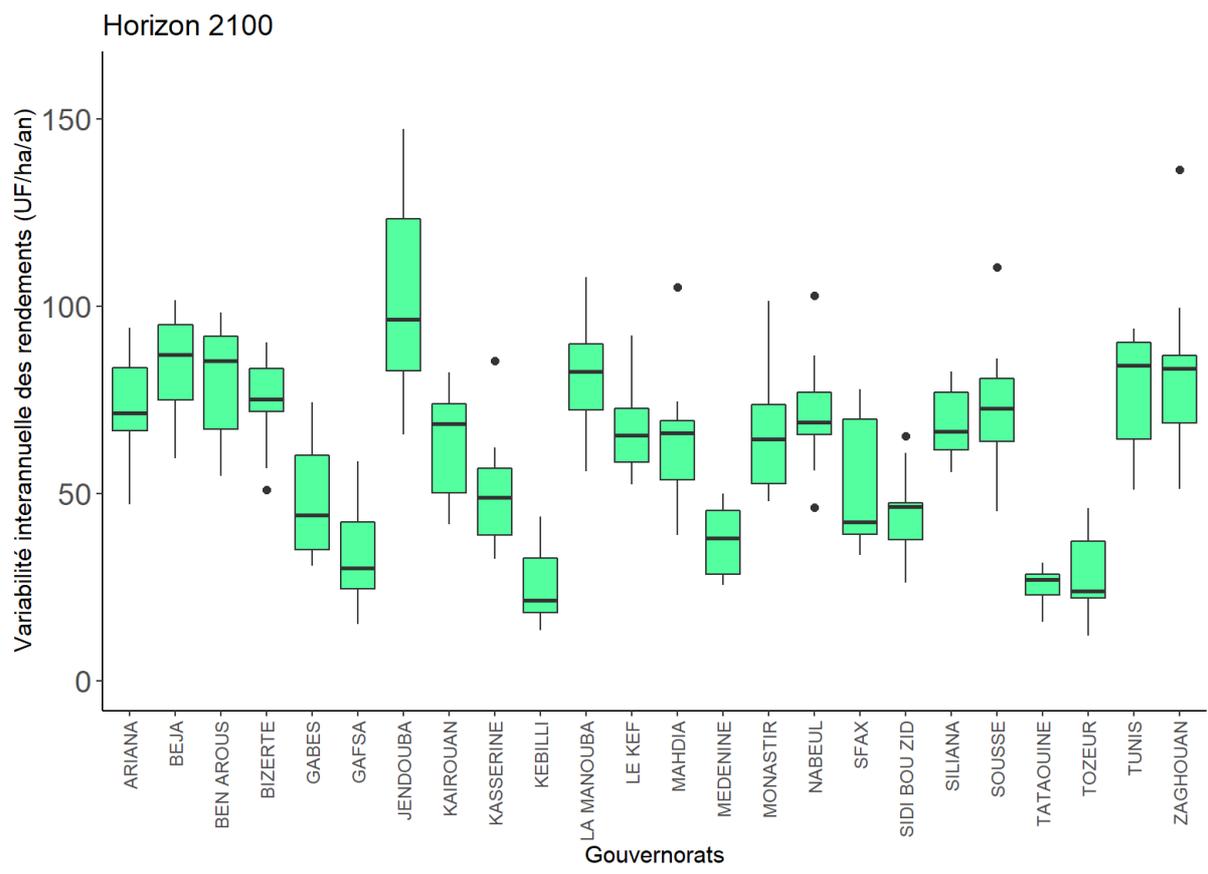


Figure 61 : Représentation en boîtes à moustaches de la variabilité des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 12 modèles climatiques du scénario RCP4.5 à l'horizon 2050 par gouvernorat en %

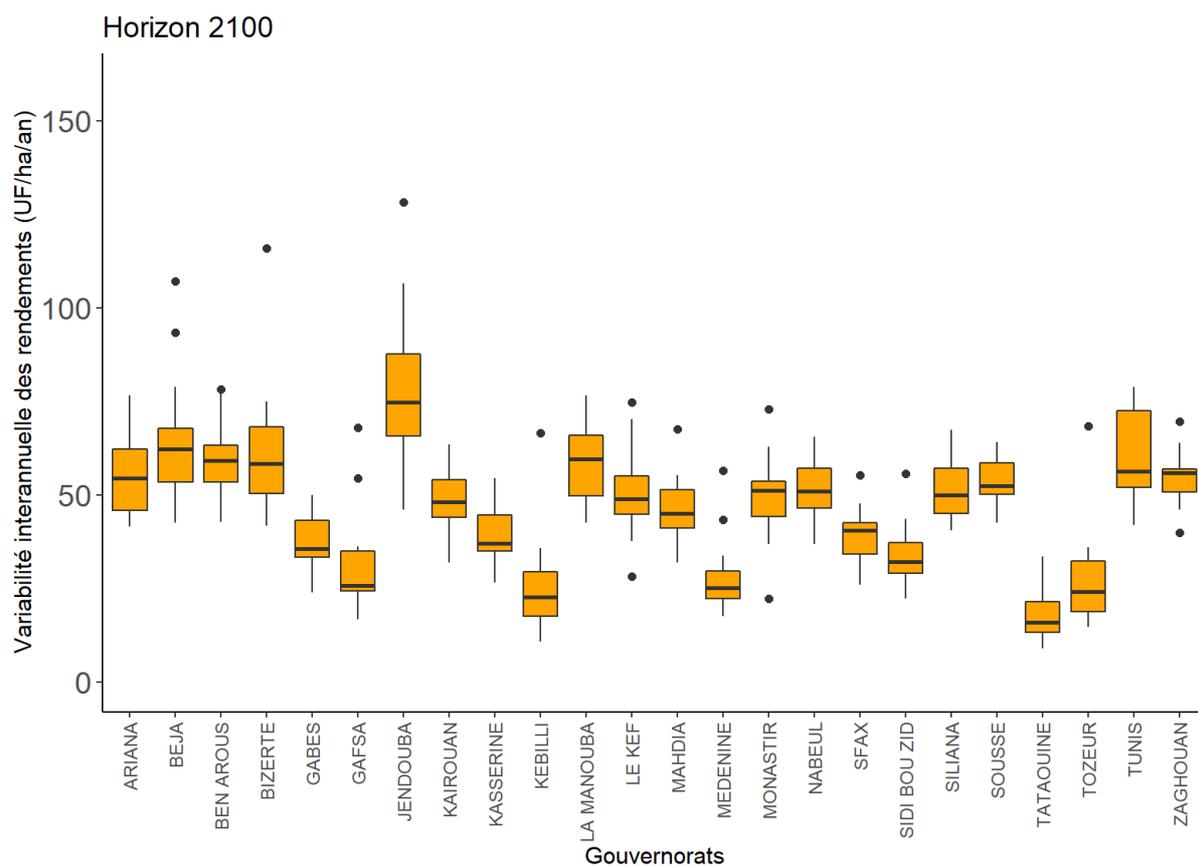


Simulation multi-modèle RCP 8.5

**Figure 62 :** Représentation en boites à moustaches de la variabilité des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 18 modèles climatiques du scénario RCP8.5 à l'horizon 2050 par gouvernorat en %



**Figure 63: Représentation en boîtes à moustaches de la variabilité des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 12 modèles climatiques du scénario RCP4.5 à l'horizon 2100 par gouvernorat en UF en %**



Simulation multi-modèle RCP 8.5

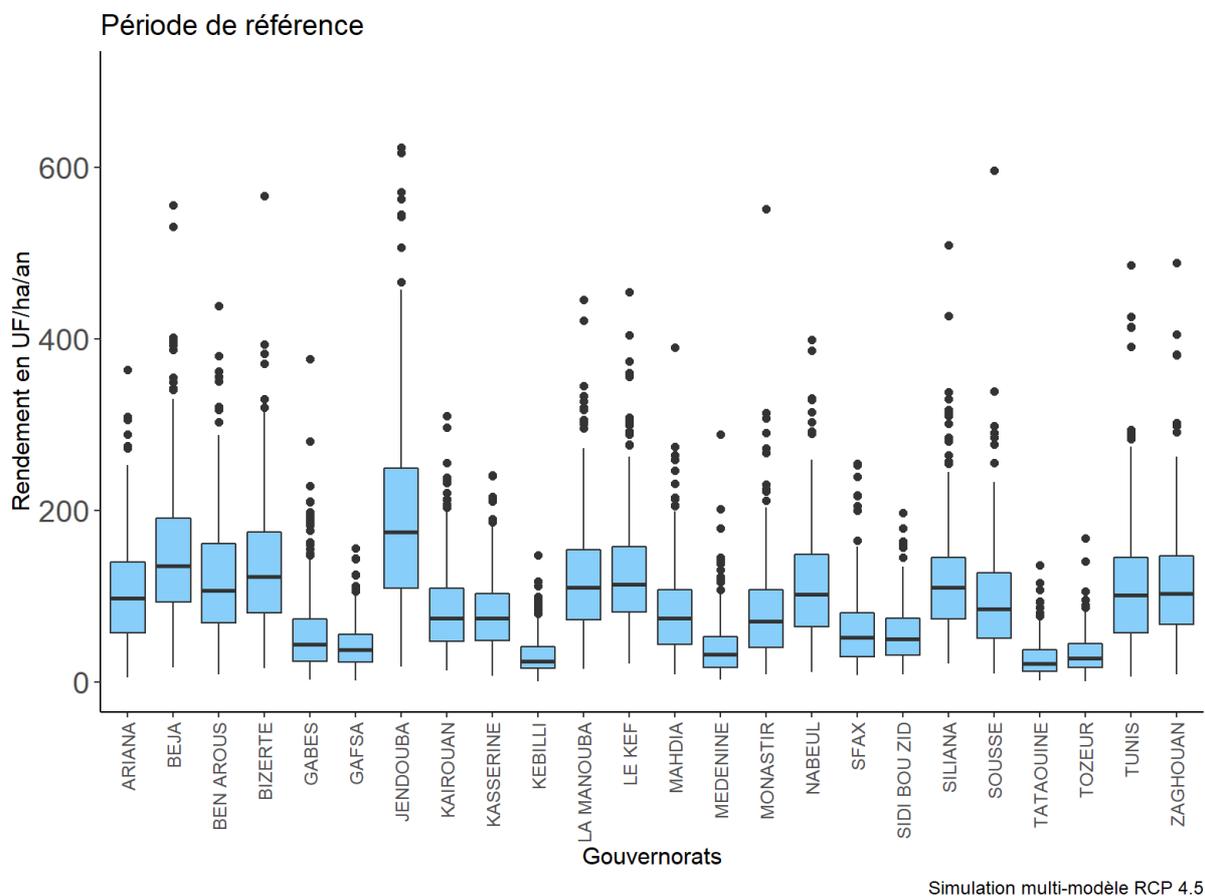
**Figure 64 : Représentation en boîtes à moustaches de la variabilité des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 18 modèles climatiques du scénario RCP8.5 à l'horizon 2100 par gouvernorat en %**

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 Kebili. 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.

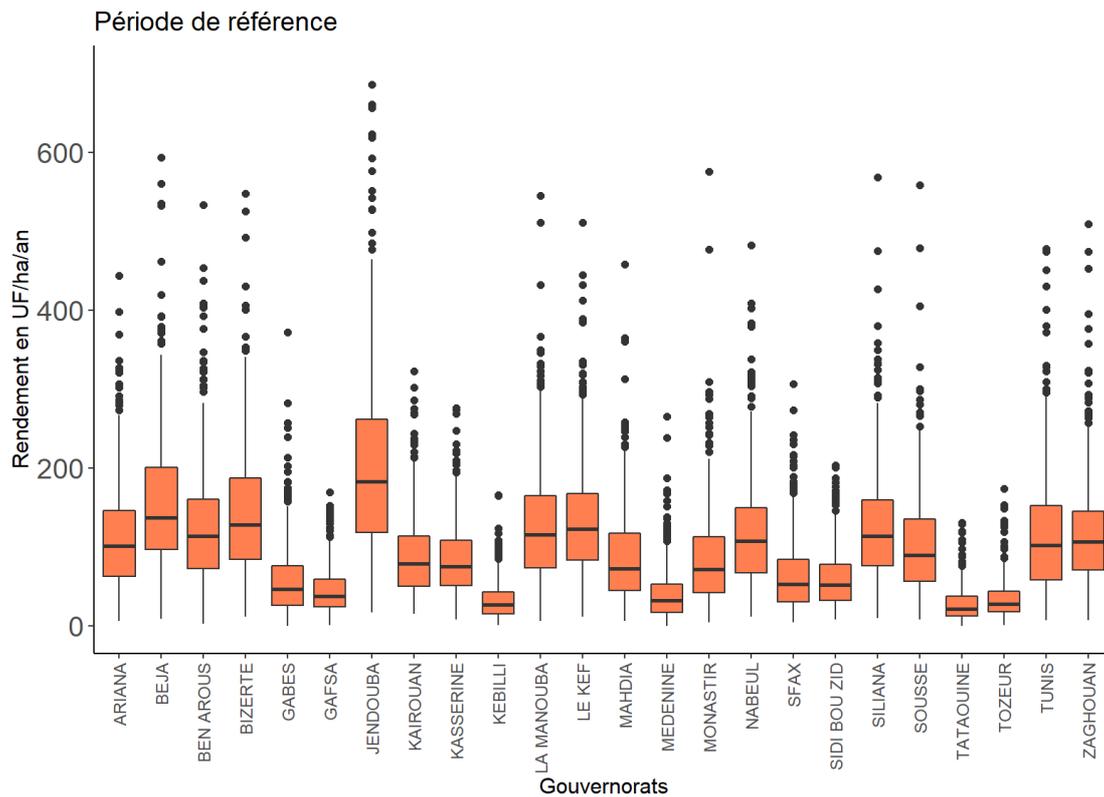
### 8.3 Rendements en UF par Hectare et par An, par gouvernorat

L'analyse des rendements par gouvernorat pour les trois périodes : la période de référence 1981-2010 et les horizons 2050 et 2100 exprimés à travers l'intervalle interdéciles autour de la médiane, distinguent nettement trois groupes de gouvernorats et ce qu'elle 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 Kebili enregistre les rendements les plus faibles mais le niveau d'homogénéité le plus élevé, tellement la variation des précipitations entre les modèles est minimale. 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 confirment le fait que, indépendamment de cette variabilité inter-modèles, 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)

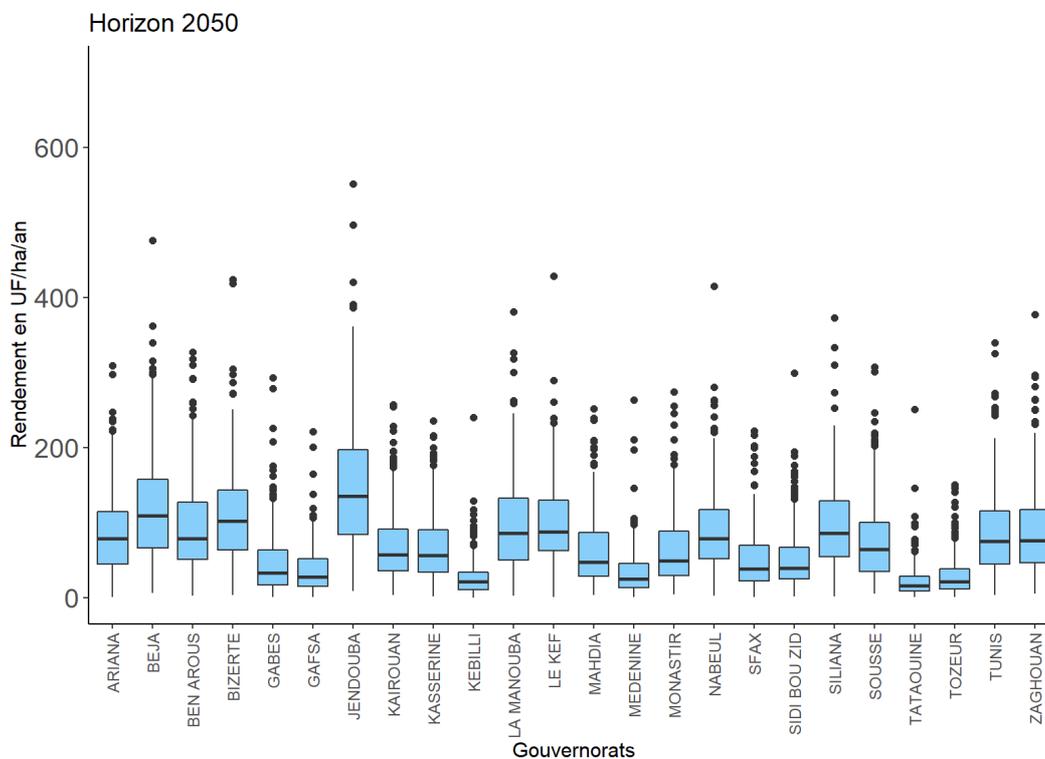


**Figure 65 : Représentation en boîtes à moustaches des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 12 modèles climatiques du scénario RCP4.5 pour la période de référence par gouvernorat en UF par Hectare et par An.**



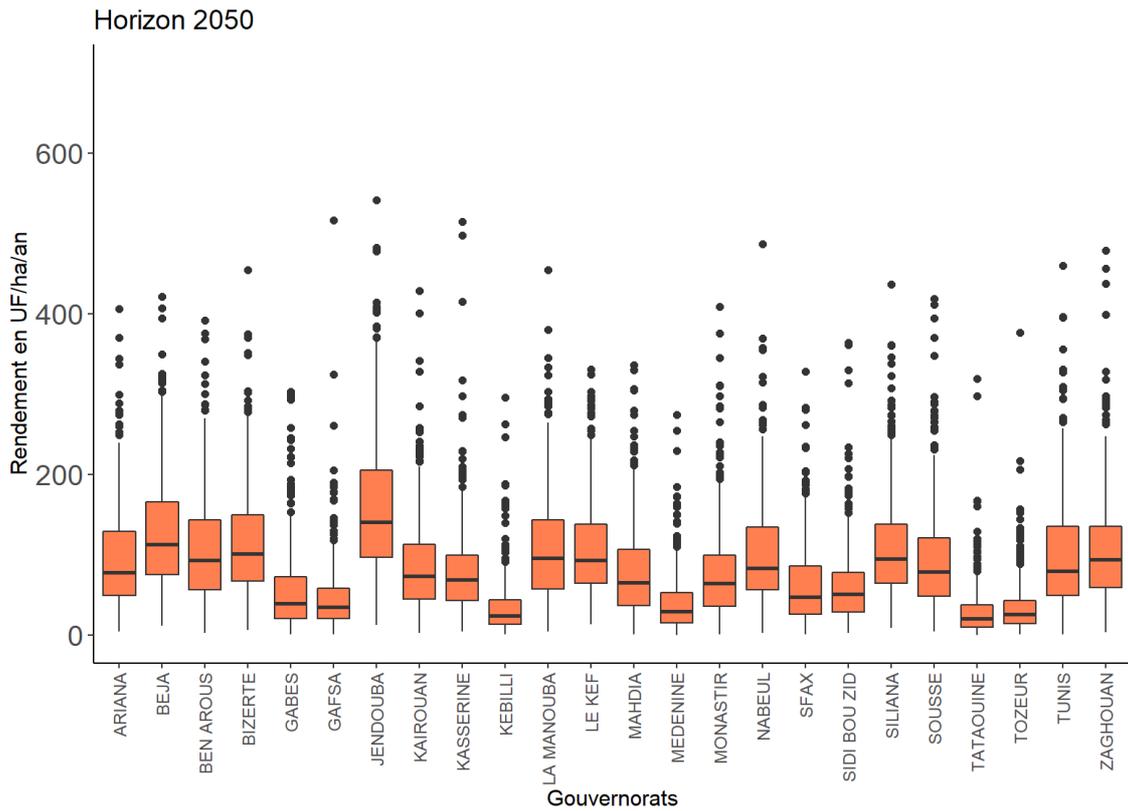
Simulation multi-modèle RCP 8.5

Figure 66 : Représentation en boites à moustaches des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 18 modèles climatiques du scénario RCP8.5 pour la période de référence par gouvernorat en UF par Hectare et par An



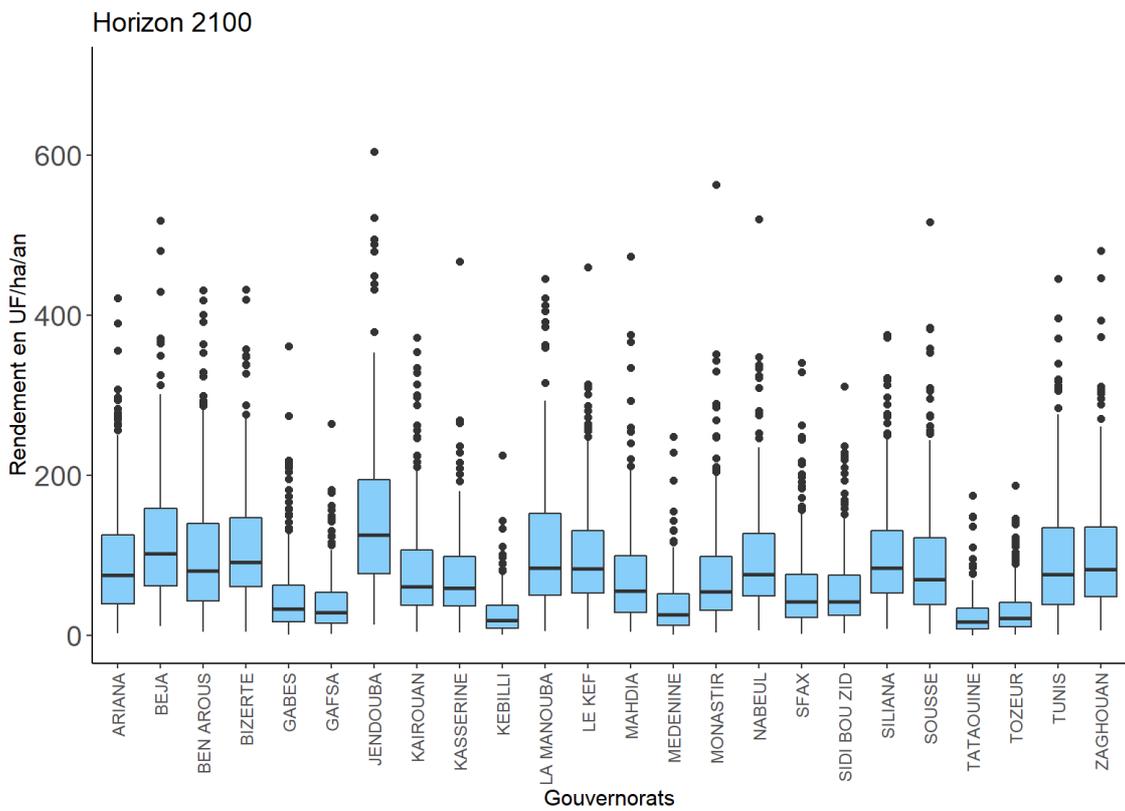
Simulation multi-modèle RCP 4.5

Figure 67 : Représentation en boites à moustaches des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 12 modèles climatiques du scénario RCP4.5 à l'horizon 2050 par gouvernorat en UF par Hectare et par An



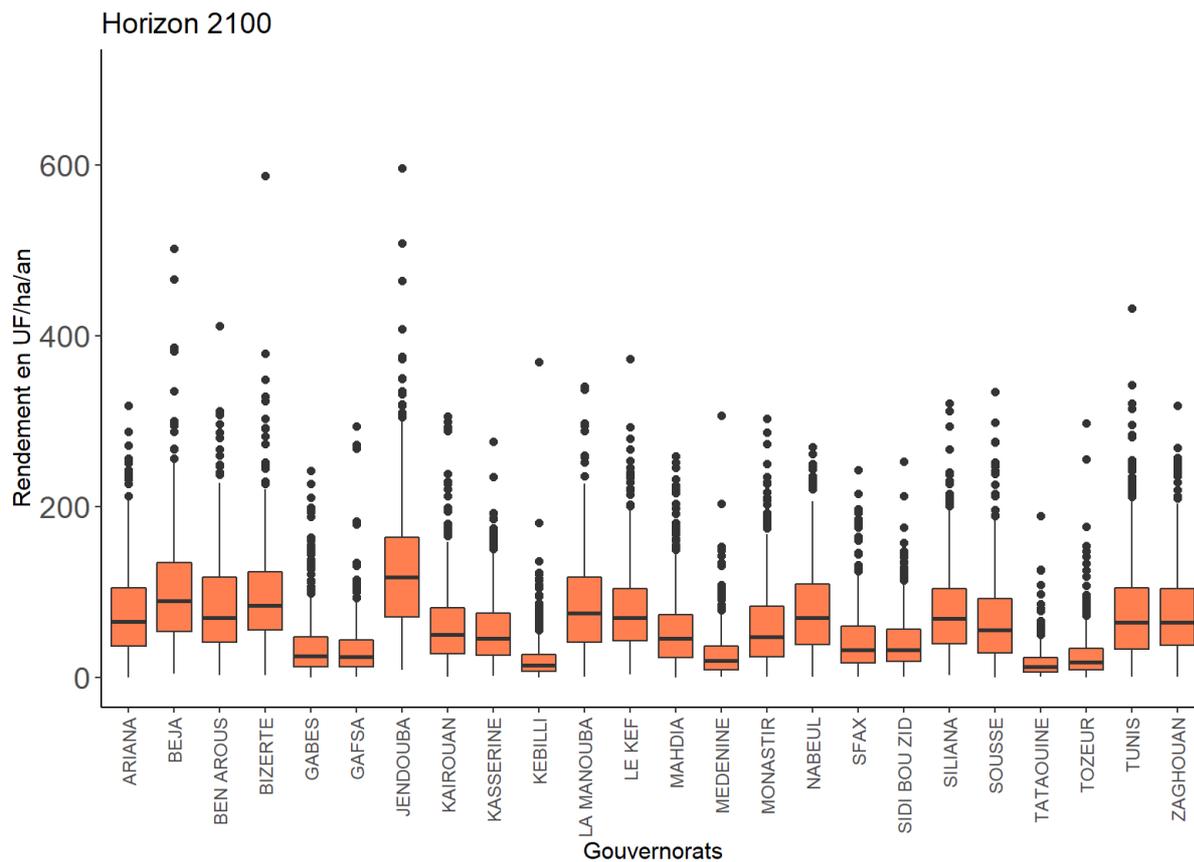
Simulation multi-modèle RCP 8.5

Figure 68 : Représentation en boîtes à moustaches des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 18 modèles climatiques du scénario RCP8.5 à l'horizon 2050 par gouvernorat en UF par Hectare et par An



Simulation multi-modèle RCP 4.5

Figure 69 : Représentation en boîtes à moustaches des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 12 modèles climatiques du scénario RCP4.5 à l'horizon 2100 par gouvernorat en UF par Hectare et par An



Simulation multi-modèle RCP 8.5

**Figure 70 : Représentation en boîtes à moustaches des rendements médians, déciles (Q10;Q90) et Min, Max pour les 18 modèles climatiques du scénario RCP8.5 à l'horizon 2100 par gouvernorat en UF par Hectare et par An**

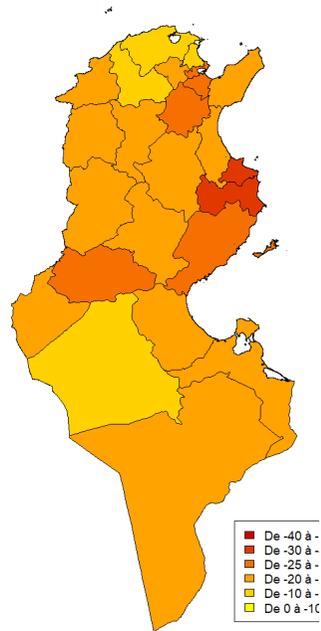
Variation de rendement des parcours en % à l'horizon 2050 selon RCP4.5

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

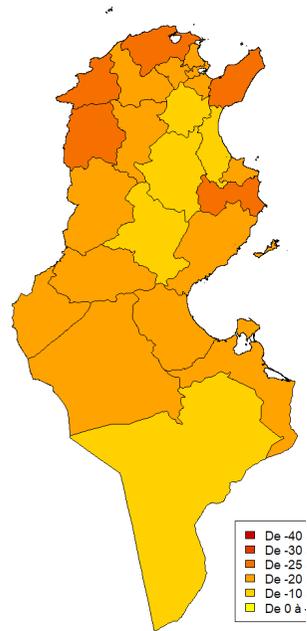
Variation de rendement des parcours en % à l'horizon 2050 selon RCP8.5

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

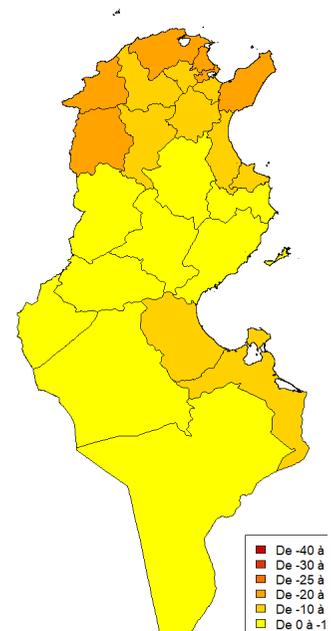
Variation du rendement des parcours (%) à l'horizon 2050 selon le



Variation du rendement des parcours (%) à l'horizon 2100 selon



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



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

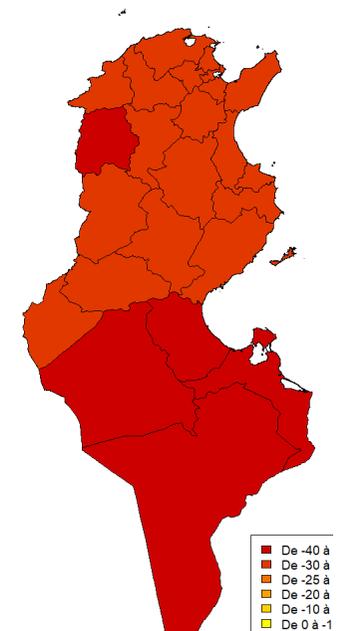
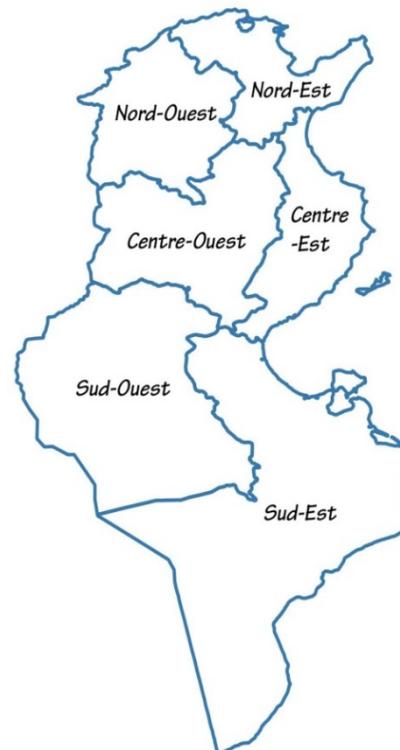


Figure 71 Variation de rendement des parcours en 2050

## 8.4 Analyse de l'évolution de la production fourragère par grande région

Par ailleurs, l'analyse des rendements par gouvernorat pour les trois périodes : la période de référence 1981-2010 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 Kebili enregistre les rendements les faibles mais le niveau d'homogénéité le plus élevé tellement la variation des précipitations entre les modèles est minimale. 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 confirment 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).



Régions	Gouvernorats
<b>Nord Est</b>	Tunis, Ariana, Ben Arous, Manouba, Nabeul, Zaghouan, Bizerte
<b>Nord-Ouest</b>	Béja, Jendouba, El Kef, Siliana
<b>Centre Est</b>	Sousse, Monastir, Mahdia, Sfax
<b>Centre Ouest</b>	Kairouan, Kasserine, Sidi Bouzid
<b>Sud Est</b>	Gabés, Medenine, Tataouine
<b>Sud-Ouest</b>	Gafsa, Tozeur, Kébili

## Scénario RCP4.5

Région	Millions HA	Période de référence	2050	2100
Nord Est	0.08	9.2	7.9	7.3
Nord Ouest	0.11	14.4	11.5	10.5
Centre Est	0.14	8.8	7.1	6.9
Centre Ouest	0.40	25.8	20.2	20.0
Sud Est	2.84	78.1	65.7	63.0
Sud Ouest	1.86	52.9	39.6	41.4
TOTAL	5.43	189.3	152.0	149.0

Tableau 36 Production fourragère médiane en millions d'UF pour la période de référence et les horizons 2050 et 2100

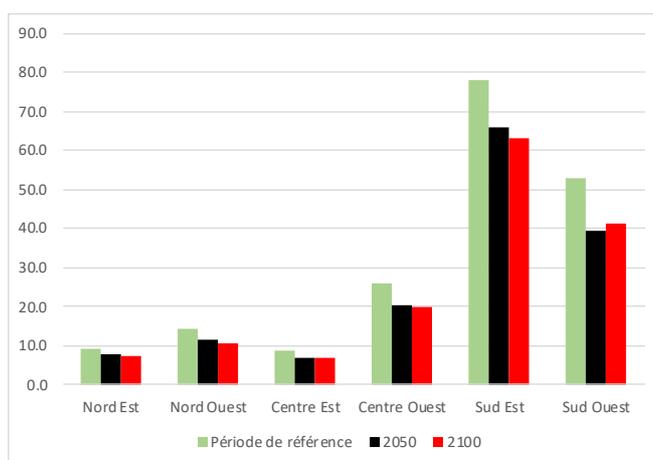


Figure 72 Production fourragère des parcours par région en millions d'UH

## Scénario RCP 8.5

Région	Millions HA	Période de référence	2050	2100
Nord Est	0.08	9.8	8.4	6.2
Nord Ouest	0.11	14.9	11.4	8.8
Centre Est	0.14	9.3	8.3	6.1
Centre Ouest	0.40	27.7	25.9	17.5
Sud Est	2.84	79.2	74.1	46.4
Sud Ouest	1.86	53.3	52.6	32.9
TOTAL	5.43	194.2	180.7	117.9

Tableau 37 : Production fourragère médiane en millions d'UF pour la période de référence et les horizons 2050 et 2100

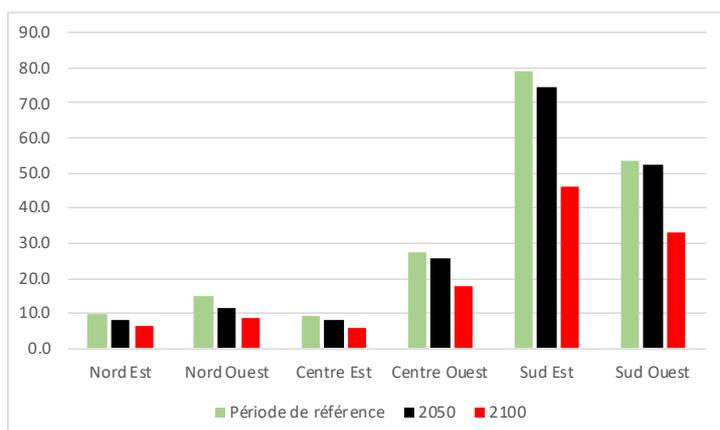
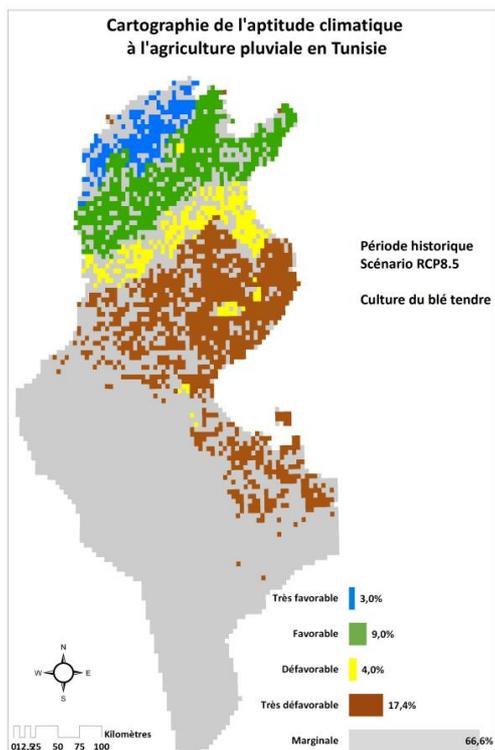
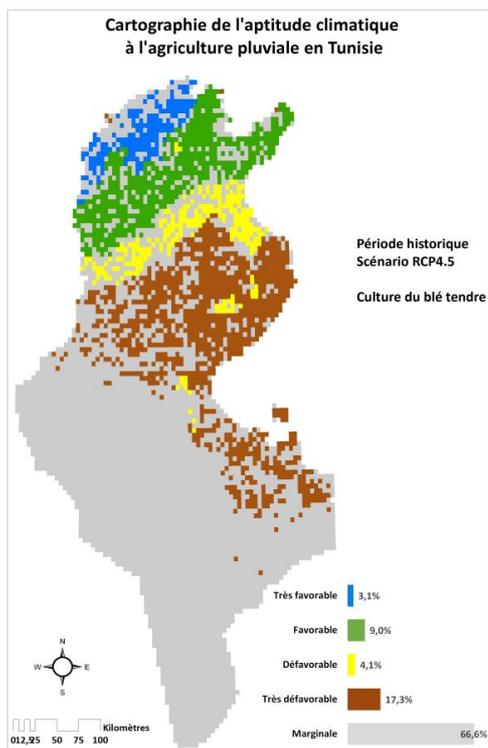


Figure 73 : Production fourragère des parcours par région en millions d'UF

## 9 Cartes des aires d'aptitude climatique

L'ensemble des cartes d'aptitude climatique pour les plantes étudiées, pour les deux scénarios climatiques et les horizons 2050 et 2100 sont présentées dans cette annexe

### 9.1 Blé Tendre



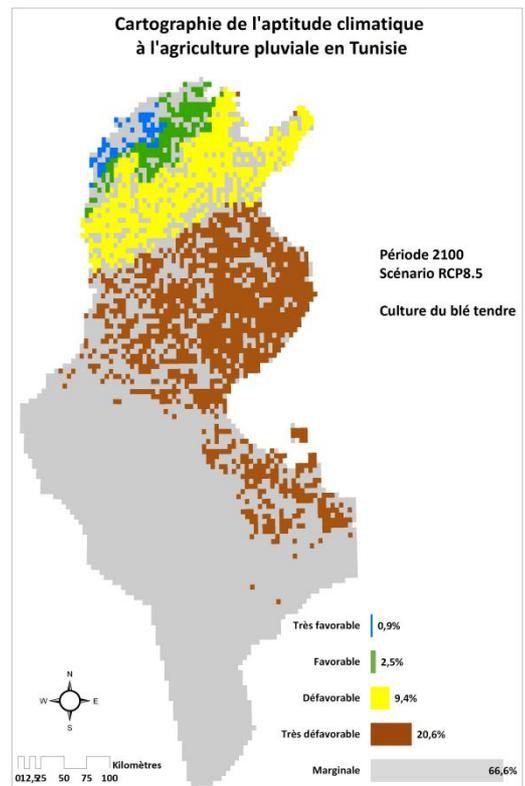
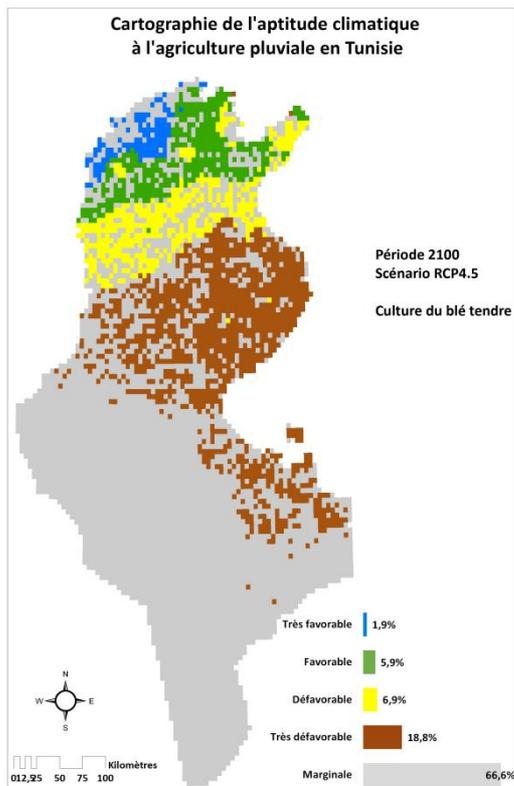
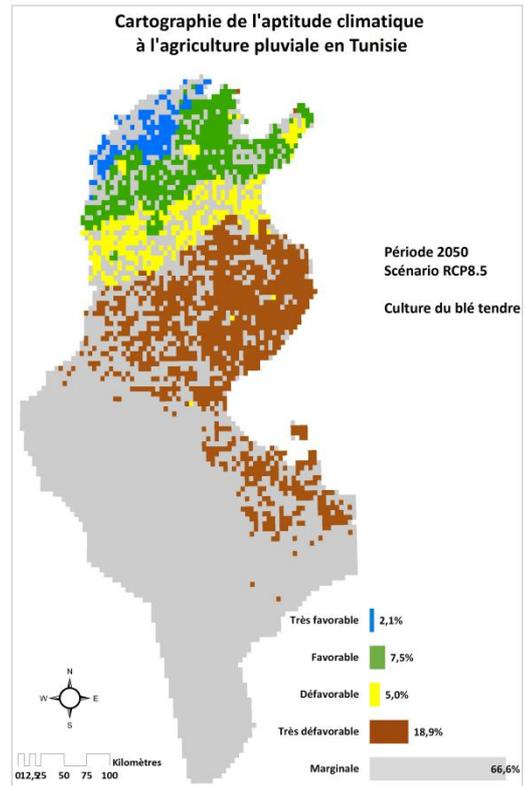
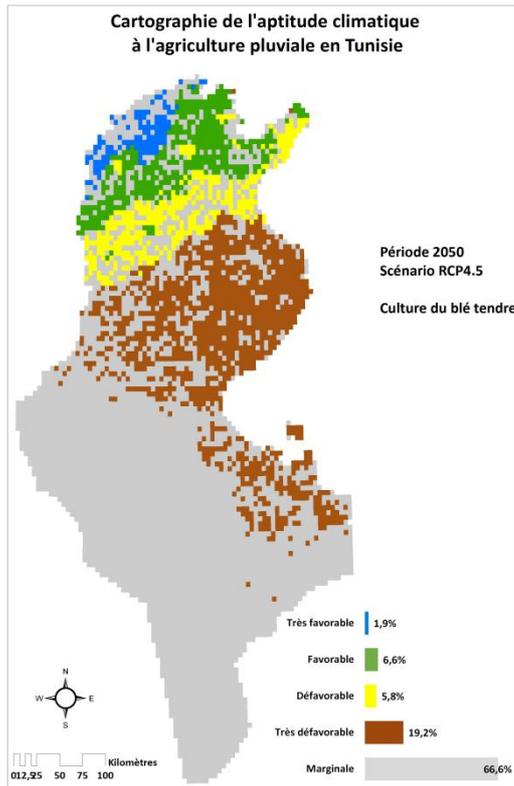
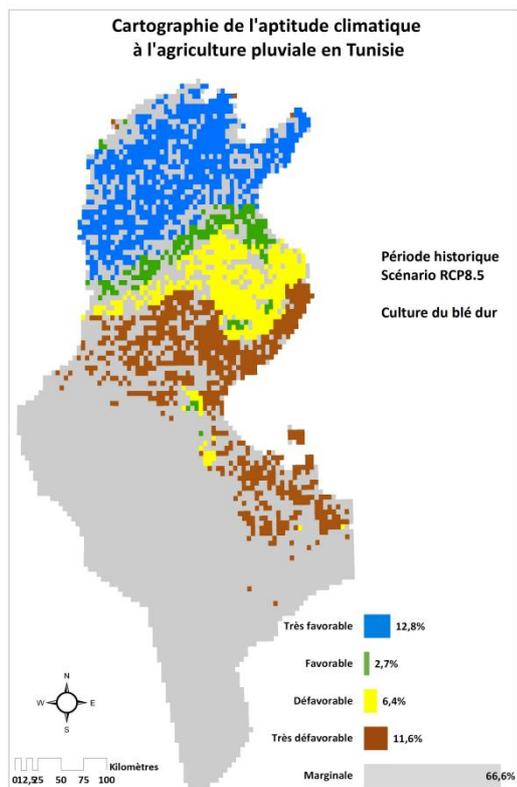
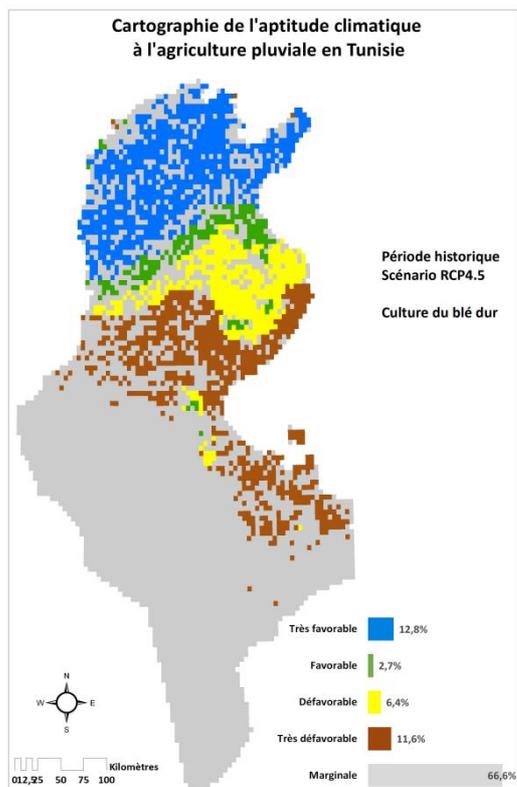


Figure 74: Cartographie de l'aptitude climatique à la culture du blé tendre.

## 9.2 Blé dur



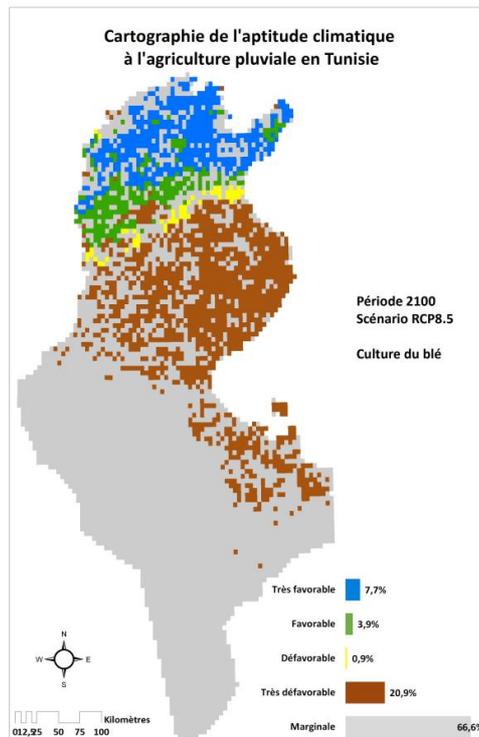
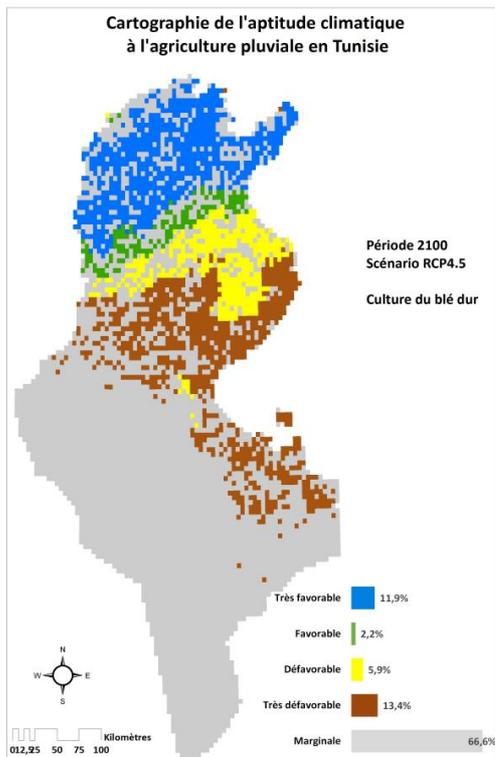
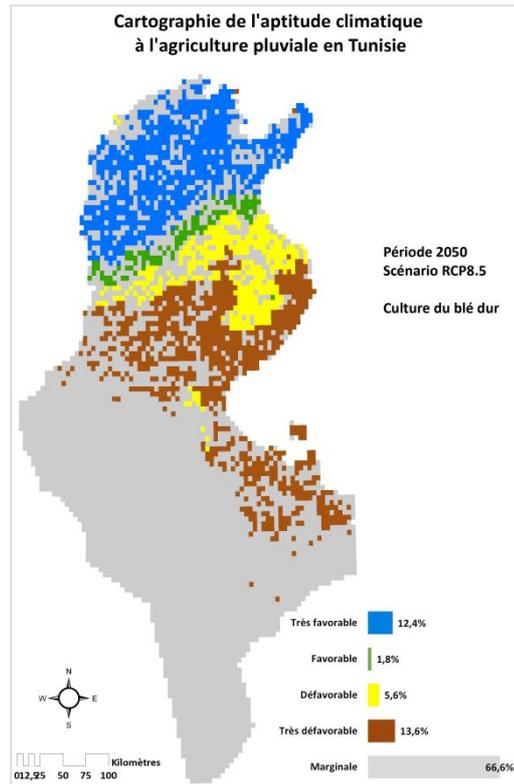
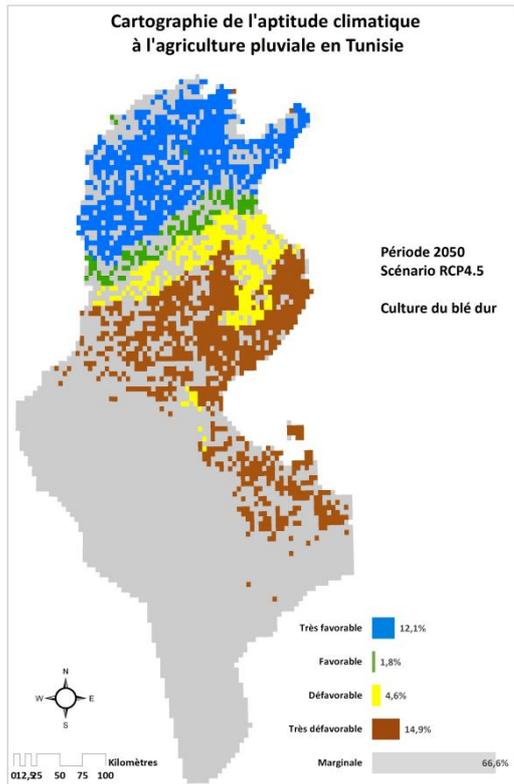
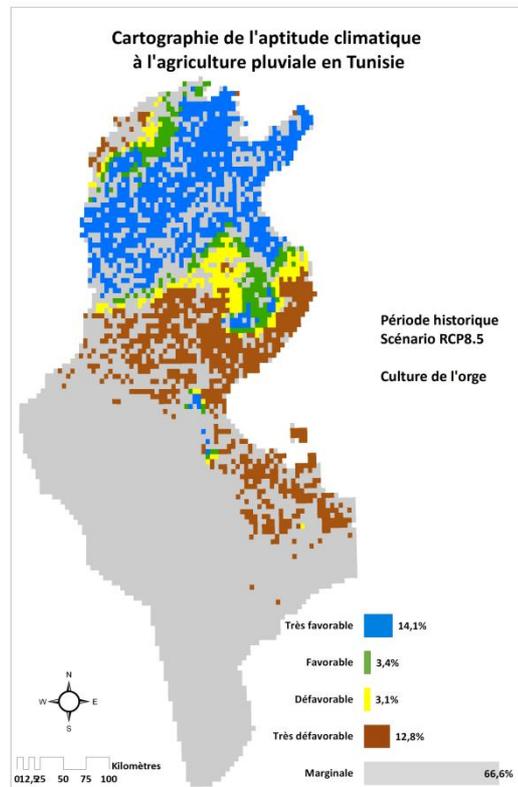
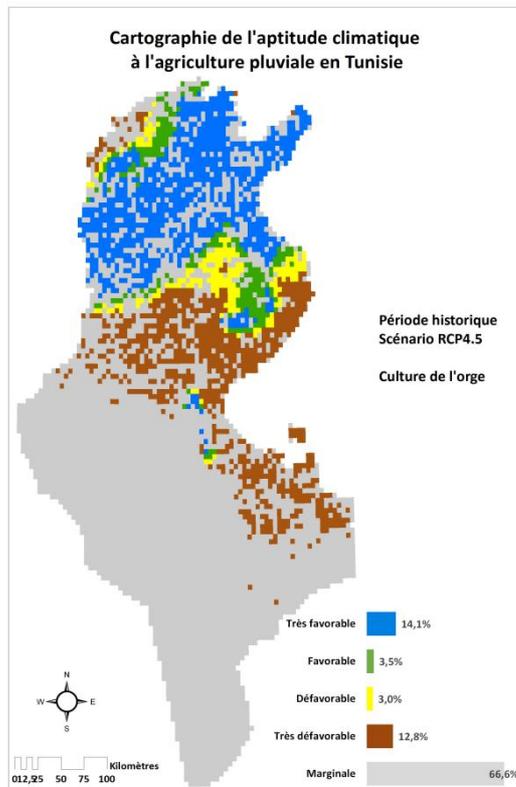


Figure 75: Cartographie de l'aptitude climatique à la culture du blé dur.

