



## Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques

Publié par	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Siège de la société : Bonn et Eschborn	Mise à jour	Janvier 2007
Bureau de Tunis	B.P. 753, 1080 Tunis-Cédex, Tunisie T +216 71 967 220 F +216 71 967 227 www.giz.de/tunisie Email: giz-tunesien@giz.de	Photo	Firas Ben Khelifa
Responsables	Jörg Linke (GIZ) Ali Abaab (GIZ)	Conception couverture	i.Grafik
Auteurs	Prof. Gonzague Pilllet (Ecosys® Genève et Université de Fribourg, GOPA Consultants), Prof. Lorenz King (Université de Giessen, GOPA Consultants), Zuhair Nasr (IRESA), Hussein Almohamad (Université de Giessen), Clemens C. Maag (Université de Giessen), Dr. Raoudha Lahache Gafrej (Institut Supérieur des Sciences Biologiques Appliquées de Tunis, ExA Consult), Ing. Emna Yaalaoui (ExA Consult), Dr. Christophe Neff (Université de Karlsruhe, GOPA Consultants), Dr. Abdelmajid El Hamrouni (ExA Consult), Ali Aloui (ExA Consult), Ahmed Souissi (ExA Consult), Anne Großmann (GOPA Consultants), Dr. Gideon Kruseman (LEI-Wageningen, GOPA Consultants), Prof. Mohamed Salah Bachta (Institut National Agronomique de Tunis, ExA Consult), Habib Khanfir (ExA Consult), Rafik Missaoui (ALCOOR-Tunis, ExA Consult), Habib Ben Salem (Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne, ExA Consult), Thorsten Waibel (GOPA Consultants)	Mandaté par	Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ)
		Institution partenaire	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche (Tunisie)

# Sommaire de l'étude

Cahier 1

## 1 | Introduction

1.1	Adresse .....	3
1.2	Préambule .....	3
1.3	Aspects institutionnels.....	4
1.4	Expériences de la part d'autres pays.....	5
1.4.1	Adaptation aux changements climatiques en France .....	5
1.4.2	Adaptation aux changements climatiques au Royaume-Uni .....	5
1.4.3	Adaptation aux changements climatiques en Allemagne.....	5
1.4.4	Adaptation aux changements climatiques en Finlande .....	6
1.4.5	Adaptation aux changements climatiques dans l'Union Européenne .....	6
1.4.6	Adaptation aux changements climatiques en Suisse .....	7
1.5	Présentation de l'étude tunisienne.....	7
1.6	Groupes d'experts et suivi des travaux.....	8
1.7	Contenu des Cahiers 1 à 7 .....	9

Cahier 2

## 2 | Synthèse

2.1	Introduction.....	3
2.2	Les changements climatiques .....	4
	ENSEMBLE DU PAYS .....	4
	PAR REGION (SUD, CENTRE ET NORD).....	5
2.3	Les conséquences des changements climatiques .....	5
	Ressources en eau .....	6
	Ecosystèmes .....	6
	Agrosystèmes   Secteur agricole.....	6
	a) Production oléicole et arboriculture.....	7
	b) Elevage .....	7
	c) Céréaliculture .....	7
	d) Secteur agricole.....	8
2.4	La stratégie nationale intégrée d'adaptation aux changements climatiques.....	8
	Principes directeurs .....	8
	Climat.....	9
	Ressources en eau.....	9
	Ecosystèmes.....	9
	Agrosystèmes   Secteur agricole.....	10
	Niveau international .....	10
	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche .....	10

2.5	Le plan de mise en œuvre de la stratégie nationale.....	11
	Climat.....	11
	Ressources en eau.....	11
	Ecosystèmes.....	12
	Agrosystèmes   Secteur agricole.....	12
	Niveau international.....	12
	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche.....	13

**Cahier 3**

### **3 | Projections sectorielles**

3.1	Projections du climat en Tunisie aux horizons 2030 et 2050.....	3
	3.1.1 Introduction.....	3
	3.1.2 Méthodologie.....	4
	3.1.3 Résultats du modèle HadCM3.....	4
	3.1.4 Conclusions.....	10
3.2	Les ressources en eau sous l'influence des changements climatiques.....	11
	3.2.1 Introduction.....	12
	3.2.2 Cycle et bilan hydrologiques.....	12
	3.2.3 Evolution moyenne des ressources en eau en cas de changements climatiques.....	13
	3.2.4 Evolution des ressources en eau face aux extrêmes climatiques.....	15
	3.2.5 Impacts prévisibles des changements climatiques sur les ressources en eau.....	16
	3.2.6 Conclusion.....	17
3.3	Les écosystèmes sous l'influence des changements climatiques.....	18
	3.3.1 Mise en perspective des écosystèmes tunisiens et des changements climatiques.....	18
	3.3.2 Scénario de changement climatique et conséquences directes sur les écosystèmes tunisiens.....	19
	3.3.3 Risques environnementaux en conséquence des changements climatiques.....	22
	3.3.4 Conclusion.....	23
3.4	Les agrosystèmes et le secteur agricole sous l'influence des changements climatiques.....	23
	3.4.1 Introduction.....	23
	3.4.2 Forçages économiques.....	24
	3.4.3 Appréciation quantitative des événements climatiques attendus sur les équilibres obtenus.....	26
	3.4.4 Conclusion.....	28

**Cahier 4**

### **4 | Stratégie nationale intégrée**

4.1	Introduction.....	3
4.2	Images directrices nationales.....	3
	4.2.1 Image directrice « climat ».....	3
	4.2.2 Image directrice « ressources en eau ».....	5
	4.2.3 Image directrice « écosystèmes ».....	6
	4.2.4 Image directrice « agrosystèmes et secteur agricole ».....	7
4.3	Stratégie nationale intégrée d'adaptation aux changements climatiques.....	8
	4.3.1 Principes directeurs.....	8

4.3.2	Climat .....	9
4.3.3	Ressources en eau .....	10
4.3.4	Ecosystèmes .....	12
4.3.5	Agrosystèmes et secteur agricole.....	13
4.3.6	Niveau international .....	14
4.5.7	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche .....	15

**Cahier 5**

**5 | Stratégies d'adaptation thématiques**

5.1	Stratégie de veille climatologique et d'alerte précoce .....	3
5.1.1	Introduction .....	3
5.1.2	Mesures institutionnelles.....	3
5.1.3	Mesures d'ordre technique.....	4
5.1.4	Types de systèmes de télédétection.....	6
5.1.5	Conclusions .....	7
5.2	Stratégie d'adaptation des ressources en eau .....	7
5.2.1	Introduction.....	7
5.2.2	Mesures institutionnelles et réglementaires .....	7
5.2.3	Gestion de l'eau et mesures d'ordre économique.....	9
5.2.4	Mesures technico-économiques .....	11
5.2.5	Liens avec les écosystèmes et les agrosystèmes.....	11
5.3	Stratégie d'adaptation des écosystèmes .....	12
5.3.1	Introduction .....	12
5.3.2	Réhabiliter les écosystèmes .....	12
5.3.3	Placer une valeur économique sur les fonctions régulatrices des écosystèmes.....	15
5.3.4	Valoriser les services environnementaux fournis par les écosystèmes .....	16
5.4	Stratégie d'adaptation des agrosystèmes et du secteur agricole .....	16
5.4.1	Introduction .....	16
5.4.2	Mesures institutionnelles.....	17
5.4.3	Mesures relatives à la gestion des risques climatiques .....	18
5.4.4	Mesures économiques .....	19

**Cahier 6**

**6 | Mise en œuvre et suivi**

6.1	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche.....	3
6.2	Plan d'action Climat.....	4
6.3	Plan d'action Ressources en eau .....	6
6.4	Plan d'action Ecosystèmes .....	9
6.5	Plan d'action Agrosystèmes   Secteur agricole.....	11

	<i>Carte des zones agro-écologiques de Tunisie</i> .....	4
7.1	<b>Introduction   Note méthodologique</b> .....	5
7.1.1	Distances taxinomiques vs intégration systémique .....	5
7.1.2	Modélisations climatiques : la Parabole des Ephémères.....	7
7.1.3	Ressources en eau : le compte s'élargit.....	8
7.1.4	Ecosystèmes : des emternalités à valoriser .....	9
7.1.5	Agrosystèmes : vers une volatilité climatique dominante ?.....	10
7.1.6	Conclusion .....	11
	<i>Références</i> .....	11
7.2	<b>Climat</b> .....	12
7.2.1	Introduction .....	12
7.2.2	Diagnostic .....	12
7.2.3	Méthodologie .....	13
7.2.4	Résultats du modèle HadCM3 .....	14
7.2.5	Rôle de la télédétection pour les systèmes d'alerte précoce .....	19
7.2.6	Conclusions .....	20
	<i>Références</i> .....	21
7.3	<b>Ressources en eau</b> .....	23
7.3.1	Introduction .....	23
7.3.2	Diagnostic .....	24
7.3.3	Projections des ressources en eau hors changements climatiques.....	25
7.3.4	Projections des ressources en eau sous changements climatiques .....	27
7.3.5	Conclusions .....	30
	<i>Références</i> .....	31
	<i>Carte des ressources souterraines les plus vulnérables</i> .....	32
7.4	<b>Ecosystèmes</b> .....	33
7.4.1	Introduction .....	33
7.4.2	Diagnostic .....	33
7.4.3	Projections sans changements climatiques .....	34
7.4.4	Projections avec changements climatiques .....	36
7.4.5	Conclusions .....	39
	<i>Références</i> .....	39
	<i>Carte des principaux risques écologiques en Tunisie en 2030</i> .....	42
7.5	<b>Agrosystèmes et secteur agricole</b> .....	43
7.5.1	Introduction .....	43
7.5.2	Diagnostic .....	44
7.5.3	Projection du secteur sous le forçage économique .....	44
7.5.4	Projection du secteur sous forçage climatique .....	48
7.5.5	Conclusion .....	50
	<i>Références</i> .....	51

# CAHIER 1

## INTRODUCTION

### Sommaire

1.1	Adresse .....	3
1.2	Préambule .....	3
1.3	Aspects institutionnels.....	4
1.4	Expériences de la part d'autres pays .....	5
1.4.1	Adaptation aux changements climatiques en France .....	5
1.4.2	Adaptation aux changements climatiques au Royaume-Uni .....	5
1.4.3	Adaptation aux changements climatiques en Allemagne.....	5
1.4.4	Adaptation aux changements climatiques en Finlande .....	6
1.4.5	Adaptation aux changements climatiques dans l'Union Européenne .....	6
1.4.6	Adaptation aux changements climatiques en Suisse .....	7
1.5	Présentation de l'étude tunisienne.....	7
1.6	Groupes d'experts et suivi des travaux.....	8
1.7	Contenu des Cahiers 1 à 7 .....	9

## 1.1 Adresse

Sur instruction de Monsieur le Président de la République Tunisienne donnée à l'occasion du 07 novembre 2002, le Ministre en charge de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques | MARH a initié la préparation de la réalisation d'une étude sur « Les changements climatiques : effets sur l'économie tunisienne et stratégie d'adaptation pour le secteur agricole et les ressources naturelles ».

En 2004, un accord fut conclu avec la République Fédérale d'Allemagne, les deux pays étant signataires de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement climatique | CCNUCC, en vue d'élaborer la stratégie nationale tunisienne d'adaptation aux changements climatiques en partenariat entre le MARH et la Coopération Technique Allemande | GTZ et en confirmation de plus de 20 ans d'excellente coopération tuniso-allemande.

Sur la base d'un appel d'offres public, le consortium GOPA-EXA a été retenu et chargé de la mise en œuvre de l'étude. Sur une première étape de huit mois (d'avril à novembre 2005), un diagnostic de la variation du climat tunisien et de la situation des écosystèmes et de l'agriculture du pays fut entrepris. Ce diagnostic permit de saisir le degré des risques et menaces écologiques, économiques et sociales liés au climat, en particulier pour le secteur agricole et les ressources naturelles. Une évaluation des stratégies nationales existantes fut également réalisée. Dans la seconde étape de dix mois (de mars à décembre 2006), les experts nationaux et internationaux se concentrèrent sur l'identification des implications socio-économiques de différents scénarios climatiques et sur les recommandations et mesures stratégiques à forger et à prendre face aux changements climatiques.

La présente « Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques » constitue, d'une part, le résultat du travail de plusieurs groupes d'experts tout en symbolisant, d'autre part, le fruit d'un processus d'apprentissage fortement participatif, caractérisé par toute une série de séminaires, d'ateliers et de réunions thématiques ayant mobilisé et intégré les expériences et recommandations des secteurs et institutions tunisiens concernés.

## 1.2 Préambule

Le Sommet de Rio de 1992, l'entrée en vigueur de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques en 1994 et les différents rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernementaux (GIEC) pour l'étude du climat ont mis en évidence l'existence de changements exceptionnels à l'échelle de milliers d'années et de changements non seulement dus à la variabilité naturelle de tout climat, mais également à des facteurs liés aux activités humaines.

Les trois rapports du GIEC ont mis en évidence les éléments scientifiques des changements climatiques, leurs conséquences socio-économiques, en termes notamment d'adaptation et de vulnérabilité, de même que les mesures d'atténuation. Suivant ces travaux, la température moyenne du globe pourrait s'élever d'ici 2100 de +1.4° à +5.8° C. La moitié de cet écart proviendrait des incertitudes sur les fonctionnements biophysiques eux-mêmes tandis que l'autre moitié dépendrait des politiques mises en œuvre.

En 2006, enfin, le rapport Stern a jeté un éclairage économique sur les changements climatiques en montrant que les pertes globales sur un ou deux siècles pouvaient se montrer très élevées (5 à 20 points du PIB contre 2 à 9 suivant le GIEC) et que, par conséquent, le rapport bénéfice/coût devenait favorable à l'action par rapport à la non-action.

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, pour sa part, a mis en place un cadre global de l'effort intergouvernemental pour faire face au défi posé par les changements climatiques. Elle reconnaît que le système climatique est une ressource partagée dont la stabilité peut être affectée par les émissions industrielles de gaz carbonique ainsi que les autres gaz à effet de serre. La Convention tient compte non seulement de l'atténuation desdites émissions, mais aussi de l'adaptation aux changements climatiques. Atténuation et adaptation ne s'excluent pas, mais constituent les deux faces d'une même pièce et concernent tous les pays.



Suite à une période de forte sécheresse entre 1999 et 2001, la Tunisie a ressenti le besoin d'élaborer une stratégie d'adaptation de son agriculture et de ses écosystèmes aux changements climatiques. Un diagnostic a été présenté début 2006 au sujet du climat, des ressources en eau, des écosystèmes et de l'agriculture. A la suite de cet état des lieux, une stratégie nationale d'adaptation aux changements climatiques a été formulée. C'est cette dernière qui est présentée ici.

Une **stratégie d'adaptation**, tout d'abord, fait partie d'une politique globale reposant sur deux fondements :

- une **politique d'atténuation** des émissions de gaz à effet de serre (contrôle des *externalités*) et
- une **politique d'adaptation** aux changements survenus dans la disponibilité des ressources biophysiques (contrôle des *externalités*) visant à faire face dans les conditions les meilleures aux impacts produits par les changements climatiques.

Par **changements climatiques**, ensuite, on n'entend pas une simple fluctuation périodique, mais un **changement persistant** des valeurs moyennes de telles fluctuations de même qu'un **changement persistant** de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes.

Une stratégie d'adaptation de l'agriculture et des écosystèmes d'un pays aux changements climatiques, enfin, ne remplace pas la politique agricole de ce dernier. Plutôt, **la politique agricole du pays découlera dorénavant**, pour une grande part, de la stratégie d'adaptation mise en place.

Un point important à relever est, en effet, que l'agriculture va dorénavant dépendre non seulement de variables économiques (volatilité des variables de marché), mais de manière plus forte que jusqu'ici de la **volatilité des indices climatiques**, autrement dit de la variabilité exacerbée des paramètres du climat local sous l'influence des changements climatiques globaux.

### 1.3 Aspects institutionnels

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) met en place un cadre global permettant d'initier et d'organiser les réponses intergouvernementales au défi posé par les changements climatiques.

La Convention définit des engagements que les Parties doivent tenir, compte tenu de leurs spécificités. En particulier, sur le plan institutionnel, les pays signataires :

- “ (...) établissent, mettent en œuvre, publient et mettent régulièrement à jour des programmes nationaux et, le cas échéant, régionaux contenant des mesures visant à atténuer les changements climatiques (...), ainsi que des mesures visant à faciliter l'adaptation voulue aux changements climatiques.” (Art.4 al.1 let. b)
- “ (...) préparent, en coopération, l'adaptation à l'impact des changements climatiques et conçoivent et mettent au point des plans appropriés et intégrés pour la gestion des zones côtières, pour les ressources en eau et l'agriculture, et pour la protection et la remise en état des zones frappées par la sécheresse et désertification, notamment en Afrique, et par les inondations.” (Art. 4 al. 1 let. e)
- “ (...) tiennent compte, dans la mesure du possible, des considérations liées aux changements climatiques dans leurs politiques et actions sociales, économiques et écologiques et utilisent des méthodes appropriées (...) en vue d'atténuer les changements climatiques ou de s'y adapter.” (Art. 4 al. 1 let. f)

Ainsi, la Convention tient compte non seulement de l'atténuation des changements climatiques (réduction des émissions de gaz à effets de serre par contrôle des externalités), mais aussi de son adaptation (contrôle des externalités). L'adaptation, en tout état de cause, ne diminue en aucun cas la nécessité de mettre en œuvre des actions d'atténuation.

La stratégie nationale intégrée présentée dans le **Cahier 4**, de même que les stratégies thématiques Climat, Ressources en eaux, Ecosystèmes et Agrosystèmes et Secteur agricole développées dans le **Cahier 5**, entrent pleinement dans la démarche de la Convention.

## **1.4 Expériences de la part d'autres pays**

Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans les pays européens se présentent généralement sous la forme d'une stratégie nationale, sorte de cadre de référence regroupant dans une démarche cohérente et logique toutes les actions d'adaptation. Sont brièvement présentées ici les stratégies de la France, du Royaume-Uni, de l'Allemagne, de la Finlande, de l'Union européenne et de la Suisse.

### **1.4.1 Adaptation aux changements climatiques en France**

Bien qu'un plan national français d'adaptation ne soit pas disponible, un rapport de l'ONERC (Observatoire national sur les effets du changement climatique) datant de 2005 décrit les grandes lignes d'un cadre général pour la mise en œuvre des stratégies d'adaptation. L'ONERC s'est vu confier la partie "Adaptation" du Plan Climat français. Ce plan d'action contient essentiellement des mesures d'atténuation dans la plupart des secteurs économiques et de la vie quotidienne. Il comporte néanmoins un chapitre dédié à l'adaptation. La réflexion sur l'adaptation globale aux changements climatiques est donc récente en France.

Toutefois, les lois sur l'aménagement du territoire, sur la protection de l'environnement et les nombreux plans découlant de ces lois (par exemple, plans de prévention des risques naturels et de gestion intégrée des espaces, milieux et ressources naturelles) traitent des conséquences et des adaptations nécessaires aux changements climatiques.

Dans le rapport de l'ONERC, les ébauches de stratégies sont présentées par secteurs (par exemple Ressources en eaux, Ecosystèmes terrestres, côtiers et marins, Agriculture, etc.). Pour chaque secteur, les vulnérabilités sont identifiées et quelques mesures d'adaptation sont listées.

### **1.4.2 Adaptation aux changements climatiques au Royaume-Uni**

Le Royaume-Uni a, dès avril 1997, mis en place une structure pour la recherche et la diffusion d'information sur l'adaptation aux changements climatiques : l'UKCIP (United Kingdom Climate Change Impacts Programme). Cet organe, attaché à l'Université d'Oxford, fournit les outils nécessaires aux acteurs afin de faciliter le développement de leurs réponses adaptatives.

L'élaboration d'une stratégie nationale globale d'adaptation est quant à elle en cours. En 2006, le DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) a publié un rapport intitulé "Climate Change : The UK Programme 2006", qui expose les politiques et les actions prioritaires à entreprendre dans le cadre du changement climatique. Une partie de ce rapport est consacrée à l'adaptation proprement dite, il s'agit de la politique-cadre d'adaptation, qui a pour but de fournir une approche cohérente pour intégrer l'adaptation dans les politiques et identifier les risques et les opportunités intersectorielles et prioriser les actions environnementales.

Si l'élaboration de la politique-cadre d'adaptation est en cours, des mesures ad hoc sont cependant déjà prises dans les domaines de la gestion des ressources en eaux ou du risque d'inondation. De plus, à des échelons décentralisés, des régions (Sud-Est) et même des villes (Londres) mettent en place des plans d'adaptation développant des mesures propres à leurs particularités.

### **1.4.3 Adaptation aux changements climatiques en Allemagne**

En 2003, le Ministère de l'Environnement allemand a chargé l'Institut de recherche sur les conséquences du climat de Potsdam (PIK) d'effectuer une étude sur le changement climatique en Allemagne, ses vulnérabilités et possibilités d'adaptation. Les objectifs de cette étude publiée en 2005 étaient d'analyser les impacts du changement climatique en Allemagne sur sept secteurs considérés comme sensibles (Gestion de l'eau, Agriculture, Sylviculture, Biodiversité, Santé, Tourisme et Transport), d'évaluer leur vulnérabilité présente et future ainsi que leur capacité d'adaptation, et enfin de développer une base pour le développement d'une stratégie nationale d'adaptation.

L'agriculture allemande, selon cette étude, jouit de bonnes capacités d'adaptation. Comme exemples de mesures d'adaptation sont notamment proposés : choix d'espèces mieux appropriées

(moins sensibles au stress hydrique par exemple), décalage des dates des semailles, option de gestion économe en eau et en sol.

Selon l'étude du PIK, ce n'est que récemment que le thème de l'adaptation a été abordé en Allemagne. Ce domaine est encore grandement sous représenté par rapport à l'atténuation tant au sein du grand public que des décideurs. Elle plaide donc pour une sensibilisation accrue de ces derniers – considérant que l'adaptation aux changements climatiques est la tâche de la société dans son ensemble – et pour intégrer au plus vite l'adaptation dans les processus de prises de décisions. Dans cette optique, il est proposé de mettre en place un centre pour l'échange d'information et pour la coordination.

Ce centre, appelé Centre de compétence sur les conséquences du changement climatique et l'adaptation (KOMPASS), a été lancé en octobre 2006. Il a pour but, notamment, de sensibiliser les décideurs de l'économie et du secteur public aux changements climatiques.

#### **1.4.4 Adaptation aux changements climatiques en Finlande**

Les autorités finlandaises se sont préoccupées d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques dès mars 2001 ; c'est à ce moment en effet que des propositions ont été transmises au Parlement. Des travaux préparatoires ont été engagés en 2003 et un rapport complet sur la stratégie nationale d'adaptation a été publié en 2005. Le Ministère de l'Agriculture et des Forêts a coordonné les travaux préparatoires avec la collaboration de représentants d'autres ministères concernés (Trafic et Communications, Commerce et Industrie, Environnement, Affaires sociales). Des experts finlandais et internationaux ont également été consultés et impliqués dans les travaux.

La stratégie nationale se compose de scénarios d'évolution du climat, des impacts des changements climatiques et de mesures d'adaptation. Le scénario retenu à l'horizon 2080 est une augmentation de la température moyenne de +4 à +6 °C, une augmentation des précipitations moyennes de 15 à 20% et enfin un accroissement des événements extrêmes (orages, sécheresses, pluies diluviennes).

Les impacts des changements climatiques en Finlande sont traités par secteur (Ressources naturelles – Agriculture, Forêt, Pêche, Ressources en Eau – Biodiversité, Industrie, Energie, Transport et Communication, Aménagement du territoire, Construction, Santé, Tourisme et Assurances). Les stratégies d'adaptation, qui visent à réduire les conséquences négatives des changements climatiques et également à tirer profit de leurs opportunités, sont traitées selon les mêmes secteurs. Les questions intersectorielles sont également abordées.

La Finlande pense que son secteur agricole a de bonnes chances de réagir vite aux changements climatiques. Dans son volet stratégique sur l'agriculture, elle propose de prendre en compte les changements climatiques dans les politiques agricoles futures, d'améliorer l'utilisation des terres afin de bénéficier des retombées positives des changements du climat, d'utiliser des cultures mieux adaptées auxdits changements, de protéger les ressources en eaux et de développer un système de contrôle pour faire face à la probable augmentation des maladies des plantes et des animaux. Enfin, un programme de recherche consacré à l'agriculture devrait également être mis en œuvre.

#### **1.4.5 Adaptation aux changements climatiques dans l'Union européenne**

Le changement climatique n'est pas encore intégré dans les politiques environnementales de l'UE (ni d'ailleurs dans d'autres domaines comme l'agriculture).

Cependant, la Commission européenne a lancé en 2005 la deuxième phase du programme européen de changements climatiques, programme essentiellement dédié à l'atténuation, mais qui contient pour la première fois des questions relatives à l'adaptation.

En 2006, la Commission a mis en place un processus de consultation pour discuter du rôle de l'UE dans les politiques d'adaptation aux changements climatiques. Un « Green Paper » devrait être publié sur le sujet.

## 1.4.6 Adaptation aux changements climatiques en Suisse

La Confédération helvétique ne dispose pas d'une politique globale d'adaptation aux changements climatiques au niveau fédéral et n'a, pour l'heure, pas le projet d'en élaborer une. Toutefois, diverses mesures concernant la prévention des catastrophes naturelles ont été réalisées.

En particulier, le système d'assurance des dommages naturels, déjà important et éprouvé, a été adapté dans une perspective de garantie à long terme et d'évolution sociale, économique et climatique (notamment en raison des intempéries d'août 2005 en Suisse et suite à un besoin accru mis en évidence par des études).

## 1.5 Présentation de l'étude tunisienne

La variabilité climatique et la saisonnalité prononcées des éléments climatiques (température et précipitations) caractérisent le cycle climatique naturel de la Tunisie. Dans ce contexte, les situations météorologiques extrêmes constituent autant d'aléas et de risques pour les écosystèmes et l'agriculture. De tels phénomènes climatiques extrêmes avec des probabilités différentes d'apparition peuvent provoquer des dégâts importants par des sécheresses, des inondations et, par suite, des pertes de production.

Les eaux de surface et les eaux des nappes phréatiques et profondes – partiellement d'origine fossile – sont les sources principales d'eau. Les ressources naturelles (*emternalités*) sont des facteurs limitatifs pour la production agricole et pour la force du secteur économique primaire en Tunisie.

L'apparition de nouveaux phénomènes extrêmes, jusque-là encore inconnus dans cette fréquence, est un indicateur de changement du climat. Un tel changement entraîne d'autres risques, d'où la nécessité de prendre des mesures adéquates. Par exemple, en raison de la croissance de la population et des conditions de l'économie, les surfaces cultivables ont été étendues jusque dans des zones marginales.

C'est pourquoi il est apparu utile de souligner l'importance de pronostics ad hoc sur les changements climatiques futurs et leurs impacts sur l'agriculture tunisienne et d'en tirer les conséquences pour les ressources naturelles et l'agriculture. Cela nécessite une prise de conscience commune du problème au niveau institutionnel en Tunisie. Afin de maintenir la durabilité de ses ressources naturelles et de ses écosystèmes, la Tunisie devra augmenter ses efforts vers la recherche et la mise en œuvre d'options et d'alternatives intégrées et stratégiques qui seraient en mesure de contribuer à amortir les effets des changements climatiques. Dans ce sens, il apparaît important de développer les coopérations horizontales entre les différentes institutions concernées.

L'objectif d'une stratégie d'adaptation est de contribuer au développement durable de l'agriculture tunisienne à travers l'élaboration et la mise en place d'un ensemble de mécanismes d'adaptation continue du secteur agricole et des ressources naturelles aux changements climatiques (de manière à pouvoir intégrer systématiquement les changements climatiques aux processus de planification, de mise en œuvre et de suivi-évaluation des activités de développement du secteur).

La première phase de cette étude, la phase diagnostic (Etape 1), a été lancée le 31 mars 2005 à Tunis. Elle a fait l'objet de trois Ateliers « diagnostic » réunissant experts et représentants des différentes institutions concernées et d'un Séminaire de diffusion grand public.

Les deuxième, troisième et quatrième phases de l'étude (Etape 2 : projections climatiques aux horizons 2030 et 2050, projections sectorielles sous les effets des changements climatiques à l'horizon 2030 et conception de la stratégie nationale d'adaptation) ont été réalisées courant 2006, ont fait l'objet de sept séminaires élargis ou restreints dont une réunion thématique en Allemagne. Ce sont les résultats de cette Etape 2 qui font l'objet des présents Cahiers 1 à 7 et qui ont été présentés en séance publique à Tunis le 11 janvier 2007.

## 1.6 Groupes d'experts et suivi des travaux

Les experts nationaux et internationaux de l'étude tunisienne ont été organisés en groupes de travail placés sous la direction du Prof. Gonzague Pillet. Le suivi des travaux a été assuré par un Comité de pilotage dirigé par M. Badr Ben Ammar.

### 1.6.1 Groupes d'experts

#### CHEF DE MISSION

##### REDACTION DE LA STRATEGIE

Prof. Gonzague Pillet

*Ecosys<sup>®</sup> Genève et Université de Fribourg, Suisse  
GOPA Consultants*

##### Groupe CLIMAT

Prof. Lorenz King

*Université de Giessen, Allemagne  
GOPA Consultants*

Zuhair Nasr

*IRESA | ExA Consult Tunisie*

Hussein Almohamad

*Université de Giessen, Allemagne*

Clemens C. Maag

*Université de Giessen, Allemagne*

##### Groupe RESSOURCES EN EAU

Dr Raoudha Lahache Gafrej

*Institut Supérieur des Sciences Biologiques  
Appliquées de Tunis  
ExA Consult Tunisie*

Ing. Emna Yaalaoui (Etape 1)

*ExA Consult Tunisie*

##### Groupe ECOSYSTEMES

Dr Christophe Neff

*Université de Karlsruhe, Allemagne  
GOPA Consultants*

Dr Abdelmajid El Hamrouni

*Expert en Ecologie et Ecosystèmes  
ExA Consult Tunisie*

Ali Aloui

*Expert en Sylviculture et Foresterie  
ExA Consult Tunisie*

Ahmed Souissi

*Expert en Pédologie  
ExA Consult Tunisie*

Anne Großmann (Etape 1)

*Consultante  
GOPA Consultants*

##### Groupe AGROSYSTEMES

Gideon Kruseman, PhD

*LEI-Wageningen, Pays-Bas  
GOPA Consultants*

Prof. Mohamed Salah Bachta (Etape 2)

*Institut National Agronomique de Tunis  
ExA Consult Tunisie*

Habib Khanfir<sup>°</sup>

*Expert en socio économie et études institutionnelles  
ExA Consult Tunisie*

Rafik Missaoui

*ALCOOR-Tunis  
ExA Consult Tunisie*

Habib Ben Salem

*Ecole Supérieure d'Agriculture de Megrane  
ExA Consult Tunisie*

Thorsten Waibel (Etape 2)

*GOPA Consultants*

##### ASSISTANTS DU CHEF DE MISSION

David Maradan, PhD (Etape 2)

*Ecosys<sup>®</sup> Genève et Université de Genève, Suisse*

Sandra Daguët, PhD cand.

*Ecosys<sup>®</sup> Genève et Université de Fribourg, Suisse*

##### ADMINISTRATION

Thorsten Waibel

Frédéric Jacquemont

*GOPA Consultants*

Ammar Amri

*ExA Consult Tunisie*

<sup>°</sup> Notre travail est dédié à la mémoire de notre ami et collègue Habib KHANFIR

### 1.6.2 Suivi de l'étude

#### GTZ TUNIS

Alexander Kastl

Dr Jörg Linke (Etape 2)

Dr Sandra Schenke

#### MARH DG/EDA

Badr Ben Ammar

Sahla Mezghani

Mohammed Lazhar Echi

Abdelhalim Guesmi

#### Représentants de l'UTAP, d'autres Directions du MARH et de différents Ministères

(Développement et Coopération Internationale, Transport, Environnement et Développement Durable ; Equipement ; Habitat et Aménagement du territoire ; Industrie, Energie et PME ; Tourisme).

## 1.7 Contenu des Cahiers 1 à 7

Le présent **Cahier 1** place le sujet dans son **contexte** national et international.

Le **Cahier 2** présente la **Synthèse** de la stratégie sous la forme de recommandations à l'intention des décideurs.

Il est conçu de la manière suivante :

- Les changements climatiques et leur interprétation à l'horizon 2030/2050.
- Les conséquences socio-économiques des changements climatiques pour le pays à l'horizon 2030.
- La stratégie nationale d'adaptation aux changements climatiques.
- Le plan de mise en œuvre de la stratégie nationale d'adaptation.

Le **Cahier 3** réunit les **Projections sectorielles** sous les effets des changements climatiques. On y trouve les projections du climat aux horizons 2030 et 2050 et les projections des ressources en eau, des écosystèmes et des agrosystèmes à l'horizon 2030.

Le **Cahier 4** présente les **Images directrices** ayant concouru à l'élaboration de la stratégie nationale d'adaptation ainsi que la **Stratégie nationale** elle-même d'adaptation des écosystèmes et de l'agriculture aux changements climatiques.

Le **Cahier 5** est consacré aux **Stratégies thématiques** d'adaptation des écosystèmes et de l'agriculture aux changements climatiques (veille climatique, ressources en eau, écosystèmes et agrosystèmes et secteur agricole).

Le **Cahier 6** présente le plan de **Mise en œuvre** de la stratégie nationale d'adaptation (mise en œuvre, moyens, suivi, recherche).

Enfin, le **Cahier 7** contient les **Contributions des groupes d'experts**, synthétisées par thème (note méthodologique, évolution du climat, ressources en eau, écosystèmes, agrosystèmes et secteur agricole).

# CAHIER 2

## SYNTHÈSE

### Sommaire

2.1	Introduction.....	3
2.2	Les changements climatiques .....	4
	ENSEMBLE DU PAYS .....	4
	PAR REGION (SUD, CENTRE ET NORD).....	5
2.3	Les conséquences des changements climatiques .....	5
	Ressources en eau .....	6
	Ecosystèmes .....	6
	Agrosystèmes   Secteur agricole.....	6
	a) Production oléicole et arboriculture.....	7
	b) Elevage .....	7
	c) Céréaliculture .....	7
	d) Secteur agricole.....	8
2.4	La stratégie nationale intégrée d'adaptation aux changements climatiques.....	8
	Principes directeurs .....	8
	Climat .....	9
	Ressources en eau.....	9
	Ecosystèmes.....	9
	Agrosystèmes   Secteur agricole.....	10
	Niveau international .....	10
	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche .....	10
2.5	Le plan de mise en œuvre de la stratégie nationale.....	11
	Climat .....	11
	Ressources en eau.....	11
	Ecosystèmes.....	12
	Agrosystèmes   Secteur agricole.....	12
	Niveau international .....	12
	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche .....	13

## 2.1 Introduction

Plusieurs indices du changement climatique ont été relevés au cours du XX<sup>e</sup> siècle à l'exemple des glaciers alpins en forte diminution ou de l'élévation globale de la température dans l'hémisphère Nord par rapport aux siècles précédents.

Le Sommet de Rio de 1992, l'entrée en vigueur de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques en 1994 et les différents rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernementaux (GIEC) pour l'étude du climat ont mis en évidence l'existence de changements exceptionnels à l'échelle de milliers d'années et de changements non seulement dus à la variabilité naturelle de tout climat, mais également à des facteurs liés aux activités humaines.

Par changements climatiques, on entend un **changement persistant des valeurs moyennes** de la variabilité naturelle du climat, de même qu'un **changement persistant de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes**.

Les trois rapports du GIEC ont mis en évidence les éléments scientifiques des changements climatiques, leurs conséquences socio-économiques, en termes notamment d'adaptation et de vulnérabilité, de même qu'en termes d'atténuation. En 2006, le « Stern Review » a jeté un éclairage économique sur les changements climatiques en montrant que les pertes globales sur un ou deux siècles pouvaient être très fortes (5 à 20 points du PIB contre 2 à 9 points suivant le GIEC) et que, par conséquent, le rapport bénéfice/coût devenait favorable à l'action par rapport à la non-action.

La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, pour sa part, a mis en place un cadre global de l'effort intergouvernemental pour faire face au défi posé par les changements climatiques. Elle reconnaît que le système climatique est une ressource partagée dont la stabilité peut être affectée par les émissions industrielles de gaz carbonique ainsi que les autres gaz à effet de serre. La Convention tient compte non seulement de l'atténuation desdites émissions, mais aussi de l'adaptation aux changements climatiques. Atténuation et adaptation ne s'excluent pas, mais constituent les deux faces d'une même pièce et poursuivent le même objectif : faire en sorte que la Terre puisse vivre avec des changements climatiques.

Suite à une période de forte sécheresse entre 1999 et 2001, la Tunisie a ressenti le besoin d'élaborer une stratégie d'adaptation de son agriculture et de ses écosystèmes aux changements climatiques. Un diagnostic a été présenté début 2006 au sujet du climat, des ressources en eau, des écosystèmes et de l'agriculture. A la suite de cet état des lieux, une stratégie nationale et thématique d'adaptation aux changements climatiques a été formulée.

Le présent **Cahier 2** contient la synthèse de cette stratégie sous la forme de recommandations à l'intention des décideurs.

Cette synthèse est conçue comme suit:

- Les changements climatiques et leur interprétation à l'horizon 2030/2050.
- Les conséquences socio-économiques des changements climatiques pour le pays à l'horizon 2030.
- La stratégie nationale d'adaptation aux changements climatiques.
- Le plan de mise en œuvre de la stratégie nationale d'adaptation.

Ce cahier situe et énonce les problèmes, mais ne les explique pas dans le détail. **Les explications sont données dans les Cahiers 3 à 6**. Les rapports des groupes d'experts et les sources se trouvent dans le **Cahier 7**. Le contexte de l'étude fait l'objet du **Cahier 1**.

**Avertissement.** Les énoncés de ce cahier présentent les résultats de l'étude de la manière la plus directe possible afin d'orienter les décisions à prendre sans détours inutiles. Dans la mise en œuvre des orientations retenues, on veillera à se référer aux nuances et aux réserves d'usage qui accompagnent l'analyse des changements climatiques (Cahiers 3 -7).



## 2.2 Les changements climatiques

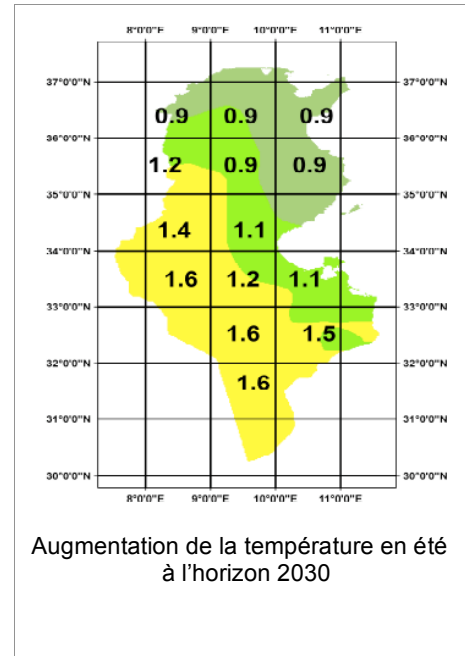
Le climat change et tend à évoluer dans l'Arc méditerranéen aux horizons 2030 et 2050 vers une augmentation de la température et une baisse des précipitations sur fond de **variabilité déjà grande du climat régional**. Dans la période climatique 2011-2070, **cette variabilité augmentera** en moyenne de 5 à 10 % par rapport à la situation du siècle passé.

Les projections climatiques pour la Tunisie ont été construites sur la base des résultats du modèle Had CM3 aux horizons temporels 2020 et 2050. Il s'agit des premières projections disponibles pour la Tunisie.

Les résultats sont exprimés à partir de scénarios régionaux, par rapport à la période de référence 1961-1990, **période marquée par une variabilité déjà forte du climat**.

Il semble acquis que les **phénomènes** météorologiques **extrêmes** (sécheresses, vents, inondations) vont augmenter en fréquence et en intensité, notamment à travers la **succession d'années très sèches**.

Les conséquences sociales et économiques peuvent être dramatiques. Elles vont de la perte de récoltes, d'abandon de certaines cultures à une augmentation des risques de grands feux, le tout pouvant entraîner des répercussions sur l'économie et la société. Au surplus, le niveau de la mer va augmenter.



### Légende des encadrés

Le rouge signale les impacts négatifs et les dangers potentiels, le jaune met en garde contre des conséquences défavorables tandis que le vert indique une situation neutre ou favorable.

### Ensemble du pays



- ✓ **Augmentation moyenne annuelle de la température (T) sur l'ensemble du pays de +1.1 °C en 2030.**  
Une différence de température moyenne de 1.2 °C sépare par exemple la situation de Gabès de celle de Tunis.
- ✓ **Accentuation de l'augmentation de la température moyenne en 2050 (+2.1 °C).**
- ✓ **Augmentation en 2030 de la fréquence et de l'intensité des années extrêmes sèches.**  
Les périodes plus sèches et plus humides devraient varier fortement d'une saison à l'autre.



- ✓ **Baisse modérée des précipitations en 2030.**

## Par région (Sud, Centre et Nord)



- ✓ **Le Sud est sujet à l'élévation la plus importante des températures annuelles.**
- ✓ **La diminution des précipitations annuelles est forte.**
- ✓ **Les précipitations moyennes des années très humides baissent de même que celles des années très sèches.**
- ✓ **Une augmentation plus importante des années sèches ainsi que des successions de deux et de trois années sèches est prévisible.**



- ✓ **Le Centre est sujet à une élévation importante des températures.**
- ✓ **La diminution des précipitations annuelles est moyennement importante.**
- ✓ **La variabilité des précipitations diminue par rapport à la période de référence.**
- ✓ **Le nombre d'années sèches isolées et les successions de deux années sèches augmentent par rapport à la période de référence.**



- ✓ **La région du Nord connaît les élévations des températures annuelles et saisonnières ainsi que les baisses des précipitations les plus faibles.**
- ✓ **La variabilité des précipitations est stable par rapport à la période de référence.**
- ✓ **Les années extrêmes très humides et très sèches diminuent très légèrement.**

En conclusion, les changements climatiques se traduisent pour la Tunisie par une **augmentation** de la **température** moyenne annuelle, une **baisse modérée des précipitations** et une **variabilité accrue** du climat. En particulier, les **phénomènes extrêmes** (sécheresses, inondations, vent) augmenteront en fréquence et en intensité, les **années très sèches** devant se succéder plus souvent à l'avenir.

## 2.3 Les conséquences des changements climatiques

Les modifications du climat en Tunisie auront de sérieuses conséquences sur les ressources en eau, les écosystèmes, les agrosystèmes (production oléicole, arboriculture, élevage, grandes cultures), l'économie du pays et la société tunisienne. Les changements climatiques vont augmenter la pression économique pesant déjà sur la population agricole et ses exploitations. Certaines activités agricoles, voire des exploitations compétitives, pourraient ne pas survivre aux extrêmes climatiques. Il pourrait découler de tels phénomènes des risques pour l'économie agricole et des répercussions inévitables sur la société.

Par ailleurs, la hausse du niveau de la mer aura des conséquences sur le littoral, les réserves d'eau potable, les zones humides côtières et les eaux souterraines adjacentes, en particulier par l'augmentation de leur salinité.

Les résultats figurant dans les encadrés ci-dessous reposent sur la prise en compte d'événements extrêmes, en particulier la succession d'années de sécheresses.

## Ressources en eau

Les ressources en eau mobilisées en Tunisie se répartissent en eaux de surface (51 %) et en eaux souterraines (49 %).



- ✓ **Les ressources en eaux, à titre principal au niveau des nappes phréatiques de forte salinité, des nappes littorales et des aquifères non renouvelables, diminueront de 28% en 2030.**
- ✓ **La diminution des eaux de surface sera d'environ 5% au même horizon. L'eau exploitable diminuera légèrement.**
- ✓ **La diminution des précipitations estivales augmentera le manque hydrique du sol.**

## Ecosystèmes

Les écosystèmes tunisiens comprennent les forêts, les maquis et les garrigues (1 million ha), les parcours naturels (4,5 millions ha), les zones humides (0.5 million ha) et les terres non agricoles (6 millions ha).



- ✓ **A cause de l'augmentation des températures et de l'inflammabilité des biomasses, le risque de grands incendies s'accroît. *Dans le Nord, un tel risque pèsera sur la disponibilité des ressources en eau (réserves et réseaux de distribution), sur le patrimoine (destruction de biens) et sur la population (insécurité).***



- ✓ **La résilience des écosystèmes tunisiens, affaiblis par la pression humaine, est en danger face aux changements climatiques. *Les conséquences iront de la dégradation des sols à un déclin des produits traditionnels en passant par un appauvrissement des services écologiques, par exemple la protection des ressources en eau et des sols.***

## Agrosystèmes | Secteur agricole

Les agrosystèmes réunissent principalement les cultures pluviales et irriguées, l'élevage et les cultures oasiennes.

Les indications ci-après présentent les résultats relatifs à des *événements extrêmes* définis par des successions d'années sèches et d'années pluvieuses sur deux (Nord et Centre) ou trois années (Sud). Ces résultats sont calculés par rapport aux objectifs du planificateur à l'horizon 2016 avec projection complémentaire aux horizons 2030 et 2050.

#### a) Production oléicole et arboriculture



- ✓ Succession d'années de sécheresse (occurrence forte) :
  - la production oléicole en sec accusera une baisse en moyenne de moitié aux horizons 2030 et 2050.
  - la superficie de l'arboriculture non irriguée baissera à hauteur de 800'000 ha environ, soit près de 50% (Centre et Sud).



- ✓ Les aquifères non renouvelables du Sud seront *indirectement*, mais fortement affectés par les changements climatiques du fait de la pression accrue entraînée par la baisse des précipitations.



- ✓ Années à pluviométrie favorable :
  - la production oléicole en sec augmentera de 20%.
  - l'arboriculture verra ses rendements augmenter de quelque 20%.

#### b) Elevage



- ✓ Succession d'années de sécheresse (occurrence forte) :
  - le cheptel (bovins, ovins et caprins) baissera jusqu'à 80% au Centre et au Sud et de quelque 20% au Nord.



- ✓ Années à pluviométrie favorable :
  - l'élevage bénéficiera d'une hausse de rendement à concurrence de 10%.

#### c) Céréaliculture

Les espèces récentes à fort rendement pourraient se montrer moins résilientes face aux changements climatiques que les espèces natives ou déjà adaptées.



- ✓ Succession d'années de sécheresse (occurrence forte) :
  - les superficies des cultures céréalières du Centre et du Sud connaîtront une baisse moyenne de 200'000 ha, réparties selon les régions au prorata de leur importance relative actuelle (-16% en 2016 ; -20% en 2030).



- ✓ Inondations (occurrence moyenne) :
  - baisse de la production des céréales, en irrigué, à hauteur de 13% aux horizons 2016 et 2030.



- ✓ **Années à pluviométrie favorable :**
  - **les cultures pluviales (céréales) bénéficieront d'une augmentation de rendement pouvant dépasser les 20%.**

#### d) Secteur agricole

Les résultats figurant dans l'encadré reposent sur la prise en compte de la survenue d'événements extrêmes (succession d'années de sécheresse et d'années pluvieuses). Ces derniers s'ajoutent aux effets de l'ouverture économique de l'agriculture tunisienne.



- ✓ **Les résultats des projections à l'échelle du secteur agricole indiquent qu'en cas de sécheresses et quel que soit le scénario d'ouverture économique (lent ou rapide), les baisses de production ne permettront pas la réalisation de la croissance anticipée par le planificateur.**
  - **Ces baisses concerneront avant tout le Centre et le Sud.**
  - **Au Sud, les changements climatiques devraient notamment rendre la situation des oasis plus critique (microclimat).**

## 2.4 La stratégie nationale intégrée d'adaptation

La stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques repose sur des images directrices thématiques : ressources en eau, écosystèmes, agrosystèmes et secteur agricole.

Les stratégies d'adaptation énoncent les actions d'ordre institutionnel, agricole et économique à entreprendre.

<b>Principes directeurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Dépasser la gestion de crise à court terme au moyen d'une stratégie d'adaptation aux risques liés aux changements climatiques.</b></li> <li>✓ <b>Intégrer la volatilité climatique* dans la politique agricole et économique du pays.</b></li> <li>✓ <b>Gérer de manière intégrée, entre les différents secteurs économiques, les conséquences socio-économiques grevant le secteur agricole.</b></li> </ul> <p>* La 'volatilité' climatique est l'expression économique de la 'variabilité' du climat.</p>
-----------------------------	---

## CLIMAT

Dimension institutionnelle et technique	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Mettre en fonction un système de veille climatologique (télédétection spatiale) et d'alerte précoce (réseau terrestre météorologique amélioré par automatisation) jusqu'au niveau des exploitations.</li><li>✓ Mettre en place la diffusion de l'information sous la forme d'indices climatiques à tous les secteurs économiques, jusqu'aux exploitations agricoles.</li></ul>
---	--

## RESSOURCES EN EAU

Dimension institutionnelle	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Poursuivre le programme de gestion de l'eau – qui va dans la bonne direction – par écosystème toutefois, plutôt que par bassin versant – de manière à tenir compte des bénéfices des services environnementaux de ces derniers.</li><li>✓ S'engager à appliquer rigoureusement le Code des eaux dans le dessein particulier de protéger les ressources souterraines et d'en actionner la clause de nécessité face aux changements climatiques.</li></ul>
Dimension économique	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Poursuivre la révision de la tarification de l'eau en tenant compte de la préservation des services des écosystèmes.</li></ul>
Lien avec l'agriculture	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Etudier, en complément des réserves techniques existantes ou prévues, la création de capacités de réserve climatiques virtuelles* en prévision des sécheresses extrêmes. * L'eau virtuelle est l'eau contenue dans les produits agricoles échangés.</li></ul>

## ECOSYSTÈMES

Dimension institutionnelle	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Réhabiliter la capacité de résilience des écosystèmes méditerranéens en renforçant les programmes existants, notamment forestiers et tenant aux parcours.</li></ul>
Lien avec l'économie et l'aménagement du territoire	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Placer, en plus de la valeur directe des produits des forêts et des autres écosystèmes, une valeur économique sur les fonctions climatiques régulatrices des écosystèmes (conservation de l'eau, recharge des aquifères, protection des sols, atténuation des impacts en cas de fortes pluies et d'inondation, protection des barrages contre l'envasement, ...).</li></ul>
Lien avec l'agriculture et la société	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Encourager les agriculteurs à préserver et entretenir les services fournis par les écosystèmes. Définir à l'échelle nationale les services requis dans le cadre de la politique agricole.</li></ul>

## AGROSYSTÈMES | SECTEUR AGRICOLE

Dimension institutionnelle	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Appliquer rigoureusement la Carte agricole (vocation des sols et des cultures), par précaution climatique, et cela en dépit des fluctuations des variables de marché.</li><li>✓ Adapter la Carte agricole, de même que les risques naturels, en fonction des changements à venir.</li></ul>
Adaptations structurelles en lien avec les écosystèmes	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Prévoir des reconversions, non nécessairement agricoles (prestations climatiques, nouveaux débouchés à l'exemple du marché du biocarburant), pour les exploitations affectées par les extrêmes climatiques.</li></ul>
Liens économique-financiers (portage et transfert des risques)	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Porter le risque climatique à l'échelle nationale tout en transférant une partie au titre du Fonds d'adaptation du Protocole de Kyoto.</li><li>✓ Instituer l'assurance indexée des événements n'entrant pas dans la catégorie des dommages naturels à l'échelle du secteur agricole (exemple : sécheresse généralisée).</li><li>✓ Instituer l'assurance des événements climatiques extrêmes assimilables à des dommages naturels (inondations, forces de la nature) au niveau des exploitations.</li></ul>
Lien avec les marchés	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Labelliser « climatique »* l'agriculture compétitive adaptée aux risques climatiques au moyen d'un poinçon de qualité la rendant attractive et rentable.</li></ul> <p>* Une agriculture est « climatique » lorsque la volatilité des indices climatiques surpasse la volatilité des variables de marché.</p>

## NIVEAU INTERNATIONAL

Dimension institutionnelle	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Explorer les instruments internationaux de compensation climatique entre adaptation aux changements climatiques et atténuation des émissions de gaz à effet de serre.</li><li>✓ Prendre l'initiative de concrétiser le Fonds d'adaptation des Nations Unies visant à aider les pays africains à faire face aux changements climatiques.</li></ul>
----------------------------	---

## MISE EN ŒUVRE, MOYENS, SUIVI, RECHERCHE

Dimension institutionnelle	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Instaurer un <b>Conseil national climatique</b> MARH-MEDD-MDCI comprenant des sections intersectorielles.</li><li>✓ <i>Rôle</i> : intégrer la volatilité climatique dans la politique agricole et économique du pays.</li><li>✓ <i>Mission</i> : appliquer, gérer intersectoriellement, faire évaluer et adapter périodiquement la stratégie et le plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques.</li></ul>
----------------------------	---

Moyens financiers	✓ Garantir à la gestion du risque climatique les moyens nécessaires (humains, matériels, informationnels, techniques).
Dimension informationnelle	✓ Informer, consulter et sensibiliser les institutions et la population en général et en continu.
Lien avec l'enseignement supérieur et la recherche scientifique	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Développer la recherche et la formation interdisciplinaires climat   eau - écosystèmes - bio-agronomie (espèces résilientes)   économie climatique, par exemple vers le développement de capacités de modélisation climat – agriculture – économie.</li> <li>✓ Développer l'étude des conséquences des changements climatiques sur la santé publique, le tourisme et d'autres activités économiques nationales tout en capitalisant les résultats issus d'autres travaux.</li> </ul>

## 2.5 Le plan de mise en œuvre de la stratégie nationale intégrée

Le plan de mise en œuvre de la stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques repose sur les stratégies relatives aux ressources en eau, aux écosystèmes, aux agrosystèmes et au secteur agricole dans son ensemble. Il place dans le temps les actions institutionnelles, techniques et économiques exprimées par la stratégie nationale et en indique les responsabilités. Le *plan complet* de mise en œuvre de la stratégie nationale intégrée fait l'objet du **Cahier 6**. Un tableau synoptique de la stratégie est présenté ci-après.

