

République Tunisienne
Ministère de l'Environnement
Direction Générale de l'Environnement et de la
Qualité de la Vie UGPO - Programme Intégré pour la Dépollution de la
Région du Lac de Bizerte



Etude pour analyse et évaluation des risques liés à la vulnérabilité de la région du complexe lagunaire lac de Bizerte et lac d'Ichkeul face aux effets de changements climatiques

Phase 1

Partie 2 : Analyse de
la situation

Version définitive

COMETE Engineering

Septembre 2022

Site web : <http://www.comete-group.com/>

Tél. : (+216) 31 307 800

Adresse: imm COMETE,
Av. Hedi Karray, Tunis



SOMMAIRE

RESUME	X
1 INTRODUCTION ET ÉLÉMENTS DE CADRAGE	1
1.1 HISTORIQUE ET APPORTS DES ÉTUDES ANTÉRIEURES	1
1.2 VISION DE L'ÉTUDE	1
1.3 OBJECTIFS, ACTIVITÉS ET ORGANISATION DE L'ÉTUDE	2
1.4 RAPPEL DES RÉSULTATS DE LA PREMIÈRE PARTIE DE L'ÉTUDE (COMPOSANTE 1)	3
1.5 STRUCTURE DU RAPPORT	4
2 APPROCHE CONCEPTUELLE	4
2.1 NOTION DE RISQUE ET DE CATASTROPHE EN LIEN AVEC LES CC	5
2.2 PRÉCISIONS SUR LE RISQUE	5
2.3 ALÉA	6
2.4 VULNÉRABILITÉ	6
2.5 ENJEUX ET EXPOSITION	7
2.6 ADAPTATION ET RÉSILIENCE	7
2.7 RÉDUCTION DES RISQUES	7
2.8 GESTION DU RISQUE	9
3 ÉMISSIONS DE GES EN TUNISIE ET PRINCIPAUX ALÉAS LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ENGENDRÉS DANS LA ZONE D'ÉTUDE	9
3.1 AUGMENTATION DE TEMPÉRATURE MOYENNE GLOBALE DU PAYS	9
3.2 AUGMENTATION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE GLOBALE À L'ÉCHELLE DE LA ZONE D'ÉTUDE	10
3.3 AVENIR POTENTIEL DES ÉMISSIONS DE GES EN TUNISIE	12
3.4 ALÉA ÉLEVATION ACCÉLÉRÉE DU NIVEAU MOYEN DE LA MER	13
4 CONSTRUCTION D'UNE BASE DE DONNÉES POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS À LA VULNÉRABILITÉ DES COMPOSANTES ÉCOSYSTÉMIQUES AUX CC	15
4.1 CONSTRUCTION D'UNE BASE DE DONNÉES	16
4.2 STRUCTURE DE LA BASE DE DONNÉES	17
4.3 SYSTÈME DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	17
4.4 LOGICIEL DE TRAITEMENT SIG	18
4.5 ORGANISATION ET FORMAT DES DONNÉES	18
4.6 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU MODÈLE DE DONNÉES ET OBJECTIFS	18
4.7 ATTRIBUTS ET DESCRIPTIFS DES DONNÉES RELATIVES AUX ENTITÉS/COUCHES D'INFORMATION	20
5 PROCESSUS D'ÉVALUATION ET DE CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA, DE LA VULNÉRABILITÉ ET DU RISQUE	21
5.1 TERMINOLOGIE ET PERCEPTS DE VULNÉRABILITÉ ET DE RISQUE FACE À UN ALÉA CC DONNÉ	21
5.2 MÉTHODE ET PROCESSUS D'ÉVALUATION DE L'ALÉA	23
5.3 MÉTHODE ET PROCESSUS D'ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ	25
5.4 MÉTHODE ET PROCESSUS D'ÉVALUATION DU RISQUE	26
6 ANALYSE ET ÉVALUATION DU RISQUE LIÉ À LA VULNÉRABILITÉ DES COMPOSANTES ÉCOSYSTÉMIQUES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	28
6.1 COMPOSANTES MARINES ET LAGUNAIRES PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES	28
6.1.1 Canal de navigation	28
6.1.2 Lagune de Bizerte	29
6.1.3 Lac Ichkeul	30
6.1.4 Analyse de la vulnérabilité de la pêche au changement climatique	31
6.1.5 Analyse de la vulnérabilité de l'aquaculture au changement climatique	33
6.1.6 Vulnérabilité des composantes marines et lagunaires physiques et biologiques	35
6.2 COMPOSANTES TERRESTRES PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES	36
6.2.1 Problématique de la vulnérabilité de la biodiversité aux changements climatiques et approche méthodologique	36

6.2.2	<i>Principaux constats relatifs aux aléas, risques et vulnérabilité</i>	37
6.2.3	<i>Vulnérabilité de la Biodiversité de la Faune des zones humides à la submersion et la salinisation</i>	45
6.2.4	<i>Faits Aggravants la vulnérabilité des zones humides et leur biodiversité à la submersion</i>	48
6.2.5	<i>Vulnérabilité épidémiologique liée aux moustiques</i>	50
6.2.6	<i>Vulnérabilité des espaces aux feux de forêts</i>	53
6.3	COMPOSANTES LIÉES À L'HYDROLOGIE ET AUX EAUX DE SURFACE	54
6.3.1	<i>Inondations</i>	54
6.3.2	<i>Erosion</i>	61
6.3.3	<i>Envasement et hydrodynamique sédimentaire</i>	66
6.3.4	<i>Risque de sécheresse</i>	66
6.3.5	<i>Réduction de l'extension spatiale du Lac Ichkeul</i>	71
6.3.6	<i>Perturbation de l'écosystème</i>	77
6.3.7	<i>Surexploitation des eaux souterraines</i>	80
6.3.8	<i>Risque de salinisation lié à la vulnérabilité des eaux souterraines aux CC</i>	81
6.3.9	<i>Recommandations</i>	86
6.4	RISQUES OCCASIONNÉS AUX INFRASTRUCTURES, ÉQUIPEMENTS ET ACTIVITÉS SOCIOÉCONOMIQUES	87
6.4.1	<i>Principales activités socioéconomiques présentes aux alentours et en rapport avec le complexe lagunaire de Bizerte</i>	87
6.4.2	<i>Prémices des impacts des changements climatiques dans le domaine urbain</i>	89
6.4.3	<i>Risques liés à la vulnérabilité des activités socioéconomiques face aux CC</i>	90
6.4.4	<i>Analyse de la vulnérabilité des activités socioéconomiques</i>	95
6.4.5	<i>Recommandations</i>	100
6.4.6	<i>Récapitulatif</i>	103
6.5	RISQUES ASSOCIÉS À LA VULNÉRABILITÉ DE L'AGRICULTURE DANS LA ZONE D'ÉTUDE	103
6.5.1	<i>Vulnérabilité des sols agricoles aux CC</i>	104
6.5.2	<i>Risques liés à la vulnérabilité de l'eau agricole et cultures irriguées aux CC</i>	106
6.5.3	<i>Risques liés à la vulnérabilité de la céréaliculture aux CC</i>	107
6.5.4	<i>Risques liés à la vulnérabilité de l'oléiculture aux CC</i>	107
6.5.5	<i>Risques liés à la vulnérabilité des systèmes sylvopastoraux et l'élevage aux CC</i>	108
6.5.6	<i>Risques liés à la vulnérabilité cultures irriguées aux CC</i>	109
6.5.7	<i>Évaluation des risques liés à la vulnérabilité des activités agricoles aux CC</i>	110
6.5.8	<i>Impacts positifs potentiels du changement climatique sur les cultures par enrichissement de CO₂ de l'atmosphère</i>	111
6.5.9	<i>Recommandations</i>	111
6.5.10	<i>Récapitulatif</i>	112
6.6	RISQUES LIÉS À LA VULNÉRABILITÉ DES ACTIVITÉS TOURISTIQUES, RÉCRÉATIVES ET DE LOISIRS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	112
6.6.1	<i>Vulnérabilité et effets possibles du CC sur le potentiel climato-touristique, la destination touristique et le touriste</i>	113
6.6.2	<i>Risques et Conséquences des CC sur les infrastructures touristiques</i>	115
6.6.3	<i>Risques et conséquences sur les excursions, randonnées et visites</i>	115
6.6.4	<i>Évolution possible des destinations touristiques dans la région du complexe lagunaire en rapport avec les CC</i>	116
6.6.5	<i>Recommandations</i>	117
6.6.6	<i>Récapitulatif</i>	117
7	ANALYSE SWOT	118
7.1	DÉMARCHE D'ANALYSE	118
7.2	RECOMMANDATIONS	122
7.3	ENJEUX ASSOCIÉS AUX RISQUES LIÉS À LA VULNÉRABILITÉ DES COMPOSANTES DE L'ÉCOSYSTÈME ET SON ENVIRONNEMENT	123
8	ANALYSE MULTICRITÈRE EN VUE D'ARRÊTER LES PRIORITÉS STRATÉGIQUES ET LES MESURES D'INTERVENTION À L'ÉCHELLE DE LA ZONE	124
8.1	IDENTIFICATION ET MISE EN EXERGUE DES CRITÈRES RELATIFS À LA VULNÉRABILITÉ ET AUX RISQUES ATTENDUS SUR UNE PÉRIODE DÉTERMINÉE	125

8.2	PROPOSITION D'UN PAQUET DE MESURES ENVISAGEABLES ET RÉALISABLES POUR RENFORCER L'ADAPTATION ET LA RÉSILIENCE DES COMPOSANTES DES ÉCOSYSTÈMES, DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DES ACTIVITÉS HUMAINES AUX CC.....	126
9	LEÇONS APPRISES ET CONCLUSIONS	128
10	RÉFÉRENCES CONSULTÉES	131
11	ANNEXES.....	135
	ANNEXE 1 : GLOSSAIRE	135
	ANNEXE 2 : ANALYSE DES TRAVAUX.....	141
	ANNEXE 3 : CHANGEMENT CLIMATIQUE, SCÉNARIOS ENVISAGÉS À L'INTERNATIONAL ET CONSÉQUENCES POUR LA TUNISIE	151
	ANNEXE 4 : GUIDE D'ANIMATION DE RÉUNIONS ET D'ENTRETIENS GROUPE AU SEIN DES MUNICIPALITÉS	163
	ANNEXE 5 : DICTIONNAIRE DE DONNÉES	169

Titres des tableaux

Tableau 1 : Système de coordonnées géographiques utilisé pour la construction de la base de données	17
Tableau 2 : Exemple de format, désignation et origine de fichiers (couches de données) utilisées pour l'évaluation et la cartographie des aléas, des vulnérabilités et des risques.....	19
Tableau 3 : Caractérisation des couches d'information dans la base de données	21
Tableau 4 : Exemple de cotation de la probabilité d'occurrence d'un événement aléatoire.....	23
Tableau 5 : Exemple d'échelle de cotation (matrice de décision) des conséquences en cas d'inondation.....	24
Tableau 6 : Vulnérabilité de la zone du canal de Bizerte au changement climatique.....	29
Tableau 7 : Caractéristiques hydrauliques du lac de Bizerte (MEDD, 2008)	29
Tableau 8 : Vulnérabilité du la Lagune de Bizerte au changement climatique.....	30
Tableau 9 : Vulnérabilité du Lac Ichkeul au changement climatique.....	31
Tableau 10 : Vulnérabilité de la pêche dans le lac de Bizerte au changement climatique	32
Tableau 11 : Vulnérabilité de la pêche dans le lac Ichkeul au changement climatique.....	33
Tableau 12 : Vulnérabilité de la conchyliculture vis-à-vis de la qualité des eaux.....	34
Tableau 13 : Vulnérabilité de l'aquaculture dans le lac de Bizerte au changement climatique	35
Tableau 14 : Récapitulatif sur la vulnérabilité écologique du complexe Bizerte-Ichkeul	35
Tableau 15 : Tolérance des principales espèces de plantes hydro-halophytes aux paramètres édaphiques (d'après Tela botanica.org)	41
Tableau 16 : Répartition spatiale des hydro-halophytes selon l'importance de la salinité et de l'eau dans le sol	42
Tableau 17 : Tolérance des principales espèces de plantes hydrophytes aux principaux paramètres abiotiques édaphiques (d'après Tela botanica.org)	44
Tableau 18 : Répartition spatiale des hélophytes – hydrophytes en fonction de la quantité d'eau douce dans le sol.....	44
Tableau 19 : Tolérance des adultes et des têtards d'Amphibiens au manque d'eau et à la salinité.....	46
Tableau 20 : Liste des principales espèces d'oiseaux nicheurs, menacés et remarquables dans les différentes zones humides de la région	48
Tableau 21 : Matrice des comparaisons par paires et calcul de pondérateurs (Risque d'inondation)	59
Tableau 22 : Surface élémentaires des classes de risque d'inondation	61
Tableau 23 : Matrice des comparaisons par paires et calcul de pondérateurs (Risque d'érosion)	63
Tableau 24 : Surfaces élémentaires et pondérateurs des classes des couches thématiques (érosion).....	64
Tableau 25 : Surfaces élémentaires des classes d'érosion.....	66
Tableau 26 : Années sèches, normales et humides identifiées dans le Bassin Versant Bizerte – Ichkeul au cours de la période (1970-2014)	67

Tableau 27 : Pourcentages de surface des différentes classes de sécheresse	71
Tableau 28 : Evolution future de l'apport annuel moyen au Lac Ichkeul.....	72
Tableau 29 : Volumes annuels en Mm ³ de la lagune de Bizerte 2002/2008	73
Tableau 30 : Volumes annuels sortant du lac en Mm ³	73
Tableau 31 : Evolution future de la précipitation directe sur le lac	73
Tableau 32 : Evolution future de l'évaporation annuelle moyenne à partir du lac	74
Tableau 33 : Bilan global du Lac Ichkeul en Mm ³	74
Tableau 34 : Evolution future de l'apport annuel moyen des oueds à la Lagune de Bizerte....	75
Tableau 35 : Evolution future de la précipitation directe sur la lagune	76
Tableau 36 : Evolution future de l'évaporation annuelle moyenne à partir du lac.....	76
Tableau 37 : Liste des nappes phréatiques du BV du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte vulnérables à la salinisation par intrusion d'eau salée (DGRE, 2015).	83
Tableau 38 : Quantification du critère classe de perméabilité	84
Tableau 39 : Principales vulnérabilités conduisant à des enjeux considérables en lien avec les changements climatiques	96
Tableau 40 : Projections des surfaces irriguées dans la région d'étude aux horizons 2050 et 2100.....	107
Tableau 41 : Projections des productions d'huile d'olive dans la région du Lac Bizerte aux horizons 2050 et 2100, en tonnes.	108
Tableau 42 : Projections des productions fourragères dans la région du Lac Bizerte aux horizons 2050 et 2100.....	109
Tableau 43 : Projections des effectifs de petits ruminants autour de la Lagune Bizerte aux horizons 2050 et 2100.....	109
Tableau 44 : Fréquence des types d'ambiance thermique (% du nombre des jours de l'année) de plusieurs stations touristiques en Tunisie.	113
Tableau 45 : Fréquence (% des jours) saisonnière des ambiances thermiques confortables à très confortables.....	114
Tableau 46 : Analyse SWOT relative à la sauvegarde de l'écosystème Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte, son bassin-versant et les activités socioéconomiques associées	119
Tableau 47 : Scénarios RCP conçus pour le forçage climatique en fonction des émissions des GES.	154
Tableau 48 : Projections des valeurs moyennes de réchauffement en surface et de l'élévation du niveau de la mer à la fin du XXIème siècle, à l'échelle du globe	156

Liste des figures

Figure 1 : Schéma conceptuel global de l'étude	8
Figure 2 : (a) Températures moyennes annuelles et (b) précipitations moyennes annuelles en Tunisie, au cours du XXème siècle. Source : Mitchell et al. 2002; http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/data/index-table.html ; (c) Evolution des moyennes annuelles des températures minimales, maximales et moyennes entre 1950 et 2007 à Sfax (données : INM ; Dahech et Beltrando, 2012).	10
Figure 3 : Augmentation de la température en été à l'horizon 2030. Cette augmentation de 0,9° pour Bizerte, est parmi les plus clémentes en zone urbaine active, de toute la Tunisie.	11
Figure 4 : Report du trait de côte de Lagune de Bizerte sur la prise de vue satellitaire (hiver 1984), à l'échelle sur a photographie satellitaire en décembre 2021. La comparaison des résultats n'indique pratiquement aucun changement de ce trait pour une période de près de 40 ans	14
Figure 5 : Exemple de matrice de décision selon la gravité et la catégorie de fréquence de l'événement. B : Cotation de l'aléa établie sur la base de la matrice précédente.....	24
Figure 6 : Classes de vulnérabilité et choix de couleurs pour la représentation cartographique des zones de vulnérabilité face à un aléa donné.	25
Figure 7 : Répartition des zones humides les plus vulnérables à la salinisation et à la submersion	39
Figure 8 : Illustration des paysages montrant la répartition des hydro-halophytes à la Sebkhia El Azib.....	40
Figure 9 : Végétaux et paysages (roselières et thyphés) des écosystèmes dulcicoles	43
Figure 10 : Carte de localisation des îlots lagunaires.....	45
Figure 11 : Carte d'Aléa : biotopes à gîtes larvaires potentiels d'Aedes dans la région de Bizerte (D'après Brahimi et al. 2010).....	51
Figure 12 : Carte du risque épidémiologique lié aux moustiques vecteurs de maladie dans la zone d'étude. Les régions de Mateur, de Tinja et même de M. Bourguiba sont les plus vulnérables aux maladies transmissibles par les moustiques occupant les biotopes marécageux.	52
Figure 13 : Lithologie du Bassin Versant Bizerte Ichkeul	56
Figure 14 : Carte d'occupation du sol	56
Figure 15 : Carte des altitudes	57
Figure 16 : Carte de la densité de drainage.....	57
Figure 17 : Distribution spatiale de la précipitation moyenne annuelle (1974-2014) dans le Bassin Versant Bizerte Ichkeul.....	58
Figure 18 : Carte des pentes	58
Figure 19 : Carte du risque d'inondation développée par la méthode AHP	61
Figure 20 : Carte du risque d'érosion développée par la méthode AHP.....	65
Figure 21 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1977).....	68
Figure 22 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1981).....	69
Figure 23 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1988).....	69
Figure 24 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1994).....	70

Figure 25 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (2001).....	70
Figure 26 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (2008).....	71
Figure 27 : Vue schématique de l'impact d'une élévation du niveau de la mer et d'une modification du trait de côte sur l'étendue d'un réservoir aquifère (modifiée de Ferguson & Gleeson, 2012). Modèle conceptuel utilisé pour simuler l'impact de (a) l'extraction d'eau souterraine, (b) l'élévation du niveau marin incluant l'intrusion saline et l'inondation ou transgression marine, (c) l'accumulation de sédiments, et (d) l'érosion (Oude Essink, G.H.P. (2001).....	80
Figure 28 : Carte de répartition des nappes phréatiques du bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte (Extrait de la Carte Agricole, MARHP).	82
Figure 29 : Carte de répartition des nappes profondes du bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul- Bizerte (Carte agricole, MAEHP).	83
Figure 30 : Carte de risque de la salinisation des eaux souterraines dans le bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte.....	85
Figure 31 : Illustration des réunions avec les paries affectées et intéressées par le projet "Dépollution de la Lagune de Bizerte"	95
Figure 32 : Vulnérabilité à l'EANM de l'écosystème, des agglomérations, des infrastructures et des équipements autour de la Lagune de Bizerte.....	98
Figure 33 : Vulnérabilité à l'EANM de l'écosystème, des agglomérations, des infrastructures et des équipements autour de la Lac Ichkeul	99
Figure 34 : Carte de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en situation de changements climatique.....	105
Figure 35 : Carte de vulnérabilité des sols à la salinité en situation de changements climatique	106
Figure 36 : Carte de la vulnérabilité des activités agricoles aux changements climatiques	111
Figure 37 : Sites écotouristiques potentiels dans le la région du lac de Bizerte	117
Figure 38 : Extrait du PAU de Menzel Jemil	148
Figure 39 : Extrait du PAU de la commune de Bizerte.....	149
Figure 40 : Extrait du PAU de la commune de Menzel Bourguiba.....	150
Figure 41 : Emissions globales de CO ₂ provenant de différentes catégories sources (en milliards de tonnes) et évolution des concentrations moyennes en CO ₂ (ppm/v) dans l'atmosphère de 1950 à 2010 (d'après Keeling and Whorf, 2000). Toutefois ce réchauffement n'est pas lié au seul CO ₂ émis. Le méthane (CH ₄) et l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N ₂ O) doivent aussi être considérés. En effet, le premier se caractérise par un pouvoir radiatif (ou forçage radiatif : pouvoir de concentrer les RI provoquant le réchauffement) 25 fois supérieur à celui du CO ₂ , et le second, un pouvoir radiatif de 320, de loin beaucoup plus élevé.	151
Figure 42 A gauche : Émissions mondiales de GES (en Gt équiv.-CO ₂ /an) en l'absence de politiques climatiques : six scénarios illustratifs de référence (SRES, lignes colorées). A droite : Les courbes en trait plein correspondent aux moyennes mondiales multimodèles du réchauffement en surface pour les scénarios A2, A1B et B1, en prolongement des simulations relatives au XX siècle. Ces projections intègrent les émissions de GES et d'aérosols de courte durée de vie. La courbe en rose ne correspond pas à un scénario mais aux simulations effectuées à l'aide de modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) en maintenant les concentrations atmosphériques aux niveaux de 2000. Les barres sur la droite précisent la valeur la plus probable (zone foncée) et la fourchette probable	

correspondant aux six scénarios de référence du SRES pour la période 2090-2099. Tous les écarts de température sont calculés par rapport à 1980-1999.....152

Figure 43 : Analyse comparative des Scénarios RCP en traits pleins, et des Scénarios SRES en tirets.154

Figure 44 : Elévation du niveau moyen de la mer de l'océan global et en Méditerranée mesurée à l'aide de marégraphe-altimétrie (d'après Calafat et Jorda, 2011 pour la Méditerranée, et Church et White, 2011 pour l'océan global).157

Figure 45 : Scénarios de l'EANM calculés selon les formules de nombreux auteurs, prenant en considération les hypothèses des scénarios RCP présentés plus haut.159

Figure 46 : Scénarios d'émissions de CO₂ en fonction de l'évolution démographique, socioéconomique et de développement technologique proposés par le GIEC (Groupe International des Experts du Climat). Les scénarios proposés dans le cadre de l'Accord de Paris, pour les pays développés et ceux en voie de développement qui sont beaucoup plus contraignants et plus ambitieux, sont également reportés sur cette figure.....162

Abréviations

AFD	Agence Française de Développement
AHP	Analyse Hiérarchique des Procédés (ou analyse multicritère de décision)
ANPE	Agence Nationale de Protection de l'Environnement
CAH	Cadre d'Action inter-pays de Hyōgo
CC	Changements Climatiques
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CDB	Convention sur la Diversité Biologique
CI	Indice de Cohérence
CLCD	Convention de Lutte Contre la Désertification
CoP	Conférence des Parties
CR	Indice de Conformité
EANM	Elévation Accélérée du Niveau Moyen de la Mer
EIM	Evaluations Initiales relatives à la convention de Minamata
ENRq	Energies renouvelables
ETP	Evapotranspiration
EUT	Eaux Usées Traitées
FEM	Fond de l'Environnement Mondial
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe International des Experts du Climat
GIS	Geographic Information System
GWh	Gigawatt/heure
IDF	Intensité-Débit-Fréquence
INM	Institut National de la Météorologie
IPCC	International Panel on Climate Changes
IR	Radiations Infrarouges
MAP	Programme d'Action pour la Méditerranée
MARHP	Ministère de l'Agriculture des Ressources Hydrauliques et de la Pêche
MNT	Modèle Numérique de Terrain
Mtep	Million de tonnes équivalent pétrole
MW	Mégawatts
ODD	Objectifs de Développement Durable
ONGs	Organisations non-Gouvernementales
ONU	Organisation des Nations Unies
PCB	Polychlorobiphényles
PK	Protocole de Kyoto
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POPs	Produits Organiques Persistants
RCP	Representative Concentration Pathway
SIG	Système d'Information Géographique
SRES	Second Report on Emission Scénario
SWOT	Strength-Weakness-Opportunities-Threats
TE-CO2	Tonne Equivalent CO2
UTM	Universal Transverse Mercator

RESUME

Contexte et objectifs de l'étude

Le complexe lagunaire Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte et son bassin-versant forme un écosystème assez typé, où l'exoréisme au moins millénaire est contrebalancé par un apport marin via le canal artificiel de Bizerte ouvert au XIXème siècle. Cette ouverture sur le large a laissé émerger un équilibre hydraulique, environnemental et écologique qui se traduit par une biodiversité marine riche en espèces euryhalines et eurythermes. Cette biodiversité marine côtoie une autre terrestre très riche surtout en avifaune migratrice, s'étant forgé son habitat dans les prairies, les espaces hydromorphes à salinité variée, dans les sebkhas et marais, et dans les plaines et reliefs environnants.

Le premier rapport de la phase 1 de l'étude a mis l'accent sur la caractérisation de l'état des lieux. Celle-ci a englobé les aspects physiographiques, morphologiques et hydrauliques de l'écosystème, sa biodiversité, sa richesse halieutique, les aménagements y introduits par l'Homme, l'occupation de l'espace, les infrastructures et les équipements, le patrimoine historique et archéologiques, mais aussi les activités socio-économiques dans la zone dont l'agriculture et le tourisme.

Le but ultime de l'analyse documentaire et les visites sur terrain effectuées en première phase, se tenait de prélude à la recherche des prémices des effets des CC sur l'équilibre écologique et environnemental et sur la modification, voire l'amenuisement de la capacité des services rendus par cet écosystème. En effet, ce dernier jouant le rôle de réservoir vital de richesse pour les plus grandes agglomérations bizertines, subit des sollicitations oppressantes des activités socioéconomiques locales.

Les partenaires affectés et/ou intéressés dans la présente étude faisant partie du grand Projet " Dépollution du Lac de Bizerte " (Ecopact), et les personnes sources ont alors été approchés dans le cadre de réunions pour s'informer d'une part de leurs intérêts dans la présente étude et pour recueillir auprès d'eux tous signes émergents d'effets potentiels des CC pouvant présenter un lien avec la vulnérabilité des composantes de cet écosystème. Cette vulnérabilité peut toucher aussi à la qualité et au rendement des services du complexe lagunaire de survie de la zone, les activités y pratiquées (baisse de rendements de pêche, de conchyliculture, disparition d'espèces communes, enjeux divers constatés durant les dernières décennies, signes de dégradation de l'écosystème et de son environnement, etc.).

Signes tout au moins avant-coureurs des changements du climat dans la zone

Nonobstant le fait constaté que la plupart des interlocuteurs saisissent mieux la relation entre la dégradation de l'état des lieux et la pollution excessive et manifeste notamment de la Lagune de Bizerte, les informations recueillies sur la pêche, l'aquaculture, les rendements agricoles, etc., traduisent aussi bien les prémices des impacts des CC sur l'écosystème que les impacts de polluants. A cet effet, la raréfaction de certaines espèces de poissons autrefois abondantes dans les prises, la mortalité des huitres, l'apparition d'espèces invasives (crabe bleu), les baisses de rendement de l'agriculture en sec et en irrigué, la salinisation des eaux du Lac Ichkeul et une forte diminution des rendements de la pêche, les inondations catastrophiques, etc., sont autant d'enjeux qui peuvent être portés sur les effets pervers des changements climatiques.

Objectifs et méthodes d'étude et orientations de la présente phase du projet

Ces données précieuses recueillies auprès de sources de confiance, les données de littérature et les méthodes modernes de compilation numérique (géomatique) ont servi de base à l'élaboration d'une analyse et une évaluation du risque lié à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème, activités socio-économiques associés, urbanisation et réseaux structurants. Il est tiré profit à la fois de documents satellitaires, de cartes thématiques diverses usuelles, de bases de données nationales et outre-mer, pour parfaire la cartographie spatiale des aléas, des vulnérabilités et des risques recherchés par thématique naturelle (morphologie, biodiversité, météorologie, climatologie, etc.) et surtout par secteur des activités socio-économiques (agriculture, pêche et aquaculture ; ressources en eau de surface et souterraines, etc.) et stratégie d'architecture urbaine et réseaux structurants.

A la demande du client, le présent rapport est focalisé sur un argumentaire de base pour la restitution cartographique (spatio-cartes de risques et de vulnérabilité aux aléas climatiques attendus sur une longue période ; horizons 2050, 2100).

Il a été nécessaire d'avancer un glossaire qui définit plusieurs concepts (écosystème, changement climatique, aléa, vulnérabilité, exposition, risque, résilience et adaptation, enjeux, sensibilité, sécheresse, etc.). S'agissant d'une évaluation des risques occasionnés par des aléas CC en lien avec des vulnérabilités mesurées et des enjeux en découlant avec la prospective d'orienter la définition et le développement des principales orientations (axes) stratégiques et plans d'actions associés à mettre en œuvre pour pallier les effets pervers des CC. La démarche vise la recherche de mesures bien définies et bien évaluées, faciles, fiables et applicables, sélectionnées sur la base de critères quantifiés en fonction des politiques nationales, l'avis des partenaires sociaux et leur acceptabilité surtout en termes de modalités de mise en œuvre du plan d'actions projeté, de coût de mise en œuvre, de disponibilité de fonds d'investissement, etc.

Une analyse SWOT supplantée par un prélude à une analyse multicritères malgré l'énorme étendue des thématiques abordées recouvrant l'espace de l'état naturel de la zone et pratiquement tous secteurs d'activités et de la vie socio-économique. Le but ultime est de préparer la réflexion sur les orientations stratégiques, mesures palliative, d'adaptation ou de choix résilients pour lutter contre les CC attendus qui sont assez durables selon tous les scénarios proposés par les organismes onusiens (GIEC, IPCC) ou par les scientifiques (scénarios RCP).

Cadre conceptuel de l'étude

Celui-ci introduit l'analyse géomatique des aléas, des vulnérabilités, des risques, et de l'exposition en appliquant les méthodes de traitement des données géo-référencées et équations pratiquées par les géomaticiens pour construire des spatio-cartes. La carte d'aléa ou celle de vulnérabilité est calculée par la combinaison de plusieurs contraintes (topographe, pente, pluviométrie, nature du sol, vitesse du vent, densité du réseau de drainage, occupation des sols, etc.) dans chaque cas, dont le choix est laissé à l'appréciation du spécialiste. La carte de risque est établie par combinaison (multiplication numérique) des deux cartes d'aléa et de vulnérabilité pour chaque thématique (érosion, inondation, EANM, salinisation des aquifères, classement des zones à biotopes hôtes de vecteurs de maladies, feux de forêt, érosion hydrique, etc.). La carte d'exposition pouvant être variable peut aussi être intégrée dans le calcul de manière similaire.

Par commodité, les classes d'aléas, de vulnérabilité et de risque mais aussi celles des contraintes de base, sont également réparties, sauf rares exceptions, en fonction de leur intensité/gravité entre 1 : Très faible, 2. Faible, 3. Moyen, 4. Fort et 5. Très fort. Il s'agit au fond de l'expression attribuée pixel par pixel à l'intensité/gravité de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque, ce qui facilite la multiplication des cartes en mode Raster, même si cette multiplication peut se faire aussi en mode Vectoriel.

A ce stade, il faut bien noter que pour un aléa considéré de répartition uniforme sur l'espace de la carte (pluviométrie, température notamment), la carte de vulnérabilité se confond dans l'espace avec celle du risque correspondant, puisqu'en cours de multiplication l'aléa unité n'est qu'un élément neutre.

Ce cadre conceptuel est aussi réservé aux méthodes de reconnaissance des enjeux, des faits aggravants des effets du climat dans la zone, et des recommandations au moins partielles qui permettrait de pallier certains impacts du climat.

Les concepts de changement du climat, les scénarios envisagés par les auteurs au cours du 21ème siècle entier, et la démarche d'établissement de ces scénarios, sont aussi passés en revue.

Les GES avec leurs pouvoirs radiatifs (emmagasinement de chaleur, IR) en lien étroit avec la vapeur d'eau (humidité de l'air), et les teneurs en CO₂ dans l'atmosphère qui est le moteur de réchauffement de la planète, sont abordés. Il est expliqué que ce dioxyde qui opacifie l'atmosphère et empêche l'échange de radiation/flux de chaleur dans l'espace, hors atmosphère terrestre (équilibre de bilan énergétique de la Terre), contribue à une augmentation de la température de 1,2°C à chaque doublement de sa concentration dans l'air. Cette augmentation de température s'accompagne aussi par une augmentation de l'humidité relative ; dès lors, pour rétablir l'équilibre, la Terre produit la même quantité de chaleur, soit 1,2°C de hausse supplémentaire de température de l'air pour rééquilibrer le système. Il en résulte que le doublement de la concentration de CO₂ dans l'air contribue à une augmentation réelle de la température de l'ambiance de près de 3°C. Ce chiffre est conforme avec l'augmentation de la température moyenne annuelle globale en Tunisie durant le 20ème siècle (2°C environ).

Le comportement de CO₂ (et autres GES) est indépendant des échanges atmosphériques impliquant l'eau sous forme d'eau courante, de gel, de glace ou de nuages. Ceci est prouvé depuis les années 1950 par F. Libby qui découvre l'isotope radioactif ¹⁴C* (provenant de ¹⁴N dans la haute atmosphère. Cet isotope du carbone est de répartition pratiquement homogène dans l'atmosphère donnant en moyenne 13,6 désintégrations par minute et par gramme de carbone.

La problématique de l'élévation du niveau moyen de la mer est aussi abordée. Sachant que d'après les études, le niveau moyen de l'océan Mondial a augmenté de 20 cm environ de 1900 à 2008, la vitesse de cette augmentation est aujourd'hui mesurée par marégraphe et par altimétrie satellitaire (depuis 1993) à environ 1,8 mm/an. L'accélération du réchauffement peut accélérer cette élévation, mais avec un retard dans le temps encore non maîtrisé (dilatation thermostérique). Par contraste, il est prouvé que le niveau de la mer Méditerranée n'augmente que de 0,6 mm/an, surtout en Méditerranée de l'Est. Cette augmentation est étroitement contrôlée par la salinité des eaux et surtout par la pression exercée par les cyclones pratiquement stationnaires au mois saisonnièrement à certains endroits de la Méditerranée

Identification, analyse et évaluation des risques liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème et activités économiques associées

L'écosystème est décrit en un ensemble de composantes partielles qui sont : (i) les composantes marines et lagunaires, physiques et biologique ; les composantes terrestres physiques et biologiques ; les composantes ; (iii) eaux de surface ; (iv) nappes souterraines ; (v) aquifères, phréatiques ; (vi) infrastructures, équipements et activités socioéconomiques ; (vii) agriculture ; (viii) tourisme.

Pour chacune de ces composantes, les contraintes correspondantes sont recherchées sur une base documentaire, de constat sur terrain, et d'informations communiquées par des personnes sources connaissant les lieux. Les informations obtenues permettent de définir les contraintes impliquées engendrant l'aléa et la vulnérabilité, et leurs gravité respectives, et de calculer les "spatio-cartes" correspondantes en mode alphanumérique. Les "layouts" permettent de visualiser ces cartes à toutes échelles.

Les deux cartes d'aléa et de vulnérabilité pour une thématique donnée (érosion, inondation, feu de forêt, occupation des sols, érosion, etc.) permettent leur combinaison (multiplication) pour calculer la carte du risque correspondant pixel par pixel, avec les degrés de gravité à identifier (1 : Très faible, à 5 très fort). Il s'agit d'une compilation de séries de données numériques à l'aide d'algorithmes puissants.

Principaux résultats

Composantes marines physiques et biologiques : Les aléas CC majeurs sont la rehausse exagérée de température, la salinisation des eaux et l'augmentation de la bathymétrie par EANM sur une longue période. Si les espèces dominantes dans la lagune sont plutôt eurythermes et euryhalines et peuvent tolérer les deux premiers aléas, la maximisation de la lagune supplantée d'un déficit d'apport d'eaux douces peut déboucher sur une sorte de tropicalisation du milieu, facteur favorable à l'introduction d'espaces invasives comme le crabe bleu. Ce sont les moules au contraire, adaptées à des variations faibles marges de température (<37°C), voire de salinité conditionnée par l'apport d'eau douce, qui sont très sensibles à cet aléa. Les mortalités en masse constatées durant les dernières années durant la saison chaude traduisent une forte vulnérabilité des espèces cultivées notamment lorsque les températures croissent des valeurs de 37 à 40°C. Ceci se traduira par une forte perte de cheptel en saison chaude. C'est aussi le Lac Ichkeul réservé à la pêche lagunaire (anguille, muges) qui présente la plus forte vulnérabilité en lien avec la salinisation par échaudage, ce qui conduit à une baisse considérable du rendement des captures déjà constatée notamment en période estivale durant la dernière décennie.

Composantes terrestres physiques et biologiques : L'étude a montré que la ligne de côte de côte n'a pas changé de 1984 à 2021, ce qui indique une faible élévation du niveau moyen de la mer, de l'ordre de 6cm par 100 ans comme prouvé par les études en Méditerranée occidentale/ Pour l'avenir, il n'est pas exclu que l'EANM conduirait à une modification des traits de côte et à des attaques érosives, notamment sous les vents dominants NW-SE.

Ce type d'attaque est manifeste aujourd'hui à Jouaouda-Meghraoua, et peut aussi se produire sous des vents chauds de secteur SW (côte de Menzel Abderrahmen). La carte du risque EANM révèle une perte de sebkha, de marais, et de terres par submersion en cas forte élévation potentielle de l'EANM à l'avenir. Les zones les plus vulnérables sont situées (i) en bordure Est

de la lagune (zone industrielle de M. Jemeil) jusqu'au tracé de la RN5, (ii) la garât Menzel Bourguiba aux confins SE de la ville, (iii) les basses terres en bordure du Canal Tinja, mais surtout (iv) les marécages au S-SE du jebel Ichkeul et les terrains hydromorphes du Secteur Banlieue de Mateur situé au Sud de ce lac.

Les enjeux des risques liés aux CC touchant la biodiversité sont nombreux et peuvent conduire à des fatalités. D'abord la salinisation des eaux s'accompagnera de pertes sèches d'espèces rares de Batraciens, de tortues d'eau, et de Gastéropodes des lisières des zones humides mais aussi par des modifications des effectifs d'oiseaux migrateurs en cours de halte ou hivernant, voire leur disparition au long terme. De fortes températures seront aussi fatales pour certaines espèces, entre autres de Batraciens. La couleuvre vipérine est aussi très sensible à la salinisation des eaux douces. De fortes chaleurs peuvent inhiber l'incubation d'œufs de reptiles. La perte de biodiversité revêt des conséquences écologiques, économiques et sanitaires néfastes et irréversibles.

La salinisation des sols, les hautes températures et la submersion marine causent une fragmentation d'habitat une perte d'espace de vie et de chasse des animaux. Au plan flore, le risque feu de forêt autre que celui volontaire, est lié à la canicule et à la foudre (orage). Les secteurs les plus vulnérables sont les massifs forestiers à résineux (pins, chênes, Eucalyptus, arbustes et arbrisseaux des maquis et des garrigues formant des biotopes secs et dégradés qui caractérisent les biotopes secs et dégradés. La submersion marine par l'EANM est aussi favorable à la migration des marécages format biotopes de moustiques vecteurs notamment de dengue et de chikungunya (Aedes ; Mateur garaât M. Bourguiba, berges du canal Tinja). Ces biotopes se rapprocheront des agglomérations (Mateur- Ras El Ain ; M. Bourguiba).

Composante hydraulique : L'étude conclut à un écosystème affecté par (i) un étranglement dû au barrage des cours d'oueds principaux, dans des conditions de sécheresse de plus en plus marquée parfois des années durant, d'où la réduction d'apports d'eau douce, en plus d'une mauvaise communication avec la lagune de Bizerte et la mer au large. L'équilibre et le bilan hydrologique sont pratiquement rompus, avec des crises de salinisation atteintes durant la saison chaude (80 g/L de salinité en moyenne en 2002).

Aquifères phréatiques : Ils sont surexploités (piézométrie basse) comportant le risque d'intrusion marine. Ce risque prépare leur invasion marine surtout dans des conditions d'EANM élevée (potentiellement 1m à l'horizon 2100 prévue par certains scénarios proposés), aggravé par une demande accrue tous secteurs confondus. Les aquifères les plus menacés sont ceux de M. Bourguiba-Bizerte Sud, Oued Ben Hassine, Oued Guenniche). Si les problèmes de recharge artificielle ne sont pas résolus, ces aquifères peuvent perdre leur potentiel aquifère presque en totalité.

Urbanisation, infrastructures et équipements collectifs : Deux aléas liés aux CC sont très menaçants : la hausse de température peut engendrer une modification de la qualité et même une gêne sanitaire surtout pour les seniors. Les vagues d'inondation attendues peuvent être causes de fatalité. L'aléa EANM peut aussi être grave avec une perte d'espace, des attaques des esplanades côtière, une érosion des plages, d'où la nécessité d'une révision des PAUs. La submersion de routes est aussi possible, surtout la route d'accès au jebel Ichkeul qui s'est transformé en un Secteur Administratif véritable, et dont l'accès par route à partir de l'Est, viendrait à être condamné.

Ces données ont été confirmées lors d'entretiens avec les partenaires du projet, qui constatent que des élévations de température, des inondations et autres prémices de CC sont causes de perte d'emploi, de pertes de biens, de chômage, de raréfaction des nuits d'hôtel (tourisme), etc.

Risques liés à la vulnérabilité de l'agriculture face aux CC : Ce secteur est très vulnérable face aux aléas érosion et perte de terres arables, hausse de température et réduction de périodes de gel printanier, salinisation des sols et des périmètres irrigués, pénurie de plus en plus ressentie de l'eau, d'échaudage d'où le raccourcissement de la période de maturation des récoltes, etc. Il s'en suit des pertes de rendement prévues de 10 à 20% ou même plus toutes cultures confondues.

Analyse SWOT

Sur la base de l'existant, cette analyse indique les enjeux liés aux CC, les plus importants englobent : la nécessité d'une synergie avec les autres stratégies nationales, une meilleure gestion des ressources de l'écosystème, le suivi et sauvegarde de l'hygiène et de l'environnement, d'asseoir des piliers de lutte contre les risques majeurs liés aux CC tous secteurs confondus, une meilleure éducation du citoyen pour affronter le risque, la capitalisation du savoir-faire, etc.

Approche d'analyse multicritères

Elle permet la définition et le choix de mesures et d'actions réalisables et concrètes relatives aux axes stratégiques et au plan d'actions de lutte contre les CC. Il s'agit d'une approche qui exige une concertation étroite avec les parties affectées et/ou intéressées dans le projet, une estimation des coûts de projets, le respect de valeurs d'ordre divers (politique, social, financier, écologique, environnemental) et une évaluation approfondie. Les données acquises jusqu'à ce jour ne semblent pas suffisantes pour parfaire ce type d'analyses. Des rencontres avec les partenaires, les responsables, la société civile doivent être réalisées pour débattre de la démarche à suivre et des mesures et actions à arrêter en évitant les doubles emplois avec d'autres projets ou stratégies, et en tenant compte des enveloppes d'investissement et de la durabilité de l'action sur une longue période. Elle sera intégrée dans le rapport de l'étape à venir dans le projet.

1 Introduction et éléments de cadrage

1.1 Historique et apports des études antérieures

Le Projet de Dépollution de l'écosystème Lagune de Bizerte-Lac Ichkeul, domaine marin et bassins-versants alentours, est financé par la Banque Européenne d'Investissement. Ce projet émane des résultats de nombreuses études antérieures du MEDD, datant de 2004, consacrées à l'analyse et à l'évaluation des conséquences de la pollution intégrée sur cet écosystème et les perspectives de son évolution. Il s'agit d'une vision stratégique qui avait rapidement débouché sur l'élaboration d'un Programme d'investissement dans le cadre de l'Initiative de Dépollution de la Méditerranée (Horizon 2020), avec une composante majeure dédiée à l'étude des points chauds (hots spots) à haute criticité environnementale (et même socioéconomique) dont en particulier le présent écosystème de l'étude.

Les résultats acquis dans le cadre des études antérieures ne cessent de démontrer une forte sensibilité de cet écosystème et ses composantes sectorielles, aux impacts environnementaux engendrés par les activités anthropiques (urbanisation, industries, commerces, agriculture, activités portuaires, etc.).

1.2 Vision de l'étude

Cette évolution environnementale et socio-économique forcée, les risques artificiels engendrés et les enjeux en découlant, ont été aggravés depuis les années 1990, par une pollution nocive de La Lagune de Bizerte, et surtout l'installation d'une batterie de barrages sur les principaux cours d'eau et la construction d'une écluse régulant les échanges d'eaux continentales entre le bassin du Lac Ichkeul et la Lagune de Bizerte. Ceci avait introduit des modifications profondes de l'équilibre hydrologique et hydraulique local et de la qualité des eaux continentales et marines. De ce fait, l'évolution naturelle et équilibrée de ce complexe lagunaire ne cesse de subir un nouveau forçage qui conduit à une évolution dominée par des aménagements démesurés (barrages, urbanisation), des impacts anthropiques liés à l'occupation des sols, une pollution dominante, et des sollicitations parfois perverses des services de cet écosystème aux composantes suffisamment fragiles (biodiversité, parc national riche par son avifaune, ressources en eau, milieux humides, agriculture, pêche, conchyliculture, etc.).

L'avancement des études réservées à la pollution et à ces sollicitations excessives de l'écosystème en lien avec un développement socio-économique local suffisamment rapide, ont rallié les effets supplémentaires, aujourd'hui démontrés, des changements climatiques comme facteurs de déstabilisation de l'équilibre d'évolution environnementale, économique et sociale dans la zone.

Cette nouvelle vision qui constitue l'objet majeure de l'étude, vise l'analyse et l'évaluation des risques liés à la vulnérabilité des composantes de cet écosystème, les enjeux prévisibles, les perspectives d'évolution, et la recherche de nouvelles orientations stratégiques simples et réalisables qui permettent de pallier les forçages anthropiques et climatiques comme facteurs essentiels de l'évolution future de ce complexe sur une période temps suffisamment prolongée (2070-2100)

1.3 Objectifs, activités et organisation de l'étude

La présente étude consacrée à l'identification et à l'évaluation des risques liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème Lac-Ichkeul-Lagune de Bizerte aux effets des changements climatiques, a été conçue en trois composantes principales :

Composante 1 : Reconnaissance de l'état des lieux sur la base des études antérieures locales et internationales, visites et observations de terrain, et mobilisation des parties prenantes affectées et/ou intéressées par le projet (citoyens, société civile, autorités communales et autres responsables communaux et pouvoirs centraux). Les objectifs majeurs de cette phase portent sur l'évaluation de la perception des CC et de leurs enjeux par ces parties, l'identification des prémices des effets de ces changements sur l'évolution de l'équilibre du complexe lagunaire, les contrastes d'évolution environnementale introduits, les activités socioéconomiques et les orientations du développement futur dans la zone.

Composante 2 : Caractérisation de la situation sur la base de l'identification et de l'évaluation des risques liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème, les activités humaines et les orientations du développement socioéconomique dans la zone. C'est l'objectif du présent rapport. Il s'agit d'utiliser des techniques géomatiques avec la construction d'une base de données, pour mettre en exergue les effets des aléas associés aux CC potentiels (température, EANM, marinisation des milieux lagunaires et dulçaquicole, sécheresse et stress hydrique, salinisation des eaux et des sols, érosion hydrique, inondations, etc.). Ceci permet de restituer dans la mesure du possible une cartographie de l'évolution spatio-temporelle des réponses des composantes naturelles et environnementales, et des activités humaines à ces changements.

Les résultats sont destinés à dégager les principales orientations stratégiques à recommander en vue de l'établissement d'un plan d'actions pour renforcer la résilience et l'adaptation du milieu naturel et de l'environnement, mais aussi du développement socioéconomique sur une période suffisamment prolongée qui répond aux engagements de la Tunisie dans le cadre des multi-objectifs des Protocoles, Accords et Conventions internationales, notamment ceux consacrés à la lutte contre les CC.

Composante 3 : Il s'agit de dégager les orientations stratégiques nécessaires à la lumière des données recueillies et des résultats d'analyses des aléas, des vulnérabilités et des risques sectoriels et leurs enjeux attendus dans la zone. Les objectifs majeurs sont de définir les actions nécessaires pour (i) conserver l'équilibre de l'écosystème et de la biodiversité ; (ii) maintenir l'intégrité des territoires et leurs vocations ; (iii) préserver les potentialités halieutiques ; (iv) proposer des activités socioéconomiques adaptées et résilientes aux CC ;

(v) proposer un programme de suivi environnemental à mettre en œuvre sur la base d'indicateurs déterminés.

Cette troisième composante vise également : (i) l'élaboration d'un **film moyen métrage** sur les spécificités et évolution future potentielle du complexe lagunaire étudié, ses bassins versants et les activités humaines associées menacées par les CC, et les solutions à préconiser. ; (ii) Elaboration d'un **plan d'actions prioritaires** intégrant une première tranche prioritaire de projets et/ou de programmes prioritaires pour la réhabilitation de l'écosystème, la mitigation des impacts des CC, et la préservation des activités socio-économiques.

1.4 Rappel des résultats de la première partie de l'étude (composante 1)

Cette partie basée sur une synthèse de la littérature, a été réservée à l'établissement d'un bilan des connaissances écologiques, une analyse stratégique avec une mention particulière aux CC et leurs effets sur développement socioéconomique en particulier, à des visites et observations de terrain, et à la reconnaissance des problématiques majeures liées aux CC.

Le renforcement des aspects participatifs et inclusifs de l'étude par des réunions et entretiens en face-à-face avec les parties affectées et/ou intéressées par la Dépollution du Lagune de Bizerte, a aussi été pris en considération. L'accent est mis notamment la présente variante complémentaire d'étude : analyse et évaluation des risques liés à la vulnérabilité de l'écosystème global et des activités humaines, les prémices identifiables et mesurables des effets des CC, et les orientations à entreprendre en vue de la préservation de l'état naturel, de l'environnement et des services rendus par cet écosystème sur une période de temps prolongée compatible avec les modifications sensibles introduites par les changements du climat local.

Pour un bref rappel, la synthèse des travaux du rapport de la première composante de l'étude a conduit au suivant :

- *Au point de vue des traits majeurs d'évolution et des principales caractéristiques du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte*
 - Le complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte, accueillant l'un des pôles socioéconomiques majeurs de la Tunisie, est constitué de multiples unités naturelles distinctes qui de par leur fonctionnalité, sont interdépendantes.
 - De multiples activités et pressions humaines sources de surexploitation des ressources, de pollution et de modification de l'équilibre de l'écosystème, peuvent aggraver les effets attendus des CC à l'échelle locale.
- *Problématiques majeures en rapport avec les changements climatiques*
 - Il est attendu une modification du régime climatique (rehausse de température, baisse des précipitations moyennes annuelles, sécheresse et stress hydrique, érosion, inondation, etc.) capable d'introduire des modifications profondes de ce complexe lagunaire par un changement dans sa dynamique sédimentaire et hydraulique.
 - Elévation accélérée du niveau moyen de la mer dans la zone marine et lagunaire augmentant le risque d'inondation des agglomérations alentours, en plus de la perte de terrains et de biodiversité par submersion marine.
 - Perturbation du système hydraulique au niveau du bassin versant à la suite des différents aménagements de barrages mobilisant l'eau et modifiant profondément les apports d'eau douce nécessaire à l'équilibre des échanges hydrauliques et de la biodiversité aquatique.
 - Erosion accélérée du bassin versant, attaques érosives littorales, perturbation de la dynamique sédimentaire et modifications morpho-structurales profondes des limites des bassins réceptacles (Lac Ichkeul et Lagune de Bizerte).
 - Baisse de la piézométrie des aquifères et amenuisement des ressources en eau, augmentation de la salinité des eaux souterraines et risque d'intrusion d'eau marine dans les aquifères côtiers par submersion marine.
 - Réduction, dégradation, pertes d'habitats de la biodiversité continentale et

marine, en plus de la baisse des rendements des activités et la perturbation des pratiques de pêche et de conchyliculture.

- Erosion et salinisation des sols, amenuisement des ressources en eau, canicule et évapotranspiration sources potentielles de la perturbation des pratiques agricoles notamment suite des périodes de sécheresse prolongées pouvant être dramatiques par réduction notable des récoltes et donc une limitation des moyens de survie.

1.5 Structure du rapport

Pour rendre compte des risques liés aux effets des CC sur les différentes composantes de l'écosystème Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte, le présent rapport réunit plusieurs volets :

- La cartographie et évaluation des aléas, des vulnérabilités, des risques et de l'exposition des écosystèmes et des aménagements aux changements climatiques ;
- L'identification des composantes écosystémiques, de l'aménagement et des activités humaines potentiellement vulnérables aux changements climatiques ;
- La revue systématique et l'évaluation des niveaux de vulnérabilité des composantes naturelles et des activités humaines ;
- Une analyse SWOT couplée à une analyse multicritère permettant ensemble de mettre en exergue l'état actuel d'évolution des écosystèmes, de l'occupation de l'espace et des activités humaines et leur devenir à l'horizon 2100, et d'orienter le choix des mesures à mettre en œuvre à l'avenir selon les principales orientations stratégiques à définir, et plans d'actions associé de lutte contre les effets pervers du climat ;

La synthèse des résultats et les recommandations à dégager feront le lien avec les travaux de troisième phase du projet.

2 Approche conceptuelle

Au regard des études et des connaissances sur les effets du réchauffement accéléré du climat, des régions entières et des centaines de millions de personnes de par le Monde demeurent menacées par les dangers liés aux aléas climatiques naturels (hausse de température, perturbations pluviométriques, risque d'inondation, de canicule et de sécheresse, etc.) et anthropiques associés (occupation des terres, pression sur les écosystèmes naturels et sur les ressources, notamment celles en eau). Ces phénomènes ne cessent de s'amplifier à l'avenir et de manière suffisamment accélérée.

Cette situation appelle la réflexion quant à la prévention et une meilleure gestion du risque lié à ce réchauffement. Celui-ci est induit par la surconcentration des GES dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle.

Les GES ont la propriété d'augmenter l'opacité de l'air, de concentrer la chaleur sous forme de radiations infrarouges et d'empêcher par conséquent la diffusion de ces radiations/chaleur dans l'espace hors de l'atmosphère à un rythme estimé à 4W/m^2 . Il en résulte une véritable rupture d'équilibre. Pour contrebalancer ce phénomène, l'atmosphère chauffe pour maintenir l'équilibre du système. Il est ainsi estimé en choisissant des périodes de référence précises, qu'un doublement de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère s'accompagne par une élévation globale de la température de $1,2^\circ\text{C}$.

Les enjeux dans ce domaine sont énormes. Les risques de pertes économiques et même de mortalité dues aux catastrophes climatiques sont souvent concentrés dans un espace limité,

mais qui peuvent être exposés à des aléas d'une extrême violence (inondations, feux d forêts, pénurie d'eau). Les dégâts constatés peuvent toucher aux écosystèmes naturels, à l'habitat, aux cultures, aux infrastructures et équipements, et aux biens. Ceci peut conduire à un déséquilibre total du milieu de vie et à une érosion fatale des moyens de subsistance des communautés dans plusieurs pays de la planète (Afrique et pays du Sahel par ex.). Une gouvernance insuffisante en milieu urbain et rural (schémas directeurs et plans d'intervention, manque des cadres, moyens de lutte insuffisants contre les CC, manque d'investissements dans ce domaine, etc.), des moyens précaires de subsistance, et la dégradation des écosystèmes, peuvent conduire à une exposition de plus en plus intense, notamment des franges défavorisées de la population mondiale aux effets des CC.

Le concept et la pratique de la réduction du risque de catastrophes lié aux changements attendus du climat, se placent en continuité avec les travaux et les résultats de la Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles de 1990-1999. La réduction des risques de calamités naturelles et anthropiques, notamment celles liées au réchauffement climatique, est aujourd'hui reconnue par le monde de la coopération comme une précondition majeure au développement.

Des efforts et des investissements engageant les agences onusiennes, les Etats concernés, les banques multilatérales, des Associations internationales, des ONGs, etc., sont nécessaires pour analyser, évaluer et contrer les risques de catastrophes engendrés par ce réchauffement climatique. Les moyens mis à disposition permettent de gérer les causes profondes de ce réchauffement : réduction des émissions de GES, de l'exposition aux risques engendrés, de la vulnérabilité des écosystèmes, des personnes, des biens, des infrastructures et des équipements, la gestion rationnelle des terres, des écosystèmes et de l'environnement, l'amélioration de la préparation aux événements indésirables par la mise en œuvre de schémas directeurs, de stratégies de lutte et plans concertés d'action, de suivi et de surveillance, etc.

2.1 Notion de risque et de catastrophe en lien avec les CC

Notion de catastrophe : Dans les secteurs de gouvernance, de développement et d'aide humanitaire, une catastrophe est définie comme une rupture grave du fonctionnement d'un écosystème, d'une communauté ou d'une société impliquant des pertes importantes de biens, de vies humaines, matérielles, économiques et environnementales, que cet écosystème, cette société ou cette communauté affectées ne peuvent pas surmonter avec leurs seuls moyens et leurs seules ressources. Les effets des catastrophes sont pratiquement immédiats, mais ils peuvent dans certains cas être aggravés par la façon dont les populations sinistrées réagissent à la situation et tentent de s'en relever.

De manière plus pratique, la situation de catastrophe peut correspondre à une probabilité de dépassement de l'ordre de 10% de la situation du risque le plus fort engendré par un aléa donné.

2.2 Précisions sur le risque

C'est le potentiel évalué d'un risque d'un type donné, voire à l'extrême, d'une catastrophe, en termes de services rendus d'un écosystème, de pertes de rendement des activités multisectorielles, et les pertes possibles en vies humaines tel que par inondation, pertes de biens, de services, d'états de santé, et de manque de besoins vitaux de survie, etc., qui pourraient se produire dans le futur au sein d'une communauté, dans une situation donnée attribuable en l'occurrence aux effets des CC. Ce concept implique :

- La présence d'un ou de plusieurs enjeux à protéger ou à sauvegarder ;
- La probabilité de survenu d'un aléa porteur de danger qui peut endommager cet enjeu (température excessive, canicule, inondation, sécheresse, tornade, etc.) ;
- L'existence de facteurs aggravant les effets de l'aléa considéré (vulnérabilité) dont le manque d'éveil et l'inconscience du danger quant au comportement des individus d'une communauté, et/ou l'absence de mesures de prévention (résilience) pour les supprimer ou les atténuer.

Le risque est évalué qualitativement et/ou quantitativement, en termes du degré d'ensemble des pertes possibles dans une situation donnée, pour un aléa donné : pertes d'espaces de vie et de rendement des écosystèmes, en vies humaines, dégradation de l'état de santé, destruction des moyens de subsistance, de cultures, perte de récoltes, de biens et de services, d'équipements et d'infrastructures, qui pourraient se produire en lien avec un événement donné, sur une période donnée.

La gouvernance et la lutte pour la réduction des risques impliquent l'évaluation et la gestion des facteurs et les causes de ces risques, en limitant l'exposition des écosystèmes et des communautés, et en agissant pour réduire la vulnérabilité de ces écosystèmes, des personnes et des actifs, notamment par une gestion rationnelle de l'espace, des éléments structurants, et de l'environnement, et une meilleure organisation pour faire face aux événements indésirables.

Les deux Cadres d'action inter-pays de Hyōgo (CAH) à la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes en 2005, et plus récemment celui de Sendai (2015-2030), ont engagé tous les acteurs de premier plan du développement et de l'aide humanitaire, au plan multisectoriel, à investir dans la réduction des risques extrêmes et des catastrophes pouvant affecter l'espace de vie et les communautés de par le Monde.

2.3 Aléa

Les aléas sont des processus, des événements naturels ou des activités humaines (volontaires et involontaires) qui engendrent le risque dans une situation de vulnérabilité donnée. Ils peuvent être cause de destruction d'écosystèmes, de pertes de vies humaines, de blessures, de maladies ou d'autres effets sur la santé, des dommages aux biens, aux équipements et aux infrastructures, la perte d'activités et de moyens de subsistance, de services, des perturbations socioéconomiques, ou des dommages à l'environnement, etc.

Dans le cas précis des CC, ces aléas peuvent être représentés par des émanations excessives de GES, par la sécheresse, l'inondation, le réchauffement excessif, nuisible à la biodiversité, aux cultures, les feux de forêt, la pénurie d'eau et la soif, les conflits engendrés par le manque d'eau, etc. Les aléas peuvent être simples, séquentiels ou combinés en ce qui concerne leur origine et leurs effets. Chaque aléa est caractérisé par sa localisation, son intensité, sa fréquence (période de retour) et sa probabilité.

2.4 Vulnérabilité

La vulnérabilité se manifeste dans l'ensemble des caractéristiques et des circonstances d'un individu, d'un ménage, d'une communauté ou une société, d'un système et ses services

rendus, d'un moyen de production et activités associées, ou des actifs, qui peuvent en raison de leur vulnérabilité, être susceptibles de subir les effets d'un aléa/danger. Ces caractéristiques et circonstances peuvent être de nature physique, institutionnelle, politique, culturelle, sociale, environnementale, économique et humaine.

La vulnérabilité peut être estimée sur la base des effets combinés de plusieurs contraintes liées à l'exposition mais aussi à la réactivité de tous les facteurs mis en jeu (biophysiques, sociaux, économiques, politiques, de gouvernance, environnementaux etc.). L'absence d'infrastructures et d'équipements adéquats, une mauvaise planification urbaine, la négligence des moyens d'éducation, de formation, et de sensibilisation du public, un comportement démesuré, et la négligence des mesures de protection de la nature, de la biodiversité, des individus et des actifs, etc., peuvent dans la plupart des cas aggraver la vulnérabilité et donc le risque, voire engendrer l'état de catastrophe. De ce fait, la vulnérabilité peut varier spatio-temporellement pour un écosystème, une société ou une communauté donnée, dans un environnement donné.

2.5 Enjeux et exposition

Ces deux termes font référence aux personnes, habitat, biens, écosystèmes, équipements et infrastructures, et tous autres éléments présents dans les zones à risque et qui peuvent être sujets à des pertes potentielles pour cause de survenue d'un aléa naturel ou anthropique/technologique dont en particulier les changements climatiques.

2.6 Adaptation et résilience

La résilience désigne la capacité d'un écosystème, d'un système de production, d'une communauté ou d'une société exposée aux risques, de résister, d'absorber, d'accueillir et de corriger les effets d'un aléa/danger en temps opportun et de manière efficace, notamment par la préservation et la restauration de ses structures essentielles et de sa fonction de base. La résilience n'est pas un état final, mais un ensemble dynamique de processus et de conditions.

2.7 Réduction des risques

C'est le concept et la pratique de réduction des risques pouvant engendrer l'état de catastrophe (cas des CC) grâce à des efforts et des investissements pour en analyser et gérer les causes : réduction de l'exposition aux risques, réduction de la vulnérabilité des personnes, des biens, des infrastructures et des équipements, gestion rationnelle des terres, des écosystèmes et de l'environnement, amélioration de la préparation aux événements indésirables grâce à des schémas directeurs, stratégies de lutte, plans d'action, suivi et surveillance,

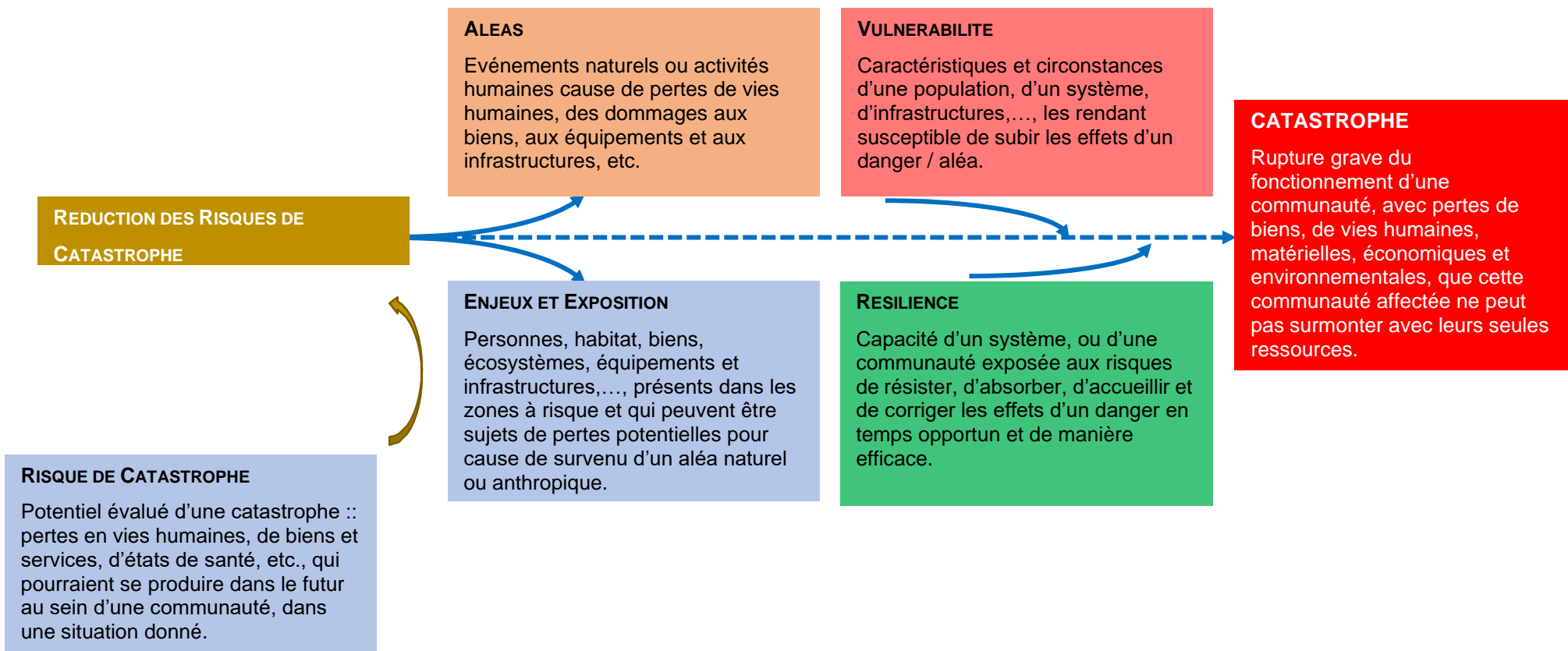


Figure 1 : Schéma conceptuel global de l'étude

2.8 Gestion du risque

La réduction des risques en général et des catastrophes en particulier, apparaît ainsi comme une composante fondamentale à intégrer dans tous les programmes d'urgence et de développement d'un pays. Ceci nécessite l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies dont l'objectif premier est de réduire la vulnérabilité des biens, des hommes, des infrastructures et équipements, etc., et d'accroître la résilience de la population face aux risques dont en particulier les CC.

La préparation à faire face au risque et l'intervention en cas éventuel de désastre, constituent un processus interactif visant la gestion intégrée du risque selon une approche multisectorielle pour renforcer les capacités locales et leur contribution à la dynamique de développement. L'analyse des risques liés aux aléas et aux vulnérabilités, apparaît ainsi comme un préalable à la survie et à l'œuvre de développement notamment des écosystèmes et des communautés les plus vulnérables.

La gestion du risque dans une approche multidisciplinaire et selon des choix politiques judicieux soutenus par l'entre-aide internationale, facilite l'engagement proactif d'une communauté dans la réduction des risques, de pallier l'état de catastrophe telle que climatique, la limitation de ses vulnérabilités, et le renforcement de son autosuffisance en cas de crise. Cet effort doit s'inscrire dans la stratégie à adopter pour la gestion du risque à l'échelle locale et régionale, et en étroite liaison avec les plateformes et directives nationales et internationales.

3 Emissions de GES en Tunisie et principaux aléas liés aux changements climatiques engendrés dans la zone d'étude

Le CO₂ provient surtout des combustibles fossiles et en partie de l'industrie du ciment et de la chaux, et CH₄, des ordures ménagères, de la fermentation gastrique chez les cheptels, et de lâchers volontaires de forages pétroliers. L'oxyde nitreux N₂O est issue d'urines animales, de déchets humains et de l'industrie de fertilisateurs (urée, ammonium nitrate, DAP, etc.) et de l'excès d'engrais azotés utilisés pour l'agriculture. Les composés organiques volatiles non- méthanés proviennent de peintures, de résines, de vernis, de produits décapants, ...

L'anhydride sulfurique SO₂, issu de la combustion de fuels fossiles et de l'industrie d'acide sulfurique, provoque des pluies acides et de la pollution. De ce point de vue, le changement du climat observé de nos jours, apparemment accéléré, devrait être considéré comme risque anthropique/ technologique.

La production spécifique de GES de Tunisie (en tonnes équivalent-CO₂, per capita et par an) est de l'ordre de 3,4 TE-CO₂ en 2000, et 3,1 TE-CO₂ en 2014. Ces quantités toujours exprimées en TE-CO₂, sont faibles par rapport aux émissions de pays comme le Qatar (32,4), Arabie Saoudite (15,3), Etats Unis (15,2), France (4,6), et comparativement à la moyenne mondiale donnée pour l'année 2018.

3.1 Augmentation de température moyenne globale du pays

Les bases de données météorologiques et satellitaires, ont permis à Verner et al. (2013) de proposer que le climat de la Tunisie se réchauffe, devenant de plus en plus sec et variable depuis 1975. Ce résultat doit être confronté aux travaux d'écoles spécialisées de géographie et de l'analyse statistique du climat, dont en particulier Henia (1993).

Pour Verner et al. (2013), les températures annuelles moyennes ont augmenté de 1,4°C au cours du XX^{ème} siècle. Mais leur courbe ci-dessous se scinde en trois : un réchauffement (1900-1945), un rafraîchissement franc (1945-1975), et un réchauffement (1975-2000). Même si ces variations peuvent être portées sur des changements liés à des périodes de retour, latendance globale est à l'élévation de la T°C moyenne de la Tunisie durant tout le siècle indiqué (voir Henia, 1993). Cette élévation est ainsi très probablement candidate à sa reconduire, voire même à son accentuation au cours du XXI^{ème} siècle.

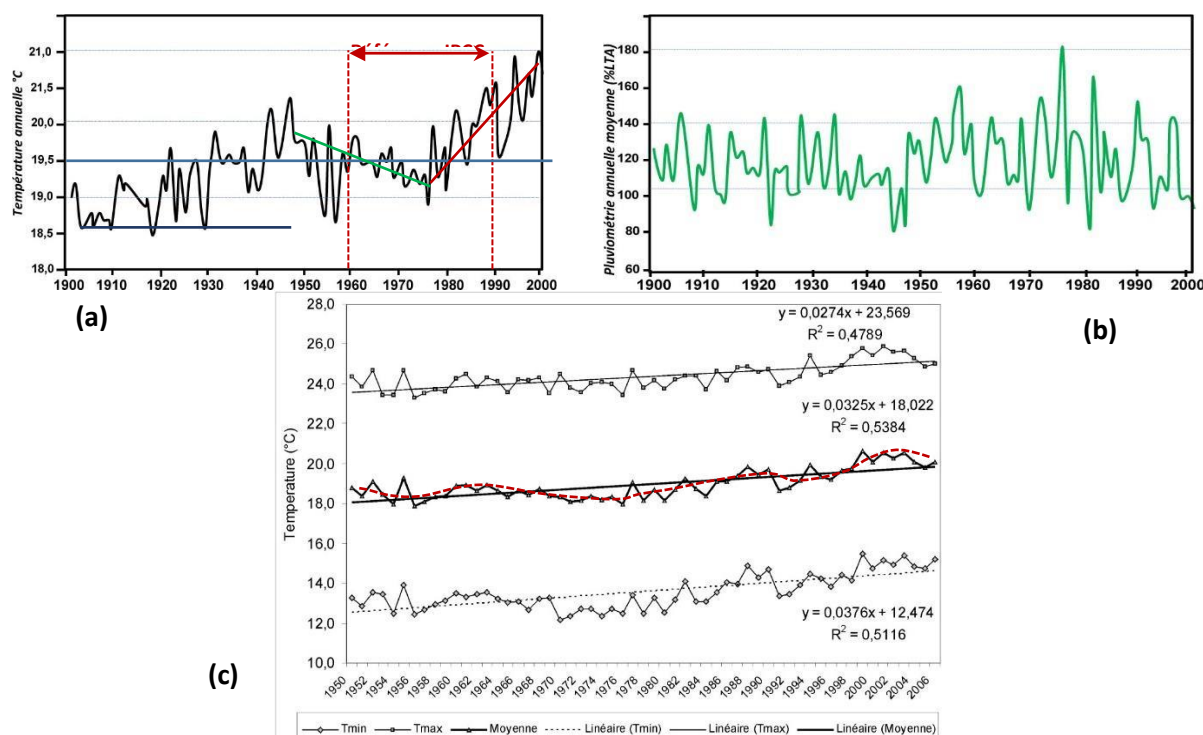


Figure 2 : (a) Températures moyennes annuelles et (b) précipitations moyennes annuelles en Tunisie, au cours du XX^{ème} siècle. Source : Mitchell et al. 2002; <http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/data/index-table.html> ; (c) Evolution des moyennes annuelles des températures minimales, maximales et moyennes entre 1950 et 2007 à Sfax (données : INM ; Dahech et Beltrando, 2012).

Un autre argument peut-être le suivant. Les courbes des températures (T_m , T_{max} , T_{min}) moyennes annuelles de la station de Sfax de 1950 à 2006 (c : Dahech, 2013) se scindent en tronçons, avec élévations et des abaissements dans le siècle. Ainsi, en dépit d'une tendance globale au réchauffement, ces séries de température sur un siècle doivent être analysées statistiquement, avant de conclure au changement climatique.

3.2 Augmentation de la température moyenne globale à l'échelle de la zone d'étude

Dans l'étude "Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques" la Tunisie sera promue à l'horizon 2050 à 2070, à :

- (1) L'élévation des températures moyennes annuelles à l'échelle du pays et des régions dont celle d'étude (1 à 2°C) ;
- (2) La diminution des précipitations annuelles qui sera de plus en plus forte ;
- (3) Des précipitations des années très humides qui baisseront conjointement à une augmentation en fréquence des années très sèches.

Les conséquences sont importantes à cause de la faible résilience des ressources (eau, agriculture, oasis,) :

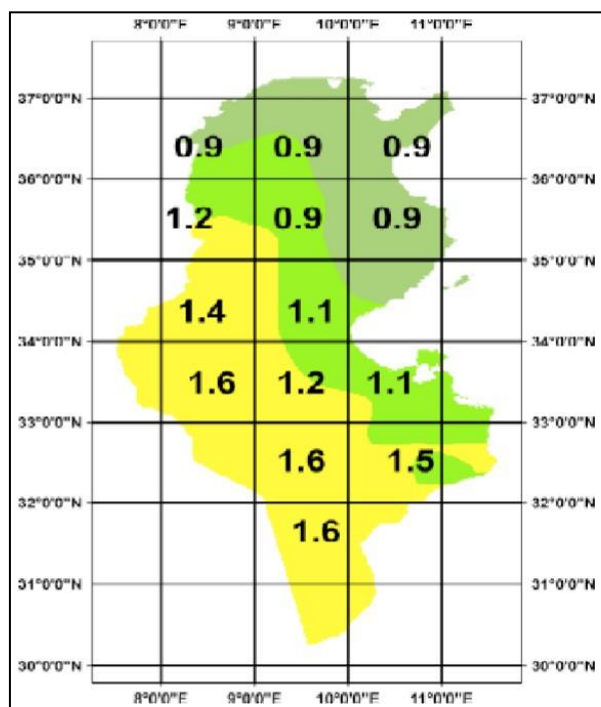


Figure 3 : Augmentation de la température en été à l'horizon 2030. Cette augmentation de 0,9° pour Bizerte, est parmi les plus clémentes en zone urbaine active, de toute la Tunisie.

Les projections climatiques dans le cas d'étude ont été construites à l'aide du modèle Had CM3 aux horizons temporels 2020 et 2050, dont les résultats sont exprimés à partir de scénarios régionaux, par rapport à la période de référence 1961-1990. Il est prévu que les phénomènes météorologiques extrêmes (sécheresse, vent, inondation) augmenteront en fréquence et en intensité, marqués par une succession d'années très sèches, et d'autres périodes pluriannuelles diluviennes.

Les conséquences socioéconomiques pourront être dramatiques : inondations dévastatrices, stress hydrique généralisé, perte de récoltes, abandon de cultures, augmentation du risque de grands feux, répercussion subséquente sur l'espace vital et urbain, perte d'infrastructures, destruction d'écosystèmes, augmentation du niveau de la mer, manques à gagner socio-économiques divers, etc.

Dans le cas précis de la zone d'étude, il est prévu que les températures moyennes annuelles augmenteront seulement de 0,9°C par rapport à la moyenne globale d'augmentation pour tout le pays qui a été estimée à environ 2,1°C à l'horizon 2050.

Notons aussi que cette étude effectuée en 2007, a précédé de peu une panoplie d'études concernant la modélisation des élévations de température liées aux CC au cours du siècle présent à l'échelle mondiale. Globalement, ces études semblent plus alarmistes. Ainsi, en tenant compte des équations de flux de chaleur terrestre, de la modélisation de la température, et de la génération additionnelle de chaleur liée au rééquilibrage de l'humidité relative de l'air (équilibre du système terre-atmosphère-espace), comme discuté précédemment, il n'est pas exclu que l'augmentation de température moyenne globale à l'échelle de la zone d'étude puisse atteindre 1,8 à 2°C à l'horizon 2070, et même plus à la

fin du siècle en cours.

En résumé, il faut donc s'attendre à ce que cet aléa climatique, notamment dans le scénario sans intervention (dit aussi *business as usual*), puisse s'accompagner de baisses et de variabilité remarquables des précipitations (périodes de sécheresse accentuée, et périodes diluviennes) assez sensibles. Il s'en suivra donc des impacts importants sur les écosystèmes et leur biodiversité, sur les sols, sur l'agriculture et ses récoltes, sur les ressources en eau et leur disponibilité, etc. Ces points seront discutés dans les chapitres suivants du présent rapport.

3.3 Avenir potentiel des émissions de GES en Tunisie

Le bilan d'énergie primaire (49% en 2018, contre 15 % en 2010) est déficitaire. Ainsi, de 1990 à 2018 :

- La consommation d'énergie primaire a augmenté de 111%, de 4,4 Mtep à 9,5 Mtep ;
- La production d'énergie primaire a chuté, 5,4 Mtep à 4,6 Mtep ;
- La détérioration du bilan s'est accélérée depuis 2010, engendrant une baisse du taux d'indépendance énergétique, de 93% en 2010 à 51% en 2018 ;
- Cette dépendance énergétique aggrave de plus en plus la balance commerciale.

L'électricité est produite à 97% à partir du gaz naturel (18988 GWh en 2018 ; croissance 4%/an) ; la part des énergies renouvelables (solaire + éolien) n'a pas dépassé 3% ; pourtant le potentiel énergétique dans ce secteur est énorme. Le salut de la Tunisie serait l'orientation de production d'énergie propre à l'avenir, ce qui résout en plus le bilan de carbone.

La Tunisie adhérente à l'Accord de Paris entré en vigueur en 2016, s'est engagée à réduire ses émissions de GES dans tous les secteurs pour baisser son intensité carbone de 41% en 2030 par rapport à l'année 2010 (Contribution Nationale Déterminée). La réduction spécifique de GES visée pour le secteur de l'énergie en 2030, est de 46%, ce qui passe obligatoirement par le développement du secteur d'énergie renouvelable en une période très courte. Cette orientation permet de même d'honorer l'objectif 7 des ODD 2030 : garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable.

L'objectif du Plan Solaire à l'horizon 2030, est de fournir une puissance installée additionnelle de 3 815 MW répartis comme suit :

- 1510 MW d'énergie solaire photovoltaïque ;
- 1755 MW d'énergie éolienne ;
- 450 MW d'énergie de centrales solaires thermiques à concentration (CSP) ;
- 100 MW provenant de centrales de biomasse.

Pour concrétiser cet objectif, plusieurs appels d'offres ont été lancés depuis 2016-2017, mais les réalisations tardent à venir. Les retards sont accusés en raison de changements politiques fréquents, du monopole de la STEG, et de la rigidité des lois promulguées dans le domaine : loi n°2015-12 du 11 mai 2015 relative à la production d'électricité à partir des ENRs. Cette loi ayant pour objectif de favoriser le développement des ENRs, a été modifiée par la loi n°2019-47 du 29 mai 2019 sur l'amélioration du climat des affaires. Le décret gouvernemental n°2016-1123 du 24 août 2016, fixant les conditions et les modalités de réalisation des projets de production et de vente d'électricité à partir des

énergies renouvelables, s'applique également.

Nous pouvons en conclure que malgré toute la bonne volonté des responsables, la Tunisie est suffisamment en retard en termes de réalisation des projets ENRs, par rapport à ses engagements dans le cadre des conventions internationales et Accords sur les changements climatiques.