### 9.3 Orge



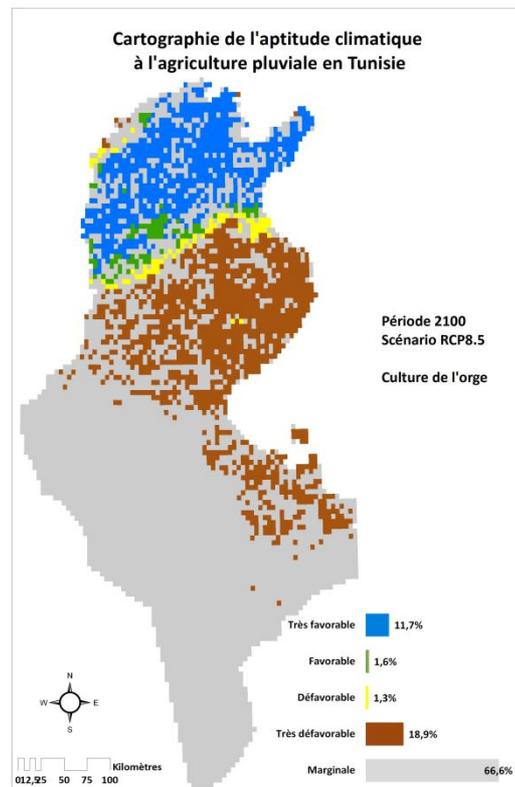
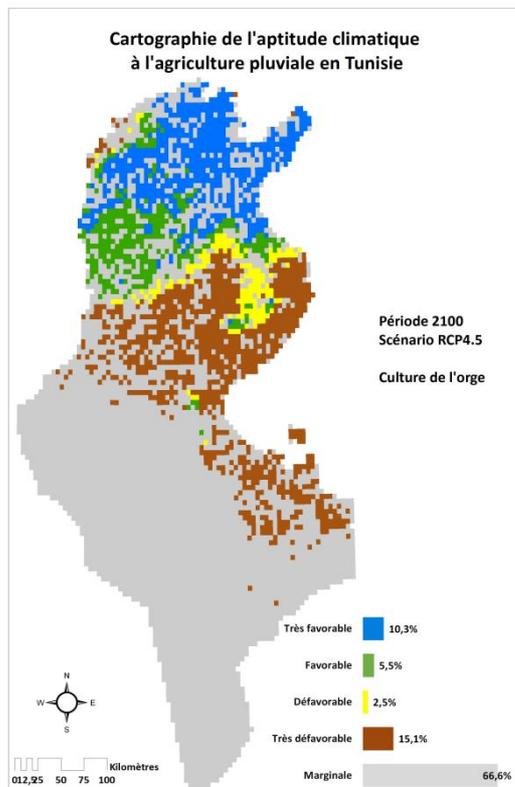
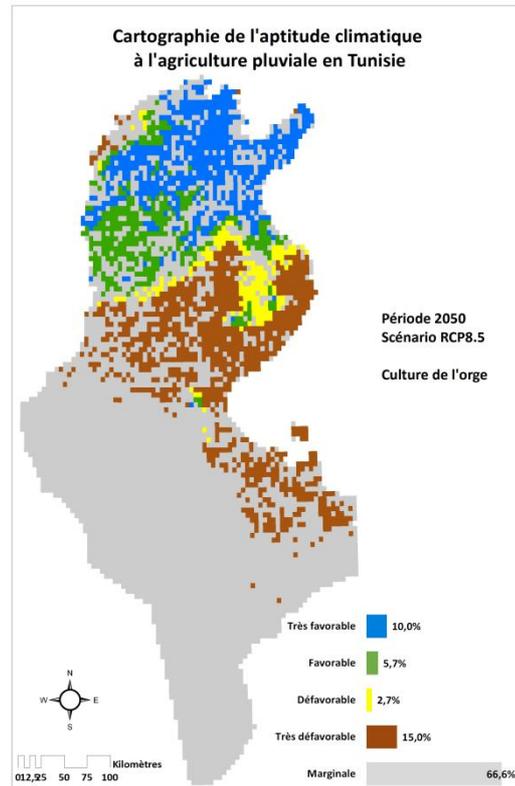
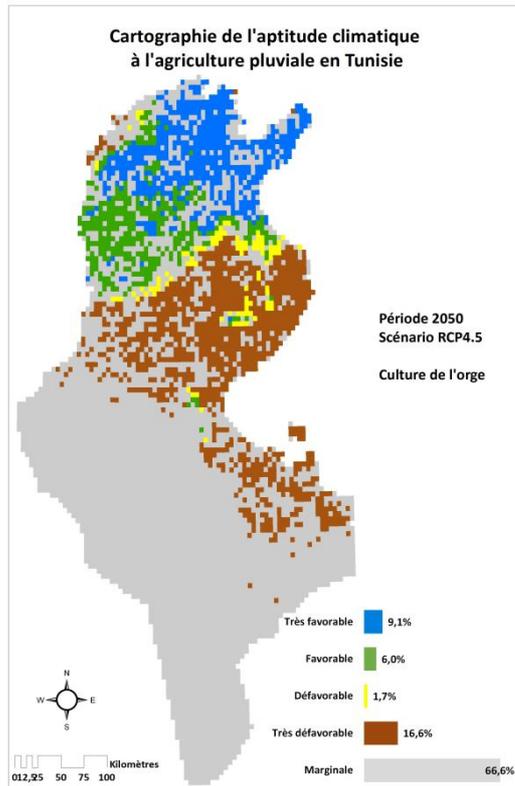
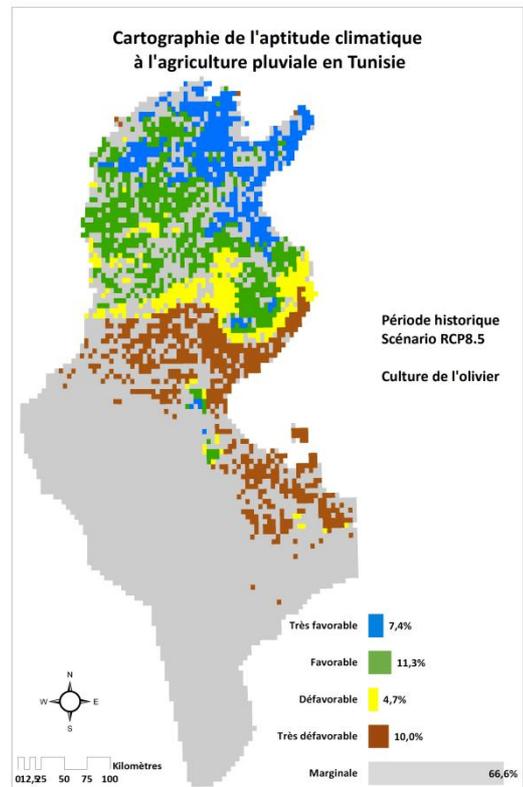
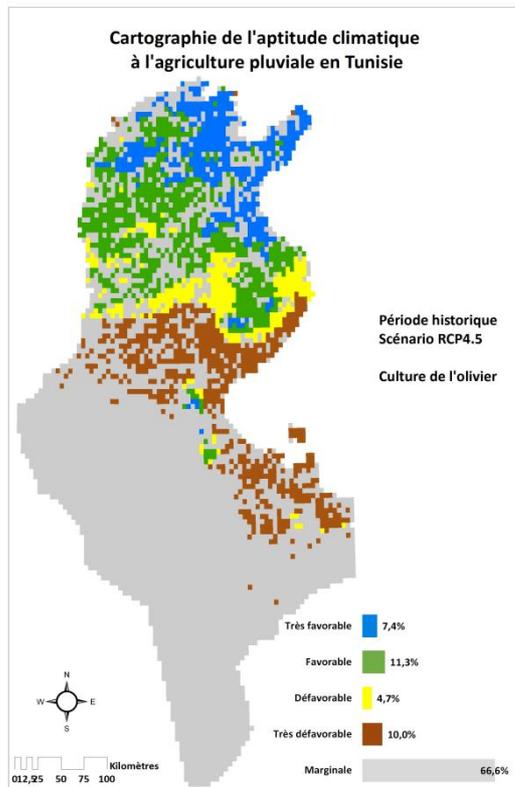


Figure 76: Cartographie de l'aptitude climatique à la culture de l'orge.

## 9.4 Olivier



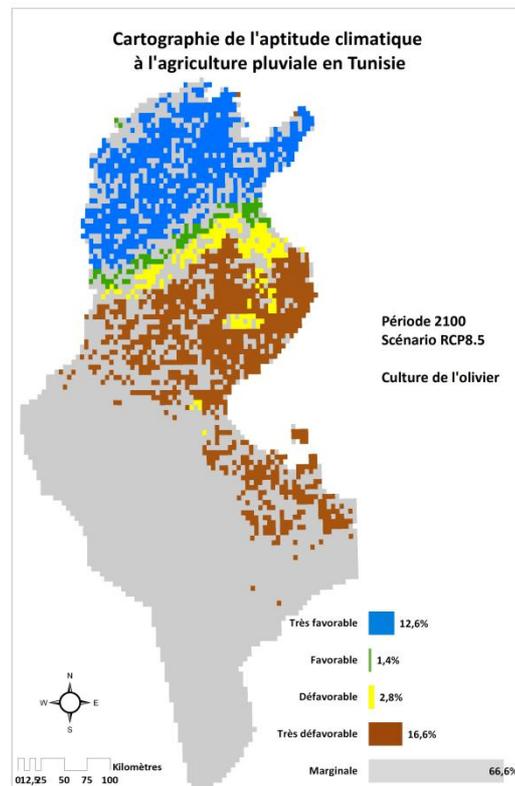
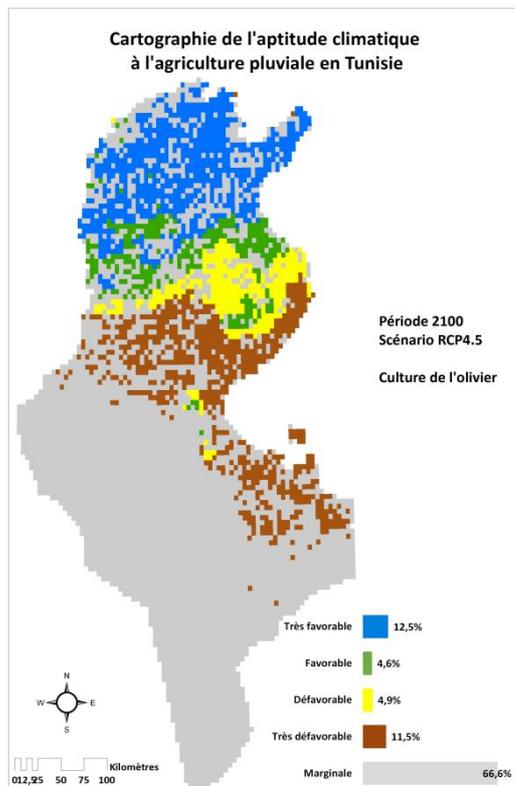
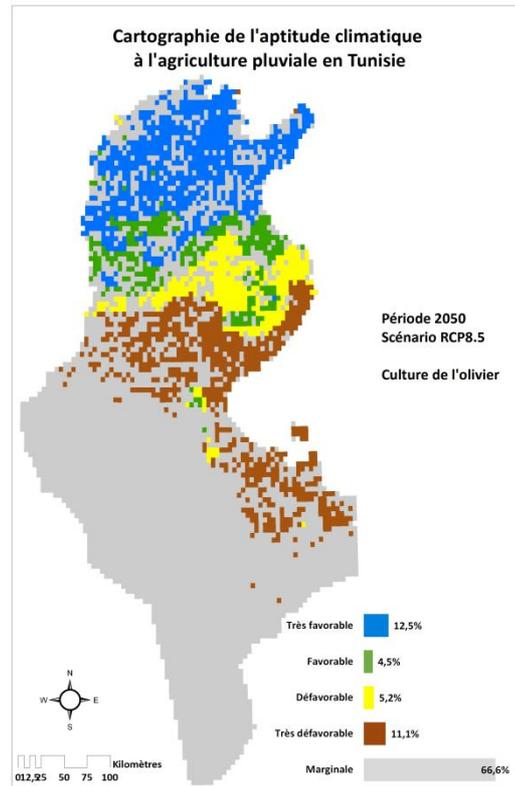
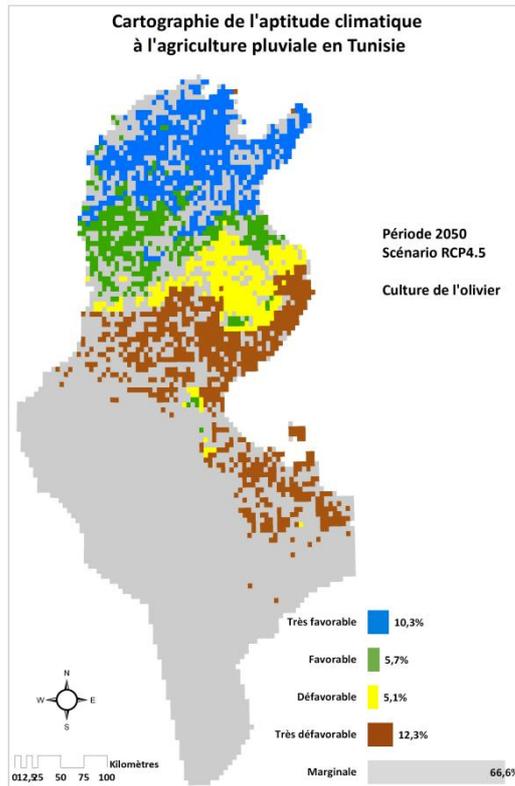
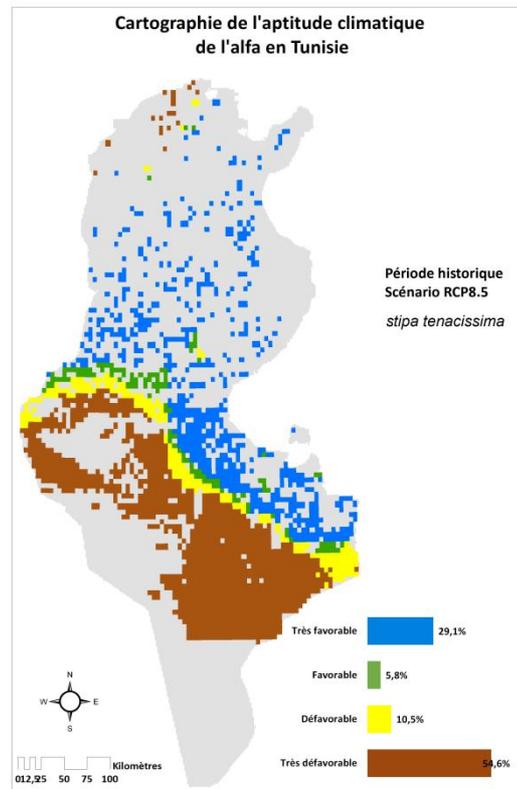
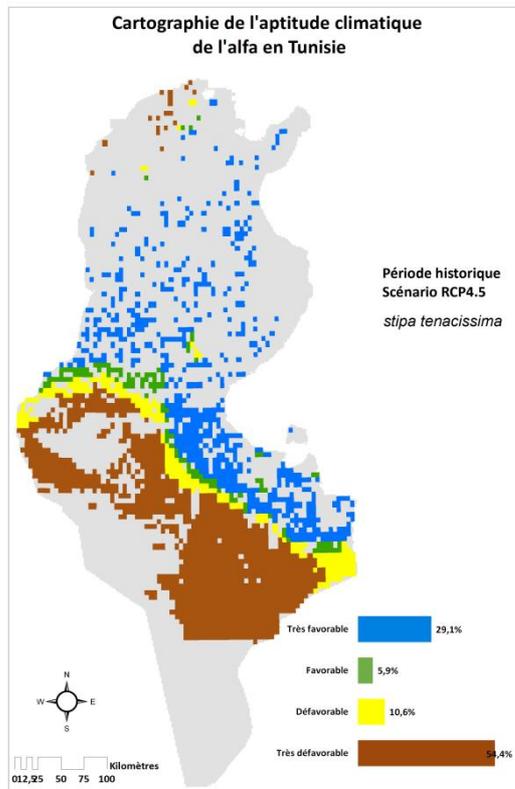


Figure 77: Cartographie de l'aptitude climatique à la culture de l'olivier.

## 9.5 Alpha



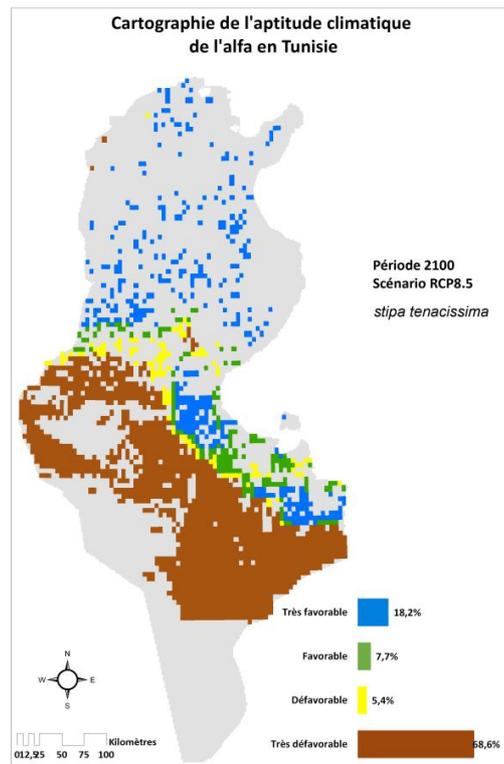
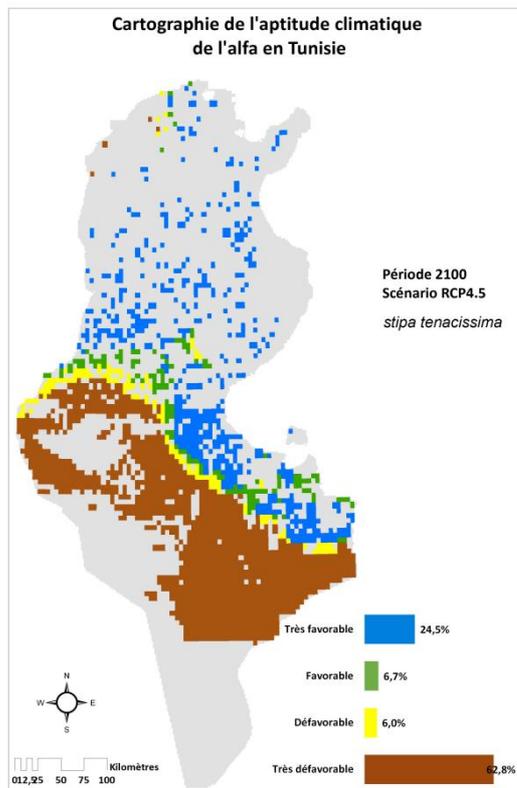
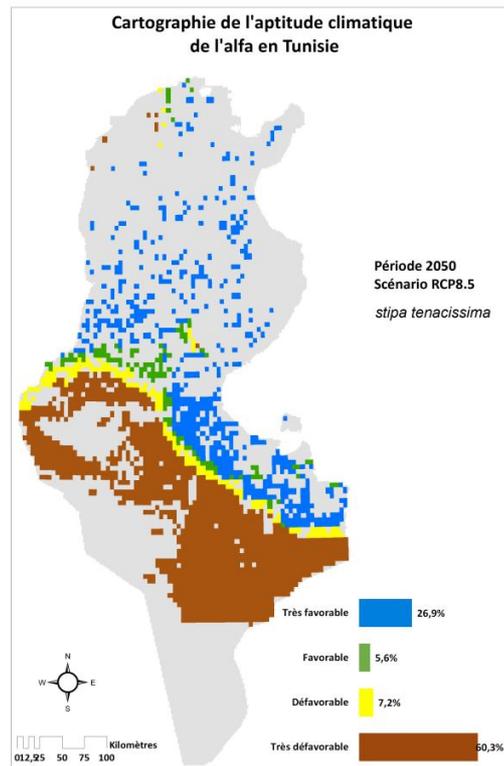
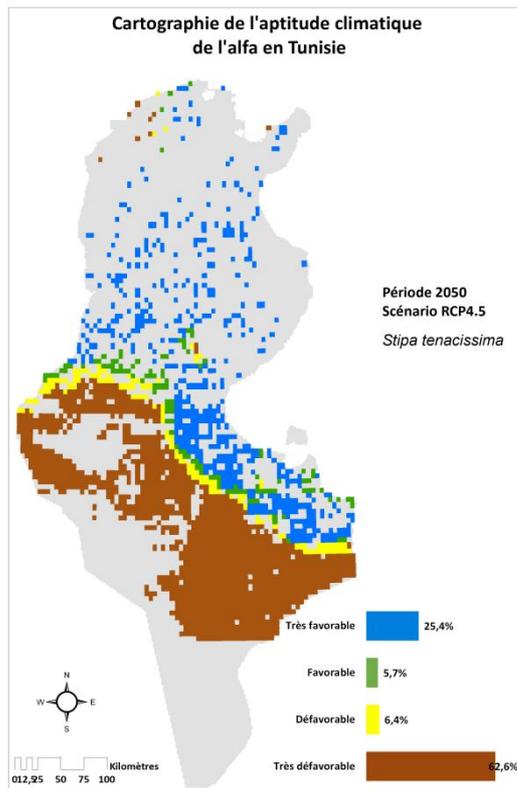
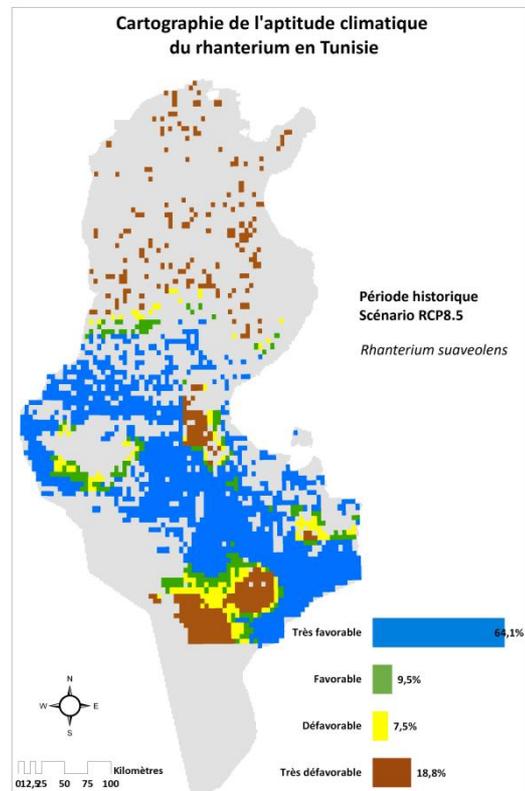
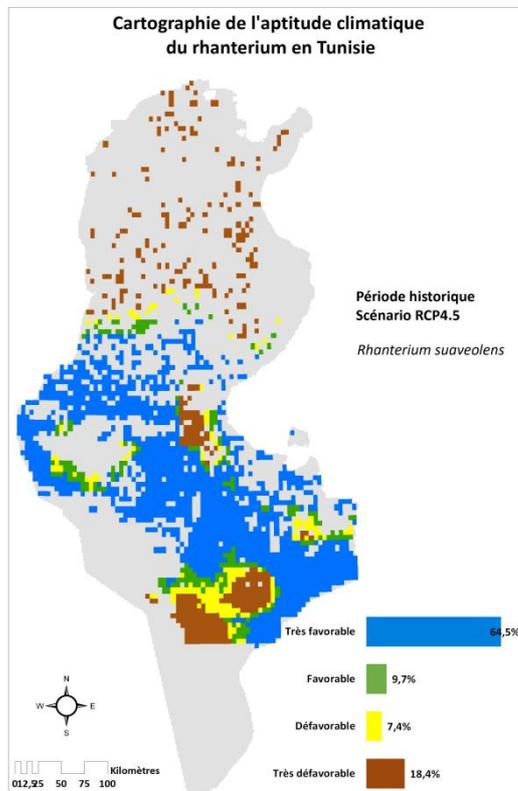


Figure 78: Cartographie de l'aptitude climatique à l'Alfa (*Stipa Tenacissima*).

## 9.6 Rhanterium



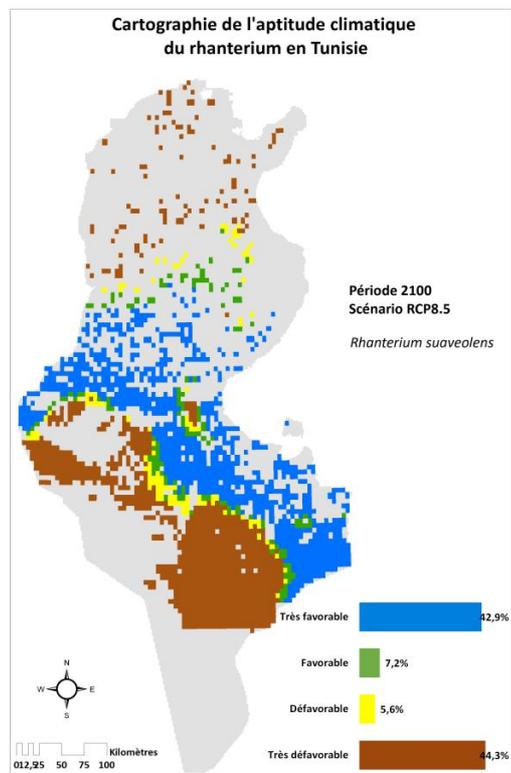
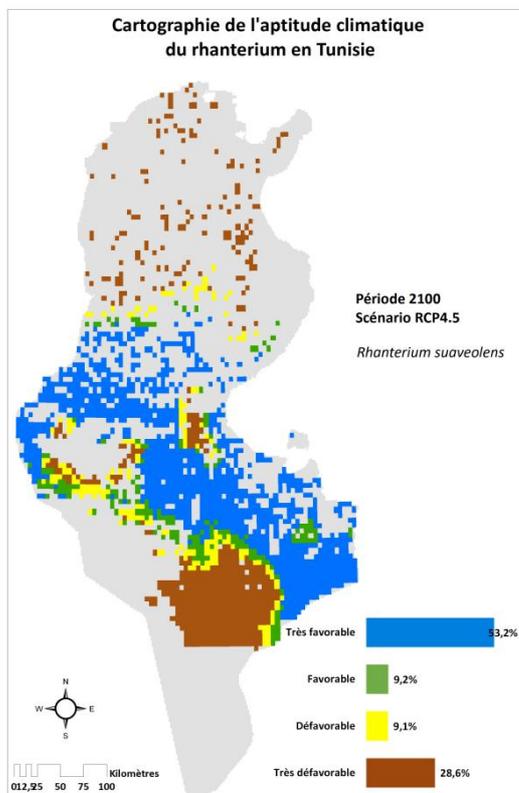
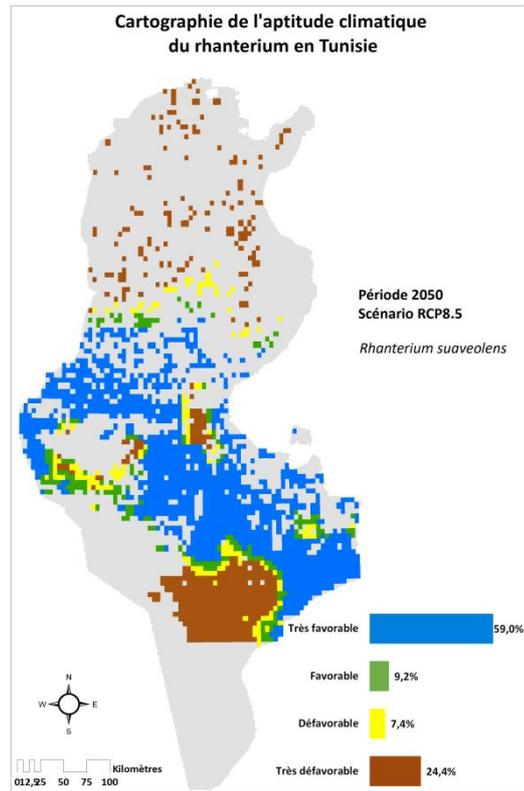
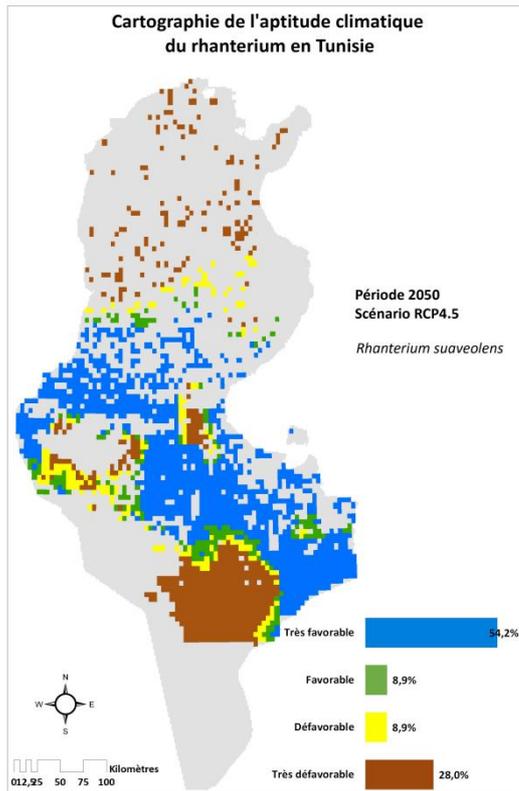
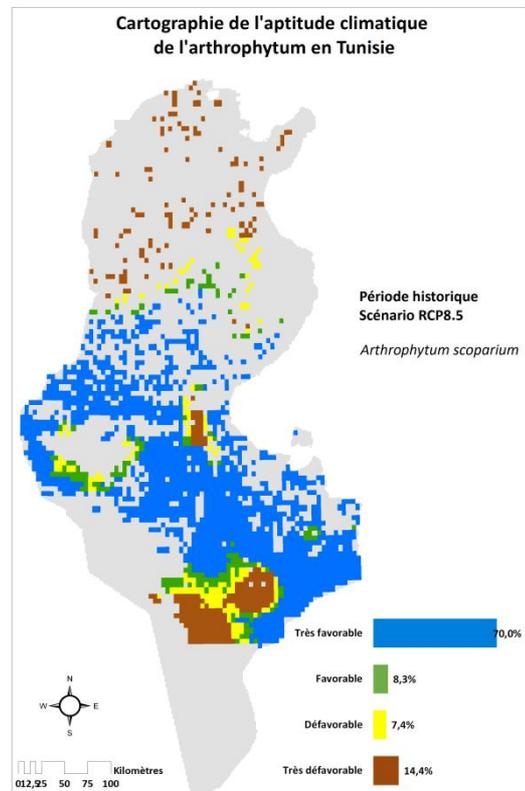
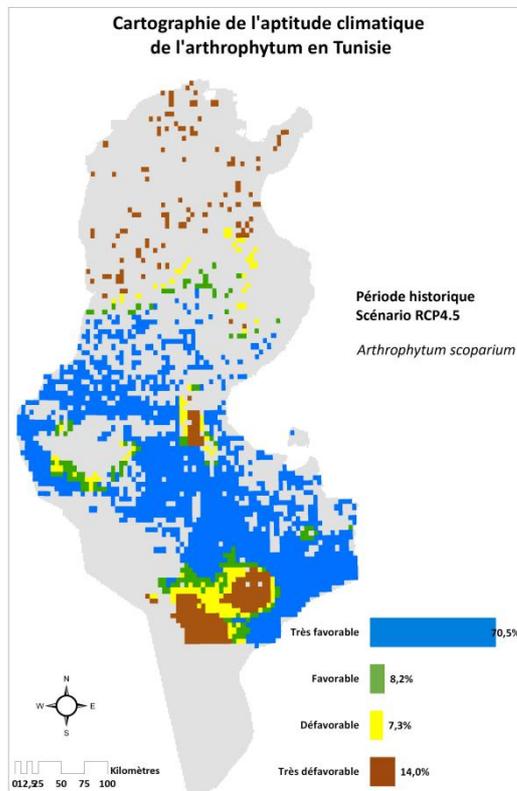


Figure 79: Cartographie de l'aptitude climatique au *Rhanterium suaveolens*

## 9.7 Arthrophytum



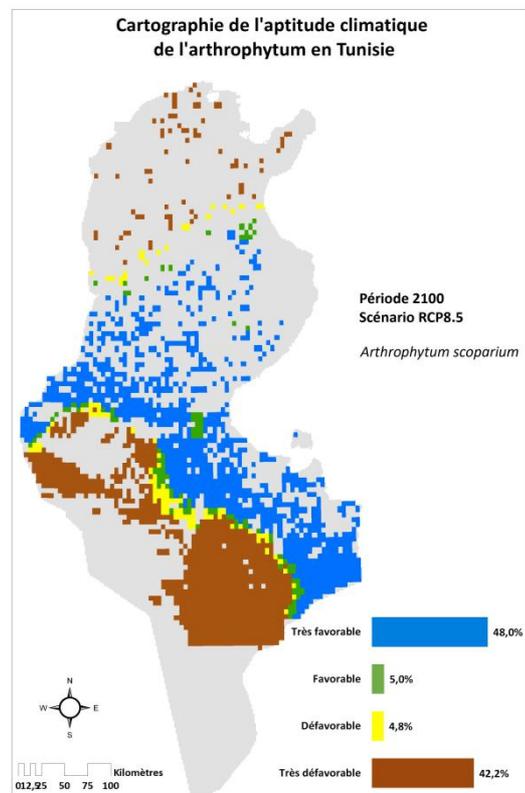
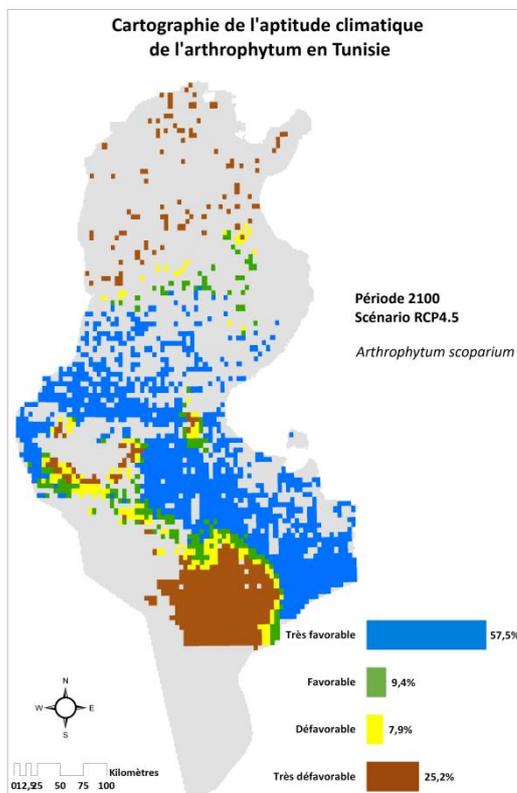
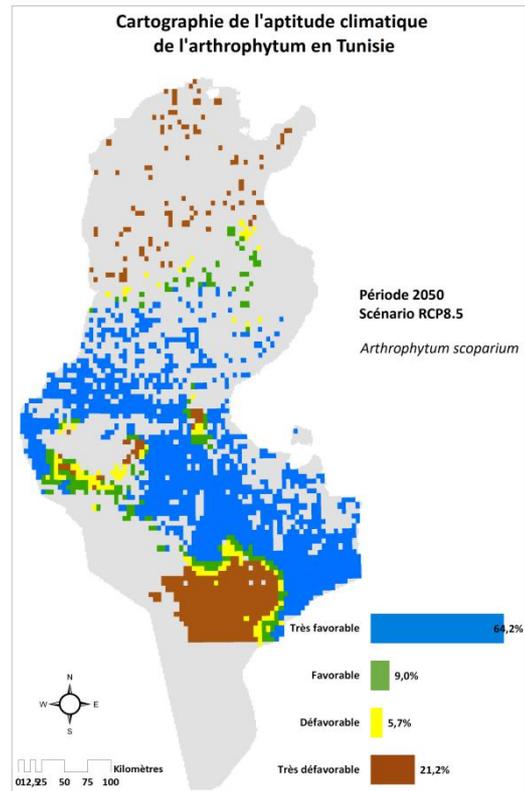
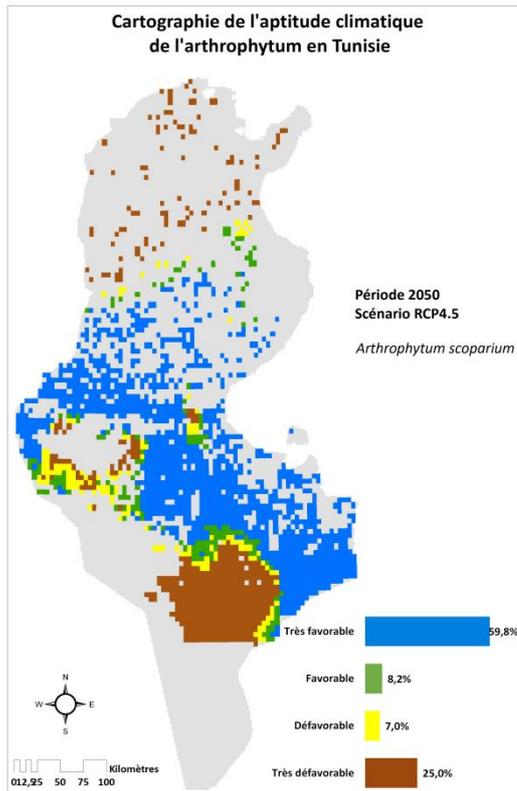


Figure 80: Cartographie de l'aptitude climatique à l'Arthrophytum scoparium.

## 9.8 Changement dans les aires d'aptitude climatique pour les céréales (blé tendre, blé dur et orge).

RCP4.5		2050 - Historique				2100 - Historique			
Classe	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	
Très défavorable	+18.6%	<b>+9.0%</b>	-8.1%	+26.7%	+19.9%	<b>+5.7%</b>	-9.7%	+29.6%	
Défavorable	-0.3%	<b>-1.4%</b>	+2.4%	-2.7%	-0.1%	<b>+1.9%</b>	+0.6%	-0.7%	
Favorable	-1.2%	<b>-0.8%</b>	+2.1%	-3.3%	-2.3%	<b>-1.6%</b>	+2.0%	-4.3%	
Très favorable	-17.1%	<b>-6.8%</b>	+3.5%	-20.7%	-17.5%	<b>-5.9%</b>	+7.1%	-24.6%	
RCP8.5		2050 - Historique				2100 - Historique			
Classe	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	
Très défavorable	+17.5%	<b>+5.7%</b>	-13.2%	+30.6%	31.3%	<b>+16.0%</b>	-5.2%	+36.6%	
Défavorable	-0.4%	<b>-0.1%</b>	+1.7%	-2.1%	-0.3%	<b>-0.3%</b>	+1.5%	-1.8%	
Favorable	-0.6%	<b>-0.2%</b>	+2.5%	-3.1%	-8.6%	<b>-6.1%</b>	+1.5%	-10.1%	
Très favorable	-16.5%	<b>-5.4%</b>	+8.9%	-25.4%	-22.4%	<b>-9.7%</b>	+2.2%	-24.6%	

Tableau 38: Changement dans les aires d'aptitude climatique aux horizons 2050 et 2100, en différence par rapport à la période historique, pour les céréales (blé tendre, blé dur et orge).

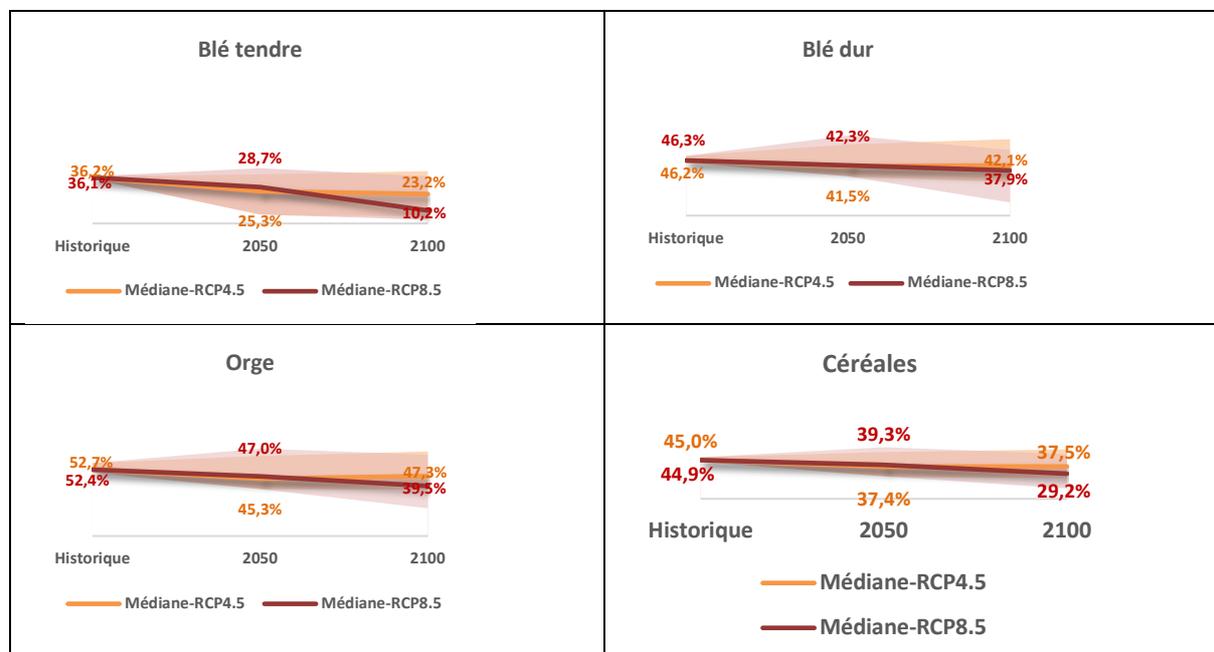


Figure 81 Évolution de la part relative (%) des aires d'aptitudes climatiques favorables (classes "Favorable" et "Très favorable"). Les zones ombrées représentent la gamme de variation entre les quantiles 10 et 90 de l'ensemble multi-modèles

## 9.9 Changement dans les aires d'aptitude climatique pour l'olivier

RCP4.5	2050 - Historique				2100 - Historique			
Classe	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90
Très défavorable	+26.5%	<b>+6.7%</b>	-7.9%	+34.4%	+27.9%	<b>+4.3%</b>	-8.5%	+36.5%
Défavorable	-10.8%	<b>+1.1%</b>	-1.5%	-9.4%	-11.3%	<b>+0.5%</b>	-2.3%	-9.0%
Favorable	-20.1%	<b>-16.7%</b>	-15.4%	-4.7%	-21.7%	<b>-20.2%</b>	-19.2%	-2.5%
Très favorable	+4.3%	<b>+8.8%</b>	+24.8%	-20.4%	+5.2%	<b>+15.4%</b>	+30.1%	-24.9%
RCP8.5	2050 - Historique				2100 - Historique			
Classe	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90
Très défavorable	+25.1%	<b>+3.3%</b>	-3.0%	+28.1%	+31.6%	<b>+19.6%</b>	-4.6%	+36.2%
Défavorable	-10.7%	<b>+1.5%</b>	-4.1%	-6.6%	-5.0%	<b>-5.7%</b>	-2.2%	-2.8%
Favorable	-20.9%	<b>-20.2%</b>	-15.2%	-5.7%	-16.9%	<b>-29.6%</b>	-22.6%	+5.7%
Très favorable	+6.5%	<b>+15.4%</b>	+22.3%	-15.8%	-9.8%	<b>+15.7%</b>	+29.4%	-39.2%

Tableau 39: Changement (%) dans les aires d'aptitude climatique aux horizons 2050 et 2100, en différence par rapport à la période historique, pour l'olivier.

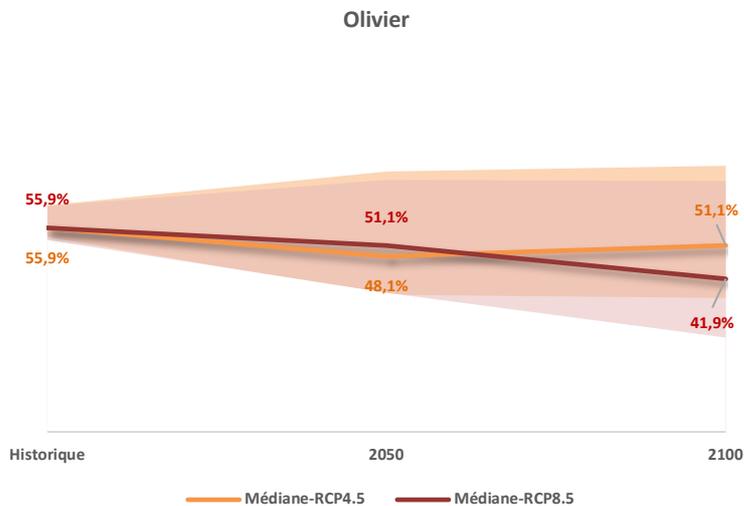


Figure 82 Évolution de la part relative (%) des aires d'aptitudes climatiques favorables (classes "Favorable" et "Très favorable"). Les zones ombrées représentent la gamme de variation entre les quantiles 10 et 90 de l'ensemble multi-modèles

## 9.10 Changement dans les aires d'aptitude climatique pour les parcours

RCP4.5		2050 - Historique				2100 - Historique			
Classe	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	
Très défavorable	+29.1%	<b>+9.6%</b>	-4.7%	+33.8%	+29.2%	<b>+9.9%</b>	-3.8%	+32.9%	
Défavorable	-2.7%	<b>-1.0%</b>	+0.8%	-3.5%	-2.3%	<b>-0.8%</b>	+0.4%	-2.7%	
Favorable	-3.1%	<b>-0.3%</b>	+1.8%	-4.9%	-2.9%	<b>+0.5%</b>	+1.8%	-4.7%	
Très favorable	-23.3%	<b>-8.2%</b>	+2.1%	-25.4%	-24.0%	<b>-9.7%</b>	+1.6%	-25.6%	
RCP8.5		2050 - Historique				2100 - Historique			
Classe	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	Q10	Médiane	Q90	Q10-Q90	
Très défavorable	+27.7%	<b>+6.0%</b>	-6.4%	+34.1%	+41.1%	<b>+22.4%</b>	-2.0%	+43.2%	
Défavorable	-2.1%	<b>-1.7%</b>	+2.4%	-4.5%	-5.0%	<b>-3.2%</b>	+0.7%	-5.7%	
Favorable	-2.8%	<b>-1.9%</b>	+0.9%	-3.7%	-5.5%	<b>-3.2%</b>	+2.1%	-7.6%	
Très favorable	-22.9%	<b>-2.4%</b>	+3.1%	-25.9%	-30.6%	<b>-16.1%</b>	-0.7%	-29.9%	

Tableau 40: Changement (%) dans les aires d'aptitude climatique aux horizons 2050 et 2100, en différence par rapport à la période historique, pour les cultures pastorales parcours (*Stipa tenacissima*, *Rhanterium suaveolens* et *Arthrophytum scoparium*).

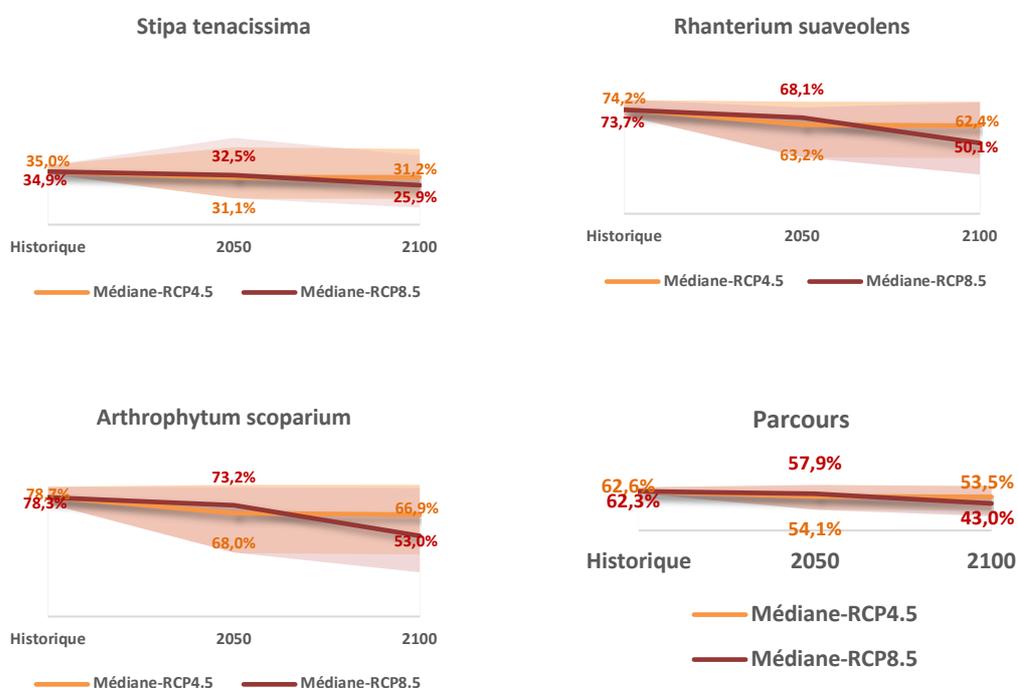
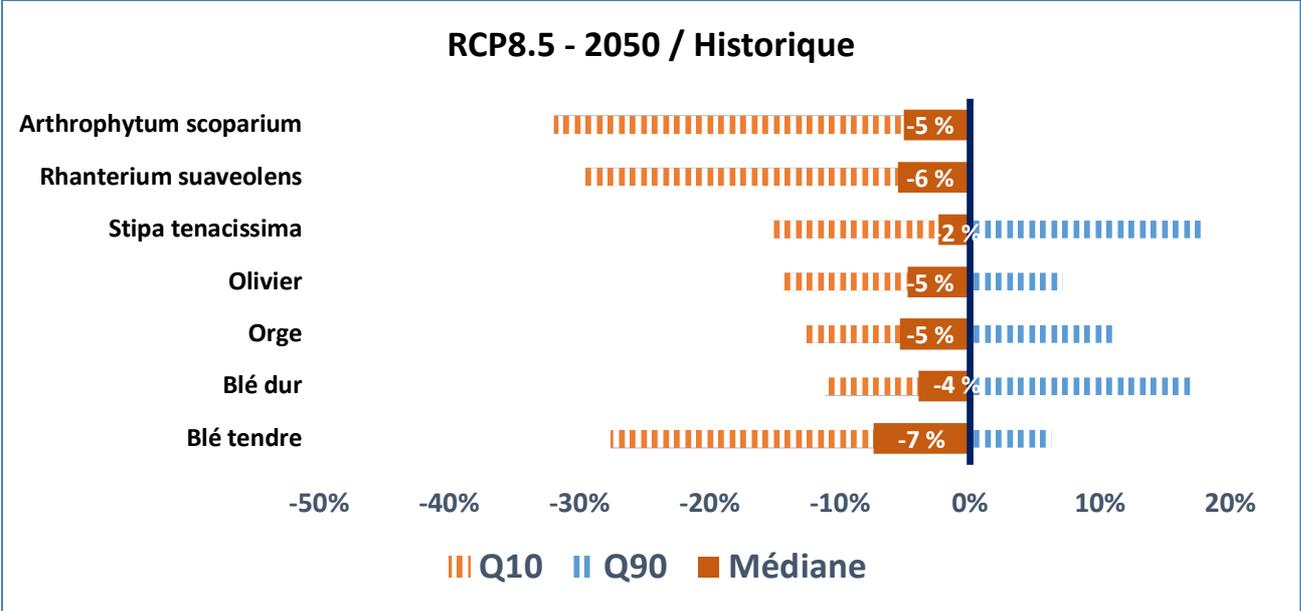
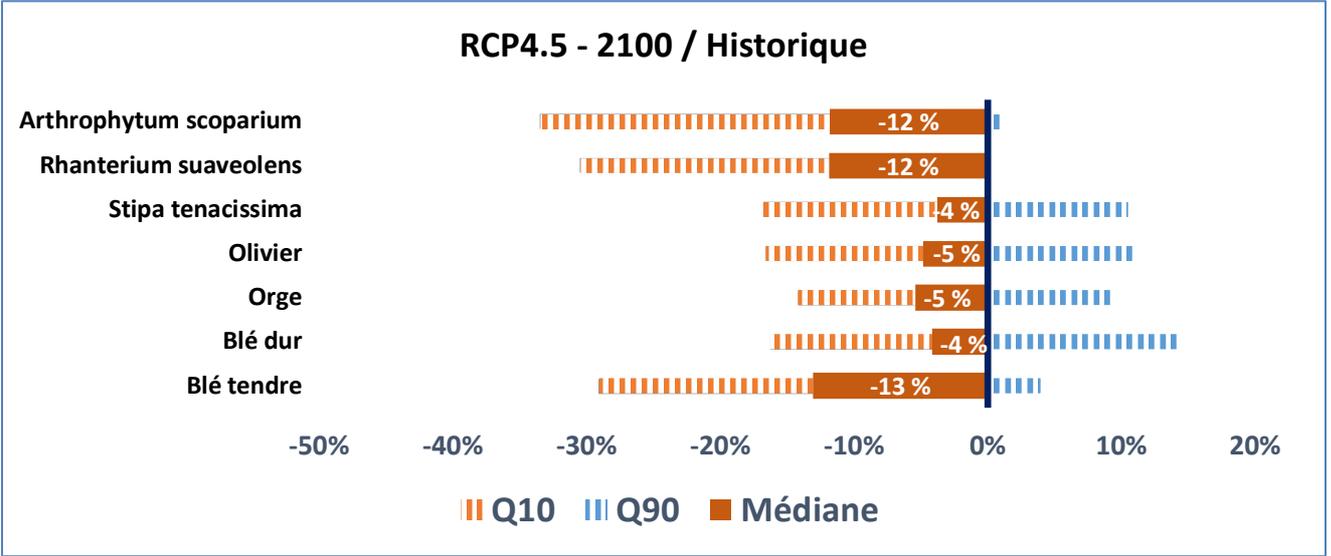
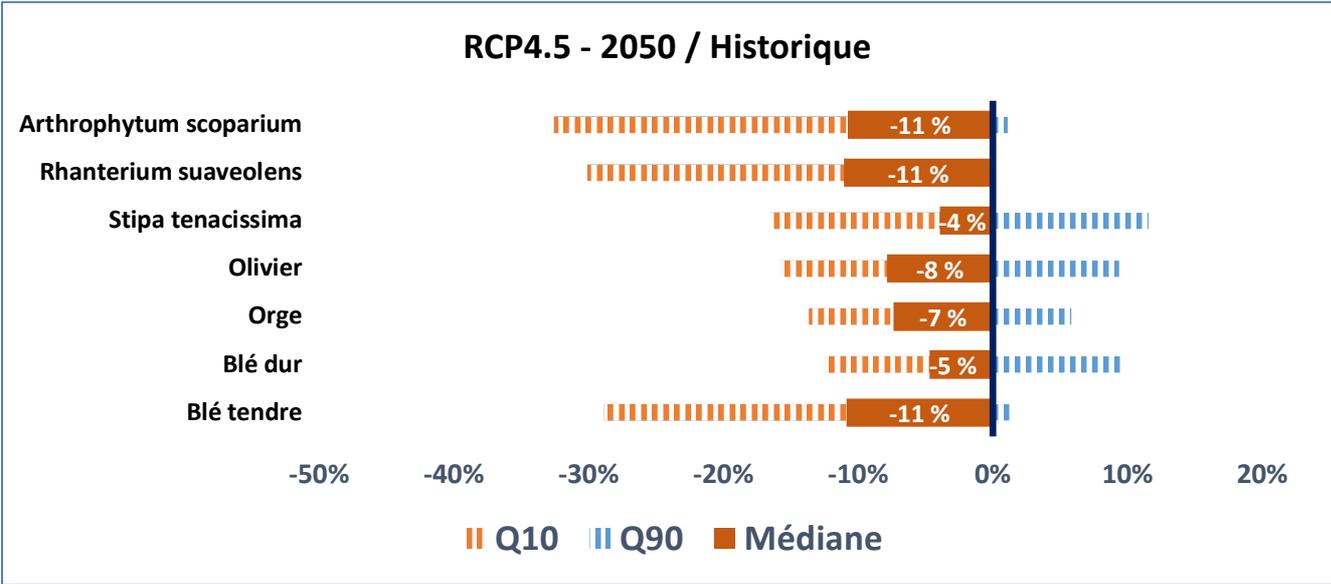


Figure 83 Évolution de la part relative (%) des aires d'aptitudes climatiques favorables.



