

**Guide méthodologique**  
**Approche spatiale multifactorielle**  
**d'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes**  
**face au changement climatique**  
*Cas de la subéraie en Tunisie*



avec l'appui de la



MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT  
ET DE L'ENVIRONNEMENT



**Guide méthodologique**  
**Approche spatiale multifactorielle**  
**d'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes**  
**face au changement climatique**  
*Cas de la subéraie en Tunisie*

# CONTENU

<b>CONTENU</b>	<b>ii</b>
LISTE DES ACRONYMES	iii
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX	iii
<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>ETAPES DE L'APPROCHE</b>	<b>3</b>
<b>L'APPROCHE 'ASM'</b>	<b>4</b>
<b>DESCRIPTION DES ÉTAPES</b>	<b>5</b>
DÉTERMINATION DES VULNÉRABILITÉS VECTORIELLES	6
DÉTERMINATION DES VULNÉRABILITÉS SYNTHÉTIQUES	12
DÉTERMINATION DE LA VULNÉRABILITÉ À L'HORIZON 2020	14
DÉTERMINATION DE LA VULNÉRABILITÉ À L'HORIZON 2050	16
PROCÉDURE DÉTAILLÉ : MESURE DE LA VULNÉRABILITÉ FACTORIELLE DES PENTES	18
VULNÉRABILITÉ DES SÉRIES FORESTIÈRES AUX FACTEURS BIOPHYSIQUES - FACTEURS INCHANGÉS	20
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>21</b>
REPRODUCTIBILITÉ DE L'APPROCHE	22
PRÉ-REQUIS	22
LIMITES DE L'APPROCHE	22
<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>23</b>

# ACRONYMES

ASM	Approche Spatiale Multifactorielle
BIK-F	Centre de Recherche sur la biodiversité et le Climat - Frankfort
CC	Changement Climatique
CCC/GIZ	Projet Appui à la mise en oeuvre de la CCNUCC en Tunisie
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CRDA	Commissariat Régional au Développement Agricole
ETP	Evapotranspiration Potentielle
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GmbH
INRGREF	Institut National de Recherche en Génie Rural, Eau et Forêts
INS	Institut National des Statistiques
ISP-Tabarka	Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka
MA	Ministère de l'Agriculture
MAE	Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement
MNA	Modèle Numérique des Altitudes
OEP	Office de l'Élevage et des Pâturages
PIK	Potsdam Institute for Climate Impact Research
UF	Unité Fourragère
UPB	Unité de Production de Bétail
RU	Réserve Utile
SIG	Systèmes d'Informations Géographiques

# FIGURES

- Figure 1** Schéma conceptuel de l'ASM  
**Figure 2** Schéma simplifié de l'ASM de l'analyse de vulnérabilité de l'écosystème 'Subéraise'

# TABLEAUX

- Tableau 1** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité aux facteurs biophysiques et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration
- Tableau 2** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité au déficit hydrique et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration
- Tableau 3** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité au vieillissement et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration
- Tableau 4** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité à la pression anthropique et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration
- Tableau 5** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité aux incendies et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration
- Tableau 6** Procédés de combinaison des cinq facteurs et vulnérabilité synthétique en 2000
- Tableau 7** Procédés de combinaison des cinq facteurs et vulnérabilité synthétique en 2020
- Tableau 8** Procédés de combinaison des cinq facteurs et vulnérabilité synthétique en 2050



# AVANT PROPOS



Le changement climatique provoquera des modifications des écosystèmes, et aura des conséquences sur la survie des espèces animales et végétales de la planète (GIEC, 2007). Les espèces animales et végétales se sont adaptées à leur climat local ; certaines espèces peuvent supporter des petites variations de température, mais encaisser un changement climatique global, brutal et durable est beaucoup plus improbable. Si l'habitat favorable au bon développement d'une espèce évolue doucement, l'espèce aura la faculté de s'adapter. En revanche, le déplacement trop brusque d'une «aire favorable» à une espèce ne lui laisse pas le temps de migrer et de se reproduire. Un changement climatique déstabilise forcément l'équilibre d'un écosystème.

Pour comprendre comment ces écosystèmes vont subir ces impacts, il faudra dans une toute première

étape évaluer leur vulnérabilité face au changement climatique ainsi que tous les autres facteurs de dégradation.

Ce guide est l'un des produits élaborés suite aux trois études de vulnérabilité des 3 écosystèmes face au changement climatique entrepris par le projet CCC/GIZ en partenariat avec les acteurs concernés ; à savoir :

- L'écosystème subéraie dans le Nord du pays, en coordination avec la Direction Générale des Forêts, l'ISP Tabarka, l'INRGREF, les CRDAs de Jendouba, Béja et Bizerte ;
- L'écosystème Alfa dans la Tunisie centrale, en coordination avec la Direction Générale des Forêts et le CRDA de Kasserine ;
- Les écosystèmes pastoraux dans le Sud de la Tunisie, en coordination avec le CDRA de Médenine et l'IRA.

Le guide décrit les étapes de la méthodologie d'analyse de vulnérabilité des écosystèmes face au changement climatique appelée 'Approche Spatiale Multifactorielle (ASM)' développée et appliquée dans le cas de l'écosystème subéraie. Il est destiné aux acteurs de la recherche, de l'enseignement, aux experts/consultants et aux cadres techniques de l'administration.

Par ailleurs, le guide mentionnera les prérequis ainsi que les limites de la l'approche, en ce qui concerne sa reproductibilité, notamment en termes de disponibilité et de format des données nécessaires pour des analyses fiables.

En conclusion, nous souhaiterions remercier vivement les différentes institutions, experts et consultants qui ont contribué à l'élaboration des trois études tout en espérant que ce guide servira à reproduire des analyses de vulnérabilité face au CC pour d'autres écosystèmes.

**Anselm Duchrow**  
 Chef de Mission  
 Projet CCC/GIZ



# INTRODUCTION

Les méthodes d'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes sont diverses. La plupart des approches scientifiques se concentrent davantage sur la modélisation informatique comme par exemple la modélisation de la distribution des espèces. D'autres méthodes sont basées sur le calcul d'indices, qui sont souvent problématiques en raison de la difficulté d'interprétation des résultats. Les méthodes connues pour évaluer la vulnérabilité sociale sont souvent basées sur des approches participatives. Jusqu'à présent, la plupart des évaluations sont effectuées sur une base sectorielle. Comme les facteurs socio-économiques et écologiques sont étroitement liés, des approches globales intégrant les deux dimensions sont nécessaires.

En Tunisie, la GIZ a développé deux méthodes différentes pour analyser la vulnérabilité des écosystèmes dans le cadre du projet d'appui à la mise en oeuvre de la CCNUCC. La première approche a été développée en collaboration avec le Centre de Recherche sur la Biodiversité et le Changement Climatique à Francfort (BIK-F) et a été testée en Tunisie en collaboration avec les partenaires nationaux. C'est une approche scientifique de modélisation des niches écologiques utilisant le logiciel **MAXENT**<sup>1</sup> et les données bioclimatiques fournies par le site **Worldclim**<sup>2</sup>. Cette analyse s'est intéressée à l'ensemble du territoire national et a concerné cinq écosystèmes naturels dont les trois précédemment mentionnés plus l'*Acacia raddiana* et les forêts de Pin d'Alep.