3.4 Aléa élévation accélérée du niveau moyen de la mer

Comme rapporté précédemment pour l'EANM à l'échelle de l'océan global et de la mer Méditerranée, cet aléa doit être pris en considération dans la zone d'étude.

D'après de nombreux pronostics et scénarios parfois alarmistes, avancés à l'échelle internationale, la littérature revue par les pairs, basée sur des mesures au marégraphe et par altimétrie depuis 1993, montre que cette élévation est de l'ordre de 18 cm pour l'océan global, et de seulement 6 cm environ en un siècle, pour la Méditerranée notamment celle d'orientale (côtes Est de la Tunisie). Dans ce dernier cas l'EANM relativement plus faible, s'explique par des effets de pression exercée par les "masses" cycloniques et par la contraction thermostérique liée au refroidissement de l'eau de la Méditerranée, sa salinisation, etc.

Certaines recherches scientifiques indiquent que cette EANM qui existe depuis le début de l'ère industrielle, demeure toujours notable (quelques dizaines de centimètres) et pourrait s'accompagner par une avancée de la mer. Ainsi elle pourrait engendrer une modification des lignes de côtes par attaque côtière due à la houle, aux courants côtiers et au déferlement des vagues, l'inondation marine potentielle et au moins partielle, d'une partie de l'espace urbain, etc. Il en résulterait une perte grave de biens, et un retour d'eau salée dans les équipements d'assainissement, eau pluviale, etc. Les nappes phréatiques côtières seront menacées par la salinisation, dont les conséquences sociales et économiques peuvent être dramatiques.

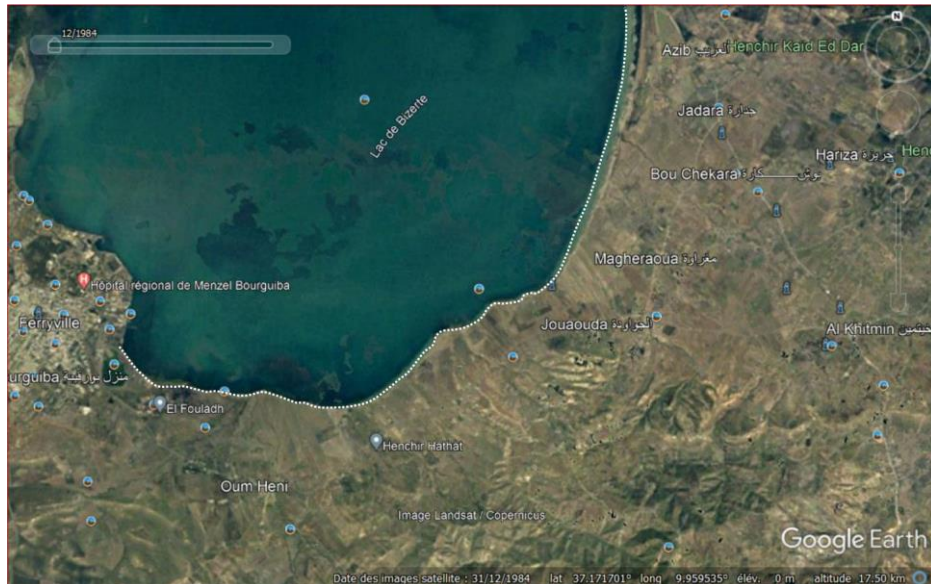
Ce sont ces orientations de la réflexion sur les effets de l'EANM qui ont été prises en considération dans les études antérieures en Tunisie, avec un scénario plutôt optimiste (EANM = 35 cm en 2070), et un scénario pessimiste (EANM \approx 65 cm). Il importe de noter que ces scénarios ne se basent sur aucune mesure réelle sur terrain de ladite élévation, ce qui est problématique. Les conclusions de ces deux études en 2008 et en 2020 conduisent à la submersion de nombreuses zones côtières et à un changement radical au cours de ce siècle dans l'occupation des zones côtières, leur urbanisation, leur environnement, leurs ressources, et l'équilibre de leurs écosystèmes. Il s'agit de résultats dont les conséquences seront très lourdes pour les décideurs.

Dans le cas précis de la zone d'étude, l'usage de séries de photographies aériennes comme demandé dans les termes de référence, n'a abouti à aucun résultat en termes de modification des lignes de côtes et de l'environnement côtier au cours des dernières décennies, et donc les prévisions à ce sujet à l'avenir.

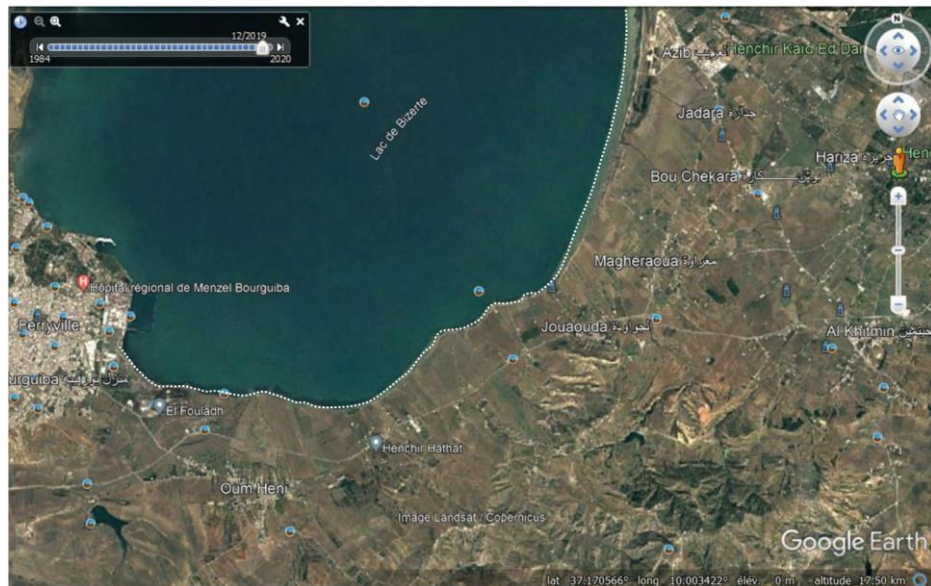
En effet, la série de photographies aériennes la plus complète est celle de la mission Japonaise à la fin des années 1980s qui avait servi à l'élaboration de la couverture topographique à 1/25.000 du Pays (1979-1984). De plus, il est connu que ces photographies sur papier sont spatialement nettement déformées dans les trois dimensions, ce qui nécessite leur traitement numérique pour pouvoir les rapporter dans le système de coordonnées géographiques au GIS utilisé pour la base de données.

A cette série de photographies aériennes assez anciennes, nous avons ainsi préféré l'usage des images Google pour la période 1984-2021 pour préjuger des modifications du trait de côte de la Lagune de Bizerte liées à l'EANM comme rapportées dans les études antérieures.

Ainsi, des photographies satellitaires levées à la même période de l'année (mois de décembre, année par année : 1984 à 2021) ont été analysées pour le trait de côte de cette lagune. La figure suivante résume l'évolution de ce trait de 1984 à 2021 en décembre.



Décembre
1984



Décembre
2021

Figure 4 : Report du trait de côte de Lagune de Bizerte sur la prise de vue satellitaire (hiver 1984), à l'échelle sur a photographie satellitaire en décembre 2021. La comparaison des résultats n'indique pratiquement aucun changement de ce trait pour une période de près de 40 ans

Il est clair d'après cette comparaison que le trait de côte n'a pratiquement pas changé durant la période 1984-2021. Il serait ainsi très difficile d'admettre son évolution sensible à l'horizon 2050-2070 comme prétendu dans les études antérieures sur l'EANM en Tunisie.

Il est certainement difficile de prédire l'avenir de l'EANM dans la zone d'étude, mais en tout

cas le résultat obtenu plaide en faveur de l'absence du moins jusqu'à nos jours, d'une élévation perceptible du niveau moyen de la mer dans la lagune d'étude ayant engendré une submersion marine côtière. De plus, à notre connaissance, ce type de submersion marine n'a toujours pas été clairement démontré de manière claire en un point ou un autre des 1380 km de côtes du Pays.

Ceci rejoint les résultats de mesures de l'EANM par marégraphe et télémétrie satellitaire en Méditerranée orientale qui prouve que jusqu'à nos jours, l'augmentation n'a pas dépassé 0,6 mm \pm 0,1 par an (6 cm en un siècle, ou le tiers de l'élévation de l'océan global : 18 cm depuis le 19^{ème} siècle). Il est donc raisonnable d'en déduire que les résultats des études antérieures doivent être prises avec une très grande précaution.

Concernant le milieu côtier et marin, les stratégies nationales sectorielles phares qui méritent d'être renforcées à l'avenir pour lutter contre les CC sont celles qui se rapportent au littoral d'une part et à la pêche et l'aquaculture d'autres part, il s'agit des Eudes :

- Étude de la vulnérabilité environnementale et socio-économique du littoral tunisien face à une Élévation Accélérée des Niveaux de la Mer due aux changements climatiques et identification d'une stratégie d'adaptation en se basant sur le troisième rapport du GIEC de 2001.
- La Stratégie Nationale d'Adaptation du littoral tunisien aux effets des changements climatiques ; 2012.
- La carte de la vulnérabilité du littoral tunisien face l'ENM ;
- L'Atlas du littoral comportant les données clés sur le littoral et les principaux résultats de la carte de la vulnérabilité ;
- Le projet de la résilience côtière aux changements climatiques pour les deux zones pilotes de l'île de Djerba et de la zone côtière nord-ouest du golfe de Tunis.
- L'étude stratégique du secteur de la pêche et de l'aquaculture en Tunisie, réalisée par Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture en 2013,
- L'étude de l'impact du réchauffement sur le golfe de Gabès Regional Assessment Climate Change In the Mediterranean – INSTM- RACCM, 2012".

4 Construction d'une base de données pour l'évaluation des risques liés à la vulnérabilité des composantes écosystémiques aux CC

Les informations recueillies en cours de première et de seconde phase du présent projet permettent la construction d'une base de données dont la compilation à l'aide de Logiciels (notamment ArcGIS), permettent d'établir trois types de cartes thématiques :

- **Cartes de contraintes/critères** : Ces cartes serviront de base à l'évaluation des aléas et des vulnérabilités. Ce sont les cartes usuelles nécessaires, établies à partir de l'observation de terrain et des données existantes concernant la répartition zonale des caractéristiques biophysiques de la zone (modèle numérique de terrain, topographie, pentes, occupation des sols, pédologie, réseau hydrographique,

géologie et structures géologiques, ressources naturelles dont en particulier les plans et nappes d'eau, etc.), Plan d'Aménagement Urbain et caractéristiques de l'habitat, cartes des équipements et des infrastructures, cartes de situation des unités industrielles, etc. ;

- **Cartes d'aléa** : Celles-ci sont construites sur la base des données de contraintes (séries de données pluviométriques selon les périodes de retour retenues, données de température des plans d'eau, prévisions sur l'augmentation de la température moyenne globale à l'avenir, activités socioéconomiques, données relatives aux changements climatiques et à l'élévation accélérée du niveau moyen de la mer, etc. ;
- **Cartes de vulnérabilité** : Comme pour les cartes d'aléa, celles-ci seront établies en compilant les différentes contraintes/critères intervenant dans une situation de vulnérabilité donnée. Par exemple, la vulnérabilité à l'inondation est tributaire de la topographie des lieux (MNT), des degrés de pentes, de l'extension des bassins-versants, de la densité du réseau hydrographique, de l'extension du tissu urbain, de la nature des substrats géologiques, et de la perméabilité des sols.

La compilation des cartes correspondant à chacun de ces critères/contraintes permet de construire la carte de vulnérabilité des écosystèmes, de la biodiversité, des activités de pêche et de conchyliculture, de la dégradation des sols et de l'agriculture, etc., aux aléas attendus liés aux effets des changements climatiques ;

- **Cartes thématiques du risque** : Les résultats exposés dans le rapport de première phase ont montré que par les effets des CC à l'avenir, la région est susceptible de subir de nombreux risques dont essentiellement : l'inondation, la dégradation des sols et des activités agricoles, les feux de forêt, l'hydromorphie et le développement des moustiques, l'érosion hydrique, la submersion marine par l'EANM et la perturbation occasionnée aux aménagements urbains et équipements collectifs, etc. Des cartes thématiques qui permettent la visualisation spatio-temporelle de chaque type de risque, seront établies en compilant les données des cartes de critères/contraintes, d'aléas et de vulnérabilités correspondantes.

La méthode de compilation est purement géomatique. Elle fait intervenir les divers attributs relatifs aux critères d'identification de l'existant, des aléas et des vulnérabilités. Pour des raisons de normalisation/pondération, ces attributs seront répartis de préférence en cinq classes selon leur degré de probabilité, d'importance, ou de gravité : 1. Très faible (Négligeable), 2. Faible, 3. Moyen, 4. Fort, 5. Très fort.

4.1 Construction d'une base de données

Les données d'observation et d'analyse de l'existant en cours de la première phase de l'étude (documentation, cartes thématiques diverses, données climatiques et sur les ressources en eau, données sur l'agriculture et la pêche, observations de terrain, etc.) ont permis d'acquies les informations et les outils nécessaires à l'analyse des aléas, des vulnérabilités et des risques naturels et anthropiques pouvant être occasionnés par les CC dans la zone.

Ces données permettent la construction d'une base de données géoréférencées dont le traitement à l'aide de Logiciels adéquats (ArcGIS, Geomatica, QGIS, etc.) peut faciliter la restitution de plusieurs cartes thématiques (aléa, vulnérabilité, risque). Ces cartes permettent l'analyse et l'évaluation des variations spatio-temporelles du degré d'exposition des écosystèmes, de la population, des biens, des infrastructures, et des activités sectorielles, etc., à l'échelle de la zone d'étude, aux différents aléas (température, pluviosité, sécheresse, salinisation des sols et des aquifères, érosion, salinisation des plans d'eau et des aquifères, etc.) et la gravité du risque selon le secteur considéré, mais aussi les enjeux y afférents aux court, moyen et long termes.

4.2 Structure de la base de données

Pour parfaire la présente étude, la base de données est mise en place en vue du traitement des données géographiques à l'aide de systèmes du type SIG (systèmes d'information géographique), dans l'objectif d'évaluer l'ampleur des dangers potentiels, et de dégager les recommandations pour réduire les vulnérabilités et donc les risques liées aux changements du climat. Ces informations et recommandations seront adressées aux utilisateurs concernés, aux Autorités Régionales, et tous autres utilisateurs potentiels à l'avenir.

Cette base de données peut à l'avenir, facilement être mise à jour par les utilisateurs, en tenant compte de nouvelles données qui seront jugées nécessaires à être prises en considération.

Cette base de données SIG intègre toutes les valeurs et informations géographiques d'observation sur terrain et existantes, recueillies dans le cadre de ce travail, jugées utiles pour l'élaboration de la cartographie des zones à risque/danger à l'échelle de la zone d'étude et à ses environs.

Cette base de données permet aussi de dégager le degré d'exposition des communes et leurvulnérabilité à chaque type d'aléa. Ceci permet par voie de conséquence, d'estimer la gravitédes enjeux impliqués, et de mettre en exergue les recommandations pour renforcer toute résilience possible des composantes écosystémiques, des communes et de ses secteurs, mais aussi des activités humaines aux divers dangers potentiels encourus. Elle constitue de ce fait un prélude à une stratégie de lutte contre les effets négatifs des CC dont les orientationset le plan d'actions seront discutées dans la troisième phase du projet.

4.3 Système de données géographiques

Toutes les données servant à la cartographie thématique du risque/danger à l'échelle de commune et de ses secteurs d'étude, sont projetées dans le système de coordonnées Carthage_UTM_Zone_32 N. Les paramètres du système de coordonnées sont comme suit.

Tableau 1 : Système de coordonnées géographiques utilisé pour la construction de la base de données

SYSTEME DE PROJECTION	RADIOACTIVITE	CARACTERISTIQUES
Universal Transverse Mercator		UTM WGS 1984
Ellipsoïde		Clarke 880
Zone		32 N
Datum		Carthage

4.4 Logiciel de traitement SIG

Les données géographiques qui peuvent être restituées sous forme de cartes thématiques d'aléa, de vulnérabilité et de risque/danger à l'échelle du périmètre d'étude, peuvent facilement être traitées et exploitées par divers Logiciels SIG.

Les Logiciels SIG sont nombreux et de versions plus ou moins évoluées. Les versions les plus anciennes sont celles d'ArcVIEW et ArcINFO qui sont d'usage très pratique, mais qui sont aujourd'hui de moins en moins utilisés.

La version commerciale ArcGIS est la plus performante et la plus développée de nos jours, permettant de construire des bases de données fiables, passibles d'être continuellement mises à jour, étant de format et de référencement compatibles avec ceux correspondant à plusieurs bases de données à thématiques variées, disponibles sur le web. C'est donc cette version commerciale du Logiciel/Moteur ArcGIS qui est recommandée pour la conduite de la présente étude (Cf. Annexe 3).

Le Logiciel QGIS Open Source se veut aussi, aujourd'hui, d'être le concurrent de la version commerciale ArcGIS. QGIS est par ailleurs largement compatible avec ArcGIS, en termes de format, géo-référencement des données, et flexibilité des opérations nécessaires pour faire appel à des données supplémentaires qui peuvent être sollicitées auprès de différentes bases de données thématiques sur le web.

Des données satellitaires peuvent aussi s'avérer utiles (réseau hydrographique, modèle MNT, occupation des sols, etc.).

4.5 Organisation et format des données

Pour simplifier la procédure poursuivie, il faut noter que la base de données s'organise en différentes couches d'information. Chaque couche est réellement représentée par une matrice mathématique à éléments vectoriels ou alphanumériques. Ces couches (entités shapefiles) géographiques sont pour partie obtenues par la digitalisation de cartes diverses : topographiques, géologiques ou routières, de sols ou d'occupation des sols, d'urbanismes, de réseau hydrographique, etc., établies par différents auteurs. Ces cartes sont accompagnées par des tables de données alphanumériques qui sont bien structurées et qui peuvent être compilées par les Logiciels GIS les plus performants.

La compilation de ces données permet de décrire les variations spatio-temporelles de certains paramètres partiels (attributs), relatifs aux entités recherchées, et leur mise à jour continue. Ceci permet en définitive d'élaborer et d'analyser les cartes d'aléas, de vulnérabilité et de risque/danger recherchées dans cette étude.

4.6 Représentation graphique du modèle de données et objectifs

La conception et la représentation graphique des modèles de données thématiques, consiste à subdiviser chaque modèle en plusieurs paquets regroupant des couches d'information de même thématique. Les paquets sont répartis selon trois niveaux de détail qui correspondent à une collection d'entités géographiques dans la base de données géographiques afin d'assurer les relations spatiales entre les entités géographiques.

Le choix du niveau de détail et des paquets associés est relativement pratique, en ce sens

qu'il facilite la saisie des données et leur organisation afin de pouvoir leur faire appel au moment opportun, et de les gérer de la manière la plus efficace : affichage multi-échelle, modification, correction, compilation, export, impression, modification de format (vecteur/alphanumérique), etc. Ceci permet aussi d'imposer les règles de topologie des données géographiques nécessaires pour pouvoir sélectionner et couvrir toute zone choisie pour étude.

Les entités d'informations géographiques, qui représentent en réalité les critères ou plus exactement les contraintes nécessaires, servent de base à l'élaboration (i.e., au calcul géomatique) de la répartition spatio-temporelle des zones de vulnérabilité à chaque aléa considéré séparément. Notons aussi que la variation spatio-temporelle de chaque aléa et de la vulnérabilité correspondante, selon leurs degrés relatifs (marge : très faible à très forte), peut par la suite être visualisée sur des cartes thématiques d'aléa et de vulnérabilité. Ce sont ces mêmes cartes qui serviront pour chaque situation d'aléa/vulnérabilité, d'évaluer sur la base du calcul géomatique, la variation spatio-temporelle de la vulnérabilité, mais aussi du risque engendré par ledit aléa dans l'espace écosystémique étudié et à ses environs.

Tableau 2 : Exemple de format, désignation et origine de fichiers (couches de données) utilisées pour l'évaluation et la cartographie des aléas, des vulnérabilités et des risques

DECOUPEGE ADMINISTRATIF					
N°	FORMAT VECTORIEL	NOM	DESCRIPTION	SOURCE	ECHELLE
1	Couche vectorielle	Adm_Délégation	Limites administratives des délégations Géométrie : polygone	BE : Limites du Code de collectivités locales 2018	1/50.000
2	Couche vectorielle	Adm_Secteurs	Limites administratives des secteurs Géométrie : polygone	BE : Limites du Code de collectivités locales 2018	1/50.000
3	Couche vectorielle	Adm_Municipalités	Limites administratives des municipalités Géométrie : polygone	BE : Limites du Code de collectivités locales 2018	1/50.000
INFRASTRUCTURES					
N°	FORMAT	NOM	DESCRIPTION	SOURCE	ECHELLE
4	Couche vectorielle	Rte_Routes	Répartition des routes Géométrie vectorielle	Carte Agricole de la Tunisie (2006)	1/50.000
5	Couche vectorielle	Topo_Typonymie	Nom de villes, villages Géométrie : point	Carte Agricole de la Tunisie (2006)	1/50.000
CLIMATOLOGIE					
N°	FORMAT	NOM	DESCRIPTION	SOURCE	ECHELLE
6	Couche vectorielle	Stations météorologiques	Localisation, description des stations	BE : DGRE, INM Géométrie : point	
7	Couche vectorielle	Clim_Etages bioclimatiques	Etages bioclimatiques Géométrie : polygone	Carte Agricole de la Tunisie (2006)	1/50.000
SOLS ET OCCUPATION DES SOLS					
N°	FORMAT	NOM	DESCRIPTION	SOURCE	ECHELLE
	Couche vectorielle	Ped_Pédologie	Sols ; couleur, texture, identification, etc.	Carte Agricole de la Tunisie (2006)	1/5000 ou plus

8			Géométrie : polygone		
9	Couche vectorielle	Tag_occupation des sols	Espaces d'arbori- ou céréaliculture, vergers, forêts, etc. Géométrie : polygone	Carte Agricole de la Tunisie (2006)	1/5000 ou plus
10	Couche vectorielle	Zu_zone urbaine	Zones urbaines Géométrie : polygone	BE : PAU récents des communes	1/1000 ou plus
11	Couche vectorielle	Hum_zone humide	Lac, sebkha, chott Géométrie : polygone	Carte Agricole de la Tunisie (2006)	1/50.000

4.7 Attributs et descriptifs des données relatives aux entités/couches d'information

Pour faciliter l'identification, l'intégrité et l'usage des couches d'information SIG, qui constituent l'ensemble des critères/contraintes à croiser pour pouvoir évaluer un aléa et une vulnérabilité donnés, dans une situation donnée, et par suite le degré du risque potentiel correspondant pour la composante de l'écosystème, des attributs précis et des descriptifs clairs sont accordés à chaque entité/couche :

Pour distinguer une couche d'information donnée, une table doit contenir les données suivante

Tableau 3 : Caractérisation des couches d'information dans la base de données

Couche d'information	Nom attribué à la couche d'information
Description	Court descriptif définissant l'entité considérée
Type de géométrie	Type de géométrie choisie pour la représentation de l'entité : point, ligne, polygone dans le cas des couches/entités à représentation vectorielle.
Source	Source des données (CRDA, Littérature, Organisme National, Ministère, etc.).
Exhaustivité	Spécification de l'exhaustivité pour la couche/entité d'information considérée.
Attributs	Attributs spécifiques associés à l'entité/couche, permettant de lui associer/attribuer des informations à caractère quantitatif (valeurs numériques d'attributs : volume, périmètre, longueur, etc.) ou qualitatif (couleur, identifiant, divers paramètres caractéristiques)
Règle topologique	Relation spatiale entre entités géographiques.

Pour les attributs, l'identification et la caractérisation procèdent de la manière suivante :

- Nom de l'attribut ;
- Forme et valeur donnée à l'attribut ;
- Description de l'attribut ;
- Intégrité de l'attribut.

5 Processus d'évaluation et de cartographie de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque

5.1 Terminologie et concepts de vulnérabilité et de risque face à un aléa CC donné

Aléa : C'est par **définition** un événement ou une manifestation physique naturelle ou engendrée par une activité humaine, qui est de nature à pouvoir engendrer des blessures ou des pertes de vie humaine, une destruction de biens, d'équipements ou d'infrastructures, des maladies et épidémies, des impacts nocifs (pollution) et des modifications occasionnées à l'environnement et à l'habitat, des pertes économiques, des arrêts de services (éclairage, distribution d'eau potable, services de soins, de transport, etc.).

Origine l'aléa : Elle peut être naturelle (trompes d'eau excessives ; sécheresse ; pertes de périmètres agricoles ; érosion ; désertification, ensablement, etc.), ou anthropique/technologique (industrie et dégagement de polluants, changements climatiques et inondation par EANM, incendie volontaire/criminelle de forêt, etc.), dépendant du type d'agent considéré.

Fréquence de l'aléa : La survenue de l'événement aléa peut être soudaine (canicule, feu de forêt, inondation, glissement de terrain, etc.), assez rapide (trompe d'eau, épidémie), progressive (pollution chimique, sécheresse, érosion), très lente à presque imperceptible (EANM), etc. Quelle que soit leur durée d'action, les aléas sont générateurs de préjudices de fréquence (période de retour, probabilité) variable et de gravité également variable selon la situation considérée.

Gravité : Celle-ci est appréciée à plusieurs niveaux (limitée ici à cinq niveaux choisis), du très faible/négligeable, au très fort.

De manière empirique et assez générale, la probabilité de dépassement 10% de la valeur

estimée de la gravité la plus forte d'un aléa donné, est de nature à soumettre une communauté, une société, un environnement ou un système à une catastrophe véritable.

Vulnérabilité : C'est la situation d'un habitat, d'un individu, d'une communauté, d'une société, d'un système, ..., d'être prédisposé aux impacts dangereux pouvant être engendrés par un aléa donné de nature physique, socio-économique, environnemental, anthropique/technologique, épidémiologique, ... Les dommages subis peuvent varier selon les degrés d'exposition et de résilience, mais aussi en fonction de l'intensité de l'aléa et de ses conséquences.

La vulnérabilité traduit l'incapacité/l'inaptitude d'un individu, d'un habitat, d'une communauté, d'une société ou d'un système, etc., à faire face et à résister à un aléa, ou à se protéger de sa manifestation et de ses conséquences.

Risque : Le risque ou plus exactement le danger considéré d'une gravité donnée, est généré par conjonction :

- De la survenue d'un aléa : événement naturel ou anthropique à caractère aléatoire,
- De l'exposition à cet aléa, d'un individu, d'un habitat, d'une communauté, d'une société, d'un service, etc., qui est vulnérable à un certain degré, à la manifestation de cet aléa et ses conséquences.

Risque lié à un aléa naturel : c'est le risque d'une certaine gravité liée à un aléa naturel (tempêtes de neige, pluies, vents, ouragans, désertification, érosion, glissement de terrain, etc.),

Risque lié à un aléa anthropique : le risque est dans ce cas lié à un aléa engendré par une ou des activités humaines ou technologiques/industrielles (pertes d'espaces de vie, de ressources ou de biens et destruction de biodiversité et cultures liées aux changements climatiques, stress hydrique et soif, pollution, incendie volontaire ou non de forêt, etc.).

A ce titre, les changements climatiques qui sont engendrés par l'augmentation des teneurs en GES dans l'atmosphère depuis la fin du 19^{ème} siècle, devraient plutôt être portés sur les risques technologiques.

Le caractère naturel ou anthropique du risque peut apparaître trop mitigé : construire un habitat ou des lieux de services dans des zones inondables (non aedificandi), ou en plein lit majeur de cours d'eau, est plutôt un choix de l'homme et non de la nature, et de ce fait le risque de destruction par inondation apparaît de cause plutôt clairement anthropique.

Situation de catastrophe : La catastrophe définit la situation de rupture grave du fonctionnement d'une communauté, avec pertes de biens, de vies humaines, matérielles, économiques et environnementales, que cette communauté affectée ne peut pas surmonter en recourant à ses seuls moyens, et à ses seules ressources. Il faut bien saisir qu'il s'agit d'une situation de dépassement de l'état du risque le plus fort face à un aléa donné.

C'est en pratique la situation avec une probabilité de dépassement de 10% de la valeur de l'aléa qui peut engendrer le risque le plus fort. Par exemple : une pluie catastrophique correspond à une situation de probabilité de dépassement de 10% de la valeur estimée de la pluie centennale (que ce soit la pluie centennale durant une période de 24 h, estimée à partir des données de pluviométrie historique, ou celle d'une averse centennale d'une durée déterminée estimée à partir de la courbe IDF) dans la région concernée.

Il faut saisir également que l'objectif de l'évaluation de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque face à un événement donné, naturel ou anthropique/technologique, se fixe pour objectif la mise en place de la stratégie nécessaire pour la réduction du risque, le renforcement de la résilience des écosystèmes et des communautés face aux divers aléas, et la prévention autant que possible de la situation extrême de catastrophe.

Il n'existe pas de méthode standard d'évaluation et de classification des aléas, des vulnérabilités, et des risques dont l'intensité et la gravité peuvent dépendre de beaucoup de facteurs.

Il est cependant connu qu'un aléa donné est conditionné par sa probabilité de survenue (périodes de retour ; catégories de fréquence), mais aussi par sa gravité (catégories de conséquences). Par exemple, l'aléa pluviométrie/inondation pour une période de retour décennale peut être sans gravité pour les équipements et les infrastructures urbaines et pour les vies humaines du moins dans certaines circonstances (climat en Tunisie) ; cependant, une pluviométrie centennale peut avoir des conséquences graves sur les hommes, les infrastructures et les biens, voire totalement catastrophique dans certaines zones du domaine urbain et sous certaines conditions.

La vulnérabilité d'un écosystème ou d'une communauté face à un aléa donné, peut également varier en fonction des contraintes démographiques, biophysiques, socio-économiques, etc., caractérisant la communauté choisie pour étude.

Ainsi, le risque qui apparait comme la résultante des effets et des conséquences d'un aléa donné, peut varier en fréquence/probabilité, et en gravité/intensité selon les degrés de vulnérabilité de la communauté choisie face à l'aléa considéré.

5.2 Méthode et processus d'évaluation de l'aléa

Expression de l'aléa : L'aléa résulte ainsi du concours de deux entités : la probabilité/fréquence de survenue de l'aléa donné et sa gravité qui doivent toutes deux être considérées lors d'évaluation. Ceci justifie l'équation suivante :

$$\text{Aléa} = \text{Probabilité (ou Fréquence) de Survenue} \times \text{Gravité}$$

Probabilité d'occurrence : C'est la fréquence de l'enchaînement des événements qui peuvent se produire et qui conduisent à la survenue de l'aléa (une fois par an, décennal, cinquantennal, centennal, millénial, etc.). La cotation de cette probabilité peut se faire de la manière suivante.

Tableau 4 : Exemple de cotation de la probabilité d'occurrence d'un événement aléatoire

Probabilité d'occurrence	Description de l'événement
5 Très élevée	Pourrait se produire plus d'une fois par an (récurrence : 0-1 an)
4 Elevée	Pourrait se produire plus d'une fois la vie utile d'une installation (récurrence : 1-10 ans)
3. Modérée	Pourrait se produire une fois durant la vie utile d'une installation (récurrence 10 – 25 ans)
2. Faible	Ne se produira probablement pas durant la durée de vie utile de l'installation (récurrence : 25-50 ans)
1. Très faible	Il existe peu de chance pour que l'événement se produise durant la durée de vie utile de l'installation (récurrence : 50 à 100 ans).

Gravité : Elle mesure les effets et détermine les conséquences (plus ou moins

importantes) de l'aléa sur l'environnement, les personnes et les biens. Les niveaux de la gravité de ces événements sont classés à la lumière d'une matrice d'appréciation comme suit :

Tableau 5 : Exemple d'échelle de cotation (matrice de décision) des conséquences en cas d'inondation

Niveau de gravité	Personnel	Public	Environnement	Impact économique	Installations	Propriétés
4- Catastrophique	Décès, blessures graves	Exposition directe au décès et blessures	Erosion des sols, destruction de la biodiversité	Pertes économiques graves, atteintes aux entreprises	Fermeture des installations ; services critiques pour plus d'un mois	Un grand nombre de propriétés et de logements détruits
3- Critique	Blessures sévères ; maladies ; incapacité permanente	Incapacités permanentes ; blessures sévères ou maladies	Dommages mineurs par apports de solides et déchets ; dommages aux espèces locale.	Pertes partielles ; incapacité temporaire des entreprises.	Arrêt complet des installations et des services critiques pour plus de deux semaines	Plus de 10% des infrastructures, et équipements endommagés.
2- Marginal	Blessures ou maladies n'engendrant pas d'incapacité	Perte mineure de la qualité de vie	Pertes partielles ; une partie de l'espace et des organismes locaux sujet à impacts.	Pertes financières mineures ; incapacité des entreprises limité à un à quelques jours.	Arrêt complet des installations et services pour quelques jours	Moins de 5% des infrastructures et équipements sujets à dégâts.
1- Négligeable	Blessures traitables par les premiers soins	Perte mineure de la qualité de vie	Inondation contenu par l'intervention. Pas d'impacts significatifs.	Pertes financières mineures ne provoquant pas d'arrêt des entreprises.	Arrêt complet des installations et services pour la journée.	Moins de 1% des infrastructures, équipements et habitations endommagées.

Cotation de l'aléa : En partant des indications croisées de la matrice précédente, et en prenant en considération l'historique des risques, voire des catastrophes naturelles et anthropiques déjà survenues dans la région considérée, de leurs enjeux et de leurs conséquences, une matrice d'évaluation spatio-temporelle de l'aléa, semblable à la précédente peut être établie. Cette matrice oppose en ordonnée les probabilités d'occurrence de l'événement, et en abscisse la gravité. Cette procédure permet de dégager la cotation du risque selon ses degrés de conséquences qui peuvent varier dans le temps et dans l'espace.



Figure 5 : Exemple de matrice de décision selon la gravité et la catégorie de fréquence de l'événement.
B : Cotation de l'aléa établie sur la base de la matrice précédente.

La construction des cartes d'aléas sont basées sur le zonage qualitatif des aléas naturels (précipitation, augmentation de température, salinisation des sols, érosion, pollution, etc.). Il s'agit de digitaliser plusieurs périmètres qui peuvent être obtenus par des opérations de

traitement des données géographiques des lieux des événements (fichiers en format 'shapefile'), en prenant en considération leur probabilité d'occurrence et leur gravité. Cette gravité s'exprime par l'ampleur des conséquences que ces aléas peuvent faire subir aux personnes et les enjeux cibles (biens, équipements et infrastructures, agriculture, services, qualité de l'environnement, santé humaine, pertes de vies, destruction d'écosystèmes et de systèmes de production, etc.).

Ce processus d'évaluation spatio-temporelle de tout aléa identifié, est destiné à être opposé aux conditions de vulnérabilité des cibles en milieu urbain et dans l'environnement, afin de faciliter l'évaluation du risque résultant de chaque aléa.

5.3 Méthode et processus d'évaluation de la vulnérabilité

Les vulnérabilités des composantes écosystémiques face à la multitude d'aléas identifiés associés aux changements du climat et expliqués précédemment, doivent être établies pour préparer une évaluation judicieuse des risques associés, et des catastrophes en particulier qu'il convient de prévenir par tous moyens, et de combattre le cas échéant.

Qualité, quantité, format et compilation des données : L'identification des critères (contraintes) de vulnérabilité, nécessité de connaître précisément l'état des lieux (observation de terrain, littérature, équipements, infrastructure, qualité de l'habitat, population, activités agricoles et industrielles, rejets de déchets, etc.) et l'historique des événements (inondation, pollution avérées, incendie de forêt, etc.).

L'évaluation quantitative la plus simple de la vulnérabilité consiste en une démarche de calcul qui peut apparaître d'une certaine complexité, du moins dans le cas des conséquences à supporter suite à l'avènement de certains aléas. Il s'agit réellement d'une compilation mathématique de matrices multicritères (multi-contraintes) qui permettent d'élaborer la carte des zones de vulnérabilité face à chacun des aléas identifiés. Dans chaque cas, cette vulnérabilité est cotée de manière simple en cinq (5) classes d'appréciation : de la vulnérabilité la plus faible (1) à la vulnérabilité la plus forte (5). Sur la carte, des couleurs spécifiques et homogènes sont accordées à chaque classe de vulnérabilité pour visualiser au mieux la variation zonale de cette vulnérabilité face à chaque aléa.

5	Très forte
4	Forte
3	Modérée (ou Moyenne)
2	Faible
1	Très faible ou Négligeable

Figure 6 : Classes de vulnérabilité et choix de couleurs pour la représentation cartographique des zones de vulnérabilité face à un aléa donné.

Calcul de la vulnérabilité : Ce calcul procède en premier lieu par une représentation cartographique zonale de chaque critère/contrainte ou facteur pertinent qui peuvent contraindre la valeur à déterminer pour la classe de vulnérabilité de chaque zone sur la carte de vulnérabilité à établir. Dès lors, l'équation qui permet de calculer la valeur de classe de vulnérabilité pour une zone donnée peut s'écrire comme suit.

$$\text{Vulnérabilité} = [\text{Contrainte 1} \times \text{Contrainte 2} \times \text{Contrainte 3} \dots \times \text{Contrainte i}]^{(1/i)}$$

L'élévation à la puissance $1/i$ est un artéfact de calcul choisi dans le but d'assurer une pondération logique qui permet de garder la valeur de la classe de vulnérabilité calculée, dans la marge 1 à 5.

Ce processus d'évaluation comprend les étapes essentielles suivantes :

- Cartographie à une échelle choisie, de chaque critère/contrainte en tenant compte des connaissances du terrain, des observations, et des données disponibles concernant chaque contrainte (géologie, linéaments tectoniques, densité du réseau de drainage, texture, perméabilité ou occupation des sols, caractéristiques de l'habitat, hauteur des pluies selon des périodes de retour, conscience et aptitudes de la population face aux risques, etc.) .
- Subdivision de chaque critère/contrainte de manière spécifique, en cinq classes de 1 à 5 (du très faible/négligeable (1) au très fort (5).
- Dans la base de données, les différents fichiers 'shapefile' représentant la répartition spatiale des valeurs correspondant à chaque contrainte, sont de format 'Vectoriel' qui n'est pas pratique pour la compilation recherchée. L'opérateur doit donc convertir ces fichiers 'shapefile' vectoriels en des fichiers 'Raster' de format alphanumérique, ce qui permet la multiplication des données (des attributs de chaque zone identifiée sur la carte) pixel par pixel.
- Calcul de l'attribut (classe) de vulnérabilité multicritère/multi-contrainte pour chaque cellule (pixel), en respectant le nombre de contraintes à retenir dans chaque cas d'aléa.
- La résultante du calcul est la restitution cartographique (régionalisation) des valeurs correspondant aux différentes classes (de 1 à 5) de vulnérabilité. Ceci permet de restituer et de visualiser la variation zonale de la vulnérabilité sur une carte ('layout') de lecture aisée.

Les fichiers de format 'Vectoriel' et 'Raster' dans la base de données construite pour la zone d'étude et ses environs, couramment qualifiées de couches de données SIG, et qui ont servi à l'élaboration de différentes cartes de vulnérabilité, sont trop nombreux pour être décrits en détail dans le corps de ce texte.

5.4 Méthode et processus d'évaluation du risque

Risque et contraintes mises en jeu : L'approche d'évaluation du risque face à un aléa choisit d'intégrer les contraintes/indices/critères définis spatio-temporellement pour une situation donnée de la communauté. Ces contraintes et cette situation sont regroupées dans le système d'informations géographiques préétabli pour analyser les conséquences de tous aléas et vulnérabilités correspondantes.

Les choix de données de contraintes, des aléas et leurs degrés de gravité, et des classes de vulnérabilité des enjeux face à un aléa donné et ses conséquences à évaluer, s'effectue par la combinaison des contraintes/indices les plus pertinents dans la situation considérée de la composante de l'écosystème, de l'entité ou de la communauté d'étude. L'appréciation des contraintes mises en jeu en termes d'aléa et de vulnérabilité prend en considération l'historique de survenue d'un aléa et ses conséquences enregistrées, et les classes de vulnérabilité zonales sur la base des données de terrain, de l'état des équipements et des aménagements, des données biophysiques et socio-économiques, de la connaissance,

aptitude et pratique des populations face aux divers aléas, etc.

Expression mathématique du risque : Le risque peut être défini comme la résultante d'interactions entre un aléa potentiel et la vulnérabilité du milieu exposé à cet aléa choisi. Le risque découle de deux entités variables variant spatio-temporellement en fonction des contraintes démographiques, biophysiques, socio-économiques, d'équipements et d'infrastructures, et de la capacité des communes à faire face aux risques à encourir dans telle ou telle situation. Mathématiquement, le risque qui *a fortiori* ne peut pas être prévu d'avance, se définit comme le produit de l'aléa par la vulnérabilité des enjeux face à ce même aléa :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition}$$

A partir de la base de données SIG, le géomaticien établit des fichiers 'shapefile' et des tables justifiant les contraintes mises en jeu pour un aléa donné, la répartition zonale de cet aléa selon sa gravité (du très faible/négligeable (1), au très fort (5)), mais aussi la répartition zonale de la vulnérabilité pondérée (1 : très faible/négligeable, à 5 : très forte). Ces fichiers 'shapefile' doivent être migrés du format Vectoriel ne convenant pas à la multiplication, au format Raster (alphanumérique) pour faciliter les processus de calcul.

Calcul et évaluation du risque : Le risque à l'échelle de la communauté (tissu urbain et environ, habitat, environnement, facilités et infrastructure connexes) se calcule sous forme d'une 'matrice' alphanumérique facilement restituable sous forme d'une carte géoréférencée. Cette carte visualise la répartition zonale des classes de risques en étroite relation avec la répartition et l'importance des enjeux face à la gravité (1 : très faible/négligeable, à 5 très fort/intolérable) du risque considéré. Si l'on suppose que l'exposition est l'unité, le calcul s'effectue de la manière suivante.

Classes d'aléa		X	Classes de vulnérabilité	
1	Très faible		1	Très faible
2	Faible		2	Faible
3	Modéré/moyen		3	Modérée/moyenne
4	Fort		4	Forte
5	Très fort		5	Très forte

Classes d'aléa	Classes de vulnérabilité				
	1	2	3	4	5
1	Risque très faible	Risque très faible	Risque faible	Risque faible	Risque faible
2	Risque très faible	Risque faible	Risque moyen	Risque moyen	Risque moyen
3	Risque faible	Risque faible	Risque moyen	Risque moyen	Risque fort
4	Risque faible	Risque moyen	Risque moyen	Risque fort	Risque fort
5	Risque faible	Risque moyen	Risque fort	Risque fort	Risque très fort

Figure 13. Processus de calcul et d'évaluation des classes de gravité du risque

Étant donné son calcul numérique et de sa dépendance de la gravité de l'aléa et de la classe de vulnérabilité, et compte tenu de toutes les combinaisons possibles, le risque apparaît comme une entité résultante à deux dimensions dont chacune possède en tout cinq (5) classes du très faible (1)

au très fort (5).

6 Analyse et évaluation du risque lié à la vulnérabilité des composantes écosystémiques face aux changements climatiques

6.1 Composantes marines et lagunaires physiques et biologiques

Trois composantes marines et lagunaires dans la zone d'étude sont potentiellement vulnérables aux effets des changements climatiques : le canal de navigation, la Lagune de Bizerte et le Lac Ichkeul.

6.1.1 Canal de navigation

Le canal de Bizerte est un édifice artificiel aménagé entre 1895 et 1898. Il est rectiligne de 7 km de longueur, 200m de largeur et de 12 m de profondeur. Cette largeur relativement faible par rapport à l'extension de la mer ouverte d'une part et du Lagune de Bizerte d'autre part, fait que le courant y est très fort et par moments la navigation peut se faire difficilement. Quelques rôles et caractéristiques de cet ouvrage maritime sont à retenir :

- Ce canal contribue efficacement à la circulation générale et à l'hydrodynamisme de la lagune qui continue à évoluer d'un milieu à tendance lacustre confiné sous influence continentale, à un milieu confluent sous influence marine prépondérante ;
- L'écosystème aquatique du canal de Bizerte ainsi que la zone avant-port sont délimités par des ouvrages portuaires ou de protection (digues et brise-lames) totalement artificiels ;
- La diversité biologique dans ce canal consiste en une flore et une faune assez diversifiée notamment dans la zone Nord-Ouest (zone militaires) très peu fréquentée.

Les résultats de prospection révèlent la présence de sept (7) espèces de macrophytes dont le magnoliophyte (*Cymodocea nodosa*) et les macroalgues (*Caulerpa prolifera*, *Caulerpa racemosa*, *Flabellia Petiolata*, *Bryopsis sp*, *Halopteris scoparia*, *Padina pavonica*), fixées sur les supports naturels ou artificiels. Toutes ces espèces sont présentes au Sud-Ouest du canal, alors que le centre n'accueille qu'une seule macrophyte.

Le macrofaune benthique compte cinquante (50) espèces réparties sur neuf (9) groupes (annélides, échinodermes, spongiaires, bryozoaires, crustacés, cnidaires, ascidies, mollusques et poissons). Il s'agit en majorité d'espèces sessiles ou sédentaires adaptées aux conditions hydrodynamiques et de turbidité. Outre les poissons sédentaires gobies et blennies, l'ichtyofaune vagile est représentée surtout par les sparidés.

Le milieu est de caractère typiquement marin en raison de la communication permanente et ouverte avec la mer. Les impacts des aléas liés aux changements climatiques se traduiront par l'EANM et par une augmentation de la vitesse des courants.

Au plan biologique, ces conditions sont favorables au recrutement des espèces et aux migrations trophiques et génésiques. Il en est de même pour l'introduction des espèces non indigènes, alors qu'un hydrodynamisme renforcé notamment en termes de vitesse, risque d'affecter la répartition des espèces et les migrations.

Tableau 6 : Vulnérabilité de la zone du canal de Bizerte au changement climatique

Evolution liée au changement climatique	Vulnérabilité attendue du milieu et de la biodiversité
Elévation de la température des eaux	Prolifération et introduction d'espèces non indigènes
Elévation du niveau de la mer	Marinisation accrue
	Recrutement soutenue des espèces marines

6.1.2 Lagune de Bizerte

Cette lagune de 15000 ha de superficie et de 8m de profondeur moyenne communique avec la mer à travers le canal précédant à l'Est et avec le Lac Ichkeul à l'Ouest par le biais de l'oued(canal) Tinja log de 4 km environ. Ces connexions font de la Lagune de Bizerte un bassin de dynamique spatiotemporelle complexe.

Le linéaire côtier de la Lagune s'étend sur 64,5km, avec des berges à morphologie basse et souvent marécageuses. Ceci est le cas notamment entre Menzel Jemil et l'embouchure de l'Oued Guenniche, et entre Menzel Bourguiba et la base militaire de Sidi Ahmed. Ailleurs, sur le pourtour de la presqu'île de Henchir Charaa et entre Menzel Bourguiba et Oued Guenniche, se rencontrent des petites falaises dont la hauteur est le plus souvent inférieure à 5m.

Tableau 7 : Caractéristiques hydrauliques du lac de Bizerte (MEDD, 2008)

Paramètre	Unité	Valeur
Surface totale	ha	13000
Profondeur (min – moyenne – max)	m	1-7-12
Volume d'eau moyen	Mm ³	910
Débit d'échange avec la mer	m ³ /s	250
Vitesse au niveau de la passe	m/s	1
Volumes échangés par jour	Mm ³ /jour	22
Vitesse du courant dans le lac	cm/s	0.1

La biodiversité de la lagune compte plus que soixante-quinze (75) espèces de microflore planctonique et une Macroflore benthique qui assure le couvert végétal partiel et de plus en plus rétréci, limité aux berges et aux faibles profondeurs, avec un total de quatorze (14) espèces dominantes de macrophytes dont les magnoliophytes (*Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii*) qui assurent l'essentiel du recouvrement des fonds. Trois espèces non indigènes se sont aussi installées : *Caulerpa racemosa*, *Codium fragile* et *Halophila stipulacea*.

Le zooplancton est dominé par une vingtaine d'espèces de Copépodes. La méduse *Phyllorhiza punctata* se présente bien comme espèce exotique envahissante.

Un macrofaune benthique existe également, comptant actuellement (2020) moins d'espèces par rapport à l'inventaire de 156 espèces d'invertébrés en 1980. Cette macrofaune est répartie sur neuf (9) groupes communs (Spongiaires, Cnidaires, Annélides, Crustacés, Mollusques, Bryozoaires, Echinodermes et Ascidies). Il s'agit d'espèces

sessiles ou sédentaires adaptées aux conditions hydrodynamiques et de turbidité.

Les vertébrés représentés par les poissons sont au nombre de 45 espèces dont plusieurs espèces sont ciblées par la pêche.

Concernant les espèces non indigènes, indicateurs de taille des effets du changement climatique, la Lagune de Bizerte, abrite actuellement 29 espèces non indigènes réparties sur 6 groupes (2 Macrophytes, 1 Magnoliophyte, 6 Mollusques, 3 Cnidaires, 10 Crustacés, 6 Chorda, et 1 Poissons). Les espèces non indigènes considérées comme établies sont : *Percnon gibbesi*, *Eucrate crenata*, *Pinctada radiata*, *Bursatella leachii* et *Stephanolepis diaspros*. Bientôt les crabes bleus *Portunus segnis* et *Callinectes sapidus* s'installeront. D'autres espèces fortement implantées dans la Lagune de Bizerte présentent une confusion quant au statut et à l'origine comme *Phallusia mammillata* et *Ciona intestinalis*.

Comme espèces rares ou menacées présentes dans la lagune, il existe le gastéropode *Vermetus cristatus* dans la partie rocheuse du goulet la plus proche de la mer, le poisson *Hippocampus hippocampus* dans les herbiers de *Zostères* de la zone Sud-Est de la lagune, la grande nacre *Pinna nobilis* dans le canal, fortement menacée aujourd'hui et le bivalve d'origine Atlantique tropicale *Perna perna*.

La Lagune de Bizerte peut être considérée comme un plan d'eau fortement influencé par les échanges avec la mer, avec une tendance à la tropicalisation affectant au milieu un caractère localement eutrophe. La biodiversité, caractéristique des milieux lagunaire (euryhaline et eurytherme), tend vers la marinisation et par suite l'oligotrophie. La marinisation du milieu sera plutôt favorable à la préservation de ces espèces. Cependant le nombre croissant des espèces non indigènes aura certainement un effet sur les habitats et les espèces autochtones, le caractère invasif sera amplifié par le changement climatique.

Tableau 8 : Vulnérabilité du la Lagune de Bizerte au changement climatique

Evolution liée au changement climatique	Vulnérabilité attendue du milieu et de la biodiversité
Elévation de la température des eaux	Prolifération et introduction d'espèces non indigènes
Elévation du niveau de la mer	Submersion des berges
	Marinisation accrue du milieu
	Dominance des espèces marines par rapport aux espèces lagunaires

6.1.3 Lac Ichkeul

Le lac Ichkeul présente une superficie variante entre 8000 (en période sèche) et 12000 ha (en période humide y compris les marais), avec une profondeur moyenne de 1m. Les berges s'étendent sur 61 km environ et se caractérisent par leur caractère très bas et marécageux, mis à part le secteur au pied de Jebel Ichkeul et celui des berges Nord qui montrent une morphologie de falaises. Le lac Ichkeul est actuellement partiellement alimenté en eau douce par les oueds Tine, Joumine, Sejnane, Ghezala, Melah et Douimis tous barrés, qui débouchent dans ses rivages Nord, Ouest et Sud. Du côté oriental, l'Oued Tinja sinueux et étroit le relie à la Lagune de Bizerte et facilite les échanges d'eaux continentales ou marines.

Le plan d'eau évolue entre le caractère dulçaquicole en fonction des précipitations et apport

en saison humide, et le caractère marin, voire salins en saison chaude et sous forte évaporation, lorsque les apports de la Lagune de Bizerte à travers l'oued Tinja peuvent dominer.

La microflore du Lac Ichkeul est représentée par une cinquantaine d'espèces. Elle est dominée par 32 espèces de diatomées. Le milieu est plutôt mésotrophe. Quant au couvert végétal de ce lac, ce sont les magnoliophytes qui assurent avec notamment les potamots à caractère dulçaquicole, et la *Ruppia* à tendance plutôt halines.

La macrofaune est restreinte en rapport avec le caractère euryhalin du milieu. Les espèces phare sont les gammarès, les isopodes, les néréides et quelques bivalves dont *Cerastodermaglaucum*.

La faune piscicole est plutôt diversifiée et abondante. Il s'agit d'espèces euryhalines et eurythermes en majorité migratrices dont les muges et les anguilles, des espèces sédentaires et des espèces accidentelles d'origine marine.

Au plan écologique, le parc de l'Ichkeul représente le quartier d'hiver d'un peuplement considérable d'oiseaux d'eau dont les 4 espèces phare : les foulques macroules, les fuligules milouins, les canards siffleurs et les oies cendrées, qui risquent de perdre le dortoir et la mangeoire appropriés suite à la réduction, voire la disparition des marais.

La vulnérabilité majeure du Lac Ichkeul réside à la perte du caractère fonctionnel typique entre phase dulçaquicole et phase marine. L'élévation du niveau de la mer, et le barrage des oueds et la sécheresse (absence de lâchers d'eau) peuvent conduire au maintien du caractère halin en permanence. La faune ichthyque pourra être bénéficiaire alors que l'avifaune sera la plus vulnérable.

Tableau 9 : Vulnérabilité du Lac Ichkeul au changement climatique

Evolution liée au changement climatique	Vulnérabilité attendue du milieu et de la biodiversité
Elévation de la température des eaux	Introduction d'espèces non indigènes
Elévation du niveau de la mer	Submersion des berges et extension de la superficie Marinisation accrue du milieu
Intrusion d'eaux marines	Dominance des espèces marines par rapport aux espèces lagunaires Disparition des espèces d'eaux douce Perte d'habitats pour les oiseaux d'eaux.

Ce changement de biotope sera accompagné par une dynamique de recrutement conséquent en rapport avec les principales espèces migratrices euryhalines et eurythermes (loup, dorade, mullets etc...), et des entrées d'espèces marines. Deux tendances évolutives seront attendues.

- La lagunarisation : du Lac Ichkeul, avec la dominance des espèces lagunaires, et des espèces migratrices.
- La marinisation : du lac de Bizerte les espèces marines seront installées.

Dans les deux cas cette évolution sera pratiquement toujours favorable aux activités halieutiques.

6.1.4 Analyse de la vulnérabilité de la pêche au changement climatique

L'activité de pêche dans la Lagune de Bizerte est assez diversifiée aussi bien du côté typologie avec la pêche aux filets droits (trémail, maillant et combiné), la pêche aux lignes et palangres, les nasses à Murex et la pêche à pied, que du côté social avec la pêche côtière, la pêche récréative.

La production halieutique est instable 69 t/2019 et 111 t en 2020 (DGPA 2021). Les captures sont dominées par la seiche commune (*Sepia officinalis*) comme mollusques avec 61% des prises, suivie par les muges (*Mugil cephalus* et *Liza aurata*) avec 11%, la crevette royale (*Penaeus kerathurus*) comme crustacés avec 7% et le gastéropode Bigorneaux (*Hexaplex trunculus*) avec 6%. Les captures du loup *Dicentrarchus labrax*, de la sole *Solea senegalensis*, du marbré *Lithognathus mormyrus* et de daurade *Sparus aurata*, la saupe *Sarpa salpa* et le rouget blanc *Mullus barbatus* sont aussi importantes parmi d'autres dont l'anguille, le Saurel, la raie bouclée et la torpille.

L'activité halieutique est menée en particulier à partir du port de pêche de Menzel Abderrahman en exploitation depuis 1995 objet d'extension actuellement. Ce port abrite 220 embarcations avec 123 barques à rame et 97 barques à moteur. Le nombre des pêcheurs travaillant dans ce port est estimé à 300 marins pêcheurs (DGPA 2020). Sachant qu'un grand nombre d'embarcations non immatriculées exercent une pêche INN (Illégale Non déclarée Non réglementée) le long de l'année.

Mis à part les mollusques, plus sensibles à l'élévation de la température, trente-six (36) espèces de la faune ichthyique bénéficieront de l'évolution vers une marinisation accrue, en rapport avec leurs caractères euryhalins et eurythermes. Le rendement des captures sera plus important d'autant plus que certaines espèces non indigènes pourront faire partie de futures captures.

Cependant, les chaleurs excessives ou les proliférations d'algues toxiques sont probables avec et des crises de dystrophies capables de provoquer des mortalités de mollusques et de poissons. Les zones Nord-Est de la lagune seront les plus vulnérables. Dans les milieux lagunaires, l'EANM sera pratiquement toujours favorable au recrutement et aux migrations des espèces ciblées par la pêche.

Tableau 10 : Vulnérabilité de la pêche dans le lac de Bizerte au changement climatique

Evolution liée au changement climatique	Manifestations attendues activités halieutiques
Elévation de la température des eaux	Etablissement d'espèces non indigènes dans les captures
	Augmentation du recrutement d'espèces marines Augmentation des captures
Elévation du niveau de la mer	Homogénéisation des zones de pêche
	Impact des ouvrages existant du port de Menzel Abderrahman

Dans le Lac Ichkeul, la faune ichthyique compte 17 espèces dont 10 espèces d'intérêt commercial (*Anguilla anguilla*, *Dicentrarchus labrax*, *Liza aurata*, *Liza ramada*, *Mugil cephalus*, *Solea vulgaris*, *Sparus aurata*...) et 7 espèces sédentaires ou migrantes caractéristiques de l'équilibre écologique et trophique du lac. Les captures caractéristiques sont celles des anguilles et de muges qui représentent respectivement 48 et 44% des prises. Ces espèces sont ciblées par des pêcheries fixes que sont les nasses ou

capetchades pour les anguilles et les bordigues pour les muges. La production totale est en déclin depuis plusieurs années (25 tonnes en 2019, 17 tonnes 2020), notamment pour les anguilles sans doute avec la réduction d'appel d'eau douce et les contraintes de recrutement (comblement de l'oued Tinja, dysfonctionnement de l'écluse, absence de passe à civelles ; etc.).

Le changement climatique serait favorable aux espèces marines (invertébrés ou poissons) actuellement rares ou accidentelles qui auront les conditions favorables à l'installation. Toutefois les fluctuations hydroclimatiques risquent toujours de provoquer des dystrophies estivales, ou des perturbations de la saison de recrutement des alevins des espèces de poissons (anguilles et muges).

La vulnérabilité de la pêche dans le Lac Ichkeul dépendra de l'efficacité du recrutement. L'EANM et les entrées d'eaux marines favorisent le recrutement des muges cependant la pêcherie des anguilles risque de s'effondrer avec le dysfonctionnement de l'alternance des courants sortant par saison humide et le courant rentrant en saison chaude.

Tableau 11 : Vulnérabilité de la pêche dans le lac Ichkeul au changement climatique

Evolution liée au changement climatique	Manifestations attendues activités halieutiques
Elévation de la température des eaux	Etablissement d'espèces non indigènes dans les captures
Elévation du niveau de la mer	Augmentation du recrutement d'espèces marines Augmentation des captures
	Homogénéisation des zones de pêche
	Impact sur les pêcheries fixes (bordigues et nasses) qui devront être Transposées et/ou surélevées.
Réduction des apports en eaux douces	Diminution de remontée des civelles

6.1.5 Analyse de la vulnérabilité de l'aquaculture au changement climatique

L'aquaculture dans la Lagune de Bizerte est concrétisée par la conchyliculture (élevages de moules et huîtres) et l'algoculture (cultures de macroalgues du genre Gracilaria). L'algoculture activité émergente dans cette lagune (1,8 tonnes de gracilaires en 2020) serait performante à la température de 20 à 30°C et à la salinité de 25 à 30 psu.

La conchyliculture, activité et pérenne dans la lagune avec une production moyenne au cours des 20 dernières années de 127 T/an, est fortement dépendante de la qualité des eaux et devra subir des fluctuations temporelles. Ce sont surtout les fortes chaleurs qui arrêtent la croissance des élevages, provoquent des maladies, voire des mortalités, massives. La vulnérabilité des moules et des huîtres vis-à-vis des paramètres du milieu est évaluée dans le tableau.

Tableau 12 : Vulnérabilité de la conchyliculture vis-à-vis de la qualité des eaux

Paramètres	Moules		Huitres	
	Gamme référence	Vulnérabilité	Gamme référence	Vulnérabilité
Température (°C)	>30	Très forte	>35	Très fort
	<10; >26-30	Forte	≤ 6; >25-30	Forte
	10-18	Moyenne	7-19	Moyenne
	18-26	faible	≤20 - ≤ 25	faible
pH	<6; >9	fort	<7; >9	Forte
	6 – 9	faible	7 – 9	Faible
Salinité (psu)	<30; >35	Forte	<25; >40	Forte
	30 - 35	Faible	30 - 39	Faible
Courants (cm/s)	<0.02	Forte	<0.01	Forte
	>1	Faible	>1	Faible
Oxygène (mg/L)	<5	Forte	<2	Forte
	6-7	Moyenne	2-7	Moyenne
	> 7	Faible	7- > 10	Faible
Bathymétrie (m)	<3	Forte	<3	Forte
	3 - 5	Moyenne	3 - 5	Moyenne
	5 - 15	Faible	5 - 15	Faible

La conchyliculture sera la plus affectée car les élevages sont effectués dans les milieux naturels (en filière ou sur tables). Le réchauffement est un facteur limitant qui menace sérieusement cette activité.

Plusieurs cas de mortalités estivales massives des moules sont constatés au cours des dernières années en rapport avec l'élévation de la température des eaux et la succession de journées chaudes. La dystrophie peut aussi accentuer ces impacts. La Lagune de Bizerte, premier centre de production conchylicole en Tunisie, peut devenir moins appropriée pour cette activité.

Ainsi l'activité conchylicole, bien développée dans la Lagune de Bizerte, devra être réajustée en termes d'implantation spatiale en rapport avec la modification de la productivité du milieu et des conflits d'espaces avec l'activité de pêche sont attendus.

Tableau 13 : Vulnérabilité de l'aquaculture dans le lac de Bizerte au changement climatique

Evolution liée au changement climatique	Manifestations attendues activités aquacoles
Elévation de la température des eaux	Etablissement d'espèces non indigènes dans les captures
	Diminution du captage des moules
	Perte de cheptels en saison chaude
Elévation du niveau de la mer	Augmentation du biofouling au niveau des structures d'élevage
	Submersion des parcs conchylicoles
	Submersion des filières d'algocultures

Tableau 14 : Récapitulatif sur la vulnérabilité écologique du complexe Bizerte-Ichkeul

(1 : très faible - 2 : faible - 3 : moyenne - 4 : forte - 5 : très forte)

Lagune Caractéristiques	Ichkeul	Bizerte
Superficie (ha)	8500	15000
Profondeur(m)	0.9	7
Activités	Réserve pêche	Pêche aquaculture
Rendement kg/ha/an	7 à 9	5 à 9
Espèces communes	Mugilidés anguilles	Seiche/Sparidés/Muges/huitre/moule
Echanges mer/lagunes	Oued Tinja (écluse)	canal de Bizerte
Tendance milieu	lagunarisation	Marinisation
Activité de pêche	3	1
Activité aquacole		4
Qualité des eaux	4	2
Eutrophisation	3	3
Biodiversité	3	2
Biotope Habitats	4	2

6.1.6 Vulnérabilité des composantes marines et lagunaires physiques et biologiques

Le canal de Bizerte, avec un hydrodynamisme soutenu, offrira davantage les conditions favorables au recrutement des espèces et aux migrations trophiques et génésiques. Il en est de même pour l'introduction des espèces exotiques.

La Lagune de Bizerte sera fortement influencée par les échanges avec la mer, avec une

tendance à la marinisation compatible avec la présence des espèces marines communes de la zone et une tropicalisation favorable à l'installation des espèces non indigènes.

La vulnérabilité majeure du Lac Ichkeul réside à la perte du caractère fonctionnel typique entre phase dulçaquicole et phase marine. L'élévation du niveau de la mer, et le barrage des oueds et la sécheresse (absence de lâchers d'eau) peuvent pérenniser le caractère halin, l'avifaune sera la plus vulnérable

Concernant la pêche, dans le lac de Bizerte, mise à part les mollusques, plus sensibles à l'élévation de la température, les espèces communes dans les captures bénéficieront de l'évolution vers une marinisation accrue, vu leurs caractères euryhalins et eurythermes. Cependant, les chaleurs excessives peuvent déclencher des dystrophies aboutissant à des mortalités de mollusques et de poissons.

La vulnérabilité de la pêche dans le Lac Ichkeul dépendra de l'efficacité du recrutement des muges et des anguilles. Le changement climatique et les entrées d'eaux marines favorisent le recrutement des muges tandis la sécheresse et le manque d'eau douce affecte celle des anguilles.

Quant à l'activité conchylicole, bien développée dans la Lagune de Bizerte, elle risque de subir les aléas du réchauffement, facteur limitant qui menace sérieusement cette activité et le redéploiement des fermes sera inévitable ; au contraire, l'algoculture initiée depuis 2018, pourra bénéficier des conditions clémentes.

6.2 Composantes terrestres physiques et biologiques

6.2.1 Problématique de la vulnérabilité de la biodiversité aux changements climatiques et approche méthodologique

La Biodiversité (écosystémique et spécifique) terrestre et semi-aquatique recensée aux alentours de la Lagune de Bizerte est particulièrement vulnérable à plusieurs risques liés auxCC, notamment la submersion marine, la salinisation et/ou la sècheresse surtout des zones humides limitrophes à la lagune. Toutefois, l'impact de tels changements n'est pas ressenti de la même manière aussi bien chez les espèces (faune et flore) que dans leurs habitats respectifs.

Dans le cas d'une éventuelle submersion associée à une salinisation des sols et des points d'eau douce, deux catégories de peuplements végétaux sont concernées, les halophytes (particulièrement les Chénopodiacées) des milieux les plus salés occuperont plus d'espace, alors que les hydrophytes et/ou les halophytes des milieux d'eau douce ou légèrement salés (*Typha*, Roseaux...) disparaîtront ou seront poussées plus à la périphérie des zones submergées en fonction de la disponibilité en eau douce. A l'opposé, les associations végétales plus terrestres (maquis, garrigues et forêts à résineux) sont beaucoup plus vulnérables aux feux de forêts.

Quant aux animaux, les Amphibiens, les Reptiles semi-aquatiques (tortues d'eau douce) et les Oiseaux d'eau, sont les plus vulnérables à la submersion marine et à la perte des milieux dulçaquicoles et leur végétation typique. Plusieurs espèces de Gastéropodes terrestres et d'autres petits invertébrés hygrophiles liés à l'humidité sont parmi les plus sensibles à la sécheresse et à l'assèchement des terres.

Par ailleurs, l'étalement de zones submergées en raison de l'EANM autour de la Lagune et du lac Ichkeul aura pour conséquences d'augmenter les surfaces et multiplier le nombre de

gites favorables aux moustiques ce qui peut constituer un véritable problème de santé humaine dans la région.

Ainsi, selon les particularités des espèces (ou groupes d'espèces) et leurs sensibilités et exigences vis-à-vis des facteurs écologiques abiotiques, plusieurs cas de vulnérabilité de la biodiversité terrestre (Ecosystèmes, Faune et Flore) peuvent être envisagés selon les habitats, les peuplements et les aléas.

Les risques et vulnérabilités aux CC dans la zone d'étude, sont donc liés aux principaux aléas suivants : submersion marine, augmentation de température et évaporation, salinisation des sols et des cours d'eau douce, feux de forêt et extension des gîtes des larves de moustiques.

La démarche de caractérisation d'analyse consiste à se baser sur trois approches complémentaires :

- (a) Analyser et exploiter toutes des cartes disponibles en relation avec les aléas définis : submersion marine et salinisation, amplitude des marées, topographie, géomorphologie, occupation des sols, phytoécologie, etc. ;
- (b) S'appuyer sur les résultats des prospections effectuées sur le terrain et qui ont permis de décrire les écosystèmes et les habitats et de dresser la liste des espèces présentes dans chaque biotope (voir 1^{ère} partie du rapport) ;
Ces données serviront à définir les vulnérabilités et les risques, délimiter les zones soumises aux différents aléas et définir les taxons concernés et les plus vulnérables ;
- (c) Se baser sur les données de la littérature portant principalement sur :
 - L'écologie des espèces et leurs adaptations aux différents facteurs abiotiques : salinité, hydromorphie, température... (El Hamoumi *et al*, 2007 ; Sané & Didier., 2007 ; Gracci, 2018...) ;
 - Les changements climatiques d'une manière générale (Bourque, 2000 ; Beaulieu *et al*, S., 2015...) ;
 - Les effets des changements climatiques et la vulnérabilité des écosystèmes et régions de la Tunisie (MEDD- DGQV, 2008 ; Brahmi *et al*, 2010 ; APAL-PNUD, 2012 ; ADAPT'ACTION, 2021 ; GIZ & ME, 2022...).

6.2.2 Principaux constats relatifs aux aléas, risques et vulnérabilité

• **Aléas Submersion marine et salinisation des eaux et des sols**

L'aléa dans ce cas est la submersion marine et par conséquent le versement de l'eau de mer dans les zones basses marécageuses d'eau douce ou légèrement salée. Ceci réduira considérablement (ou fera même disparaître) les écosystèmes dulcicoles et leurs peuplements animaux et végétaux.

Ceci dépend de :

- La topographie des zones limitrophes à la lagune et ses berges. Les zones de rivages plus basses sont les plus vulnérables à la submersion marine (cf. carte des altitudes)
- Le réseau hydrographique et l'importance (en nombre et en superficie) des

- zones humides ;
- L'occupation et la nature des sols.

- ***Vulnérabilité des écosystèmes humides à la submersion marine et la salinisation***

Les zones humides sont de grand intérêt écologique et socioéconomique par les multiples fonctions qu'elles assurent, notamment le maintien et la régulation des régimes hydrologiques et la prévention des inondations (zones tampon), la protection des sols et la prévention de l'érosion, la régulation du climat local et le maintien de l'humidité relative de l'air bénéfique pour l'agriculture dans la région...

Ces écosystèmes constituent aussi un réservoir de la diversité biologique animale et végétale. Ils abritent plusieurs espèces de plantes hygro- et hydrophytes. Aussi, un grand d'animaux liés à ce type d'habitat, trouvent refuge et protection, alimentation, lieux de repos et de reproduction... Ils sont également des milieux d'activités agricoles et de pisciculture, récréatif et de tourisme écologique.... à grande valeur paysagère et patrimoniale.

Les zones humides, comme partout dans le monde sont actuellement très menacées, comme en Tunisie et dans la région d'étude par différentes agressions anthropiques : pollution, dégradation, assèchement, fragmentation... auxquels s'ajoutent les effets néfastes des changements climatiques attendus, particulièrement l'élévation de la température et la submersion marine, et la salinisation des sols.

En fonction des paramètres et caractéristiques physiques de la région (topographie, hydrographie, sol...) les zones soumises à une éventuelle submersion sont situées tout autour de la lagune avec différents niveaux d'intensité et de vulnérabilité sachant que les principales zones qui abritent les zones humides les plus soumises à la submersion et/ou la salinisation sont localisées à Sebket El Azib - Menzel Jemil, Garâat Menzel Bourguiba, Oued Tinja, les îlots de la lagune et le complexe des zones marécageuses situées au sud de la base militaire de Sidi Ahmed jusqu'à l'embouchure de l'Oued Haima.

Les conséquences de la submersion marine dans ces secteurs peuvent être drastiques aussi bien sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes que sur la biodiversité.



Figure 7 : Répartition des zones humides les plus vulnérables à la salinisation et à la submersion

Les conséquences de la submersion marine dans ces secteurs peuvent être drastiques aussi bien sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes que sur la biodiversité.

- **Vulnérabilité de la végétation des zones humides à la submersion marine**

Dans les zones vulnérables à la submersion marine deux principaux types d'habitats peuvent être distingués, auxquels s'ajoutent les îlots lagunaires

Sebkhas à halophytes : Elles sont situées particulièrement sur :

- Les berges Est de la lagune : région Menzel Jemil et Sebka El Azib ;
- Le Nord-Ouest de la lagune : zones très marécageuses situées au Sud de l'aéroport et la base militaire de Sidi Ahmed, au Nord de l'Oued Tinja et à l'Ouest de Louata aux alentours de l'embouchure de l'Oued Haima ;
- Une petite zone s'étend de la pointe de la baie des carrières à l'Ouest de Menzel Abderrahmen jusqu'au Cap Chaara.

Les champs d'halophytes dans ces secteurs s'étendent sur d'importantes surfaces qui montrent un gradient net d'hydromorphie depuis le trait de la côte où le sol est submergé et engorgé d'eau, jusqu'à la périphérie externe moins vaseuse et plus sèche. Ce gradient dépend de la proximité du rivage, de la durée d'exposition à la submersion, de l'importance des marées et de l'apport en eaux de ruissellement en hiver.

L'adaptation des espèces végétales qui caractérisent ces écosystèmes (Salicornes, Scirpe, Joncs...) dépend en fait de deux principaux facteurs abiotiques et édaphiques étroitement liés que sont l'hydromorphie et la salinité qui suit un gradient décroissant en allant du trait

de la côte jusqu'à la périphérie de la sebkha où le sol devient plus sec et moins salé. Selon leur écologie et leurs adaptations à différents paramètres édaphiques, les hydro-halophytes se répartissent globalement selon les gradients illustrés par les deux tableaux ci-dessous.

Halocnemum strobilaceum est l'espèce qui supporte les plus forts taux de salure dans les sols gorgés d'eau de mer et soumis à la submersion notamment en période hivernale. Elle est suivie d'*Arthrocnemum indicum* puis successivement de *Salicornia arabica*, *Suaeda* (*Sarcocornia*) *fruticosa* et *Atriplex portulacoides*. *Scirpus maritimus*, lorsqu'elle est présente, tolère moins la salinité mais préfère les sols très humides ; à l'opposé *Hordeum maritimum* supporte plus le sel dans les sols légèrement humides. Enfin, *Salsola vermiculata* ainsi que les Joncs (*Juncus maritimus* puis *J. acutus*) sont plus inféodés aux zones limitrophes plus élevées, moyennement salées et légèrement humides à sèches.



Figure 8 : Illustration des paysages montrant la répartition des hydro-halophytes à la Sebkha El Azib

Dans les zones les plus périphériques moins profondes se trouvent souvent d'autres espèces colonisatrices ou communes à la région comme l'Inule *Limbarda crithmoides* et le ricin *Ricinus communis* ainsi que les plantes invasives comme *Datura stramonium* et *Solanum elaeagnifolium*. Evidemment, la composition floristique change légèrement d'une sebkha à une autre en fonction de la topographie, la nature du sol et l'importance des nutriments de la matière organique.

Tableau 15 : Tolérance des principales espèces de plantes hydro-halophytes aux paramètres édaphiques (d'après Tela botanica.org)

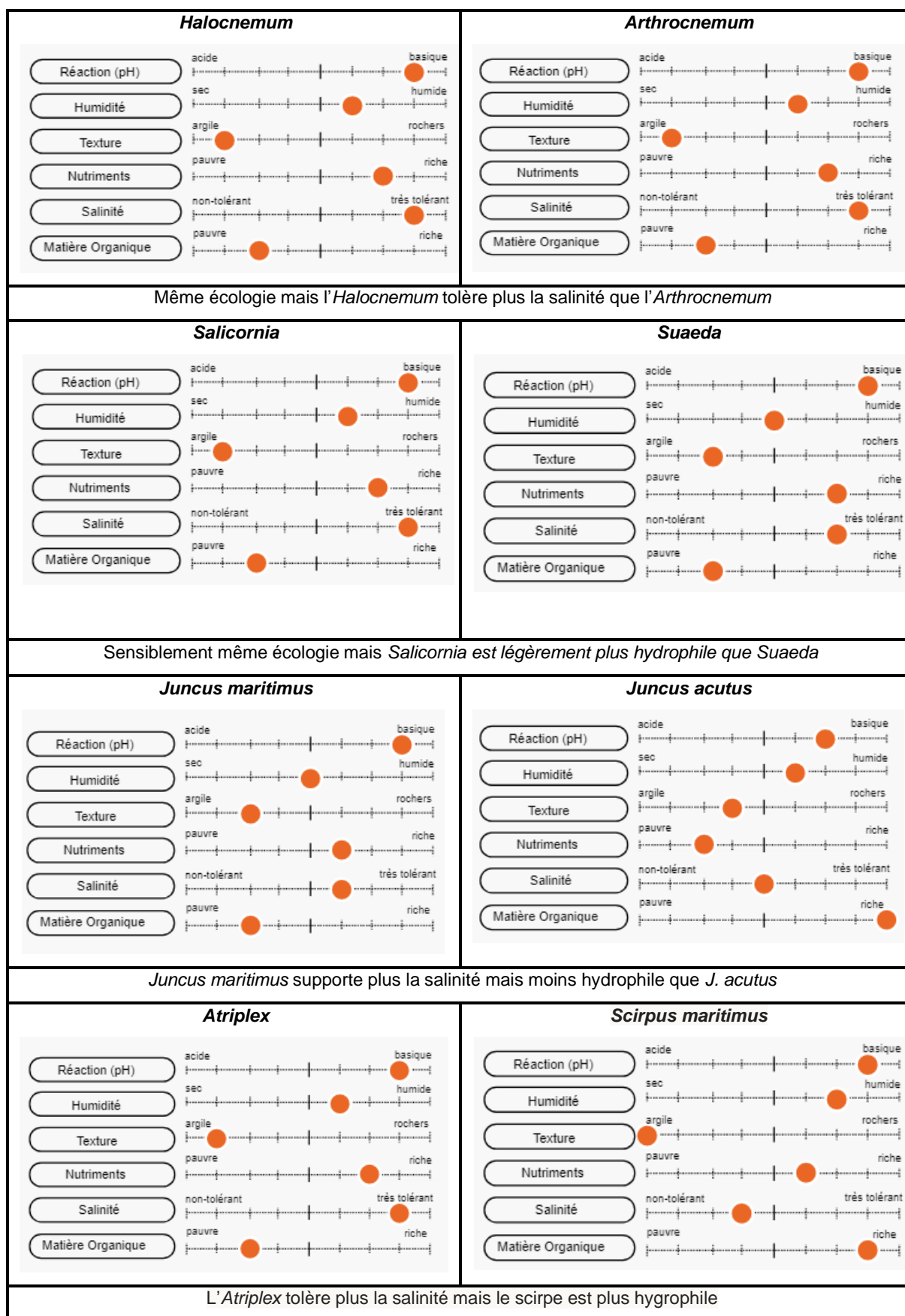


Tableau 16 : Répartition spatiale des hydro-halophytes selon l'importance de la salinité et de l'eau dans le sol

Sol	Engorgée d'Eau	Marécageux Très humide	Vaseux Humide	Peu humide à sec
Salinité	Très Elevée	Elevée	Modérée	Faible
Plantes	<i>Halocnemum</i> <i>Arthrocnemum</i>	<i>Arthrocnemum</i> <i>Salicornia</i> <i>Suaeda</i>	<i>Salicornia</i> <i>Suaeda</i> <i>Salsola</i> <i>Atriplex</i>	<i>Atriplex</i> <i>Juncus</i> <i>Limbarda</i>

Conséquences de la submersion et la salinisation : En cas d'élévation du niveau de la mer, la composition en espèces végétales changera d'une zone à une autre selon le futur gradient hydromorphie/salinité et son ampleur. Les champs actuels d'*Halocnemum* et d'*Arthrocnemum* seront complètement submergés ; ces deux dernières espèces prendront la place des salicornes (*Salicornia*, *Suaeda* et *Salsola*) qui à leur tour envahiront les zones occupées par les joncs qui coloniseront, avec d'autres plantes associées (particulièrement l'*Inule*) les zones les plus périphériques des sebkhas.

L'étendue et l'élargissement de ces zones aura pour conséquence la salinisation des sols et la réduction des terres cultivables et/ou de pâturage. Les gîtes des moustiques vont être plus nombreux, plus larges et plus proches des agglomérations. L'agrandissement du territoire propice aux organismes vecteurs de maladies augmente les risques de transmission de maladies infectieuses.

- **Zones humides dulçaquicoles à légèrement salées**

La salinisation est l'un des problèmes majeurs des zones humides littorales paraliques résultant de l'élévation du niveau marin. Ce phénomène concerne notamment les plans d'eau douce, les embouchures et les rives des oueds, les marais et les mares aussi bien permanentes que temporaires faiblement à moyennement salées situées dans les zones basses et inondables autour de la lagune de Bizerte.

Trois importants écosystèmes humides semi-dulcicoles sont les plus menacés par l'éventuelle élévation du niveau de la mer et par conséquent la submersion marine :

- Garât Menzel Bourguiba ;
- Embouchure et rives de l'Oued Tinja ;
- Secteur Sud de la base militaire de Sidi Ahmed qui abrite, en plus des sebkhas, des mares et des roselières sur les rives et l'embouchure de l'Oued Haima à l'Ouest de Douar Jaffar et Louata. Cette zone est malheureusement inaccessible pour réaliser les prospections nécessaires à cette étude.