Stratégies	Mesures opérationnelles	Echéance	Responsabilité
<b>CLIMAT</b>			
Compléter le système de veille climatologique par un système d'alerte précoce	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptualisation niveaux climat (spatial) et météorologie (terrestre)</li> <li>▪ Test grandeur nature</li> <li>▪ Mise en fonction</li> </ul>	2007  2008 2009	Conseil national climatique  INM - CNT INM - CNT
Mise en place du Centre et du système de diffusion de l'information	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mise au point des signaux</li> <li>▪ Test grandeur nature</li> <li>▪ Diffusion des informations</li> </ul>	début 2008  mi-2008 2009-...	Conseil national climatique Exploitations pilotes MARH
<b>RESSOURCES EN EAU</b>			
Renforcement du programme « eau » dans la politique agricole	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Décision</li> <li>▪ Mise en application</li> </ul>	2008  2009	Conseil national climatique – MARH
Application rigoureuse du Code des eaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Action de sensibilisation de toutes les parties concernées</li> <li>▪ Application en force de la réglementation</li> </ul>	2007  2007	Conseil national climatique – MARH MARH
Poursuivre la révision de la tarification de l'eau en tenant compte de la préservation des services des écosystèmes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptualisation</li> <li>▪ Test grandeur nature</li> <li>▪ Implémentation</li> </ul>	2007-2008  2009  2011-...	Conseil national climatique Exploitations pilotes  MARH



Création de réserves techniques et virtuelles	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptualisation</li> <li>▪ Plan de mesures</li> <li>▪ Concrétisation</li> </ul>	2008 2008 2009-...	Conseil national climatique Politique agricole MARH
<b>ECOSYSTÈMES</b>			
Réhabilitation de la capacité de résilience des écosystèmes (forêts, parcours, ...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Règles de bonne pratique ; application et contrôle</li> <li>▪ Adaptation aux risques de feu</li> <li>▪ Aménagement des parcours</li> <li>▪ Protection des zones humides</li> <li>▪ Conservation du sol</li> </ul>	2007-... 2008-2011 2008-2011 2008-2011 2007-...	MARH MARH MARH MARH MARH
Placement d'une valeur sur les services rendus par les écosystèmes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Evaluation des fonctions</li> <li>▪ Décision au sujet de valeurs de référence nationales</li> <li>▪ Mise en place d'un référentiel national</li> </ul>	2009 2010 2011	Conseil national climatique MARH MARH
Paiements pour services environnementaux requis	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Détermination des services environnementaux requis</li> <li>▪ Détermination des paiements en lien avec la révision de la tarification de l'eau</li> <li>▪ Entrée en vigueur des paiements pour services environnementaux requis</li> </ul>	2010 2011 2012	Conseil national climatique MARH - Exploitants MARH - Exploitants
<b>AGROSYSTEMES et SECTEUR AGRICOLE</b>			
Application de la Carte agricole	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Action de sensibilisation de toutes les parties concernées</li> </ul>	2007	MARH
Préparer sa mise à jour en intégrant les risques liés aux changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mise à jour et application de la Carte agricole</li> </ul>	2008	MARH - MEDD
Mesures de reconversion	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptualisation</li> <li>▪ Application et suivi des mesures</li> </ul>	2010 2011-...	MARH MARH
Assurances duales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propositions au niveau du pays et des exploitations</li> <li>▪ Application pilote</li> <li>▪ Généralisation</li> </ul>	2007 2008 2010-...	Conseil national climatique MARH-Secteur privé Secteur privé
Agriculture climatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conceptualisation des indices climatiques pour la Tunisie</li> <li>▪ Insertion des indices climatiques dans la planification agricole</li> <li>▪ Lancement d'un label climatique</li> <li>▪ Marketing</li> </ul>	2010 2011 2012 2013-...	Conseil national climatique MARH Conseil national climatique MARH
<b>NIVEAU INTERNATIONAL</b>			
Fonds d'adaptation du Protocole de Kyoto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Préparation d'une proposition afin de bénéficier du Fonds d'adaptation du Protocole de Kyoto</li> </ul>	2007	Conseil national climatique – MEDD
Initiation et participation à des activités de niveau régional	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mettre à profit les opportunités régionales liées à l'adaptation aux changements climatiques</li> </ul>	2009	Conseil national climatique – MARH

## MISE EN ŒUVRE, MOYENS, SUIVI, RECHERCHE

Comité de mise en œuvre et de suivi de la stratégie	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Création d'un <b>Conseil national climatique</b></li> </ul>	Début 2007	Gouvernement, sur initiation du MARH
Moyens financiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moyens budgétaires</li> <li>▪ Gestion du risque climatique dans la planification agricole</li> </ul>	Budget 2008 et suivants 2008-...	Gouvernement, sur initiation du MARH MARH
Information, concertation, sensibilisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mise en place de campagnes ad hoc</li> <li>▪ Campagne d'information</li> <li>▪ Processus de concertation</li> <li>▪ Campagne de sensibilisation</li> </ul>	2008 2009 2009 2010	Conseil national climatique
Recherche et formation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programme de R&amp;D interdisciplinaire, par exemple vers le développement de capacités de modélisation climat – agriculture - économie</li> <li>▪ Application et développement international du programme R&amp;D</li> <li>▪ Etude des conséquences des changements climatiques sur la santé, le tourisme et d'autres secteurs économiques</li> </ul>	2009  2010-...  2010-...	Enseignement supérieur et recherche scientifique Conseil national climatique  Enseignement supérieur et recherche scientifique  Autres ministères

# CAHIER 3

## PROJECTIONS

### Sommaire

3.1	Projections du climat en Tunisie aux horizons 2030 et 2050 .....	3
3.1.1	Introduction .....	3
3.1.2	Méthodologie .....	4
3.1.3	Résultats du modèle HadCM3 .....	4
3.1.4	Conclusions .....	10
3.2	Les ressources en eau sous l'influence des changements climatiques .....	11
3.2.1	Introduction .....	12
3.2.2	Cycle et bilan hydrologiques .....	12
3.2.3	Evolution moyenne des ressources en eau en cas de changements climatiques.....	13
3.2.4	Evolution des ressources en eau face aux extrêmes climatiques.....	15
3.2.5	Impacts prévisibles des changements climatiques sur les ressources en eau.....	16
3.2.6	Conclusion .....	17
3.3	Les écosystèmes sous l'influence des changements climatiques.....	18
3.3.1	Mise en perspective des écosystèmes tunisiens et des changements climatiques .....	18
3.3.2	Scénario de changement climatique et conséquences directes sur les écosystèmes tunisiens.....	19
3.3.3	Risques environnementaux en conséquence des changements climatiques .....	22
3.3.4	Conclusion .....	23
3.4	Les agrosystèmes et le secteur agricole sous l'influence des changements climatiques	23
3.4.1	Introduction .....	23
3.4.2	Forçages économiques .....	24
3.4.3	Appréciation quantitative des événements climatiques attendus sur les équilibres obtenus .....	26
3.4.4	Conclusion .....	28

### 3.1 Projections du climat en Tunisie aux horizons 2030 et 2050

Les projections climatiques pour la Tunisie ont été construites sur la base des résultats du modèle HadCM3 aux horizons temporels 2020 et 2050. Les deux scénarios moyens les plus probables (A2 et B2) ont été privilégiés.

**A l'échelle régionale et à l'horizon 2030**, la région du **Nord** connaît, selon les prévisions, les élévations des températures annuelles et saisonnières ainsi que les baisses des précipitations les plus faibles. La variabilité des précipitations y est par contre stable par rapport à la période de référence. Les années extrêmes très humides et très sèches diminuent très légèrement. Les années sèches demeurent isolées au Nord.

Le **Centre** est sujet à une élévation des températures plus importantes que dans la région Nord. La diminution des précipitations annuelles y est par contre légèrement plus importante. La variabilité des précipitations diminue par rapport à la période de référence. Néanmoins, ce résultat demeure instable et dépend fortement de la période de référence considérée. Le nombre d'années sèches isolées ainsi que les successions de deux années sèches augmente par rapport à la période de référence.

Le **Sud** est sujet à l'élévation la plus importante des températures annuelles. La diminution des précipitations annuelles y est également forte. La variabilité des précipitations dépend à nouveau de la période de référence considérée. Les précipitations moyennes des années très humides baissent de même que celles des années très sèches. Une augmentation plus importante des années sèches ainsi que des successions de deux et de trois années est encore prévisible.

#### 3.1.1 Introduction

##### A) Aperçu sur la première phase et objectif de la deuxième

Lors de la première phase d'étude (la phase diagnostic), la synthèse d'une base de données bibliographique nationale sur le thème du changement climatique a été effectuée. L'étude a cherché à quantifier les tendances et la variabilité du climat ainsi que la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes. Une analyse statistique détaillée de l'évolution des précipitations et des températures saisonnières et annuelles durant les cinquante dernières années (1950-2004) a ainsi été effectuée. Les principales conclusions indiquent : 1) une intensification des inondations au cours de la deuxième moitié du siècle passé et une stabilisation de la fréquence des sécheresses, 2) une tendance significative à la hausse des températures. Par contre, aucune évolution marquante au niveau des précipitations, probablement à cause de leur forte variabilité, n'est constatée.

L'objectif de la seconde étape est de projeter les tendances du climat tunisien futur aux horizons 2030 et 2050. L'atteinte de cet objectif implique de choisir un modèle climatique et des scénarios de projection. Ce modèle doit permettre de quantifier les variations des températures et des précipitations pour chaque scénario de projection. L'output du modèle consiste en une base de données mensuelles indiquant la variabilité et les extrêmes des températures et des précipitations dans les différents régions d'intérêts aux horizons 2030 et 2050.

##### B) Incertitude quant aux projections du climat futur

Selon le rapport de l'IPCC (TAR, 2001), la température moyenne du globe pourrait augmenter de 1.4° C à 5.8° C à l'horizon 2100 ; cette augmentation se situera entre 2.6° C à 3.8° C pour les scénarios moyens A2 et B2.

L'analyse des simulations réalisées pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle montre que celles-ci sont cohérentes à l'échelle du globe. Cependant, à l'échelle régionale, les résultats varient fortement selon les modèles. Ainsi, dans certaines régions (comme l'Europe du Sud en été), la marge d'erreur sur la température est de  $\pm 4^{\circ}$  C par rapport à la température moyenne projetée. Pour les précipitations, les mesures estimées par les différents modèles varient du simple au double et changent même parfois de signes. Ces écarts importants permettent d'anticiper une augmentation de la variabilité du climat futur.

Les incertitudes constituent une réalité importante des projections climatiques. Les sources de cette incertitude sont multiples et comprennent notamment la dynamique des populations et de l'évolution économique, la représentation du climat observé, les mesures physiques sur le climat (échelle spatiale) ainsi que la prédictibilité et la surprise (phénomènes extrêmes).

### 3.1.2 Méthodologie

#### A) Choix du modèle et des scénarios

Le choix d'un modèle et des scénarios pour prévoir l'évolution du climat tunisien a reposé sur l'étude du Tyndall Centre concernant la Tunisie. Cette étude compare les résultats de quatre modèles : les modèles canadien (CGCM2), australien (CSIROmk2), américain (DOEPCM) et britannique (HadCM3). Les scénarios extrêmes A1 et A1F1 ainsi que les scénarios moyens A2 et B2 du SRES ont été combinés avec les modèles cités.

Ces projections montrent qu'à l'échelle annuelle, les modèles DOE et CSIRO donnent respectivement des résultats extrêmes plus bas et plus haut. Les modèles CGCM et HadCM3 concluent à des augmentations des températures médianes de +3° C à l'horizon 2080. Le modèle HadCM3 donne les résultats les plus probables pour la Tunisie et le choix s'est donc logiquement porté sur ce dernier afin de projeter les températures et les précipitations aux horizons 2030 et 2050.

Parmi les quatre scénarios A1F1, B1, A2 et B2 disponibles, les scénarios moyens A2 et B2 ont été sélectionnés pour étudier la variabilité et les extrêmes. *Ce choix a été effectué sur la base des tendances des températures observées au cours de la période 1950-2004.* Remarquons que jusqu'à 2050, les quatre scénarios offrent des conclusions proches.

#### B) Utilisation de la base de données du modèle HadCM3

Le modèle HadCM3 utilise des mailles de 0.5° × 0.5°, soit pour la Tunisie un maillage de 55 km × 55 km et un ensemble de 56 mailles. L'output du modèle est une prévision des quantités mensuelles des précipitations et des niveaux de températures pour chaque maille. Dans l'analyse, cette base de données est utilisée pour :

- Quantifier les élévations des températures et les baisses probables des précipitations.
- Construire les cartes des températures et des précipitations.
- Fournir des tableaux chiffrés de 2006 à 2050 (tranches de cinq ans) pour les données pertinentes pour l'étude de l'eau, des agrosystèmes et des écosystèmes.
- Etudier la variabilité des précipitations.
- Etudier les «extrêmes», c'est-à-dire les années et les saisons particulièrement humides ou sèches.

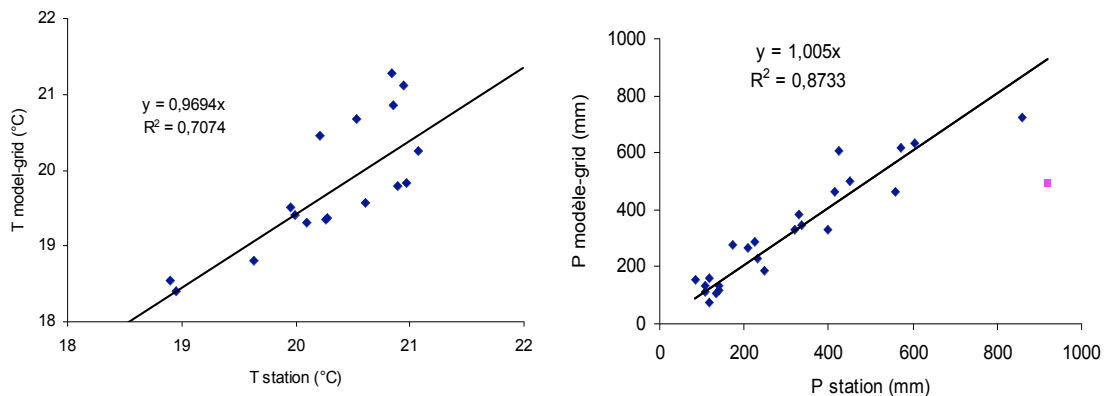
Les horizons temporels des projections sont 2020 (2011-2040) et 2050 (2041-2070), les variations des températures et des précipitations sont déterminées par rapport à la période de référence (1961-1990). Afin de mesurer la variabilité et les extrêmes, deux indicateurs sont utilisés. Il s'agit du rapport du coefficient de variation (CV %) entre l'horizon futur et la période de référence (1961-1990) et le rapport des médianes des déciles par rapport à la médiane des déciles de la période référence.

### 3.1.3 Résultats du modèle HadCM3

#### A) Test de Validation du modèle HadCM3 sur la période 2001-2005

La Figure 1 montre que les corrélations obtenues entre les valeurs réelles et les résultats estimées par le modèle HadCM3 des températures et des précipitations annuelles sont globalement satisfaisantes. L'échantillon de validation de cinq ans est globalement représentatif car il contient une année sèche (2001), une année très sèche (2002), une année très humide (2003) et deux années normales (2004, 2005). Pour l'année exceptionnellement pluvieuse (2003), le modèle simule correctement la forte pluviométrie de Jendouba (860 mm), mais omet celle de Tunis (930 mm). Cette dernière erreur

s'explique par le fait que la forte pluviométrie de Tunis est due à quelques événements de durée très courte. Pour les années sèches, le modèle prédit dans l'ensemble des valeurs cohérentes.



**Figure 1 – Comparaison entre valeurs mesurées et valeurs estimées par le modèle pour les températures et précipitations moyennes annuelles de 2001 à 2005.**

## **B) Projections des températures moyennes annuelles et saisonnières aux horizons 2020 et 2050**

A l'horizon 2020, le modèle conclut à l'élévation générale des températures par rapport à la période référence (Fig. 2). L'augmentation moyenne annuelle sur l'ensemble du pays des scénarios A2 et B2 est de  $+1.1^{\circ}\text{C}$  à l'horizon 2020 et de  $+2.1^{\circ}\text{C}$  à l'horizon 2050. Le scénario bas B1 conclut à une augmentation moyenne des températures de  $+1.0^{\circ}\text{C}$  en Tunisie à l'horizon 2020.

Selon le scénario A2, trois zones peuvent être distingués.

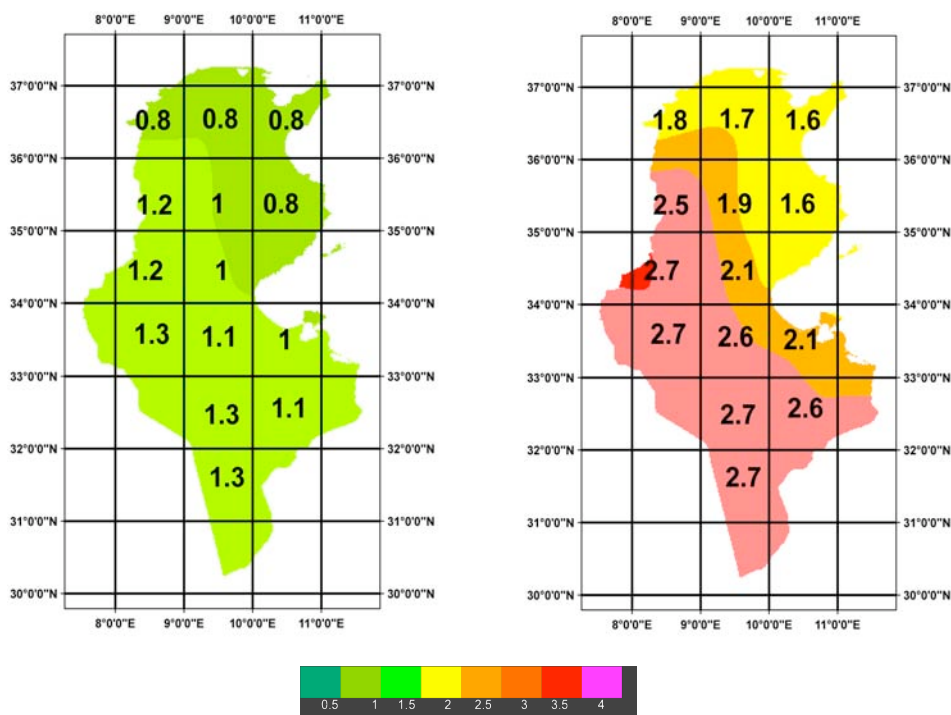
1. La zone Nord, du Cap Bon et du Centre-Ouest où la température moyenne augmente relativement faiblement ( $+0.8^{\circ}\text{C}$ ).
2. La zone Sud-Ouest et de l'Extrême Sud où l'élévation des températures est plus importante ( $+1.3^{\circ}\text{C}$ ).
3. La zone allant de la limite du Nord-Ouest au Sud-Est ( $+1.0^{\circ}\text{C}$ ) où l'élévation de la température est moyenne.

Le scénario B2 indique des tendances identiques bien que des élévations légèrement supérieures soient constatées ( $+0.9^{\circ}\text{C}$  à  $+1.5^{\circ}\text{C}$ ). A l'horizon 2050, la tendance à la hausse de température s'accroît, allant de  $+1.6^{\circ}\text{C}$  au Nord à  $+2.7^{\circ}\text{C}$  au Sud.

L'examen des variations saisonnières montre que les températures estivales augmentent plus fortement ( $+0.9^{\circ}\text{C}$  à  $+1.6^{\circ}\text{C}$ ) et les températures hivernales plus faiblement ( $+0.7^{\circ}\text{C}$  à  $+1.0^{\circ}\text{C}$ ) à l'horizon 2020.

L'automne et le printemps constituent des cas intermédiaires avec des augmentations respectives de ( $+0.9^{\circ}\text{C}$  à  $+1.4^{\circ}\text{C}$ ) et de ( $+0.6^{\circ}\text{C}$  à  $+1.2^{\circ}\text{C}$ ). Le printemps connaît toutefois les modifications les plus importantes des zones d'augmentation entre 2020 et 2050.

Les élévations des températures projetées dans le cadre de cette étude sont comparables et assez proches des projections climatiques des pays méditerranéens.



**Figure 2 – Élévations des températures (° C) moyennes annuelles du modèle HadCM3 (scénario A2) par rapport à la période de référence à l’horizon 2020 (gauche) et à l’horizon 2050 (droite)**

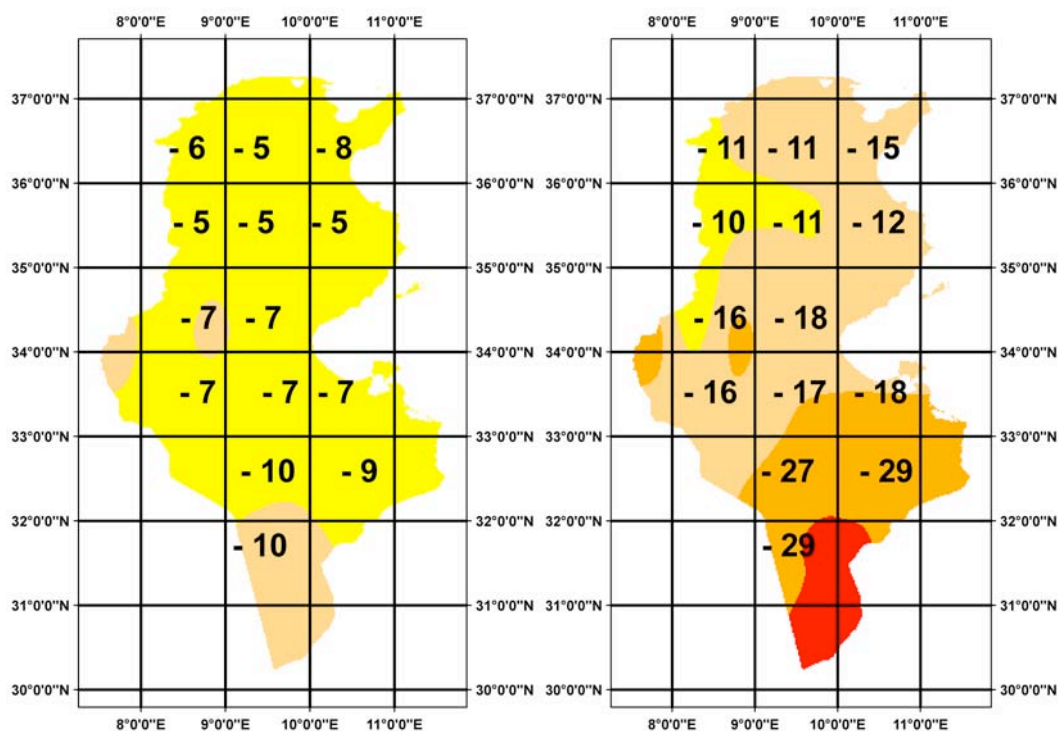
L’étude du WWF, en partant de l’hypothèse d’une élévation globale de la température de +2° C, offre des résultats proches de ceux de la présente étude. Elle conclut à une augmentation de la température annuelle de +1.5° C à +2.8° C du Nord au Sud du pays. Les augmentations saisonnières varient de +1.7° C à +2.8° C pour l’automne, de +1.8° C à +3.5° C pour l’été, de +1.2° C à +2.2° C pour le printemps et de +1.3° C à +2.3° C en hiver durant la période 2031-2060 (par rapport à la période référence 1961-1990). Une étude algérienne de 2001, en utilisant le modèle UHKI de l’Institut allemand Max Mayer et le modèle ECHAMAR3, projette pour la Tunisie une élévation des températures saisonnières pour la période climatique 1990-2020 proche des résultats de la présente étude. Le modèle ECHAMAR3 indique ainsi pour la Tunisie des augmentations de températures allant de +0.8° C à 1.0° C en automne, de +0.8° C à +0.95° C en hiver, de +0.85° C à 0.95° C au printemps et de +0.9° C à +1.6° C en été.

### **C) Projections des précipitations moyennes annuelles et saisonnières aux horizons 2020 et 2050**

Le modèle montre une tendance générale à la baisse des précipitations moyennes. Cette baisse est modérée à l’horizon 2020, mais s’accroît à l’horizon 2050 pour le scénario B2 (Fig. 3). La diminution est de -5 % au Nord, de -8 % au Cap Bon et Nord-Est et de -10 % à l’extrême Sud. Le scénario B2 prédit une tendance à la baisse légèrement plus faible (-4 % au Nord à -8 % à l’extrême Sud).

A l’horizon 2050, la baisse des précipitations s’accroît, elle varie alors de -10 % au Nord-Ouest à -30 % à l’extrême Sud. Trois zones se différencient : l’extrême Ouest du pays connaît une faible diminution des précipitations (-10 %), le Sud subit une plus forte baisse (-27 %) comparativement au reste du pays dont la quantité de précipitations baisse de -12 % à -16 %.

Au niveau des variations saisonnières, l’hiver connaît la plus faible diminution des précipitations (0 % à -7 %) alors que l’été subit la baisse la plus forte (-8 % à -40 % du Nord à l’extrême Sud) à l’horizon 2020. La situation de l’automne et du printemps est intermédiaire avec une baisse des précipitations de -6 % à -12 % à l’extrême Sud. Les variations saisonnières sont généralement identiques à l’horizon 2050.



**Figure 3 – Baisses (%) des précipitations moyennes annuelles du modèle HadCM3 (scénario A2) par rapport à la période de référence à l’horizon 2020 (gauche) et à l’horizon 2050 (droite)**

#### **D) Indicateur de variabilité, évolution des coefficients de variation de la pluviométrie annuelle**

Les coefficients de variation de la pluviométrie (CV %) diminuent plus ou moins faiblement selon les régions et les scénarios par rapport à la période de référence 1961-1990 (Tab. I). Une tendance à la baisse de la variabilité des pluies annuelles est également indiquée; cette tendance est plus forte dans le cas du scénario B2.

Dans la région Nord, les CV % se stabilisent et restent globalement similaires quel que soit le scénario envisagé à l’horizon 2020. Le CV % diminue, par contre, de 10 % à 15 % à l’horizon 2050. Dans la région Centre, la tendance est identique sauf que la variabilité à l’horizon 2050 est plus importante. Dans la région Sud enfin, la baisse de la variabilité est plus importante relativement aux autres régions, elle atteint jusqu’à 15 % dans le cas du scénario B2 à l’horizon 2050.

**Tableau I – Rapport des coefficients de variation CV % par région et pour les scénarios A2 et B2 par rapport à la période de référence d’après le modèle HadCM3**

Horizons Scénarios	2020		2050	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.00	0.99	0.97	0.92
NE	1.02	1.00	0.90	0.84
CO	0.97	0.97	0.98	0.95
CE	1.02	1.01	0.94	0.90
SO	0.90	0.90	0.93	0.91
SE	0.89	0.87	0.78	0.76

D’après ces résultats, la variabilité des précipitations annuelles diminue au cours du temps. Toutefois, leur valeur moyenne reste relativement forte. Ce résultat contredit les avis de plusieurs chercheurs qui postulent que ce coefficient augmenterait dans la région méditerranéenne. Cet écart du modèle



s'explique vraisemblablement par la forte variabilité de la période référence (1961-1990). En effet, l'examen des périodes climatiques du XX<sup>e</sup> siècle, à savoir 1901-1930, 1931-1960 et 1961-1990, montre que la période de référence 1961-1990 a une variabilité de précipitation particulièrement forte (le poids de l'écart type de la période de référence est de 41 % par rapport à l'ensemble de la période 1901-1990). Sur cette base, on ne peut donc exclure que la variabilité du XXI<sup>e</sup> siècle soit plus importante que celle du siècle passé. Un facteur de correction de 1.2 afin de tenir compte de la variabilité moyenne du XX<sup>e</sup> siècle (au lieu de celle de la période de référence) suffit d'ailleurs à inverser cette tendance.

Les résultats présentés dans le Tableau I n'offrent donc pas de conclusion univoque sur l'évolution de la variabilité des précipitations en raison de ce problème d'échantillonnage des périodes climatiques. Ils ne permettent donc pas d'infirmer l'idée que la variabilité interannuelle du XXI<sup>e</sup> siècle augmente par rapport à celle du siècle précédent.

### E) Variabilité saisonnière des coefficients de variation de la pluviométrie annuelle

La variabilité saisonnière des coefficients de variation (CV %) de la pluviométrie annuelle se présente comme suit.

- Durant la saison d'hiver, la tendance est à la baisse. Quelques exceptions au Nord et à l'horizon 2050 sont possibles.
- Durant le printemps, une augmentation des CV % au nord est notable, cette augmentation avoisine au moins 10 % à l'horizon 2050 dans le cas du scénario B2 et même 50 % à l'horizon 2050 dans le cas du scénario A2. La tendance au Centre est similaire et une légère baisse est constatée au Sud.
- Durant l'été, les CV % restent stables ou subissent une légère augmentation. En niveau absolu, la variabilité reste néanmoins forte.
- Durant l'automne, au Nord et au Centre, les CV % augmentent de 5 à 10 % (moins fortement qu'au printemps). Au Sud, les CV % marquent par contre une baisse.

### F) Analyse des précipitations annuelles extrêmes, des années très sèches et des années très humides

A l'horizon 2020, des baisses de la médiane des années pluvieuses (-2 %) ainsi que de la médiane des années sèches (-5 %) sont prévisibles au Nord. Dans la région Centre, une baisse de 3 % pour la médiane des années pluvieuses et une baisse de 2 % de la médiane des années très sèches sont attendues. Le Sud serait caractérisé par une baisse de 8 % de la médiane des années pluvieuses et une baisse de 2 % de la médiane des années sèches (Tab. II).

A l'horizon 2050, des baisses de la médiane des années pluvieuses (-16 %) ainsi que de la médiane des années sèches (-8 %) sont prévisibles au Nord. Dans la région Centre, une baisse de 25 % de la médiane des années pluvieuses et une baisse de 8 % de la médiane des années sèches sont attendues. Au Sud, une baisse de 21 % de la médiane des années très pluvieuses et de 12 % des années très sèches est projetée.

**Tableau II – Rapport des médianes des déciles par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3 pour les années très sèches et très humides**

Horizons Scénarios	Années très humides 2020		Années très sèches 2020	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.03	1.04	0.95	0.98
NE	0.93	0.95	0.91	0.95
CO	0.96	0.97	0.95	0.96
CE	0.97	0.97	0.99	0.96
SO	0.83	0.84	1.00	0.99
SE	0.89	0.89	0.99	0.97

**Au total, la baisse des médianes des années extrêmes humides ou sèches reste faible**, la tendance à la baisse est par contre plus prononcée dans le cas des années très humides. Ces tendances s'accroissent à l'horizon 2050.

### G) Analyse des précipitations saisonnières, saisons très humides et très sèches

- Les automnes très humides

Les deux scénarios donnent des résultats similaires (Tab. III). Au nord, le rapport des déciles baisse de 5 % à 15 % à l'horizon 2020. A l'horizon 2050, les différences se marquent entre les régions Sud Est (baisse de 17 %) et Sud-Ouest (légère augmentation). Les mêmes tendances sont constatées au Centre à l'horizon 2050 avec une hausse du rapport de 10 % au Centre Est et une baisse de 8 % à au Centre Ouest. Au Sud, le rapport des déciles baisse de 20 % à 45 %.

Les automnes deviennent au total moins humides par comparaison à la période référence. Cette baisse est plus prononcée au Sud.

- Les automnes très secs

Au nord, le rapport des déciles baisse de 10 % à 15 %, cette baisse est plus forte à l'Est (Tab. IV). La tendance est confirmée à l'horizon 2050. Au Centre, une différence entre l'Est et l'Ouest est remarquable. De plus, on constate une légère augmentation (+5 %) du rapport à l'horizon 2020 au Centre Ouest et une baisse allant de 6 % (scénario B2) à 22 % (scénario A2) à l'horizon 2050 pour la même région. Au Sud, on note la plus faible baisse du rapport des déciles, voire une légère augmentation en 2050.

Au total, la probabilité des automnes secs augmente.

**Tableau III – Rapport des médianes des déciles par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3 pour les automnes très secs et très humides à l'horizon 2020**

Horizons Scénarios	Automnes très humides 2020		Automnes très secs 2020	
	A2	B2	A2	B2
NO	0.89	0.91	0.91	0.98
NE	0.84	0.85	0.84	0.88
CO	0.81	0.82	1.01	1.05
CE	0.92	0.93	0.85	1.03
SO	0.73	0.73	0.97	1.01
SE	0.61	0.63	0.96	1.05

**Tableau IV – Rapport des médianes des déciles par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3 pour les automnes très secs et très humides à l'horizon 2050**

Horizons Scénarios	Automnes très humides 2050		Automnes très secs 2050	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.04	1.07	0.79	0.94
NE	0.79	0.83	0.71	0.84
CO	0.91	0.93	0.78	0.98
CE	1.09	1.11	0.78	1.02
SO	0.78	0.79	0.98	1.29*
SE	0.56	0.59	0.86	1.07

- Printemps très humides

Les deux scénarios A2 et B2 offrent globalement les mêmes rapports des déciles par rapport à la période de référence (Tab. V). Les printemps de 2020 sont en moyenne plus secs par rapport à la période 1961-1990, les printemps de 2050 sont par contre plus humides.

Pour le Centre du pays, une différence entre l'Est et l'Ouest du pays est remarquée. Le rapport des déciles diminue de 12 % à l'Ouest et augmente légèrement de 2 % à l'Est. Au Sud, une diminution générale du rapport des déciles est prévisible (-50 % avec B2 à l'horizon 2050 à -15 % avec A2 à l'horizon 2020).

- Printemps très secs

Des différences (allant de 5 % à 10 %) entre les scénarios A2 et B2 sont notables. Pour le Nord, une baisse globale et assez prononcée du rapport des déciles est prévisible (Tab. VI). Ce rapport baisse davantage à l'horizon 2050 (50 % pour A2 et 54% pour B2) dans l'Est. L'Ouest se distingue par une baisse plus importante à l'horizon 2020. A l'Est, la tendance s'inverse à l'horizon 2050. Au Centre, le rapport des déciles baisse, il est de même ordre ou légèrement inférieur par rapport au Nord. Le Sud est marqué par une forte diminution (de 15 % à 55 %).

**Tableau V – Rapport des médianes des déciles par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3 pour les printemps très secs et très humides à l'horizon 2020**

Horizons Scénarios	Printemps très humides 2020		Printemps très secs 2020	
	A2	B2	A2	B2
NO	0.93	0.93	0.68	0.67
NE	0.91	0.92	0.86	0.86
CO	0.88	0.87	0.78	0.77
CE	1.01	1.00	0.9	0.85
SO	0.68	0.66	0.96	0.83
SE	0.85	0.82	0.94	0.84

**Tableau VI – Rapport des médianes des déciles par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3 pour les printemps très secs et très humides à l'horizon 2020**

Horizons Scénarios	Printemps très humides 2050		Printemps très secs 2050	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.2	1.22	0.7	0.71
NE	1.05	1.07	0.50	0.54
CO	0.88	0.87	0.60	0.57
CE	1.02	1.02	0.80	0.78
SO	0.63	0.60	1.20	1.04
SE	0.53	0.51	0.96	0.94

## H) Analyse de la sécheresse régionale et des successions des années sèches

Dans le Nord-Ouest, les années sèches sont généralement isolées. Alors que le scénario B2 ne prédit pas une augmentation des années sèches, le scénario A2 conclut à leur augmentation (+10 %). Dans le Nord-Est, l'évolution du nombre des années sèches isolées est mineure dans le cas du scénario B2. Dans le cas du scénario A2, la probabilité de voir deux années sèches se succéder augmente. Au Centre-Ouest, le nombre d'années sèches isolées ainsi que le nombre de deux années sèches consécutives augmentent. Au Centre-Est, la tendance est identique. Au Sud-Ouest, une augmentation des années sèches aux horizons 2020 et 2050 est prévue. Au Sud-Est, les années sèches isolées augmentent de 7 % aux horizons 2050 d'après le scénario B2 et de 15 % d'après A2 avec augmentation des successions de deux années sèches et de trois années sèches à l'horizon 2050.

### 3.1.4 Conclusions

Les projections climatiques pour la Tunisie ont été construites sur la base des résultats du modèle HadCM3 aux horizons temporels 2020 et 2050. Les deux scénarios moyens les plus probables (A2 et B2) ont été privilégiés. Le scénario A2 a été retenu comme scénario de référence pour les groupes eau, agro-systèmes et eco-systèmes.

Au niveau des projections climatiques, une élévation des températures moyennes annuelles et saisonnières est prévisible.

Des diminutions, généralement légères, des précipitations sont également possibles. Dans ces derniers cas, les incertitudes sont néanmoins plus fortes.

La variabilité des précipitations est également susceptible de baisser légèrement par rapport à la période de référence 1961-1990. Toutefois, celle-ci est susceptible d'augmenter de 5 à 10% au cours du siècle prochain par rapport au siècle passé. Enfin, une tendance à une augmentation générale de la probabilité de sécheresse est également notable.

L'augmentation prévue des températures annuelles varie selon les régions et selon les scénarios. Cette tendance s'accroît à l'horizon 2050. Concernant les saisons et pour les scénarios moyens, l'été connaît les augmentations les plus fortes et l'hiver les plus faibles. On estime qu'une élévation de 1°C de la température moyenne d'ici 2030 engendrerait – *ceteris paribus*, hors précipitations – un déplacement vers le Nord des zones bioclimatiques d'environ 100 à 150 km. Notons également une élévation beaucoup plus importante des extrêmes, ce qui conduira des vagues de chaleur plus fréquentes durant l'été.

Une baisse des précipitations annuelles est constatée. Cette tendance s'accroît à l'horizon 2050 comparativement à l'horizon 2020. L'été connaît la baisse des précipitations la plus forte alors que l'hiver accueille les baisses les plus faibles. A l'horizon 2050, les écarts entre le Nord et le Sud sont plus prononcés.

*A l'échelle régionale et à l'horizon 2030*, la région du *Nord* connaît, selon les prévisions, les élévations des températures annuelles et saisonnières ainsi que les baisses des précipitations les plus faibles. Le **Centre** est sujet à une élévation des températures plus importantes que dans la région Nord. La diminution des précipitations annuelles y est par contre légèrement plus importante. Le **Sud** est sujet à l'élévation la plus importante des températures annuelles. La diminution des précipitations annuelles y est également forte. Les précipitations moyennes des années très humides baissent de même que celles des années très sèches. Une augmentation plus importante des années sèches ainsi que des successions de deux et de trois années est prévisible.

Enfin, si les modèles climatiques fournissent, avec les réserves d'usage, une tendance à l'horizon 2030 à une légère augmentation de la fréquence et de l'intensité des *années extrêmes sèches* tandis que, pour les *années humides*, le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations, le modèle retenu, à l'instar de n'importe quel autre, ne fournit pas la fréquence précise de tels événements. Aucun modèle n'est à même de prévoir le « calendrier » des événements extrêmes.

Dans la suite de l'étude, ces derniers sont définis et placés à l'horizon 2030 par les groupes d'experts (notamment pour ce qui a trait à l'augmentation de la succession des années très sèches).

En termes d'adaptation, des mesures visant à renforcer les systèmes d'alerte s'imposent.

## 3.2 Les ressources en eau sous l'influence des changements climatiques

La connaissance actuelle des variables hydrologiques liées aux changements climatiques reste entachée d'incertitudes. Toutefois, sur la base d'une amorce de modélisation, nous pouvons déduire que les ressources en eaux conventionnelles diminueront d'environ 28 % à l'horizon 2030. Cette diminution sera localisée au niveau des nappes phréatiques de fortes salinités, des nappes littorales et des nappes contenant des eaux non renouvelables. La diminution des eaux de surface avoisinera 5 % à l'horizon 2030.

La confrontation entre les ressources disponibles et la demande en eau montre que la satisfaction des besoins à l'horizon 2030 nécessite la mise en place de stratégies. Un retard dans les programmes d'actions risquerait d'engendrer un déséquilibre et, par conséquent, un manque d'eau bien avant cette échéance. Ainsi, la gestion des barrages et la mise en place effective des différentes stratégies d'éco-

nomie d'eau à toutes les échelles devraient jouer un rôle essentiel dans la disponibilité future de la ressource en eau. La minimisation des impacts des changements climatiques sur la ressource en eau nécessite donc l'amélioration de la gestion de la ressource en eau par l'adaptation via l'évolution des techniques, des traditions, des comportements et des usages.

### 3.2.1 Introduction

Les problèmes soulevés et les débats concernant les conséquences des changements climatiques concernent le cycle de l'eau. En effet, afin de prévoir les conséquences de l'augmentation de la température liée à l'émission des gaz à effets de serre, il est nécessaire d'avoir une compréhension parfaite de ce cycle. Ce besoin est d'autant plus fort que les impacts les plus inquiétants liés aux changements climatiques portent sur la disponibilité de l'eau suite à l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes telles que les inondations, les sécheresses, l'augmentation du niveau de la mer, etc. Cette inquiétude est encore plus forte dans les pays qui ont recours à l'irrigation pour assurer la sécurité alimentaire des populations.

Les modèles climatiques actuels permettent de reproduire avec certitude l'évolution de la température. L'évolution des autres paramètres météorologiques comme les précipitations et tout particulièrement les précipitations extrêmes, demeure par contre plus incertaine. Cette difficulté est liée au caractère local et de courte durée (quelques heures) de ce type d'événements. L'ampleur et la nature exactes des changements futurs restent par conséquent difficiles à quantifier.

La projection des ressources en eau, prenant en considération l'impact des changements climatiques, nécessite la connaissance du scénario d'évolution des ressources dans des conditions normales, c'est-à-dire sans considération des changements climatiques, afin de servir de scénario de référence. L'objectif de la mobilisation des ressources est d'assurer la satisfaction des besoins des secteurs socio-économiques. Par conséquent, trois scénarios ne considérant pas les impacts du changement climatique ont été construits.

La projection des ressources en eau permet de conclure, sur la base des différentes hypothèses émises, que les ressources en eau conventionnelles exploitables (c'est-à-dire disponibles pour l'usage) avoisineront 3'829 Mm<sup>3</sup> en 2030 pour autant que le programme de gestion de l'eau soit réalisé (hypothèse haute), de 3'170 Mm<sup>3</sup> dans le cas où seule une partie du programme aboutirait (hypothèse moyenne) et 2'718 Mm<sup>3</sup> si le programme n'est pas réalisé (hypothèse basse).

La mise à disposition de ressources en eau non conventionnelles est susceptible de renforcer les ressources exploitables. Il s'agit du dessalement de l'eau de mer (80 Mm<sup>3</sup> en l'an 2030) et de l'utilisation de l'eau usée traitée (292 Mm<sup>3</sup>) pour les besoins agricoles. Au total, environ 4'201 Mm<sup>3</sup> de ressource en eau seront en 2030 exploitables en Tunisie.

Les besoins en eau totaux à l'horizon 2030 sont projetés à environ 2911 Mm<sup>3</sup> dans le cas de l'hypothèse basse (qui est aussi l'hypothèse stratégique), de 3'054 Mm<sup>3</sup> pour l'hypothèse moyenne et de 3'743 Mm<sup>3</sup> pour l'hypothèse haute. Les hypothèses du côté des besoins sont à nouveau définies selon le degré de réalisation des programmes.

Il est ainsi constaté que, selon le scénario des ressources exploitables appliquant tous les programmes de l'Etat pour la mobilisation des eaux, les besoins projetés, même les plus élevés, pourront être comblés à l'horizon 2030 (un excès de l'ordre de 11% du montant disponible est prévu). Cependant, dans le cas du scénario n'appliquant que parcimonieusement les programmes prévus, un manque d'eau est susceptible d'apparaître dès 2022 (et ceci, même si l'hypothèse basse du côté des besoins est retenue). De même, si les besoins en eau n'évoluent pas tels que prévus, l'écart entre les besoins et les ressources serait négatif dès 2015 dans le cas où les programmes de renforcement de la disponibilité de la ressource ne sont pas réalisés (hypothèse basse).

### 3.2.2 Cycle et bilan hydrologiques

Les études et les réflexions sur la gestion de l'eau nécessitent la compréhension et l'analyse du cycle de l'eau. Pour cela, les mesures quantitatives et qualitatives des éléments du cycle hydrologique

ainsi que les autres caractéristiques pertinentes de l'environnement constituent une base essentielle de la prévision hydrologique.

Pour l'étude du cycle de l'eau et de la modélisation hydrologique, des centaines, voire des milliers de modèles existent : des modèles physiques, déterministes, conceptuels ou empiriques simulent en effet, à des degrés d'analyse et de précision divers, les réponses hydrologiques au niveau des bassins versants. Selon les données disponibles, la taille du bassin versant et l'objectif de la simulation, ces modèles doivent être calibrés et validés sur des situations connues afin de prévoir l'évolution future. Cette modélisation hydrologique s'effectue le plus souvent par le biais de l'étude de la réaction hydrologique du bassin versant face à la pluviométrie.

Dans le cas des changements climatiques et de ses impacts sur le cycle hydrologique, le problème est beaucoup plus complexe et on ne peut se contenter de la mesure de la pluie pour évaluer l'évolution de ce cycle. Il faut passer au cycle hydrologique lui-même. Ce cycle est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre. La notion de « cycle » met en évidence que les mécanismes régissant le cycle hydrologique interviennent de manière concomitante et ne constituent pas une chaîne linéaire. En d'autres termes, le cycle hydrologique n'a ni début, ni fin et est sujet à des processus complexes comme les précipitations, l'évaporation, l'évapotranspiration, l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements souterrains. Ces divers mécanismes dépendent de l'énergie solaire qui constitue l'organe vital du cycle hydrologique. Ainsi, en plus de l'effet sur la température et la pluviométrie, le réchauffement global va sans doute activer plus fortement le cycle hydrologique.

Le cycle hydrologique est donc caractérisé par l'interdépendance de ses composantes, par sa stabilité et son équilibre dynamique. Si un processus est perturbé, tous les autres en subissent les conséquences. Dans le contexte actuel de l'analyse des changements climatiques, il n'existe pas d'évidences empiriques sur l'impact des changements climatiques sur les composantes du cycle hydrologique. Seules la pluviométrie et la température ont pu être modélisées à l'échelle globale. Les modèles climatiques axés sur l'évolution de la température ne considèrent que marginalement l'évolution des paramètres météorologiques comme les précipitations et, tout particulièrement, les précipitations extrêmes. Cette difficulté de modélisation vient du caractère local et réduit dans le temps de ces événements. L'ampleur et la nature des changements futurs ne sont pas encore quantifiées si bien que l'usage de ces informations globales aux échelles régionale et locale doit être réalisé avec précaution et réserve.

### 3.2.3 Evolution moyenne des ressources en eau en cas de changements climatiques

Le scénario A2 (voir la section 2.1) confirme la difficulté de mesurer la variation de la pluviométrie en raison des changements climatiques. En effet, l'évolution de la pluie apparaît tantôt positive, tantôt négative selon les régions et les saisons. Une variabilité de la pluviométrie plus importante est ainsi prévisible pour le printemps et l'automne. A l'échelle globale, la diminution de la pluviométrie demeure par contre très faible.

**Tableau VII – Evolution régionale de la pluviométrie en % sur la période de 2006 à 2030 selon le scénario haut (A2)**

Scénario A2 ANNUEL	Nord		Centre		Sud	
	Ouest	Est	Ouest	Est	Ouest	Est
2006-2010	-0.4	-0.4	5.9	2.2	0.5	-2.8
2011-2020	-10.6	-12.4	-9.4	-9.5	-9.9	-14.3
2011-2030	0.9	-2.5	4.1	4.5	-7.6	-4.5
<b>Moyenne</b>	<b>-3.9</b>	<b>-6.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.6</b>	<b>-6.9</b>	<b>-8.1</b>

Les variations de la pluviométrie annuelle ne peuvent à elles seules permettre de déterminer l'évolution du ruissellement à l'échelle des bassins versants. En effet, le ruissellement dépend davantage de

l'intensité horaire que de la quantité annuelle de pluie lorsque le climat est semi-aride voire aride. A cet égard, l'échelle temporelle en hydrologie est très importante. De plus, étant donné que le ruissellement est égal à la pluviométrie diminuée des pertes au niveau du bassin versant, ignorer les pertes en ne considérant que la pluviométrie engendre des distorsions significatives dans la détermination des impacts sur le ruissellement.

**Tableau VIII – Evolution régionale et saisonnière de la pluviométrie en % sur la période globale de 2006 à 2030 selon le scénario haut (A2)**

Scénario A2	Nord		Centre		Sud	
	Ouest	Est	Ouest	Est	Ouest	Est
Hiver	-4.6	-4.2	-3.3	-4.5	-3.4	-1.6
Printemps	-1.9	-4.8	2.2	2.5	-1.2	2.2
Eté	-7.3	-10.8	-5.5	-4.3	-21.9	-27.0
Automne	-2.0	-4.2	2.7	-0.1	-1.1	-5.9
<b>Moyenne</b>	<b>-3.9</b>	<b>-6.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.6</b>	<b>-6.9</b>	<b>-8.1</b>

En l'absence d'indications sur la variation de l'intensité de la pluie et de la couverture végétale future (dont l'influence sur les écoulements est importante), la faible variation projetée de la pluviométrie n'affectera pas les écoulements et les apports au niveau des barrages. La diminution projetée de la pluviométrie demeure en effet minime comparativement à sa variabilité spatiotemporelle (en d'autres termes, cette diminution n'affectera pas directement les stocks globaux sur l'année au niveau des barrages). D'autres études analysant la situation de bassins versants en Afrique supportent cette conclusion. En effet, en exprimant la relation entre la pluviométrie et la densité de drainage des zones étudiées, ces études montrent que, sur le territoire de la Tunisie (représentée par la station de Jendouba), les apports ne seront pas affectés malgré une diminution de 10 à 20 % de la pluviométrie. Cette conclusion est globale et masque de ce fait la forte variabilité locale. Dans ces travaux, l'Afrique a été en effet morcelée en blocs de 1'000'000 km<sup>2</sup>. Ces résultats semblent néanmoins relativement représentatifs vu que la région analysée se situe dans le Nord du pays et comprend de ce fait les principaux apports d'eau au niveau de la Tunisie.

La diminution des précipitations estivales accroît par contre le manque hydrique du sol (l'excédent hivernal étant perdu pour le réservoir sol). Cette perte est renforcée par l'évaporation (EPT) due à l'augmentation de la température de l'air. Ceci peut entraîner une désaturation plus précoce. En revanche, l'évapotranspiration a tendance à être réduite durant la période de l'été et de l'automne par l'effet du stress hydrique. L'augmentation de la température de l'air entraîne encore une augmentation de l'évaporation réelle pendant l'hiver et le printemps alors que les sols sont plus fortement arrosés en eau. Le Tableau IX indique l'évolution de l'évaporation selon le scénario A2. On y considère une augmentation moyenne annuelle globale de 9.3 %. Cette augmentation de l'évaporation affectera directement les stocks d'eau dans les barrages qui augmenteront à leur tour d'environ 1.5 % net.

**Tableau IX – Evolution régionale de l'évaporation en % sur la période globale de 2006 à 2030 selon le scénario haut (A2)**

Scénario A2	Nord		Centre		Sud	
	Ouest	Est	Ouest	Est	Ouest	Est
<b>ANNUUEL</b>						
2006-2010	8.1	6.0	9.5	5.7	10.2	8.4
2011-2020	11.6	11.6	10.8	7.5	11.2	9.2
2011-2030	8.8	8.4	10.9	6.4	10.6	8.4
<b>Moyenne</b>	<b>9.8</b>	<b>9.2</b>	<b>10.6</b>	<b>6.7</b>	<b>10.8</b>	<b>8.7</b>

La diminution des pluies au Centre et au Sud, conjuguée à l'augmentation des besoins de l'agriculture due à l'augmentation de la température, va engendrer une exploitation plus importante des

ressources en eau souterraine. Cette surexploitation, qui n'aura pas d'effet direct sur la ressource l'année même, donnera lieu à moyen et à long terme à une dégradation préoccupante de la qualité des eaux.

Enfin, l'élévation du niveau de la mer engendrera une salinisation des nappes littorales, ce qui devrait réduire le potentiel de ressources vers l'année 2030.

### 3.2.4 Evolution des ressources en eau face aux extrêmes climatiques

La modélisation climatique n'a pas pu définir l'évolution du nombre de périodes extrêmes. En effet, aucun modèle ne peut prédire avec certitude l'évolution du nombre de périodes extrêmes car ces phénomènes sont par principe rares, limités dans le temps et dispersés dans l'espace.

Une équipe française a testé des modèles hydrologiques sur la base des résultats de quatre modèles climatiques sur six bassins (dont deux sous-bassins de la Meuse). Elle a ainsi pu démontrer que, du fait de la non-variabilité de l'évaporation durant l'hiver, la fréquence des jours d'inondations varie dans le même sens que la variabilité des pluies. La variabilité des réponses des scénarios pour les deux périodes de 2010-2039 et 2040-2070 ne permet donc pas la formulation de conclusion. Pour les événements de sécheresse, l'augmentation de la fréquence des jours à faible débit a été signalée. Cette fréquence est toutefois très prononcée pour les bassins à réponse rapide qui ne permettent pas de soutenir les faibles débits d'été. Pour les deux sous-bassins de la Meuse, *la présence des aquifères contribue à l'alimentation du débit de base* pour soutenir les débits d'été, ce qui implique une augmentation faible de la fréquence des jours à faible débit. Une modélisation hydrologique réalisée sur onze bassins belges et suisses montre encore que sous l'effet combiné des précipitations hivernales plus importantes et des faibles valeurs de l'évaporation, les débits moyens augmentent en hiver pour tous les bassins testés. Cependant, en été, les réponses des débits moyens sont différentes d'un bassin à un autre. Leur réponse dépend en fait de la *géologie du terrain*.

Pour le cas de la Tunisie, le modèle climatique conclut que les années sèches seront légèrement plus sèches et que seul le Nord du pays sera légèrement plus humide (une augmentation de 3 %), alors que les autres zones seront moins humides. Le modèle reste cependant peu précis, ce qui est le propre des modèles climatiques actuels. Par exemple, une étude française reposant sur trois simulations produites par le modèle ARPEGE, confirme les incertitudes au niveau des précipitations et montre que, bien que la diminution des débits d'étiage soit simulée avec un maximum de confiance, l'évolution des débits de crue est plus incertaine car on y observe des diminutions et des augmentations avec une dispersion importante des changements de précipitation (selon les simulations climatiques).

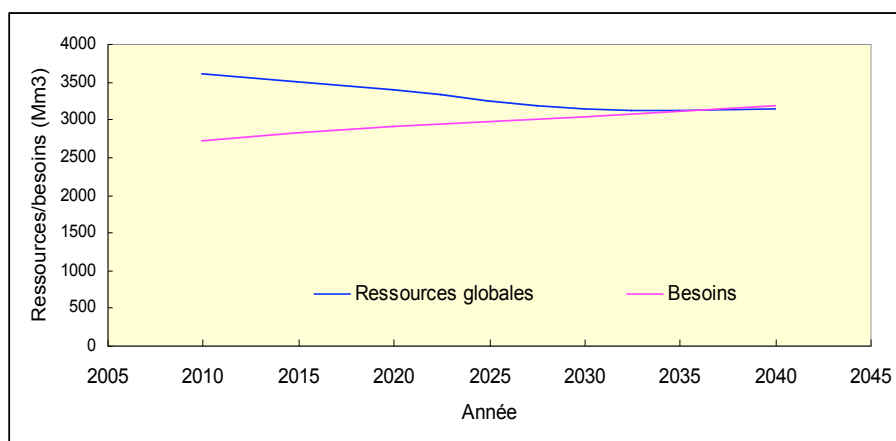
En plus des informations que nous avons pu déduire de la modélisation climatique, les apports au niveau des principaux barrages sur la période de 1947 à 2004 ont été analysés. Deux principales conclusions en ressortent. A) Les apports diminuent de 27 % durant la période de 1976 à 2004 par rapport à celle de 1947 à 1975. B) Les apports au niveau des barrages du Nord durant la période de 1976 à 2004 sont par contre supérieurs de 21% aux apports moyens calculés et connus à ce jour. Cette constatation confirme l'influence de l'homme, par la mise en place de ses différents ouvrages (barrages) sur les apports des bassins versants.

**Tableau X – Evolution des ressources en eau globales en Mm<sup>3</sup> aux différents horizons sous CC**

Désignation	2010			2020			2030		
	Potentiel	Mobilisé	Exploitable	Potentiel	Mobilisé	Exploitable	Potentiel	Mobilisé	Exploitable
Grands barrages	2'700	2'121	1'378	2'700	2'131	1'385	2'700	1'890	1'229
Nappes phréatiques	758	758	758	781	781	591	805	805	308
Nappes profondes	1'544	1'350	1'350	1'791	1'535	1'215	2'079	1'731	1'214
<b>Total eaux conventionnelles</b>	<b>5'002</b>	<b>4'229</b>	<b>3'486</b>	<b>5'272</b>	<b>4'447</b>	<b>3'191</b>	<b>5'584</b>	<b>4'426</b>	<b>2'751</b>
Eaux usées traitées	253	99	99	400	156	156	512	292	292
Eaux dessalées		18	18	0	47	47	0	80	80
<b>Total eaux non conventionnelles</b>	<b>253</b>	<b>117</b>	<b>117</b>	<b>400</b>	<b>203</b>	<b>203</b>	<b>512</b>	<b>372</b>	<b>372</b>
<b>Total Général</b>	<b>5'255</b>	<b>4'336</b>	<b>3'603</b>	<b>5'672</b>	<b>4'650</b>	<b>3'394</b>	<b>4'798</b>	<b>4'798</b>	<b>3'123</b>



A cet égard, il est nécessaire de préciser que le stock d'eau à un instant  $t$  donné dans les barrages est intimement lié à la gestion des barrages (transfert d'eau entre les barrages, lâchages, dévasement, déversement, etc.) et qu'une diminution de 5 à 10 % dans les apports pourra être compensée par une gestion adéquate des barrages. L'évolution probable des ressources en eau à l'horizon 2030, compte tenu de ce qui précède, est fournie dans le Tableau X.



**Figure 4 – Evolution des ressources et des besoins à l'horizon 2040**

Si l'on considère l'hypothèse moyenne d'évolution des besoins sans considérer les changements climatiques, le bilan montre que les ressources conventionnelles ne pourront satisfaire qu'à concurrence de 91 % les besoins à l'horizon 2030. Cela signifie que sans les ressources non conventionnelles et la mise en place des stratégies d'économie d'eau, les besoins à l'horizon 2030 ne seront pas satisfaits.

Si l'on maintient à la fois les ressources exploitables à l'horizon 2050 et l'évolution des besoins, on constate que le bilan sera négatif bien avant 2040. Cela suppose qu'aucune nouvelle contrainte ne soit appliquée à la ressource entre 2030 et 2050.

### **3.2.5 Impacts prévisibles des changements climatiques sur les ressources en eau**

Les impacts directs des changements climatiques seront relativement faibles au niveau du stockage dans les barrages et les différents autres ouvrages (conformément la faible diminution de la pluviométrie annuelle). Une gestion optimale et intégrée des écosystèmes permettra de combler ce léger manque pluviométrique. Seules les périodes extrêmes auront des effets négatifs supplémentaires sur la ressource souterraine déjà fragile et surexploitée par endroit. En effet, la succession des périodes sèches ne sera pas bénéfique pour l'agriculture qui supportera un manque d'eau en irrigation, les besoins en eau potable étant prioritaires. En outre, la succession de ces périodes sèches, même si l'on ne connaît pas leur emplacement dans le calendrier, aura pour effet une diminution de la recharge naturelle des nappes phréatiques. Ces dernières seront de plus en plus surexploitées afin de compenser le déficit dans l'irrigation par les eaux de surface. Cette surexploitation sera accompagnée d'une augmentation de la salinité, salinité d'autant plus accentuée que la nappe se situera en zone littorale. En effet, ces zones, qui connaîtront également une élévation du niveau des mers, risquent un inversement du gradient hydraulique et, par conséquent, une intrusion marine.