La deuxième méthodologie, objet de ce guide, est une analyse approfondie effectuée à l'échelle régionale

pour analyser les écosystèmes prioritaires par le développement basé sur l'analyse nationale (**MAXENT**).

Méthodologiquement, cette analyse demande une équipe interdisciplinaire et se base sur une multitude de données existantes.

Ces approches ont au moins deux caractéristiques fondamentales :

1. Ce sont des approches multifactorielles qui ont veillé à considérer la complexité des écosystèmes naturels à analyser et la diversité des facteurs qui interviennent dans leur caractérisation et influencent leur existence,
2. La dimension spatiale a occupé une place capitale dans ces approches. L'apport des concepts et des techniques de SIG a été d'une grande utilité dans la hiérarchisation et la régionalisation des niveaux de vulnérabilité et de fait dans le choix des mesures d'adaptation nécessaires à chaque zone.

Indépendamment des aspects communs aux deux approches, quelques diversités demeurent. Elles sont relatives : aux facteurs explicatifs retenus selon l'écosystème considéré, aux seuils appliqués à chaque variable et aux modes de leur intégration.

A la lumière des résultats obtenus dans chacun des cas étudiés et de l'avis des spécialistes et partenaires impliqués dans le suivi des études, l'approche la mieux appropriée pour l'analyse de la vulnérabilité des écosystèmes naturels est celle qui est communément nommée : l'approche spatiale multifactorielle. Elle a été mise au point et appliquée pour l'écosystème subéraie.

1. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/lzhang10/maxent.html>  
2. [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)

# ÉTAPES DE L'APPROCHE

L'approche **ASM** se compose de cinq étapes principales (Figure n°1) :

1. Choix des facteurs qui expliquent la vulnérabilité d'un écosystème naturel. Cas de la Subéraie.
2. Regroupement thématique des variables.
3. Analyses de niveau 1 des données par : seuillages, pondérations et intégration pour mesurer la vulnérabilité factorielle.
4. Analyses de niveau 2 des données par : seuillages, pondérations et intégration pour mesurer la vulnérabilité synthétique.
5. Application des projections aux horizons 2020 et 2050 selon les scénarios climatiques choisis (HADCM3/A2-B2).

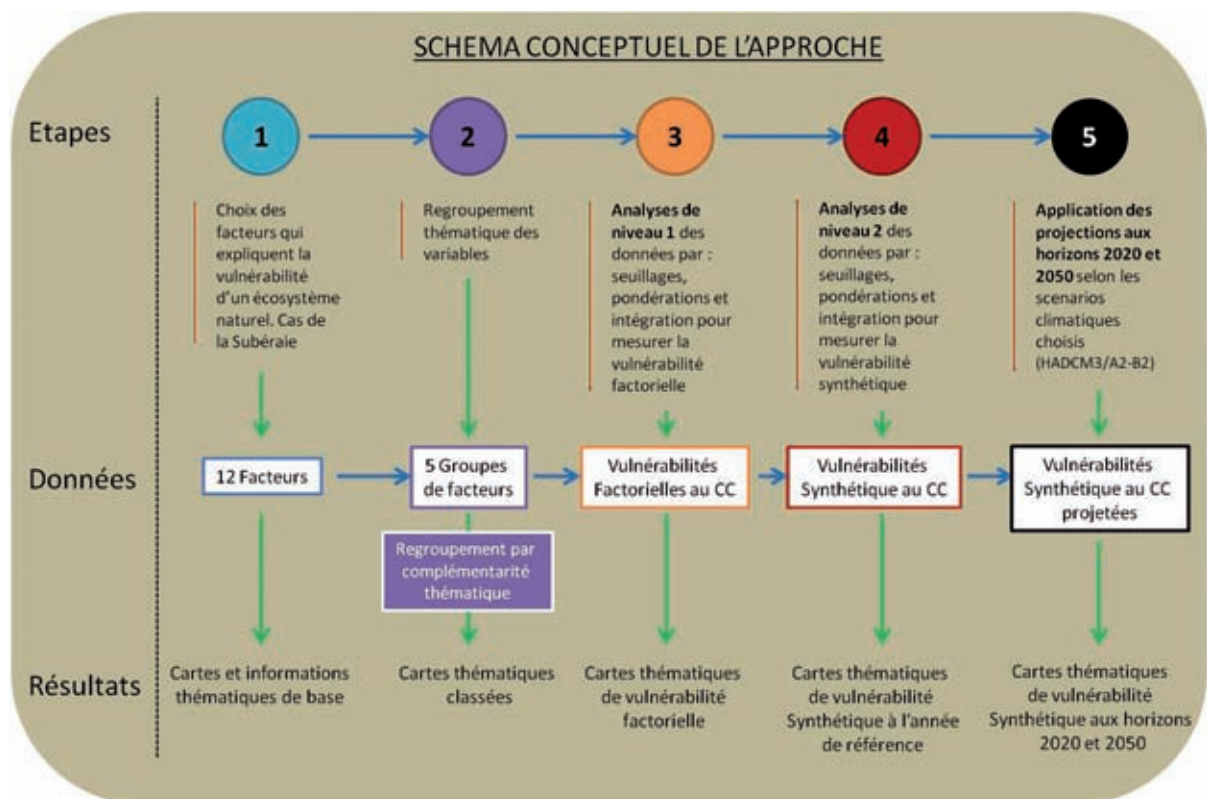


Figure1 Schéma conceptuel de l'ASM



# L'APPROCHE 'ASM'

A propos de la méthode employée, les étapes 3 et 4 qui sont au cœur de la méthode mise au point sont déclinées, chacune, en trois phases :

(i) seuillage thématique des facteurs explicatifs retenus, (ii) pondération et (iii) intégration des cartes.

Le schéma conceptuel suivant décrit chacune de ces phases et indique leur place dans le cheminement méthodologique adopté (Figure n°2).

Sur cette figure sont portées en colonnes les opérations techniques qui ont été réalisées à chacune des étapes de la démarche. Elles sont numérotées de 1 à 11. Les lignes, qui sont nommées de A à E, représentent les différentes composantes thématiques qui ont été considérées dans l'analyse de la vulnérabilité et les variables qui y sont intégrées.

## Éléments Clés à considérer

Deux éléments clés sont à préciser d'ores et déjà. (i) l'unité spatiale de référence est la série forestière. C'est l'unité que considère le forestier dans la gestion des forêts. C'est un choix qui a été motivé par un souci d'implication effective et efficace des forestiers qui devront participer à la proposition d'actions techniquement défendables, financièrement supportables et socialement acceptables mais aussi à la concrétisation sur le terrain des choix adoptés et ce par la mise en œuvre des actions retenues. (ii) Sur le plan technique, les valeurs des variables employées ont été ramenées à l'échelle de cette unité spatiale de référence selon la valeur la plus représentée dans la série.