Composition et distribution floristique : Ces lieux sont actuellement colonisés par une végétation très liée à la quantité et la qualité des eaux, composée de thyphés (à roseau à massette, *Thypha angustifolia*), de roselières (à roseau commun, *Phragmites communis*)

et de tamarés (*Tamarix africana*) denses et luxuriantes.

Les principales espèces qui caractérisent ces écosystèmes sont des Hélophytes (Plantes semi-aquatiques dont les appareils végétatif et reproducteur sont aériens et les racines ou rhizomes se développent dans l'eau) ; ce sont principalement les deux espèces de roseaux (*Thypha* et *Phragmites*) auxquelles s'associe le *Tamarix* puis les Joncs dans les zones marécageuses plus périphériques moins inondées.

Ces végétaux se répartissent selon leurs exigences et tolérances vis-à-vis aux facteurs abiotiques, particulièrement la quantité et de la qualité de l'eau disponible (voir tableau ci-dessous). Leur distribution dépend donc du gradient hydrique (quantité d'eau douce à légèrement salée dans les mares et les marécages).

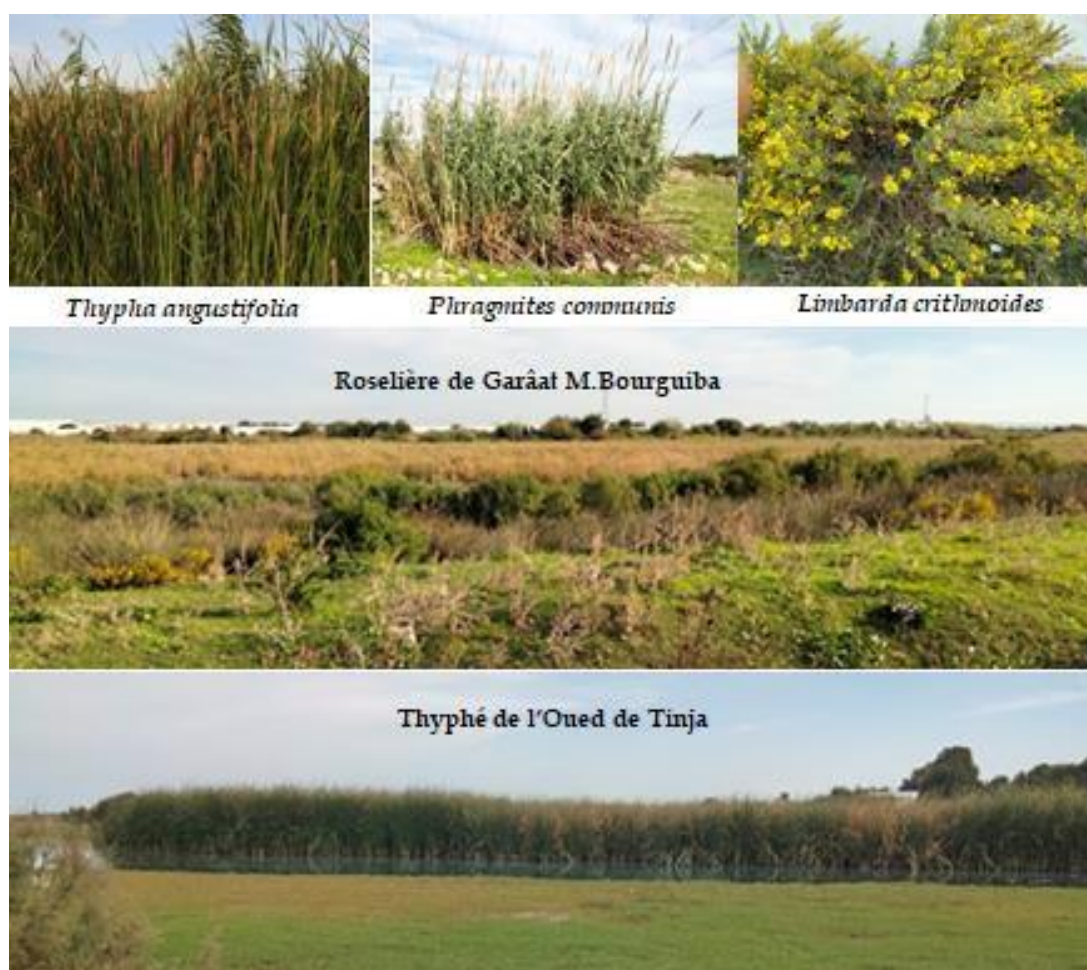


Figure 9 : Végétaux et paysages (roselières et thyphés) des écosystèmes dulcicoles

Conséquences de la submersion et la salinisation : Les habitats riches en végétation haute et luxuriante d'hélophytes (Thyphés et roselières de *Phragmites* et *Tamarés*) est d'une grande importance pour la faune semi-aquatique, particulièrement les oiseaux d'eau.

Sa submersion et salinisation entraîneront des conséquences néfastes et même catastrophiques sur la biodiversité (écosystémique, floristique et faunique) et le paysage dans son ensemble. Les surfaces occupées actuellement par les roselières seront plus réduites et risquent de disparaître complètement. Les hélophytes se substitueront par des plantes plus tolérantes au sel comme les scirpes maritimes, les chénopodiacées et les joncs.

Tableau 17 : Tolérance des principales espèces de plantes hydrophytes aux principaux paramètres abiotiques édaphiques (d'après Tela botanica.org)

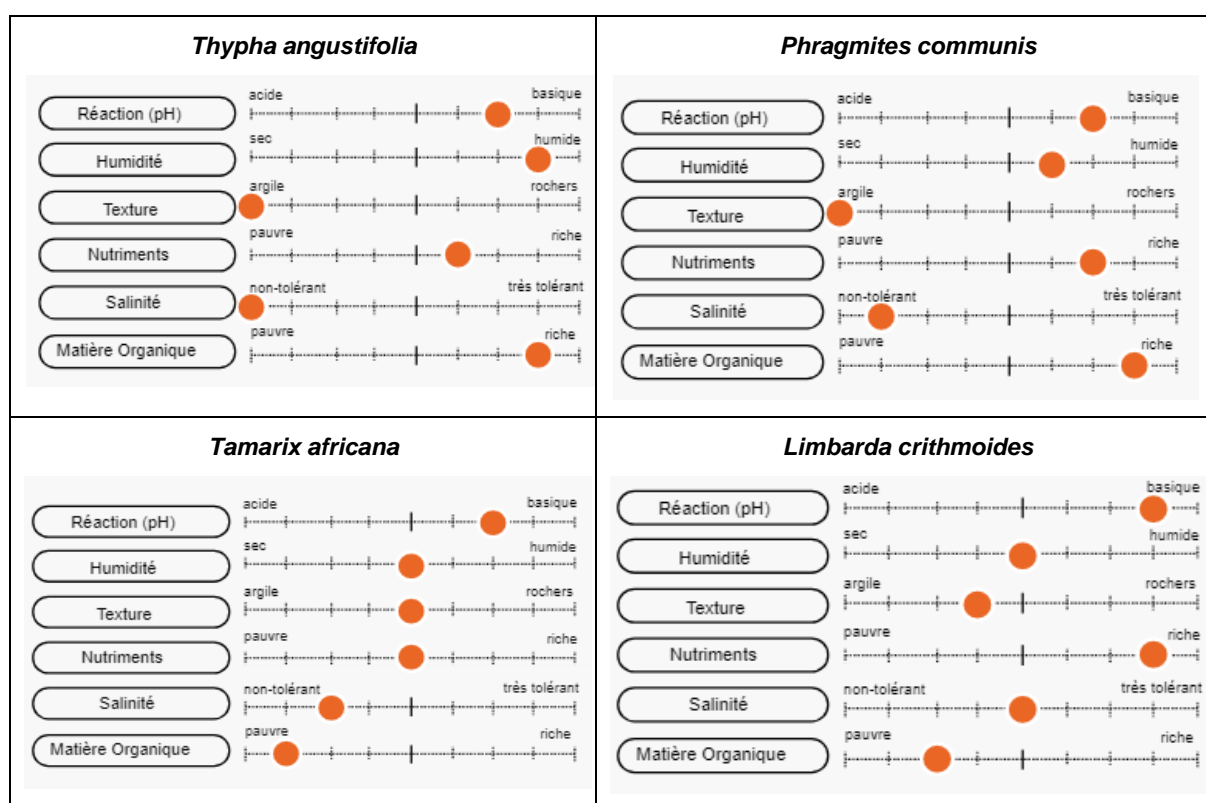


Tableau 18 : Répartition spatiale des hélrophytes – hydrophytes en fonction de la quantité d'eau douce dans le sol

Niveau d'Eau	Elevé à Moyen	Faible	Absent	Absent
Sol	Engorgée d'eau	Marécageux Très humide	Vaseux Humide	Peu humide à sec
Espèces	<i>Thypha angustifolia</i>	<i>Phragmites communis</i>	<i>Tamarix africana</i>	<i>Limbarda crithmoides</i> <i>Juncus acutus</i> et/ou <i>Juncus amaritimus</i> <i>Lycium arabicum</i> <i>Nerium oleander</i>

• Cas particulier des îlots lagunaires

La lagune de Bizerte abrite quelques petits îlots plats et cordons dunaires allongés couverts d'une végétation halophile à base de chénopodiacées. Ils sont localisés dans le secteur Norddu le long de la rive Sud de la baie des carrières et au Nord-Ouest, au Aud de l'embouchure de l'Oued Haima. Ils constituent des zones de nidification et de repos pour plusieurs espèces d'oiseaux d'eau. El Jazira El Kebira située au Nord-Ouest de la lagune est considérée plutôt comme milieu terrestre continental au même titre que la Baie de Carrières (voir Carte).

Trois autres îlots minuscules sont localisés sur la rive Est proche de Sebkha El Azib.

D'après Ben Amer *et al.* 2017, ils sont apparus depuis seulement une dizaine d'années par les apports de l'oued Jedera qui ont entraîné une modification de la dérive littorale dans la partie Nord-Est de la lagune et la formation d'un lido sablonneux parallèle au rivage, transformé en îlots lagunaires colonisés rapidement par une végétation pionnière.

Une éventuelle élévation du niveau de l'eau du lac aura pour conséquence la réduction de taille de ces espaces et certainement la disparition complète et rapide des cordons dunaires et des îlots plats par submersion.



Figure 10 : Carte de localisation des îlots lagunaires

6.2.3 Vulnérabilité de la Biodiversité de la Faune des zones humides à la submersion et la salinisation

Les populations d'animaux semi-aquatiques tels que les Amphibiens (Grenouilles et crapauds) et la tortue d'eau douce (*Mauremys leprosa*) ainsi que les Gastéropodes des lisières des zones humides risquent de disparaître complètement des mares et marécages. Par ailleurs les niches écologiques (espace, nourriture, lieux de ponte...) d'un grand nombre d'oiseaux d'eau vont être de plus en plus réduits en quantité et en qualité pour disparaître à long terme. Ces oiseaux vont chercher d'autres lieux de refuge.

- **Herpétofaune semi-aquatique**

Les zones humides dulcicoles à légèrement salées décrites précédemment abritent des populations d'animaux amphibies ; on compte cinq espèces d'Amphibiens, une tortue d'eau douce et une couleuvre.

Amphibiens : Ce groupe est représenté dans la région par cinq espèces très liées aux divers milieux d'eau douce permanents ou temporaires : embouchure et berges des oueds, mares, flaques, fossés, terrains temporairement inondés...

L'espèce la plus fréquente (se rencontre partout autour du lac) et la plus abondante (densité élevée notamment à Garâat Menzel Bourguiba) est la grenouille verte *Pelophylax saharicus*. Les autres sont plus rares, notamment la rainette *Hyla carthaginiensis* et l'urodèle *Pleurodeles nebulosus*. Les crapauds, *Bufo viridis* et *Sclerophrys mauritanica* sont moyennement abondants mais plus ubiquistes. Ils se rencontrent aussi bien dans les écotones et les lisières des zones humides que dans les forêts, les maquis, les champs, les fosses de bordures des routes, des jardins....

La vie de ces animaux dépend de plusieurs facteurs physiques et écologiques de leurs

habitats : profondeur des sites de reproduction et du développement larvaire, pérennité, quantité, qualité de l'eau (surtout la salinité), humidité et température, nature du substrat, profil des berges et leur degré de végétalisation...

Bien que toutes ces espèces dépendent de la présence de l'eau pour la reproduction et la métamorphose des têtards, les formes adultes de certaines sont plus ou moins exigeantes que d'autres.

Les crapauds par exemple ne reviennent aux points d'eau que pour l'accouplement et la ponte alors que la grenouille verte ne quitte le milieu aquatique que pour s'alimenter sur les berges et revenir rapidement dans l'eau en cas de danger.

La rainette est plutôt "arboricole" ; elle vit entre les feuilles et les tiges de la végétation. Le pleurodèle vit dans l'eau et s'enterre longtemps dans la vase et au fond des marécages pour l'hibernation.

Par ailleurs, la ponte et la métamorphoses des têtards de la plupart des taxons ne tolèrent pas la salinité, à l'exception de la grenouille verte qui peut supporter des taux modérés de salure. Les larves de crapauds tolèrent moins la salinité que celles des grenouilles mais plus que celles de la rainette et du pleurodèle.

L'exigence des adultes des différentes espèces vis-à-vis de la présence de l'eau et de leurs têtards vis-à-vis de la salinité sont regroupés sur le tableau suivant.

Tableau 19 : Tolérance des adultes et des têtards d'Amphibiens au manque d'eau et à la salinité

Eau nécessaire pour les adultes		Salinité tolérée par les têtards		
Abondante et permanente	Faible quantité et Temporaire	Modérée	Faible	Très faible
<i>P. saharicus</i> <i>P. nebulosus</i>	<i>B. viridis</i> <i>S. mauritanica</i> <i>H. carthaginiensis</i>	<i>P. saharicus</i>	<i>B. viridis</i> <i>S. mauritanica</i>	<i>H. carthaginiensis</i> <i>P. nebulosus</i>

Localisation des sites d'Amphibiens : Les Amphibiens de la région se rencontrent particulièrement dans les habitats d'eau douce à légèrement salées du secteur Ouest de la lagune décrits précédemment : Garâat Menzel Bourguiba et les roselières et les rives des oueds Haima et Tinja.

Conséquences de la submersion et la salinisation : A la lumière de l'Ecologie des espèces et leurs dépendances de l'eau et de la salinité, les amphibiens les plus vulnérables à la submersion et la salinisation sont malheureusement les deux espèces les plus rares en Tunisie : la rainette *Hyla carthaginiensis* et le pleurodèle *P. nebulosus* par exemple. Ces deux espèces ne supportent pas l'excès de sel. Il en est de même de la grenouille verte *Pelophylax saharicus* dont la totalité du cycle biologique dépend de la quantité d'eau douce disponible bien que cette dernière soit ubiquiste et à large répartition géographique de la Tunisie. Les deux crapauds, plus terrestres, peuvent trouver d'autres sites d'eau douce pour la reproduction dans de la région.

- **Reptiles**

Deux espèces de Reptiles semi-aquatiques à terrestres se rencontrent dans le secteur : la tortue lépreuse *Mauremys leprosa* et la couleuvre vipérine.

La tortue d'eau douce vit aussi bien au niveau des eaux courantes (oueds) que dans les eaux stagnantes avec une préférence pour les mares et cours d'eau permanents. C'est une espèce qui supporte une légère eutrophisation, la pollution et même les eaux peu saumâtres. Opportuniste, elle s'alimente aussi bien dans l'eau que sur terre mais dépose sa ponte sur les berges peu végétalisées où le sol est meuble et surtout non argileux.

La couleuvre vipérine *Natrix maura* se rencontre fréquemment dans les zones humides à proximité de l'eau où elle s'aventure pour la chasse de proies aquatiques. Sa ponte est déposée souvent sur les berges et les décombres proches... où le sol est plutôt sec.

Localisation des sites de Reptiles : La seule population de la tortue lépreuse repérée dans la région est celle de Garaât Menzel Bourguiba, sur les bordures de la roselière et à proximité des dalots qui déversent les eaux usées et les boues dans la lagune. Cette population est a priori très dense.

La couleuvre vipérine c'est une espèce peu abondante souvent à effectif très réduit bien qu'elle puisse se rencontrer un peu partout dans les zones humides dulçaquicoles du secteur.

Conséquences de la submersion et la salinisation : Comme pour les Amphibiens, les menaces qui pèsent sur le site de Garaât Menzel Bourguiba peuvent affecter la dynamique et l'existence de la population de *Mauremys leprosa* en cas de forte salinisation de l'eau et réduction du biotope favorable à sa ponte. La couleuvre vipérine est aussi vulnérable au manque d'eau douce et d'humidité qui seront aggravés par les CC.

- **Oiseaux d'Eau**

L'Avifaune la plus vulnérable à la submersion et la salinisation et par conséquent à la réduction et/ou la disparition des habitats et écosystèmes dulçaquicoles, particulièrement les roselières, sont les oiseaux d'eau car ces habitats constituent d'importants lieux de refuge, de repos, d'alimentation et reproduction pour cette faune.

Localisation des sites favorables aux oiseaux d'eau : Les principaux sites du secteur sont par ordre d'importance :

Garaât Menzel Bourguiba : Cette zone, offre aux oiseaux, notamment les Anatidés un plan d'eau très favorable pour le repos le long de l'année, particulièrement en hiver. C'est aussi un lieu de nidification pour un grand nombre d'espèces d'oiseaux d'eau de surface et plongeurs (canards, foulques). Ce site abrite en période de reproduction, au moins quatre espèces menacées : le Blongios nain, la Sarcelle marbrée, la Fuligule nyroca et la Talève sultane.

La zone humide de Tinja : Cette zone, peu profonde et calme est très riche en ressources trophiques le long de l'année. C'est un important lieu de gagnage pour les diverses espèces hivernantes et estivantes nicheuses, notamment les canards et les échassiers.

La zone marécageuse et les roselières situées au Sud de l'aéroport et la caserne Sidi Ahmed : C'est aussi une zone riche en ressources trophiques pour les limicoles et très favorable pour la nidification des petites limicoles.

Les îlots lagunaires : Ces fragments de terre sont des sites de nidification de plusieurs espèces estivantes nicheuses parmi lesquelles la sterne naine *Sternula albifrons*, la Glaréole à collier *Glareola pratincola* et le Gravelot à Collier Interrompu *Charadrius alexandrin* qui ont récemment colonisées les trois petits îlots apparus en face de Sebket El Azib pour la nidification (Ben Amer *et al.*, 2017).

On peut considérer que Garât Menzel Bourguiba est le site le plus favorable pour la nidification de plusieurs oiseaux d'eau alors que les embouchures et rives des oueds Tinja et Haïma constituent plus des habitats de refuge, de repos et surtout d'alimentation principalement aux oiseaux d'eau mais aussi à plusieurs autres espèces terrestres.

La composition spécifique de l'avifaune liée à ces sites remarquables a été décrite dans la le rapport de première partie de ce projet. Il faut signaler toutefois les principales espèces nicheuses dans les différents sites ainsi que celles menacées ou remarquables.

Tableau 20 : Liste des principales espèces d'oiseaux nicheurs, menacés et remarquables dans les différentes zones humides de la région

Sites	Garât Menzel Bourguiba	Embouchure et rives de l'oued Tinja	Zones marécageuses Sud Sidi Ahmed	Ilots lagunaires
Oiseaux				
Nicheurs	Canard colvert Foulques macroule Grèbe castagneux Grèbe huppé Sarcelle marbrée Fuligule nyroca Aigrette garzette Talève sultane Poule d'eau	Glaréole à collier Gravelot à collier interrompu	Glaréole à collier Sterne naine Pluvier à collier interrompu	Glaréole à collier Sterne pierregarin Sterne naine Goéland leucophaée Pluvier à collier interrompu
Menacés	Blongios nain Sarcelle marbrée Fuligule nyroca Talève sultane	Ibis falcinelle Vanneau huppé Sarcelle marbrée	Vanneau huppé Barge à queue noire Courlis cendré	Barge à queue noire Courlis cendré
Remarquables	Busard des roseaux	Busard des roseaux	Balbusard pêcheur Grand cormoran	----

Conséquences de la submersion et la salinisation : La réduction (et/ou la disparition) des roselières entraînera des conséquences très néfastes sur la dynamique des populations et la vie d'un grand nombre d'oiseaux. Les effectifs seront de plus en plus réduits. La plupart migreront vers d'autres sites. Certains taxons rares et menacés à l'échelle nationale comme la Sterne pierregarin ou le Glaréole à collier seront les plus affectés. En revanche, d'autres espèces comme la Flamant rose, ou certains limicoles, peuvent coloniser ces zones en cas de salinisation et diminution du niveau d'eau douce.

6.2.4 Faits Aggravants la vulnérabilité des zones humides et leur biodiversité à la submersion

Plusieurs autres aléas, facteurs et contraintes peuvent s'associer à la submersion liée au réchauffement climatique pour accélérer le processus, réduire ou détruire les espaces

favorables à la vie et provoquer le dysfonctionnement des écosystèmes et l'érosion de la biodiversité.

Les principaux faits aggravants l'état des habitats et l'érosion de la biodiversité sont en relation avec la sécheresse et l'élévation de la température liés au réchauffement climatique mais aussi avec les multiples activités anthropiques et la pression humaine exercée sur les ressources naturelles.

- **Faits Aggravants l'état, l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes :**

Assèchement des mares et des marais : L'augmentation de la température et le manque de pluies associées à des périodes de sécheresse prolongées engendrent le stress hydrique et pourraient aboutir à la réduction des plans d'eau et des espaces humides et par conséquent à l'assèchement des écosystèmes dulçaquicoles. Les conséquences seront néfastes sur la végétation et le maintien de l'état des roselières.

Pollution et Eutrophisation : Les rejets aussi bien liquides que solides, industriels ou eaux usées domestiques, constituent l'une des menaces importantes qui pèsent sur l'état et le fonctionnement naturels des écosystèmes dulcicoles déjà fragilisés. Les pesticides et des herbicides utilisés dans la région aggravent la situation.

L'eutrophisation attendue sera moyenne, avec des poussées phytoplanctoniques dans la lagune de l'Ichkeul, et la prolifération des macrophytes nitrophiles, dont les ulves déjà présentes, dans la lagune de Bizerte, ces algues prolifèrent actuellement entre Menzel Abderrahman et Menzel Jemil et font objet de collecte de la part d'une ferme d'algoculture.

Déforestation, défrichement des milieux naturels, comblement des dépressions et zones humides et extension urbaine... : Toutes ces activités anthropiques causent la réduction, voire même la disparition des espaces naturels. Ils engendrent également la fragmentation des habitats favorables à la biodiversité ce qui accélère son érosion génétique.

- ***Incendies et feux de forêts limitrophes.***

- **Faits Aggravants la composition et la dynamique de la flore :**

Surpâturage, coupe et réduction des roselières : Les jeunes roseaux sont souvent soumis au pâturage par le bétail. Les tiges sont par ailleurs coupées et récoltées par les riverains pour divers usages traditionnels. Cette pression anthropique fragilise la végétation et réduit les étendues des roselières.

Stress hydrique, sécheresse, incendies et dégradation du couvert végétal sur les berges.

Colonisation et propagation des plantes non indigènes invasives et envahissantes.

- **Faits Aggravants la composition et la dynamique de la Faune :**

Réduction et fragmentation des habitats : Les conséquences et impacts négatifs seront ressenties par tous les animaux inféodés aux écosystèmes de la région, particulièrement : les taxons naturellement rares et à faible densité comme la Mangouste, le lièvre, le hérisson, les rapaces... ; les espèces à faible fécondité et à cycle de vie court ; les espèces à large domaine vital et celles à faible capacité de dispersion et les animaux inféodés aux espaces cœurs des roselières.

Assèchement des mares et réduction / disparition des sites de ponte des Amphibiens et des animaux dulcicoles.

Dégradation du sol meuble favorable à la ponte de la tortue d'eau douce.

Surexploitation des espèces sauvages : Chasse et braconnage des oiseaux et des petits mammifères (lièvres, hérissons...), collecte des escargots...

Ecrasement des animaux sur les routes, particulièrement les crapauds ;

Destruction des couleuvres, considérées comme dangereuses par les riverains et les agriculteurs ;

Élévation de la température et ses conséquences sur l'incubation des œufs de Reptiles :

Comme signalé dans le rapport de la phase I de cette étude, le déterminisme sexuel chez plusieurs espèces de reptiles dépend de la température de l'incubation de l'œuf (et non génétique). Une éventuelle élévation de la température, même d'un degré, aura pour conséquence de donner plus de femelles que de mâles à l'éclosion. A long terme, la population de la tortue d'eau douce risque de se trouver sans mâles pour assurer la reproduction et la perpétuité de l'espèce.

Enjeux

Outre la perte des terres agricoles et des sols fertiles, les enjeux associés à la submersion et la salinisation sont principalement :

- La perturbation des équilibres naturels, le dysfonctionnement et la perte potentielle des écosystèmes dulçaquicoles de grandes valeurs écologique, économique, paysagère et patrimoniale ;
- L'érosion et la perte de la biodiversité et leurs conséquences écologiques, économiques et sanitaires néfastes et irréversibles.

Recommandations

- Interdire les rejets solides et les effluents dans les cours d'eau, les marais et les berges de la lagune.
- Interdire le pâturage dans les roselières et les berges des cours d'eau.
- Interdire le défrichement du milieu naturel.
- Aménager le territoire pour une meilleure conservation des paysages et des ressources et développer l'écotourisme dans le secteur.
- Contrôler les habitats fréquentés et respecter le code de la chasse.
- Informer, éduquer et sensibiliser la population, les usagers et les randonneurs aux risques liés à la dégradation de leur milieu environnant.
- Mener des travaux de suivi écologique de ces écosystèmes.

6.2.5 Vulnérabilité épidémiologique liée aux moustiques

Ce sujet lié aux risques de la prolifération des moustiques *Aedes* dans les zones humides de la région de Bizerte a déjà fait l'objet d'une étude menée par Brahimi et al., en 2010.

Aléa épidémiologique

Les sols limitrophes des zones humides qui s'étalent à proximité de la lagune et des oueds constituent des gîtes de ponte et de développement larvaire de plusieurs espèces de moustiques et peuvent constituer des risques épidémiologiques potentiels en cas de d'étalement et d'élargissement de ces zones.

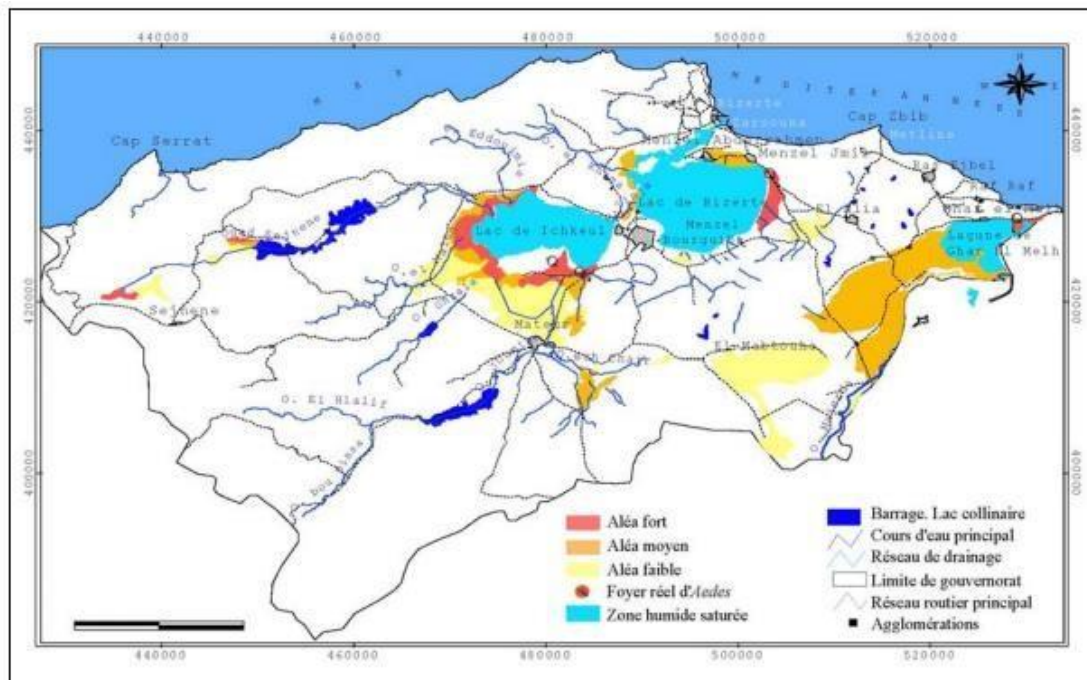


Figure 11 : Carte d'Aléa : biotopes à gîtes larvaires potentiels d'*Aedes* dans la région de Bizerte (D'après Brahimi et al. 2010).

Ceci dépend de :

- La topographie des zones limitrophes à la lagune ;
- Le réseau hydrographique et l'importance des zones humides ;
- L'occupation et la nature des sols ;
- La nature et la répartition de la végétation hygrophile ;
- Les lieux de rejets des eaux usées.

Vulnérabilité aux vecteurs de maladie (moustiques)

Les gîtes actuels de moustiques sont principalement localisées à (a) la rive Ouest de la lagune : Garât Menzel Bourguiba et Hammouch (b) la rive Est de la lagune : dans la région d'El Azib et à proximité des pêcheries. La végétation de ces zones marécageuse est particulièrement dominée par les espèces de Jonc (*Juncus maritimus* et *J. acutus*, la salicorne (*Sarcocornia fruticosa*) et le Scirpe (*Scirpus maritimus*). Le rejet des eaux usées et la pollution des zones humides constituent des facteurs aggravants, notamment à Garât Menzel Bourguiba et à l'Oued Tinja.

Les espèces recensées dans la région (A. Bouattour, comm. pers.) sont *Culex pipiens*, *Aedes detritus*, *Aedes caspius*. Les *Aedes* causent de véritables nuisances et peuvent transmettre à l'homme des maladies virales, microbiennes ou parasitaires (malaria, fièvre jaune, dengue...)(Brahimi et al., 2010) particulièrement en cas de pollution.

Les larves de ces moustiques se rencontrent particulièrement dans les eaux stagnantes souvent avec beaucoup d'autres petits invertébrés (crustacés et insectes) : Chironomidés, Coléoptères, ostracodes, daphnés... et des têtards d'Amphibiens.

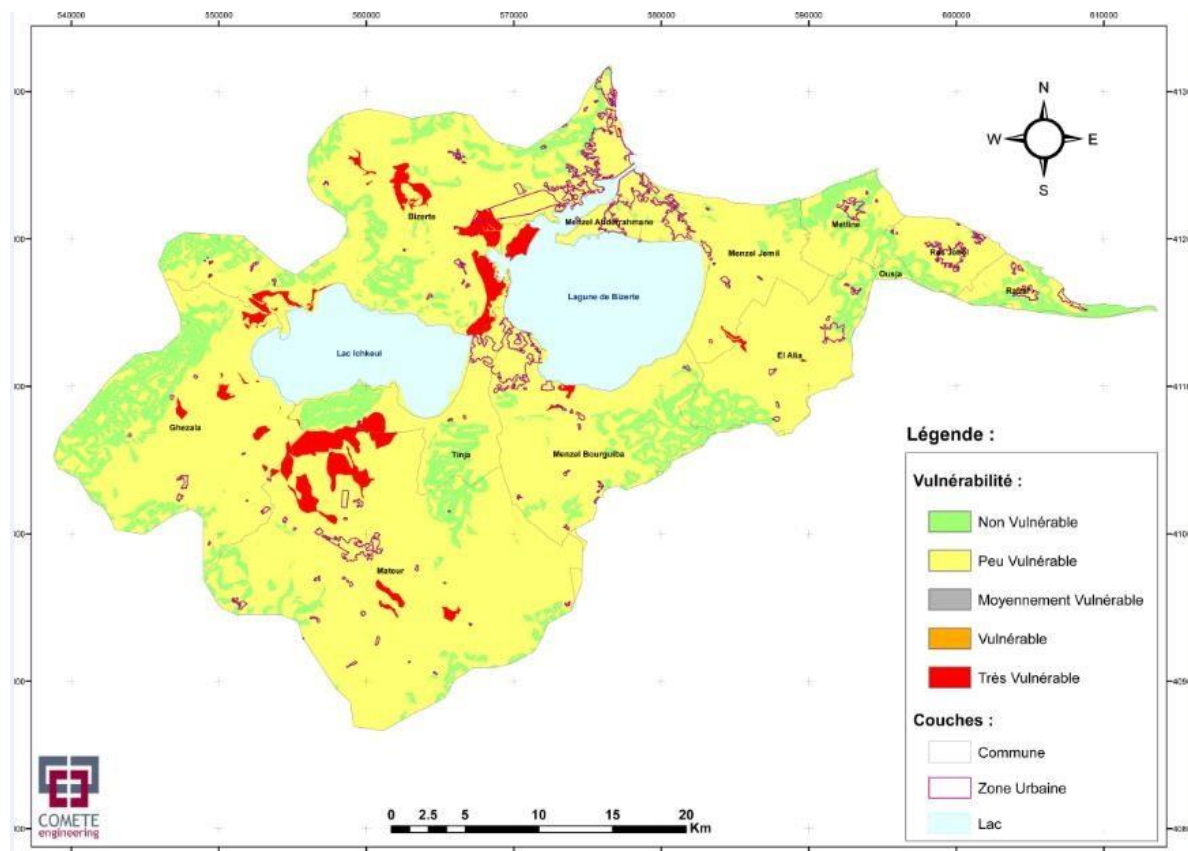


Figure 12 : Carte du risque épidémiologique lié aux moustiques vecteurs de maladie dans la zone d'étude. Les régions de Mateur, de Tinja et même de M. Bourguiba sont les plus vulnérables aux maladies transmissibles par les moustiques occupant les biotopes marécageux.

Faits Aggravants

- Pollution par les rejets et effluents liquides domestiques.
- Inondations.

Enjeux

Nuisance et risques sanitaires et épidémiologiques, avec des maladies incurables dans certaines circonstances.

Recommandations

Il est important de :

- a. Localiser et traiter les gîtes des moustiques dans la région et suivre et contrôler leurs populations au cours des différentes saisons de l'année. Une bonne gestion de ces habitats par la dépollution et l'arrêt des rejets d'eaux usées sont indispensables pour limiter la profération des moustiques et la prévention d'épidémies potentielles.
- b. Informer et sensibiliser la population locale à la gestion des déchets et des rejets d'eaux usées, et aux risques épidémiologiques liés aux *Aedes* en particulier.

6.2.6 Vulnérabilité des espaces aux feux de forêts

Aléa feu de forêts

Les incendies liés aux feux de forêts sont de plus en plus fréquents et intenses en Tunisie ces dernières années. Ils sont dans la plupart des cas d'origine anthropique. En cas d'élévation de température et de périodes de sécheresse plus longues, ils deviendront encore plus fréquents et les dégâts peuvent être considérables.

Ceci dépend particulièrement de :

- La topographie et les reliefs ;
- La nature et la répartition de la végétation naturelle (carte phytoécologique) ; particulièrement la localisation des forêts ou reliques de forêts (maquis et garrigues) ;
- L'occupation et la nature des sols ;
- La prévention des incendies criminels ou involontaires, notamment au voisinage des agglomérations.

Zones et essences à risque

Les secteurs les plus vulnérables au déclenchement des incendies sont les massifs forestiers qui abritent les résineux (riches en matières résineuses), particulièrement les pins, les chênes, l'eucalyptus... et différentes espèces d'arbustes et arbrisseaux des maquis et des garrigues qui caractérisent les biotopes secs et dégradés.

Les deux principales zones vulnérables aux feux de forêt dans le secteur sont la forêt d'Errimelriche en Chêne Kermès (*Quercus coccifera*) et Genévriers (*Juniperus oxycedrus* et *J. phoenicea*) et le maquis forestier du Djebel Ichkeul dominé par le Lentisque (*Pistacia lentiscus*), l'oléastre (*Olea europaea*), le filaire (*Phillyrea angustifolia*), le Périploque (*Periploca angustifolia*), le calicotome (*calicotome villosa*) ... appartenant à la série de l'Oléo-lentisque à Caroubier. Quelques autres petites et éparses garrigues se rencontrent par endroit dans la région.

Facteurs d'aggravation des risques et enjeux

Parmi les causes aggravants les risques de feu, on peut citer le déchirement des écosystèmes naturels, l'absence de contrôle dans les massifs forestiers et la mauvaise gestion de ces espaces (absence de pare-feu, inconscience des usagers et randonneurs...).

Enjeux

Les risques et les enjeux dans ce cas sont multiples :

- Réduction été/ou perte d'espaces forestiers, d'écosystèmes naturels et de zones de pâturage ;
- Fragilisation et/ou perte des équilibres écologiques ;
- Erosion des sols ;
- Erosion de la biodiversité (animale et végétale) ;
- Désertification de la région et aggravation du réchauffement climatique ;
- Perte économique liée aux produits de la forêt (plantes médicinales, extraits et huiles essentielles, chasse...).

Recommandations

Afin d'atténuer les risques d'incendies dans le contexte du réchauffement climatique, il est recommandé : (a) d'interdire le défrichement des terres ; (b) d'interdire l'urbanisation des zones limitrophes aux massifs forestiers ; (c) de réglementer l'usage et l'exploitation des massifs forestiers et du domaine de l'état et (d) de renforcer le contrôle et la surveillance des forêts et des espaces vulnérables au feu.

6.3 Composantes liées à l'hydrologie et aux eaux de surface

6.3.1 Inondations

L'inondation est le résultat de l'aléa climatique et l'effet anthropique. Les causes d'une inondation sont nombreuses et diverses selon le type et l'endroit où elle se produit. Les précipitations sont les principales causes des inondations. Cependant, ce phénomène naturel peut prendre de l'ampleur à cause des effets anthropiques qui affectent le cheminement naturel des eaux et son infiltration dans le sol. D'autre part, le changement climatique entraînera des répercussions sur le risque d'inondation, matérialisées principalement par une récurrence et une intensification des événements climatiques extrêmes. Les dommages engendrés par les inondations peuvent être classés sous trois catégories : les dégâts humains, les dommages matériels et les dégâts environnementaux.

La connaissance des vulnérabilités aux inondations est une composante essentielle pour la mise en œuvre de toute démarche de prévention du risque. La carte de vulnérabilité face aux inondations est indispensable pour orienter les actions de réhabilitation d'une zone urbaine. Les sources de vulnérabilité peuvent être de différentes natures et traduire des fragilités structurelles. La mise en œuvre du diagnostic de vulnérabilité repose sur la connaissance des territoires (enquêtes locales et observations de terrain) et la disponibilité de données spécifiques.

6.3.1.1 Analyse des données

Parmi les données nécessaires pour la cartographie des zones inondables, le Modèle Numérique du Terrain est utilisé pour communiquer des informations sur la topographie et le relief des terrains. Le MNT est obtenu à la fois à partir des données d'élévation réelle et des données SRTM de 30 m. Le format Raster est le format adopté correspondant à l'échelle de 1 : 30 000 pour l'extraction des réseaux de drainage. L'algorithme D8 avec schéma unidirectionnel est la méthode utilisée pour déterminer le sens d'écoulement en prenant en compte les huit voisins du pixel avec des distances différentes (Jenson et al. 1988).

Les réseaux hydrographiques sont générés à partir du MNT et sont comparés aux réseaux extraits de la carte topographique. Ces données sont traitées de manière à représenter au mieux la réalité. Une carte de densité de drainage a été produite à partir des données des réseaux hydrographiques en utilisant l'Algorithme de Kernel Density. La densité de drainage est exprimée en longueur totale du réseau par unité de surface. La carte de lithofaciès résulte de la numérisation des cartes géologiques (1: 50 000).

Les données d'occupation du sol ont été obtenues à partir des images Landsat TM 8. Les résultats obtenus du traitement Landsat 8 ont été vérifiés et validés. La répartition spatiale des précipitations est utilisée pour caractériser le facteur climatique. La distribution spatiale

des précipitations a été produite en utilisant l'interpolation par la méthode des distances inverses des données recueillies par 10 stations pluviométriques réparties sur la totalité du bassin et ses environs.

6.3.1.2 Cartographie du risque d'inondation

- *Facteurs utilisés et cartes thématiques*

Six facteurs ou paramètres ont été considérés pour le développement de la carte du risque d'inondation : lithologie, occupation du sol, altitude, densité de drainage, précipitation moyenne annuelle et pente. Les cartes thématiques correspondantes sont présentées sur les figures suivantes.

La lithologie du BV Bizerte Ichkeul est constituée principalement des alluvions au Sud du lac Ichkeul et autour de la lagune de Bizerte. La deuxième classe lithologique correspond aux argiles, conglomérats et grès, localisés aux limites est et ouest du bassin. Des sables et des argiles sont également présents au nord-est du bassin, à proximité de la lagune. Finalement, des calcaires qui ne représentent que des petites surfaces sont éparpillés dans le bassin.

L'occupation du sol est représentée par des terrains agricoles et des localités urbaines bien développées principalement au Nord-est du bassin et autour de la lagune.

L'altitude varie de 0 au niveau de la côte de la mer et autour des zones humides à plus de 250m au niveau de Djebel Ichkeul et à la limite ouest du bassin.

La densité de drainage peut atteindre 5km/km² au niveau du sous bassin drainé par le Lac Ichkeul.

La précipitation annuelle, elle montre un gradient décroissant de l'Ouest à l'Est, où la précipitation diminue de 700 à 600mm/an et du Nord au Sud, où elle varie de 600 à 480mm/an.

Les pentes sont généralement faibles (<5%) au centre du bassin, mais dépassent 20% au niveau de Djebel Ichkeul et le relief qui limite le bassin (Figure 6).

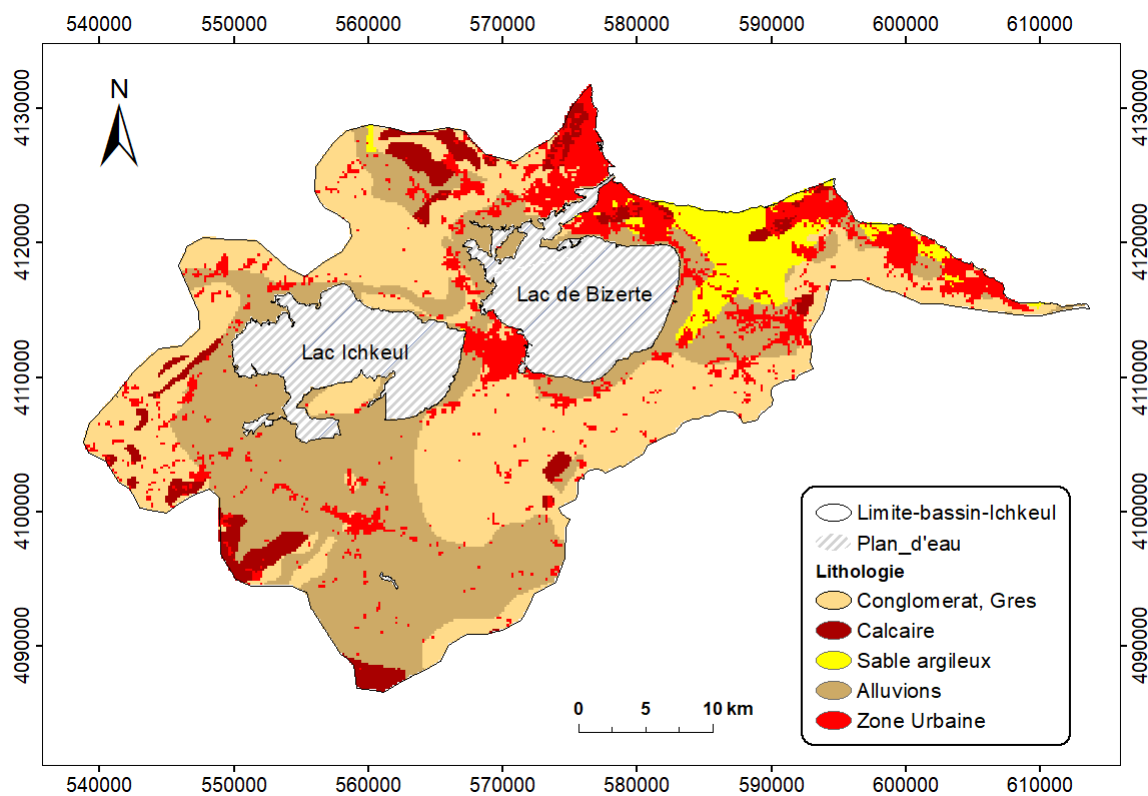


Figure 13 : Lithologie du Bassin Versant Bizerte Ichkeul

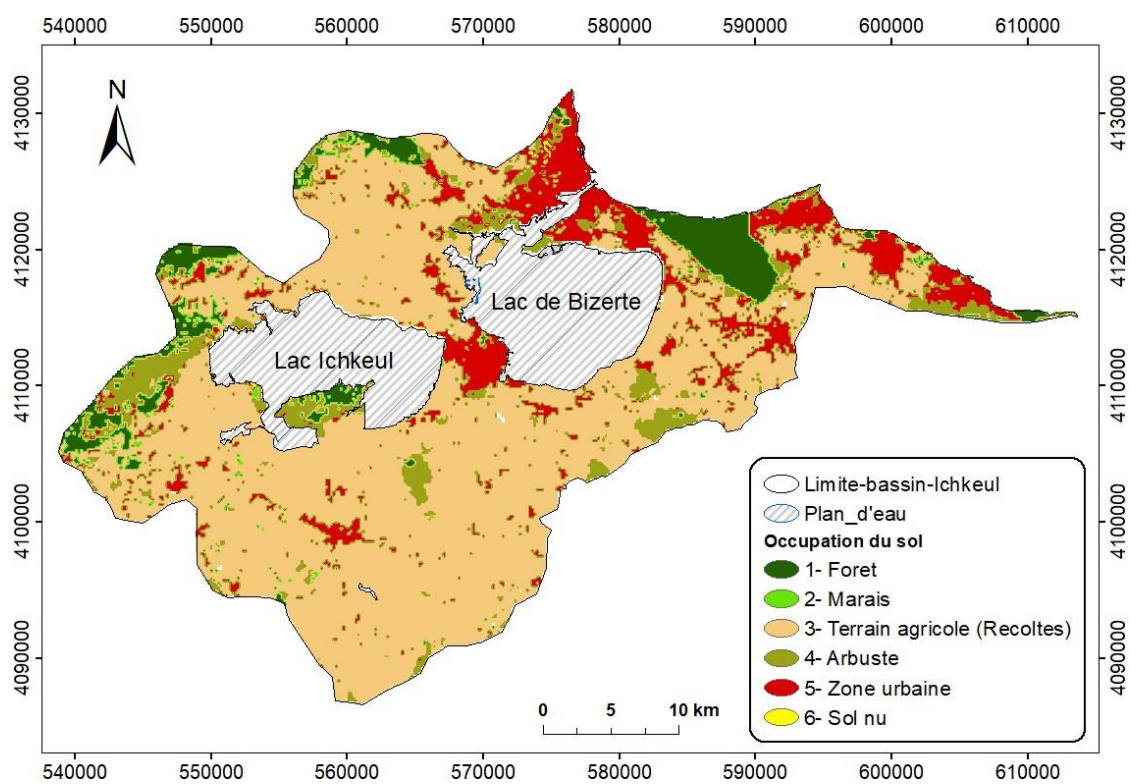


Figure 14 : Carte d'occupation du sol

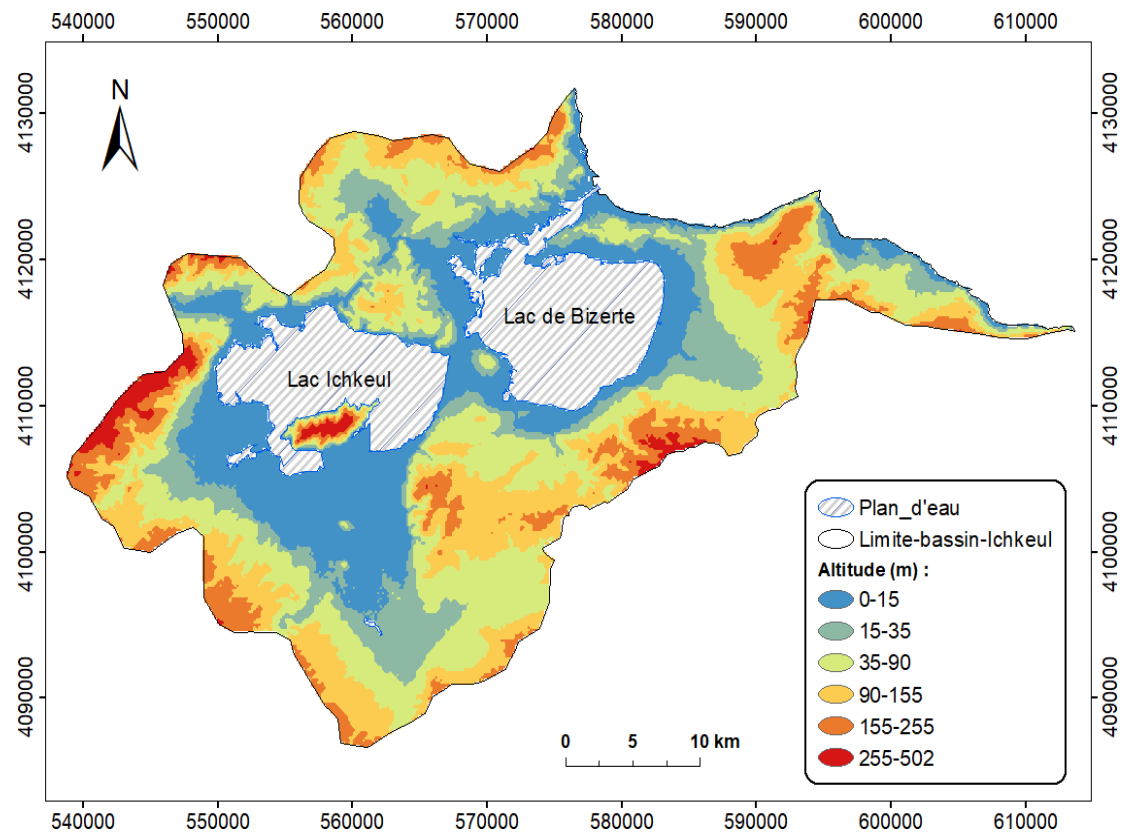


Figure 15 : Carte des altitudes

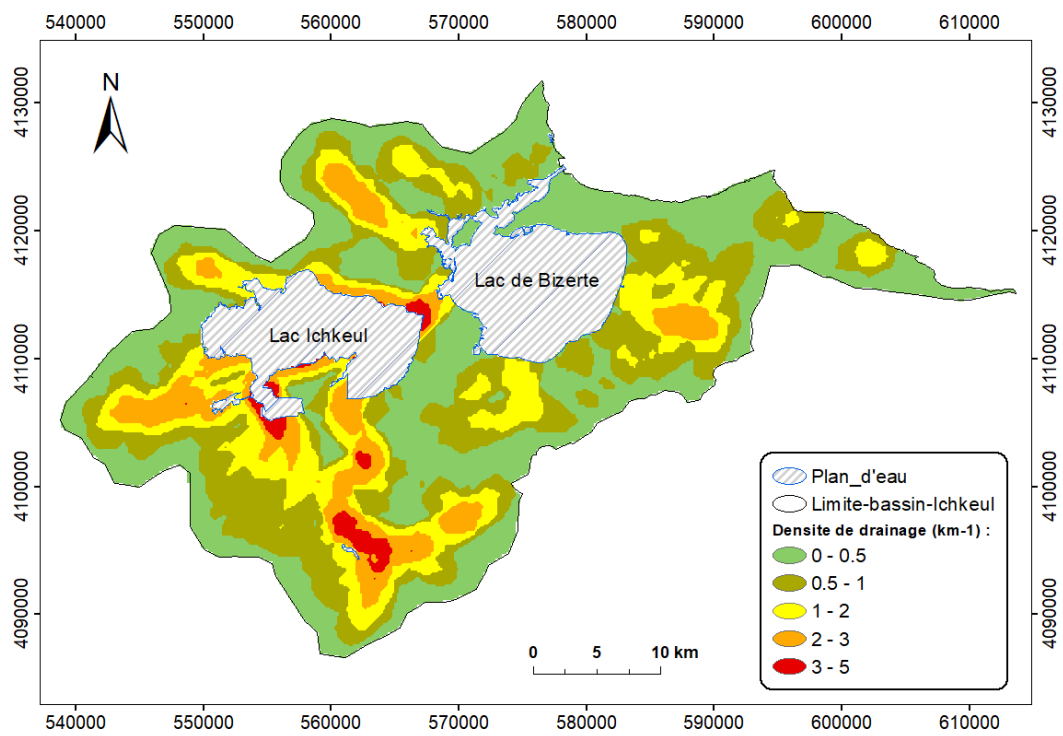


Figure 16 : Carte de la densité de drainage

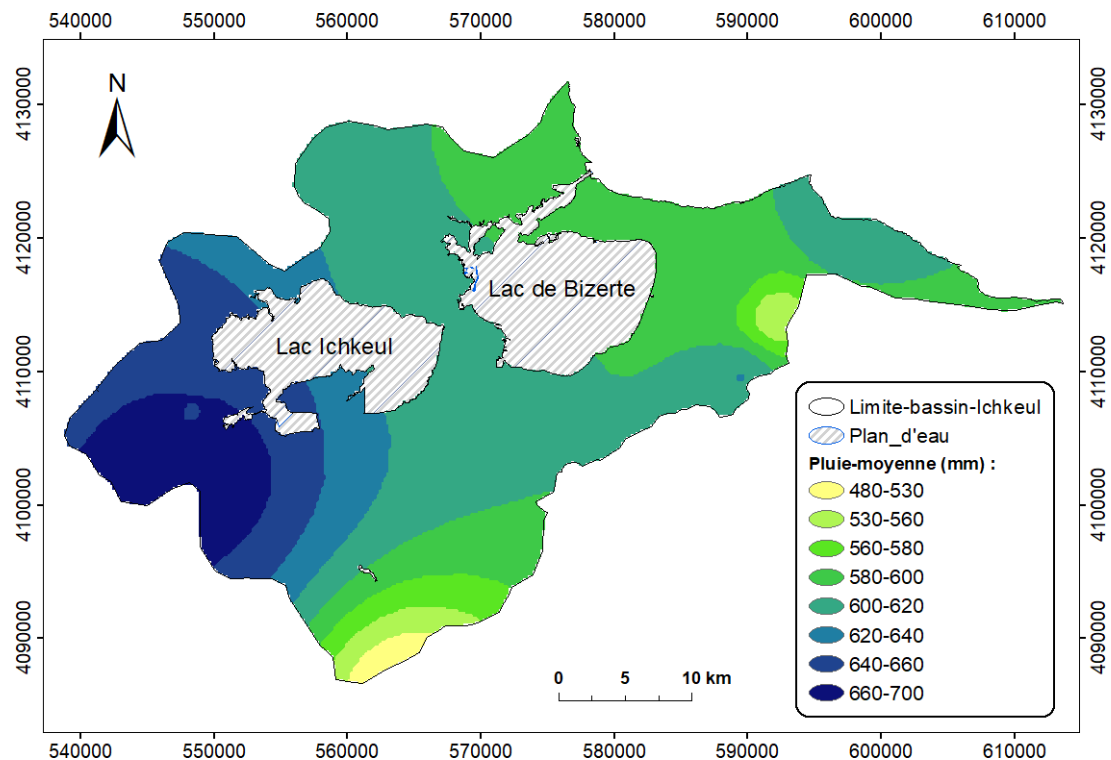


Figure 17 : Distribution spatiale de la précipitation moyenne annuelle (1974-2014) dans le Bassin Versant Bizerte Ichkeul

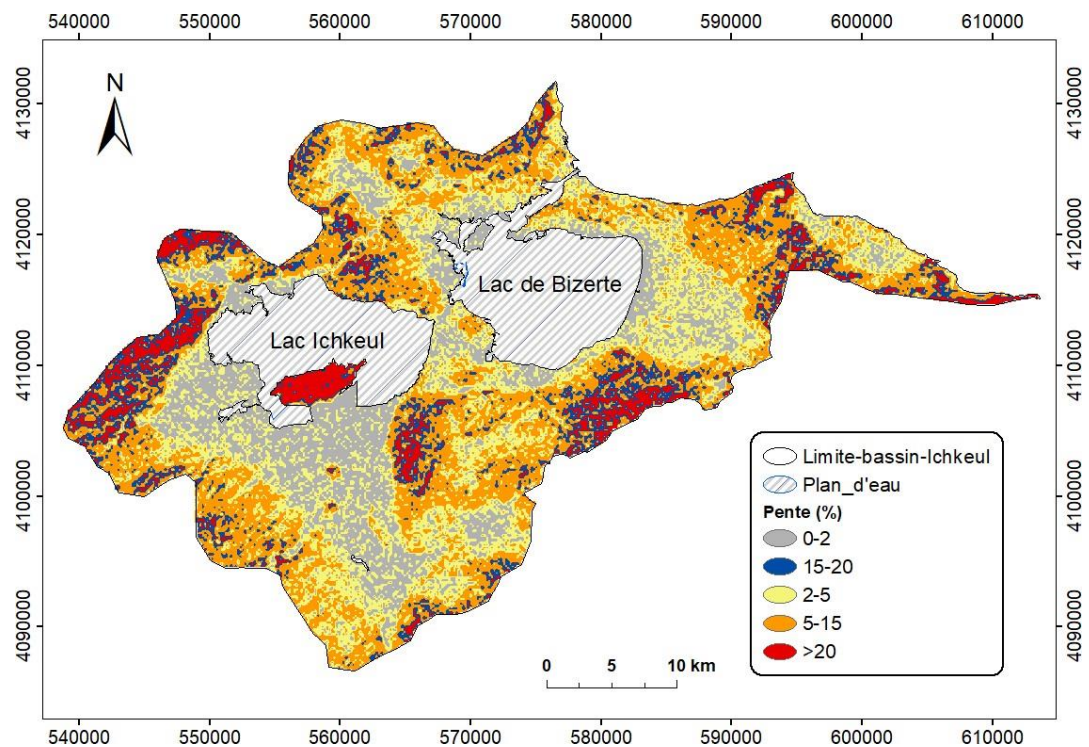


Figure 18 : Carte des pentes

- **Application de la Méthode AHP et calcul de pondérateurs**

Les coefficients qui reflètent l'importance relative des facteurs choisis dans la caractérisation du risque d'inondation sont présentés dans le Tableau suivant. Ce dernier

montre également les pondérateurs résultants pour les différents paramètres. L'occupation du sol représente le facteur le plus important qui affecte le risque d'inondation, avec un pondérateur de 27%.

D'autre part, la densité de drainage et la pente sont les paramètres les moins importants, avec des pondérateurs de 11 et 12% respectivement.

Tableau 21 : Matrice des comparaisons par paires et calcul de pondérateurs (Risque d'inondation)

Paramètre	Occupation du sol	Élévation	Lithologie	Pluie annuelle moyenne	Densité de drainage	Pente	Pondérateur
Occupation du sol	1	1,5	1,5	1,5	2	3	0,27
Élévation	0.67	1	0.8	0.8	1.25	1.25	0,15
Lithologie	0.67	1.25	1	1.25	1.5	1.5	0.18
Précipitation	0.67	1.25	0.8	1	1.5	1.5	0.17
Densité de drainage	0.5	0.8	0.67	0.67	1	0.8	0.11
Pente	0.33	0.8	0.67	0.67	1,25	1	0,12

La valeur du paramètre λ , calculée à partir du Tableau 3, est 6,03. D'autre part, le précédent des indices de cohérence donne une valeur de $RI = 1,24$ pour un nombre de facteurs égal à 6. La substitution de ces valeurs dans les équations (6) et (7) respectivement donne $CR = 0,005$, qui est largement inférieur à 0.1. Cela montre que la matrice des facteurs proposée est cohérente.

6.3.1.3 Présentation et interprétation de la carte du risque d'inondation

Le Tableau suivant montre les surfaces élémentaires des différentes classes des paramètres choisis et leurs coefficients, reflétant leurs importances vis-à-vis le risque d'inondation. La carte du risque d'inondation, résultante de la méthode AHP, est présentée ci-dessous et les surfaces élémentaires associés aux différents types de risque sont indiquées au Tableau 5. Le risque d'inondation à travers le bassin d'étude est généralement faible à moyen, voire très faible au niveau des zones élevées qui entourent le bassin. Le risque est fort surtout au niveau des zones urbaines au nord et au nord-est du bassin à proximité de la Lagune de Bizerte. Le risque 'très fort' ne représente que 2% de la surface totale du Bassin Versant ; le risque est fort au niveau de 10% de la surface du bassin.

La carte du risque d'inondation obtenue représente l'état actuel et peut évoluer au futur en fonction des changements d'occupation du sol (exemple accroissement de l'urbanisation) et de la précipitation qui représente des pondérateurs de 27% et 17% respectivement dans l'évaluation du risque d'inondation. Le reste (56%) est représenté par des facteurs permanents (lithologie, altitude, pente et densité de drainage) qui ne peuvent pas changer dans le futur proche, c'est-à-dire dans quelques dizaines d'années.

En termes d'aléa, le risque d'inondation à travers le bassin dépend essentiellement de l'intensité et de la récurrence des événements pluvieux extrêmes. Toutefois, les tendances relatives aux événements extrêmes sont difficiles, voire impossible à évaluer à partir des

données et des modèles disponibles. En effet, les évaluations régionales ont montré uniquement que la fréquence des nuits chaudes a augmenté, et que les événements de fortes précipitations sont devenus plus fréquents.

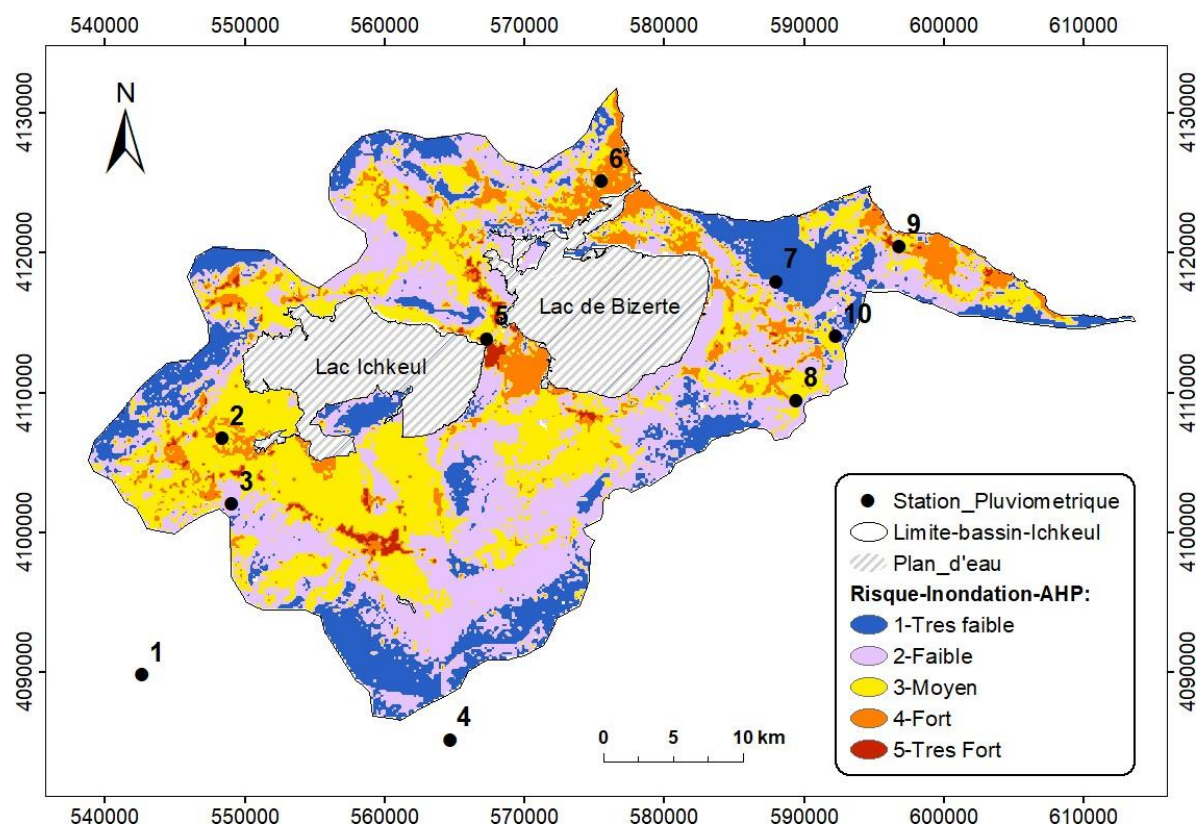


Figure 19 : Carte du risque d'inondation développée par la méthode AHP

Tableau 22 : Surface élémentaires des classes de risque d'inondation

Risque	S (km ²)	%Surface
1-Très faible	222	20
2-Faible	436	38
3-Moyen	345	30
4-Fort	119	10
5-Très fort	25	2

6.3.2 Erosion

L'érosion, le transport des matériaux arrachés au bassin d'alimentation et au réseau d'écoulement, leur dépôt dans les infrastructures hydrauliques, hydro-agricoles, et antiérosifs ont poussé les décideurs à examiner de près cette problématique, vu son ampleur et les conséquences qu'elle engendre face aux changements climatiques attendus. L'érosion est un processus naturel exacerbé par les activités humaines (urbanisation, certaines activités agricoles). Son impact sur les sols agricoles est majeur. Elle réduit la couche arable, diminue la teneur en matière organique et contribue à sa dégradation structurale. Ce phénomène est d'autant plus pernicieux qu'il n'est pas toujours facile à diagnostiquer. Des outils d'investigation ont été mis en œuvre pour tenter de maîtriser le phénomène.

6.3.2.1 Facteurs influençant l'érosion hydrique

Deux grands types de facteurs d'érosion sont mentionnés dans la littérature : (i) les facteurs naturels, y incluent le climat, la topographie, la lithologie et le couvert végétal et (ii) les facteurs

anthropiques liés, à savoir l'urbanisation, l'intensification de l'agriculture et la surexploitation des ressources géologiques, parmi d'autres.

Climat

La capacité des précipitations à provoquer l'érosion des sols est définie comme le pouvoir érosif des précipitations ou l'érosivité des précipitations. Il a été observé que la quantité, l'intensité et la distribution spatio-temporelle des précipitations peuvent varier avec les variations climatiques. En outre, les précipitations irrégulières et intenses sont la principale cause d'érosion hydrique. L'augmentation de l'intensité des précipitations et la prolongation des périodes sèches saisonnières, dues aux variations climatiques, déclenchent une intensification de l'érosion des sols. Le climat méditerranéen est caractérisé par ses précipitations irrégulières et torrentielles, surtout en automne, qui peuvent engendrer des crues violentes et épisodiques, notamment dans les zones semi-arides.

Topographie

La topographie, représentée particulièrement par la pente, accélère la vitesse des eaux de ruissellement et favorise la dénudation des sols. La forme, l'inclinaison et la longueur de la pente interviennent dans les phénomènes d'érosion. Plusieurs études ont montré que les formes convexes des versants sont les plus favorables au glissement de terrain, et que l'énergie cinétique de ruissellement et le pouvoir érosif augmentent avec la longueur de la pente. La région côtière du Bassin Versant Bizerte – Ichkeul est composée de affluents à pentes fortes, et qui fond naissance d'un relief assez fort ce qui dénote un potentiel d'érosion assez élevé (Barbery et Delhumeau, 1979 ; Afdhal et al 2010 ; Mejri, 2011).

Lithologie

L'érosion des sols est en relation avec ses propriétés physico-chimiques (texture, profondeur, porosité, teneur en matière organique, etc.) et la cohésion qui existe entre ses particules. Les propriétés physiques du sol constituent un facteur contributif majeur au ruissellement, à l'infiltration, à la présence de ravines et à la résistance du sol à l'érosion. Les sols de texture sablonneuse ou limoneuse et pauvre en matière organique accélèrent la minéralisation des sols et les rendent fragiles, faiblement structurés et prédisposés au tassement et à la formation de croûtes de battance. Par conséquent, ces sols sont très vulnérables à l'érosion.

Le Bassin versant Bizerte-Ichkeul présente une variété de faciès. On trouve des marnes, des calcaires marneux, des argiles, des sables, et des grès. Ces différents faciès ont des capacités d'infiltration et des susceptibilités à l'érosion différentes. La lithologie est entièrement d'origine sédimentaire ; seules les formations gréseuses des Mogods et les calcaires des Hédil de l'Ichkeul et de la région de Bizerte, sont fortement consolidés. Finalement, il est important de noter que la lithologie des environs du lac montre que la majorité des formations du terrain sont tendres et peu résistantes à l'érosion hydrique. Par exemple, les marnes et les argiles sont particulièrement sensibles au ravinement et au glissement.

Couvert végétal

Le couvert végétal joue un rôle primordial dans la protection des sols contre l'érosion. L'érosion peut être réduite surtout par la couverture végétale qui est d'autant plus efficace qu'elle absorbe l'énergie cinétique des pluies, recouvre une forte proportion du sol durant les périodes les plus agressives de l'année, ralentit l'écoulement du ruissellement et maintient une bonne porosité du sol. Une étude de l'évolution du couvert végétal a montré une tendance générale à la régression des superficies des forêts et de la végétation hydromorphe et halomorphe, ce qui risque

d'augmenter la sensibilité à l'érosion (Haboubi, 2004)

Facteurs anthropiques

L'action anthropique représente un facteur primordial conditionnant l'agressivité de l'érosion.

- Le surpâturage, dans le pourtour méditerranéen, s'est traduit par la dégradation des couvertures végétales et des sols, l'encroustement ou le décapage des horizons humifères et le creusement des rigoles en ravins (Roose et al, 2012).
- L'intensification de l'agriculture et de l'utilisation des sols entraînent une suppression des éléments structurant le paysage, ce qui accroît le risque érosif.
- La déforestation engendre le ruissellement et accroît les risques d'inondation et les risques de glissement des terrains.
- La croissance démographique, l'amplification de l'urbanisation en aval des terres cultivées accentuent la sensibilité à l'érosion.

6.3.2.2 Application de la Méthode AHP et calcul de pondérateurs

La méthode AHP a été utilisée pour la cartographie du risque d'érosion et l'évaluation de sa distribution spatiale. Les mêmes facteurs déjà considérés dans l'évaluation du risque d'inondation ont été adoptés pour le développement de la carte du risque d'érosion, mais avec des classes et des pondérateurs différents. Les coefficients qui reflètent l'importance relative des facteurs choisis dans la caractérisation du risque d'érosion sont présentés au tableau suivant. Ce dernier montre également les pondérateurs résultants pour les différents paramètres. La pente représente le facteur le plus important qui affecte le risque d'érosion, avec un pondérateur de 35%. D'autre part, l'altitude est le paramètre le moins important, avec un pondérateur qui ne dépasse pas 5%. Quant à la précipitation, qui reflète le potentiel érosif de l'écoulement, elle est associée à un pondérateur de l'ordre de 10%.

Tableau 23 : Matrice des comparaisons par paires et calcul de pondérateurs (Risque d'érosion)

Paramètre	Occupation du sol	Elévation	Lithologie	Pluie annuelle moyenne	Densité de drainage	Pente	Pondérateur
Occupation du sol	1	4	0,67	1,5	2	0,33	0,16
Elévation	0,25	1	0,2	0,67	0,33	0,17	0,05
Lithologie	1,5	5	1	3	4	0,5	0,25
Précipitation	0,67	1,5	0,33	1	2	0,25	0,10
Densité de drainage	0,5	3	0,25	0,5	1	0,2	0,09
Pente	3	6	2	4	5	1	0,35

La valeur du paramètre λ , calculée à partir du précédent, est 6,34. La valeur de $RI = 1,24$ pour un nombre de facteurs égal à 6. La substitution de ces valeurs dans les équations (6) et (7) respectivement donne $CR = 0,055$, qui est inférieur à 0.1. Par conséquent, la matrice des facteurs proposée est cohérente.

6.3.2.3 Présentation et interprétation de la carte du risque d'érosion

Le tableau suivant montre les surfaces élémentaires des différentes classes des paramètres

choisis et leurs coefficients, reflétant leurs importances vis-à-vis le risque d'inondation. La carte du risque d'érosion, résultante de la méthode AHP, est présentée ci-dessous et les surfaces élémentaires associés aux différents types de risque sont indiquées le tableau correspondant. Le risque d'érosion à travers le Bassin Versant Bizerte – Ichkeul est généralement faible à modéré. Toutefois, il est très fort au niveau de Jebel Ichkeul et au Sud du bassin en amont du lac. Le risque est également assez fort à l'Est du bassin dans le sous bassin versant drainé par la lagune de Bizerte. Comme le risque d'inondation, le risque d'érosion est prévu d'augmenter avec la récurrence et la sévérité des événements hydrologiques extrêmes, associées aux changements climatiques. Toutefois, cette évolution ne peut pas être quantifiée vu l'absence de données et de modèles de prévision de l'ampleur des extrêmes hydrologiques futurs.

Tableau 24 : Surfaces élémentaires et pondérateurs des classes des couches thématiques (érosion)

Facteur	Classes	Surface (Km ²)	% Surface	AHP Rank	Pondérateur AHP (%)
Occupation	Forêt	84,0	7,3	2	16
	Marais	3	0,3	1	
	Terrain agricole	791	69	5	
	Arbuste	102	9	7	
	Zone urbaine	163	14	1	
	Sol nu	4	0,4	9	
Lithologie	Zone urbaine	157	14	1	25
	Alluvions	434	38	9	
	Calcaire	62	5	3	
	Conglomérat- Grès	434	38	5	
	Sable argileux	60	5	8	
Altitude (mm)	0 – 15	270	24	1	5
	15 – 35	181	16	1	
	35 – 90	330	29	2	
	90 - 155	237	20	2	
	155 - 255	107	9	3	
	255 -502	22	2	3	
Dd (Km- ¹)	0 - 0,5	472,5	41	2	9
	0,5 - 1	346	30	4	
	1 – 2	195,2	17	6	

Précipitation (mm)	2 – 3	115,3	10	8	
	3 – 5	18	2	9	
	480-530	11	1	1	
	530-560	27	2	2	
	560-580	44	4	4	
	580-600	284	25	5	10
	600-620	447	39	6	
	620-640	96	8	7	
	640-680	134	12	8	
	680-700	104	9	9	
Pente (%)	0 – 2	262	23	2	
	2 – 5	280	24	4	
	5 - 15	422	37	7	35
	15 – 20	70	6	8	
	> 20	113	10	9	

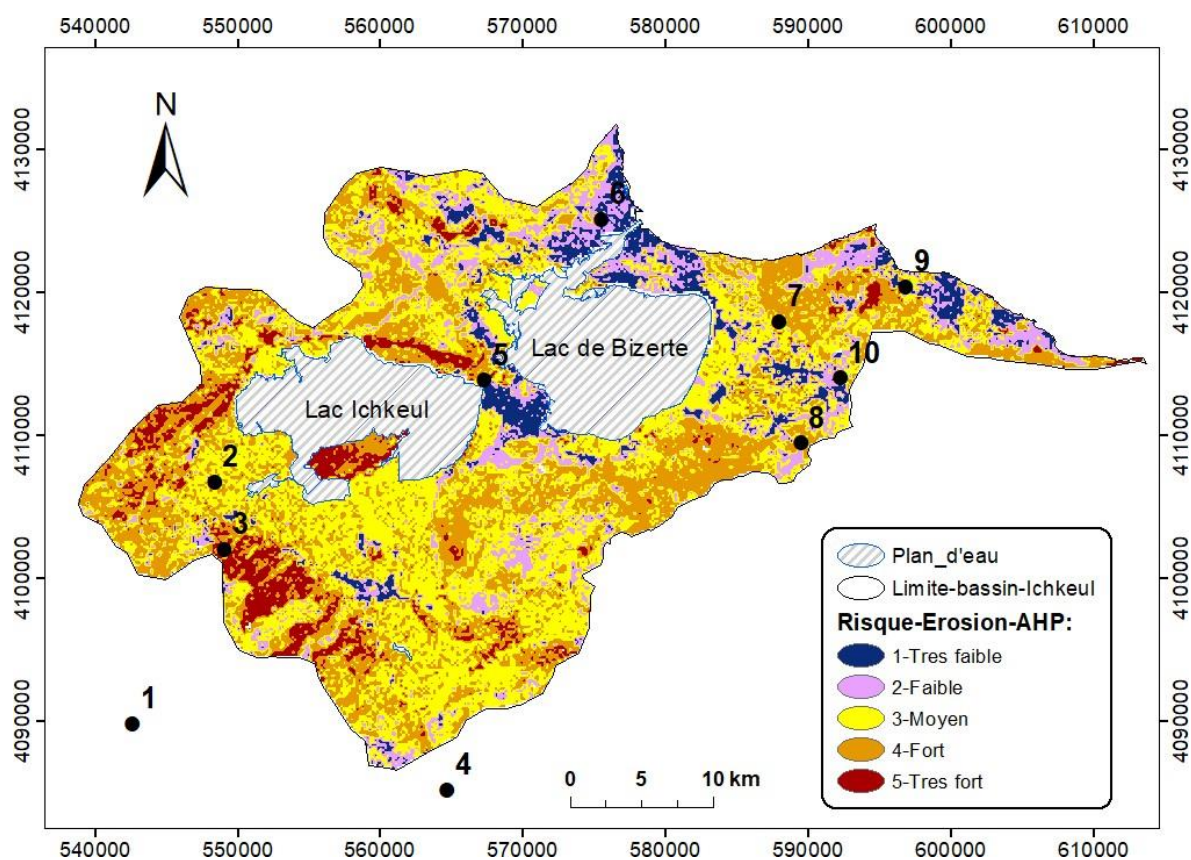


Figure 20 : Carte du risque d'érosion développée par la méthode AHP

Tableau 25 : Surfaces élémentaires des classes d'érosion

Risque	S (km ²)	%Surface
1-Très faible	96	9
2-Faible	152	13
3-Moyen	428	37
4-Fort	377	33
5-Très fort	94	8

6.3.3 Envasement et hydrodynamique sédimentaire

La comparaison de la topographie du fond du Lac Ichkeul entre deux périodes (1994 et 2004) a été effectuée par Ouerghi et al. (2012) dans le but de déterminer l'état d'envasement et la quantification des sédiments. Le modèle numérique de terrain résiduel ainsi proposé montre des zones d'engraissement allant de 0,12 à 0,55 m d'épaisseur. La carte d'engraissement établie met en évidence des zones d'érosion et des zones de dépôts. Les déblais sont surtout localisés au niveau des embouchures des oueds en raison des forts lâchers d'eau alors que les dépôts se retrouvent au niveau de l'écluse de l'Oued Tinja et au centre du lac.

Les épaisseurs les plus importantes de sédiments se trouvent au niveau de l'écluse de l'Oued Tinja, ce qui engendre une mauvaise communication d'eau entre le Lac Ichkeul et la Lagune de Bizerte et, par conséquent, un risque d'un déséquilibre de l'écosystème. Le volume total de dépôts et le volume total de déblais ont été estimés à 13,9 Mm³ et 1,9 Mm³ respectivement. L'accumulation des sédiments dans le lac, particulièrement au niveau de l'écluse peut être également due aux pluies enregistrées sur le bassin versant de l'Ichkeul durant les périodes automnales et hivernales des années hydrologiques 1995/1996, 1997/1998 et 2002/2003, où des crues importantes ont été observées sur l'ensemble du bassin, crues qui provoquent des apports en matières solides importants.

Des analyses granulométriques dans la Lagune de Bizerte ont montré la présence essentielle des sédiments grossiers près des zones côtières en présence des courants du fond assez forts (Brahim et al, 2018). Au Nord de la lagune les zones côtières sont érodées et ceci est dû à l'absence d'apports sableux continentaux et à l'intensité importante des courants. La formation de l'écran de sable fin observée dans la partie Est de la lagune est attribuée à la faible énergie de la houle qui est amortie par les faibles profondeurs au niveau de ce secteur.

La faible pente du fond dans la zone sud-est, et la faible tension de cisaillement d'arrachement sont les deux causes essentielles de la présence des sables fins dans cette zone qui ne dépasse pas les 6 mètres de profondeurs. IL est constaté lors de la même étude que les vases couvrent principalement la partie Est de la lagune, en particulier au niveau de la station de conchyliculture de Menzel Jemil. Les sédiments de surface prélevés dans cette zone présentent plus de 75 % des sables fins (<63 µm). D'après cette étude, nous pouvons conclure que les régions côtières sont des régions à renouvellement intenses alors que la région centrale est une région de dépôt.

6.3.4 Risque de sécheresse

6.3.4.1 Définitions

Une sécheresse peut être définie de points de vue météorologique, hydrologique ou agricole. En météorologie, la sécheresse se caractérise par une absence prolongée, un déficit marqué ou

une faible distribution des précipitations par rapport à la normale climatique. La sécheresse hydrologique peut être marquée par un déficit d'écoulement dans les cours d'eau ou une réduction de la recharge des nappes souterraines. Quant à la sécheresse agricole, elle est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les productions agricoles par rapport à la normale ou les valeurs attendues pour une région de grande étendue.