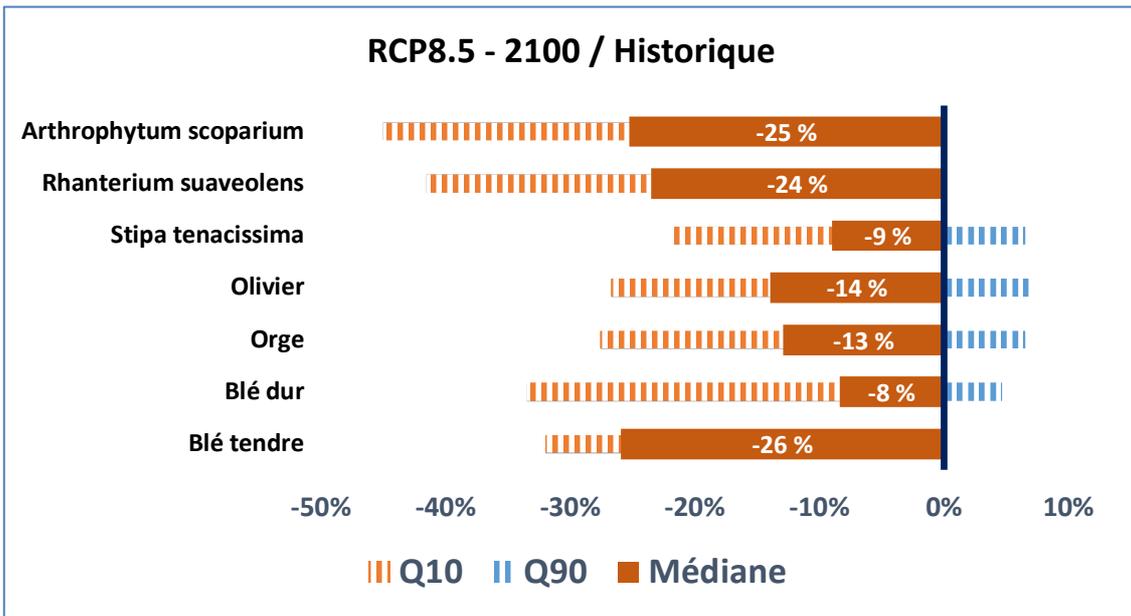


Figure 84: Variation de la part relative (%) des aires d'aptitudes climatiques favorables (classes "Favorable" et "Très favorable"), par rapport à la période historique, pour les espèces étudiées.

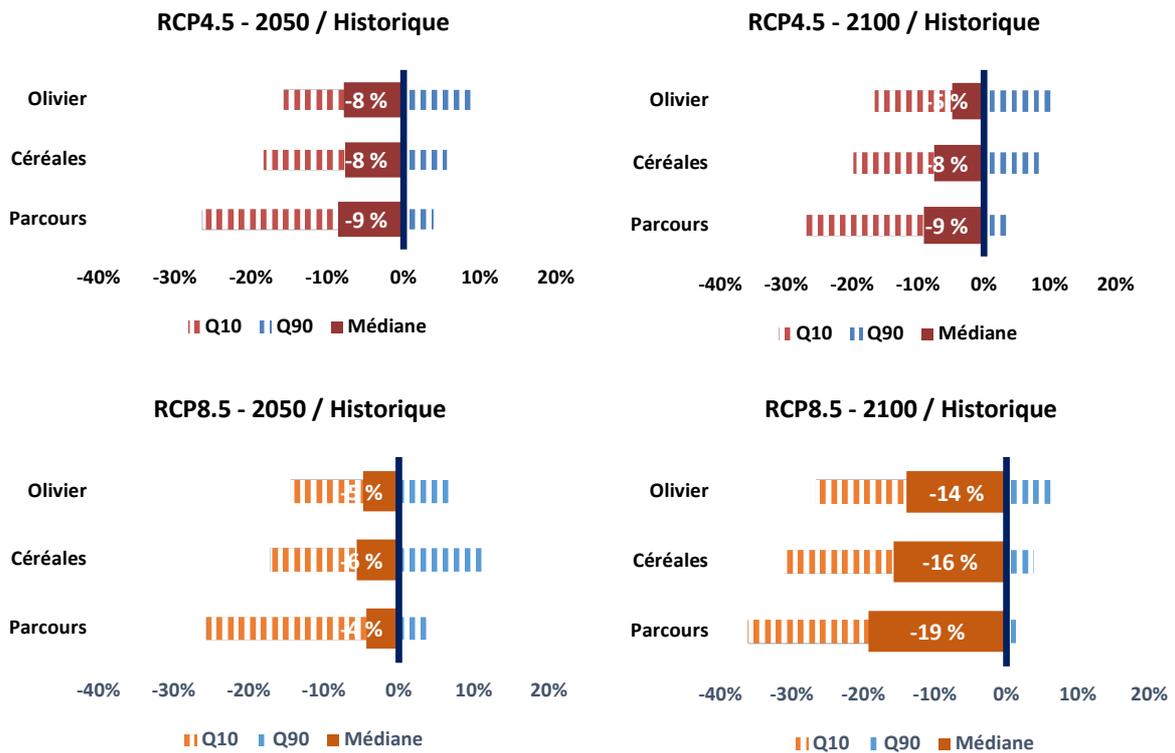


Figure 85: Variation de la part relative (%) des aires d'aptitudes climatiques favorables (classes "Favorable" et "Très favorable"), par rapport à la période historique, par catégorie d'espèces.

## 10 Chaines de risques liés au changement climatique

### 10.1 Risques liés au changement climatique pour les céréales

Nous avons identifié 4 risques liés au changement climatique affectant les activités céréalières :

- Le risque de perte de rendement par stress hydrique ;
- Le risque de destruction des cultures lors du développement ;
- Le risque de baisse de la productivité des sols cultivés dégradés ;
- Le risque de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires.

Chacun de ces risques a été détaillé dans une chaîne de risque permettant d'identifier les facteurs intervenant dans les différentes composantes du risque selon l'AR5 (aléa- en bleu, vulnérabilité – en vert et exposition – en jaune).

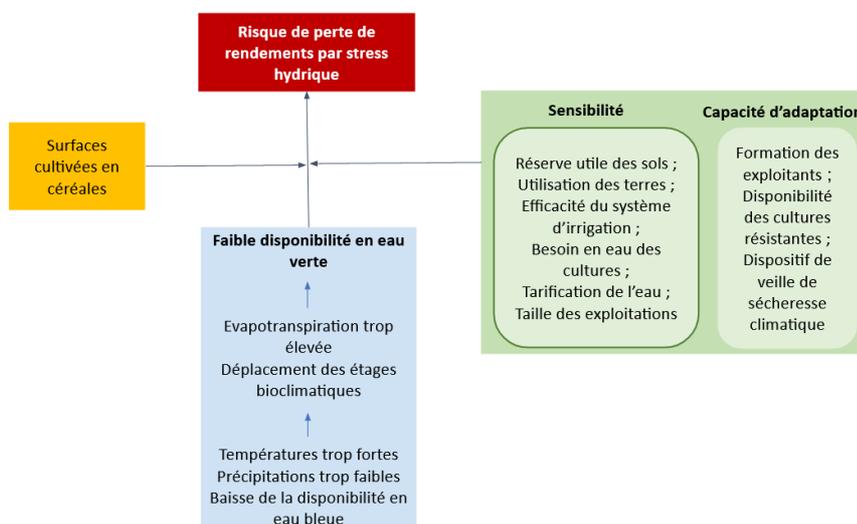


Figure 86 : Chaîne de risque présentant le risque de perte de rendement par stress hydrique pour la céréaliculture.

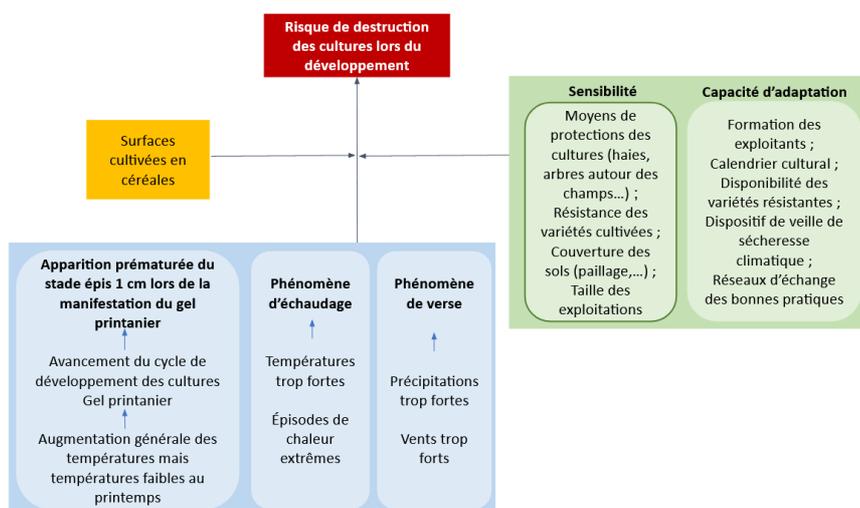


Figure 87 : Chaîne de risque présentant le risque de perte de destruction des cultures lors du développement pour la céréaliculture.

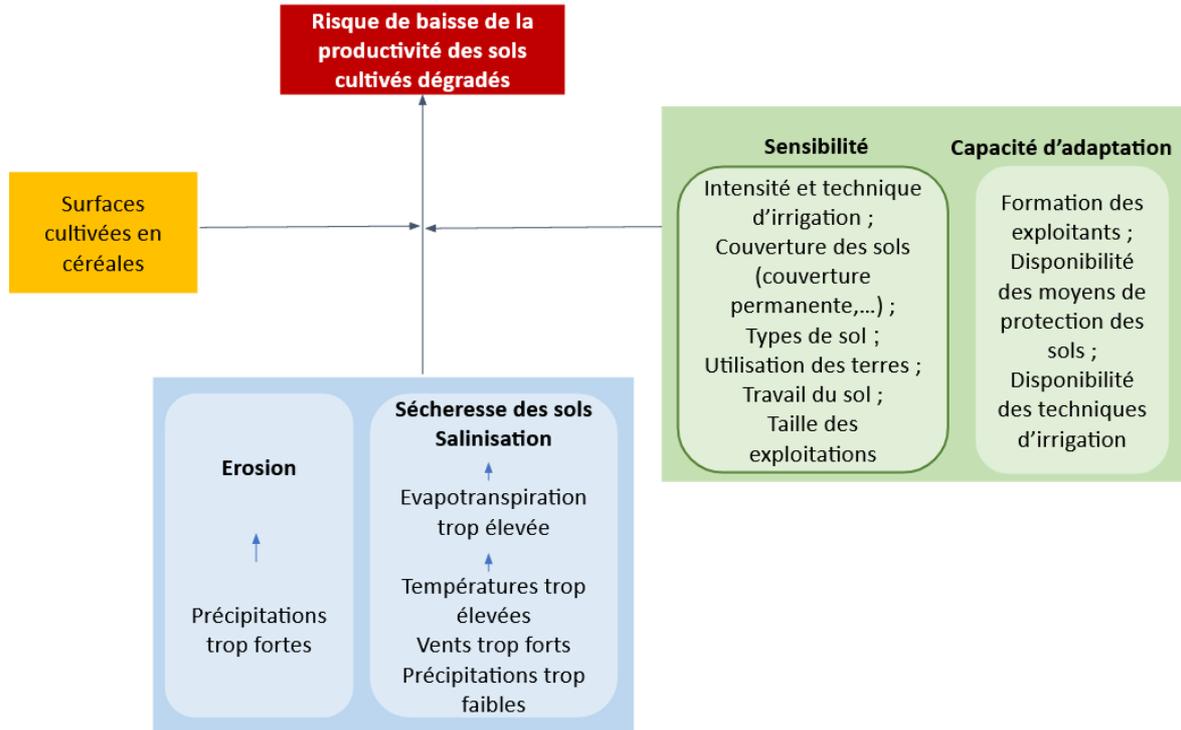


Figure 88 : Chaîne de risque présentant le risque de baisse de la productivité des sols cultivés dégradés pour la céréaliculture.

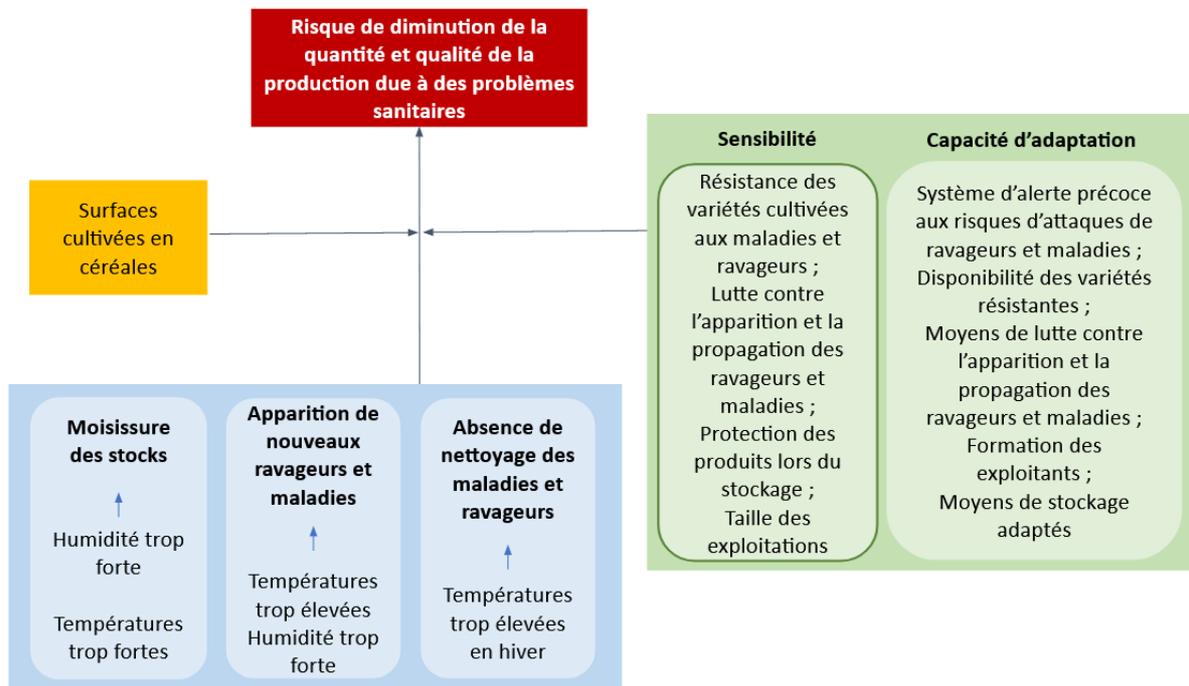


Figure 89: Chaîne de risque présentant le risque de diminution de la quantité et la qualité de la production due à des problèmes sanitaires pour la céréaliculture.

## 10.2 Risques liés au changement climatique pour les oliviers

Nous avons identifié 4 risques liés au changement climatique affectant les activités oléicoles :

- Le risque sur la production de fruits ;
- Le risque de perte de rendements par stress hydrique ;
- Le risque de baisse de la productivité des sols cultivés dégradés ;
- Le risque de diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires.

Chacun de ces risques a été détaillé dans une chaîne de risque permettant d'identifier les facteurs intervenant dans les différentes composantes du risque selon l'AR5 (aléa- en bleu, vulnérabilité – en vert et exposition – en jaune).

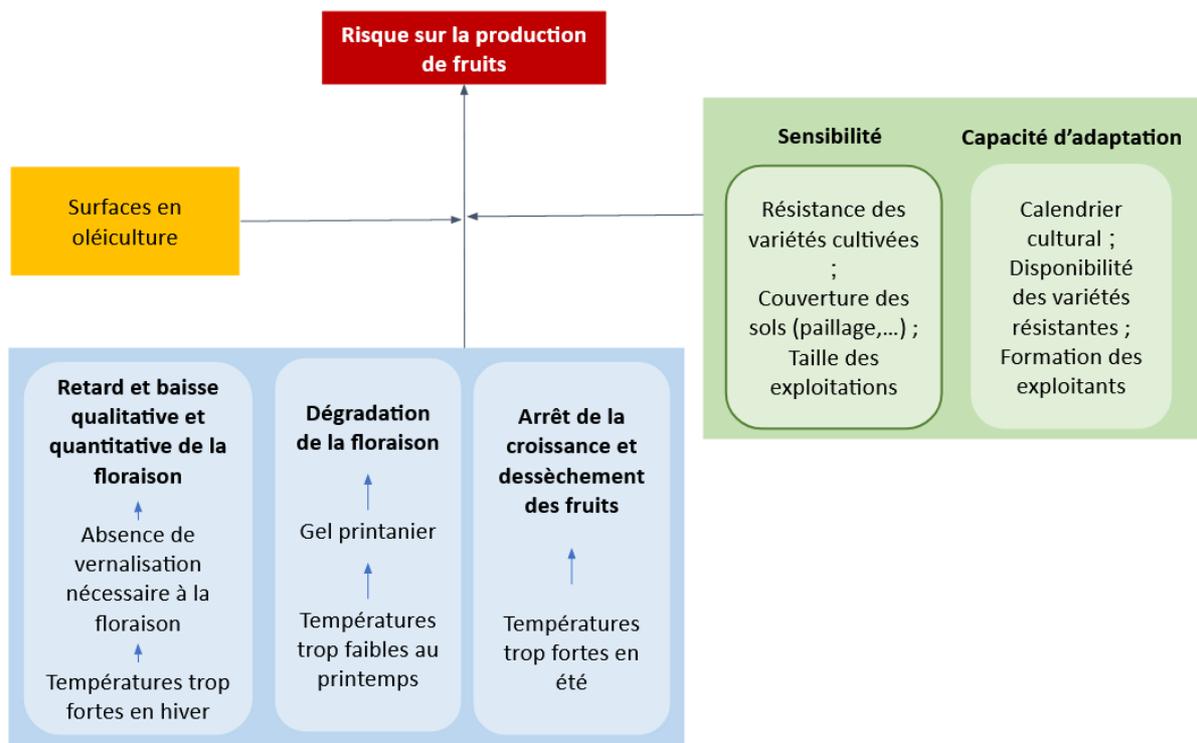


Figure 90 : Chaîne de risque présentant le risque sur la production de fruits pour l'oléiculture.

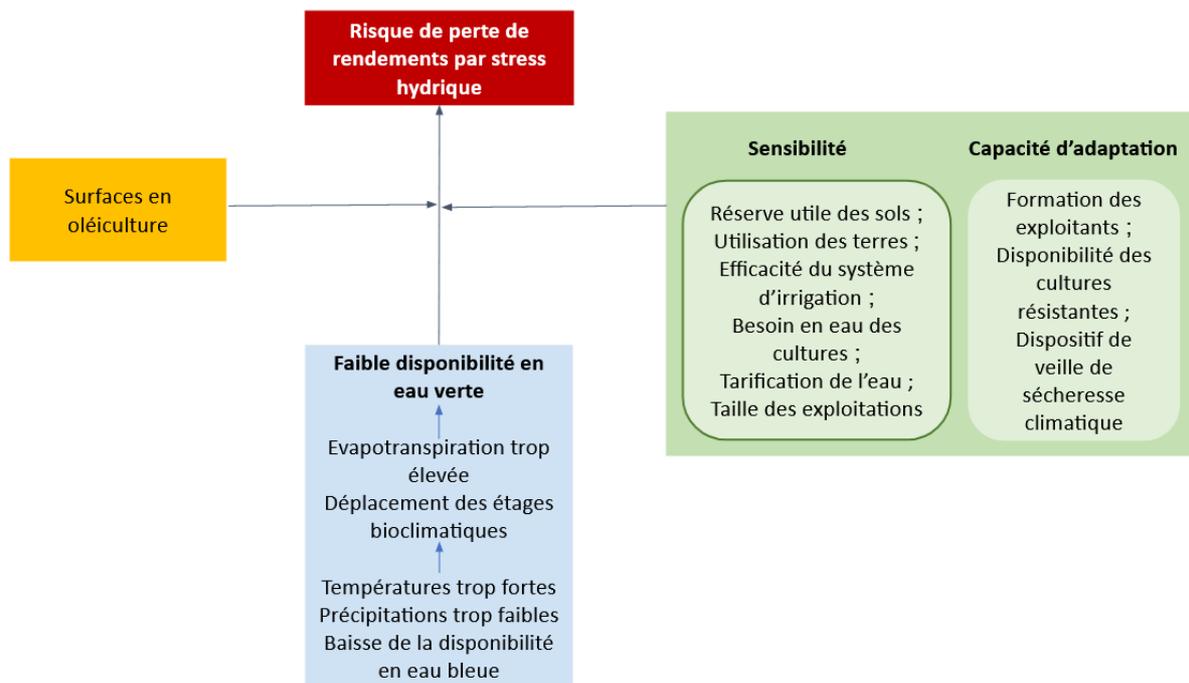


Figure 91 : Chaîne de risque présentant le risque de perte de rendement par stress hydrique pour l'oléiculture.

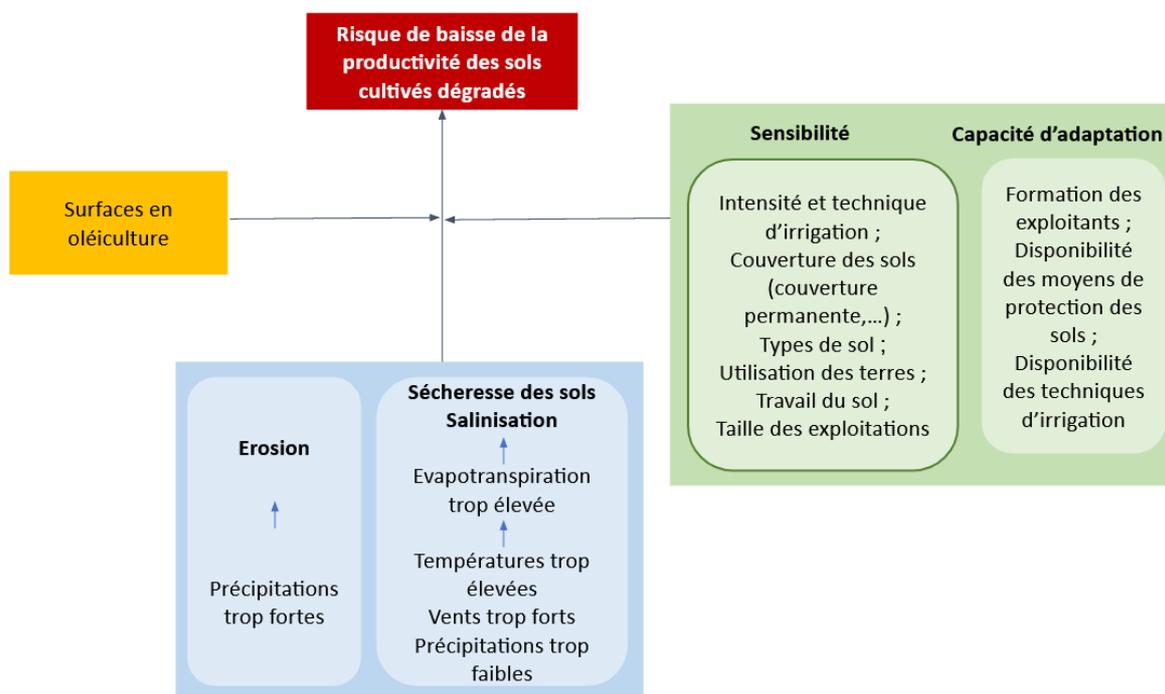


Figure 92 : Chaîne de risque présentant le risque de baisse de la productivité des sols cultivés dégradés pour l'oléiculture.

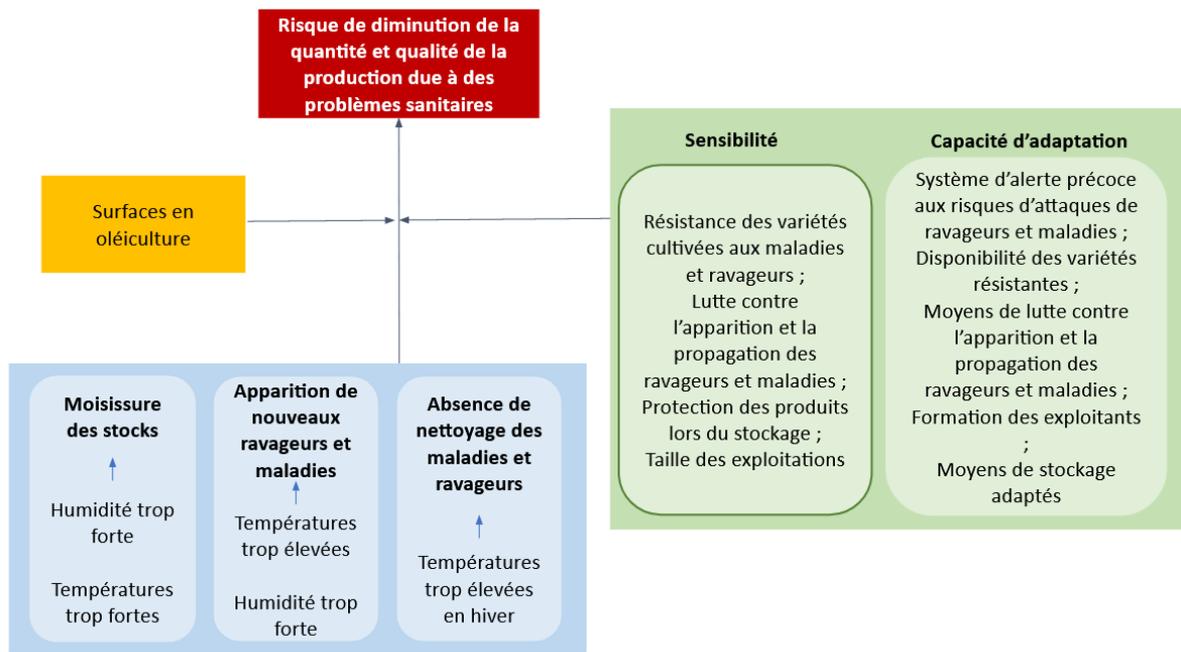


Figure 93 : Chaîne de risque présentant le risque de diminution de la quantité et la qualité de la production due à des problèmes sanitaires pour l'oléiculture.

## 10.3 Risques liés au changement climatique pour les parcours

Parmi les nombreux impacts potentiels du CC affectant les parcours et les éleveurs, on trouve : la baisse du disponible fourrager pastoral et plus généralement la dégradation des sols concernés, le recours aux aliments concentrés pour compléter l'alimentation des cheptels, la perturbation de la filière, la hausse des charges d'exploitation, la prolifération de maladies anciennes et émergentes, la baisse des revenus des producteurs, l'augmentation de leur vulnérabilité sociale et économique, les risques de conflits sur les ressources situées dans les territoires concernés.

Nous avons identifié 3 risques liés au changement climatique affectant l'élevage sur parcours :

- Le risque d'une production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale ;
- Le risque de dégradation de l'état de santé des fourrages et des animaux due à des problèmes sanitaires ;
- Le risque de baisse de la productivité des sols cultivés dégradés.

Chacun de ces risques a été détaillé dans une chaîne de risque permettant d'identifier les facteurs intervenant dans les différentes composantes du risque selon l'AR5 (aléa- en bleu, vulnérabilité – en vert et exposition – en jaune).

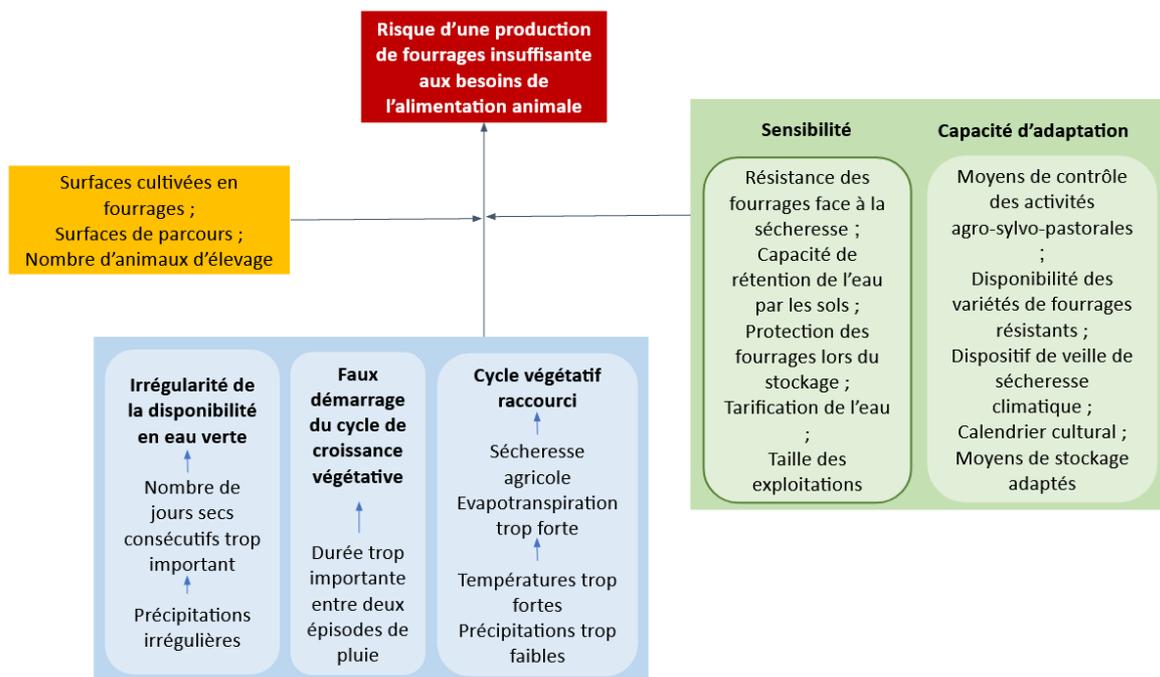


Figure 94 : Chaîne de risque présentant le risque d'une production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale pour l'élevage sur parcours.

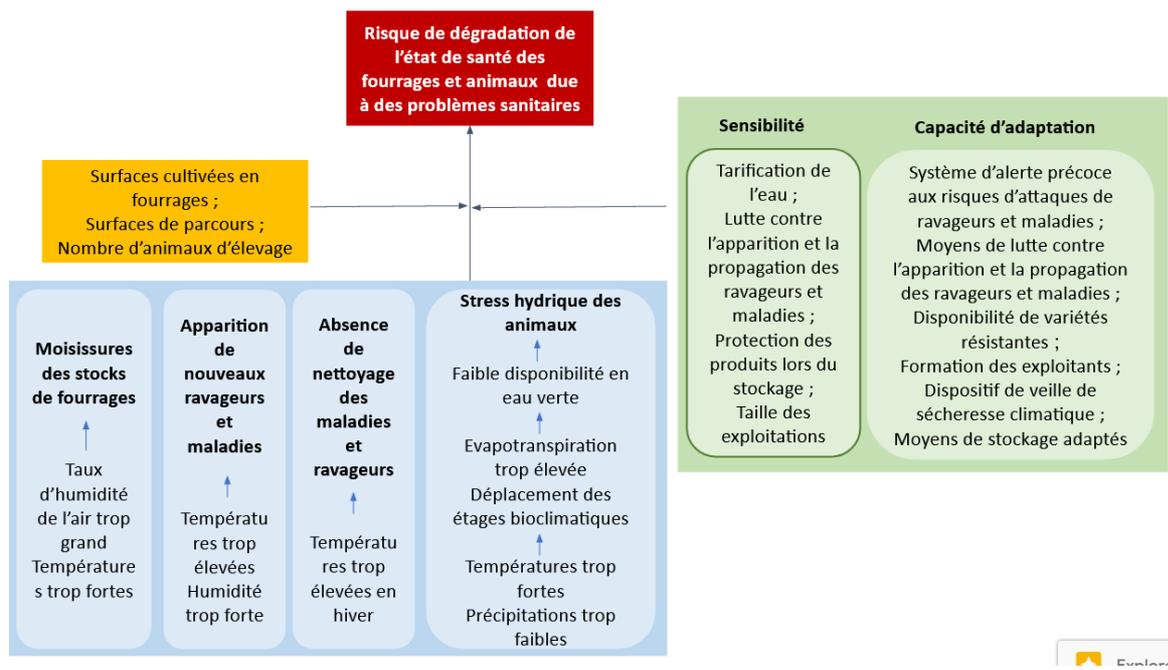


Figure 95 : Chaîne de risque présentant le risque de dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires pour l'élevage sur parcours.

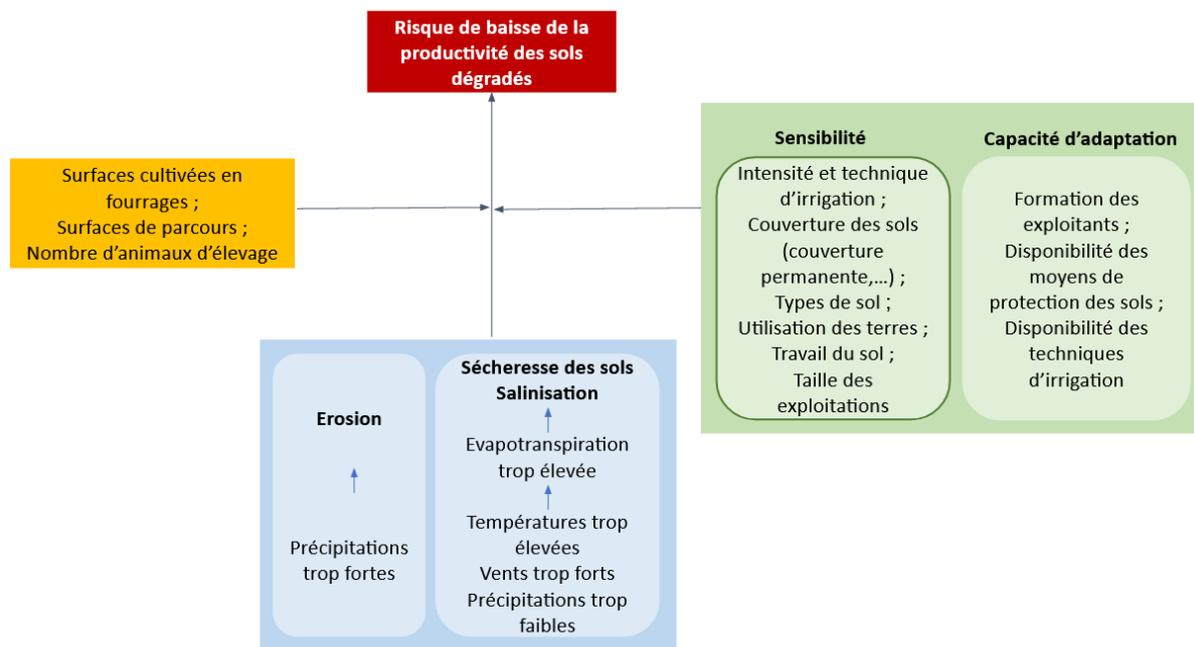


Figure 96 : Chaîne de risque présentant le risque de baisse de la productivité des sols dégradés pour l'élevage sur parcours.

## 10.4 Risques liés au changement climatique pour la pêche

Nous avons identifié 4 risques liés au changement climatique affectant les activités halieutiques :

- Le risque de déclin de la production halieutique lié au changement climatique ;
- Le risque de dégradation des habitats et de perte de la biodiversité ;
- Le risque de réduction des zones et des activités de pêche (Estran) ;
- Le risque sanitaire d'invasion biologique.

Chacun de ces risques a été détaillé dans une chaîne de risque permettant d'identifier les facteurs intervenant dans les différentes composantes du risque selon l'AR5 (aléa- en bleu, vulnérabilité – en vert et exposition – en jaune).

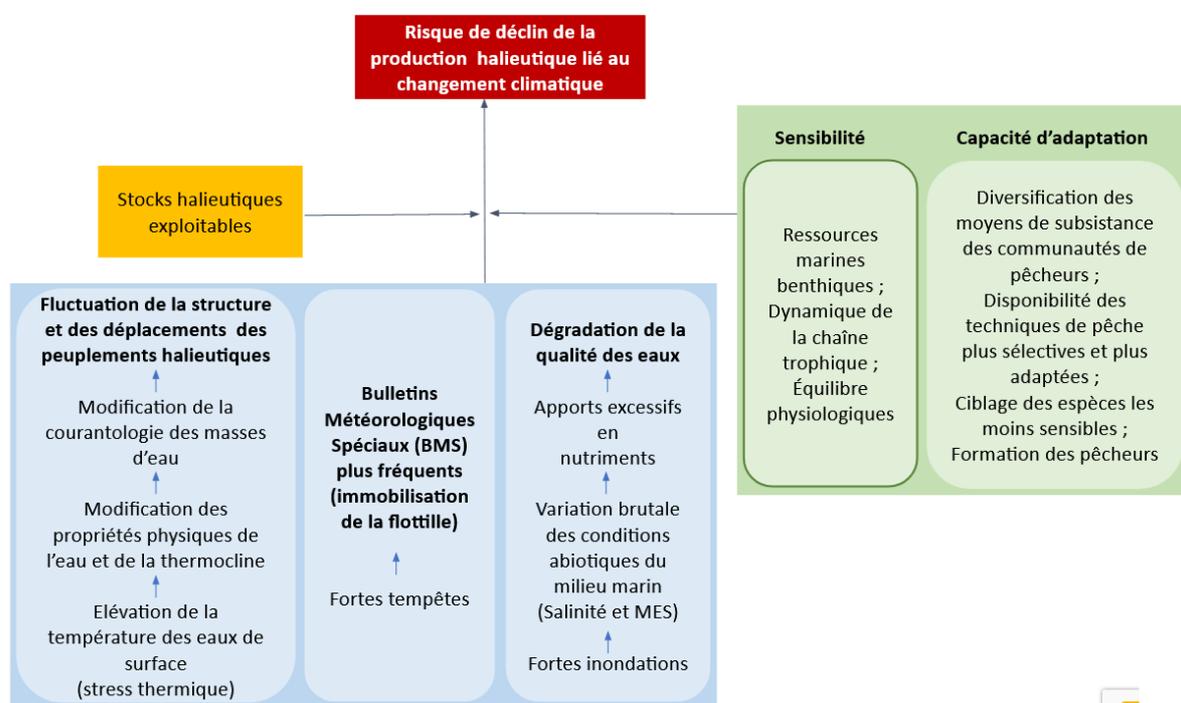


Figure 97 : Chaîne de risque présentant le risque de déclin de la production halieutique lié au changement climatique pour la pêche.

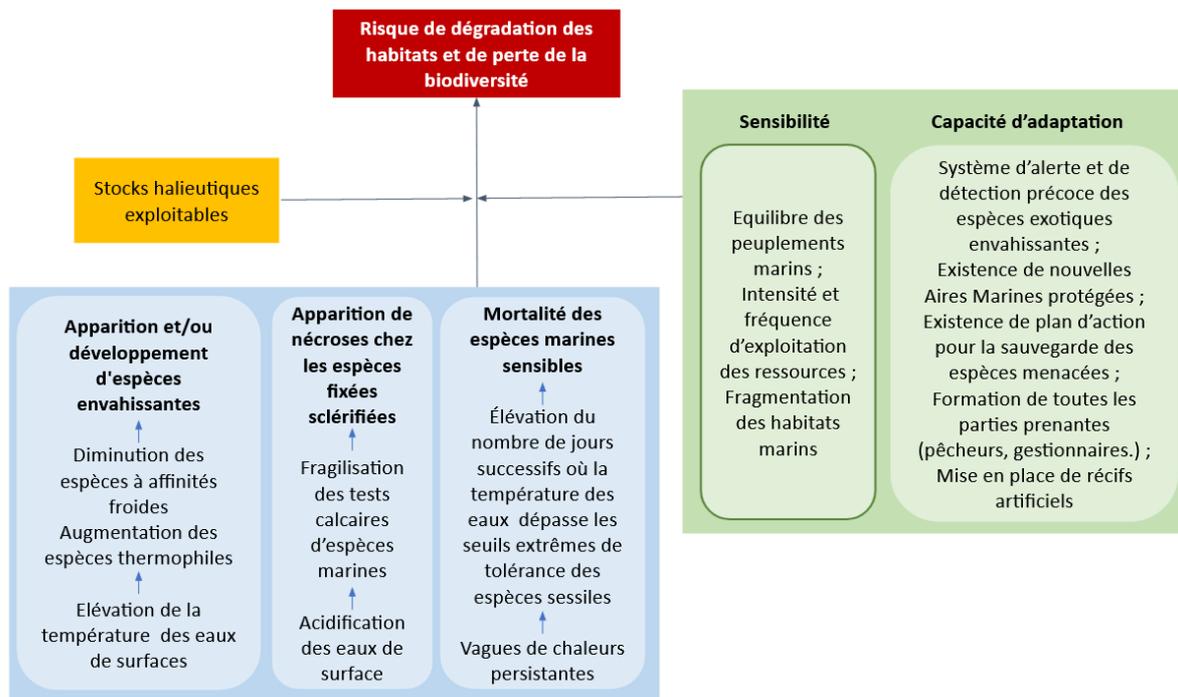


Figure 98 : Chaîne de risque présentant le risque de dégradation des habitats et de perte de la biodiversité pour la pêche.

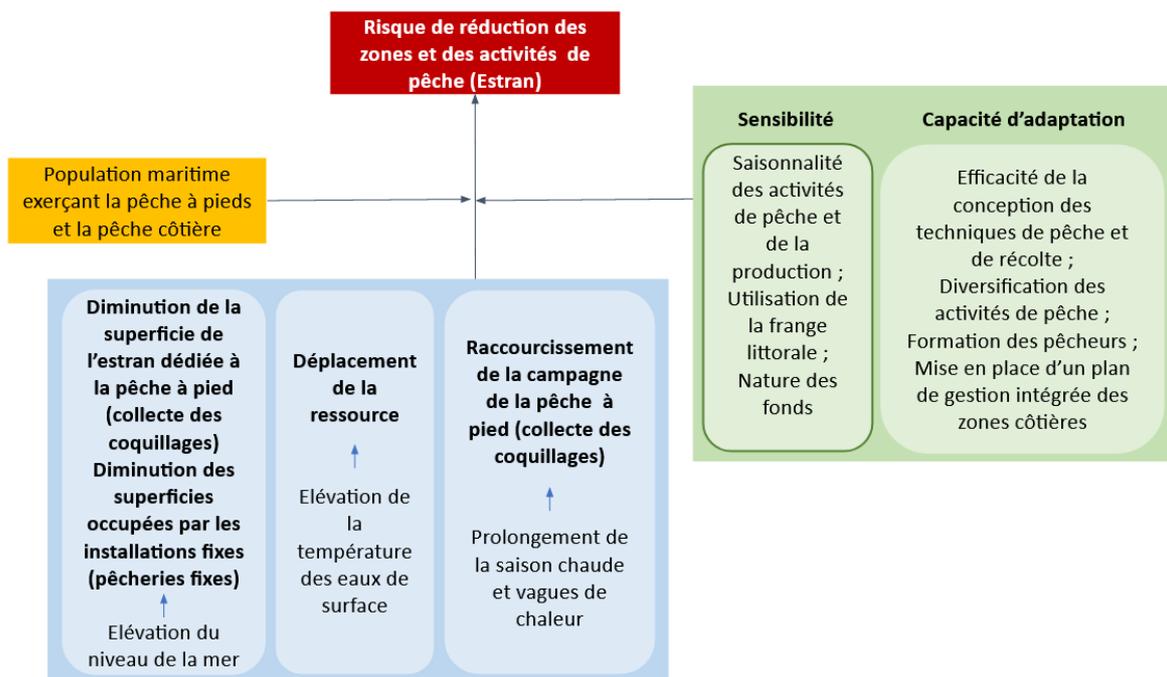


Figure 99 : Chaîne de risque présentant le risque de réduction des zones et des activités de pêche (Estran).

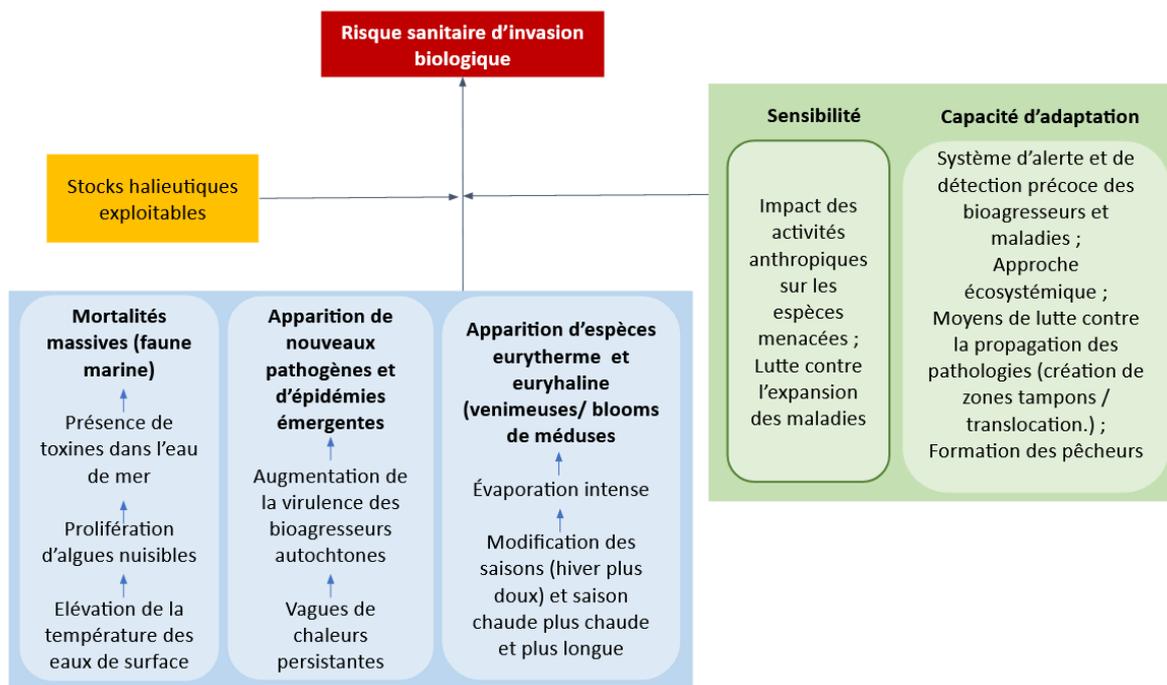


Figure 100 : Chaîne de risque présentant le risque sanitaire d'invasion biologique pour la pêche.

## 10.5 Risques liés au changement climatique pour l'eau

Les impacts potentiels du changement climatique sur l'eau, sont :

- La réduction des ressources disponibles sous l'effet de la réduction de la pluviométrie et l'augmentation de l'évapotranspiration,
- La dégradation de la qualité des nappes côtières sous l'effet de l'intrusion marine et des eaux des barrages sous l'effet de l'évaporation,
- La réduction de la capacité de stockage de barrages sous l'effet de l'accélération de l'envasement,
- La surexploitation croissante des nappes d'eau souterraine du fait d'une demande de plus en plus importante,
- La réduction des superficies irriguées à partir des eaux conventionnelles.

Nous avons construit deux chaînes de risques liés au changement climatique affectant le secteur de l'eau agricole :

- Le risque de réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation ;
- Le risque de baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation.

Chacun de ces risques a été détaillé dans une chaîne de risque permettant d'identifier les facteurs intervenant dans les différentes composantes du risque selon l'AR5 (aléa- en bleu, vulnérabilité – en vert et exposition – en jaune).

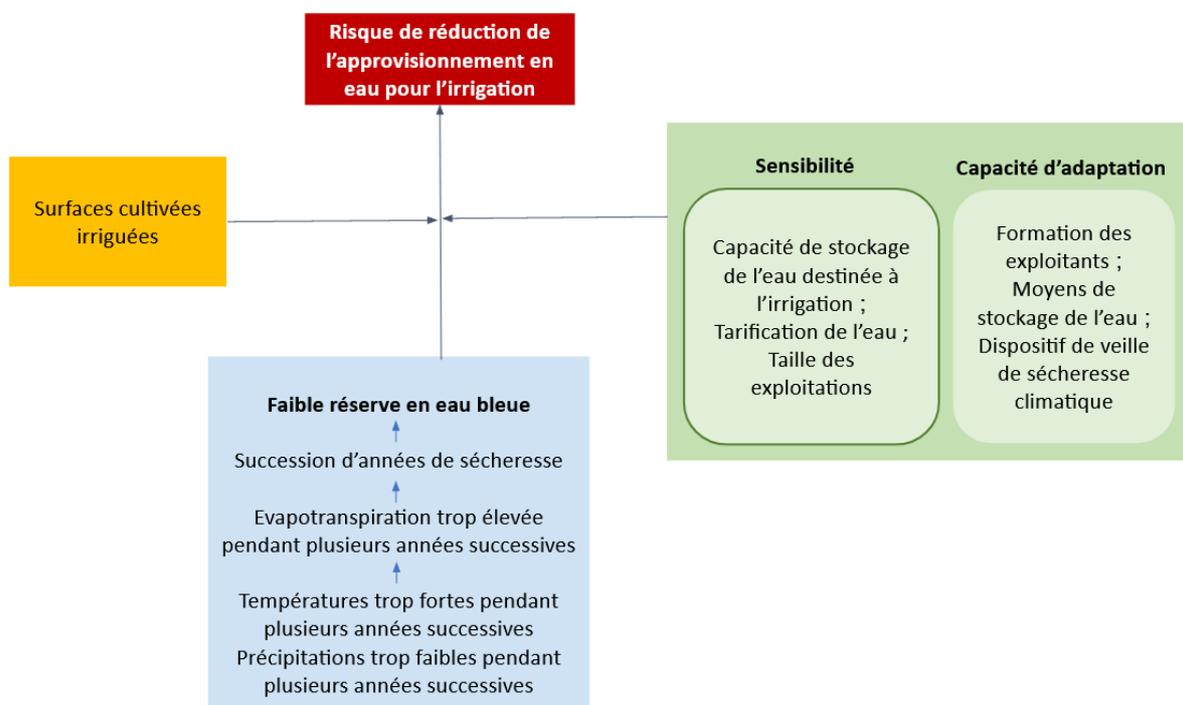


Figure 101 : Chaîne de risque présentant le risque de réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation pour l'eau agricole.