Les zones humides naturelles et artificielles risquent l'eutrophisation et une dégradation de la qualité des eaux de surface (augmentation de la salinité et de la turbidité). Le dévasement moins fréquent des barrages en période de sécheresse aura pour effet une diminution de la capacité de stockage. Une diminution de la production hydroélectrique sera ainsi attendue en plus de la diminution de l'eau disponible pour l'agriculture. Ces deux phénomènes sont en effet liés car une partie de l'eau destinée à l'agriculture provient des barrages et est également turbinée.

Les inondations ne seront a priori pas plus fréquentes ; cependant, une légère augmentation de l'intensité des pluies est possible. Ce phénomène augmentera l'érosion des sols, d'où l'intérêt de considérer dans la modélisation hydrologique tout l'écosystème et non uniquement le bassin versant. Des zones risquent cependant de souffrir des inondations car la capacité de transit des ouvrages de drainages des buses et des égouts ne permettra pas d'évacuer le surplus d'eau assez rapidement. La connaissance de l'évolution des intensités avec les changements climatiques sera le seul moyen pour permettre la révision des capacités des ouvrages de drainages et des égouts. De plus, une pollution des eaux de surface sera attendue par les produits chimiques issus du lavage des sols et des déchets divers transportés par les eaux.

Le Sud tunisien, qui dispose principalement de ressources en eau issues des nappes profondes, constitue la zone la plus vulnérable. En effet, la demande en eau y augmentera en raison de l'élévation de la température et génèrera une surexploitation des nappes profondes. Les conséquences probables consisteront en la diminution des niveaux piézométriques et la dégradation de la qualité des eaux. La diminution de la piézométrie pourra toutefois être compensée par la création de nouveaux ouvrages de captage plus profonds, ce qui accaparera davantage de moyens financiers et d'énergie.

La diminution de l'eau de bonne qualité risque d'augmenter les conflits entre usages concurrents de l'eau. L'approvisionnement des populations et du cheptel des zones rurales en eau potable sera plus difficile compte tenu de la dégradation de la qualité des eaux des nappes. Le développement de nouvelles solutions sera par conséquent nécessaire afin d'assurer les besoins des zones vulnérables.

### 3.2.6 Conclusion

Au niveau de la ressource en eau, les changements climatiques auront des incidences non négligeables. Il n'est toutefois pas possible, sur la base des informations disponibles, d'en préciser l'importance. Aussi, le rythme et l'ampleur des changements restent tributaires de l'évolution des changements climatiques.

Ni l'extrapolation des données récentes, ni la réduction des échelles des modèles généraux ne permettent de générer les informations souhaitées par les planificateurs et les gestionnaires. Ainsi, les changements climatiques remettent-ils en question les habitudes et les pratiques actuelles par l'insertion d'un élément crucial dans les équations: *l'incertitude*. La prise en compte de cette dernière repose sur une gestion adaptative (ou une gestion des risques et des incertitudes).

Au cours des cinquante dernières années, l'homme a modifié le cycle hydrologique de la plupart des bassins versants par la construction des barrages, les changements d'occupation du sol, le pompage en rivière, les extractions d'eau souterraine ou encore les diversions inter-bassins. De telles modifications, en plus d'avoir altéré les écoulements des rivières et l'hydrologie des bassins de façon significative, limitent également l'usage des données historiques comme référence dans les projections futures.

La seule connaissance des impacts hydrologiques cités ci-dessus demeure donc insuffisante pour appréhender l'évolution des ressources en eau. Il devient nécessaire d'améliorer la compréhension des impacts économiques et sociaux des changements climatiques. Ces derniers sont difficiles à identifier en raison du manque de suivi des indicateurs socio-économiques et hydrologiques à différentes échelles. La satisfaction des besoins des différents usagers de l'eau sous conditions des changements climatiques nécessite par conséquent l'analyse de l'évolution de la demande en eau des secteurs socio-économiques.

Au total, cette section montre qu'il demeure difficile de prévoir les variations de la disponibilité de l'eau à l'échelle du pays. En effet, bien que les chercheurs soient convaincus que la hausse des températures influera sur certaines variables (telle l'évaporation), les incertitudes concernant la nature des variations régionales des régimes de précipitations ainsi que le manque de compréhension de la complexité des écosystèmes naturels limitent la capacité de prévoir les changements hydrologiques à l'échelle des bassins versants.

### 3.3 Les écosystèmes sous l'influence des changements climatiques

Les écosystèmes tunisiens sont résilients, mais ils sont aussi surexploités, voire dégradés malgré les programmes mis en application. La clé de cette évolution se situant dans le poids de la pression humaine, le changement climatique n'interviendrait de la sorte que comme pression additionnelle.

Les *écosystèmes forestiers* tunisiens sont dans des conditions de dégradation assez avancées. Au fil du temps, les *écosystèmes sylvo-pastoraux naturels* tunisiens ont régressé qualitativement et quantitativement tant en superficie qu'en production. Les *sols* tunisiens sont dans un état de dégradation assez avancé en raison de l'érosion hydrique, de l'érosion éolienne et de la salinisation. L'état et l'avenir des *zones humides* littorales sont liés aux activités humaines et aux pressions qu'elles exercent car c'est sur le littoral que se trouvent la plus grande part de l'industrie tunisienne, plus de 60% de la population du pays et les plus importantes infrastructures touristiques du pays.

Il existe également des risques en lien avec les changements climatiques. Il s'agit notamment de la tendance à la progression des incendies du fait de l'augmentation des températures et de l'inflammabilité des biomasses et, de manière plus indirecte, de l'augmentation de la présence invasive de 'neoes' suggérant des nuisances potentielles d'ordre phytosanitaire, vétérinaire, voire de santé publique.

#### 3.3.1 Mise en perspective des écosystèmes tunisiens et des changements climatiques

##### A) Les écosystèmes tunisiens dans la région biogéographique méditerranéenne

Les écosystèmes de l'Arc méditerranéen Sud sont marqués par l'aridité. Ils ont acquis une capacité de résilience autoécologique liée à leur condition biogéographique. Ils sont ainsi capables de faire face à une très grande variabilité climatique, voire à une survenue d'accidents et d'extrêmes climatiques répétés.

Toutefois, les écosystèmes tunisiens sont aussi modelés par les différentes pressions des activités humaines. Leur état, leurs fonctions et, par conséquent, les services qu'ils produisent sont affectés par différentes formes de dégradation.

##### B) Etat des lieux des différents écosystèmes tunisiens

###### a) Les forêts

Les écosystèmes forestiers tunisiens sont actuellement dans des conditions de dégradation assez avancées avec un couvert généralement insuffisant, une structure généralement déséquilibrée et une fonction productive très faible. Par ailleurs, ils continuent à occuper un espace généralement repoussé par les activités agricoles productives et souvent utilisé comme parcours extensif par les troupeaux d'ovins et de caprins des populations forestières riveraines.

Ces usages sont souvent poussés à l'extrême. Ils freinent la régénération naturelle des forêts et amenuisent la superficie forestière naturelle avec un taux de déboisement moyen annuel de 1.2 %. Les incendies de forêts, quoique maîtrisées, réduisent annuellement les superficies forestières de 1'200 ha.

###### b) Les écosystèmes pastoraux

La Tunisie est un pays de tradition pastorale. En témoignent les peintures rupestres de l'ère Cap-sienne que l'on retrouve aussi bien au Sud qu'au Centre du pays. Les Berbères et les Carthaginois étaient des agro-pasteurs et des stèles romaines indiquent que l'élevage, à côté de la céréaliculture et de l'oléiculture, était pratiqué par les romains. Lorsque les Béni Hilla, les pasteurs de la haute Egypte, arrivèrent en Tunisie, ils furent émerveillés par sa verdure et par la richesse de ses pâturages si bien qu'ils la qualifièrent de « Tunisie la verte ».

Toutefois, au fil du temps, les écosystèmes sylvo-pastoraux naturels tunisiens ont régressé qualitativement et quantitativement tant en superficie qu'en production. Cela est dû à l'augmentation de la population, de ses besoins en lait, en viande et en autres produits agricoles de même qu'à la multiplication des effectifs du cheptel et de ses besoins en unités fourragères.

Les écosystèmes pastoraux tunisiens actuels sont composés d'écosystèmes forestiers et steppiques. Leur contexte bioclimatique dépend de leur localisation. L'ambiance bioclimatique des parcours du Nord est humide à sub-humide, celle du Centre semi-aride à aride supérieur et celle du Sud aride inférieur à hyper aride. Le troupeau national, constitué principalement de bovins, d'ovins, de caprins et de camélins, utilise les parcours naturels. Il se répartit, en moyenne sur onze ans, de la manière suivante : 43% au Nord, 33% au Centre et 24% au Sud. La pression exercée est le surpâturage. Les taux de surpâturage sont de 73% pour le Nord, 78% pour le Centre et 80% pour le Sud. Ce taux a doublé en vingt-cinq ans pour les parcours du Centre et en quarante ans pour ceux du Sud. Il est resté assez stable au Nord, n'ayant augmenté que de 0.17% en dix-huit ans.

Signalons enfin que l'eau est un élément essentiel pour le bon fonctionnement des écosystèmes pastoraux.

#### **c) Les sols**

Le sol est un élément primordial dans l'équilibre des écosystèmes et il est déterminant dans le processus de désertification. Actuellement, les sols tunisiens sont dans un état de dégradation assez avancé en raison de l'érosion hydrique, de l'érosion éolienne et de la salinisation. Les causes de la dégradation des sols résident dans les problèmes liés à la gestion des ressources naturelles et sont accentuées par des conditions naturelles difficiles (topographie, sécheresse, inondations, notamment).

#### **d) Les zones humides**

Les zones humides tunisiennes se composent de zones humides littorales et de zones humides continentales. La moitié d'entre elles (400'000 hectares environ) se situe sur le littoral, tout au long des côtes. De ce fait, lagunes, marais temporaires, sebkhas et marais salants sont marqués par la proximité de la mer.

L'état et l'avenir des zones humides littorales sont liés aux activités humaines et aux pressions qu'elles exercent. C'est sur le littoral que se trouvent la plus grande part de l'industrie tunisienne, plus de 60% de la population du pays et les plus importantes infrastructures touristiques.

Les zones humides continentales se différencient selon leur localisation. Au Nord, se trouvent essentiellement des oueds, des rivières et des marais temporaires. C'est également au Nord que se situent les grandes réserves en eaux douces, contrôlées et gérées par le système hydrographique des barrages et des lacs collinaires. Une part importante des zones humides a été asséchée. Les barrages et les lacs collinaires représentent des zones humides artificielles. A l'instar d'une grande partie des zones humides naturelles, elles ne remplissent que partiellement leurs fonctions écologiques.

Les sebkhas et les garaets sont essentiellement localisés au Centre. Il s'agit de dépressions des bassins versants qui retiennent de l'eau souvent saumâtre ou salée pendant une certaine période de l'année. Leur mise en eau dépend fortement des pluies saisonnières. La végétation de ces zones est adaptée à la fois à la salinité et à l'aridité. La tendance à une salinisation croissante est évidente, notamment dans les zones agricoles et sur les sites limitrophes des zones humides.

Dans le Sud du pays, les zones humides renvoient aux oasis. Les activités agricoles des oasis sont soutenues par les réserves des nappes profondes. Les activités touristiques reposent sur la valeur de leurs paysages.

### **3.3.2 Scénario de changement climatique et conséquences directes sur les écosystèmes tunisiens**

#### **A) Scénario de changement climatique**

Dans le scénario retenu pour les écosystèmes (voir la section 2.1), la température moyenne annuelle augmenterait sur l'ensemble du pays, à l'horizon 2030 de +1.1° C, et de +2.1° C à l'horizon 2050.

La variabilité saisonnière du climat (pluviométrie à l'horizon 2050) augmenterait (printemps et automne) sur la base d'une variabilité déjà forte du climat méditerranéen de la Tunisie. A contrario, la variabilité annuelle de la pluviométrie diminuerait.

Les modèles climatiques donnent, avec les réserves d'usage, une tendance à l'horizon 2030 à une légère augmentation de la fréquence et de l'intensité des années extrêmes sèches. Pour les années humides, le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations.

## B) Conséquences directes des changements climatiques pour les écosystèmes tunisiens

### a) Les forêts

Le scénario d'évolution que nous avons retenu suppose que les forêts continuent à évoluer selon la tendance actuelle en respectant les stratégies proposées par la Direction Générale de Forêts. Les forêts domaniales seraient complètement couvertes par le biais des plantations de maquis et garrigues et la reconstitution des maquis et garrigues arborées de même que par les régénérations naturelles assistées qui seraient programmées. Ainsi les superficies forestières passeraient de 591'000 ha en 2000 à 870'000 ha en 2030.

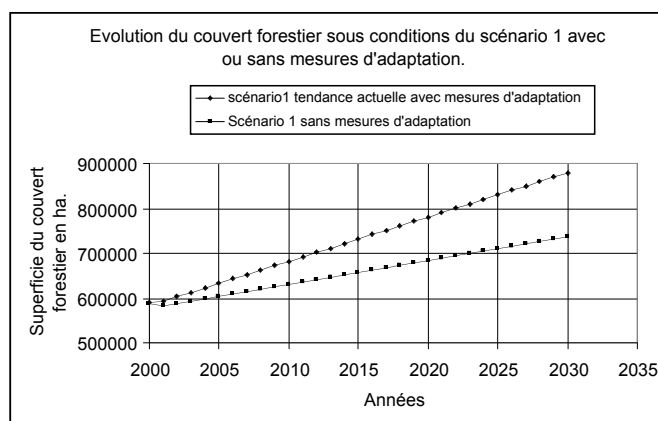


Figure 5 – Evolution du couvert forestier suivant le scénario de base (ligne inférieure)

Toutefois, avec l'élévation des températures, nous faisons l'hypothèse que la forêt va perdre par les incendies – en l'absence de mesures d'adaptation – une superficie d'au moins 6'000 ha/an à l'image de ce qui s'est passé durant les cinquante premières années du siècle dernier en l'absence de mesures de protection. Malgré des plantations de 300'000 ha en trente ans, le couvert forestier ne passerait que de 588'600 ha à 736'900 ha à cause de la perte due aux feux (perte estimée à 180'000 ha sur trente ans ; voir la Figure 5).

### b) Les écosystèmes pastoraux

Les écosystèmes steppiques du centre et du Sud seront toujours fortement convoités et défrichés pour une céréaliculture épisodique et marginale qui, par la suite, les exposera à l'érosion.

Dans le cas d'une péjoration des conditions climatiques, les écosystèmes steppiques verront leurs fonctions pastorales diminuer au centre du pays, voire s'annuler au Sud. Les troupeaux se rabattront sur les parcours du Nord, alourdissant davantage leur charge et augmentant ainsi le taux de leur surpâturage.

Dans le cas de changements climatiques, si aucune action d'amélioration de la production des parcours n'est entreprise, la contribution de ces derniers devrait s'annuler avant terme (2030-2050). L'alimentation du cheptel reposerait alors essentiellement sur les apports extérieurs à la région, notamment dans le cas du Centre et du Sud.

Si l'on se repose sur la continuité des programmes actuels d'amélioration des parcours, du moins en ce qui concerne la plantation d'arbustes fourragers, on observerait une relative amélioration de la production, sans pour autant parvenir à enrayer le surpâturage. Si l'on voulait, sous changement de climat, enrayer le surpâturage, il faudrait mettre en œuvre l'ensemble des pratiques et méthodes d'amélioration pastorales, qu'elles soient d'ordre technique, juridique, sociologique et économique.

Enfin, il faut remarquer que la déconnexion de l'activité d'élevage de son milieu naturel – même si le poids des aléas climatiques devait peser plus encore sur les éleveurs – rend l'élevage de plus en plus dépendant des facteurs méso et macroéconomiques. Dans le cas de l'élevage, l'ouverture de l'agriculture tunisienne pourrait avoir des conséquences socio-économiques et naturelles négatives qui dépasseraient les apports possibles des changements climatiques.

### **c) Les sols**

Tout changement de climat a forcément un impact sur l'évolution des sols qui peut être soit positif, soit négatif. Le changement de climat comme projeté plus haut (faible variation de la pluviosité moyenne et variation des extrêmes assez marquée) augmentera le risque d'inondation et la fréquence des années sèches et de succession d'années sèches. L'élévation avérée de la température accentuera les sécheresses. Sécheresses et inondations provoqueraient, comme expliqué ci-après, une dégradation des sols.

Les impacts des sécheresses sur les écosystèmes et les agrosystèmes peuvent être considérables aussi bien sur le court que sur le long terme. En période de sécheresse, d'une part, le nombre d'espèces végétales et animales diminuerait rapidement et, d'autre part, la production de matériel végétal décroîtrait; ce qui réduirait les résidus organiques qui retournent au sol et par conséquent le stock humique. Par ailleurs, la sécheresse accélérerait la minéralisation de l'humus. Il en résulterait une baisse de fertilité due à l'appauvrissement du sol par manque de colloïdes organiques. Une telle évolution transformerait les sols stables en sols sensibles à la dégradation.

Les sécheresses prolongées conjuguées avec l'aridification pourraient transformer les terres fertiles du Tell (étage bioclimatique du subhumide et du semi-aride supérieur) en sols vulnérables à l'érosion. En termes de production de matière sèche, les sols appauvris en humus voient leur capacité de production diminuer quelque 25 %.

A la suite des sécheresses prolongées et des inondations, l'enchaînement de divers processus de dégradation conduit à la désertification.

En milieu aride, la rareté de la végétation par un surpâturage excessif augmente la vulnérabilité du sol à l'érosion éolienne en période de sécheresse et à l'érosion hydrique au moindre orage.

Les inondations surviennent à la suite de fortes pluies entraînant un ruissellement important sur les terres pentues et une accumulation des eaux en zones déprimées. Le ruissellement sur les surfaces nanties de sols déstabilisés par la sécheresse, notamment en terre arable, entraîne une érosion sous toutes les formes.

L'augmentation des événements extrêmes devrait donc accentuer la dégradation des sols. Ce qui pourrait provoquer la baisse des rendements et une dégradation des revenus. Ces conséquences provoqueraient à leur tour l'extension des terres cultivées, la saturation de l'espace et l'emprise sur les écosystèmes. Cela ne manquerait pas d'accélérer la dégradation des sols. On entrerait ainsi dans un cercle vicieux.

### **d) Les zones humides**

Les écosystèmes tunisiens se sont adaptés à l'alternance des années sèches et des années pluvieuses. Cependant, si, comme le démontrent les études, la quantité d'eau diminuait, les zones humides s'appauvriraient grandement. Leur survie dépendrait alors d'apport d'eau douce. Le système deviendrait ainsi artificiel et deviendrait dépendant de la gestion hydrologique du pays.

Toutefois, l'évolution est lente et les zones humides ont une forte capacité de régénération. Un impact du changement climatique sur les zones humides ne serait tangible qu'à long terme. Les actions anthropiques liées à des impératifs économiques et sociaux restent déterminantes pour la survie des zones humides.

Enfin, l'élévation accélérée du niveau de la mer résultant du changement climatique est à souligner car elle risque fortement de changer la morphologie des côtes et ainsi de transformer les zones humides. L'impact de l'élévation accélérée de l'eau de mer provoquerait à la fois des créations et des destructions de zones humides. La salinisation grandissante des zones humides constituerait un impact négatif du phénomène de la montée des eaux.

### 3.3.3 Risques environnementaux en conséquence des changements climatiques

Les principaux risques environnementaux auxquels la Tunisie pourrait faire face à l'horizon 2030-2050 seraient la progression des incendies et l'intrusion des espèces 'neoes'<sup>1</sup>.

Relevons que ces risques s'exerceraient sur fond d'écosystèmes déjà fortement perturbés ou dégradés par la pression humaine. Il est donc à craindre que des écosystèmes déjà « fortement déstabilisés » pourraient, dans certains cas régionaux et locaux et dans des situations environnementales spécifiques, subir des dégradations encore plus fortes qu'actuellement et perdre leurs fonctions et services environnementaux et socio-économiques. De même, il est clair que la responsabilité du climat face à une telle dégradation environnementale future reste limitée, voire minime.

#### A) Les feux de forêts

##### a) Augmentation des températures et inflammabilité

Une augmentation de la température d'un stock de combustible augmente son inflammabilité. C'est une loi physique. L'augmentation de la température de +0.8 à +1.3° C en Tunisie (du Nord au Sud), retenue comme scénario de base, augmenterait donc sensiblement l'inflammabilité de tout couvert végétal.

##### b) Evolution du stock de combustible

L'inflammabilité définit le risque d'éclosion d'un feu dans un environnement défini. Le stock combustible définit l'intensité d'un feu ainsi que sa grandeur en surface. Sans stock combustible suffisant, il n'y a pas de feu. L'évolution d'un stock combustible végétal dépend de la productivité biologique spécifique d'un écosystème, des précipitations, de la température et des pressions humaines.

Malgré les incertitudes relatives aux projections climatiques du scénario de base, une légère baisse des précipitations au Sud et une sensible hausse des précipitations au Nord-Ouest sont prévisibles. Une sensible augmentation des précipitations au Nord-Ouest, région déjà fortement boisée, pourrait donc augmenter le stock combustible et par conséquent les risques d'incendies.

Le deuxième facteur déterminant la quantité d'un stock combustible est la pression humaine. Si, comme cela est défini dans les scénarii agrosystèmes (section 2.4), de plus en plus de terres marginales ne seraient plus utilisées pour la production en conséquence de l'ouverture des marchés agricoles, ces dernières pourraient contribuer à l'augmentation du stock combustible.

##### c) Conséquences environnementales et socio-économiques d'une progression des incendies

L'augmentation des feux de végétation n'est pas d'un point de vue strictement scientifique et écologique un problème car le feu est l'un des facteurs dynamiques clés des écosystèmes méditerranéens. Les conséquences environnementales et, avant tout, socio-économiques peuvent néanmoins être importantes – perte du capital productif (d'un point de vue sylvicole), infrastructures et habitations endommagées et même dans certains cas perte de vies humaines. De surcroît, la valeur et les services que les écosystèmes procurent à la société seraient durement et durablement affectés.

Les changements climatiques pourraient accroître les risques de feux de végétation. Le Nord de la Tunisie serait particulièrement affecté par une telle évolution car, en plus de l'augmentation des températures, le stock combustible pourrait considérablement augmenter à cause d'une augmentation des précipitations et de l'ouverture des marchés agricoles. La région est déjà actuellement la plus boisée de Tunisie. La progression des incendies, surtout de grands incendies nécessitant de grands stocks de combustibles, dans le Nord tunisien, pourrait avoir des conséquences particulièrement négatives pour toute l'économie tunisienne en mettant en danger les systèmes des barrages et l'approvisionnement en eau d'une grande partie du pays. L'éclosion de grands feux et leur multiplication pourraient engendrer des phénomènes d'érosion et dans certains cas provoquer des glissements de terrains amenant à perturber le fonctionnement d'un ou de plusieurs barrages.

---

<sup>1</sup> Espèces invasives (néophytes, néozoes, nouvelles maladies humaines, vétérinaires et phytosanitaire).

## **B) La menace des espèces ‘neoes’**

Les néophytes, espèces vivantes introduites avec un potentiel invasif, peuvent devenir nuisibles pour un écosystème. Globalement, la communauté scientifique accepte le fait que les risques pour les écosystèmes dus à des espèces invasives pourraient devenir de plus en plus pesants pour l’avenir des écosystèmes naturels, des agrosystèmes, voire au niveau de la santé publique.

### **3.3.4 Conclusion**

Les écosystèmes tunisiens sont résilients, mais dégradés ou surexploités malgré les programmes mis en application. La raison tient au poids de la pression humaine. En ce sens, le changement climatique intervient comme pression additionnelle. Les premières mesures en termes d’adaptation aux changements climatiques pourraient donc porter sur la réhabilitation des écosystèmes naturels au sens de leur capacité de résilience et sur la revalorisation de leur rôle dans l’agro-économie, dans l’économie et dans la société, elles-mêmes en évolution.

Enfin, des risques nouveaux pourraient survenir en lien avec les changements climatiques. Il pourrait s’agir d’une progression des incendies du fait de l’augmentation des températures et de l’inflammabilité des biomasses et, de manière plus indirecte, d’une augmentation de la présence invasive d’espèces dites ‘neoes’ pouvant entraîner des nuisances d’ordre phytosanitaire, vétérinaire, éventuellement de santé publique.

## **3.4 Les agrosystèmes et le secteur agricole sous l’influence des changements climatiques**

Les agrosystèmes tunisiens subissent deux sortes de forçages, au sens de pressions. En premier lieu, l’ouverture de l’économie tunisienne aux marchés internationaux provoque un forçage économique. En second lieu, le secteur agricole subit à la marge les pressions du changement climatique. Il s’agit du forçage climatique.

Le forçage économique, soumis aux hypothèses de croissance du planificateur, a été évalué selon deux scénarios d’ouverture (lent ou rapide). Les impacts probables du forçage économique ont été évalués en termes d’occupation des sols, des besoins en eau d’irrigation, de croissance de la taille économique du secteur agricole et d’augmentation du bien-être. Sans changement climatique extrême, l’augmentation des rendements permettrait de réaliser les taux de croissance prévus par le planificateur. En outre, l’ouverture de l’économie tunisienne s’accompagne d’une amélioration du bien-être global.

Le forçage climatique intervient en second lieu, « à la marge ». Les résultats des projections montrent qu’en cas de sécheresse et quel que soit le scénario d’ouverture économique retenu, les baisses des productions pluviales ne permettraient pas d’atteindre les taux de croissance planifiés. Des stratégies d’adaptation apparaissent donc nécessaires pour réaliser les objectifs économiques indiqués par la planification.

### **3.4.1 Introduction**

La Tunisie, en signant des accords commerciaux avec ses principaux partenaires et en adhérant à l’OMC, a initié l’ouverture de son économie sur l’extérieur et, par voie de conséquence, celle de son secteur agricole.

Lors de l’élaboration de la stratégie de développement économique et social de la prochaine décennie 2006-2016, le planificateur tunisien a fixé des objectifs en termes de taux de croissance pour toute l’économie, secteur agricole compris.

L’exercice entrepris ici est de vérifier si les niveaux de PIB agricole (selon les objectifs recherchés par le planificateur) sont réalisables compte tenu des conséquences anticipées de l’ouverture de l’éco-



nomie. La conciliation de ces deux exigences d'ouverture et de croissance devrait être réalisée soit par une utilisation additionnelle de facteurs, soit par une amélioration de la productivité de ces derniers, soit par la conjugaison des deux à la fois. Un processus itératif doit permettre la vérification de la compatibilité de ces deux exigences.

Outre le forçage économique, les changements climatiques risquent de mettre l'économie tunisienne sous l'influence d'événements climatiques extrêmes et de la placer ainsi sous un forçage climatique. Une simulation est par conséquent également nécessaire afin d'apprécier les conséquences de ces changements sur un secteur agricole évoluant vers une agro-économie ouverte.

### 3.4.2 Forçages économiques

#### A) Hypothèses de croissance

Les taux de croissance retenus par le planificateur jusqu'à l'horizon 2016 et qui ont été prolongés jusqu'en 2030 sont indiqués dans le Tableau XI.

**Tableau XI – Evolution des taux de croissance sectorielle durant la période 2002-2030**

Périodes	2002-2006	2007-2011	2011-2016	2017-2030
Ensemble de l'économie	4.70 %	6.10 %	6.50 %	6.50 %
Agriculture	2.52 %	3.12 %	3.45 %	3.45 %
Industrie manufacturière	2.23 %	4.59 %	5.38 %	5.38 %
Industrie non manufacturière	3.16 %	3.65 %	4.61 %	4.61 %
Services	6.18 %	7.67 %	7.63 %	7.63 %

Source : Note décennale d'orientation, Développement et Coopération Internationale

#### B) Scénarios d'ouverture

Deux scénarios de libéralisation de l'économie tunisienne ont été retenus pour projeter le développement du secteur agricole aux horizons 2016 et 2030. Les deux scénarios considèrent une ouverture totale de l'économie tunisienne à l'horizon 2030 et la suppression de toutes les barrières à l'échange à l'échelle internationale. Les deux scénarios se distinguent par le rythme de la mise en œuvre de l'ouverture. Le premier scénario simule un rythme d'ouverture lent tandis que le second suppose une levée rapide des entraves au commerce international.

##### *Scénario 1 : ouverture lente*

- Réduction du taux de protection à l'importation de 50 % à l'horizon 2016.
- *Maintien des subventions à l'exportation jusqu'en 2016.*
- Élimination des protections entre 2017 et 2030.

##### *Scénario 2 : ouverture rapide*

- Réduction du taux de protection à l'importation de 50 % à l'horizon 2016.
- *Réduction des subventions à l'exportation à hauteur de 50 % à l'horizon 2016.*
- Élimination des protections entre 2017 et 2030.

#### C) Appréciation quantitative des impacts

Les conséquences de la libéralisation des échanges ont été évaluées selon les scénarios proposés sur l'occupation des sols, les besoins en eau, le PIB agricole et le bien-être.

##### a) Occupation du sol par les cultures

Les variations attendues de l'occupation du sol ont été inspirées d'un modèle sectoriel datant de 2003, comme indiqué par le Tableau XII. Les baisses présentées sont supposées se réaliser à l'horizon 2016. A l'horizon 2030, l'hypothèse retenue considère que la baisse observée en 2016 doublera.

**Tableau XII – Variations attendues des superficies sous ouverture de l'économie à l'horizon 2016**

Occupation du sol	Scénario 1	Scénario 2
Céréales	-15.42 %	-14.84 %
Cultures maraîchères	-0.95 %	-1.86 %
Légumineuses	8.68 %	9.37 %
Fourrages	-5.14 %	-5.15 %
Arboriculture	Superficies supposées fixes	

La variation la plus notable concerne les emblavures céréalières, dont la superficie passerait de 1'450'000 ha en moyenne actuellement à 1'020'000 ha environ en 2030, soit une baisse d'environ 30 %, tant pour le scénario 1 que pour le 2. Une telle diminution est confirmée par d'autres études qui ont estimé à près de 900'000 ha les surfaces des terres à vocation céréalière.

**b) Cultures irriguées et leurs besoins en eau**

Les prévisions montrent que les superficies irriguées diminueraient légèrement (d'environ 389'000 ha durant la période 2006-2011, à 376'000 ha en 2030.

Les besoins en eau d'irrigation à la parcelle atteindraient environ 1.2 milliard de m<sup>3</sup>, en 2030, quel que soit le scénario envisagé. Cette demande d'eau est compatible avec les disponibilités déduites de la projection des ressources hydriques sous le forçage climatique.

**c) PIB agricole**

Le PIB agricole, suite à la baisse des superficies et pour des rendements identiques à la situation de référence, accuserait une diminution de 2.5 % en 2011, 4.1 % en 2016 et 5.1 % en 2030 selon le scénario 1. Cette baisse serait respectivement de 2.9 % en 2011, de 3.1 % en 2016 et de 9.6 % en 2030 selon le scénario 2.

**d) Effets de l'ouverture sur le bien-être (au niveau des producteurs)**

L'analyse des effets sur le bien-être des producteurs a été conduite selon deux critères d'évaluation. Le premier a considéré le revenu d'un nombre d'exploitations types supposées être représentatives de l'ensemble des unités de production. Le second a considéré le surplus des producteurs ; il est donc de nature plus agrégée et devrait permettre d'apprécier les effets sur l'ensemble des producteurs considérés.

*Impacts sur les revenus des exploitants*

Au niveau des impacts sur les revenus des exploitants, on peut retenir une diminution générale (allant jusqu'à 7,2 % notamment dans le Tell central) à l'exception des exploitants des régions du Tell Inférieur, de la Dorsale et de la Dorsale Occidentale dont les revenus augmenteraient par rapport à la situation de référence.

Les types d'exploitations qui seraient les plus touchées par cette ouverture semblent être les petites exploitations à structure déséquilibrée à l'exception des exploitations des régions du sud et de la dorsale.

Les systèmes de production les plus fragiles aux changements des politiques commerciales, en termes de diminution de leurs revenus (allant de 10 à 20 %), sont les petites exploitations de la Kroumirie, les systèmes de céréaliculture épisodique et d'élevage ovin sur parcours au Centre, les systèmes extensifs du Centre, les systèmes intensifs du Centre et les systèmes mixte du Centre (bovin intensif).

Par contre, les systèmes de production les plus stables en termes de diminution de leurs revenus sont les grandes exploitations de la Kroumirie et de la Dorsale, les systèmes de subsistance du Tell central et les systèmes oléicoles.

Les types de systèmes de production qui profiteraient de cette ouverture sont les exploitations moyennes de la Kroumirie et celles de la Dorsale et du Tell Inférieur, les systèmes de l'agriculture de

montagne et les petites exploitations périurbaines.

En conclusion, pour les deux scénarios, on peut retenir que les exploitations qui sont concernées par les baisses de revenu sont celles pratiquant une agriculture extensive et disposant de structures de production peu équilibrées. Ces exploitations étant localisées sur les terres en pente ou sur des parcours, leur existence se justifie essentiellement par des considérations sociales.

#### *Impacts en termes de surplus du producteur*

Au vu des résultats des deux scénarios, on peut constater l'existence d'exploitations qui connaîtraient d'importantes baisses de revenus alors que d'autres verraient leurs revenus augmenter. L'analyse montre que la variation du surplus des producteurs, dans les deux scénarios, demeure négative. En d'autres termes, les pertes enregistrées par certaines exploitations ne peuvent être compensées par les gains des exploitations plus compétitives.

#### *Le surplus social*

Le surplus social traduit l'agrégation des effets de l'ouverture économique sur les deux agents économiques, consommateurs et producteurs. D'une manière plus précise, le surplus social correspond à la somme du surplus des producteurs et du surplus des consommateurs. Ce surplus accuse un accroissement de 0.78 % dans le cas du scénario 1, contre un accroissement de 11.51 % pour le scénario 2. Cette amélioration est due à l'augmentation du surplus des consommateurs qui disposeront de biens moins chers. Autrement dit, l'ouverture de l'économie tunisienne devrait s'accompagner d'une amélioration du bien-être global. En revanche, elle posera vraisemblablement des problèmes de répartition de ce surplus entre les agents.

### **D) Gain de productivité pour atteindre les objectifs du planificateur**

La compensation des baisses enregistrées au niveau du PIB agricole pour atteindre les objectifs fixés par le planificateur à l'horizon de 2016 demande un effort d'amélioration de la productivité des facteurs de production. Cette amélioration doit se manifester par une amélioration des rendements actuels durant notamment la période 2017-2030.

Hormis le cas des cultures céréalières, l'augmentation des rendements assurant la compatibilité des exigences de la libéralisation des échanges et les objectifs de croissance paraissent réalisables. Dans ces conditions, l'adoption de la politique d'ouverture économique permettrait de réaliser les taux de croissance visés. Elle pose, toutefois, des problèmes sociaux consécutifs à la non-durabilité économique des exploitations les moins performantes.

### **3.4.3 Appréciation quantitative des événements climatiques attendus sur les équilibres obtenus**

On suppose que les changements climatiques se traduisent par l'avènement d'événements climatiques extrêmes répétitifs (sécheresse et inondations). En ce qui concerne le réchauffement projeté, exprimé en termes de hausses des températures extrêmes, ces dernières sont supposées être en deçà des maximums végétatifs des cultures pratiquées. Par conséquent, les cultures observées sont physiologiquement en mesure de supporter les hausses anticipées.

Les événements extrêmes retenus ici sont relatifs à une succession de sécheresse et d'années pluvieuses durant deux années, au Nord, et trois années sur le reste du pays. Une année est considérée comme sèche si la pluviométrie reçue est égale ou inférieure à 50 % de la moyenne calculée sur cinquante ans. Une année est en revanche considérée comme pluvieuse si les précipitations enregistrées sont au moins équivalentes à 1.5 fois la moyenne.

#### **A) Cas de sécheresse**

Suite à une sécheresse, les cultures pluviales sont les plus affectées, les ressources d'eau mobilisées étant supposées couvrir les besoins des cultures irriguées. Les spéculations concernées sont la céréaliculture en pluvial, l'arboriculture non irriguée et l'élevage. Les hypothèses retenues pour cette affectation sont les suivantes:

- Les superficies des cultures céréalières connaîtront une baisse d'environ 200'000 ha, réparties selon les régions au prorata de leur importance relative actuelle. Ces baisses concernent essentiellement les régions du Centre et du Sud.
- La superficie de l'arboriculture baissera à concurrence de 800'000 ha, environ. Cette baisse est répartie selon les espèces fruitières menées en sec en fonction de leur importance relative à l'échelle nationale ; notamment dans les régions du Centre et du Sud.
- L'effectif de cheptel (bovins, ovins et caprins) baissera d'environ 80 % dans le centre et le Sud, contre 20 % au Nord.

La projection des variables retenues pour évaluer les effets quantitatifs de la sécheresse sur le secteur agricole est élaborée pour les horizons temporels 2016 et 2030, précédés par une succession d'années sèches.

#### **a) Occupation du sol par les cultures**

En cas d'ouverture lente, les superficies des céréales passeraient de 1'229'000 ha à environ 1'027'000 ha, soit une baisse de 16%, en 2016, ces superficies passant de 1'021'000 ha à 854'000 ha, soit une baisse de 20 % en 2030. Les superficies d'oléiculture, par exemple, évolueraient de 1'568'000 ha à 941'000 ha, suite au même évènement en 2016, soit une baisse de 40 % environ.

En cas d'ouverture rapide, les superficies céréalières et arboricoles diminueraient au même rythme qu'en cas d'ouverture lente.

#### **b) Niveaux des productions**

Pour le scénario anticipant une ouverture économique lente, les productions des céréales en sec passeraient de 2'009'450 tonnes à 1'169'450 tonnes, en 2016, soit une baisse de 42 %. En 2030, ces productions évolueraient de 1'971'720 tonnes, à 1'095'610 tonnes, soit une baisse de 44 %.

La production oléicole passerait de 815'920 tonnes à 391'640 tonnes, en 2016 et de 856'710 tonnes à 411'220 tonnes, en 2030, soit une baisse de 52 %. La production de viande (en vif) accuserait finalement une baisse de 33 à 66 %, en fonction de l'espèce animale.

En scénario d'ouverture haute, l'effet de la sécheresse s'accompagnerait d'une baisse de la production des céréales, en pluvial, à concurrence de 42 % en 2016 et de 44 % en 2030.

La production oléicole en sec accuserait une baisse de 52 % pour les deux horizons. La production animale diminuerait de 34 % en 2016, contre une baisse de 36 à 49 % respectivement pour les espèces ovines et caprines.

Quant au cheptel (bovins, ovins et caprins), il baisserait jusqu'à 80% au Centre et au Sud et de quelque 20% au Nord en cas de cumul d'années sèches extrêmes.

#### **c) PIB agricole**

Dans le cas anticipant une ouverture lente, le PIB agricole passerait de 3'191 millions de dinars à 2'512 millions de dinars en 2016 (-21 %) et de 3'294 millions de dinars à 2'547 millions de dinars en 2030 (-22.5 %).

Dans le second scénario, le PIB agricole diminuerait de 3'213 millions de dinars à 2'564 millions de dinars en 2016 et de 3'161 millions de dinars à 2'567 en 2030, soit une baisse, respectivement, de 20 % et 19 %.

### **B) Cas d'années à pluviométrie favorable**

Suite à des années favorables en pluie, on suppose que les zones basses connaissent une situation d'hydromorphie rendant la pratique des cultures maraîchères difficile, notamment en hiver. Les superficies de ces cultures baisseraient d'environ 50'000 ha. Celles des cultures pluviales (céréales et arboriculture) bénéficieraient d'une augmentation de rendements à concurrence de 20 %. L'élevage bénéficierait également d'une hausse de son rendement à concurrence de 10 %.

#### **a) Occupation du sol par les cultures**

En cas d'ouverture lente et suite à des années favorables, les superficies des céréales diminueraient de 1'229'000 ha à 1'223'000 ha, soit une baisse de 0.44 % en 2016. Ces superficies passeraient de 1'005'000 ha à 1'000'000 ha en 2030, soit une baisse de 0.38 %.

Les superficies arboricoles garderaient les mêmes superficies alors que les superficies des cultures maraîchères en irrigué accuseraient une baisse de 13 %.

En cas d'ouverture économique rapide, les superficies céréalières et arboricoles diminueraient presque au même rythme que celui du cas d'ouverture lente.

#### **b) Niveaux des productions**

Pour les deux scénarios d'ouverture, une inondation s'accompagnerait d'une baisse de la production des céréales, en irrigué, à concurrence de 13 %, en 2016 et en 2030, contre une augmentation de 20 %, en sec. Celle de l'oléiculture en sec augmenterait de 20 % et la production animale de 10%.

#### **c) PIB agricole**

En scénario d'ouverture économique lente, le PIB agricole passerait de 3'186 millions de dinars à 3'370 millions en 2016 et de 3'295 millions de dinars à 3'481 millions en 2030, soit une augmentation de 3.3 % et de 6.6 %.

Selon le scénario d'ouverture économique rapide, le PIB agricole passerait de 3'213 millions de dinars à 3'390 millions en 2016 et de 3'305 millions à 3'487 en 2030, soit un accroissement respectif de 3 % et de 7.4 %.

### **3.4.4 Conclusion**

En guise de conclusion, on peut retenir comme résultats de cette simulation des conséquences de l'ouverture économique, sans changements climatiques extrêmes, que, hormis le cas des cultures céréalières, les accroissements des rendements sont réalisables. Les objectifs de croissance sont donc compatibles avec la volonté de libéralisation des échanges.

L'ouverture de l'économie tunisienne s'accompagnerait d'une amélioration du bien-être global (accroissement de 0.78 % pour le scénario 1, contre un accroissement de 11.51 % pour le scénario 2). En revanche, elle poserait des problèmes de répartition de ce gain entre les différentes catégories d'agents et au sein de chacune d'entre elles.

Lorsque les changements climatiques sont considérés, les résultats des projections de l'ouverture économique montrent qu'en cas de sécheresse et quel que soit le scénario d'ouverture, les baisses des productions pluviales n'autorisent pas la réalisation des taux de croissance exigés par le planificateur. Des stratégies d'adaptation sont donc nécessaires si la volonté reste de réaliser de tels objectifs.

En revanche, les conditions climatiques favorables se traduiront par des augmentations du PIB allant, en cas d'ouverture lente, de 3.3 % et de 6.6 % suivant les deux horizons, à, en cas d'ouverture rapide, de 3 % et de 7.4 % selon les deux horizons.

# CAHIER 4

## STRATÉGIE NATIONALE INTÉGRÉE

### Sommaire

4.1	Introduction.....	3
4.2	Images directrices nationales .....	3
4.2.1	Image directrice « climat ».....	3
4.2.2	Image directrice « ressources en eau » .....	5
4.2.3	Image directrice « écosystèmes » .....	6
4.2.4	Image directrice « agrosystèmes et secteur agricole » .....	7
4.3	Stratégie nationale intégrée d'adaptation aux changements climatiques .....	8
4.3.1	Principes directeurs .....	8
4.3.2	Climat .....	9
4.3.3	Ressources en eau .....	10
4.3.4	Ecosystèmes .....	12
4.3.5	Agrosystèmes et secteur agricole.....	13
4.3.6	Niveau international .....	14
4.3.7	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche .....	15

## 4.1 Introduction

Les Images directrices sont tout d'abord présentées. Elles *fondent* à l'horizon 2030 les conséquences possibles du changement climatique dans les différents « secteurs » sous revue (climat, écosystèmes, ressources en eau, agrosystèmes et secteur agricole). Elles montrent les situations à l'égard desquelles une stratégie d'adaptation s'avère nécessaire. Ces images constituent ainsi les points d'ancrage de la stratégie nationale. Elles sont présentées par secteur.

La Stratégie nationale d'adaptation est ensuite développée. Son exposé prolonge et explicite la stratégie nationale intégrée tunisienne introduite dans le **Cahier 2**.

## 4.2 Images directrices nationales

CLIMAT

### 4.2.1 Image directrice « climat »

L'Image directrice du « climat » fournit les tendances principales de la modélisation à l'horizon 2030. Les projections climatiques pour la Tunisie ont été construites sur la base des résultats du modèle HadCM3 aux horizons temporels 2020 et 2050.

Les projections climatiques donnent, avec les réserves d'usage, une tendance à l'horizon 2030 à une légère augmentation de la fréquence et de l'intensité des *années extrêmes sèches*. Pour les *années humides*, le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations.

Un modèle ne pouvant pas fournir la fréquence précise de tels événements, ces derniers sont définis et placés à l'horizon 2030 par les groupes d'experts (en ce qui concerne la succession des années très sèches, par exemple).

En termes d'adaptation, des mesures visant à renforcer les systèmes d'alerte, notamment régionalisés, s'imposent donc.

**TEMPERATURES.** Pour la **température moyenne annuelle et saisonnière** à l'horizon 2020, le modèle conclut à l'élévation générale des températures par rapport à la période référence (1961-1990). L'augmentation moyenne annuelle sur l'ensemble du pays des scénarios moyens A2 et B2 est de +1.1° C à l'horizon 2020 et de +2.1° C à l'horizon 2050 (la Figure 1 situe les différents scénarios à l'horizon 2100).

De 2020 à 2050, le rythme du changement climatique devrait s'accroître (la Figure 2 donne les élévations de température du scénario A2 aux horizons 2020 et 2050).

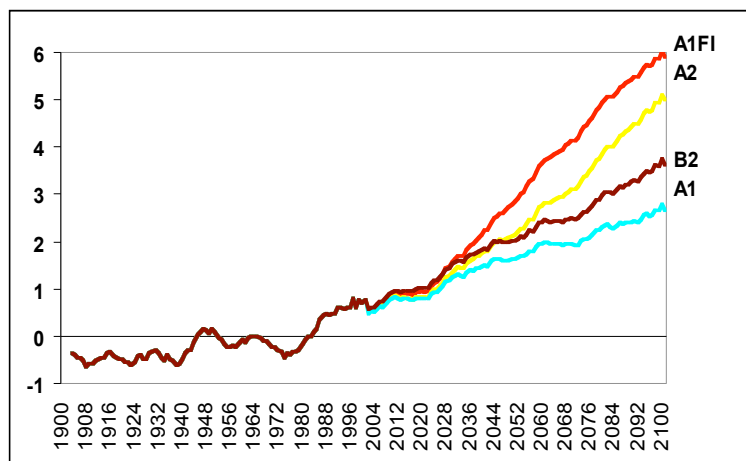


Figure 1 – Scénarios de température pour la Tunisie à l'horizon 2100

L'examen des **variations saisonnières de la température** montre que les températures estivales augmentent plus fortement (+0.9° C à +1.6° C) et les températures hivernales plus faiblement (+0.7° C à +1.0° C) à l'horizon 2020. L'automne et le printemps constituent des cas intermédiaires avec des augmentations respectives de (+0.9° C à +1.4° C) et de (+0.6° C à +1.2° C). Le printemps connaît toutefois les modifications les plus importantes des zones d'augmentation entre 2020 et 2050.

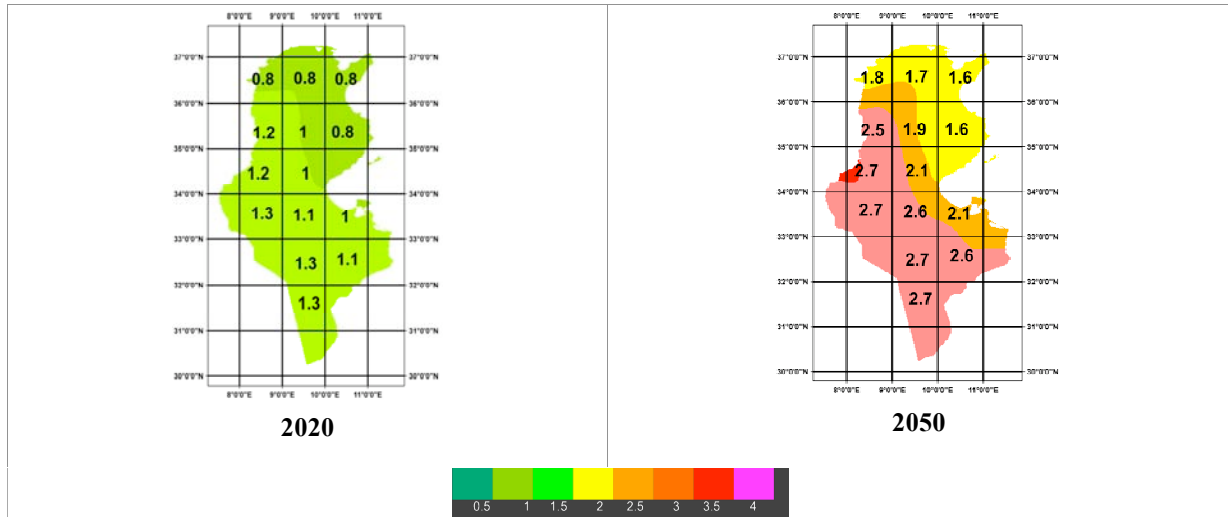


Figure 2 – Illustration des scénarios de température A2 aux horizons 2020 et 2050

**PRECIPITATIONS.** Pour les **précipitations moyennes**, le modèle montre une tendance générale à la baisse. Cette baisse est modérée à l'horizon 2020, mais s'accroît à l'horizon 2050 pour le scénario B2. La diminution est de -5 % au Nord, de -8 % au Cap Bon et Nord-Est et de -10 % à l'Extrême Sud.

À l'horizon 2050, la baisse des précipitations s'accroît, variant alors de -10 % au Nord-Ouest à -30 % à l'Extrême Sud. Trois zones se différencient : l'extrême Ouest du pays connaît une faible diminution des précipitations (-10 %), le Sud subit une plus forte baisse (-27 %) comparativement au reste du pays dont la quantité de précipitations baisse de -12 % à -16 %.

La **variabilité saisonnière** de la pluviométrie à l'horizon 2030 (sur la base des projections climatiques 2020-2050) pourrait augmenter (printemps et automne) sur fond de *variabilité déjà forte du climat méditerranéen* de la Tunisie. A contrario, mais sous plus forte incertitude, la variabilité *annuelle* de la pluviométrie diminuerait très faiblement à l'horizon 2030 (diminution plus importante en hiver et en été).

**REGIONS.** L'élévation des **températures** et l'évolution de la **variabilité des précipitations** peuvent être détaillées au niveau des principales régions tunisiennes (Nord, Centre, Sud, Est, Ouest). Ces précisions supplémentaires issues des modèles climatiques permettent de mieux spécifier les impacts des changements climatiques sur les activités humaines et, par conséquent, les stratégies nécessaires à leur adaptation. La variabilité des précipitations reste incertaine.

À l'échelle régionale et à l'horizon 2030, la région du **Nord** connaît, selon les prévisions, les élévations des températures annuelles et saisonnières ainsi que les baisses des précipitations les plus faibles. La variabilité des précipitations y est par contre stable par rapport à la période de référence. Les années extrêmes très humides et très sèches diminuent très légèrement. Les années sèches demeurent isolées au Nord.

Le **Centre** est sujet à une élévation des températures plus importantes que dans la région Nord. La diminution des précipitations annuelles y est par contre légèrement plus importante. La variabilité des précipitations diminue par rapport à la période de référence. Néanmoins, ce résultat demeure instable et dépend fortement de la période de référence considérée. Le nombre d'années sèches isolées ainsi



que les successions de deux années sèches augmentent par rapport à la période de référence.

Le **Sud** est sujet à l'élévation la plus importante des températures annuelles. La diminution des précipitations annuelles y est également forte. La variabilité des précipitations dépend à nouveau de la période de référence considérée. Les précipitations moyennes des années très humides baissent de même que celles des années très sèches. Une augmentation plus importante des années sèches ainsi que des successions de deux et de trois années est encore prévisible.

#### 4.2.2 Image directrice « ressources en eau »

#### RESSOURCES EN EAU

L'Image directrice « ressources en eau » statue sur la situation de l'eau mobilisée en Tunisie, sous changements climatiques à l'horizon 2030. Un encadré fournit tout d'abord le relevé de la situation. Ensuite l'Image directrice est projetée. L'accent est porté sur une eau rare pouvant se raréfier davantage.

L'eau mobilisée en Tunisie se répartit en eaux de surface (51 %) et en eaux souterraines (49 %). L'eau exploitée se répartit entre les barrages (20.5 %), les nappes phréatiques (33.2 %) et les nappes profondes (46.3 %).

Le 88% des nappes phréatiques est à salinité supérieure à 3g/litre. L'usage actuel de l'eau se présente comme suit : 81% pour l'agriculture, 14 % pour les particuliers et les collectivités, 4% l'industrie et environ 1% pour le tourisme.

L'eau est l'actif naturel de base des agrosystèmes et des écosystèmes; dans l'Arc méditerranéen Sud, marqué par l'aridité, la Tunisie dépend étroitement de la qualité et de la disponibilité de cet actif à moyen et long terme. La quantité disponible (exploitable) par habitant et par an est de 340 m<sup>3</sup>.

L'eau, déjà rare et pouvant se raréfier encore, bénéficie d'une valeur supérieure à celle à laquelle l'économie l'exploite; son usage économique devrait être soumis à une allocation visant, à travers le prix courant de l'eau, à se rapprocher de sa valeur la plus réaliste possible. Un accroissement de la rareté de l'eau se traduirait par une diminution de son allocation à l'agriculture.

La connaissance à ce jour des variables hydrologiques liées aux changements climatiques reste entachée de fortes incertitudes. Toutefois, sur la base d'une amorce de modélisation, il a été possible de déduire que les ressources en eaux conventionnelles diminueraient d'environ 28% à l'horizon 2030. Cette diminution sera localisée au niveau des nappes phréatiques de fortes salinités, des nappes littorales et des aquifères non renouvelables. La diminution des eaux de surface sera d'environ 5% à l'horizon 2030.

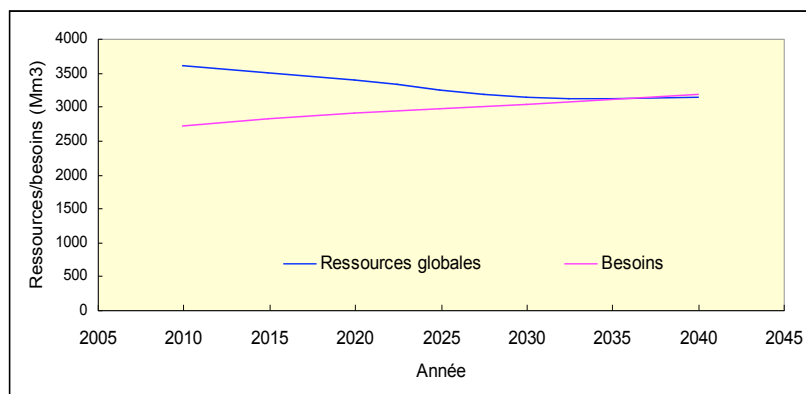


Figure 3 – Evolution pressentie des ressources et des besoins en eau à l'horizon 2045

La confrontation des ressources et de la demande en eau montre que la mise en place des programmes courants permettra la satisfaction des besoins à l'horizon 2030. Cependant, un simple

retard se traduira par un déséquilibre bien avant cette date. Ainsi, la gestion des barrages et la mise en place effective des différents programmes d'économie d'eau à toutes les échelles joueront un rôle essentiel dans la disponibilité de la ressource en eau. Les changements climatiques se feront davantage ressentir si l'évolution des techniques, des écosystèmes, des traditions, des comportements et des usages ne permet pas une meilleure gestion de la ressource (cf. Fig. 3).

Les changements climatiques, en particulier, remettent en question les habitudes et les pratiques actuelles par l'introduction d'un élément crucial dans les équations: *l'incertitude*.

### 4.2.3 Image directrice « écosystèmes »

### ECOSYSTEMES

Les écosystèmes tunisiens se composent, suivant l'inventaire forestier national, de forêts, maquis et garrigues (1 million ha), de parcours naturels (4,5 millions ha), de zones humides (0.5 million ha) et de terres non agricoles (6 millions ha).

Les écosystèmes tunisiens sont résilients, mais ils sont aussi surexploités, voire dégradés malgré les programmes mis en application. Ils se trouvent modelés par la pression des activités humaines. Leur état actuel, les services qu'ils procurent, les fonctions qu'ils offrent se situent ainsi au-dessous de leurs capacités naturelles. Les changements climatiques interviennent comme pression additionnelle.

Les *écosystèmes forestiers* tunisiens sont dans des conditions de dégradation assez avancées.

Au fil du temps, les *écosystèmes sylvo-pastoraux* naturels tunisiens ont régressé qualitativement et quantitativement tant en superficie qu'en production.

Les *sols tunisiens* sont dans un état de dégradation assez avancé en raison de l'érosion hydrique, de l'érosion éolienne et de la salinisation.