La sécheresse fait partie du climat, même si son étendue et son intensité varient à une échelle de temps saisonnière ou annuelle. Par ailleurs, la sécheresse est un phénomène naturel dangereux de caractère malveillant, touchant les zones à fortes précipitations ainsi que les régions à faibles précipitations, et sous presque tous les climats. La sécheresse a de divers impacts. Elle affecte nos vies en exerçant des contraintes sur l'approvisionnement en eau en dégradant l'environnement et la santé humaine par la mauvaise qualité de l'eau, en intensifiant l'érosion du sol et en dégradant l'économie du fait de la réduction de la capacité de production agricole.

La sécheresse peut être caractérisée par plusieurs éléments distinctifs :

- La fréquence qui reflète le nombre d'occurrences de la sécheresse.
- La durée, car l'ampleur des effets de la sécheresse est étroitement liée au moment où débute la pénurie de précipitations, à l'intensité de celle-ci et à la durée du phénomène.
- L'étendue spatiale, la surface touchée par la sécheresse.
- L'intensité, un élément essentiel pour l'évaluation de l'ampleur de déficit de précipitations et la gravité des conséquences de ce déficit.

6.3.4.2 Détection des séquences sèches

Dans la première partie de la Phase I de l'étude, la méthode du nombre des écarts types a été utilisée pour identifier les séquences sèches et les séquences pluvieuses dans le Bassin Versant Bizerte Ichkeul en utilisant des séries annuelles des données de précipitation sur une période de 45 ans (1970-2014) au niveau de treize stations réparties dans le bassin. Le Tableau suivant présente les années sèches, normales ou humides identifiées par cette analyse.

Tableau 26 : *Années sèches, normales et humides identifiées dans le Bassin Versant Bizerte – Ichkeul au cours de la période (1970-2014)*

Années sèches	Années normales	Années pluvieuses
1977 – 1981 – 1983 - 1988	1970 – 1972 – 1974 – 1978	1971 – 1973 – 1975 – 1976
1993 – 1994 – 2001 - 2008	1985 – 1987 – 1995 – 1998	1979 – 1980 – 1982 – 1984
	1999 – 2000 – 2002 – 2006	1986 – 1989 – 1990 – 1991
	2010 – 2014	1992 – 1996 – 1997 – 2003
		2004 – 2005- 2007 – 2009
		2011 – 2012 - 2013

Ce tableau montre que 8 années sont considérées sèches sur une période d'observation de 45 ans. Le pourcentage des années sèches est par conséquent 18%. D'autre part, la période de retour moyenne d'une année sèche est donnée par le rapport 45/8, qui est égal à 6 ans environ. Par conséquent une année sèche chaque 6 ans en moyenne est distinguée. Des années sèche isolées ont été observées au cours de la période d'observation. L'exception est faite pour la séquence 1993-1994, où deux années sèches consécutives ont été détectées. Finalement, il est

important de noter que les années normales (14 ans) et les années humides (23 ans) représentent 31% et 51% respectivement du total de la période d'observation.

6.3.4.3 Distribution spatiale de la sécheresse

L'étendue spatiale de la sécheresse est examinée suite au développement des cartes de distribution de la variable centrée réduite ou l'indice standard de précipitation (SPI) calculé au niveau de 10 stations régulièrement réparties dans le bassin d'étude ou son voisinage pour les années sèches préalablement identifiées. La méthode d'interpolation considérée est celle des pondérateurs de l'inverse des distances (IDW), jugée convenable pour l'interpolation des données pluviométriques.

Les cartes de distribution spatiale de l'indice standard de précipitation des années sèches (1977, 1981, 1988, 1994, 2001 et 2008) sont présentées ci-dessous. De plus, les pourcentages des surfaces du Bassin Versant Bizerte – Ichkeul touchés par les différentes classes de sécheresse sont récapitulés dans le tableau correspondant. Une sécheresse est considérée faible si $-1 < \text{SPI} < 0$, modérée si $-2 < \text{SPI} < -1$ et forte si $\text{SPI} < -2$. La sécheresse pendant l'année 1977 était faible à moyenne sur tout le bassin.

La sécheresse la plus élevée a touché l'Est du bassin. Une sécheresse forte a été distinguée en 1981 au centre du bassin entre le Lac Ichkeul et la Lagune de Bizerte. La sécheresse la plus importante a touché l'Ouest du bassin en 1988 alors qu'elle était plus élevée au centre du bassin en 1994. La sécheresse la plus élevée était à l'Est du bassin en 2001 et 2008 respectivement. Les résultats obtenus montrent que la sécheresse est généralement faible à modérée, à l'exception de l'année 1981, où elle était forte sur 27% de la surface du bassin versant. Toutes les zones du bassin sont susceptibles à la sécheresse, avec un risque croissant de l'Ouest à l'Est.

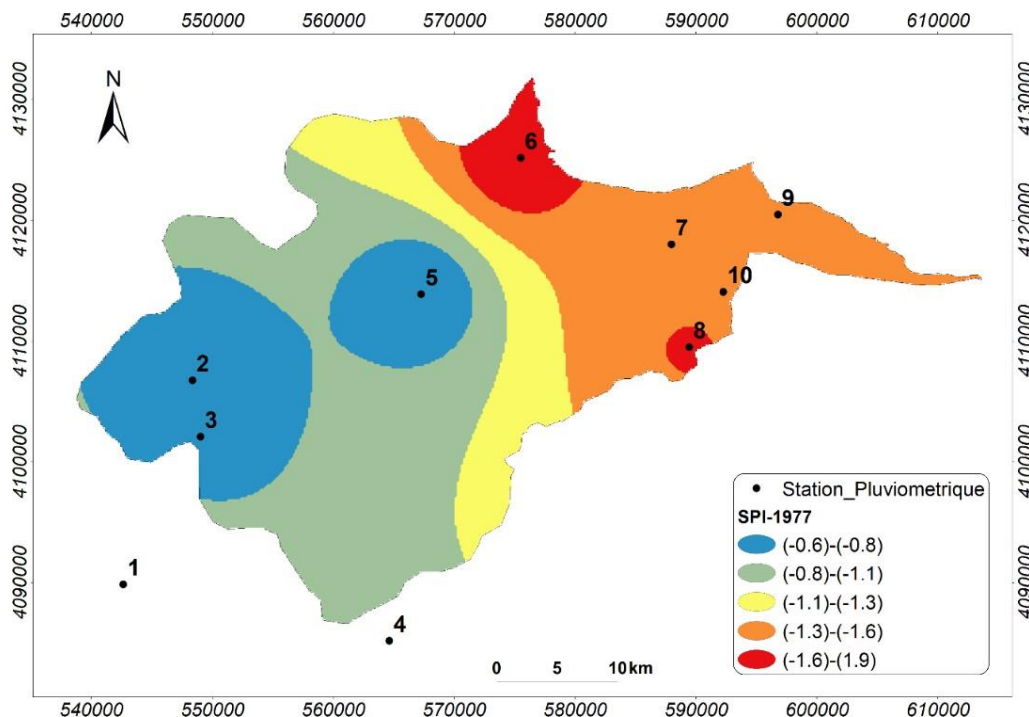


Figure 21 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1977)

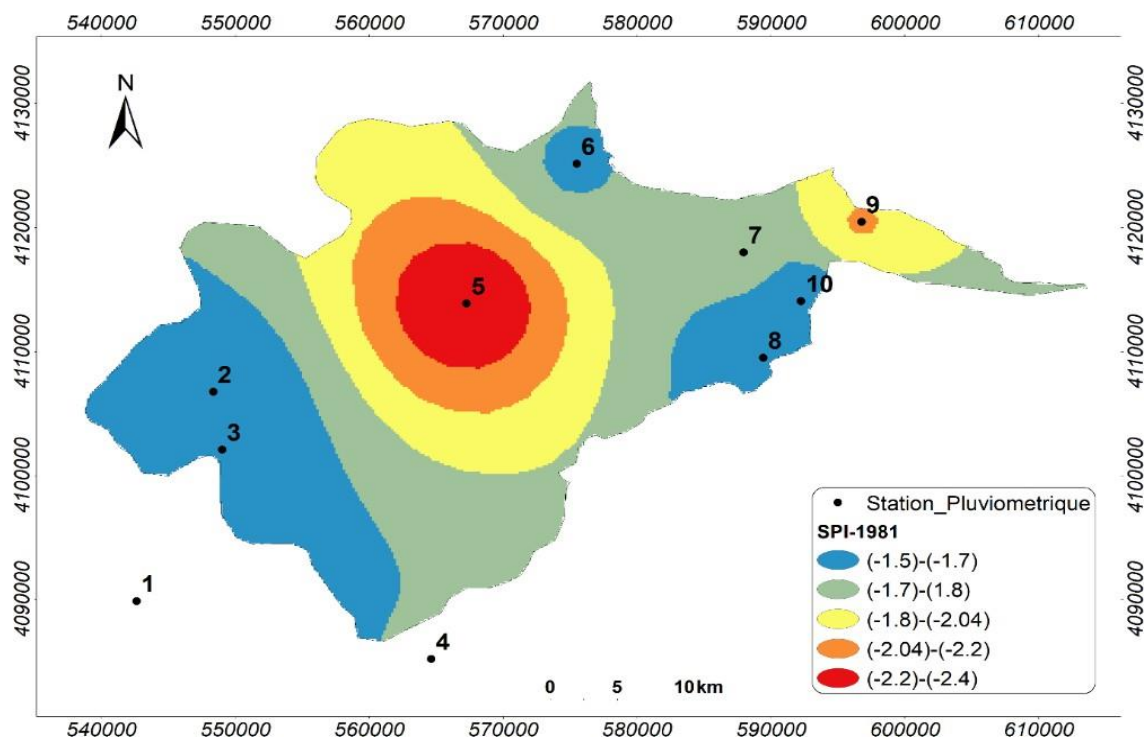


Figure 22 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1981)

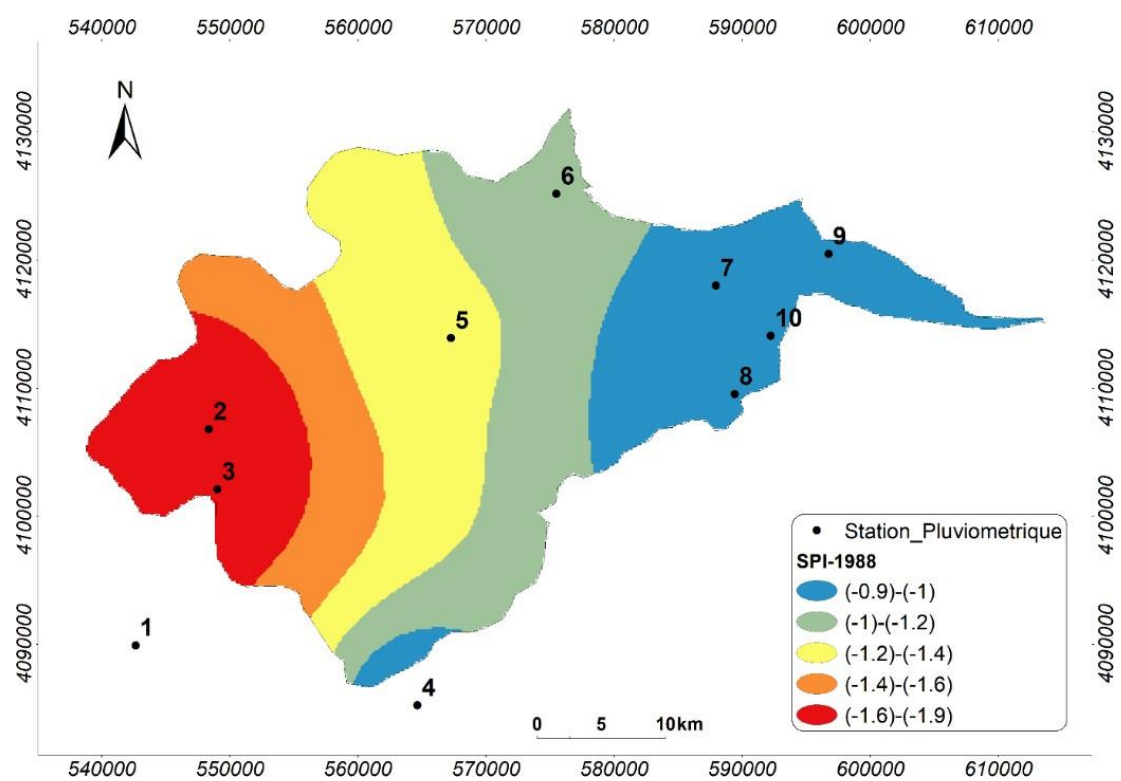


Figure 23 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1988)

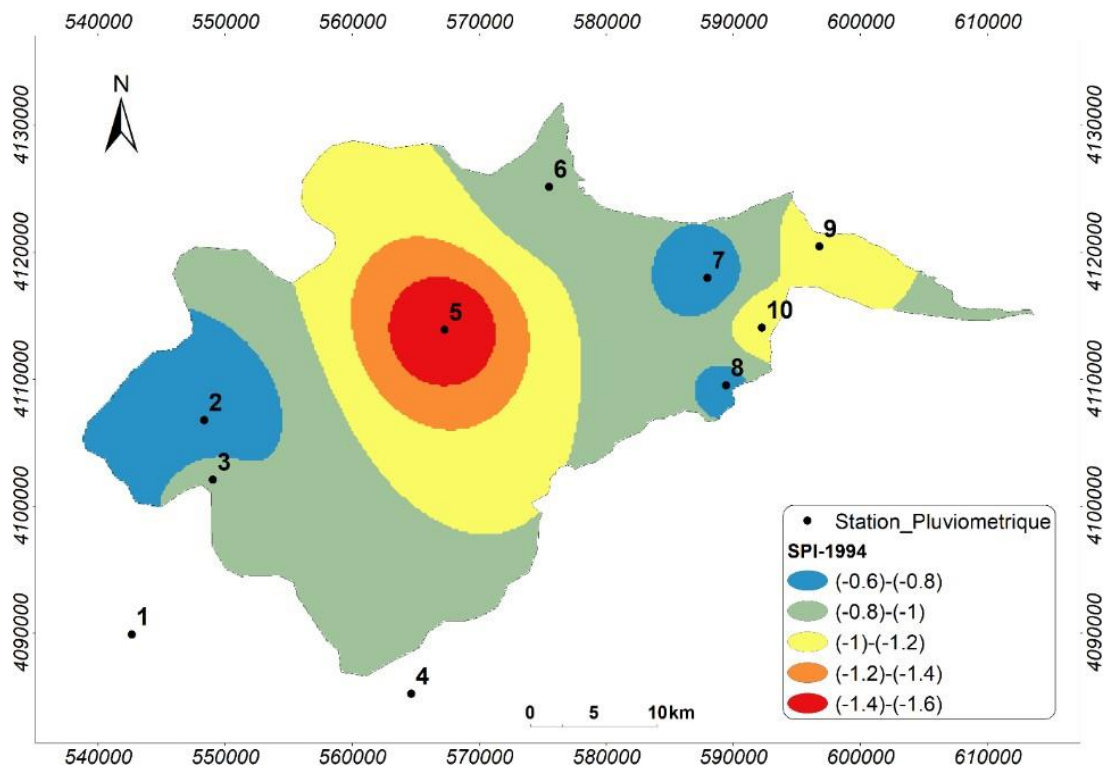


Figure 24 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (1994)

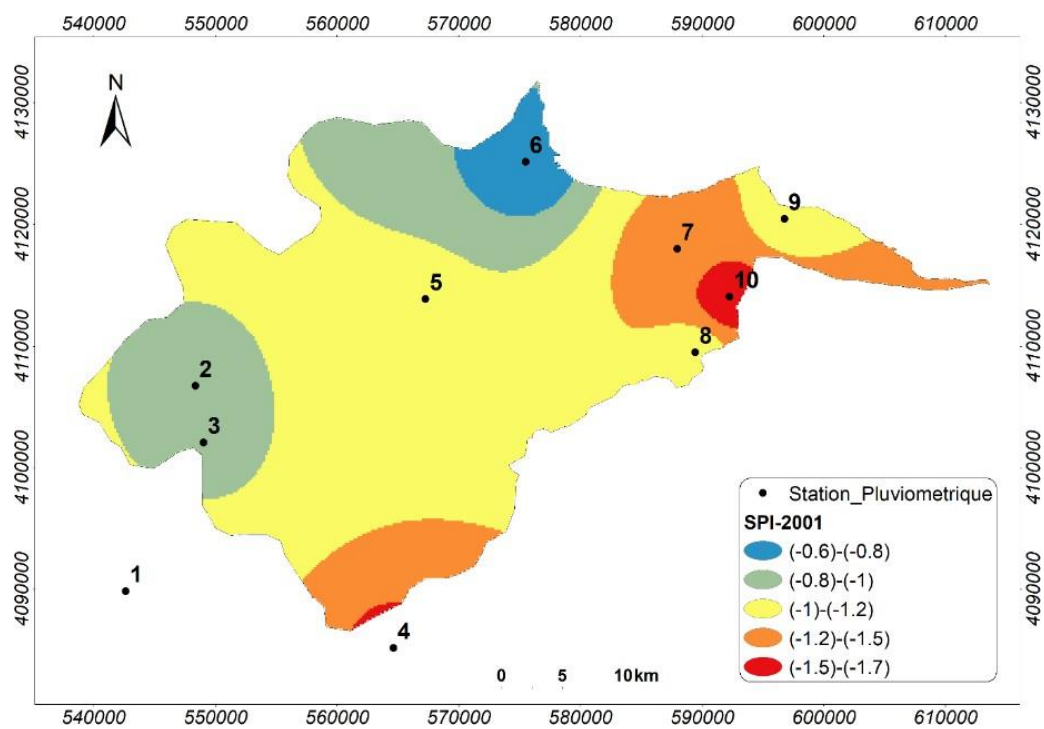


Figure 25 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (2001)

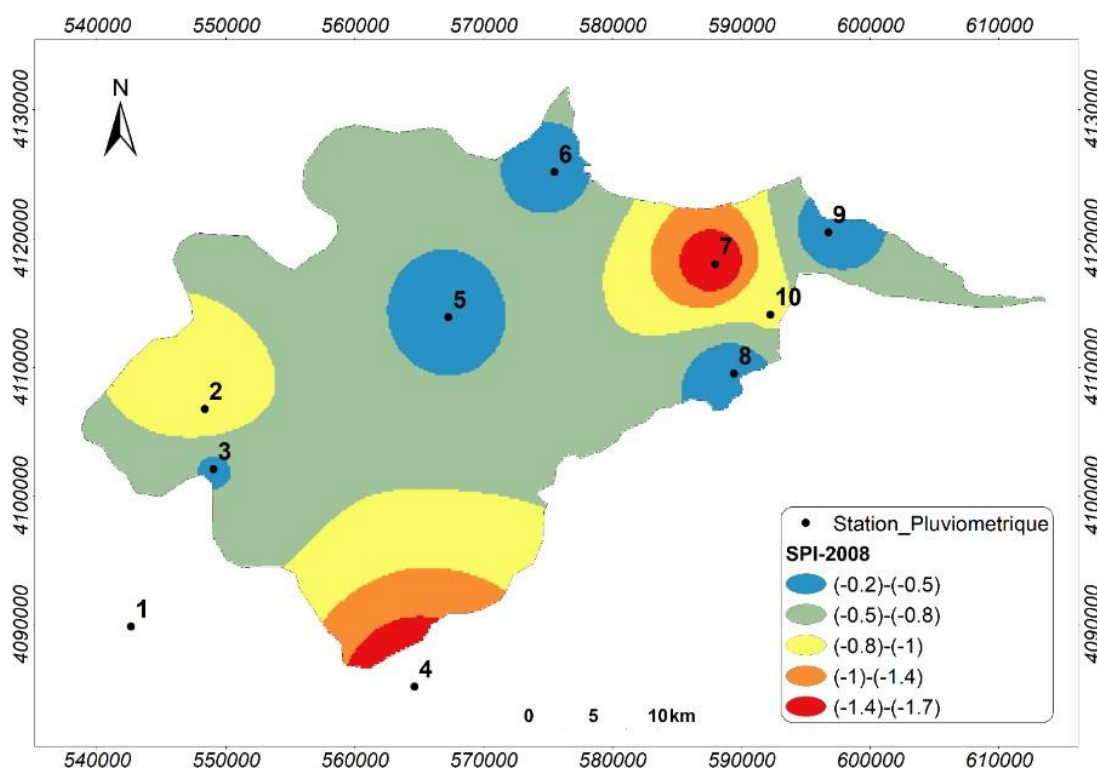


Figure 26 : Distribution spatiale de l'indice standard de précipitation (2008)

Tableau 27 : Pourcentages de surface des différentes classes de sécheresse

Sècheresse	Surface couverte	% de surface					
	Intervalle SPI	1977	1981	1988	1994	2001	2008
Faible	< -1	33	38	1	12	6	29
Modérée	(-1) - (-2)	67	35	99	88	94	71
Forte	> -2	0	27	0	0	0	0

6.3.5 Réduction de l'extension spatiale du Lac Ichkeul

La construction des barrages dans le bassin versant Bizerte – Ichkeul a provoqué un déséquilibre hydrologique et écologique du lac, avec un manque d'apport en eau douce responsable de la réduction de son extension spatiale, particulièrement pendant les années sèches. Hollis et al. (1986) et l'ANPE (1994) montrent que la sécheresse et le déficit en eau se traduisent par une réduction de la surface inondable des marais. Les causes majeures de la régression spatiale du lac sont :

- 1) Le comblement par le produit de l'érosion et de remblaiement des embouchures des oueds qui a engendré une évolution des zones d'engraissement telles que les marais de Joumine, Sejnane et Douimis (zones deltaïques). Cette sédimentation a entraîné une baisse de la profondeur du lac ainsi qu'une réduction de son extension ;
- 2) La sécheresse et la mise en eau des barrages. Pendant la période de 1987- 1994, le lac, dans une situation de post-aménagement (la mise en eau des barrages) perd 3,61 km² (ANPE, 1994). Cette diminution est liée à la rétention des eaux douces par les barrages et la succession des années sèches de 1986/87 et 1988/89.

- **Bilan hydrologique global du Lac Ichkeul et son évolution future**

Le Lac Ichkeul reçoit les apports des oueds, les lâchers des barrages, ainsi que les eaux provenant de la lagune de Bizerte en été et pendant les périodes sèches. En contrepartie, les sorties à partir du lac sont représentées par les pertes par évaporation et les transferts des eaux vers la Lagune de Bizerte en hiver et pendant les périodes humides.

- **Apports du bassin versant**

À la suite de la mise en eau des barrages, la surface du bassin versant drainé par le Lac Ichkeul ne dépasse pas 628km². Plusieurs formules empiriques ont été utilisées pour estimer l'apport liquide annuel moyen sur la base de la pluviométrie moyenne sur le bassin. Des séries pluviométriques annuelles mesurées pendant une période de 45 ans (1970-2014) au niveau de cinq stations régulièrement réparties dans le bassin ont été utilisées.

La lame d'eau précipitée sur le bassin est représentée par une moyenne arithmétique des valeurs mesurées au niveau des 5 stations pluviométriques considérées. Quant à l'évolution future de la précipitation, engendrée par les changements climatiques, un taux de décroissance de -1,6mm/an est adopté pour l'étage subhumide d'après le scénario RCP8.5. Ce dernier représente un scénario 'sans politique' marqué par le manque d'effort international pour la réduction de gaz à effet de serre. Ce scénario s'avère aujourd'hui le plus probable d'après le dernier rapport du GIEC et de l'absence de baisse des émissions au niveau mondial.

Les formules empiriques sur lesquelles nous sommes appuyés dans notre analyse telles que la formule de Tixeront ont été utilisées pour estimer la lame ruisselée (mm) et l'apport (Mm³) du bassin versant au lac pour la période de référence (1970-2014) et des périodes futures jusqu'à l'horizon 2100. Les valeurs obtenues par les différentes méthodes sont généralement comparables et par conséquent une moyenne de ces valeurs a été adoptée. Le Tableau suivant montre que l'apport moyen annuel va diminuer de 55Mm³ pendant la période de référence (1970-2014) jusqu'à 33Mm³ au cours de la période 2070- 2100, soit une réduction de 40% à cause de la réduction de la précipitation engendrée par les changements climatiques.

Tableau 28 : Evolution future de l'apport annuel moyen au Lac Ichkeul

Période	P _{moy} (mm)	Lame de ruissellement en millimètres						Apport (Mm ³)
		Tixeront	DGRE 1	DGRE 2	Algérienne	Sammie	Moyenne	
1970-2014	631	84	84	95	82	95	88	55
2015-2040	609	75	78	87	74	88	80	50
2021-2050	597	71	75	82	70	85	77	48
2031-2060	581	65	71	77	64	80	71	45
2041-2070	565	60	67	71	59	76	67	42
2051-2080	549	55	63	66	55	72	62	39
2061-2090	533	51	59	61	50	68	58	36
2071-2100	517	46	54	56	46	63	53	33

- **Apports de la lagune de Bizerte**

Le Tableau suivant présente les volumes annuels d'eau transférés de la Lagune de Bizerte sur la période (2002-2008), obtenus à partir des annuaires de l'ANPE. Cette période est constituée d'une séquence pluvieuse (2002-2005), deux années moyennes (2005 et 2006) et une année sèche (2008). Sur la base de ces observations, l'apport annuel moyen de la lagune de Bizerte est supposé égal 20, 50 et 80Mm³ pour des années humide, moyenne et sèche respectivement.

L'apport annuel moyen est alors obtenu comme moyenne pondérée avec les coefficients qui représentent ces différentes classes déjà obtenues, c'est-à-dire 51%, 31% et 18% pour les années humides, moyennes et sèches respectivement. L'apport annuel moyen obtenu est de l'ordre de 40 Mm³.

Tableau 29 : Volumes annuels en Mm³ de la lagune de Bizerte 2002/2008

Années	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
Volumes en Mm ³	20	16	35	50	50	52,3

- **Transferts à partir des barrages**

Sur la base des données fournies par la DGBGTH, les volumes d'eau transférés des barrages vers le Lac Ichkeul sont supposés 0, 50 et 150 Mm³ pour des années sèche, moyenne et pluvieuse respectivement. Le volume annuel moyen, obtenu par une moyenne pondérée, est par conséquent de l'ordre de 92 Mm³.

- **Volume sortant du lac par l'Oued Tinja**

La variation du volume sortant du lac par l'Oued Tinja sur la même période est représentée au Tableau 12. Sur la base de ces observations, le volume sortant du lac vers la lagune de Bizerte est supposé égal 0, 100 et 250Mm³ pour des années humide, moyenne et sèche respectivement. Le volume annuel moyen, obtenu par une moyenne pondérée, est par conséquent de l'ordre de 160 Mm³.

Tableau 30 : Volumes annuels sortant du lac en Mm³

Années	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
Volumes en Mm ³	0	173	542	216	95	92,7

- **Précipitation directe sur le lac**

La précipitation sur le lac est donnée par la moyenne arithmétique de la précipitation enregistrée au niveau des stations 2 et 5, situées de part et d'autre du lac à l'ouest et à l'est respectivement. Le Tableau suivant montre la variation de l'estimation de la précipitation directe sur le lac jusqu'à l'horizon 2100.

Tableau 31 : Evolution future de la précipitation directe sur le lac

Période	Pmoy (mm)	P. Directe (Mm ³)
1970-2014	639	54,3
2015-2040	617	52,4
2021-2050	605	51,4

2031-2060	589	50,1
2041-2070	573	48,7
2051-2080	557	47,3
2061-2090	541	46,0
2071-2100	525	44,6

Les apports des précipitations directes sur le lac vont diminuer de 54,3 Mm³ pendant la période de référence (1970-2014) à 44,6 Mm³, ce qui correspond à un taux de réduction moyen de 18%.

- **Evaporation à partir du lac**

L'évaporation annuelle moyenne à partir du lac est 1300mm environ pendant la période de référence (1970-2014). Un taux d'augmentation de 3mm/an est considéré sur la base du scénario RCP8.5 dans l'étage subhumide. Le Tableau suivant présente l'évolution future de l'évaporation à partir du Lac Ichkeul en millimètres et en Mm³.

Tableau 32 : Evolution future de l'évaporation annuelle moyenne à partir du lac

Période	Evaporation (mm)	Evaporation (Mm ³)
1970-2014	1300	110,5
2015-2040	1341	114,0
2021-2050	1365	116,0
2031-2060	1395	118,6
2041-2070	1425	121,1
2051-2080	1455	123,7
2061-2090	1485	126,2
2071-2100	1515	128,8

La comparaison des deux tableaux précédents montre que l'évaporation excède la précipitation, ce qui reflète un déséquilibre du bilan hydrologique. Le bilan global du Lac Ichkeul durant la période de référence (1970-2014) ainsi que ceux de trois périodes futures sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 33 : Bilan global du Lac Ichkeul en Mm³.

Période	1970-2014	2021-2050	2041-2070	2071-2100
Apport du bassin versant	55	48	42	33
Précipitation directe	54,3	51,4	48,7	44,6
Transferts des barrages	92	92	92	92
Transfert de la lagune	40	40	40	40
Transfert vers la lagune	160	160	160	160

Evaporation	110,5	116	121,1	128,8
Somme des entrées	241,3	231,4	222,7	209,6
Somme des sorties	270,5	276	281,1	288,8
Bilan	-29,2	-44,6	-58,4	-79,2

Le bilan hydrologique pour une année moyenne est négatif dans la période de référence et les autres périodes examinées. L'écart entre les entrées et les sorties est de plus en plus élevé au futur, ce qui reflète l'insuffisance des apports pour maintenir l'équilibre du système à cause de l'effet conjugué des actions anthropiques (Mise en eau des barrages et réduction de la surface de drainage) et des changements climatiques (réduction de la précipitation). Evolution du bilan hydrologique de la Lagune de Bizerte

L'alimentation hydrique de la lagune de Bizerte s'effectue à partir de plusieurs sources y incluent (i) le ruissellement des oueds qui drainent le bassin versant de la lagune, (ii) les apports à partir du Lac Ichkeul via Oued Tinja et (iii) la précipitation directe sur la lagune.

- **Apports du bassin versant**

Le réseau hydrographique qui participe à l'alimentation de la lagune est assez bien développé et draine une surface de 475km² environ. Les lames de ruissellement estimées par les différentes formules empiriques sont présentées suivant. Les valeurs obtenues sont généralement comparables et une valeur moyenne a été adoptée. Selon ces estimations, les apports des oueds à la lagune vont diminuer de 35,2 Mm³/an au cours de la période de référence (1970-2014) à 21,4 Mm³/an pendant la période (2071-2100), ce qui correspond à une réduction de 40%.

Tableau 34 : Evolution future de l'apport annuel moyen des oueds à la Lagune de Bizerte

Période	P _{moy} (mm)	Lame de ruissellement en millimètres						Apport (Mm ³)
		Tixeront	DGRE 1	DGRE 2	ALG.	Sammie	Moyenne	
1970-2014	585	67	79	73	67	84	74	35,2
2015-2040	563	60	71	67	60	78	67	31,8
2021-2050	551	56	67	64	53	75	63	29,9
2031-2060	535	52	62	60	52	71	59	28,0
2041-2070	519	47	57	55	48	67	55	26,1
2051-2080	503	43	53	51	43	62	50	23,8
2061-2090	487	39	49	47	40	59	47	22,3
2071-2100	471	35	44	43	36	55	45	21,4

- **Précipitation directe sur la lagune**

La précipitation sur la lagune est donnée par la moyenne arithmétique de la précipitation enregistrée au niveau des stations 5, 6 et 7, qui sont les plus proches de la lagune et qui représente ses différentes zones. Le Tableau suivant montre la variation de l'estimation de la précipitation directe sur la lagune, d'une surface de 120km² environ, jusqu'à l'horizon 2100.

Tableau 35 : Evolution future de la précipitation directe sur la lagune

Période	Pmoy (mm)	P. Directe (Mm ³)
1970-2014	587	70,4
2015-2040	565	67,8
2021-2050	553	66,4
2031-2060	537	64,4
2041-2070	521	62,5
2051-2080	505	60,6
2061-2090	489	58,7
2071-2100	473	56,8

L'apport annuel moyen à la Lagune de Bizerte à partir du Lac Ichkeul (160 Mm³) dépasse de loin la somme de la précipitation directe sur la lagune et les apports de son bassin versant. Toutefois, l'apport à partir du Lac Ichkeul est devenu tributaire des programmes de gestion de l'ensemble de l'infrastructure hydraulique mise en place.

- **Evaporation à partir de la lagune**

L'évaporation annuelle moyenne à partir de la lagune est 1200mm environ pendant la période de référence (1970-2014). Un taux d'augmentation de 3mm/an est considéré sur la base du scénario RCP8.5 dans l'étage subhumide. Le Tableau suivant présente l'évolution future de l'évaporation à partir de la Lagune de Bizerte en millimètres et en Mm³.

Tableau 36 : Evolution future de l'évaporation annuelle moyenne à partir du lac

Période	Evaporation (mm)	Evaporation (Mm ³)
1970-2014	1200	144
2015-2040	1241	149
2021-2050	1265	152
2031-2060	1295	155
2041-2070	1325	159
2051-2080	1355	163
2061-2090	1385	166
2071-2100	1415	170

6.3.6 Perturbation de l'écosystème

L'écosystème souffre d'un déséquilibre attribué à plusieurs causes : une période de sécheresse prolongée depuis 1995 à 2002 caractérisée par une pluviométrie inférieure à la moyenne et une salinité trop élevée (ANPE, 2004). Ainsi, durant l'année hydrologique (2001/ 2002), la salinité de l'eau du lac a atteint une valeur record de 80 g/l en septembre (ANPE, 2002). Vient s'ajouter à ces conditions climatiques, une contrainte hydraulique majeure issue du prélèvement des eaux en amont du lac. En effet, le lac recevait à l'état naturel 340 millions de m³ d'eau douce issue du bassin versant (ANPE, 2002). Cependant, les aménagements hydrauliques entrepris au niveau du bassin versant du lac et la construction de cinq barrages (Joumine, Ghezala, Sejnane, Melah et Tine,) ont engendré une réduction de plus de 157 millions de m³ d'eau douce.

Le fonctionnement originel du système laguno-lacustre de l'Ichkeul est affecté en fonction de la saisonnalité des apports d'eau douce issue du bassin versant et d'eau marine via oued Tinja (ANPE, 2002 ; Ben M'Barek, 1995). En effet, les salinités élevées ont conduit à la disparition du potamogéon (phanérogame affectionnant les eaux douces) et des scirpes (phanérogame aquatique à jonc). Ainsi la diminution de la productivité du lac Ichkeul a été estimée à 80% entre les années 1980-1990 et 2001-2004, causant la raréfaction de la fréquentation des oiseaux d'eau dont l'aliment principal est essentiellement composé de bulbes et tiges de ces Macrophytes. On comptait en 1985, 93 espèces d'oiseaux, mais ils ne sont plus que 71 en 2004 (Hamdi et al. 2007).

L'impact des aménagements hydrauliques était aussi perceptible pour l'ichtyofaune du lac (Romdhane, 1994). D'un point de vue sédimentologique, les apports importants en eau douce observés entre les années 2002 et 2005 ont été accompagnés de grandes quantités de sédiments. Certes l'érosion a été atténuée par les barrages en amont du lac, néanmoins la sédimentation y a été estimée par Ouerghi en 2006 à 21.4 cm depuis 1994. Elle est surtout localisée au niveau de l'écluse. Ceci peut poser un problème à tout l'écosystème du lac, car même si celui-ci apparaît plein, la hauteur véritable de la colonne d'eau dans certaines zones serait en réalité très faible, ce qui aurait des répercussions sur bon nombre de végétaux qui nécessitent pour leur développement une certaine hauteur de la colonne d'eau suivant les saisons.

Le périmètre de l'Ichkeul est situé dans la plaine de Mateur, région connue pour être une zone urbaine, une zone industrielle et une zone agricole utilisant toutes sortes de fertilisants, d'insecticides et d'herbicides. C'est donc une région où des rejets potentiels peuvent parvenir directement au lac Ichkeul, ou indirectement par l'intermédiaire des oueds qui l'alimentent (Ben M'barek, 2001).

L'Oued Tinja, exutoire naturel du lac Ichkeul représente la principale source d'apports liquides (418 10 6 m³), solides (28 10 3 tonnes) et en éléments nutritifs (74, 954, 92 et 69 tonnes respectivement de nitrite, nitrate, ammonium et phosphate) à la lagune de Bizerte pour les deux saisons (hiver, estivale) de l'année hydrologiques 1997/1998. Cette dernière, reçoit des concentrations en métaux lourds à partir des sédiments superficiels de l'oued Tinja durant la même période précédemment citée. Ces sédiments proviennent des apports naturels de son bassin versant Ouest et des affluents urbains, industriels et agricoles, particulièrement ceux des villes de Tinja et Mateur, qui risquent de provoquer des perturbations plus ou moins importantes, néfastes et irréversibles sur la faune et la flore aquatique de ce plan d'eau, par conséquent sur l'ensemble de l'équilibre écobioologique (Ben M'Barek, 2001; Garali et al. 2008).

Il est aussi important de noter que l'écosystème est perturbé par la fermeture prolongée de

l'écluse d'Oued Tinja. En effet, les vannes de l'écluse se ferment si les conditions climatiques sont favorables. La salinité du lac diminue à plus de 19 g/l à la fin de l'hiver (mars et avril) et le niveau de l'eau du lac devient supérieur à + 100 cm. Ces valeurs représentent les seuils critiques déterminées par le modèle de prévision établi dans le cadre de l'étude de la sauvegarde du Parc National de l'Ichkeul par l'ANPE (1993/1994).

L'écluse a pu entraîner une certaine correction pour le milieu mais son fonctionnement a provoqué l'apparition du phénomène d'eutrophisation dans le lac et le long de l'Oued Tinja en période de fermeture, ainsi que l'accumulation de sédiments en amont de l'écluse. En effet, durant les périodes estivales, où l'écluse est fermée, l'Oued Tinja devient un milieu confiné, puisqu'il n'y a plus de circulation d'eau, entraînant ainsi une baisse des teneurs en oxygène dissous et un accroissement de la salinité et de la température de l'eau, phénomènes responsables de l'apparition d'eutrophisation et du développement des macro-algues sur les rives de l'oued.

La fermeture de l'écluse de Tinja durant les périodes estivales des années humides (1996, 1998 et 1999) a entraîné une faible augmentation de la salinité des eaux du lac, ne dépassant pas 30 g/l à la fin de l'été, et un minimum d'eau optimal. Malheureusement, cet ouvrage affecte l'écosystème de l'Ichkeul, puisque sa fermeture durant six mois de l'année favorise l'eutrophisation des eaux de la partie est du lac, côté écluse, et le long de l'ouadi Tinja. De plus, ces fermetures entraînent l'accumulation de sédiments dans la partie nord-est du lac, côté de l'écluse, entravant la circulation des eaux entre les deux zones humides.

En récapitulatif, l'écosystème du Lac Ichkeul est affecté par (i) la mise en eau des barrages et la sécheresse qui ont engendré une réduction des apports en eau douce sur le milieu naturel de l'Ichkeul, (ii) la mauvaise communication entre le lac et la mer Méditerranée via le lac de Bizerte par l'intermédiaire de l'écluse de l'Oued Tinja et (iii) l'accumulation des sédiments dans la totalité du lac, notamment dans sa partie Nord-Est, coté de l'écluse. Pour remédier à cette situation, des actions de protection et de conservation des sols doivent être entreprises à l'échelle des zones les plus vulnérables à l'érosion, ce qui permet de protéger le lac contre un alluvionnement rapide. Il faudrait aussi prévoir des ouvertures momentanées des vannes de l'écluse durant les périodes de fermeture estivale, réaliser le dragage de l'Oued Tinja et de la partie Nord-Est du lac après une étude bathymétrique du plan d'eau du lac et le long de l'oued, programmer des lâchers de l'eau des barrages, pour diminuer la salinité et augmenter la tranche d'eau du lac.

Composantes liées à la vulnérabilité des aquifères

L'extraction d'eau souterraine pour soutenir les besoins accrus des différents secteurs de la vie socio-économique devient un enjeu majeur dans les zones côtières qui se caractérisent par une densité de la population. Cette population engendre irrémédiablement le développement d'activités économiques qui nécessitent de l'eau douce.

En milieu insulaire, cet enjeu est exacerbé puisque l'eau douce de l'aquifère insulaire est en contact permanent avec l'eau salée de la mer et de la Lagune de Bizerte. Dans la zone côtière il est prouvé que la nappe d'eau douce « flotte » sur une nappe d'eau salée avec pour seule séparation une zone de transition d'eau saumâtre (White & Falkland, 2010). Ceci s'explique entre autres par la différence de densité ; c'est aussi ce que l'on qualifie de biseau salin.

Impact potentiel de l'EANM sur les eaux souterraines, intrusion marine et salinisation des aquifères

Dans des conditions hydrogéologiques naturelles, l'eau souterraine coule vers la mer sous l'effet du gradient hydraulique. Ce gradient étant souvent faible, une extraction excessive de l'eau souterraine modifie et perturbe l'équilibre hydrostatique et favorise l'intrusion d'eau salée de la mer, et un gradient d'écoulement inverse est créé. La salinisation des aquifères côtiers est reconnue comme la plus grande forme de contamination des eaux (Richter & Kreitler, 1993). Des intrusions salines sporadiques, c'est-à-dire un déplacement vers l'intérieur des terres de la limite eau douce/eau salée, peuvent s'avérer néfastes et dommageables pour la qualité (chimie) de l'eau. Une migration permanente du biseau salé ou encore un cône de remontée saline sous un puits sont des situations irrémédiables pour les consommateurs qui se voient privés de leur ressource en eau potable.

Ce phénomène de rupture hydrogéologique est bien connu au Cap Bon à Grombalia et à Hammamet Sud aux environs de Bouficha (RN1, p=PK 74), et les agrumes du Cap Bon ont nécessité le transfert des eaux du Nord via le Canal de Tébourba (Canal Bourguiba).

La casse du biseau salin dans une région pour les nappes de surface, conduit à mettre la pression sur les nappes profondes pour compenser le manque d'eau. Près des côtes, une intrusion marine entraînerait la perte de 53% des réserves actuelles des nappes phréatiques littorales, avec un fort impact négatif sur le plan socio- économique : en particulier une perte du potentiel d'irrigation avec un impact direct sur le secteur agricole (perte indirecte estimée de 10% des périmètres irrigués (2ème Com, Nat. CCNUCC, 2013 et rapport INDC 2015). Le phénomène de l'intrusion marine touche actuellement la quasi-totalité des nappes côtières depuis Bizerte jusqu'à Zarzis-Jerba où des périmètres de sauvegarde et d'interdiction ont été instaurés pour certaines nappes depuis 1941.

Associée à la surexploitation des ressources souterraines, une augmentation globale du niveau moyen de la mer estimée de 0,5 à 0,104 m au cours du siècle prochain (Vousdoukas et al, 2017) peut mettre encore plus en péril les aquifères côtiers et insulaires. L'élévation du niveau marin peut entraîner non seulement l'inondation, mais aussi l'érosion de la côte qui mènent à une perte de territoire et donc à une diminution de la capacité de réserve des réservoirs souterrains et du volume d'eau douce disponible dans l'aquifère (Oude Essink, 2001).

Aujourd'hui, les réserves naturelles d'eau douce des aquifères côtiers ne semblent pas affectés par la hausse du niveau de la mer et l'effet d'un rehaussement du niveau des océans semble peu significatif dans la région d'étude par rapport aux pressions de pompage.

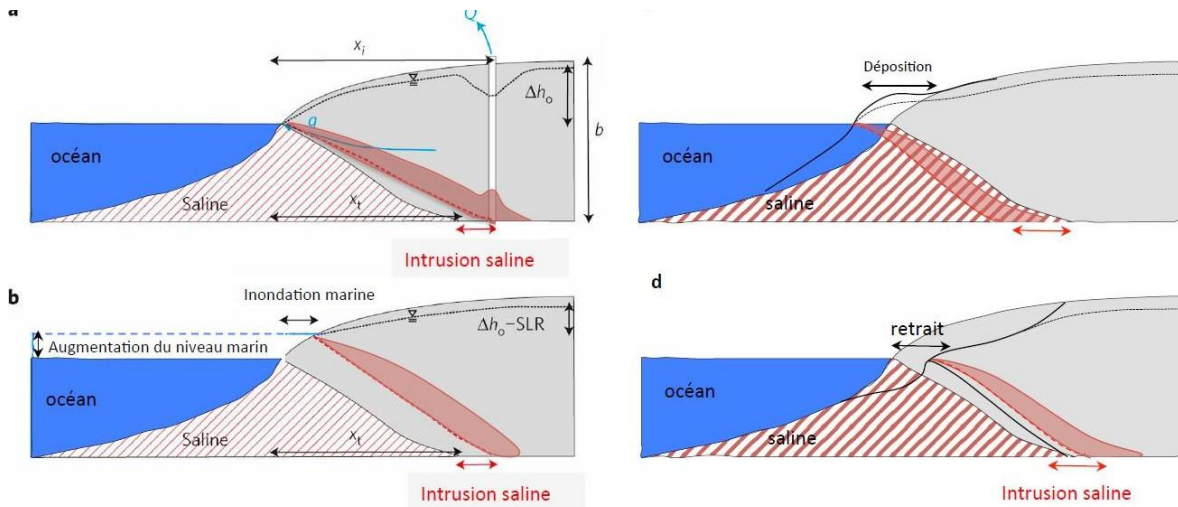


Figure 27 : Vue schématique de l'impact d'une élévation du niveau de la mer et d'une modification du trait de côte sur l'étendue d'un réservoir aquifère (modifiée de Ferguson & Gleeson, 2012). Modèle conceptuel utilisé pour simuler l'impact de (a) l'extraction d'eau souterraine, (b) l'élévation du niveau marin incluant l'intrusion saline et l'inondation ou transgression marine, (c) l'accumulation de sédiments, et (d) l'érosion (Oude Essink, G.H.P. (2001).

En plus des nappes côtières, le processus de contamination atteint aussi les nappes internes riveraines des sebkhas et de lacs (cas Lagune de Bizerte) où l'intrusion des eaux salées des sebkhas suit un mouvement similaire à celui affectant les nappes côtières. Les salinités moyennes dans les nappes phréatiques en état desurexploitation atteignent fréquemment des valeurs de l'ordre de 5 g/L avec des maximales supérieures à 10 g/L (Médénine : 11g/L, Gafsa : 11,8 g/L, Zaghouan : 10,5g/L). Ces hautes salinités ne permettent nullement une agriculture irriguée qui avait prospéré autrefois dans ces mêmes lieux, ce qui contraint surement le processus d'une économie durable.

Le phénomène de salinisation lié également à la surexploitation, qui s'installe de manière progressive, peut avoir des conséquences environnementales qui affectent sérieusement la durabilité de l'irrigation. En particulier le changement climatique, le stress hydrique et la salinisation des aquifères s'enchainent, et la dépression des rendements des cultures par l'utilisation des eaux de plus en plus salines dépassant le niveau de tolérance des plantes. Par exemple la salinisation par intrusion marine, et remontée de la nappe phréatique de Grombalia ont déjà provoqué l'asphyxie des champs d'agrumes dans les régions de Menzel Bouzelfa et Béni Kalled (Lachaal et al, 2016).

6.3.7 Surexploitation des eaux souterraines

Une exploitation intensive d'une nappe d'eau souterraine est observée lorsque le volume d'eau extrait de la nappe dépasse largement le volume de la recharge, et surtout lorsque cette action perdure dans le temps. Cela se traduit par une casse et

un rabattement du niveau piézométrique. Si à court terme, cette casse piézométrique est peu visible au point de la prendre à la légère, au long terme l'épuisement des ressources en eau souterraines paraît inévitable. De plus, cette surexploitation est aggravée par des successions d'années de sécheresse.

Les impacts de la surexploitation de certaines nappes, se sont déjà traduits sur le plan hydrogéologique par :

- un abaissement continu du niveau piézométrique qui a dépassé dans certains cas 20 m (nappes de la plaine de Kairouan, de Tébourba, de Koutine, etc.) ;
- une réduction de la productivité des ouvrages de captage (ex. nappe de Ras Jebel) ;
- un accroissement continu de la salinisation des eaux de la nappe, suite à la rupture d'équilibre de biseau (entre l'eau douce et l'eau salée) favorisant l'intrusion du biseau salin (cas des nappes de Guenniche et de Ras Jebel) ; ce type d'évolution observé ne pourra être à l'avenir qu'aggravé par l'EANM.

Dans le bassin versant du complexe lagunaire Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte, les nappes phréatiques de Menzel Bourguiba, Guenniche et Ras Jebel présentent de fortes baisses piézométriques liées, essentiellement, à la forte exploitation des ressources de ces aquifères. Plus ces nappes seront sollicitées pour différents usages, plus le risque de salinisation sous des conditions de réchauffement global sera élevé, voire drastique.

6.3.8 Risque de salinisation lié à la vulnérabilité des eaux souterraines aux CC

Extension géographique des aquifères

Le bassin versant de l'étude compte six nappes phréatiques. Le taux d'exploitation de ces nappes est variable, selon le besoin et la salinité des eaux. Parmi ces aquifères, les nappes de Ras Jebel et de Guenniche sont fortement exploitées. La situation d'exploitation de ces deux nappes est comme suit.

D'après l'annuaire de l'exploitation des nappes phréatiques (DGRE, 2015), les réserves de ces six nappes sont de l'ordre de 29,94 Mm³ (2015). Les réserves des nappes de Guenniche et de Ras Jebel sont les plus importantes, alors que celles des nappes d'Oued Ben Hassine et Bizerte Sud sont moindres. Ces six nappes sont exploitées à 83%, avec un volume du pompage estimé à 36,03 Mm³/an. Les nappes les plus exploitées sont celle de Guenniche (13 Mm³/an) et Ras Jebel (11,2 Mm³/an). Trois nappes sont sous exploitées, l'une bien exploitée, et deux autres surexploitées. Ces nappes sont vulnérables à la pollution, en raison de leur toit perméable et leurs faibles profondeurs qui ne dépassent pas cinquante mètres.

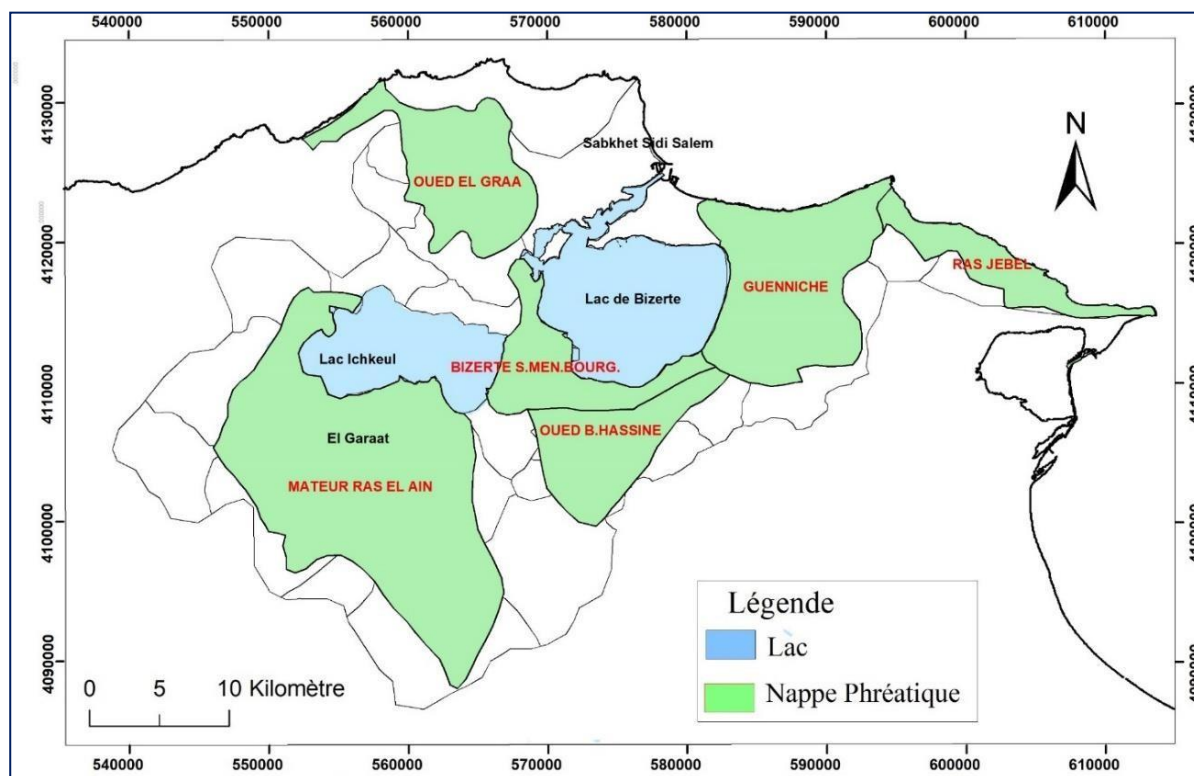


Figure 28 : Carte de répartition des nappes phréatiques du bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte (Extrait de la Carte Agricole, MARHP).

Le bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte, compte sept (07) nappes profondes.

D'après l'annuaire de l'exploitation des nappes profondes (DGRE, 2019), les réserves totales des nappes profondes dans le bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul-Lagune de Bizerte, sont de 33,8 Mm³ en 2019. Ces nappes sont sous exploitées, avec un taux d'exploitation estimé à 16,283 Mm³ en 2019, soit 48% de ressources disponibles. Les réserves des nappes du remplissage Quaternaire de Mateur et Plio- quaternaire de Guenniche sont les plus importantes.

La profondeur du niveau statique de ces nappes est supérieure à 50 m (nappes profondes). Le grès, le calcaire et les alluvions sont les lithologies dominantes de ces aquifères, dont les âges géologiques varient du Quaternaire au Campanien. Relativement aux nappes phréatiques, ces nappes profondes sont peu vulnérables à la pollution.

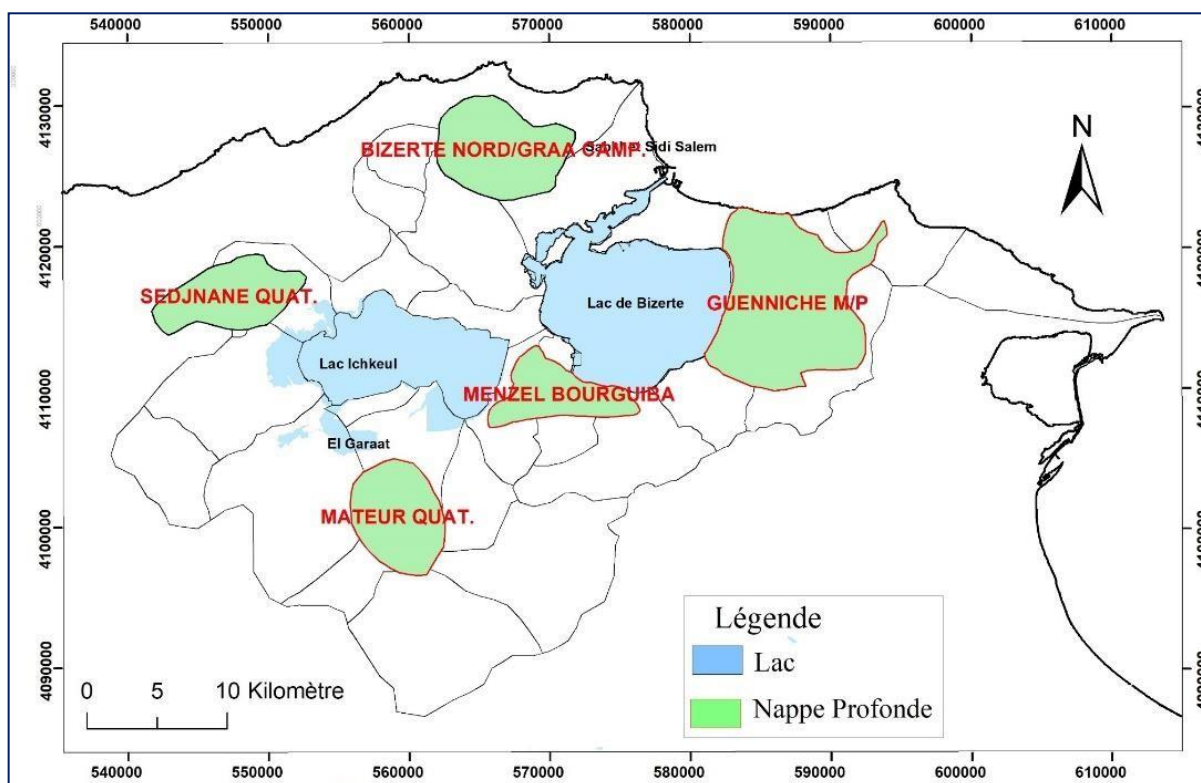


Figure 29 : Carte de répartition des nappes profondes du bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul- Bizerte (Carte agricole, MAEHP).

Profondeurs des ensembles hydrogéologiques :

Dans le BV du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte, on peut distinguer deux types d'aquifères :

- Les aquifères profonds : ces aquifères dont leurs profondeurs est supérieur à 50m, présentent des couvertures imperméables d'épaisseurs importantes. Cette couverture joue le rôle d'un protège contre l'infiltration des eaux de la mer ou de la lagune de Bizerte saline.
- Les aquifères phréatiques : ces aquifères dont la profondeur est inférieure à 50m, et sans couverture imperméable ; ces aquifères présentent une vulnérabilité liée à l'EANM et doivent être considérés dans cette étude.

Seules les nappes de Bizerte Sud, Guenniche, Ras Jebel et Mateur-Ras El Ain sont exposées à l'intrusion marine (du large ou de la Lagune de Bizerte). Actuellement le taux d'exploitation de ces nappes est variable, selon le besoin et la salinité des eaux.

Tableau 37 : Liste des nappes phréatiques du BV du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte vulnérables à la salinisation par intrusion d'eau salée (DGRE, 2015).

Nappe	Code DGRE	Ressources Mm3/an
Bizerte Sud (Menzel Bourguiba)	13130	2
Mateur-Ras El Ain	13510	8
Ras Jebel	12310	8,44
Guenniche	13120	7,5

Classe de perméabilité des aquifères

Un indice de perméabilité de 1 à 5 a été affecté à chaque entité hydrogéologique.

Une cartographie vectorielle a été adoptée en tenant compte de la lithologie des formations géologiques aquifères. Cette cartographie est basée sur la lithologie portée sur la carte géologique de la Tunisie (carte géologique 1/500000). Selon le degré de perméabilité, on distingue : alluvions anciennes, sable (dunes côtières) grès, calcaires, marnes, et argiles.

Cette différenciation est indispensable pour juger de la vulnérabilité d'un aquifère, sachant que l'eau est infiltrée et la circulation est rapide dans les alluvions et les sables, alors que l'eau ne s'infiltré pas et la circulation de l'eau est très lente (presque nulle) dans les séries argileuses.

Pour chacun de ces milieux, cinq classes de perméabilité ont été considérées : (1) imperméable, (2) très peu perméable, (3) peu perméable, (4) perméable et (5) très perméable.

Tableau 38 : Quantification du critère classe de perméabilité

Lithologie	Perméabilité	Note attribuée
Alluvions	Très perméable	5
Sable	Perméable	4
Calcaire	Peu perméable	3
Marne	Très peu perméable	2
Argile	Imperméable	1

Cartographie des risques de salinisation des aquifères

La carte de risque est obtenue par la multiplication de la carte de submersion marine par la carte de vulnérabilité qui prend en compte l'extension des aquifères, leur perméabilité, la carte des pentes et la nature lithologique des aquifères.

La carte ci-dessous obtenue montre que dans l'ensemble, les nappes côtières et celles avoisinant le complexe lagunaire Ichkeul Bizerte, sont moyennement (Oued Ben Hassine) à fortement vulnérables (Mateur Ras El Ain, Bizerte-M. Bourguiba, Guenniche, Oued El Graa) à la submersion marine et donc à la salinisation sur une longue période.

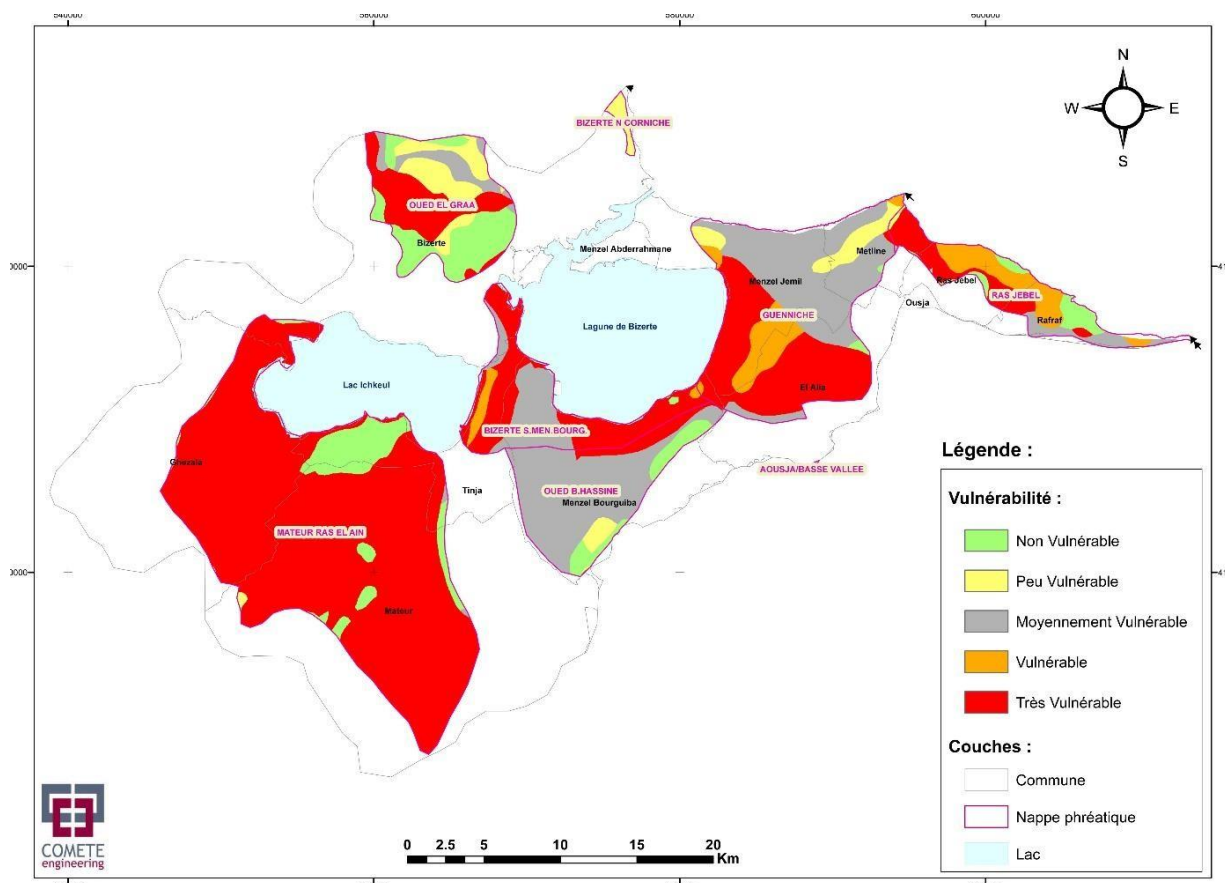


Figure 30 : Carte de risque de la salinisation des eaux souterraines dans le bassin versant du complexe lagunaire Ichkeul-Bizerte

Identification et analyse des enjeux

L'enjeu principal est la non-disponibilité des eaux en quantité et qualité insuffisantes pour répondre aux besoins en eau de tous les usagers.

La salinisation des eaux des aquifères côtiers, due à une remontée d'eau salée ou à la forte exploitation, est un problème pour la consommation humaine, mais aussi un problème socio-économique et écologique.

Le changement climatique peut affecter les aquifères littoraux en modifiant le niveau marin ainsi que la distribution spatio-temporelle des précipitations efficaces constituant la recharge des aquifères. Les impacts potentiels sur les ressources en eau souterraine des aquifères côtiers peuvent être :

- Une modification de l'équilibre hydrodynamique entre l'aquifère et la mer, qui se manifeste par un inversement de gradient hydraulique de la mer vers l'aquifère et par la suite par une migration de l'interface eau douce – eau salée dans l'aquifère due à une remontée du niveau marin ;
- Une inondation des zones basses (par rapport au niveau de la mer) par de l'eau de mer et infiltration de l'eau de mer dans les aquifères libres.
- Une diminution de volume d'eau de la recharge naturelle des aquifères due à une variabilité spatio-temporelle des précipitations et de l'évapotranspiration ainsi que de la diminution de surface de terre submergée par les eaux de mer.

Il est attendu que l'EANM entrainera une baisse de ressources renouvelables des aquifères, mais aussi la dégradation de la qualité chimique de ces réserves par la salinisation, d'où **la non-disponibilité des eaux en quantité et qualité insuffisantes pour répondre aux besoins en eau par les usagers.**

Enfin, il faut bien rappeler que cette salinisation des aquifères peut être durement aggravé par la pollution multi-sources qui est le principal mobile du projet Dépollution de la Lagune de Bizerte.

6.3.9 Recommandations

Rationalisation de l'usage de l'eau avec la bonne gouvernance de ressources souterraines

Les études s'accordent à dire que la gestion des aquifères côtiers s'appuie sur une bonne connaissance de la ressource en termes de comportement hydrodynamique, de recharge ou de renouvellement et de vulnérabilité à l'intrusion marine. Sur cette base de compréhension entre potentiel et vulnérabilité, les politiques de gestion durable avec la bonne gouvernance doivent être menées.

Cette prise en compte de cette vulnérabilité des aquifères, ressource vitale, est essentielle pour maximiser l'exploitation de la ressource, maintenir la qualité des eaux, et permettre le développement économique, agricole et humain. Les aléas introduits par les CC échappent pour l'instant à tout contrôle, à la gestion durable et à la bonne gouvernance des aquifères côtiers qui nécessitent un nombre des techniques :

- L'optimisation et rationalisation des prélèvements ;
- Une nécessaire rationalisation et réduction de l'usage agricole de l'eau ;
- La modernisation des techniques d'irrigation ;
- La tarification de l'eau ;
- La diversification des prélèvements par l'utilisation des eaux non conventionnelle
- La mise en œuvre de technique de remédiation (restructuration des prélèvements, etc.) ou de limitation (déploiement d'infrastructures spécifiques, etc.) ;
- D'acquérir une bonne connaissance et compréhension du fonctionnement de l'aquifère ;
- De mettre en place un système de suivi adéquat et un système d'alerte précoce ;
- D'encourager la population et les autorités à adopter une utilisation durable de la ressource ;
- De mettre en place une institution de gestion de l'eau possédant les outils et les ressources adéquats pour réaliser le travail ;

Favoriser la recharge artificielle des aquifères face à l'intrusion marine

La recharge artificielle des aquifères côtiers, particulièrement ceux surexploités, peut offrir un moyen efficace de lutter contre l'intrusion marine et donc d'empêcher la dégradation de la qualité de l'eau. A titre d'exemple, la nappe de Téboulba a connu une forte exploitation provoquant la formation d'un cône de dépression piézométrique qui a pu atteindre une profondeur de 15 m par rapport au niveau de la mer et s'est

étalée sur 12Km en 1940 (Bouri et Ben Dhia, 2010). La nappe a subi une intrusion d'eau salée ayant deux origines : intrusion marine du côté NNE et intrusion des eaux saumâtres de la Sebkha Moknine du côté S-SW (Kouzana, 2010 ; Bouri et Ben Dhia, 2010).

Le projet de recharge de la nappe phréatique du remplissage du Plio-Quaternaire de Ras Jebel est considéré parmi les projets les plus efficaces qui s'opposent à l'intrusion marine. L'analyse des opérations de recharge de la nappe effectuées dans la région de Ras Jbel durant la période de 1992 jusqu'à nos jours a montré une remontée piézométrique et une amélioration de la qualité chimique des eaux au voisinage des sites de recharge. La salinité dans la zone côtière de Béni Ata a passé de 5,46g/l en 1992 à 3,22g/l en 2013 (Lachaal, 2018). La recharge de la nappe a formé une barrière hydraulique contre l'intrusion marine. Néanmoins, la quantité injectée est très faible par rapport au déficit hydrique total de la nappe.

Augmentation des ressources en eau non conventionnelle : dessalement et développement des technologies de réutilisation des Eaux Usées Traitées (EUT)

La diminution du coût du dessalement et le développement des technologies de réutilisation des Eaux Usées Traitées (EUT) permettra de trouver une solution pour continuer à approvisionner les surfaces irriguées équipées, avant qu'on ait besoin de limiter l'usage agricole. Ces nouvelles techniques et les nouvelles réserves d'eau qui peuvent être mobilisées, peuvent soulager la forte demande de ressources souterraines (Lachaal, 2018).

Enfin les techniques de dessalement y compris de l'eau de mer peuvent constituer un moyen de lutter contre la pauvreté en eau, surtout lorsque les projets de dessalement sont couplés avec d'autres, réservés à la production d'ENR.

6.4 Risques occasionnés aux infrastructures, équipements et activités socioéconomiques

Le changement du climat modifie le cadre de vie. La concentration de chaleur dans les villes s'accroît, les événements extrêmes se multiplient, menaçant de plus en plus les constructions et les infrastructures. Les conflits liés aux ressources naturelles s'aggravent.

L'aménagement du territoire doit proposer des solutions surtout là où les conséquences des CC peuvent exercer une influence directe sur l'utilisation et le développement du territoire. Les défis qui se posent diffèrent selon les territoires.

6.4.1 Principales activités socioéconomiques présentes aux alentours et en rapport avec le complexe lagunaire de Bizerte

La zone bordière de la Lagune de Bizerte regroupe 328 619 habitants dont plus de la moitié (56%) relèvent de la commune de Bizerte. Cette zone accapare la part la plus élevée de la population du gouvernorat (55%), ce qui laisse conclure que le lac occupe une place socioéconomique considérable créant à ses environs une dynamique

économique et sociale fort importante basée essentiellement sur l'industrie, les services, le commerce, l'agriculture et la pêche.

En plus des deux secteurs phares de la région : l'industrie et l'agriculture dont la plus-value est importante, l'économie régionale est soutenue par le dynamisme d'un secteur tertiaire entraîné notamment par une activité touristique. Des unités d'industrie lourde basées sur le raffinage du pétrole, la sidérurgie et la production de ciment ont un potentiel d'emploi considérable. La pêche lagunaire est répandue dans la zone, notamment à Menzel Abderrahmen, en plus de la conchyliculture avec une production variable.

Agriculture

À la suite de la promulgation du nouveau Code des collectivités locales en 2018, le périmètre communal des villes de la zone a intégré plusieurs zones agricoles ce qui a engendré une extension de sa surface. Une grande partie du périmètre est actuellement à vocation agricole, répartie en périmètre irrigué et en zones de sauvegarde réparties comme suit : terrains agricoles immenses et fertiles, terres labourables, périmètres irrigués et zone de sauvegarde de l'Ichkeul. L'espace agricole par une production agricole végétale variée : fourrage, céréaliculture, maraichage, une riche production animale, de viande rouge du lait et produits laitiers.

La région de Bizerte est l'une des régions agricoles les plus fertiles de la Tunisie, grâce notamment à l'existence d'un potentiel hydrique important (une pluviométrie annuelle dépassant les 600mm et des réserves hydriques de surface de l'ordre de 560 Mm³).

La production agricole régionale enregistrée en 2016 a assuré 47% de la production nationale d'artichauts, 24% de la production nationale des légumineuses, 14% de la production nationale de céréaliculture, 13% de la production nationale de fourrages et de pommes de terre et 11% de la production nationale de lait et de viandes rouges.

Industrie

La zone se distingue d'un tissu d'industries manufacturières développé et diversifié dont une partie importante est destinée à l'export. Les principales industries manufacturières y implantées sont les suivantes : textile et confection-cuir, chaussures et accessoires-mécanique, électrique et électronique-plaques et accessoires, métallurgique, hydrocarbures, ciment, etc. On y remarque aussi l'émergence de l'industrie agroalimentaire, en l'occurrence à la ville de Menzel Jemil qui compte, en 2019, cinq (05) entreprises opérant dans ce sous-secteur (03 entreprises en 2018).

Tourisme

La zone d'étude dispose d'un potentiel touristique assez varié, où les produits culturels, artisanaux, écologiques etc... se complètent et se croisent pour offrir aux visiteurs un tourisme diversifié qui les attache à la région.

Le secteur du tourisme aux alentours du complexe lagunaire de Bizerte, bien que de dimension encore limitée, constitue un des piliers de l'économie régionale. Il contribue, pour une grande part, à la dynamisation de l'activité socioéconomique principalement

par le nombre d'emplois directs et indirects qu'il crée et qui se situait autour de 15 000 emplois (avant la pandémie Covid 19). Les recettes touristiques peuvent atteindre 20 millions de dinars par an².

La zone a donc une vocation touristique incontestée, capable d'accueillir un grand nombre de visiteurs férus de découverte, de loisirs et de contacts humains. Ses spécificités particulières, parfois uniques, ajoutées à ses potentialités culturelles, patrimoniales et écologiques renforcent l'attractivité de ce gouvernorat nécessairement voué dans les prochaines années, à un meilleur développement touristique multiforme harmonieux et équilibré.

Pêche

Celle-ci se traduit par la présence d'un port de pêche à Menzel Abderrahmen avec un potentiel annuel estimé à 150 t, le plus faible du gouvernorat de Bizerte, malgré que le nombre de bateaux de pêche actifs dans le lac représente 13% du total du gouvernorat.

La pêche lagunaire représente 4% de la production régionale par rapport aux autres types de pêche, suivant une tendance baissière durant les dernières années.

Conchyliculture

La capacité de production des fermes reste faible par rapport à la productivité optimale. L'évolution de la production annuelle durant les dernières années a montré des fluctuations importantes dues essentiellement à la présence de biotoxines dans le milieu d'élevage³. Onze (11) fermes conchylicoles existent dans la Lagune dont la technique la plus utilisée est celle des « Cordes ».

6.4.2 Prémices des impacts des changements climatiques dans le domaine urbain

Plusieurs événements climatiques peuvent constituer les prémices des effets des CC sur l'habitat, les infrastructures, les équipements socio-collectifs et même sur la qualité de vie et la santé humaine.

Risques liés à l'élévation de température

On entend par les vagues de chaleur l'augmentation des températures estivales et la fréquence des épisodes de canicule. En ville, ce phénomène, est généré par le métabolisme urbain et les activités humaines, qui se traduisent par le phénomène de l'îlot de chaleur urbain. La formation de l'ozone sera favorisée par les températures estivales ; de plus, les rejets de chaleur et la vapeur d'eau (humidité de l'air) liés aux différents systèmes de climatisation devraient eux aussi s'accroître.

Accroissement de la fréquence d'événements extrêmes

Le risque d'inondation et de crues urbaines devrait s'amplifier avec l'augmentation des précipitations et des phénomènes d'orages violents, avec des ruissèlements continentaux considérables conjugués avec l'EANM exposent les territoires littoraux aux inondations et à la submersion parfois catastrophique. Ce risque intervient dans un contexte d'ouvrages de protection anciens ce qui implique des plans de

réaménagement.

Risques occasionnés aux infrastructures urbaines

Les inondations dues aux précipitations devraient se multiplier sous l'effet de la hausse des températures, avec une succession de périodes pluriannuelles sèches et d'autres pluvieuses. Le risque de pluies diluviennes augmente, engendrant parfois des catastrophes (Nabeul 26 septembre 2018 par exemple). Des hivers plus humides, des pluies plus fréquentes, mais sur des périodes très courtes, sont également attendus.

Effets de la sécheresse sur le cadre bâti :

La multiplication des épisodes de sécheresse pourrait avoir des répercussions principalement sur les bâtiments présentant des fondations insuffisantes (notamment des maisons individuelles) via des effets sur les comportements géotechniques des sols.

Le changement climatique affecte le bâtiment à double titre :

- Les étés plus chauds et les hivers plus doux modifient les consommations énergétiques des habitants (avec plus de climatisation et moins de chauffage par exemple) ;
- La multiplication des phénomènes extrêmes (canicules, inondations, épisodes de froid) qui impactent les bâtiments et donc les conditions de confort des habitants, voire leur sécurité et leur santé.

Les canicules plus fréquentes ces dernières années par exemple mettent le confort thermique à rude épreuve. Dans certains bâtiments, les occupants ont de grandes difficultés pour rafraîchir leur logement et subissent des températures qui demeurent très élevées même la nuit, avec des conséquences sur leur santé. Ainsi, ils se préoccupent de plus en plus de ces questions et souhaitent vivre dans des logements leur permettant de ne pas subir ces nuisances.

6.4.3 Risques liés à la vulnérabilité des activités socioéconomiques face aux CC

En vue d'analyser de la situation des effets sur le complexe lagunaire et son bassin versant, il a été procédé à :

- La synthèse des principales activités socioéconomiques y présentes ;
- L'exploration des prémices et problématiques et risques liés aux CC susceptibles de toucher les activités socioéconomiques de la zone ;
- L'identification des avis et préoccupations des acteurs locaux par rapport à des changements potentiels constatés sur les activités socioéconomiques et qui peuvent être en relation avec le changement du climat.
- L'analyse de la vulnérabilité des activités socioéconomiques.

Risques liés à la vulnérabilité des activités socioéconomiques face aux CC

L'identification et l'évaluation locale des risques et des vulnérabilités aux CC fait l'objet de plusieurs secteurs abordés dans les chapitres précédents. Elle vise à obtenir une vue complète des risques actuels et futurs affectant le milieu socioéconomique ainsi que

d'autres facteurs de stress, résultant des effets attendus du changement du climat. Elle détermine les axes de travail prioritaires pour l'adaptation aux CC dans la zone. C'est le point de départ pour sélectionner et mettre en œuvre les moyens efficaces pour la mitigation des impacts et pour l'adoption des mesures correctives susceptibles de limiter les impacts sur la population et sur les activités socioéconomiques.

En plus des données de littérature et de la documentation technique disponible, il a été procédé dans le cadre de cette étude à la réalisation d'enquêtes sur terrain auprès des parties affectées et intéressées (Administration) pour compléter et croiser les données, afin de parfaire l'analyse de données sur les risques et effets des CC constatés durant les dernières décennies et attendus dans la zone sur une période prolongée.

Les risques climatiques identifiés de niveau élevé sont : précipitations extrêmes, inondations, élévation du niveau de la mer, sécheresse, et feux de forêts. Ces risques sont en augmentation, avec une augmentation prévue de fréquence et d'intensité (gravité). D'autres risques de niveau modéré sont aussi considérés comme les aléas climatiques pertinents pour les communes concernées, en l'occurrence la chaleur extrême (canicule) et les tempêtes.

Identification des avis et préoccupations des acteurs locaux par rapport aux effets des CC

Pour ce faire, une enquête de terrain a été effectuée avec les principaux acteurs locaux et communautaires relevant des communes limitrophes de la zone. Le recueil de la réunion à la commune de Menzel Jemil, a été consigné dans le rapport antécédent. Nous présentons ici les principales notes recueillies (en rapport avec l'objet de l'étude) au cours des dites réunions dans les autres communes :

Cette enquête de terrain, sous formes de réunions et entretiens de groupe, a été menée selon la technique d'échantillonnage dite « technique d'échantillonnage raisonné » où la population cible choisie est celle qu'on sait à l'avance qu'elle détienne potentiellement de l'information, notamment les associations actives dans les domaines liés au sujet de la mission, les organismes professionnels (URAP, syndicat des agriculteurs et pêcheurs, les représentants du grand public (les maires...), et des personnes ressources (pêcheurs, conchyliculteurs, et autres). Les parties enquêtées sont sélectionnées en coordination avec les responsables communaux de chaque ville concernée. La liste nominative des personnes entretenues/enquêtées sont mentionnées dans l'annexe de ce rapport.

L'enquête a eu pour objet de collecter les données et informations sur les thématiques suivantes :

Thème 1 : Activités socioéconomiques saillantes de la ville

- Principales activités économiques caractérisant la ville
- Activités économiques en rapport avec le complexe lagunaire de Bizerte
- Activités récréatives en rapport avec le complexe lagunaire de Bizerte (nation, camping, pêche...)

- Autre place qu'occupe le complexe lagunaire de Bizerte dans la vie socioéconomique, culturelle...de la population locale

Thème 2 : Effets constatés et attendus du changement climatique

- Activités en rapport avec le complexe lagunaire de Bizerte qui ont été perturbées/modifiées au fil des années
- Effets constatés des changements climatiques en rapport avec le complexe lagunaire de Bizerte (tels que sur l'activité de pêche, conchyliculture, autres...)

Thème 3 : Recommandations et autres

Ainsi, un guide d'animation des entretiens et réunions a été utilisé (Cf. Annexe 4).

Nous présentons ici les principales notes recueillies durant l'enquête du terrain par commune. Les notes recueillies lors de l'enquête du terrain de Menzel Jemil ont été consignées dans le rapport antécédent. Pour les autres communes.