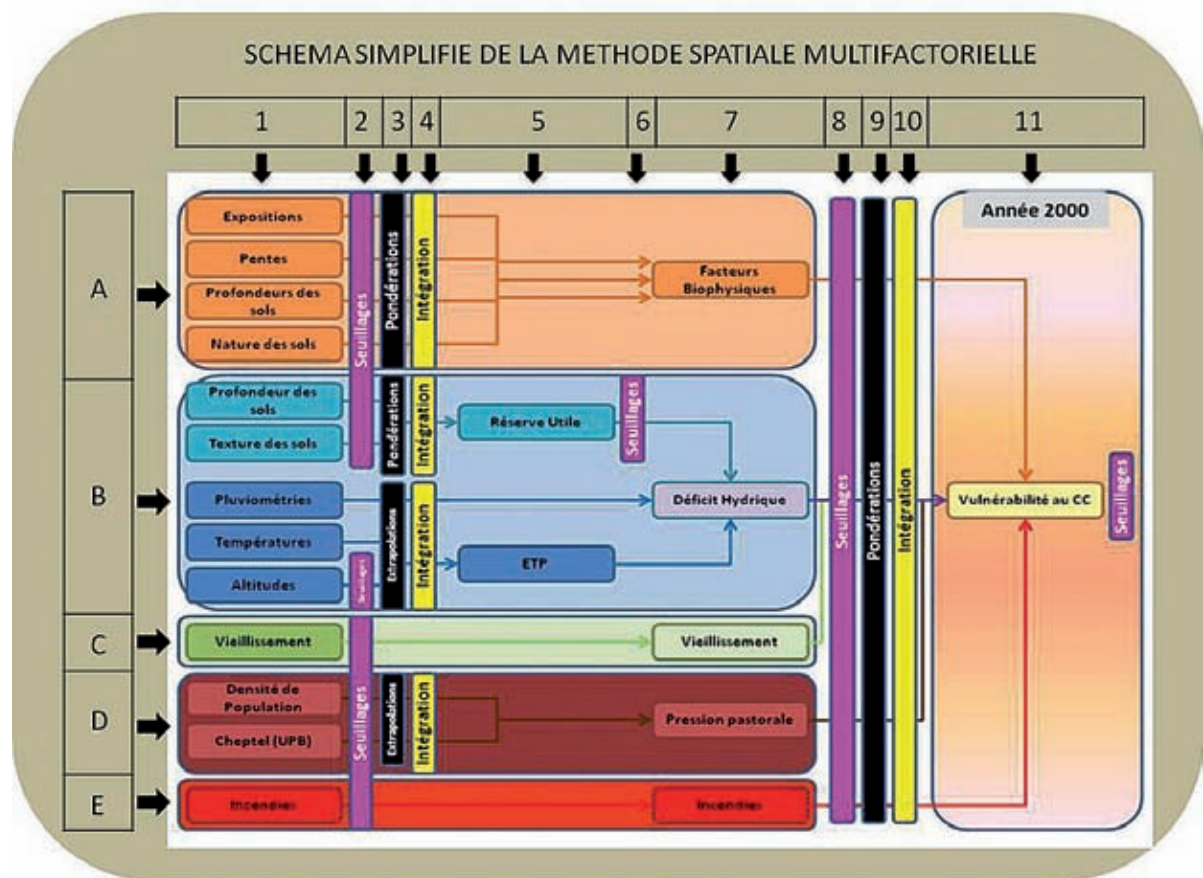


Figure 2 Schéma simplifié de l'ASM de l'analyse de la vulnérabilité de l'écosystème Subéraie

# DESCRIPTION DES ÉTAPES

# DÉTERMINATION DES VULNÉRABILITÉS

les étapes 1, 2 et 3 ont consisté à sélectionner parmi tous les facteurs biophysiques, socio-économiques, eau, santé des arbres, ... ceux qui expliquent au mieux la vulnérabilité de l'écosystème subarctique face au changement climatique. Ces facteurs explicatifs

sélectionnés ont été regroupés en cinq groupes : biophysiques, eau disponible, vieillissement, pression pastorale et protection des forêts en appliquant un seuillage selon les variantes disponibles et les exigences écologiques de l'espèce considérée.

**Tableau 1** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité aux facteurs biophysiques et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration

1		2		
Variables	Seuils 1	Signification thématique	Note	Arguments
Pentes	<10%	Favorable à la forêt	3	- Effet de la pente sur l'infiltration de l'eau dans les sols, - Effet de la pente sur la perte des sols par érosion
	10-25%	Moyennement favorable à la forêt	2	
	>25%	Défavorable à la forêt	1	
Expositions	Nord-Nord/Ouest	Favorable à la forêt	3	- Effet de l'exposition et de l'ensoleillement sur l'évapotranspiration - Effet de l'exposition sur la pluviométrie, l'ambiance de la station et la fraîcheur.
	Est-Nord/Est	Favorable à la forêt	3	
	Ouest-Sud/Ouest	Moyennement favorable à la forêt	2	
	Sud-Sud/Est	Défavorable à la forêt	1	
Profondeur des sols	>à 120 cm	Très favorable à la forêt	5	-Effet de la profondeur du sol sur la capacité de stockage de l'eau -Effet de la profondeur du sol sur l'activité racinaire des arbres
	90 à 120 cm	Favorable à la forêt	4	
	60 à 90 cm	Moyennement favorable à la forêt	3	
	30 à 60 cm	Peu favorable à la forêt	2	
	<à 30 cm	Défavorable à la forêt	1	
La nature des sols	Vertisols, sols brunifiés et sols peu évolués d'apport	Très favorable à la forêt	4	-Effet de la nature du sol sur la capacité de stockage de l'eau -Effet de la nature du sol sur l'activité racinaire des arbres
	Sols isohumiques, sols bruns calcaires	Favorable à la forêt	3	
	Rendzines	Moyennement favorable à la forêt	2	
		Peu favorable à la forêt	1	

# ITÉS FACTORIELLES

3	4	5	6	7	
Coefficients de Pondération	Arguments	Intégrations	Cartes intermédiaires	Seuils 2	Carte de synthèse niveau1
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les coefficients de pondération sont justifiés par le niveau de précision de l'information employée aux dépens de facteurs thématiques.</li> <li>- Les cartes de pente et d'exposition ont des facteurs de pondération élevés car elles sont générées de manière automatique à partir de données numériques fournies par les satellites d'observation de la terre (Modèle Numérique des Altitudes M.N.A),</li> <li>- La communauté des forestiers conviennent dans leur majorité que les cartes pédologiques sont nettement moins précises sur le domaine forestier que pour les terres à vocations agricoles.</li> </ul>	<p>Calcul et classement des séries forestières selon la note générale des facteurs biophysiques combinés. Les valeurs calculées sont comprises entre les extrêmes de 35 (soit <math>4*3+3*3+2*5+1*4</math>) qui comprend les séries forestières aux facteurs biophysiques favorables à très favorables au développement du chêne liège et son cortège et 10 (soit, <math>4*1+3*1+2*1+1*1</math>) qui regroupe les séries aux facteurs biophysiques défavorables à ce développement.</p>	<p>Carte des facteurs biophysiques intégrés</p>	Facteurs biophysiques favorables au développement de la subéraie	<p>CARTE DE VULNERABILITE AUX FACTEURS BIOPHYSIQUES</p>
4				Facteurs biophysiques moyennement favorables au développement de la subéraie	
2				Facteurs biophysiques peu favorables au développement de la subéraie	
1				Facteurs biophysiques défavorables au développement de la subéraie	