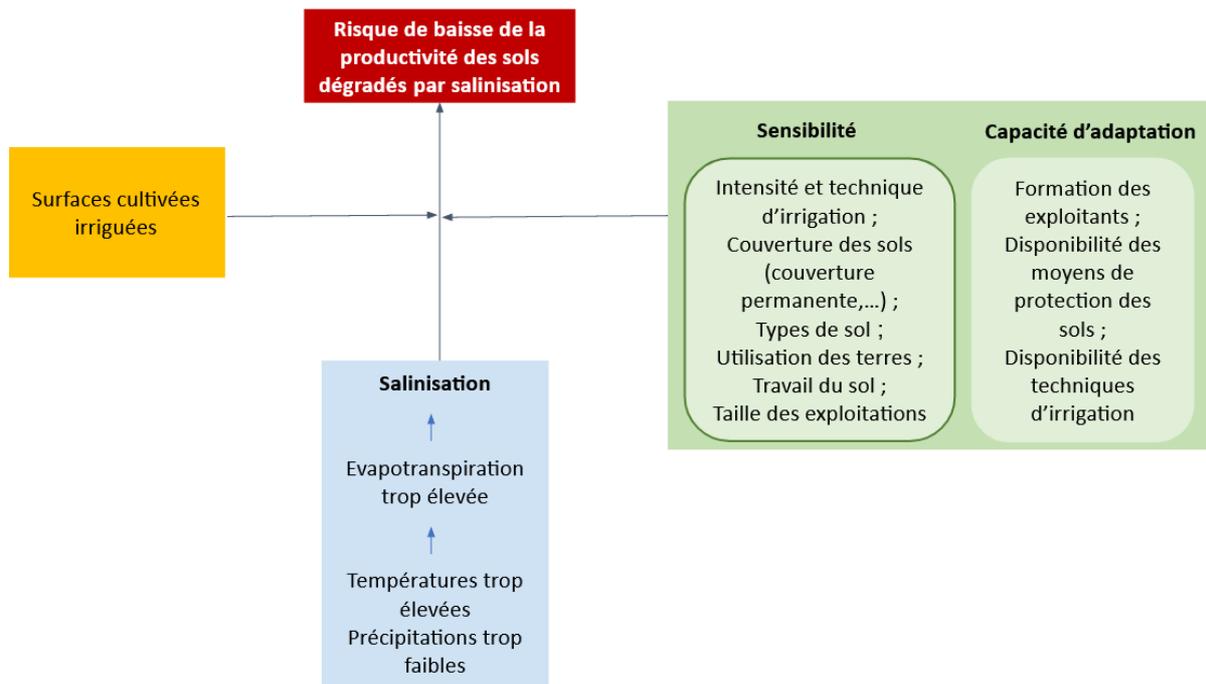


Figure 102 : Chaîne de risque présentant le risque de baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation pour l'eau agricole.

# 11 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque

## 11.1.1 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Nord-Est

Secteur	Risque	Scores	1981-2010	2050		2100	
				RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	4	4	4	4
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				
	Moindre production de fruits	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				
Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	2	2	2	2	
	Aléa	2	2	2	3		
	Vulnérabilité	3					
	Exposition	1					
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	2	2	3	
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	2				
	Destruction des cultures durant le développement	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	2	3	4	4	4
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	2				
	Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	2	2	3	
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	2				
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	3	3	3	3	
	Aléa	2	4	4	4	4	
	Vulnérabilité	3					
	Exposition	2					
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Risque	2	2	2	2	
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	2				
		Exposition	1				
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				
	Baisse de la productivité des sols dégradés	Risque	2	2	2	2	
		Aléa	2	3	3	4	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Risque	2	2	2	2	
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Risque	2	2	2	2	
		Aléa	2	2	2	3	
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	1				

### 11.1.2 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Nord-Ouest

Secteur	Risque	Scores	Actuel	2050		2100	
				RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	2	2	2	3
		Aléa	2	2	2	2	3
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			2		
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			2		
	Moindre production de fruits	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	3	3	3
		Vulnérabilité			2		
		Exposition			2		
Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	2	2	2	3	
	Aléa	2	2	2	2	3	
	Vulnérabilité			3			
	Exposition			2			
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	3	3	3	3	4
		Aléa	2	2	2	2	3
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			5		
	Destruction des cultures durant le développement	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			2		
		Exposition			5		
	Perte de rendement par stress hydrique	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	2	2	2	2	3
		Vulnérabilité			2		
		Exposition			5		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	3	4	4	4	4	
	Aléa	2	3	3	3	3	
	Vulnérabilité			4			
	Exposition			5			
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	2	2	3
		Vulnérabilité			2		
		Exposition			1		
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	2	2	3
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			1		
	Baisse de la productivité des sols dégradés	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			1		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	2	2	3
		Vulnérabilité			2		
		Exposition			2		
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	2	2	2	3
	Vulnérabilité			2			
	Exposition			2			

Nord-Ouest

### 11.1.3 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Centre-Est

Secteur	Risque	Scores	1981-2010	2050		2100	
				RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	4	4	4	4	4
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	5				
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	4	4	4	4	4
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	5				
	Moindre production de fruits	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité	3				
		Exposition	5				
Perte de rendement par stress hydrique	Risque	4	4	4	4	4	
	Aléa	3	3	3	3	3	
	Vulnérabilité	4					
	Exposition	5					
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	1				
	Destruction des cultures durant le développement	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	1				
	Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	1				
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2	
	Aléa	3	4	4	4	4	
	Vulnérabilité	3					
	Exposition	1					
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité	4				
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité	3				
	Baisse de la productivité des sols dégradés	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité	3				
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	1				
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité	4				
		Exposition	1				

### 11.1.4 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Centre-Ouest

Secteur	Risque	Scores	1981-2010	2050		2100	
				RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			5		
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			5		
	Moindre production de fruits	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			3		
Perte de rendement par stress hydrique	Risque	3	4	4	4	4	
	Aléa	3	3	3	3	3	
	Vulnérabilité			4			
	Exposition			5			
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	3	3	3	3	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
	Destruction des cultures durant le développement	Risque	3	3	3	3	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
	Perte de rendement par stress hydrique	Risque	3	3	3	3	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	3	3	3	3	3	
	Aléa	2	3	3	3	4	
	Vulnérabilité			3			
	Exposition			3			
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			2		
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			2		
	Baisse de la productivité des sols dégradés	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			2		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			5		
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	2	3	3	3	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			5		

### 11.1.5 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Sud-Est

Secteur	Risque	Scores	1981-2010	2050		2100	
				RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	3	3	3	4	4
		Aléa	3	3	3	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	3	4	4	4	5
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
	Moindre production de fruits	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
Perte de rendement par stress hydrique	Risque	3	3	3	4	4	
	Aléa	3	3	3	4	4	
	Vulnérabilité			4			
	Exposition			3			
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	2	2	3	3
		Aléa	3	3	3	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		
	Destruction des cultures durant le développement	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	5
		Vulnérabilité			5		
		Exposition			1		
	Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	2	2	3	3
		Aléa	3	3	3	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2	
	Aléa	3	4	4	4	5	
	Vulnérabilité			2			
	Exposition			1			
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Risque	4	4	4	4	4
		Aléa	3	3	3	3	3
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			5		
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Risque	4	4	4	4	4
		Aléa	3	3	3	4	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			5		
	Baisse de la productivité des sols dégradés	Risque	4	4	4	4	4
		Aléa	3	3	4	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			5		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Risque	2	2	2	3	3
		Aléa	3	3	3	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Risque	2	2	2	3	3
		Aléa	3	3	3	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		

### 11.1.6 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour la région Sud-Ouest

Secteur	Risque	Scores	1981-2010	2050		2100	
				RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Oléiculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		
	Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	3	4	4	4	5
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			1		
	Moindre production de fruits	Risque	2	2	2	2	2
		Aléa	2	3	3	3	3
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		
Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	3	3	3	3	
	Aléa	3	4	4	4	4	
	Vulnérabilité			4			
	Exposition			1			
Céréaliculture	Baisse de la productivité des sols cultivés dégradés	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			1		
	Destruction des cultures durant le développement	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	5
		Vulnérabilité			5		
		Exposition			1		
	Perte de rendement par stress hydrique	Risque	2	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité			5		
		Exposition			1		
Diminution de la quantité et qualité de la production due à des problèmes sanitaires	Risque	2	2	2	2	2	
	Aléa	3	4	4	4	5	
	Vulnérabilité			2			
	Exposition			1			
Pastoralisme	Production de fourrages insuffisante aux besoins de l'alimentation animale	Risque	3	4	3	3	4
		Aléa	3	4	3	3	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
	Dégradation de l'état de santé des fourrages et animaux due à des problèmes sanitaires	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité			3		
		Exposition			3		
	Baisse de la productivité des sols dégradés	Risque	3	4	4	4	4
		Aléa	3	4	4	4	5
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			3		
Eau agricole	Réduction de l'approvisionnement en eau pour l'irrigation	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
		Vulnérabilité			4		
		Exposition			2		
	Baisse de la productivité des sols dégradés par salinisation	Risque	3	3	3	3	3
		Aléa	3	4	4	4	4
	Vulnérabilité			4			
	Exposition			2			

**11.1.7 Scores d'exposition, de vulnérabilité, d'aléa et de risque pour les zones de pêche de la Tunisie**

Zone	Risque	Scores	1981-2010	2050	2100
Nord	Déclin de la production halieutique	Risque	2	2	2
		Aléa	2	3	5
		Vulnérabilité		3	
		Exposition		1	
	Dégradation des habitats et perte de la biodiversité	Risque	2	2	2
		Aléa	2	3	5
		Vulnérabilité		3	
		Exposition		1	
	Réduction des zones et activités de pêche (Estran)	Risque	2	2	2
		Aléa	1	2	4
		Vulnérabilité		2	
		Exposition		2	
Risque sanitaire d'invasion biologique	Risque	2	2	2	
	Aléa	2	3	5	
	Vulnérabilité		3		
	Exposition		1		
Centre	Déclin de la production halieutique	Risque	2	2	3
		Aléa	1	3	4
		Vulnérabilité		3	
		Exposition		2	
	Dégradation des habitats et perte de la biodiversité	Risque	2	2	3
		Aléa	1	3	4
		Vulnérabilité		3	
		Exposition		2	
	Réduction des zones et activités de pêche (Estran)	Risque	2	2	2
		Aléa	1	3	5
		Vulnérabilité		3	
		Exposition		1	
Risque sanitaire d'invasion biologique	Risque	2	3	3	
	Aléa	1	3	4	
	Vulnérabilité		4		
	Exposition		2		
Sud	Déclin de la production halieutique	Risque	3	4	4
		Aléa	1	2	4
		Vulnérabilité		4	
		Exposition		5	
	Dégradation des habitats et perte de la biodiversité	Risque	3	4	4
		Aléa	1	2	4
		Vulnérabilité		4	
		Exposition		5	
	Réduction des zones et activités de pêche (Estran)	Risque	3	4	5
		Aléa	1	3	5
		Vulnérabilité		4	
		Exposition		3	
Risque sanitaire d'invasion biologique	Risque	3	4	5	
	Aléa	1	2	4	
	Vulnérabilité		5		
	Exposition		5		

## 12 Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas

### 12.1 Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas pour les céréales

Afin d'évaluer la survenue des aléas climatiques affectant la céréaliculture aux horizons 2050 et 2100, nous avons sélectionné les indicateurs spécifiques à ce secteur parmi les indicateurs agroclimatiques présentés dans la partie II. Nous avons ainsi identifié 6 indicateurs permettant de décrire la survenue des aléas affectant la production céréalière, qui sont présentés dans le tableau suivant.

Aléas	Indicateurs	Tendances des indicateurs définissant la survenue des aléas
Stress hydrique	Le bilan hydrique d'octobre à mai qui est un indicateur clé pour la prévision des rendements du blé dur, du blé tendre et de l'orge	Bilan hydrique déficitaire
Gel printanier	Le nombre de jour de gel printanier qui est plus rare que le gel hivernal mais coïncide avec le stade épis 1 cm du blé	Plus de jours de gel printanier
Avancement du cycle de développement	La date de montaison du blé qui comprend le stade épis 1 cm très sensible au gel	Date de montaison du blé avancée
	La date de maturation du blé qui détermine la date des moissons	Date de maturation du blé avancée
Hiver doux	La température moyenne hivernale qui définit les hivers doux, marqués notamment par l'absence de gelées et pouvant entraîner un non-nettoyage des maladies et ravageurs	Température moyenne hivernale plus élevée
Échaudage	Le nombre de jours échaudant menant à une altération du remplissage des grains de céréales	Plus de jours échaudant

**Tableau 41: Indicateurs de survenue des aléas affectant la céréaliculture.**

## 12.2 Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas pour la culture de l'olivier

Afin d'évaluer la survenue des aléas climatiques affectant l'oléiculture aux horizons 2050 et 2100, nous avons sélectionné les indicateurs spécifiques à ce secteur parmi les indicateurs agroclimatiques présentés dans la partie II. Nous avons ainsi identifié 5 indicateurs permettant de décrire la survenue des aléas affectant la production oléicole, qui sont présentés dans le tableau suivant.

Aléas	Indicateurs	Tendances des indicateurs définissant la survenue des aléas
Stress hydrique	Le bilan hydrique d'octobre à mai qui est un indicateur clé pour la prévision des rendements des oliviers	Bilan hydrique déficitaire
Gel printanier	Le nombre de jour de gel printanier qui est plus rare que le gel hivernal mais mène à une dégradation de la floraison	Plus de jours de gel printanier
Journées de canicule	Le nombre de jours de canicule, pouvant être à l'origine d'un arrêt de la croissance et du dessèchement des fruits	Plus de jours de canicule
Hiver doux	La température moyenne hivernale définit les hivers doux, marqués notamment par l'absence de gelées et pouvant entraîner une baisse qualitative et quantitative de la floraison ainsi qu'un non-nettoyage des maladies et ravageurs	Température moyenne hivernale plus élevée
Peu de jours frais	Le nombre de jours frais ( $T_{moy} < 12^{\circ}\text{C}$ ) entre décembre et avril définit la date de satisfaction des besoins en froid de l'olivier qui nécessite au moins 30 jours frais	Moins de jours frais

**Tableau 42: Indicateurs de la survenue des aléas affectant l'oléiculture et lien entre leur tendance et la survenue des aléas.**

## 12.3 Indicateurs agroclimatiques et probabilité d'occurrence des aléas pour les parcours

Afin d'évaluer la survenue des aléas climatiques affectant les activités pastorales aux horizons 2050 et 2100, nous avons sélectionné les indicateurs spécifiques à ce secteur parmi les indicateurs agroclimatiques présentés dans la partie II. Sept indicateurs permettant de décrire la survenue des aléas affectant l'élevage sur parcours, sont présentés dans le tableau suivant.

Aléas	Indicateurs	Tendances des indicateurs définissant la survenue des aléas
Stress hydrique	<b>Le bilan hydrique</b> d'octobre à mai est un indicateur clé pour la prévision des rendements en fourrage	Bilan hydrique déficitaire
Faibles précipitations	<b>Les précipitations d'octobre à mai</b> participent à l'approvisionnement en eau des cultures et des animaux	Baisse des précipitations
Journées de canicule	<b>Le nombre de jours de canicule</b> cause un stress thermique, avec un risque de mortalité accrue	Plus de jours de canicule
Hiver doux	<b>La température moyenne hivernale</b> définit les hivers doux, marqués par l'absence de gelées et pouvant entraîner un non-nettoyage des maladies et ravageurs	Température moyenne hivernale plus élevée
Longue période entre 2 pluies efficaces	<b>Le nombre de jours entre deux pluies efficaces &gt; 10 mm</b> : un intervalle trop grand peut mener à un faux démarrage du cycle de croissance de la végétation	Augmentation de la période entre 2 pluies efficaces
Pluviométrie non favorable à la végétation	<b>L'Indice de répartition pluviométrique</b> détermine si la pluviométrie est favorable à la croissance de la végétation	Indice de répartition pluviométrique défavorable à la végétation
Courte période de croissance végétative	<b>La longueur de la période de croissance végétative</b> correspond à un bilan hydrique positif, permettant à la végétation d'exploiter les ressources en eau du sol	Diminution de la période de croissance végétative

**Tableau 43 : Indicateurs de la survenue des aléas affectant les activités pastorales et lien entre leur tendance et la survenue des aléas.**

## 12.4 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 5 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.

Aléas	Indicateurs	Tendances de la survenue des aléas
Stress thermique	<b>La température des eaux de surface de la mer</b> est un indicateur fiable pour la prévision des rendements des ressources halieutiques (poissons et autres espèces à affinités chaudes ou froides)	Élévation soutenue des températures marines côtières Thermocline de plus en plus profonde
Vagues de chaleur	<b>Le nombre de jour successifs où la température des eaux de surface</b> dépasse le seuil critique de tolérance des espèces marine et qui coïncide avec des mortalités massives des ressources halieutiques	Augmentation du nombre de jours de températures extrêmes
Élévation du Niveau de la Mer (ENM)	<b>L'avancée de la mer</b> qui inonde la frange littorale, réduit l'estran (zone exploitée par la pêche côtière) et accentue la salinisation des nappes d'eau souterraine côtière.	Progression accélérée du niveau de la mer surtout dans les régions de basses altitudes (golfe de Gabès)
Fortes tempêtes	<b>Les Bulletins Météorologiques Spéciaux (BMS)</b> qui correspondent aux périodes où l'activité de pêche est impraticable à cause du mauvais temps et entraîne une baisse des captures halieutiques	Augmentation du nombre de périodes donnant lieu à un BMS
Acidification	<b>La qualité des eaux (mesure du pH)</b> menant à une altération des espèces marines à structure calcaire comme les coquillages	Paramètre abiotique en augmentation (0,04 unité pH/an)

**Tableau 44 : Indicateurs de la survenue des aléas affectant l'activité de pêche maritime et tendance dans la survenue des aléas.**

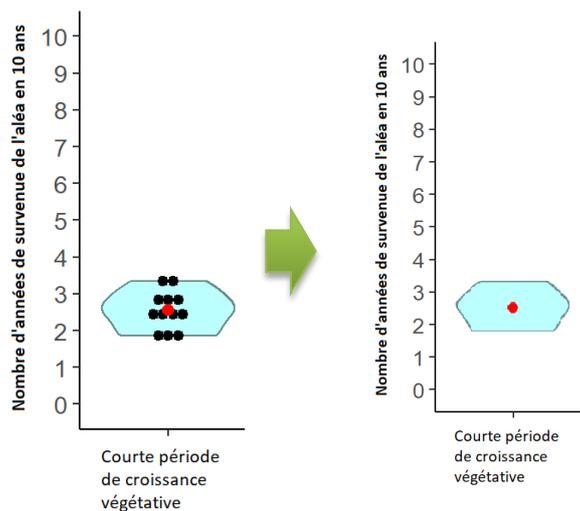
## 13 Projections d'évolution de la fréquence de survenue des aléas par gouvernorat

Pour chaque gouvernorat, un graphique a été réalisé représentant la survenue de l'aléa de chaque indicateur agroclimatique sur 10 ans, pour les horizons futurs (2050 et 2100) pour chacun des scénarios RCP4.5 et RCP8.5. La survenue de l'aléa pour un indicateur agroclimatique a été définie comme la valeur atteinte par cet indicateur une fois tous les 10 ans sous le climat de la période de référence.

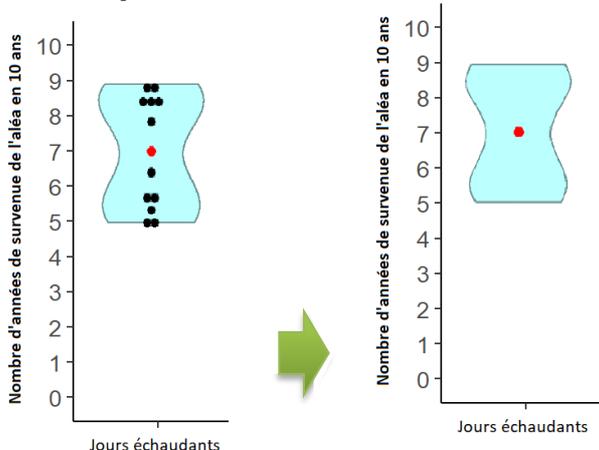
Plusieurs modèles étant utilisés pour évaluer l'occurrence de chaque aléa sur 10 ans, la forme en violon permet de visualiser le niveau de convergence entre les modèles. La médiane multimodèle est représentée par un point rouge. L'explication de la forme du violon est donnée dans l'encadré suivant.

### Encadré 1 : Représentation du niveau de convergence des modèles par un graphique en violon

Pour chaque aléa, la forme en violon permet de représenter la **distribution de l'ensemble des modèles climatiques** et donc le **niveau d'incertitude** pour l'évaluation de la survenue des aléas futurs. Les figures ci-dessous illustrent la correspondance entre les valeurs de survenue d'aléa obtenues avec les modèles et la forme en violon qui en résulte. Dans les figures de gauche, les points noirs représentent les valeurs de survenue d'aléa modélisées.



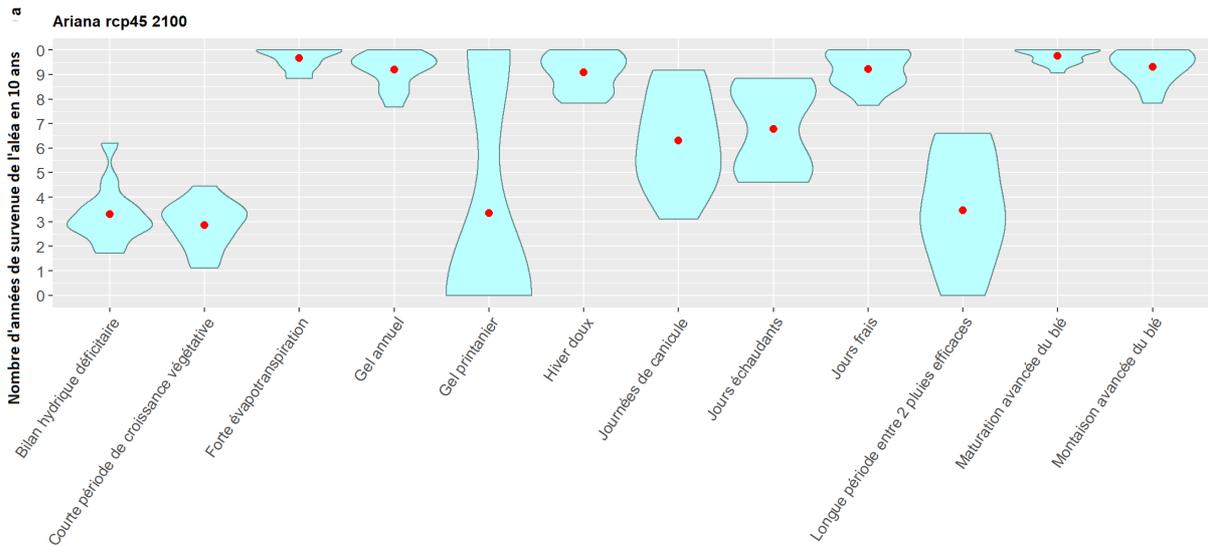
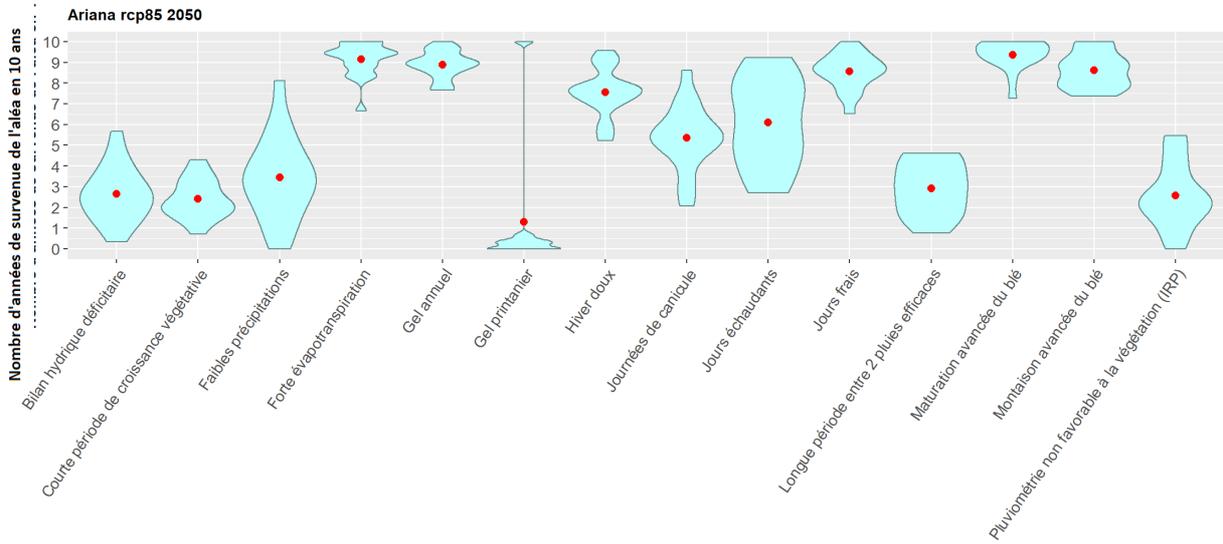
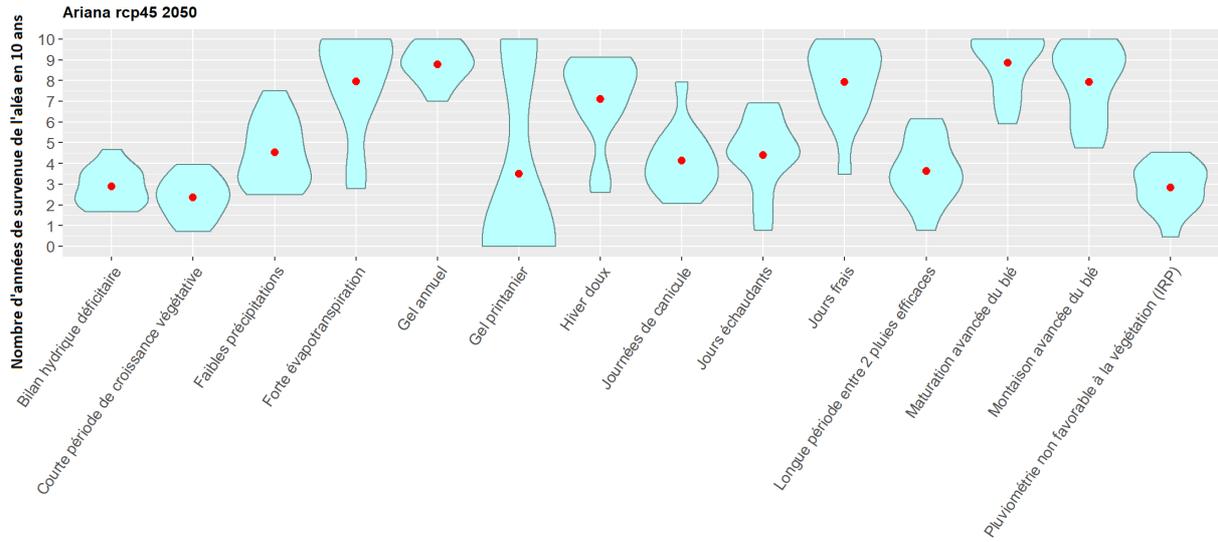
Dans ce premier exemple, les points de l'ensemble des modèles sont regroupés autour d'une même valeur. Le violon qui en résulte est donc plus large au centre car la majorité des points des modèles se situent à cet endroit, et il est plus fin au niveau de ses extrémités inférieure et supérieure. **Cette forme de violon illustre une bonne convergence entre l'ensemble des modèles.**

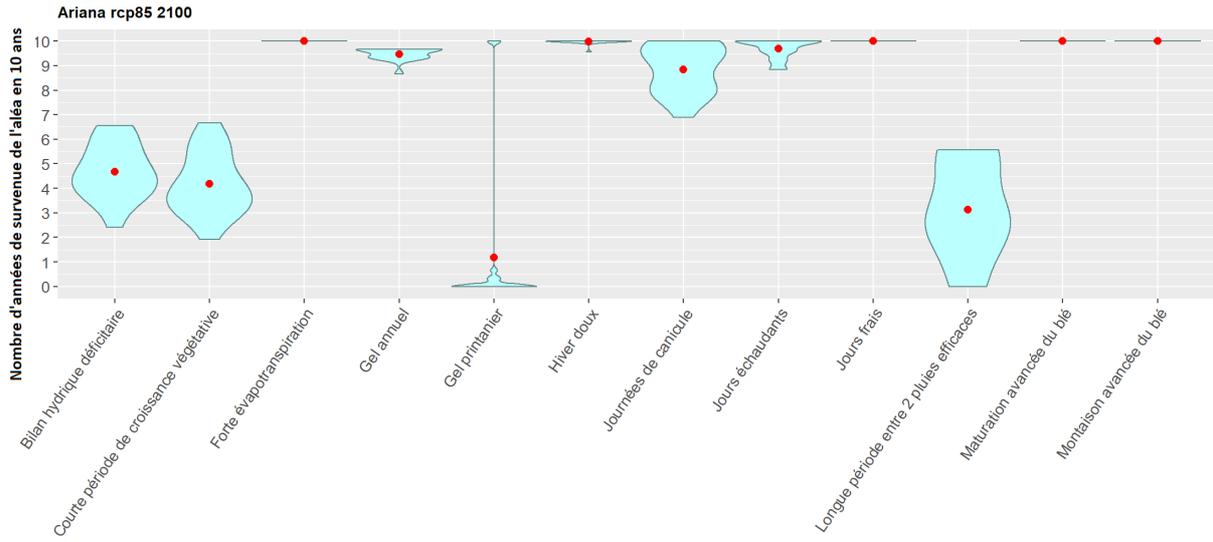


Dans ce second exemple, les points des modèles forment deux groupes éloignés (autours des valeurs 8.5 et 5.5). Le violon qui en résulte est donc plus large au niveau des valeurs où sont situés les 2 groupes, et il est plus fin au niveau du centre. **Cette forme de violon illustre un faible niveau de convergence entre les modèles.**

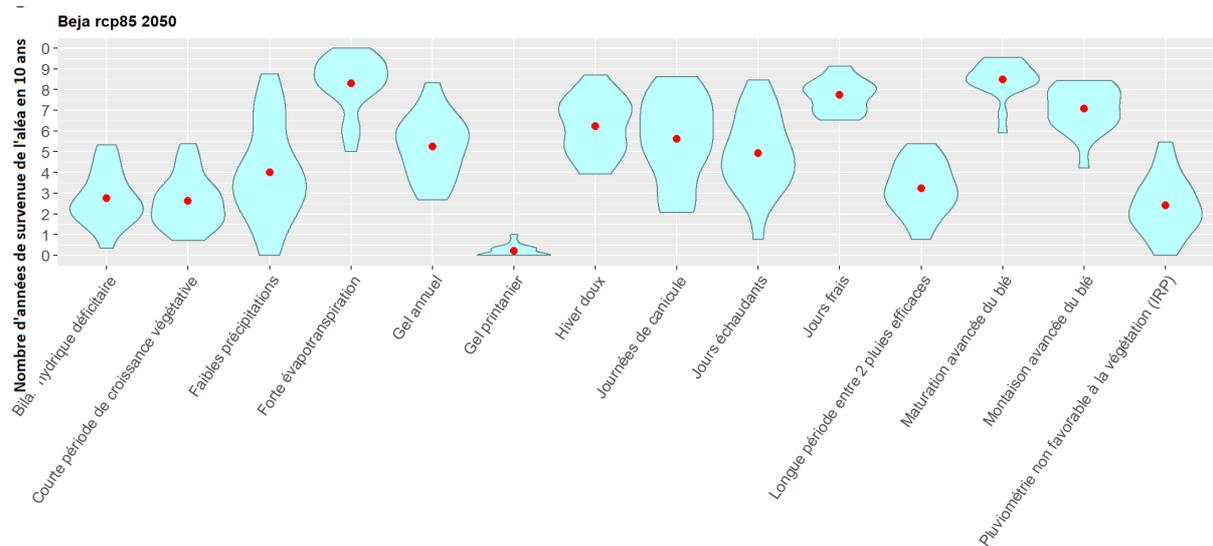
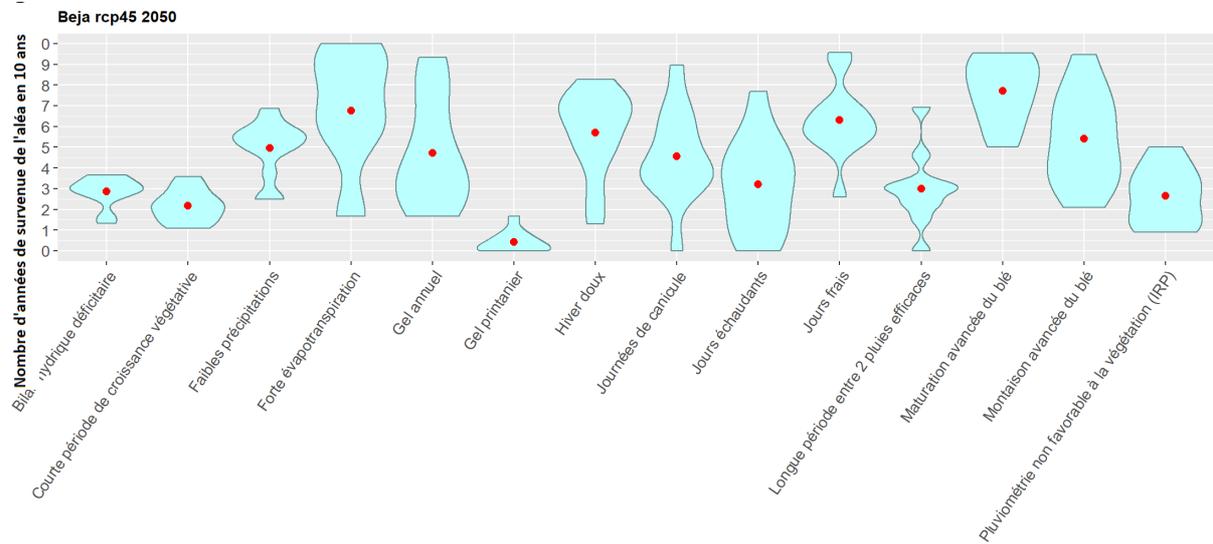
**Une bonne convergence de l'ensemble des modèles permet de réduire les incertitudes autour de la valeur de la fréquence de survenue de l'aléa attendue pour les horizons futurs.**

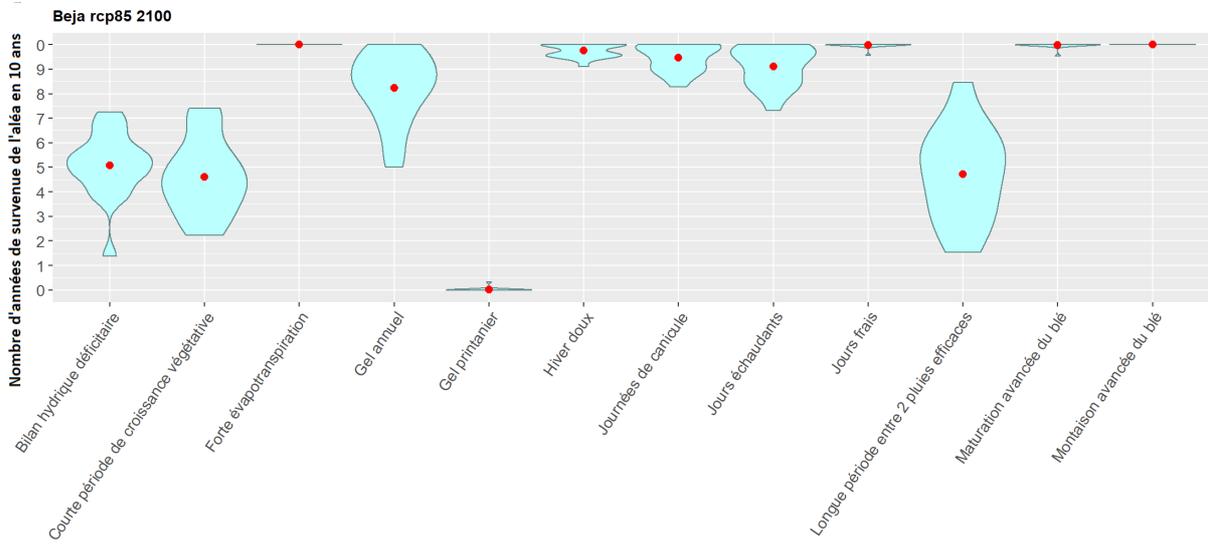
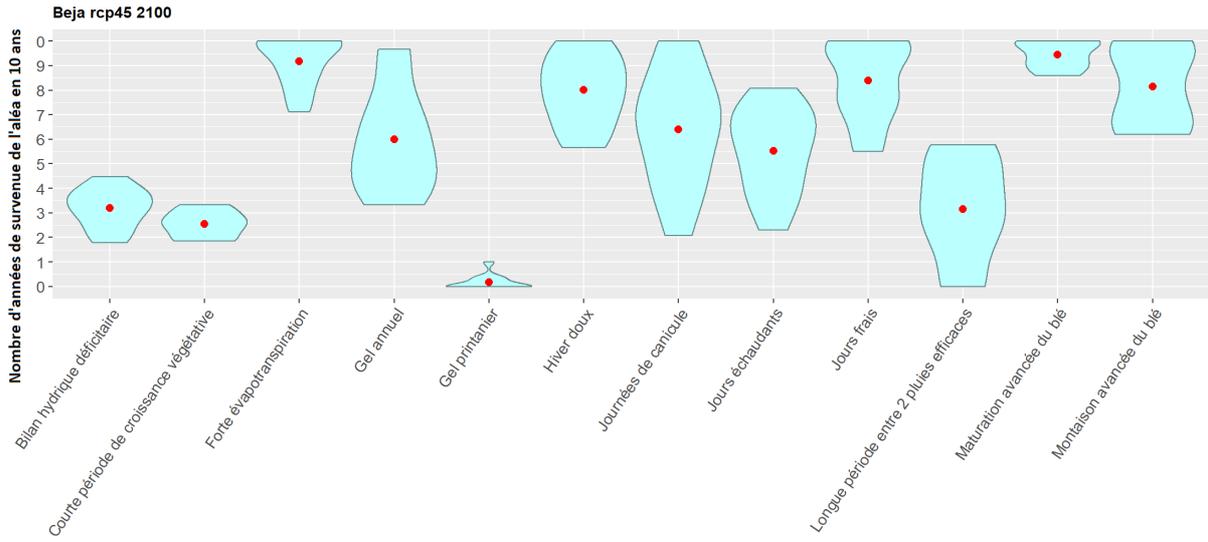
# 13.1 Ariana



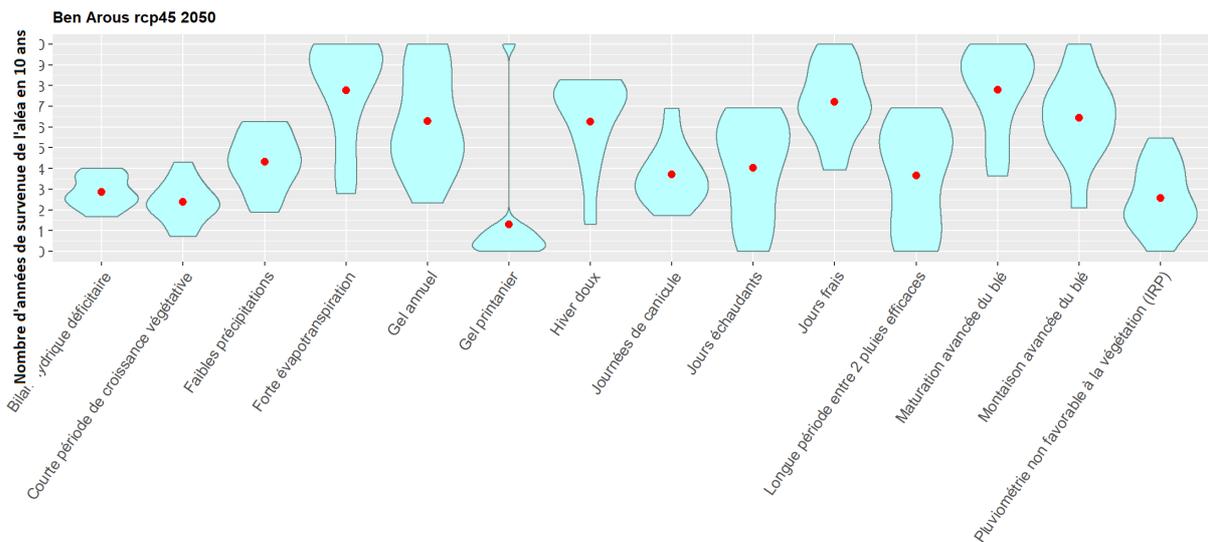


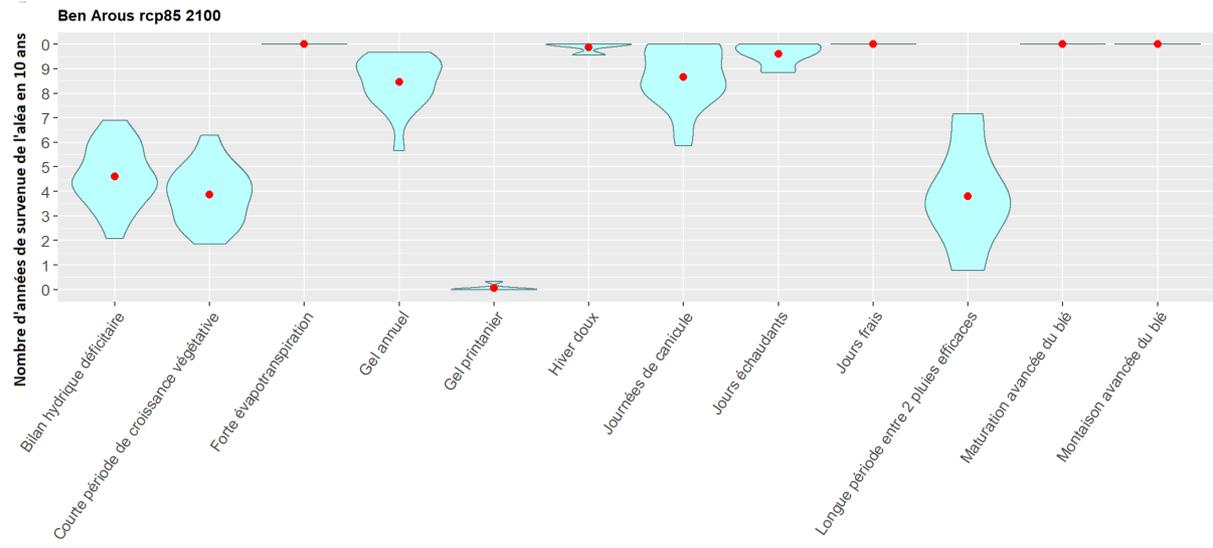
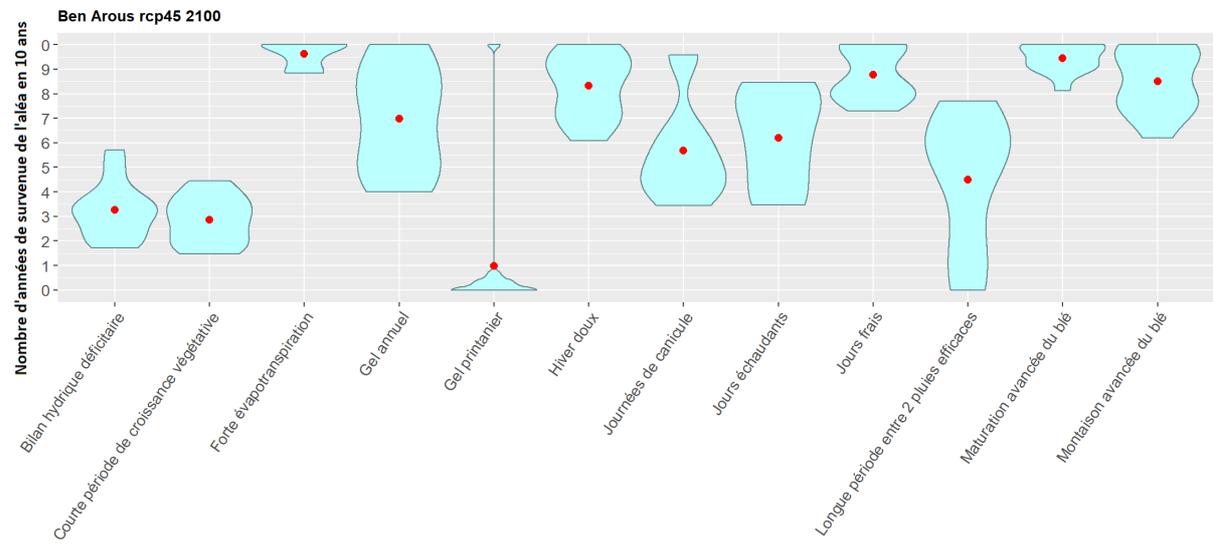
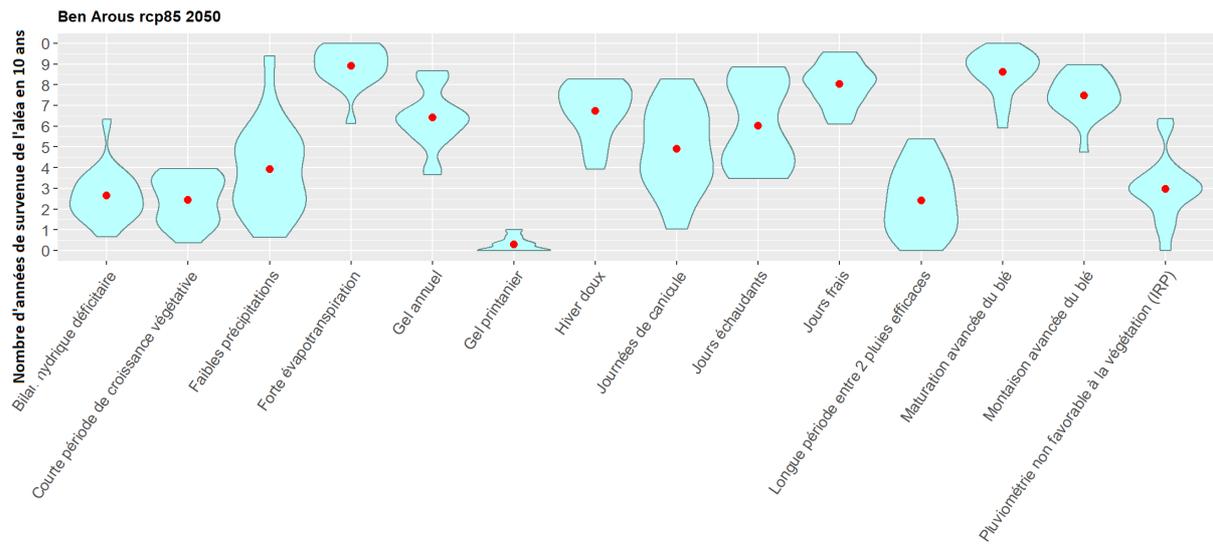
## 13.2 Béja



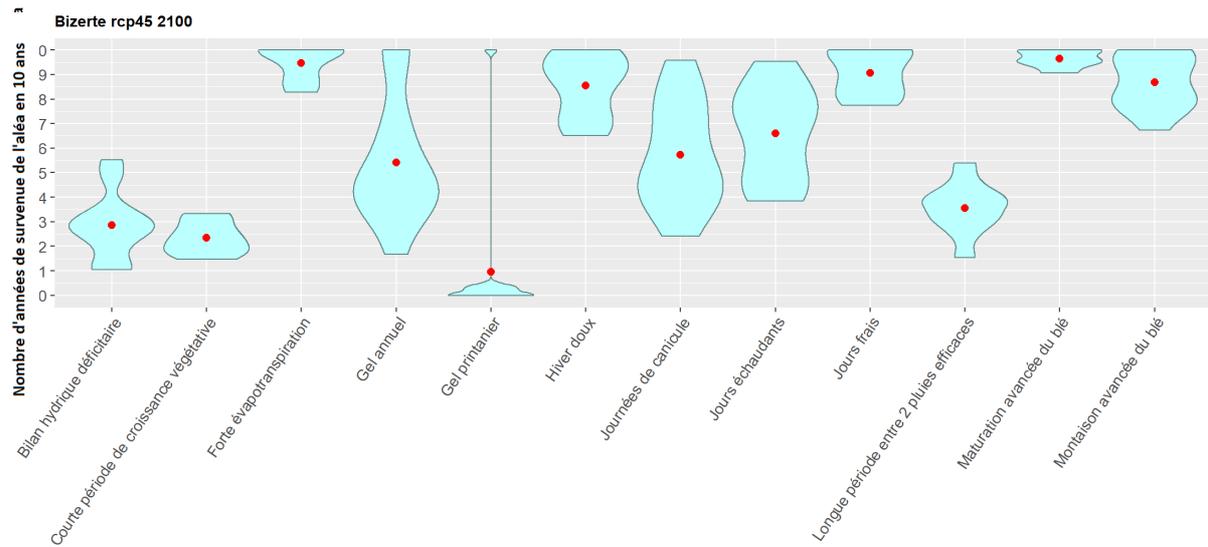
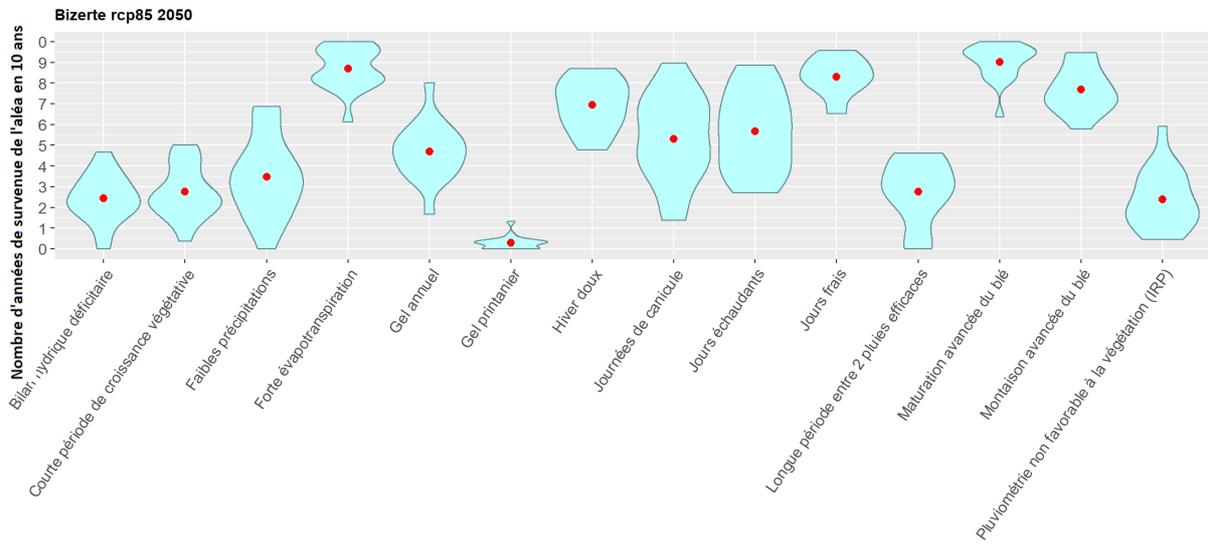
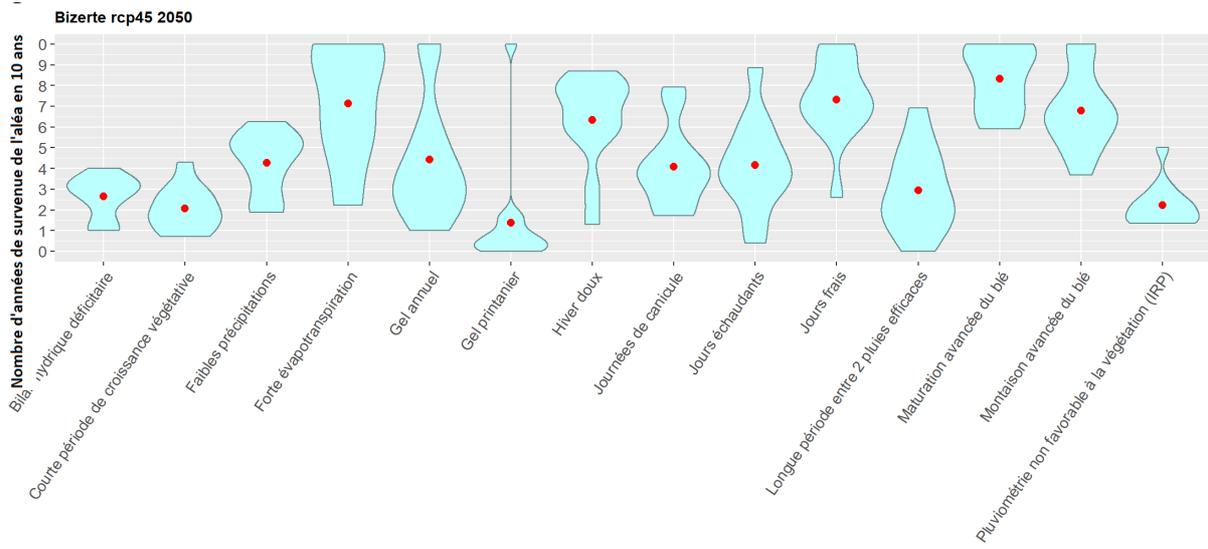