Menzel Abderrahmen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le lac de Bizerte occupe une place socioéconomique importante et historique dans la vie socioéconomique locale ; c'est la source de revenu la plus importante. ▪ Extension importante du domaine urbain jusqu'en bordure de la lagune ▪ Baisse constatée du potentiel halieutique et d'aquaculture (conchyliculture) durant les 10 dernières années. ▪ Existence d'un projet de développement du réseau de traitement des rejets d'eaux usées actuellement déversés dans la lagune. ▪ La pollution industrielle est la principale source de changement constatée au niveau local. ▪ L'activité de pêche est importante (plus de 2000 pêcheurs, y compris pêche de loisir). ▪ Avancée de la mer vers l'intérieur de la ville remarquée depuis 15 ans. ▪ La conchyliculture est récemment développée à M. Abderrahmen (zone propice à exercer cette activité) ; 15 firmes installées à M. Abderrahmen. ▪ Repli des activités agricoles en faveur des activités d'aquaculture. ▪ La propagation de pêche de loisir sur autorisation. ▪ Absence d'infrastructure dédiée à l'évacuation des eaux pluviales, et interconnexion entre réseau ONAS et réseau d'évacuation des eaux pluviales. ▪ Activité agricole très peu développée, dominée par la pêche et l'industrie. ▪ Activité écotouristique et récréative en lien avec le complexe lagunaire, en progression durant les dernières années (existence de circuits de visite, club de Kayak,...) ▪ Le PAU de la ville est en cours de mise à jour (en étape de sélection du BE) ; la question de l'évolution de la situation de la lagune sous les effets des CC a été prise en considération.
Ville de Bizerte
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recrudescence des espèces invasives constatées. ▪ La Palourde est en déclin durant les dernières années ; en général des espèces sont disparues, d'autres sont en baisse de stock et/ou de qualité. ▪ Existence de projets et actions pour la protection de la lagune, notamment en termes de sensibilisation des pêcheurs... ▪ Risque de sur-classement des nouvelles espèces aux dépens des espèces historiques propres à la lagune. ▪ Baisse de potentiel de production des moules depuis presque 10 ans. ▪ Mai 2015 et Août 201 : plusieurs mortalités surprenantes des moules (canicule ?).

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effet néfaste de rejets des eaux usées domestiques et surtout industrielles. ▪ Baisse de potentiel halieutique. ▪ Pression anthropique (ONAS, déchets ménagers...) ▪ Remarques générales : <ul style="list-style-type: none"> ○ Conscience des acteurs locaux de la place de la Lagune de Bizerte dans le développement socio-économique. ○ Existence d'actions et projets de protection de la Lagune de Bizerte. ○ Tissu associatif actif et disposant de compétences importantes. ○ PAU de la ville est en cours de révision, mais les effets des CC sont peu considérés.
Menzel Bourguiba
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La plus longue portion de côte lagunaire est située dans la commune de Menzel Bourguiba. ▪ Erosion accentuée allant jusqu'à 50 m dans certaines zones, notamment à Jouaouda (SE). ▪ Lagune encombrée par les superficies allouée à la conchyliculture. ▪ Menace des zones archéologiques (zone M. Bourguiba-El Fouladh-Jouaouda plus à l'Est) ▪ Erosion des terres agricoles. ▪ Déficit de l'apport hydrique continental au Lac Ichkeul, d'où sa marinisation. ▪ Nombre de jours de transfert d'eau douce du Lac Ichkeul à la lagune a diminué. ▪ Potentiel aquacole en diminution. ▪ Extension de l'armature urbaine menace l'activité de pêche au sein du lac. ▪ Risque important des rejets des eaux usées (domestiques et surtout industrielles). ▪ Potentiel aquacole en baisse importante (remarqué depuis presque 10 ans, accentuée depuis 2020. ▪ Pas d'investissements conséquents dans la protection de la Lagune de Bizerte. ▪ Actuellement (2022), 68 à 72 barques de pêche relèvent de la commune de Menzel Bourguiba/ ▪ Pression anthropique importante. ▪ Pêche illicite importante. ▪ PAU approuvé en 2018 qui prend en considération les changements que pourraient subir le complexe lagunaire de Bizerte par les effets du climat.
Tinja
<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'activité de pêche est moins importante en comparaison avec les autres villes entourant la lagune ; 39 pêcheurs à Tinja dont 50% confirmés. ▪ Pêche illicite existante mais peu menaçante. ▪ Baisse enregistrée au niveau du potentiel halieutique, et ce, depuis presque 15 ans. ▪ Pas d'activité aquacole à Tinja. ▪ Pêche de loisir en développement. ▪ Activité de loisir aux alentours de la Lagune (en saison estivale) pratiquée dans la zone mais peu développée. ▪ Constatation de l'avancée du niveau de la mer. ▪ Révision du PAU prenant en compte les changements potentiels prévus au niveau du complexe lagunaire, sous les effets du climat. ▪ Dynamique socioéconomique étroitement liée à celle de la commune de Menzel Bourguiba.



Hôtel de Ville, Menzel Bourguiba



Réunion à la commune de Bizerte



Forte présence de représentants de la SC



Réunion à la Commune de M. Abderrahmen.



Réunion à la Commune Menzel Bourguiba



Réunion à la Commune de Tinja

Figure 31 : Illustration des réunions avec les parties affectées et intéressées par le projet "Dépollution de la Lagune de Bizerte"

6.4.4 Analyse de la vulnérabilité des activités socioéconomiques

Cette thématique a été largement abordée dans les autres chapitres du rapport. Seuls sont rappelés en bref la vulnérabilité des activités sectorielles et les enjeux constatés ces dernières décennies qui peuvent être liés aux effets des changements climatiques aggravés par la pollution de la Lagune de Bizerte.

Le contenu du tableau suivant reflète les constats et les projections à un horizon temps prolongé. Il traduit aussi les informations recueillies lors d'entretiens avec les parties affectées et/intéressées par le projet

Tableau 39 : Principales vulnérabilités conduisant à des enjeux considérables en lien avec les changements climatiques

Industrie	Agriculture	Pêche et aquaculture	Services-commerces	Artisanat	Patrimoine	Tourisme	Santé humaine
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inondations répétées : <ul style="list-style-type: none"> - Affectent les locaux ; - Causent des dommages aux dépôts de stockage et perte de marchandises. ▪ Pertes économiques <ul style="list-style-type: none"> - Retard de livraisons et pénalité de retard ; - Arrêt temporaire de l'activité ; - Départ des investisseurs et chômage en résultant. ▪ Canicules liées aux CC causant : <ul style="list-style-type: none"> - L'augmentation de l'utilisation des climatiseurs, d'où une surconsommation d'énergie ; - L'augmentation des coûts et donc un manque de rentabilité économique ; - La diminution du rendement pendant ces périodes. 	<p>Les inondations et la sécheresse répétées ont plusieurs conséquences :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Perte de la récolte ; ▪ Apparition de certaines maladies ; ▪ Prolifération de certains insectes et moustiques vecteurs de maladies ; ▪ Pertes économiques ; ▪ Faillite des agriculteurs, chômage et augmentation de l'exode rural impulsés par des conditions de vie affectées par les facteurs climatiques ; ▪ Perte de la fertilité des terres ; ▪ Arrêts temporaires des activités (agriculture, pêche, etc.). ▪ Perte d'emplois ; ▪ Erosion des sols et des moyens de survie. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baisse de la production de la pêche ; ▪ Perturbation de l'aquaculture (conchyliculture) ; ▪ Pertes économiques ; ▪ Diminution de la rentabilité des équipements marins ; ▪ Arrêt temporaire de l'activité ; ▪ Augmentation du taux de chômage. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrêt temporaire du travail répété ; ▪ Endommagement des marchandises (inondations des caves et des sous-sols et même des magasins dont le seuil n'est pas suffisamment protégé ; ▪ Augmentation de l'utilisation de l'énergie (chauffage et conditionnement d'air) ; ▪ Diminution de la rentabilité des activités ; ▪ En conséquence, c'est l'insatisfaction des clients. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'arrêt temporaire du travail ▪ Une augmentation de l'utilisation de l'énergie (chauffage et climatiseurs) ▪ Diminution de la rentabilité ▪ Augmentation du taux de chômeurs ▪ Insatisfaction des clients ▪ Perte du savoir-faire ▪ Disparition de certains petits métiers 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patrimoine historique et archéologique menacé par la submersion marine notamment la Menace des zones archéologiques de zone M. Bourguiba-Jouaouda plus à l'Est ▪ Retour négatif sur les activités culturelles, éducatives et touristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution du nombre de nuitées ; ▪ Pertes économiques ; ▪ Augmentation des coûts (due à l'augmentation de la consommation en énergie de la climatisation...) et donc manque de rentabilité économique ; ▪ Départ des investisseurs, manque à gagner et chômage grave en résultant. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apparition de maladies virales ; ▪ Augmentation de la fréquence des maladies respiratoires : l'élévation de la température accroît le volume d'ozone dans l'air et précipite le démarrage de la saison pollinique et des maladies infectieuses transmises par des vecteurs divers ; ▪ Augmentation de la mortalité chez les personnes âgées ou souffrantes de maladies cardio-vasculaires et/ou respiratoires ; ▪ Apparition des maladies hydriques dues à l'excès ou à la rareté de l'eau en milieu rural.

6.4.4.1 Risque de submersion des zones urbaines

En se basant sur l'analyse de la carte de submersion marine attendue dans la zone d'étude, à l'horizon 2100 établie dans le cadre de cette étude, deux phénomènes totalement distincts peuvent être relevés, nous les présenterons au niveau de la lagune de Bizerte ainsi qu'au niveau du lac Ichkeul.

Lagune de Bizerte

La densité urbaine aux alentours de la Lagune de Bizerte est importante, essentiellement occupée par les agglomérations de Menzel Abderrahmen, Menzel Jemil et Menzel Bourguiba caractérisées par des réseaux de servitudes assez denses. Ces villes qui se sont développées spontanément et aux dépens des terrains naturels, sont fortement vulnérables à la submersion. On note ici l'éternel problème d'étalement urbain des villes mères, par voie d'extension de l'agglomération de Bizerte au fil du temps.

Bizerte se présente comme un espace urbain à la fois étendu et polarisé. La Commune centre continue d'attirer plus de la moitié de la charge démographique et la majeure partie des activités et des fonctions urbaines de la zone, et ce malgré la périurbanisation active depuis le début des années 1980. Cette périurbanisation dont les acteurs sont principalement les ménages, accessoirement les entreprises et l'obligation de créer de nouveaux centres d'activités économiques pourvoyeurs d'emploi, a largement contribué à cet étalement excessif de l'agglomération sans être guidé par des plans d'urbanisme adéquats qui doivent intégrer les prévisions au long terme sur les données démographiques, sociales, et de développement économique sectoriel.

La ville de Bizerte a été touchée par de nombreuses contraintes dont on cite, en premier lieu, les problèmes que les diverses générations de plans d'aménagement et de documents d'urbanisme n'ont pas pu résoudre. Ces problèmes sont engendrés par le dysfonctionnement urbain de la ville en rapport avec son arrière-pays, par l'inextricable morcellement de sa trame foncière et par l'attachement du Bizertin à son foncier. De tels facteurs, n'ont fait que catalyser les phénomènes d'étalement démesuré de la ville et la prolifération indésirable d'habitat spontané péri urbain.

Les deux figures suivantes montrent l'extension du tissu urbain autour de la Lagune de Bizerte et du Lac Ichkeul. Sur ces figures sont portées les limites des agglomérations et le degré du risque de gravité de la submersion marine par EANM à l'horizon 2100.

Autour de la Lagune, pratiquement tous les espaces d'agglomération sont vulnérables à très vulnérables à la submersion (Menzel Abderrahmen, Menzel Jemil, Menzel Bourguiba, Bizerte Ouest-Sidi Ahmed). En particulier, le domaine de sebkha longeant à l'Est la lagune entre est fortement vulnérable à cette submersion jusqu'aux limites de la RN5 et la zone industrielle située de part et d'autre de cette route.

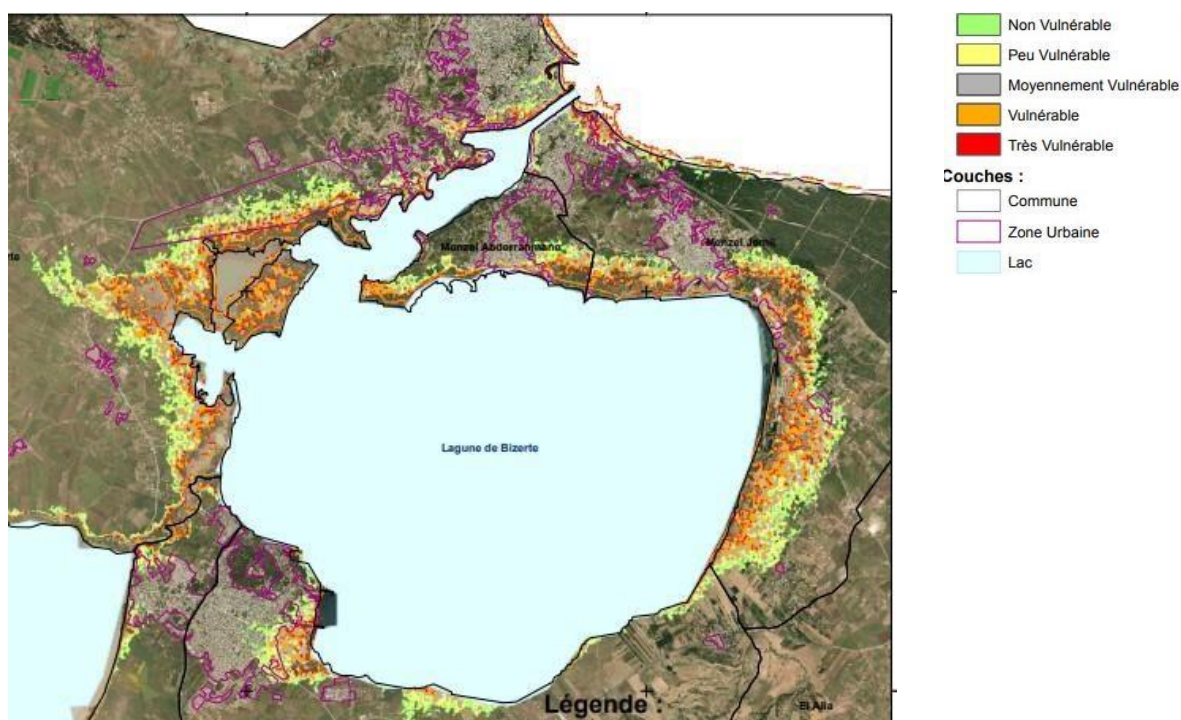


Figure 32 : Vulnérabilité à l'EANM de l'écosystème, des agglomérations, des infrastructures et des équipements autour de la Lagune de Bizerte

Lac d'Ichkeul

Contrairement à la concentration urbaine observée tout autour de la lagune de Bizerte, l'environnement du Lac d'Ichkeul est essentiellement naturel comprenant peu de concentration urbaine. La vulnérabilité des agglomérations à l'EANM est alors beaucoup moins intense. Il faut noter cependant l'extension potentielle de la submersion à l'horizon 2100 au Sud du lac qui couvrira tous les marécages, mais surtout le Secteur Banlieue de Mateur. Il s'agit de terrains salins hydromorphes de très basse altitude 0 à 2 m. Au cas où ces terrains seront gagnés par la mer, la zone marécageuse son biotope de moustiques vecteurs de maladies dont la dengue (*Aedes abopictus*, *A. aegypti*) et le chikungunya (virus transmis par les Arthropodes). On en retient que l'EANM dans la zone pourra accentuer le risque épidémiologique dans la zone jusqu'aux confins Nord de la Commune de Mateur (Ras El Aïn).

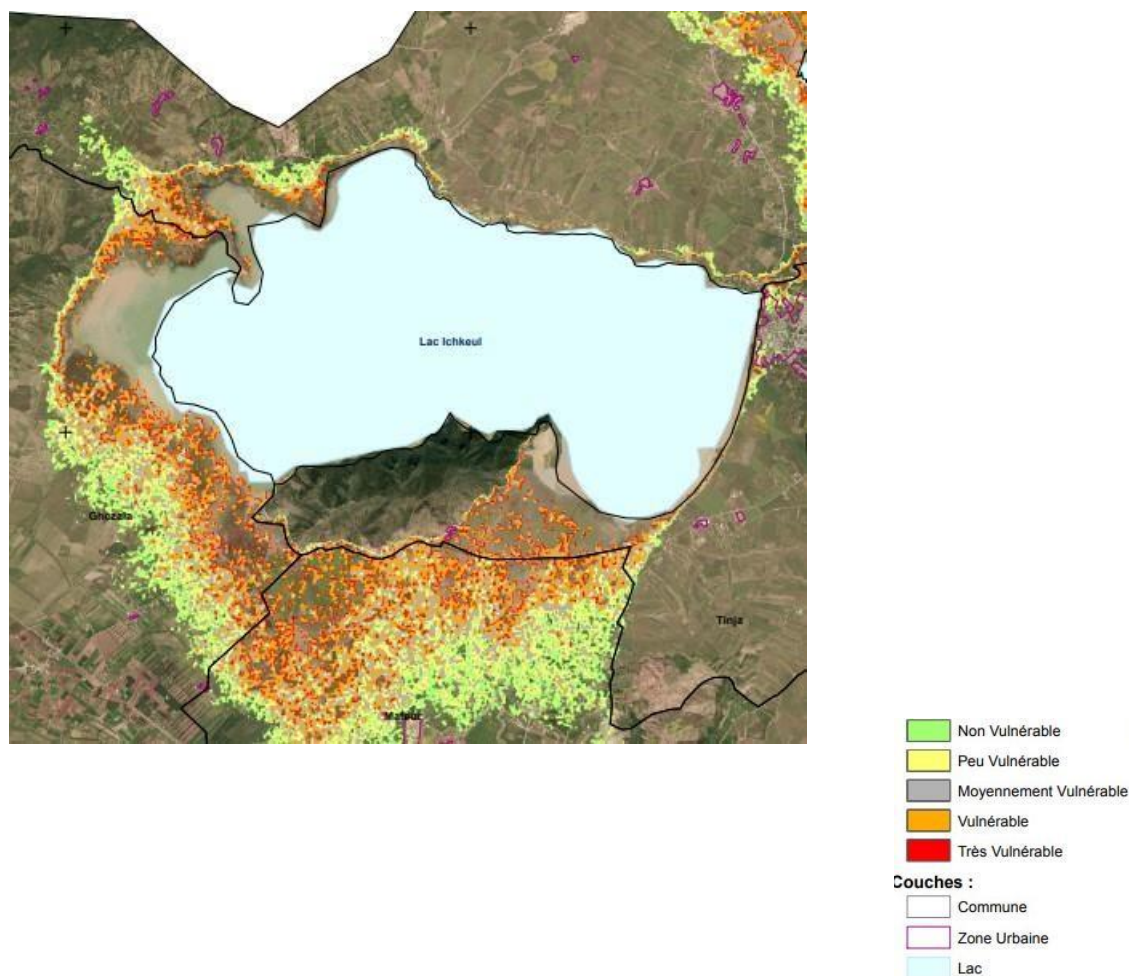


Figure 33 : Vulnérabilité à l'EANM de l'écosystème, des agglomérations, des infrastructures et des équipements autour de la Lac Ichkeul

6.4.4.2 Analyse de la vulnérabilité sur l'activité touristique et ses infrastructures

Les conséquences du changement climatique sur le tourisme devraient entraîner :

- Une modification des saisons les plus propices avec des étés devenus plus chauds et des intersaisons plus favorables ;
- Les changements environnementaux consécutifs aux CC pourraient avoir des effets marquants indirects sur le tourisme :
 - Pertes de biodiversité,
 - Baisse de la ressource en eau,
 - Perte de valeur esthétique des paysages,
 - Changements dans les productions agricoles,
 - Élévation du niveau de la mer,
 - Érosion du littoral et disparition des plages,
 - Risques naturels,
 - Impacts sanitaires
 - Le recul du trait de côte, aggravé par l'EANM avec la perte ou la dégradation des plages, constitue une menace pour les infrastructures touristiques (hôtels, marinas, golfs).

6.4.4.3 Elévation accélérée du niveau de la mer et son impact sur les réseaux d'infrastructures

Les conséquences de l'EANM prévue continue, si elles se réalisent, seront graves sur la biodiversité.

Les retombées de l'élévation du niveau de la mer se traduisent :

- Par des pertes de centaines d'hectares de terres basses pour cause d'inondation,
- Par la submersion d'infrastructures, de réseaux et d'installations industrielles sur la côte,
- Les infrastructures d'évacuation d'eau pluviale et d'assainissement sont sujettes à des retours d'eaux marines dans les conduits.
- Dans la zone l'EANM sera sûrement menaçante pour les équipements et les infrastructures industrielles (zone industrielle Menzel Jemil, zone industrielle au Nord de Mateur dans le secteur Banlieue de Mateur), mais aussi les infrastructures routières. Ainsi, la route d'accès au Jebel Ichkeul (entrée du Parc) sera totalement submergée ce qui conduira à l'isolement de toute une agglomération qui est née spontanément sur ce relief après qu'il soit déclaré Zone de Sauvegarde (Parc National de l'Ichkeul). Ceci démontre clairement la carence totale de contrôle et de suivi des plans d'aménagement urbain, et d'une stratégie claire d'urbanisation, du moins localement.

Activités anthropiques : urbanisation anarchique galopante

Le complexe lagunaire de Bizerte fait face aujourd'hui à de multiples pressions anthropiques et humaines qui fragilisent l'environnement naturel et accentuent la vulnérabilité de l'écosystème.

En effet, l'urbanisation se développe avec un rythme accéléré et d'une manière non maîtrisée surtout au Nord et au Sud de la lagune. Les activités polluantes et qui ont de forts impacts sur l'écosystème sont :

- La perte de centaines d'hectares de terres basses pour cause d'inondation, servant en partie pour l'habitat, et de submersion d'infrastructures, de réseaux et d'installations industrielles sur la côte.
- Les infrastructures d'évacuation d'eau pluviale et d'assainissement pourront être sujettes à des retours d'eaux marines dans les conduits.
- Les nappes phréatiques côtières sont menacées par la salinisation, et les conséquences sociales et économiques peuvent aussi être dramatiques
- Le domaine urbain peut subir des revers importants de l'EANM, par submersion ou par retour d'eau dans les canalisations de servitude.

Enfin ce qui aggrave l'impact des CC sur le territoire lagunaire de Bizerte, c'est qu'il est interdépendant avec une multitude d'autres facteurs parfois intensifs, qui sont liés à un comportement anthropique démesuré, dans l'impunité.

6.4.5 Recommandations

Il existe plusieurs solutions qui permettent de diminuer la vulnérabilité du changement climatique :



Restaurer la nature dans la ville

Le jardin prend une nouvelle dimension, contribuant fortement à la préservation de la biodiversité et au développement des écosystèmes. Dans la lutte contre les CCet cet espace pluriel doit occuper une place de choix aux différentes échelles de la ville, de la plus petite cellule familiale au territoire métropolitain. Il doit participer aujourd'hui à la fabrication collective du cadre de vie à travers l'essor des jardins partagés notamment.

L'eau est atout de régulation climatique

Quant aux plans d'eau, ils ne sont plus nécessairement considérés comme une menace ni un obstacle à l'aménagement urbain. La végétalisation concomitante de ces aménagements participe à la protection et à la régulation naturelle des sites exposés aux risques d'inondation. On observe aujourd'hui un nouvel attrait des villes pour leurs berges. Mais, cela implique de grand changement sur les processus conceptuels et programmatiques, sur les montages financiers, les formes urbaines, les innovations architecturales, paysagères et urbaines, les techniques et matériaux de construction, ou encore les usages et les modes d'habitat et d'occupation des sols. Pour arriver à contenir l'eau et ses potentiels effets délétères mais aussi tirer parti de ses avantages comme la régulation thermique, tous les acteurs doivent travailler ensemble et de manière concertée. Il s'agit en effet de définir la vulnérabilité d'un territoire à une échelle la plus proche possible des aménagements.

Les îlots de chaleur urbains

Les villes souffrent de plus en plus des îlots de chaleur urbains, notion peu connue du grand public. L'îlot de chaleur qui se caractérise par des hausses de températures parfois importantes dans le centre d'une ville par rapport à sa périphérie, amplifie les effets du réchauffement climatique en zone urbaine.

Ce phénomène est généralement provoqué par l'accumulation de plusieurs facteurs :

- Un urbanisme et une circulation automobile denses et des émissions de GES ;
- Une minéralisation excessive ;
- Un déficit de végétal (photosynthèse puits de CO₂) et d'eau dans les espaces publics.

L'îlot de chaleur demeure complexe à appréhender par les urbanistes et aménageurs, même si la sensibilisation au phénomène évolue. Des solutions proposées pour réduire les îlots de chaleur se développent.

Créer des rues vertes

Créer des rues vertes consiste à veiller à ce que les trottoirs soient plantés et ombragés. Les rues vertes est une condition préalable qui permet de réguler la température dans les zones urbaines. Il existe de multiples moyens qui peuvent être utilisés pour que les rues deviennent vertes telles que :

- Les rues bordées d'arbres : peuvent fournir de l'ombre ainsi que de la couleur et constituer un intérêt visuel.
- Plantation médiane : crée une impression d'échelle et adoucit les voies de circulation 2x2 plus grandes. L'intérêt saisonnier lié à la sélection des plantations crée un sentiment d'identité et une atmosphère, d'animation

Mis en œuvre correctement, les rues vertes créent identité, intérêt, variété visuelle, nuance et confort thermique, et même un sentiment de statut. De plus, les plantes filtrent l'air, purifient l'eau et constituent un habitat naturel pour les oiseaux et d'autres espèces sauvages.

L'architecture bioclimatique

L'adaptation du cadre bâti doit éviter autant que possible le recours à la climatisation active, qui a un impact négatif sur les consommations énergétiques, sur les émissions de gaz à effet de serre et sur le phénomène d'îlot de chaleur (rejets d'air réchauffé en milieu urbain à l'extérieur des bâtiments).

Un habitat bioclimatique est un habitat dans lequel le chauffage et la climatisation sont assurés en tirant le meilleur parti du rayonnement solaire, de l'inertie thermique des matériaux et du sol et de la circulation naturelle de l'air.

Cela passe par une meilleure mise en adéquation entre la construction du bâtiment, le mode de vie de ses occupants et le climat, pour réduire le plus possible les besoins de chauffer ou de climatiser :

- Protéger les bâtiments du soleil (murs et toitures végétales, matériaux réfléchissants, etc.) ;
- Orienter les locaux en fonction de leur usage, gérer l'environnement végétal du bâtiment
- Améliorer le traitement des ouvertures (volets, stores, vitrages adaptés à l'orientation et à l'ensoleillement, protections solaires, etc.) ;
- Utiliser l'inertie des murs et planchers (création d'un déphasage qui atténue les pics de chaleur) ;
- Lutter contre les apports de chaleur internes (éclairage, appareils domestiques, bureautique, etc.) ;
- Favoriser la ventilation (traversante, brasseurs d'air, etc.).

L'adaptation au réchauffement climatique signifie donc de rechercher des progrès pour le confort d'été, progrès qui pourraient se traduire par de nouvelles exigences

réglementaires, mais aussi par la levée de certains freins réglementaires ou normatifs.

Le confort d'été doit rester une préoccupation constante dès la conception. Toutes les dispositions doivent être prises pour ne pas transformer ce qui est efficace et agréable en hiver en une source majeure d'inconfort et d'insatisfaction en été.

6.4.6 Récapitulatif

La population de la zone d'étude vit désormais en zone urbaine à la convergence de l'urbanisation et des CC (Cf. annexe 2) qui menacent d'avoir un impact sans précédent sur les économies, la qualité de vie et la stabilité sociale dans la ville.

Néanmoins, cette menace apporte avec elle également un ensemble d'opportunités. La concentration des populations, des industries et des infrastructures mais aussi des activités sociales et culturelles, constitue un facteur propice à l'innovation. Néanmoins, avec cette concentration des mesures, des précautions sont à prendre pour accompagner cette agglomération.

Des mesures institutionnelle et politique doivent accompagner les villes pour répondre aux enjeux de l'urbanisation et ceux attendus des CC. Le besoin d'adaptation et de résilience nécessite l'engagement politique), des changements comportementaux et l'implication des citoyens. Il requiert aussi des réflexions portées par des ingénieurs capables de représenter la ville et ses infrastructures, au service des habitants de manière holistique, notamment par la mise en œuvre de stratégies adéquates avec un suivi et une évaluation régulière pour pallier les déficiences de l'action de développement socioéconomique.

6.5 Risques associés à la vulnérabilité de l'agriculture dans la zone d'étude

L'agriculture a été l'un des points clés abordés à la Conférence de Glasgow de 2021 sur les CC (COP26) dont les effets sont le plus souvent négatifs. Les irrégularités de pluviosité, les pénuries d'eau et donc le stress hydrique attendus à l'avenir créeront par voie de conséquence des contraintes de production.

Ces CC imposent un réexamen des moyens de stockage d'eau pour pallier l'alternance de périodes pluvieuses (voire torrentielles) et d'autres sèches fréquemment extrêmes. La hausse des températures moyennes et de l'évapotranspiration inter- et intra-saisonnières impacteront les systèmes de production. La fréquence et la gravité de la sécheresse et de l'inondation augmentera et engendrera des conséquences indésirables pour la production alimentaire et forestière, et donc pour la santé humaine et la sécurité alimentaire. Les aléas liés à ces CC auront un impact sur la phytosociologie, l'introduction d'espèces envahissantes, ennemies des cultures, mais aussi des vecteurs de maladies.

Pour l'évaluation des risques encourus par secteur de production agricole face aux CC, selon différents scénarios à l'international proposés, seront présentées les spatio-cartes de vulnérabilité de l'agriculture aux horizons 2050 et 2100. Voyant l'étendue de la zone d'étude autour de la Lagune de Bizerte, la cartographie considère une valeur uniforme sur toute la zone, d'une valeur unité. Pour la clarté des résultats, les cartes établies s'entendent représenter la gradation de la gravité du risque, mais aussi la gradation de la gravité de la vulnérabilité des composantes sectorielles agricoles recherchées, dont l'échelle de gravité est uniforme pour les trois facteurs (aléa, vulnérabilité et risque).

Indicateurs agro-climatiques des projections des CC sur la région

Selon les projections climatiques réalisées par INM (2018), IRD (2018) et AFD/MARHP (2021), les principaux indicateurs et enseignements agro-climatiques liés aux CC dans la région du complexe Lac Ichkeul- Lagune de Bizerte peuvent se résumer comme suit :

- *Une augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes et de leur intensité (pluies, températures, tornades, etc.) induisant une intensification de l'érosion ;*
- *Une augmentation de la salinité des eaux d'irrigation induisant des risques de salinisation des sols ;*
- *Un bilan hydrique fréquemment déficitaire, avec notamment :*
 - *Une diminution du bilan hydrique d'octobre à mai ;*
 - *Une rehausse de l'évapotranspiration potentielle d'octobre à mai ;*
 - *Une baisse de l'indice de répartition pluviométrique, défavorable au développement de la végétation ;*
 - *Une augmentation globale fréquente du nombre de jours entre les deux premières pluies journalières efficaces.*
- *Un stress thermique marqué avec :*
 - *Une augmentation du nombre de jours échaudant ;*
 - *Une hausse fréquente du nombre de jours de chaleur extrême ;*
 - *Une hausse des températures hivernales impactant les productions ;*
- *Une hausse des températures hivernales entraînant une baisse des rendements agricoles, avec notamment :*
 - *Une réduction de la longueur de la période de croissance végétative ;*
 - *Une avancée de la date de montaison et de maturation des céréales ; avancée des stades phénologiques augmentant le risque de destruction des cultures surtout en cas de gel printanier ;*
 - *Une diminution du nombre de jours de gel entraînant la propagation des ravageurs et nuisibles, et un retardement de la date de satisfaction des besoins en froid des espèces cultivées.*

6.5.1 Vulnérabilité des sols agricoles aux CC

Ces changements sont de nature à impacter les sols et par conséquent les systèmes de cultures, soit par érosion et perte de la zone arable, soit par leur salinisation en lien avec une élévation de la salinité des eaux de fertigation (évapotranspiration excessive sur les plans d'eau, salinisation des eaux de nappes par intrusion marine).

Dans l'ensemble, le taux de vulnérabilité des sols de la région d'étude à l'érosion hydrique, établie sur la base d'indices de vulnérabilité choisis, est estimé comme suit :

- Sols très vulnérables.....5%
- Sols vulnérables.....6%
- Sols moyennement vulnérables ..4%
- Sols peu vulnérables.....45%
- Sols non vulnérables.....40%

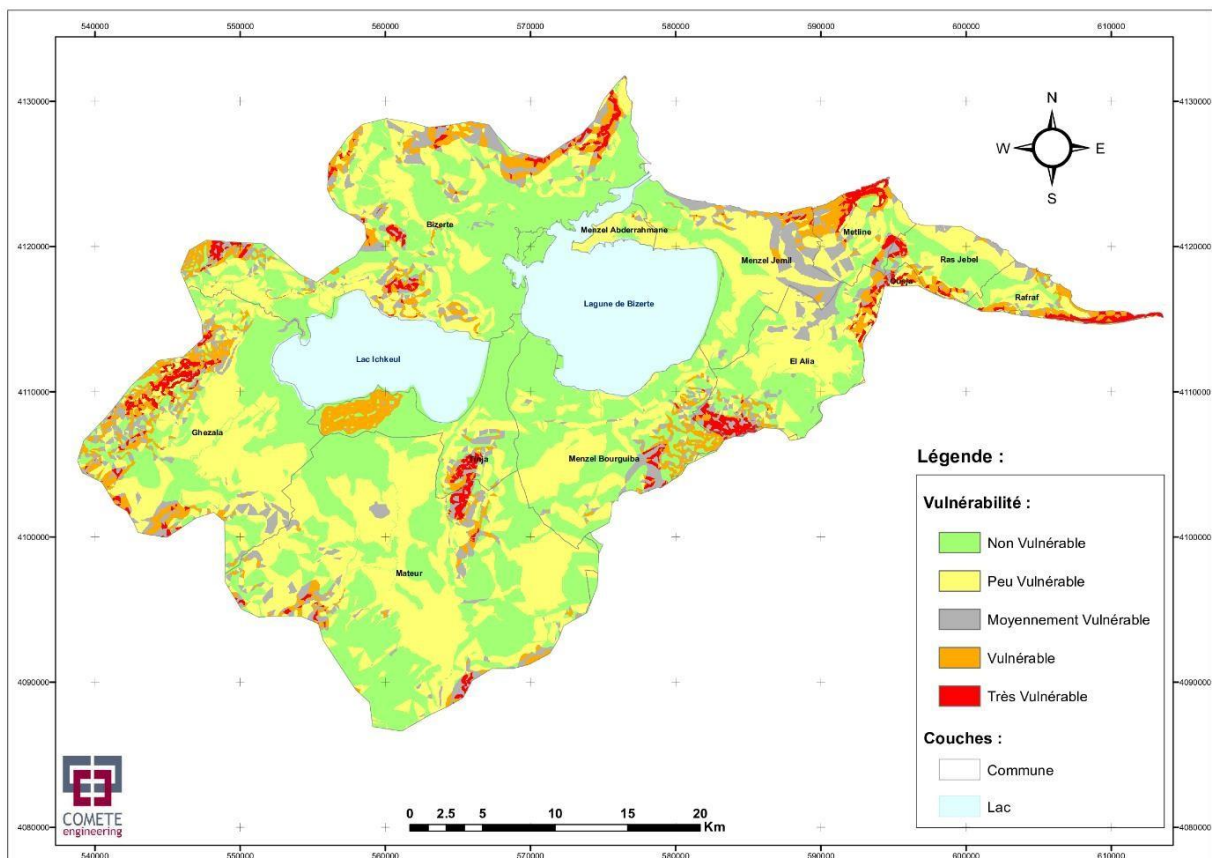


Figure 34 : Carte de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en situation de changements climatique

Au plan de la charge en sels, la vulnérabilité des sols à la salinisation liée à celle des eaux d'irrigation, est estimée comme suit :

- Sols très vulnérables.....2%
- Sols vulnérables.....8%
- Sols moyennement vulnérables 10%
- Sols peu vulnérables.....75%
- Sols non vulnérables.....5%

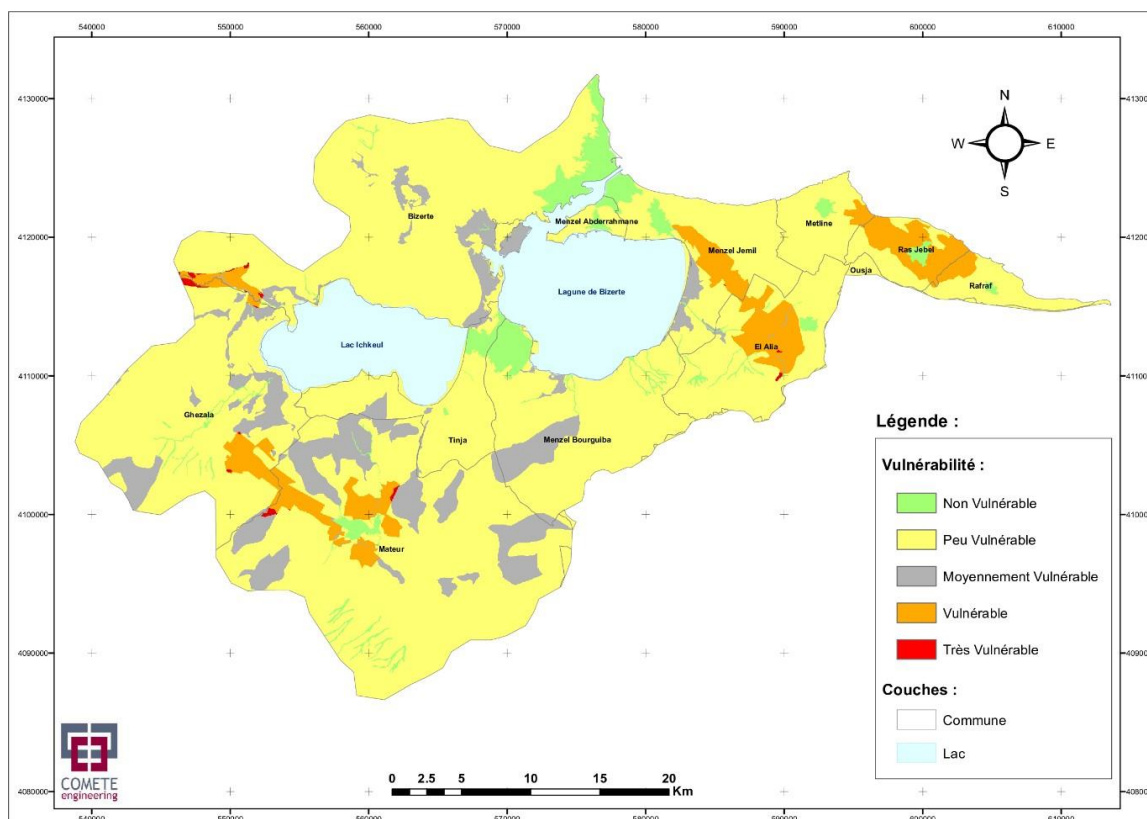


Figure 35 : Carte de vulnérabilité des sols à la salinité en situation de changements climatiques

6.5.2 Risques liés à la vulnérabilité de l'eau agricole et cultures irriguées aux CC

Dans un pays classé pauvre en eau (350 m³/per capita/an, voire moins), les ressources en eau durablement sollicitées, sont très vulnérables à plusieurs aléas climatiques (baisse de la pluviosité, irrégularité des périodes pluvieuses, sécheresse, inondation, élévation de température, et évapotranspiration accrue).

La surexploitation des nappes d'eaux souterraines, la demande galopante multisectorielle, et le rabattement continu des niveaux piézométriques, les rendent très vulnérables aux effets pervers des CC, notamment dans les zones côtières. Dans ces circonstances, l'EANM et la rupture du biseau salin peuvent entraîner l'intrusion marine et une salinisation fatale des eaux des nappes côtières.

Par l'effet conjugué de l'accroissement de la demande et à cette vulnérabilité aux CC, la surexploitation des ressources s'accroîtra et conduira à un amincissement accru des ressources globales (retenues de barrages et nappes souterraines). Le secteur irrigué en pâtira en termes de besoins en eau, de production et de superficie. Les impacts négatifs sur les activités agricoles et leurs conséquences socioéconomiques seront ainsi amplifiés.

Les superficies irriguées dans la zone d'étude se contracteront à 4832 ha en 2050, et 4728 ha en 2100, par rapport à une superficie globale de 5196 ha de référence, soit respectivement une réduction de 7 % et 17 %.

Tableau 40 : Projections des surfaces irriguées dans la région d'étude aux horizons 2050 et 2100

Délégation*	Surface irriguée exploitée en 2019 (ha)			Surface projetée en 2050	Surface projetée en 2100
	Public	Privé	Total		
Bizerte Nord	0	45	45	42	41
Bizerte Sud	450	178	628	584	571
Jarzouna	0	0	0	0	0
Menzel Jémil	300	270	570	530	519
Menzel Bourguiba	10	205	215	200	196
Tinja	0	110	110	102	100
El Alia	1 000	458	1 458	1 356	1 327
Ras Jebel	1 900	270	2 170	2 018	1 975
Total	3 660	1 536	5 196	4 832	4 728
Gouvernorat Bizerte	11 770	4 705	16 475	15 322	14 992

(*) La délégation de Menzel Anderrahmen ne possède pas de périmètres irrigués et les délégations de Sejnène, Ghezala et Mateur dont les périmètres irrigués sont éloignés de la Lagune de Bizerte ne sont pas incluses dans ce bilan

6.5.3 Risques liés à la vulnérabilité de la céréaliculture aux CC

L'augmentation des températures, l'allongement des périodes de sécheresse et la diminution de la pluviométrie dus aux CC posent des défis majeurs à la composante pluviale des activités de céréaliculture.

Les prévisions (AFD/MARHP 2021) selon le scénario RCP8.5, indiquent que toute la région du Lac de Bizerte sera exposée à :

- Un stress hydrique plus fréquemment observé (fréquence de 6 à 8 ans sur 10 en 2100 ;
- Un gel printanier allant en diminution ;
- Des hivers doux au moins prévalant tous les 2 ans dès 2050, pour devenir pratiquement annuels en 2100 ;
- Une avancée de la date de montaison et de maturation du blé de plus d'un an sur deux dès 2050, devenant annuelle à l'horizon 2100 ;
- Des phénomènes d'échaudage (accident-culture sur céréales dû à des températures supérieures à 25°C) plus fréquents, puis annuels en 2100.

6.5.4 Risques liés à la vulnérabilité de l'oléiculture aux CC

Les oliveraies de la région du complexe du Lac Bizerte seront soumises aux aléas climatiques (déficit hydrique, températures hivernales douces avec peu de jours frais). Ces conditions et la recrudescence du gel printanier ne peuvent pas satisfaire les besoins en froid pour la floraison d'où des pertes de rendement.

Les projections dans le scénario RCP4.5 (AFD/MARH 2021) évaluent une baisse de 30% à

l'horizon 2100, et une diminution plus forte (66%) dans le scénario RCP8.5, avec un rendement estimé à 250 Kg/ha.

Dans le scénario RCP4.5, la production d'huile d'olive autour de la Lagune Bizerte chutera, passant de 4 888 t (période de référence) à 4 155 t en 2050, et à 3 422 t en 2100.

Tableau 41 : Projections des productions d'huile d'olive dans la région du Lac Bizerte aux horizons 2050 et 2100, en tonnes.

Délégations	Production					Prévision RCP4.5	
	2017	2018	2019	2020	Moy 2017-20	2050	2100
Bizerte Nord, Bizerte Sud et Jarzouna	1 694	946	2 555	589	1 446	1 229	1 012
Menzel Bourguiba	1 414	786	1 638	354	1 135	965	795
Tinja	594	330	752	134	493	419	345
Menzel Jemil	1 273	712	1 582	355	980	833	686
El Alia	1 323	742	1 562	350	1 078	916	755
Ras Jebel	738	418	988	309	863	734	604
Total	7 036	1 658	9 077	1 782	4 888	4 155	3 422
Gouvernorat	27 571	15 652	32 050	7 300	22 307	18 961	15 615

6.5.5 Risques liés à la vulnérabilité des systèmes sylvopastoraux et l'élevageaux CC

Pour l'ensemble de la région d'étude, les projections issues des scénarios d'évolution du climat indiquent une augmentation d'intensité des aléas affectant les activités d'élevage, principalement le déficit hydrique engendrant une baisse des rendements, et les précipitations spatialement et temporellement irrégulières affectant le développement de la végétation.

La comparaison des rendements en UF/ha/an estimés dans les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 (AFD/MARHP, 2021), a montré une diminution à l'horizon 2100 de l'ordre de 40% en moyenne par rapport à la période de référence. Dans le scénario RCP4.5, la plus forte baisse, comparée à la période de référence, à l'horizon 2050 se situe à environ 20%.

Les projections de production fourragère aux horizons 2050 et 2100 prévoient des réductions importantes de rendement, passant de 181 000 t (période de référence) à 145 000 en 2050, et à 109 000 t en 2100.

Tableau 42 : Projections des productions fourragères dans la région du Lac Bizerte aux horizons 2050 et 2100

Délégation	Production (tonnes) en :				Projection		
	2017	2018	2019	2020	2017-20	2050	2100
Bizerte Nord	3 268	11 500	4 867	6 300	6 484	5 187	3 890
Bizerte Sud	52 903	70 000	60 468	49 500	58 218	46 574	34 931
Menzel Bourguiba	17 384	42 000	32 883	27 440	29 927	23 941	17 956
Tinja	4 298	14 000	5 977	17 600	10 469	8 375	6 281
Menzel Jemil	18 096	34 000	19 657	24 500	24 063	19 251	14 438
El Aalia	38 501	14 100	15 063	62 400	32 516	26 013	19 510
Ras Jebel	22 205	17 500	2 884	34810	19 349	15 480	11 610
Total	156 655	203 100	141 799	222 550	181 026	144 821	108 616
Gouvernoat	693 378	618 150	688 497	609 250	652 318	521 855	391 391

La dégradation de la production fourragère et des écosystèmes sylvo-pastoraux, conduira à une réduction significative des effectifs de cheptel. Les petits ruminants devraient passer de 61 500 têtes (période de référence) à 49 000 têtes en 2050 et à 37 000 têtes en 2100, soit des réductions respectives de 20% et de 40%.

Tableau 43 : Projections des effectifs de petits ruminants autour de la Lagune Bizerte aux horizons 2050 et 2100

Délégation	Ovins	Caprins	Total	Projection	
				2050	2100
Bizerte Nord	4 711	323	5 034	4 027	3 020
Bizerte Sud	21 700	2 542	24 242	19 394	14 545
Zarzouna	257	0	257	206	154
Menzel Jmil	2 712	323	3 035	2 428	1 821
Menzel Bourguiba	10 279	1 098	11 377	9 102	6 826
Tinja	5 139	1 502	6 641	5 313	3 985
El Alia	4 426	555	4 981	3 985	2 989
Ras Jebel	5 425	543	5 968	4 774	3 581
Total	54 649	6 886	61 535	49 228	36 921
Total Gouvernorat	219 540	28 791	248 331	198 665	148 999

6.5.6 Risques liés à la vulnérabilité cultures irriguées aux CC

Les essais de simulation, à l'aide de CROPWAT, des besoins en eau des cultures irriguées de la zone du Gharb au Maroc similaire en termes de conditions climatiques à la région de Bizerte (Bouazza et al. 2012), ont montré que les CC induisent une augmentation de la demande en

eau des cultures. En régime d'irrigation optimale ont cet accroissement des besoins en eau d'irrigation varie de 7% à 12% par référence aux besoins normaux.

Dans le présent cas d'étude, cet impact des CC peut toucher les périmètres irrigués. Aussi, un accroissement similaire des besoins en eau d'irrigation qui ne serait pas satisfait, conduira à une baisse proportionnelle de la production des cultures passant de 165 000 t (période de référence) à 148 500 tonnes en 2050. Le tableau suivant résume les estimations.

Tableau 49. Projections des productions des cultures maraîchères dans la région du Lac Bizerte à l'horizon 2050

Délégation	Production t		Moyenne 2019-2020	Projection 2050
	2019	2020		
Bizerte Nord	2 640	2 700	2 670	2 403
Bizerte Sud	22 496	22 600	22 548	20 293
Menzel Bourguiba	3 999	26 000	15 000	13 500
Tinja	1 200	3 800	2 500	2 250
Menzel Jemil	36 494	48 000	42 247	38 022
El Alia	37 994	52 000	44 997	40 497
Ras Jebel	47 992	22 210	35 101	31 591
Total	152 815	177 310	165 063	148 556
Gouvernorat	294 590¹	300 810	297 700	267 930

6.5.7 Evaluation des risques liés à la vulnérabilité des activités agricoles aux CC

La vulnérabilité des activités agricoles à la salinité dans la région, établie sur la base d'indices de vulnérabilité, varie :

- Zones très vulnérables..... 2%
- Zones vulnérables..... 2%
- Zones moyennement vulnérables 74%
- Zones peu vulnérables..... 14%
- Zones non vulnérables..... 8%

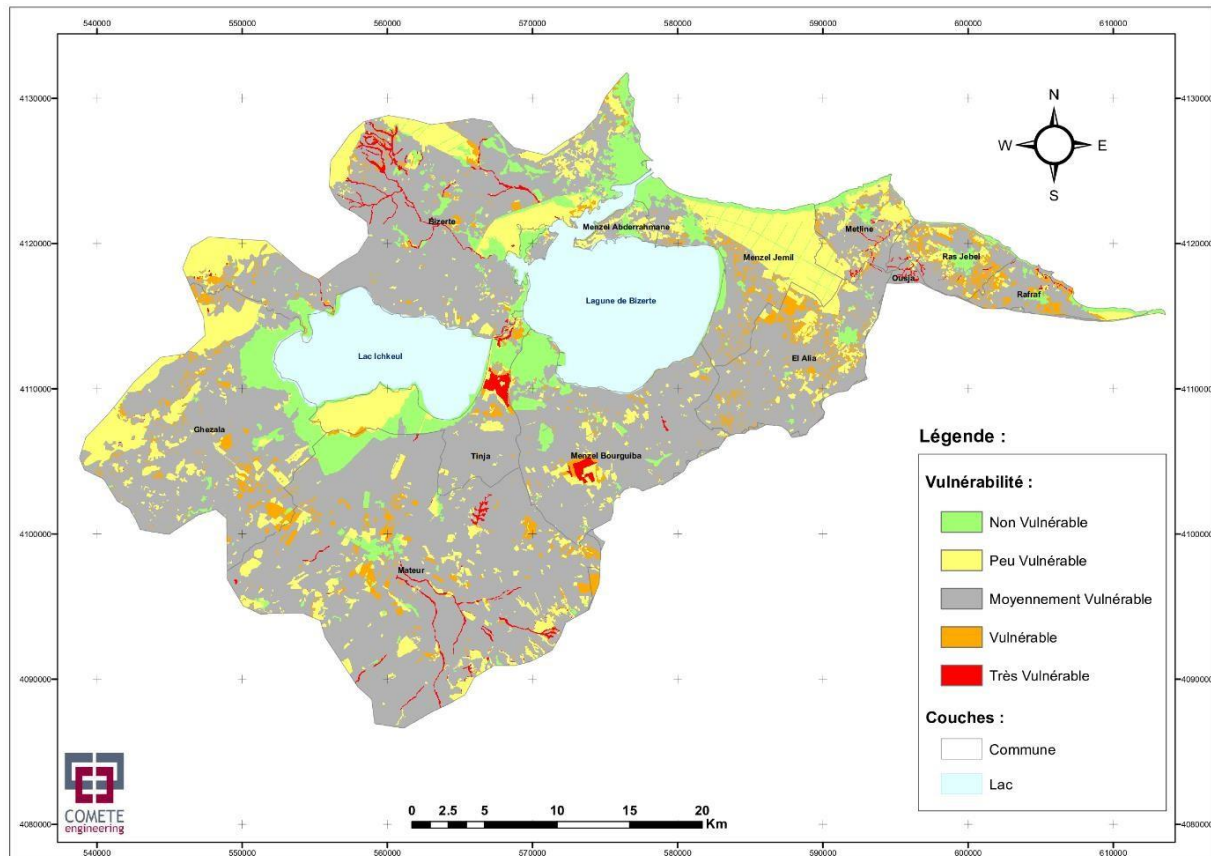


Figure 36 : Carte de la vulnérabilité des activités agricoles aux changements climatiques

6.5.8 Impacts positifs potentiels du changement climatique sur les cultures par enrichissement de CO₂ de l'atmosphère

D'après Roussel (2020) l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère peut revêtir aussi des effets positifs des GES sur les plantes (stimulation de la croissance). L'auteur trouve la nécessité de prendre en compte cet effet positif, de l'augmentation du CO₂ atmosphérique pour préjuger des risques agricoles liés aux CC.

D'autres auteurs ont démontré que le rendement en grains d'une culture dans une atmosphère de 450 ppm de CO₂ s'accroît pour une augmentation de la température jusqu'à 0,8 °C, mais elle diminue si le réchauffement se poursuit au-delà de 1.5 °C. L'efficacité d'utilisation d'eau du blé pourrait augmenter de 50 à 60% en fonction des conditions hydriques sous une concentration double de CO₂ dans l'air.

Selon Seguin (2020), avec l'hypothèse d'un doublement du CO₂ pour la fin de ce siècle, la photosynthèse pourrait être stimulée de 20 à 30 % de plus. Ceci conduit à une augmentation résultante de l'assimilation nette de l'ordre de 10 à 20%.

6.5.9 Recommandations

Les activités agricoles se sont montrées très vulnérables aux CC. Des mesures d'adaptation doivent être prises et concerneraient les différents secteurs de production agricoles. Il est ainsi préconisé :

- Pour les grandes cultures : d'accroître la culture des légumineuses en assolement avec les céréales et ce en vue de préserver la fertilité du sol et par conséquent la productivité, même en condition de déficit hydrique ;
- -Dans le cas des céréales : de diminuer la culture de blé tendre (très vulnérable) au profit de la culture d'orge et du blé dur ;
- D'encourager les cultures fourragères pour répondre au déficit d'alimentation du bétail qui risque de s'accroître par suite des impacts des CC sur les pâturages naturels et parcours ;
- Pour les périmètres irrigués publics et privés : de favoriser les cultures tolérantes à la salinité (artichaut, tomates etc.) au profit des cultures sensibles (pomme de terre, piment etc.) ;
- Dans le cas de l'arboriculture fruitière : de favoriser l'oléiculture, notamment en mode biologique aux dépens des cultures peu tolérantes à la sécheresse et à l'augmentation des températures hivernales ;
- D'encourager les pratiques agroécologiques (agriculture de conservation, agriculture biologique, agriculture familiale) ;
- D'encourager l'utilisation des variétés et races locales, plus rustiques et mieux adaptés que celles introduites ;
- De protéger les cultures en pente par des ouvrages de CES.
- Optimiser la gouvernance de l'eau dans les périmètres irrigués
- Améliorer la gestion de l'eau à la parcelle et repenser le choix des cultures en encourageant celles peu consommatrices en eau

6.5.10 Récapitulatif

Un récapitulatif succinct attire l'attention sur le constat des grands risques liés à la vulnérabilité de l'agriculture aux CC, est la baisse de production qui variera en fonction des cultures et des saisons, de 6 à 20% en 2050 et de 20 à 30% en 2100.

La disponibilité de l'eau constituera un enjeu majeur dans la région. Par ailleurs, dans tous les cas, l'hypothèse d'un réchauffement supérieur à 3° C à la fin du siècle présent conduit à des chutes sérieuses des rendements de production, ce qui peut s'accompagner par un bouleversement total des activités du secteur et de leur valeur ajoutée pour le développement socio-économique avenir du pays.

6.6 Risques liés à la vulnérabilité des activités touristiques, récréatives et de loisirs au changement climatique

Du fait de ses étroites relations avec l'environnement et le climat lui-même, le tourisme avec ses activités récréatives, culturelles et d'exploration est considéré comme un secteur économique extrêmement sensible au climat, au même titre que la biodiversité, l'agriculture, l'énergie et les transports.

L'érosion littorale et la submersion, bien que peu perceptible aujourd'hui, pourrait se manifester avec un certain retard (composante thermostérique des masses d'eau de mer) et viendrait menacer le modèle touristique balnéaire. L'accroissement des risques sanitaires et naturels, la dégradation de la biodiversité et des écosystèmes et les modifications paysagères ont un impact négatif sur ces secteurs dépendant du degré de gravité de la vulnérabilité de l'écosystème.

Le climat exerce de plus une importante influence sur les conditions environnementales qui risquent de dissuader les touristes d'entreprendre un voyage, notamment les maladies infectieuses, les feux de forêt, les parasites vecteurs de maladies (insectes), et les maladies d'origine hydrique qui sont sources d'impacts qui auront des conséquences sur l'hygiène et la qualité de la vie pour les destinations touristiques, leur compétitivité et leur durabilité.

Bien que prolongé dans le temps, entendu, les impacts pervers du CC s'affirment déjà par certaines manifestations (canicule, inondations, émissions de GES parfois suffocantes en milieu urbain, eaux rouges côtières provoquées par de forte chaleur, donc impropres à la baignade, etc.) et doivent être pris en compte pour les décideurs dans le secteur du tourisme.

Le secteur du tourisme est lui-même un contributeur non négligeable au CC, du fait des émissions de GES (conditionnement de l'air des hôtels, parc de voitures, kérosène des avions, fuels des bateaux, etc.).

Les politiques et stratégies, qu'elles soient nationales ou locales, doivent mettre l'accent sur les nouvelles formes de tourisme avec l'adoption urgente d'une série de politiques visant à encourager un tourisme durable, et des modes d'aménagement qui prennent en compte la sensibilité au climat.

Les émissions donc le réchauffement, peuvent être considérés moyens pour la région du Lac de Bizerte et leur impacts et risques sur le secteur, est de ce fait considéré moyen (aménagements portuaires, transport aérien, etc.).

6.6.1 Vulnérabilité et effets possibles du CC sur le potentiel climato-touristique, la destination touristique et le touriste

L'impact potentiel du CC sur le touriste a été étudié en détail en Tunisie par GIZ/Ministère de l'Équipement (2009 et 2010). Les principaux enseignements pour la région de la Lagune de Bizerte se résument comme suit.

Le confort thermique aux horizons 2050, avec une augmentation estimée de la température annuelle moyenne de 2°C, engendre dans la région :

- 38% de jours annuels à ambiance thermique très favorable ;
- 43% de jours annuels à ambiance thermique favorable ;
- 17% de jours de l'année à ambiance thermique modérée
- 2,5% des jours de l'année à ambiance thermique inconfortable à très inconfortable

Considérant que la situation de la zone d'étude est en position intermédiaire entre Tabarka et Nabeul (voir tableau suivant), au total, 81% des jours de l'année (296 jours) présentent une ambiance thermique favorable à très favorable à l'activité touristique sous toutes ses formes.

Tableau 44 : Fréquence des types d'ambiance thermique (% du nombre des jours de l'année) de plusieurs stations touristiques en Tunisie.

Lieu	Inconfortable à très inconfortable	Modérée	Confortable	Très confortable
Tabarka	4	16	47	33
Nabeul	1	18	39	42
Monastir	2	20	40	38
Djerba	2	22	35	41

Le Kef	4	31	44	21
Tozeur	16	21	36	27

Source : GIZ/MEDD (2009)

Néanmoins, en plus de ces périodes à ambiance thermique favorable, d'autres paramètres météorologiques comptent en termes d'intensité et de fréquence :

- Vitesse dépassant fréquemment 8 m/s ;
- Pluie journalière dépassant 5 mm ;
- Durée de radiation solaire forte devant être inférieure au 1/3 de la journée.

Dans l'ensemble, les connaissances sur le climat de la région du complexe du Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte indiquent des atouts météo importants pour le tourisme avec notamment la dominance des ambiances confortables.

En fonction des saisons, le nombre de jours à ambiance thermique confortable sont estimés comme suit :

- 78% des jours en hiver ;
- 93 % des jours au printemps ;
- 59% des jours en été ;
- 88% des jours en automne.

Au regard d'autres destinations touristiques, la région du complexe Lac de Bizerte présente des avantages comparatifs nets, toutes saisons confondues, notamment en été, et en automne. Cette situation est de nature à favoriser un accueil touristique plus important pour :

- Le tourisme balnéaire (été) avec des températures, un ensoleillement et un vent plus favorables, dans des conditions plus tempérées que celles des destinations classiques (Djerba, Monastir, Djerba). L'échaudage estival tend à augmenter les ambiances inconfortables (canicule) dans les autres destinations. Selon GIZ/ME (2007), la saison balnéaire gagne une semaine pour un réchauffement annuel de 0,5°C, 2 semaines pour un réchauffement de 1°C et un mois pour un accroissement de la température de 2°C (échéance 2050).
- Le tourisme de plein air, en hiver, automne et au printemps sous l'effet du recul en hiver des ambiances inconfortables froides.

Ainsi, dans la région d'étude, le CC peut avoir des effets positifs sur les activités touristiques, récréatives et de plein air, qui entrainera une meilleure attractivité par comparaison aux autres destinations.

Tableau 45 : Fréquence (% des jours) saisonnière des ambiances thermiques confortables à très confortables

Saison	Tabarka	Kef	Nabeul	Monastir	Djerba	Tozeur
Hiver	74	39	83	83	87	83
Printemps	90	85	96	95	96	88
Eté	66	48	52	47	41	9
Automne	87	86	90	84	78	71

Source : GIZ/MEDD (2009)

6.6.2 Risques et Conséquences des CC sur les infrastructures touristiques

Au-delà des impacts directs du climat sur les touristes, d'autres caractéristiques environnementales et ressources (qualité de l'eau par ex.) d'appui à l'activité touristique seront aussi affectées. Les risques encourus par les effets des changements climatiques sur les infrastructures et les lieux d'accueil peuvent impacter négativement la demande touristique

Impacts de l'EANM sur le tourisme

Les zones côtières subiront les effets du CC (recul du trait de côtes, effet des vagues, érosion des plages, spectacle désolant des aménagements de protection côtier, etc.). Dans des conditions de côtes déficitaires en termes d'apport sédimentaire, GIZ (2010) estime qu'en moyenne, qu'une augmentation de 1 cm EANM entraîne un recul de m de côte. Certaines parties basses du domaine tidal et sebkha seront aussi reprises. De même les risques submersion marine se manifestant au mieux lors de tempêtes et de périodes de hautes eaux, dégraderont l'étendue les côtes balnéaires, et auront tendance à gêner la baignade.

Autour du complexe lagunaire, ce type de risque et impact associé, seront ressentis sur le littoral, notamment sous les vents dominants (zone Sud entre Menzel Bourguiba et la région côtière de Meghraoua ; plages de Menzel Jemil et Menzel Abderrahmen par effet de vents Sud-Ouest en automne notamment).

Impacts sur la biodiversité, les écosystèmes et les paysages

La biodiversité, les écosystèmes et la qualité des paysages qui constituent l'un des capitaux principaux du tourisme, seront affectés. De ce fait, la Lagune de Bizerte, le Lac Ichkeul, le jebel Ichkeul et marécages alentours, le domaine forestier, la biodiversité côtière (terrestre et marine), la forêt récréative Errimel, etc., subiront des modifications et de la dégradation quantitative et qualitative (en termes d'espèces et de superficie) ce qui peut en réduire l'attractivité touristique, récréative et culturelle.

Les impacts négatifs des CC touchent aussi les activités touristiques spécifiques : tourisme de terroir, la pêche de loisirs en eau douce, tourisme de découverte, randonnées, loisirs, pesca tourisme, agritourisme etc. Ces transformations sont à prendre en compte dans les stratégies de développement touristique futur

6.6.3 Risques et conséquences sur les excursions, randonnées et visites

Le climat et l'environnement naturel sont les facteurs essentiels dans le choix d'une destination, et l'on s'attend à ce que les CC aient d'importants effets sur ces facteurs dans la région.

Les touristes bénéficient d'une relative liberté d'éviter les destinations touchées par les CC ou de modifier leur période de voyage pour éviter des conditions météorologiques défavorables

Les excursions touristiques sont planifiées en tenant compte des variations du climat. C'est la pluviométrie qui a le plus d'influence pouvant conduire à l'annulation de voyage, et la température joue plutôt sur le confort de l'activité.

Les paramètres climatiques projetés pour la région étudiée du complexe ne semblent présenter d'handicap ces activités durant l'été, automne et printemps. Cette destination serait d'ailleurs préférée à d'autres régions malgré leurs spécificités (Le Kef, Tozeur, etc.).

Les visites guidées sont animées par des guides, via un circuit déterminé par le temps et le

nombre de personnes. C'est une activité de plein air qui est influencée par la température du jour, la pluviométrie et les vents.

L'organisation de visites guidées sur le complexe lagunaire est sujette à perturbation par les pluies pendant l'hiver, mais le vent et les températures impactent moins cette activité.

6.6.4 Evolution possible des destinations touristiques dans la région du complexe lagunaire en rapport avec les CC

La nouvelle répartition géographique et saisonnière de la demande touristique en Tunisie prendra une très grande importance pour chaque destination. Une réorientation progressive des destinations préférées des touristes, les moins impactées par les CC, sera observée dans le futur.

Les saisons touristiques seront modifiées dans le Lac Bizerte et il est possible que davantage de touristes se présentent durant les intersaisons, ou en hiver, les conditions météorologiques devenant alors plus attrayantes.

Cette modification des structures des voyages pourrait avoir d'importantes implications positives, notamment le fait que les dépenses touristiques puissent augmenter, proportionnellement, dans la région de Bizerte.

Les tendances futures dans la région montrent qu'au printemps et en hiver, le changement climatique se traduira par des températures plus clémentes qui sont susceptibles d'attirer beaucoup plus de touristes. Ceci nécessite de réfléchir aux conditions de leur accueil,

Il est donc nécessaire que les acteurs publics et privés intègrent l'adaptation aux CC dans leurs réflexions et initient les travaux nécessaires pour développer en conséquence des activités résilientes et respectueuses des écosystèmes locaux.

L'organisation mondiale du tourisme distingue quatre catégories d'impacts des CC sur les domaines du tourisme (UNWTO, 2008, 2009) :

- Les impacts directs : altération des saisons de tourisme, dommages aux infrastructures touristiques, dommages aux attraits culturels, coût des mesures de préparation face aux événements climatiques extrêmes ;
- Les impacts indirects : dégradation des écosystèmes, perte de biodiversité, diminution de la qualité esthétique des paysages, érosion côtière, prolifération de maladies, etc.

Face à ces enjeux, le concept de tourisme durable a émergé. (UNEP/UNWTO, 2005). Les CC compliquent l'opérationnalisation du concept de tourisme durable, puisque le capital naturel qui y sous-tend s'érode (littéralement) de manière accélérée et nécessite une réévaluation et adaptation constante.

L'organisation des Nations unies pour le tourisme propose tout un éventail de mesures d'adaptation du tourisme côtier aux CC (UNWTO, 2008) :

- Les protections douces (végétalisation, afforestation des mangroves) pour lutter contre l'érosion ; La gestion des bassins versants et le drainage pour réduire les risques d'inondation ;
- La protection et la conservation des écosystèmes côtiers pour augmenter leur résilience ;
- L'amélioration des standards de construction et d'emplacements pour les infrastructures touristiques ;

- L'adoption de la gestion intégrée des côtes dans la planification du développement touristique et de l'utilisation du territoire ;
- La diversification de l'offre touristique pour réduire la vulnérabilité climatique.

6.6.5 Recommandations

Les principales recommandations qui se dégagent de l'analyse du bilan diagnostic concernent l'opportunité de développer les activités écotouristiques suivantes :

- Marche, Randonnée et Camping Il s'agit de pratiquer la marche et la randonnée dans des espaces autres que les forêts et les aires protégées
- Activités de loisir en Forêt Il s'agit des activités que les visiteurs peuvent réaliser en forêt : balade, camping, escalade des arbres,
- Activités de loisir dans les aires protégées, notamment dans le parc d'Ichkeul
- Activités de chasse, pêche et cueillette Il s'agit de la pratique de la chasse du gibier en milieu naturel ou contrôlé (concessions de chasse), de la cueillette des produits et fruits de la forêt (myrte, lentisque, romarin, champignons, escargots,) et la pêche en mer et dans le lac
- Activités d'aventures Il s'agit de la pratique de l'excursion, l'équitation, et, l'escalade d'exploration
- Activités de loisir en Mer et plan d'eau Il s'agit des excursions dans le lac, de la voile, de la planche à voile, du kitesurf, et de la pêche.
- Visite de musées et des lieux historiques et patrimoniaux
- L'agritourisme dans certaines exploitations agricole avec pratique d'activités spécifiques selon les saisons

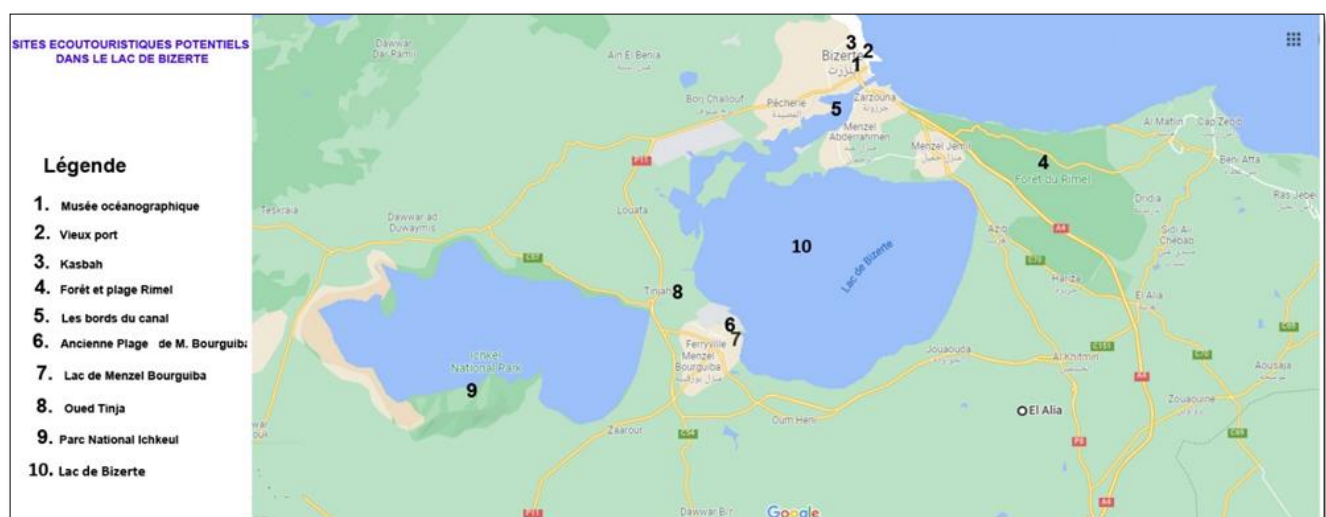


Figure 37 : Sites écotouristiques potentiels dans la région du lac de Bizerte

6.6.6 Récapitulatif

Le climat est l'une des ressources principales du tourisme, dans la mesure où il contribue à la détermination de la durabilité des emplacements où est réalisé un large éventail d'activités touristiques, mais aussi du fait qu'il joue un rôle de premier plan dans le caractère saisonnier de la demande touristique.

Un large éventail de changements environnementaux imputables au climat aura d'importantes conséquences sur le tourisme selon les destinations. Les pertes de biodiversité, les atteintes à l'esthétique des paysages, les dommages à la production agricole, les risques naturels accrus, l'érosion et les inondations côtières, les dommages aux infrastructures et la fréquence croissante de maladies à transmission vectorielle auront tous un impact sur le tourisme à différents degrés.

Il est important de noter que les CC auront aussi des effets positifs sur le secteur du tourisme. Ces effets varieront considérablement selon les segments de marché et les activités concernés.

La région d'étude présente des atouts météorologiques impulsés par les CC, importants pour le tourisme avec notamment, la dominance des ambiances confortables et l'existence des nuances régionales et saisonnières qui offrent la possibilité de diversification des activités touristiques.

7 Analyse SWOT

7.1 Démarche d'analyse

L'analyse SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats), appelée aussi SEPO (Succès-Echecs-Potentialités-Obstacles), se conduit par deux diagnostics :

- **Un diagnostic interne**, qui identifie les succès potentiels et les échecs possibles de l'entité (système de gestion/projet/programme) analysée ;
- **Un diagnostic externe** : Potentialités et obstacles présents dans l'environnement.

Dans les études techniques, cette analyse tient le rôle d'un regard attentif de reconnaissance des points forts, des faiblesses et des opportunités de toute action, activité ou projet possible pour éviter les risques et définir les orientations adéquates servant d'assise à une stratégie avec une vision claire, donnée.

Le but ultime de l'approche SWOT ou SEPO est de prendre en compte dans l'analyse, à la fois les facteurs internes et externes, en maximisant les potentiels des forces et des opportunités et en minimisant les effets des échecs et des obstacles.

Lors de l'analyse tout indicateur doit être :

- **Pertinent** : il doit respecter fidèlement ce qu'il est censé mesurer ;
- **Objectivement vérifiable** : l'information recueillie doit rester la même (sans opinion/préjugé) si elle est recueillie par différentes personnes ;
- **Accessible** : provenir de données existantes ou facilement observables.

Dans le cas présent, cette analyse est conduite pour mettre en exergue les points forts et les points faibles, mais aussi les opportunités et les risques du système actuel de valorisation et de gestion des ressources associées à l'écosystème lagunaire Bizerte-Ichkeul et les perspectives de sa sauvegarde et de l'adaptation de ses composantes et des activités socioéconomiques associées face aux changements climatiques.

Tableau 46 : Analyse SWOT relative à la sauvegarde de l'écosystème Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte, son bassin-versant et les activités socioéconomiques associées

Forces	Faiblesses
<ol style="list-style-type: none"> 1. La Tunisie a signé, ratifié ou adhéré aux trois conventions de Rio (CCNUCC, CDB, CLCD, Protocole de Kyoto, Accord de Paris). 2. La Tunisie a engagé toutes les études pour la stratégie d'adaptation aux changements climatiques. 3. La Tunisie a produit sa CND pour la réduction des GES (41% en 2030, Accord de Paris). 4. Code des eaux, en cours de révision. 5. Stratégie de gestion de l'eau (de la gestion de la ressource à la tarification) 6. Création de l'IRA en 1975 (LCD, gestion de l'eau en milieu aride). 7. Création de l'APAL, Aménagements de protection du littoral. 8. Stratégie de suivi des nappes. 9. Infrastructures de mobilisation des eaux (barrages, barrages et lacs collinaires) 10. Stratégie et infrastructures de l'assainissement (STEP). 11. EUT dans l'agriculture, Stratégie eau 2050. 12. Mix énergétique (éolien, solaire, hydroélectricité) ; centrales à cycle combiné, GPL, etc. 13. Stratégie bas carbone (travaux GIZ-ANME). 14. Fonds national de compensation contre les inondations. 15. Stratégie de lutte contre la sécheresse et la désertification. 16. Parc aquacole en haute mer. 17. Encouragement à l'économie d'eau dans l'agriculture (goutte-à-goutte, PDRI, techniques de culture, etc.). 18. Travail et programmes de suivi et de sensibilisation (Agriculture : CRDA, CTV, CRA). 19. Programmes et infrastructures de protection des villes contre les inondations. 20. Stratégie de CES, travaux d'aménagements des bassins versants, etc. 21. Le lac Ichkeul représente un système unique et original grâce à sa communication saisonnière avec la lagune de Bizerte dans les deux sens. 22. La richesse et la biodiversité du Lac Ichkeul ont été à l'origine de son classement sur diverses listes comme réserve de la biosphère en 1977, patrimoine de l'humanité par l'UNESCO en 1979, et zone humide d'intérêt international en 1980. 23. Le lac Ichkeul constitue un écosystème d'une importance particulière puisqu'il dispose des conditions propices à la survie d'une faune et une flore à la fois rares et diversifiées. 24. Le lac Ichkeul est unique grâce à la variabilité saisonnière de sa profondeur et de la salinité des eaux, qui fluctue entre moins de 5 g/l en hiver et plus de 30g/l en été. 25. La lagune de Bizerte possède presque toutes les espèces de la mer voisine dans la garât pullulent certaines espèces qui s'accommodent de la composition 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lourdeur administrative et décisions stratégiques et de gestion prises sur la base d'informations non fiables, entraînant une gestion inefficace et non durable des ressources hydriques, lorsqu'il s'agit de changements climatiques aggravée par la pollution. 2. Monopole de certaines entreprises ou organisations (Monopole de la STEG occasionne un échec cuisant à l'investissement dans le domaine de l'énergie éolienne, photovoltaïque et concentration solaire). 3. Citoyen trop exigeant et trop contestataire dans tous les domaines, au comportement parfois irresponsable (gestion des déchets, destruction des biens publics (vol de cuivre, etc.) par ex.). 4. Le manque de base de données numériques bien gérées et mises à jour nuit considérablement à l'échange de l'information. 5. Difficulté d'accès à l'information (loi ou décret 2016). 6. Manque d'implication des universités, des écoles et des institutions de recherche dans l'analyse et l'évaluation des impacts des CC. 7. Incivisme du citoyen (forages illicites, occupation des terrains inondables, des domaines DPH et DPM, feux de forêt, gâchis d'eau, etc.). 8. Mauvais choix des spéculations (remplacement des oliviers anciens par des nouvelles plantations (boutures) très hygrovores ; 9. Très faible implication des assurances dans les différents secteurs concernés (Code des Assurances en cours de révision). 10. Construction et habitat illicite très difficile à contrôler. 11. Changement irrégulier de la vocation des sols (spéculation dur le foncier par manque de réserves foncières). 12. Faibles ressources financières mises à disposition ; nécessité de gros investissements extérieurs (dessalement de l'eau de mer par exemple). 13. Manque de coordination entre les intervenants ministériels (manque d'une stratégie nationale intégrée, de transmission de l'information, de banques et de bases de données accessibles et mises à jour régulièrement). 14. Forte spéculation sur les terres en milieu urbain, construction illicite, non-respect des PAU et des normes de construction. 15. Accroissement de la demande en eau (consommation, agriculture, tourisme, etc.) et mobilisation dans des barrages en amont du bassin versant engendrant un déséquilibre de l'écosystème et une hyper-salinisation du Lac Ichkeul. 16. Les fortes salinités dues au faible apport d'eau douce au lac et une évaporation excessive, ont engendré la disparition provisoire de la végétation qui alimente la population d'oiseaux hivernant dans le Parc de l'Ichkeul. 17. Rejets urbains et industriels provenant des villes environnantes ainsi que ceux résultant du drainage des anciens sites miniers contribuent à la pollution de l'écosystème et aggravent les impacts attendus des changements climatiques.