**Tableau 2** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité au déficit hydrique et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration

1		2		
Variables	Seuils 1	Signification thématique	Note	Arguments
<b>Profondeur des sols</b>	>à 120 cm	Très favorable à la forêt	5	- Effet de la profondeur du sol sur l'eau stockée - Effet de la profondeur du sol sur l'activité racinaire des arbres
	90 à 120 cm	Favorable à la forêt	4	
	60 à 90 cm	Moyennement favorable à la forêt	3	
	30 à 60 cm	Peu favorable à la forêt	2	
	<à 30 cm	Défavorable à la forêt	1	
<b>Texture des sols</b>	Fine	Favorable à la forêt	3	Effets sur l'infiltration et la rétention de l'eau
	Moyenne	Moyennement favorable à la forêt	2	
	Grossière	Défavorable à la forêt	1	
<b>B Pluviométrie (P) Période 1901 et 1961 jusqu'en 2003 et 2004 pour cinq 5 stations météos.</b>	Très faible baisse	Très favorable à la forêt	5	Relation pluviométrie et eau disponible pour le sol et la plante
	Faible baisse	Favorable à la forêt	4	
	Moyenne baisse	Moyennement favorable à la forêt	3	
	Forte baisse	Peu favorable à la forêt	2	
	Très forte baisse	Très peu favorable à la forêt	1	
<b>Température (T°) Mêmes données que pluviométrie</b>	Faible hausse des T° : <2°C en 1 siècle	Favorable à la forêt	3	Relation température et perte d'eau par évaporation et/ou transpiration
	Moyenne hausse des T° : 2°C ≥ ≥3°C en 1 siècle	Moyennement favorable à la forêt	2	
	Forte hausse des T° : >3°C en 1 siècle	Peu favorable à la forêt	1	
<b>Altitudes</b>	> à 600m	Très favorable à la forêt	4	Effet de l'altitude sur la pluviosité et la température. Il est admis que la température baisse de 0,4°C tous les 100m d'altitude.
	400 à 600m	Favorable à la forêt	3	
	200 à 399m	Moyennement favorable à la forêt	2	
	< à 200m	Peu favorable à la forêt	1	

3	4	5	6	7	
Interpolations	Arguments	Intégrations	Cartes intermédiaires	Seuils 2	Carte de synthèse niveau 1
R.U= 153 à 330	La combinaison de la texture et de la profondeur des sols détermine la Reserve Utile : outil capital pour calculer le bilan hydrique d'un sol.	Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay).	Reserve Utile  R.U : Texture*Profondeur Source : Carte agricole 2002.	Non vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie <105.	CARTE DES VULNERABILITE AU DEFICIT HYDRIQUE
R.U= 107 à 230					
R.U= 76 à 165					
R.U= 46 à 99					
R.U= 5 à 45					
Interpolation spatiale	Interpolation spatiale faite à partir de données disponibles de 1901 à 2003 pour la Kroumirie à partir de trois 3 stations : Tabarka, Ain Draham et El Feija. Pour les Mogods, les données employées sont celles de Sejnane et Tinja. Elles concernent la période 1963-2004.	Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay).	Evapotranspiration Potentielle E.T.P  Méthode de Ch. Riou (1960) (1) $ETP = 0,31 G_n - b$ . (2) Calcul pour le mois de rang n $n : G_n = (T_n + 2 * T_{n+1}) / 3$ (3) $b = 7,1 - 0,1 * Lat$ . (4) On ajoute 0,2 (0,1 à 0,3) à b si la station est relativement abritée du vent.	Peu vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie de 106 à 135.	CARTE DES VULNERABILITE AU DEFICIT HYDRIQUE
Principe de la précipitation efficace selon $FAO:PE=(0.8 P)-8$					
Interpolation spatiale					
Baisse de 0,4°C de température et augmentation de 20mm en pluviométrie tous les 100 m				Très vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie >166.	

**Tableau 3** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité au vieillissement et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration

1		2	
Variables	Seuils 1	Signification thématique	Arguments
C Vieillessement	Présence de 4 classes d'âge	Continuité assurée	- Effet de la pente sur l'infiltration de l'eau dans les sols, - Effet de la pente sur la perte des sols par érosion.
	Présence de 3 classes d'âge	Continuité moyennement assurée	
	Présence de 2 classes d'âge	Continuité faiblement assurée	
	Présence de 1 classe d'âge	Continuité peu assurée	

**Tableau 4** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité à la pression anthropique et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration

1		2	
Variables	Seuils 1	Signification thématique	Arguments
D Densité de population	<10 ménages/Km <sup>2</sup>	Pression humaine faible	Effet de la pression des hommes et de leur cheptel sur la subénaie et les ressources forestières et pastorales qu'elles procurent.
	11-15 ménages/Km <sup>2</sup>	Pression humaine assez forte	
	11-20 ménages/Km <sup>2</sup>	Pression humaine forte	
	21-43 ménages/Km <sup>2</sup>	Pression humaine très forte	
Cheptel (UPB)	Besoins du cheptel (B.C)/Production potentielle (P.P) en UF <1	Pression animale faible	Vulnérabilité déterminée par le rapport des besoins du cheptel exprimé en UPB/ production potentielle en UF d'une série calculé sur la base des résultats de l'Inventaire Forestier National de 2005.
	(B.C.)/ (P.P) en UF de 1à1,5	Pression animale assez forte	
	(B.C.)/ (P.P) en UF de 1,5à2	Pression animale forte	
	(B.C.)/ (P.P) en UF >2.	Pression animale très forte	

**Tableau 5** Variables employées pour mesurer la vulnérabilité aux incendies et procédés scientifiques, thématiques et techniques de leur intégration

1		2	
Variables	Seuils 1	Signification thématique	Arguments
E Incendies	Surface incendiée <10 ha/an	Forte protection contre les incendies	Exploitation de la base de données des incendies 1956-2003.
	Surface incendiée de 10 à 20 ha/an	Moyenne protection contre les incendies	
	Surface incendiée de 20 à 100 ha/an	Faible protection contre les incendies	
	Surface incendiée > 100 ha/an	Très faible protection contre les incendies	

3		4	5	6	7
C. Pondération	Arguments	Intégrations	Cartes intermédiaires	Seuils 2	Carte de synthèse niveau1
		Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay).	Carte des niveaux de vieillissement	Peu vulnérable au C.C Moyennement vulnérable au C.C Vulnérable au C.C Très vulnérable au C.C	CARTE DE VULNERABILITE AU VIEILLISSEMENT

3		4	5	6	7
C. Pondération	Arguments	Intégrations	Cartes intermédiaires	Seuils 2	Carte de synthèse niveau1
		Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay).	Carte de vulnérabilité à la pression pastorale	Non vulnérables au C.C Moyennement vulnérable au C.C Vulnérables au C.C Très vulnérables au C.C	CARTE DE VULNERABILITE A LA PRESSION ANTHROPIQUE

3		4	5	6	7
C. Pondération	Arguments	Intégrations	Cartes intermédiaires	Seuils 2	Carte de synthèse niveau1
			Carte de répartition spatiale des incendies	Peu vulnérable au C.C Moyennement vulnérable au C.C Vulnérable au C.C Très vulnérable au C.C	CARTE DE VULNERABILITE AUX INCENDIES



# DÉTERMINATION DES VULNÉRABILITÉS

Cette étape permet de faire la pondération des facteurs synthétiques et leur intégration. Les facteurs de pondération ont été attribués aux facteurs selon

leur influence sur la disponibilité de l'eau pour la plante.