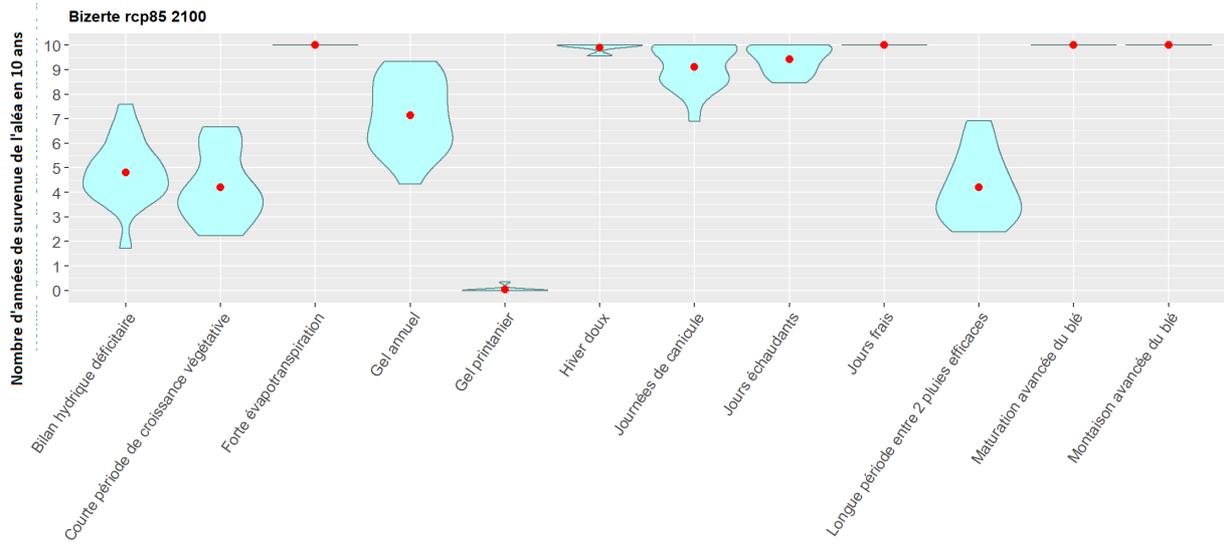
### 13.3 Ben Arous



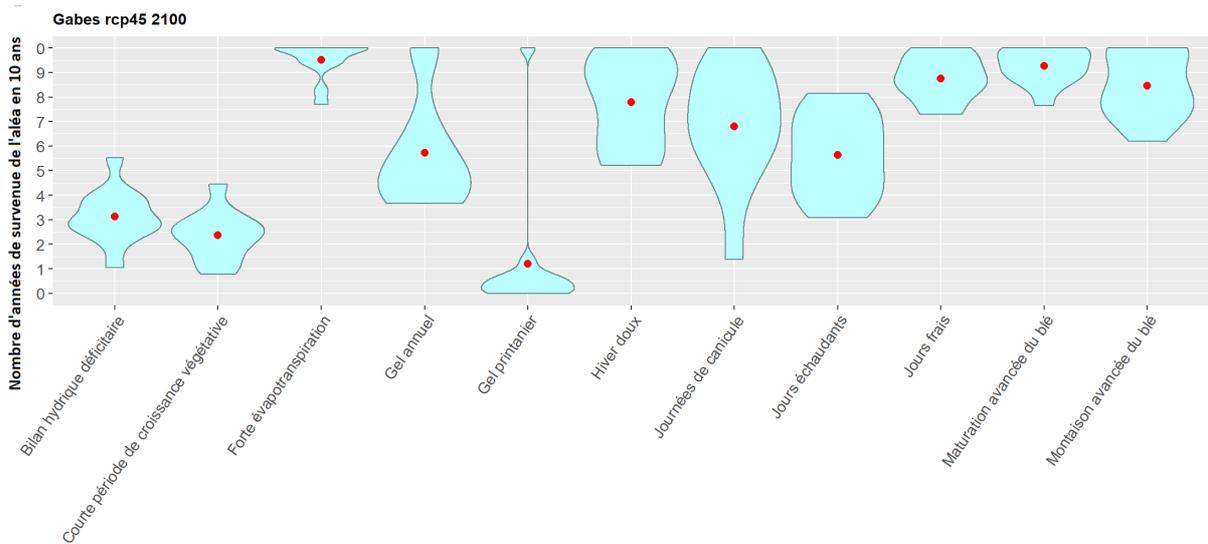
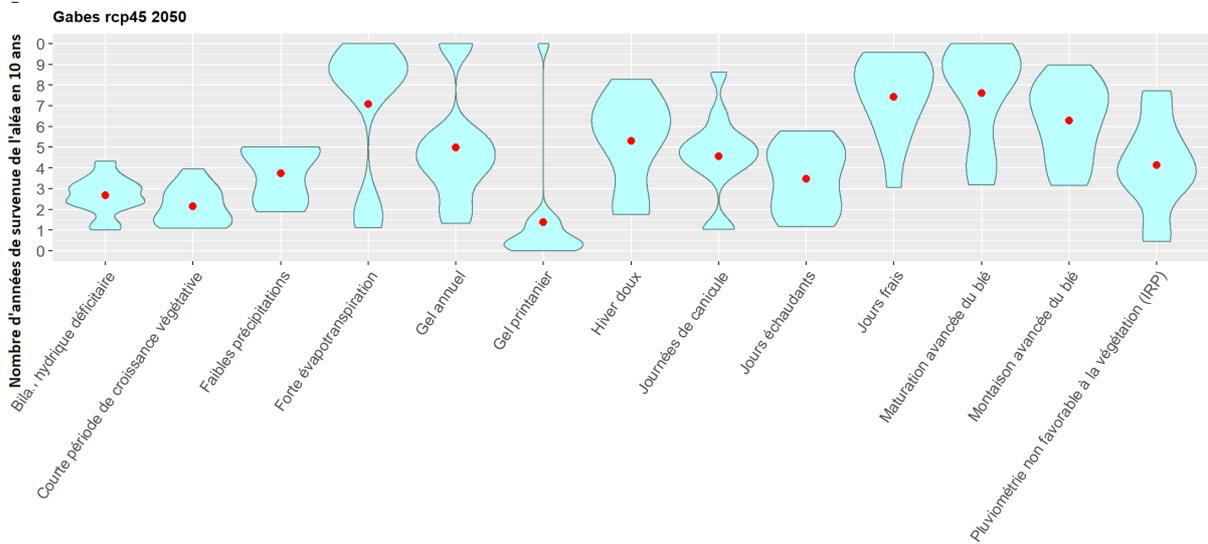


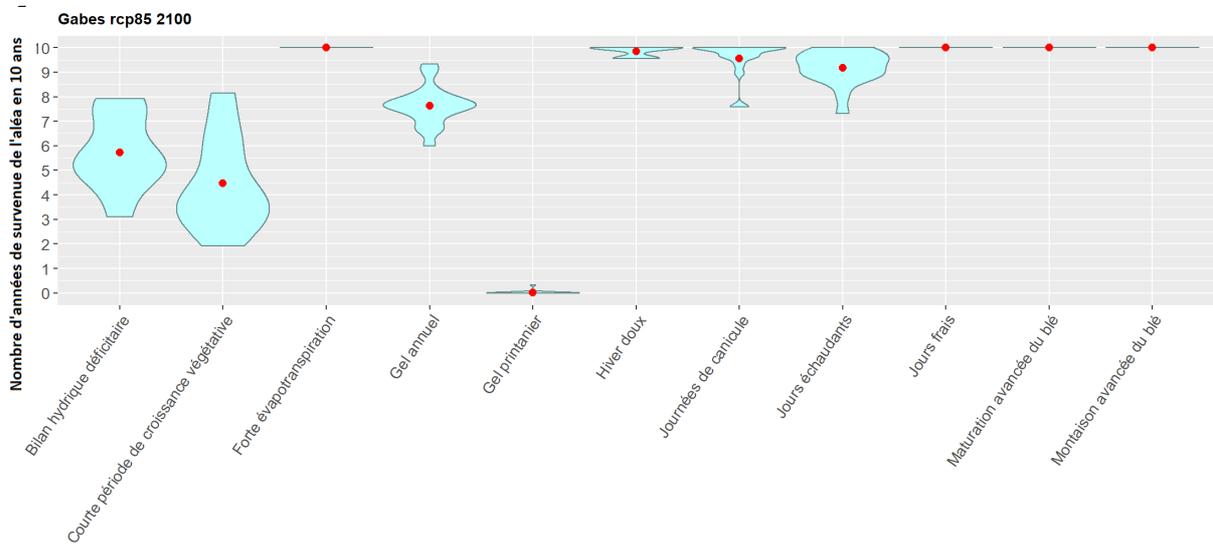
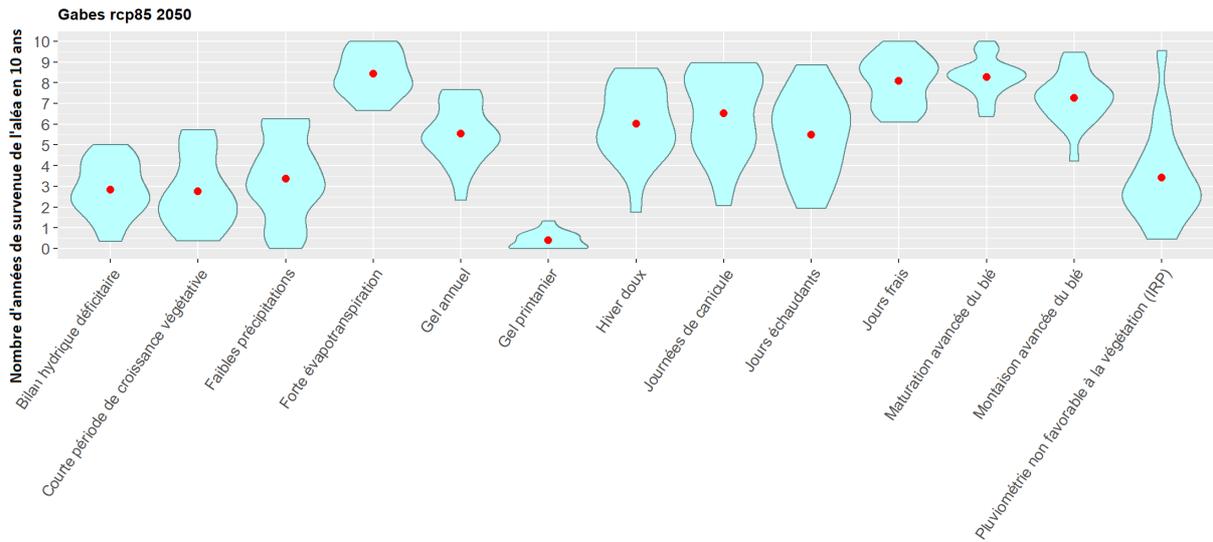
## 13.4 Bizerte



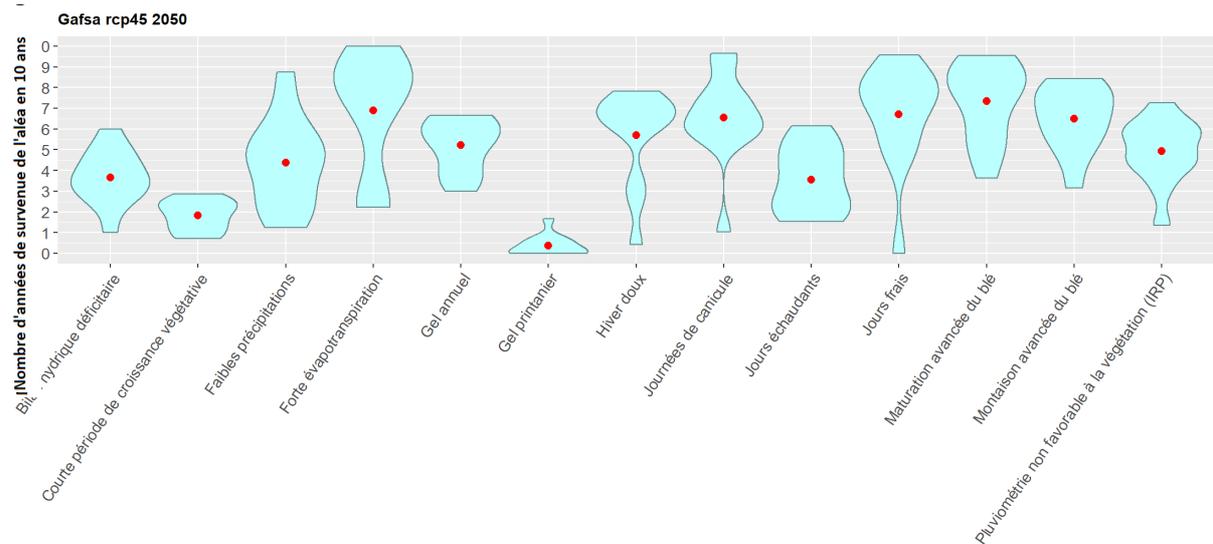


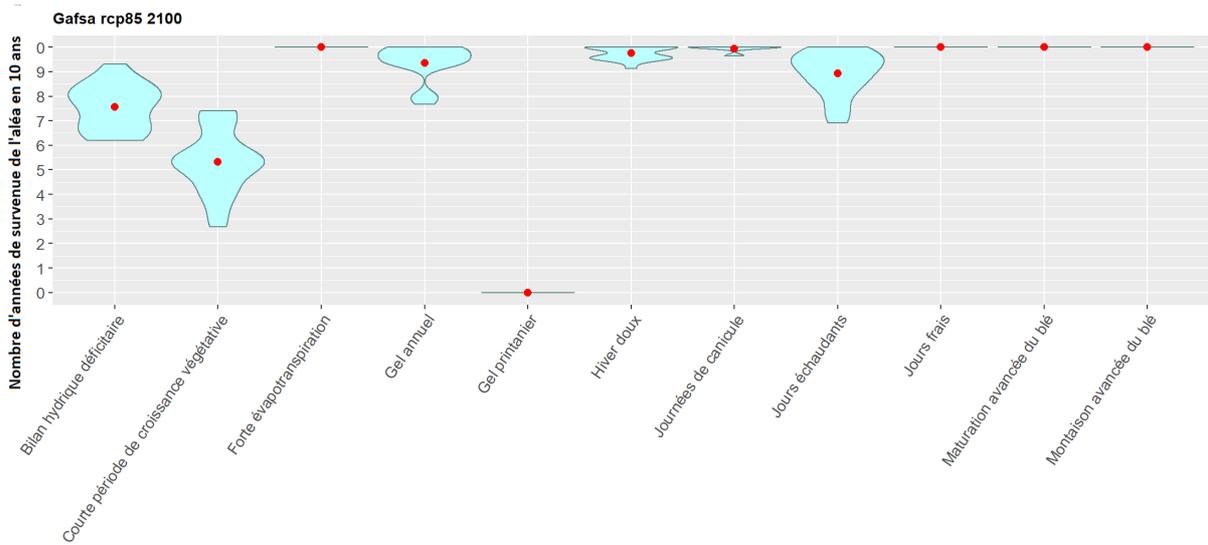
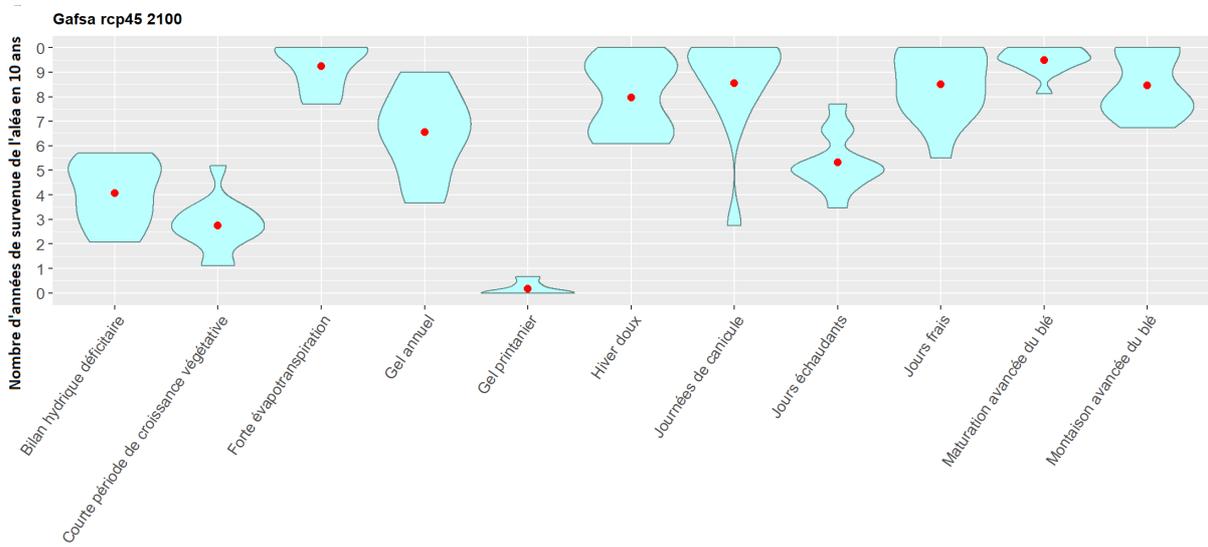
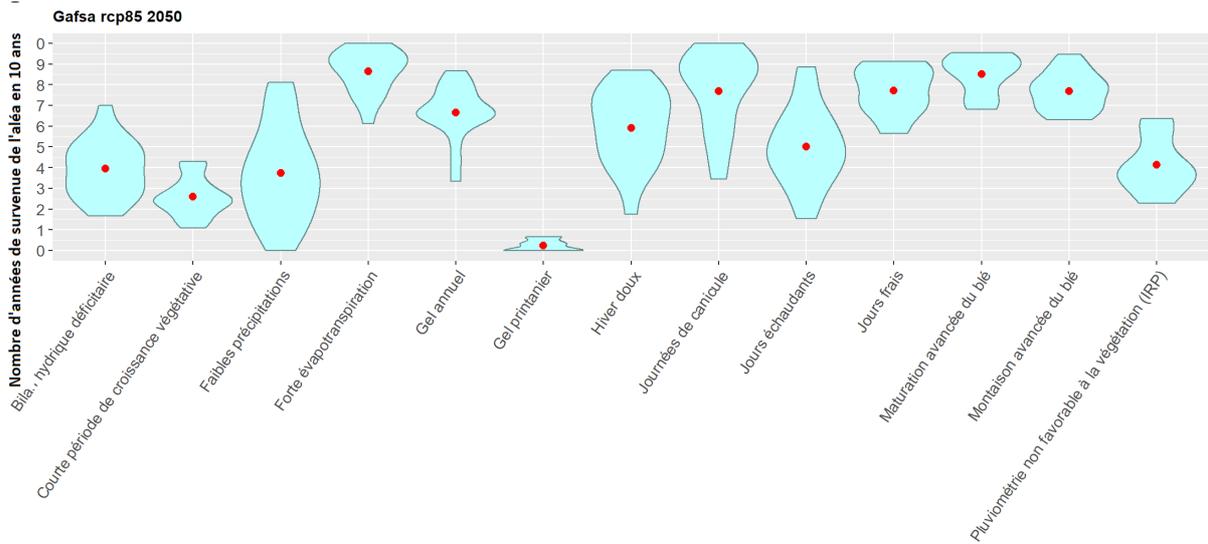
## 13.5 Gabès



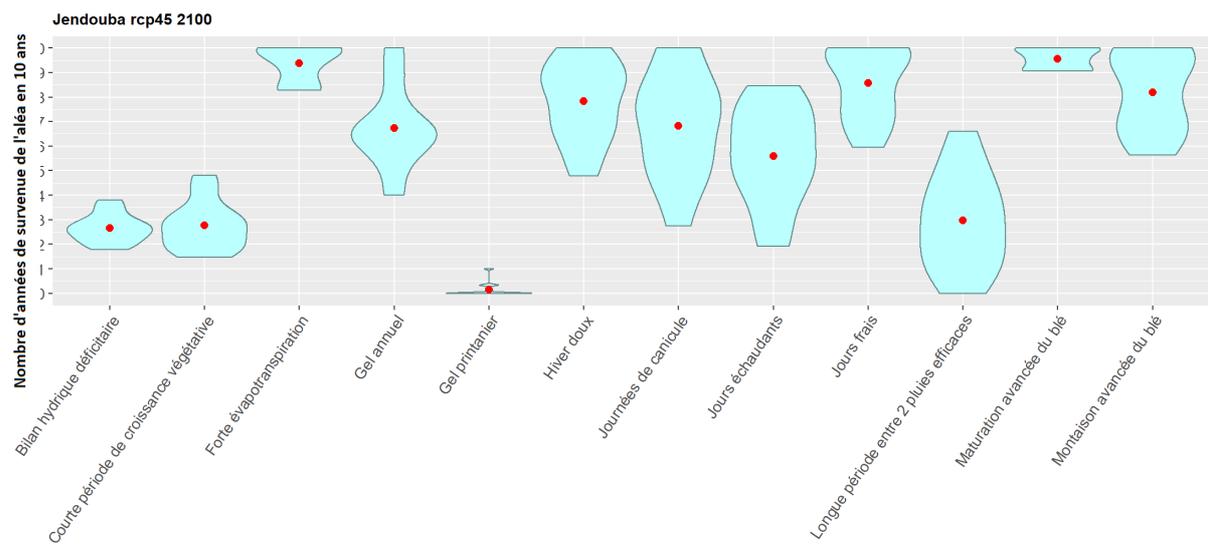
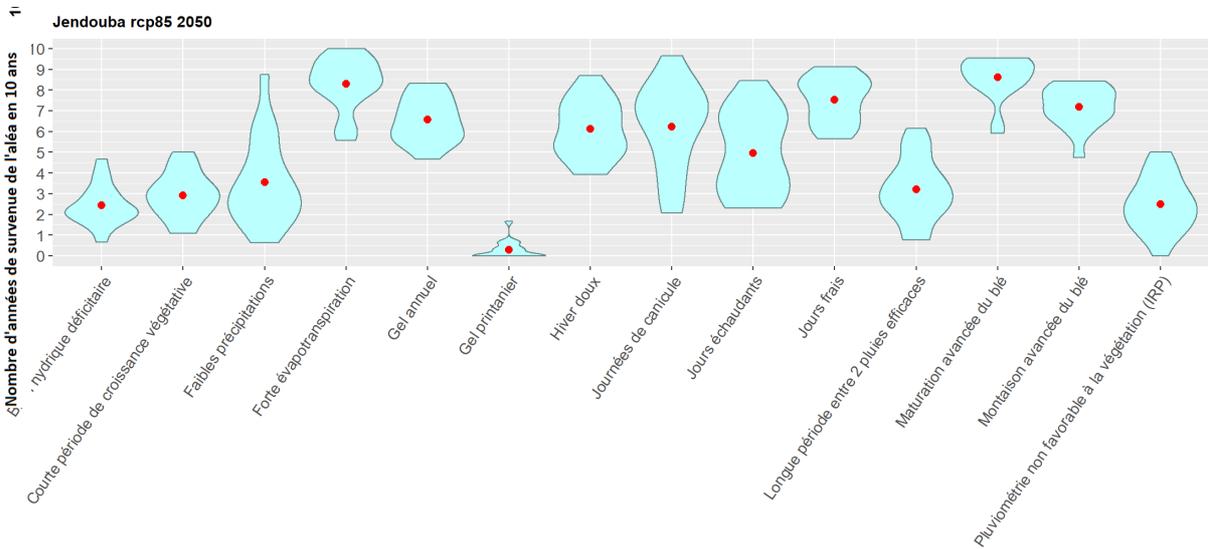
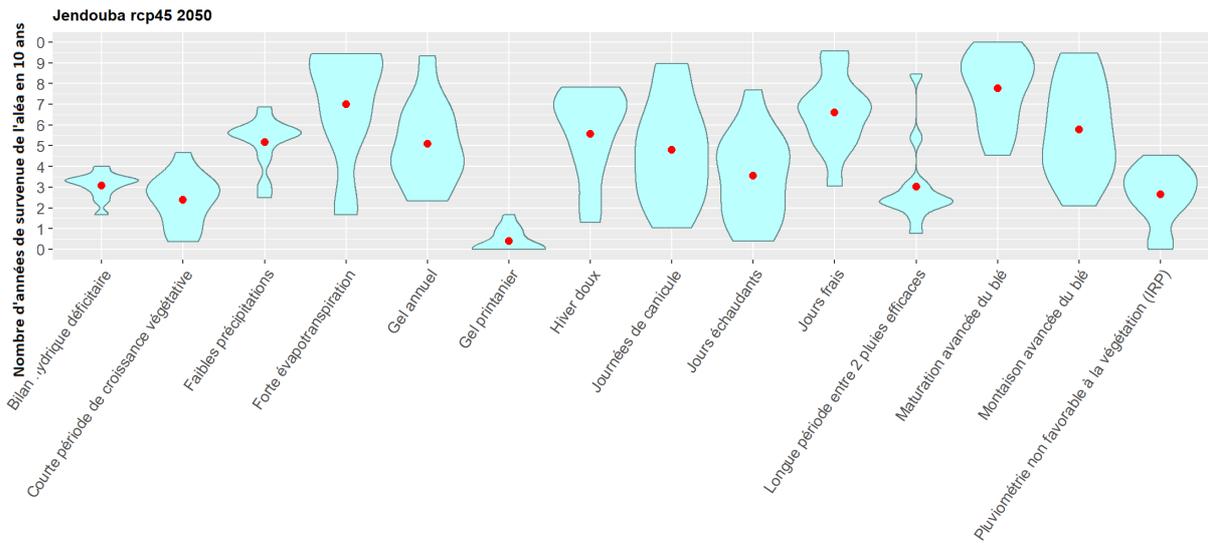


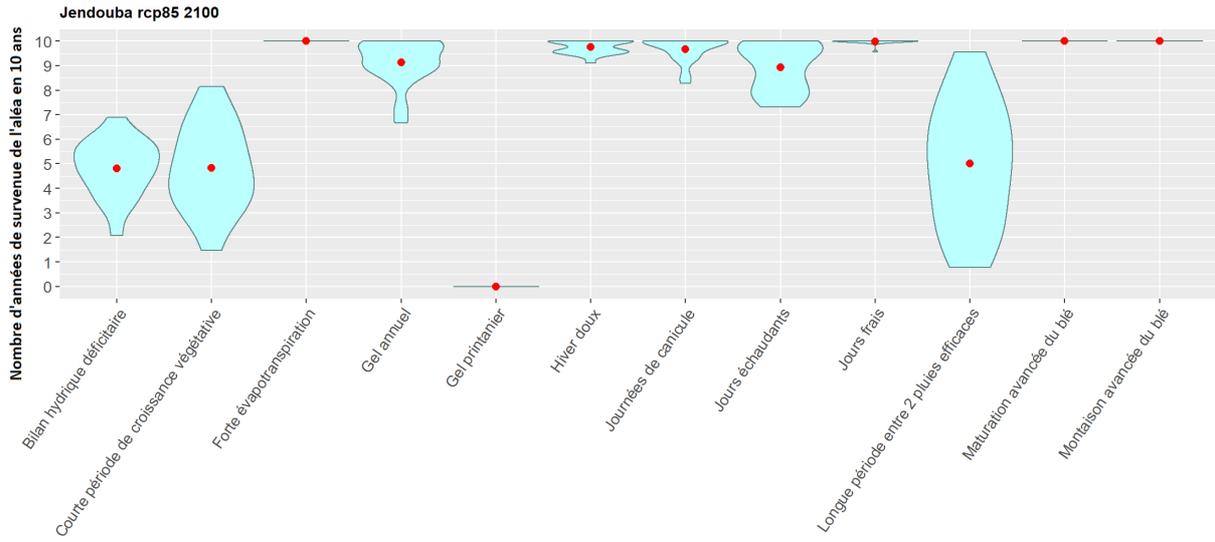
## 13.6 Gafsa



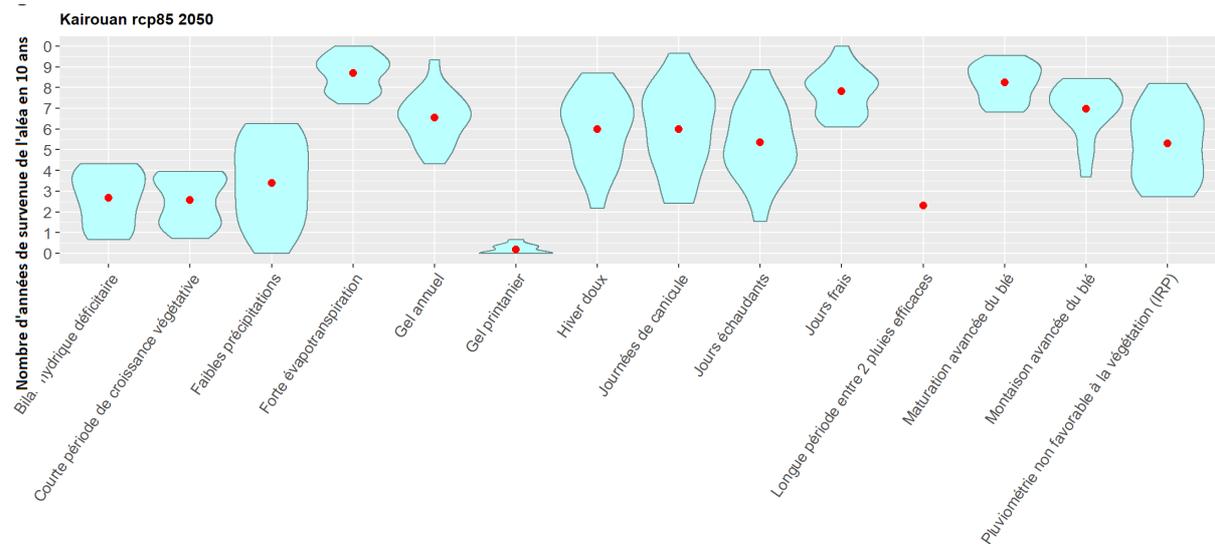
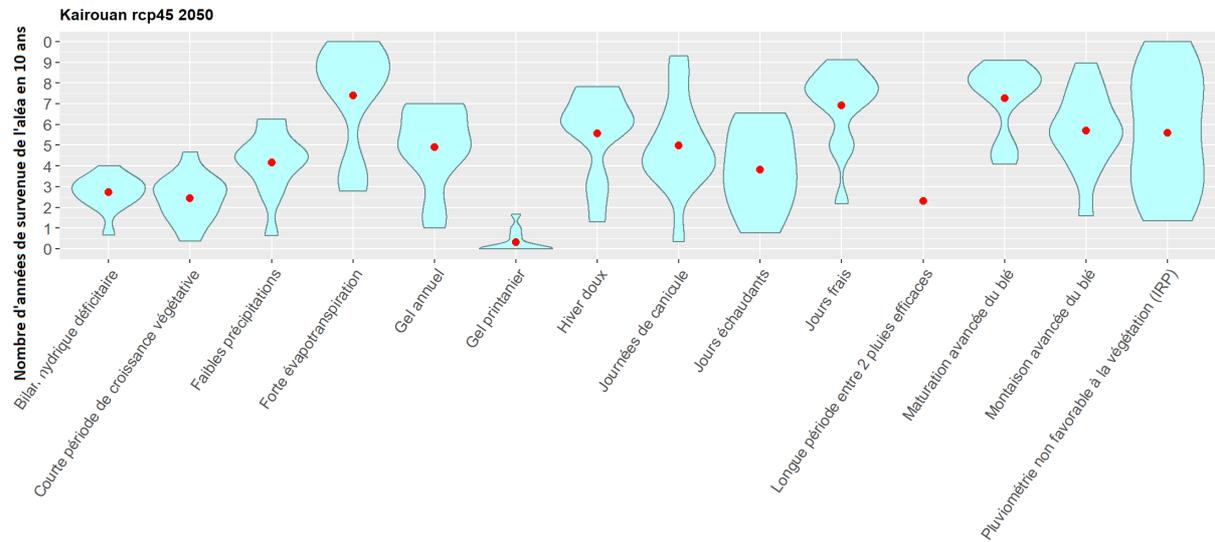


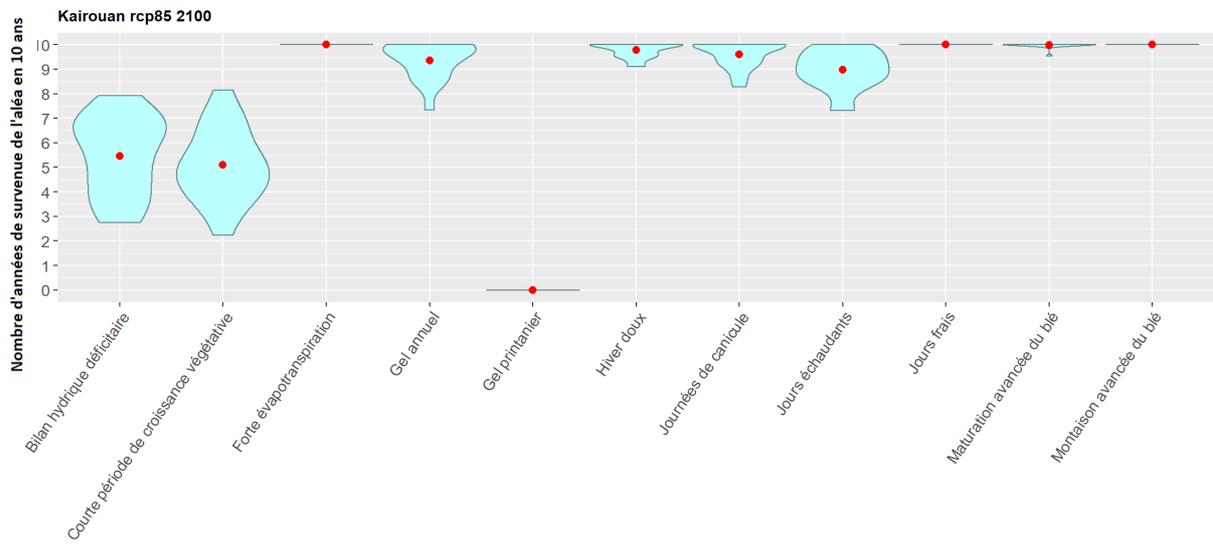
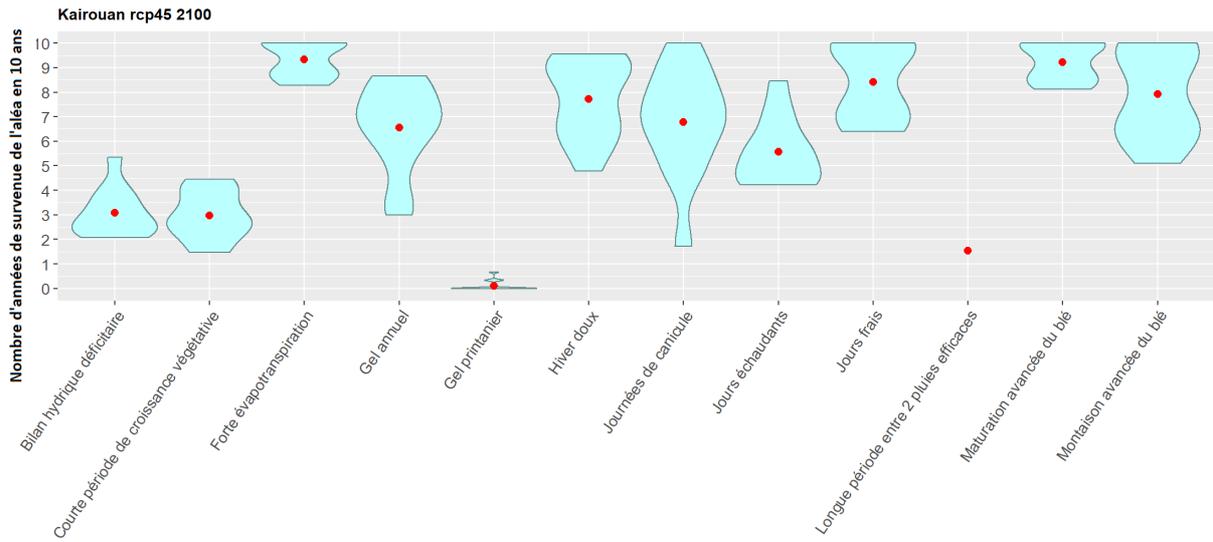
# 13.7 Jendouba



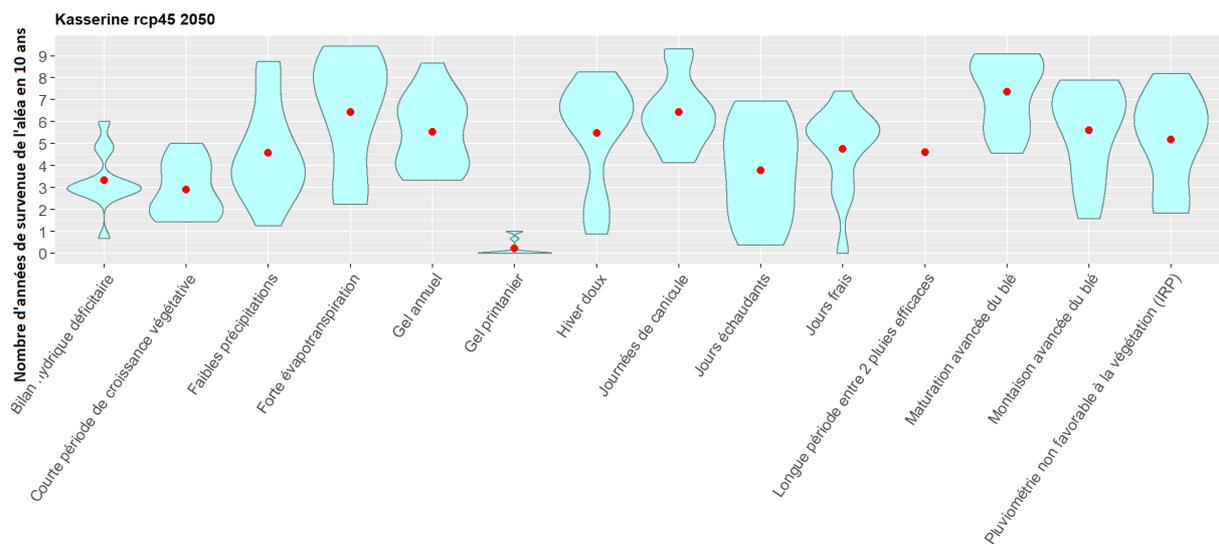


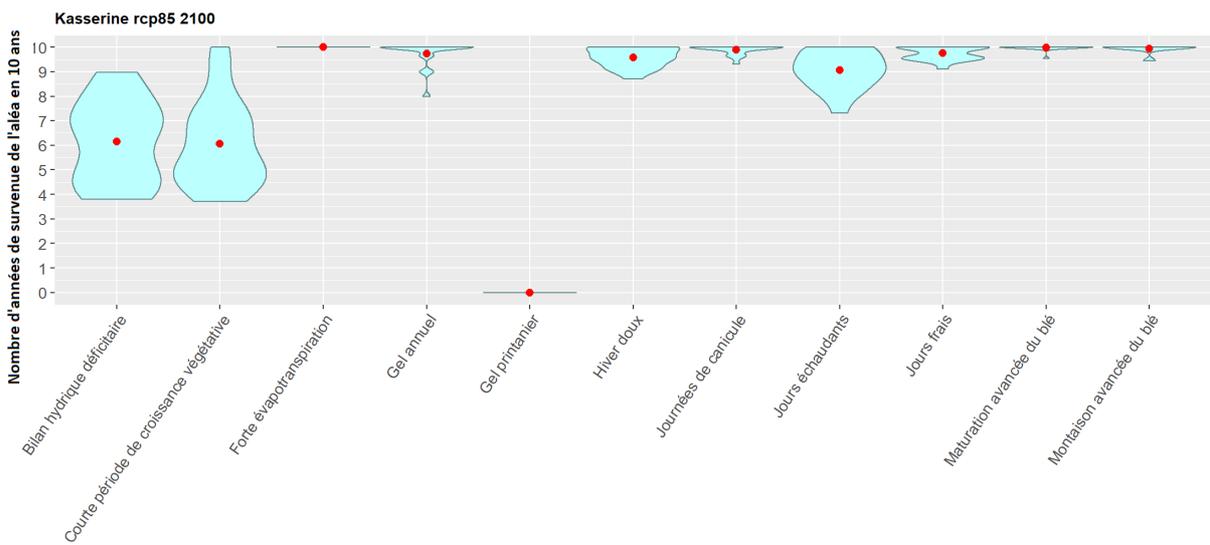
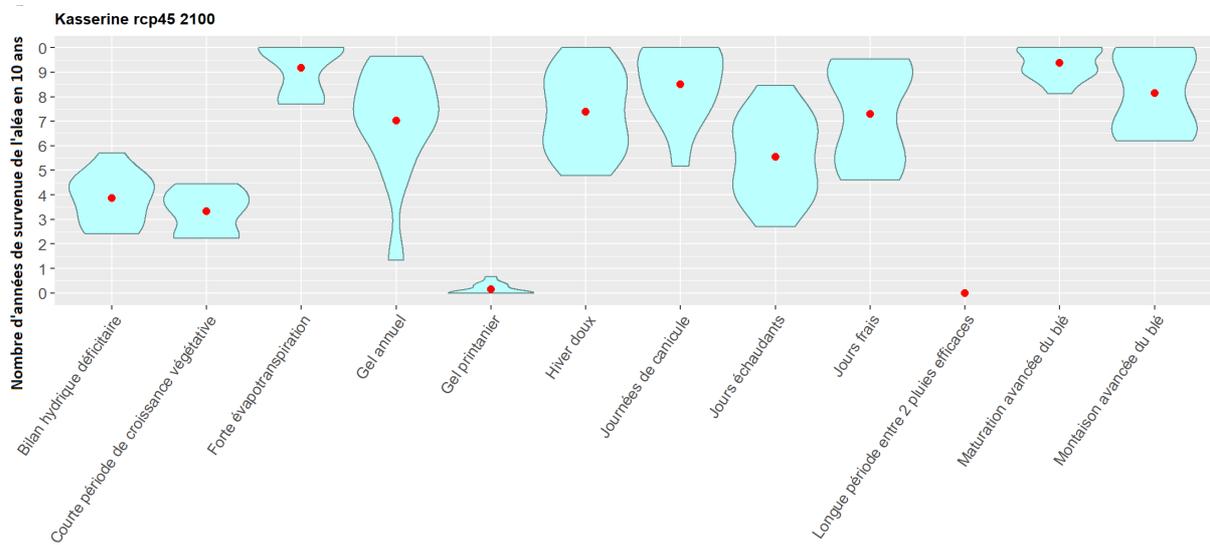
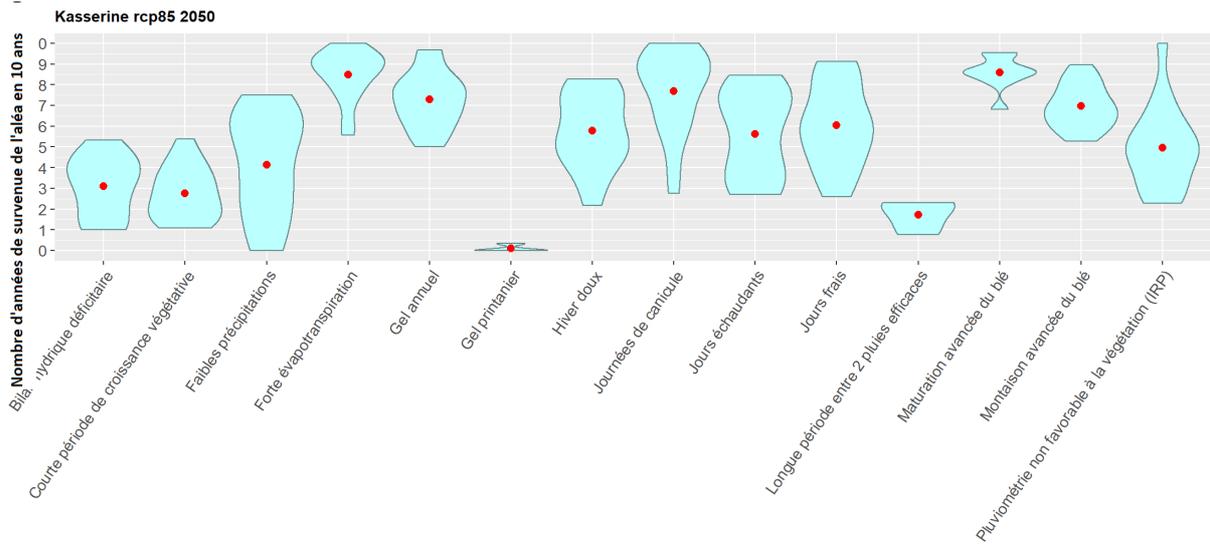
## 13.8 Kairouan



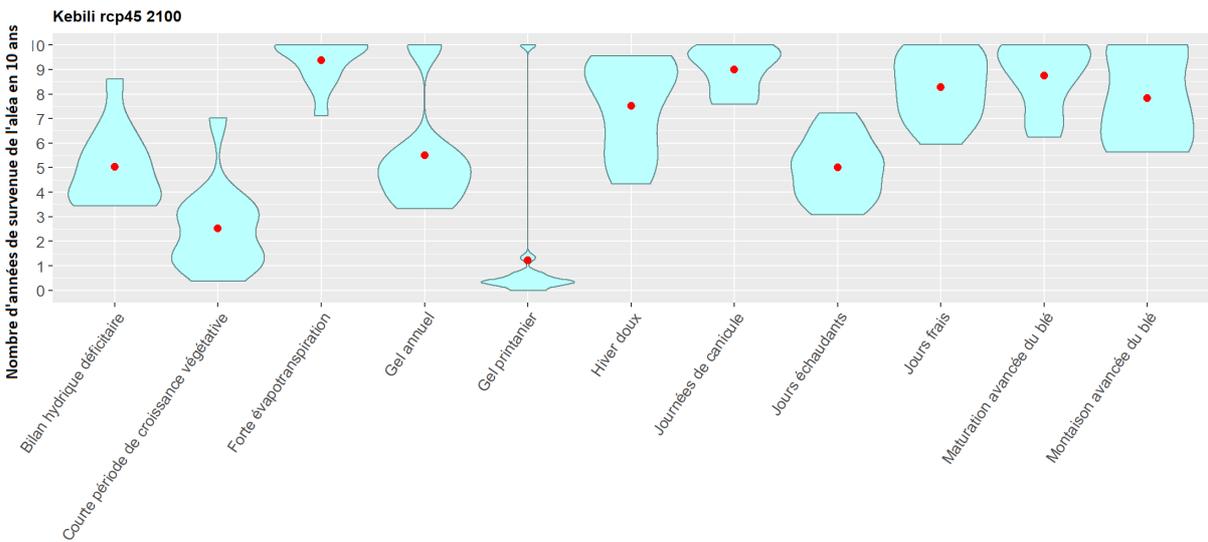
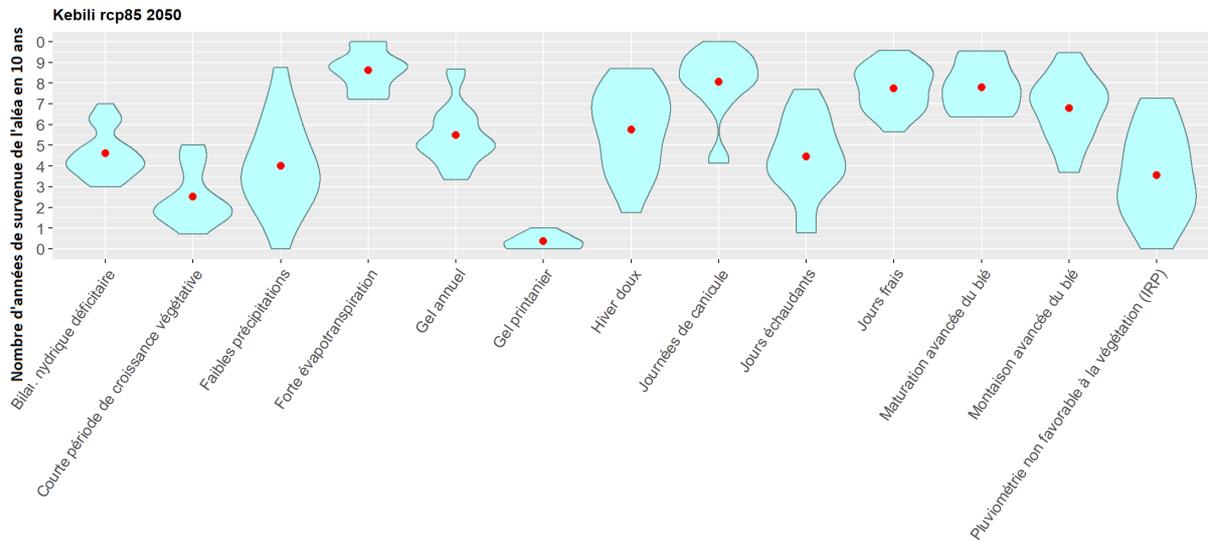
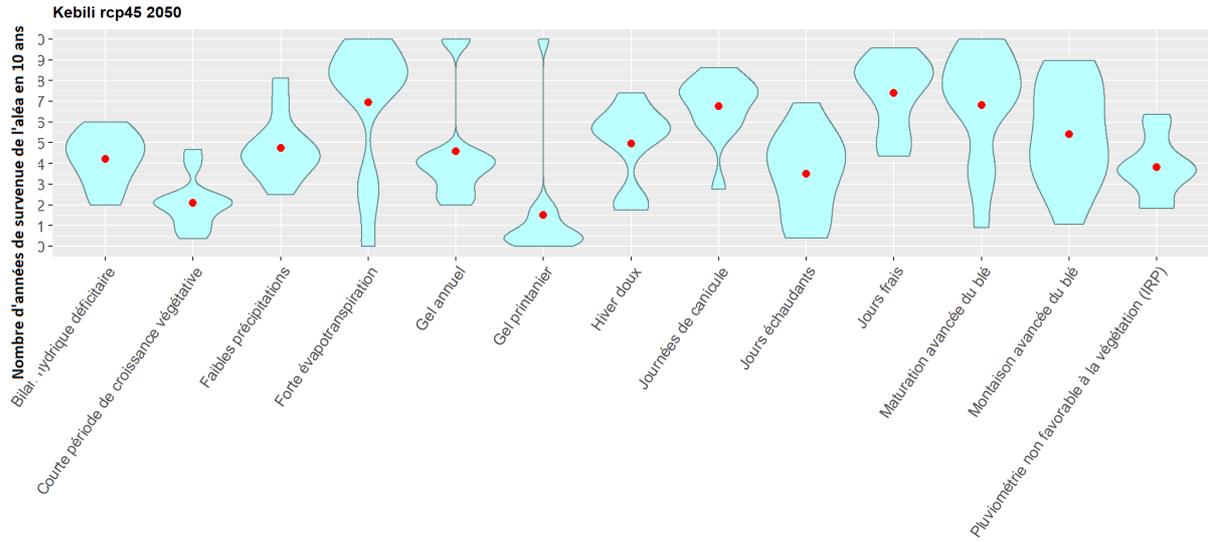