<p>variable de ses eaux. De tout temps, la richesse ichthyologique des lacs a frappé les voyageurs qui parlent du poisson de Bizerte comme du blé de Béja et des oliviers du Sahel.</p> <p>26. La double alternance saisonnière du niveau d'eau et de la salinité dans le Lac Ichkeul conditionne la végétation aquatique particulière, support nutritif de milliers d'oiseaux d'eau migrateurs.</p> <p>27. 28. L'amélioration rapide des moyens de communication offre la possibilité de diffuser de façon précoce des alertes concernant la gestion des ressources hydriques, y compris les catastrophes liées à l'eau.</p> <p>28. 29.. Le classement du Lac Ichkeul par le Ministère de l'Agriculture parmi les consommateurs d'eau et la décision de lui garantir un débit annuel d'alimentation.</p> <p>29. Complexe lagunaire avec un volume d'échange d'eaux important avec la mer favorable à l'atténuation de l'hydro-climat local.</p> <p>30. Potentialités pour la diversification de l'aquaculture lagunaire.</p> <p>31. Espaces lagunaire favorables au développement d'un écotourisme, et la pesca tourisme</p> <p>32. Ressources halieutiques diversifiés : muges, anguilles, seiches, crevettes.</p> <p>33. Ecosystème exorétique à rare égaux, contrebalancé par des apports marins, à biodiversité exceptionnelle souvent euryhaline et eurytherme, incitateur à un développement socio-économique ultisectoriel.</p>	<p>18. Peu d'informations sur la variabilité des eaux de surface et des eaux souterraines car les réseaux d'observation hydrométéorologiques sont peu développés.</p> <p>19. Absence de politiques et de stratégies en matière d'utilisation des données de l'observation de la Terre comme complément aux rares informations obtenues sur le terrain.</p> <p>20. Pollution des eaux de surface et parfois des nappes aquifères, engendrée par une mauvaise gestion des déchets solides et des eaux usées dans les zones urbaines et contamination de l'eau par les activités agricoles (usage excessif d'engrais).</p> <p>21. Surexploitation des nappes côtières exacerbant l'appel à l'eau marine notamment en cas d'élévation</p> <p>22. Variabilité interannuelle de la précipitation, ce qui rend la disponibilité de l'eau aléatoire.</p> <p>23. Changement climatique comportant le risque d'aggraver la variabilité climatique, entraînant une réduction des ressources hydriques et une accentuation des extrêmes hydrologiques (sécheresse et inondation).</p> <p>24. Sécheresse cyclique vécue depuis des décennies.</p> <p>25. Aménagement hydraulique, affectant les plans d'eaux lagunaire et négligeant les eaux garantissant l'équilibre environnemental durable.</p> <p>26. Perturbation de l'alternance des échanges eaux douces – eaux marines entre le Lac Ichkeul et la Lagune de de Bizerte</p> <p>27. Fragilisation du milieu par la pollution et appauvrissement des sols et du milieu lagunaire.</p> <p>28. Système productif de pêche et d'aquaculture resté au stade artisanal.</p>
Opportunités	Risques
<ol style="list-style-type: none"> 1. La Tunisie est un pays de tout temps frappé par la sécheresse et la pauvreté en eau d'où le développement de compétences et d'un savoir-faire à capitaliser. 2. Potentiel éolien et solaire considérable pouvant être valorisé en cas delevé de monopole. 3. Arsenal institutionnel et réglementaire bien développé permettant de protéger les lieux (DPM, DPH en particulier), la denrée (eau) et les écosystèmes contre le vandalisme (feux de forêts), la pollution, le gâchis et l'occupation illicite (changements de vocation des terres). 4. Population bien éduquée ; aide la sensibilisation pour l'économie del'eau, de l'énergie, des terres, des produits agricoles, 5. Stratégies nationales sectorielles ayant montré leur succès, pouvant être renforcées à l'avenir pour lutter contre les CC, et la nuisance aux écosystèmes en général. 6. Infrastructures de mobilisation des eaux de ruissellement et des eauxde nappes (recharge) pouvant être renforcées. 7. Savoir-faire dans les domaines de la pêche et de la conchyliculture à capitaliser. 8. Opportuniste de capitalisation des capacités et du savoir-faire nationaux 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Difficulté récurrente quant aux levés des monopoles sur les investissements et à différentes activités notamment dans le secteur énergétique et la mobilisation des ressources en eau (dessalement). 2. Manque récurrent d'implication du secteur des Assurances et surtout de Réassurance. 3. Risque de non-réussite de la politique de discrimination positive entre zones urbaines et rurales, et entre gouvernorats côtiers favorisés par rapport aux gouvernorats de l'intérieur (centre Ouest et Gafsa notamment). 4. Difficulté d'application de la loi pour tous pour lutter contre les contrevenants, d'où l'échec de la lutte contre le vandalisme, les irrégularités de l'action, et l'incivisme du citoyen en général ; 5. Manque récurrent d'une stratégie nationale bien adaptée au CC dans le domaine de l'urbanisme, de l'habitat, des infrastructures et des équipements collectifs. 6. Risque de récidence en termes de non-implication des universités, des écoles d'ingénieurs, des institutions de recherche dans les études et stratégies de lutte contre les CC et leurs applications sur terrain. 7. Risque de non-réussite du levé des conditions actuelle d'accès à l'information

<p>dans différents secteurs (solaire, éolien et couplage au dessalement d'eau de mer pour l'AEP et pour l'Agriculture).</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. Malgré de nombreuses réglementations nouvelles, les opportunités de levés de monopoles, et de facilitation des procédures d'investissement dans le domaine de l'eau (dessalement), de l'énergie, de l'agriculture, demeurent possibles, voire inévitables pour lutter contre les CC. 10. Opportunités de l'investissement pour renforcer les parcs de pêche et de conchyliculture, dans le domaine lagunaire et notamment en mer (parcs de pêche). 11. Opportunité de diminuer les espaces de cultures irriguées, pour les remplacer par des espaces à cultures peu exigeantes vis-à-vis de l'eau, et d'espèces résilientes et à haut rendement. 12. Opportunité de création d'un conseil national de lutte contre les changements climatiques, attaché aux plus hautes instances. 13. Valorisation des ressources en eau non-conventionnelles, comme le dessalement de l'eau de mer couplées aux ENR, la recharge artificielle des nappes et la réutilisation des eaux usées traitées. 14. Barrage de Sidi El Barrak, situé dans un bassin versant voisin, permet le transfert d'une partie des eaux mobilisées vers le barrage de Sedjnane (90 Mm3) dont une partie pourrait être directement lâchée, en cas de besoin dans le Lac l'Ichkeul. 15. CoP 21 16. Composantes du Projet de Dépollution du Lac de Bizerte 17. Pôle de Compétitivité de Bizerte. 18. Niche d'emplois d'économie bleue. 19. Développement de l'algoculture et diversification des activités aquacoles. 	<p>laissé à l'appréciation de l'Administrateur.</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Risque de maintien de la situation actuelle quant à la numérisation des données, le développement de banques et de bases de données bien accessibles pour tous, qui sont essentielles pour la facilitation de l'accès à l'information et sa valorisation, car une information non échangée demeurera de tout temps sans valeur. 9. La lagune de Bizerte reçoit des concentrations en métaux lourds à partir des sédiments superficiels provenant des mines du bassin versant, des principales industries environnantes et des déchets urbains. Cette pollution risque de provoquer des perturbations néfastes et irréversibles sur la biodiversité aquatique. 10. Des périodes de sécheresse sévères et prolongées peuvent engendrer des salinités records des eaux du Lac Ichkeul en été (80 g/l en septembre 2002) mais aussi en hiver (supérieures à 20 g/l durant les trois hivers 2000-2001 et 2002). 11. L'évolution du couvert végétal montre une tendance générale à la régression des superficies des forêts et de la végétation hydromorphe et halomorphe, ce qui fait augmenter la sensibilité à l'érosion. 12. Constat de tropicalisation rapide des écosystèmes lagunaire et marin. 13. Entrées et installations des espèces non indigènes, invasions biologiques. 14. Dégradation des habitats naturels et érosion (perte) de la biodiversité 15. Salinisation permanente du Lac Ichkeul. 16. Disparition de l'activité conchylicole 17. Surexploitation des ressources en eau et halieutiques. 18. Conflit d'usage du plan d'eau de la Lagune : pêche/aquaculture/loisirs 19. Pollution des milieux marins et lagunaires. 20. Accaparement des berges (Land-grabbing par une urbanisation anarchique. Modèle de développement socioéconomique à outrance, basé le bétonnage, et sur l'industrie et les services, aux dépens des écosystèmes naturels et leurs services environnementaux/
---	--

7.2 Recommandations

Cette analyse SEPO indique que la réussite de la mise en œuvre d'un système efficace de lutte contre les effets pervers des changements climatiques et la dégradation de l'écosystème Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte gestion, de ses ressources et de ses services, demeure tributaire de plusieurs facteurs limitants, dont les plus importants sont :

Efficacité :

- La réussite de la révision du dispositif institutionnel et réglementaire dans les délais impartis (2022-2030 ; Accord de Paris) et la mise en place d'un Système performant de suivi des impacts des changements climatiques, et de renforcement de l'adaptation et à la résilience aux aléas y associés ;
- L'engagement politique dans ce domaine ;
- La mobilisation et la mise à disposition des moyens financiers nationaux dont l'implication du secteur privé, et par le biais de la coopération internationale ;
- La réussite d'une application rigoureuse de la loi pour contrecarrer toutes infractions (occupation de terrain, PAU, exploitation illicite ou anarchique de la ressource, salubrité, pollution, etc.) ;
- L'engagement du citoyen en tant que partie prenante dans les projets dédiés à l'aménagement du territoire, et la gestion des écosystèmes et de leur environnement, action qui est étroitement liée à un développement sain et équilibré ;
- Innovation technologique en termes de savoir et de savoir-faire (bases de données), et de mise des technologies de communication et du numérique au profit la GDS ;
- Mise à contribution du savoir-faire des Universités et écoles pour multiplier les études sur les aléas associés aux changements climatiques.

Efficiences :

- Intervention forte de l'État avec une implication financière modérée des bénéficiaires, dont le secteur privé ;
- Réalisation des objectifs et des produits dans les délais impartis à la mise en œuvre ;
- La capitalisation du savoir-faire existant et des acquis liés aux autres stratégies nationales en cours de mise en œuvre ;
- Satisfaction d'une réponse adéquate aux risques et impacts liés aux changements climatiques les plus perceptibles (émissions de GES et rehausse de température, canicule, salinisation des eaux, aggravation de la salinité par surexploitation des aquifères, sécheresse, économie de l'eau, etc.) les plus fréquents, qui est prioritaire ;
- Imposition d'un processus de suivi-évaluation à toutes les étapes de préférence par audit externe pour s'assurer de la conduite des projets selon les principes de bonne gouvernance.

Impacts :

- Mesure régulière des impacts aux différentes étapes de mise en œuvre des projets d'exploitation et de sauvegarde (donc de dépollution) de l'écosystème, à l'aide d'indicateurs simples et vérifiables ;
- Rectification de parcours nécessaire concernant les actions à mener pour garantir l'efficacité et l'efficience des études techniques imparties pour la sauvegarde de cet

écosystème, notamment celles liées à l'adaptation et à la résilience aux changements climatiques et faits aggravants (surexploitation des services, pollution, urbanisation, etc.) ;

- Sélection sectorielle des actions en tenant compte des composantes écosystémiques, des spécificités de l'habitat de biodiversité, de la richesse halieutique, du milieu urbain, des communes, des activités socio-économiques, etc., et multiplication des études de prévention de la pollution et des effets pervers des changements climatiques ;
- Mise en place de bases de données et échange de l'information dans la transparence, actions incitatives à l'éducation du citoyen et à la mitigation des impacts occasionnés à l'écosystème

Population cible :

- La question du comportement et du comportement de la population en général avec citoyenneté compte ;
- L'application stricte de la loi constitue le meilleur recours pour contrecarrer l'action illicite (pollution préméditée de l'écosystème) ;
- L'éducation, la communication et la sensibilisation doivent être renforcées.
- Axer l'échange d'information et d'éducation sur toutes les parties affectées et/ou intéressées par la sauvegarde de l'écosystème et son environnement naturel et socio-économique dans les conditions attendues de recrudescence des émissions de GES et de changements climatiques en découlant.

7.3 Enjeux associés aux risques liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème et son environnement

Les enjeux des CC découlent du diagnostic de l'existant, de l'analyse et l'évaluation des risques dans ce rapport, des enseignements de la matrice SWOT précédente, et des sources de réflexion en cours de rencontres avec les partenaires clés. Les enjeux les plus importants sont les suivants :

En cas de synergie avec les autres stratégies en cours de mise en œuvre à l'échelle de la région, la lutte soutenue contre les effets pervers des CC assurera :

- Une meilleure gestion des ressources de l'écosystème étudié dans la durabilité ;
- La sauvegarde de l'environnement et de l'hygiène, donc de vies humaines ;
- La lutte contre la précarité par la création d'emploi et la promotion de l'entraide sociale ;
- De repousser les menaces de certains risques majeurs que sont la pénurie d'eau (pollution), la perte de biodiversité et d'espace de vie, la dégradation des sols, la sécheresse, la désertification, la dégradation des services de l'agriculture, la dégradation de l'environnement, etc. ; en raison des émissions de GES, moteurs des CC, dans une région relativement pauvre en eau et à ressources agricoles quelque peu limitées ;
- La prévention de nombreux risques dont en particulier les pertes liées aux CC aggravées par la pollution (eau, air, sol, et domaine marin) et l'urbanisation anarchique aux dépens des étendues d'eau, d'où un déclenchement de la dégradation de l'environnement, de la santé, une détérioration de la qualité du milieu de vie, etc. ;
- Une meilleure éducation des citoyens et l'apprentissage de la culture de la gestion efficace des écosystèmes lagunaires ;
- Le développement du savoir-faire multisectoriel dans le domaine de la lutte contre les changements climatiques ;
- La maîtrise l'usage des technologies de la communication et de l'information

numérique dans le domaine ;

- La limitation des pertes économiques de plus en plus perceptibles, liées aux effets des changements climatiques ;
- La réponse aux attentes des régions et des communes pour la GDS sur la base d'une approche participative ;
- L'implication du secteur privé pour investir dans les projets destinés sectoriels dont les activités et les réalisations sont résilientes aux effets négatifs divers engendrés par différents aléas climatiques.

8 Analyse multicritère en vue d'arrêter les priorités stratégiques et les mesures d'intervention à l'échelle de la zone

Au sujet de la vulnérabilité de l'écosystème et des activités socio-économiques associées face aux changements climatiques attendus

Les résultats dans le rapport de première phase de l'étude et ceux dégagés dans les deux chapitres précédents ont clairement démontré la gravité de risques liés à une vulnérabilité durable face aux changements climatiques de presque toutes les composantes de l'écosystème Lac Ichkeul-Lagune de Bizerte, des activités socio-économiques associées et du modèle de développement urbain actuel dans la région. Tenant compte des enjeux identifiés et des recommandations dégagées, il est clair que les CC dont les signes avant-coureurs sont déjà ressentis (EANM, température en hausse, baisse de la production agricole, et des rendements de la pêche et de la conchyliculture, érosion des sols, inondations, diminution des ressources en eau et surexploitation des aquifères, autres témoignages de parties prenantes rencontrées, etc.) représentent de véritables menaces pour l'environnement de l'écosystème, de son bassin versant et domaine marin proximal. Tous les résultats dégagés mettent l'accent sur la durabilité de ces menaces et un risque fort et véritable de leurs effets sur une période prolongée (horizons 2050 et 2100).

Conformément aux TdRs, il est demandé de proposer les mesures, actions et programmes à envisager pour pallier les risques indiqués, en définissant les orientations stratégiques à mettre en œuvre pour préserver l'écosystème et maintenir la qualité de ses services dans les différents secteurs de la vie socioéconomique. Il faut souligner néanmoins, que le choix des orientations stratégiques et actions à entreprendre pour lutter contre les CC à présenter au décideur(s), doit obligatoirement faire appel à l'avis non seulement des membres de la présente équipe, mais aussi à celui de toutes les parties prenantes affectées et/intéressées par ladite stratégie à mettre en œuvre. Ceci facilite non seulement l'acceptabilité des actions et des mesures, mais aussi les interactions sociales, l'évaluation des coûts financiers, la production, l'écologie du milieu, les investissements à mobiliser, les choix politiques avenir, etc. Ces détails rendent compte du fait que le choix stratégique est un problème complexe. ***Analyse multicritère, ses démarches et ses objectifs***

L'analyse multicritère inventée au XXème siècle est une méthode quasi-mathématique dont le résultat final s'adresse au décideur afin de résoudre ce type de problèmes et d'orienter le choix faisable, économiquement et socialement acceptable, et dans la durabilité.

Il s'agit d'une méthode d'analyse matricielle du problème qui oppose (i) des critères, des indicateurs et des vérificateurs définis d'un côté, à (ii) des principes/avis de politique, de social, d'écologie de coût financier/investissement, etc. Un processus assez complexe permettant d'accorder des scores aux différents critères (ici les mesures et actions à entreprendre pour faire

face aux effets de CC) et indicateurs à vérifier à la lumière du politique, social, écologique, etc, pour en assurer l'efficacité et la durabilité des mesures/actions à entreprendre pour résoudre un problème donné.

8.1 Identification et mise en exergue des critères relatifs à la vulnérabilité et aux risques attendus sur une période déterminée

L'analyse et l'évaluation des risques liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème étudié et activités socio-économiques associées, a permis de dégager un certain nombre de risques et de vulnérabilités de forte intensité/gravité et qui peuvent s'accroître de manière durable, sur une longue période (horizons 2050, 2100) en lien avec les changements forts du climat et déjà entamés depuis le début de l'ère industrielle. Les principaux risques identifiés et évalués liés aux aléas climatiques engendrés par l'activité anthropique peuvent être listés comme suit :

- Augmentation démesurée de la température moyenne annuelle : ses conséquences se feront sentir sur l'écologie, la biodiversité, la santé humaine, les activités agricoles et de pêche, les feux de forêts, le tourisme, etc.
- Elévation du niveau moyen de la mer, à incidence néfaste sur le bâti urbain- équipements collectifs-infrastructures, les traits de côtes, la biodiversité, les ressources aquifères, le tourisme, l'agriculture, et autres.
- Augmentation de la fréquence des inondations dévastatrices : pertes de vie humaines, d'infrastructures-équipements-bâti urbain, espaces agricoles et récoltes, ...
- Augmentation de la fréquence d'années successives de sécheresse ; Perte de revenus, abandon de cultures, baisse fatale des rendements agricoles, perte irremplaçable de biodiversité...
- Amenuisement des ressources en eau, soit, pénurie d'eau pour tous les secteurs essentiels de production, effets environnementaux par salinisation des plans d'eau, effet sur la pêche industrielle, ...
- Erosion des sols ; perte irremplaçable de terre arable notamment, destruction de couvert végétal, perte de biodiversité, ...
- Salinisation des sols ; baisse des rendements agricoles, perte de biodiversité, salinisation des aquifères, salinisation rapide des eaux fraîches en écoulement, ...
- Salinisation des aquifères côtiers, perte irremplaçable de ressources vitales pour tous les secteurs de la vie socio-économiques, pour la biodiversité, pour l'équilibre écologique,
- Marinisation et tropicalisation du système lagunaire : modifications profondes de la biodiversité et de l'écologie des milieux, pertes d'espèces endémiques, arrivée d'espèces introduites (crabe bleu, lièvre de mer, *Pinctada radiata* et autres espèces tropicales ;
- Feux de forêts : perte de biodiversité, manque à gagner en termes de ressources, pertes de pièges à carbone, etc.

Il est clair que chacun de ces indicateurs de risques encourus sur une longue période nécessite le choix et la mise en œuvre des mesures et des actions les plus adéquates, les mieux faisables, les plus économiques et les plus acceptables pour pallier sinon minimiser ses conséquences indiquées. L'on se rallierait à l'idée que chacun de ces risques liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème mériterait à lui seul l'exercice d'une stratégie.

Le problème d'étude devient donc rapidement multidimensionnel, à un point tel que le choix des mesures et des actions stratégiques avec les critères, les indicateurs et les principes nécessaires à l'AMC, n'est plus du seul ressort de l'équipe d'étude. Pour la complétude du sujet, la participation

de vérificateurs, de préférence des personnes hors équipe et l'application des principes précédents (politique, coût, acceptabilité sociale, écologie, etc.) deviennent obligatoire. Ce sont ces contraintes quant aux choix stratégiques sectoriels à proposer qui ont conduit à la nécessité de s'entretenir avec toutes les parties affectées et/ou intéressées, pour renforcer leur participation dans le projet en tant qu'acteurs et non comme de simples bénéficiaires.

8.2 Proposition d'un paquet de mesures envisageables et réalisables pour renforcer l'adaptation et la résilience des composantes des écosystèmes, de l'aménagement du territoire et des activités humaines aux CC

La liste précédente de risques, vulnérabilités et enjeux y associés, détaillés dans le chapitre 3 de ce rapport, et la nécessité de concertation avec les partenaires administratifs et sociaux, ne permettent pas d'arrêter à ce stade du travail toutes les mesures à proposer et actions à entreprendre pour parfaire ultérieurement les orientations stratégiques demandées et le plan d'actions de lutte contre les effets pervers du changement climatique.

Pour justifier cette situation, il suffit d'examiner quelques-uns des risques durables, attendus à l'horizon 2050-2100, par exemple :

- Pour lutter contre l'EANM dans le domaine urbain près des côtes plusieurs décisions peuvent être prises en termes de mesures et d'action :
- Se mettre sur la défensive en installant des brise-lames côtiers comme c'est souvent le cas sur les côtes Est de la Tunisie depuis plusieurs décennies ;
- Se mettre bien en retrait par rapport au trait de côte actuel et laisser place à l'action de la nature.

Le choix entre l'une ou l'autre de ces propositions (décision) ne doit pas forcément respecter les antécédents de stratégies et d'aménagements déjà entrepris. L'avis des partenaires, l'estimation des coûts à l'horizon des CC, et l'évaluation des conséquences écologiques, etc. entrent également en ligne de compte afin de départager le choix entre la première ou la seconde des deux positions de l'action.

- Pour les feux de forêts : il est bien connu que ce risque qui est engendré par l'aléa feu (canicule, foudre, allumette, ...) qui ravageait seulement 500 ha par an en 2010, en détruit aujourd'hui plus de 5000 ha depuis l'année 2011. Une grande partie des drames vécus sont dus à des feux volontaires ; tout le Monde en est averti. Dès lors, les mesures et actions à entreprendre ne relèvent plus d'une part, du seul aléa canicule (CC), et d'autre part pour une lutte efficace, plusieurs positions peuvent être prises :
- Laisser faire, car le pourcentage de superficie forestière détruite par l'aléa canicule (température) lié au climat est faible (environ 500 ha), et de toute manière, le reste de la superficie (au moins 4500 ha) seront détruits et convertis en champ agricoles bien rentables ou en espace résidentiels à haute valeur ajoutée ;
- Prendre toutes les mesures institutionnelles, réglementaires, scientifiques, techniques, de suivi, de contrôle, pour sauver 4500 ha de forêt chaque année et réussir à 90% l'action ; cependant, l'expérience montre qu'aucune de ces mesures proposées dans la stratégie relative aux forêts (2015-2024), n'a permis jusqu'à nos jours d'abaisser le taux d'accroissement des surfaces de forêts incendiées, année après année.
- Pour la salinisation des aquifères côtiers, des positions quelques peu contradictoires, parmi bien d'autres, peuvent être prises :
- Mettre en défens les nappes déjà surexploitées depuis des décennies, encourager les cultures en sec, et interdire la pratique de cultures irriguées et l'exploitation, ou les réguler jusqu'au

rétablissement des réserves exploitables, avec le suivi et le contrôle régulier nécessaires est constants pour lutter contre les forages et exploitations illicites ;

- Mettre en place un programme de recharge régulier des aquifères appauvris ; néanmoins, ceci nécessite de mobiliser les eaux à partir des eaux de barrages, de dessaler l'eau de mer pour l'injecter dans l'aquifère, ou du moins de recharger ces aquifères par des EUT, ce qui n'est ni facile, ni sans conséquences.

Il est clair là encore que le choix de la solution à proposer doit faire appel aux techniciens, comme aux partenaires, mais il engage aussi la réflexion sur les coûts et par là, la stratégie à adopter pratiquement dans tout le pays pour la gestion et la sauvegarde des ressources, du moins dans cette catégorie d'aquifères menacés par l'EANM tout le siècle présent durant.

- Dans le cas de l'inondation en milieu urbain, il s'agit de choisir entre :
- Le scénario "business as usual", dans ces conditions, la récurrence d'inondations de plus en plus dévastatrices impulsées par les CC s'accroît. Dans ces conditions, il ne suffit pas de créer un fonds de compensation des pertes et dégâts liées aux inondations, ou de faire appel au Code des Assurances avec ses dispositions actuelles qui n'assurent pas la catastrophe de ce genre ; de plus des Assurances existent en Tunisie, mais il n'existe pas de services de Réassurance, ce qui conduit à un cercle vicieux.'
- Engager des mesures et des actions sur la base du financement d'ouvrages de protection contre les inondations. Cette position soulève néanmoins un autre problème plus épineux, celui de réhabiliter la plupart des PAUs, des équipements collectifs, des infrastructures, etc. Le constat est que dans notre zone d'étude, l'aménagement industriel s'étend jusqu'en bordure de la Lagune de Bizerte à l'Ouest de la RN8 en plein sebkha (garât réceptacle d'eaux d'inondation ; Sociétés Bic et Agri-Industry Ollyssa déjà installées). La question est donc comment protéger cette partie de la zone industrielle, déjà soumise aux deux risques certains liés aux CC : la submersion par l'EANM d'un côté, et l'inondation venant des terrains en amont, du côté de la terre ferme ? peut-on prétendre à une assurance risque dans cette situation pour toute une zone industrielle aménagée.
- La solution au déficit hydrique (eaux douces) du système lagunaire étranglé par une batterie de barrages a été abordée dans les paragraphes réservés à l'analyse du risque climatique durable occasionné aux horizons 2050-2100 :
- Un apport des eaux du Nord pour répondre au moins partiellement aux besoins annuels de l'écosystème, mais à quel coût financier et social ?
- Allouer à l'écosystème une part dominante des eaux mobilisées par la batterie de barrages alentours ; ceci tourne cependant en un problème vicieux : pourquoi investir pour immobiliser l'eau dans des retenues, pour la laisser reprendre ensuite son chemin vers sa destinée naturelle de jadis ? C'est l'exemple type de projets à rendement négatif.
- Alimenter le Lac Ichkeul par de l'eau d'aquifère ou provenant du dessalement d'eau de mer couplé à l'ENR, serait du même coût que les deux propositions précédentes.

Pour l'intérêt du projet, il faut bien souligner que la ville de Mateur est installée sur la confluence des quatre oueds : Kloufi, Chaïr, Joumine et Tine. Elle est située à 6 km en aval de la digue du barrage Joumine dont la stabilité (infiltrations bizarres d'eau à travers la digue et dans une série de karsts dans le Trias passant sous la tranchée parafouille. En 1987, la digue a failli rompre, avec une vague d'eau haute de plus d'un mètre au-dessus du seuil, et un débit de plusieurs milliers de m³/s. Mateur est donc dans un creux parfaitement inondable sur période prolongée. Il y a fort à parier que le fait de déplacer la ville vers un terrain en altitude (l'agglomération de Neffat par ex.)

coûtera sûrement beaucoup moins cher et sauvera surtout des vies humaines comme celles perdues lors des inondations de 2012 (www.deinsventar.org).

Ces détails et argumentaires sont pratiquement suffisants pour noter que le choix de mesures, des actions et des orientations stratégiques pour pallier les effets des CC, rehausser l'adaptation et assurer la résilience des composantes de l'écosystème étudié face aux CC, ne peut pas se réaliser à ce stade de l'étude. L'analyse multicritère et le choix de solutions en découlant, prélude à une véritable stratégie à cet effet, doit engager les partenaires affectées et/ou intéressés dans le projet, dans une démarche complète participative et inclusive.

9 Leçons apprises et conclusions

Suite au rapport sur l'état en termes de sensibilité aux CC des lieux approchés selon les données de littérature, des visites sur terrain et des entretiens avec les différents partenaires, les travaux de la présente partie réservés à une analyse approfondie et une analyse et à une évaluation des risques multisectoriels liés à la vulnérabilité des composantes de l'écosystème et activités socio-économiques associées, permettent d'apporter un certain nombre de précisions supplémentaires quant aux vulnérabilités multiples recherchés.

En effet, il s'avère que le domaine d'étude, exceptionnel et avec de rares égaux étant donné le Monde, par les caractéristiques de ses écoulements antagonistes et complémentaires, exoréique alimenté par un large bassin versant, et maritime lagunaire gagnant des spécificités uniques (biodiversité marine, flore, faune, hydraulique, ...) dictées par un équilibre dans l'échange de son eau marine avec les eaux douces arrivant du Lac Ichkeul via l'oued Tinja. Malheureusement, cet hydraulique environnemental naturel, tend aujourd'hui à s'estomper.

C'est l'action anthropique qui a été à l'origine du modèle naturel, notamment (i) par un étranglement du Lac Ichkeul par une batterie de barrages, l'abandon sinon la non-satisfaction des lâchers d'eau dans ce lac programmée lors du barrage des principales artères

Hydrauliques ; (ii) par l'installation d'une écluse sur l'oued Tinja pour réguler les échanges entre lac et lagune, mais qui d'après les partenaires rencontrés, n'a jamais fonctionné, sinon très peu.

Il y a certainement ici une leçon à apprendre, à la fois gigantesque, magnifique et douloureuse : l'écosystème a déjà entamé la déviation de son équilibre naturel, écologique et environnemental, durable depuis la construction des deux premiers grands barrage (Sejnène, 1987-1980 ; Joumine, 1980-1984). Le barrage Sejnène a englouti le neck de Guelb Saadmoun, véritable patrimoine national des plus beaux et l'unique en Tunisie et dans le Nord de l'Afrique.

Cette déviation très rapide de l'écosystème de son équilibre naturel en très peu de décennies, a été accélérée par les rejets polluant excessifs les plus divers dans les plans d'eau, par une phagocytose urbanistique galopante, par une sollicitation de plus en plus oppressante des services de cet écosystème et par une intervention démesurée intra-bassins quant aux échanges hydrauliques régulateurs à tous niveaux.

Les prémices des CC ayant émergé aux années 1990 (Sommet de la Terre à Rio de Janeiro, 1992 et conventions adoptées : CCNUCC, CDB et CLD), et se sont mieux manifestés, successivement dans le Protocole de Kyoto 1997, et plus récemment dans l'Accord de Paris 2016. Les scientifiques ont pris le relais pour proposer des scénarios pour la plupart alarmants en termes de risques d'émanations de GES, de risques induits par un cocktail d'aléa associés aux changements du climat.

C'est en raison de la grande vulnérabilité de pratiquement toutes les composantes de

l'écosystème étudié, des activités socio-économiques y installées, des infrastructures, des équipements collectifs, du bâti urbain et du milieu de vie, que l'analyse et l'évaluation des risques liés à cette vulnérabilité, démontre que notre écosystème est déjà proie aux effets néfastes des CC pervers qui de plus sont amplifiés par la pollution ubiquiste (naturelle et anthropique) du domaine lagunaire et par l'extension souvent anarchique des agglomérations. De l'avis des partenaires sociaux, le comportement peu citoyen de certains volontairement pollueurs qui doivent donc payer, aggrave la déroute de l'écosystème à trois points de vue.

De manière succincte, les impacts durables, justifiés, saillants et démontrés (cartographiés) dans ce rapport, manifestation des effets des changements climatiques, dégagés sur la base d'une confrontation des gravités des aléas du changement climatique attendu sur une longue période (2050 et 2100), des vulnérabilités correspondantes et de la gravité des risques encourus, sont les suivants :

- Elévation du niveau moyen de la mer : ceci pourrait représenter un risque majeur sur le bâti urbain, les équipements collectifs, les infrastructures, de modification des traits de côtes, la submersion et la perte de biodiversité terrestre et de son habitat, la salinisation des ressources aquifères, les ressources aquifères, sur l'agriculture et ses rendements, etc.
- Augmentation démesurée de la température moyenne annuelle de plus de 2°C aux horizons indiqués : les enjeux englobent le déséquilibre écologique, la perte d'espèces biologiques, la fragilisation et l'atteinte à la santé humaine, la perte de rendements et d'activités agricoles, des feux de forêts dévastateurs, etc.
- Augmentation de la fréquence des inondations : pertes de vie humaines, d'infrastructures et équipements, de bâti urbain, d'espaces agricoles et récoltes, ...
- Augmentation de la fréquence d'années successives de sécheresse ; perte de revenus, baisse fatale des rendements agricoles, perte définitive de biodiversité...
- Amenuisement des ressources en eau, raréfaction et salinisation des eaux des aquifères côtiers par submersion marine, soif, et manque de réponse à la demande normale dans tous les secteurs essentiels de production, effets environnementaux par salinisation des plans d'eau, effet sur la pêche industrielle, ...
- Erosion des sols ; destruction de couvert végétal, perte de terre arable notamment, perte de biodiversité et de cultures, ...
- Salinisation des sols ; baisse des rendements agricoles, perte de biodiversité, salinisation des aquifères per descensum, ...
- Salinisation des aquifères côtiers, rupture de biseau salin et invasion d'eau marine dans les aquifères souvent surexploités, perte définitive de réponse à la demande des utilisateurs, mauvaises retombées sociales et économiques...
- Erosion de la biodiversité terrestre et même aquatique,
- Marinisation et tropicalisation du système lagunaire : modifications profondes de la biodiversité et de l'écologie, pertes d'espèces rares, protégées, endémiques, euryhaline et eurythermes adaptées aux eaux de l'écosystème, introduction d'espèces invasives arrivées, tropicalisation, ...
- Risque épidémiologique lié à la submersion marine et à un déplacement des biotopes à

moustiques vecteurs de maladies aux proximités des agglomérations bordières des plans d'eau (Mateur, Tinja, M. Jemil, Menzel Bourguiba).

10 Références consultées

- ADAPT'ACTION, 2021. Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire. 124p.
- AFD/ MARHP, 2021, Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire, 125 p.
- Afdhal, B., Tlig, S., Lissioud, W., Essaied, M. 2010. Etude d'Impact sur l'Environnement, 189p.
- ANPE (2004-2009). Rapport sur le suivi scientifique au Parc National de l'Ichkeulannée. Ministère de l'Environnement et du Développement durable, Tunis.
- ANPE (2004-2009). Rapport sur le suivi scientifique au Parc National de l'Ichkeulannée. Ministère de l'Environnement et du Développement durable, Tunis.
- APAL-PNUD, 2012. Etude de la carte de la vulnérabilité du littoral tunisien à l'élévation du niveau de la mer due aux CC. Rapports phase 1, 402 p. et phase 2, 189 p.
- Barbery, J., Delhumeau, M. 1979. Cartes des ressources en sol de la Tunisie au 1/200000 : feuille Bizerte. Rapport ORSTOM pour le Ministère de l'Agriculture, Tunis, carte avec notice, 35p.
- BATIONON Y. D., 2009. Changements climatiques et cultures maraîchères. Mastère Géographie. Univ. Ouagadougou. <https://www.memoireonline.com/09/10/3932/Changements-climatiques-et-cultures-maraicheres.html>.
- BEAULIEU N., SANTOS SILVA J. & PLANTE S., 2015. Un cadre conceptuel pour explorer localement les facteurs de vulnérabilité et les options d'adaptation aux changements climatiques. *Vertigo*, Hors-série, 23. <https://doi.org/10.4000/vertigo.16603>.
- Ben M'Barek, N. 1995. Impacts des ouvrages sur l'équilibre de l'écosystème "Lac Ichkeul" Suivi mensuel des principaux paramètres physico-chimiques. DEA, Université Tunis II, Tunis : 67p.
- Ben M'Barek, N. 1995. Impacts des ouvrages sur l'équilibre de l'écosystème "Lac Ichkeul" Suivi mensuel des principaux paramètres physico-chimiques. DEA, Université Tunis II, Tunis : 67p.
- Ben M'Barek, N. 2001. Etude de l'écosystème du lac Ichkeul et de son bassin versant : "Caractéristiques physiques et géochimiques des eaux et des sédiments". Thèse de doctorat, Université Tunis II, Tunisie. 235p.
- Ben M'Barek, N. 2001. Etude de l'écosystème du lac Ichkeul et de son bassin versant : "Caractéristiques physiques et géochimiques des eaux et des sédiments". Thèse de doctorat, Université Tunis II, Tunisie. 235p.
- Bhouri khila S., Douh B., Mguidiche A., Boujelben A. 2015. Effets de la contrainte hydrique et des changements climatiques sur la productivité du blé dur en conditions climatiques semi arides de Tunisie, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°23, September 2015, pp. 69-85
- Bouazza, Z. M. JALIL R. CHAFIL A. ZEROUALI, 2012. Changement climatique et Gestion de l'irrigation Conférence Internationale Organisée à AGADIR par l'ANAFID du 15 au 17 Juin 2012
- Bouri, S., Ben Dhia, H. (2010). A thirty-year artificial recharge experiment in a coastal aquifer in an arid zone: The Tébolba aquifer system (Tunisian Sahel). Une expérience trentenaire de recharge artificielle d'une nappe côtière en zone aride : le système

aquifère de Tébourba (Sahel Tunisien). Comptes Rendus Géoscience 342. 60-74.DOI: 10.1016/j.certe.2009.10.008

BOURQUE A. 2000. Les changements climatiques et leurs impacts. *Vertigo* 1 (2). Numéro Spécial : Changements climatiques. <https://doi.org/10.4000/vertigo.4042>

Brahim, M, Bejaoui, B et Atoui, A. (2008), 'Etude de l'hydrodynamique sédimentaire de la Lagune de Bizerte', Bull. Inst. Scien. Tech. Mer de Salambo, Vol. 35.

BRAHMI N., HATIRA A. et M.Ch. RABIA, 2010. Contribution de la télédétection et des systèmes d'information géographiques à la prise en compte du risque de prolifération des *Aedes* dans les zones humides de Bizerte (nord de la Tunisie). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, volume IV : 151-168.

Calafat F.M., D. Gomis, M. Marcos, 2009. Comparison of Mediterranean sealevel fields for the period 1961–2000 as given by a data reconstruction and a 3D model. *Global and Planetary Change*, 8 (2009) 175–184.

Calafat F.M., and Jorda, G.; 2011. A Mediterranean sea-level reconstruction (1950-2008) with error budget estimates. *Global and Planetary Change*, 79, 118-133.

Chebil, A., Nadhem Mtimet and Hassen Tizaoui 2011. Impact du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières dans la région de Béja (Tunisie), *AfJARE* Vol 6 No 2 September 144

CIHEAM, 2010. Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Maroc et en Tunisie et priorités d'adaptation Mélanie Requier-Desjardins Les Notes d'analyse du CIHEAM N°56 – Mars 2010, 15 p

Dahech S., Beltrando G., (2012), Observed temperature evolution in the city of Sfax (Middle Eastern Tunisia) for the period 1950-2007, *Climatic change* 114, p. 689-706, doi 10.1007/s10584-012-0420-x

DGRE (2015). *Annuaire de l'exploitation des nappes phréatiques*. 2015. DGRE.Tunis.

DGRE (2019). *Annuaire de l'exploitation des nappes profondes*. 2015. DGRE. Tunis.

Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, 2019. Carte nationale d'infrastructure et des grands équipements collectifs à l'horizon 2030. Rapport National. 367p, Cartes.

EL HAMOUMI R, DAKKI M & THEVENOT M., 2007. Etude écologique des larves d'anoures du Maroc. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Vie, 29 : 27-34.

Garali, M., Ouakada, M., Guedarri, M. 2009. Bilans hydrologiques de la lagune de Bizerte (Nord-Est de la Tunisie) *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 22 (4): 525-534.

Gasmi F., Belloumi M., Matoussi M.S, (2010. Climate Change Impacts on Wheat Yields in Tunisia: An Econometric Analysis", paper presented at ERF 17th Annual Conference, 20-22 March, 2011, Antalya, Turkey.

GIZ & ME, 2022. Stratégie de neutralité carbone et de résilience au changement climatique à l'horizon 2050. 145p.

GIZ / MEDD, 2009. Étude stratégique sur le développement de l'écotourisme en Tunisie synthèse, 11 p.

GIZ / MTA, 2021. Promotion du tourisme durable. Nouvelles perspectives grâce au tourisme culturel et naturel.

GIZ, 2019. Evaluation de la vulnérabilité du secteur agricole à la variabilité et aux changements climatiques dans la région de FatickS-100 p

GIZ/ Ministère de l'Equipement, 2010. Tourisme et changement climatique en Tunisie

: évaluation des impacts environnementaux et socioéconomiques du changement climatique sur les principales activités touristiques en Tunisie, 172 p.

GIZ/Min Equipement 2009. Tourisme et changement climatique en Tunisie : Annexe 2 : L'étude du changement climatique et le potentiel climato-touristique de la Tunisie, 64 p.

GRACCI F., 2018. Quel Impact le réchauffement a-t-il sur la flore ? Science & Vie. <https://www.science-et-vie.com/questions-reponses/quel-impact-le-rechauffement-a-t-il-sur-la-flore-15519.html>

Grami D., Ben Rejeb J., 2015. L'impact des changements climatiques sur le rendement de la céréaliculture dans la Région du Nord-Ouest de la Tunisie (Béja) , NEW MEDIT N. 4/2015, 36-41

Haboubi, R.. 2004. Dynamique et changements récents des environs de Garât Ichkeul. Mémoire de Diplôme des Etudes Approfondies, Université de Tunis I, 83p.

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

ITES, 2016. La Tunisie en 2025, 213 p.

Kouzana, L. (2010). Intrusion marine dans les nappes côtières de Korba et Téboulba (Tunisie). Caractérisation géophysique et hydrochimique. Thèse pour l'obtention du grade de docteur en géologie de la Faculté des Sciences de Tunis. Tunis.

Lachaal F, (2018). Caractérisation, aide à la gestion durable et à la remédiation des aquifères à risque en Tunisie : Apport des méthodes hydro-géophysiques, géochimiques et des outils géo-numériques. Habilitation Universitaire en Sciences Géologiques (Spécialité: Hydrogéologie). Faculté des Sciences de Bizerte, Université de Carthage.

Lachaal, F., Chekirbane, A., Chargui, S., Sellami, H., Tsujimura, M., Hezzi, H., Faycel, J., Mlayah, A., (2016). Water resources management strategies and its implications on hydrodynamic and hydrochemical changes of costal groundwater: case of Grombalia shallow aquifer, NE Tunisia. Journal of African Earth Sciences. 124, 171-188. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2016.09.024

MALE, 2017. Troisième Communication Nationale de la Tunisie au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), 36

P

Mathlouthi, M. et Lebdi, F. (2010) 'Modélisation de la relation pluie – ruissellement par durée d'épisode pluvieux dans un bassin du Nord de la Tunisie', Hydrol. Sci. J. 55(7), 1111 – 1122.

Mathlouthi, M., Ghali, A. et Lebdi, F. (2011) 'Impact des pluies extrêmes sur la genèseeet l'amplification des glissements de terrain dans le Nord de la Tunisie', Revue Scientifique et Technique, LJEE No.19, décembre 2011.

MEDD, 2017. Guide de bonnes pratiques écotouristiques en Tunisie, 16 p.

MEDD-DGQV, 2008. Etude de la vulnérabilité environnementale et socio-économique du littoral tunisien face a une élévation accélérée des niveaux de la mer dues aux changements climatiques et identification d'une stratégie d'adaptation. 58p.

Mejri, Z. 2011. Ressources en eau et potentiel hydrothermal du flych Nnumidien (Nord-Ouest de la Tunisie). Thèse de doctorat en Sciences géologiques, Faculté de Science dela Tunisie, 188p.

Ministère du développement de l'Investissement et de la coopération internationale 2018. Étude stratégique pour le développement du gouvernorat de Bizerte à l'horizon

2030, synthèse, 32 p.

NATAF 2021. Les Impacts Economiques du Changement Climatique en Tunisie :Risques et Opportunités, 41 p.

Le Scouarnec Noël , Ludovic Martin Effets du changement climatique sur le tourisme

OMT, 2007. Tourisme et changement climatique : affronter les défis communs
Considérationspréliminaires de l'OMT octobre 2007, 11 p.

Oude Essink, G.H.P. (2001). Saltwater Intrusion in a Three-dimensional Groundwater System in the Netherlands: A Numerical Study. *Transport in porous media*, 43:137- 148.

Ouerghi, S. 2006. Développement d'un SIG relatif a intérêt environnemental sur le lac Ichkeul. Mastère spécialisé en Géomatique à l'Ecole Nationale des Ingénieurs de Tunis. 80p.

PRLM 2008 : Répondre à l'élévation du niveau de la mer en Languedoc-Roussillon. Pole relais lagunes méditerranéennes p19.PNUE/OMM, 2008. Changement climatique et tourisme : Faire face aux défis mondiaux,(résumé) , 32 p.

PNUE/OMM, 2008. Changement climatique et tourisme : Faire face aux défis mondiaux, (résumé) , 32 p.

Richter, B.C. & Kreitler, C.W. (1993). Geochemical techniques for identifying sourcesof groundwater salinization. CRC Press, Boca Raton, Florida, 265 p.

Romdhane, MS. 1994. Ichtyofaune du lac. BCEOM. Tunis, Tunisie. 39p.

Roussel, 2020. Impact des changements climatiques sur l'agriculture : ne pas oublier les effetsdu taux de CO2, Actu environnement

SANE F & DIDIER S., 2007. Typologie des sites de reproduction du crapaud vert (*Bufo viridis* laurenti, 1768) en Alsace. *Ciconia* 31 (1) : 19-28

Seguin B. 2020. Impact du changement climatique et adaptation de l'agriculture INRA Mission'Changement climatique et effet de serre', site Agroparc

SEGUIN B., Le changement climatique : conséquence pour les végétaux. 2010.

Quaderni 71 : 27-40. <https://doi.org/10.4000/quaderni.525>

UNWTO, 2008. Tourism highlights, 12 p.

Vennetier M. 2020. Forêts et changement climatique. Le constat en région méditerranéenne *Sciences Eaux & Territoires* 2020/3 (Numéro 33), pages 18 à 25

Vousdoulas, M. I., L. Mentaschi, E. Voukouvalas, M. Verlaan, and L. Feyen (2017), Extreme Sea levels on the rise along Europe's coasts, *Earth's Future*, 5, 304–323, doi:10.1002/2016EF000505.

White, I. & Falkland, T. (2010). Management of freshwater lenses on small Pacific islands. *Hydrogeology Journal*, 18: 227-246

11 Annexes

Annexe 1 : Glossaire

Écosystème : C'est un terme inventé par George Tansley (botaniste anglais) en 1935. Ce terme est issu du grec *Oikos*, signifiant à la fois maison et *systema*, ce qui peut réunir ensemble, en un seul corps, plusieurs composantes ou parties constitutives de ce corps ou écosystème. Cet écosystème se forme naturellement et tend à garder un certain équilibre. Par exemple, les écosystèmes aquatiques (mer, lac, lagune) se distinguent des écosystèmes terrestres, mais un écosystème peut être de plus petite taille/échelle. Ainsi, une sebkha, une embouchure de fleuve, une forêt, un récif, un tapis algaire, etc., et les espèces y vivant sont des exemples d'écosystèmes. Ces lieux de vie permettent le développement de certaines espèces végétales, animales ou même fongiques.

Il en advient qu'un écosystème est un ensemble dynamique constitué d'un milieu/environnement naturel ou biotope caractérisé par des conditions climatiques (eau, sol, climat, lumière, humidité...), hydrologiques (eaux de surface, souterraines ou hydrothermales, etc.) et géologiques (roche, sol, etc.), répondant à des conditions écologiques bien définies, et des êtres ou biocénose y vivant (animaux, plantes, micro-organismes, etc.) et qui l'occupent. Les espèces vivantes interagissent et exploitent les apports en matière et en énergie du biotope.

Ainsi, différentes relations d'interdépendance réunissent les différents éléments d'un écosystème facilitant les formes d'échange de matière et d'énergie. Il en résulte que le biotope réceptacle et la biocénose y existant s'unissent dans un système assez homogène, indissociable et qui est en équilibre instable. Cependant, ce système est apte à évoluer et à s'adapter à un contexte écologique donné. La modification rapide d'un ou de plusieurs paramètres de l'écosystème (changement climatique rapide par exemple) conduit à une rupture dans l'équilibre écologique et environnemental.

L'ensemble des écosystèmes naturels de la Terre constituent la biosphère. Les termes connexes les plus souvent invoqués sont : l'écosphère, la biodiversité, l'écologie, etc.

Composante de l'écosystème : Elle représente une partie ou une association de parties de l'écosystème, dont la biocénose (plusieurs espèces végétales ou animales) ou le biotope (eau, sol, plante) concourant à un équilibre de vie déterminé.

Changement climatique : En géologie le climat terrestre est en continu changement (forçage climatique) mais à un rythme relativement bien déterminé. Les périodes de changement naturel rapide, accentué ou de grande envergure sont qualifiées de périodes de crises climatiques. À ce type de modification du climat se sont ajoutés des facteurs perturbateurs externes par rapport à l'écosystème, liés aux activités anthropiques d'exploitation de la biosphère (déforestation, occupation de l'espace, activités agricoles et usages d'engrais et de pesticides, génération de gaz à effets de serre, pollution de l'eau du sol et de l'air, etc.) qui conduisent à une perturbation profonde des paramètres climatiques. Ceci conduit à une accélération exagérée du changement du climat et à l'introduction d'effets pervers qui déstabilisent et désorientent l'évolution naturelle de l'écosystème.

Catastrophe climatique : Dans les secteurs de gouvernance, de développement et d'aide humanitaire, une catastrophe est définie comme une rupture grave du fonctionnement d'une communauté ou d'une société impliquant des pertes importantes de biens, de vies humaines, matérielles, économiques et environnementales, que cette société ou cette communauté affectées ne peuvent pas surmonter avec leurs seules ressources. Les effets des catastrophes sont pratiquement immédiats, mais ils peuvent dans certains cas être aggravés par la façon dont les populations sinistrées réagissent à la situation et tentent de s'en relever.

De manière plus pratique, la situation de catastrophe peut correspondre à une probabilité de dépassement de l'ordre de 10% de la situation du risque le plus fort engendré par un aléa donné.

Risque de catastrophe : C'est le potentiel évalué d'une catastrophe d'un type donné, en termes de

pertes en vies humaines, de biens et services, d'états de santé, etc., qui pourraient se produire dans le futur au sein d'une communauté, dans une situation donnée. Ce concept implique :

- La présence d'un ou de plusieurs enjeux à protéger ou à sauvegarder ;
- La probabilité de survenu d'un aléa porteur de danger qui peut endommager cet enjeu ;
- L'existence de facteurs aggravant les effets de cet aléa (vulnérabilité) dont la conscience du danger et le comportement des individus d'une communauté, et/ou l'absence de mesures de prévention (résilience) pour les supprimer ou les atténuer.

C'est aussi dire que le risque de catastrophe est évalué qualitativement et/ou quantitativement, en termes de l'ensemble des pertes possibles dans une situation donnée, pour un aléa donné : pertes vies humaines, dégradation de l'état de santé, destruction des moyens de subsistance, de biens, de cultures, de services, d'équipements et d'infrastructures, qui pourraient se produire en lien avec un événement donné, sur une période de temps donnée.

La gouvernance et la lutte pour la réduction des risques de catastrophe impliquent l'évaluation et la gestion des facteurs et les causes de ces risques, en limitant l'exposition des communautés, et en agissant pour réduire la vulnérabilité des personnes et des actifs, notamment par une gestion rationnelle de l'espace, des éléments structurants, et de l'environnement, et une meilleure organisation pour faire face aux événements indésirables.

Les deux Cadres d'action inter-pays de Hyōgo (CAH) à la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes en 2005, et plus récemment celui de Sendai (2015-2030), ont engagé tous les acteurs de premier plan du développement et de l'aide humanitaire, au plan multisectoriel, à investir dans la réduction des risques de catastrophes, pour renforcer la résilience des sociétés à ces événements désastreux.

Aléa climatique : Les aléas sont des processus, des événements naturels ou des activités humaines engendrant le risque dans une situation de vulnérabilité donnée. Ils peuvent être cause de pertes de vies humaines, de blessures, de maladies ou d'autres effets sur la santé, des dommages aux biens, aux équipements et aux infrastructures, la perte de moyens de subsistance et de services, des perturbations socioéconomiques, ou des dommages à l'environnement, etc.

Ces aléas peuvent être représentés par la sécheresse, l'inondation, les secousses telluriques, les éruptions volcaniques, les invasions acridiennes, les épidémies, les tempêtes, le déversement de produits chimiques et pollution, les conflits, les changements climatiques, etc. Les aléas peuvent être simples, séquentiels ou combinés en ce qui concerne leur origine et leurs effets. Chaque aléa est caractérisé par sa localisation, son intensité, sa fréquence (période de retour) et sa probabilité.

Vulnérabilité : La vulnérabilité se manifeste dans l'ensemble des caractéristiques et des circonstances d'un individu, d'un ménage, d'une communauté ou une société, d'un système, d'un moyen de production, ou des actifs, qui peuvent les rendre susceptibles de subir les effets d'un danger/aléa. Ces caractéristiques et circonstances peuvent être de nature physique, institutionnelle, politique, culturelle, sociale, environnementale, économique et humaine.

La vulnérabilité peut être estimée sur la base des effets combinés de plusieurs contraintes liées à l'exposition mais aussi à la réactivité de tous les facteurs mis en jeu (biophysiques, sociaux, économiques, politiques, de gouvernance, environnementaux etc.). L'absence d'infrastructures et d'équipements adéquats, une mauvaise planification urbaine, la négligence des moyens d'éducation, de formation, et de sensibilisation du public, un comportement démesuré, la négligence des mesures de protection des individus et des actifs, etc., peuvent dans la plupart des cas aggraver la vulnérabilité et donc le risque de catastrophes. De ce fait, la vulnérabilité peut varier spatio-temporellement pour une société ou une communauté donnée, dans un environnement donné.

Enjeux et Exposition : Ces deux termes font référence aux personnes, habitat, biens, écosystèmes, équipements et infrastructures, et tous autres éléments présents dans les zones à risque et qui peuvent être sujets à des pertes potentielles pour cause de survenue d'un aléa naturel ou

anthropique/technologique ou des changements climatiques.

Sensibilité : L'évaluation de la sensibilité d'une espèce, d'un individu, d'une communauté ou d'un écosystème ou d'un biotope face à divers aléas dont ceux liés aux CC, est un exercice difficile qui met en œuvre un grand nombre de notions de base dont l'exposition, le cycle de vie des individus et des écosystèmes, de la biodiversité, des populations, etc.

Cette perception de la sensibilité est à la croisée de plusieurs disciplines dont la biologie, l'écologie, la toxicologie, la climatologie, et l'environnement. L'état des connaissances dans ce domaine souligne la nécessité de confronter des approches scientifiques, mécanistes et empiriques, pour étudier, interpréter et évaluer les réponses observées des organismes face à un phénomène, un aléa (ou un ensemble d'aléa : contamination toxique, CC etc.) qui peut engendrer un risque d'une certaine gravité.

Les écarts de sensibilité entre espèces, biotopes ou biocénoses vis-à-vis d'un aléa moteur donné, se constatent en comparant des écosystèmes et environnements affectés par cet aléa et d'autres non-affectés. Il apparaît que certaines espèces (animales, végétales, microbiennes), des écosystèmes, des communautés ou des environnements sont très sensibles à l'avènement d'un aléa (toxicité, sécheresse, CC, etc.) et à l'instauration de ses effets, alors que d'autres les tolèrent. Il s'agit d'un constat plutôt empirique qui est, dans le cas précis de la biodiversité, à la base du développement des méthodes de bio-indication pour déterminer la qualité et évaluer les enjeux encourus et l'adaptation ou la résilience des écosystèmes et donc de l'environnement des milieux face à un aléa, un ensemble d'aléas (CC) ou un phénomène actif donné.

Résilience : La résilience désigne la capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société exposée aux risques de résister, d'absorber, d'accueillir et de corriger les effets d'un danger en temps opportun et de manière efficace, notamment par la préservation et la restauration de ses structures essentielles et de sa fonction de base. La résilience n'est pas un état final, mais un ensemble dynamique de processus et de conditions.

Cartographie GIS : La cartographie au sens classique est une discipline qui englobe la conception, la production, la diffusion et l'étude des cartes. Elle désigne également la représentation spatiale des données ou d'une multitude d'objets (la carte elle-même).

Par contraste avec les techniques classiques souvent manuelles, l'évolution des technologies du travail cartographique permet aujourd'hui l'étude analytique des localisations et des interactions spatiales en tant que composantes des fonctionnements d'un écosystème, d'un environnement naturel terrestre ou marin, d'une société et des individus qui la composent, etc. La compilation des données transforme l'espace du simple support classique, à une donnée décisive pour l'organisation écosystémique, environnementale, sociale, etc. Il s'agit de l'un des modes de l'intelligence géographique qui consiste à reconnaître et analyser des tendances selon une approche géographique déterminée.

Dans l'approche de Cartographie GIS (Geographic Information System), les données englobent notamment les mesures spatiales, les phénomènes ou objets observés sur un territoire, les variations de conditions environnementales à l'échelle d'une zone, etc. Ces données sont organisées et structurées dans une base de données géographique, gérée par un logiciel SIG. Les données sont organisées en fonction de trois catégories d'attributs essentiels : la localisation et la forme de l'objet, la nature et les attributs de l'objet, et les relations de construction avec les autres objets en question.

Température : La température est une grandeur physique (variable d'état) étudiée en thermométrie. Elle se définit et se mesure par rapport à un état de référence choisi (plusieurs échelles), est reliée à la sensation de chaleur (fonction d'état) entre un corps donné et son environnement. C'est aussi en physique une grandeur définie par le quotient de la chaleur par le degré d'agitation des particules (atomes, molécules). C'est une variable importante dans plusieurs disciplines, dont en particulier la météorologie, l'astrophysique, la climatologie, la chimie, la médecine, etc.

Déficit hydrique : Le déficit hydrique (ou stress hydrique) est défini comme étant une période d'insuffisance de l'activité de l'eau dans l'environnement de la plante. En termes agronomiques, la sécheresse se définit par un manque d'eau de pluie, ce qui se traduit sous un climat donné par des pertes d'eau supérieures aux disponibilités habituelles.

La sécheresse est étroitement liée au déficit hydrique. Il y a sécheresse dès qu'il se produit dans la masse des tissus, un déficit en eau conduisant à une baisse des rendements, ou un manque d'eau qui provoque des réactions de défense de la plante qui se traduisent par un flétrissement de l'état du feuillage.

De manière pratique, le déficit hydrique s'évalue selon l'écart entre la précipitation moyenne annuelle d'une zone, et la valeur annuelle moyenne de l'ETP.

Stress hydrique : Il se produit par une déviation plus ou moins brusque par rapport aux besoins normaux (moyennes) en eau de la plante, mais aussi par une réaction sensible de la plante dépendant de sa physiologie qui change sensiblement. Il en résulte soit l'adaptation à la nouvelle situation de disponibilité de la denrée, soit à la dégradation menante ou à l'extrême, à une issue fatale.

Selon ce même auteur, le stress de sécheresse intervient dans une zone où la disponibilité de l'eau va être comprise entre des valeurs des potentiels hydriques qui sont entre la perte de turgescence amenant à un flétrissement visible mais récupérable, et le point de flétrissement permanent.

Toute restriction hydrique se traduit par une baisse de potentiel de production de la plante, suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un manque de consommation en eau par rapport à la moyenne. Plusieurs auteurs décomposent le stress hydrique en deux contraintes opposées

: le déficit hydrique et l'excès d'eau qui entraînent souvent l'asphyxie.

Sécheresse : La notion de sécheresse est souvent ramenée à une longue période de temps, durant laquelle les apports de pluie demeurent en-dessous des moyennes statistiques données pour une région. Les signes de la sécheresse sont nombreux et les conséquences à court ou long terme peuvent avoir de sérieux impacts sur la population et l'écosystème.

C'est aussi un phénomène naturel caractérisé par un manque d'eau sur une durée suffisamment longue pour affecter les sols et la végétation. Un épisode de sécheresse peut être ponctuel ou récurrent.

La perception de l'état de sécheresse varie selon les auteurs et les décideurs. Par exemple, la sécheresse absolue en France est déclarée lorsqu'une pluviosité de moins de 0,2 mm/jour se manifeste pendant 15 jours consécutifs, alors qu'aux Etats Unis, la sécheresse est établie si une zone suffisamment étendue reçoit en tout 30% seulement ou moins, des précipitations reconnues en temps normal sur une période de 21 jours consécutifs. Une autre définition en Australie, considère que si une zone reçoit moins de 10% de précipitations par rapport à la moyenne annuelle, elle est alors déclarée comme étant en état de sécheresse.

Désertification : La désertification est un phénomène naturel qui désigne la dégradation progressive des sols et de la biodiversité associée, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches. Elle est due aux variations du climat et aux activités anthropiques. Elle peut également entraîner la détérioration de la végétation, l'érosion des sols et la migration de populations notamment par manque de rendement des activités agricoles.

Les causes de la désertification sont tous les phénomènes climatiques naturels extrêmes, et ceux liés au dérèglement climatique (sécheresses récurrentes, faibles précipitations, érosion des sols...), conséquence des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines. A la cause naturelle s'ajoute donc une autre anthropique, due à la responsabilité indirecte de l'Homme.

L'action de l'homme est d'ailleurs l'une des causes majeures de la désertification et ses pratiques agricoles qui peuvent être non adaptées : déforestation, défrichement, surexploitation des sols, surpâturage, épuisement des ressources en eau, etc.

Adaptation : En termes biologiques, l'adaptation correspond à une certaine mise en accord d'un organisme vivant avec de nouvelles conditions imposées qui lui sont extérieures. Elle peut ainsi se définir comme *l'ajustement fonctionnel de l'être vivant au milieu*. Les nouvelles contraintes environnementales peuvent perfectionner les organes de l'individu en les rendant plus aptes à leur rôle

à jouer dans la vie de l'individu. Il en résulte une certaine cohérence de cet organisme avec l'environnement.

Une autre définition dans le domaine de la biologie évolutive mais qui est souvent contestée, consiste en la modification d'un caractère anatomique, d'un processus physiologique, voire même d'un caractère comportemental par voie de sélection naturelle. Ceci engendre un nouvel état de ce caractère qui est de nature à améliorer la reproduction pour maintenir la survie de l'espèce.

L'on s'accorde souvent à admettre que les différents individus d'une même espèce peuvent rencontrer des conditions environnementales très variables. Par exemple, un animal vivant en zone urbaine, agricole ou en forêt n'aura pas accès aux mêmes ressources et ne sera pas exposé aux mêmes polluants. Les contraintes imposées aux individus vivant dans des milieux différents engendrent des traits adaptatifs qui procurent aux différents individus un avantage de reproduction et de survie dans un environnement donné. Ceci n'exclue cependant pas le fait que des traits variables dans l'espace ne sont pas forcément adaptatifs.

Atténuation/réduction du risque : C'est par excellence le concept et la pratique de réduction des risques de catastrophes grâce à des efforts et des investissements pour en analyser et gérer les causes : réduction de l'exposition aux risques, réduction de la vulnérabilité des écosystèmes, des personnes, des biens, des infrastructures et des équipements, gestion rationnelle des terres, des écosystèmes et de l'environnement, amélioration de la préparation aux événements indésirables (schémas directeurs, stratégies de lutte, plans d'action, suivi et surveillance, etc.).

Élévation Accélérée du Niveau Moyen de la Mer (EANM) : Le niveau moyen de la mer a toujours changé dans une marge de ± 70 m, du moins depuis la formation des océans orientés en Sud Nord entre les deux pôles (âge Rupélien, début de l'Oligocène). Cependant, une élévation suffisamment accélérée de ce niveau a été mesurée durant le 20^{ème} siècle (1901 à 2018), accompagnée par une augmentation moyenne de la température de l'atmosphère terrestre de l'ordre de 2°C. Cette accélération a été mise sur le compte d'un réchauffement accéléré du climat provoqué par les émissions de gaz à effets de serre durant l'ère industrielle.

De nombreuses études ont estimé l'EANM à 20 cm durant la période indiquée, avec une nette tendance à l'accélération de cette élévation notamment à partir des années 1990 (période de référence : 1961- 1990). En 2020, l'EANM dans la Méditerranée a été estimée dans les études les plus pessimistes à environ 0,6 mm/an. Des mesures appropriées, avec les corrections nécessaires liées à de nombreux facteurs, sont en effet effectuées par deux moyens principaux assez puissants : des installations fixes de marégraphes, et de l'altimétrie satellitaire.

Cette EANM est liée à deux phénomènes principaux qui y contribuent chacun de moitié : la fonte d'une partie des glaces continentales (glaces des pôles et des chaînes montagneuses), et la dilatation thermique de l'eau des océans sous l'effet de l'élévation de la température de l'atmosphère. Ces deux phénomènes et donc l'EANM sont naturellement très lents. Il est ainsi prévu une continuation de l'EANM durant tout le troisième millénaire, ce qui n'empêche pas que cette élévation pourrait s'arrêter à un moment donné.

Gaz à effets de serre (GES) : Il s'agit de gaz au moins ternaires (constitués de trois atomes ou plus)

dont une grande partie est naturelle, présente dans l'atmosphère terrestre (dont en particulier la vapeur d'eau) et dont l'intérêt premier est de concentrer la chaleur sous forme de radiations infrarouges, ce qui permet de stabiliser et de maintenir la température à la surface de la terre à un niveau raisonnable.

Toutefois, depuis l'avènement de l'ère industrielle (19^{ème} siècle), la concentration de GES dans l'atmosphère s'est mise en constante progression, ce qui est dû en grande partie :

- au gaz carbonique (CO_2) émis par la combustion d'énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) et par la fabrication du ciment Portland notamment ;
- au méthane (CH_4) issu des rizières, des ordures ménagères, de la fermentation gastrique (bovins), des fuites involontaires de réseaux de gaz, d'exploitation charbonnière (grisou), ou lors d'opérations de forages ;
- Au protoxyde d'azote (N_2O) qui provient de certaines industries, des eaux usées domestiques, des excès d'épandage d'engrais (nitrate d'ammonium et autres nitrates, diammonium phosphate, etc.) ;

D'autres gaz issus des procédés industriels sont aussi à fort potentiel radiatif :

- les hydrofluorocarbures (HFC) utilisés notamment dans les systèmes de climatisation et de réfrigération ;
- les perfluorocarbures (PFC) générés lors de processus industriels (industrie de l'aluminium par exemple) ;
- l'hexafluorure de soufre (SF_6) est un GES surpuissant que l'on trouve notamment dans des équipements électriques de haute tension.

Ces GES en plus de la vapeur d'eau sont responsables de l'effet de serre, participent considérablement au réchauffement climatique (effet de serre additionnel), et c'est à partir de 1997 que le Protocole de Kyoto avait permis d'engager la communauté internationale à limiter la production de GES. Ce protocole est aujourd'hui signé ou ratifié par plus de 191 pays.

Annexe 2 : Analyse des travaux

Introduction

Plusieurs études ont été menées pour analyser les effets du changement climatique.

Nous énumérons ci-dessous quelques travaux reçus de la part du Client qui ont traité de manière détaillée ou partielle les effets du changement climatique en Tunisie :

1	Lettre de l'ONAGRI (Observatoire National de l'Agriculture) pour l'année 2021	4	L'olivier Tunisienne face au changement Climatique
2	Stratégie de neutralité carbone et de résilience au changement climatique à l'horizon 2050 réalisée par la GIZ en coopération avec la ministère de l'environnement pour l'année 2022	5	Études de la vulnérabilité de trois écosystèmes tunisiens face au changement climatique : L'écosystème subéraie, l'écosystème alfatier dans le gouvernorat de Kasserine pour l'année 2014
3	Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire réalisée par l'Agence Française de Développement l'AFD pour l'année 2021	6	Guide de référence sur la vulnérabilité réalisé par la GIZ pour l'année 2020

1. Lettre de l'ONAGRI (Observatoire National de l'Agriculture pour l'année 2021

Ce document présente les effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire et la valeur économique de l'eau pour les différentes cultures irriguées tout en se basant sur des indicateurs pertinents et clairs visant d'anticiper les risques liés aux menaces de l'agriculture tunisienne.

L'approche proposée est innovante et s'appuie sur une démarche de quantification des aléas liés au changement climatique et de projection des risques futurs sur le système de production agricole afin de permettre de prédire via un processus de modélisation, l'évolution de la sécurité alimentaire du pays.

Cette étude présente les interactions entre le changement climatique et les détriments de la sécurité alimentaire (disponibilité, accès, utilisation et stabilité) en dressant des tableaux de bord sur les évolutions futures des indicateurs de performance relatives aux trois productions agricoles de base (céréaliculture, oléiculture et élevage extensif sur parcours) en relation avec les tendances des indicateurs climatiques choisis.

La méthodologie adoptée pour l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique repose sur l'étude de l'évolution des aléas et aux risques sur une échelle de 2050 à 2100 suivant les axes suivants :

- Identification des principaux aléas climatiques en lien avec la sécurité alimentaire et en particulier la production agricole
- Identification des risques agricoles découlant des aléas climatiques et en relation avec les trois productions retenues
- Détermination des indicateurs climatiques et agro-climatiques permettant de décrire les aléas et les risques agricoles associés
- Identification des liens et correspondance entre aléas-risque et indicateurs
- Création de la climatologie de référence moyennant des outils appropriés et à partir des données spécifiques
- Traçage des tendances climatiques futures par rapport à la période de référence pour les deux projections cibles et les deux scénarios retenus moyennant un processus de modélisation.
- Quantification des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire et nutritionnel en se basant sur l'évolution des indicateurs et risques déjà étudié moyennant des simulations multimodales surtout pour l'évolution de la production.

2. Stratégie de neutralité carbone et de résilience au changement climatique à l'horizon 2050 réalisée par la GIZ en coopération avec le Ministère de l'Environnement pour l'année 2022

Ce document présente les grandes lignes de la stratégie de neutralité carbone et de résilience au changement climatique et constitue ainsi un texte résumant les deux stratégies respectives :

La Stratégie Nationale de développement
Résilient au Changement Climatique
(SNRCC)

La Stratégie Nationale Bas-Carbone
(SNBC)

Ces deux stratégies proposent une trajectoire de développement bas carbone pour l'une et résiliente au changement climatique pour l'autre.

Cette étude a permis de dégager :

- Un état des lieux introduisant les circonstances nationales, permettant de mieux comprendre le contexte géographique, climatique, économique et social au sein duquel évolue la Tunisie, et présentant l'analyse de l'évolution du profil GES de la Tunisie, et des trajectoires des émissions de GES sur la décennie 2010,

- Les enjeux de la vulnérabilité pour la Tunisie.
- Les politiques d'atténuation mises en œuvre à ce jour en Tunisie.
- La vision de la Tunisie en matière de transition bas-carbone, qui a guidé les travaux prospectifs et la détermination des objectifs de la composante transition bas carbone de la stratégie, d'une part, et la vision stratégique de résilience 2050 qui a guidé les travaux portant sur la résilience.
- La stratégie nationale bas-carbone avec pour point de mire la neutralité carbone à l'horizon 2050, telle qu'elle a été arrêtée à l'issue des travaux prospectifs et des larges concertations avec les acteurs. Ce chapitre est le cœur de la composante Atténuation des GES de la SNBC&RCC et est essentiel pour la compréhension de la composante transition bas-carbone de la stratégie.
- La stratégie nationale de résilience au changement climatique, telle qu'elle a été arrêtée à l'issue des travaux et études sur la vulnérabilité et l'adaptation et des larges concertations avec les acteurs.
- Les interdépendances et synergies entre les deux composantes stratégiques Un huitième chapitre décrivant les aspects transversaux accompagnant la SNBC&RCC, ainsi que les modalités de mise en œuvre et de suivi.

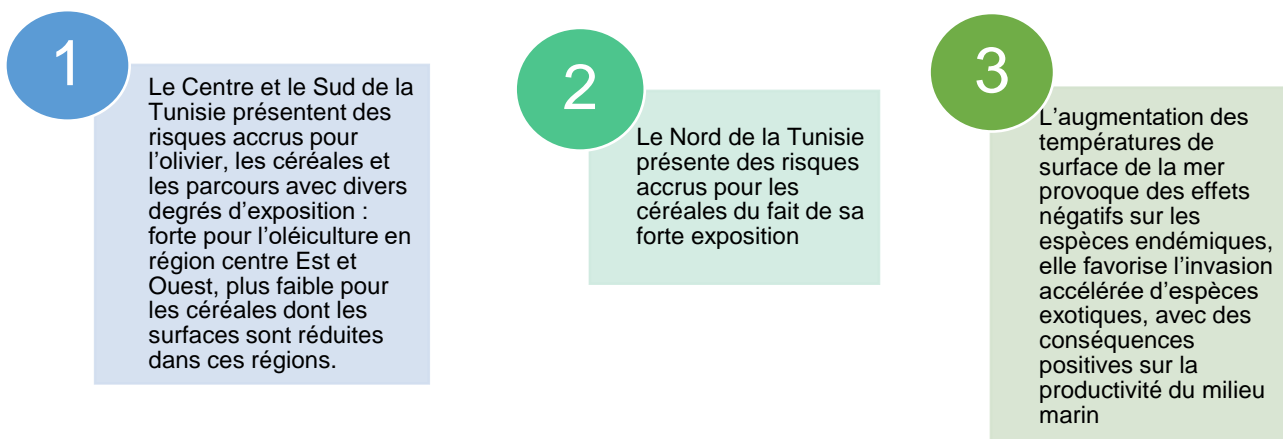
3. Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire réalisée par l'Agence Française de Développement l'AFD pour l'année 2021

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la Facilité Adapt'Action qui a démarré en mai 2017 dans le but de soutenir les pays africains 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.

Cette étude s'attache à caractériser les impacts du changement climatique principalement par rapport aux conséquences sur la production nationale pour cinq composantes phares de l'alimentation en Tunisie que sont l'eau, les céréales, l'oléiculture, les fourrages et donc les productions animales et les produits de la pêche.

L'évolution de la demande alimentaire, qui n'est pas directement corrélée au changement climatique est également étudiée pour pouvoir produire une évaluation des impacts sur la composante utilisation des aliments, qui est un facteur clé de la sécurité alimentaire.

Les principales conclusions tirées de cette étude sont les suivantes :



4. L'oliverie Tunisienne face au changement Climatique

Cette étude s'inscrit dans les activités du projet de coopération tuniso-allemande « Appui à la mise en œuvre de la convention cadre des nations unies sur le changement climatique » (CCC/GIZ) mis en œuvre par le Ministère de l'Environnement et la Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

Ce document présente le fruit d'une équipe de chercheurs de l'IRA Médenine, les experts du projet CCC/GIZ et les services techniques du CRDA de Médenine en collaboration avec le 'Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)' d'Allemagne. Il s'agit d'une étude pilote dont le but est d'informer les acteurs concernés sur le développement d'approches méthodologiques pour l'étude de la vulnérabilité des écosystèmes et agrosystèmes face au changement climatique.

La seconde partie de l'étude est dédiée aux résultats de l'application de l'approche d'analyse de la vulnérabilité du secteur oléicole au changement climatique dans le Gouvernorat de Médenine.

L'étude a permis de dégager les limites de l'oléiculture face au changement climatique et de proposer certaines orientations et réflexion afin de mieux assurer une meilleure adaptation telles que :

- Consolider l'approche d'analyse de vulnérabilité testée dans le cas de l'oliveraie dans le gouvernorat de Médenine,
- Conduire des études de vulnérabilité dans d'autres régions productrices comme le Centre et le Sahel et l'étendre pour tout le secteur oléicole en Tunisie,
- Produire une cartographie pour toute la Tunisie,
- Adapter les stratégies et les politiques agricoles en matière d'oléiculture pour qu'elles prennent en en considération le facteur changement climatique et ses impacts sur la vulnérabilité du secteur dans le pays à moyen et long terme,
- Mettre à jour de la carte agricole régionale pour inclure les scénarios climatiques et l'orienter vers les zones les plus aptes à la culture de l'olivier en instaurant un

système d'incitations via des crédits ou des subventions pour les agriculteurs qui l'appliquent,

- Identifier et promouvoir les technologies et les pratiques d'adaptation pour atténuer les effets de vulnérabilité de l'olivier au changement climatique telle que l'irrigation d'appoint durant les périodes critiques de croissance pour maintenir et les plantations et les rendements des oliviers,
- Valoriser le savoir-faire traditionnel en matière de conduite et de techniques de conservation des eaux et du sol favorisant des conditions édapho-climatiques propices aux arbres d'olivier,
- Promouvoir les variétés d'olivier les plus adaptées à la sécheresse,
- Sensibiliser les agriculteurs et les autres acteurs sur les risques et des effets adverses du changement climatique sur le secteur,
- Engager des études thématiques spécifiques de vulnérabilité de l'olivier au changement climatique, comme les impacts sur la biologie et l'écologie des ennemis de l'olivier.

5. Études de la vulnérabilité de trois écosystèmes tunisiens face au changement climatique : L'écosystème subéraie, l'écosystème alfatier dans le gouvernorat de Kasserine, l'écosystème pastoral dans le gouvernorat de Médenine pour l'année 2014

Cette étude a porté sur l'analyse de l'état actuel de la forêt subaérienne afin de la classer en unités distinctes ; les facteurs sous-jacents qui expliquent cet état afin d'identifier sa vulnérabilité au changement climatique. Elle comporte :

- Une analyse de l'état actuel de l'écosystème
- Une analyse de la vulnérabilité de la subéraie face au changement climatique aux horizons 2020 et 2050
- Une analyse de la valeur économique des différents biens et services de l'écosystème
- Une analyse de la pertinence des stratégies, programmes, projets et pratiques d'aménagement et de gestion actuelle en rapport avec les risques liés au changement climatique
- Des orientations stratégiques et mesures d'adaptation pour augmenter la résilience de l'écosystème face au changement climatique

L'étude a mis en évidence la présence de trois classes différentes d'écosystèmes pastoraux en termes de vulnérabilité au changement climatique :

Classe 1	Classe 2	Classe 3
<ul style="list-style-type: none"> Les écosystèmes des montagnes Matmatas de la délégation de Beni Khedache (<i>Stipa tenacissima</i>, <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Artemisia herba alba</i>) sont les plus fragiles et les plus vulnérables au changement climatique 	<ul style="list-style-type: none"> Les écosystèmes pastoraux basés sur <i>Rhanterium suaveolens</i> et les psammophytes (<i>Stipagrostis pungens</i> et <i>Retama raetam</i>), caractérisant respectivement les sols sableux fixes et mobiles, se sont révélés modérément vulnérables 	<ul style="list-style-type: none"> Les parcours béguaux (<i>Haloxylon schmittianum</i>) et salins (à base d'halophytes) semblent être les moins vulnérables au changement climatique en montrant une très faible vulnérabilité.

Les principales conclusions tirées de cette étude montrent que les écosystèmes pastoraux du gouvernorat de Médenine sont très fragilisés par la pression humaine et menacés par le changement climatique.

6. Guide de référence sur la vulnérabilité réalisée par la GIZ pour l'année 2020

Ce document constitue une approche standardisée pour conduire des analyses de vulnérabilité couvrant un large éventail de secteurs et de sujets (l'eau, l'agriculture, la pêche et les différents écosystèmes), différents niveaux territoriaux et temporels. Il est destiné aux organisations gouvernementales et non-gouvernementales et vise à soutenir leurs efforts pour justifier et renforcer la planification de l'adaptation et du développement.

Ce guide présente un intérêt pour les institutions qui sont impliquées dans des activités situées à la croisée du changement climatique et du développement durable.

L'analyse de la vulnérabilité employée dans ce document couvre la totalité du cycle de vie des mesures d'adaptation, en utilisant des méthodes cohérentes et éprouvées sur le terrain. La prise en compte globale de l'ensemble du spectre des mesures d'adaptation des plans et des stratégies constitue une nouvelle approche de l'analyse de vulnérabilité.

Le Guide de référence sur la vulnérabilité comprend :

Un cadre conceptuel

- Décrit les éléments fondamentaux relatifs à l'approche théorique du guide. En utilisant des analyses de vulnérabilité conduites dans les règles de l'art, ainsi que des pratiques exemplaires du suivi et de l'évaluation des mesures d'adaptation
- Explique les éléments de terminologie clef et les hypothèses utilisées comme les liens entre analyse de vulnérabilité et suivi et évaluation

Des lignes directrices explicitées

- Donnent des instructions détaillées et pratiques pour la mise en œuvre des analyses de vulnérabilité.
- Expliquent les tâches principales relatives à la conduite de l'analyse sont organisées en modules et donnent des instructions étape par étape

Un suivi et évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation

- Surlignent les opportunités posés par l'utilisation d'analyses de vulnérabilité ainsi que quelques conseils pratiques.

- Des zones d'habitat individuel de forte densité ;
- Des équipements publics ;
- Des zones polyfonctionnelles ;
- Des zones vertes équipées.

Certes que l'occupation urbaine des zones de submersion est très ancienne, mais nous pouvons constater que le plan d'aménagement a permis d'accentuer ce phénomène :

- Réglementer et autoriser la construction dans les zones inondables,
- Aucune interdiction n'est instaurée dans les zones à risques,
- Prévoir des vocations qui accentue l'imperméabilisation des sols (habitat, équipement...)



Figure 39 : Extrait du PAU de la commune de Bizerte

Annexe 3 : Changement climatique, scénarios envisagés à l'international et conséquences pour la Tunisie

Evolution des émissions de GES

Dès le début du XIX^{ème} siècle, les teneurs en CO₂ de l'atmosphère (278 CO₂ ppm/v en moyenne) ont entamé une ascendance nette, puis fulgurante à partir de 1950. En 2017, 36,8 milliards ton- CO₂ ont été livrées à l'atmosphère, et en début 2020, 1000 ton-CO₂ au moins sont émises par seconde, soit 38,8 milliards de ton-CO₂/an, bien plus, dans les deux cas, qu'en 2014, 2015 et 2016. L'ascendance des quantités de CO₂ (teneurs en CO₂ : 388, 405,5 et 488 ppm/v, respectivement en 2010, 2017 et 2021) commence déjà à battre de vrais records qui sont compatibles avec le changement accéléré du climat.