L'état et l'avenir des *zones humides littorales* sont liés aux activités humaines et aux pressions qu'elles exercent car c'est sur le littoral que se trouvent la plus grande part de l'industrie tunisienne, plus de 60% de la population et les plus importantes infrastructures touristiques du pays.

A l'horizon 2030, le changement climatique pourrait exercer un effet de revalorisation de ces services procurés, de ces fonctions, voire de leur existence naturelle. Par exemple, la valeur de la forêt ne pourrait ne plus tenir seulement dans la production classique de parcours et plantes pastorales, de liège, de bois, de valeur récréative (50 millions de dinars), mais dans les services environnementaux – séquestration du carbone, conservation des eaux et des sols, maintien de la biodiversité, par exemple (500 millions de dinars en ordre de grandeur).

D'autres risques pourraient survenir en lien avec les changements climatiques. Il pourrait s'agir d'une progression des incendies du fait de l'augmentation des températures et de l'inflammabilité des biomasses et, de manière indirecte, d'une augmentation de la présence invasive d'espèces dites 'neoes' pouvant entraîner des nuisances d'ordre phytosanitaire, vétérinaire, éventuellement de santé publique.



Figure 4 – Risque accru de feu

Enfin, des superficies libérées par l'adaptation de l'agriculture à ses deux forçages (forçage économique et forçage climatique) pourraient venir renforcer les écosystèmes et leur rôle dans l'économie et la société et, par là, leur valeur.

**AGROSYSTEMES**

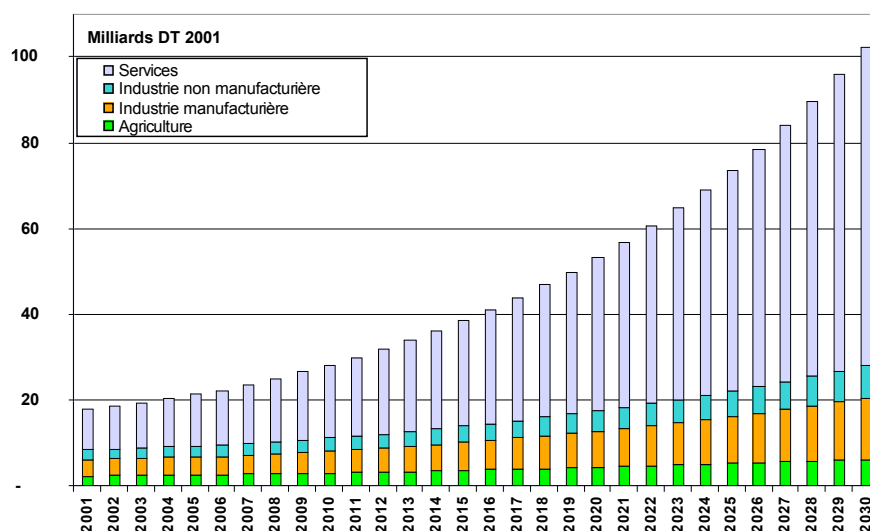
**4.2.4 Image directrice « agrosystèmes et secteur agricole»**

*L'Image directrice « agrosystèmes et secteur agricole» statue sur la situation des agrosystèmes et de l'économie agricole en Tunisie, sous ouverture économique et changements du climat, à l'horizon 2030.*

L'agriculture tunisienne se décline en quatre principales catégories d'agrosystèmes: les grandes cultures (1/3 des terres arables), l'arboriculture dominée par l'olivier, l'élevage et le maraîchage.

La contribution du secteur agricole et de la pêche au PIB est de 13 % en prix constants et de plus de 16 % à l'emploi. La contribution aux exportations de biens est de plus de 11 %.

Les effets du changement de climat viennent s'ajouter, à la marge, au forçage économique lié à l'ouverture du pays aux marchés internationaux.



**Figure 5 – PIB tunisien projeté par secteur à l'horizon 2030**

Les agrosystèmes, déjà, se trouvent sous la pression de l'ouverture économique internationale. C'est la notion de forçage économique qui se traduit par un clivage entre activités compétitives et activités économiquement vulnérables. Cette adaptation économique est amorcée. Sans changement climatique extrême, l'augmentation des rendements permettrait de réaliser les taux de croissance anticipés par le planificateur. Au surplus, l'ouverture de l'économie tunisienne devrait s'accompagner d'une amélioration du bien-être global.

Le changement climatique, dans des conditions agro-écologiques marquées par l'aridité, vient accentuer ce forçage en faisant peser un **risque physique supplémentaire** sur les agrosystèmes.

Les résultats des projections montrent qu'en cas de sécheresse et quel que soit le scénario d'ouverture économique retenu, les baisses des productions pluviales **ne permettraient pas** d'atteindre les taux de croissance souhaités. Des stratégies d'adaptation deviennent donc nécessaires pour réaliser les objectifs économiques indiqués par la planification. L'agriculture tunisienne devrait s'adapter à une incertitude plus accentuée et s'orienter vers une plus forte valorisation des actifs naturels et la

recherche de solutions non agricoles en renforcement de la valeur des services rendus par l'agriculture tunisienne.

A l'horizon 2030, la conjugaison de ces deux forçages devrait réduire de manière plus importante que prévu la part de l'agriculture dans le produit national (quand bien même sa valeur ajoutée augmenterait).

### **4.3 Stratégie nationale intégrée d'adaptation aux changements climatiques**

Cette section reprend, prolonge et explicite la stratégie nationale intégrée tunisienne introduite dans le **Cahier 2**.

Elle est organisée selon six thèmes : Climat, Ressources en eau, Ecosystèmes, Agrosystèmes et secteur agricole, International, Mise en œuvre, moyens, suivi et recherche.

Cette stratégie est « intégrée » car elle tient compte des effets de synergie et des possibles antagonismes entre les actions proposées dans chaque thème. Elle ne résulte donc pas de la simple juxtaposition des différentes stratégies thématiques. Les stratégies thématiques sont détaillées dans le **Cahier 5** suivant.

#### **4.3.1 Principes directeurs**

Les principes directeurs qui sous-tendent la stratégie nationale tunisienne d'adaptation aux changements climatiques pour les écosystèmes et l'agriculture sont au nombre de trois.

##### **1 | DEPASSER LA GESTION DE CRISE A COURT TERME AU MOYEN D'UNE STRATEGIE D'ADAPTATION AUX RISQUES LIES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Ce principe reconnaît que gérer une situation de sécheresse ou d'inondation avec des mesures ad hoc prises dans l'urgence n'est ni suffisant, ni économiquement optimal. Ce type d'actions ne permet en effet de minimiser ni les conséquences des changements climatiques, ni les coûts de l'adaptation aux changements climatiques.

Face à la multiplication des conséquences des changements climatiques, il est nécessaire de disposer d'une stratégie nationale intégrée d'adaptation aux changements climatiques et de l'appliquer. Seule une stratégie globale anticipant les conséquences futures des changements climatiques permettra de faire face au défi que ces conséquences représentent.

Autrement formulé, il ne s'agit par conséquent plus de réagir face aux conséquences imprévues des changements climatiques, mais de s'adapter à leurs conséquences futures et prévues en recourant à toute une palette de stratégies thématiques et d'instruments d'adaptations, des plus physiques aux plus économiques.

Au surplus, les tests bénéfices/coûts sortent gagnants sur un tel principe.

##### **2 | INTEGRER LA VOLATILITE CLIMATIQUE DANS LA POLITIQUE AGRICOLE ET ECONOMIQUE DU PAYS**

La volatilité des variables de marché est connue. Elle désigne les variations temporelles des taux d'intérêt, des cours de change, des prix des matières premières comme des produits finals, des indices boursiers. Des moyens importants sont consacrés à la gestion des risques de marché, y compris pour une agriculture ouverte sur les marchés internationaux.

La volatilité climatique est la traduction économique des indices de variation climatique, principalement la température et les précipitations, mais également les occurrences d'événements extrêmes. Les moyens consacrés à la gestion du risque climatique, en comparaison aux moyens consacrés à la gestion des risques du marché, sont insignifiants. Le principe directeur visant à intégrer la volatilité climatique dans la politique agricole et économique de la Tunisie vise donc, d'une part, à prendre en compte la variation de ces indices *pour le moins* sur le même pied que celle des variables de marché et, d'autre part, à consacrer des moyens suffisants, institutionnels, informationnels et humains, à la gestion de ce risque.

Pour illustrer la question de la volatilité des indices climatiques et des variables de marché, il suffit de mettre en regard, par exemple, la volatilité du change Euro-dollar (10% en variation annuelle), celle de la température au mois août en Europe (10%), celle des changements climatiques en Tunisie (de quelque 15% en 2030 seulement pour la température par rapport à la moyenne des années très variables 1961-1990, 27% en 2050 par rapport à la moyenne du siècle passé) et celle du pétrole (récemment proche de 40%).

### **3 | GERER DE MANIERE INTEGREE, ENTRE LES DIFFERENTS SECTEURS ECONOMIQUES, LES CONSEQUENCES SOCIO-ECONOMIQUES GREVANT LE SECTEUR AGRICOLE**

L'agroéconomie tunisienne se trouve sous la pression de l'ouverture économique internationale du pays. Ce forçage des variables économiques se traduit par une ségrégation entre activités compétitives et activités économiquement vulnérables. Les variations climatiques, dans ces conditions, vont accentuer dramatiquement ce forçage en introduisant un risque physique supplémentaire. Des activités tout à fait compétitives sur le plan économique pourront ne pas tenir sous les extrêmes climatiques. Ce ne seront ainsi pas seulement des cultures qui seront perdues, mais également des revenus – tandis que des populations agricoles seront touchées jusque dans leur existence.

Une recherche de solutions de pérennisation ou de reconversion devient donc indispensable, de telles solutions pouvant tout à fait s'avérer non agricoles et réclamer une forte coopération intersectorielle. L'atout d'une gestion intégrée entre les différents secteurs économiques est d'augmenter les opportunités offertes par des solutions alternatives à l'agriculture (exemple du tourisme contribuant à l'amélioration du revenu) .

#### **4.3.2 Climat**

Concernant le climat, les principes de la stratégie nationale sont institutionnels et techniques :

#### **METTRE EN FONCTION UN SYSTEME DE VEILLE CLIMATOLOGIQUE (TELEDETECTION SPATIALE) ET D'ALERTE PRECOCE (RESEAU TERRESTRE METEOROLOGIQUE AMELIORE PAR AUTOMATISATION) JUSQU'AU NIVEAU DES EXPLOITATIONS INDIVIDUELLES**

##### ***Système d'alerte précoce des phénomènes climatiques extrêmes***

Un volet institutionnel de la Stratégie requiert la mise en place d'un système d'alerte précoce des phénomènes climatiques extrêmes (réseau terrestre météorologique amélioré par automatisation). Sa mise en œuvre requiert non seulement des moyens techniques spécifiques de mesure et de suivi mais également la mise en place des capacités d'analyse, c'est-à-dire la définition d'indicateurs, calculables à partir des données disponibles, ayant la capacité d'indiquer la probabilité de l'occurrence d'un événement climatique extrême afin de permettre d'en limiter les effets négatifs.

Le système d'alerte repose à ce titre également sur la mise en place des moyens nécessaires à la transmission rapide et précise des alertes.

Au niveau de la veille climatologique (télédétection spatiale), la stratégie requiert l'accès aux données satellites existantes et la généralisation des techniques de télédétection. L'automatisation des techniques de télédétection est également nécessaire afin d'assurer l'efficacité du système d'alerte précoce des inondations et sécheresses.

La transmission et la mise à disposition des informations climatiques requièrent également le développement et la généralisation des nouvelles technologies de l'information.

Finalement, la réalisation des points précédents nécessite le renforcement des compétences et du savoir-faire dans le domaine de la prévision météorologique et de l'analyse de données climatiques, notamment une automatisation plus poussée.

### **METTRE EN PLACE LA DIFFUSION DE L'INFORMATION A TOUS LES SECTEURS CONCERNES**

#### ***Centre d'Information sur le Changement Climatique (CICC)***

Le cahier des charges de ce centre, placé sous l'autorité du Conseil national climatique MARH-MEDD-MDCI, comporte des tâches informationnelles et des fonctions de recherche et d'étude.

Dans le domaine **informationnel**, le Centre d'Information sur le Changement Climatique (CICC) tunisien doit assurer, jusqu'au niveau des exploitants :

- La création, l'administration et la mise à jour permanente d'une banque de données climatologiques de la Tunisie (BDCT). Cette base doit être facilement accessible et contenir les données météorologiques et climatologiques pertinentes sur les changements climatiques. La BDCT doit également contenir les données traitées de l'Institut national de météorologie (INM) ainsi que des données issues des stations météorologiques annexes (aéroports, barrages, domaines agricoles et universités, etc.). Elle doit ainsi fournir des indicateurs des changements climatiques.
- L'accès rapide et à distance à la banque de données climatologiques par le biais des nouvelles technologies de l'information et de la communication (Internet).
- La collecte et la mise à disposition sur Internet des publications, rapports et études sur les changements climatiques et leurs effets en Tunisie et dans la région méditerranéenne (Bibliographie du Changement Climatologique).

Au niveau de **la recherche** et de l'étude, le Centre d'Information sur le Changement Climatique (CICC) doit :

- Faciliter et promouvoir l'installation et l'automatisation de stations météorologiques par des institutions ou des personnes privées.
- Encourager et supporter l'enseignement et la recherche sur les changements climatiques et leurs conséquences en Tunisie. En particulier, le Centre doit militer pour que le sujet du «changement climatique» fasse partie intégrante des programmes d'enseignement supérieur agricole.

### **4.3.3 Ressources en eau**

Les incertitudes qui entourent les projections des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau conduisent à proposer une stratégie de type «sans regret». En effet, même en l'absence de changement climatique, une telle stratégie procurerait des avantages en apportant des

solutions à des problèmes environnementaux dont l'influence sur l'eau est importante. Elle implique également la mobilisation et la solidarité de tous les intervenants à différentes échelles.

Les solutions pour une meilleure gestion de l'eau ne concernent pas uniquement la demande en eau. Les écosystèmes, les traditions, les comportements doivent également évoluer dans un sens permettant une meilleure gestion de l'eau.

### **POURSUIVRE LE PROGRAMME « ÉAU » DANS LA POLITIQUE AGRICOLE, PAR ECOSYSTEME PLUTOT QUE PAR BASSIN VERSANT, EN S'ENGAGEANT A APPLIQUER RIGOREUSEMENT LE CODE DES EAUX**

Il s'agit de poursuivre le programme de gestion de l'eau – qui va dans la bonne direction – par écosystème toutefois (plutôt que par bassin versant) de manière à tenir compte des bénéfices des services environnementaux de ceux-là. La condition essentielle pour assurer le cycle de l'eau est la conservation et l'entretien des écosystèmes afin de bénéficier de leurs services de recharge des aquifères, de rétention en cas de fortes pluies, de conservation du sol, de filtrage, de redistribution. *Les écosystèmes sont également indispensables à la production d'eau propre.*

En somme, la stratégie d'adaptation aux changements climatiques repose sur la préservation des fonctions naturelles des écosystèmes et de ce fait sur celle de leur capacité de résilience face aux changements climatiques. Au niveau de l'eau, il s'agit de préserver les capacités de stockage naturel, d'assimilation des excès ou encore de survie en manque d'eau des écosystèmes. A cet égard, la seule gestion des eaux au niveau des bassins versants n'est pas satisfaisante.

Le Code des eaux actuel va également dans la bonne direction. Il est cependant indispensable de l'appliquer intégralement et systématiquement et de renforcer les mesures de contrôle et de répression en cas d'infraction. *82% des besoins en eau de l'agriculture proviennent en effet des eaux souterraines surexploitées.* L'application rigoureuse du Code des eaux nécessitera certainement un renforcement des capacités administratives.

Il ne s'agit donc pas de réformer la législation actuelle mais de renforcer sa mise en oeuvre et d'abolir ainsi les comportements illicites et les usages d'eau abusifs. Il s'ensuit des économies d'eau qui doivent impérativement être mises en réserve et non pas affectées à de nouveaux usages.

### **POURSUIVRE LA REVISION DE LA TARIFICATION DE L'EAU EN TENANT COMPTE DE LA PRESERVATION DES SERVICES DES ECOSYSTEMES**

Au niveau économique, la stratégie préconise une gestion de la demande en eau par la modification des avantages et des coûts financiers liés à l'usage de l'eau. L'instauration d'une tarification climatique incitative doit ainsi renchérir certaines consommations d'eau et améliorer l'efficacité de son utilisation.

En outre, la tarification climatique de l'eau suppose d'y inclure une charge pour payer par hectare et par an aux agriculteurs une gestion des écosystèmes assurant de la part de ces derniers la fourniture de services environnementaux, services qui seront définis comme « requis » en fonction des régions et des situations. Par exemple, au Costa Rica, la ville d'Heredia applique un tarif de l'eau qui inclut un montant de 30 à 45 USD par hectare et par an pour rémunérer les services écologiques des paysans (gestion écologique des sols).

Le compte de l'eau sera élargi afin de tenir compte de ces services.

### **CREER DES CAPACITES DE RESERVE, MEME VIRTUELLES, EN PREVISION DES SECHERESSES EXTREMES ET EN COMPLEMENT DES RESERVES TECHNIQUES EXISTANTES**

Troisièmement, plus particulièrement dans le secteur de l'agriculture, la création de capacités de réserve supplémentaires est nécessaire afin de faire face à l'augmentation de la probabilité de sécheresse extrême. Ce besoin peut être satisfait par la construction de nouvelles capacités de stockage et l'entretien des capacités existantes (rehaussement des barrages afin d'en maintenir la capacité).

Dans le secteur de l'agriculture, la gestion de la demande d'eau ne repose toutefois pas uniquement sur l'augmentation du prix de l'eau, mais également sur la mise en valeur de réserves virtuelles en eau.

De telles réserves permettront d'adapter la composition actuelle de la production agricole en fonction de la disponibilité en eau, notamment au profit de biens moins intensifs en eau. L'agriculture tunisienne est d'ailleurs déjà partiellement adaptée à cet égard (absence de culture de maïs, par exemple). Des actions supplémentaires dans cette direction exigent la mise en place d'incitations économiques.

L'ensemble des réserves d'eau issues de la stratégie ne devra pas être affecté durablement à un nouvel usage, mais devra permettre de répondre à l'avenir à l'augmentation attendue de la fréquence des situations de crise et des impacts des changements climatiques sur les besoins en eau.

#### **4.3.4 Ecosystèmes**

Les écosystèmes tunisiens sont résilients, mais ils sont surexploités et dégradés par les activités humaines malgré les programmes de sauvegarde appliqués. Leur état actuel, les services qu'ils procurent, les fonctions qu'ils offrent se situent ainsi au-dessous de leurs capacités naturelles. Les changements climatiques interviennent comme une pression additionnelle.

### **REHABILITER LA CAPACITE DE RESILIENCE DES ECOSYSTEMES MEDITERRANEENS**

Il s'agit de préserver et de réhabiliter la capacité naturelle des écosystèmes à s'adapter et à pallier les conséquences des changements climatiques. Cette fonction demande de favoriser les activités préservant et mettant ainsi en évidence économiquement parlant les fonctions climatiques régulatrices des écosystèmes. Pour l'eau potable, la forêt suisse permet par exemple d'économiser plus de 80 millions de TND par an de traitement artificiel.

Au niveau des écosystèmes forestiers, les mesures préconisées consistent à davantage diversifier les essences utilisées dans les programmes de reboisement, une base génétique trop étroite limitant les capacités d'adaptation aux conditions changeantes du climat. Les essences choisies doivent néanmoins être en adéquation aux stations et aux besoins nationaux en matière de produits et de services forestiers. Des mesures similaires doivent concerner les parcours et les zones humides.

Une seconde mesure consiste à accélérer les programmes de récupération du bois afin de réduire les risques d'incendie, surtout dans les forêts endommagées par les ravageurs et les maladies. A cet égard, la lutte contre les incendies de forêts demande non seulement des programmes de prévention générale et des systèmes d'alerte, mais également le maintien de la santé des forêts et la lutte contre les ravageurs. Un développement des connaissances sur l'impact des changements climatiques sur le développement des ravageurs et des maladies des forêts est requis.



## **PLACER UNE VALEUR ECONOMIQUE SUR LES FONCTIONS CLIMATIQUES REGULATRICES DES ECOSYSTEMES**

La préservation des forêts permettra à terme non seulement de renforcer leur capacité de résistance au climat, mais également de conserver les valeurs d'usage et de non-usage des écosystèmes forestiers. En effet, outre de fournir le bois, les forêts conservent l'eau et régularisent le climat des régions voisines. Elles jouent également le rôle de puits de carbone en retenant les émissions de gaz carbonique. La préservation des zones humides, des parcours naturels et des sols contribuent également à préserver la capacité naturelle d'adaptation aux changements climatiques.

Ainsi, tant face aux changements climatiques que pour conserver les produits traditionnels directs des écosystèmes, il s'agit de reconnaître leur grande valeur économique. Pour la forêt tunisienne par exemple, la valeur des produits directs est estimée à 50 millions de TND/an tandis que la valeur de tous les services rendus par la même forêt tunisienne se situe à 500 millions de TND/an (valeur plancher).

## **REMUNERER LES SERVICES ENVIRONNEMENTAUX (CLIMATIQUES) FOURNIS PAR LES ECOSYSTEMES**

Au niveau de l'agriculture, qui est en lien direct avec les écosystèmes, les pratiques préservant les écosystèmes et leurs fonctions doivent par conséquent être encouragées de manière économique. Il s'agit ainsi de rémunérer les activités agricoles dès lors qu'elles contribuent à la préservation des fonctions régulatrices des écosystèmes dont l'ensemble de la société bénéficie. La stratégie de gestion de la ressource en eau explicitée précédemment est clairement en adéquation avec ce type de mesures, la tarification climatique de l'eau incluant cette rémunération.

### **4.3.5 Agrosystèmes et secteur agricole**

Les agrosystèmes se trouvent sous la pression de l'ouverture économique internationale. Les changements climatiques, dans des conditions agro-écologiques marquées par l'aridité, viennent accentuer ce forçage en faisant peser un risque physique supplémentaire sur les agrosystèmes. Au total, la stratégie vise à réduire les risques liés aux changements climatiques qui sont d'ordre économique (variabilité des récoltes d'une saison à l'autre), financier (variabilité des recettes au niveau des exploitations et à l'échelle du secteur) et social (population agricole touchée par la fragilisation des exploitations).

## **APPLIQUER RIGOREUSEMENT LA CARTE AGRICOLE, PAR PRECAUTION ET EN DEPIT DES FLUCTUATIONS DES MARCHES | REEVALUER LES RISQUES NATURELS**

Sur le plan institutionnel, la stratégie repose premièrement sur une application rigoureuse de la Carte Agricole. Cette dernière décrit la composition et la localisation idéales des cultures en tenant compte de la variabilité climatique et de la qualité des sols de la Tunisie. Elle ne repose pas par conséquent sur le seul calcul marchand et prend déjà en compte la volatilité climatique locale (hors changements).

Les indications de la Carte Agricole doivent donc faire l'objet de mises à jour régulières afin d'intégrer les conséquences des changements climatiques à venir. Certaines cultures doivent être déplacées, d'autres abandonnées au profit de cultures supportant mieux la chaleur ou moins intensives en ressources en eau.

La question des espèces à fort rendement, mais peu résilientes aux changements du climat se pose également, comme celle des espèces déjà adaptées. Carte Agricole et Carte des Risques Naturels doivent être réévaluées en fonction des changements prévus.

### **PREVOIR DES RECONVERSIONS NON AGRICOLES POUR LES EXPLOITATIONS FRAGILISEES PAR LES EXTREMES CLIMATIQUES**

Deuxièmement, la stratégie requiert la réorientation économique des exploitations agricoles dont la viabilité économique est mise en péril par le changement climatique.

Il s'agit de développer des activités économiques alternatives, non nécessairement agricoles, adaptées aux risques des changements climatiques ou y répondant (biofuel, prestations climatiques des écosystèmes).

### **PORTER LE RISQUE CLIMATIQUE A L'ECHELON NATIONAL ET INSTITUER UN SYSTEME D'ASSURANCE DUAL A L'ECHELLE DES EXPLOITATIONS**

Sur le plan du risque climatique, le pays doit porter ce risque tout en gardant la possibilité d'en transférer une partie au titre du Fonds d'adaptation de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

Sur le plan des dommages touchant les exploitations agricoles, la stratégie d'adaptation préconise la mise en place de prestations d'assurance et de réassurance vis-à-vis des risques financiers induits par les changements climatiques. Deux catégories d'assurance privée sont nécessaires, l'une pour les événements climatiques isolés et l'autre pour les événements généralisés (calamités naturelles).

Un tel système d'assurance dual a pour objectif de permettre aux exploitations viables économiquement de survivre à un enchaînement d'années climatiques défavorables à leur production.

### **LABELLISER « CLIMATIQUE » L'AGRICULTURE COMPETITIVE ET ADAPTEE AUX RISQUES DU CLIMAT**

Sur le plan économique, la stratégie requiert de soutenir l'agriculture compétitive et adaptée aux risques climatiques en labellisant ou certifiant sa production. Un tel label renforce la viabilité économique de l'agriculture tunisienne en attestant de sa qualité et de sa pérennité.

De manière plus directe, il s'agit de passer d'une agro-économie soumise à la seule volatilité des variables de marché à une agriculture climatique et économique à la fois, intégrant la volatilité climatique tout en utilisant les instruments économiques afin de s'y adapter.

#### **4.3.6 Niveau international**

La stratégie nationale intégrée s'insère dans un contexte international spécifique : le lieu d'origine des émissions des gaz à effet de serre est en effet indépendant de la localisation des dommages.

En d'autres termes, chaque pays est victime des émissions de GES qu'il en soit ou non l'auteur. Néanmoins, bien que le changement climatique soit un phénomène global, ses conséquences ne sont pas uniformes, et ceci plus encore du point de vue de l'agriculture.

Dans un tel contexte, certains pays doivent consentir des coûts d'adaptation aux changements climatiques conséquents bien qu'ils ne soient que marginalement responsables des changements climatiques.

### **RECOURIR AUX INSTRUMENTS INTERNATIONAUX DE COMPENSATION CLIMATIQUE**

Ces mécanismes sont implicites (non encore effectifs) dans le mécanisme international de lutte contre les gaz à effet de serre, les pays de l'annexe B du

protocole de Kyoto n'ayant pas d'objectif quantifié de réduction des émissions à satisfaire. Pour l'heure, aucun système de compensation direct n'est envisagé afin de financer les stratégies d'adaptation des pays victimes.

La stratégie consiste à préparer une proposition afin de bénéficier du Fonds d'adaptation du Protocole de Kyoto.

#### **4.3.7 Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche**

Au niveau de la direction, des moyens, du suivi et de la recherche, la stratégie nationale s'inscrit dans une dimension institutionnelle, budgétaire, informationnelle et de R&D.

##### **CREER UN CONSEIL NATIONAL CLIMATIQUE MARH-MEDD-MDCI**

Sur le plan institutionnel, l'application de stratégie nationale intégrée requiert la mise en place d'un comité national issu du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH), du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) et du Ministère du Développement et de la Coopération Internationale (MDCI) dont la tâche consiste à assurer la direction et un suivi. Ses tâches consistent à :

- Veiller à la mise en œuvre du plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques, notamment dans le cadre de la stratégie de développement du pays.
- Coordonner son application tant sur le territoire qu'au travers des instances politiques, économiques et sociales pertinentes.
- Faire évoluer et adapter le plan national d'adaptation périodiquement aux réactions et difficultés qu'ils engendrent et aux nouvelles connaissances disponibles sur les conséquences des changements climatiques, au niveau des mesures effectuées en Tunisie et des nouvelles technologies.

##### **INFORMER, CONSULTER ET SENSIBILISER LES INSTITUTIONS ET LA POPULATION EN GENERAL ET EN CONTINU**

Sur le plan informationnel, la réussite de la stratégie repose notamment sur son acceptabilité. Il est par conséquent nécessaire d'expliquer les objectifs de la stratégie d'adaptation ainsi que les risques socio-économiques liés aux changements climatiques. Il est également nécessaire de sensibiliser la population au défi posé par les changements climatiques ainsi qu'aux coûts que la réussite de la stratégie d'adaptation permettra d'éviter. Finalement, il convient également de consulter la population afin de cerner ses craintes, ses réticences et ses préférences en matière d'adaptation aux changements climatiques.

##### **DOTER LA GESTION DU RISQUE CLIMATIQUE DES MOYENS INSTITUTIONNELS, HUMAINS ET INFORMATIONNELS NECESSAIRES A SON ACTION**

Il s'agit de garantir à la gestion du risque climatique autant de moyens qu'à la gestion des risques du marché dans la mesure où, dans l'agriculture, la volatilité des indices climatiques va dépasser celle des variables de marché.

Il s'agit également de prendre conscience de l'enjeu de la variation climatique par rapport à la volatilité des variables de marché. Une variation, en Tunisie, de +1° C de température moyenne à l'horizon 2030 a plus d'importance qu'une variation de 10 cents d'Euro dans le taux de change Euro-TND : elle engendrerait en effet un déplacement de quelque 100 km des zones bioclimatiques du Sud vers le Nord.

**DEVELOPPER LA RECHERCHE ET LA FORMATION INTER-DISCIPLINAIRES CLIMAT | ECOSYSTEMES - EAU - BIO-AGRONOMIE | ECONOMIE CLIMATIQUE**

Enfin, toujours au niveau informationnel, il est essentiel de développer les compétences, la recherche et la formation interdisciplinaires nécessaires à la lutte contre le réchauffement climatique et à la formulation des stratégies d'adaptation. Dans ce dessein, il est recommandé de développer un pôle de recherche interdisciplinaire reposant sur l'analyse du climat, de ses variations et de sa modélisation, sur l'étude des écosystèmes et du cycle de l'eau, sur la recherche en bio-agronomie et sur l'étude des fondements de l'économie climatique.

**CAHIER 5**  
**STRATÉGIES D'ADAPTATION**  
**THÉMATIQUES**

**Sommaire**

5.1	Stratégie de veille climatologique et d'alerte précoce .....	3
5.1.1	Introduction .....	3
5.1.2	Mesures institutionnelles .....	3
5.1.3	Mesures d'ordre technique .....	4
5.1.4	Types de systèmes de télédétection .....	6
5.1.5	Conclusions .....	7
5.2	Stratégie d'adaptation des ressources en eau .....	7
5.2.1	Introduction .....	7
5.2.2	Mesures institutionnelles et réglementaires .....	7
5.2.3	Gestion de l'eau et mesures d'ordre économique .....	9
5.2.4	Mesures technico-économiques .....	11
5.2.5	Liens avec les écosystèmes et les agrosystèmes .....	11
5.3	Stratégie d'adaptation des écosystèmes .....	12
5.3.1	Introduction .....	12
5.3.2	Réhabiliter les écosystèmes .....	12
5.3.3	Placer une valeur économique sur les fonctions régulatrices des écosystèmes .....	15
5.3.4	Valoriser les services environnementaux fournis par les écosystèmes .....	16
5.4	Stratégie d'adaptation des agrosystèmes et du secteur agricole .....	16
5.4.1	Introduction .....	16
5.4.2	Mesures institutionnelles .....	17
5.4.3	Mesures relatives à la gestion des risques climatiques .....	18
5.4.4	Mesures économiques .....	19

## 5.1 Stratégie de veille climatologique et d'alerte précoce

### 5.1.1 Définitions

Gérer l'incertitude climatique nécessite le renforcement de la veille climatologique spatiale et des systèmes d'alertes météorologiques terrestres afin de mesurer et de connaître le mieux possible les conséquences des modifications du climat et d'anticiper les mesures d'adaptation requises. La formulation et la mise œuvre d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques requièrent par conséquent des informations claires, précises et régulièrement mises à jour afin de mettre en place les mesures concrètes et de les faire évoluer ainsi que réagir rapidement aux événements climatiques extrêmes (inondation, sécheresse, vents).

Dans le cas de la Tunisie, la stratégie nationale intégrée requiert premièrement des aménagements institutionnels afin de collecter, centraliser et gérer l'information supplémentaire. La création d'un Centre tunisien d'Information sur les Changements Climatiques (CICC) est proposée. En second lieu, il s'agit d'assurer la mise à disposition de l'information nécessaire. Dans ce dessein, le recours à des moyens techniques de détection existants est nécessaire, tant à l'échelle spatiale que terrestre, afin de permettre une veille climatique et un système d'alerte précoce.

Les volets technique et institutionnel de cet aspect de la stratégie tunisienne sont étroitement liés, le volet technique consistant à créer et transmettre l'information tandis que le volet institutionnel répertorie, classe, distribue et analyse ladite information. De plus, chacun de ces deux aspects repose conjointement sur le renforcement et le développement des compétences nécessaires à la réalisation des mesures ainsi qu'à leur analyse.

### 5.1.2 Mesures institutionnelles

#### CREER UN CENTRE D'INFORMATION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (CICC)

La première mesure de la stratégie consiste en la création d'un Centre d'Information sur les **Changements Climatiques** (CICC) en Tunisie. Cette structure a pour objectifs d'assurer la transparence et l'accessibilité aux données et aux sources bibliographiques nécessaires au suivi, à la compréhension et à l'adaptation aux changements climatiques.

Du point de vue administratif et politique, il est souhaitable que ce centre possède un statut national et soit sous l'autorité du Conseil National Climatique MARH- MEDD-MDCI.

Afin de mettre à disposition du Centre les compétences nécessaires, il semble pertinent que le Centre soit lié à une université et que sa direction soit partagée entre les universités et les ministères de la Tunisie. La collecte des informations nécessaires au CICC repose notamment sur les mesures techniques décrites en 5.1.3

#### COLLECTER ET ADMINISTRER LES DONNEES CLIMATIQUES (BDCCT)

Le cahier des charges du CICC concerne **la réunion, l'exploitation, l'analyse et l'interprétation des données météorologiques et climatologiques** concernant les changements climatiques.

Il s'agit de créer ainsi la Banque de Données Changements Climatiques de la Tunisie (BDCCT) et d'en assurer l'accès, si possible par l'Internet. La BDCCT est destinée à recueillir aussi bien les données produites par l'Institut National de la Météorologie que celles provenant d'autres stations météorologiques (aéroports, barrages, agriculture, universités, privés, etc.).

## **CREER UNE BANQUE DE RAPPORTS CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Deuxièmement, le CICC doit assurer la collection et le classement des **publications, rapports et études concernant les changements climatiques et leurs effets dans la région méditerranéenne**. Il s'agit ainsi de créer la banque de rapports changements climatiques de la Tunisie, si possible en format numérique et accessible par l'Internet, en lien avec le système européen.

## **DEVELOPPER LES COMPETENCES**

Au-delà de ces aspects informationnels, le CICC doit encourager, en coordination avec l'INM, les institutions et les personnes dans l'installation et l'automatisation de stations météorologiques ainsi que dans la recherche et l'étude des changements climatiques et de leurs conséquences pour la Tunisie. Le CICC doit à cet égard contribuer aux développements des compétences en initiant et en soutenant les programmes de recherche sur les changements climatiques et en intégrant le sujet dans les programmes d'enseignement supérieur, notamment dans les formations agricoles.

## **ORGANISER DES SYSTEMES D'INFORMATION ET D'ALERTE**

Finalement, le CICC doit faciliter l'adaptation aux changements climatiques par la mise en place d'un **système d'alerte précoce** permettant de prévenir les événements climatiques extrêmes et de pallier en partie leurs conséquences.

L'emploi des techniques de télédétection améliore et facilite le développement des systèmes d'alerte précoce. La mise en place d'un tel système repose toutefois non seulement sur le recours généralisé aux techniques de télédétection et l'automatisation des relevés et des mesures (cf. 5.1.3 mesures techniques), mais également sur la formation du personnel, ainsi que sur la diffusion rapide et précise de l'information.

Au total, il est nécessaire d'améliorer les modèles de prévision météorologiques de large échelle. Par exemple, les analyses de l'oscillation atlantique Nord (NAO+, NAO-) peuvent compléter les systèmes d'alertes. Par contre, l'alerte terrestre (inondation, vents) continuera d'être assurée par l'INM.

### **5.1.3 Mesures d'ordre technique**

Sur le plan technique, la stratégie d'adaptation requiert le recours et le développement des systèmes de télédétection spatiale et de météorologie terrestre.

Ces mesures techniques doivent permettre l'accès systématique aux données satellites disponibles et pertinentes pour le suivi du climat tunisien. Il s'agit de la sorte de mettre à disposition les informations nécessaires à la compréhension des changements climatiques mais également à la mise en place d'un système d'alerte précoce des événements climatiques extrêmes. L'objectif est ainsi de disposer d'indicateurs d'alerte en temps réel indiquant la probabilité accrue d'événements climatiques extrêmes.

Par rapport à ce dernier objectif, il s'agit également de développer les systèmes de météorologie terrestre afin de compléter ces indicateurs (surtout à l'égard des inondations).

## **UTILISER LA TELEDETECTION SPATIALE ET LA METEOROLOGIE TERRESTRE**

La télédétection spatiale, avec son large spectre d'observation, optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques, constitue un des instruments principaux permettant le suivi et la mesure des changements clima-

tiques et de leurs effets. Elle autorise non seulement l'analyse de l'observation du climat sur le long terme mais également l'observation de situations particulières fortement corrélées aux phénomènes de sécheresse et d'inondation.

Les mesures terrestres reposent sur les données de mesures issues des stations météorologiques publiques et privées. Elles permettent la mesure directe des phénomènes climatiques et complètent les données spatiales. Leur développement et leur automatisation sont nécessaires afin de permettre la mise en place d'indicateurs fiables des événements climatiques extrêmes.

### **METTRE EN PLACE DES SYSTEMES D'ALERTE**

Le système d'alerte terrestre repose sur le réseau météorologique de l'Institut National de la Météorologie ainsi que de la banque de données BDCCT. Ces sources forment une base informationnelle valable pour l'estimation de situations météorologiques et climatologiques dangereuses concernant tant les inondations que les sécheresses.

De plus, un nombre important de données climatologiques issues des stations météorologiques des aéroports, des barrages, de l'agriculture, des universités ou encore des privés sont susceptibles d'être utilisées plus efficacement et systématiquement afin de compléter les informations aux systèmes d'alerte.

La mise en place d'un système d'alerte requiert la mise au point de signaux et d'indicateurs annonciateurs de situations climatiques extrêmes.

Toujours au niveau technique, l'utilisation de la méthode grid-data au lieu des données des stations isolées pour la cartographie régionale devrait être plus fréquente. Pour atteindre ce but, il est recommandé d'installer une banque nationale de données par maillage fin, ou « grid-data ».

### **METTRE EN PLACE UN SYSTEME D'ALERTE IMMEDIATE FACE AUX INONDATIONS**

L'emploi des techniques de télédétection est requis afin de développer les systèmes d'alerte précoce de courte durée. Un système d'alerte immédiat relatif aux inondations peut ainsi se servir des données du système de télédétection « Meteosat Second Generation » et le logiciel correspondant (MSG / SEVIRI).

Les techniques offertes par EUMETSAT comprennent les données du satellite MSG, les programmes informatiques (Terra/AQUA et MODIS; PUMA), les formations offertes par EUMETSAT ainsi que l'algorithme approprié pour la Tunisie (le ACT, téléchargeable sur le website *Bendix* de l'Université Marbourg et développé par des spécialistes en Tunisie).

Dans le domaine technique, il est également nécessaire que les situations critiques prévues ayant trait à des inondations soient transmises aux centres régionaux, aux institutions et personnes concernées d'une façon efficace, immédiate et permettant de déclencher des plans de protection et d'atténuation des dommages.

### **METTRE EN PLACE UN SYSTEME D'ALERTE PRECOCE FACE AUX SECHERESSES**

Le recours aux techniques de télédétection est également nécessaire afin d'améliorer les systèmes d'alerte précoce de longue durée relatif aux sécheresses et de compléter ainsi les techniques classiques terrestres, comme la phénologie.

Les données de la télédétection permettent la réalisation de prévisions saisonnières concernant les sécheresses et leurs effets pour l'agriculture. Un tel



outil est utile lors de la prévision des récoltes agricoles. Un indice de végétation (MODIS system/EVI = enhanced vegetation index) permet dès le mois de janvier de voir et d'estimer les risques pour l'agriculture et de prendre les précautions et décisions nécessaires.

Les données de la télédétection permettent également la réalisation de prévisions à l'égard de situations critiques concernant les sécheresses (p.ex. par la publication régulière des cartes avec un indice mensuel de la sécheresse tel le «SPI: standard precipitation index» aux Etats-unis).

#### **5.1.4 Types de systèmes de télédétection spatiale**

Un satellite météorologique a pour mission principale de prendre des données pour la surveillance du temps et du climat de la Terre. Plusieurs pays lancent et maintiennent des satellites météorologiques : les Etats-Unis, les pays européens avec l'agence spatiale européenne (ESA), l'Inde, la Chine, la Russie et le Japon. Il existe deux types de satellites météorologiques : géostationnaires et circumpolaires.

Les satellites géostationnaires sont situés directement au-dessus de l'équateur et à une distance telle qu'ils orbitent de façon synchrone avec la Terre. La distance d'environ 36'000 km correspond à presque trois fois le diamètre du globe, ce qui signifie que les satellites géostationnaires peuvent prendre des informations en continu de la même portion.

Les satellites circumpolaires complètent les informations issues des satellites géostationnaires. Ces derniers sont en activité à plus basse altitude (~720 - 800 km) et suivent une trajectoire passant par les Pôles. Comme ils sont plus rapprochés du sol, ces satellites ont une meilleure résolution.

Les systèmes de télédétection qui ont un intérêt particulier dans le cadre de cette stratégie sont Eumetsat et Meteosat.

##### **EUMETSAT**

EUMETSAT est une organisation intergouvernementale créée par une convention internationale, composée de 18 états membres européens : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse et Turquie. Ces états financent les programmes EUMETSAT et en sont les principaux utilisateurs.

L'objectif principal d'EUMETSAT est la mise en place, la maintenance et l'exploitation des systèmes européens de satellites météorologiques. EUMETSAT est responsable du lancement et des opérations des satellites, ainsi que d'en acheminer les données aux utilisateurs finaux tout en contribuant à l'observation climatique et la détection des changements climatiques.

Les activités d'EUMETSAT contribuent à un système mondial de satellites météorologiques coordonné avec d'autres états possédant des programmes spatiaux. Les satellites d'observation fournissent une part essentielle des données nécessaires aux systèmes de prévisions météorologiques ; ils aident aussi les météorologues dans les diagnostics d'évolutions météorologiques potentiellement dangereuses.

EUMETSAT collabore aussi avec neuf autres états : Hongrie, Lettonie, Croatie, Pologne, Slovaquie, Slovénie et Roumanie. Des accords avec la Serbie, le Monténégro et la République Tchèque seront ratifiés dans un futur proche.

##### **METEOSAT**

Météosat (Meteosat en anglais) désigne une famille de satellites météorologiques lancés par l'Agence spatiale européenne (ESA). Ce sont des satellites géostationnaires, c'est-à-dire qu'ils conservent toujours la même position par rapport à la Terre, et permettent donc l'observation en continu d'une zone précise du globe.

Les satellites Météosat envoient régulièrement sur Terre de nombreuses images et autres données qui permettent aux météorologues, à partir des observations d'anticyclones, dépressions atmosphériques, masses nuageuses, d'élaborer les bulletins météorologiques. Ces données sont également essentielles pour anticiper certains phénomènes météorologiques ravageurs comme les ouragans, tempêtes ; et pour le suivi de l'évolution du climat de la planète.

Le programme Météosat fait partie du système mondial d'observation de l'atmosphère, mis en place par l'Organisation météorologique mondiale (WMO) au milieu des années 1970. Le premier satellite, Météosat 1, a été lancé le 23 novembre 1977. En 1995, l'EUMETSAT (Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques) a officiellement pris la responsabilité de l'exploitation des satellites Météosat et de la diffusion de leurs données.

Aujourd'hui, trois satellites Météosat de première génération sont encore en exploitation : Météosat 5 observe l'Inde ; Météosat 6 et Météosat 7 observent l'Afrique, l'Europe et une partie de l'Amérique du Sud (Brésil).

Météosat de Seconde Génération (MSG). Le 28 août 2002 a été lancé le premier satellite MSG, Météosat de Seconde Génération. Cette famille de satellites dispose de radiomètres imageurs plus sophistiqués, 12 canaux contre 3 pour la précédente génération, et fournissent des images tous les quarts d'heure, deux fois plus fréquemment. Depuis 1977, neuf satellites de la famille Météosat ont été mis en orbite autour de la Terre, dont deux satellites MSG. Le dernier lancement, celui de MSG 2, a été effectué le 21 décembre 2005.

### **5.1.5 Conclusion**

Dans le cas de la Tunisie, la stratégie d'adaptation requiert à court terme de répertorier et centraliser l'information existante sur les changements climatiques. Dans un second temps, et à moyen terme, il s'agit de pallier les lacunes informationnelles en recourant systématiquement aux techniques de télédétection spatiale et terrestres afin, d'une part, de documenter et suivre précisément les effets physiques des changements climatiques et, d'autre part, de permettre d'alerter les populations concernées lorsque la probabilité d'événements climatiques extrêmes est élevée. Le premier volet de la stratégie repose sur le renforcement et la diffusion en Tunisie des compétences nécessaires à la compréhension et l'adaptation aux changements climatiques.

La stratégie repose sur la création d'un Centre d'Information Changement Climatique (CICC) en Tunisie et le développement des systèmes d'alerte de courte ainsi que de longue durée concernant les inondations et les sécheresses.

## **5.2 Stratégie d'adaptation des ressources en eau**

### **5.2.1 Introduction**

La stratégie d'adaptation des ressources en eau débouche sur une stratégie de type «sans regret». En effet, même en l'absence de changement climatique, une telle stratégie procurerait des avantages en apportant des solutions à des problèmes environnementaux dont l'influence sur l'eau est importante. Elle implique également la mobilisation et la solidarité de tous les intervenants à différentes échelles.

Les solutions pour une meilleure gestion de l'eau ne concernent pas uniquement la demande en eau. Les écosystèmes, les traditions, les comportements doivent également évoluer afin de permettre une meilleure gestion de l'eau. Enfin, les solutions d'adaptation sont étroitement liées aux priorités de l'Etat et à sa capacité de financement.

La priorité est de convaincre de la nécessité de prévoir dès aujourd'hui des mesures d'adaptation aux changements climatiques. En effet, comme il y a sur le plan national des actions dites «plus urgentes» à réaliser et des investissements « plus rentables » à entreprendre, il est impératif de prendre conscience de la priorité supplémentaire des adaptations aux changements climatiques.

Dans le cas de la Tunisie, il s'agit, à court terme, de renforcer certaines mesures existantes dans le domaine de la protection de l'environnement et des ressources en eaux. Les mesures d'adaptation vont donc dans un premier temps constituer un renforcement des moyens des administrations responsables de ces mesures. Dans un second temps, il s'agit d'une stratégie recourant à des moyens nouveaux, de nature économique et technique.

La stratégie présentée ici ne constitue donc pas une stratégie isolée d'adaptation des ressources en eau du pays, mais présente des orientations permettant d'adapter le secteur de l'eau aux changements climatiques, d'une part, et de le faire en lien avec ses tenants et ses aboutissants, d'autre part, en particulier avec les écosystèmes, l'agriculture et l'économie.

### **5.2.2 Mesures institutionnelles et réglementaires**

Les mesures institutionnelles et réglementaires renvoient au renforcement de la réglementation existante, à un remodelage de l'organisation institutionnelle et à la création de plans de prévention.

## **APPLIQUER RIGOREUSEMENT LE CODE DES EAUX**

Le Code des eaux actuel est bon et complet. Il est cependant indispensable de l'appliquer rigoureusement et systématiquement ainsi que de renforcer les mesures de contrôle et de répression en cas d'infraction. En effet, 82% des besoins en eau de l'agriculture proviennent des eaux souterraines surexploitées. L'application effective du Code des eaux nécessitera un renforcement des capacités administratives.

## **APPLIQUER LA REGLEMENTATION POUR LA REDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU**

La mise en application effective de la réglementation pour la réduction de la consommation d'eau chez les gros consommateurs permettra une diminution de la demande. Dans ce dessein, il est nécessaire d'impliquer les secteurs industriels, touristiques, de même que les établissements publics.

A cet effet, l'Etat donnera l'exemple en installant des économiseurs d'eau dans ses propres bâtiments et installations.

## **RENFORCER LA REGLEMENTATION RELATIVE AUX ZONES A RISQUES**

La réglementation relative aux zones à risque, aux terrains constructibles, à la partie supérieure des bassins hydro-géographiques et à l'utilisation des plaines alluviales, doit être renforcée. Dans ce cadre, la révision des périmètres de sauvegarde, de protection et d'interdiction permettra d'assurer la protection des ressources existantes.

## **METTRE A JOUR LE PROGRAMME « EAU » DE LA POLITIQUE AGRICOLE A L'HORIZON 2030**

La stratégie actuelle du secteur de l'eau en Tunisie doit être mise à jour en fonction des projections du secteur face aux changements climatiques (voir le Cahier 3). Il est déduit de la modélisation que les ressources en eaux conventionnelles diminueront d'environ 28 % à l'horizon 2030 et que cette diminution sera localisée au niveau des nappes phréatiques de fortes salinités, des nappes littorales et des nappes contenant des eaux non renouvelables. La diminution des eaux de surface avoisinera 5 % à l'horizon 2030.

Les recommandations sont les suivantes : ne pas prendre de retard dans les programmes d'actions (sinon, le risque d'un manque d'eau avant 2030 est fort); mettre en place de manière effective la gestion intégrée des ressources en eau globales en intégrant le facteur d'incertitude imposé par les changements climatiques ; améliorer la gestion de l'eau via l'évolution des techniques, des traditions, des comportements et des usages.

## **REMODELER L'ORGANISATION INSTITUTIONNELLE**

L'organisation institutionnelle touchant à l'eau en Tunisie doit être repensée. Il serait opportun de réduire le nombre d'organismes chargés de l'eau et de clarifier leur rôle. Afin d'améliorer la gestion intégrée des ressources en eau, la collaboration et la coordination entre les organismes d'amont (écosystèmes) et d'aval (agriculture, économie), doit être assurée.

Afin d'assurer cette coordination, une plate-forme regroupant les différentes parties prenantes (agences gouvernementales, entreprises privées, groupes sociaux,

organismes de recherche, etc.) doit être créée de manière à définir un ensemble de principes partagés sur la politique à mener en lien avec les valeurs nouvelles à prendre en compte (écosystèmes, agriculture, économie).

#### **RENFORCER LA CAPACITE DES INSTITUTIONS ET DES PERSONNES**

Une stratégie intégrée d'adaptation aux changements climatiques nécessite des capacités spécifiques pour les mener à bien dans des domaines aussi différents que l'écologie, l'hydrologie et l'économie. Cela implique la formation du personnel concerné, l'acquisition de matériel adéquat (renforcement des équipements de collectes et de transfert des données en temps réel) et la coopération du secteur privé. Les besoins de chaque organisme chargé de l'eau doivent être évalués.

#### **CREER DES PLANS SPECIFIQUES DE PREVENTION DES RISQUES D'INONDATIONS (PSPRI)**

La création des PSPRI nécessitera la révision des plans d'aménagement par les municipalités et, surtout, la collaboration entre les municipalités pour des aménagements par bassins ou plutôt, comme la présente stratégie le recommande, par écosystèmes.

### **5.2.3 Gestion de l'eau et mesures d'ordre économique**

Les mesures de gestion des ressources en eau et les mesures de type économique renvoient à des principes complémentaires de gestion, de tarification, de même qu'à des réflexions nouvelles quant à la manière de concevoir des réserves d'eau dans une perspective de survenue et d'augmentation de la fréquence de situations extrêmes.

#### **GERER L'EAU PAR ECOSYSTEMES**

Les bassins versants sont actuellement retenus comme entités de gestion des eaux. Dans l'optique d'une stratégie intégrée d'adaptation aux changements climatiques, le bassin versant devrait être remplacé par l'écosystème en tant que référentiel de gestion. En effet, pour améliorer la modélisation des processus hydrologiques, il convient de coupler les perspectives fournies par les modèles climatiques, écologiques et hydrologiques.

#### **INTRODUIRE LES VARIATIONS CLIMATIQUES DANS LA REVISION DE LA TARIFICATION DE L'EAU**

Une tarification « climatique » de l'eau renvoie à une tarification incitative de l'eau – en complément de la tarification courante – qui prendrait en compte l'exposition aux extrêmes de chaque domaine de consommation (agriculture, particuliers, industrie, tourisme).

Le Tableau I ci-après montre en effet que, pour des considérations sociales historiquement justifiées – ne correspondant pas nécessairement à des considérations économiques pures – tous les acteurs de l'eau ne sont pas traités de la même manière pour ce qui concerne la consommation et le paiement de l'eau en Tunisie. Le cas de certaines eaux « gratuites » (cas des eaux souterraines), sur lesquelles pourraient se rabattre les usagers en cas de manque, ouvre le débat au sujet de la tarification socio-économique actuellement appliquée – qui devrait intégrer les variations climatiques futures.

**Tableau I** – Qui consomme et qui paye l'eau en Tunisie

Utilisateurs	Qui consomme?	Qui paye?
Agriculture	81%	17%
Particuliers*	14%	62%
Industrie	4%	8%
Tourisme	0.8%	12%
	100%	100%

\*ménages et institutions

## **CREER DES RESERVES TECHNIQUES ET VIRTUELLES**

La création de réserves d'eau est une nécessité confirmée. Face aux changements climatiques, il s'agit de poursuivre le programme national de collecte et de réserves techniques d'eau.

En complément de ce programme, dans la perspective de la survenue de sécheresses extrêmes en intensité comme en durée, la Tunisie doit constituer virtuellement des réserves d'eau. Elle doit pour cela mettre au point un plan d'importation de produits agricoles bénéficiant de l'eau dont le pays serait privé.

A l'horizon 2030, en cas de sécheresses successives, les superficies des cultures céréalières du Centre et du Sud pourraient en effet diminuer de 20% et le cheptel de 80% (au Centre et au Sud). Pour pallier ce déficit, il faudra importer les produits manquants en prenant en compte – de manière virtuelle – l'eau qui aura manqué sur place. Notons que Tunisie est déjà en partie climatiquement adaptée dans la mesure où elle ne produit pas de maïs, céréale nécessitant des pluies qui n'appartiennent pas au climat méditerranéen (été).

## **AMELIORER LA COMPREHENSION ET LA MODELISATION DES PROCESSUS HYDROLOGIQUES**

Afin d'améliorer la connaissance des processus hydrologiques, on impliquera les gestionnaires de l'eau, les universités et les chercheurs. Ils seront chargés de combler les lacunes fondamentales dans les connaissances (comme la pauvreté des données hydrologiques, des données relatives aux eaux souterraines, des données relatives aux impacts sociaux et économiques) et de chercher des indicateurs permettant de réagir à un système de prévision et d'alerte précoce.

La modélisation des processus hydrologiques dans des situations d'excès d'eau (pluies de forte intensité) est également recommandée. La connaissance des données sur l'intensité des pluies, la modélisation du ruissellement de l'eau et l'analyse des effets de tels événements extrêmes sur les infrastructures agricoles et les ouvrages hydrauliques permettra de vérifier les normes des ouvrages par rapport à la survenue des extrêmes climatiques.

## **ECHANGER DES DROITS DE PROPRIETE SUR L'USAGE DE L'EAU**

L'eau est un droit. Les droits de propriété sur l'usage de l'eau, en particulier dans l'agriculture, doivent faire l'objet de Certificats (certificats dits « bleus », par exemple) échangeables entre détenteurs éligibles.

Une fois l'éligibilité établie et des Certificats émis, l'autorité agricole se verrait attribuer la capacité d'acheter elle-même ces droits, de les geler face à la survenue d'une sécheresse et de les libérer le temps que dure cette dernière.

Un projet pilote de droits d'achats négociables indexés de l'eau devrait être développé dans le Sud ou dans un périmètre irrigué du Nord.

## **5.2.4 Mesures technico-économiques**

Les mesures plus purement techniques, enfin, portent sur le dessalement de l'eau saumâtre ou de mer, l'amélioration du traitement des eaux usées et la pluie artificielle sur le Sud.

### **INSTAURER UNE STRATEGIE DE DESSALEMENT**

Après avoir revu sous changements climatiques les besoins des différents secteurs, agricole, industriel et touristique, il s'agira de renforcer la politique de dessalement pour les eaux saumâtres et les eaux de mer.

### **AMELIORER LE TRAITEMENT DES EAUX USEES**

Pour améliorer le traitement des eaux usées, il s'agit tout d'abord de mieux surveiller et protéger la qualité de l'eau contre les rejets et déchets divers. Il s'agit ensuite d'améliorer les techniques elles-mêmes de traitement des eaux usées, de traitement des déchets ménagers et assimilés, de même que celles du drainage agricole. Il s'agira, enfin, d'améliorer la qualité des rejets et des déchets eux-mêmes.