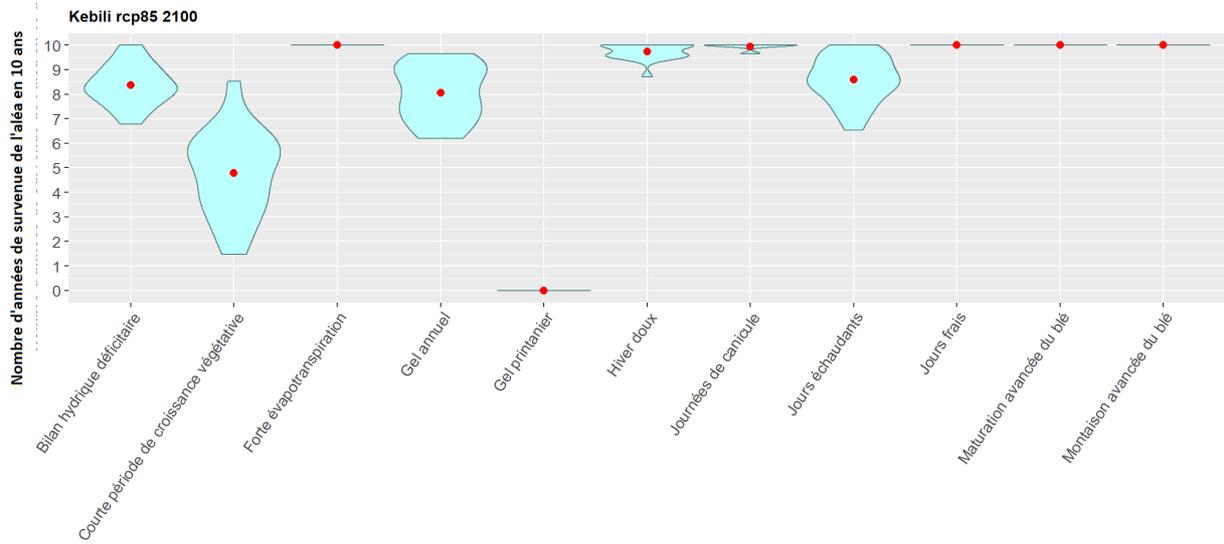
### 13.9 Kasserine



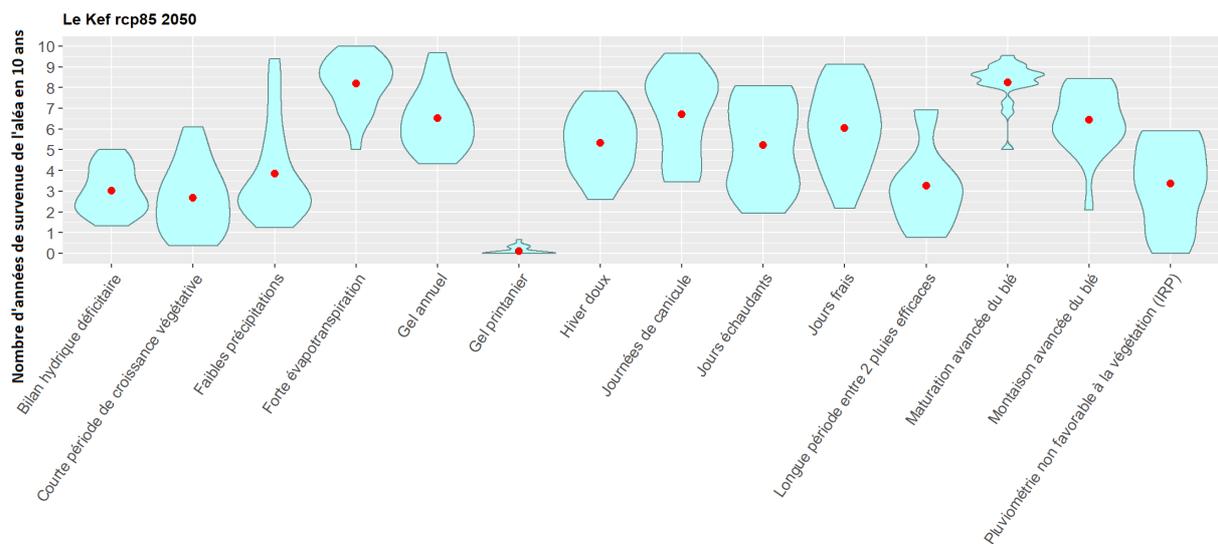
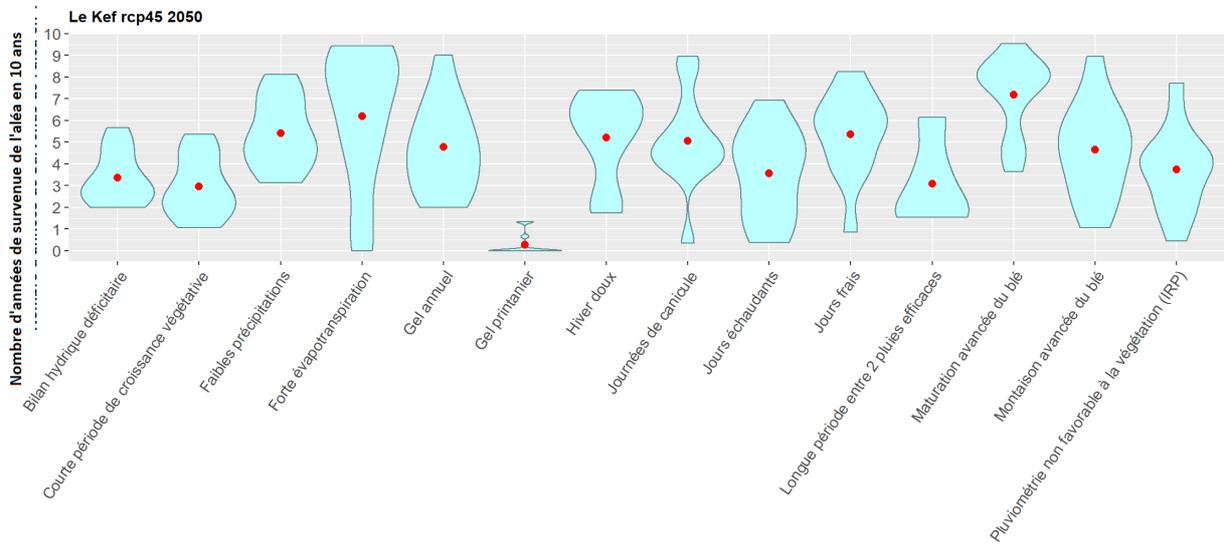


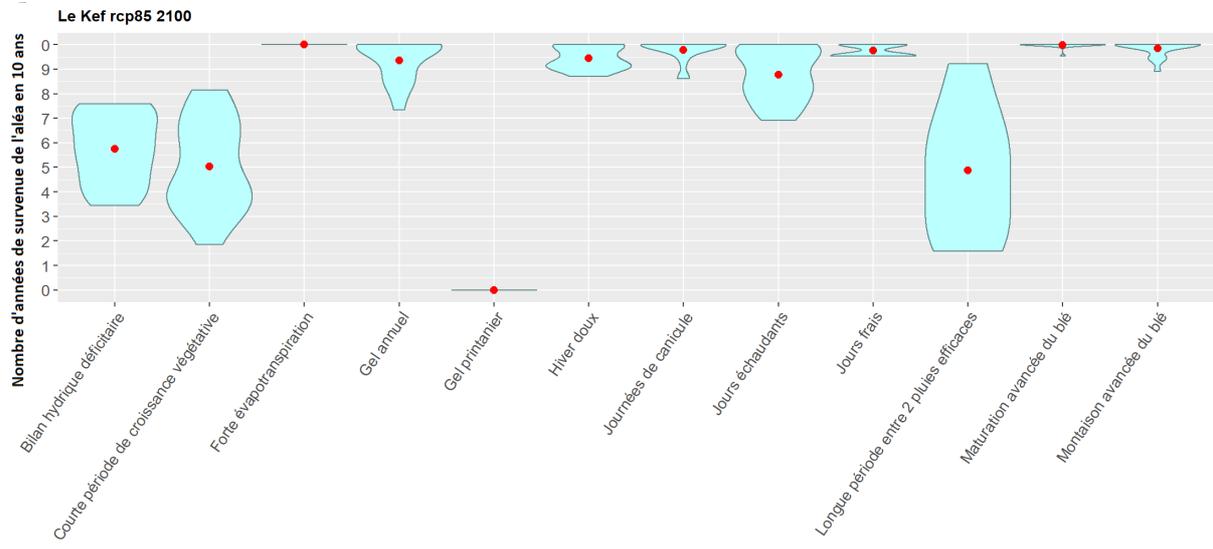
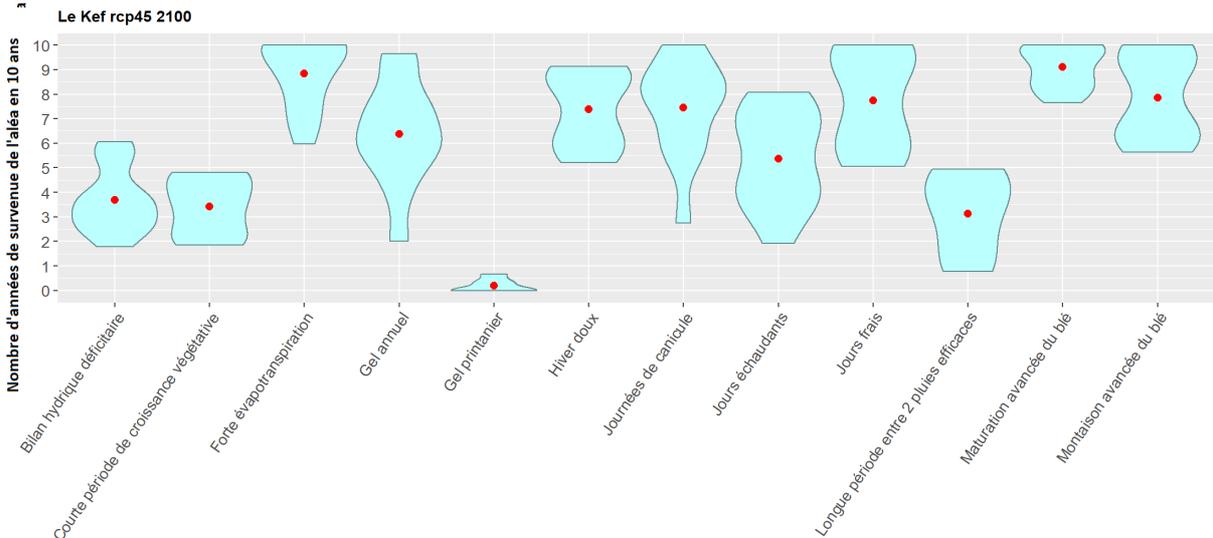
# 13.10 Kébili



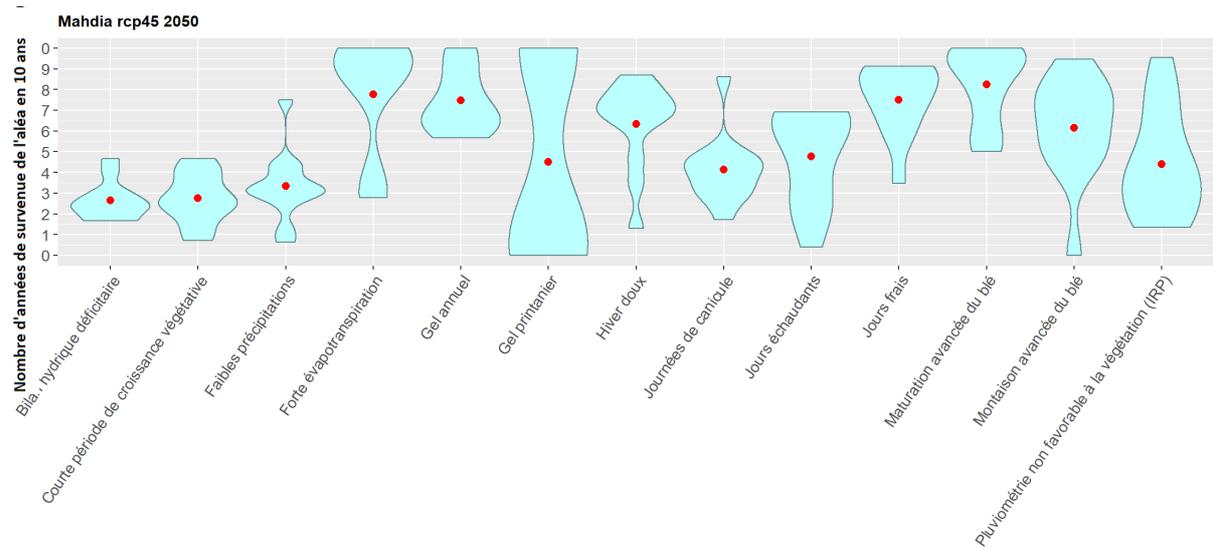


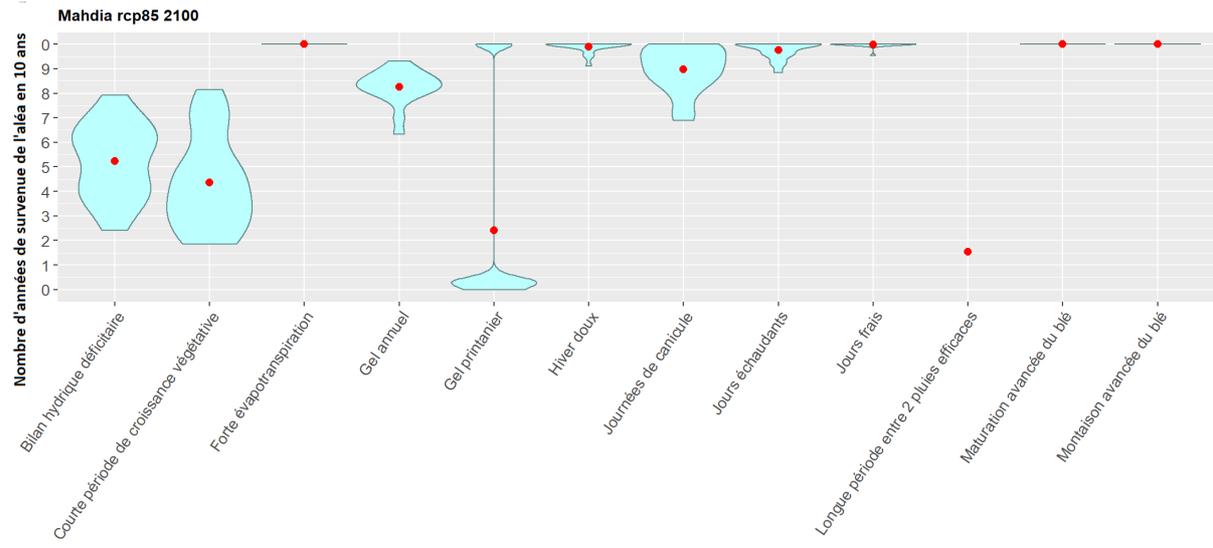
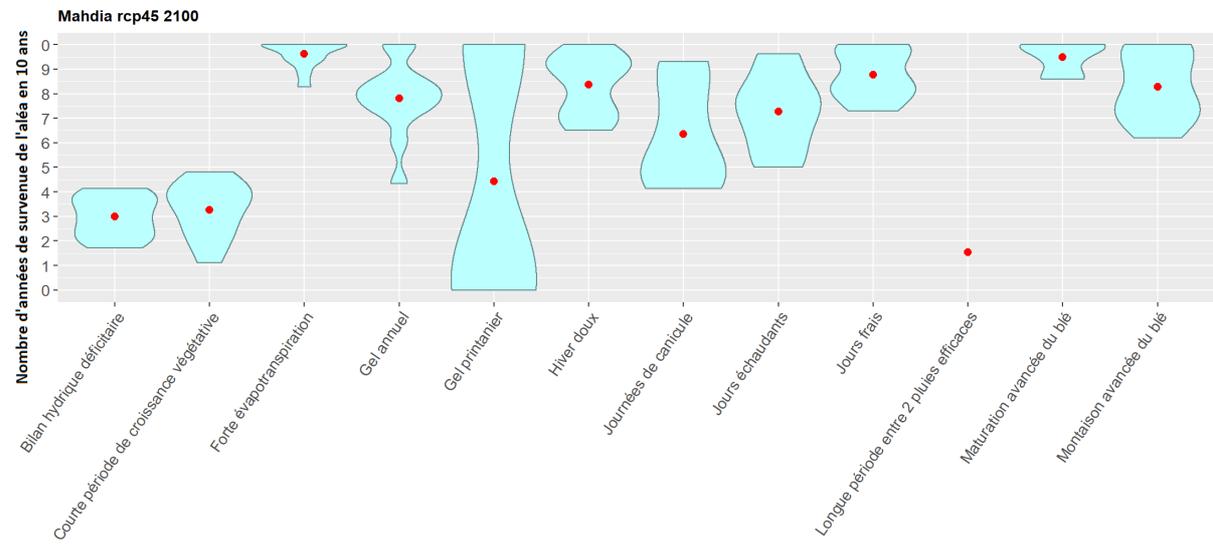
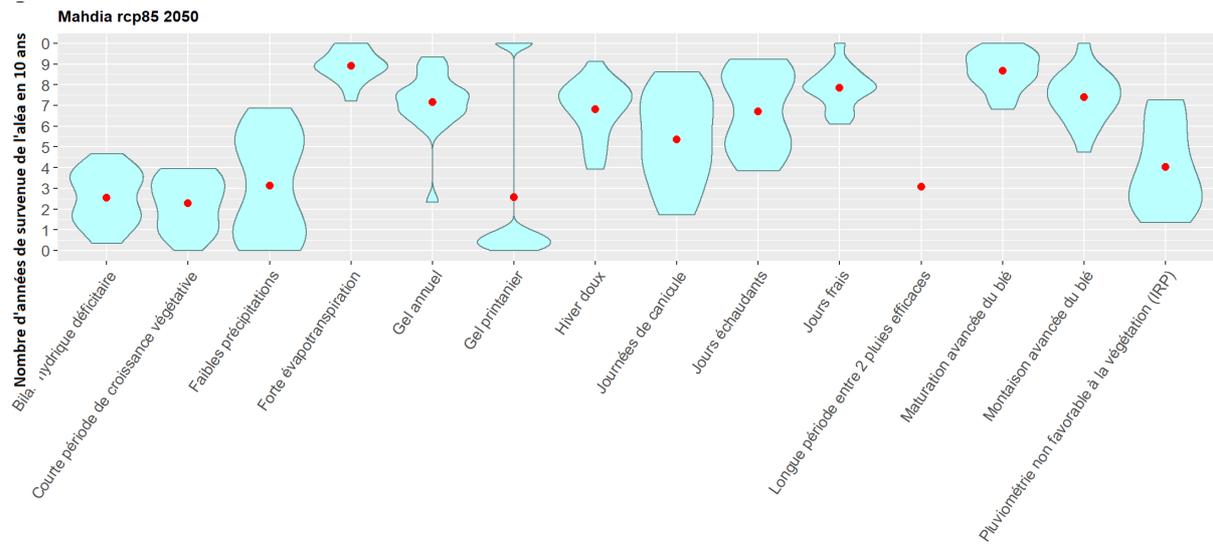
## 13.11 Le Kef



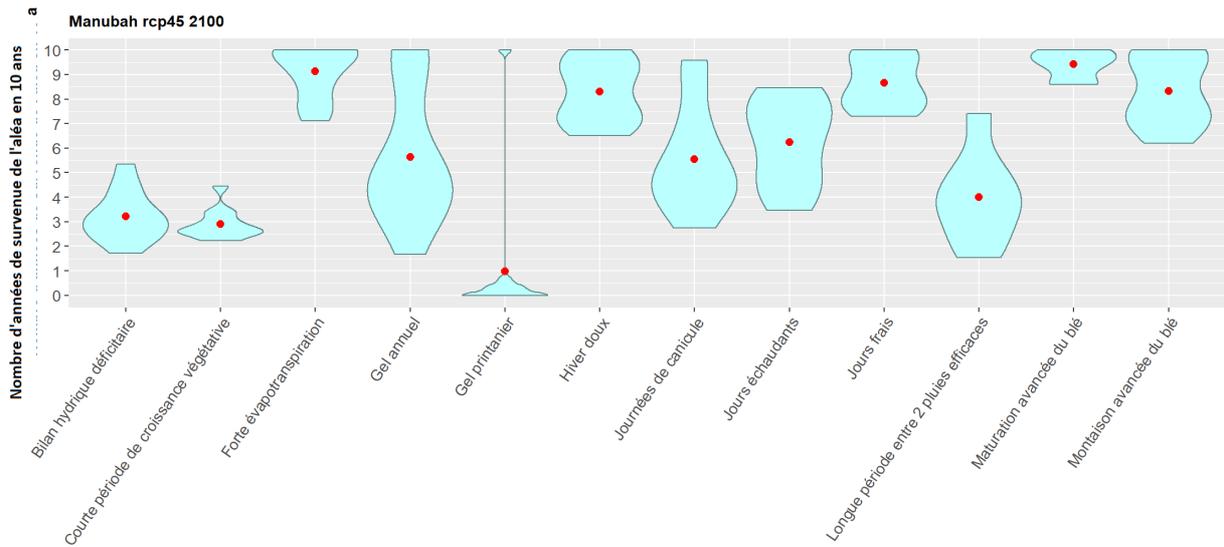
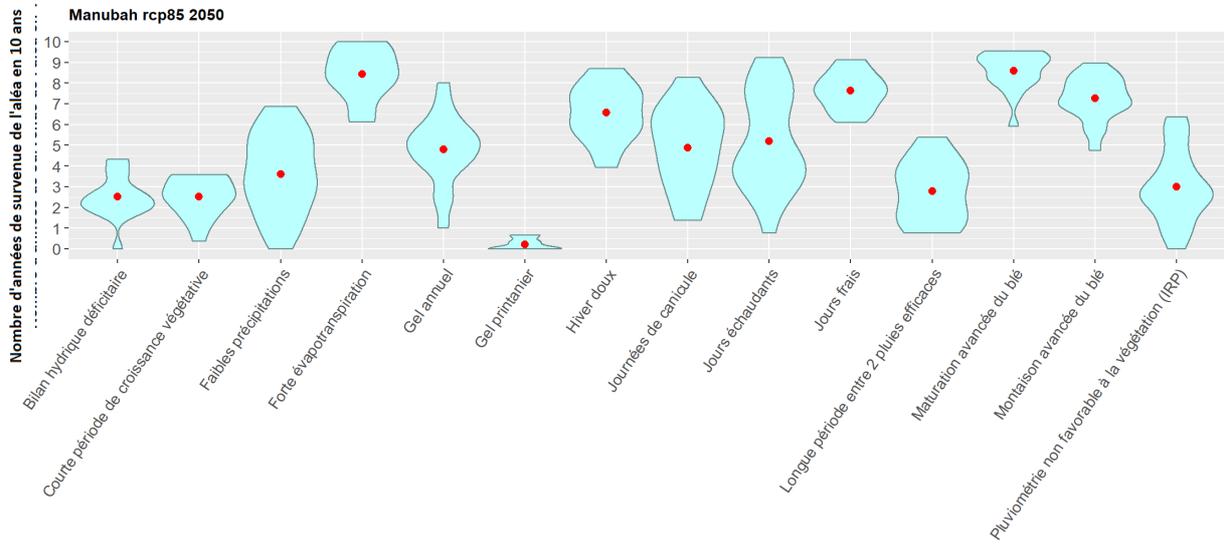
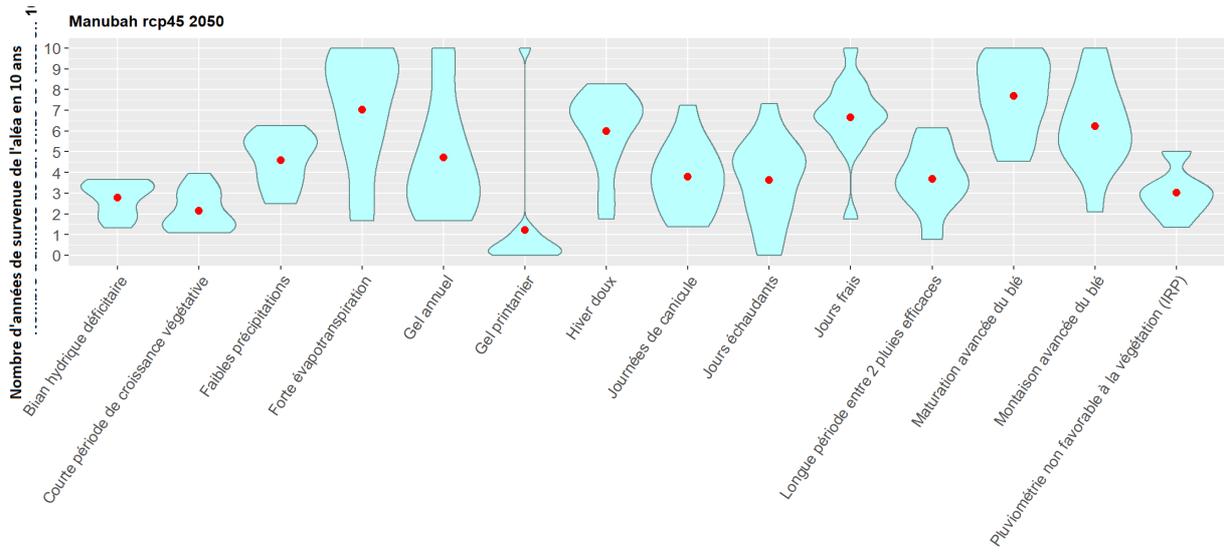


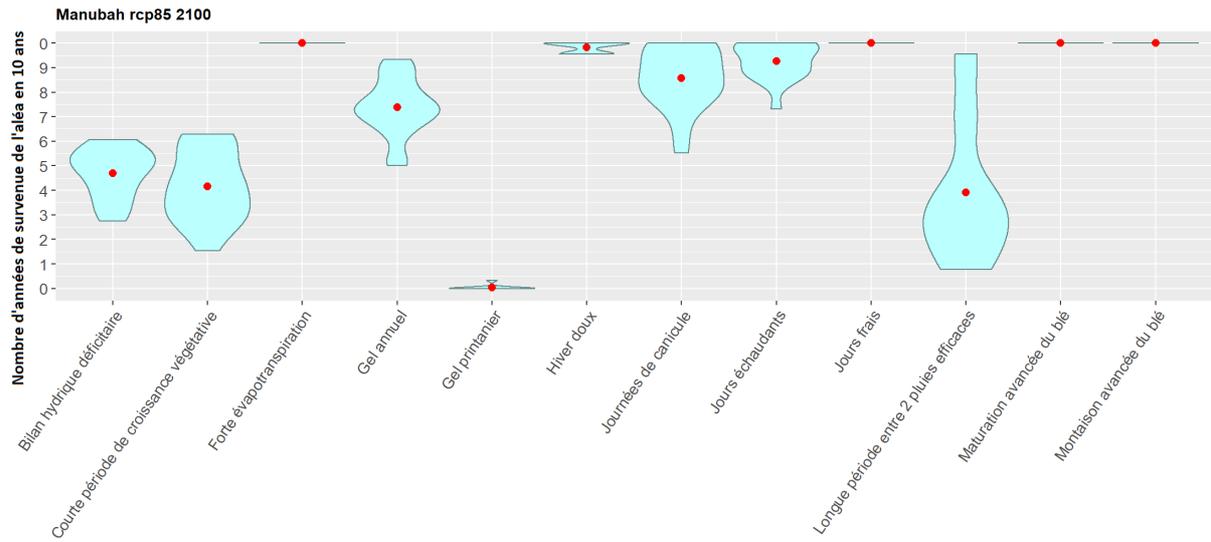
## 13.12 Mahdia



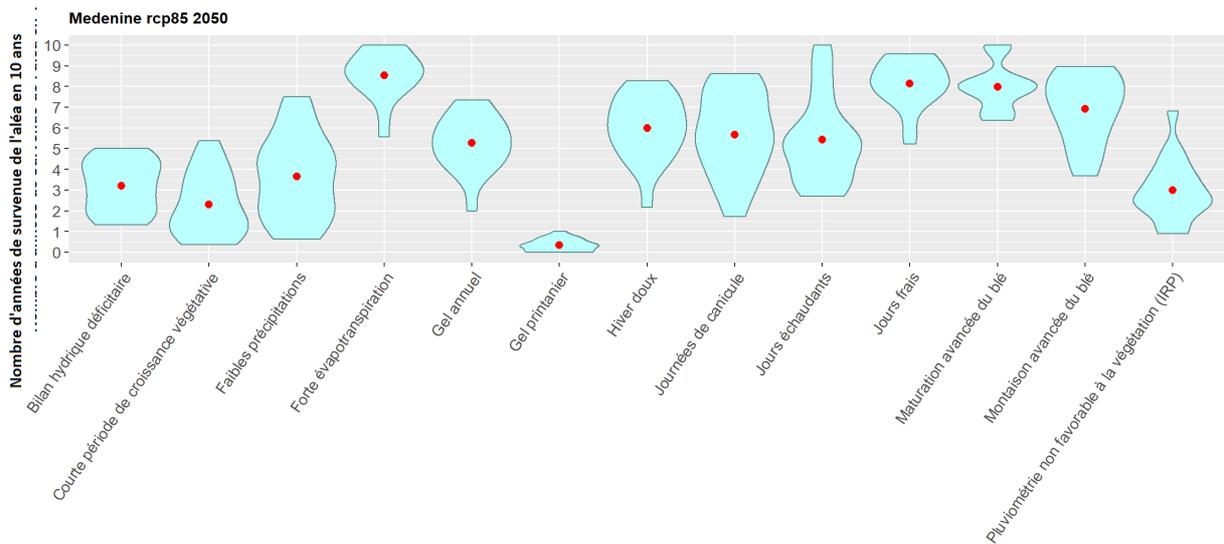
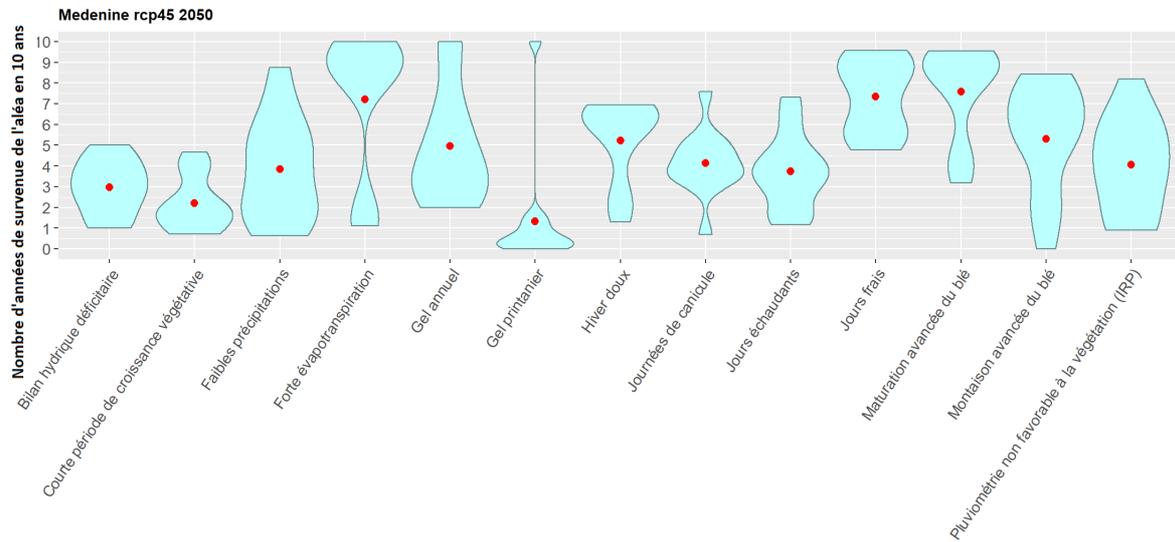


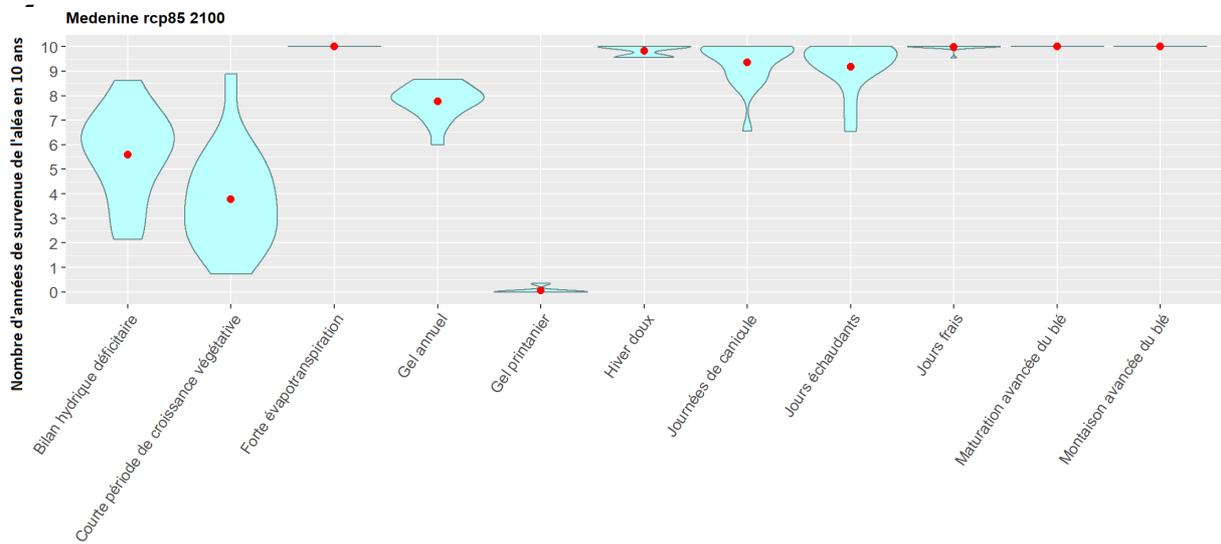
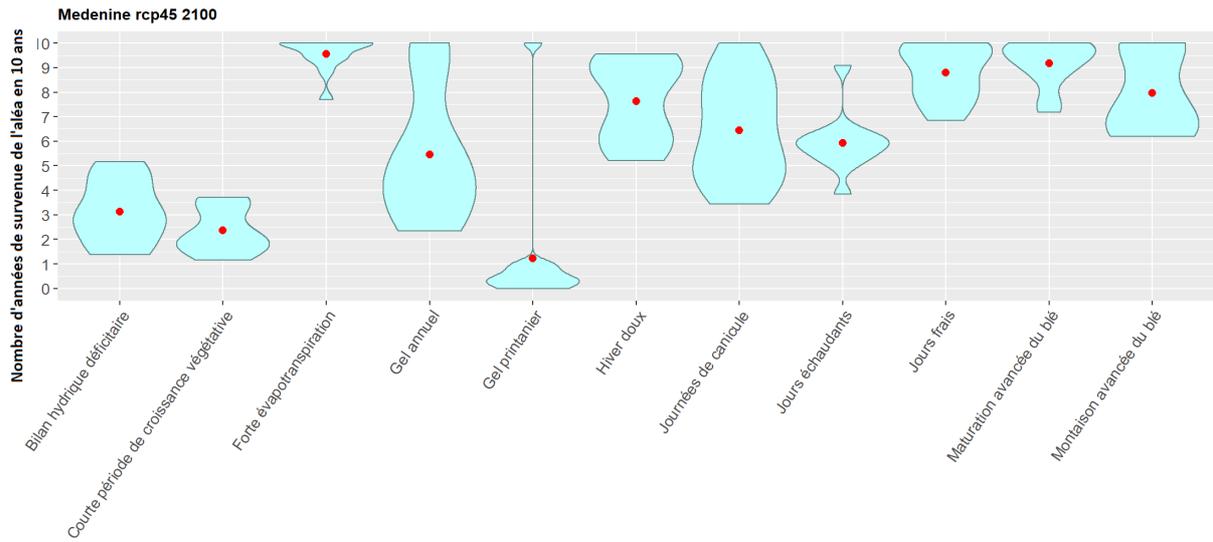
# 13.13 Manouba



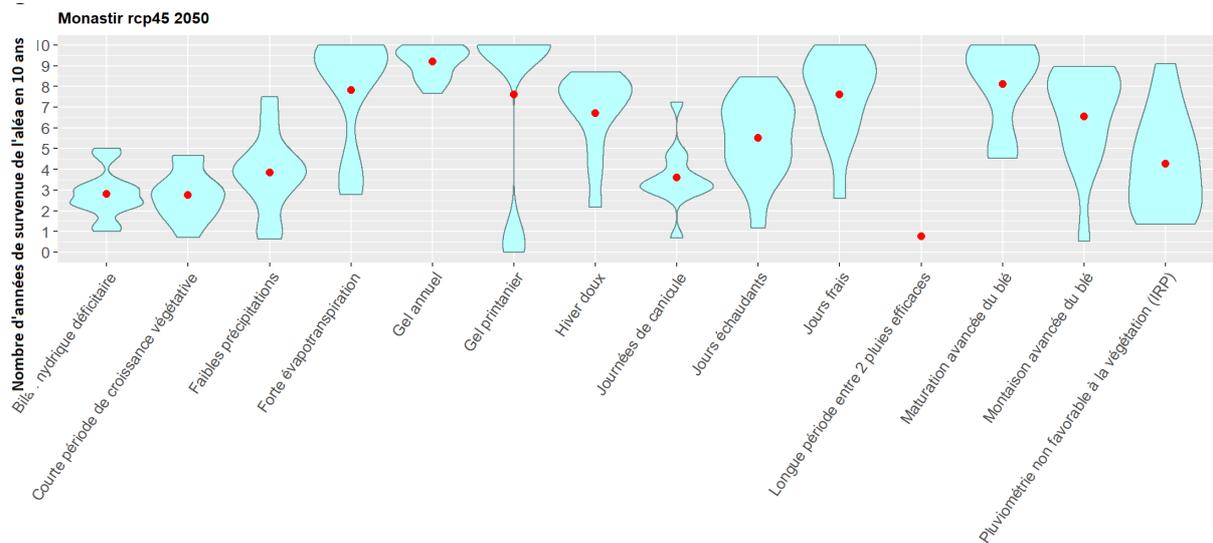


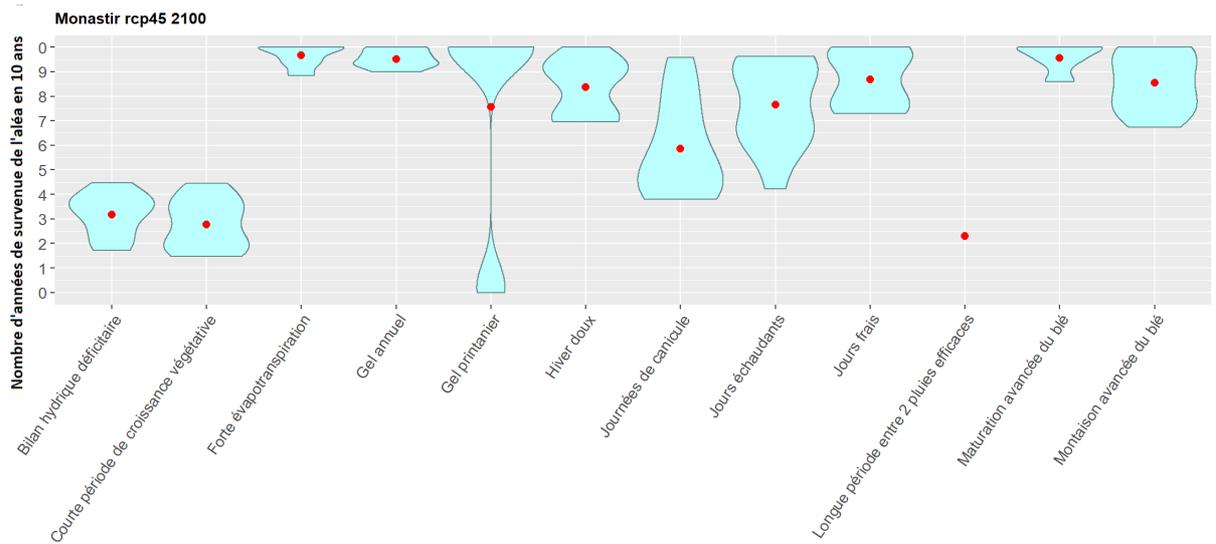
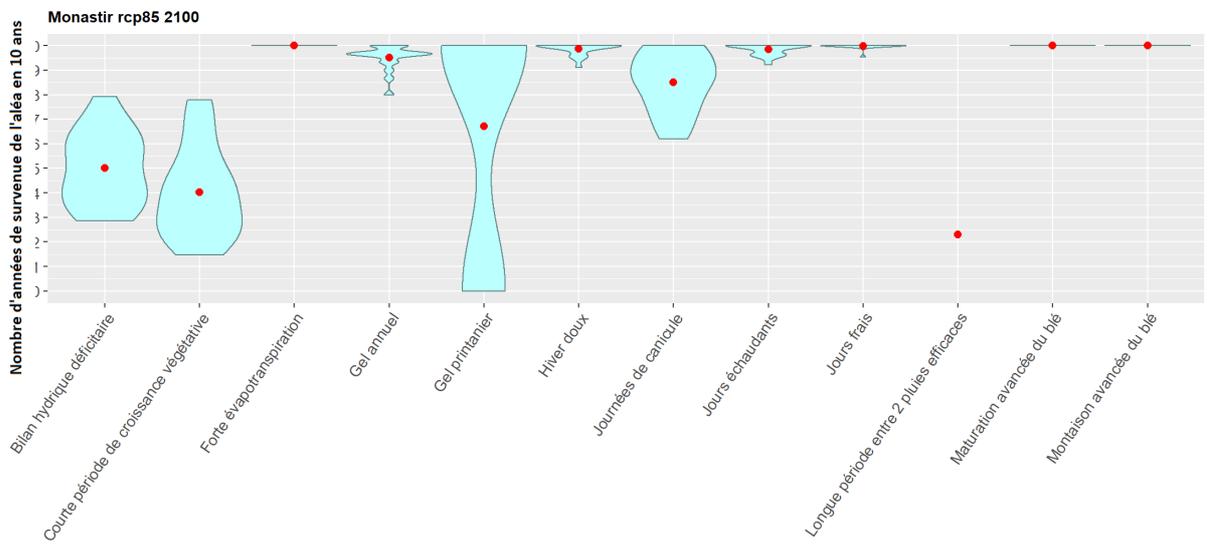
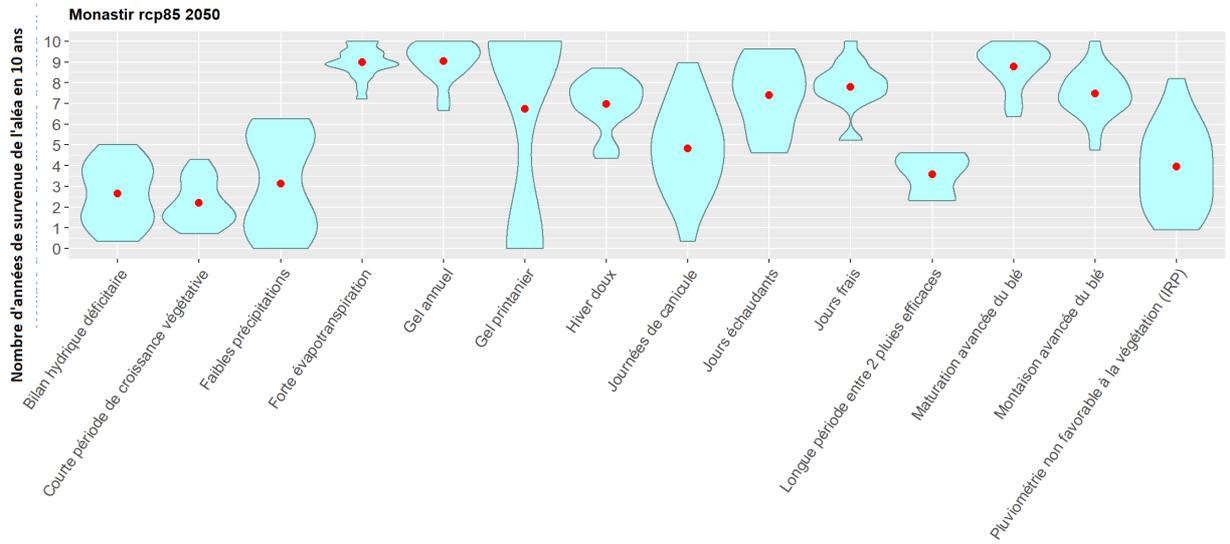
## 13.14 Médenine



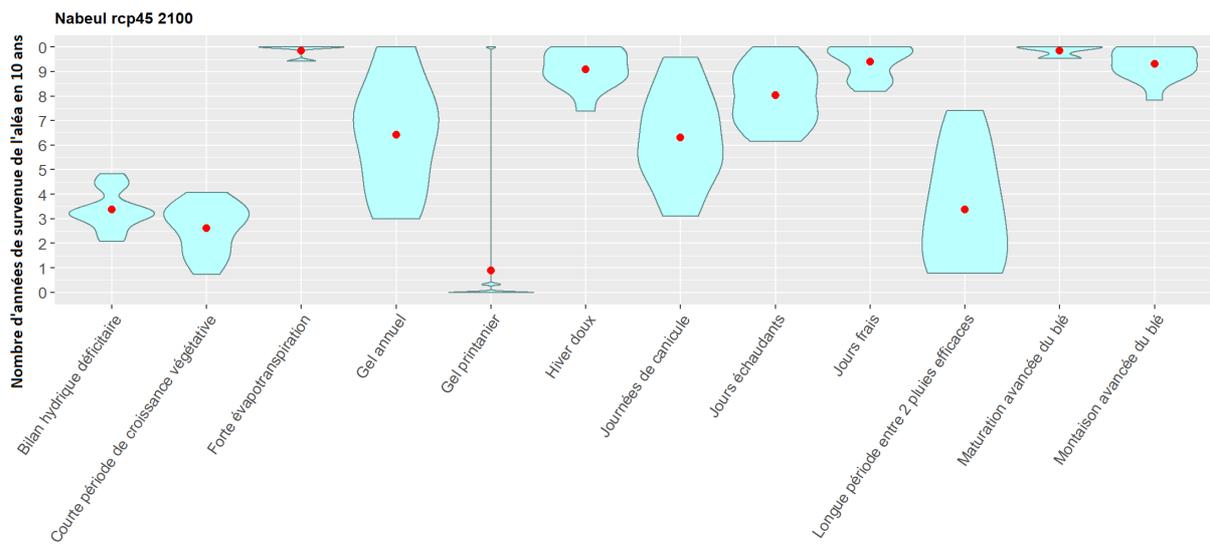
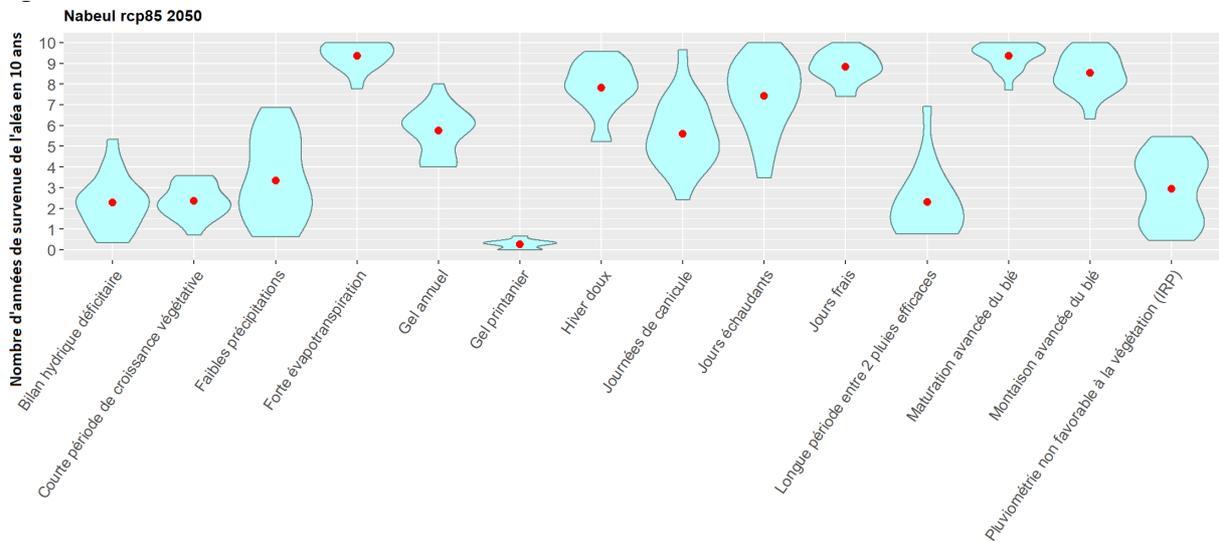
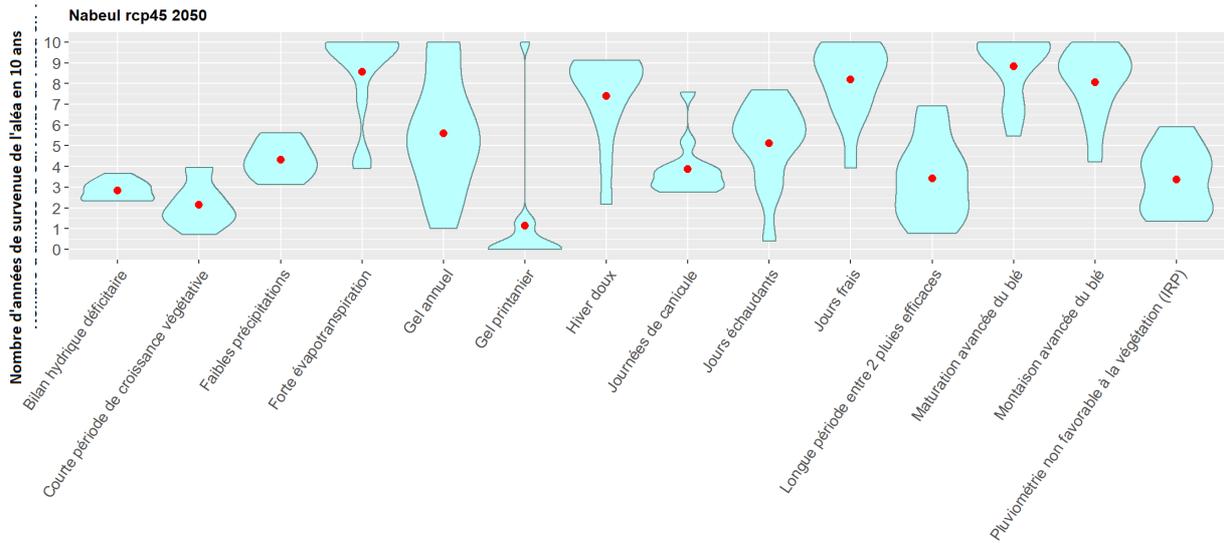


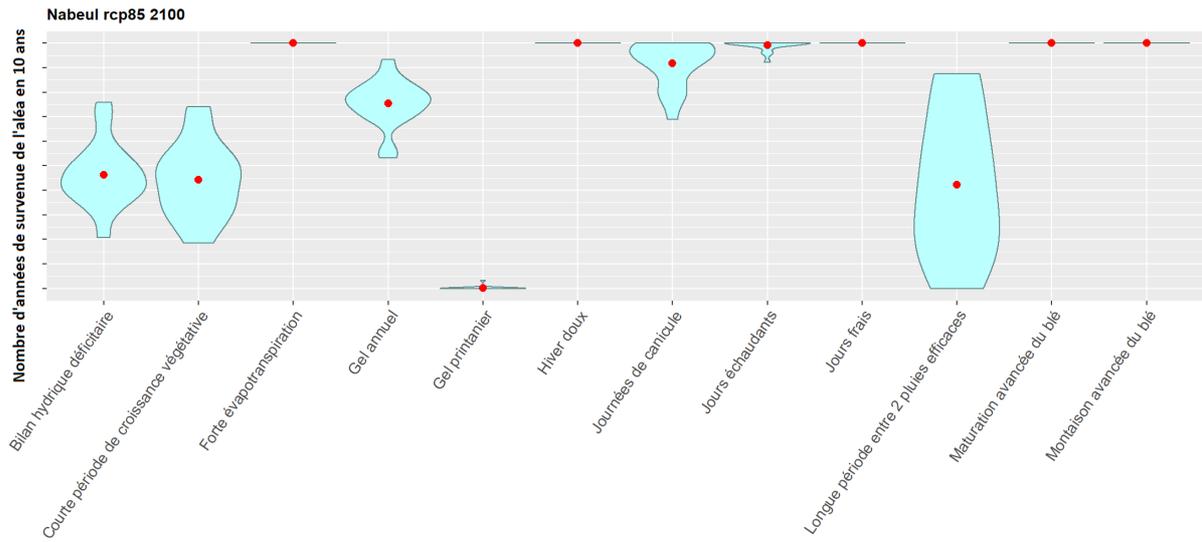
## 13.15 Monastir



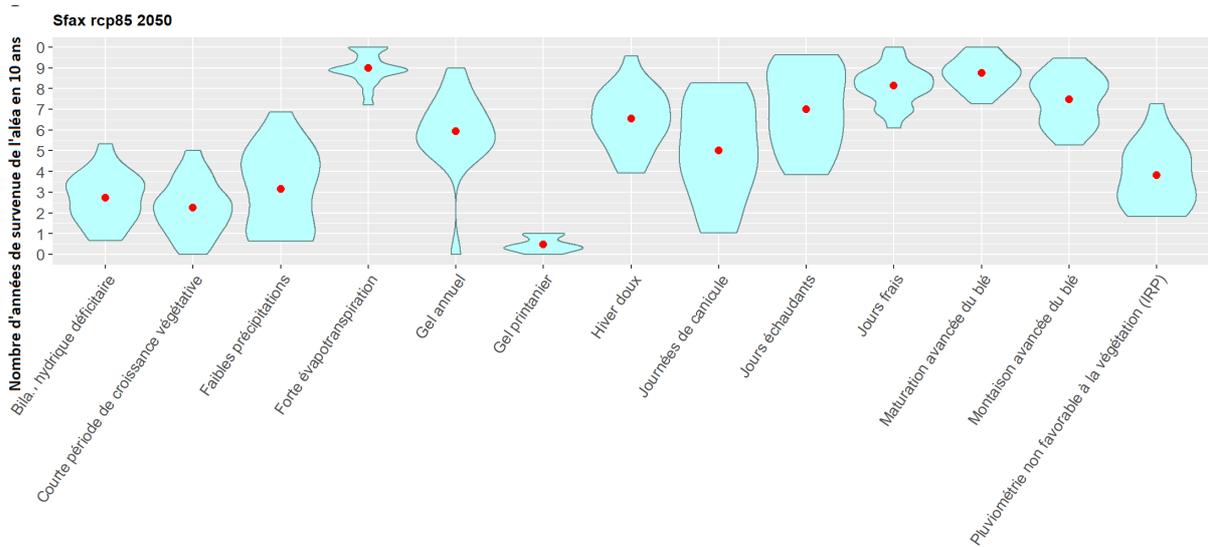
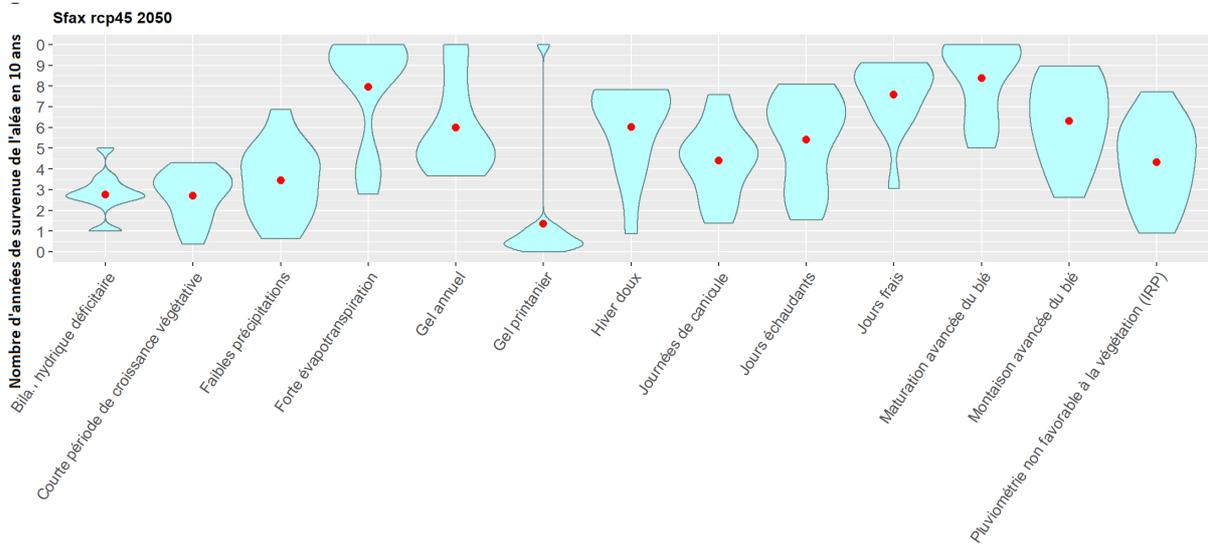