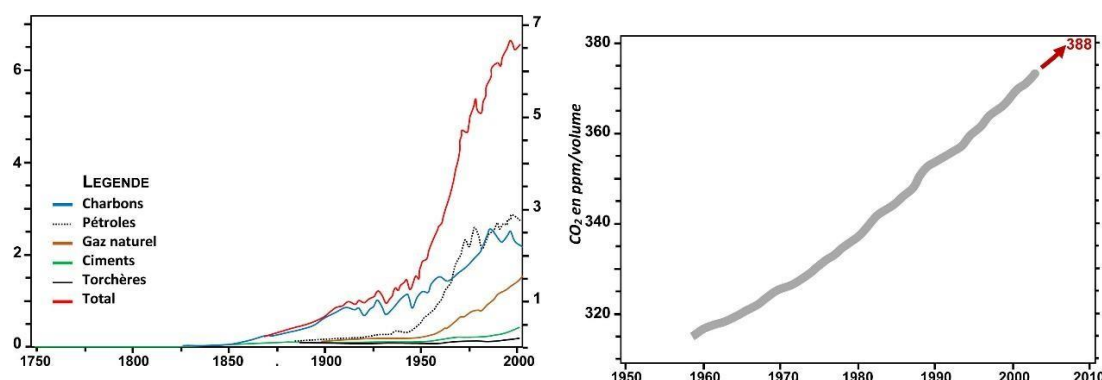


Figure 41 : Emissions globales de CO₂ provenant de différentes catégories sources (en milliards de tonnes) et évolution des concentrations moyennes en CO₂ (ppm/v) dans l'atmosphère de 1950 à 2010 (d'après Keeling and Whorf, 2000). Toutefois ce réchauffement n'est pas lié au seul CO₂ émis. Le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) doivent aussi être considérés. En effet, le premier se caractérise par un pouvoir radiatif (ou forçage radiatif : pouvoir de concentrer les RI provoquant le réchauffement) 25 fois supérieur à celui du CO₂, et le second, un pouvoir radiatif de 320, de loin beaucoup plus élevé.

Cette variation du pouvoir radiatif assez caractéristique de chacun des GES, conduit à exprimer les bilans d'émission en TECO₂ (ton-équivalent CO₂).

Scénarios d'émissions de GES 2000-2100 et réchauffement mondial en surface

Ces scénarios sont entendus en l'absence de politiques d'intervention additionnelles pour infléchir les tendances de réchauffement climatique et leurs effets (IPCC, 2007). Ainsi, six scénarios ont été projetés en tenant compte des quantités de GES qui seront potentiellement émises au cours du 21^{ème} siècle.

Scénarios SRES (Second Report on Emission Scénario) : Ces scénarios adoptés par l'IPCC, correspondent à des concentrations observées en GES et en aérosols. Ils sont utilisés comme conditions initiales des modèles numériques, afin de simuler l'évolution récente et future du climat. Ces simulations couvrent la période 1860-2100.

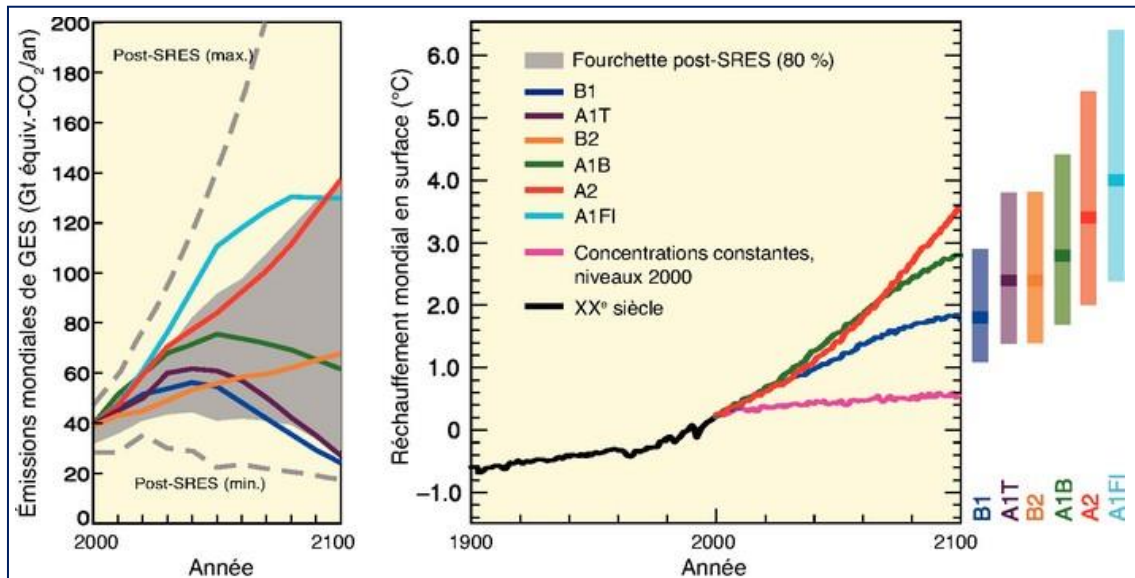


Figure 42 A gauche : Émissions mondiales de GES (en Gt équiv.-CO₂/an) en l'absence de politiques climatiques : six scénarios illustratifs de référence (SRES, lignes colorées). **A droite :** Les courbes en trait plein correspondent aux moyennes mondiales multimodèles du réchauffement en surface pour les scénarios A2, A1B et B1, en prolongement des simulations relatives au XX^e siècle. Ces projections intègrent les émissions de GES et d'aérosols de courte durée de vie. La courbe en rose ne correspond pas à un scénario mais aux simulations effectuées à l'aide de modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) en maintenant les concentrations atmosphériques aux niveaux de 2000. Les barres sur la droite précisent la valeur la plus probable (zone foncée) et la fourchette probable correspondant aux six scénarios de référence du SRES pour la période 2090-2099. Tous les écarts de température sont calculés par rapport à 1980-1999.

La réalisation de ces scénarios permet :

- De comparer l'évolution du climat simulé par les modèles à celle observée depuis 140 ans ;
- De comparer les caractéristiques du climat simulé à celles observées durant les dernières années ;
- De déterminer un état initial pour les simulations du changement climatique futur selon différents scénarios socio-économiques.

Ce dont donc principalement des considérations sur l'évolution des conditions socio-économiques globales à l'échelle du Monde qui sont à la base de différentes hypothèses considérées pour établir ces différents scénarios d'évolution du climat et notamment l'évolution au cours du XXI^{ème} siècle, des émissions de GES et des aérosols, livrées à l'atmosphère. Il s'agit de scénarios répondant à des modèles hypothétiques et intégrés d'impacts, qui prennent en considération l'évolution démographique, l'économie, le développement industriel et agricole, la globalisation, et les perturbations des conditions atmosphériques introduites par les GES et les aérosols. C'est ce qui peut conduire à l'ampleur du changement climatique dans le scénario considéré.

Les principales hypothèses faites pour les différents scénarios proposés sont résumées dans le graphique suivant. :

Scénarios de type A1 : Dans le Monde futur la croissance économique sera très rapide, la population mondiale passera par un maximum au milieu du siècle et déclinera ensuite ; de nouvelles technologies plus efficaces en termes d'émissions de GES seront

introduites rapidement ; la solidarité entre les régions et le renforcement des capacités et des interactions culturelles et sociales seront accrues (globalisation), avec une réduction substantielle des différences régionales dans le revenu par habitant.

Ce type de scénario se subdivise en trois groupes (ou variantes) qui dépendent des orientations possibles de l'évolution technologique dans le système énergétique.

- A1F1 : Mise à disposition de fortes intensités de combustibles fossiles ;
- A1T : Intégration de nouvelles sources d'énergie autres que fossiles ;
- A1B : Equilibre entre les sources énergétiques, ce qui signifie que l'on ne puisse pas adopter une source d'énergie particulière, mais que des taux d'intégration similaires s'appliqueront à l'utilisation de ces sources dans tous les secteurs de la technologie.

Scénarios de type A2 : Concernent les projections dans un Monde plutôt hétérogène, avec des autosuffisances possibles et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité seront également hétérogènes ce qui conduit à une croissance continue de la population mondiale. L'absence de globalisation conduira des orientations régionales du développement, de croissance économique et d'évolution technologique, de caractère plus lent et plus fragmenté.

Scénarios de type B1 : Adoptés pour un monde convergent (globalisation). La population mondiale croîtra pour culminer au milieu du 21^{ème} siècle, avant de décliner (voir scénarios A1). Des changements rapides dans les structures économiques sont attendus (services, information), des réductions dans l'intensité d'utilisation des matériaux, l'adoption de technologies propres, avec l'utilisation rationnelle et efficiente des ressources, la viabilité économique, sociale et environnementale mondiale, dans l'équité, mais en l'absence d'initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

Scénarios de type B2 : Adoptés pour la viabilité économique, sociale et environnementale, avec des solutions locales, une croissance continue de la population mondiale, mais à un rythme plus faible que dans A2, une évolution technologique moins rapide et plus diversifiée que dans les scénarios des types B1 et A1. B2 sera orienté vers l'équité sociale et la protection de l'environnement, avec des niveaux variables locaux et régionaux.

Cependant, selon plusieurs auteurs, pour bien simuler l'évolution la plus récente et future du climat, il faut considérer tous les forçages, aussi bien naturels (éruptions volcaniques, variations de la constante solaire) que ceux dus aux activités humaines (émissions de GES, d'aérosols, déforestation, etc.). Malheureusement, les forçages naturels à considérer sont aléatoires et imprévisibles. Il n'est donc pratiquement pas possible de les prendre en compte surtout pour le futur.

Dès lors, la solution choisie par de nombreux auteurs pour générer de nouveaux scénarios, c'est d'éviter de prendre en compte les forçages climatiques naturels. C'est le cas des Scénarios dits RCP (Representative Concentration Pathway) parallèles à ceux du GIEC. Ces scénarios sont basés sur quatre à priori d'émission des GES dans le futur. Ces scénarios RCP sont proposés pour servir de référence intermédiaire entre les climatologues d'un côté, qui peuvent produire des projections climatiques en utilisant les RCP comme entrée, et les socio- économistes, de l'autre, qui peuvent élaborer des

scénarios d'émission en les comparant et en se référant à ces mêmes scénarios.

Scénarios RCP : Dans ce cas, les simulations pour la période 1860 à 2000, sont réalisées en considérant les forçages dus aux seules activités humaines : accroissement des GES et des aérosols. L'augmentation de la concentration des GES répartis de manière homogène dans l'atmosphère (connue pour CO₂ et CH₄), est mesurée directement dans l'air depuis quelques décennies (depuis 1958 pour CO₂) et dans les inclusions gazeuses dans les glaciers pour les périodes antérieures.

Le forçage radiatif (changement du bilan radiatif lié à différence entre rayonnement entrant et le rayonnement sortant, exprimé W/m²) au sommet de la troposphère (entre 10 et 16 km d'altitude), est dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat. C'est ici le cas des émanations et du pouvoir radiatif des GES.

Les scénarios sont proposés comme suit.

Tableau 47 : Scénarios RCP conçus pour le forçage climatique en fonction des émissions des GES.

Scénario	Forçage radiatif	Concentration Eq-CO ₂ (ppm)	Trajectoire
RCP8.5	>8,5 W/m ² en 2100	>1370 Eq-CO ₂ en 2100	Croissante
RCP6.0	~ 6 W/m ² en au niveau de stabilisation après 2100	~ 850 Eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après en 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP4.5	~ 4,5 W/m ² en au niveau de stabilisation après 2100	~ 660 Eq-CO ₂ au niveau de stabilisation après en 2100	Stabilisation sans dépassement
RCP2.6	Pic à -3W/m ² avant 2100 puis déclin	Pic à ~490 Eq-CO ₂ avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin

Comparaison des Scénarios SRES et des nouveaux Scénarios RCP

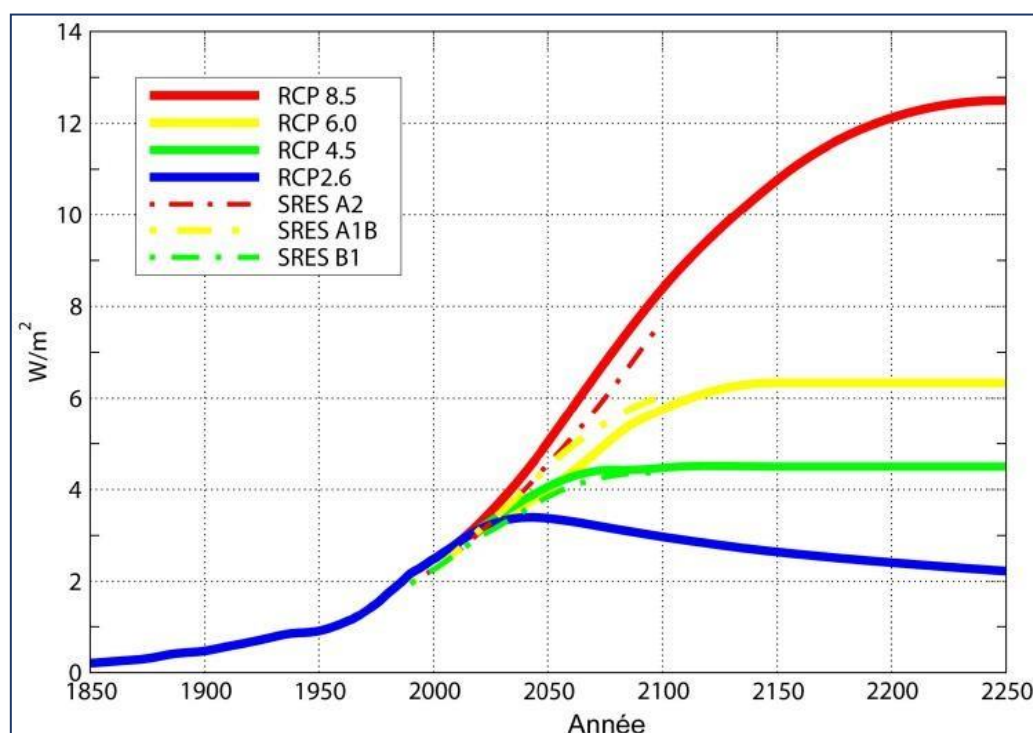


Figure 43 : Analyse comparative des Scénarios RCP en traits pleins, et des Scénarios SRES en tirets.

Ces Scénarios RCP comparés aux Scénarios SRES précédents, rendent compte du fait que le Scénario RCP8.5 est un peu plus pessimiste que le Scénario SRES A2, le RCP6.0

est proche du SRES A1B, et le RCP4.5 est proche du SRES B1. Le Scénario RCP2.6 est le seul à apparaître sans équivalent. Celui-ci implique les effets d'une politique de réduction des émissions susceptible de limiter le réchauffement de la planète à 2°C à l'horizon 2100.

Relation entre la teneur CO2 de l'atmosphère, l'humidité relative et l'augmentation attendue de la température globale liée aux CC

La quantité de CO2 dans l'atmosphère (environ 0,04% de l'air) est considérée comme une sorte de bouton de contrôle de la température de la planète. En effet, il a été démontré qu'une faible variation des teneurs de ce gaz, peut engendrer une variation notable de la température de l'atmosphère. Celle-ci se compose presque en totalité de N2 et O2 qui ne sont pas des GES et qui ne peuvent donc pas contrôler sa température.

A l'opposé, l'eau (vapeur et nuages) est un GES qui absorbe sous ces deux formes environ 75% des radiations liées aux émanations de chaleur terrestre, mais le comportement de la vapeur d'eau (humidité), les nuages et la formation/fusion du gel dépendent étroitement de la température et de la circulation atmosphérique ce qui permet leur condensation ou leur fusion/évaporation. Mais ceci qui n'est pas le cas du CO2. Sur ce point, il apparaît clair que CO2 contribue à 80% de la fraction de gaz non-condensables de l'atmosphère qui maintiennent/contrôlent la température à la surface du globe. Puisqu'il contrôle la température, CO2 peut aussi contrôler la quantité de vapeur d'eau et de nuages.

La coïncidence est aussi que l'absorption des radiations IR par CO2 s'effectue dans une gamme de fréquences où l'émission de chaleur terrestre est la plus forte, d'où un fort pouvoir radiatif de ce gaz, et des GES en général. Il a été estimé que le doublement instantané de la teneur en CO2 (par ex. depuis l'ère préindustrielle jusqu'à nos jours : 278 ppm environ à 560 ppm) réduirait l'émission de rayonnement thermique de la Terre vers l'espace d'environ 4 Watts pour chaque mètre carré de la surface de la Terre.

Cette absorption de CO2 est suffisamment forte et voyant la rupture en résultant pour le système (terre-atmosphère-espace), la température de l'atmosphère doit s'élever pour rayonner 4 Watts/m2 supplémentaires afin de maintenir l'équilibre énergétique de ce Système global.

L'équation donnée par l'IPCC pour cette variation de flux de chaleur est la suivante :

$\Delta F = 5,35 \ln(C)$ où F désigne le flux de chaleur, ln le log. Népérien, et C la concentration en CO2 de l'atmosphère.

L'augmentation subséquente de température est donnée par une autre équation :

$\Delta T = 1,66 \ln(C/Co)$ où T est la température, ln le log. Népérien, et C et Co comme défini plus haut.

Le fait réel est que l'augmentation de la température de surface de 1,2 °C à chaque doublement de la teneur en CO2, entraîne également une augmentation de la teneur en vapeur d'eau pour maintenir une valeur constante de l'humidité relative (pour maintenir l'équilibre du système). Or la vapeur d'eau supplémentaire engendrée par ce phénomène augmente l'absorption globale de chaleur par la vapeur d'eau elle-même qui est réellement un GES. Ceci entraîne une élévation supplémentaire de la température de surface d'environ 1,2°C. Il en résulte que l'augmentation totale de la température à

chaque doublement de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère, est de l'ordre de 3°C lorsque tous les facteurs sont pris en compte.

Un exemple d'estimation est le suivant. Les GES, y compris le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau, maintiennent la surface environ 33°C plus chaude qu'elle ne le serait autrement (température moyenne de la surface de la terre comparée aux autres planètes : 15°C). La contribution du CO₂ au réchauffement peut alors être approchée.

En utilisant l'équation de flux précédente ($\Delta F = 5,35 \ln C$), il est possible de calculer le flux du CO₂ (F) à une concentration donnée. Par exemple au mois d'avril 2021, la concentration de ce GES dans l'atmosphère a atteint 420 ppm, ce qui donne une valeur de Flux $F = 32,3154 \text{ W/m}^2$, soit à peu près 20 % de la densité du flux total des GES sur terre. Cependant, c'est dans la comparaison avec les autres GES non-condensables (en tenant compte des teneurs et des pouvoirs radiatifs) que CO₂ s'avère avoir une influence déterminante. En effet, voyant son abondance relative, CO₂ représente 80 % de la densité de flux de GES non-condensables qui maintiennent la structure de la température sur Terre. Il représente ainsi le principal commandeur des variations de ce paramètre climatologique.

Elévation accélérée du niveau de la mer (EANM)

Evolution globale : Les scénarios SRES décrits précédemment ont aussi permis d'estimer l'élévation de la température et l'EANM à la fin du 21^{ème} siècle. Les pronostics donnés par divers auteurs sont très variables. Ceux publiés par l'IPCC sont comme suit.

Tableau 48 : Projections des valeurs moyennes de réchauffement en surface et de l'élévation du niveau de la mer à la fin du XXI^{ème} siècle, à l'échelle du globe

	Variations de température (°C pour 2090-2099 par rapport à 1980-1999)		EANM (en m pour 2090-2099 par rapport à 1980-1999) ; sauf évolution dynamique rapide de l'écoulement glaciaire.
	Valeur la plus probable	Intervalle probable	
Scénario B1	1,8	1,1 – 2,9	0,16 – 0,38
Scénario A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Scénario B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
Scénario A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Scénario A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 - 0,51

Cette EANM est très discutée dans la littérature. La variation du niveau des océans est liée au climat, mais il s'agit d'un mouvement lent. Après une longue stabilité relative durant les trois derniers millénaires, l'augmentation de ce niveau semble s'accélérer du moins depuis l'avènement de l'ère industrielle, possiblement dans un ordre de grandeur de 20 cm durant tout le 20^{ème} siècle (1901-2018), soit à un rythme d'environ 1,7 mm/an en moyenne, ce qui est élevé.

Il est toutefois démontré que cette élévation n'est pas partout homogène. Ceci dépend du fait que l'EANM est tributaire de la fonte des grands glaciers des pôles (inlandsis) et ceux des grandes chaînes de montagnes dont l'Himalaya, sous l'effet d'augmentation

de température et de dilatation (dite dilatation thermostérique) des masses d'eaux océaniques, phénomènes très lents, qui répondent toujours bien plus tard par rapport au pic d'augmentation de température à un moment donné. Mais le niveau de la mer en général dépend aussi de l'attraction gravimétrique, puisque d'une part le géoïde n'est pas une surface régulière, et d'autre part, la pression atmosphérique (zones cycloniques) exerce aussi ses effets sur la surface de la mer. En plus du marnage, de la houle et des courants marins, les facteurs indiqués rendent difficiles les mesures de la valeur exacte de l'EANM à un endroit donné.

Deux techniques assez sophistiquées nécessitant des calculs et des corrections, sont utilisées pour mesurer l'élévation du niveau de la mer : les marégraphes en stations fixes, et l'altimétrie satellitaire (depuis 1993).

Dans le cas précis de la Tunisie et de la zone d'étude en particulier, il est utile de citer les résultats des recherches les plus récentes sur l'EANM en Méditerranée, même si aucune mesure physique de cette élévation dans le pays, n'a encore été effectuée en Tunisie.

Cas de la Méditerranée : de nombreuses études de l'EANM en Méditerranée ont été conduites pour la période du 20ème siècle dont notamment celle de Calafat et Jorda (2011). Il a été démontré que pour la période 1958-2008, les eaux de la Méditerranée s'élèvent à un rythme moins élevé ($1,1 \pm 0,1$ mm/an) par rapport à celles de l'océan global ($1,8 \pm 0,1$ mm/an). Mais dans les deux cas, ce rythme d'EANM s'est accentué à partir des années 2000.

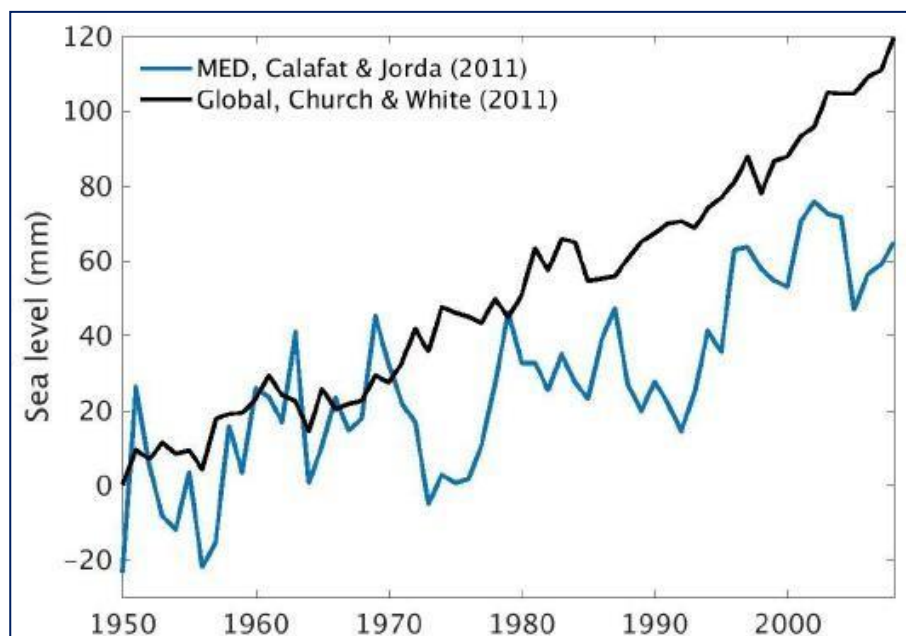


Figure 44 : Elévation du niveau moyen de la mer de l'océan global et en Méditerranée mesurée à l'aide de marégraphe-altimétrie (d'après Calafat et Jorda, 2011 pour la Méditerranée, et Church et White, 2011 pour l'océan global).

Les résultats les plus significatifs des études qui expliquent la variabilité et les tendances à long terme du niveau moyen de la mer Méditerranée indiquent que l'élévation s'est effectuée à un taux beaucoup plus faible ($0,6 \pm 0,1$ mm/an pour la période 1948-2000 ; $0,2 \pm 0,1$ mm/an pour la période 1961-2000), et que l'élévation du niveau moyen global

de l'océan se situe entre 1,5 et 1,8 mm/an. Une partie importante de ces différences entre les tendances de l'EANM en mer Méditerranée et au niveau mondial, est due à la composante atmosphérique régionale. Celle-ci montre une nette influence négative d'environ $-0,4 \pm 0,1$ mm/an pour la période 1948-2000 et $-0,6 \pm 0,1$ mm/an pour la période 1961-2000 ($-0,5$ mm/an dans le bassin Levantin et aux alentours de Gibraltar ; $-0,7$ mm/an dans l'Adriatique), attribuée à un déplacement des cyclones à grande échelle. Ces cyclones entraînent une pression atmosphérique plus élevée sur la région méditerranéenne, principalement pendant la saison hivernale, ce qui influence le niveau de la mer à la baisse.

Une autre partie de l'écart peut s'expliquer sur la base des changements de la masse d'eau qui se traduisent par une baisse du niveau stérique de la mer. La tendance stérique est d'environ $-0,3$ mm/an pour la période 1948-2000, dont $-0,1$ mm/an est dû à la contraction thermostérique proprement dite. Ainsi, le bassin de la mer Méditerranée s'est légèrement refroidi et est devenu plus salé au cours des dernières décennies. La composante stérique est cependant soumise à des incertitudes plus importantes que la composante atmosphérique et le total de l'élévation du niveau de la mer.

Lorsque les corrections stériques et atmosphériques sont appliquées, les changements du niveau de la mer Méditerranée indiquent un ajout de masse équivalent à 1,2 mm/an (sans les effets stérique et atmosphérique) de changement de niveau pour la période 1948-2000. De cette quantité, $-0,2$ mm/an serait due à une augmentation de la teneur en sel du bassin, tandis que l'autre 1,0 mm/an correspondrait à l'ajout d'eau par le détroit de Gibraltar.

Scénarios projetés pour l'EANM à l'horizon 2100 : Plusieurs scénarios ont été proposés dont en particulier ceux RCP projetés pour les changements du climat présentés précédemment. Les résultats sont comme suit.

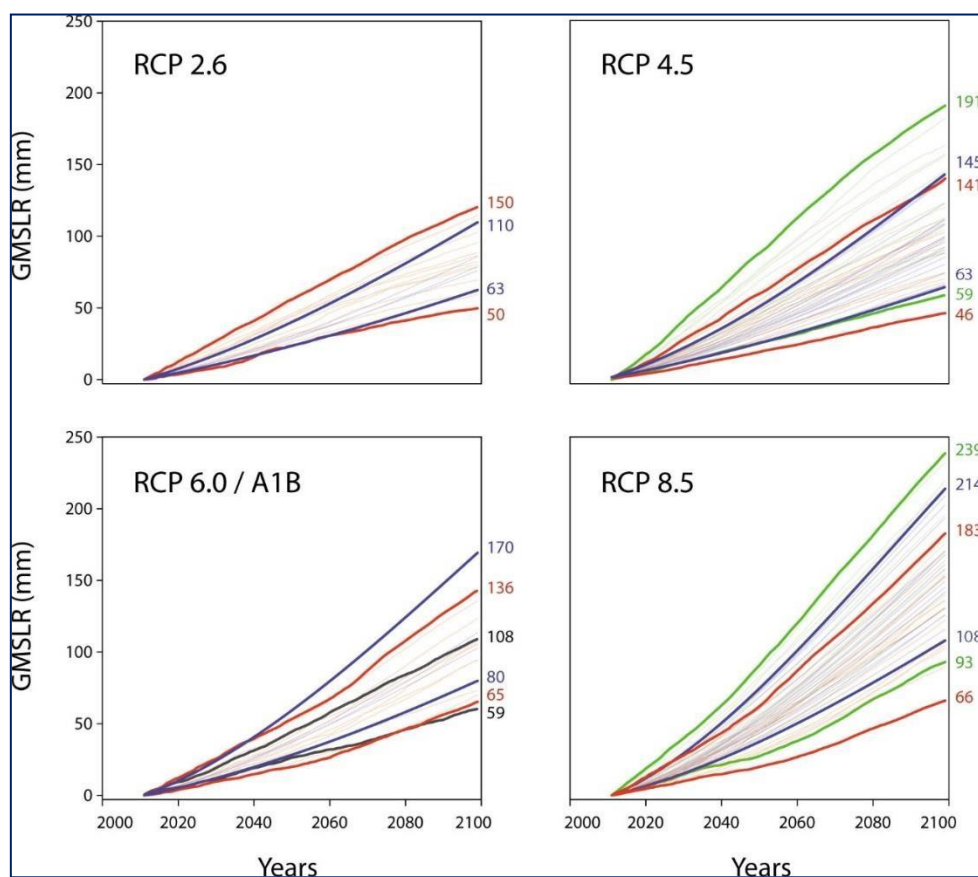


Figure 45 : Scénarios de l'EANM calculés selon les formules de nombreux auteurs, prenant en considération les hypothèses des scénarios RCP présentés plus haut.

Sur ces graphiques, les projections de modèles prennent en considération les processus des contributions des glaciers mondiaux au niveau de la mer (en mm), y compris les glaciers périphériques entourant le Groenland, calottes glaciaires mais à l'exclusion des glaciers entourant la calotte glaciaire de l'Antarctique. Les projections sont regroupées par scénario de forçage comme indiqué sur les tracés. Les résultats sont tracés pour un temps commun dans la période 2011-2099. Les couleurs correspondent à des analyses de modèles particuliers dus à différents auteurs : rouge = Marzeion et al. (2012) ; bleu = Slangen et van de Wal (2011) ; vert = Radić et al. (2013); le noir = Giesen et Oerlemans (2013). Dans le panneau montrant les résultats pour les forçages RCP6.0 et A1B, seuls Geisen et Oerlemans (lignes noires) utilisent le forçage A1B.

Il faut noter que ces scénarios demeurent trop hypothétiques, avec des valeurs qui peuvent varier du simple au quintuple (RCP4.5, RCP8.5). Ceci qui peut compliquer la compréhension du bon fondement de ces scénarios, et surtout la prise de décision notamment lorsqu'il s'agit de réfléchir à l'aménagement et la protection des zones côtières (1380 km de côtes en Tunisie).

Conventions internationales relatives aux CC et à la pollution aggravante en Méditerranée

Sans prétendre à trop de précisions, les principales conventions intéressant directement le projet concernant les changements climatiques, sont celles issues du Sommet de la Terre de Rio en 1992 :

- Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), ratifiée par la Tunisie le 15 juillet 1993 (*Décret* n° 93-2373 du 22 Novembre 1993). En tant que partie non-annexe 1, le pays s'est engagé à communiquer, lors des conférences des parties (CoP), les informations relatives aux efforts nationaux entrepris en matière de lutte contre le changement climatique, sous forme notamment de communications nationales. La communication initiale et la seconde sur les CC ont été présentées en 2001 et en 2014. La troisième communication a déjà été préparée pour les émissions de l'année 2012.
- Convention sur la Diversité Biologique (CDB) : Après la ratification de la Convention sur la Diversité Biologique en Mai 1993 (Loi n° 93-45 du 3 *mai* 1993), la Tunisie a élaboré sa première étude nationale, sa stratégie et son plan d'action nationaux sur la diversité biologique pour la période 1998- 2008. Le premier plan d'action de cette stratégie est celui de 1998-2008
- Convention de Lutte Contre la Désertification (CLCD) : Après la ratification de cette convention en 1995, la Tunisie a produit de nombreux plan d'action nationaux, dont le Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification (2030-2018) datant de 2020.
- Protocole de Kyoto (PK) : Ratification de l'Adhésion de Tunisie à ce Protocole par *Décret* n° 2002-2674 du 14 octobre 2002,
- Accord de Paris : La Tunisie a ratifié cet Accord en date du 10 février 2017, les détails sur les scénarios envisagés dans cet Accord et les engagements du Pays sont donnés ci-dessous,

Le premier rapport de la phase 1 de ce projet et le présent rapport mettent aussi en exergue le rôle de la pollution anthropique comme facteur aggravant des impacts des CC sur le système lagunaire étudié et ses composantes. Cette pollution du domaine maritime et lagunaire fait l'objet d'un large arsenal réglementaire Tunisien, mais aussi de nombreuses conventions internationales et projets de grande envergure y associés. Les principales conventions applicables sont les suivantes :

- Convention de Barcelone (1978) relative à la protection de la mer Méditerranée contre la pollution, et protocoles connexes, a été ratifiée par la Tunisie en vertu de la Loi n 77-29 du 30 juillet 1977. Parmi les lignes directrices de cette convention concernant les meilleures pratiques environnementales pour une gestion rationnelle des sites contaminés au mercure, ont été adoptées lors de la 19ème CoP en février 2016.

A cet égard, le projet MedProgramme constitue l'une des plus importantes initiatives du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM) visant l'application rigoureuse par les pays riverains de la mer Méditerranée, des dispositions de la convention de Barcelone, mais aussi des deux conventions plus récentes de Stockholm et de Minamata pour prévenir la pollution marine par des produits hautement toxiques dont les PCB, les POPs et Pesticides, mais aussi le mercure.

Le Plan d'Action pour la Méditerranée du PNUE (PNUE/PAM) est un programme de l'environnement de l'ONU mis en œuvre par le Centre d'activités régionales pour la consommation et la production durables (SCP/RAC), qui est rattaché à l'Agence MedWaves) en Catalogne.

- Le principal mandat du Centre précédent qui relève du PNUE, poursuivi durant les trois dernières décennies, est de lutter contre la production de polluants organiques persistants, et des substances hautement polluantes et toxiques et leurs rejets en mer. Il s'agit d'assurer l'aide aux parties contractantes des Conventions de Barcelone, de Stockholm et de

Minamata pour remplir leurs engagements au titre de ces traités, de les soutenir dans leur transition vers des modes de consommation et de production durables et vers une économie circulaire.

- Convention de Stockholm (2001) relative aux polluants organiques persistants (POPs) ratifiée par la Tunisie (Loi n° 2004-18 du 15 mars 2004) et la Convention de Rotterdam (1998); ratifiée en vertu de la Loi n° 2015-43 du 03 novembre 2015, sur la procédure de consentement préalable et en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet de commerce international, ne sont pas directement liées au mercure. Néanmoins, les procédures et expériences acquises grâce à l'application de ces deux conventions, peuvent être utiles à l'application des dispositions de la Convention de Minamata.

Le Plan régional sur le mercure qui stipule que « les parties doivent adopter les mesures appropriées pour isoler et contenir les déchets contenant du mercure afin d'éviter toute contamination potentielle de l'air, du sol ou de l'eau », a en outre été adopté et mis en œuvre en 2012 par les signataires de la Convention de Barcelone.

- Convention de Minamata (2017) : Cette convention sur le mercure, entrée en force le 16 Août 2017, a donné un élan supplémentaire à l'élaboration des évaluations initiales de la Convention de Minamata (EIM), l'une des activités habilitantes soutenues par le FEM pour les pays en développement et les pays émergents.

L'objectif premier de cette convention est de protéger la santé humaine et l'environnement contre les émissions et rejets anthropiques du mercure et de composés du mercure. Ses dispositions légales portent sur tout le cycle de transfert et de vie du mercure, grâce au contrôle et à la réduction d'un large éventail de produits de consommation, de procédés et d'industries qui utilisent, émettent et rejettent du mercure.

Cette convention traite aussi de l'extraction minière et la production primaire du mercure (vierge), ses échanges transfrontières, son stockage dans les conditions les plus sûres, et son élimination comme déchet spécial hautement toxique.

Le repérage des populations à risque, l'amélioration des soins médicaux, et la formation des professionnels de santé dans le diagnostic et le traitement des effets du mercure sur la santé et sur l'environnement, devraient également être attendus de l'application de la convention.

Les dispositions de la Convention de Minamata sur le mercure, se placent dans la continuité d'un cadre réglementaire international et régional antérieur qui n'a jusqu'ici traité du mercure que de manière non-spécifique.

Accord de Paris et scénarios de réchauffement du climat

L'Accord de Paris adopté est très contraignant. Entré en vigueur au 4 novembre 2016 à la Conférence des Parties n°21 de la CCNUCC à laquelle la Tunisie est partie, les préparatifs de cet accord ont envisagé plusieurs scénarios plus ou moins interventionnistes des émissions de GES à l'horizon 2050.

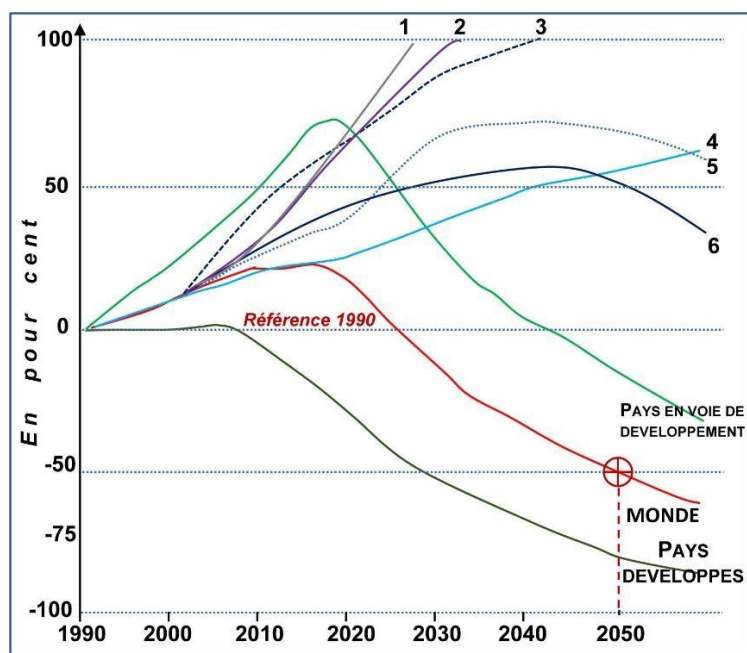


Figure 46 : Scénarios d'émissions de CO2 en fonction de l'évolution démographique, socioéconomique et de développement technologique proposés par le GIEC (Groupe International des Experts du Climat). Les scénarios proposés ans le cadre de l'Accord de Paris, pour les pays développés et ceux en voie de développement qui sont beaucoup plus contraignants et plus ambitieux, sont également reportés sur cette figure

Les scénarios 1 à 6 décrivent des modèles futurs les plus plausibles de croissance démographique et économique, d'évolution technologique et les émissions de CO2 associées. Les scénarios 1, 3 et 6 supposent une croissance économique et démographique rapide combinée à une dépendance aux combustibles fossiles (scénario 1), à l'énergie non fossile (scénario 6) ou à leur combinaison (3). Le scénario 2 suppose une croissance économique plus faible, une mondialisation moindre et une croissance démographique toujours élevée. Les scénarios 4 et 6 contiennent une certaine atténuation des émissions, grâce à une efficacité accrue des ressources et à une amélioration technologique (Scénario 6) et à une solution plus localisée (scénario 4).

Le scénario optimum convenu dans le cadre de l'Accord de Paris est très ambitieux. Il s'agit de réduire les émissions mondiales de GES de 50% à l'horizon 2050 (référence : année 1990). Ce scénario engage les pays développés à diminuer leurs émissions de (-75%), et les pays en voie de développement, à environ -20 à -25%. Seuls les USA ont refusé d'y adhérer du moins au début de l'application de cet Accord,

Rappelons que la CCNUCC distingue les pays développés qui s'engagent à réduire leurs émissions de GES, des pays en voie de développement (non Annexe-1), dont la contribution réduction est plutôt volontaire.

ANNEXE 4 : Guide d'animation de réunions et d'entretiens groupe au sein des municipalités

Date : xxxxxxxx

Lieu : Municipalité de xxxxx

Heure : A partir du xxxxx

Participants : voir annexe

Déroulement :

Présentation de l'équipe d'experts, et de l'objet de l'étude en général

Présentation de l'objet de la réunion

Présentation des participants

Reprise de la parole par l'animateur pour organiser la réunion en annonçant les principaux thèmes

Thème 1 : Activités socioéconomiques saillantes de la ville

Principales activités économiques caractérisant la ville de Menzel JEMIL

Activités économiques en rapport avec le lac de Bizerte

Activités récréatives en rapport avec le lac de Bizerte (nation, camping, pêche...)

Autre place du lac de Bizerte dans la vie socioéconomique, culturelle...de la population locale

Thème 2 : Effets constatés et attendus du changement climatique

Activités en rapport avec le lac de Bizerte qui ont été perturbées/modifiées durant les dernières années

Effets constatés des changements climatiques en rapport avec le lac de Bizerte (tels que sur l'activité de pêche, conchyliculture, autres...)

Thème 3 : Recommandations et autres

Thèmes	Principales notes prises
Activités socioéconomiques saillantes de la ville	
Effets constatés et attendus du changement climatique	
Recommandations et autres	

Lieu : Municipalite' de Mengel Abderrahmane

[illegible]

Etude pour analyse et évaluation des risques liés à la vulnérabilité de la région du complexe lagunaire lac de Bizerte et lac d'Ichkeul face aux effets de changements climatiques

Date : 10/05/2022

Lieu : Bizerte (Hôtel de ville)

Nom & Prénom	Fonction	Contact	Signature
Ben JOIRA WISSAL	Ingénieur / Comete environnementaliste	27 55 9038	
Tahel NEIB	Société Comete	31 307872	
Faouel TLIG	Expert Comete	98 234 356	
ROMMANE Mohamed Salah	Expert Comete	97 325 090	
DIHAMED SFAXI	chef d'arrondissement Bizerte ville	53 726 726	
Ned Hedi Ben Jemaa	Bizerte Maritime association	24 150 775	
Rym ENNOURI	conseillère municipale	20 664 389	
Ned Anis Ben Gharb Habbib	Pr. commission de grand port de travaux	C.B. 24 966 100	
Salim chennoune	Agro Ecosyst. URAA Bizerte	99 336 349	
Najoua Bouraoui	Présidente Association APEDDUB	98 273 942	
Hiba Zouaghi	Enseignant chercheur à la FSA - Responsable formation JPCA	25 379 751	
Asma Hattab	Commune Bizerte	22 900 841	
Yakyaoui Manel	Présidente ANDDGDS	55 651 650	
CHAKROUN Ned Haddadi	Pr. Vice Président APAB	98 680 904	
Zouaouk Wissam	Président Association Bizerte Cleaners	22 780 901	
Ben Slimane Safa	Ing. Chef de projet Biz-2010 - ECOFACT - lac de Bizerte	27 924 318	
Garmi Omeyma	Tunisian Smart Cities	52 635 077	
Imsaf Hani	Bizerte 250	29 861 359	
Saminani Mouna	JPCA	55 045 133	
Talbi Malek	Les Délices de la mer	58 118 255	
A33003 Karima	chef d'arrondissement de Pêche CRDA	51 737 512	
Ali Trabelsi	UTAP	98 059 609	

بطاقة حضور اجتماع

لدراسة مدى تعرض مجمع بحيرة بنزرت لتأثيرات
تغير المناخ واقتراح استراتيجية التكيف وخطة عمل
يوم الأربعاء 11 ماي 2022 / الساعة: 10 س

الاسم واللقب	الصفة	الهاتف	العنوان البريدي
سلم حرام	رئيس البلدية	97 244740	selim.hammam@gmail.com
طلال شبيب	SOUS-MAIRIE - COMETE	3 1307872	talal.nib@tina.org
حلمي فتاح	المدير التقني فناء لاند-الافلا بنزرت	72 417 477	h.fattah@paeb.tn
منصور الجاديا	المدير الفني بالبلدية	95 895 823	mansour.jabari@yahoo.fr
عائشة الصادقي	رئيس مصلحة العمل المدني على بلدية	98 986380	aichasadki@bizerte@gmail.com
والد الحرف	رئيس جمعية آدم الذموية بالوزارة	21600972	walid.ayfo@gmail.com
رحاب المصير	عضوة جمعية المهاتف والحولات فوق منزل بورقيبة	92 821920	mehribah@yahoo.com

بطاقة حضور اجتماع



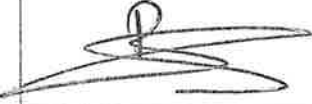

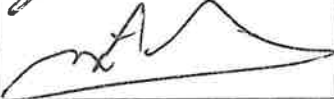



لدراسة مدى تعرض مجمع بحيرة بنزرت لتأثيرات
تغير المناخ واقتراح استراتيجفة التكيف وخطة عمل
يوم الأربعاء 11 ماي 2022 / الساعة: 10 س

الاسم واللقب	الصفة	الهاتف	العنوان البريدي
وجيه البطني	ممنس اول بلدية منزل بورقية	99775650	Wajih.batti 94@gmail.com
حاتر الطرابلسي	مساعد ادارة جمعية لاسلال للمتقنة الإس (البيئية) منزل	56.308.832	Trabelsi subuni 23@gmail.com
الحبيب الغزواني	جميع امثل للبيئة الانتر اجمع والتربية المتواصلة	98444 193	Helih ghazouani@yahoo.fr
خولة القاسمي	الجمعية التونسية لللم صحت والبيئة	26.939.744	guomi Khawla 9@gmail.com
مدر الدين جصة	ناشط بيئي	98538 330	jembad2001@gmail.com
الهادي حنين	اتحاد الفلاحين	95 270 212	hassine hadi@gmail.com
محمدا ليدر	اتحاد الفلاحين	93213787	molusni Hlmi 57(2)@gmail.com

بطاقة حضور

جلسة حول حماية بحيرة بنزرت من مخاطر التغيرات المناخية

يوم الأربعاء 11 ماي 2022

ع/ر	الإسم و اللقب	الصفة	الإمضاء
1	طلال زبيب	Socio économiste COMETE	
2	زهدي فلرغوليت	Cheffe Projet Gvnela-Renit	
3	آمنة الجاوي	membre Chabab ordinary	
4	سامي العزبي	مكون سلطة سياسة بلدية تينجة	
5	محمد علي العياري	مكون سلطة سياسة بلدية تينجة	
6	فوج الطلامي	محاضر وناشط مستدفع مدني	
7	عائف بن سلامة	مُشرف سلامة تينجة	
8	الندية المكنزي	كاتب عام البلدية للكلفة بتسيير شؤون البلدية	
9			
10			

Annexe 5 : DICTIONNAIRE DE DONNEES

Introduction :

Les données d'une B.D. doivent être structurées pour être « informatisées et modélisées ».

Cette modélisation est nécessaire au déploiement des bases de données et des systèmes d'information. Cette étape représente l'étape primordiale de la création de la base de données géographique. Elle consiste à identifier et délimiter des éléments spatiaux dans l'espace géographique, à représenter ces éléments par des unités graphiques (points, lignes, polygones, etc.) et à les répartir sur différentes couches.

Dans le présent chapitre, nous définissons un ensemble de notions qui nous paraissent marquant pour la création de notre base de données géographiques puisque les informations géographiques ont des spécificités dont il est nécessaire l'éclaircissement.

Modélisation de dictionnaire de données :

Dans cette partie, on présentera la structuration des données de la carte agricole sous forme de dictionnaire de données.

Un dictionnaire des données est une collection de métadonnées ou de données de référence nécessaire à la conception d'une base de données spatiale. Il revêt une importance stratégique particulière, car il est le vocabulaire commun de l'organisation. Il décrit des données aussi importantes que les clients, les nomenclatures de produits et de services, les annuaires, etc.

1. Source des données :

La base de données a été créée à partir des données de la carte agricoles qui se présentent sous formes de couches SHP.

2. Extention géographique :

Le produit couvre l'ensemble des délégations suivantes Ghzela, Mateur, Manzel Bourguiba, Tinja, El Aaliya, Manzel Jemil, Ras Jebal, Jarjouna Sud, Bizerte Nord et Bizerte Sud.

3. Référence géodésique :

Les données sont proposées de façon standard dans le système géodésique Carthage projection UTM zone 32.

1. Introduction

Les données d'une B.D. doivent être structurées pour être « informatisées et modélisées ». Cette modélisation est nécessaire au déploiement des bases de données et des systèmes d'information.

Cette étape représente l'étape primordiale de la création de la base de données géographique. Elle consiste à identifier et délimiter des éléments spatiaux dans l'espace géographique, à représenter ces éléments par des unités graphiques (points, lignes, polygones, etc.) et à les répartir sur différentes couches.

Dans le présent chapitre, nous définissons un ensemble de notions qui nous paraissent marquant pour la création de notre base de données géographiques puisque les informations géographiques ont des spécificités dont il est nécessaire l'éclaircissement.

2. Modélisation de dictionnaire de données

Dans cette partie, on présentera la structuration des données de la carte agricole sous forme de dictionnaire de données.

Un dictionnaire des données est une collection de métadonnées ou de données de référence nécessaire à la conception d'une base de données spatiale. Il revêt une importance stratégique particulière, car il est le vocabulaire commun de l'organisation. Il décrit des données aussi importantes que les clients, les nomenclatures de produits et de services, les annuaires, etc.

2.1. Source des données

La base de données a été créée à partir des données de la carte agricoles qui se présentent sous formes de couches SHP.

2.2. Extension géographique

Le produit couvre l'ensemble des délégations suivantes Ghzela, Mateur, Manzel Bourguiba, Tinja, El Aaliya, Manzel Jemil, Ras Jebal, Jarjouna Sud, Bizerte Nord et Bizerte Sud.

2.3. Référence géodésique

Les données sont proposées de façon standard dans le système géodésique Carthage projection UTM zone 32.

Réseau de transport





1. Réseau de transport

1.1. Description

Les réseaux de transport de biens matériels ou immatériels, ou de personnes, construisent un espace réticulé polarisé par des points desservis (carrefours, échangeurs, gares, téléports, etc.) et reliés par des axes ou des faisceaux (autoroutes, voies ferrées, faisceaux hertziens, etc.)

1.2. Tableau des entités

Réseau de transport		
01	Route	
02	Réseau ferroviaire	

a. Route

Définition	Élément du domaine public, constitué par l'ensemble du réseau de voies de circulation terrestre, fluviale, maritime, aérienne, et de leurs dépendances.		
Code de classe	RTE		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Route	
	Nom (MCD)	RTE	
	Numéro (MCD)	3	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Ligne	
	Attributs renseignés	Rte_nom, Rte_typ	
	Rte_nom	Nom de la route	
	Codage	C(6)	
	Rte_typ	Classement administratif des routes	
	Valeurs possibles	1 = Autoroute, 2 = Route Nationale, 3 = Route Régionale, 4 = Route Locale, 5 = Route non classée.	

b. Réseau ferroviaire

Définition	Une voie ferrée est un chemin de roulement pour trains métros constitué de deux files de rails dont l'écartement est maintenu constant par une fixation sur des traverses, reposant elles-mêmes sur du ballast.		
Code de classe	FER		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Réseau ferroviaire	
	Nom (MCD)	FER	
	Numéro (MCD)	4	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Ligne	
	Attributs renseignés	Fer_typ, Fer_nom	
	Fer_typ	Type d'objet	
	Codage	N(1)	
	Fer_nom	Nom d'objet	
	Codage	C(4)	

Hydrographie






2. Hydrographie

2.1. Description

L'hydrographie peut être définie de trois manières, selon le contexte : l'étude et la description des cours d'eau et des étendues d'eau qu'on peut observer à la surface de la terre ou dans le sous-sol ; Le terme désigne aussi l'ensemble des cours d'eau d'une région donnée, organisés en bassins.

2.2. Tableau des entités

Réseau de transport		
01	Objets hydrographique isolés	
02	Hydrographie linéaire	
03	Hydrographie zonale	

a. Objets hydrographiques isolés

Définition	<p>Un Point d'eau est un point de production, d'écoulement ou de stockage de l'eau. Un point d'eau peut être lié à réseau hydrographique.</p> <p>Un point d'eau peut être localisé par un sommet géométrique (constructions), tel que les Puits de surface, les Châteaux d'eau, les Citernes, etc...</p>		
Code de classe	HPT		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Objets hydrographiques isolés	
	Nom (MCD)	HPT	
	Numéro (MCD)	5	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Hpt_nom, Hpt_typ	
	Hpt_nom	Nom d'objet	
	Codage	C(30)	
	Hpt_typ	Type d'objet	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Puits, 2 = Château d'eau, 3 = Réservoir, 4 = Citerne, 5 = Station de refroidissement, 6 = Station de pompage, 7 = Source, 8 = Fontaine	

b. Hydrographie linéaire

Définition	On désigne par cours d'eau tout écoulement d'eau vers une embouchure avec un débit à module supérieur à zéro. Ce flux d'eau est souvent continu mais il peut être temporaire sur une assez longue durée.		
Code de classe	HYL		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Hydrographie linéaire	
	Nom (MCD)	HYL	
	Numéro (MCD)	6	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Ligne	
	Attributs renseignés	Hyl_typ, Hyl_nom	
	Hyl_typ	Nature de l'écoulement	
	Codage	N(2)	
	Valeurs possibles	1 = Permanent, 2 = Temporaire	
	Hyl_nom	Nom du cours d'eau	
	Codage	C(30)	

c. Hydrographie zonale

Définition	Surface d'eau de superficie importante, naturelle ou artificielle, d'eau douce, salée ou autre.		
Code de classe	HSU		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Hydrographie zonale	
	Nom (MCD)	HSU	
	Numéro (MCD)	7	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Hsu_nom, Hsu_nat	
	Hsu_nom	Nom d'objet	
	Codage	C(30)	
	Hsu_nat	Nature d'objet hydrographie zonale	
	Codage	N(1)	

	Valeurs possibles	1 = Sebkha, 2 = Garraa, 3 = Chott, 4 = Lac	
--	-------------------	--	--

Infrastructures hydrauliques








3. Infrastructures hydrauliques

3.1. Description

Les infrastructures hydrauliques désignent des ouvrages à la fois de retenue et de distribution de l'eau de taille variable, disposés à différents niveaux d'un réseau hydraulique, et des dispositifs de mesure pour la planification, la surveillance et le contrôle des pratiques.

3.2. Tableau des entités

Infrastructure hydrauliques		
01	Infrastructures hydrauliques isolées (lacs collinaires)	
02	Infrastructures hydrauliques ponctuelles (barrages collinaires)	
03	Infrastructures hydrauliques ponctuelles (forages)	
04	Infrastructures hydrauliques linéaires	
05	Infrastructures hydrauliques surfacique	

a. Infrastructures hydrauliques isolées (lacs collinaires):

Définition	Un lac collinaire est une retenue créée par un petit barrage en terre. Les lacs collinaires contiennent quelques dizaines de milliers à 1 million de m ³ d'eau recueillis sur des bassins versants d'une superficie de quelques hectares à quelques Km ³ .		
Code de classe	IHPlc		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Infrastructure hydraulique ponctuelle (lacs collinaires)	
	Nom (MCD)	IHPlc	
	Numéro (MCD)	8	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	lhplc_ann, lhplc_gvr, lhplc_nom, lhplc_del, lhplc_sec, lhplc_xlb, lhplc_ylb, lhplc_sbv, lhplc_cap, lhplc_cou, lhplc_ava, lhplc_obj, lhplc_fin, lhplc_fin, lhplc_26_	
	lhplc_ann	Année de programmation	
	Codage	N(10)	
	lhplc_gvr	Nom du gouvernement	
	Codage	C(12)	
	lhplc_nom	Nom du lac	
	Codage	C(19)	

	lhplc_del	Nom de la délégation	
	Codage	C(20)	
	lhplc_sec	Nom du secteur	
	Codage	C(14)	
	lhplc_xlb	X Lambert du centre du lac	
	Codage	N(8)	
	lhplc_ylb	Y Lambert du centre du lac	
	Codage	N(9)	
	lhplc_sbv	Superficie du bassin versant	
	Codage	N(7)	
	lhplc_cap	Capacité en m ³	
	Codage	N(14)	
	lhplc_cou	Coût en Dinar	
	Codage	N(12)	
	lhplc_ava	Avancement du lac	
	Codage	N(10)	
	lhplc_obj	Objectif du lac	
	Codage	C(8)	
	lhplc_fin	Financement du lac	
	Codage	C(13)	
	lhplc_26_	Zone concernée par le programme 2626	
	Codage	C(11)	

b. Infrastructures hydrauliques ponctuelles (barrages collinaires):

Définition	Les barrages et les lacs collinaires sont des aménagements de moyenne et petites hydraulique sur les cours d'eau secondaires dans les parties amont des grands bassins versants. Il s'agit de digues en terre compactée avec un déversoir latéral donnant lieu à des retenues d'eau de quelques dizaines de milliers de m3 à quelques millions de m3, inondant des surfaces de taille modéré (quelques hectares à quelque dizaine d'hectares).		
Code de classe	IHPbc		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Infrastructures hydrauliques ponctuelles (barrages collinaires)	
	Nom (MCD)	IHPbc	
	Numéro (MCD)	9	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	lhpbnc_nom, lhpbnc_ann, lhpbnc_cod, lhpbnc_gvr, lhpbnc_app, lhpbnc_cou	
	lhpbnc_nom	Nom du barrage collinaire	

	Codage	C(20)	
	lhpbc_ann	Année de création du barrage	
	Codage	N(4)	
	lhpbc_cod	code du barrage	
	Codage	N(2)	
	lhpbc_gvr	Nom du Gouvernorat	
	Codage	C(20)	
	lhpbc_app	Approvisionnement du barrage	
	Codage	N(10)	
	lhpbc_cou	Coût du barrage	
	Codage	N(10)	

c. Infrastructures hydrauliques ponctuelles (forages):

Définition	Le forage est l'action de creuser un trou dans la Terre. L'équipement du puits, tels les tubages, et de manière générale les moyens techniques permettant de creuser, varient en fonction de son dimensionnement et de ses objectifs. On fore pour prospecter et/ou exploiter le sous-sol.		
Code de classe	IHPfo		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Infrastructures hydrauliques ponctuelles (forages)	
	Nom (MCD)	IHPfo	
	Numéro (MCD)	10	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	N_enr , Nirh , Nom , Ndre , Datar , Carte , Y_dd , X_dd , Altit ,Codel , Datfin , Typcapt , Crepi , Debit , Rabat , Ns , Rs , Prog , Entre , Nat , Usage , Equip , Mont , Etactuel , Utilis , Prof , Poste , Coutpost ,Couttrait, Obs , Nappe , Zobject , Natnap , Frecpt , Annee , Remarque , Edite , Pisa	
	N_enr	Numéro d'enregistrement	
	Codage	N(8)	
	Nirh	Numéro IRH	
	Codage	C(15)	
	Nom	Nom du forage	

	Codage	C(30)	
	Ndre	Numéro DRE	
	Codage	C(15)	
	Datdeb	Date début	
	Codage	C(15)	
	Datar	*	
	Codage	c(15)	
	Carte	Numéro de la carte	
	Codage	N(8)	
	Y_dd	Y en DD	
	Codage	N(12)	
	X_dd	X en DD	
	Codage	N(12)	
	Altit	Altitude	
	Codage	N(8)	
	Codel	Code délégation	
	Codage	C(15)	
	Datfin	Date fin	
	Codage	c(15)	
	Typcapt	Type de captage	
	Codage	C(30)	
	Crepi	Crépine	
	Codage	C(30)	
	Debit	Débit	
	Codage	N(8)	
	Rabat	Rabatement	
	Codage	N(8)	
	Ns	Niveau statique	
	Codage	N(15)	
	Rs	Résidu sec	
	Codage	N(8)	
	Prog	*	
	Codage	C(30)	
	Entre	*	
	Codage	30	
	Nat	Nature	
	Codage	C(30)	
	Usage	Usage	
	Codage	C(30)	
	Equip	Equipement	
	Codage	C(30)	
	Mont	*	
	Codage	C(15)	
	Etactuel	Etat actuel	
	Codage	C(30)	
	Utilis	Utilisation	
	Prof	Profondeur	
	Codage	N(8)	
	Poste	*	

	Codage	C(4)	
	Coutpost	Coût du poste	
	Codage	N(15)	
	Trait	*	
	Codage	C(30)	
	Couttrait	*	
	Codage	C(15)	
	Obs	Observation	
	Codage	C(50)	
	Nappe	Nom de la nappe	
	Codage	C(30)	
	Zobject	*	
	Codage	C(30)	
	Natnap	Nature de la nappe	
	Codage	C(15)	
	Frecpt	*	
	Codage	C(15)	
	Annee	Année	
	Codage	N(4)	
	Remarque	Remarque	
	Codage	C(50)	
	Edite	*	
	Codage	C(15)	
	Pisa		
	Codage	C(50)	

d. Infrastructures hydrauliques linéaires:

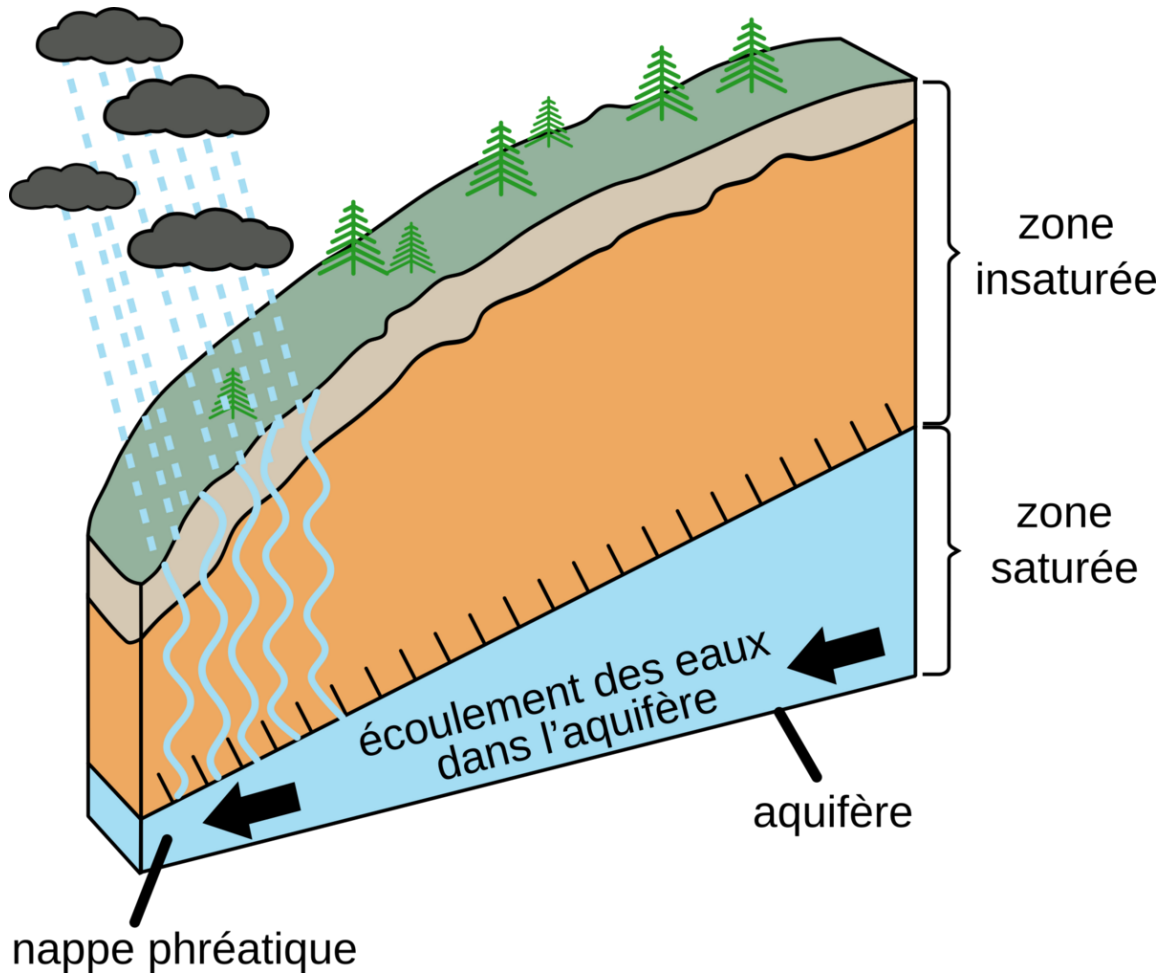
Définition	Ces ouvrages sont des structures parallèles ou perpendiculaires au littoral de la Mer et à la rive de la rivière, destinée à protéger une zone de construction, une zone aménagée, l'entrée du port contre l'assaut des vagues et des lames, une plage ou un littoral vulnérable à l'érosion etc. Peuvent être de longueur hectométrique à kilométrique.		
Code de classe	IHL		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Infrastructures hydrauliques linéaires	
	Nom (MCD)	IHL	
	Numéro (MCD)	11	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Ligne	
	Attributs renseignés	Ihl_nom, Ihl_nat	
	Ihl_nom	C(30) Nom de l'infrastructure	
	Ihl_nat	N(1) Nature d'objet	

	Valeurs possibles	1 = Canal ou fossé d'irrigation, 2 = Canal ou fossé d'évacuation	
--	--------------------------	---	--

e. Infrastructures hydrauliques surfaciques:

Définition	Ces ouvrages sont des structures parallèles ou perpendiculaires au littoral de la Mer et à la rive de la rivière, destinée à protéger une zone de construction, une zone aménagée, l'entrée du port contre l'assaut des vagues et des lames, une plage ou un littoral vulnérable à l'érosion etc. Peuvent être de longueur hectométrique à kilométrique.		
Code de classe	IHS		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Infrastructures hydrauliques surfaciques	
	Nom (MCD)	IHS	
	Numéro (MCD)	12	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Ihs_nom, Ihs_ann, Ihs_bv, Ihs_cap, Ihs_sal	
	Ihs_nom	Nom de l'infrastructure	
	Codage	C(20)	
	Ihs_ann	Nom du barrage	
	Codage	N(6)	
	Ihs_bv	Surface du bassin en km ²	
	Ihs_cap	Capacité utile du barrage en Mm ³	
	Codage	D(6,1)	
	Ihs_sal	Salinité en g/l	
	Codage	D(5,2)	

Nappes





4. Nappes

4.1. Description

Une nappe souterraine est une masse d'eau contenue dans les interstices ou fissures du sous-sol. On distingue deux types de nappes : libres ou phréatiques et captives. Les nappes captives sont piégées sous des formations géologiques imperméables.

4.2. Tableau des entités

Nappes		
01	Nappes profondes	
02	Nappes phréatiques	

a. Nappes profondes

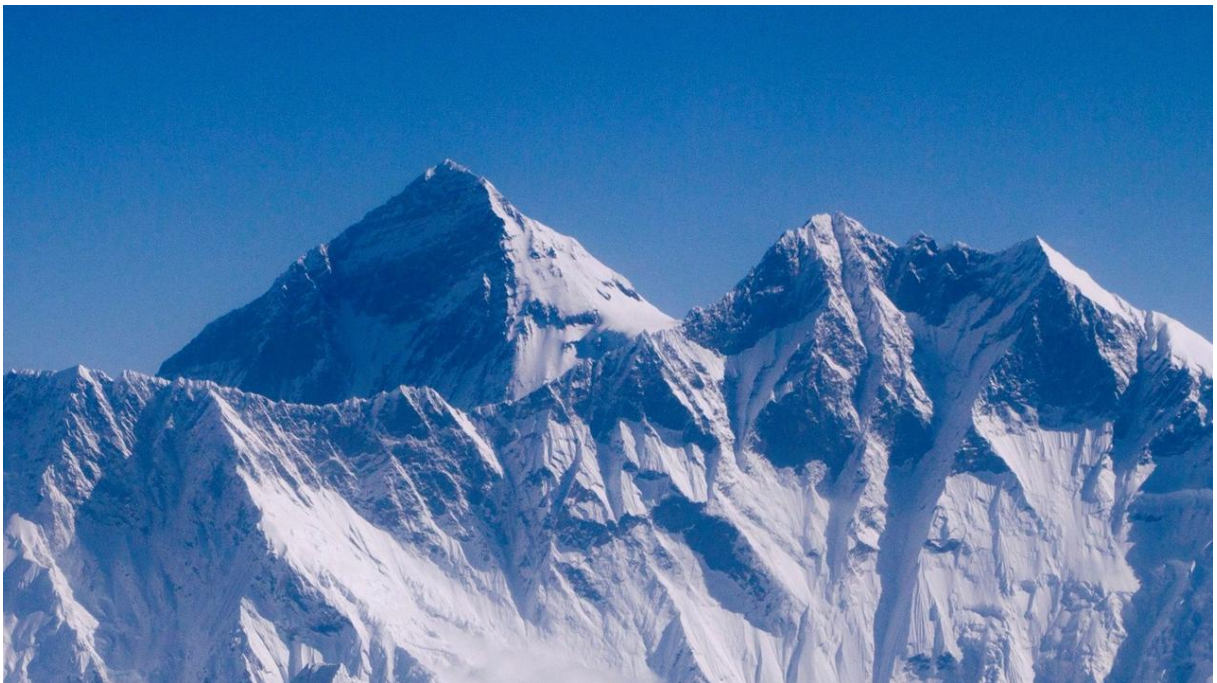
Définition	Les nappes correspondent à des formations géologiques organisées en mille feuilles selon une succession verticale avec de haut en bas : Miocène, Oligocène, Éocène, Crétacé. Le SAGE nappes profondes de Gironde a pour périmètre le département de la Gironde (10 500 Km ² environ).		
Code de classe	NPR		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Nappes profondes	
	Nom (MCD)	NPR	
	Numéro (MCD)	13	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Npr_nom, Npr_cod, Npr_res, Npr_exp, Npr_qmi, Npr_qma, Exploit	
	Npr_nom	Nom de la nappe	
	Codage	C(50)	
	Npr_cod	Code de la nappe (code gouvernemental)	
	Codage	C(12)	
	Npr_res	Ressource en Mm ³	
	Codage	Codage	
	Npr_exp	Npr_exp	
	Codage	Codage	
	Npr_qmi	Npr_qmi	
	Codage	N(14,6)	
	Npr_qma	Qualité maximum en g/l	
	Codage	N(14,6)	
	Exploit	Exploitation	

	Codage	C(50)	
--	---------------	-------	--

b. Nappes phréatiques

Définition	La nappe phréatique est une nappe d'eau que l'on rencontre à faible profondeur. Elle alimente traditionnellement les puits et les sources en eau potable. C'est la nappe la plus exposée à la pollution en provenance de la surface.		
Code de classe	NPH		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Nappes phréatiques	
	Nom (MCD)	NPH	
	Numéro (MCD)	14	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Nph_nom, Nph_cod, Nph_res, Nph_exp, Nph_qmi, Nph_qma	
	Nph_nom	Nom de la nappe	
	Codage	C(50)	
	Nph_cod	Code de la nappe (gouvernorat)	
	Codage	C(12)	
	Nph_res	Ressource en Mm ³	
	Codage	N(14,6)	
	Nph_exp	Exploitation en Mm ³	
	Codage	N(14,6)	
	Nph_qmi	Qualité minimum en g/l	
	Codage	N(14,6)	
	Nph_qma	Qualité maximum en g/l	
	Codage	N(14,6)	

Altimétrie Pente






5. Altimétrie, Pente

5.1. Description

L'altimétrie est la détermination et la mesure des altitudes d'un lieu ou d'une région donnée. Sa détermination débouche généralement sur la conception d'une carte topographique où les altitudes sont indiquées sous la forme de points locaux ou sous la forme d'isohypses.

5.2. Tableau des entités

Altimétrie, Pente		
01	Courbes de niveau	
02	Points cotés	
03	Pente	

a. Courbes de niveau

Définition	Une courbe de niveau est une ligne formée par les points du reliefs situés à la même altitude. C'est aussi la ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le relief du terrain. En mathématiques, ou l'on emploie plutôt les expressions ligne de niveau, ou courbe d'implicite, il s'agit d'une des façons de définir le concept général de courbe.		
Code de classe	CNV		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Nappes profondes	
	Nom (MCD)	CNV	
	Numéro (MCD)	15	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Ligne	
	Attributs renseignés	Cnv_alt	
	Cnv_alt	Altitude de la courbe de niveau	
	Codage	N(4)	

b. Points cotés

Définition	C'est un point d'altitude présentant la hauteur du relief en un point de l'espace par rapport au niveau moyen des mers (le niveau zéro).		
Code de classe	PCT		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Points cotés	

	Nom (MCD)	PCT	
	Numéro (MCD)	16	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Cot_ typ, Cot_alt	
	Cot_ typ	Type de point	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Point géodésique, 2 = Point côté	
	Cot_ alt	Altitude du point	
	Codage	N(4)	

c. Pentes

Définition	La pente est la tangente de l'inclinaison entre deux points d'un terrain, donc de son angle vis-à-vis de l'horizontale. C'est donc le rapport entre la différence d'altitudes entre les deux points et la distance horizontale, cartographique, entre ces deux points.		
Code de classe	PEN		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Pente	
	Nom (MCD)	PEN	
	Numéro (MCD)	17	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM 32	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Gricode	
	Gricode	Classe de pente	
	Codage	N(10)	
	Valeurs possibles	800 = (0-3%), 801 = (3 – 5 %), 802 = (5 – 10 %), 803 = (10-15%), 804 = (15 – 25%), 805 = (> 25 %)	

Bioclimat




6. Bioclimat

6.1. Description

Ensemble des conditions climatiques d'une région qui exercent une influence sur les êtres vivants et en particulier sur la santé humaine.

6.2. Tableau des entités

Bioclimat		
01	Etages bioclimat	

a. Etages bioclimatiques

Définition	Ensemble des conditions d'une région qui exercent une influence sur les êtres vivants et en particulier sur la santé humaine.		
Code de classe	CLM		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Bioclimat	
	Nom (MCD)	CLM	
	Numéro (MCD)	18	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Clm_cla, Clm_nom, Mox_clm	

- 111 = ETAGE HUMIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver tempéré, sous variante d'altitude)
- 112 = ETAGE HUMIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver tempéré)
- 113 = ETAGE HUMIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver doux)
- 121 = ETAGE HUMIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver frais)
- 122 = ETAGE HUMIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver tempéré)
- 123 = ETAGE HUMIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver doux)
- 124 = ETAGE HUMIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver chaud)
- 21 = ETAGE SUB-HUMIDE (Variante à hiver frais, sous variante d'altitude)
- 22 = ETAGE SUB-HUMIDE (Variante à hiver frais)
- 23 = ETAGE SUB-HUMIDE (Variante à hiver tempéré)
- 24 = ETAGE SUB-HUMIDE (Variante à hiver doux)
- 25 = ETAGE SUB-HUMIDE (Variante à hiver chaud)
- 311 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous-étage supérieur (Variante à hiver frais, sous variante d'altitude)
- 312 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous-étage supérieur (Variante à hiver frais)
- 313 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous-étage supérieur (Variante à hiver tempéré)
- 314 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous-étage supérieur (Variante à hiver doux)
- 315 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous-étage supérieur (Variante à hiver chaud)
- 321 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage moyen (Variante à hiver frais)
- 322 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage moyen (Variante à hiver frais)
- 323 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage moyen (Variante à hiver tempéré, Variante à hiver doux)





- 331 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver frais, sous variante d'altitude)
- 332 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver frais)
- 333 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver tempéré)
- 334 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver doux)
- 335 = ETAGE SEMI-ARIDE : Sous étage inférieur (Variante à hiver chaud)
- 411 = ETAGE ARIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver frais)
- 412 = ETAGE ARIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver tempéré)
- 413 = ETAGE ARIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver doux)
- 414 = ETAGE ARIDE : Sous étage supérieur (Variante à hiver chaud)

Unités de transformation agricole



7. Unités de transformation agricole, centres de collecte

7.1. Tableau des entités

Unités de transformation agricole		
01	Unité de transformation agricole	
02	Centre de collecte du lait	
03	Centre de collecte de céréales	
04	Frigos de stockage	

a. Unité de transformation agricole

Définition	C'est une unité participera à transformer pratiquement tous les produits agricoles en plusieurs dérivés juste pour permettre à ces apprenants, une fois sortis, de se spécialiser dans n'importe quel domaine de la formation en agriculture et assure des prestations de service ; le développement d'offres de formation de qualité par l'ouverture d'options « agroalimentaires ».		
Code de classe	TRS		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Unités de transformation agricole	
	Nom (MCD)	TRS	
	Numéro (MCD)	19	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Dénomination, Adresse, Deleg, Type, Trs_pdt, Trs_cap, Trs_tra, Trs_sto, Trs_con	
	Denominatin	Denomination	
	Codage	C(55)	
	Adresse	Adresse	
	Codage	C(60)	
	Deleg	Delegation	
	Codage	C(25)	
	Type	Type	
	Codage	C(55)	
	Trs_Pdt	Type du produit	
	Codage	N(2)	
	Valeurs possibles	1 = Fabrication d'aliments pour animaux de ferme, 2 = Fabrication de produits laitiers et de fromage, 3 =	

		Transformation et conservation de fruits et légumes, 4 = Fabrication d'huiles et graisses brutes ou raffinées, 5 = Fabrication de sucre, 6 = Fabrication des pâtes alimentaires et de couscous, 7 = Fabrication des boissons alcooliques du vin ou brasserie, 8= Industrie des eaux potables, 9 = Fabrication des boissons rafraîchissantes sans alcool, 10 = Industrie du tabac, 11 = Poulailier, 12 = Fleur de bigaradier, 13 = Transformations de produits de pêche.	
	Trs_cap	Capacité	
	Codage	N(2)	
	Trs_tra	Transformation	
	Codage	N(2)	
	Trs_sto	Stockage	
	Codage	N(2)	
	Trs_con	Conservation	
	Codage	N(2)	

b. Centre de collecte du lait

Définition	Les centres de collecte contrôlent ensuite la qualité du lait (ph et densité).		
Code de classe	CCL		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Centre de collecte de lait	
	Nom (MCD)	CCL	
	Numéro (MCD)	20	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Ccl_nom, Ccl_ram, Ccl_cap	
	Ccl_nom	Nom du centre	
	Ccl_ram	ramassage	
	Ccl_cap	capacité en (l/j)	

c. Centre de collecte de céréales

Définition	Les réserves de céréales constituent un élément vital pour la
-------------------	---

	survie des groupes humains. Apparue aux environs de la révolution néolithique, la maîtrise du stockage des céréales est essentielle dans l'organisation de la plupart des sociétés.		
Code de classe	CCC		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Centre de collecte de céréales	
	Nom (MCD)	CCC	
	Numéro (MCD)	21	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Ccc_nom, Ccc_ope, Ccc_mod, Ccc_cap	
	Ccc_nom	Nom du centre	
	Ccc_ope	Opérateur	
	Ccc_mod	Mode de stockage	
	Ccc_cap	Capacité de stockage	

d. Frigo de stockage

Définition	Un frigo congélateur est à la fois un appareil de réfrigération et de congélation. Son système de refroidissement est efficace pour conserver des aliments à la bonne température, à savoir les produits frais, les fruits, les légumes, les plats, les fromages, etc.		
Code de classe	FRG		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Frigo de stockage	
	Nom (MCD)	FRG	
	Numéro (MCD)	22	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Frg_nom, Frg_ope, Frg_mod, Frg_cap	
	Frg_nom	Nom	
	Codage	C(30)	
	Frg_ope	Opérateur	
	Codage	C(50)	

	Frg_mod	Mode de stockage	
	Codage	C(50)	
	Frg_cap	Capacité de stockage	
	Codage	N(6)	

Pédologie




8. Pédologie

8.1. Description

La pédologie est une science ayant pour but d'étudier la pédogenèse, c'est-à-dire la formation et l'évolution des sols, notamment au travers de plusieurs taxonomies des sols.

8.2. Tableau des entités

Pédologie		
01	Pédologie	

a. Pédologie

Définition	La pédologie est une science ayant pour but d'étudier la pédogenèse, c'est-à-dire la formation et l'évolution des sols, notamment au travers de plusieurs taxonomies des sols.		
Code de classe	PED		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Pédologie	
	Nom (MCD)	PED	
	Numéro (MCD)	23	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Roche_me, Couleur, Texture, Salure, Act_eau, Charg_ca, Profond,	
	Roche_me	Roche mère	
	Codage	N(12)	
	Valeurs possibles	108,100,101,107 = Alluvions, sable, argile et matériaux meubles calcaires, Sable, Argile 102,108/109,119,120,121,131,132,133,134,135, 136,137,138,139, 116,117,118 106,111,143,149,142 = Marne, alluvions et colluvions, encroûtements calcaires, encroûtements gypseux, croûtes et encroûtements de nappe, croûte calcaire démantelée, roches calcaires tendres, Gypse cristallisé du Trias, limons à nodules, marnes encroûtées et roches marno-calcaires. 109,113,114,115,125,126,127,128,129,130,110, 112 = Colluvions, croûtes calcaires, galets encroûtés, croûtes gypseuses, roches chaotiques du Trias et cargneules. 105,104,103,122,123,124 = Roches calcaires dures, grès non calcaires, grès calcaires et croûte conglomératique	
	Couleur	Couleur du sol	
	Codage	N(12)	

	Valeurs possibles	700=Sols minéraux bruts (lithosols/ régosols), 701=Sols peu évolués d'apport, 702=Rendzines, 703=Sols bruns calcaires, 704=Sols gypseux, 705=Vertisols, 706=Sols isohumiques, 707=Sols brunifiés, 708=Sols fersiallitiques, 709=Sols halomorphes, 710=Sols hydromorphes, 711 = Complexe de sol, 712 = Zone urbaine, 713 = Plan d'eau, lac, barrage, 714 = Oued	
	Texture	Texture	
	Codage	N(12)	
	Valeurs possibles	300-301-302-303 = Sableuse et sablo-limoneuse 304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314. = Limono-sableuse, sablo-argileuse, limoneuse, équilibrée, limono-argileuse et argilo-sableuse. 315-316-317-318-319 = Argilo-limoneuse et argileuse.	
	Salure	Salure	
	Codage	N(3)	
	Valeurs possibles	400 = Sols sains 401 = Sols légèrement salés 402 = Sols moyennement salés 403 = Sols salés 404 = Sols très salés / sols Halomorphes 405 = Salure en profondeur	
	Act_eau	Action de l'eau	
	Codage	N(3)	
	Valeurs possibles	506 = Absente 500 = En surface 502 - 503 - 504 – 505 = En Profondeur 501 = Permanente/ Sols Hydromorphe	
	Charg_ca	Charge caillouteuse	
	Codage	N(3)	
	Valeurs possibles	604 = Absente 600 – 601 = En surface 602 – 603 = En profondeur	
	Profond	Profondeur	
	Codage	N(3)	
	Valeurs possibles	200 = Sol très peu profond 201 = Sol peu profond 202 = Sol moyennement profond 203 = Sol profond 204 = Sol très profond	

Occupation des sols









9. Occupation des sols

9.1. Description

L'occupation du sol désigne « la couverture physique de la surface des terres émergées » et donc le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'Homme.