### **RECOURIR A DES PLUIES ARTIFICIELLES DANS LE SUD**

Il s'agira également pour le Conseil National Climatique de considérer la possibilité de recourir dans le Sud à des pluies artificielles. Cela pourrait permettre de renforcer le potentiel en eau de la région, en lien avec d'autres mesures techniques.

## **5.2.5 Liens avec les écosystèmes et les agrosystèmes**

Les liens avec les écosystèmes et les agrosystèmes renvoient aux stratégies thématiques correspondantes.

### **RECONNAITRE LES SERVICES FOURNIS PAR LES ECOSYSTEMES**

Les écosystèmes contribuent, par les services environnementaux qu'ils rendent (retenue et conservation de l'eau et des sols), à préserver les réserves d'eau du pays. Il s'agit de reconnaître aux écosystèmes nationaux ce type de contribution, d'évaluer cette dernière et de la prendre en compte à l'échelle nationale au même titre que d'autres services ou produits économiques.

### **RENFORCER LE ROLE PARTICULIER DES ZONES HUMIDES**

La valeur économique, hydrologique et climato-écologique des zones humides fait partie intégrante de la valorisation des services des écosystèmes. Il s'agit toutefois, dans ce cas, de procéder par zones humides d'intervention prioritaires.

### **IMPLIQUER LES COMMISSARIATS REGIONAUX AU DEVELOPPEMENT AGRICOLE (CRDA)**

L'implication des CRDA dans les liens techniques tissés entre gestion des ressources en eau et activités agricoles (amélioration des techniques d'économie d'eau, par exemple) doit faire partie intégrante du remodelage institutionnel.

## 5.3 Stratégies d'adaptation des écosystèmes

### 5.3.1 Introduction

Suivant l'image directrice nationale, la résilience des écosystèmes tunisiens est péjorée en raison de leur surexploitation, voire de leur dégradation malgré les programmes de préservation mis en oeuvre. Ils subissent la pression des activités humaines si bien que les services qu'ils procurent, les fonctions qu'ils offrent sont au-dessous de leurs capacités naturelles. Les changements climatiques ajoutent une pression additionnelle.

Les stratégies d'adaptation des écosystèmes aux changements climatiques se déclinent selon trois axes :

- Réhabiliter la capacité de résilience des écosystèmes (dimension institutionnelle).
- Placer une valeur économique sur les fonctions climatiques régulatrices des écosystèmes (dimension économique de ces dernières).
- Rémunérer les services climatiques rendus par les écosystèmes à la société dans son ensemble.

### 5.3.2 Réhabiliter les écosystèmes

Afin de faire face aux changements climatiques, il est indispensable de réhabiliter la capacité de résilience des écosystèmes méditerranéens, notamment en renforçant et en complétant les programmes existants et en promouvant le savoir-faire coutumier. Cette action revêt une dimension institutionnelle et requiert dans certains cas le renforcement de mesures et de programmes existants.

#### Ecosystèmes forestiers et parcours naturels forestiers

De manière générale, les forêts naturelles, y compris les parcours forestiers, grâce à leur capacité de résilience et à leur variabilité génétique, sont capables de s'acclimater et de survivre ainsi aux effets des changements climatiques. A court terme, le changement climatique ne changera donc pas les paysages forestiers naturels tunisiens. Cependant, il est nécessaire de maintenir, d'entretenir et de renforcer cette capacité de résilience. Les mesures proposées vont dans ce sens. Elles reposent sur le respect des règles de bonnes pratiques sylvicoles, déjà indispensables en temps normal et dont la mise en œuvre est d'autant plus requise face aux changements climatiques. Suivent ensuite des mesures d'adaptation des forêts aux risques d'incendies et aux attaques de ravageurs.

#### APPLIQUER LES REGLES DE BONNES PRATIQUES SYLVICOLES

Le respect des bonnes pratiques sylvicoles devrait permettre aux forêts de rester vigoureuses et d'être relativement peu touchées par le stress climatique et anthropologique qu'elles subissent. Ces bonnes pratiques comprennent notamment le maintien des niveaux de peuplements originaux et la sélection des espèces en fonction de leur adaptation aux changements climatiques. Ces mesures de bonnes pratiques sont énumérées dans le tableau ci-contre.

#### Bonnes pratiques sylvicoles | Tableau synoptique

Règles de bonnes pratiques sylvicoles	
Mesures	Effets
Raccourcir la durée des rotations des coupes d'amélioration	Réduire la probabilité de sénescence liée au stress
Contrôler régulièrement la compétition pour l'eau disponible, la lumière et les éléments nutritifs présents dans le sol	Favoriser l'adaptation aux changements climatiques
Sélectionner les espèces en favorisant les provenances et les individus les mieux adaptés aux conditions des stations	Favoriser l'adaptation aux changements climatiques

### Bonnes pratiques sylvicoles (suite)

Mesures	Effets
Procéder aux activités de soins et d'éclaircissement selon un calendrier soigneusement établi	Maximiser la croissance et augmenter la résistance aux dégâts causés par les vents violents, les insectes et les maladies
Mettre en place des programmes d'amélioration des arbres	Créer un matériel de plantation à partir d'une base génétique large avec des taux de croissance élevés, une meilleure forme et une meilleure adaptabilité à des conditions de site diverses
Réaliser des inventaires et des examens périodiques des peuplements	Assurer une base pour des règles de bonnes pratiques de gestion sylvicole
Mettre en place un calendrier d'exploitation	
Faire évoluer de manière progressive les structures simples, moins résistantes aux causes des dégradations, vers des structures plus complexes et plus adaptées aux différentes causes de dégradation	Favoriser l'adaptation aux changements climatiques
Maintenir un peuplement diversifié et reboiser par des mélanges d'espèces adaptées	Favoriser l'adaptation aux changements climatiques
Assister la régénération par des trouées	Eviter les grandes coupes et assurer le remplacement des peuplements mûrs progressivement
Débroussailler régulièrement les maquis et les garrigues	Diminuer la biomasse combustible sous les peuplements et la compétition entre individus
Procéder à des élagages artificiels de protection sur les jeunes reboisements	Eliminer toutes les branches basses et diminuer les risques de feux
Rendre obligatoire l'aménagement et la révision des aménagements des forêts selon la législation en vigueur	Responsabiliser les gestionnaires directs des forêts et décentraliser les opérations
Gérer les forêts en partenariat avec les populations locales représentées par les GDA	Diminuer les conflits d'intérêts entre les différents utilisateurs et réduire les pressions sur les formations naturelles

### ADAPTER LES FORETS AUX RISQUES ACCUSÉS DES FEUX INCONTROLES

Indépendamment des considérations sur les changements climatiques, la gestion de la santé des forêts doit faire partie intégrante de la gestion durable des forêts. La nécessité de prendre en compte les effets potentiels du réchauffement climatique sur les incendies, les insectes et les maladies lors de l'élaboration des plans de gestion des forêts ira en s'accroissant.

Une forêt en bonne santé contribue en effet par elle-même à la lutte contre les feux et l'invasion d'espèces ravageuses. Dès lors, les mesures visant à lutter contre les feux et les espèces invasives sont souvent des mesures destinées justement à préserver ou à rétablir la santé de la forêt.

Les stratégies d'intervention envisagées pour intégrer le changement climatique dans les programmes de lutte contre les incendies sont les suivantes :

- Augmenter la capacité du pays à diriger des programmes modernes de lutte contre les incendies comprenant la prévention générale, la préparation de la défense contre les incendies et leur extinction, la coopération avec les pays voisins et la mise en place de systèmes d'alertes anti-incendies.
- Choisir les essences forestières et les provenances les mieux adaptées aux stations dans les programmes de reboisement et favoriser la diversité.
- Accélérer les programmes de récupération du bois et de gestion des combustibles afin de réduire les risques de feu incontrôlés en forêts.



## **ADAPTER LES FORETS AUX ATTAQUES DE RAVAGEURS ET DE MALADIES QUI POURRAIENT RESULTER DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

A l'image des stratégies de lutte contre les feux, le principe de base pour lutter contre la propagation des espèces invasives est de maintenir et d'améliorer la santé des forêts. Le respect des règles de bonnes pratiques sylvicoles est à cet égard nécessaire. De plus, les actions suivantes sont requises :

- Concevoir et appliquer des programmes de suivi des insectes et des maladies permettant de détecter des accroissements de la fréquence et de l'intensité des cas de dépérissement des forêts ainsi que de l'activité de nouveaux ravageurs et de nouvelles maladies. Les systèmes de suivi devraient être capables de détecter des changements dans la biologie, l'écologie et les aires de répartition naturelle des ravageurs, comprenant le calendrier des événements les plus importants dans leur cycle biologique, le nombre de générations, les modes d'alimentation et les interactions entre les hôtes et les ravageurs.
- Initier des programmes de recherche en vue de déterminer les effets à long terme des changements climatiques sur la biologie et les interactions entre les ravageurs et les espèces traditionnelles.
- Identifier les espèces de ravageurs potentiels en cas de changement du climat.

### **Parcours naturels**

Les parcours naturels forestiers seraient déjà réhabilités grâce aux actions entreprises dans ce but. Leurs productions n'augmenteraient pas, mais seraient mieux gérées pour une meilleure conservation des sols et de l'eau.

Quant aux parcours steppiques du Centre et du Sud, actuellement surexploités, ils seraient plus dégradés sous la même pression pastorale et sous des conditions d'aridité plus forte. Ces parcours nécessitent par conséquent des aménagements et une régénération naturelle, mais également une gestion réglementée et contrôlée (autocontrôle) permettant l'adéquation entre les besoins du cheptel et les disponibilités fourragères.

## **AMENAGER LES PARCOURS EN TENANT COMPTE DES ACTEURS LOCAUX**

Afin d'améliorer les richesses de la flore et la productivité des parcours, leur aménagement et leur enrichissement par des plantes pastorales est nécessaire. Ces solutions ont certes déjà été tentées, mais le manque d'implication des acteurs locaux explique leur effet limité. Des parcours naturels réhabilités et bien conservés sont nécessaires afin de permettre à ces formations végétales de conserver l'eau, de protéger le sol et par conséquent de limiter les effets de l'aridité résultant du réchauffement climatique.

### **Zones humides**

## **PROTEGER LES ZONES HUMIDES**

Les zones humides naturelles et artificielles servent principalement à entretenir l'écosystème en place. Leur destruction naturelle ou artificielle mettrait en danger d'autres systèmes voisins ou situés en aval, tout en diminuant leur productivité, occasionnant ainsi la disparition des populations qui y vivent. C'est pourquoi il est primordial de les protéger, ainsi que leur exploitation, selon leur potentialité réelle.

## Sols

Face aux changements climatiques, les sols s'appauvrissent en matière organique ce qui diminue leur capacité de rétention de l'eau et leur fertilité azotée. Sous inondations, ils perdent leurs couches superficielles sur les terres pointues ou risquent d'être lessivés et appauvris en plaine. Il est dès lors essentiel de les préserver, d'une part par la mise en œuvre de techniques de conservation des sols, et d'autre part par le renforcement de la stratégie de CES.

### **METTRE EN ŒUVRE LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES SOLS**

Des techniques douces de conservation des sols permettront d'assurer une couverture végétale protectrice freinant leur érosion. La panoplie des techniques CES permettra de couper les pentes et de freiner les ruissellements. Enfin, des drains bien entretenus dans les plaines permettent d'éviter des eaux stagnantes lessivantes.

### **RENFORCER LA STRATEGIE DE CES**

La stratégie actuelle de CES doit être maintenue et renforcée pour une meilleure adaptation aux risques encourus par les changements climatiques.

## **5.3.3 Placer une valeur économique sur les fonctions régulatrices des écosystèmes**

### **PLACER UNE VALEUR ECONOMIQUE SUR LES FONCTIONS CLIMATIQUES REGULATRICES DES ECOSYSTEMES**

La valeur des écosystèmes dépasse celle, usuelle, de la valeur de leurs productions directes. Il s'agit donc, pour chaque écosystème, de placer une valeur sur leurs productions indirectes, par exemple la récréation, la conservation de la biodiversité, etc., et de revoir en fait la valeur des services environnementaux des écosystèmes en intégrant la composante du changement climatique. Ci-dessous sont présentés quelques exemples de fonctions régulatrices des écosystèmes.

- Les forêts protègent les barrages et les lacs collinaires des glissements de terrains et autres engorgements.
- Une forêt bien constituée et bien structurée, en bon état de végétation, protège ses propres sols, diminue les ruissellements, conserve l'eau et permet d'adoucir le microclimat des régions voisines. En outre, les forêts permettent de retenir une grande quantité de gaz carbonique à effet de serre. Ces services sont liés à la superficie et à l'état de santé des forêts, c'est pourquoi il est primordial de les réhabiliter comme expliqué ci-dessus.
- Les parcours naturels protègent les sols en prévenant l'érosion hydrique.
- Les sols, grâce à leur capacité hydrique, conservent les eaux et les relâchent de manière plus modérée.
- Les zones humides servent de réservoir tampon. Elles absorbent les surplus d'eau.

Ces fonctions doivent être évaluées comme pour des produits directs. Par exemple, on estime en Suisse à 80 millions de TND par année l'économie faite dans le traitement de l'eau potable. Ainsi, la connaissance de la valeur d'un écosystème permettrait de mettre en évidence la nécessité de sa préservation, par exemple dans le cas où elle est supérieure à la valeur d'un lotissement. Cette valorisation constituerait un outil d'aide à la décision en autorisant l'arbitrage entre les valeurs économiques entraînant la destruction des écosystèmes et la valeur de ces derniers.

La valorisation des écosystèmes permet encore de sensibiliser les populations aux pertes engendrées par la dégradation et la disparition des écosystèmes.

### **5.3.4 Valoriser les services environnementaux fournis par les écosystèmes**

Les services environnementaux (climatiques) que les écosystèmes rendent à l'économie et la société doivent être valorisés et leur production, le cas échéant, rémunérée (rapport bénéfice/coût important). Des prestations non agricoles doivent être prévues pour les agriculteurs dont les exploitations ne survivraient pas aux forçages économiques et climatiques. Ces prestations non agricoles sont des paiements pour services rendus, pour des prestations climatiques requises, à l'image par exemple des paiements écologiques suisses.

#### **REVISER LA TARIFICATION DE L'EAU EN PRENANT EN COMPTE LES SERVICES DES ECOSYSTEMES**

La tarification climatique de l'eau suppose d'y inclure une charge pour payer par hectare et par an aux agriculteurs une gestion des écosystèmes assurant de la part de ces derniers la fourniture de services environnementaux, services qui seront définis comme « requis » en fonction des régions et des situations. Par exemple, au Costa Rica, la ville d'Heredia applique un tarif de l'eau qui inclut un montant de 30 à 45 USD par hectare et par an pour rémunérer les services écologiques produits par des paysans (gestion écologique des sols).

#### **RENFORCER LES LIENS ENTRE SERVICES DES ECOSYSTEMES ET AGRICULTURE**

Au niveau de l'agriculture, qui est en lien direct avec les écosystèmes, les pratiques préservant les écosystèmes et leurs fonctions doivent par conséquent être encouragées de manière économique. C'est ainsi qu'il s'agit de rémunérer les activités agricoles dès lors qu'elles contribuent à la préservation des fonctions régulatrices des écosystèmes dont l'ensemble de la société bénéficie. Enfin, de telles activités se présentent comme des solutions non agricoles à l'agriculture.

## **5.4 Stratégie d'adaptation des agrosystèmes et du secteur agricole**

### **5.4.1 Introduction**

Les agrosystèmes se trouvent sous la pression de l'ouverture économique internationale du pays. C'est la notion de forçage économique qui se traduit par un clivage entre activités compétitives et activités économiquement vulnérables. Le changement climatique, dans des conditions agro-écologiques marquées par l'aridité, vient accentuer ce forçage en faisant peser un risque physique supplémentaire sur les agrosystèmes (forçage climatique). Les résultats des projections montrent qu'en cas de sécheresse et quel que soit le scénario d'ouverture économique retenu, les baisses des productions pluviales ne permettraient pas d'atteindre les taux de croissance projetés du secteur.

Des stratégies d'adaptation deviennent donc nécessaires pour réaliser les objectifs économiques indiqués par la planification économique. L'agriculture tunisienne doit s'adapter en intégrant une volatilité climatique accentuée qui est en passe de surpasser la volatilité des variables de marché. Elle doit, en ce sens, devenir « climatique ». Réciproquement, elle doit s'orienter vers une plus forte valorisation du patrimoine naturel et de ses services. Enfin, elle doit s'orienter dans la recherche de solutions non agricoles pour les exploitations compétitives sur le plan économique, mais menacées sur le plan climatique. Cela conduit à des mesures d'adaptation d'ordre institutionnel, des mesures de gestion des risques climatiques et des mesures d'ordre économique.

## 5.4.2 Mesures institutionnelles

Les mesures d'ordre institutionnel sont du ressort du gouvernement. Dans le cadre de la régulation, il s'agira d'appliquer et de réévaluer la Carte agricole. L'organisation des producteurs doit également être revue et un plan pour la sauvegarde des exploitations menacées élaboré.

### APPLIQUER ET REEVALUER LA CARTE AGRICOLE

Dans un premier temps, il s'agit par précaution d'appliquer rigoureusement la Carte agricole existante, et ce en dépit des fluctuations du marché. La Carte agricole définit les cultures les plus adéquates pour chaque type de sol. Ainsi, il faut éviter, même si la tentation est forte, de déroger aux principes de la Carte agricole sous prétexte de fluctuation des variables de marché.

Cette carte prenant déjà en compte la variabilité climatique locale (hors changements du climat), ses indications devront encore faire l'objet de mises à jour régulières afin d'intégrer les conséquences des changements climatiques à venir. Certaines cultures devront être déplacées, d'autres abandonnées au profit de cultures supportant mieux la chaleur ou s'avérant moins intensives en ressources en eau.

La question des cultures à déplacer, à abandonner ou à implanter de manière nouvelle dépasse toutefois le cadre de la présente stratégie. Elle devra faire l'objet d'une recherche particulière comme recommandation de la stratégie suivant une pesée d'intérêt bien comprise entre volatilité climatique et volatilité économique et, de même, entre encouragement de l'Etat et principes donnés par les assurances.

Parallèlement, une Carte des Risques Naturels devra être développée.

### SAUVEGARDER LES EXPLOITATIONS MENACEES

Cette orientation stratégique cible les exploitations menacées par l'augmentation de la volatilité des conditions climatiques extrêmes et donc des productions agricoles. Il est question d'exploitations économiquement efficaces, mais dont l'assise financière ne permet pas de supporter d'importantes variations de leurs liquidités sur plusieurs campagnes agricoles.

Des programmes de crédit de sauvegarde, de même que le soutien des autres secteurs pour la sécurisation des exploitations menacées devraient permettre de sauvegarder ces dernières.

Une conversion de certaines exploitations ou de parties d'exploitations dans la conservation et le renforcement des services environnementaux des écosystèmes doit être prévue. La question de la rémunération de ces travaux (services climatiques requis) fait partie de la révision de la tarification de l'eau.

### PRENDRE EN MAIN L'AVENIR DES SYSTEMES OASIENS

Les écosystèmes oasiens seront directement touchés par les changements climatiques en tant que stress additionnel sur leur micro climat particulier. De ce fait, la pression sur les réserves d'eau fossile devrait augmenter.

En somme, les changements climatiques rendent la situation des oasis plus critique. Une étude spécifique et des moyens conséquents doivent être consacrés au bouleversement possible du micro climat oasien.

## ÉLARGIR LE RÔLE DES ORGANISATIONS PROFESSIONNELLES

Les organisations professionnelles, y compris les Coopératives de Services Agricoles et les GDA, doivent ajouter à leurs rôles traditionnels celui de transmettre à leurs adhérents les informations liées aux changements climatiques et produites par le CICC.

### 5.4.3 Mesures relatives à la gestion des risques climatiques

L'augmentation des extrêmes climatiques génère un climat d'incertitude qu'il est nécessaire de tempérer. Les mesures d'adaptation visent à réduire les risques auxquels feront face les producteurs sous l'influence des changements climatiques. La principale orientation des mesures relatives à la gestion des risques concerne l'élaboration d'un système d'assurance pour le portage et le transfert de ces derniers.

Les exploitations agricoles sont confrontées à des risques climatiques demandant une double gestion. Il s'agit tout d'abord de gérer le risque global qui se situe au niveau du pays. Ce risque global doit être porté par la stratégie d'adaptation de l'agriculture (mesures d'adaptation de la production, systèmes d'assurance, stockage). Une part de ce risque sera transférée au titre du Fonds d'adaptation de la Convention cadre sur les changements climatiques. Il s'agit, ensuite, de gérer le risque micro-économique qui se situe au niveau des exploitations. Typiquement, ce risque sera pour partie porté par l'exploitant et, pour l'autre, transféré au titre d'un système d'assurance dual reposant sur la définition d'un profil optimal de couverture.

### ÉLABORER UN SYSTÈME D'ASSURANCE DUAL

Le risque d'augmentation de la variation des extrêmes climatiques auquel les exploitations feront face peut être réduit grâce à la mise en place d'un système d'assurance dual permettant la couverture non seulement des risques isolés (inondation), mais aussi des risques généralisés (événements extrêmes généralisés, sécheresse touchant toute une région par exemple).

#### Assurances | Tableau synoptique

Types d'assurance	Principes	Caractéristiques	Importance en Tunisie
<b>Programmes classiques reposant sur les dommages isolés</b>	Les indemnités sont payées sur la base de la mesure des dégâts réels (grêle, tempête)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dommages localisés</li> <li>▪ Faible corrélation du risque sur une superficie donnée</li> <li>▪ Evaluation coûteuse des dégâts</li> <li>▪ Ne conviennent pas aux risques avec impact à grande échelle (sécheresse)</li> </ul>	Assurances contre la grêle sont offertes sans trouver une grande répartition. Produits nécessitant développement.
<b>Programmes classiques basés sur le rendement (assurance multirisques)</b>	Les indemnités sont payées sur la base du niveau de rendement escompté (grêle, tempête)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Appropriés aux risques pour lesquels il est difficile de mesurer la contribution individuelle dans un sinistre</li> <li>▪ Conviennent aux risques dont l'impact s'étale dans le temps</li> </ul>	Intéressants pour l'agriculture moderne en Tunisie. Produits adaptés nécessitant développement.
<b>Nouveaux programmes d'assurance sur les revenus</b>	Association du risque de production au risque de prix ; le calcul des primes et indemnités reposent sur les prix futurs du marché	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conviennent aux grandes cultures de rente avec marchés développés (maïs, soja aux Etats-Unis) et information connexe fiable et facilement accessible</li> <li>▪ Coûts administratifs élevés</li> <li>▪ Liaison étroite banque - assureur</li> </ul>	Ce type d'assurance ne semble pas approprié pour le moment pour la Tunisie
<b>Nouveaux programmes d'assurance indexée (à coupon)</b>	Les indemnités sont payées dès lors qu'un événement climatique prédéfini, de sévérité spécifiée, est survenu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se trouvent en phase pilote de développement</li> <li>▪ L'indemnité est indépendante des dégâts réels et évite l'expertise du sinistre</li> <li>▪ Même des exploitants ou entreprises qui n'ont pas de culture du risque pourraient théoriquement souscrire</li> <li>▪ Conviennent aux événements climatiques de grande échelle comme la sécheresse</li> </ul>	Le développement d'une assurance de sécheresse pour les petits et moyens exploitants est une priorité pour la Tunisie

Un tel système d'assurance dual a pour objectif de permettre aux exploitations viables économiquement de survivre à un enchaînement d'années climatiques défavorables à leur production.

Pour les *dommages naturels isolés* touchant les exploitations agricoles, la stratégie d'adaptation préconise la mise en place de prestations privées d'assurance et de réassurance couvrant les risques financiers induits par les changements climatiques. Le profil optimal de couverture des dommages naturels repose typiquement sur une solidarité entre assurés et entre assureurs, des primes mesurées, une capacité suffisante du marché et une prévention appropriée (système de franchise, par exemple, consacrant la stratégie d'adaptation). Les bases juridiques doivent être d'une grande transparence.

Pour les *dommages naturels généralisés* (sécheresses), un système d'assurance indexée est recommandé (à coupon). Les indemnités sont payées dès lors qu'un événement climatique prédéfini, de sévérité spécifiée, est survenu. Dans de tels cas, l'Etat peut prévoir, de son côté, des gestes de soutien.

#### **PROGRAMMER UNE RECHERCHE VISANT LA REDUCTION DU RISQUE PHYSIQUE**

Ces programmes concernent principalement la sélection de variétés d'espèces cultivées pouvant résister au stress hydrique et climatique. Pour le reste, c'est-à-dire la mise au point d'itinéraires techniques autorisant l'emménagement du maximum d'eau de pluie dans le sol, l'amélioration de la structure des sols et la réduction des pertes par capillarité, les connaissances sont disponibles.

#### **PROMOUVOIR LE CONCEPT DE REGULATION**

L'objectif est un objectif d'autorégulation des revenus au niveau des exploitations. Il s'agit de s'adapter aux variations des productions dues aux successions de bonnes et de mauvaises années agricoles. En effet, les fluctuations de production sont à l'origine d'importantes variations de prix et par conséquent de revenus agricoles. Le stockage – ou le déstockage – des intrants ou des produits en tant que moyens d'arbitrage permet de réduire la volatilité des prix des produits. Il en va de même pour les revenus. Au total, le transport temporel des produits constitue une source de stabilisation des revenus des agriculteurs et une réduction des effets du forçage climatique. Les mécanismes d'assurance peuvent compléter cette autorégulation.

#### **5.4.4 Mesures économiques**

Les mesures économiques concernent l'emploi d'instruments économiques se rapprochant du marché pour tenter d'atténuer les effets du changement climatique sur l'agriculture. Il s'agit notamment de prévoir des reconversions non agricoles pour les exploitations non durables, de labelliser climatique l'agriculture et de préserver la productivité agricole.

#### **PRESERVER LA PRODUCTIVITE AGRICOLE**

Les effets du forçage économique et surtout du forçage climatique justifient l'adoption d'un tel axe d'adaptation. L'objectif est d'identifier et de mettre en œuvre des actions de nature à améliorer la capacité compétitive de l'activité agricole et de garantir l'écoulement des produits sur les marchés. Il s'agit de permettre au secteur agricole de payer les facteurs de production à leur valeur économique, ce qui est de nature à augmenter la stabilité de ses activités.

La préservation de la productivité agricole se fera par le biais du renforcement de la régulation par le marché, l'amélioration de l'efficacité technique et des mécanismes d'incitation positive indexée aux résultats économiques.

### **PREVOIR DES RECONVERSIONS NON AGRICOLES**

Les mécanismes du marché peuvent être mis à profit pour assurer la reconversion des exploitations non durables. Ces reconversions se veulent, à la base, non agricoles, c'est-à-dire qu'elles se trouvent en dehors de l'agriculture telle qu'elle est considérée habituellement et renvoient, notamment, aux prestations climatiques requises (écosystèmes) et, par exemple encore, au développement d'un marché du biofuel.

### **PASSER D'UNE AGROECONOMIE MARCHANDE A UNE AGRICULTURE CLIMATIQUE ET MARCHANDE**

En complément de la préservation de la productivité agricole, la stratégie d'ensemble est de prendre conscience que le climat et ses changements est un levier de la politique et de la planification agricoles au sens où la gestion des risques du marché complète celle des risques climatiques et ne la précède pas.

La volatilité des variables de marché est connue. Elle désigne les variations temporelles des taux d'intérêt, des cours de change, des prix des matières premières comme des produits finaux, des indices boursiers. Des moyens importants sont consacrés à la gestion des risques de marché, y compris dans une agriculture ouverte sur les marchés internationaux.

La volatilité climatique est la traduction économique des indices de variation climatique, principalement la température et les précipitations, mais également les occurrences d'événements extrêmes. Les moyens consacrés à la gestion du risque climatique, en comparaison aux moyens consacrés à la gestion des risques du marché, sont insignifiants. La stratégie visant à intégrer la volatilité climatique dans la politique agricole et économique de la Tunisie vise donc, d'une part, à prendre en compte la variation de ces indices *pour le moins* sur le même pied que celle des variables de marché et, d'autre part, à consacrer des moyens suffisants, institutionnels, informationnels et humains, à la gestion de ce risque.

Pour illustrer la question de la volatilité des indices climatiques en comparaison de celle des variables de marché, il suffit de mettre en regard, par exemple :

- la volatilité du cours Euro-USD (10% en variation annuelle),
- celle des taux d'intérêt à 10 ans (variabilité historique de 15%),
- celle de la température au mois d'août en Europe (historiquement 10%)
- celle des changements climatiques en Tunisie
  - 15% en 2030 pour la seule température par rapport à la moyenne des années de forte volatilité 1961-1990
  - 27% en 2050 par rapport à la moyenne du siècle passé
- celle du prix du pétrole (proche, récemment, de 40%).

### **LABELLISER « CLIMATIQUE » L'AGRICULTURE ADAPTEE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Il s'agit de labelliser « climatique » l'agriculture compétitive et adaptée aux risques climatiques au moyen d'un certificat de qualité rendant l'agriculture adaptée attractive et rentable – comme il existe, du côté atténuation de la politique climatique, des certificats de réduction des émissions de GES.

# CAHIER 6

## PLAN D'ACTION ET SUIVI

### Sommaire

6.1	Mise en œuvre, moyens, suivi, recherche.....	3
6.2	Plan d'action Climat.....	4
6.3	Plan d'action Ressources en eau .....	6
6.4	Plan d'action Ecosystèmes .....	9
6.5	Plan d'action Agrosystèmes   Secteur agricole.....	11



## 6.1 MISE EN ŒUVRE, MOYENS, SUIVI, RECHERCHE, INTERNATIONAL

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																																																											
			2007												2008												2009												2010												2011											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>MISE EN ŒUVRE, MOYENS, SUIVI, RECHERCHE, INTERNATIONAL</b>																																																														
<b>MISE EN ŒUVRE ET SUIVI</b>																																																														
Comité de mise en œuvre de la stratégie	Créer un Conseil national climatique	Gouvernement, sur initiation du MARH	■																																																											
<b>MOYENS</b>																																																														
Moyens financiers	Libérer des ressources budgétaires en fonction des plans d'action	Gouvernement, sur initiation du MARH													■												■												■												■											
	Intégrer la gestion du risque climatique (volatilité climatique) dans la planification agricole	MARH	■																																																											
<b>INFORMATION, CONCERTATION, SENSIBILISATION</b>																																																														
Information	Mettre en place une campagne d'information du public	Conseil national climatique, en synergie avec les initiatives internationales existantes au niveau tant financier qu'informationnel													■																																				■											
Concertation	Lancer un processus de consultation des acteurs concernés et du grand public														■																																															
Sensibilisation	Lancer un programme de sensibilisation des acteurs concernés et du grand public selon les résultats des programmes en cours		■												■												■												■																							
<b>RECHERCHE ET FORMATION</b>																																																														
Recherche et formation	Lancer un programme de R&D interdisciplinaire; puis l'appliquer	Conseil national climatique, en collaboration avec l'Enseignement supérieur et la Recherche													■												■												■																							
	Etudier les conséquences des changements climatiques sur la santé, le tourisme et d'autres secteurs nationaux		■												■																																															
<b>INTERNATIONAL</b>																																																														
Fonds d'adaptation du Protocole de Kyoto	Préparer une proposition tunisienne pour le Fonds d'adaptation du Protocole de Kyoto (financement et gestion)	Affaires étrangères, sur initiation du Conseil national climatique	■																																																											
Convention cadre sur le changement climatique	Préparer une initiative tunisienne auprès des Nations Unies pour le financement de l'adaptation tunisienne aux changements climatiques		■																																																											
<b>Suivi</b>																																																														
Evaluation, suivi des objectifs	Rapports intermédiaires et audit externe	Conseil national climatique													■												■												■												■											

## 6.2 Plan d'action CLIMAT

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																				
			2007			2008			2009			2010			2011								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>CLIMAT   1</b>																							
<b>Création et mise en place du CICC</b>																							
Créer le CICC et établir ses statuts	définir les responsabilités, le cahier des charges	Conseil national climatique + ministères impliqués, INM, CNT																					
Elaborer les aspects pratiques du CICC	procédures d'engagement et de nomination du directoire, besoins matériels, humains, informationnels et budgétaires	Conseil national climatique + ministères impliqués																					
Mettre en place du CICC	organisation interne, attribution des tâches	Directoire du CICC   collaborations																					
	mise en place des collaborations (Universités, experts, producteur de données climatiques)																						
	ouverture du serveur web et bibliothèque																						
Phase de test et d'essai	premières versions de la banque de données climatologiques de la Tunisie; préparation des interprétations; banque des rapports sur le climat	Directoire du CICC																					
Lancer des formations et programmes de recherches	test de programme de sensibilisation, mise en place d'une structure de soutien à la formation et la recherche	Ministères de la recherche scientifique et MEDD																					
CCIC en activité	fonctionnement du CCIC selon son cahier des charges	Directoire du CCIC																					
<b>Suivi , audit</b>																							
Evaluation du CCIC par un comité de suivi	évaluation du centre en fonction de l'atteinte des objectifs fixés	rapports intermédiaires; auditeur externe																					

## 6.2 Plan d'action CLIMAT

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																																																		
			2007			2008			2009			2010			2011																																						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
<b>CLIMAT   2</b>																																																					
<b>Création et mise en œuvre des systèmes de télédétection spatiale d'alertes précoces terrestres</b>																																																					
Définition des objectifs et du statut du système	définir les responsabilités, le cahier des charges	Conseil national climatique + ministères impliqués	■																																																		
Définir les besoins du système	besoins matériel, humain, établir budget et collaboration	Conseil national climatique + ministères impliqués + CICC + CNT				■																																															
Test de système pilotes	test des systèmes d'alerte, développement indicateurs (sécheresse, inondation)	à définir (collaboration INM & CICC et CNT)							■																																												
Evaluation	choix des moyens techniques et des indicateurs	Conseil national climatique + ministères impliqués + CICC + INM + CNT							■																																												
Généralisation du système à l'ensemble des régions concernées	généralisation, sensibilisation et formation	à définir (collaboration INM, CICC et CNT)										■																																									
<b>Suivi , audit</b>																																																					
Evaluation des systèmes d'alerte	établir les besoins de réformes et de modification du cahier des charges	Comité de suivi établi par le Conseil national climatique + ministères impliqués													■																																						

### 6.3 Plan d'action RESSOURCES EN EAU

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																																																											
			2007												2008												2009												2010												2011											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>RESSOURCE EN EAU   1</b>																																																														
<b>Application et renforcement de la réglementation</b>																																																														
Appliquer rigoureusement le Code des eaux	Identifier les lacunes et les dysfonctionnements dans l'application	MARH	■																																																											
	Renforcer les mesures de contrôle et de répression		■																																																											
	Renforcer les capacités des administrations concernées		■																																																											
Renforcer la réglementation pour la réduction de la consommation d'eau	Appliquer de manière effective la réglementation pour la réduction de la consommation chez les gros consommateurs d'eau	Conseil national climatique & MARH	■																																																											
	Impliquer les secteurs industriel, touristique et public		■																																																											
	Instaurer un programme de sensibilisation où l'Etat donne l'exemple		■																																																											
Renforcer la réglementation relative aux zones à risques	Réviser les périmètre de sauvegarde, de protection et d'interdiction	Conseil national climatique & Aménagement du territoire													■																																															
Mettre à jour le programme eau de la politique agricole à l'horizon 2030	Mettre à jour le programme national du secteur de l'eau en tenant compte des projections sectorielles	MARH	■																																																											
Remodeler l'organisation institutionnelle	Réduire le nombre d'organismes chargés de l'eau, clarifier leurs rôles et assurer leur coordination	Conseil national climatique	■																																																											
	Renforcer les capacités des administrations et des personnes (formation interdisciplinaire notamment)	Conseil national climatique & Education nationale	■																																																											
Prévenir les inondations	Créer des Plans spécifiques de Prévention des Risques d'Inondations (PSPRI)	Aménagement du territoire   Plans d'aménagement des municipalités	■																																																											
<b>Suivi , audit</b>																																																														
Evaluation, suivi des objectifs	Rapports intermédiaires et audit externe	Conseil national climatique													■												■												■												■											
<b>Entrée en vigueur effective</b>																																																														



Liens avec les écosystèmes et les agrosystèmes	Reconnaître les services fournis par les écosystèmes	A l'initiative du MARH									
	Renforcer le rôle particulier des zones humides										
	Impliquer les Commissariats régionaux au développement agricole (CRDA)										
<b>Suivi , audit</b>											
Evaluation, suivi des objectifs	Rapports intermédiaires et audit externe	Conseil national climatique									
<b>Entrée en vigueur effective</b>											

## 6.4 Plan d'action ECOSYSTEMES

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																																																											
			2007												2008												2009												2010												2011											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>ECOSYSTEMES   1</b>																																																														
<b>Réhabilitation des écosystèmes</b>																																																														
Réhabiliter les écosystèmes forestiers	Appliquer les règles de bonnes pratiques sylvicoles	Programme forestier	[Barre bleue continue de 2007 à 2011]																																																											
Adapter les forêts aux risques accrus des feux incontrôlés	Organiser et mettre en place un programme moderne de lutte contre les incendies (prévention, alerte, coopération avec les pays voisins)	Conseil national climatique et Forêts.	[Barres bleues : 2008 (mois 7-8), 2009 (mois 4-5), 2010 (mois 6-7), 2011 (mois 6)]																																																											
	Accélérer les programmes de récupération du bois et de gestion des combustibles	Programme forestier	[Barre bleue continue de 2008 à 2010]																																																											
Lutter contre les ravageurs	Mettre en place un programme de suivi et d'alerte des ravageurs et des maladies	Programme forestier	[Barre bleue : 2009 (mois 3-4)]																																																											
Réhabiliter les parcours naturels	Aménager et enrichir les parcours naturels en impliquant les acteurs locaux	Programme parcours	[Barre bleue continue de 2007 à 2011]																																																											
Protéger les zones humides	Mettre en place un programme national de protection des zones humides	Conseil national climatique et Forêts.	[Barre bleue continue de 2007 à 2011]																																																											
Conserver des sols	Développer la mise en œuvre des techniques de conservation des sols (terrassements, drains, etc.)	Renforcer la stratégie des CES	[Barre bleue continue de 2007 à 2011]																																																											
<b>Suivi , audit</b>																																																														
Evaluation, suivi des objectifs	Rapports intermédiaires et audit externe	Conseil national climatique	[Barres orange : 2007 (mois 12), 2009 (mois 12), 2011 (mois 12)]																																																											





## 6.5 Plan d'action AGROSYSTEMES | Secteur agricole

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																																			
			2007				2008				2009				2010				2011																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>AGROSYSTEMES   1</b>																																						
<b>Réévaluation de la carte agricole et de la carte des risques naturels</b>																																						
Appliquer et réévaluer la carte agricole	Mettre en place un système de contrôle, répertoire des lacunes et dysfonctionnement	MARH																																				
	Elaborer une procédure de mise à jour de la carte agricole incluant les effets des changements climatiques																																					
	Mise à jour et suivi de la carte agricole																																					
Mettre à jour la carte des risques naturels	Elaborer une procédure de mise à jour de la carte des risques naturels incluant les effets du changements climatiques	MARH et Aménagement du territoire																																				
	Mise à jour et suivi de la carte des risques naturels																																					
Elargir le rôle des organisations professionnelles	Les organisations professionnelles ajoutent à leurs rôles traditionnels celui de transmettre à leurs adhérents les informations liées aux changements climatiques	MARH en lien avec CICC																																				
<b>Suivi , audit</b>																																						
Evaluation de l'action 1	Comité d'évaluation	comité suivi établi par le Conseil national climatique + MARH																																				

## 6.5 Plan d'action AGROSYSTEMES | Secteur agricole

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier														
			2007			2008			2009			2010			2011		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>AGROSYSTEMES   2</b>																	
<b>Sauvegarde des exploitations menacées</b>																	
Actions de formations et de sensibilisation	Renforcement de la compétitivité de l'agriculture	MARH															
Aide aux exploitations menacées	Système de crédit de sauvegarde: définir les conditions d'accès et les sources de financement	Conseil national climatique + MARH															
	Système de paiements pour prestations climatiques: définir les prestations et les incitations ainsi que les sources de financement																
Programme de reconversions, notamment non agricoles	Identifier les possibilités de reconversion et les incitations économiques nécessaires																
Elaborer et mettre en place un système d'assurance dual	Définir les bases juridiques	MARH + assureurs privés															
	Définir les possibilités de mise en oeuvre																
Promouvoir le concept de régulation	Auto-régulation de revenus	MARH - Organisations des producteurs															
Démarrer un programme de recherche visant la réduction du risque physique	En lien avec le CCIC	Comité directeur CCIC + MARH															
Organisation des producteurs	Consolider les GDA	Conseil national climatique + MARH															
<b>Suivi , audit</b>																	
Evaluation de l'action 2	Comité d'évaluation	comité suivi établi par le Conseil national climatique + MARH															

## 6.5 Plan d'action AGROSYSTEMES | Secteur agricole

Objets	Activités	Responsabilité	Echéancier																																
			2007			2008			2009			2010			2011																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>AGROSYSTEMES   3</b>																																			
<b>Passer à une agriculture climatique</b>																																			
Programme d'intégration de la volatilité des indices climatiques dans la planification agricole	Octroyer les moyens d'analyse et faire démarrer la planification climatique et économique de l'agriculture	Conseil national climatique + MARH																																	
Label "climatique" pour l'agriculture compétitive, adaptée aux changements climatiques	Etudier et mettre en œuvre le label climatique																																		
<b>Suivi , audit</b>																																			
Evaluation de l'action 3	Comité d'évaluation	Comité de suivi établi par le Conseil national climatique + MARH																																	

# CAHIER 7

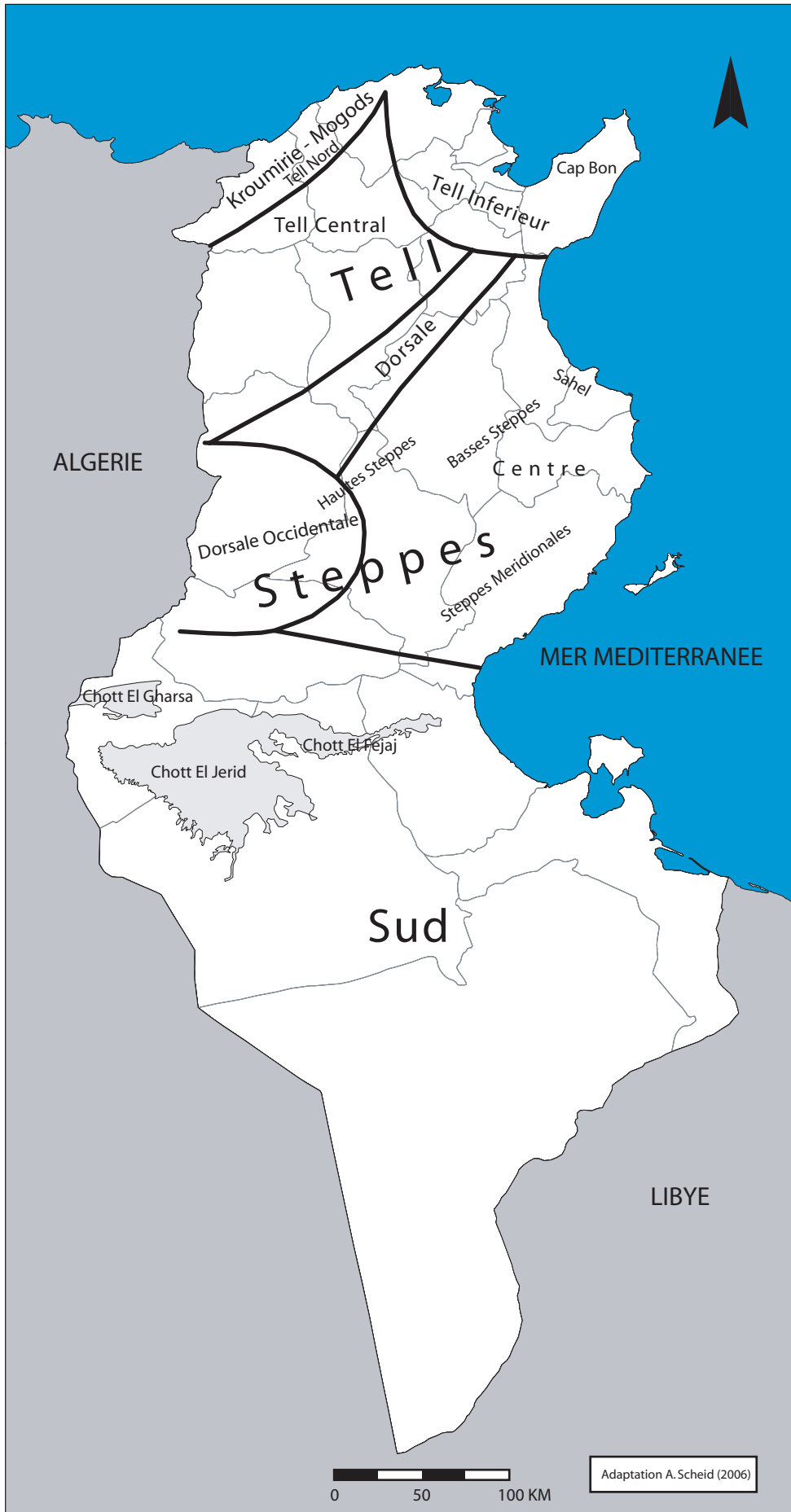
## RAPPORTS DES GROUPES D'EXPERTS

### Sommaire

<i>Carte des zones agro-écologiques de Tunisie</i> .....	4
7.1 Introduction   Note méthodologique .....	5
7.1.1 Distances taxinomiques vs intégration systémique .....	5
7.1.2 Modélisations climatiques : la Parabole des Ephémères.....	7
7.1.3 Ressources en eau : le compte s'élargit.....	8
7.1.4 Ecosystèmes : des emternalités à valoriser .....	9
7.1.5 Agrosystèmes : vers une volatilité climatique dominante ?.....	10
7.1.6 Conclusion .....	11
<i>Références</i> .....	11
7.2 Climat .....	12
7.2.1 Introduction .....	12
7.2.2 Diagnostic .....	12
7.2.3 Méthodologie .....	13
7.2.4 Résultats du modèle HadCM3 .....	14
7.2.5 Rôle de la télédétection pour les systèmes d'alerte précoce .....	19
7.2.6 Conclusions .....	20
<i>Références</i> .....	21
7.3 Ressources en eau .....	23
7.3.1 Introduction .....	23
7.3.2 Diagnostic .....	24
7.3.3 Projections des ressources en eau hors changements climatiques.....	25
7.3.4 Projections des ressources en eau sous changements climatiques .....	27
7.3.5 Conclusions .....	30
<i>Références</i> .....	31
<i>Carte des ressources souterraines les plus vulnérables</i> .....	32
7.4 Ecosystèmes .....	33
7.4.1 Introduction .....	33
7.4.2 Diagnostic .....	33
7.4.3 Projections sans changements climatiques .....	34
7.4.4 Projections avec changements climatiques .....	36
7.4.5 Conclusions .....	39
<i>Références</i> .....	39
<i>Carte des principaux risques écologiques en Tunisie en 2030</i> .....	42
7.5 Agrosystèmes et secteur agricole .....	43
7.5.1 Introduction .....	43
7.5.2 Diagnostic .....	44
7.5.3 Projection du secteur sous le forçage économique .....	44

7.5.4	Projection du secteur sous forçage climatique.....	48
7.5.5	Conclusion .....	50
	<i>Références</i> .....	51

# CARTE DES ZONES AGRO-ECOLOGIQUES



Adaptation A. Scheid (2006)

## 7.1 Introduction | Note méthodologique

Gonzague PILLET, Ecosys® Genève et Université de Fribourg (Suisse) | *Chef de mission*

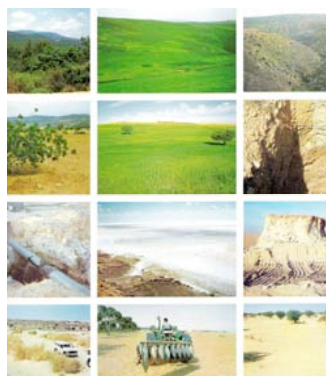
**Résumé.** Cette introduction aux travaux qui ont soutenu la rédaction de la « Stratégie nationale tunisienne d'adaptation de l'agriculture et des écosystèmes aux changements climatiques » éclaire les questions d'ordre méthodologique qui ont façonné les analyses produites par les experts. En effet, une stratégie nationale est plus qu'un rapport d'experts. Elle dépasse la juxtaposition de contributions spécialisées sur l'évolution du climat, sur la disponibilité des ressources en eau, sur le rôle des écosystèmes, sur la performance des agrosystèmes ou sur le développement du secteur agricole. La méthodologie retenue pour l'occasion a donc elle-même été influencée par l'exercice. Ne serait-ce que du fait des échelles nouvelles de temps et d'espace, il n'était pas question de rechercher une solution unique à un problème isolé, comme dans une chaîne traditionnelle de causalité. La connaissance a, par suite, évolué en cours d'étude. La présente « Note méthodologique » rend compte de cela. Elle débouche sur trois jugements importants.

### 7.1.1 Distances taxinomiques vs intégration systémique

Une stratégie est un ensemble de recommandations choisies de manière à pouvoir conduire à des actions rationnelles et simples, intégrées dans leurs relations comme dans un système de coordonnées ou d'équations. Avant de parvenir à un tel stade, des analyses thématiques ou sectorielles sont requises.

La démarche méthodologique retenue a suivi un tel schéma. Tout d'abord, dans le diagnostic (première étape de l'étude), des études sectorielles ont été entreprises. Elles ont porté sur le climat passé de la Tunisie, sur l'évaluation des ressources en eau, sur l'état des lieux des écosystèmes, sur les cultures en place et la situation du secteur agricole tunisien. Ces études sectorielles ont été mises en regard pour tirer des « distances taxinomiques », autrement dit pour vérifier de quelle manière on pouvait classer ces secteurs, quels étaient les caractères qu'ils partageaient ou, au contraire, ceux qui les différençaient par rapport aux changements climatiques ; en d'autres termes, pour être en mesure d'apprécier et de classer leurs caractères de vulnérabilité ou, au contraire, de résilience, par rapport au climat.

Pour guider cette étape taxinomique, l'emblème des sols tunisiens (Mtimet 1999 ; cf. Fig. 1) fut retenu pour l'ensemble des programmes, réunions et travaux liés à l'étude, jusqu'au *Rapport de 1<sup>ère</sup> Etape* (MARH 2005).



**Figure 1 – Taxinomie des sols tunisiens**

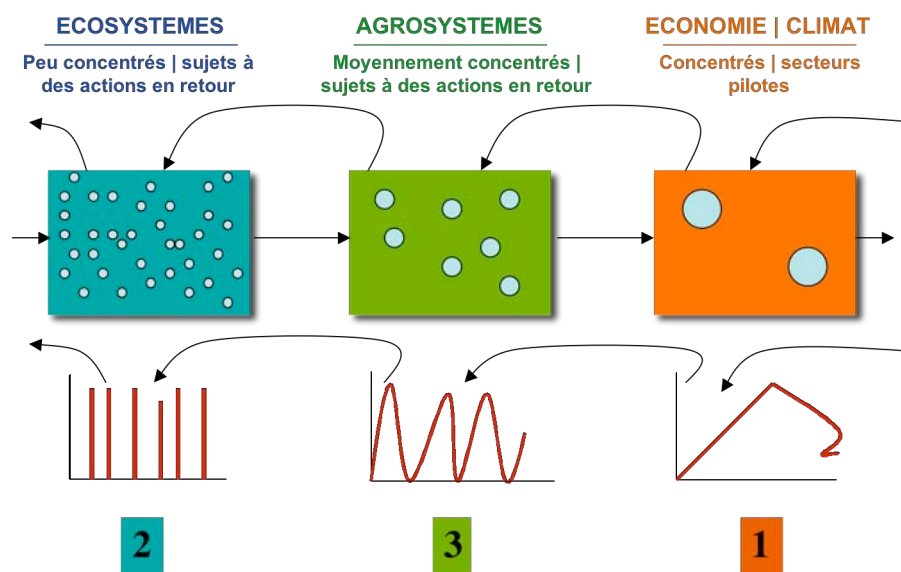
Mtimet 1999

La seconde étape de l'étude devait dépasser la classification sectorielle et les seules distances entre éléments à classer, face aux changements climatiques, comme fondement de la connaissance et des représentations à partir desquelles une stratégie d'adaptation devait être construite. Face aux changements du climat, les ressources en eau, les écosystèmes, les agrosystèmes, le secteur agricole, l'économie nationale, ne sont pas de simples bateaux posés sur l'eau, chacun poursuivant son itinéraire. Ils étaient à saisir dans leurs relations en même temps que dans leurs caractéristiques propres. Par

exemple, les écosystèmes sont moins « concentrés » et donc moins valorisés que l'économie. C'est cette dernière qui a tendance à les piloter et non l'inverse. De même, face à l'ouverture économique du pays sur les marchés européens, les variables économiques vont guider les productions agricoles – et non l'inverse. Enfin, et par-dessus tout, les changements climatiques entraînent des modifications fortes des conditions cadres de la production agricole, tant à l'échelle des températures et des précipitations moyennes qu'à celle des événements extrêmes devant survenir avec une occurrence plus importante et une intensité nouvelle.

Il en découle que les ressources en eau, les écosystèmes, les agrosystèmes, le secteur agricole et l'économie sont reliés de manière systémique face aux changements du climat suivant des principes de rétroaction positive (entretien) d'actions en retour négatives (inhibition), d'homéostasie (stabilisation), de boucle... Au surplus, la situation évolue : l'économie s'ouvre, le secteur agricole perd de sa valeur relativement au produit national, les écosystèmes sont dégradés et les ressources en eau sévèrement limitées. Il devenait ainsi primordial de situer ressources en eau, écosystèmes, agriculture et économie dans une perspective capable de tenir compte d'actions en retour et de bouclages face aux changements du climat.

L'approche systémique a été retenue dans ce dessein (Odum 1983, Pillet & Odum 1987, Odum 1996). Elle a permis de relier entre eux les secteurs à analyser de manière à tenir compte à la fois de leur spécificité et de leur concours à la performance d'ensemble de l'agriculture tunisienne au niveau social, économique et climatique. Dans cet esprit, l'enseigne des sols tunisiens céda le pas au diagramme systémique illustré par la Figure 2 et retenu pour les programmes, réunions, travaux de seconde étape, jusqu'au présent rapport.



**Figure 2 – Intégration systémique**

Le climat et l'économie sont des modules plus concentrés, énergétiquement parlant, que les écosystèmes ou les agrosystèmes, ceux-ci demeurant néanmoins indispensables à la bonne marche de l'ensemble. Les rythmes, en particulier, ne sont pas les mêmes. Les relations, quant à elles, ne sont pas linéaires (cf. l'ordre de la séquence 1 – 2 – 3).

Chaque expert, par conséquent, a été invité à rechercher l'ouverture systémique de son domaine de compétence, c'est-à-dire à passer du diagnostic traditionnel, toujours un peu replié sur lui-même, à une mise en relation, difficile parfois, de ses propres variables et de celles des autres domaines au sein d'un ensemble supérieur du point de vue ordonnancement. C'est cet exercice de « systémique » qui a soutenu l'éclosion, tout d'abord, des images directrices du **Cahier 4**, puis des axes majeurs de la stratégie d'adaptation (**Cahiers 2 et 4**), enfin des stratégies thématiques et de leur mise en œuvre (**Cahiers 5 et 6**).



## 7.1.2 Modélisations climatiques : la Parabole des Ephémères

« Si les éphémères<sup>1</sup> pouvaient s'offrir une représentation de leur vie, celle-ci serait dominée par la description des conditions atmosphériques du moment et par l'écoulement de quelques heures ou de quelques jours.

Un éphémère vivant par beau temps ne pourrait acquérir des connaissances sur une situation pluvieuse et froide que de manière indirecte, par les mesures faites par ses congénères de la semaine précédente ou au moyen d'archives climatiques comme les arbres ou les sédiments. Ainsi, il constaterait par exemple que l'eau s'évapore du sol, mais qu'en contrepartie la pluie la lui rend – sans quoi l'humidité du sol resterait inexplicée pour lui.

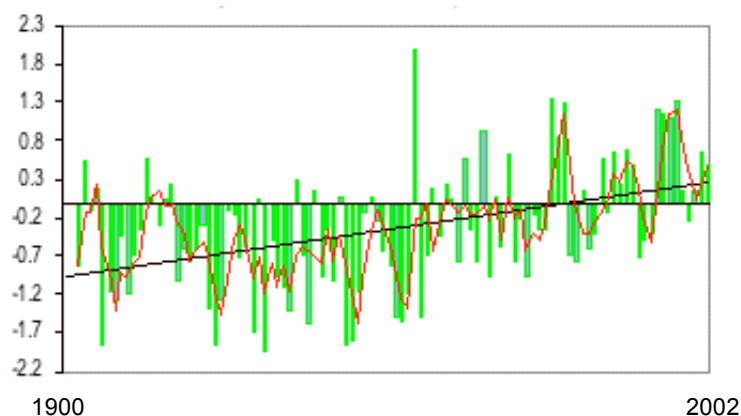
Un éphémère « scientifique » dont le domaine de recherche couvrirait la période le séparant de l'hiver précédent en arriverait ainsi à déduire la possibilité de pluie. A l'évidence toutefois, ce laps de temps serait absolument inconcevable et par conséquent inintéressant et même insignifiant pour la plupart de ses contemporains.