**Tableau 6** Procédés de combinaison des cinq facteurs et vulnérabilité synthétique en 2000

7		8		9
Cartes de synthèse Niveau 1		Seuils 1	Note	C. Pondération
A + B + C + D + E	Carte de vulnérabilité aux facteurs biophysiques	Non vulnérables aux facteurs biophysiques	4	1
		Peu vulnérables aux facteurs biophysiques	3	
		Moyennement vulnérables aux facteurs biophysiques	2	
		Très vulnérables aux facteurs biophysiques	1	
	Carte de vulnérabilité au déficit hydrique	Non vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie <105.	4	5
		Peu vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie de 106 à 135	3	
		Moyennement vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie de 136 à 165.	2	
		Très vulnérables au Déficit Hydrique – Nbre de jours sans pluie >166.	1	
	Carte de vulnérabilité au vieillissement	Peu vulnérables au C.C	4	4
		Moyennement vulnérables au C.C	3	
		Vulnérables au C.C	2	
		Très vulnérables au C.C	1	
Carte de vulnérabilité à la pression pastorale	Non vulnérables au C.C	4	3	
	Moyennement vulnérables au C.C	3		
	Vulnérables au C.C	2		
	Très vulnérables au C.C	1		
Carte de vulnérabilité aux incendies	Peu vulnérables au C.C	4	2	
	Moyennement vulnérables au C.C	3		
	Très vulnérables au C.C	2		
		Extrêmement vulnérables au C.C	1	

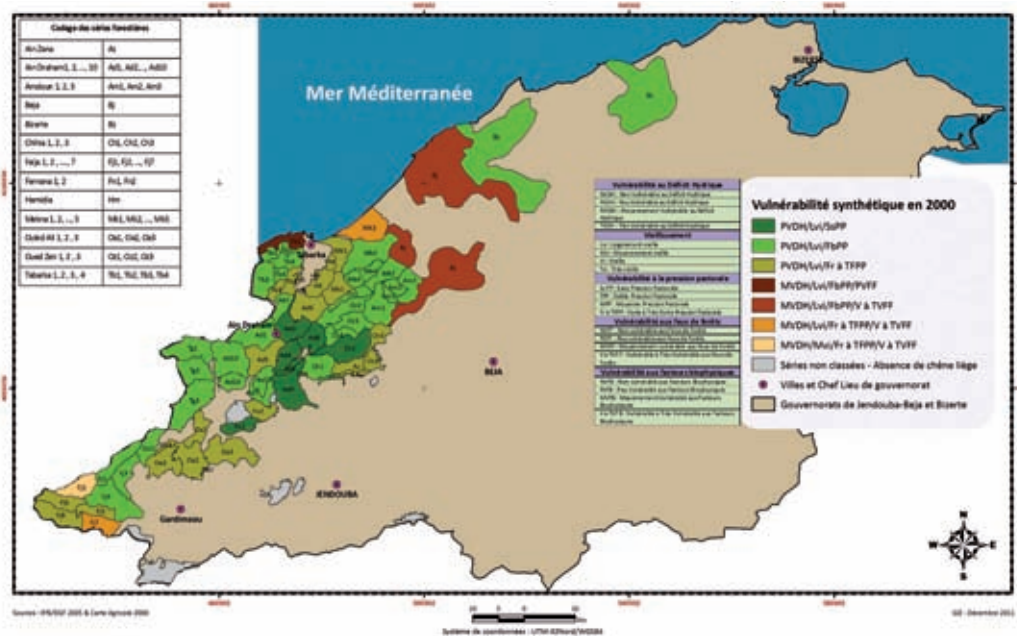
# ITÉS SYNTHÉTIQUES



## Vulnérabilité synthétique en 2000

CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2000

Carte des niveaux de vulnérabilité des séries forestières à chêne liège vis à vis de l'indicateur synthétique - Situation en 2000



Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay).

# DÉTERMINATION DE LA VULNÉRABILITÉ

La dernière étape a permis de projeter les vulnérabilités mesurées en 2000, aux horizons 2020 et 2050 en considérant les influences du changement climatique sur les pluviométries et les températures

dans le nord ouest de la Tunisie (soit la zone d'extension naturelle de l'espèce chêne liège). Nous avons utilisé le modèle HadCM3 et deux scénarios B2 considéré modéré et A2 plutôt sévère.

**Tableau 7** Procédés de combinaison des cinq facteurs et vulnérabilité synthétique en 2020

11		Projections				
Carte de synthèse Niveau 2	Modèle climatique, scénarios et échéances	Évolution des variables jusqu'en 2020				
A + B + C + D + E	CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2000	Carte de vulnérabilité aux facteurs biophysique	Variable inchangée			
		Carte de vulnérabilité au déficit hydrique	Scénario	T°C	P en %	
			A2	+0,9	-6	
				B2	+0,8	-4
		Carte de vulnérabilité au vieillissement	+20 ans			
Carte de vulnérabilité à la pression pastorale	Croissance de la population et du cheptel selon projections de l'I.N.S <sup>4</sup> et du M.A <sup>5</sup> . (O.E.P <sup>6</sup> )					
Carte de vulnérabilité aux incendies	Variable inchangée					

- Modèle climatique : HADCM3<sup>3</sup>
- Scénarios : A2 et B2
- Échéance : 2020

3. Modèle HADCM3. Consulter le document <http://www.giz.de/Themen/de/dokumente/fr-strategie-nationale-adaptation-changements-climatiques-tunisie.pdf>

4. I.N.S. : Institut National des Statistiques. <http://www.ins.nat.tn/>

5. M.A. : Ministère de l'Agriculture. <http://www.agriportail.tn/>

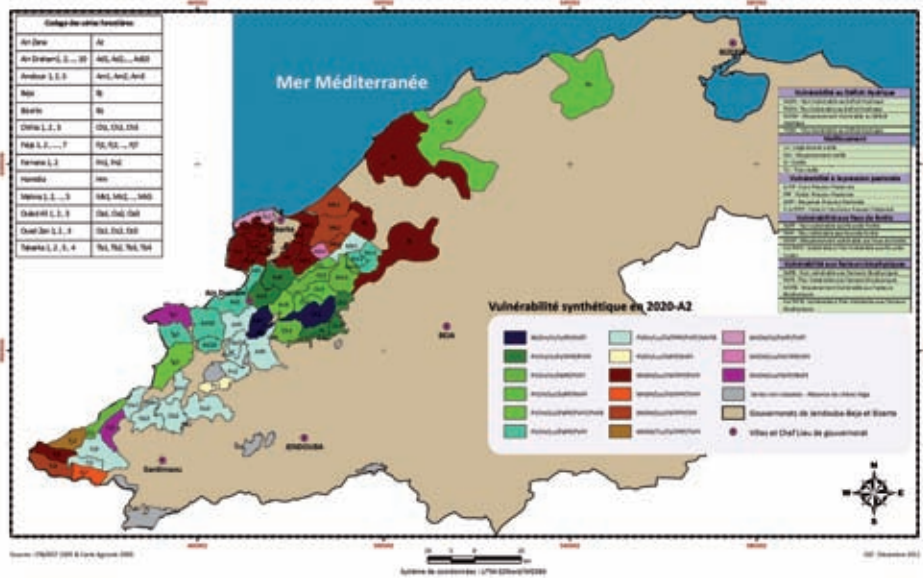
6. O.E.P. : Office de l'Élevage et des Pâturages. <http://www.oep.nat.tn/> Office relevant du Ministère de l'Agriculture.