9.2. Tableau des entités

Occupation des sols		
01	Périmètre irrigués	
02	Foret	
03	Parcours	
04	Sols nus	
05	Terrains agricoles	
06	Terrains construits	

a. Périmètres irrigués

Définition	Un périmètre (collectif) irrigué est défini comme un espace irrigué cohérent d'un seul tenant, comprenant un ensemble d'exploitations irriguées et de systèmes d'irrigation collectifs relativement « homogènes » organisés selon un ordre hydraulique en partie collectif (mobilisation et adduction collective, réseaux de distribution semi-collectifs), avec tour d'eau et droits d'eau collectifs et individuels. Dans la grande majorité des cas les périmètres collectifs sont de types gravitaires par dérivation des eaux superficielles de sources ou d'oued.		
Code de classe	PPI		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Périmètres irrigués	
	Nom (MCD)	PPI	
	Numéro (MCD)	24	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Ppi_nom, Ppi_ann, Ppi_src, Ppi_cla,	
	Ppi_nom	Nom du périmètre	
	Codage	C(30)	
	Ppi_src	Alimentation du périmètre	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Puits, 2 = Forage, 3 = Barrage, 4 = Lac, 5 = Station de traitement des eaux, 6 = Eau d'oued 7 = Canal Medjerda, 8 = Source, 9 = Mixte (forage, oued Medjerda, barrage)	

	Ppi_cla	Classe du périmètre	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Public, 2 = Privé, 3 = Zones de sauvegarde, 4 = Eau usée traitée	
	Ppi_ann	Année d'exploitation ou de création	
	Codage	C(4)	

b. Forêt

Définition	Une forêt ou un massif forestier est une étendue boisée, relativement grande, constituée d'un ou plusieurs peuplements d'arbres, arbustes et arbrisseaux, et aussi d'autres plantes indigènes associées. Les définitions du terme « forêt » sont nombreuses en fonction des latitudes et des usages.		
Code de classe	FOR		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Foret	
	Nom (MCD)	FOR	
	Numéro (MCD)	25	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	For_typ, For_com, For_rec, For_str, For_gpf, For_obs, For_ndc, For_stp, For_ufo	
	For-typ	Type de forêt	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Forêt, 2 = Boqueteau, 3 = Forêt de protection, 4 = Maquis et Garrigues arborés, 5 = Maquis et garrigues non arborés, 6 = terrains déboisés, 7 = Pépinières Forestières, 8 = Petites enclaves.	
	For_com	Composition de forêts	
	Codage	N(2)	
	Valeurs possibles	1 = Pin d'Alep, 2 = Pin maritime, 3 = Thuya, 4 = Résineux divers, 5 = Chêne liège, 6 = Chêne Zen, 7 = Autres chênes, 8 = Eucalyptus, 9 = Acacias, 10 = Feuillus divers, 11 = Résineux prépondérants, 12 = Feuillus prépondérants	
	For_rec	Recouvrement des forêts	
	Codage	N(1)	
	Valeurs	1 = Grandes cimes (> 75%), 2 = Grandes cimes	

	possibles	(50-75%), 3 = grandes cimes (25-50%), 4 = Grandes cimes (10 à 25%), 6 = Petites cimes (> 75%), 7 = Petites cimes (50-75%), 8 = Petites cimes (25 - 50%), 9 = Petites cimes (10 – 25 %)	
	For-Str	Structures des forêts	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Jeune, 2 = Phase d'éclaircie, 3 = Mûre, 4 = Mélange futaie et taillis, 5 = Non identifiée ou irrégulière	
	For_gpf	*	
	Codage	N(2)	
	For_obs	*	
	Codage	N(1)	
	For_ndc	*	
	Codage	N(20)	
	For_stp	*	
	Codage	N(4)	
	For_ufo	*	
	Codage	N(4)	
	For_rgf	*	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Propriété privée dominante, 2 = Propriété privée dominante 3 = Propriété forestière de l'état généralisée ou dominante, 4 = Propriété privée dominante avec propriété privée de l'état important	
	For_spt	*	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Sans particularité, 2 = Contrat de reboisement, 3 = Décret de fixation des dunes, 4 = Parc national, réserve naturelle	

c. Parcours

Définition	Terrain non cultivé fournissant une faible production végétale et utilisé pour le pâturage.		
Code de classe	PAR		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Zones de parcours	
	Nom (MCD)	PAR	
	Numéro (MCD)	26	
	Format des données	Shape	

	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Par_typ, Par_gpp, Par_ndc, Par_stp, Par_ufo, Par_rgf, Par_spt	
	Par-typ	Type de parcours	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Prairies et pelouses, 2 = Formations. Steppiques, 3 = Formations Végétales des milieux rupicoles, 4 = Mosaïque de steppes et terrains cultivés, 5 = Autres formations végétales	
	Par_gpp	*	
	Codage	N(2)	
	Par_ndc	*	
	Codage	N(20)	
	Par_stp	*	
	Codage	N(4)	
	Par_ufo	*	
	Codage	N(4)	
	Par_rgf	*	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Propriété privée dominante et indifférenciée, 2 = Propriété privée dominante avec propriété collective importante, 3 = Propriété forestière de l'état généralisée ou dominante, 4 = Propriété privée dominante avec propriété privée de l'état important, 5 = Domaine public hydraulique dominant et propriété privée	
	Par_spt	Particularité du statut	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Sans particularité, 2 = Contrat de reboisement, 3 = Décret de fixation des dunes, 4 = Parc national, réserve naturelle ou parc national	

d. Sols nus

Définition	Sol exempt de végétation, non protégé, non ombragé et soumis aux intempéries.		
Code de classe	SNU		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Sols nus	
	Nom (MCD)	SNU	
	Numéro	27	

	(MCD)		
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Snu_typ	
	Snu_typ	type de sol nu	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Terrains rocheux, 2 = Sable (dunes), 3 = Tranchées (pare-feu), 4 = Parc à bois, 5 = Autres (carrières)	

e. Terrains agricoles

Définition	La surface agricole utilisée est un instrument statistique destiné à évaluer la surface foncière déclarée par les exploitants agricoles comme utilisée par eux pour la production agricole.		
Code de classe	TAG		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Terrains agricoles	
	Nom (MCD)	TAG	
	Numéro (MCD)	28	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	Tag_cos	
	Tag_cos	Occupation du sol	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Non agricole, 100 = Grandes cultures, 110 = Céréales, 111 = Blé dur, 112 = Blé tendre, 113 = Orge, 120 = Cultures fourragères, 130 = Légumineuses, 140 = Cultures industrielles, 200 = olivier, 300 = Arboriculture, 310 = Amandier, 320 = Poirier et pommier, 330 = Autres arbres fruitiers à noyaux, 340 = Autres arbres fruitiers à pépins, 400 = Cultures maraîchères, 410 = Agrumes, 420 = Pomme de terre, 430 = Tomate, 440 = Autres cultures maraîchères, 500 = Vigne, 600 = Terrain de parcours	

f. Terrains construits

Définition	Un terrain se définit comme étant à bâtir lorsqu'il est prêt à accueillir une construction neuve. Il doit, pour cela, remplir différents critères physiques et juridiques lui permettant d'être édifié.
-------------------	---

Code de classe	ZU		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Terrains construits	
	Nom (MCD)	ZU	
	Numéro (MCD)	29	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	

Compétitivité économique




10. Compétitivité économique

10.1. Description

La compétitivité traduit l'aptitude pour une entreprise, un secteur d'activité ou l'ensemble des acteurs économiques d'un pays à maintenir ou à augmenter ses parts de marché par rapport à la concurrence étrangère.

10.2. Tableau des entités

Compétitivité économique		
01	Compétitivité économique	

a. Compétitivité économique

Définition	La compétitivité traduit l'aptitude pour une entreprise, un secteur d'activité ou l'ensemble des acteurs économiques d'un pays à maintenir ou à augmenter ses parts de marché par rapport à la concurrence étrangère.		
Code de classe	MOX_CLIM_PPI		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Compétitivité économique	
	Nom (MCD)	MOX_CLIM_PPI	
	Numéro (MCD)	32	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Mox_ide, Mox_typ, Mox_mil, Mox_bld, Mox_blt, Mox_org, Mox_oli, Mox_ama, Mox_pom, Mox_vig, Mox_pdt, Mox_tom, Mox_rne, Mox_pia, Mox_lai, Mox_art, Mox_poi, Mox_ppo, Mox_bip, Mox_tar, Mox_tpr, Mox_lni, Mox_pas, Mox_bnl, Mox_pec, Mox_vov, Mox_bil, Mox_bnp, Mox_ora, Mox_ppr, Mox_pim, Mox_gre, Clm_nom, Clm_cla, Mox_clm, Hsu_nom, Hsu_nat, lhs_nom, Zu_nom, Ppi_nom, Ppi_cla,	
	Mox_ama	Amandier	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_art	Artichaut	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_bil	Viande bovine élevage intégré race locale	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_bip	Viande bovine élevage intégré race pure	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_bld	Blé dur	

	Codage	D(3,2)	
	Mox_blt	Blé tendre	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_bnl	Viande bovin élevage non intégré race locale	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_bnp	Viande bovin élevage non intégré race pure	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_gre	Grenadier	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_lai	Lait intégré	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_lni	Lait non intégré	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_oli	Huile à olive, trituration : super presse	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_Ora	Maltaises	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_org	Orge	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_pas	Pastèque pleine champ	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_pdt	Pomme de terre de saison plein champ	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_pec	Pêcher	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_pia	Piment d'arrière saison sous serre	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_pim	Piment de saison plein champ	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_poi	Poirier	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_pom	pommier	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_ppo	Petits pois verts	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_ppr	Piment primeur sous serre	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_tar	Tomate d'arrière saison sous serre	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_tom	Tomate de saison pleine champ	
	Codage	D(3,2)	

	Mox_tpr	Tomate primeur sous serre	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_vig	Vigne de cuve AOC	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_vov	Viande ovine	
	Codage	D(3,2)	
	Mox_typ	Modèle d'exploitation	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = M1, 2 = M2, 3 = M3, 4 = M4	
	Mox_mil	Mode d'irrigation	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Sec, 2 = Mixte, 3 = Irrigué	

Toponymie




11. Toponymie

11.1. Description

La toponymie est une discipline linguistique qui étudie les toponymes, c'est-à-dire les noms propres désignant un lieu.

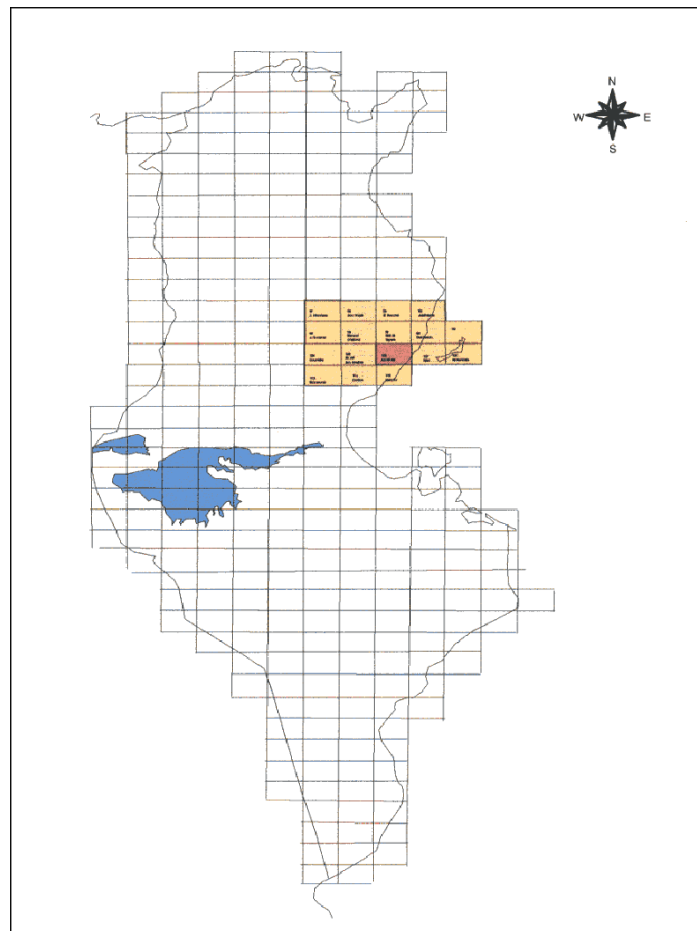
11.2. Tableau des entités:

Toponymie		
01	Nom des villes et villages	

a. Nom des villes et villages

Définition	La toponymie est une discipline linguistique qui étudie les toponymes, c'est-à-dire les noms propres désignant un lieu.		
Code de classe	TOP		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Nom des villes et villages	
	Nom (MCD)	TOP	
	Numéro (MCD)	33	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Point	
	Attributs renseignés	Top_typ, Top_nom	
	Top_typ	Type de la localité	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	1 = Ville, 2 = Village	
	Top_nom	Nom de la localité	
	Codage	C(50)	

Découpage cartographique





12. Découpage cartographique

12.1. Description

Un index cartographique est un système de division et d'identification du territoire qui présente les limites d'une couverture de cartes en fonction de son échelle.

1. Tableau des entités

Découpage cartographique		
01	Découpage au 1/25000	
02	Découpage au 1/50000	

a. Découpage au 1/25000

Définition	L'échelle cartographique 1/25000 correspond au rapport entre la distance mesurée sur une carte et la distance réelle sur le terrain.		
Code de classe	D25		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Découpage au 1/25000	
	Nom (MCD)	D25	
	Numéro (MCD)	34	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	D25_nom,D25_nuc,D25_nuf,D25_pho,D25_ter, D25_pub,D25_lam, D25_utm,D25_geo	
	D25_nom	Nom de la feuille	
	Codage	C(30)	
	D25_nuc	Numéro de la carte	
	Codage	N(3)	
	D25_nuf	Code de la feuille	
	Codage	C(5)	
	D25_pho	Année de prise de vue des photos	
	Codage	N(4)	
	D25_ter	Fin des travaux	
	Codage	N(4)	
	D25_pub	Date de publication de la carte	
	Codage	N(4)	
	D25_lam	Coordonnées Lambert	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	0 = Absence de coordonnées, 1 = Amorce, 2 = Croisillon, 3 = Quadrillage	
	D25_utm	Coordonnées UTM	
	Codage	N(1)	

	Valeurs possibles	0 = Absence de coordonnées, 1 = Amorce, 2 = Croisillon, 3 = Quadrillage	
	D25_geo	Coordonnées géographiques	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	0 = Absence de coordonnées, 1 = Amorce, 2 = Croisillon, 3 = Quadrillage	

b. Découpage au 1/50000

Définition	L'échelle cartographique 1/50000 correspond au rapport entre la distance mesurée sur une carte et la distance réelle sur le terrain.		
Code de classe	D50		
Topologie	Simple		
Genre	Linéaire 3D		
Attribut	Nom de la couche	Découpage au 1/50000	
	Nom (MCD)	D50	
	Numéro (MCD)	35	
	Format des données	Shape	
	Projection	UTM	
	Géométrie	Polygone	
	Attributs renseignés	D50_nom, D50_nuc, D50_nuf, D50_pho, D50_ter, D50_pub, D50_lam, D50_utm, D50_geo	
	D50_nom	Nom de la feuille	
	Codage	C(30)	
	D50_nuc	Numéro de la carte	
	Codage	N(3)	
	D50_pho	Année de prise de vue des photos	
	Codage	N(4)	
	D50a_ter	Fin des travaux	
	Codage	N(4)	
	D50a_pub	Date de publication de la carte	
	Codage	N(4)	
	D50_lam	Coordonnées Lambert	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	0 = Absence de coordonnées, 1 = Amorce, 2 = Croisillon, 3 = Quadrillage	
	D50_utm	Coordonnées UTM	
	Codage	N(1)	
	Valeurs possibles	0 = Absence de coordonnées, 1 = Amorce, 2 = Croisillon, 3 = Quadrillage	
	D50_geo	Coordonnées géographiques	
	Codage	N(1)	

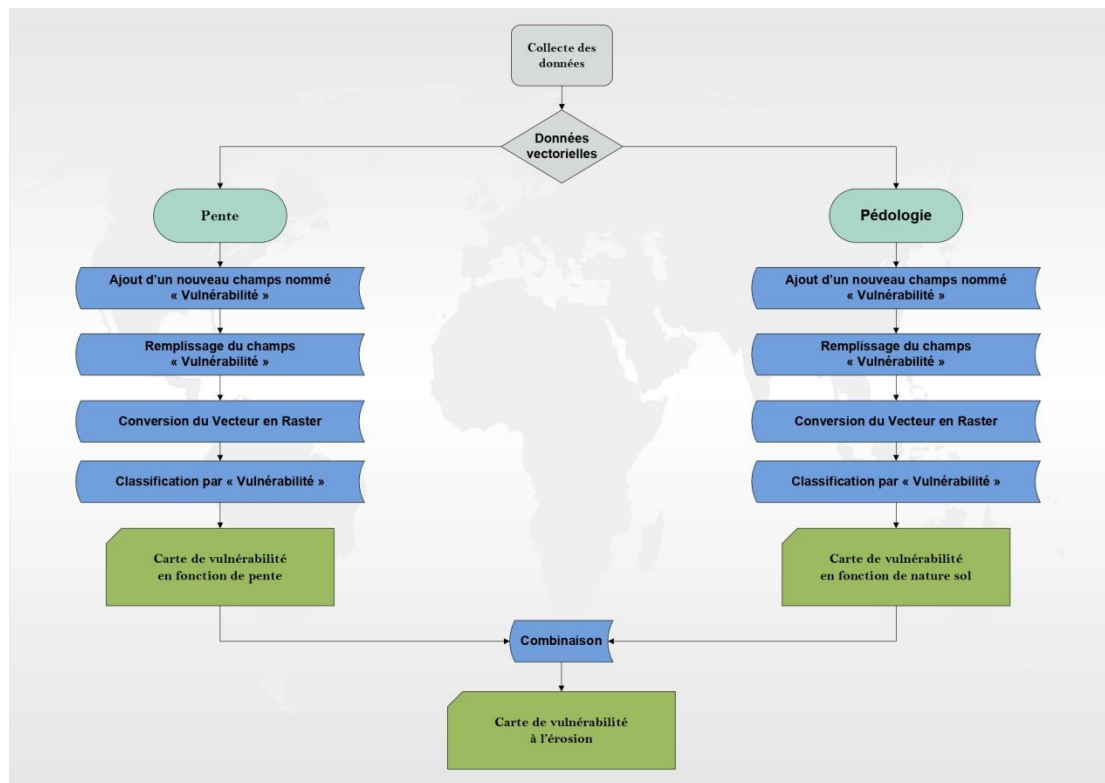
	Valeurs possibles	0 = Absence de coordonnées, 1 = Amorce, 2 = Croisillon, 3 = Quadrillage	
--	------------------------------	--	--

Diagrammes et cartes

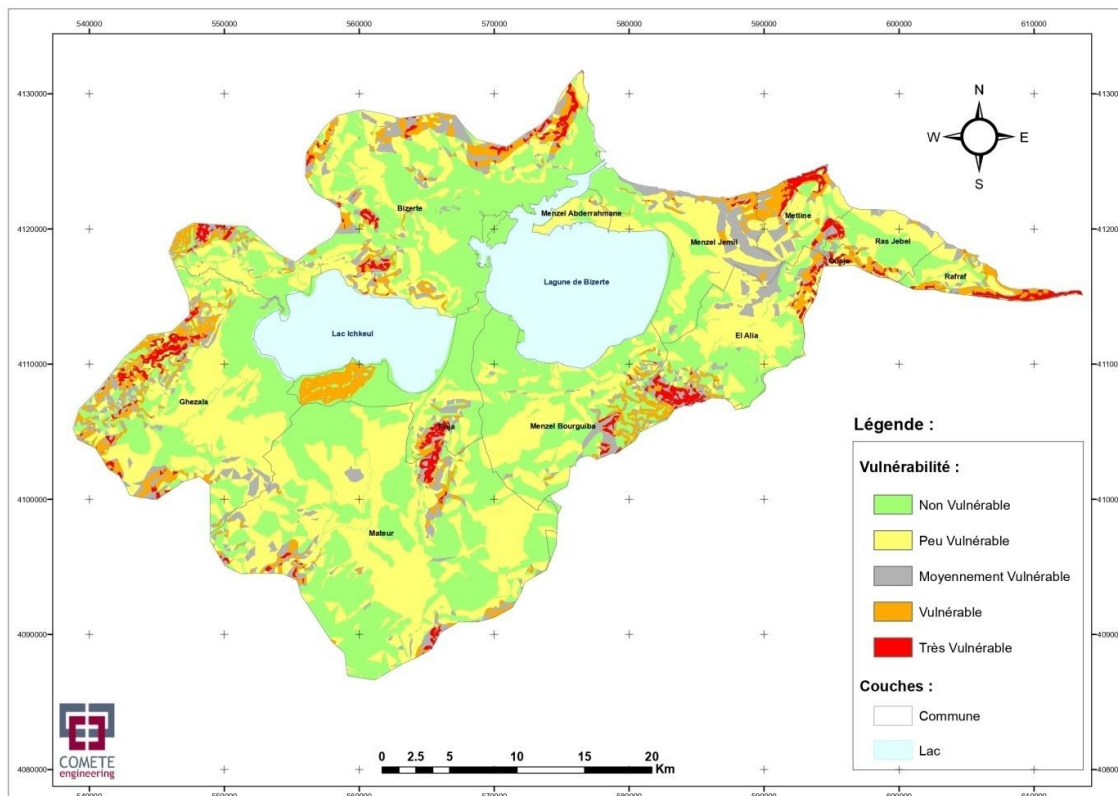
13. Les diagrammes et les cartes

13.1. Vulnérabilité à l'érosion

a. Diagramme

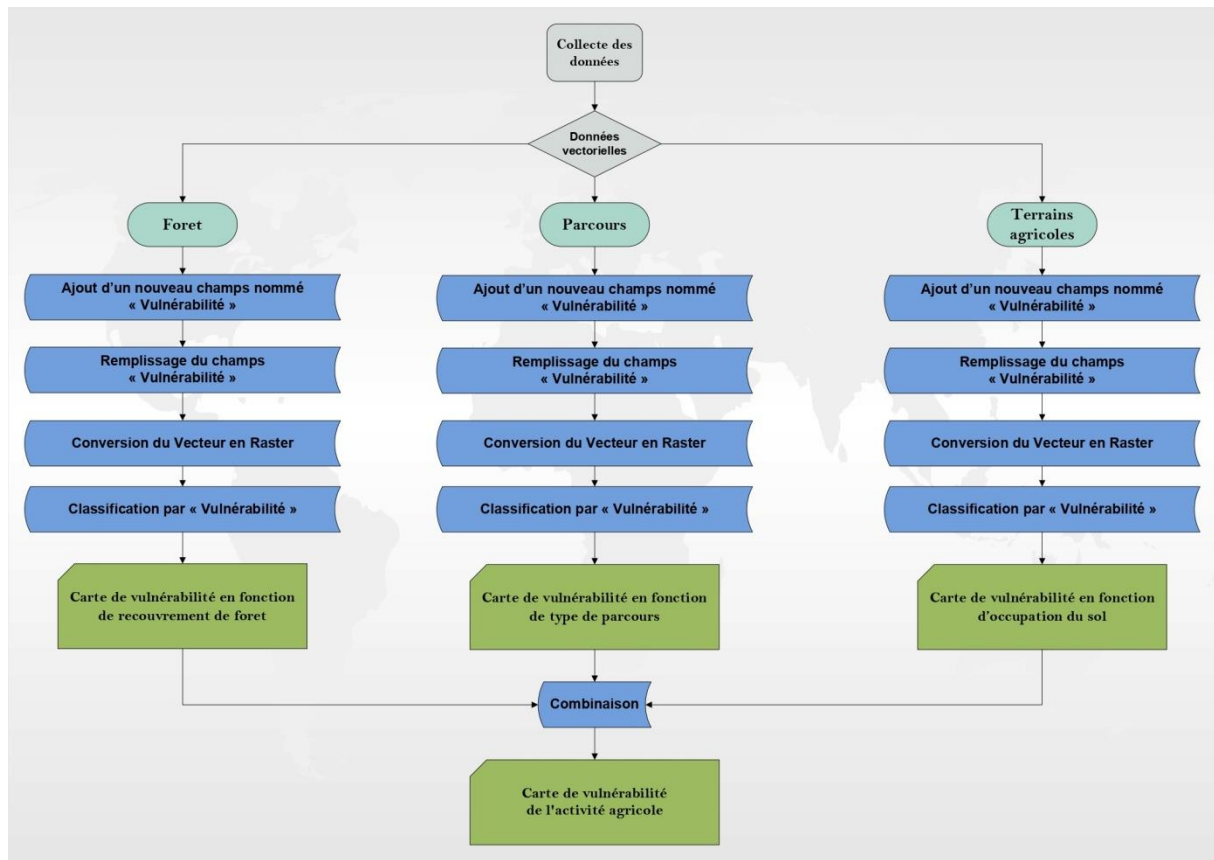


b. Carte de vulnérabilité à l'érosion

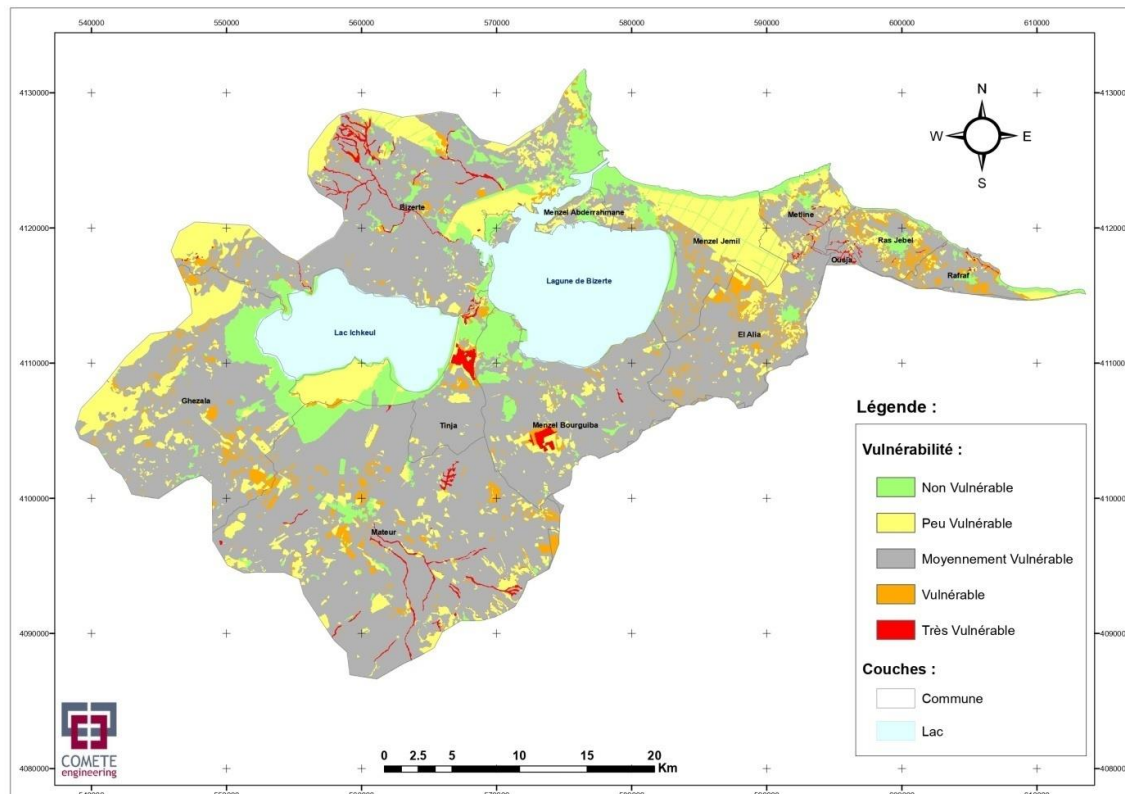


13.2. Vulnérabilité de l'activité agricole

a. Diagramme

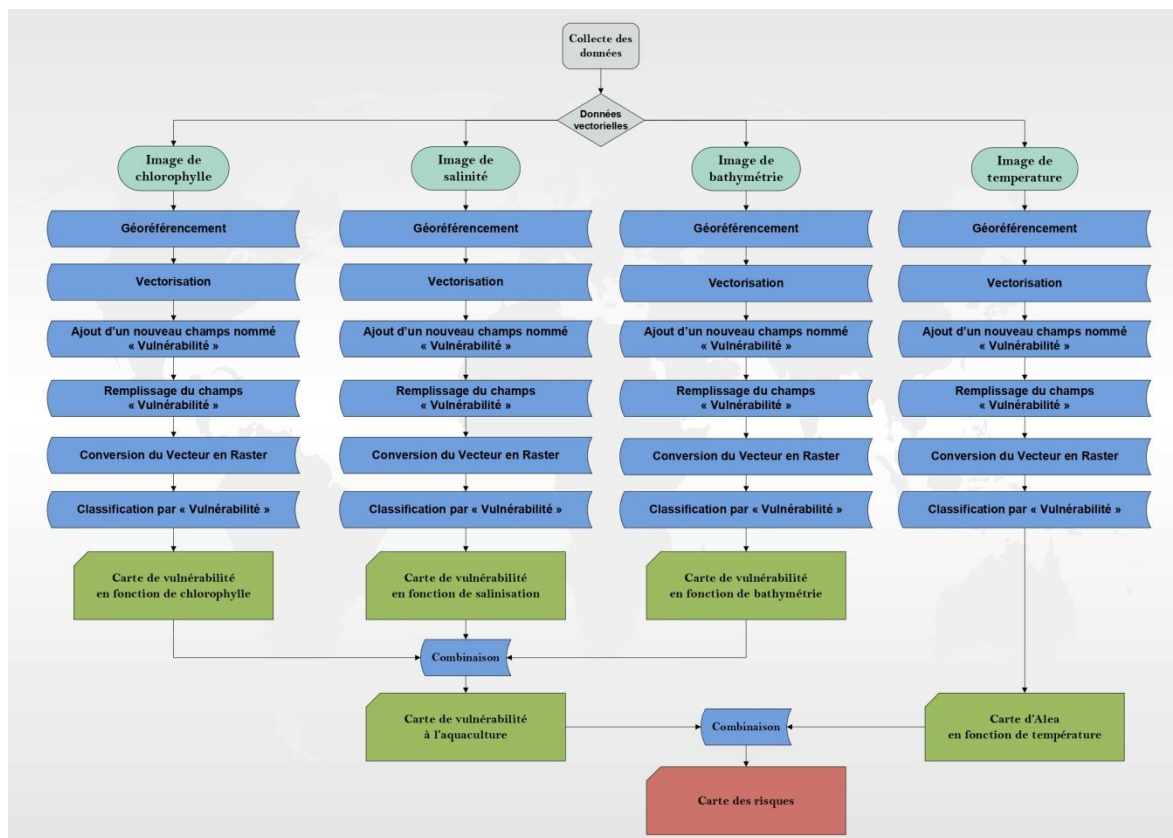


b. Carte



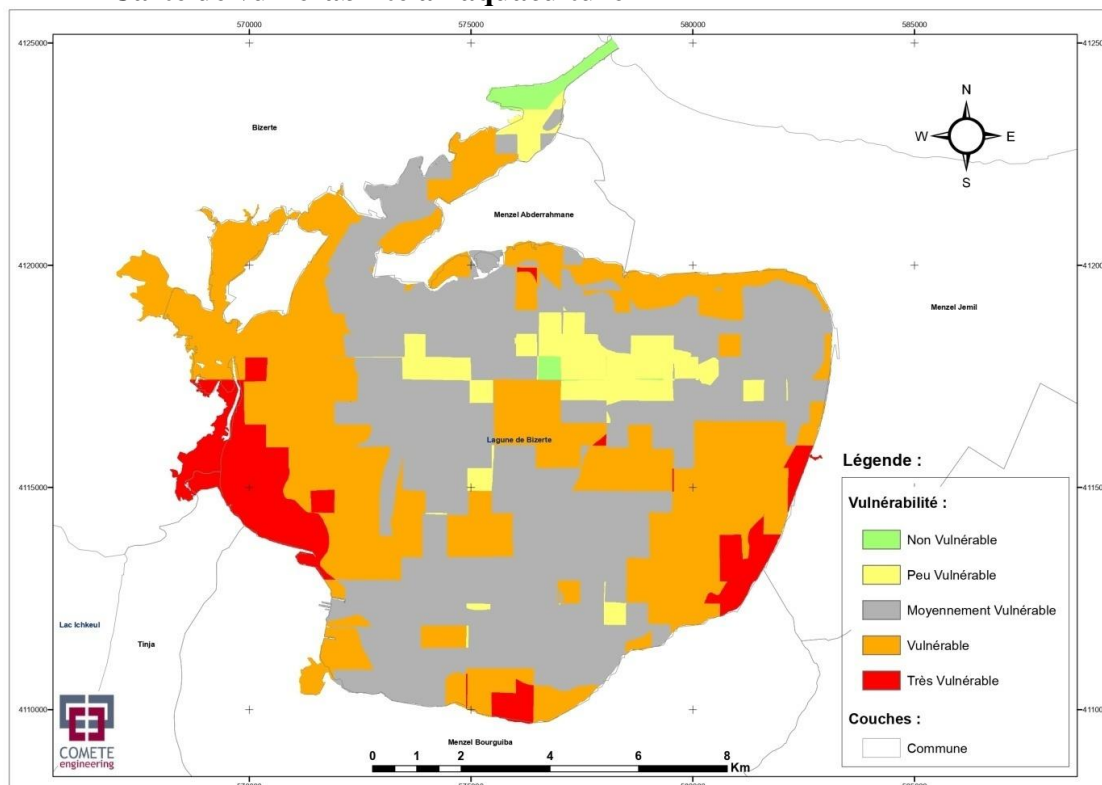
13.3. Vulnérabilité de l'aquaculture

a. Diagrammes



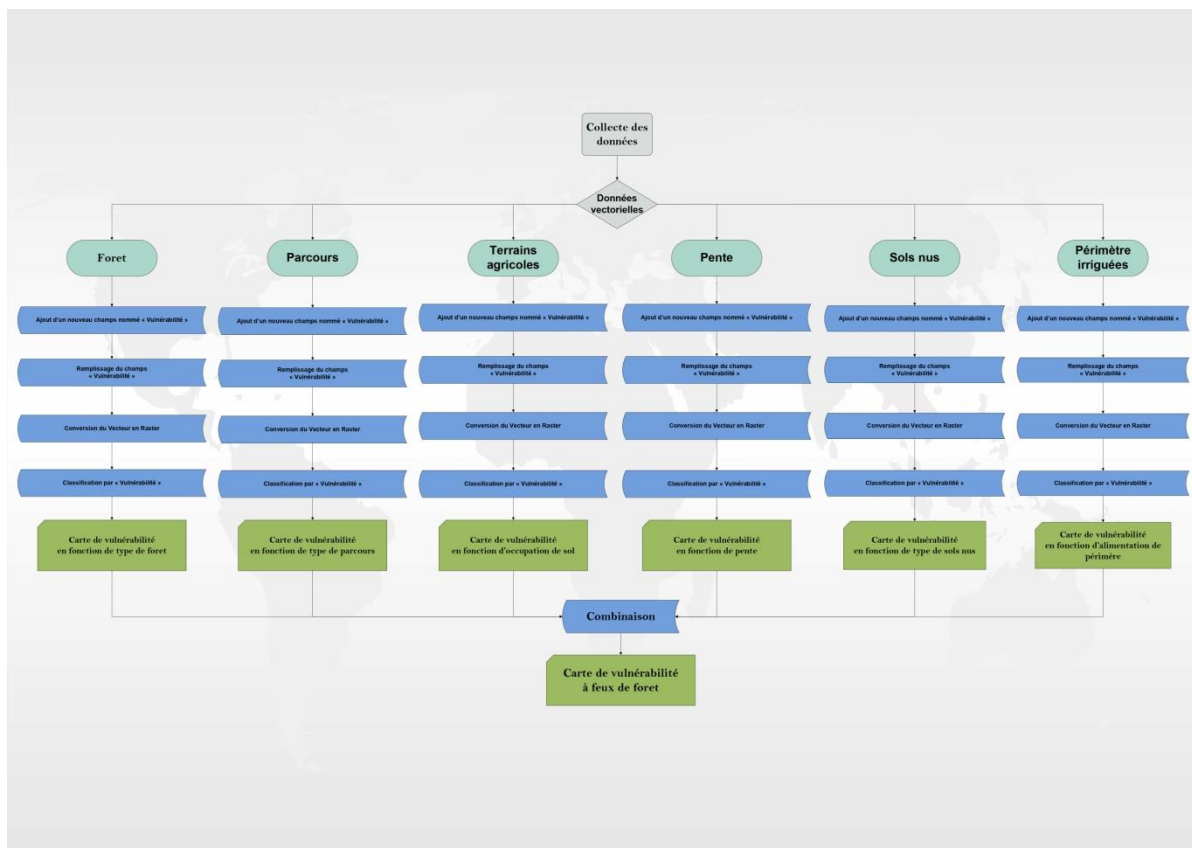
b. Cartes

- Carte de vulnérabilité à l'aquaculture

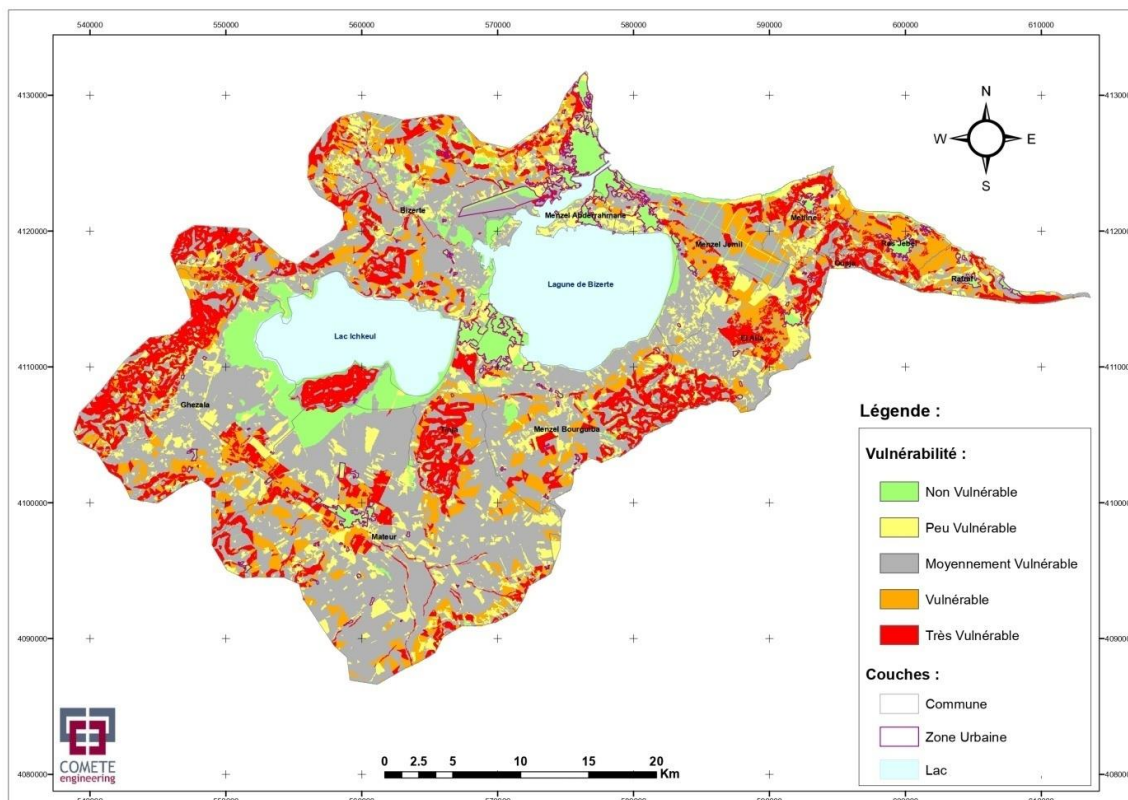


13.4. Vulnérabilité aux feux de forêt

a. Diagramme

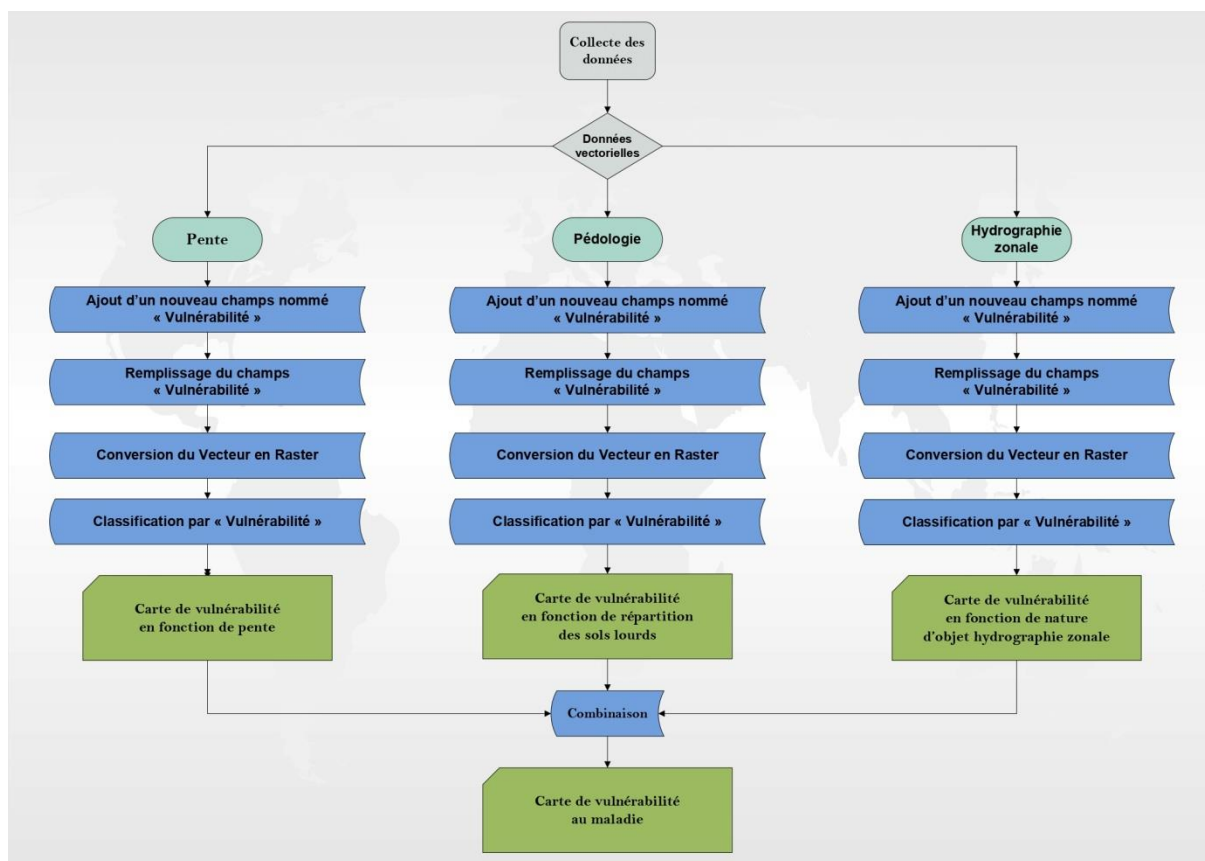


b. Carte

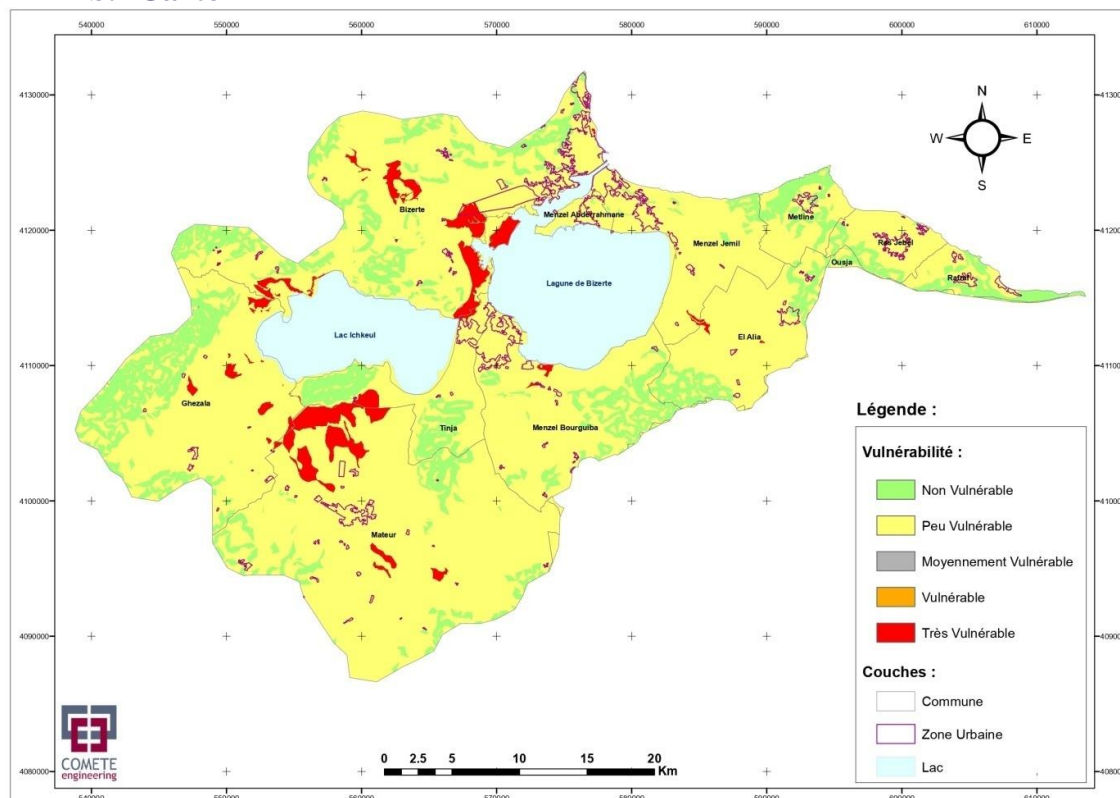


13.5. Vulnérabilité à la maladie

a. Diagramme

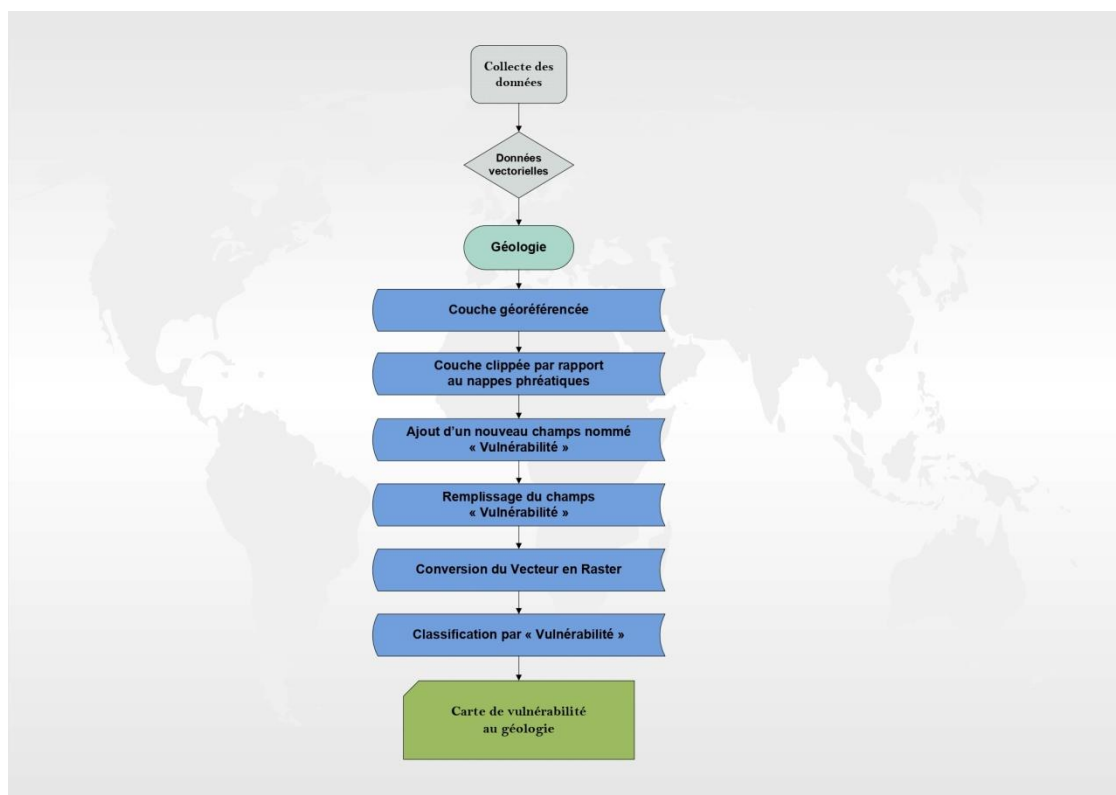


b. Carte

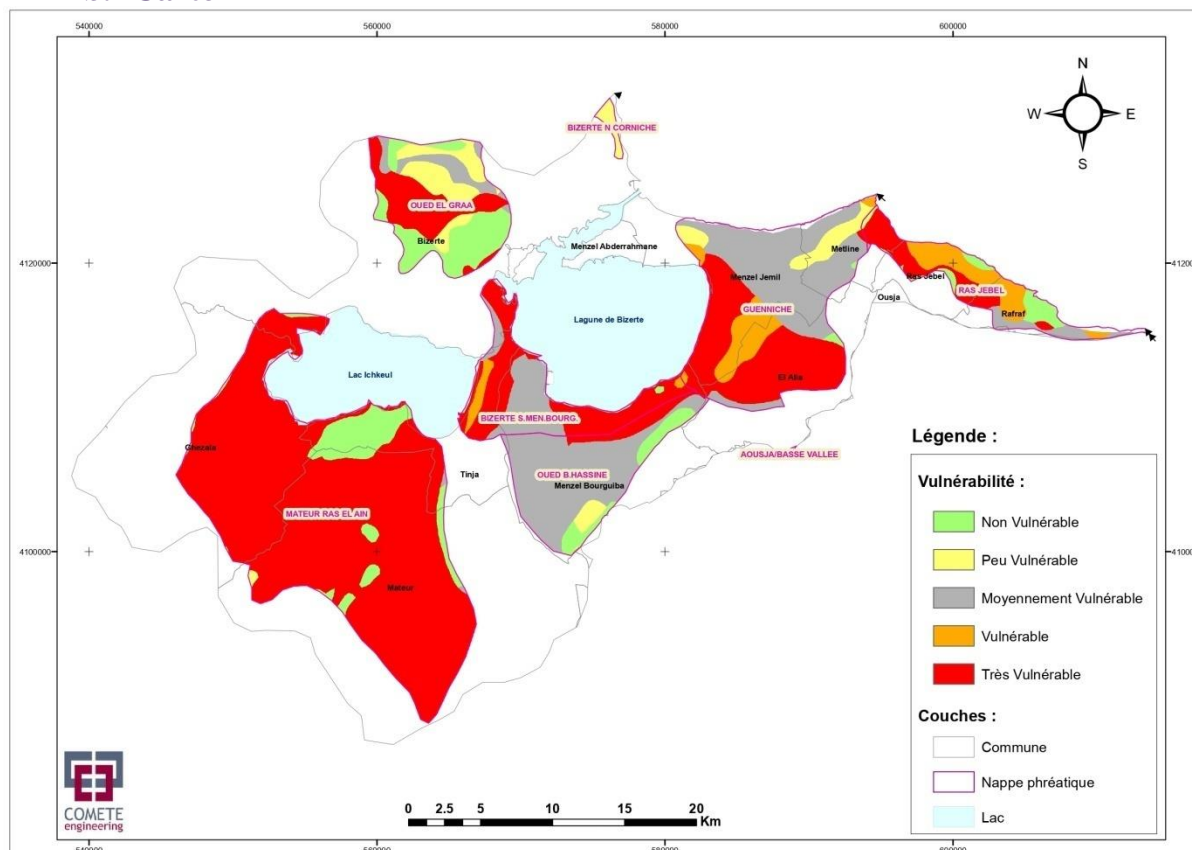


13.6. Vulnérabilité des nappes phréatiques

a. Diagramme

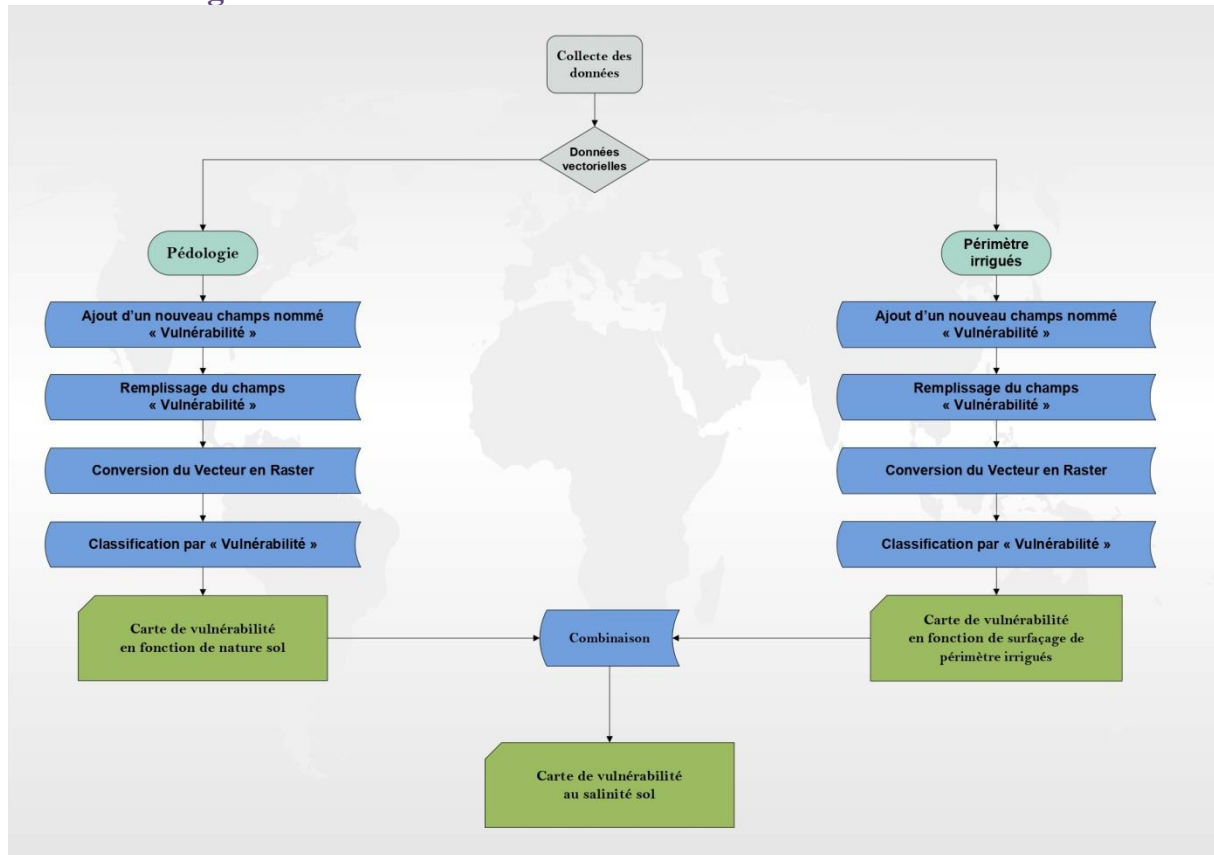


b. Carte

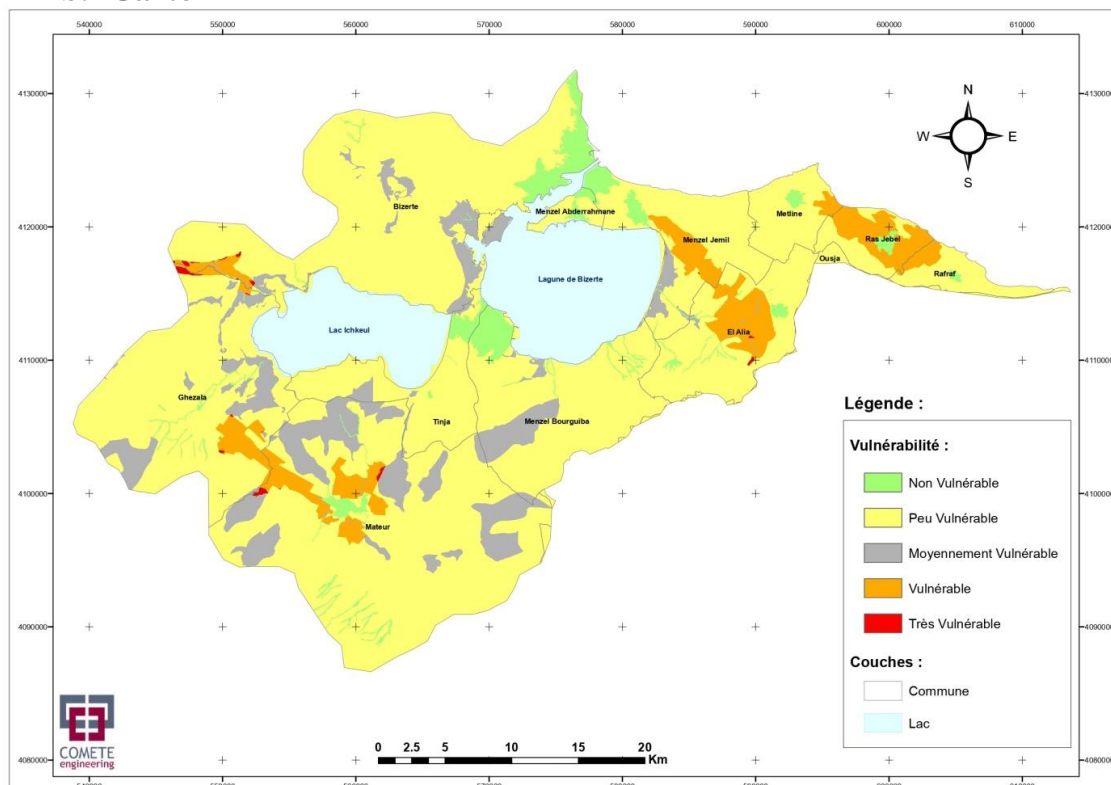


13.7. Vulnérabilité a la salinité sol

a. Diagramme

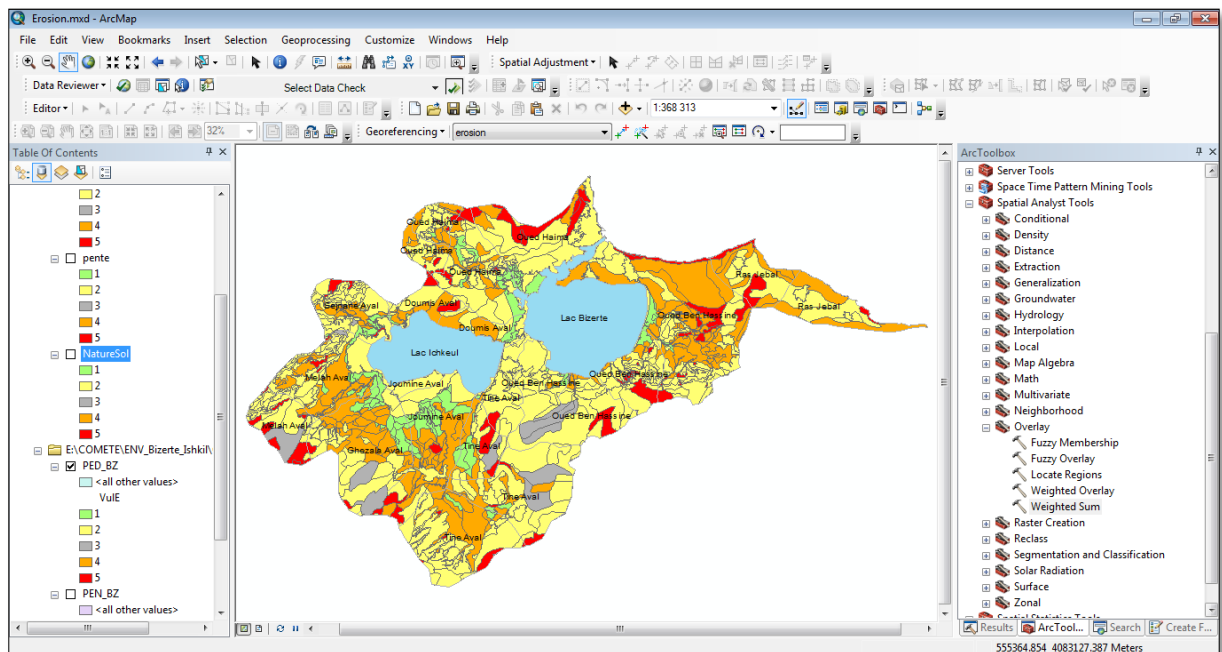


b. Carte



Exemple de création d'une carte (Carte d'érosion)

13.8. Exemple de création d'une carte (carte d'érosion) par ARCGIS



1. Ajout d'un nouveau champ

- **Etape 1 :** Importation de la couche pente (PEN).
 - **Etape 2 :** Ajout d'un nouveau champ nommé « Vulnérabilité » et le remplir par des codes de 1 jusqu'à 5 qui représentent le degré de la vulnérabilité.
- 1 : non vulnérable
 2 : peu vulnérable
 3 : moyennement vulnérable
 4 : vulnérable
 5 : très vulnérable.

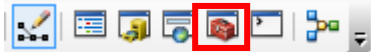
Table								
PEN_BZ								
	FID	Shape	OBJECTID	ID	GRIDCODE	Shape_Leng	Shape_Area	VulE
	0	Polygon	14369	32	804	936.989553	27983.312336	4
	1	Polygon	14370	78	803	2094.225921	216559.916458	3
	2	Polygon	14371	123	800	2482.745991	189618.707872	1
	3	Polygon	14372	153	805	1527.949775	101422.560198	5
	4	Polygon	14373	165	800	1186.287651	68916.225208	1
	5	Polygon	14374	167	804	1325.155533	103505.09722	4
	6	Polygon	14375	183	804	1159.283636	80456.778895	4
	7	Polygon	14376	209	801	1324.665812	13034.365651	1
	8	Polygon	14377	213	801	40	100	1
	9	Polygon	14378	215	801	40	100	1
	10	Polygon	14379	216	801	40	100	1
	11	Polygon	14380	218	801	40	100	1
	12	Polygon	14381	220	801	40	100	1
	13	Polygon	14382	222	801	40	100	1
	14	Polygon	14383	223	801	40	100	1
	15	Polygon	14384	226	801	40	100	1
	16	Polygon	14385	227	801	40	100	1

2. Conversion de la couche vectrice vers la forme raster

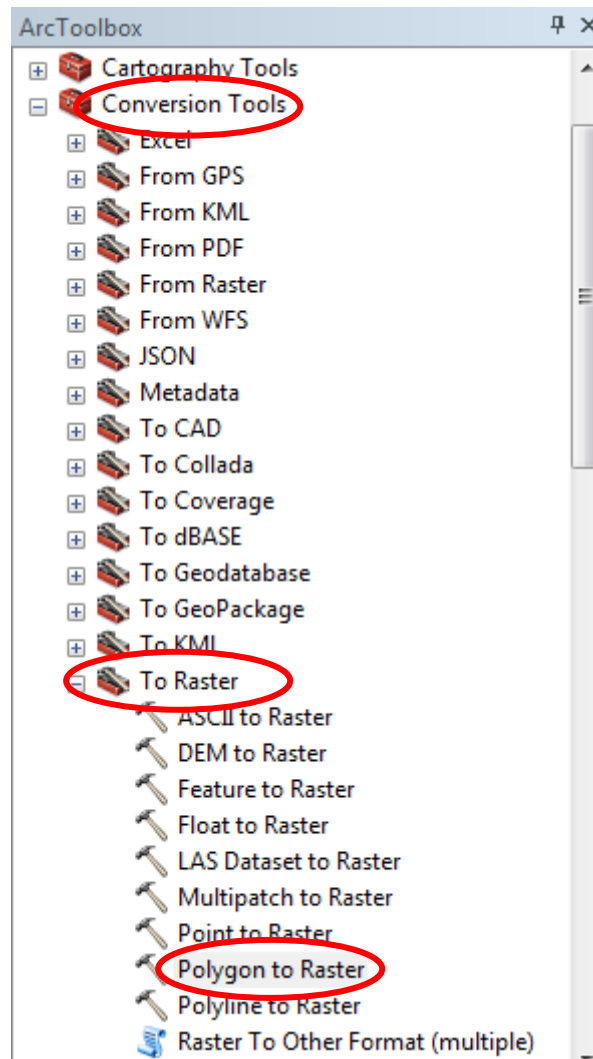
Avant de créer une carte, il faut avoir des couches sous forme raster.

Par la suite, il faut suivre les étapes suivantes :

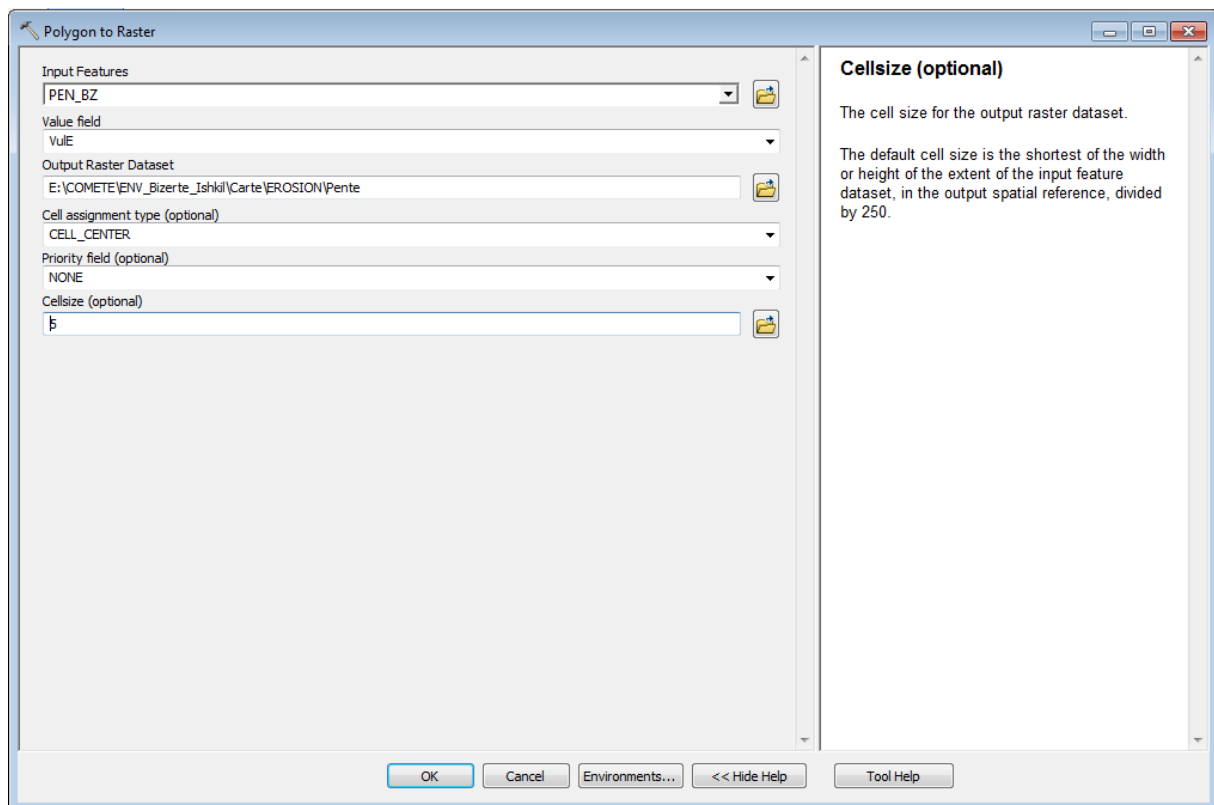
- Cliquer sur ArcToolBox



- Cliquer sur "Conversion Tools" → To Raster → Polygon To Raster.

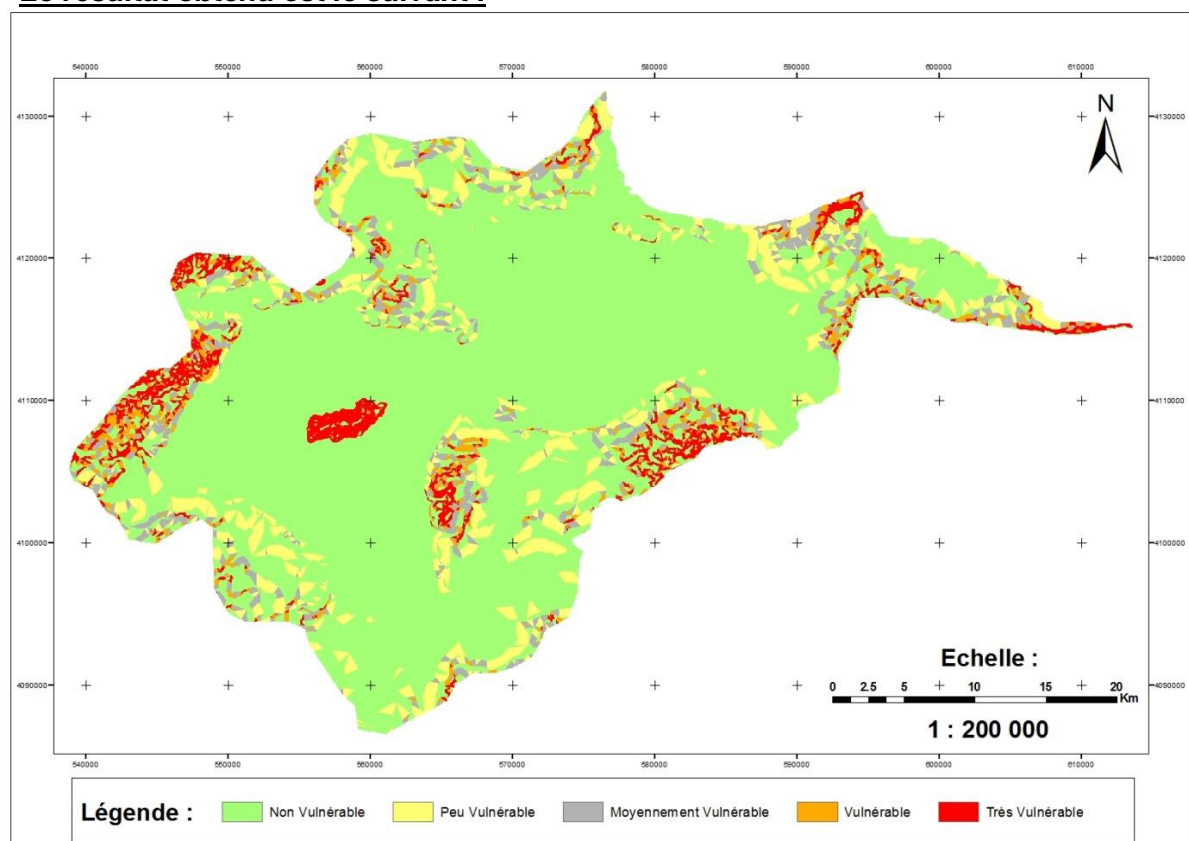


- Remplir la fenêtre suivante :

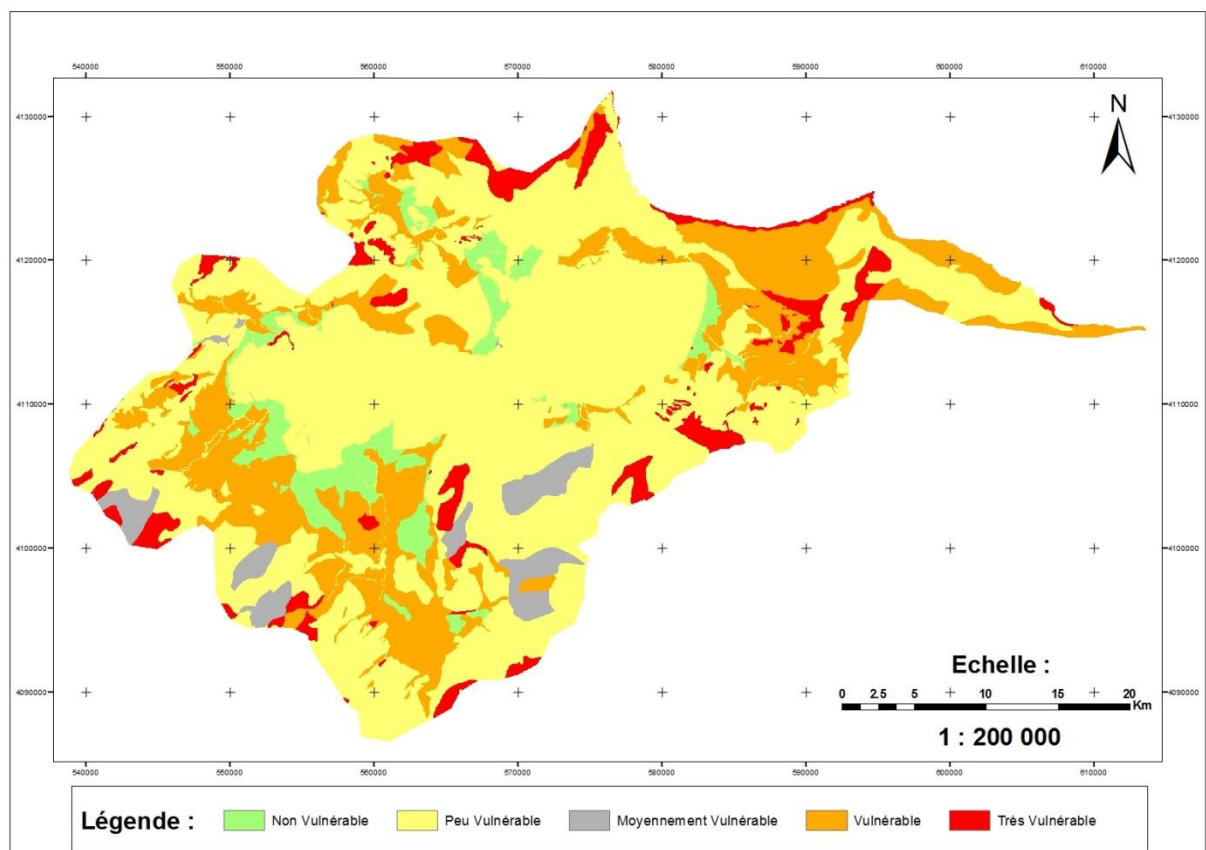


- Classer donc la couche par le nouveau champ « Vulnérabilité » déjà créé et puis cliquer sur OK.

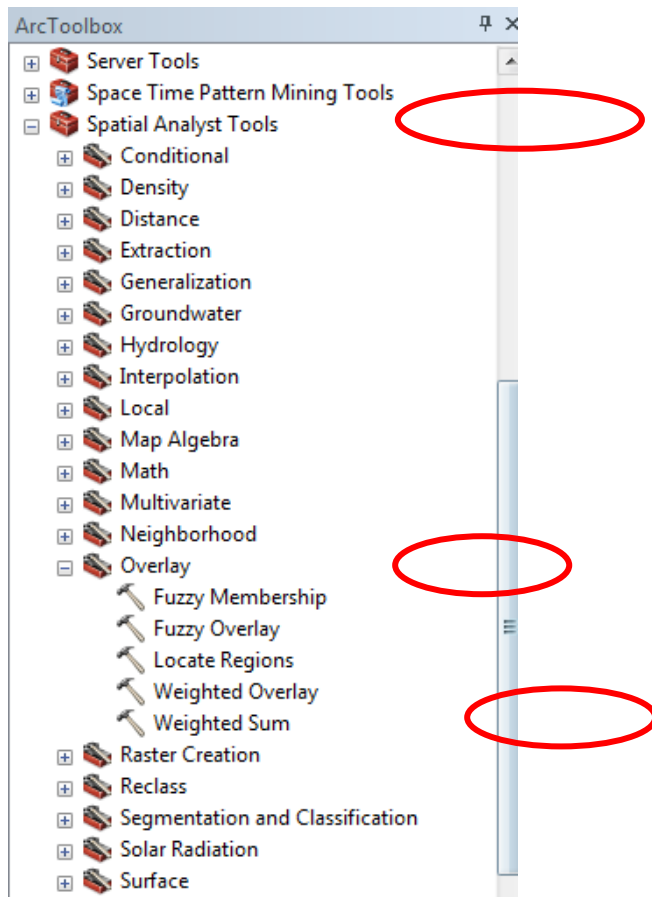
Le résultat obtenu est le suivant :



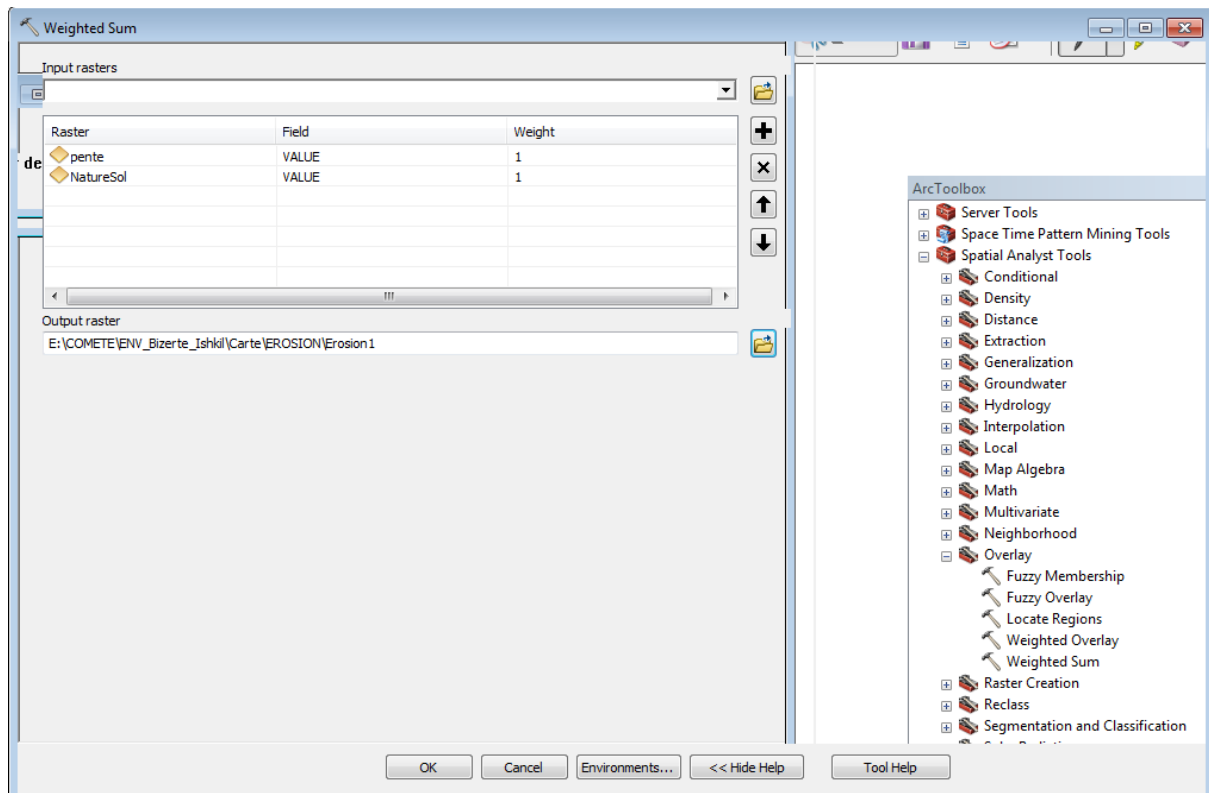
On reprend la même démarche pour la nature sol et voila le résultat :



- Combiner les deux couches raster à l'aide d'ArcToolBox==> Spatial Analyst Tools→ Overlay→ weighted Sum.



- Remplir la fenêtre suivante :



Le résultat fini après la combinaison entre les deux couches permettra d'avoir la carte de vulnérabilité à l'érosion :