Nous, les humains, vivons environ dix mille fois plus longtemps que les éphémères et sommes donc à même de concevoir un cycle annuel et de le saisir dans toute son étendue. On admettra cependant que l'entendement de la plupart de nos contemporains n'est pas ébranlé par la dernière période glaciaire, période qui, à l'échelle des éphémères, correspond à l'hiver précédent. Or de tels intervalles de temps sont précisément ceux du système climatique de la Terre et sont donc importants pour saisir toute la dimension du renforcement anthropique de l'effet de serre. »

Ce petit texte que nous qualifions de « Parabole des éphémères » est tiré des « Réflexions d'un physicien sur l'évolution du climat » (Gassmann 1994, 1996). Il fournit le contexte climatique de l'étude. Le débat fut en effet serré entre modèles et réalités climatiques. Il fallut que les scientifiques usent de persuasion et de pondération afin que chacun fût en mesure de bien saisir les enjeux de la modélisation climatique. C'est que le climat lui-même apparaît comme un phénomène fluctuant, peuplé d'anomalies (Fig. 3), sensible, marqué par de multiples boucles de rétraction, marqué aussi par l'intervention du vivant et des activités humaines. « Et nous sommes loin de tout savoir du fonctionnement de notre enveloppe vitale » (Gassmann *op. cit.*).

Toutefois, stipule la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, « quand il y a risque de perturbations graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de mesures » (CCNACC 1992).

La question du cadre de décision face aux changements climatiques a été plus particulièrement développée dans le Chapitre 2 du Second rapport d'évaluation du GIEC (Arrow, Parikh, Pillet 1996).



**Figure 3 – Anomalies du climat tunisien | température hivernale 1901-2002**

<sup>1</sup> Les Ephémères sont les plus anciens insectes ailés de la planète qui survivent aujourd'hui. Leur nom vient du mot grec *ephēmeros* – « qui dure un jour ». Ils appartiennent à l'ordre des Ephéméroptères. Nom anglais : *Mayflies*.

La modélisation climatique s'impose du fait que le réchauffement de la planète est global. Et qu'il faut tout d'abord « s'élever » au niveau du modèle pour « redescendre » ensuite à l'échelle du pays. Il ne s'est jamais agi de simplement « prolonger » des tendances mesurées du climat local. La modélisation du climat futur de la Tunisie, sous changement climatique global, consista donc à régionaliser une tendance par ailleurs générale, suivant différents scénarii établis, aux horizons de temps 2030 et 2050. Puis à se rapprocher des données climatiques locales. Pour, enfin, interpréter les résultats par rapport à une période de référence, en l'occurrence la période 1961-1990.

Il en résulte une augmentation de la température moyenne, une légère diminution des précipitations et une élévation de l'occurrence d'événements extrêmes – *le tout par rapport à une période de référence marquée par une forte variabilité* (cf. Figure 3 ; on se reportera à la section 7.2 « Climat »). La variabilité climatique de la Tunisie, déjà naturellement forte, marquée par des anomalies, passe à 15% à l'horizon 2030<sup>2</sup>. En élargissant la période de référence à l'ensemble du siècle passé – moins tourmentée que la période de référence –, la variabilité climatique de la Tunisie passe à 27% pour 2050.

### 7.1.3 Ressources en eau : le compte s'élargit

La rareté des ressources en eau en Tunisie a conduit l'Etat à œuvrer sur le long terme pour une sécurisation de la demande en eau. Un compte détaillé de l'eau permet de suivre ce qui est disponible, mobilisable et exploitable.

Différentes stratégies ont été appliquées pour une mobilisation maximale de l'eau : mise en place de barrages, de réservoirs, lacs collinaires et ouvrages de captages des eaux souterraines de même que pour économiser l'eau et réduire le gaspillage et les pertes dans les réseaux. Par exemple, les réalisations de travaux de conservation des eaux et du sol sur les cinquante dernières années ont intéressé une surface de deux millions d'hectares sur un total de quelque trois millions et demi d'hectares affectés par l'érosion. Toutefois, malgré l'existence d'environ quatre-vingts stations d'épuration dans le pays, nombre de rejets d'eaux usées s'effectuent encore directement dans le milieu naturel. Pour les détails, voir la section 7.3 « Ressources en eau ».

L'eau est toutefois plus qu'une quantité, plus qu'une grandeur mesurable, plus qu'un nombre d'unités. Dans le cas des ressources en eau, le débat a ainsi été, face aux changements climatiques, de concevoir le dépassement de l'héritage de l'Ecole des Mines, d'examiner autrement dit dans quelle mesure la variabilité accrue du climat n'exigeait pas de dépasser la vision minière de l'eau.

Un tel dépassement se traduit notamment par un élargissement du compte de l'eau au sens de l'empreinte de l'eau du pays. Le compte traditionnel de l'eau, via l'exploitation de la ressource disponible, est celui de son usage. Le compte élargi de l'eau dépasse la valeur d'usage présent de la ressource pour en intégrer les valeurs de non-usage (présent ou futur), d'option, d'héritage, voire d'usage ou de non-usage virtuel de l'eau. L'intérêt de ce dépassement est que les dimensions économiques et écologiques (en valeur et en prix) viennent compléter la dimension-coût de l'ingénieur (cf. Figure 4). Ce faisant, l'empreinte de l'eau est mieux intégrée dans l'écologie, l'économie et la société d'un pays.

Un cas particulier est celui de *l'eau virtuelle* contenue dans les échanges internationaux des produits agricoles. L'eau virtuelle est le volume d'eau utilisé dans un processus de production agricole (cela est également vrai pour les processus industriels) ; elle est « virtuelle » au sens où elle n'est plus présente dans le produit final et, dès lors, n'est pas comptée dans les échanges. L'introduction de l'eau virtuelle dans le compte de l'eau d'un pays (consommation courante + exportation - importation d'eau virtuelle) définit l'empreinte de ce dernier sur l'eau (Chapagain, Hoekstra 2004).

L'eau virtuellement échangée représenterait 15% de l'eau consommée dans le monde. Tandis que, par exemple, le Canada et les Etats-Unis sont très exportateurs d'eau virtuelle, la France est peu exportatrice et la Tunisie très faiblement importatrice. Face aux changements climatiques, la prise en compte de l'eau virtuelle apparaît comme un élément stratégique intéressant en terme de suivi de l'empreinte de l'eau du pays.

---

<sup>2</sup> Rapport des coefficients de variation entre horizon de temps futur et période de référence.

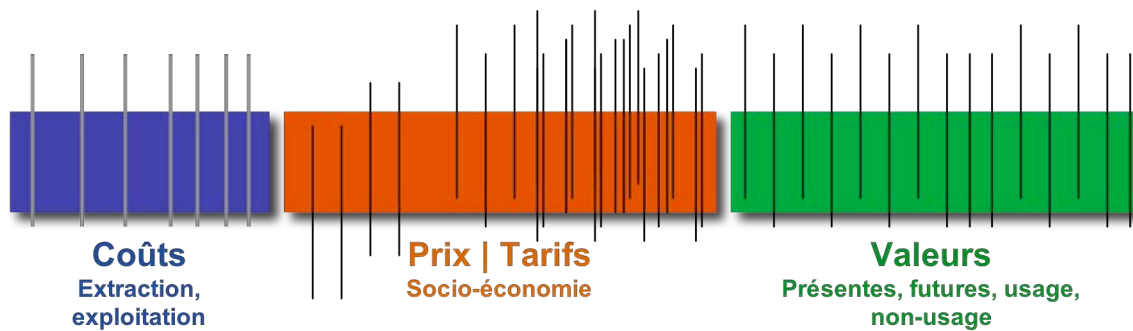


Figure 4 – Elargissement du Compte de l'eau

### 7.1.4 Ecosystèmes : des emternalités à valoriser

La question de la valeur élargie de l'eau rejoint celle des écosystèmes ou, pour mieux dire, celle des services environnementaux que ces derniers rendent (ou ne rendent pas ou plus du fait de leur dégradation). Ces services sont, en bref, des *emternalités*, c'est-à-dire des contributions non marchandes offertes à l'économie et à la société en général et à l'agriculture en particulier (Ecosys 2000, Pillet 2004, Borsa *et al.* 2005, Pillet 2006).

En termes de changements climatiques, la notion d'emternalité fait sens en se présentant en miroir de celle d'externalité. Si, en effet, une stratégie d'atténuation des gaz à effet de serre portera sur le contrôle des *externalités* (les émissions), une stratégie d'adaptation aux changements climatiques contrôlera les *emternalités* (les intrants), ces dernières réagissant aux conséquences des premières. Les emternalités fonctionnent alors comme indicateurs de pression sur la contribution des écosystèmes. Cette contribution se décline sous divers angles : les forêts protègent les barrages et les lacs collinaires des glissements de terrains et autres engorgements ; les parcours naturels protègent les sols en prévenant l'érosion hydrique ; les sols conservent les eaux et les relâchent de manière plus modérée ; les zones humides servent de réservoir-tampon en absorbant les surplus des ruissellements. A l'inverse, les événements extrêmes peuvent être amplifiés par les pratiques de culture des sols et d'aménagement de certains espaces (impermeabilité, élimination d'espaces naturels de protection, par exemple).

La question de la valeur des contributions des écosystèmes peut être illustrée de manière tranchée par les valeurs croisées des surfaces cultivées dans la valeur des services des écosystèmes et des écosystèmes dans le Produit intérieur brut : les surfaces cultivées représentent 1% de la valeur globale des écosystèmes (Costanza *et al.* 1997 ; cf. Tableau I) tandis que la valeur des écosystèmes ne va le plus souvent même pas apparaître dans le Produit intérieur brut d'un pays.

Cette inégalité des valeurs relatives a conduit les experts à étudier de plus près le rôle et la valeur des services environnementaux des écosystèmes face aux changements climatiques. Deux résultats sont ressortis : d'une part, les écosystèmes résilients (plutôt que dégradés) prennent de la valeur en situation de changements climatiques ( $\geq 5\%$ ) tandis que, d'autre part, la valeur des contributions climatiques des écosystèmes dépasse celle de leurs produits directs (bois, fourrage, etc.). Par exemple, en effet, si la valeur plancher des services environnementaux de la forêt tunisienne s'élève à 500 millions de TND par an, la valeur des produits directs ne se situe qu'à 50 millions de TND par an.

Tableau I – Valeur globale des écosystèmes

Ecosytèmes terrestres	Parts
Forêts	38.20%
Marais	39.70%
Lacs	13.80%
Prairies	7.30%
<i>Surfaces cultivées</i>	<i>1.00%</i>
Valeur globale	100%

D'après Costanza *et al.* 1997

## 7.1.5 Agrosystèmes : vers une volatilité climatique dominante ?

Les agrosystèmes et le secteur agricole tunisiens se retrouvent sous le coup d'un double forçage : un forçage économique et un forçage climatique. Le forçage économique est le fait de l'ouverture du pays aux marchés extérieurs, soulignée par les attentes du planificateur. Le forçage climatique est lié à l'augmentation persistante de la température moyenne, à la diminution des précipitations et à la fréquence de survenue plus marquée d'événements extrêmes.

Le forçage économique se mesure en performance du secteur agricole (on se reportera à la section 7.5 « Agrosystèmes et secteur agricole »). Du fait de l'ouverture du pays, cette performance devrait être de plus en plus soumise à la volatilité des variables de marché (variations de cours sur les marchés des changes et des capitaux, des taux d'intérêt à moyen et long terme, des prix de certaines matières premières). Le forçage climatique est mesuré par les impacts sur les récoltes et les rendements entraînés par la variabilité plus forte du climat à venir.

La volatilité des variables de marché est exprimée par l'écart type des variations de cours ou de prix<sup>3</sup>. Du point de vue de l'analyse climatique, la variabilité du climat s'exprime aussi par des écarts types. Il devient ainsi possible de mettre en regard deux « volatilités » concurrentes, celle des variables de marché, d'une part, et celle des indices climatiques, d'autre part<sup>4</sup>, pour en considérer les forces et les influences croisées. On remarque alors qu'en retenant la volatilité de la température moyenne de la Tunisie à l'horizon 2030 par rapport à la période déjà très variable 1961-1990, nous avons une volatilité plus forte que celle des taux d'intérêt, des cours de change ou des indices boursiers. A l'horizon 2050, par rapport à la moyenne du siècle passé (moins variable que la période 1961-1990), la volatilité de la température moyenne est plus forte encore.

Ces influences croisées, économiques et climatiques, soulèvent des questions de base. Sommes-nous certains « qu'une variation de 25 points de base de la Banque Centrale Européenne ou une variation de 5 cents de l'Euro-dollar ont un impact plus important sur le résultat [des entreprises] qu'une variation de +1 °C de la température au mois d'août » (Marteau 2006) ? « Est-il plus légitime de gérer le risque de change que le risque climatique ? » Comment expliquer l'insuffisance des moyens humains, informationnels et organisationnels alloués à la gestion du risque climatique par rapport aux moyens attribués à la gestion des risques de marché (*ibid.*) ?

En définitive, en termes d'adaptation, il ne s'agit donc peut-être pas de verser la question climatique dans la gestion économique, mais plutôt d'introduire l'économie dans la variabilité du climat. Pour le moins en développant des indices agro- et économique- climatiques.

**Tableau II – Volatilités économiques et climatiques**

Variables de marché	Volatilité
Cours de change Euro   USD	10%
Taux d'intérêt à 10 ans	10%
Indices boursiers	15%
Indices climatiques	Volatilité
Température historique du mois d'août*	10%
Température moyenne horizon 2030**	15%
Température moyenne horizon 2050***	27%
Cumul annuel des précipitations****	30%

\* Europe 1802-2003

\*\* Tunisie (période de référence: 1961-1990)

\*\*\* Tunisie (période de référence: tout le siècle passé)

\*\*\*\* Europe (historiquement)

<sup>3</sup> L'écart type est une mesure de la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne d'une population statistique. Il est sensible aux valeurs aberrantes et rend donc compte des valeurs extrêmes au sein d'une telle population.

<sup>4</sup> La « variabilité » du climat se traduit donc économiquement parlant par la « volatilité » des indices climatiques (température, précipitations, notamment).

## 7.1.6 Conclusion

Une stratégie d'adaptation aux changements climatiques requiert quelques changements dans les angles de vision. Par rapport à une stratégie d'atténuation des émissions de GES visant à contrôler les *externalités* produites par des secteurs économiques bien définis (énergie, transport, par exemple), une stratégie d'adaptation considère de manière plus intersectorielle la mesure dans laquelle les effets en retour de ces émissions vont toucher son économie (via les *emternalités*, le rôle des écosystèmes, jusqu'à la performance des agrosystèmes). La vision est par nécessité systémique – au sens de la représentation fournie par la Figure 2.

Dès lors la stratégie concernant les ressources en eau, les écosystèmes, les agrosystèmes et le secteur agricole est-elle de facto intégrée. Ce qui est proposé pour les écosystèmes, par exemple, ne l'est pas pour un secteur isolé, mais pour l'ensemble des ressources en eau, des agrosystèmes, de l'économie et de la société face aux impacts des changements climatiques.

Dans cette perspective, *trois jugements d'ordre économique* ressortent : la valeur des écosystèmes augmente via les services environnementaux qu'ils fournissent, les ressources en eau – dont la gestion va dans la bonne direction – se trouvent face à un besoin d'élargissement de leur compte et de leur valeur, notamment à travers leur tarification, tandis que les agrosystèmes, pris en tenaille entre économie et climat, sont appelés à investir de manière de plus en plus marquée dans leur dimension climatique.

## Références

- ARROW, K.J., J. PARIKH, G. PILLET (1996). Decision-Making Frameworks for Addressing Climate Change. Chapter 2 in : IPCC-SAR : *Climate Change 1995 – Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge : Cambridge University Press : 53-77.
- BORSA, S., N. MARCHETTINI, A. PIZZIGALLO, F. M. PULSELLI (2005). Thermodynamic Optimisation of the Use of Natural Resources: An Agroalimentary Production in a Chianti Farm (Italy). *WIT Transactions on Ecology and the Environment* Vol. 81 | www.witpress.com (on-line).
- CCNACC – Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (1992 | Entrée en vigueur : 1994). New-York : Organisation des Nations Unies.
- CHAPAGAIN, A.K., A.Y. HOEKSTRA (2004). *Water Footprint of Nations*. Paris : Unesco.
- COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG, S., NAEEM, R.V. O'NEIL, J. PARUELO, R.G. RASKIN, P. SUTTON, M. VAN DEN BELT (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* Vol. 387: 253-260.
- ECOSYS (2000). *Appréciation quantitative des externalités de l'agriculture suisse*. Berne : OFAG.
- GASSMANN, F. (1994, 1996). *Was ist los mit dem Treibhaus Erde*. Zurich : vdf | Stuttgart u. Leipzig : Teubner. Version française : *Effet de serre – Modèles et réalités*. Genève : Georg.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (2005). *Changements climatiques : Effets sur l'économie tunisienne et stratégie d'adaptation pour le secteur agricole et les ressources naturelles*. Rapport de Première Etape. Tunis.
- MARTEAU, D. (2006). *Enjeu et modalités de la couverture du risque climatique*. Paris | www.powernext.com (en ligne).
- MTIMET, A. 1999. *Atlas des sols tunisiens*. Tunis : République Tunisienne, Ministère de l'Agriculture.
- ODUM, H.T. (1996). *Environmental Accounting – Emergy and Environmental Decision Making*. New York : John Wiley & Sons.
- ODUM, H.T. (1983). *Systems Ecology*. New York : John Wiley & Sons.
- PILLET, G. (2006). *Economie de l'environnement | Ecologie de l'économie*. Bâle, Munich, Genève : Helbing & Lichtenhahn.
- PILLET, G. (2004). Emternalities as Counterpart to Economic Externalities. *Ecological Modelling* Vol. 178: 183-187 | www.ecosys.com/emternalities (on-line).
- PILLET, G., H.T. ODUM (1987). *E<sup>3</sup> Emergie, Ecologie, Economie*. Genève : Georg.

## 7.2 Climat

Lorenz KING<sup>\*</sup>, Zuheir NASR<sup>°</sup>, Hussein ALMOHAMAD<sup>\*</sup>, Clemens C. MAAG<sup>\*</sup>

**Résumé.** Le *diagnostic* des données climatiques a reposé essentiellement sur l'observation des données et des anomalies des températures et des précipitations à différentes échelles spatio-temporelles. L'étude des données réelles de stations représentatives indique une tendance significative vers la hausse de la température avec un accroissement de +1.2 °C au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Pour les précipitations, aucune tendance n'a pu être dégagée, ce qui est probablement dû à la variabilité marquée de la pluviométrie dans la période de 1961-1990.

La *projection* du climat aux horizons 2020 et 2050 a été réalisée en utilisant le modèle HadCM3 suivant deux scénarios moyens (B2 et A2). Le modèle simule pour ces scénarios et pour les horizons adoptés l'évolution de la température et de la pluviométrie en rapport avec les données de la période de 1961-1990 (période de référence). Les résultats du modèle à l'horizon 2020 indiquent une élévation de la température variant de +0.8 °C au Nord à +1.3 °C au Sud, accompagnée d'une faible baisse des précipitations, de l'ordre de -5% à -10%, à l'horizon 2020. Ces tendances s'accroissent à l'horizon 2050. L'été connaîtrait l'augmentation de la température et la baisse des précipitations les plus fortes. A contrario, l'hiver subirait l'augmentation de la température et la baisse des précipitations les plus faibles. L'analyse des précipitations des saisons très humides ou très sèches montre une accentuation de la sécheresse en intensité et en successions d'années sèches (accentuation des événements extrêmes). Ce phénomène serait plus prononcé au Sud, moins fort au Nord-Est, moyen au Centre tandis que le Nord-Ouest pourrait être épargné. Les résultats de la modélisation ont été validés sur la période de 2000 à 2005 à partir des données tunisiennes.

### 7.2.1 Introduction

La première partie de l'étude, la phase de diagnostic, a porté sur la synthèse bibliographique, nationale et méditerranéenne, des changements climatiques, des diverses tendances, de la variabilité observée et des phénomènes extrêmes (King, Nasr 2005). L'objectif de la présente étape de l'étude est la projection du climat futur pour la Tunisie selon les résultats du modèle HadCM3 et en considérant les scénarios SRES les plus probables de IPCC (2001).

Dans ce domaine, les incertitudes sont une composante des projections futures du climat. Les sources de cette incertitude sont multiples (Hulme, Timothy 1999) : incertitudes inhérentes à la projection de la dynamique des populations des sociétés et de l'évolution économique, liées à la représentation du climat observé (Ward et al. 1999), d'ordre physique sur la projection du climat à l'échelle régionale (Priceputu 2006), incertitudes, enfin, quant à la prévision de la survenue des phénomènes extrêmes à l'échelle de la Tunisie (Labane, Ben Rached 2003). L'exemple le plus récent en Tunisie est celui des inondations de septembre 2003 dans la région de Tunis et de la basse vallée de la Medjerdah (Floury, Lebdi 2003). Enfin, des incertitudes sont liées aux émissions des gaz à effet de serre (GES), carbone notamment, ainsi que d'autres composés jouant un rôle important dans le climat régional comme les composés sulfureux ou les aérosols (Nakicenovic et al. 2000). Le premier inventaire national des émissions de GES établi en 1994 et actualisé en 1997 selon la méthodologie de l'IPCC-OCDE (MEAT 2001) montre une faible évolution des émissions de GES en Tunisie.

### 7.2.2 Diagnostic

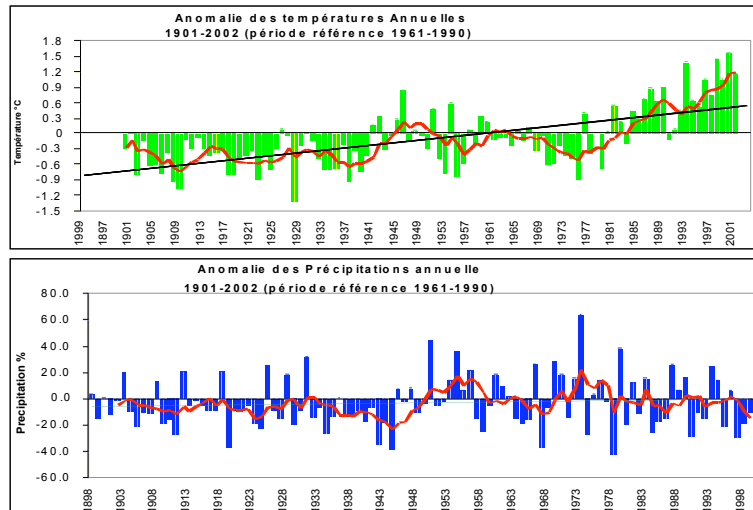
#### Anomalies des températures et des précipitations moyennes annuelles à partir de la technique du maillage (grid-data)

Pour la température, le point fondamental est une tendance significative à la hausse de +1.2 °C au cours du siècle passé (Figure 1). Cette hausse s'avère supérieure à la hausse moyenne globale de +0.7 °C indiquée par le rapport IPCC (2001). Pour les précipitations, aucune tendance significative est décelée. *On notera toutefois que la période de référence 1961-1990 est caractérisée par la variabilité la plus forte* (écart type le plus élevé) en comparaison avec les périodes précédentes 1931-1960 et 1901-1930.

---

\* Université de Giessen (Allemagne)

° IRESA (Tunisie)



**Figure 1 – Anomalies des températures moyennes et des précipitations moyennes au cours du siècle passé reconstruites à partir de l'ensemble des grid-data pour la Tunisie**

### **Accroissement des températures et pentes des droites des tendances au cours des 50 dernières années des stations isolées**

Il est important de rappeler le résultat global sur les tendances des températures étudiées durant la première phase de l'étude (King, Nasr 2005) pour quelques stations représentatives des différentes régions de la Tunisie, le Nord-Ouest (Jendouba), le Centre (Kairouan), le Nord-Est (Tunis), le Sud-Est (Gabès) et le Sud-Ouest (Gafsa) (INM, 2004). Les pentes des droites de régressions varient de  $+0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  pour Gabès,  $+0.26\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  pour Jendouba,  $+0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  pour Gafsa, de  $+0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  pour Tunis à  $+0.58\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  comme valeur maximale pour Kairouan, sachant que, pour ce dernier cas, on ne dispose que des données de 1965 à 2004. Les coefficients de régression  $R^2$  varient de 0.52 à 0.72. En comparant les périodes 1950-1975 et 1976-2004, des écarts par rapport aux moyennes de la deuxième période de  $+0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour Gabès,  $+0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour Gafsa,  $+0.96\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour Tunis,  $+0.61\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour Jendouba et de  $+1.17\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour Kairouan ont été relevés. En excluant le cas particulier de Kairouan, on retiendra pour les cinquante dernières années des pentes allant de  $+0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  à  $+0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  et des écarts par rapport aux moyennes allant de  $+0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $+0.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

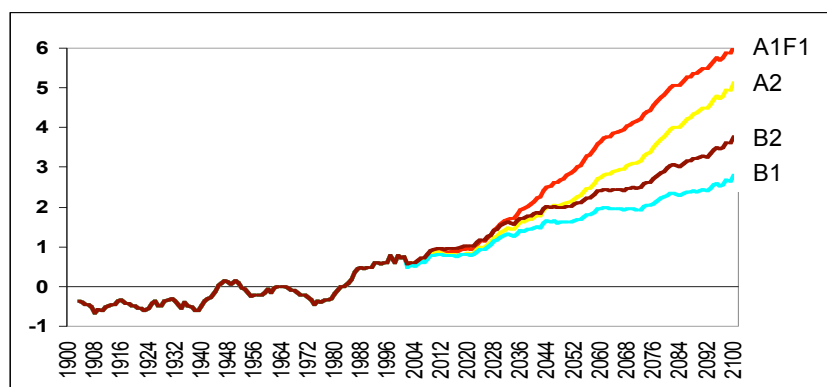
## **7.2.3 Méthodologie**

### **Modèles et scénarios proposés pour la Tunisie par le Tyndall Centre**

L'analyse se réfère à une étude récente du Tyndall Centre concernant la Tunisie dans laquelle les résultats de quatre modèles ont été projetés : les modèles canadien (CGCM2), australien (CSIRO mk2), américain (DOEPCM) et britannique (HadCM3), ce dernier étant le plus récent (Mitchell 2003, Mitchell & Jones 2005). Les scénarios extrêmes A1, A1F1 ainsi que les scénarios moyens A2 et B2 du SRES ont été combinés aux modèles cités (Hulme et al. 2001). L'analyse de ces projections indique qu'à l'échelle annuelle, les modèles DOEPCM et CSIRO donnent des résultats extrêmes bas et hauts respectivement. Les modèles CGCM2 et HadCM3 donnent des augmentations des températures médianes de l'ordre de  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  à l'horizon 2080. Le modèle HadCM3 a été retenu comme modèle le plus fiable pour projeter les températures et les précipitations des horizons futurs pour la Tunisie.

### **Scénarios retenus pour la Tunisie**

Quatre scénarios SRES (haut : A1F1, bas : B1, moyens : A2 et B2) sont proposés pour cette étude. La Figure 2 indique l'évolution des températures, selon ces scénarios, pour la Tunisie. En fonction des observations faites au sujet des tendances des températures vérifiées au cours de la période 1950-2004, les scénarios A2 et B2 semblent le mieux correspondre à la projection du climat futur de la Tunisie même si, à l'horizon 2050, les résultats des quatre scénarios s'avèrent assez proches.



**Figure 2 – Elévation de la température (°C) selon les quatre scénarios A1F1 (scénario haut), A2, B2 (scénarios moyens) et B1 (scénario bas) de 1900 à 2100**

### La base de données du modèle HadCM3

Le HadCM3 est un modèle de circulation générale couplé atmosphère-océan développé par le “Hadley Centre“ (UK). Il est décrit par Gordon et al. (2000) et est un des modèles les plus utilisés au sein de IPCC (2001). Le modèle HadCM3 utilise des grid-data (des maillages) de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  soit, pour la Tunisie, un maillage de  $55 \text{ km} \times 55 \text{ km}$  et un ensemble de 56 mailles. Les résultats du modèle – base de données mensuelles des précipitations et des températures pour chaque maille définie – sont utilisés essentiellement pour quantifier les élévations des températures et les baisses probables des précipitations et pour étudier la variabilité des précipitations et les extrêmes. Les horizons de projection sont 2020 (2011-2040) et 2050 (2041-2070) et les variations des températures et des précipitations sont données par rapport à la période de référence (1961-1990).

Pour la modélisation de la variabilité du climat et de ses extrêmes, deux indicateurs ont été utilisés, à savoir le rapport du coefficient de variation (CV%) entre l’horizon futur et la période de référence (1961-1990) et le rapport des déciles (1<sup>er</sup> décile, année ou saison très sèche et 10<sup>e</sup> décile, année ou saison très humide) par rapport à la médiane des déciles de la période de référence. Pour la sécheresse, l’analyse porte sur l’augmentation des années sèches (pluviométrie < 30% de la moyenne) ou années très sèches (pluviométrie < 50% de la moyenne). Une année sèche isolée est désignée par (s), la succession de deux années sèches par (ss) et la succession de trois années sèches par (sss).

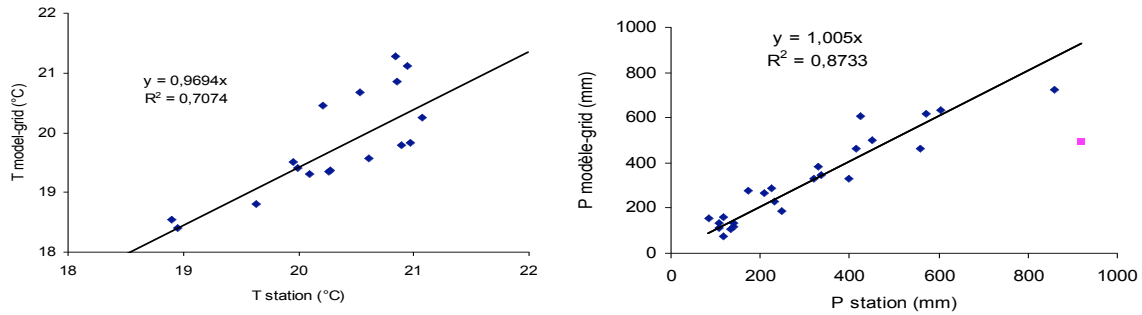
### 7.2.4 Résultats du modèle HadCM3

#### Test de validation du modèle HadCM3 sur la période 2001-2005

Une période d’observations de cinq années (2000 à 2005) a servi à la validation du modèle. Cette période s’avère particulière car elle contient une année sèche (2001), une année très sèche (2002), une année très humide (2003) et deux années normales (2004 et 2005). La Figure 3 montre les corrélations obtenues entre les valeurs de températures et de précipitations annuelles observées et estimées par le modèle HadCM3. Les résultats sont globalement satisfaisants. Cependant, on s’attendait à ce que la corrélation soit meilleure pour les températures que pour les précipitations, et c’est le contraire qui s’est produit. Cette différence pourrait s’expliquer par le fait que, d’une part, la période de validation est très courte et, d’autre part, que les comparaisons sont faites uniquement sur les données de la station la plus proche. On note également une plus forte disparité des valeurs des températures bien que celles-ci restent relativement proches des valeurs moyennes interannuelles des différentes stations considérées.

Pour l’année exceptionnellement pluvieuse 2003, *le modèle simule correctement la forte pluviométrie de Jendouba (860 mm), mais pas celle de Tunis (930 mm)*. Toutefois, la pluviométrie à la station de Tunis a été particulièrement exceptionnelle (410 mm, dont 182 mm le 18.09.2003 en l’espace de quelques heures et 101 mm le 25.09.2003). Pour les faibles pluviométries de l’année sèche 2001 (de l’ordre de 100 à 200 mm), *le modèle donne une valeur moyenne cohérente dans l’ensemble*.

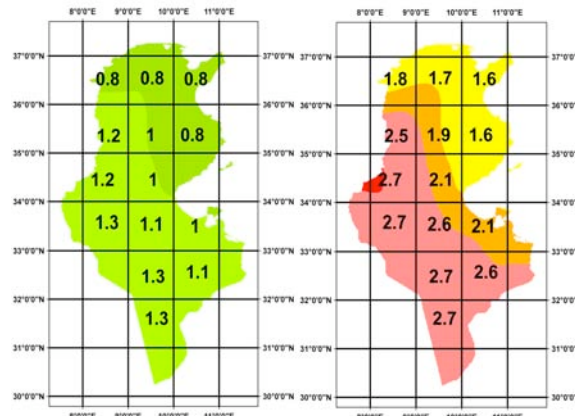




**Figure 3 – Comparaison entre les valeurs mesurées par les stations les plus proches de Jendouba, Kairouan, Tunis-Carthage, Gabès et Gafsa et les valeurs estimées par le modèle pour les températures et précipitations moyennes annuelles 2001 à 2005**

### Projections des températures moyennes annuelles et saisonnières aux horizons 2020 et 2050

A l'horizon 2020, on obtiendrait une élévation générale des températures des horizons futurs par rapport à la période de référence. Suivant le scénario A2, on peut distinguer trois zones d'augmentation (Figure 4). La première zone concerne le Nord, le Cap Bon et le Centre-Est où cette élévation serait la plus faible (+0.8 °C), la seconde, une zone intermédiaire au centre du pays et une troisième, la zone formée par le Sud-Ouest et l'extrême Sud où l'élévation des températures serait plus importante (+1.3 °C). A l'horizon 2050, la tendance à l'augmentation s'accroîtrait (doublement) avec la plus forte augmentation, de l'ordre de +2.7 °C, au Sud-Ouest.



**Figure 4 – Élévation des températures (°C) moyennes annuelles du modèle HadCM3 (scénario A2) par rapport à la période de référence à l'horizon 2020 (gauche) et à l'horizon 2050 (droite)**

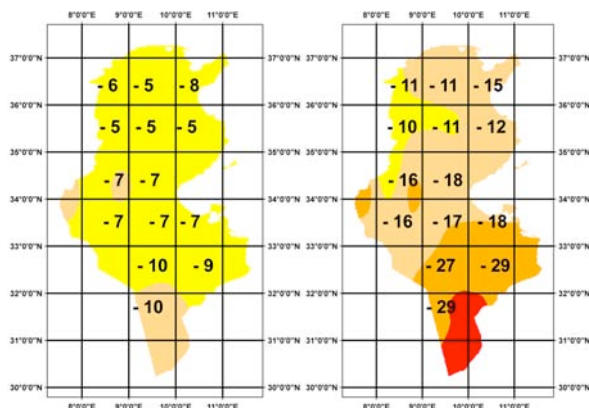
Les valeurs montrées dans le maillage de la figure sont moyennes. Les scénarios calculés sont plus différenciés, créés à partir des données d'un maillage de 0.5°.

Concernant les variations saisonnières, on note qu'à l'horizon 2020 c'est l'été qui connaîtrait les plus fortes augmentations, de +0.9 °C à +1.6 °C. L'automne et le printemps seraient intermédiaires avec des augmentations respectives de +0.9 °C à +1.4 °C et de +0.6 °C à +1.2 °C. L'hiver subirait les augmentations les plus faibles (+0.7 °C à +1.0 °C du Nord au Sud). Ces élévations des températures sont comparables, voire assez proches des résultats des projections du climat dans les pays méditerranéens (Giannakopoulos et al. 2005, Projet National Algérie 2001).

### Projections des précipitations moyennes annuelles et saisonnières aux horizons 2020 et 2050

La tendance générale des précipitations moyenne serait à la baisse. Cette baisse serait faible à l'horizon 2020, mais s'accroîtrait à l'horizon 2050 suivant l'ensemble des scénarios. Sous le scénario A2, à l'horizon 2020, on noterait une baisse de -5% au Nord, -8% au Cap Bon et au Nord-Est et -10%

à l'extrême Sud. Les baisses seraient faibles et on ne distingue pas de zones différenciées. *A l'horizon 2050, la baisse s'accroîtrait*, variant de -10% au Nord-Ouest à -30% à l'extrême Sud. On pourrait distinguer alors trois zones, une première zone de faible baisse qui se situerait à l'extrême Nord-Ouest du pays (-10%), une zone Sud subissant la plus forte baisse (-27%) et une zone intermédiaire correspondant au reste du pays.



**Figure 5 – Baisse (%) des précipitations moyennes annuelles du modèle HadCM3 (scénario A2) par rapport à la période de référence à l'horizon 2020 (gauche) et à l'horizon 2050 (droite)**

Concernant les variations saisonnières, la tendance serait à la baisse pour l'ensemble des scénarios. A l'horizon 2020, l'hiver subirait la plus faible baisse (0% à -7% et l'été connaîtrait la baisse la plus forte (-8% à -40% du Nord à l'extrême Sud). D'après le scénario A2, l'automne et le printemps seraient en situation intermédiaire avec des baisses qui pourraient varier de -6% à -12% à l'extrême sud. A l'horizon 2050, cette même tendance s'accroîtrait. L'hiver resterait la saison à plus faible baisse (-3% à -11%), l'été la plus forte (-16% à -50% extrême sud). L'automne et le printemps seraient en situation intermédiaire, mais l'automne, avec des diminutions de -12% à -36% du Nord à l'extrême Sud, connaîtrait une plus forte baisse que le printemps (-12% à -20%) entre 2020 et 2050.

### Indicateur de variabilité

Le rapport des coefficients de variation de la pluviométrie annuelle est indiqué sur le Tableau I. D'après ces résultats, la variabilité des précipitations annuelles baisserait aux horizons futurs même si sa valeur moyenne restait relativement forte. Ce résultat va en fait à l'encontre des avis de plusieurs chercheurs ; on s'attendait effectivement à ce que ce coefficient augmente en région méditerranéenne. Il ne s'agirait pas d'une incohérence du modèle, mais plutôt d'une forte variabilité de la période référence (1961-1990). De ce fait on peut dire que la variabilité du XXI<sup>e</sup> siècle devrait être plus importante que celle du siècle passé. Un facteur de correction de 1.2 qui tiendrait compte de la variabilité moyenne du XX<sup>e</sup> siècle pourrait inverser cette tendance.

**Tableau I – Rapport des coefficients de variation CV par région et pour les scénarios A2 et B2 par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3**

Horizons Scénarios	2020		2050	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.00	0.99	0.97	0.92
NE	1.02	1.00	0.90	0.84
CO	0.97	0.97	0.98	0.95
CE	1.02	1.01	0.94	0.90
SO	0.90	0.90	0.93	0.91
SE	0.89	0.87	0.78	0.76

## Variabilité saisonnière

*En Hiver*, au Nord, le CV marquerait une tendance à la baisse comme la tendance annuelle. On note cependant une légère augmentation du CV pouvant aller de 5% à 10% à l'horizon 2050 avec une légère baisse également notée au Sud du pays.

*Au printemps*, le Nord du pays serait marqué par une augmentation du CV% par rapport à la période de référence (Tableau II), celle-ci serait au moins de 15% à l'horizon 2020 pour B2 et dépasserait 50% à l'horizon 2050 pour le scénario A2. On note globalement la même tendance au centre du pays et pas d'augmentation pour le Sud, voire une légère baisse.

*En été*, les valeurs du CV varieraient entre légère augmentation et stabilisation mais elles resteraient assez élevées.

*Pour l'automne*, une augmentation de 5 à 10% pour le Nord et le Centre est notée ; elle s'avère moins importante que celle du printemps. Au Sud, le CV marquerait une baisse.

**Tableau II – Rapport des coefficients de variation CV (%) par région pour les scénarios A2 et B2 par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3, saison printemps (haut) et automne (bas)**

Horizons Scénarios	2020 / Printemps		2050 / Printemps	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.15	1.15	1.60	1.50
NE	1.12	1.12	1.70	1.60
CO	1.04	1.06	1.25	1.25
CE	1.10	1.10	1.23	1.23
SO	0.99	1.00	0.98	1.06
SE	1.03	1.05	0.87	0.91

Horizons Scénarios	2020 / Automne		2050 / Automne	
	A2	B2	A2	B2
NO	1.01	0.99	1.10	1.04
NE	1.02	1.00	0.97	0.91
CO	0.94	0.93	1.10	1.05
CE	1.04	1.00	1.18	1.10
SO	0.90	0.87	0.97	0.93
SE	0.87	0.84	0.84	0.78

## Analyse des extrêmes, années ou saisons très sèches et années ou saisons très humides

*A l'horizon 2020*, au Nord, on aurait une faible baisse de 2% de la médiane des années pluvieuses et une baisse de 5% de la médiane des années sèches. Au Centre, une baisse de 3% pour la médiane des années pluvieuses et une baisse de 2% de la médiane des années très sèches. Le Sud serait caractérisé par une baisse de 8% de la médiane des années pluvieuses et une baisse de 2% des années sèches.

*A l'horizon 2050*, au Nord, on observerait une baisse de 16% de la médiane des années pluvieuses et baisse moindre de 8% des années très sèches. Au Centre, une baisse de 25% de la médiane des années pluvieuses et une baisse de 8% de la médiane des années sèches. Au Sud, le rapport des déciles baisserait de 21% de la médiane des années très pluvieuses et baisserait de 12% pour les années très sèches. *La baisse des médianes des années extrêmes humides ou sèches resterait faible ; cette baisse serait plus prononcée pour les années très humides.* Cette même tendance s'accentuerait à l'horizon 2050 avec des baisses pourraient varier de 10% à 20% du Nord au Sud.

## Analyse des précipitations saisonnières, saisons très humides et très sèches

*Automnes très humides* : dans ce cas, les deux scénarios donnent des résultats assez proches dans l'ensemble (Tableau III). Au nord, le rapport des déciles baisserait de 5% à 15% à l'horizon 2020 alors que pour l'horizon 2050 on pourrait noter une différence entre l'Est et l'Ouest. On noterait également une stabilisation de ce rapport ou une légère augmentation au Nord-Ouest et à l'inverse une baisse de 17% à 20% dans la partie Est. On obtiendrait les mêmes tendances pour le Centre du pays ; à l'horizon 2050, on noterait une hausse du rapport de 10% à l'Est, mais une baisse de 8% à l'Ouest. Au Sud, le rapport des déciles baisserait de 20% à 45%, la baisse la plus importante serait à l'horizon 2050 au Sud-Est. *Les automnes très humides le seraient généralement moins* par comparaison à la période de référence. Cette baisse serait plus prononcée au Sud. Au Centre et au Nord, on noterait une baisse des médianes des printemps très humides à l'horizon 2020 et cette tendance pourrait s'inverser à l'horizon 2050.

*Automnes très secs* : au Nord, le rapport des déciles baisserait de 10-15%, cette baisse serait plus forte dans la partie Est. La tendance continuerait à l'horizon 2050. Au Centre, on pourrait distinguer une différenciation entre la partie Est et Ouest. On noterait une légère augmentation de 5% ou une stabilisation du rapport à l'horizon 2020 au Centre Ouest. Une baisse à l'horizon 2050 du rapport des déciles pour la même région pouvant aller de 6% avec B2 à 22% sous A2. On pourrait également noter une différence parfois importante entre les scénarios A2 et B2. Le rapport des déciles resterait constant autour de 1.0 à l'horizon 2020, mais baisserait de 22% à l'horizon 2050 au Centre-Est alors que dans la partie Ouest on ne noterait pas de différence entre A2 et B2. Au Sud, on noterait la plus faible baisse du rapport des déciles, voire son augmentation en 2050. *Les automnes secs des horizons futurs seraient plus secs*. Ces baisses seraient moins importantes au Nord, faibles au Sud, avec le Centre en situation intermédiaire.

*Printemps très humides* : les deux scénarios A2 et B2 donnent globalement les mêmes rapports des déciles par rapport à la période de référence. Au Nord, ce rapport baisserait de 8% à l'horizon 2020, mais augmenterait à l'horizon 2050. Les printemps des années 2020 seraient moyennement plus secs que ceux de la période 1961-1990 et cette tendance s'inverserait à l'horizon 2050. Pour le Centre du pays, on distinguerait une différence entre l'Est et l'Ouest du pays. Le rapport des déciles baisserait de 12% à l'Ouest, mais se stabiliserait ou augmenterait légèrement de 2% à l'Est, ceci pour les deux horizons et scénarios. Au Sud, on noterait une baisse générale du rapport des déciles pouvant aller de 50% sous B2 à l'horizon 2050 et à 15% sous scénario A2 à l'horizon 2020. *Les printemps très pluvieux des horizons futurs seraient généralement moins humides*.

*Printemps très secs* : on peut noter dans ce cas des différences qui pourraient aller de 5% à 10% entre les scénarios A2 et B2. Pour le Nord du pays, on noterait une baisse globale et assez prononcée du rapport des déciles et beaucoup plus prononcée que dans le cas des printemps très humides. Ce rapport baisserait davantage à l'horizon 2050, il est de 50% pour A2 et de 54% pour B2 dans la partie Est. L'Ouest se distinguerait par une baisse plus importante à l'horizon 2020, pour l'Est, cette baisse s'inverserait à l'horizon 2050. Au Centre, le rapport des déciles baisserait ; il serait du même ordre ou légèrement inférieur par rapport au Nord. Le Sud serait marqué par une baisse plus importante que dans le Centre et le Nord. Ces baisses varieraient de 15% à 55%. *On noterait une accentuation de cette tendance à l'horizon 2050*, avec une augmentation de 20% au Sud-Ouest d'après A2.

**Tableau III – Rapport des médianes des déciles par rapport à la période de référence d'après le modèle HadCM3 pour les automnes très secs et très humides (haut) et pour les printemps très secs et très humides (bas) à l'horizon 2020**

Horizons et Scénarios	Automnes très humides 2020		Automnes très secs 2020	
	A2	B2	A2	B2
NO	0.89	0.91	0.91	0.98
NE	0.84	0.85	0.84	0.88
CO	0.81	0.82	1.01	1.05
CE	0.92	0.93	0.85	1.03
SO	0.73	0.73	0.97	1.01
SE	0.61	0.63	0.96	1.05

Tableau III (suite)

Horizons et Scénarios	Printemps très humides 2020		Printemps très secs 2020	
	A2	B2	A2	B2
NO	0.93	0.93	0.68	0.67
NE	0.91	0.92	0.86	0.86
CO	0.88	0.87	0.78	0.77
CE	1.01	1.00	0.9	0.85
SO	0.68	0.66	0.96	0.83
SE	0.85	0.82	0.94	0.84

### Sécheresse régionale et successions des années sèches des horizons futurs

Pour le Nord-Ouest, la dominante de la période de référence fut aux années sèches isolées et il n'y aurait pas de changement de cette tendance pour B2. On note cependant une différence avec A2 qui prédirait une augmentation de 10% des années sèches isolées (s) par rapport à la référence avec succession de deux années (ss). Il n'y aurait pas de changement, d'après B2, du nombre des années sèches isolées(s) au Nord-Est. Alors que pour A2, on passerait de 10% à 20% des (s) avec une succession (ss), mais pas de succession (sss). Au Centre-Ouest, la période de référence est dominée par les années sèches isolées ; à l'horizon 2050 ce nombre augmenterait de 7% d'après B2 et de 10% d'après A2 avec une succession (ss). Au Centre-Est, le nombre d'années sèches augmenterait de 10% par rapport à la période de référence pour le scénario B2, mais de 15% pour A2 avec une succession (sss).

Pour le Sud-Ouest, on noterait une augmentation pour les deux scénarios A2 et B2 des années sèches aux horizons 2020 et 2050. Au Sud-Est, les années sèches isolées augmenteraient de 7% aux horizons 2050 d'après le scénario B2 et de 15% d'après A2 avec augmentation des successions de deux années (ss) et trois années (sss) à l'horizon 2050.

### 7.2.5 Rôle de la télédétection pour les systèmes d'alerte précoce

Les changements dans le climat entraîneront des effets profonds dans les caractéristiques climatiques des saisons avec des conséquences importantes pour l'agriculture et les ressources en eau. De plus, une augmentation probable des événements extrêmes de courte durée comme les orages et les inondations sont à prendre en considération. Le développement de systèmes d'alerte précoce de courte durée (orages/inondations) et de longue durée (ressources en eau des saisons/sécheresses) fait partie de la stratégie d'adaptation.

Un instrument particulier d'appréciation des changements climatiques est la télédétection. Son importance croît indépendamment des systèmes d'alerte terrestres existants. Les possibilités de documentation et de surveillance météorologique et climatique par la télédétection sont devenues très sophistiquées et polyvalentes, notamment grâce aux satellites récemment lancés, comme *MetOp*, qui livre des données novatrices depuis janvier 2007 (EUMETSAT, 2006a, 2006b).

#### Les systèmes d'alerte terrestre et les institutions concernées

Le réseau météo existant de l'INM et la banque de données BDCLIM constituent des sources fiables pour l'estimation de situations météorologiques et climatologiques dangereuses (inondations et sécheresses). En plus, il existe un grand nombre de données climatologiques qui pourraient venir compléter les systèmes d'alerte existants (données des stations météorologiques des aéroports, des barrages, de l'agriculture, des Universités, des privés, etc.). Il serait indispensable qu'une institution nationale s'occupe de la collection et de l'administration de toutes ces données climatologiques de manière transparente. La transparence inclut aussi une présence publique et permanente par le moyen d'Internet, par exemple avec des données actuelles d'intérêt général. Cette présence dans les médias permettra également aux conséquences des changements climatiques de recevoir une place plus importante dans la perception des autorités ainsi que dans l'opinion publique.

## La télédétection et les systèmes d'alerte immédiate relatifs aux inondations

L'emploi des techniques de télédétection donnerait des possibilités améliorées pour le développement des systèmes d'alerte précoce de courte durée. Un système d'alerte immédiate relatif aux inondations peut se servir des données du système de télédétection « Meteosat Second Generation » et du logiciel correspondant (MSG/SEVIRI). Une coopération intense et continue avec Eumetsat sera indispensable. Les techniques offertes par EUMETSAT comprennent les services suivants :

- Les données du satellite MSG.
- Les programmes informatiques (Terra/ AQUA et MODIS ; PUMA).
- Les formations par EUMETSAT.
- L'algorithme approprié pour la Tunisie (le ACT) téléchargeable à partir du site internet Bendix (Université Marbourg) et lancé par des spécialistes en Tunisie.
- Comme les données de la télédétection servent un système d'alerte précoce pour toute la Tunisie, il sera indispensable de réunir les institutions responsables de la gestion des inondations dans un centre national, en coopération étroite avec le Centre National de Télédétection existant. D'ici là, les prévisions de situations critiques concernant des inondations devront être transmises aux centres régionaux, aux institutions et personnes concernées immédiatement et d'une façon efficace et conforme à l'objectif de déclencher des plans d'actions.

## Les systèmes d'alerte précoce concernant les sécheresses

L'emploi des techniques de télédétection donnerait de même des possibilités améliorées pour le développement des systèmes d'alerte précoce de longue durée, bien entendu comme complément aux techniques classiques terrestres, telle que la phénologie. Entre autres, les données de la télédétection devraient être employées comme suit :

- Développement d'un système de prévisions saisonnières concernant les sécheresses et leurs effets pour l'agriculture. Cela est spécialement utile pour les prévisions des récoltes agricoles. Un indice de végétation (MODIS system / EVI = enhanced vegetation index) permettra dès le mois de janvier de voir et estimer les risques pour l'agriculture et de prendre les précautions et décisions nécessaires.
- Des prévisions de situations critiques de sécheresses, par exemple par la publication régulière des cartes avec un indice de la sécheresse (mensuel tel que le «SPI: standard precipitation index» aux Etats-Unis, ou hebdomadaire).

## 7.2.6 Conclusions

### Résultats globaux du modèle HadCM3

Selon le scénario A2, à l'horizon 2020 et par rapport à la période de référence 1961-1990, *l'élévation de température est générale*. La température au Nord, au Cap Bon et au Centre-Est augmentera de +0.8 °C alors que celle du Sud-Ouest augmentera de +1.3 °C. A l'horizon 2050, la tendance à l'augmentation s'accroîtrait (double), la plus faible étant de +1.6 °C au Nord-Est, la plus forte de +2.7 °C au Sud-Ouest.

Les scénarios A2 et B2 prévoient pour l'horizon 2020, *de légères baisses des précipitations annuelles du Nord au Sud de 5 à 10%*. Pour l'horizon 2050, les baisses s'accroîtraient pour atteindre 10% au Nord et 25% au Sud. A l'échelle des saisons et à l'horizon 2020, l'été connaîtra la baisse la plus forte (de 7 à 40%) tandis que pour l'hiver les baisses seraient les plus faibles (de 0 à 7%). Le printemps et l'automne subiraient des baisses intermédiaires (de 6% à 11%). A l'horizon 2050, ces baisses s'accroîtraient avec des écarts plus prononcés entre le Nord et le Sud.

### Climat régional à l'horizon proche, 2030

La région du Nord subirait les élévations des températures annuelles et saisonnières les plus faibles de +0.7 °C à +0.9 °C et les baisses des précipitations les plus faibles de 4% à 6%. La variabilité des précipitations serait quasiment stable par rapport à la période de référence. Les années extrêmes très humides et très sèches subiraient des baisses peu significatives, respectivement de 2% et 5%. Pour

la sécheresse, le Nord reste surtout dominé par les années sèches isolées avec une légère augmentation à l'Est, mais sans changement dans les successions des années sèches.

Le Centre subirait des élévations de température plus importantes que celles du Nord qui pourraient varier de +0.8 °C à +1.2 °C et des baisses de précipitation annuelle légèrement plus importantes que dans le Nord variant de 5% à 8%. La variabilité des précipitations pourrait baisser si on se réfère à la période de référence. Pour une période de référence plus longue, cette tendance pourrait être inversée. La région subirait une faible baisse des précipitations des années très humides et très sèches de 2 à 3%. Le nombre d'années sèches isolées augmenterait de 7 à 10% par rapport à la période de référence, on noterait une augmentation légère des successions de deux années, mais sans augmentation de la succession de trois années sèches.

Le Sud subirait les élévations des températures annuelles les plus importantes de +1.2 °C à +1.5 °C par rapport à la période de référence ainsi que des baisses des précipitations annuelles de 5% à 10%. La variabilité baisserait de 3% à 10%, cette baisse pourrait être corrigée à la stabilisation ou à la hausse si on considérait des périodes climatiques plus longues. Les précipitations moyennes des années très humides baisseraient de 8% et celle des années très sèches de 2%. Une augmentation plus importante des années sèches ainsi que des successions de 2 et de 3 années est également à prévoir.

### **Amélioration des techniques de télédétection, d'alerte précoces et d'information**

*Devant la difficulté de prédire un calendrier des événements extrêmes, l'emploi des techniques de télédétection* fournit la possibilité de développer des systèmes d'alerte précoce. Ces techniques peuvent renforcer considérablement le système d'alerte du réseau météo et des techniques existantes. La formation du personnel dans les techniques de télédétection est un aspect central pour la durabilité du système.

Outre les systèmes d'alerte précoce mentionnés concernant les sécheresses et les inondations, le satellite *MetOp* fournira des informations sur l'atmosphère avec une précision jusque-là inégalée. Il constituera un maillon essentiel du suivi de l'environnement et du climat global. *Eumetsat* assure le traitement opérationnel, l'archivage et la diffusion des données vers les utilisateurs. Un rôle central est assuré par les SAFs (Satellite Application Facilities), des centres d'excellence spécialisés qui font appel aux compétences de spécialistes des états membres. Le « SAF prévision immédiate et à très court terme » à Séville (Espagne) et le « SAF surveillance du climat » à Offenbach (Allemagne) s'avèrent d'une grande utilité pour la prévision de phénomènes dangereux et de la surveillance du climat.

*L'automatisation des stations météorologiques* permettra une amélioration de qualité des données météorologiques et offrira la possibilité d'une diffusion d'information la plus rapide possible de toute donnée concernant les systèmes d'alerte est à viser. La diffusion d'informations par les sites Internet et par courriel font partie intégrante de l'amélioration. Des efforts continus sont nécessaires afin d'améliorer les modèles de prévision météorologiques. Par exemple, les analyses de l'oscillation atlantique Nord (NAO+, NAO-) peuvent compléter les systèmes d'alerte avec des informations fiables. La création d'un *Conseil national climatique* s'impose afin de réunir tous les efforts au sein d'une institution de référence.

### **Références**

- EUMETSAT (2006a). *Rapport annuel 2005*. EUMETSAT – Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques. Darmstadt.  
Contient une description générale du travail d'EUMETSAT ainsi qu'une introduction détaillée des possibilités et du potentiel de la télédétection spatiale.
- EUMETSAT (2006b). *First MetOp satellite launch on schedule for October*. IMAGE - EUMETSAT NEWS-LETTER Issue 25, October.  
Description de la technologie nouvelle du satellite MetOp pour la surveillance du temps et du climat.
- FLOURY, C., F. LEBDI (2003). *La modélisation de la dynamique fluviale de l'oued Medjerda pendant les inondations de janvier - février 2003 en Tunisie*. Tunis : Institut National Agronomique.
- GIANNAKOPOULOS, C., M. BINDI, M. MORIONDO, L. LESAGER, L. TIN (2005). *Climate Change Impacts in the Mediterranean resulting from 2°C Global Temperature Rise – A report for WWF*.