# TÉ À L'HORIZON 2020

## Illustrations

Intégrations Carte de synthèse Niveau 2

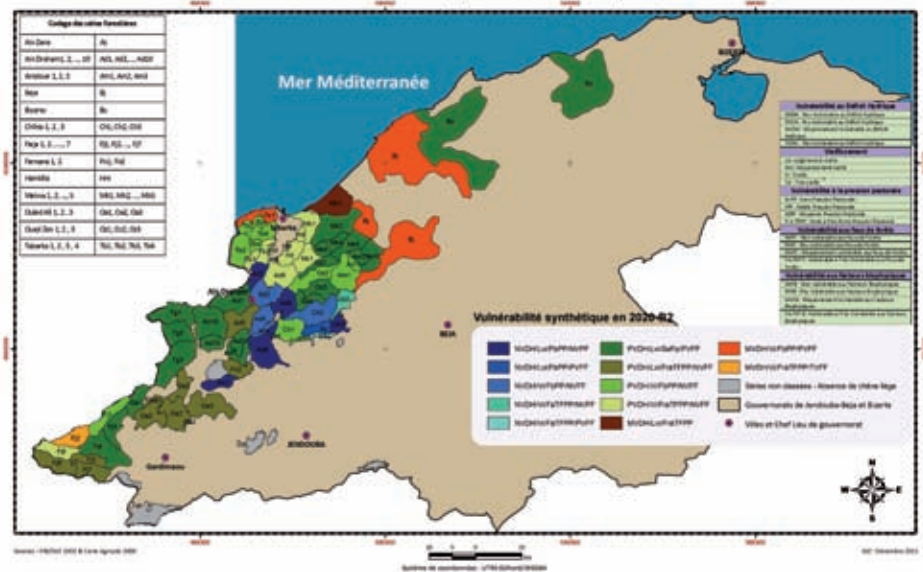
Carte des niveaux de vulnérabilité des séries forestières à chêne liège vis à vis de l'indicateur synthétique - Situation en 2020 - Scénario A2



CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2020 – A2  
 CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2020 – B2

Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay)

Carte des niveaux de vulnérabilité des séries forestières à chêne liège vis à vis de l'indicateur synthétique - Situation en 2020 - Scénario B2



# DÉTERMINATION DE LA VULNÉRABILITÉ

**Tableau 8** Procédés de combinaison des cinq facteurs et vulnérabilité synthétique en 2050

11		Projections			
Carte de synthèse Niveau 2	Modèle climatique, scénarios et échéances	Évolution des variables jusqu'en 2050			
		A + B + C + D + E  CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2000	Carte de vulnérabilité aux facteurs biophysique	Variable inchangée	
Carte de vulnérabilité au déficit hydrique	Scénario		T°C	P en %	
	A2		1,8	-11	
	B2		1,6	-8	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle climatique : HADCM3</li> <li>• Scénarios : A2 et B2</li> <li>• Échéance : 2050</li> </ul>	Carte de vulnérabilité au vieillissement		+50 ans		
	Carte de vulnérabilité à la pression pastorale		Croissance de la population et du cheptel selon projections de l'I.N.S. et du M.A. (O.E.P)		
Carte de vulnérabilité aux incendies	Variable inchangée				

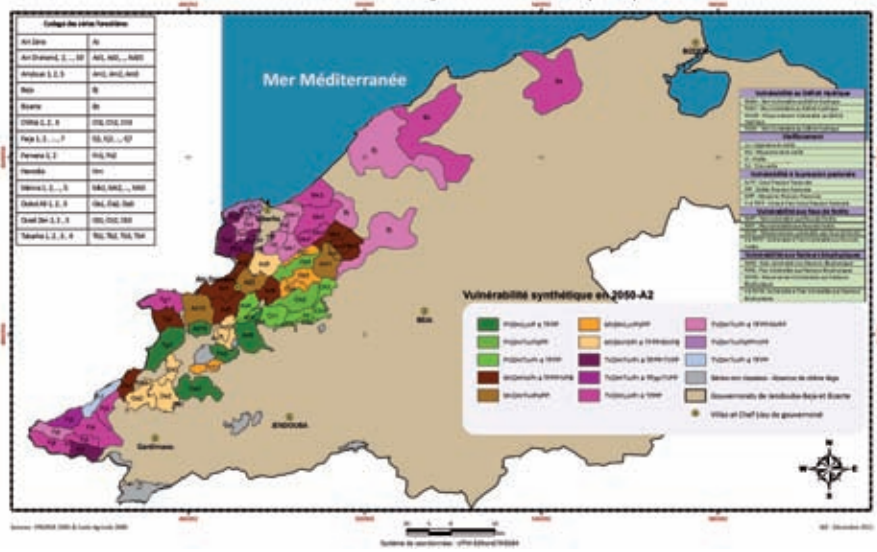
# ÉTÉ À L'HORIZON 2050

## Illustrations

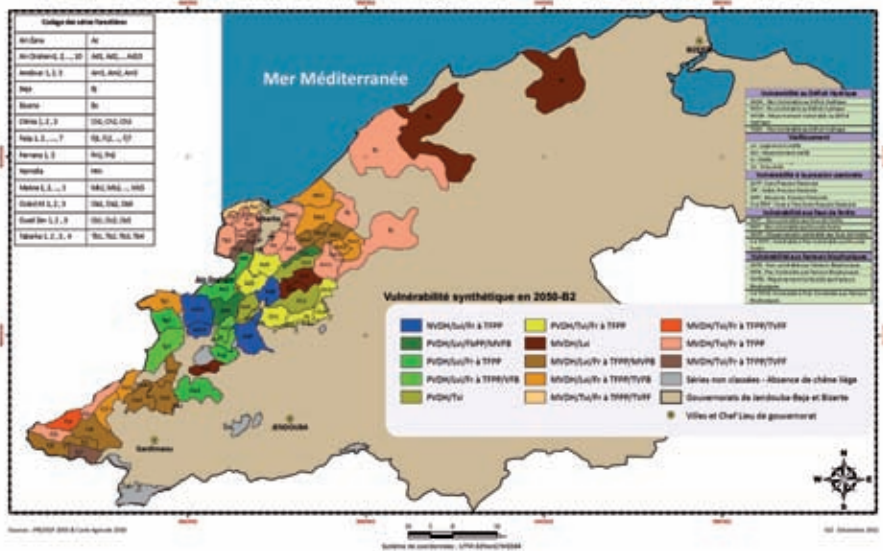
Intégrations

Carte de synthèse Niveau 2

Carte des niveaux de vulnérabilité des séries forestières à chêne liège vis à vis de l'indicateur synthétique - Situation en 2050 - Scénario A2