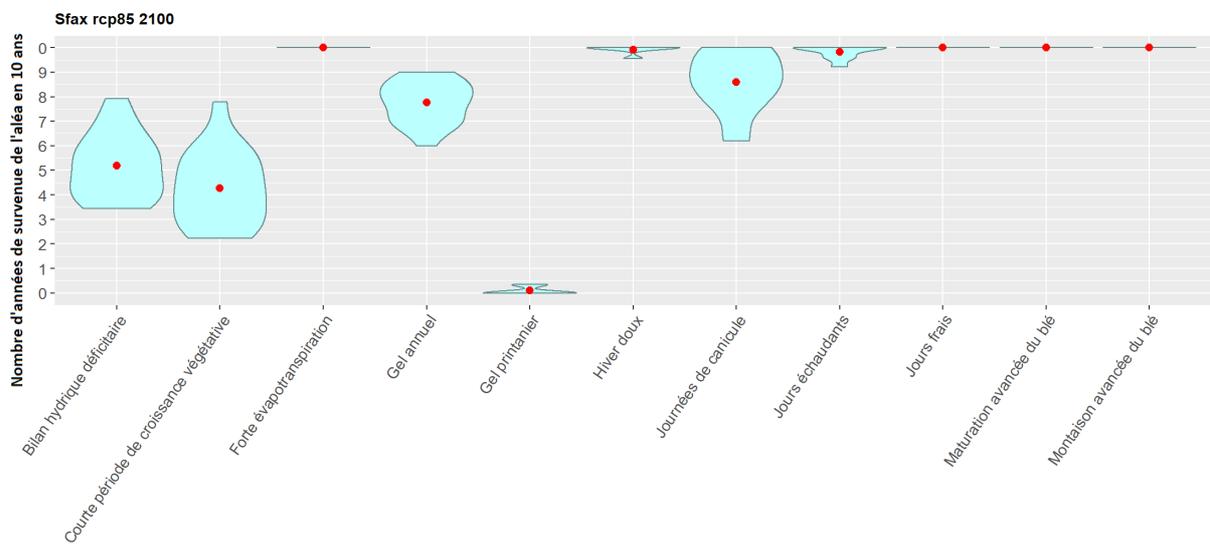
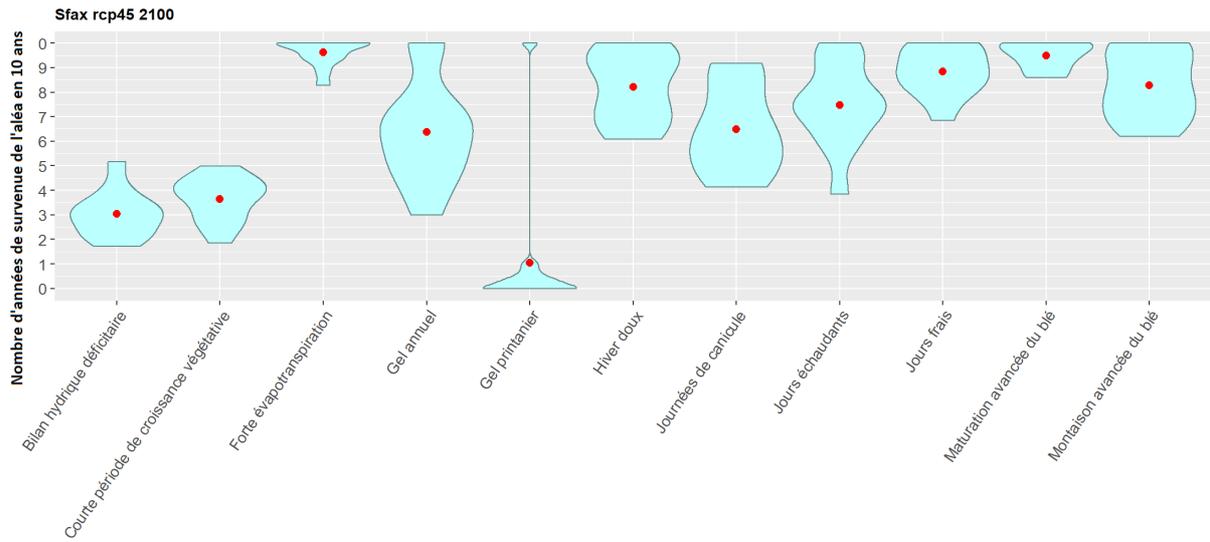
# 13.16 Nabeul



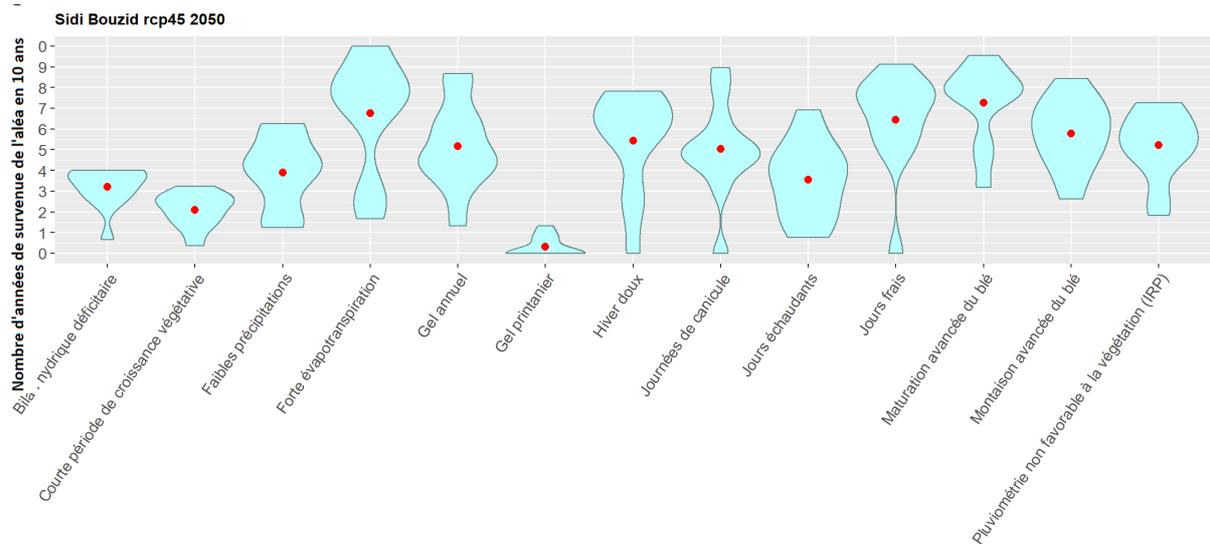


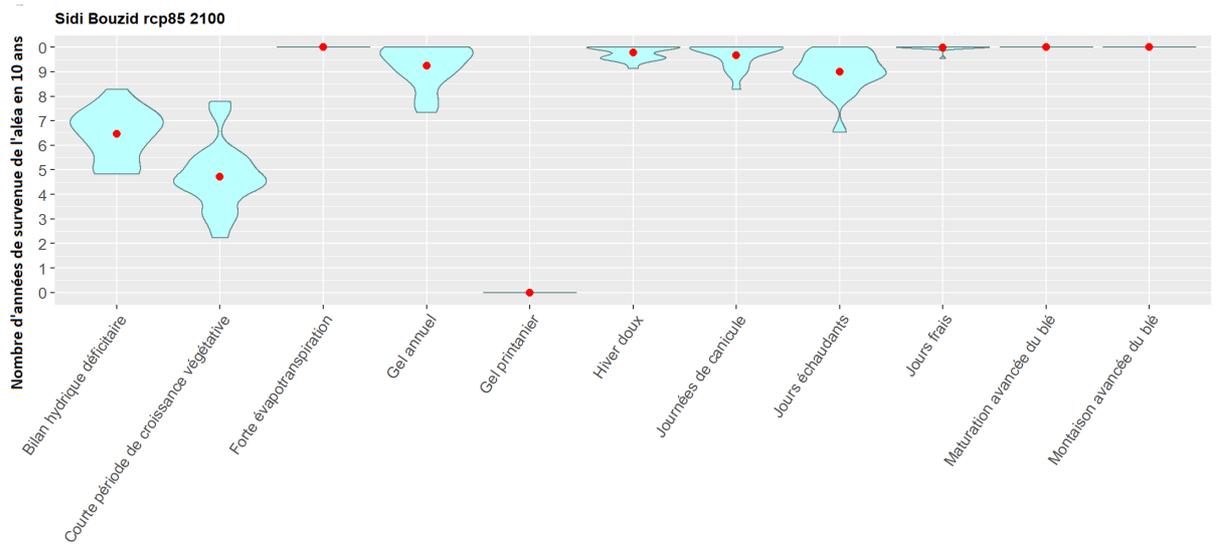
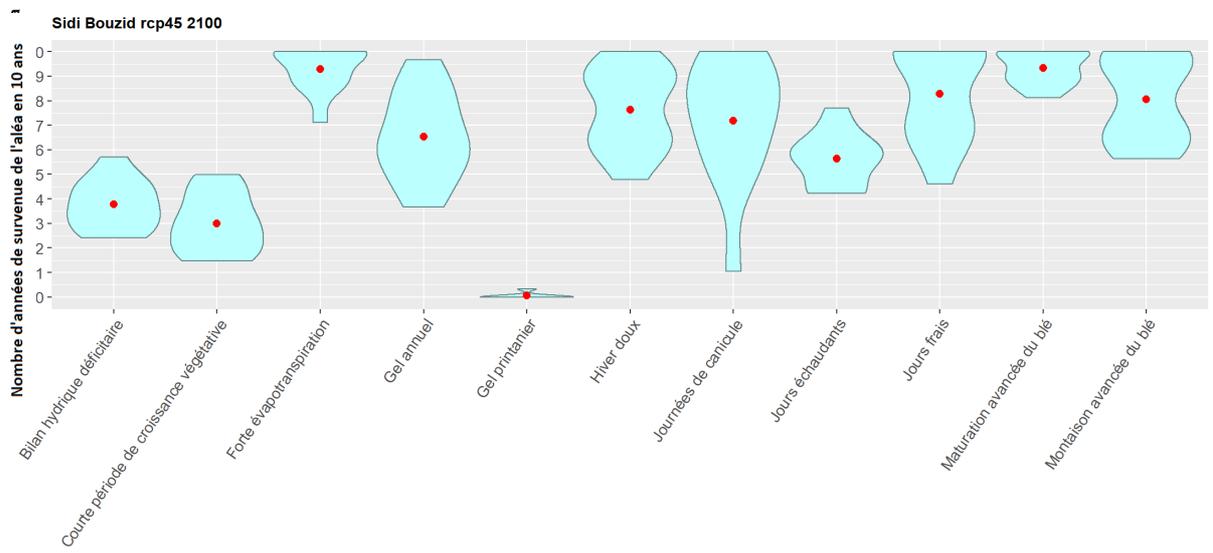
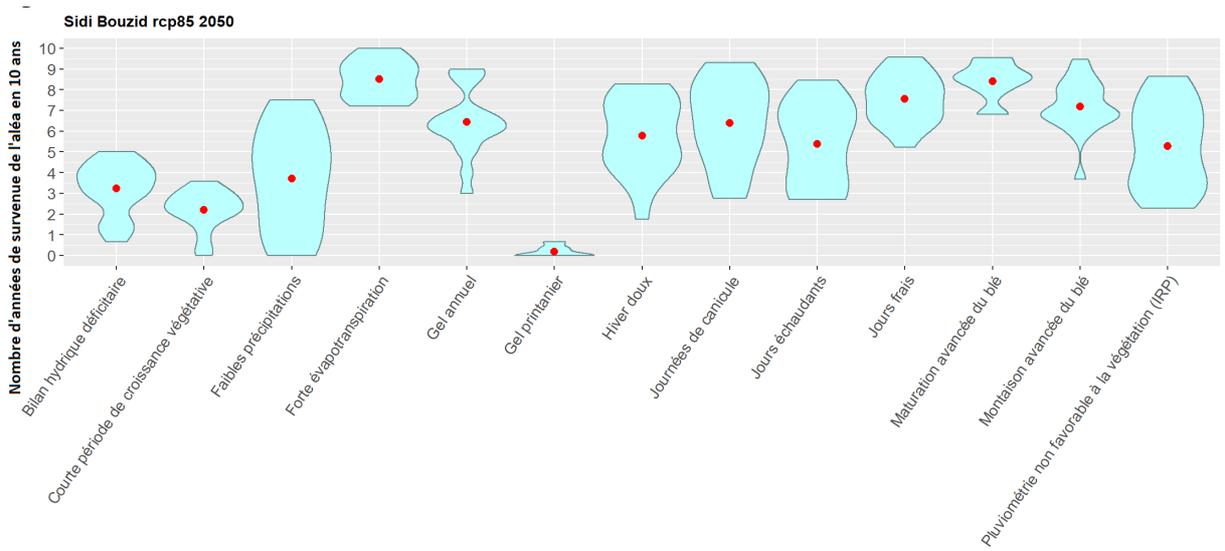
### 13.17 Sfax



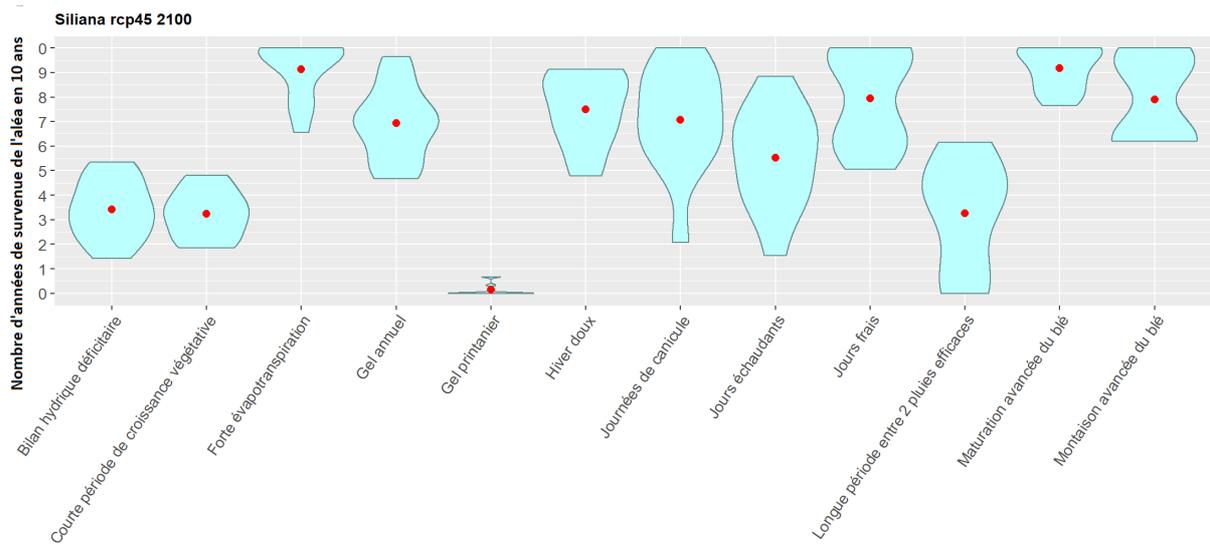
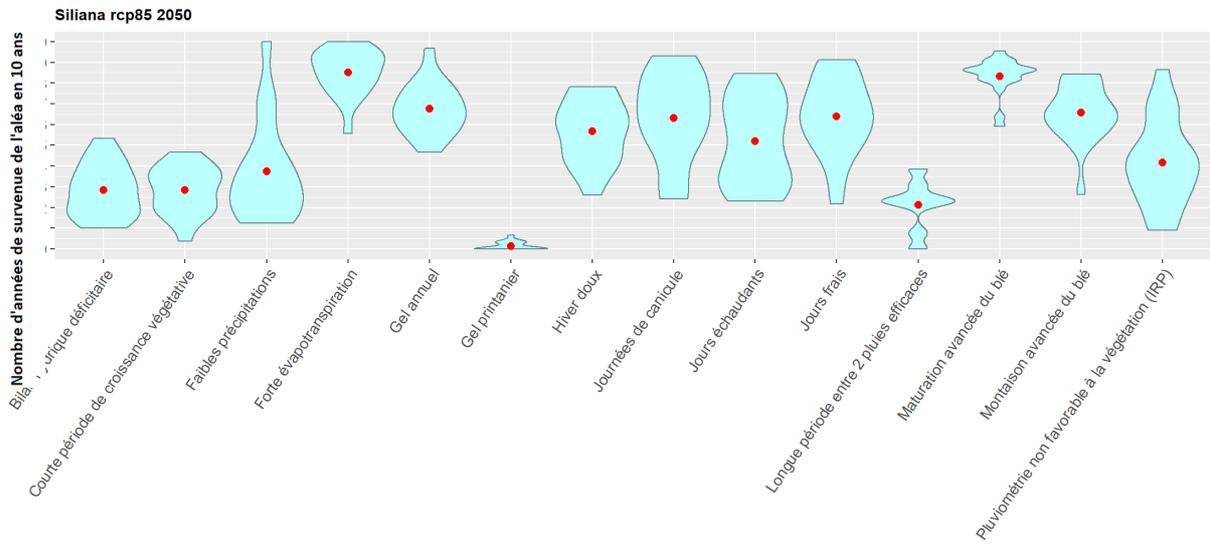
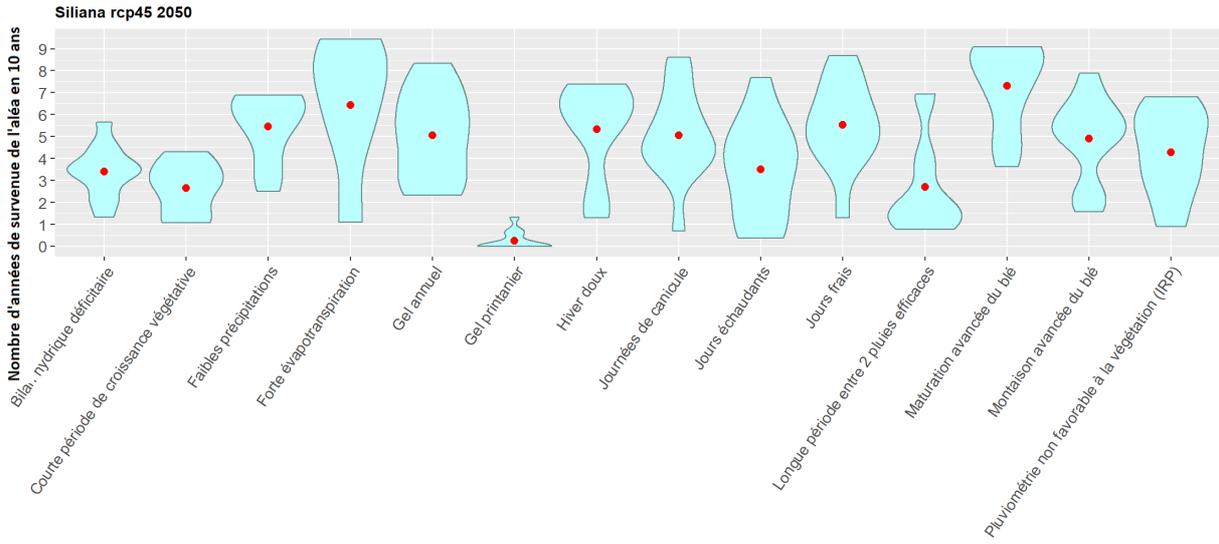


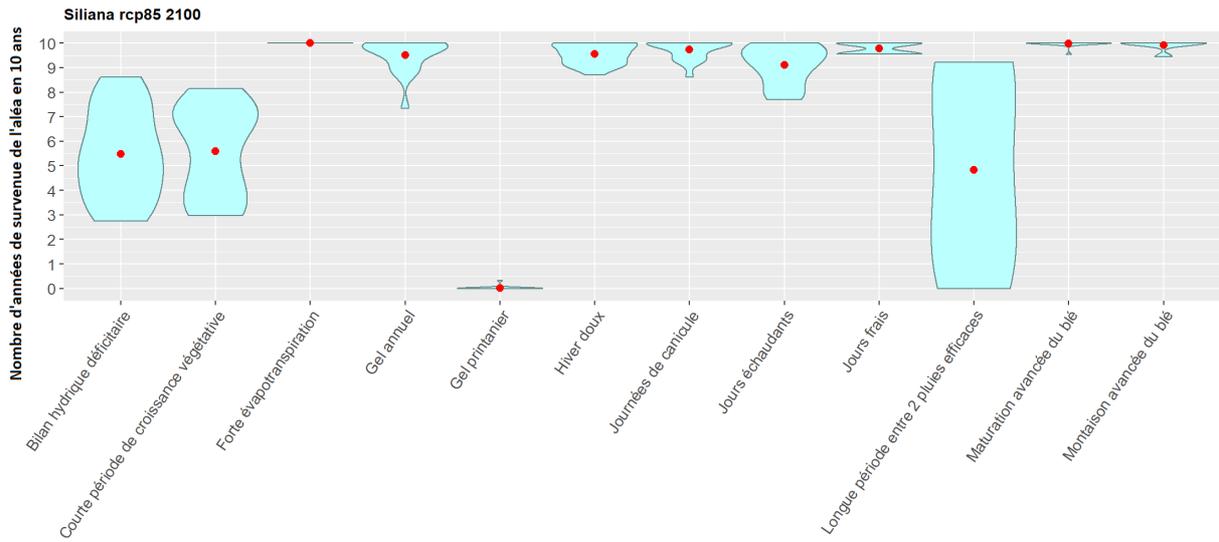
## 13.18 Sidi Bou Zid



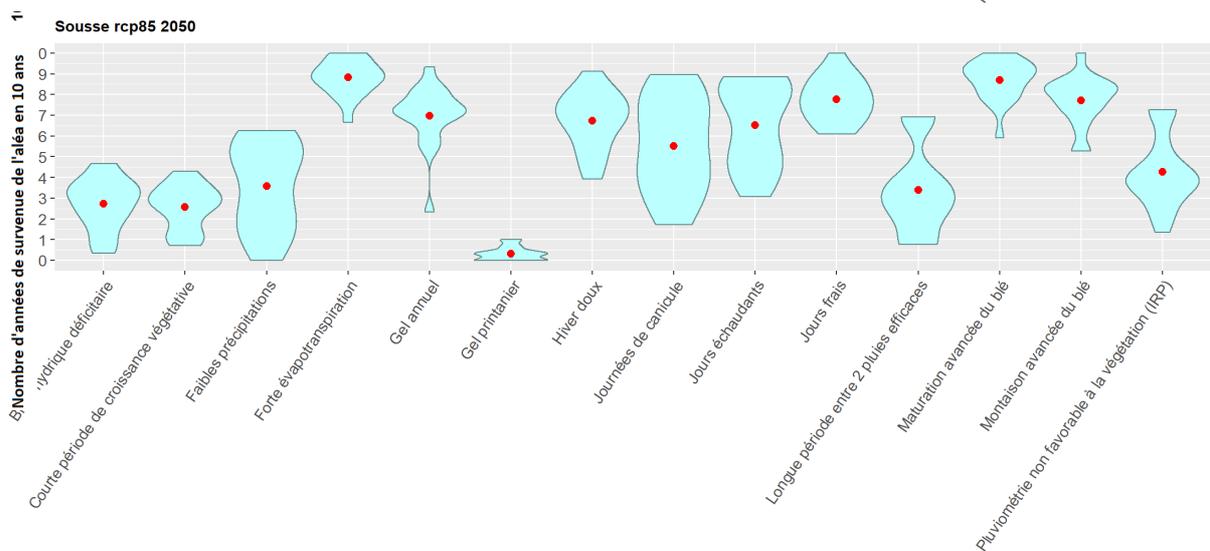
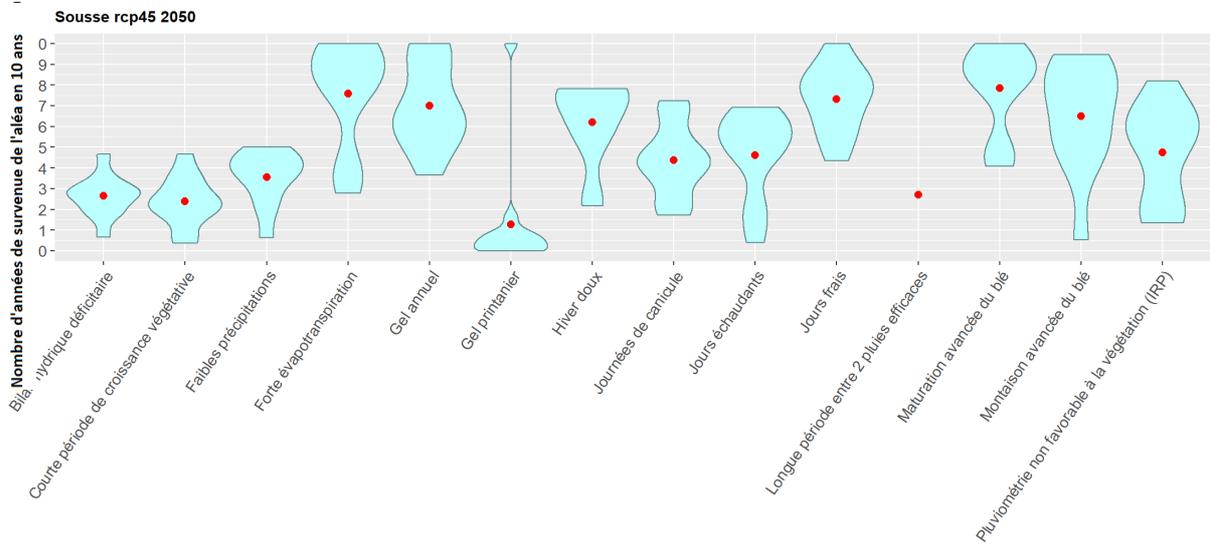


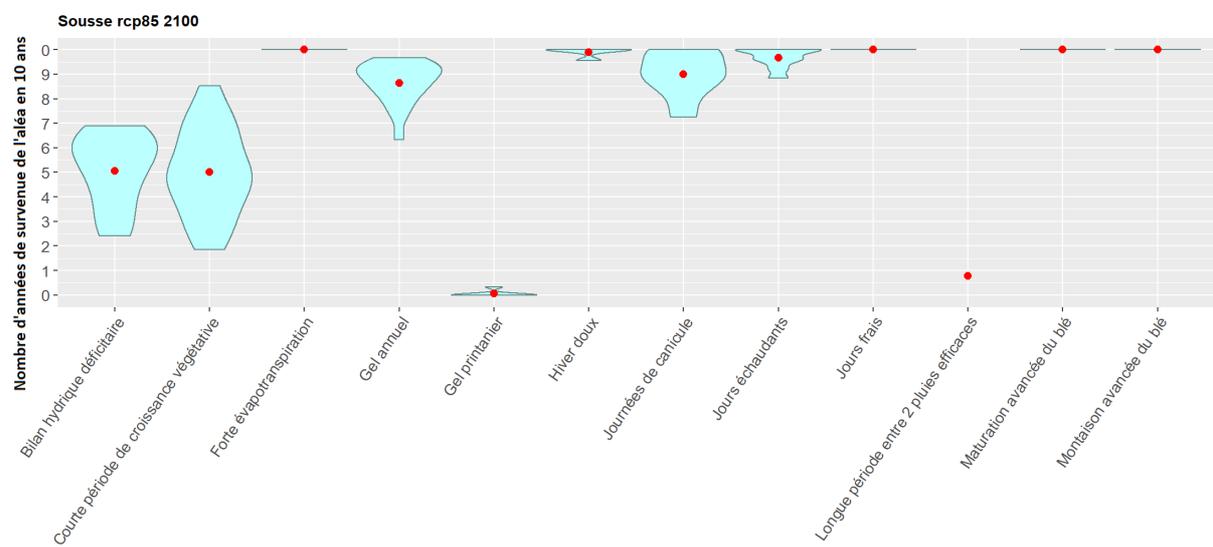
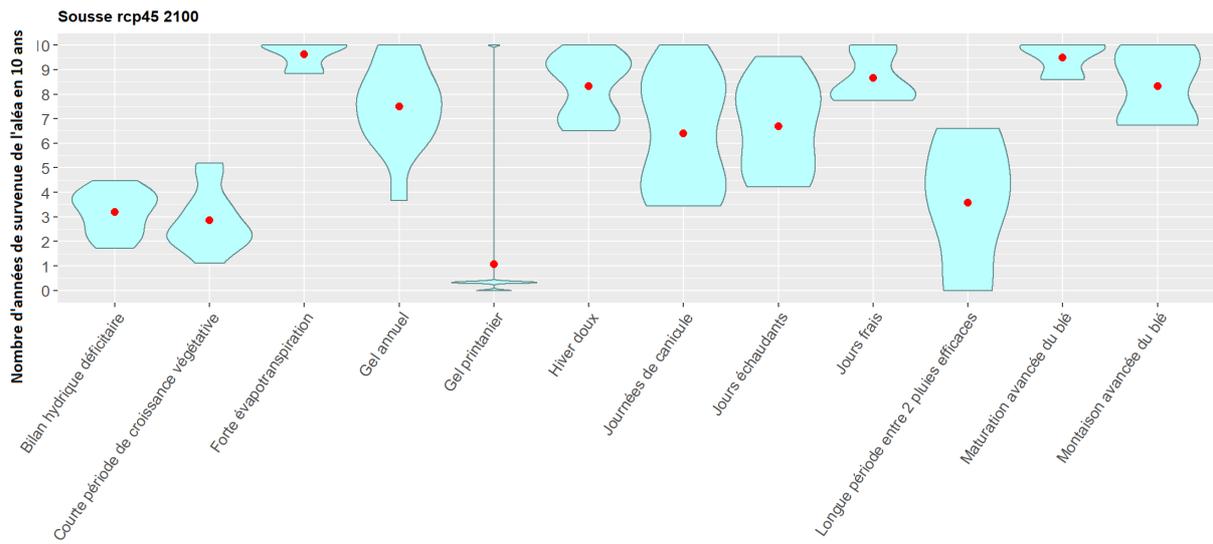
# 13.19 Siliana



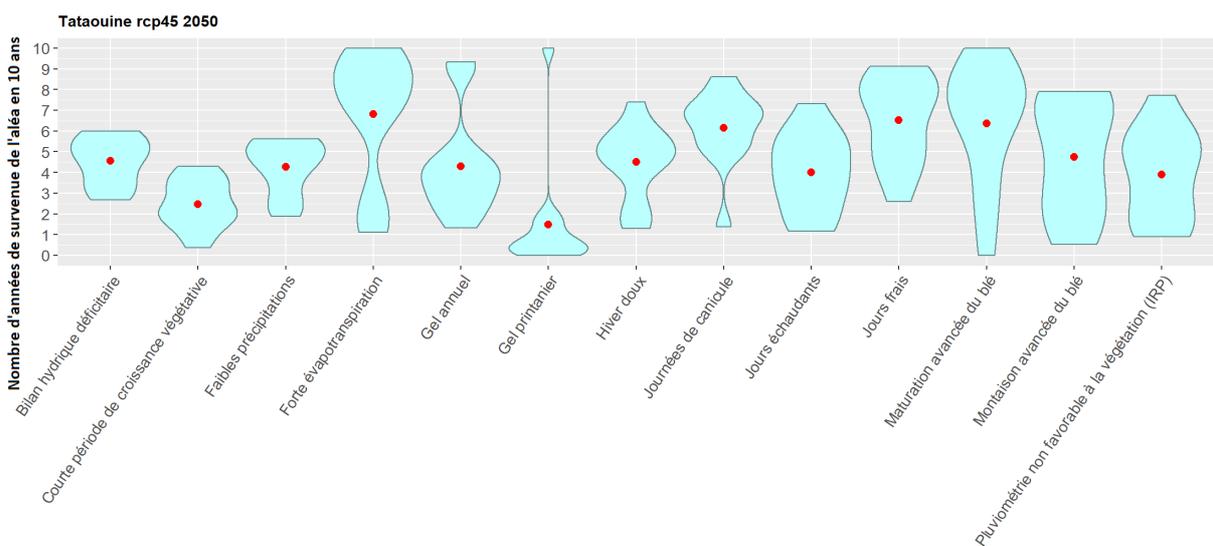


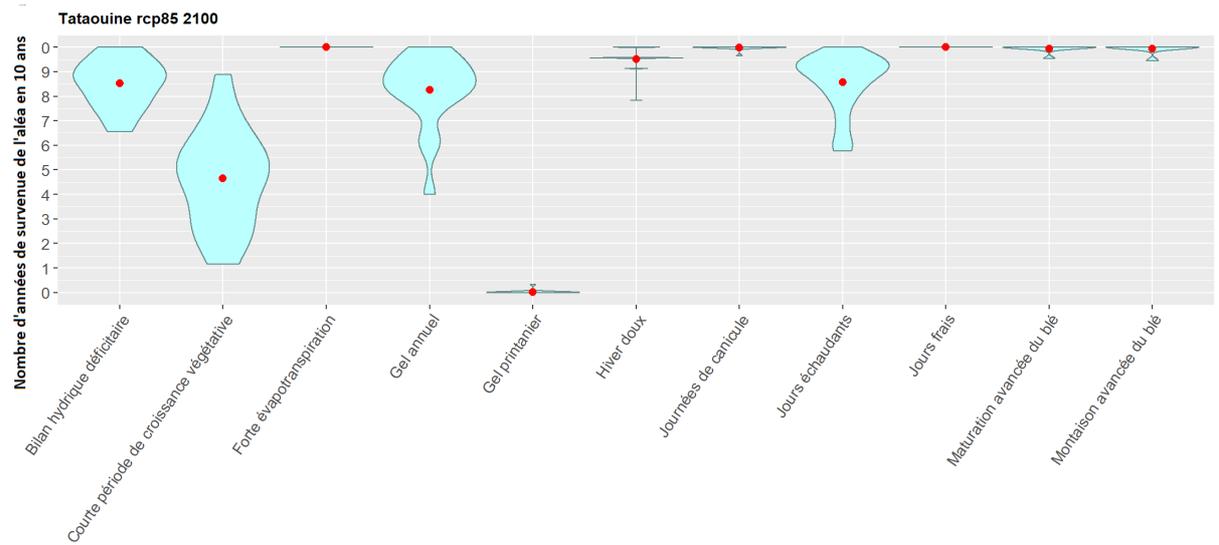
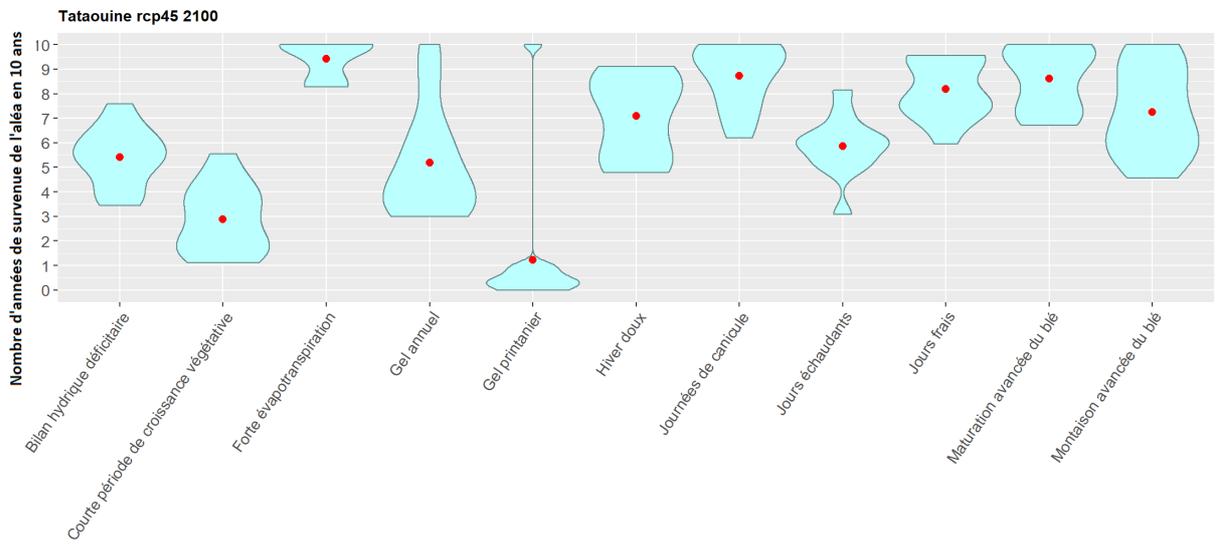
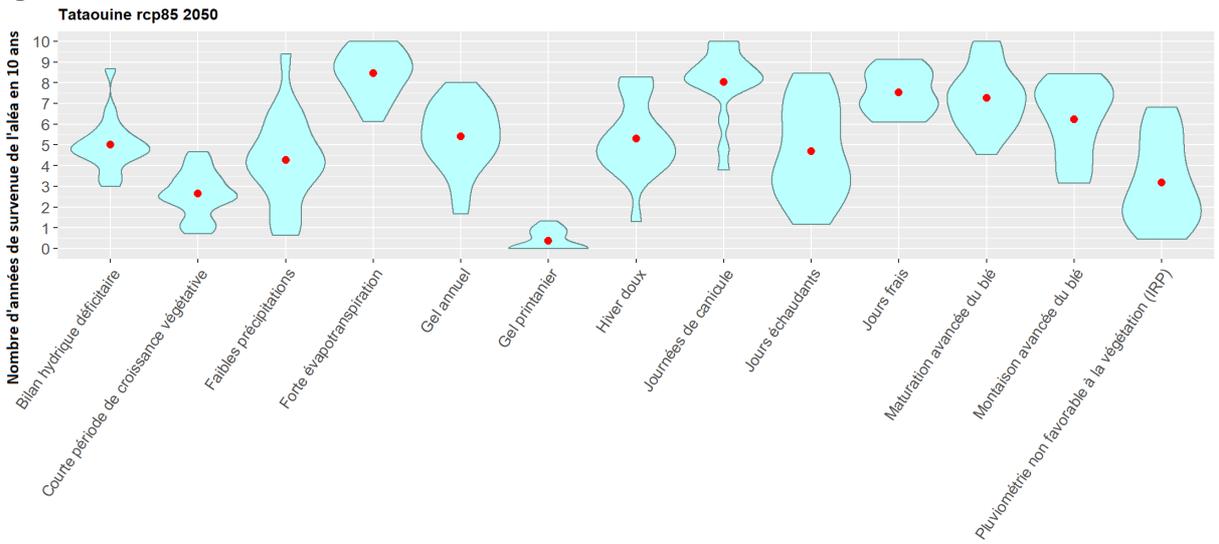
## 13.20 Sousse



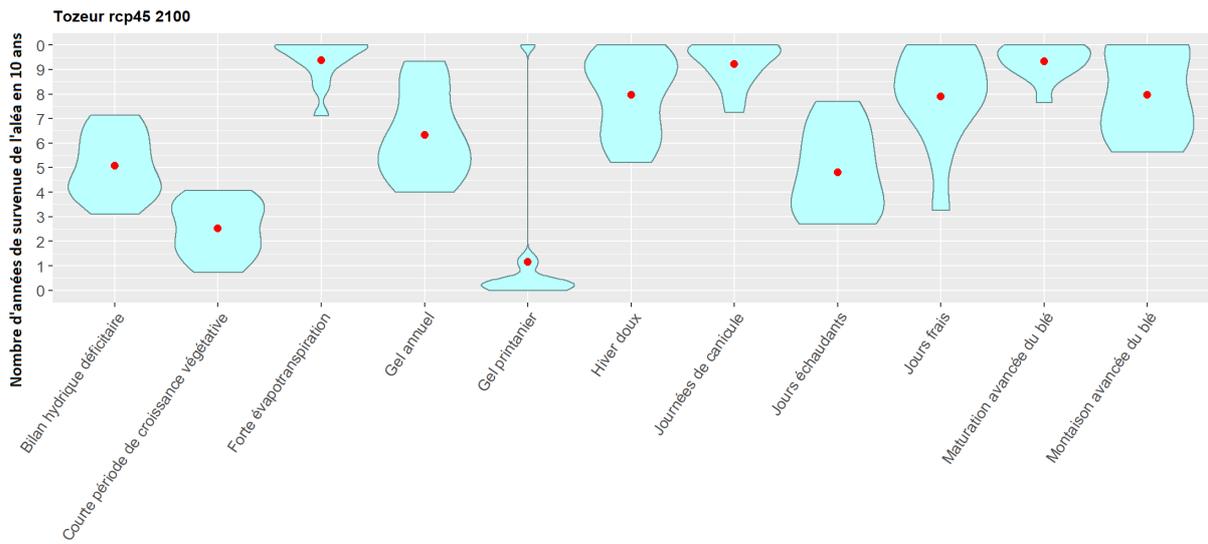
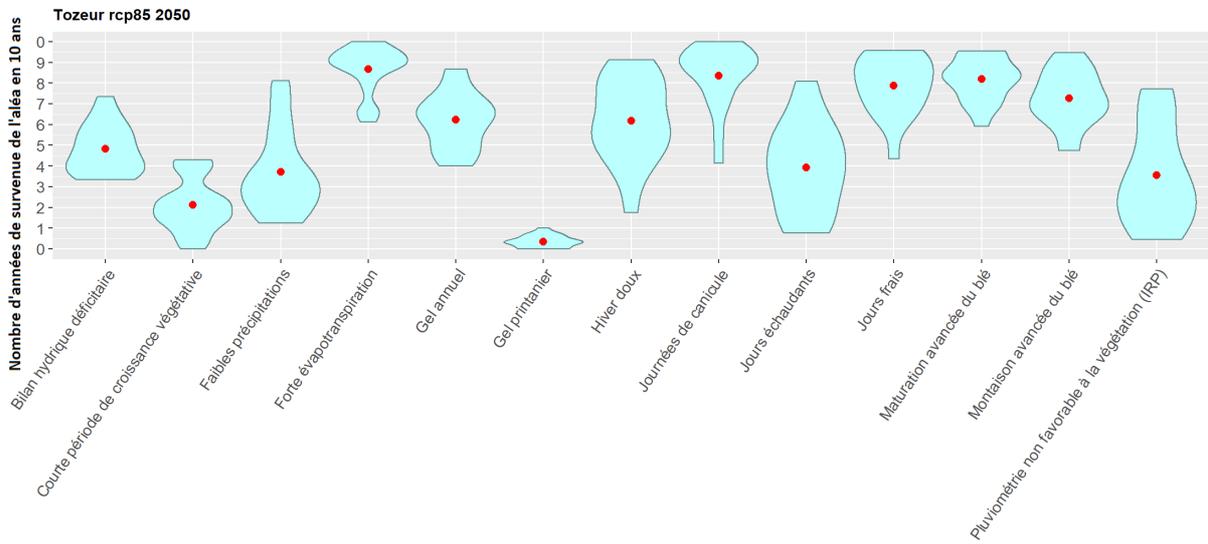
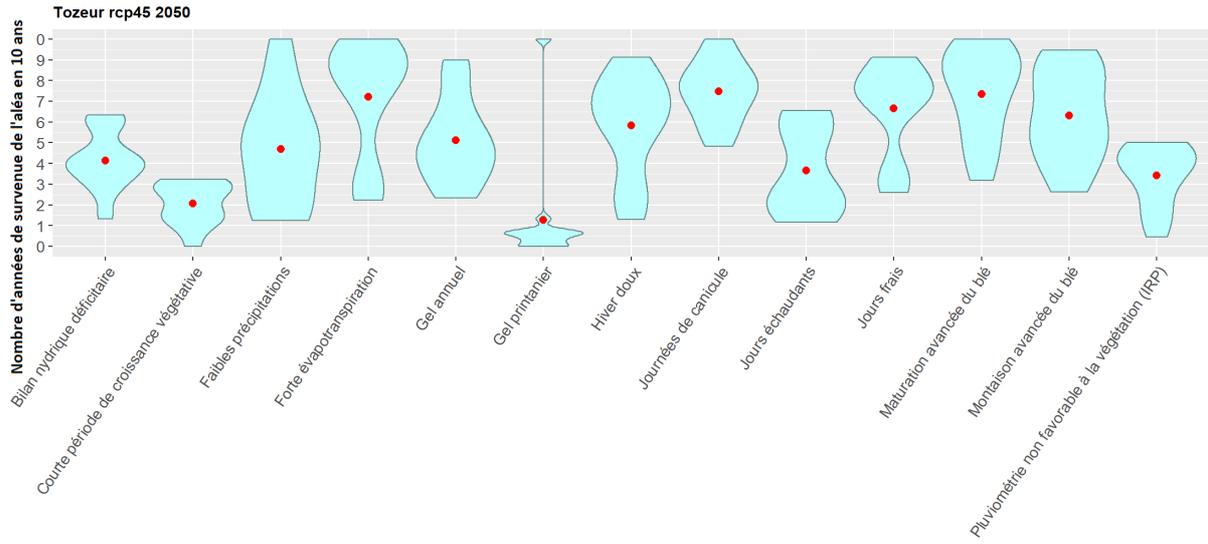


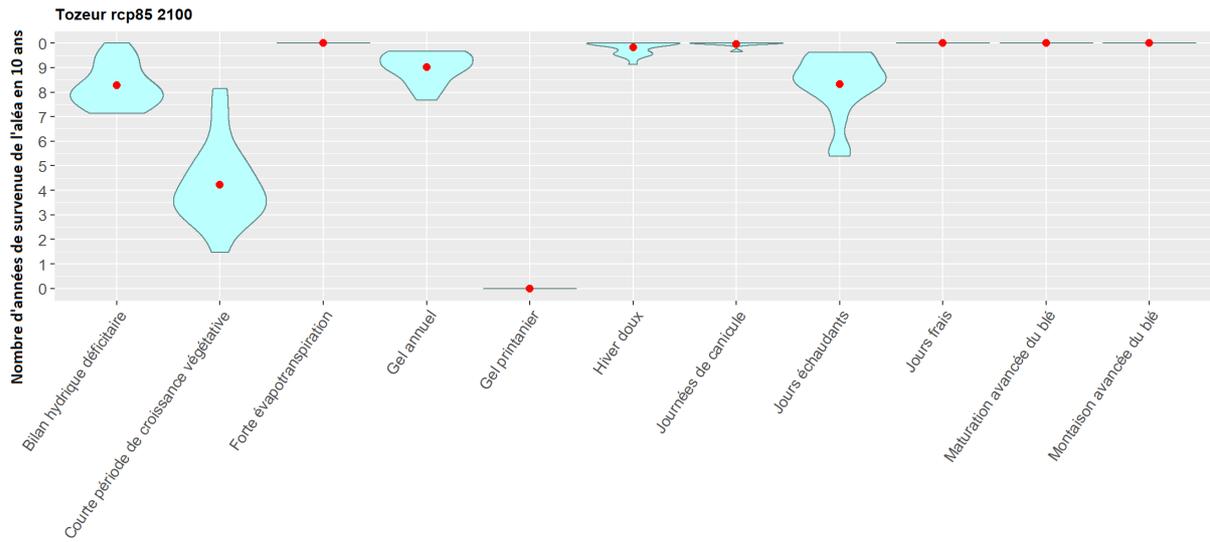
## 13.21 Tataouine



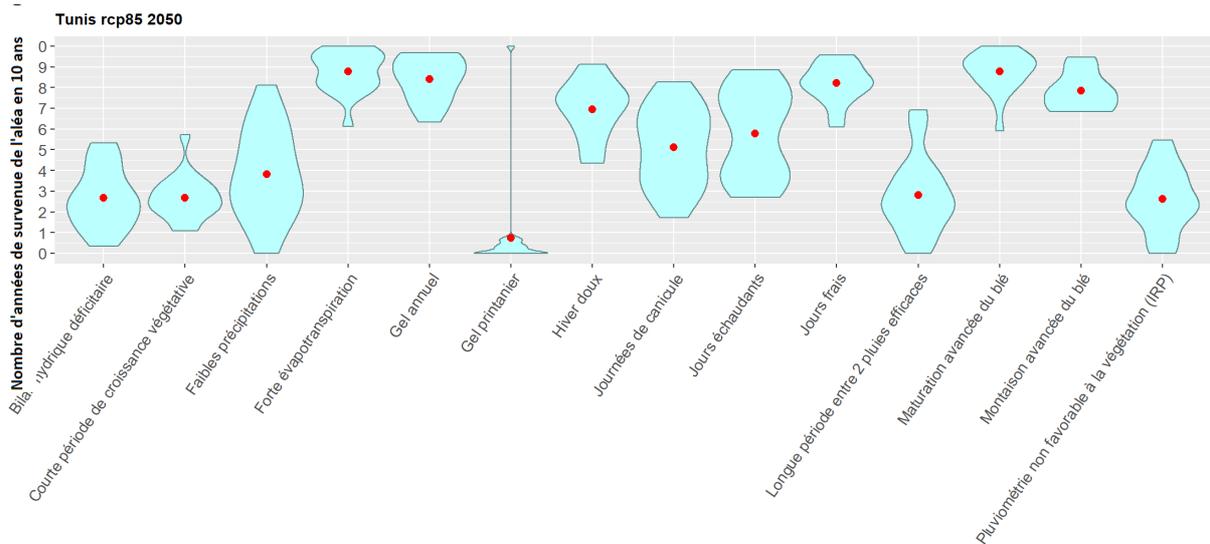
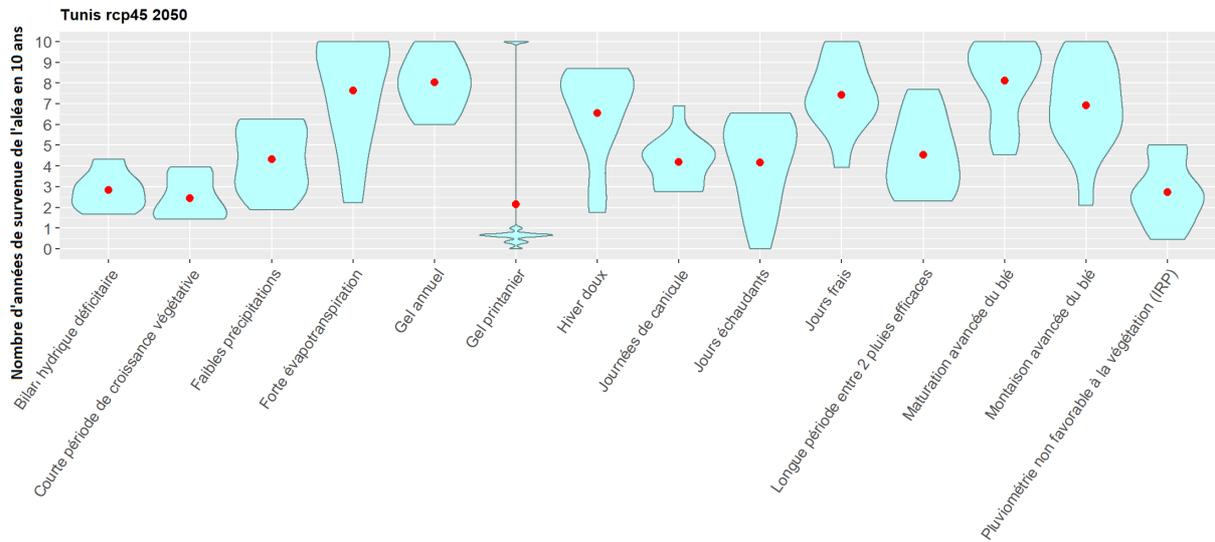