- GORDON, C., C. Cooper, C.A. Senio, H. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of Hadley Centre coupled mode without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- HULME, M., R.C. TIMOLTHY (1999). Representing Uncertainty in Climate Change Scenarios and Impact Studies. Report 1- *Proceedings of the ECLAT-2. Helsinki Workshop*, 14-16 April.
- HULME, M., R. DOHERTY, T. NGARA, M. NEW, D. LISTER (2001). African Climate Change 1900-2100. *Climate Research* 17: 145-168.
- INM - INSTITUT NATIONAL DE LA METEOROLOGIE (2004). Banque de données climatologiques. Note Internet. [www.meteo.tn/](http://www.meteo.tn/).
- IPCC (2001). The Scientific Basis-Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report (TAR).
- KING, L., Z. NASR (2005). Climat. In : *Elaboration d'une stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques*. Tunis : MARH.
- LABANE, Y., S. BEN RACHED (2003). Climat actuel et climat futur. In : *Ière Conférence internationale sur les changements climatiques et le tourisme*. Jerba, 9-11 avril. Tunis : INM.
- MEAT – MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE (2001): *Communication Initiale de la Tunisie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. Tunis.
- MITCHELL, T.D, P.D. JONES (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25: 693 – 712.
- MITCHELL, T.D. (2003). Tunisia 21<sup>st</sup> Century Climate Change (download from data set TYN SC 2.0, [www.cru.uea.ac.uk/~tim](http://www.cru.uea.ac.uk/~tim)).
- NAKICENOVIC, N., J. ALCAMO, G. DAVIS, B. DE VRIES, J. FENHANN, S. GAFFIN, K. GREGORY, A. GRÜBLER, T.Y. JUNG, T. KRAM, E.L. LA ROVERE, L. MICHAELIS, S. MORI, T. MORITA, W. PEPPER, H. PITCHER, L. PRICE, K. RAIHI, A. ROEHL, H.H. ROGNER, A. SANKOVSKI, M. SCHLESINGER, P. SHUKLA, S. SMITH, R. SWART, S. VAN ROOIJEN, N. VICTOR, Z. DADI (2000). Emissions Scenarios. *A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York : Cambridge University Press, 599 pp.
- PRICEPUTU, A.M., (2006). *Impacts des changements climatiques et Vulnérabilité régionale en Suisse*. Thèse no 3719, 278 pp. Genève : Université de Genève.
- PROJET NATIONAL ALGERIE - AGL/98/G31 (2001). *Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques*. Communication Nationale Initiale.
- WARD, M.N., P.J. Lamb, D.H. PORTIS, M. EL HAMLY, R. SEBARRI (1999). Climate Variability in northern Africa: Understanding Droughts in the Sahel and the Maghreb. In : *Beyond El Nino – Decadal Variability in the Climate System* (A. Navarra, Ed. : 119-140).



## 7.3 Ressources en eau

Raoudha LAHACHE GAFREJ, Institut Supérieur des Sciences Biologiques Appliquées de Tunis | *Exa Consult Tunisie*

**Résumé.** La connaissance à ce jour des variables hydrologiques liées aux changements climatiques fait face à des incertitudes. Toutefois, par modélisation, nous avons pu déduire que les ressources en eau conventionnelles diminueront d'environ 28% à l'horizon 2030. Cette diminution sera localisée au niveau des nappes phréatiques de forte salinité et de celles du littoral et au niveau des nappes contenant les eaux non renouvelables. La diminution au niveau des eaux de surface sera d'environ 5% à l'horizon 2030. La confrontation des ressources et des besoins, montre la satisfaction des besoins vers l'horizon 2030. Cependant, un simple retard dans la mise en place des stratégies se traduira par un déséquilibre bien avant 2030. Ainsi, la gestion des barrages intégrant les risques et les incertitudes et la mise en place effective de la réglementation sur l'eau et des différentes stratégies d'économie d'eau à toutes les échelles, joueront un rôle essentiel dans la disponibilité des eaux. Les changements climatiques se font ressentir si les techniques, les écosystèmes, les traditions, les comportements et les usages n'évoluent pas dans le sens qui permet une meilleure gestion de la ressource. La gestion par écosystème s'impose et une attention particulière doit être accordée aux écosystèmes qui, pour garantir la disponibilité de la ressource en eau, nécessitent également de l'eau.

### 7.3.1 Introduction

Les problèmes soulevés et tous les débats sur les changements climatiques touchent le cycle de l'eau. En effet, la prévision de l'augmentation de la température liée à l'émission des gaz à effets de serre nécessite une compréhension parfaite du cycle de l'eau du fait que les impacts liés aux changements climatiques qui inquiètent l'homme sont tous liés à la disponibilité de l'eau compte tenu de l'augmentation éventuelle de la fréquence des événements extrêmes comme les inondations, les sécheresses, l'élévation du niveau de la mer, etc. Cette inquiétude est justifiée pour les pays qui doivent avoir recours à l'irrigation pour assurer la sécurité alimentaire des populations.

Les modèles climatiques actuels permettent de reproduire l'évolution de la température, ce qui n'est pas le cas pour les autres paramètres météorologiques comme les précipitations et tout particulièrement les précipitations extrêmes. Nous verrons que cette difficulté de modélisation tient au caractère très local et réduit dans le temps (quelques heures) de ces événements. L'ampleur et la nature exacte des changements futurs restent à quantifier et seuls les modèles régionaux en cours d'élaboration pourront répondre en partie à ces besoins. La projection des ressources en eau sous les effets des changements climatiques (CC ci-après) nécessite la connaissance du scénario d'évolution des ressources sous les conditions normales, c'est-à-dire sans CC pour construire ensuite un scénario de référence pour les projections sous CC.

L'objectif de la mobilisation des ressources en eau étant de satisfaire les besoins des différents secteurs socio-économiques, nous avons évalué selon trois scénarios, sans les CC, les ressources en eau ainsi que les besoins des différents secteurs et cela en se basant sur les différentes orientations stratégiques.

La projection des ressources en eau avec l'intégration des effets des CC devrait permettre d'identifier les différents impacts liés à l'intensification des périodes extrêmes.

L'évaluation de la ressource exploitable confrontée aux besoins des différents secteurs socio-économiques devrait quant à elle permettre d'identifier la stratégie d'adaptation à mettre en place pour faire face aux effets des CC.

Rappelons qu'en cas de pénurie d'eau, le secteur agricole sera le premier à supporter un manque d'eau pouvant atteindre 50% de ses besoins, la priorité étant de satisfaire les besoins en eau potable. Les besoins de réviser la stratégie du secteur agricole sous conditions des CC sont ainsi intimement liés aux ressources en eau et de façon indirecte à tous les autres secteurs.

### 7.3.2 Diagnostic

Les ressources en eau potentielles conventionnelles formées par des eaux de surface et des eaux souterraines estimées à ce jour sont de 4'833 Mm<sup>3</sup> dont 2'700 Mm<sup>3</sup> en eau de surface et 2'133 Mm<sup>3</sup> en eaux souterraines (DGRE 2005). En 2002, les eaux non conventionnelles formées essentiellement par les eaux usées traitées sont de 250 Mm<sup>3</sup> (ONAS 2002). A ce jour, la mobilisation et la protection des eaux de surface se fait à partir de 27 barrages, 193 barrages collinaires et 721 lacs collinaires. Certains ouvrages servent également à la protection contre les inondations, à la conservation des sols ainsi qu'à la recharge des nappes. Les eaux souterraines sont contenues dans 215 nappes phréatiques et 280 nappes profondes. Ces eaux sont exploitées à travers environ 128'399 puits (DGRE 2000) et 4'454 sondages (DGRE 2003).

Les volumes de l'exploitation des nappes restent entachés d'erreurs sachant qu'il est très difficile de comptabiliser tous les volumes pompés du fait de l'existence de puits et de forages illicites. Ces forages illicites fragilisent la ressource et ne permettent pas son économie. L'utilisation des eaux de forte salinité (*87% des eaux de la nappe phréatique sont de salinité supérieure à 3 g/l*) n'est soumise à aucune réglementation, de même pour l'utilisation des nappes côtières salées pour la production de l'eau osmosée pour le secteur touristique qui, sans contrôle, favorise les intrusions marines et par conséquent la dégradation davantage de la qualité des eaux des nappes. Pour résoudre en partie ce problème, actuellement 23 nappes bénéficient de la recharge artificielle. Il est prévu à la fin du 11ème plan de recharger 40 nappes. *La recharge est fortement tributaire de la disponibilité des eaux de surface.*

Les installations de dessalement d'eau appartiennent dans la majorité à la SONEDE pour une capacité totale de 95'000 m<sup>3</sup> (SONEDE 2002). Le dessalement d'eau est en cours d'expansion surtout dans le secteur touristique. De nouvelles stations de dessalement à base d'eau de mer sont programmées par la SONEDE à Djerba, Zarrat et Sfax pour un potentiel global d'environ 80 Mm<sup>3</sup> à l'horizon 2030.

La réutilisation des eaux usées traitées est d'environ 24% des volumes produits en 2002 par l'ONAS. La difficulté de la réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole est liée essentiellement à la réglementation restrictive et au fait qu'environ 50% des eaux usées traitées sont produites dans le pôle de Tunis.

*La tarification actuelle de l'eau prouve que le coût de l'eau reste subventionné par l'Etat et que seuls les secteurs industriels et touristiques payent l'eau au prix de revient. L'eau souterraine reste gratuite car elle est facturée à raison de 2 millimes le m<sup>3</sup> pour l'agriculture et 5 millimes par m<sup>3</sup> pour les autres usages.*

La Tunisie a engagé des études du secteur de l'eau sur toutes ses formes. L'horizon fixé est l'année 2030. Toutes les études antérieures supposent la stabilité du climat. Aussi plusieurs études techniques et socio-économiques ont été engagées pour que le pays dispose de moyens d'actions et d'interventions pour assurer la satisfaction des besoins évolutifs en eau permettant une croissance économique et sociale harmonieuse et durable. On constate que les stratégies mises en place ont pour objectif l'augmentation du volume d'eau mobilisable. Il n'y a pas de stratégie adaptée directement à la protection de la qualité des eaux à part indirectement la recharge artificielle des nappes. Des retards «sans doute légitimes» sont observés dans la mise en pratique de certaines stratégies telle que l'économie d'eau par les audits obligatoires. En effet, il a été signalé des pertes d'eau énormes et du gaspillage qui ne peut plus être toléré compte tenu de l'état de notre ressource en eau. L'étude stratégique pour la réduction de la consommation d'eau dans le secteur touristique a démontré l'efficacité de l'utilisation des audits pour l'économie d'eau (AFT 2005).

Malgré les différents textes réglementaires de l'eau et en absence réelle de la police des eaux telle que décrite par le code des eaux, il paraît difficile d'instaurer le respect de l'utilisation de cette ressource rare et précieuse. En effet, durant les périodes de sécheresse, une surexploitation des eaux souterraines est observée pour compenser le manque d'eau de surface qui est réservée en priorité à la production de l'eau potable.

### 7.3.3 Projections des ressources en eau hors changements climatiques

La projection des ressources en eau a été réalisée en considérant les conditions moyennes en climat actuel sans intégrer l'effet des périodes extrêmes avec les CC. Pour cela nous avons considéré trois scénarios d'évolution de la ressource afin d'identifier le scénario de référence sur lequel il est prévu d'appliquer les effets des changements climatiques. Une projection des besoins en eau des différents secteurs socio-économiques a été réalisée afin d'identifier le bilan besoins/ressources sans les CC.

#### Projection des ressources

##### *Ressources conventionnelles*

Sur la base des travaux de Kallel (1995) pour l'estimation des eaux de surface, des stratégies de mobilisation des eaux au niveau de la direction des barrages et la direction de la conservation des terres agricoles (MARH 1997, 2000, 2001, 2005, 2006) et des documents de l'exploitation des nappes profondes et des nappes phréatiques (DGGR 2000, 2003, 2005), nous avons émis différentes hypothèses en intégrant les phénomènes d'envasement des barrages, le rehaussement de certains barrages (MARH 2000), les fuites et l'évaporation pour les barrages. Pour les eaux souterraines, nous avons tenu compte de la dégradation de la qualité des eaux qui a pour conséquence une réduction des ressources exploitables. Ainsi trois scénarios de projection (bas, moyen et haut) ont été réalisés. Les ressources exploitables (65% des ressources mobilisées) à l'horizon 2030 seraient d'environ 2'361 Mm<sup>3</sup> pour le scénario bas, 3'170 Mm<sup>3</sup> pour le scénario moyen et 3'829 Mm<sup>3</sup> pour le scénario haut qui correspond à la mise en place effective de toutes les stratégies pour la mobilisation et la gestion rationnelle des ressources.

##### *Projection des eaux non conventionnelles*

Il s'agit de la réutilisation des eaux usées traitées conformément aux trois scénarios proposés par la stratégie mise en place par l'ONAS (2002, 2005) et des eaux dessalées selon le programme prévisionnel de la SONEDE (2005). Seule l'eau dessalée en provenance de l'eau de mer a été comptabilisée puisque les eaux osmosées produites des eaux saumâtres sont déjà comptabilisées dans les eaux souterraines.

Les ressources non conventionnelles à l'horizon 2030 seraient d'environ 193 Mm<sup>3</sup> pour le scénario bas, 285 Mm<sup>3</sup> pour le scénario moyen et 372 Mm<sup>3</sup> pour le scénario haut dont environ 80 Mm<sup>3</sup> d'eau osmosée. Les ressources non conventionnelles ne représentent qu'une moyenne de 9% des ressources conventionnelles.

#### Projection des besoins

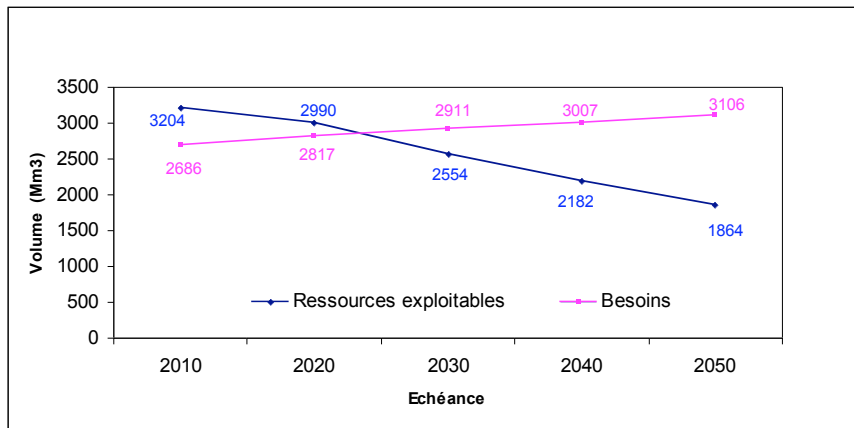
Les projections des besoins en eau des différents secteurs ont été basées sur les différentes stratégies de la SONEDE, de la DGGR et des autres secteurs en intégrant les orientations stratégiques de la SONEDE pour l'économie de l'eau et l'amélioration de la qualité de l'eau distribuée et du rendement des réseaux. Pour les besoins du secteur de l'agriculture (actuellement environ 81% de ressources), nous avons considéré les options retenues dans l'étude EAU 21 réalisée en 1998 (Louati et al. 1998). Les besoins du secteur touristique ont été évalués sur la base des stratégies réalisées par l'ONTT (ONTT 2001, 2002, AFT 2005).

Les besoins sont estimés à environ 2'947 Mm<sup>3</sup> pour le scénario bas, 3'054 Mm<sup>3</sup> pour le scénario moyen et 3'806 Mm<sup>3</sup> pour le scénario haut. Le scénario moyen est relatif à la mise en place des différentes stratégies et le scénario haut suppose la continuité des conditions actuelles.

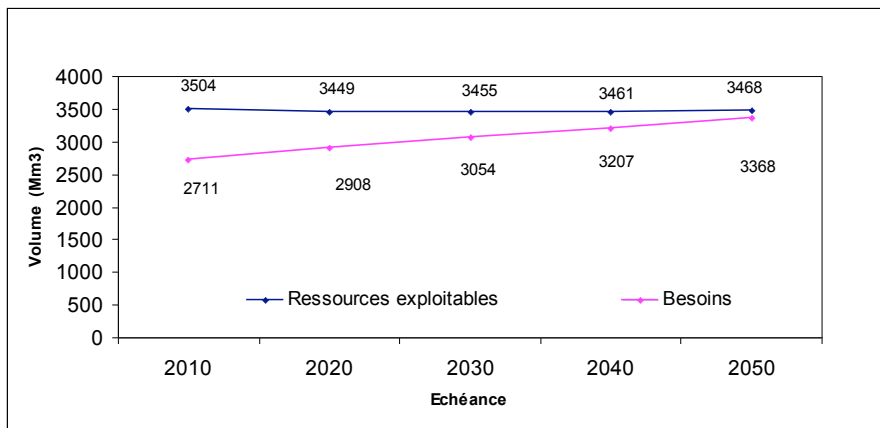
#### Bilan ressources-besoins

Pour confronter les ressources avec les besoins, on peut bien entendu considérer 9 scénarios mais la gestion rationnelle des ressources devrait nous épargner de tomber dans les situations extrêmes. C'est pour cela que nous présenterons ci-dessous les trois scénarios relatifs aux hypothèses homogènes soit une évolution de la ressource et des besoins dans les mêmes proportions.

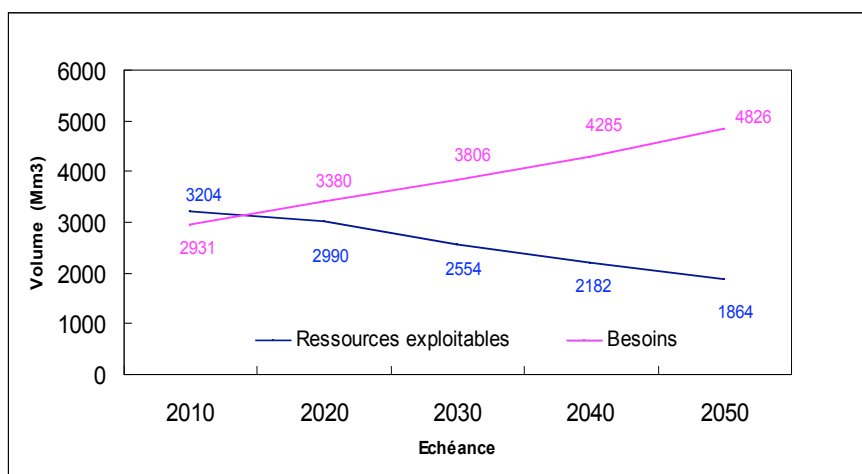
Nous retenons que dans le cas du scénario bas de l'évolution de la ressource confronté à l'évaluation stratégique des besoins selon le scénario moyen, un déséquilibre entre l'offre et la demande pourra apparaître vers l'année 2022.



**Figure 1 – Projection hypothèse basse ressources | hypothèse basse besoins**



**Figure 2 – Projection hypothèse moyenne ressources | hypothèse moyenne besoins**



**Figure 3 – Projection hypothèse basse ressources | hypothèse haute besoins**

L'évaluation selon le scénario haut des ressources exploitables, c'est-à-dire en appliquant toutes les stratégies de l'Etat pour la mobilisation des eaux, les besoins même les plus hauts seront satisfaits à l'horizon 2030 avec une marge de 11%.

Aussi, si les besoins en eau ne diminuent pas conformément aux stratégies prévues par l'Etat, le bilan ressources/besoins sera négatif vers l'année 2015 pour le scénario bas d'estimation de la ressource.

### 7.3.4 Projections des ressources en eau sous changements climatiques

L'étude de la disponibilité de l'eau est intimement liée à la connaissance du cycle de l'eau qui est sujet à des processus complexes parmi lesquels nous citons les précipitations, l'évaporation, l'évapotranspiration, l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements souterrains. Ces divers mécanismes sont rendus possibles grâce à un élément moteur et qui est l'organe vital du cycle hydrologique: le soleil. *Ainsi, en plus de l'effet sur la température et la pluviométrie, le réchauffement global dû aux gaz à effet de serre va sans doute activer plus fortement le cycle hydrologique.*

Le cycle hydrologique est donc caractérisé par l'interdépendance de ses composantes, par sa stabilité et son équilibre dynamique. Si un processus est perturbé, tous les autres s'en ressentent. Dans le contexte actuel des changements climatiques, il n'existe pas à ce jour des données chiffrées sur l'impact de ce phénomène sur toutes les composantes du cycle hydrologique. Seules la pluviométrie et la température ont pu être modélisées à l'échelle globale avec aussi des incertitudes relativement importantes. En effet, les modèles climatiques actuels permettent de reproduire avec certitude l'évolution de la température, ce qui n'est pas le cas pour les autres paramètres météorologiques tels que les précipitations et tout particulièrement les précipitations extrêmes. Cette difficulté de modélisation tient dans leur caractère très local et réduit dans le temps (quelques heures). L'ampleur et la nature exacte des changements futurs restent à quantifier, c'est pourquoi des précautions doivent être prises pour transposer des informations globales à l'échelle régionale et encore plus locale.

#### Evolution moyenne des ressources en eau sous les CC

Le scénario A2, tel que présenté dans la contribution du groupe climat, confirme la difficulté de préciser la variation de la pluviométrie sous les CC. En effet, l'évolution de la pluie est tantôt positive tantôt négative, elle est variable selon les régions et les saisons (Tableau I). Soit une variabilité très importante pour le printemps et l'automne autrement à l'échelle globale, la diminution est très faible.

Cette variation de la pluviométrie annuelle ne peut à elle seule donner des indications sur le sort du ruissellement à l'échelle des bassins versants. En effet, l'échelle temporelle en hydrologie est très importante et en plus en climat aride à semi-aride, le ruissellement dépend plus de l'intensité horaire de la pluie que de la quantité annuelle (Evans 1997).

**Tableau I – Evolution régionale de la pluviométrie en % sur la période de 2006 à 2030 selon le scénario haut (A2)**

Scénario A2 ANNUEL	Nord		Centre		Sud	
	Ouest	Est	Ouest	Est	Ouest	Est
2006-2010	-0.4	-0.4	5.9	2.2	0.5	-2.8
2011-2020	-10.6	-12.4	-9.4	-9.5	-9.9	-14.3
2011-2030	0.9	-2.5	4.1	4.5	-7.6	-4.5
Moyenne	-3.9	-6.0	-0.9	-1.6	-6.9	-8.1

Aussi, sachant que le ruissellement (Q) est égal à la pluviométrie (P) diminuée de toutes les pertes au niveau du bassin (E), on comprend, comme le précisent Wigley et Jones (1985), que si l'on ne tient pas compte du facteur (E), des distorsions significatives seront produites lors du calcul des changements de Q relatifs à ceux de P.

Ainsi, et en l'absence d'indications sur la variation de l'intensité de la pluie, de la couverture végétale future dont l'influence sur les écoulements est très importante (Kite 1994), nous retiendrons que cette faible variation de la pluviométrie n'affectera pas les écoulements ou plutôt les apports au niveau des barrages. Cette diminution sera minime devant la variabilité spatiotemporelle de la pluie (cette diminution peut apparaître lors d'une seule crue et n'affectera pas directement les stocks globaux sur l'année au niveau des barrages). Aussi, l'étude réalisée par De Wit et Stankiewicz (2006) confirme cette conclusion. En effet, en exprimant la relation entre la pluviométrie et la densité de drainage des zones étudiées, De Wit et Stankiewicz (2006), dans leurs travaux sur l'Afrique, ont montré que pour la Tunisie représentée par la station de Jendouba, les apports ne seront pas affectés par une diminution de 10 à 20% de la pluviométrie. Ce résultat global masque bien entendu la variabilité locale puisque dans ces travaux l'Afrique a été divisée en blocs de 1'000'000 km<sup>2</sup>, mais qui nous semble relativement représentatif compte tenu que nos principaux apports sont situés dans le Nord du pays.

Par contre, la diminution des précipitations estivales accroît le déficit hydrique du sol (l'excédent hivernal étant perdu pour le réservoir sol). Le déficit est encore renforcé par l'ETP dû à l'augmentation de la température de l'air. Ceci peut entraîner une désaturation plus précoce. En revanche, l'ETR a tendance à être réduite en été-automne par effet du stress hydrique. L'augmentation de la température de l'air entraîne une augmentation de l'évaporation réelle pendant l'hiver et le printemps car les sols sont bien arrosés en eau.

Selon les résultats de l'évolution de l'évaporation selon le scénario A2, on peut considérer une augmentation moyenne annuelle globale de 9,3%. Cette augmentation de l'évaporation affectera directement les stocks d'eau dans les barrages qui diminueront d'environ 1% le stock d'eau disponible. La variabilité saisonnière de la pluviométrie aura pour effet un dévasement moins fréquent et par conséquent une diminution de la capacité de stockage de 5% à l'horizon 2030.

La diminution des pluies au centre et au sud, conjuguée à l'augmentation des besoins de l'agriculture due à l'augmentation de la température, va engendrer une exploitation plus importante des ressources en eau souterraine. *Cette surexploitation qui n'aura pas d'effet direct sur la ressource l'année même sera importante à moyen et à long terme par une dégradation sensible de la qualité des eaux.*

Aussi, l'élévation du niveau de la mer engendrera une salinisation des nappes littorales, ce qui réduira le potentiel des eaux souterraines vers l'année 2030.

### **Evolution des ressources en eau sous les extrêmes**

La modélisation climatique n'a pas pu définir l'évolution du nombre des périodes extrêmes. En effet, aucun modèle connu à ce jour n'a pu prédire avec certitude l'évolution du nombre de périodes extrêmes pour la simple raison que ces phénomènes sont rares et très limités dans le temps. Roulin et al (2000), ont testé des modèles hydrologiques sur la base des résultats de quatre modèles climatiques sur 6 bassins dont deux sous bassins de la Meuse et ont pu démontrer que du fait de la non variabilité de l'évaporation durant l'hiver, la fréquence des jours d'inondations varie dans le même sens que la variabilité des pluies. Aussi, la grande variabilité des réponses des scénarios pour les deux périodes de 2010-2039 et 2040-2070 ne permet aucune conclusion. Par ailleurs, Gellens et Schadler (1997) ont testé des modèles hydrologiques sur 11 bassins belges et suisses et ont montré que sous l'effet combiné des précipitations hivernales plus importantes et des faibles valeurs de l'évaporation, les débits moyens augmentent en hiver pour tous les bassins testés. Cependant, en été, les réponses des débits moyens sont différentes d'un bassin à un autre. Leur réponse dépend en fait de la géologie du terrain.

Pour le cas de la Tunisie, le modèle climatique a fait ressortir que les années sèches seront légèrement plus sèches et que seul le Nord du pays sera légèrement plus humide (une augmentation de 3%) alors que les autres zones seront moins humides. Le modèle reste cependant peu précis (difficulté de reproduire les événements de la période de référence) ce qui est général pour tous les modèles climatiques testés tel que le cas de l'étude de l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie de la Seine et de son bassin réalisée par Ducharme et al. (2003). En effet, l'étude des trois simulations du modèle ARPEGE confirme ces incertitudes sur les précipitations qui contrôlent largement les

impacts hydrologiques. L'étude montre que la diminution des débits d'étiage est simulée avec un maximum de confiance par contre l'évolution des débits de crue est beaucoup moins certaine car on observe des diminutions et des augmentations avec une dispersion importante des changements de précipitation (selon les simulations climatiques).

En plus des informations que nous avons pu déduire de la modélisation climatique, nous avons étudié les apports au niveau des principaux barrages sur la période de 1947 à 2004 qui a fait ressortir deux principales conclusions : une diminution des apports de la période de 1976 à 2004 par rapport à celle de 1947 à 1975 de 27%. Par contre les apports au niveau des barrages du Nord de la période de 1976 à 2004 sont de 21% supérieurs à ceux des apports moyens calculés et connus à ce jour. Cette constatation confirme l'influence de l'homme, par la mise en place de ses différents ouvrages (barrages), sur les apports des bassins versants et la nécessité de la révision des apports d'eau des différents oueds.

Aussi, nous voudrions préciser que le stock d'eau en un instant t donné dans les barrages est intimement lié à la gestion des barrages (transfert d'eau entre les barrages, lâchages, dévasement, déversement, etc.) et qu'une diminution de 5 à 10% dans les apports pourra être compensée par une gestion adéquate des barrages.

*Les zones humides naturelles et artificielles risquent l'eutrophisation, d'où la nécessité de considérer leurs besoins en eau dans la stratégie nationale.* Aussi, une dégradation de la qualité des eaux de surface (augmentation de la salinité et de la turbidité). Le dévasement moins fréquent des barrages en période de sécheresse aura pour effet, une diminution de la capacité de stockage. Aussi, une diminution de la production hydroélectrique sera attendue et cela est dû aux faibles volumes d'eau alloués à l'agriculture.

Les sécheresses auront pour effet une exploitation intensive des eaux souterraines. Nous supposons une diminution du potentiel exploitable des nappes phréatiques de 467 Mm<sup>3</sup> vers l'horizon 2030. Cette quantité correspond au volume d'eau actuellement surexploité et aux eaux de salinité actuelle supérieure à 3 g/litres. Pour les eaux profondes, la diminution sera de 517 Mm<sup>3</sup> relative à 320 Mm<sup>3</sup> correspondant aux ressources saumâtres de la Djefara et à 50% au niveau de complexe Terminal et à 197 Mm<sup>3</sup> correspondant aux ressources actuelles de salinité supérieure à 3 g/l. L'exploitation des nappes profondes nécessitera plus d'énergie pour le pompage de l'eau.

Les inondations ne seront pas à priori plus fréquentes, cependant, une légère augmentation des volumes apparaîtra probablement en un temps un peu plus court. L'augmentation probable de l'intensité des pluies aura pour effet une augmentation de l'érosion des sols, d'où l'intérêt de considérer dans la modélisation hydrologique tout l'écosystème et non le bassin versant en tant qu'entité géographique. La connaissance de l'évolution des intensités sous changements climatiques sera le seul moyen pour permettre la révision des capacités des ouvrages de drainages et des égouts. Aussi, une pollution des eaux de surface sera attendue par les produits chimiques issus du lavage des sols et des déchets urbains divers que peuvent transporter les eaux.

Compte tenu de ce qui précède, nous donnons l'évolution probable des ressources en eau à l'horizon 2030 (Tab. II).

**Tableau II – Evolution des ressources en eau globales en Mm<sup>3</sup> aux différents horizons sous CC.**

Désignation	2010			2020			2030		
	Potentiel	Mobilisé	Exploitable	Potentiel	Mobilisé	Exploitable	Potentiel	Mobilisé	Exploitable
Grands barrages	2'700	2'121	1'378	2'700	2'131	1'385	2'700	1'890	1'229
Nappes phréatiques	758	758	758	781	781	591	805	805	308
Nappes profondes	1'544	1'350	1'350	1'791	1'535	1'215	2'079	1'731	1'214
<b>Total eaux conventionnelles</b>	<b>5'002</b>	<b>4'229</b>	<b>3'486</b>	<b>5'272</b>	<b>4'447</b>	<b>3'191</b>	<b>5'584</b>	<b>4'426</b>	<b>2'751</b>
Eaux usées traitées	253	99	99	400	156	156	512	292	292
Eaux dessalées		18	18	0	47	47	0	80	80
<b>Total eaux non conventionnelles</b>	<b>253</b>	<b>117</b>	<b>117</b>	<b>400</b>	<b>203</b>	<b>203</b>	<b>512</b>	<b>372</b>	<b>372</b>
<b>Total Général</b>	<b>5'255</b>	<b>4'336</b>	<b>3'603</b>	<b>5'672</b>	<b>4'650</b>	<b>3'394</b>	<b>4'798</b>	<b>4'798</b>	<b>3'123</b>

Si l'on considère l'hypothèse moyenne d'évolution des besoins telle que présentée dans les projections hors CC, le bilan des ressources besoins montre que les ressources conventionnelles ne pourront satisfaire les besoins à l'horizon 2030 qu'à concurrence de 92%. *Cela signifie que sans les ressources non conventionnelles et la mise en place des stratégies d'économie d'eau, tous les besoins à l'horizon 2030 ne seront pas satisfaits, lesquels besoins devraient être révisés en intégrant les effets des CC.*

### 7.3.5 Conclusion

Nous avons pu déduire que d'importants changements se préparent sans pouvoir à ce jour déterminer avec précision leur ordre de grandeur. Le rythme et l'ampleur des changements sont tributaires de l'évolution des émissions. Ni l'extrapolation des données récentes, ni la réduction des échelles des modèles généraux ne peuvent produire les informations précises que les planificateurs et les gestionnaires de l'eau souhaiteraient avoir. Plutôt, les changements climatiques remettent en question les habitudes et les pratiques actuelles par l'introduction d'un élément crucial dans les équations : l'incertitude – laquelle demeure une grande difficulté dans la gestion et la planification des ressources en eau. D'où la nécessité d'une gestion adaptative ou une gestion des risques et des incertitudes.

Au cours des cinquante dernières années, le cycle hydrologique de la plupart des bassins versants a été sujet à de vastes modifications humaines avec la construction des barrages, des changements d'occupation du sol, des pompages en rivière, des extractions d'eau souterraine, des diversions inter-bassins, etc. De telles modifications ont altéré les écoulements en rivière et l'hydrologie des bassins de façon significative d'où la difficulté de considérer les données historiques comme référence pour les projections futures. Aussi, les impacts hydrologiques cités ci-dessus demeurent insuffisants pour connaître l'évolution des ressources en eau car il faudra une meilleure compréhension des impacts économiques et sociaux des changements climatiques qui demeurent difficiles à identifier à l'heure actuelle par manque d'un suivi des indicateurs socio-économiques et hydrologiques à différentes échelles.

Il demeure mal aisé de prévoir avec certitude les variations de la disponibilité de l'eau à l'échelle du pays. En effet, si les chercheurs sont convaincus que la hausse des températures influera sur des variables comme l'évaporation, les incertitudes qui subsistent quant à la nature des variations régionales des régimes de précipitations et la complexité des écosystèmes naturels limitent notre capacité de prévoir les changements hydrologiques à l'échelle des bassins versants.

De manière claire toutefois, la satisfaction des besoins des différents usagers de l'eau est tributaire de la mise en place effective des différentes stratégies envisagées par l'Etat. La demande en eau des secteurs socio-économiques utilisant l'eau potable doit également être révisée sous conditions des CC. En cas de sécheresse, le secteur agricole, qui consomme actuellement 81% des ressources, *subira un manque d'eau de surface importante* – ce qui se traduira par une intensification de l'utilisation des eaux souterraines pouvant avoir des effets dramatiques puisque ces ressources contribuent à concurrence de 82% à la satisfaction des besoins agricoles. Cela nous a conduit à nous interroger sur la nécessité de produire certaines cultures et, par conséquent, à la nécessité d'une révision du compte de l'eau étendu aux écosystèmes et intégrant l'eau virtuelle.

Enfin, il apparaît clairement aussi que, sans l'application du code des eaux, d'une tarification adéquate et d'un contrôle du pompage des eaux souterraines laissées «libres» et sur lesquelles se rabattent les différents usagers, il sera difficile de contrôler l'exploitation des ressources et donc d'envisager une gestion optimale des ressources pour faire face aux effets directs et indirects des CC. Le Sud Tunisien, qui ne dispose que des eaux des nappes profondes, sera la zone la plus vulnérable. La demande en eau connaîtra une augmentation due à l'élévation de la température qui génèrera une surexploitation des nappes profondes et, par conséquent, une diminution des niveaux piézométriques (donc des besoins énergétiques plus importants) et une dégradation de la qualité des eaux.

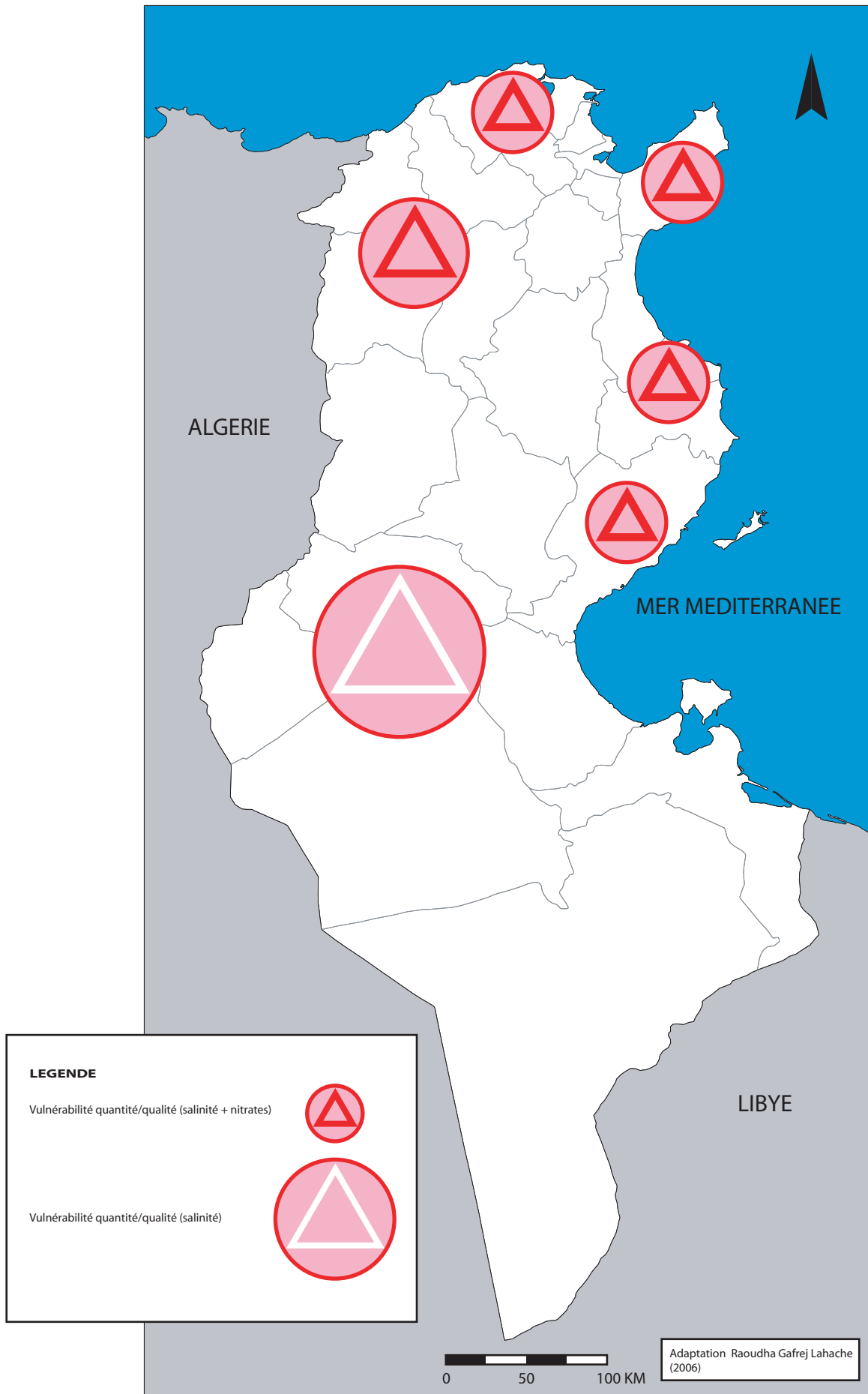
La diminution de l'eau de bonne qualité pourrait attiser les conflits entre les différents usagers de l'eau et rendre encore plus difficile l'approvisionnement des zones rurales en eau potable pour la population et l'alimentation du cheptel.



## **Références**

- AFT (2005). *Etude stratégique pour la réduction de la consommation d'eau dans le secteur touristique*.
- BESBES, M. et al. (2003). Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS). *Recueil des communications*. Séminaire Organisé par l'ENIT, l'INAT, la SHF et le concours de l'IFC.
- DE WIT, M., J. STANKIEWIEZ (2006). Changes in surface water supply across Africa with predicted climate change. *Sciences Express*, 2 mars.
- DGRE. *Annuaire de l'exploitation des nappes phréatiques de 2000, 2003, 2004, 2005*.
- DUCHARNE, A., S. THÉRY, P. VIENNOT, E. LEDOUX, E. GOMEZ, M. DÉQUÉ (2003). Influence du changement climatique sur l'hydrologie de la Seine. *Vertigo - la presse de l'environnement sur WEB 4* (3), décembre.
- EVANS, T.E. (1997). Les effets des changements dans le cycle hydrologique mondial sur la disponibilité des ressources en eau. Chapitre 2 in : *Changement du climat et production agricole*. Rome : FAO.
- GELLENS, D., B. SCHADLER (1997). Comparaison des réponses du bilan hydrique de bassins situés en Belgique et en Suisse à un changement de climat. *Revue des sciences de l'eau* 3: 395-414.
- INS – INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (2004). Rapport annuel sur les infrastructures.
- KALLEL, M.R. (1995). La gestion des ressources en eau de surface et son impact sur les eaux souterraines (en arabe). *Atelier sur la sauvegarde des eaux souterraines*. UNESCO –ACSAD-DGRE.
- KITE, G.W., A. DALTON, K. DION (1994). Simulation of streamflow in a macroscale Watershed using GCM data. *Water Research paper* 30 (5).
- LOUATI, M.H. et al. (1998). *Eau 21 - Stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme 2030*.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (1997). *Etude sur la stratégie des ressources naturelles*.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES. *Eau 2000*.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (2001). *Etude d'évaluation technico-économique du programme national d'économie d'eau en irrigation*.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (2005). *Rapport annuel de la DG/ACTA*.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (2006). *Les statistiques sur les périmètres irrigués en intensif. Campagne de 2004/2005*.
- ONTT (2001). *De développement du tourisme en Tunisie à l'horizon 2016. Conditions de valorisation des ressources touristiques- culturelles, écologiques et sahariennes*. Agence Japonaise de Coopération Internationale pour le compte de l'ONTT.
- ONTT (2002). *Stratégie de développement touristique*. Banque Mondiale pour le compte de l'ONTT.
- ONTT (2004). *Le tourisme tunisien en chiffres*.
- ONAS (2002). *Etude de la stratégie nationale de valorisation des eaux usées traitées*.
- ONAS (2005). *Rapport annuel d'exploitation des stations d'épuration*.
- ROULIN, E., A. CHEYMOL, D. GELLENS (2000). Impact of climate change on the water resources in the river Meuse basin. ICIWRM. *Proceedings of International Conference on Integrated Water Resources Management for Sustainable Development*. National Institute of Hydrology. Roorkee, UP-India.
- SONEDE (2005). *Projections des consommations d'eau à l'horizon 2030*.
- SONEDE (2004, 2005). *Rapports statistiques*.
- WILGLEY, T.M.L., P.D. JONES (1985). Influences of precipitation changes and direct CO<sub>2</sub> effects on stream flow. *Climate change* 10.

# CARTE DES RESSOURCES SOUTERRAINES LES PLUS VULNERABLES



## 7.4 Ecosystèmes

Christophe NEFF<sup>\*</sup>, Ali ALOUI<sup>°</sup>, Abdelmajid EL HAMROUNI<sup>°</sup>, Ahmed SOUISSI<sup>°</sup>, Anne GROBMANN<sup>°°</sup>

**Résumé.** Cet article présente une étude des écosystèmes tunisiens en 2030 avec et sans forçage climatique. Avec l'ouverture de l'agriculture tunisienne, hors forçage climatique, les écosystèmes tunisiens seront confrontés aux phénomènes suivants : les terres marginales non ou peu exploitées pourraient augmenter le potentiel écologique du pays ; l'augmentation de la surface boisée et l'embroussaillage des terrains marginaux libérés par l'agriculture augmenteront le stock combustible et les risques d'incendies. Sous forçage climatique, l'augmentation des températures augmentera l'inflammabilité des combustibles et par conséquent les risques d'incendies des forêts. Dans le Nord du Pays, secteur déjà fortement boisé, une augmentation des incendies pourrait avoir des conséquences dramatiques sur les systèmes des barrages (érosion, glissement de terrains, envasement) ; les changements climatiques pourraient accélérer le processus d'extension des invasions biologiques ; les écosystèmes naturels actuellement perturbés et fragilisés auraient besoin d'être revalorisés pour pouvoir produire les services environnementaux nécessaires à la société tunisienne.

### 7.4.1 Introduction

Les changements climatiques (ci-après CC) sont un phénomène global qui touche toute la planète. Ce phénomène climatique aura des conséquences au niveau mondial, il touchera notamment les écosystèmes et l'économie d'une façon générale. Il est certain que la Tunisie sera d'une manière ou d'une autre concernée par les conséquences de ces changements. Nous essayons ici de dessiner le devenir des écosystèmes et des ressources naturelles tunisiennes vers 2030 sous forçage climatique. Nous nous sommes inspirés de l'Analyse de Schröter, Cramer et al. (2005) sur les conséquences écologiques des CC sur l'Europe.

Les résultats présentés mettent en évidence les lignes majeures des conséquences des CC sur les écosystèmes naturels tunisiens.

### 7.4.2 Diagnostic

Les écosystèmes tunisiens, comme la grande majorité des écosystèmes méditerranéens, sont particulièrement bien adaptés aux changements climatiques (Neff 2005, 2006a). Le facteur clef de l'évolution future des écosystèmes tunisiens est la pression humaine. Une vision rétrospective de l'histoire holocène des écosystèmes tunisiens montre très bien le rôle déterminant de l'homme et de la pression humaine sur l'évolution historique des écosystèmes méditerranéens et bien sûr des paysages tunisiens. Le climat intervient seulement comme facteur secondaire. Pour tous les scénarios de projection des écosystèmes, il est donc primordial de connaître la qualité et la quantité futures des pressions humaines, ce qui constitue un défi. Dans ce contexte, il est primordial de retenir que les écosystèmes bordant le pourtour méditerranéen ont été déjà définis par Myers et al. (2000) comme des écosystèmes clefs pour la conservation de la biodiversité mondiale. Cette importance des écosystèmes méditerranéens pour la biodiversité globale fut récemment soulignée par l'analyse de Brooks et al. (2006) qui ont particulièrement mis l'accent sur la vulnérabilité de la biodiversité des écosystèmes méditerranéens dans le contexte global. Même si l'actuelle Tunisie, en la comparant au Maroc ou à l'Algérie voisine, héberge des écosystèmes plus dégradés et moins riches en « biodiversité », il est important de noter que ces écosystèmes rendent d'importants services et apportent des ressources à la société tunisienne ; aussi est-il important de les maintenir et de les stabiliser et, pourquoi pas, si possible, d'augmenter leur valeur pour le futur. Pour déterminer un scénario plausible pour les écosystèmes en 2030, il est donc primordial d'avoir des données fiables sur l'environnement socio-économique en 2030 et les pressions humaines qui en résulteraient. En ce qui concerne le climat comme facteur de pression, nous retenons que son rôle est assez limité, l'histoire écologique de l'Afrique du Nord le montrant bien.

---

\* Université de Karlsruhe (Allemagne)

° Consultant ExaConsult Tunisie

°° Consultante GOPA

En résumé, les écosystèmes de l'Arc méditerranéen sud, marqués par l'aridité, possèdent la capacité de résilience propre à leur condition biogéographique quoique sur une échelle de temps qui dépasse souvent l'horizon économique usuel. Ainsi, les écosystèmes tunisiens se trouvent modelés par la pression des activités humaines. Leurs états actuels, les services qu'ils procurent, les fonctions qu'ils offrent, sont affectés par différentes formes de dégradation.

### 7.4.3 Projections sans changements climatiques

Pour construire un scénario solide sur la qualité des écosystèmes et ressources naturelles tunisiens il est nécessaire d'avoir une idée précise de l'évolution de la pression humaine en Tunisie. Le plus grand problème est que nous manquons totalement de données et de scénarios fiables sur l'évolution de la pression humaine et de ses effets sur les écosystèmes. Seule une connaissance accrue des conditions socio-économiques en 2030 et des pressions humaines qui en résulteraient pourraient soutenir la construction d'un scénario fiable sur l'état futur probable des écosystèmes tunisiens.

Nous procédons donc avec un « *schéma de business as usual* » couplé avec une ouverture du marché agricole. Cette ouverture de l'agriculture tunisienne est voulue par les décideurs politiques.

Dans ce contexte, la forêt progressera légèrement comme le planificateur le prévoit. Les terres de parcours resteront relativement stables dans un équilibre fragilisé et d'une qualité fortement dégradée. Le même constat est valable pour la qualité des sols.

Notons qu'une pression humaine accrue pourrait sensiblement augmenter le risque de forte dégradation<sup>1</sup> du couvert végétal et des sols et de leurs capacités hydriques.

#### Ouverture des marchés agricoles

Nous pensons que l'ouverture de l'agriculture, la libéralisation des marchés agricoles tunisiens et la concurrence au niveau international peuvent avoir des conséquences positives et négatives sur les écosystèmes tunisiens. La question est de préciser les impacts dominants de ces conséquences.

Une des conséquences positives d'une libéralisation des marchés agricoles serait la réduction des surfaces emblavées en céréaliculture à cause du prix non compétitif au niveau mondial, ce qui les épargnerait d'une menace par l'érosion. Ces surfaces libérées qui ne sont soumises à aucune pression renforceraient les écosystèmes.

Cette tendance entraînerait une meilleure séquestration du carbone par la végétation et surtout par le sol qui s'enrichirait en humus qui est une forme de matière organique à minéralisation très lente.

Sans incendies, les émissions de gaz carbonique et d'oxyde d'azote sont limitées, ce qui atténue le réchauffement global.

C'est l'argument standard utilisé pour soutenir une plus grande libéralisation des marchés agricoles. Néanmoins il est important de signaler que tous les scientifiques ne partagent pas cette approche, comme Mainguet (2003) qui se montre sceptique envers la globalisation et l'ouverture massive des marchés agricoles des pays secs africains.

Si l'agriculture tunisienne, avec l'ouverture des marchés agricoles, suivait *grosso modo* les traces des pays du Nord de la Méditerranée, on peut en déduire que les paysages agricoles tunisiens suivraient le même chemin que ceux de la façade nord de la Méditerranée pendant les dernières décennies, avec un abandon des terres agricoles économiquement non viables, un exode rural, une progression des garrigues et des maquis, une progression de la biomasse et des risques grandissants des feux de végétation dangereux et incontrôlables<sup>2</sup>. Si l'on considère le feu comme un agent incontournable d'un écosystème méditerranéen sain et résilient, augmentant sa biodiversité globale, on pourrait néanmoins supposer que l'ouverture des marchés agricoles renforcerait le rôle de ces écosystèmes (en surface) et en qualité (biodiversité).

---

<sup>1</sup> Nous utilisons le terme « forte dégradation du milieu » car le terme « désertification » est parfois mal utilisé (Mulligan et al. 2004, Mainguet 1991).

<sup>2</sup> Références principales : Mazzoleni et al. (2005), Mulligan et al. (2004), Neff (2001).

## **Augmentation de la surface boisée et risques d'incendies**

Indépendamment des scénarios de changements climatiques nous considérons que la Tunisie devrait faire face au risque grandissant des feux de forêts pour la simple raison de l'augmentation de la surface boisée en Tunisie (Aloui 2006<sup>3</sup>), indépendamment des conséquences d'une ouverture du marché agricole décrites plus haut. Même dans le plus pessimiste des scénarios, la surface boisée ne baisserait que légèrement, tous les autres scénarios établis par Aloui (2006) montrant une augmentation de la surface boisée et par conséquent une augmentation du stock combustible et logiquement une augmentation des risques d'incendies. Ces chiffres ne tiennent compte que des superficies du domaine forestier de l'Etat. En dehors de ce domaine forestier, il est donc primordial de savoir comment les terrains non forestiers composés de maquis, garrigues, terrains agricoles marginalisés et terrains vagues évolueraient à l'horizon 2030.

En se reposant sur l'évolution de la façade nord-méditerranéenne (Mazzoleni et al. 2005, Neff 1995, 2000, 2001b, Neff, Frankenberg 1995), évolution socio-économique qui a eu comme conséquence un abandon massif de terres agricoles et donc un embroussaillage massif du paysage avec progression du stock combustible, nous pourrions prévoir une augmentation considérable du stock combustible en dehors du domaine forestier de l'Etat. Il est clair que l'évolution du stock combustible non forestier dépend fortement des pressions humaines (surpâturage, collecte de bois de chauffage) liées à l'évolution de l'économie rurale tunisienne à l'horizon 2030. Cette évolution est difficile à prévoir. En supposant que l'économie rurale progresse et aboutisse aux conséquences connues de la façade nord-méditerranéenne avec abandon partiel des terres agricoles marginales et accroissement modéré de la biomasse et du stock combustible, les risques de feux de végétation augmenteraient sensiblement. A l'horizon de 2030, on peut donc prévoir pour l'ensemble de la Tunisie une augmentation considérable du stock combustible et donc un risque accru d'éclatements de feux de forêts.

L'augmentation des feux pourrait avoir des conséquences socio-économiques pour la société tunisienne. Il est à prévoir que les dégâts matériels (habitations, infrastructures) augmenteraient et que, à moyen terme, des risques de pertes humaines pourraient se réaliser. Ces conséquences socio-économiques négatives de risques d'incendies se verraient renforcées par la « californisation » (sensu Neff et Scheid 2005) et la « littoralisation ». Sur la frange côtière, littoralisation et californisation se superposent et les deux phénomènes sont difficilement séparables. La littoralisation est surtout due au développement du tourisme balnéaire en Tunisie<sup>4</sup>.

Feu, embroussaillage, californisation, littoralisation pourraient devenir de graves menaces environnementales en Tunisie, comme ils le sont déjà actuellement dans les pays de la façade nord-méditerranéenne (Portugal, Espagne, France, Italie) et même par exemple au Liban (Faour et al. 2006). Nous pensons sincèrement que cette « problématique » peut créer, au moins dans la partie Nord du pays, bien avant 2030 de graves « perturbations environnementales » et nous considérons que la Tunisie devrait se préparer à faire face à ces problèmes. Le risque de voir éclater des « grands incendies » dans les parties boisées du nord de la Tunisie est déjà actuellement une donnée.

### **Littoralisation**

La littoralisation met surtout en péril un grand nombre de zones humides. En plus elle pourrait être, elle-même, mise en danger par l'élévation du niveau de mer en raison du réchauffement global. Pour plus de détails sur l'interconnexion de la « littoralisation » et la perte potentielle de zones humides, nous renvoyons à l'étude de Großmann (2006)<sup>5</sup>.

Notons que cette « littoralisation » n'est pas un phénomène restreint, limité à la Tunisie. Elle touche beaucoup de côtes de la Méditerranée et aussi d'autres côtes du monde.

---

<sup>3</sup> Plus des détails sur la progression de la surface boisée dans Aloui (2006).

<sup>4</sup> La californisation – l'interférence entre l'habitat urbain et zones des forêts, maquis et garrigues – n'est plus une spécificité de la côte Nord de la Méditerranée. Dans leur analyse des incendies au Liban, Faour et al. (2006) montrent à quel point feux de végétation et urbanisation au Liban sont étroitement liés.

<sup>5</sup> Il y a aussi le risque que la littoralisation mette en péril les terrains agricoles et les sols les plus fertiles de la Tunisie (Souissi 2006).

## Les néos et les agents biologiques invasifs

Les néophytes, les néozoes, toutes les espèces vivantes introduites avec un potentiel invasif peuvent devenir nuisibles pour un écosystème. Dans ce contexte, on parle aussi d'« agents biologiques invasifs », d'« invasions biologiques » ou de « polluants biologiques ».

Globalement, la communauté scientifique est d'avis que les risques pour les écosystèmes causés par des espèces invasives deviennent de plus en plus pesants sur l'avenir des écosystèmes naturels, des agrosystèmes, voire sur le plan de la santé publique. Au niveau scientifique international, on estime que les changements climatiques pourraient accélérer ce mouvement d'invasion même s'il y a encore beaucoup de discussions sur les liens climatiques et la dissémination des agents biologiques invasifs<sup>6</sup>. Il nous semble clair que la Tunisie n'échapperait pas à ce phénomène. Des études sur les risques liés aux agents biologiques invasifs en Tunisie sont encouragées.

### 7.4.4 Projections avec changements climatiques

#### Scénario de changement climatique de base

Pour notre analyse des projections avec changements climatiques, nous nous repons sur le scénario climatologique suivant : la température moyenne annuelle et saisonnière augmenterait à l'horizon 2050 de +0.4 à +1.2° C. La variabilité saisonnière du climat futur (pluviométrie à l'horizon 2050) pourrait augmenter (printemps et automne) sur la base d'une *variabilité déjà forte du climat méditerranéen* de la Tunisie. *A contrario*, la variabilité annuelle de la pluviométrie diminuerait. Les modèles climatiques donnent, avec les réserves d'usage, une tendance à l'horizon 2030 à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des *années extrêmes sèches*. Pour les *années humides*, le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations.