Carte des niveaux de vulnérabilité des séries forestières à chêne liège vis à vis de l'indicateur synthétique - Situation en 2050 - Scénario B2



CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2050 - A2  
 CARTE DE VULNÉRABILITÉ SYNTHÉTIQUE – Situation en 2050 - B2

Intégration spatiale par croisement de l'information (Overlay)

# PROCÉDURE DÉTAILLÉE

## MESURE DE LA VULNÉRABILITÉ FACTORIELLE DES PENTES

La variable

Pentes

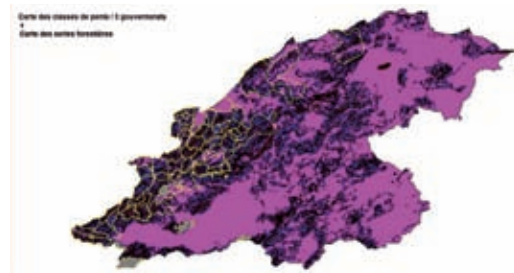
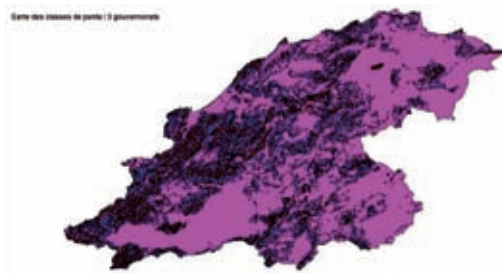
Rappel des seuils retenus et signification thématique

Classes de pente en %	Signification thématique
<10%	Favorable à la forêt
10-25%	Moyennement favorable à la forêt
>25%	Défavorable à la forêt

Le procédé technique de réalisation de l'étape

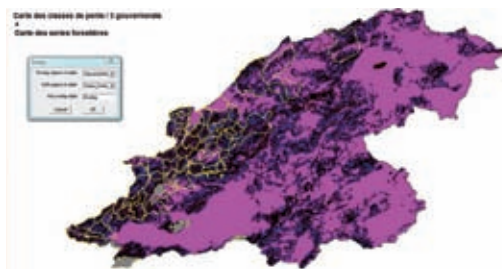
Carte des pentes des 3 gouvernorats

Superposition carte des pentes et séries



Croisement cartes des pentes et séries

Extraction des classes de pente des séries



Attribution pour la série de la classe de pente dominante : la plus représentée

Tableau des attributs



ID	NOM	CLASSE DE PENTE
1		
2	Makina III	Pente inférieure à 25%
3	Tabarka I	Pente supérieure à 25%
4	Makina II	Pentes comprises entre 10 et 25%
5	Makina I	Pentes comprises entre 10 et 25%
6	Tabarka II	Pentes comprises entre 10 et 25%
7	Tabarka IV	Pentes comprises entre 10 et 25%
8	Tabarka IV	Pentes comprises entre 10 et 25%
9	Hamdia	Pente supérieure à 25%
10	Makina V	Pentes comprises entre 10 et 25%
11	Makina IV	Pentes comprises entre 10 et 25%
12	Tabarka II	Pentes comprises entre 10 et 25%
13	Tabarka IV	Pentes comprises entre 10 et 25%
14	Tabarka III	Pentes comprises entre 10 et 25%
15	Hamdia	Pente supérieure à 25%
16	Amdoun II	Pentes comprises entre 10 et 25%
17	Makina IV	Pentes comprises entre 10 et 25%
18	Makina I	Pentes comprises entre 10 et 25%
19	Hamdia	Pente supérieure à 25%
20	Hamdia	Pente supérieure à 25%
21	Amdoun II	Pente supérieure à 25%
22	Tabarka III	Pentes comprises entre 10 et 25%
23	Amdoun I	Pentes comprises entre 10 et 25%
24	Amdoun I	Pentes comprises entre 10 et 25%
25	Qued Zana I	Pente supérieure à 25%
26	Hamdia	Pente supérieure à 25%
27	Hamdia	Pente supérieure à 25%
28	An Drahem III	Pente supérieure à 25%
29	Qued Zana II	Pentes comprises entre 10 et 25%
30	An Drahem II	Pentes comprises entre 10 et 25%
31	An Drahem III	Pente supérieure à 25%
32	Qued Zana III	Pente inférieure à 25%
33	An Drahem I	Pente supérieure à 25%

Le résultat : carte des pentes exprimée en vulnérabilité factorielle

Carte des classes de pente ramenée à l'échelle des séries



Le procédé technique de réalisation de la pondération – Cas de la variable pentes.

Application des facteurs de pondération

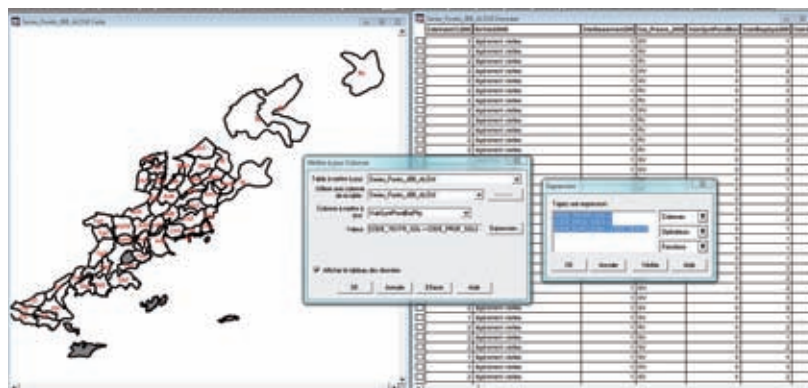
Résultats de la pondération



SERIE	CLASSE DE PENTE	CODE CLASSE DE PENTE	VARIABLE PENTE PONDEREE
1	Ain Draham III	Pentes inférieure à 20%	3
2	Chilha II	Pentes inférieure à 20%	3
3	Famansa II	Pentes inférieure à 20%	3
4	Makina III	Pentes inférieure à 20%	3
5	Qued Zene III	Pentes inférieure à 20%	3
6	Qued Zene IV	Pentes inférieure à 20%	3
7	Serie unique biarte	Pentes inférieure à 20%	3
8	Tagna I	Pentes inférieure à 20%	3
9	Ain Draham II	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
10	Ain Draham IV	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
11	Ain Draham V	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
12	Ain Draham VI	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
13	Ain Draham VII	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
14	Ain Draham VIII	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
15	Ain Draham IX	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
16	Ain Draham X	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
17	Andoum I	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
18	Andoum II	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
19	Chilha III	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
20	Fajla II	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
21	Fajla III	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
22	Fajla IV	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
23	Makina I	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
24	Makina II	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
25	Makina III	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
26	Makina IV	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
27	Makina V	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
28	Qued Zene I	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
29	Serie Unique Fajla	Pentes comprises entre 20 et 25%	3
30	Serie Unique Beja	Pentes comprises entre 20 et 25%	3