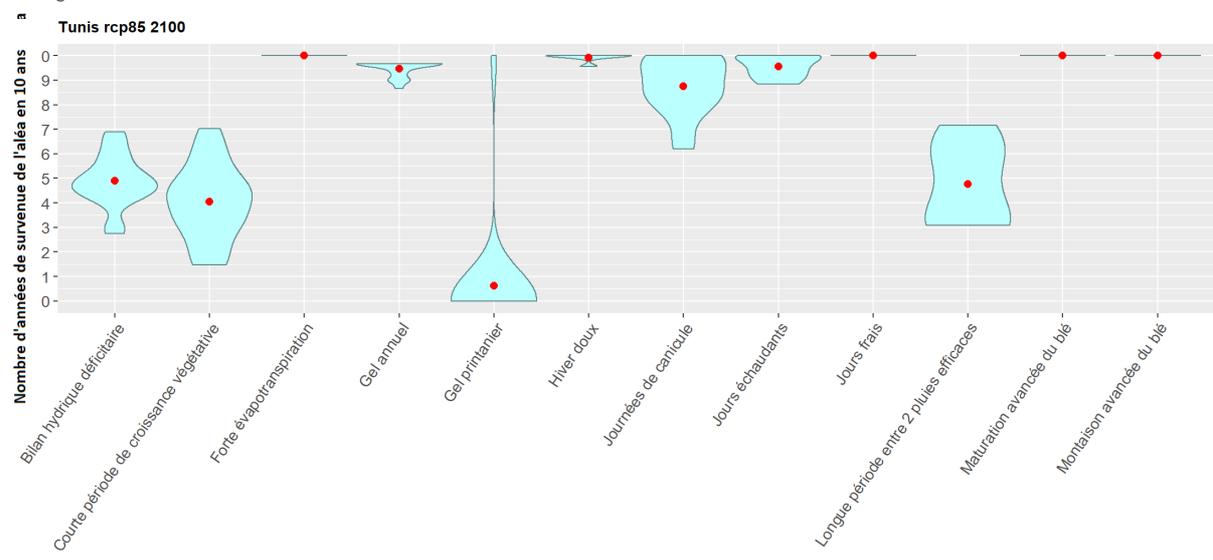
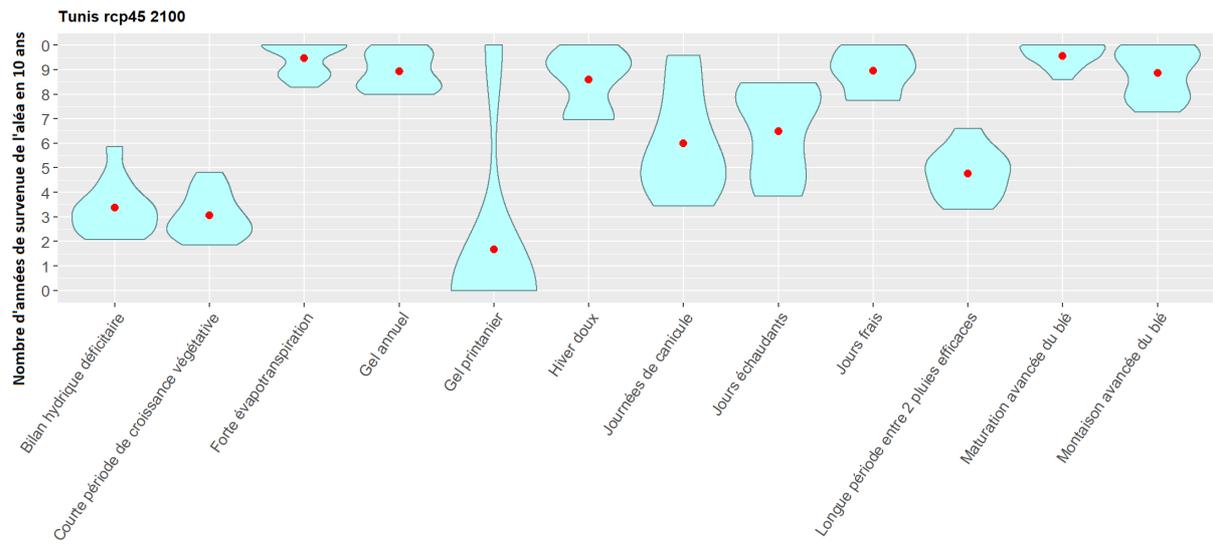
## 13.22 Tozeur



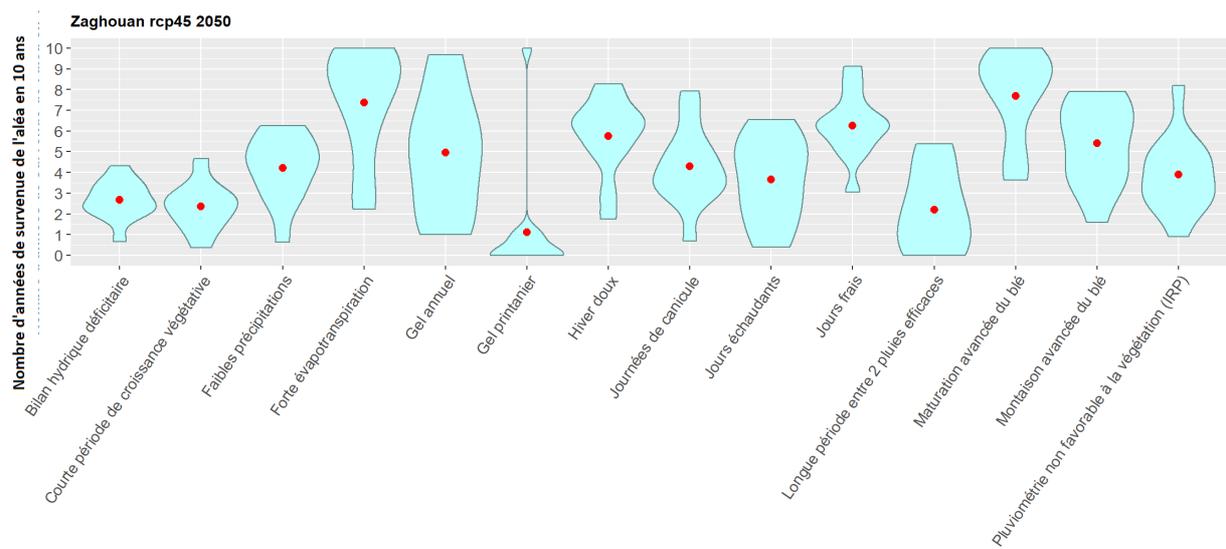


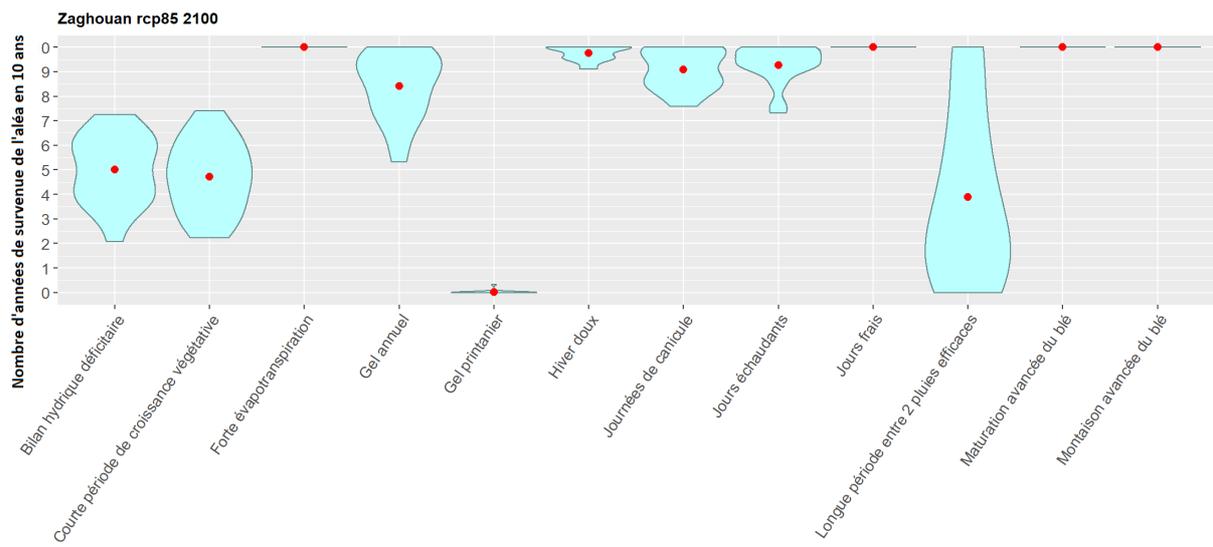
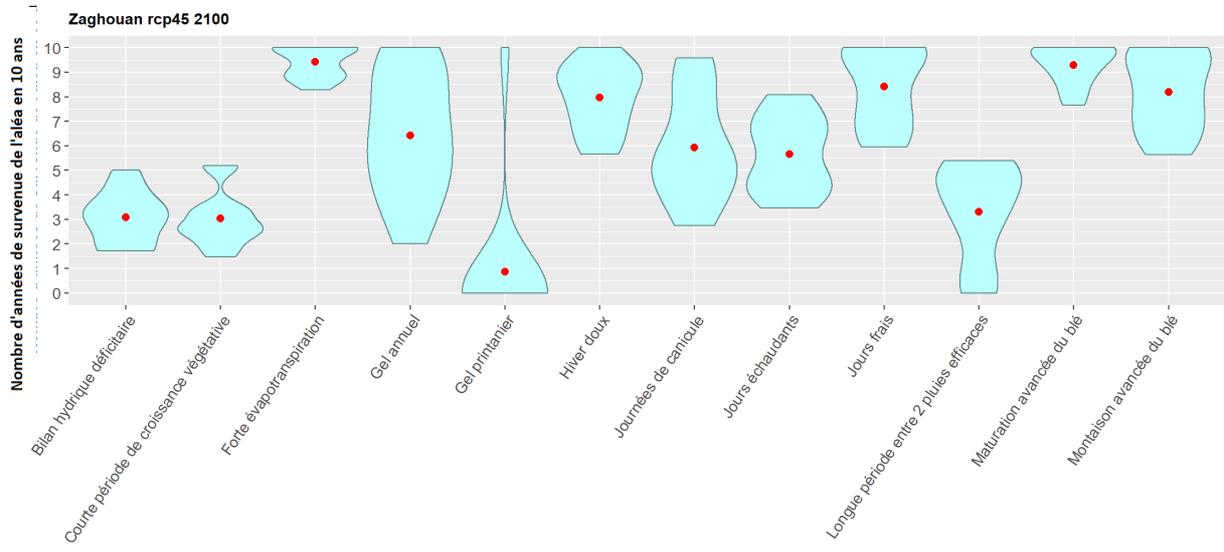
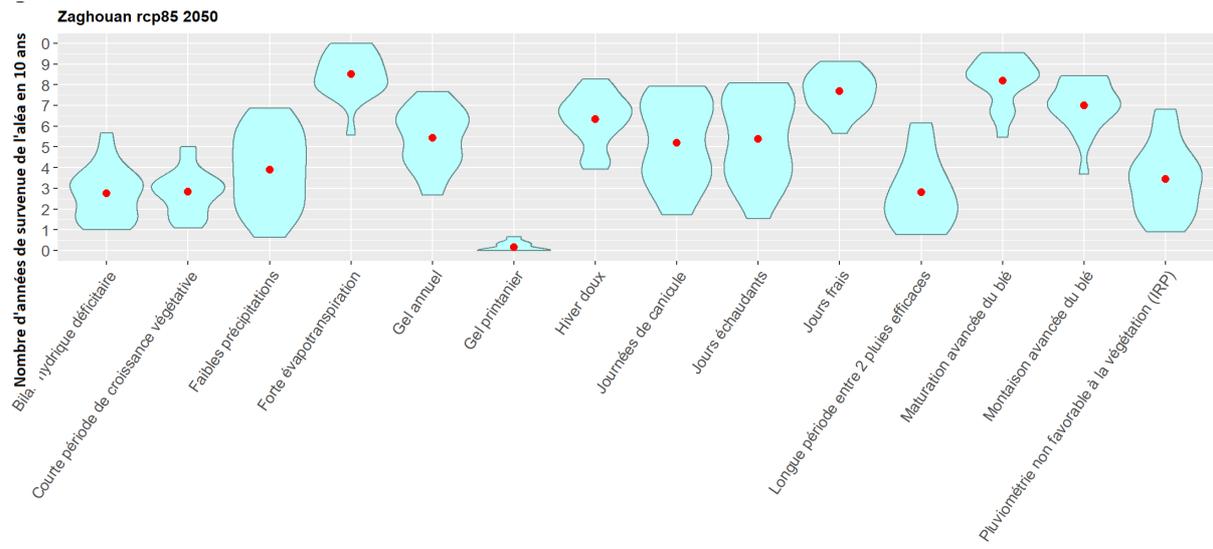
## 13.23 Tunis





## 13.24 Zaghouan





## **14 Compte-rendu de l'atelier de restitution de l'étape 2 « Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire »**

## Compte-rendu de l'atelier de restitution de l'étape 2

### « Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire »

#### Éléments préparatoires au Plan National d'Adaptation de la Tunisie

#### Volet Sécurité Alimentaire

Le 11 février 2021

Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, TUNIS



## Participants

La restitution s'est déroulée par visioconférence de 14 h à 16h15.

Au total, l'événement a accueilli 43 personnes (dont 43 % étaient des femmes) pour 106 personnes invitées Cf liste en annexe.

Ont participé :

- Le MARHP (15) dont le coordinateur de la Commission Sectorielle CC, Mr Aini
- Le Ministère de l'Environnement (2) dont Mr Zmerli, point focal national pour le CC
- L'INM (1) et l'ITCEQ (1) ;
- Pour la coopération internationale : AFD (1), GIZ (1), PNUD (1)
- La société civile a été représentée par un expert indépendant ;
- Les experts du projet (7), et des experts de l'équipe STUDI-EAU 2050 (5) ainsi que SOFRECO (1) et TRACTEBEL (1).

Six participants n'ont pas pu être entièrement identifiés car ils ne figurent pas dans la liste des invités.

Plusieurs entités publiques invitées n'ont pas été représentées, notamment le Ministère de la Santé, les CRDA, l'ITES, l'Union Européenne et la FAO. Aucun invité du secteur privé n'a participé.

Le secteur public a été représenté par 19 personnes dont 11 femmes, soit 44% des participants, dont 79% sont des cadres du MARHP.

## Programme

L'atelier comportait deux sessions :

- i) Présentation des résultats de l'étape 2 (30 minutes)**
- ii) Discussion avec les participants (90 minutes)**

### **Première session :**

Le chef de mission a présenté en 30 minutes les principaux résultats d'étape en s'appuyant sur un diaporama de 13 pages, qui synthétise le résumé exécutif du rapport.

La présentation est organisée comme suit :

- Rappel du cadre de l'étude et des étapes précédentes (4 diapos),
- Aperçu de la démarche et des changements climatiques futurs (3 diapos),
- Impacts du CC sur la sécurité alimentaire (5 diapos)
- Conclusions (1 diapo)

Le contenu de cette présentation est annexé à la fin du présent compte rendu.

## Deuxième session : Réactions et questions des invités / réponses des experts.

Questions / Commentaires	Réponses
<p>Ben Rached Soumaya to <a href="#">Everyone</a> 2:50 PM</p> <p>Merci Mr Denis, mon commentaire concerne les scenario utilisé? page10</p>	<p>Nous avons utilisé les scénarios GIEC (RCP 4.5 et RCP 8.5) avec 30 modèles climatiques (12 et 18 respectivement) pour les horizons 2050 et 2100. Les détails sont contenus dans le <a href="#">premier rapport de l'étude</a>.</p>
<p>Mouna Challouf Ep Zghal to <a href="#">Everyone</a> 2:50 PM</p> <p>Merci beaucoup Mr.Dennis pour la clarté et la richesse de votre présentation</p>	<p>Nous essayons d'aller à l'essentiel sans nier la complexité du sujet.</p>
<p>yadh.zahar to <a href="#">Everyone</a> 2:5</p> <p>Je pense qu'il y'a un 5ème pilier qui est l'agriculture irriguée. Tant par sa capacité de résilience climatique, que pour l'équilibre de la balance alimentaire (import-export). Pourquoi n'a t'on pas insérer ce 5ème pilier ?</p> <p>Quid de l'industrie agroalimentaire en terme de sécurité alimentaire p/r aux CC ?</p>	<p>L'étude porte sur l'impact du CC sur la SA avec un focus sur des sous secteurs clés : élevage, céréales, huile d'olive, pêche. La question de l'irrigation n'est pas traitée à part, néanmoins certaines conclusions peuvent être avancées en se référant à la partie eau agricole de cette étude. Le CC a des effets sur la disponibilité en eau qui baisse et sur les besoins en eau de cultures qui augmentent à cause de la température. L'irrigation restera donc un outil important de la production agricole, mais minoritaire et d'autant plus risqué que les dommages sur les sols (notamment salinisation) iront croissants.</p> <p>L'industrie agroalimentaire sera également affectée en termes de disponibilité des produits et de prix.</p>
<p>Najla Khalfoun to <a href="#">Everyone</a> 2:58</p> <p>Pour l'utilisation des données pluviométriques CHIRPS , il y a un écart avec les données mesurées au niveau des zones montagneuses et et au sud et c'est dû au nombre limité des stations qui ne couvrent pas toutes ces régions.</p>	<p>Les données <a href="#">CHIRPS</a> ne proviennent pas de stations météo mais de mesures infrarouge par satellite. Elles peuvent effectivement contenir des anomalies comme on le voit sur nos cartes pour trois petites régions au centre, à l'Est et au Sud. Avec les données de stations de l'INM il serait possible de corriger ces anomalies.</p>
<p>Ben Rached Soumaya to <a href="#">Everyone</a> 3:00 PI</p> <p>A la page 14, vous mentionnez l'inaccessibilité aux données nationale historiques de l'INM? de quelles données ?</p>	<p><a href="#">Stéphane Simonet</a> to <a href="#">Everyone</a> 3:07 PM</p> <p>@Mmes Soumaya et Khalfoun: l'étude n'a pas pu avoir accès aux données d'observation de l'INM (point longuement discuté au démarrage de l'étude) en raison des conditions d'accès à ces données. Nous avons donc utiliser d'autres sources de données en concertation avec l'INM (ERA interim pour les T° et CHIRPS pour les P). L'utilisation des ces jeux de données d'observation a été validée par l'INM</p>
<p>Najla Khalfoun to <a href="#">Everyone</a> 3:02 P</p> <p>Mme Soumaya, moi aussi j'ai lu cette remarque et j'ai cru qu'ils n'ont pas eu l'accès à vos données.</p>	<p>Travailler avec des données internationales est aussi une bonne chose pour les chercheurs, car ces données sont facilement accessibles et gratuites. L'idéal aurait été de pouvoir corriger certaines anomalies en contrastant avec les données de stations de l'INM et/ou de la DGRE.</p>

<p>boubakri.saliha DGPA to Everyone 3:02</p> <p>Merci beaucoup pour la présentation. Ma question: est ce que cette étude a tenu compte des NAMAs qui ont été établies pour la Tunisie pour atténuer l'impact des changement climatiques?</p>	<p>Stéphane Simonet to Everyone 3:03 PM</p> <p>@Mme Saliha, non malheureusement, mais dans l'étape 3 nous allons mener une analyse multicritère des options d'adaptation dont la synergie avec l'atténuation sera un de critères de l'évaluation</p>
<p>philippe chabot to Everyone 3:05 P</p> <p>Ma question porte sur le dernier point des conclusions "l'adaptation transformative" - cette approche n'est pas reprise dans le rapport (sauf erreur de ma part). Est ce qu'on peut avoir plus d'éclaircissements sur cette approche dans le contexte tuniso-tunisien. Merci.</p>	<p>Effectivement nous n'avons pas utilisé le terme d'adaptation transformative dans les conclusions, mais nous avons posé les conditions de celle-ci : considérer les agriculteurs comme force motrice et notamment la nécessité d'une meilleure organisation et d'un changement de rapport entre l'état et ces derniers (mise en responsabilité) d'une part et d'autre part, comprendre que la poursuite des tendances actuelles mène à une impasse. Ces éléments plaident donc clairement en faveur d'une approche transformative de l'adaptation.</p>
<p>emel to Everyone 3:28</p> <p>Tout à fait d'accord sur le fait que la technologie de pourra pas tout résoudre. je voulais savoir si la tendance au développement des superficies arboricoles observé en irrigué s'observait également en pluvial ?</p>	<p>Il y a une tendance à l'accroissement des superficies arboricoles (7% entre 2009 et 2018), cette croissance est plus importante pour les superficies irriguées ( 48% pour la même période). Il y a également une augmentation des superficies oléicoles en pluvial, avec un net déplacement de ces cultures vers le Nord</p>
<p>emel to Everyone 4:11 PM</p> <p>Merci M. Pommier pour les documents transmis</p>	<p>Il nous semble en effet important que les documents de l'étude soient largement partagés.</p>
<p>Mr Zmerli</p> <p>Interrogations au sujet des évolutions concernant les ressources halieutiques et les impacts sur la sécurité alimentaire notamment pour les régions côtières. L'augmentation de ces ressources signifiera-t-elle une augmentation de la consommation de produits de la mer ?</p>	<p>Grande complexité du milieu marin et limitations de connaissance (production et accès à l'information) concernant les ressources marines. A l'heure actuelle, nous ne savons pas dissocier la part de l'impact du changement climatique de celle induites par d'autres facteurs Notre analyse qui se fonde sur une approche expérimentale de modélisation du rendement des ressources halieutiques à l'horizon de 2050 et fin du siècle, comporte des facteurs de biais et des limites et nécessite des travaux complémentaires qui relèvent du domaine de la recherche scientifique. 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. 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. 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.</p>

	<p>Toutefois, cet accroissement attendu du rendement ne tient pas compte de l'état présent des stocks des espèces actuellement exploitées et des progrès futurs réalisés dans le domaine des techniques de pêche. Donc les projections ne représentent qu'un scénario parmi d'autres de l'évolution du potentiel de pêche.</p> <p>Il est difficile d'anticiper le niveau de consommation nationale future de produits de la pêche. L'augmentation des rendements peut donner lieu à une augmentation de la production, selon l'effort de pêche futur. Ce surplus peut à fois améliorer la consommation de protéines dans l'alimentation des Tunisiens et favoriser les exportations. Les Tunisiens consomment d'ores et déjà de nouvelles espèces pêchées.</p>
<p>Mr Mhiri</p> <p>Félicite les experts. Le rapport confirme ce que nous savons déjà. Attire l'attention sur le processus de décapitalisation du secteur agricole (désagriculturation). Appelle à une vision écosystémique. Le défi est de construire de nouveaux écosystèmes résilients. Affirme que les agriculteurs sont au centre des écosystèmes cultivés.</p>	<p>Nous sommes entièrement d'accord avec ces observations.</p> <p>Les solutions basées sur la nature et les ressources disponibles sont celles qui peuvent répondre le mieux aux défis. La seule ressource illimitée dont dispose le pays c'est l'intelligence et la capacité de transformation des acteurs.</p>
<p>Hichem Ben Salem</p> <p>Qu'en est-il de la sécurité hydrique, de la sécurité des sols et des écosystèmes ?</p> <p>Quelles sont vos recommandations ?</p>	<p>L'eau, les sols et les écosystèmes sont des composantes essentielles de la sécurité alimentaire en particulier pour les aspects disponibilité (production nationale), utilisation des aliments (pour l'eau) et stabilité pour les écosystèmes. Nous abordons la question de l'eau, mais relativement peu celle des sols, qui sont le plus grand réservoir d'eau du pays et de façon sommaire celle des écosystèmes. C'est pour cela que nous concluons sur l'importance de compléter notre approche quantitative avec une approche systémique. La troisième étape doit permettre d'évaluer un certain nombre d'options d'adaptation et déboucher sur des recommandations concernant le processus du PNA. Nous ne prétendons pas fournir des solutions clés en main, mais plutôt contribuer à mobiliser les acteurs afin qu'ils prennent des décisions.</p>
<p>Mme Khalfoun</p> <p>L'augmentation du CO2 dans l'atmosphère est favorable aux céréales. Pourquoi cet élément n'est pas analysé ?</p>	<p>Notre modélisation des rendements des céréales en pluvial est établie sur la base d'une relation statistique entre les rendements observés et les indicateurs climatiques calculés à partir des séries de température et de pluie. D'autre part, les effets potentiellement positifs pour les céréales de l'augmentation du CO2 dans l'atmosphère sont faibles en comparaison avec les effets des températures et des précipitations. Des recherches pourraient être utiles pour préciser l'incidence sur les céréales du facteur CO2 en Tunisie, mais elles dépassent le cadre de la présente étude.</p>

<p style="text-align: center;">Mme Emel Mrad</p> <p>L'impact des CC sur l'oléiculture est très fort. Mais les agriculteurs changent de stratégie : passage à l'irrigué et remontée vers le Nord des plantations.</p>	<p>C'est vrai que les agriculteurs modifient leurs stratégies. Mais celles-ci restent étroitement dépendantes des disponibilités en terres et ressources en eau qui seront aussi affectées par le CC. Tous les agriculteurs n'ont pas la possibilité d'acheter des terres au Nord ou de faire des forages sur des nappes utiles.</p>
<p style="text-align: center;">Faouzi El Batti</p> <p>Rappelle le caractère central de la baisse de productivité des sols, et l'importance de l'agroculture pluviale en Tunisie</p>	<p>Nous sommes tout à fait d'accord. L'agriculture pluviale domine largement en termes de population, de surface et de volumes de production.</p>
<p style="text-align: center;">Yadh Zahar</p> <p>Attire l'attention sur les menaces de surexploitation des ressources halieutiques par des pêcheurs étrangers.</p> <p>Relève la dimension géostratégique de la SA, du fait que la Tunisie se situe à un carrefour des flux alimentaires entre la Méditerranée orientale et occidentale.</p> <p>Evoque l'assurance climatique comme option importante pour les politiques publiques.</p> <p>La dimension « terroir et emploi » est également soulignée</p>	<p>Effectivement, l'augmentation de la productivité de la mer, peut encourager la surexploitation des nouvelles ressources halieutiques par des pêcheurs étrangers.</p> <p>La Tunisie s'inscrit dans un contexte géostratégique particulier et la dimension alimentaire est un élément à considérer parmi d'autres.</p> <p>L'assurance climatique est un outil qui devra être analysé dans la troisième étape. Néanmoins, le risque climatique étant covariant, l'assurance privée individuelle, est très limitée dans sa portée et son efficacité face à un changement structurel qui affecte un grand nombre de producteurs au même moment, notamment la sécheresse.</p> <p>L'analyse des options d'adaptation tiendra compte de la création d'emploi. Les stratégies de développement territorial font partie des options de transformation des politiques de développement.</p>

### **Clôture de l'atelier par le coordinateur, Mr Rafik AINI**

Mme Karen Colin de Verdière (AFD) a encouragé les participants a lire le rapport complet et felicité les organisateurs de l'atelier.

M. Rafik AINI termine l'atelier par un mot de conclusion. Il invite ceux qui le souhaitent à envoyer leurs commentaires au rapport avant le 19 février.

## **Annexe 1 : Invitation à l'atelier**



# INVITATION

## ATELIER DE RESTITUTION

*Contribution aux éléments de la phase préparatoire du processus du*  
**Plan National d'Adaptation au changement climatique**  
**Volet Sécurité Alimentaire**

**JEUDI 11 FÉVRIER 2021**

**14h00 -16h00**

**Visio-conférence ZOOM**

Le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche (MARHP) et l'Agence Française de Développement (AFD) ont le plaisir de vous inviter à participer à l'atelier de restitution de la deuxième étape de la mission de « Contribution aux éléments de la phase préparatoire du processus du Plan National d'Adaptation au changement climatique : Volet sécurité alimentaire » dont l'objectif est de présenter une « **Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire** ».

Télécharger le [Rapport principal](#) et les [Annexes](#)

L'atelier se déroulera en deux temps :

- i) **Présentation des résultats de l'étape 2 (30 minutes)**
- ii) **Discussion avec les participants (90 minutes)**

Les résultats de l'atelier viendront nourrir la préparation de la troisième étape de la mission : **Analyse des options d'adaptation**.

## **Annexe 2 : Présentation synthétique des résultats**



Partner with  
France<sup>TM\*</sup>



# 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**

Livrable 3

Décembre 2020



# Plan National d'Adaptation au CC

- Engagement de la Tunisie dans le cadre de l'accord de Paris sur le climat
- Parties prenantes : Ministère Environnement + MARHP et FAO + PNUD + AFD
- Moyens humains : 9 experts depuis 18 mois
- Etape 1 : **Analyse des effets des scénarios de changement climatique RCP 4.5 et RCP 8.5**
- Etape 2 : **Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire**
- Etape 3 : **Evaluation des options d'adaptation**

# 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  
Jamila BEN SOUISSI  
Mustapha JOULI  
Rim ZITOUNA-CHEBBI

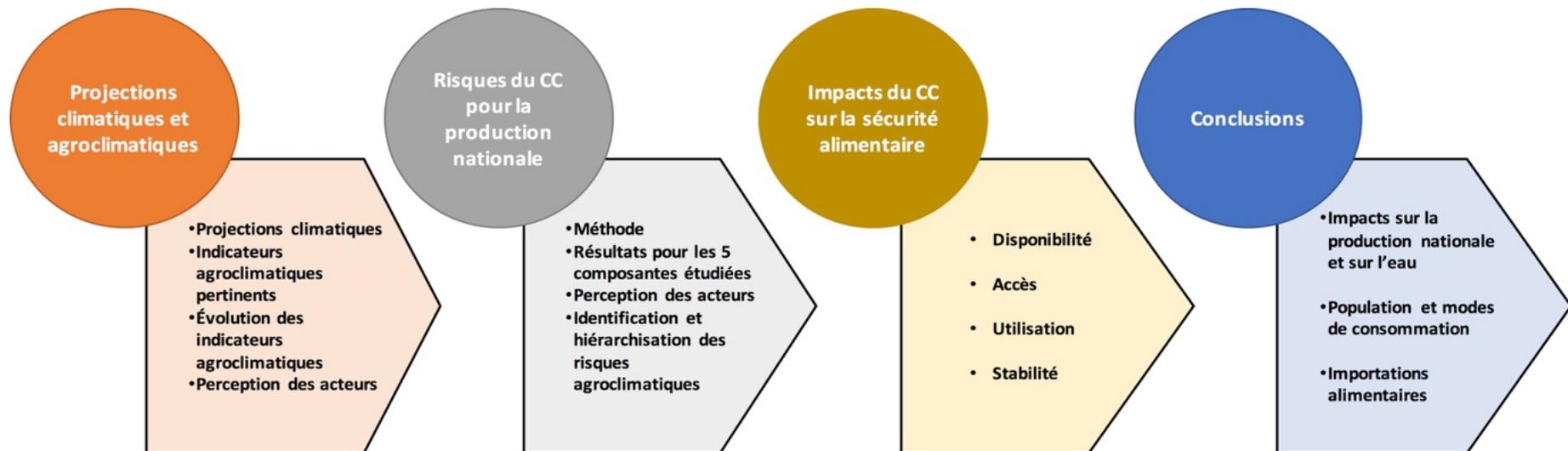
Denis POMMIER  
Kamel TOUNSI  
Riad BALAGHI  
Stéphane SIMONET



# Cadre de l'étude

- Echelle nationale (unité d'analyse par gouvernorat)
- Horizons 2050 et 2100
- Scénarios climatiques RCP 4.5 (12 modèles) et RCP 8.5 (18 modèles)
- Cinq domaines clés de la production alimentaire
  - Céréales (Blé dur, blé tendre et orge)
  - Olivier (Huile d'olive)
  - Parcours (viandes ovines et caprines)
  - Pêche (uniquement en mer – hors eau douce et élevage)
  - Eau (agricole et autres usages)
- Analyse quantitative multidimensionnelle
  - données climatiques passées et futures, spatiale, temporelle, plusieurs secteurs économiques, plusieurs secteurs agricoles ainsi que la pêche, plusieurs approches méthodologiques et outils d'analyse.

# Démarche et innovations

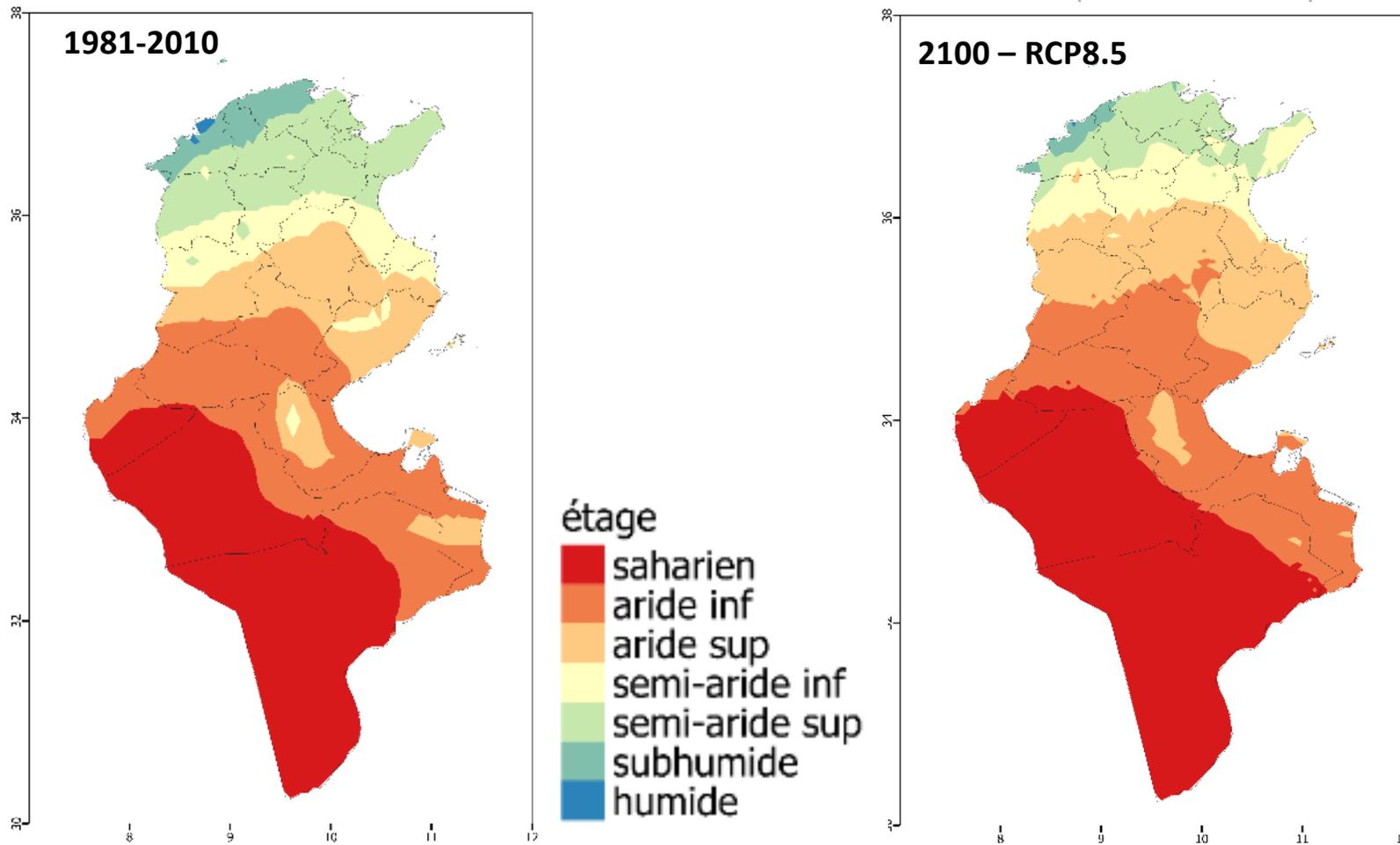


- Nouveau modèle climatique national de 1981 à 2100 à 5 km de résolution (agro-climat)
- Mise à jour de carte des étages bioclimatiques de 1976 et projections futures (2050 et 2100)
- Analyse de l'évolution des aires d'aptitude climatique pour les cultures
- Bilan hydrique (simplifié) national selon les ressources par bassin versant
- Modèles de prévision des rendements sous contrainte climatique
- Estimation de la production nationale pour les cultures étudiées (surface constante et variable) et la pêche
- Analyse des vulnérabilités aux Changements Climatiques pour les domaines étudiés (DELPHI)

# Changements (agro) climatiques

- **diminution du bilan hydrique** d'octobre à mai, plus marquée dans les étages bioclimatiques les plus humides au Nord
- **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
- **diminution du nombre de jours de gel**
- **augmentation du nombre de jours échaudant** en particulier dans le Nord du pays pour les étages humide et subhumide
- **hausse du nombre de jours de chaleur extrême** qui sera plus sévère pour les étages bioclimatiques les plus arides du Sud
- => Effets plus sévères dans le RCP 8.5 et après 2050

# Evolution des étages bioclimatiques



# Sécurité alimentaire

- Disponibilité
  - Production nationale
  - Importations
- Accès aux aliments
  - Prix
  - Revenus
- Utilisation
  - Régimes alimentaires
  - Couverture des besoins
- Stabilité
  - Evènements extrêmes
  - Marchés internationaux

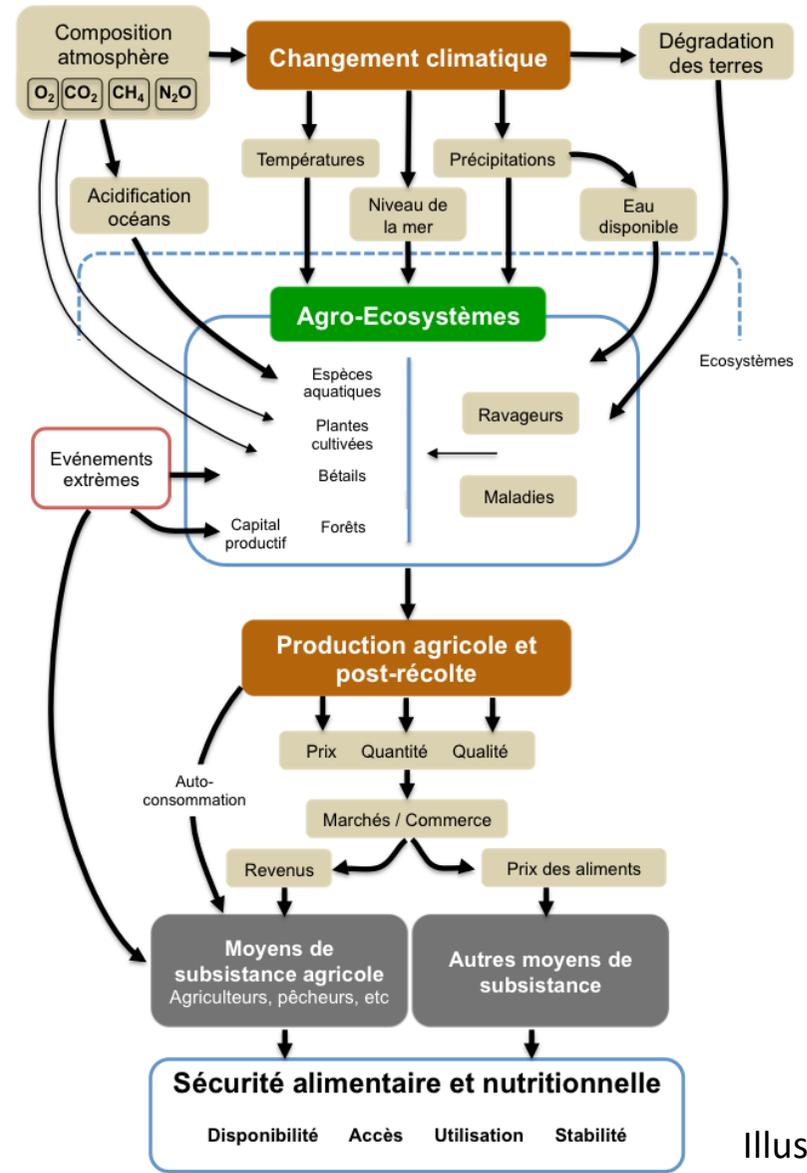


Illustration : FAO

# Disponibilité : Production (2100 – RCP 8.5)

- Eau : Forte baisse des ressources annuelles avec moins 59% affectant les réservoirs et les nappes.
- Céréales : Chute d'un peu plus d'un tiers de la production nationale, affectant plus le blé tendre et l'orge que le blé dur.
- Huile d'olive : Effondrement de la production de plus des deux tiers (Tp)
- Viandes ovines et caprines : Baisse inférieure à 10% de la production nationale mais impacts socio-eco fort dans les régions concernées
- Produits de la mer : Doublement de la productivité des zones de pêche – invasion d'espèces exotiques (sous réserve évolution d'autres facteurs – pollution / surexploitation)

# Accès

- Prix (Horizon 2050 selon FAO):

Hausse des prix à la production entre 5 et 25% pour 2050

L'évolution 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.

- Revenus (Horizon 2050 selon FAO)

Augmentation du PIB per capita entre 2,9 et 3,5% par an vers 2050. Tendence à une légère réduction des inégalités et du nombre de personnes très pauvres. Mais effet COVID...

La diminution de l'offre d'emploi salarié affectera particulièrement les femmes rurales travaillant dans l'agriculture et celles pratiquant la pêche à pied.

# Utilisation

- Population : Augmentation de l'ordre de 10% soit 1,2 millions de plus en 2100 (estimation moyenne / transition démographique achevée)
- Demande en eau : Augmentation de l'ordre de 20% et détérioration de la qualité de l'eau en 2100
- Régime alimentaire : Deux scénarios : (1) Homogène et mondialisé (tendance actuelle) ou (2) reconnexion aux territoires et aux traditions méditerranéennes.
- Couverture des besoins alimentaires (2050) : Augmente faiblement pour se situer au-dessus de 3200 Kcal par jour per capita, soit niveau supérieur aux besoins physiologiques.

# Stabilité

- Évènements climatiques extrêmes : Plus fréquents, 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 (2050 et 2100)
- Marchés internationaux instables : Vulnérabilité aux crises et à la spéculation sur les marchés mondiaux de céréales et soja. Volatilité des prix augmente, mais pas forcément les prix.
- Pénurie alimentaire : Augmentation du risque provoqué par une chute de la production nationale et par des achats de panique.

# Conclusions

- Les quatre piliers de la sécurité alimentaires seront ébranlés !
- Accélération des effets du Changement Climatique après 2050
- Le Centre et le Sud présentent des risques accrus pour l'olivier et les parcours ; les céréales sont menacées au Nord (forte exposition)
- Invasion massive d'espèces exotiques augmente la productivité des zones de pêche sous réserve des effets pollution et surexploitation.
- **Faire face à la décapitalisation de la majorité des agriculteurs !**
- **Question de l'égalité homme-femme dans la société !**
- **L'eau : première ressource alimentaire de + en + rare et menacée !**
- **La gouvernance des ressources naturelles au centre des enjeux futurs !**
- **Les solutions technologiques risquent de ne pas suffire => adaptation transformative ?**

### Annexe 3 Liste des invités

Nom	Institution	Email
Abdelhalim Guesmi	DGEDA	Abdelhalim Guesmi <abdelhalim.guesmi@iresa.agrinet.tn>
Abdelmajid Shal	DGPAq	Abdelmajid Shal <magidshel@yahoo.fr>
Abderrahman Ouasli	BPEH	Abderrahman Ouasli <ouasliab@gmail.com>
Abderrazak Bouchahda	Expert Parlement ODD	Abderrazak Bouchahda <dokrazaik@gmail.com>
Adel Abdouli	APAL	Adel Abdouli <a.abdouli@apal.nat.tn>
Afef Ben Abda	FAO	Afef Ben Abda <afef.benabda@fao.org>
Agostino Picchioni	Sofreco	Agostino Picchioni <agostino.picchioni@sofreco.biz>
Ali Harzallah	Instm	Ali Harzallah <ali.harzallah@instm.rnrt.tn>
Ali Kchouk	BPEH	Ali Kchouk <alikchouk@yahoo.fr>
Ali M'hiri	Professeur	Ali Mhiri <alimhiriborj41@gmail.com>
Amina Hichri	MARHP	Amina Hichri <amina.hichri2101@gmail.com>
Amna HELMI	MINSA	Amna HELMI <amna@rns.tn>
AMRI Faouzi	DGRE	AMRI Faouzi <amrifawzi1962@gmail.com>
ANATER Issam	DGACTA	ANATER Issam <anatarisaam@yahoo.fr>
Awatef Messai Larbi	MEDD	Awatef Messai Larbi <awatef.messai@yahoo.fr>
AZOUZ Sami	SECADNORD	AZOUZ Sami <azouzsami@gmail.com>
BATTI Faouzi	DGACTA	BATTI Faouzi <batti.faouzi@yahoo.es>
BECHIKH Ezzedine	SECADNORD	BECHIKH Ezzedine <bencheikhezzeddine@gmail.com>
Bechir Bejaoui	INSTM	Bechir Bejaoui <bejaoui.bechir@gmail.com>
Bechir Ben Rouina	Institut Olivier	Bechir Ben Rouina <benrouina@gmail.com>
Bechir Ounissi	Directeur APIA	Bechir Ounissi <ounissi.bechir@apia.com.tn>
BEN SALAH Yosra	DGRE	BEN SALAH Yosra <y_bensalah@yahoo.com>
Bochra Jaouani	UNDP	Bochra Jaouani <bochra.jaouani@undp.org>
BOUFAROUA Mohamed	DGF	BOUFAROUA Mohamed <mboufaroua@yahoo.fr>
Chiheb SLAMA	President FENAAL	Chiheb SLAMA <c.slama@slama.com.tn>

Chokri Mezghani	MALEn Point focal Fonds Vert Climat	Chokri Mezghani <chokri.mezghani@mineat.gov.tn>
Chokri Zairi	Direction CI	Chokri Zairi <chok_zairi2007@yahoo.fr>
Denis REISS	DELUE	Denis REISS <denis.reiss@eeas.europa.eu>
Faten Khamassi	INAT	Faten Khamassi <faten.khamassi@gmail.com>
Faten Rezgui	AVFA	Faten Rezgui <faten.rezgui@yahoo.fr>
FRIGUI Lotfi	DGRE	FRIGUI Lotfi <hfrigui@yahoo.fr>
GABOUJ Ridha	DGDREE	GABOUJ Ridha <Ri.gabouj@yahoo.fr>
GHARBI Najet	DGGREE	GHARBI Najet <najet_gharbi@yahoo.fr>
Hamadi Gharbi	WWF - Projet MS3R	Hamadi Gharbi <hgharbi@wwfna.org>
Hamda Aloui	Point focal UNCCD	Hamda Aloui <aloui_asm@yahoo.fr>
HAMZA Elyes	IRESA	Elies HAMZA <h_elies@yahoo.fr>
Haykel hechlef	Direction CI	Haikel Hochlef <haikel_esam@yahoo.fr>
Haytem BELGHRISSE	Chef de service INM	Haytem BELGHRISSE <haythem.belghrissi@meteo.tn>
Hichem Ben Salem	Iresa	Hichem Ben Salem <bensalem.hichem@iresa.agrinet.tn>
HLELI Mesbeh	SONEDE	HLELI Mesbeh <m.helali@sonede.com.tn>
Igor VINCI	GIZ PADII	Igor VINCI <igor.vinci@giz.de>
Imen Derbel	DGAJF	Imen Derbel <imennderbel@gmail.com>
Imen SOUISSI	IAMM	Imen SOUISSI <souissimen@yahoo.fr>
Imene Daly	BRTDA	Imene Daly <imene.daly@gmail.com>
Issam Anatar	DGACTA	Issam Anatar <anatarisaam@yahoo.fr>
Issam Daghari	ITCEQ	Issam Daghari <issam.daghari@gmail.com>
Jihene Touil	PNUD	Jihene Touil <jihene.touil@undp.org>
Kamel Aloui	Chef de service DG Forets	Kamel Aloui <aloui.kamel77@yahoo.fr>
Karen Colin de Verdière	AFD	Karen Colin de Verdière <colindeverdierek@afd.fr>
Karim Daoud	SYNAGRI	Karim Daoud <daoudk1@gmail.com>
Khaoula Klouz	STUDI	Khaoula Klouz <khaoula.klouz@studi.com.tn>
LAAJIMI Raouf	DGFIOP	LAAJIMI Raouf <raouf_laajimi@yahoo.fr>
Lamia Rjaibi Gam Rjaibi	UTAP	Lamia Gam Rjaibi <femme_agricultrice@utap.tn>

Lotfi Bouzaïene	STUDI	Lotfi Bouzaïene <lotfi.bouzaiane@planet.tn>
Mahfoudh Menjli	CNEA	Mahfoudh Menjli <me_mahfoudh@yahoo.fr>
Malek Ben Salah	Expert grandes cultures	Malek Ben Salah <malekbensalah38@gmail.com>
Marwaine Dabbouni	DGBGTH	Marwaine Dabbouni <marwaine@yahoo.fr>
Masmoudi Chiraz	Institut Olivier	Masmoudi Chiraz <masmoudi.chiraz@yahoo.fr>
Mehdi Khlass	DGFIOP	Mehdi Khlass <khlassmehdi2000@yahoo.fr>
Mehrez Rejeb	DGBGTH	Mehrez Rejeb <mehrez.bgth@gmail.com>
MNEJA Abdelhamid	DGGREE	MNEJA Abdelhamid <mnajja.abdelhamid@yahoo.fr>
Mohamed Amrani	FAO	Mohamed Amrani <mohamed.amrani@fao.org>
Mohamed Ben Sakka	GTZ	Mohamed Ben Sakka <mohamed.ben-sakka@giz.de>
Mohamed Lazhar El Echi	DGEDA Directeur Statistiques Agricoles	Mohamed Lazhar El Echi <lazharechi@yahoo.fr>
Mohamed Rabhi	DHMPE	Mohamed Rabhi <mohamed.rabhi@rns.tn>
Mohamed Zmerli	Ministere Environnement	Mohamed Zmerli <zmerli_mohamed@yahoo.com>
Mohieddine Ksontini	Institut Olivier	Mohieddine Ksontini <ksantini_m@yahoo.fr>
Mouna Challouf Ep Zghal	BPEH	Mouna Challouf Ep Zghal <mounachallouf@gmail.com>
Mounir Majdoub	ACES	Mounir Majdoub <mounir.majdoub@gmail.com>
MSALEM FAYEZ	DGBGTH	MSALEM FAYEZ <msallem_faiez@yahoo.com>
Nadia Arfaoui	Chef de service DGAFTA	Nadia Arfaoui <nadiasmil@yahoo.fr>
Nahed Ben Khelifa	ITCEQ	Nahed Ben Khelifa <nahed.ben.khalifa@gmail.com>
Najet Nsaibia	DGPA	Najet Nsaibia <najetbn@yahoo.fr>
Najla Khalfoun	DGRE	Najla Khalfoun <najla.khalfoun@yahoo.fr>
Najoua Rjeibi	DGF	Najoua Rjeibi <rjeibianajoua@gmail.com>
Narjis Hamrouni	Marhp	Narjis Hamrouni <narjishamrouni@gmail.com>
Neji JALLOUL	ITES	Neji JALLOUL <neilaites1969@gmail.com>
Oussama Kheriji	INGC	Oussama Kheriji <oussama.kheriji@ingc.tn>
Rabaa Ben Salah	DGPA	Rabaa Ben Salah <bs.rabaa@yahoo.fr>
Rachid Toujani	INSTM	Rachid Toujani <toujani.rachid@instm.nrrt.tn>
Rachid Zouani	INGC	Rachid Zouani <rachid.zoueni@ingc.tn>

Rafik Aini	Coord CSCC MARHP	Rafik Aini <rafikaini1@gmail.com>
Rafik Nouaili	DGPAq	Rafik Nouaili <nouailirafik@yahoo.fr>
Raoudha Gafrej	Professeur	Raoudha Gafrej <raoudha63@gmail.com>
Rym Boubaker	DGAB	Rym Boubaker <rymboubaker72@gmail.com>
SAID Abdelfattah	DGPA	SAID Abdelfattah <saidabdefateh@gmail.com>
Saliha Boubakri	DGPA	Saliha Boubakri <saliha.boubakri@gmail.com>
Sami Dallel	STUDI	Sami Dallel <Sami.dallel@studi.com.tn>
Samia Maamer	DGAB MARHP	Samia Maamer <samia.maamer@gmail.com>
Samia Selmi	BPEH	Samia Selmi <samiaselmi@gmail.com>
Samia Zayani	Dynamique Eau	Samia Zayani <contact@dynamiqueeau.net>
Sarra Touzi	GWP-MED	Sarra Touzi <sarra@gwpmed.org>
Sawsen Ben Nasr	ITCEQ	Sawsen Ben Nasr <sawsen.bennasr@itceq.tn>
Slim Jarradi	GIZ	Slim Jarradi <slim.jarradi@giz.de>
Sophie VANHAEVERBEKE	DELUE Chef de coopération	Sophie VANHAEVERBEKE <sophie.VANHAEVERBEKE@eeas.europa.eu>
Souhir Belaïd	DGEDA - Stats	Souhir Belaïd <souhirbelaid@gmail.com>
Soumaya Ben Rached	INM	Soumaya Ben Rached <soumaya@meteo.tn>
Taoufik Sboui	BRTDA Terres domaniales	Taoufik Sboui <tfksboui@gmail.com>
Tawfik Ben Abdallah	Journaliste	Tawfik Ben Abdallah <taoufikbenabdallah_71@yahoo.com>
Thouraya Lakoud	ITCEQ	Thouraya Lakoud <thouraya.lakoud@itceq.tn>
Walter Engelberg	Coordinateur promotion filières agricoles (IPFA)	Walter Engelberg <walter.engelberg@giz.de>
Yadh Labbene	Climatologue	Yadh Labbene <yadh.labbene@gmail.com>
Yadh Zahar	STUDI	Yadh Zahar <yadh.zahar@studi.com.tn>
Yassine SKANDRANI	MARHP Cabinet	Yassine SKANDRANI <skandrani.yassine@iresa.agrinet.tn>
ZAYENI Khmayes	AVFA	ZAYENI Khmayes <zayani.khemais@inat.agrinet.tn>
Zouhair EL KADHI	ITCEQ	Zouhair EL KADHI <zouhair.elkadhi@gmail.com>