Les principaux risques environnementaux auxquels la Tunisie devrait faire face en 2030 seraient la progression des incendies et la menace des espèces *néos*.

Notons bien que ces risques environnementaux auxquels la Tunisie devrait faire face en 2030 s'exerceraient sur fond d'écosystèmes déjà fortement perturbés et dégradés par une pression humaine séculaire et même parfois millénaire. Il est donc fortement à craindre que ces écosystèmes déjà « fortement déstabilisés » par la pression humaine historique, pourraient dans certains cas régionaux et locaux et dans des situations environnementales spécifiques, sous le forçage climatique, subir des dégradations encore plus fortes qu'actuellement et perdre leurs fonctions et services environnementaux et socio-économiques. Nous ne pensons toutefois pas que les changements climatiques, tels qu'ils sont définis dans le scénario de base, pourraient faire surgir des risques de « désertification climatique »<sup>7</sup>.

En résumé, les risques majeurs environnementaux qui pourraient être directement liés aux CC sont la progression des feux de végétation<sup>8</sup> et, d'une manière plus indirecte, les risques liés à la progression des agents biologiques invasifs.

#### Agents biologiques invasifs et changements climatiques

Sur le plan international, l'opinion scientifique considère que les changements climatiques pourraient être un des facteurs accélérant les invasions biologiques<sup>9</sup>. En Suisse, par exemple, il est question de *laurophyllisation*<sup>10</sup> du couvert végétal suite aux changements climatiques (Walther 2000). La Tunisie sera concernée par des invasions biologiques principalement accélérées et forcées par les CC. Il est difficile de les prédire, mais il semble que la Tunisie ne soit pas à l'abri des ces phénomènes

<sup>6</sup> Plus de détails dans Morin (2006), Neff (2006a) et Mekki (2006).

<sup>7</sup> Pour plus d'informations sur les définitions de la désertification, voir Neff (2006).

<sup>8</sup> Feux de végétation = feux de forêts, feux de garrigues et maquis, feux de brousse, feux de terrains vagues et marginalisés, feux des steppes, etc.

<sup>9</sup> Une discussion approfondie se trouve dans Morin (2006).

<sup>10</sup> La laurophyllisation analysée et décrite par Walther (2000) est un bon exemple de ce phénomène – même si nous ne pouvons pas suivre Walter dans tous ses résultats, surtout en ce qui concerne son explication monocausale de la naturalisation de certaines espèces laurophyllées à exemple du palmier *Trachycarpus fortunei* (Palmier de Chine) au Tessin, en Suisse, en conséquence du réchauffement climatique.

globaux. Ces derniers augmentent aussi considérablement le risque de voir émerger des « agents biologiques » nuisibles à l'agriculture, à l'élevage, voire, dans certains cas, à la santé humaine. Citons encore le cas de l'Ambrosie à feuille d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*), une plante de l'Amérique du Nord produisant un pollen hautement allergène qui peut dans certains cas créer des crises d'asthme mortelles<sup>11</sup>. Cette plante est en train d'étendre son aire de répartition. Actuellement, elle progresse en Rhône-Alpes<sup>12</sup>, dans la région de Genève et dans le Tessin. On pense qu'une grande partie de cette progression peut être expliquée par l'augmentation de la température estivale. Même s'il est extrêmement compliqué de faire une prévision sur la force nuisible d'une espèce exotique<sup>13</sup>, il nous semble important de focaliser la recherche agricole tunisienne sur ce point. Nous risquons en Tunisie, comme en Europe, d'être confrontés dans un avenir proche au «développement d'une biodiversité hostile» (Morin 2006).

## **Changement climatique et progression des feux en Tunisie**

### ***Augmentation des températures et inflammabilité***

Le seul risque environnemental directement lié aux changements climatiques est la progression des feux de végétation en Tunisie. Une augmentation de la température d'un stock de combustible augmente son inflammabilité. C'est une loi physique. L'augmentation de la température de +0.6 à +1.2° C en Tunisie, retenue comme scénario de base, augmenterait donc sensiblement l'inflammabilité de tout couvert végétal en Tunisie<sup>14</sup>.

### ***Evolution du stock combustible***

L'inflammabilité définit le risque d'éclosion d'un feu dans un environnement défini. Le stock combustible définit l'intensité d'un feu ainsi que sa surface. Sans stock combustible suffisant, il n'y a pas de feu. L'évolution d'un stock combustible végétal dépend de la productivité biologique spécifique d'un écosystème, des précipitations, de la température et des pressions humaines.

Les données du modèle de base des changements climatiques en Tunisie n'ont, en ce qui concerne les précipitations, pas de valeur prédictive statistiquement fondée. Néanmoins, nous pouvons en déduire un léger abaissement des précipitations au Sud et une sensible hausse des précipitations au Nord-Ouest. Une sensible augmentation des précipitations au Nord-Ouest, région déjà fortement boisée, pourrait donc augmenter le stock combustible et, par conséquent, les risques d'incendies. Le second facteur déterminant de la quantité d'un stock combustible est la pression humaine. Si, *a priori*, comme il a été défini dans les scénarios « agrosystèmes », de plus en plus de terres marginales ne seraient plus utilisées pour la production comme conséquence de l'ouverture des marchés agricoles, ces dernières pourraient contribuer à l'augmentation du stock combustible.

L'augmentation des feux de végétation n'est pas, d'un point de vue strictement scientifique et écologique, un problème, car le feu est un des facteurs dynamiques clefs des écosystèmes méditerranéens (Neff 2001, Trabaud 2004). Les conséquences environnementales et surtout socio-économiques peuvent néanmoins être importantes : perte de capital productif (d'un point de vue sylvicole), infrastructures et habitations endommagées, voire, dans certains cas, perte de vies humaines. En plus et indirectement, la valeur et les services que les écosystèmes procurent à la société seraient affectés pour une longue période.

### ***Conséquences environnementales et socio-économiques de la progression des incendies dans la partie Nord de la Tunisie***

Nous pensons que les changements climatiques vont accroître considérablement les risques de feux de végétation. Le Nord de la Tunisie serait particulièrement affecté par cette évolution car en plus de l'augmentation des températures le stock combustible pourrait considérablement augmenter à cause d'une augmentation des précipitations et de l'ouverture des marchés agricoles. La région, notons le,

<sup>11</sup> Plus de détails sur *Ambrosia artemisiifolia* dans Déchamp et Méon (2003) – dans cette étude, la plante est décrite comme un polluant biologique de première importance.

<sup>12</sup> La région Rhône-Alpes consacre un budget d'environ 500'000 euros par an pour éradiquer « *Ambrosia artemisiifolia* » pour cause de danger à la santé publique (Chauvel et al. 2006).

<sup>13</sup> Ceci repose notamment sur les travaux de Landolt (2006) sur la flore exotique de Ville de Zurich.

<sup>14</sup> D'un ordre de grandeur de 12-15%.

est déjà actuellement la plus boisée de Tunisie. La progression des incendies, surtout de grands incendies nécessitant des grands stocks de combustibles, dans le Nord tunisien, peut avoir des conséquences particulièrement négatives pour toute l'économie tunisienne car elle met en danger les systèmes des barrages et l'approvisionnement en eau d'une grande partie de la Tunisie. L'éclosion de grands feux ainsi que leur multiplication pourrait engendrer des phénomènes d'érosion et dans certains cas provoquer des glissements de terrains<sup>15</sup> qui pourraient perturber le fonctionnement d'un ou même plusieurs barrages.

### **Conséquences des CC sur les écosystèmes pastoraux**

Les forêts méditerranéennes d'une manière générale et tunisiennes en particulier sont grevées de droits d'usage dont le pâturage. De ce fait, elles font partie des écosystèmes pastoraux. Bien que le pacage en conjonction avec le climat, les incendies, les défrichements, le surpâturage, soit un facteur de déboisement qui se poursuit depuis des millénaires, il joue cependant, dans le cas d'une majoration climatique, un rôle important dans la protection de la forêt contre les incendies. Il réduit considérablement le stock combustible par élimination des broussailles inflammables. Ce n'est plus le feu qui pose problème pour les écosystèmes steppiques du Centre et du Sud qui, de leur côté seront fortement convoités et défrichés pour une céréaliculture épisodique et marginale les exposant par la suite aux méfaits de l'érosion. Dans le cas d'une péjoration des conditions du climat, ces écosystèmes steppiques verront leurs fonctions pastorales diminuer au Centre, voire s'annuler au Sud. Les troupeaux se rabattront sur les parcours du Nord pour alourdir davantage leur charge et augmenter ainsi le taux de surpâturage. Il est possible de remédier à ces effets négatifs par des aménagements et une gestion appropriés des parcours. Notons dans ce contexte que la déconnexion de l'activité d'élevage de son milieu naturel, même si le poids des aléas climatiques pèse toujours sur les éleveurs (Alary, Boutonnet 2006), rend l'élevage de plus en plus dépendant des facteurs méso et macro-économiques. L'ouverture de l'agriculture tunisienne peut, dans le cas de l'élevage, avoir des conséquences socio-économiques comme également sur les écosystèmes – même si, au niveau des écosystèmes, ces conséquences peuvent être limitées ou avoir un caractère positif.

### **Les Oasis et les changements climatiques**

Le système des Oasis est considéré comme un des plus grands patrimoines naturels de la Tunisie. Malheureusement cet écosystème est déjà fortement dégradé, fragilisé par les diverses pressions qu'il subit actuellement. Dans ce contexte, Mainguet (2003) parle de la mort annoncée de l'écosystème oasisien. Cette mort annoncée n'a rien à voir avec les changements climatiques, mais est due à la surexploitation du système des Oasis pendant les vingt dernières années. Si ces pressions continuaient à un rythme soutenu, il semble clair que les Oasis vers 2030 souffriraient d'une manière ou d'une autre de la diminution des précipitations et d'une augmentation des températures.

### **Changements climatiques et valeurs des écosystèmes**

En vue des pressions que les changements climatiques exerceront sur les écosystèmes, il est important de cerner les services qu'ils livrent à la société et de quantifier leurs valeurs<sup>16</sup>. Le problème est que souvent les valeurs et les prix de ces services sont actuellement encore difficiles à quantifier. La recherche est en ce moment en train de cerner ce problème. Merlo et Croitoru (2005) viennent d'éditer un ouvrage sur la valeur totale des forêts méditerranéennes. Dans ce document, Daly-Hassen et Ben Mansoura (2005) fournissent une première approche sur la valeur économique totale des écosystèmes forestiers tunisiens. Cette analyse peut servir de repère, même si elle est encore incomplète, pour une première évaluation de la valeur actuelle des écosystèmes. En ce qui concerne les changements climatiques, il est important de préciser le facteur temps ou l'« *intergénérationnalité de l'effet* » (Pillet 2006b). En plus, dans une évaluation, le non-usage prend une notion significative (Pillet 2006a). Une zone humide dont on ne peut pas encore chiffrer la valeur en prix de marché peut avoir une valeur en terme de services pour la société. En cas d'inondations (ou de grandes préci-

---

<sup>15</sup> Conedera (2006) a donné divers exemples de feux de forêts en Suisse montrant à quel point incendies et glissements des terrains étaient liés dans le canton du Tessin. Vu les risques de glissements de terrain à proximité de barrages en Tunisie, il a plaidé pour une politique de « fire management » préventif pour les forêts tunisiennes.

<sup>16</sup> De telles valeurs existent même si aucun prix ne vient les attester. Par exemple, les écosystèmes possèdent une valeur pour l'agriculture, mais pas de prix (Pillet 2006b).



pitations), elle devient une zone de retenue des eaux. Il n'y aura pas de destruction des biens et valeurs socio-économiques car l'inondation n'aurait pas eu lieu. Le non-usage de la zone humide aura ainsi évité à la société les coûts d'une inondation dévastatrice. Dans le cas des changements climatiques, ces zones humides pourraient devenir primordiales car la Tunisie sera confrontée à l'augmentation de la variation spatio-temporelle du régime des précipitations. Ce principe s'applique à d'autres écosystèmes.

### 7.4.5 Conclusions

Un point important consiste à valoriser les biens et les services des écosystèmes en reliant conceptuellement les « emternalités » (sensu le concept défini par Pillet, 2004, 2006a, b), les écosystèmes et l'agriculture dans le cadre d'une stratégie d'adaptation au changement global et climatique.

Dans ce cadre, nous aimerions ajouter qu'une amélioration des conditions socio-économiques des populations rurales tunisiennes pourrait sensiblement améliorer la qualité des écosystèmes tunisiens en 2030, car dans ce cas, les pratiques comme le surpâturage<sup>17</sup>, l'exploitation des terres marginalisées propices à l'érosion, la corvée des bois de chauffage à fort potentiel de nuisance écologique, auraient une grande chance de cesser dans l'avenir. En plus, en se basant entre autres sur les travaux de Mulligan et al. (2004), nous pensons que la variabilité interne des régimes des précipitations actuelles méditerranéennes et tunisiennes dépasse encore largement les variations annoncées par les différents scénarios de changement climatique et que les écosystèmes ont une résilience suffisante pour faire face aux pressions climatiques futures.

Dans ce contexte, nous pensons que la « désertification » ne sera pas accélérée par les changements climatiques à l'horizon 2030. La « désertification et la steppisation » pourraient progresser indépendamment des changements climatiques si le forçage socio-économique (les pressions humaines) s'intensifiait et si les écosystèmes n'avaient pas de valeur. Il nous semble important de comprendre que les écosystèmes méditerranéens, y compris ceux de la Tunisie, ont une très grande capacité de résilience autoécologique et peuvent faire face à une très grande variabilité climatique même à une cadence d'accidents et d'extrêmes climatiques répétitifs. La question cruciale reste celle de l'évolution des pressions humaines.

En conclusion, les feux de végétation vont considérablement progresser à cause de l'augmentation de la température<sup>18</sup>. L'Etat tunisien et la société tunisienne doivent impérativement tenir compte de ce risque grandissant car la situation peut, comme on l'a vu récemment en France, en Espagne et au Portugal, facilement devenir incontrôlable.

En second lieu, nous pensons que la Tunisie devra se pencher sur la problématique des « agents biologiques envahissants » qui semble s'accélérer par le phénomène de réchauffement climatique.

### Références

#### *Ouvrages et articles*

- ALARY, V., J.P. BOUTONNET (2006). L'élevage ovin dans l'économie des pays du Maghreb : un secteur en pleine évolution. *Sécheresse, Science et Changements planétaires* 17 (1-2) : 40- 46.
- BESSAOU, R. (Ed.) (2002). *Climat et santé au Maghreb*. Oran.
- BRAUCH, H.G. (2006). Desertification – A new security challenge for the Mediterranean ? Policy agenda for recognising and coping with fatal outcomes of global environmental change and potentially violent societal

---

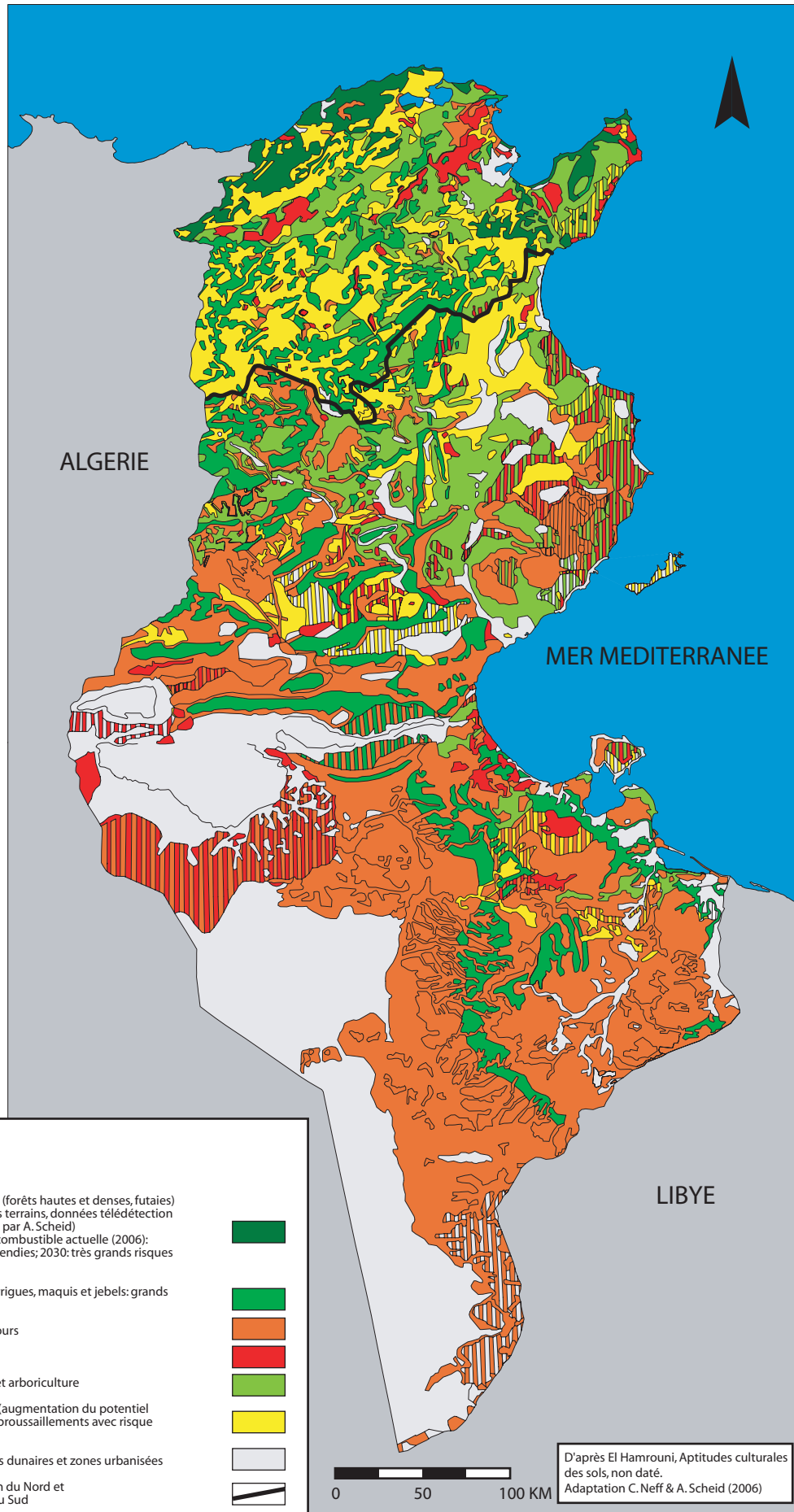
<sup>17</sup> Pour plus de précisions sur l'évolution du pâturage, voir le rapport de El Hamrouni (2006). Les changements climatiques n'auront pas de conséquences pour le pâturage en 2030 s'il y a amélioration des parcours et de leur gestion.

<sup>18</sup> Nous reproduisons les conclusions de Aloui (2006) pour les forêts au vu de leur importance dans la progression des incendies : « Quatre scénarios d'évolution du couvert forestier ont été étudiés dont un scénario qui exprime la tendance évolutive actuelle. La comparaison entre les quatre scénarios a montré après estimation des valeurs économiques totales, des valeurs environnementales et des valeurs commerciales d'usage que pour tous les scénarios la valeur environnementale représente 88% de la valeur économique totale – la valeur de la séquestration du carbone et la valeur de la conservation de l'eau représentant 79% de cette dernière. La comparaison des résultats économiques des différents scénarios par rapport aux investissements consentis pour développer le couvert forestier a montré que le scénario exprimant la tendance actuelle était le meilleur par rapport aux bénéfices économiques totaux dégagés ».

- consequences. In: Kepner, W.G., Rubio, J.L., Mouat, D.A., Pedrazzini, E. (Eds): *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*. Dordrecht : Springer in Cooperation with NATO Public Diplomacy Division: 11- 85.
- BROOKS, T.M., R.A. MITTERMEIER, G.A.B DA FONSECA, J. GERLACH, M. HOFFMANN, J.F. LAMOREUX, C.G. MITTERMEIER, J.D. PILGRIM, A.S.L. RODRIGUES (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science* Vol. 313, 7 July : 58 - 61.
- CHAUVEL, B., B. FUMANAL, F. DESSAINT, F. BRETAGNOLLE (2006). Extension d'*Ambrosia artemisiifolia* dans le département de la Côte d' Or. *Le Monde des Plantes* 490 : 1- 5.
- DALY-HASSEN, H., A. BEN MANSOURA (2005). Tunisia. In: Merlo, M., Croitoru, L. (Eds.): *Valuing Mediterranean Forests. Towards Total Economic Value*, 105 – 122. Wallingford : CABI Publishing.
- DECHAMP, C., H. MEON (2003). *Ambrosies : ambrosia, polluants biologiques*. Lyon.
- FAOUR, G., R. BOU KHEIR, E. VERDEIL (2006). Caractérisation sous système d'information géographique des incendies de forêts: l'exemple du Liban. In : *Forêt méditerranéenne* T. XXVII, 4: 339- 352.
- LANDOLT, E. (2006). Verbreitung und Verhalten von invasiven Neophyten im Gebiet von Zürich (Schweiz.). In: *Berichte der Reinhold Tüxen-Gesellschaft* 18 (7-8) : 35- 51.
- NEFF, C. (2005). Ecosystèmes tunisiens: une vision prospective face au changements climatiques et globaux. In: *Etude de la stratégie d'adaptation pour le secteur agricole et les ressources naturelles* : 136-153.
- NEFF, C. (2001a). A First Bibliography of Modelling Climate Impacts on Mediterranean Type Ecosystems (MTE) at the Landscape Level. *Geoöko* XXII (2-3) : 193-217.
- NEFF, C. (2001b). Der rezente Landschaftswandel im westlichen Mediterran Raum - Herausforderungen für Natur und Landschaftsschutz – Beispiele aus den Gebirgsregionen des mediterranen Südfrankreich. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 145 (1) : 72-83.
- NEFF, C. (2000). MEDGROW – Vegetationsdynamik und Kulturlandschaftswandel im Mittelmeerraum. *Mannheimer Geographische Arbeiten* 52.
- NEFF, C. (1995). Waldbrandrisiken in den Garrigues de Nîmes (Südfrankreich) - eine geographische Analyse. *Materialien zur Geographie* 27.
- NEFF, C., P. FRANKENBERG (1995). Zur Vegetationsdynamik im mediterranen Südfrankreich. Internationaler Forschungsstand und erste Skizze zur Vegetationsdynamik im Raum Nîmes. *Erdkunde. Archiv für wissenschaftliche Geographie* 49 (3) : 232-244.
- NEFF, C., A. SCHEID (2005). Der mediterrane Süden Frankreichs. Vegetationsdynamik und Kulturlandschaftswandel im Languedoc- Roussillon. *Geographische Rundschau* 57 (9) : 38- 44.
- NOUAIM, R. (2005). L'Arganier au Maroc – entre Mythes et Réalités. Paris : L'Harmattan.
- MAINGUET, M. (2003). *Les Pays Secs. Environnement et développement*. Paris : Ellipses.
- MAINGUET, M. (1991). *Desertification. Natural Background and Human Mismanagement*. Berlin : Springer-Verlag.
- MAZZOLENI, S., G. DI PASQUALE, M. MULLIGAN (2005). Inverser le consensus sur la désertification en Méditerranée. *Forêt méditerranéenne* XXVI (4) : 322-326.
- MEKKI, M. (2006). Potential threat of *Solanum elaeagnifolium* Ca. to the Tunisian fields. In: Brunel, S. (Eds): *Invasive plants in Mediterranean type regions of the world/Plantes envahissantes dans les régions méditerranéennes du monde. Environmental Encounters*, No. 59235-245. Strasbourg.
- MENDES FERRAO, J.E. (1993). *A Aventura das plantas e os Descobrimentos Portugeses*. Lisboa : Instituto de Investigacao Cientifica Tropical.
- MERLO, M., L. CROITORU (2005). *Valuing Mediterranean Forests. Towards total economic value*. Wallingford : CABI Publishing.
- MORIN, H. (2006). La grande fête des insectes. Des espèces de plus en plus nombreuses profitent du réchauffement climatique pour coloniser de nouveaux territoires et adopter de nouveaux comportements. *Le Monde*, mercredi 27 décembre, p. 3.
- MULLIGAN, M., S.M. BURKE, C.M. RAMOS, (2004). Climate Change, Land-use Change and the Desertification of Mediterranean Europe. In: Mazzoleni, S., di Pasquale, G., Mulligan, M., di Martino, P., Rego, F. (Eds): *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape* : 259-279. Chichester : John Wiley et Sons.
- MYERS, N., R.A. MITTERMEIER, C.G. MITTERMEIER, G.A.B. DA FONSECA, J. KENT (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* Vol. 403 : 853- 858.
- PILLET, G. (2006a). *Analyse croisée économique et écologique des écosystèmes*. Fribourg.

- PILLET, G. (2004). Emternalities as Counterpart to Economic Externalities. *Ecological Modelling* 178 : 183-187 | [www.ecosys.com/emtternalities](http://www.ecosys.com/emtternalities) (on-line).
- QUEZEL, P., F. MEDAIL (2003). *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Paris : Elsevier.
- SCHRÖTER, D., W. CRAMER, R. LEEMANS, C.I. PRENTICE, M.B. ARAUJO, N.W. ARNELL, A. BONDEAU, H. BUGMANN, R.R. CARTER, C.A. GARCIA, A. DE LA VEGA-LEINERT, M. ERHARD, F. EWERT, M. GLENDINIG, J.I. HOUSE, S. KANKAANPÄÄ, R.J.T. KLEIN, S. LAVOREL, M. LINDNER, M.J. METZGER, J. MEYER, T.D. MITCHELL, I. REGINSTER, M. ROUNSEVELL, S. SABATE, S. SITCH, B. SMITH, J. SMITH, P. SMITH, M.T. SYKES, K. THONIKE, W. THUILLER, G. TUCK, S. ZAEHLE, B. ZIER (2005). Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science* Vol. 310 : 1333- 1337.
- SOUISSI, A. (2000). Tunisie. Enjeux et politiques d'environnement et de développement durable. *Plan bleu – Profil des Pays méditerranéens*. Valbonne.
- TRABAUD, L. (2004). La réponse de la végétation aux incendies. In: Garrone, B. (Ed.): *Le feu dans la nature, mythes et réalités*. Prades-le-Lez : Les Ecologistes de l' Euzière.
- WALTHER, G.R. (2000). *Laurophyllisation in Switzerland*. Thèse de doctorat. ETH Zürich.
- WALTHER, G.R. (2006). Palmen im Wald ? Exotische Arten nehmen in Schweizern Wäldern bei wärmeren Temperaturen zu. In: Wohlgemuth, T. (Eds): *Wald und Klimawandel*. Forum für Wissen 2006, 55- 61., Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- Documents de travail*
- ALOUÏ, A. (2006). Scénarios de base d'évolution du couvert forestier tunisien et scénario d'adaptation. Rapport. Tunis.
- CONEDERA, M. (2006). Ecologie et gestion des feux de forêts au Sud des Alpes de la Suisse. Exposé du 23 août. Réunion des experts à Fohrenbühl (Allemagne).
- EL HAMROUNI, A. (2006). Adaptation de l'agriculture tunisienne au changement climatique - Les écosystèmes sylvo-pastoraux selon différents scénarios. Rapport. Tunis.
- GROBMANN, A. (2006). Zones humides – Valeurs et tendances des zones humides et sa adaptation aux changements climatiques. Rapport. Tunis.
- NEFF, C. (2006a). Projections des écosystèmes tunisiens à l'horizon 2030. Résumé. Tunis.
- PILLET, G. (2006b). Séminaire thématique – Configuration de la stratégie nationale d'adaptation. *Résumé introductif à l'intention des participants*. 27 octobre. Tunis.
- SOUISSI, A. (2006). La désertification et ses menaces. Rapport. Tunis.

# CARTE DES PRINCIPAUX RISQUES ECOLOGIQUES EN TUNISIE EN 2030



## LEGENDE

1a) Zones forestières (forêts hautes et denses, futaies) actuelles (relevés des terrains, données télédétection 2003 - interprétation par A. Scheid)  
 Très grand stock de combustible actuelle (2006): grands risques d'incendies; 2030: très grands risques d'incendies



1b) Bois et forêts, garrigues, maquis et jebels: grands risques d'incendies



2) Pâturages et parcours



3) Cultures irriguées



4) Grandes cultures et arboriculture



5) Terres marginales (augmentation du potentiel écologique mais embroussailllements avec risque d'incendies)



6) Terres salées, zones dunaires et zones urbanisées



Limite entre la région du Nord et celles du Centre et du Sud



D'après El Hamrouni, Aptitudes culturales des sols, non daté.  
 Adaptation C. Neff & A. Scheid (2006)

## 7.5 Agrosystèmes et secteur agricole

Mohamed Salah BACHTA<sup>†</sup>, Habib BEN SALEM<sup>#</sup>, Rafik MISSAOUI<sup>°</sup>, Gideon KRUSEMAN<sup>\*</sup>

**Résumé.** Les agrosystèmes tunisiens subissent deux sortes de forçages, au sens de pressions. En premier lieu, l'ouverture de l'économie tunisienne aux marchés internationaux provoque un forçage économique. En second lieu, le secteur agricole subit à la marge les pressions du changement climatique. Il s'agit du forçage climatique.

Le forçage économique, soumis aux hypothèses de croissance du planificateur, a été évalué selon deux scénarios d'ouverture (lent et rapide). Les impacts probables du forçage économique ont été évalués en termes d'occupation des sols, des besoins en eau d'irrigation, de croissance du PIB du secteur agricole et d'augmentation du bien-être. Sans changement climatique extrême, des augmentations vraisemblables de rendements de certaines cultures permettraient de réaliser les taux de croissance prévus par le planificateur. En outre, l'ouverture de l'économie tunisienne s'accompagne d'une amélioration du bien-être global.

Le forçage climatique intervient en second lieu, à la marge. Les résultats des projections montrent qu'en cas de sécheresse et quel que soit le scénario d'ouverture économique retenu, les baisses des productions pluviales ne permettraient pas d'atteindre les taux de croissance planifiés. Des stratégies d'adaptation au forçage climatique apparaissent donc nécessaires pour réaliser les objectifs économiques indiqués par le planificateur.

### 7.5.1 Introduction

Au cours du siècle dernier, l'agriculture tunisienne a subi de profondes transformations ayant permis d'une part, la diversification et l'intensification de ses systèmes de production et d'autre part, son insertion au sein du marché aussi bien par son approvisionnement en inputs modernes que par l'écoulement de ses produits. En effet, au début du siècle dernier, l'activité agricole était structurée principalement autour de deux grands systèmes agraires : en premier lieu, le système agropastoral reposant sur la transhumance des troupeaux et assurant une forme d'adaptation à la précarité du milieu naturel, aux inondations et aux sécheresses et en second lieu, une agriculture périurbaine, intensive, pratiquée autour des grandes villes et assurant l'approvisionnement des populations urbaines.

Les transformations subies par le secteur agricole ont été rendues possibles grâce à la mise à profit du paquet technologique de la révolution verte, à une meilleure maîtrise du milieu naturel (asservissement des eaux de ruissellement, pratique du *dry farming*, ...) et à une politique économique favorable ayant façonné le contexte dans lequel les activités agricoles étaient conduites. Durant le présent siècle, les contextes économique et naturel du secteur vont être modifiés. Le processus de transformation du secteur devra donc se poursuivre sous l'effet des deux forçages, le premier de nature économique et visant à assurer l'ancrage de la Tunisie dans l'économie mondiale, le second d'ordre climatique ayant pour objet d'adapter les activités agricoles aux changements anticipés dans ce domaine.

L'exercice entrepris ici consiste à vérifier si les objectifs assignés au secteur agricole par le planificateur (niveaux de PIB agricole recherchés) sont réalisables compte tenu des conséquences anticipées des deux forçages.

La conciliation des deux exigences d'ouverture et de croissance devrait être réalisée soit par une utilisation additionnelle de facteurs, soit par une amélioration de la productivité de ces derniers. La première éventualité est difficile à envisager dans le cadre de ce travail et un processus itératif doit permettre la vérification de la compatibilité de ces deux exigences via des gains de productivité.

Outre le forçage économique, les changements climatiques devraient mettre l'économie tunisienne sous l'influence d'événements climatiques extrêmes et la placer ainsi sous un forçage climatique. Une

---

<sup>†</sup> Professeur à l'Institut National Agronomique de Tunis

<sup>#</sup> Maître-Assistant à l'École Supérieure d'Agriculture de Megrane (Tunisie)

<sup>°</sup> Ingénieur Conseil – ALCOOR-Tunis

<sup>\*</sup> PhD Senior Researcher | LEI-Wageningen (Pays-Bas).

simulation est par conséquent également nécessaire afin d'apprécier les conséquences de ces changements sur un secteur agricole évoluant vers une agro-économie ouverte.

### **7.5.2 Diagnostic**

Les systèmes de production agricole actuels sont l'aboutissement d'un long processus d'évolution amorcé depuis le début du siècle dernier. Selon le contenu de l'évolution des systèmes agraires, deux étapes sont à distinguer. La première, dite d'extension des surfaces cultivées par défrichage, s'étale, grosso modo, de 1900 jusqu'aux années soixante-dix. Environ 500'000 ha de forêt ont été défrichés dans le Nord du pays et plus de deux millions d'hectares de steppe mis en culture ou plantés, soit près de 30 % de la superficie de la Tunisie centrale. La superficie des forêts naturelles a diminué de près de 50 % au cours de cette période.

Ces défrichements ont été souvent l'œuvre de paysans dépossédés de leurs terres. C'est ainsi que l'extension des cultures s'est faite sur des terres de plus en plus marginales et sensibles à l'érosion et au stress hydrique.

La deuxième étape, dite d'intensification des systèmes agraires, a été entamée à la fin des années soixante. La mise en place d'une politique d'intensification des systèmes de production et ce, par un usage plus important des intrants modernes et par l'irrigation a constitué le principal levier pour réussir cette évolution. C'est ainsi que les superficies irriguées ont quadruplé depuis 1970. Ainsi, et selon les statistiques de la FAO, 5 kg d'engrais chimiques étaient utilisés à l'hectare au début des années 60 et près de 25 kg au milieu des années 90.

De ces profondes transformations, il a résulté une restructuration des systèmes agraires donnant naissance à des systèmes ayant peu d'interactions entre eux. C'est ainsi que des unités de production modernes et bien intégrées au marché, en particulier aux marchés d'exportation pour certaines, co-existent avec des systèmes de production restés sous le poids de leurs contraintes structurelles, traditionnels sur le plan des techniques adoptées, peu intégrés au marché et peu adaptés à leur environnement naturel. Autrement dit, on assiste à une grande diversité des systèmes de production, allant d'unités de production bien intégrées dans leur environnement naturel et ayant acquis une capacité compétitive certaine à des exploitations mal localisées (terre en pente, sol marginal) et faisant montre d'une durabilité économique incertaine.

Il est évident que les réponses à venir de ces systèmes de production à des changements dans leurs environnements économique et naturel seront distinctes.

### **7.5.3 Projection du secteur sous forçage économique**

En signant des accords commerciaux avec ses principaux partenaires et en adhérant à l'Organisation Mondiale du Commerce, la Tunisie a initié l'ouverture de son économie sur l'extérieur et, par voie de conséquence, celle de son secteur agricole. Une telle ouverture mettra en difficulté les systèmes de production agricole les moins compétitifs, profitant actuellement du soutien public le plus élevé, mais pourra aussi avoir un effet d'expansion sur certaines activités exportatrices.

Les effets attendus seront-ils compatibles avec les taux de croissance pour toute l'économie, secteur agricole compris, avancés par le planificateur tunisien lors de l'élaboration de la stratégie de développement économique et social de la prochaine décennie 2006-2016 ?

#### **Hypothèses de croissance**

Les taux de croissance retenus par le planificateur jusqu'à l'horizon 2016 et qui ont été prolongés jusqu'en 2030 sont indiqués dans le Tableau I.

**Tableau I – Evolution des taux de croissance sectorielle durant la période 2002-2030**

Périodes	2002-2006	2007-2011	2011-2016	2017-2030
Ensemble de l'économie	4.70 %	6.10 %	6.50 %	6.50 %
Agriculture	2.52 %	3.12 %	3.45 %	3.45 %
Industrie manufacturière	2.23 %	4.59 %	5.38 %	5.38 %
Industrie non manufacturière	3.16 %	3.65 %	4.61 %	4.61 %
Services	6.18 %	7.67 %	7.63 %	7.63 %

Source : Note décennale d'orientation, Développement et Coopération Internationale

### Scénarios d'ouverture

Deux scénarios de libéralisation de l'économie tunisienne ont été retenus pour projeter le développement du secteur agricole aux horizons 2016 et 2030. Les deux scénarios considèrent une ouverture totale de l'économie tunisienne à l'horizon 2030 et la suppression de toutes les barrières à l'échange à l'échelle internationale. Les deux scénarios se distinguent par le rythme de la mise en oeuvre de l'ouverture.

Le premier scénario simule un rythme d'ouverture lent tandis que le second suppose une levée rapide des entraves au commerce international. Les contenus de ces deux scénarios se présentent comme suit :

#### *Scénario 1 : ouverture lente*

- Réduction du taux de protection à l'importation de 50 % à l'horizon 2016.
- *Maintien des subventions à l'exportation jusqu'en 2016.*
- Élimination des protections entre 2017 et 2030.

#### *Scénario 2 : ouverture rapide*

- Réduction du taux de protection à l'importation de 50 % à l'horizon 2016.
- *Réduction des subventions à l'exportation à hauteur de 50 % à l'horizon 2016.*
- Élimination des protections entre 2017 et 2030.

### Appréciation quantitative des impacts du forçage économique

Les conséquences de la libéralisation des échanges ont été évaluées selon les scénarios proposés sur l'occupation des sols, les besoins en eau, le PIB agricole et le bien-être. Ces simulations ont été réalisées à l'aide d'un modèle sectoriel de l'agriculture tunisienne. La structure de ce modèle présente une offre régionalisée. Sept régions agro-naturelles sont distinguées. Pour traduire la diversité des conditions de production, trois à cinq systèmes de production ont été identifiés au sein de chacune des régions définies. Au total, vingt-cinq exploitations-types ont été retenues (Bachta et al. 2004).

Les conséquences de la libéralisation des échanges ont donc été évaluées par le biais des scénarios de réformes des politiques de commerce extérieur sur le secteur agricole retenu. Les résultats attendus ont concerné les variables suivantes :

- L'occupation du sol.
- L'utilisation des ressources naturelles et notamment l'eau d'irrigation.
- Les niveaux de rendement et ceux du PIB agricole.
- Le surplus des producteurs et des consommateurs.
- Le surplus social.

### ***Occupation du sol par les cultures***

Les variations attendues de l'occupation du sol ont été inspirées d'un modèle sectoriel datant de 2003, comme indiqué par le Tableau II. Les baisses présentées sont supposées se réaliser à l'horizon 2016. A l'horizon 2030, l'hypothèse retenue considère que la baisse observée en 2016 doublera.

**Tableau II – Variations attendues des superficies sous ouverture de l'économie**

Occupation du sol	Scénario 1	Scénario 2
Céréales	-15.42 %	-14.84 %
Cultures maraîchères	-0.95 %	-1.86 %
Légumineuses	8.68 %	9.37 %
Fourrages	-5.14 %	-5.15 %
Arboriculture	Superficies supposées fixes	

La variation la plus notable concerne les emblavures céréalières dont la superficie passerait de 1'450'000 ha en moyenne actuellement à 1'020'000 ha environ en 2030, soit une baisse d'environ 30 %, tant pour le scénario 1 que pour le 2. Une telle diminution est confirmée par d'autres études qui ont estimé à près de 900'000 ha les surfaces des terres à vocation céréalière.

### ***Cultures irriguées et leurs besoins en eau***

Les prévisions montrent que les superficies irriguées diminueraient légèrement (d'environ 389'000 ha durant la période 2006-2011, à 376'000 ha en 2030, selon l'hypothèse d'ouverture lente et, dans le cas du scénario 2, de 388'000 ha à 376'000 ha en 2030).

Les besoins en eau d'irrigation à la parcelle atteindraient environ 1.2 milliard de m<sup>3</sup>, en 2030, quel que soit le scénario envisagé. Cette demande d'eau est à comparer avec les disponibilités déduites de la projection des ressources hydriques sous le forçage climatique.

### ***PIB agricole***

Le PIB agricole, suite à la baisse des superficies et pour des rendements identiques à la situation de référence, accuserait une diminution de 2.5 % en 2011, 4.1 % en 2016 et 5.1 % en 2030 selon le scénario 1. Cette baisse serait respectivement de 2.9 % en 2011, de 3.1 % en 2016 et de 9.6 % en 2030 selon le scénario 2.

### ***Effets de l'ouverture sur le bien-être (au niveau des producteurs)***

L'analyse des effets sur le bien-être des producteurs a été conduite selon deux critères d'évaluation. Le premier a considéré le revenu d'un nombre d'exploitations types supposées être représentatives de l'ensemble des unités de production. Le second a considéré le surplus des producteurs ; il est donc de nature plus agrégée et devrait permettre d'apprécier les effets sur l'ensemble des producteurs considérés.

### ***Impacts sur les revenus des exploitants***

Au niveau des impacts sur les revenus des exploitants, on peut retenir une diminution générale (allant jusqu'à 7.2 % notamment dans le Tell Central) à l'exception des exploitants des régions du Tell Inférieur, de la Dorsale et de la Dorsale Occidentale dont les revenus augmenteraient par rapport à la situation de référence.

Les types d'exploitations qui seraient les plus touchés par cette ouverture semblent être les petites exploitations à structure déséquilibrée à l'exception des exploitations des régions du Sud et de la Dorsale.

Les systèmes de production les plus fragiles aux changements des politiques commerciales, en termes de diminution de leurs revenus (allant de 10 à 20 %), sont les petites exploitations de la Kroumirie, les systèmes de céréaliculture épisodique et d'élevage ovin sur parcours au Centre, les systèmes extensifs du Centre, les systèmes intensifs du Centre et les systèmes mixte du Centre (bovin intensif).



Par contre, les systèmes de production les plus stables en termes de diminution de leurs revenus sont les grandes exploitations de la Kroumirie et de la Dorsale, les systèmes de subsistance du Tell central et les systèmes oléicoles.

Les types de systèmes de production qui profiteraient de cette ouverture sont les exploitations moyennes de la Kroumirie et celles de la Dorsale et du Tell Inférieur, les systèmes de l'agriculture de montagne et les petites exploitations périurbaines.

En conclusion, pour les deux scénarios, on peut retenir que les exploitations qui sont concernées par les baisses de revenu sont celles qui pratiquent une agriculture extensive et disposent de structures de production peu équilibrées. Ces exploitations étant localisées sur les terres en pente ou sur des parcours, leur existence se justifie essentiellement par des considérations sociales.

Pour les deux scénarios, on peut donc retenir que les exploitations concernées par les baisses de revenu sont celles menées en extensif et ayant des structures de production peu équilibrées. Les superficies concernées totalisent 578'600 ha et se répartissent comme suit :

- |  |            |
|--|------------|
| ▪ Kroumirie (extrême Nord / Jendouba)                        | 28'100 ha  |
| ▪ Centre (basses steppes / Sidi Bouzid)                      | 384'300 ha |
| ▪ Dorsale (hautes steppes et zones montagneuses / Kasserine) | 166'200 ha |

Ce potentiel édaphique, des plus menacés par l'érosion, est à « restituer aux écosystèmes » pour une valorisation environnementale, ne serait ce que partiellement. La reconversion de ces superficies suppose la mise au point de schémas d'aménagement prenant en compte à la fois la fragilité des sols et la faible performance des systèmes de production. Ces sols pourraient, sous les effets du forçage climatique présenté plus loin, servir pour la constitution de réserves fourragères exploitables durant les années de sécheresse.

#### *Impacts en termes de surplus du producteur*

Au vu des résultats des deux scénarios, on peut constater l'existence d'exploitations qui connaîtraient d'importantes baisses de revenus alors que d'autres verraient leurs revenus augmenter. L'analyse montre que la variation du surplus des producteurs, dans les deux scénarios, demeure négative. En d'autres termes, les pertes enregistrées par certaines exploitations ne peuvent pas être compensées par les gains des exploitations plus compétitives.

#### ***Le surplus social***

Le surplus social traduit l'agrégation des effets de l'ouverture économique sur les deux groupes d'agents économiques, consommateurs et producteurs. D'une manière plus précise, le surplus social correspond à la somme du surplus des producteurs et du surplus des consommateurs. Ce surplus accuse un accroissement de 0.78 % dans le cas du scénario 1, contre un accroissement de 11.51 % pour le scénario 2. Cette amélioration est due à l'augmentation du surplus des consommateurs qui disposeront de biens moins chers. Autrement dit, l'ouverture de l'économie tunisienne devrait s'accompagner d'une amélioration du bien-être global. En revanche, elle posera vraisemblablement des problèmes de répartition de ce surplus entre les agents.

#### **Gain de productivité pour atteindre les objectifs du planificateur**

La compensation des baisses enregistrées au niveau du PIB agricole pour atteindre les objectifs posés par le planificateur à l'horizon de 2016 demande un effort d'amélioration de la productivité des facteurs de production. Cette amélioration doit se manifester par une amélioration des rendements actuels notamment durant la période 2017-2030.

Hormis le cas des cultures céréalières, l'augmentation des rendements assurant la compatibilité des exigences de la libéralisation des échanges et les objectifs de croissance paraissent réalisables.

Dans ces conditions, l'adoption de la politique d'ouverture économique permettrait de réaliser les taux de croissance visés. Elle pose, toutefois, des problèmes sociaux consécutifs à la non-durabilité économique des exploitations les moins performantes. Le potentiel édaphique occupé par ces dernières servirait à produire la biomasse dont l'existence est justifiable selon une logique écologique (protection des sols face à leur dégradation, captage du CO<sub>2</sub>) ou/et économique (production de réserves fourragères et de bio-énergie).

## **7.5.4 Projection du secteur sous forçage climatique**

### **Contenu du forçage climatique considéré**

Les projections climatiques (King et al. 2006) donnent, avec les réserves d'usage, une tendance à l'horizon 2030 à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des années extrêmes sèches. Pour les années humides, le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations. Pour la température moyenne annuelle et saisonnière à l'horizon 2020, le modèle conclut à l'élévation générale des températures par rapport à la période référence (1961-1990).

Pour l'analyse de ces changements sur les agrosystèmes, on suppose qu'ils se traduisent par l'avènement d'événements climatiques extrêmes répétitifs (sécheresses et inondations). En ce qui concerne le réchauffement projeté, exprimé en termes de hausses des températures extrêmes, ces dernières sont supposées être en deçà des maximums végétatifs des cultures pratiquées. Par conséquent, les cultures observées seraient physiologiquement en mesure de supporter les hausses anticipées.

En revanche, l'augmentation des températures moyennes évaluée à environ +1 °C engendrerait, selon les études disponibles (Parry et al., 2004), une baisse des rendements des cultures variant entre zéro et 2.5%. Les variations de rendement ainsi évaluées sont supposées ici peu significatives dans la mesure où des modifications des cycles des cultures pratiquées permettraient de les réduire. Elles ne seront pas prises en compte dans l'élaboration de la stratégie d'adaptation du secteur agricole. Toutefois, l'effet indirect de l'élévation de la température aura un impact sur la santé de plantes et des animaux et leur résistance aux maladies. Cet aspect du réchauffement du climat nécessite des investigations plus poussées.

Les événements extrêmes retenus ici sont relatifs à une succession de sécheresse et d'années pluvieuses durant deux années, au Nord, et trois années sur le reste du pays. Une année est considérée comme sèche si la pluviométrie reçue est égale ou inférieure à 50 % de la moyenne calculée sur cinquante ans. Une année est en revanche considérée comme pluvieuse si les précipitations enregistrées sont au moins équivalentes à 1.5 fois la moyenne observée durant cinquante années.

Ces événements sont interprétés comme une accentuation de la variabilité climatique actuellement observée. Une telle interprétation permet de déduire, par majoration, les effets directs des calamités naturelles enregistrées de nos jours. C'est ainsi que les effets des sécheresses prennent comme point de départ les pertes, durant les mauvaises années, de production des cultures céréalières et de capital productif de l'arboriculture pluviale et du cheptel vif, notamment dans les régions du Centre et du Sud. Les zones historiquement inondables en cas de bonnes années permettent d'approcher les effets directs des augmentations anticipées des précipitations.

### **Effets directs du forçage climatique**

#### ***Cas de sécheresse***

Suite à une sécheresse, les cultures pluviales sont les plus affectées, les ressources en eau mobilisées n'étant plus supposées couvrir les besoins des cultures irriguées (Lahache, 2006). Les spéculations concernent la céréaliculture en pluvial, l'arboriculture non irriguée et l'élevage. Les hypothèses retenues pour l'estimation de ces effets sont les suivantes :

- Les superficies des cultures céréalières connaîtront une baisse d'environ 200'000 ha, réparties selon les régions au prorata de leur importance relative actuelle. Ces baisses concernent essentiellement les régions du Centre et du Sud.
- La superficie de l'arboriculture baissera à concurrence de 800'000 ha environ. Cette baisse est répartie selon les espèces fruitières menées en sec en fonction de leur importance relative à l'échelle nationale, notamment dans les régions du Centre et du Sud.
- L'effectif du cheptel (bovins, ovins et caprins) baissera d'environ 80 % dans le Centre et le Sud, contre 20 % dans le Nord.

### ***Cas d'années à pluviométrie favorable***

Suite à des années à pluviométrie favorable, on suppose que les zones basses connaissent une situation d'hydromorphie (Marjas du début du siècle dernier) rendant la pratique des cultures maraîchères difficile, notamment en hiver. Les superficies de ces cultures baisseraient d'environ 50'000 ha. Celles des cultures pluviales (céréales et arboriculture) bénéficieraient d'une augmentation des rendements à concurrence de 20 %. L'élevage bénéficierait également d'une hausse de son rendement à concurrence de 10 %.

### **Evaluation des impacts du forçage climatique**

#### ***Cas de sécheresse***

La projection des effets quantitatifs de la sécheresse (succession d'années sèches) sur le secteur agricole est élaborée pour les horizons temporels 2016 et 2030. L'avènement de ces événements extrêmes est considéré pour les deux scénarios d'ouverture. Les variables projetées sont l'occupation des sols, les productions agricoles et le PIB agricole.

#### ***Occupation du sol par les cultures***

En cas d'ouverture lente, les superficies des céréales passeraient de 1'229'000 ha à environ 1'027'000 ha, soit une baisse de 16 %, en 2016. Ces superficies passeraient de 1'021'000 ha à 854'000 ha en 2030, soit une baisse de 20 %. Les superficies d'oléiculture, par exemple, évolueraient de 1'568'000 ha à 941'000 ha, suite aux mêmes événements, en 2016, soit une baisse de 40 % environ.

En cas d'ouverture rapide, les superficies céréalières et arboricoles diminueraient au même rythme qu'en cas d'ouverture lente.

#### ***Niveaux des productions***

Pour le scénario anticipant une ouverture économique lente, les productions des céréales en sec passeraient de 2'009'450 tonnes à 1'169'450 mille tonnes en 2016, soit une baisse de 42 %. En 2030, ces productions évolueraient de 1'971'720 à 1'095'610 tonnes, soit une baisse de 44%.

La production oléicole passerait de 815'920 tonnes à 391'640 tonnes en 2016 et de 856'710 tonnes à 411'220 tonnes en 2030, soit une baisse de 52 %. La production de viande (en vif) accuserait finalement une baisse de 33 à 66 %, en fonction de l'espèce animale.

En scénario d'ouverture rapide, l'effet de la sécheresse s'accompagnerait d'une baisse de la production des céréales, en pluvial, à concurrence de 42 % en 2016 et de 44 % en 2030.

La production oléicole en sec accuserait une baisse de 52 % pour les deux horizons. La production animale diminuerait de 34 % en 2016, contre une baisse de 36 à 49 %, respectivement, pour les espèces ovines et caprines.

#### ***PIB agricole***

Dans le cas anticipant une ouverture lente, le PIB agricole passerait de 3'191 millions de dinars à 2'512 millions de dinars en 2016 et de 3'294 millions de dinars à 2'547 millions de dinars en 2030.

Dans le second scénario, le PIB agricole diminuerait de 3'213 millions de dinars à 2'564 millions de dinars en 2016 (-21%) et de 3'161 millions de dinars à 2567 en 2030 (-22.5%).

### **Cas d'années à pluviométrie favorable**

#### ***Occupation du sol par les cultures***

En cas d'ouverture lente et suite à des années favorables, les superficies des céréales diminueraient de 1'229'000 ha à 1'223'000 ha, soit une baisse de 0.44 % en 2016. Ces superficies passeraient de 1'005'000 ha à 1'000'000 ha en 2030, soit une baisse de 0.38 %.

Les superficies arboricoles garderaient les mêmes superficies alors que les superficies des cultures maraîchères en irrigué accuseraient une baisse de 13 %.

En cas d'ouverture économique rapide, les superficies céréalières et arboricoles diminueraient presque au même rythme que dans le cas d'une ouverture lente.

#### ***Niveaux des productions***

Pour les deux scénarios d'ouverture, une inondation s'accompagnerait d'une baisse de la production des céréales, en irrigué, à concurrence de 13 %, en 2016 et en 2030, contre une augmentation de 20 %, en sec. Celle de l'oléiculture en sec augmenterait de 20 %, contre 10 % pour la production animale.

#### ***PIB agricole***

En scénario d'ouverture économique lente, le PIB agricole passerait de 3'186 millions de dinars à 3'370 millions en 2016 et de 3'295 millions de dinars à 3'481 millions en 2030, soit une augmentation de 3.3 % et de 6.6 %.

Selon le scénario d'ouverture économique rapide, le PIB agricole passerait de 3'213 millions de dinars à 3'390 millions en 2016 et de 3'305 millions à 3'487 en 2030, soit un accroissement respectif de 3 % et de 7.4 %.

## **7.5.5 Conclusion**

En guise de conclusion, on peut retenir comme résultats de cette simulation des conséquences de l'ouverture, sans changements climatiques extrêmes que, hormis les cultures céréalières, les accroissements des rendements assurant la compatibilité des exigences de la libéralisation des échanges et les objectifs de croissance sont faisables. L'adoption de la politique d'ouverture économique permettrait donc de réaliser les taux de croissance visés.

L'ouverture de l'économie tunisienne s'accompagnera d'une amélioration du bien-être global (accroissement de 0.78% dans le cas du scénario 1 contre un accroissement de 11.51% pour le scénario 2). En revanche, elle pose des problèmes de répartition inter et intra groupes d'agents (producteurs et consommateurs). Elle s'accompagne d'une non-durabilité économique des exploitations les moins compétitives. Il en découlera un problème social d'emploi de la main d'œuvre agricole.

Avec les changements climatiques, les résultats des projections de l'ouverture économique montrent qu'en cas de sécheresses et quel que soit le scénario d'ouverture, les baisses des productions pluviales n'autoriseront pas la réalisation des taux de croissance envisagés par le planificateur. Des stratégies d'adaptation sont donc nécessaires pour atteindre ces objectifs.

En revanche, des conditions climatiques favorables devraient se traduire par des augmentations du PIB allant, en cas d'ouverture lente, de 3.3% et de 6.6% selon les horizons à, en cas d'ouverture rapide, 3% et à 7.4% suivant les deux horizons.

## **Références**

- BACHTA, M.S., A. BEN MIMOUN (2004). Libéralisation des échanges agricoles et dégradation des sols en Tunisie. Options méditerranéennes, série A. *Séminaires méditerranéens* 52.
- KING, L., H. ALMOHAMAD, Z. NASR (2006). Projections du climat en Tunisie aux horizons 2030 et 2050. *Document de travail de la Stratégie tunisienne d'adaptation aux changements climatiques*. Tunis.
- LAHACHE GAFREJ, R. (2006) Les ressources en eau sous l'influence des changements climatiques. *Document de travail de la Stratégie tunisienne d'adaptation aux changements climatiques*. Tunis.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (2006). *Cinquantième anniversaire de l'indépendance – les réalisations du secteur agricole et de la pêche*. Tunis.
- MARH – MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (2006). Le XI<sup>e</sup> Plan de développement. *Rapport de la commission du développement agricole, de la pêche et des ressources hydrauliques*. Tunis.
- NEFF, C., A. ALOUI, A. EL HAMROUNI, A. SOUISSI, A. GROBMANN (2006). Les écosystèmes sous l'influence des changements climatiques. *Document de travail de la Stratégie tunisienne d'adaptation aux changements climatiques*. Tunis.
- ONAGRI – OBSERVATOIRE NATIONAL DE L'AGRICULTURE (diverses années). [www.onagri.nat.tn](http://www.onagri.nat.tn) (en ligne).
- PARRY, M.L., C. ROSENZWEIG, A.I. GLESIAS, M. LIVERMORE, G. FICHER (2004). *Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios*. Elsevier.
- REPUBLIQUE TUNISIENNE (2006). *Note d'orientation du XI<sup>e</sup> Plan de développement* (document en langue arabe). Mars.



Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn/Germany

T +49619679-0  
F +49 61 96 79-11 15  
E [info@giz.de](mailto:info@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de)