Intégration des variables et mesure de la vulnérabilité biophysique

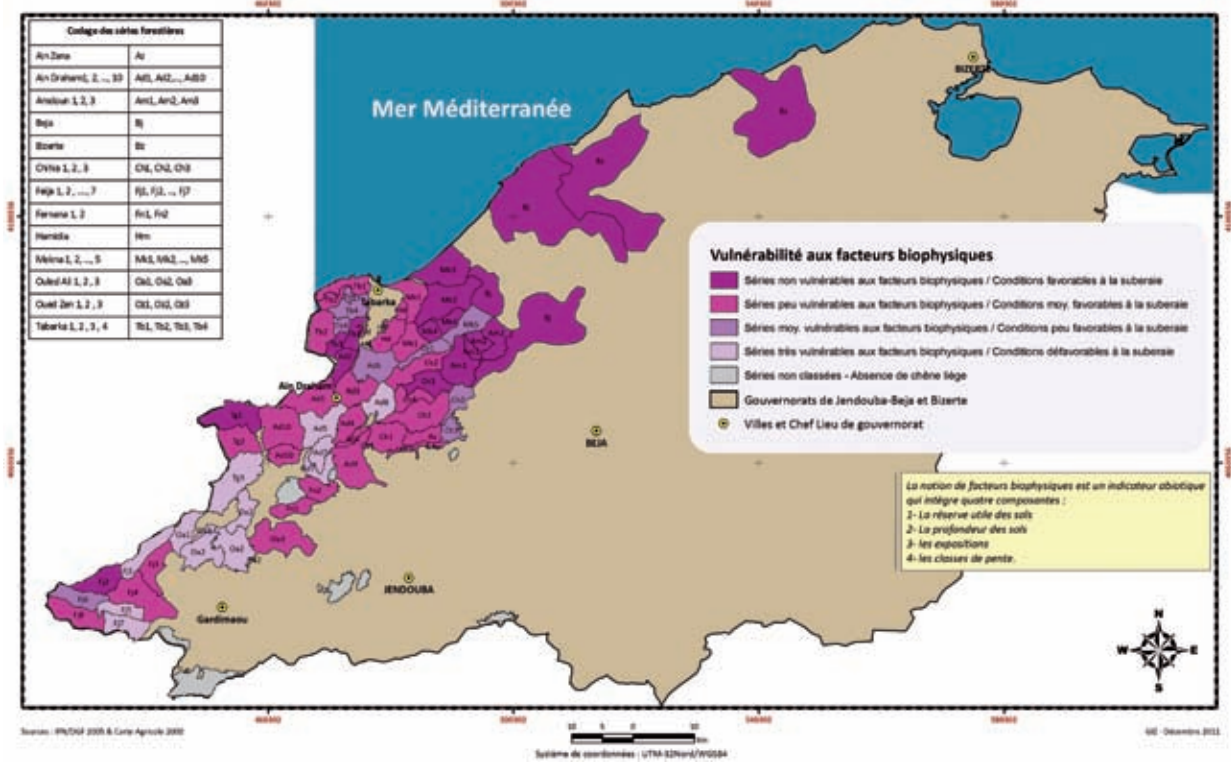
Pondération combinée des facteurs biophysiques et Valeur biophysique synthétique





# VULNÉRABILITÉ DES SÉRIES FORESTIÈRES AUX FACTEURS BIOPHYSIQUES - FACTEURS INCHANGÉS

Carte des niveaux de vulnérabilité des séries forestières à chêne liège vis à vis des facteurs biophysiques



# CONCLUSIONS

## REPRODUCTIBILITÉ

De l'avis de tous les partenaires de la GIZ qui ont été impliqués dans la réalisation de l'action qui a permis la mise au point de la présente méthode, celle-ci est qualifiée de simple, facilement appropriable, reproductible et peut être appliquée à n'importe quel écosystème qui présente la double caractéristique d'être multifactoriel et que un ou plusieurs de ces facteurs ont une influence sur l'évolution de sa distribution spatiale.

## PRÉREQUIS

A titre d'information, les logiciels utilisés pour réaliser ce travail sont : ArcGis et Mapinfo. D'autres logiciels sont aussi nécessaires pour réaliser ces analyses à savoir Excel et SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) qui est un logiciel utilisé pour l'analyse statistique.

L'aspect thématique concerne l'identification des variables qui expliquent au mieux le thème en question, la définition des seuils à appliquer pour chacune des variables retenues, l'attribution des facteurs de pondération et la modélisation géospatiale.

La transformation de ces connaissances en compétences exige des programmes de formation ciblés qui traitent d'une thématique spécifique et qui s'adressent à un public avisé ayant le niveau minimum de technicien ou ingénieur. Ces formations doivent être assurées par une équipe composée au moins de trois personnes : un spécialiste en SIG et modélisation géospatiale, un thématicien et un économiste. Le nombre de formateurs peut évoluer selon le thème traité.

## LIMITES DE L'APPROCHE

Malgré les multiples avantages qui sont attribués à cette méthode spatiale multifactorielle d'analyse de la vulnérabilité, quelques limites demeurent présentes. Parmi ces limites, nous citons le niveau assez élevé en informations scientifiques qui est exigé pour pouvoir arrêter certaines limites thématiques. En l'absence de ces connaissances, que seule la recherche peut fournir, on a souvent recours soit à des informations obtenues dans des milieux similaires, sinon à des limites à dire d'expert ou alors à des seuils arbitraires. Hormis la première possibilité qui est la plus précise, et qui malheureusement fait souvent défaut, les trois autres choix ne font qu'augmenter les marges d'erreurs et réduire ainsi la fiabilité de la vulnérabilité mesurée.

Par ailleurs, cette méthode exige aussi la disponibilité d'une information cartographique au format numérique d'un ordre de précision au moins égal à l'unité d'exposition. Sans cela, il sera difficile à terme de pouvoir aider les gestionnaires des territoires et des ressources à savoir ce qu'il faut faire au juste et surtout où agir exactement.



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **M.A.E et GIZ, 2011** : Vulnérabilité de l'écosystème Subéraie tunisienne face au changement climatique.
- **M.A.E et GIZ, 2011** : Vulnérabilité de l'écosystème alfatier face au changement climatique.
- **M.A.R.H et GTZ, 2007** : Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques. Cahiers 1 à 7.

## **Mentions légales**

**Publié par :**

**Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) - GmbH**

Septembre 2013

**Commissionnée par le :** Ministère fédéral allemand de la Coopération Economique et du Développement (BMZ)

**Projet :** Appui à la mise en oeuvre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) en Tunisie

B.P. 753, 1080 Tunis-cedex, Tunisie

T. +216 70 728 622

F. +216 70 728 417

W. [www.giz.de/tunesien](http://www.giz.de/tunesien)

### **Contact**

Anselm Duchrow

Ghazi Gader

### **Auteur**

Kamel Tounsi, expert en SIG et bases de données

### **Crédit photos**

Ghazi Gader

**Ministère de l'Équipement et de l'Environnement**  
**Direction Générale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie**  
Adresse : Centre Urbain Nord, Immeuble ICF 1080 Tunis  
T (+216) 71 702 779 – F (+216) 71 706 395  
E-mail : [dgeqv@mineat.gov.tn](mailto:dgeqv@mineat.gov.tn)  
Web : [www.environnement.gov.tn](http://www.environnement.gov.tn)

