

**Les écosystèmes forestiers face au
changement climatique : situation et
perspectives d'adaptation au Maroc**

FEVRIER 2010

Auteurs du rapport

MM. Omar MHIRIT et Mohamed ET-TOBI
Ingénieurs forestiers, enseignants chercheurs à l'Ecole Nationale
Forestière des Ingénieurs

Propriété de l'IRES, le présent rapport entre dans le cadre du programme d'études "Changement climatique : impacts sur le Maroc et options d'adaptation globales". De par les opinions qui y sont exprimées, ce rapport engage la responsabilité de ses auteurs et en aucun cas celle de l'IRES

Par le biais de sa publication, l'IRES entend contribuer à "... l'émergence d'une expertise nationale concernant les défis inhérents aux changements climatiques ..." Extrait du Message Royal, adressé aux participants à la rencontre internationale sous le thème "Le changement climatique : enjeux et perspectives d'adaptation pour le Maroc", organisée par l'IRES le 16 octobre 2009

Table des matières

Introduction	8
1. Les écosystèmes forestiers du Maroc : Structure et particularités bioclimatiques	12
1.1. Répartition et particularités bioclimatiques des écosystèmes forestiers marocains	12
1.1.1. La forêt dans son cadre géographique	12
1.1.2. Climat, répartition et croissance des espèces forestières	17
1.2. Le changement climatique : des tendances lourdes pour les écosystèmes forestiers	24
2. Le changement climatique : concepts, évolutions, impacts et prévisions	26
2.1. Changement climatique : évolutions récentes à l'échelle globale	26
2.1.1. Changement climatique observé	26
2.1.2. L'effet de serre, cause principale du changement climatique	30
2.2. Conséquences et futurs probables du changement climatique	33
2.2.1. Scénarios d'émissions	33
2.2.2. Impacts observés et projetés du changement climatique	38
2.3. Des incidences du changement climatique sur les forêts	40
2.3.1. Traits généraux des effets des variations climatiques	40
2.3.2. Effets des variations du climat sur les écosystèmes forestiers : rôle de l'eau et du gaz carbonique	47
2.3.3. Implications pour la biodiversité	53
3. Bases scientifiques des impacts du changement climatique sur les forêts méditerranéennes	55
3.1. Considérations générales	55
3.2. Méthodes et outils de modélisation des incidences du changement climatique	56
3.2.1. Des hypothèses et théories de migration des espèces	56
3.2.2. Modèles et outils de simulation des aires des espèces et des écosystèmes	61
3.3. Synthèse des impacts observés et projetés pour les écosystèmes méditerranéens	63
3.3.1. Déplacements des aires de distribution d'espèces et d'écosystèmes	63
3.3.2. Migration et extinction des espèces	64
3.3.3. Phénologie et reproduction des arbres	66
3.3.4. Impacts sur l'évolution des risques phytosanitaires	67
3.3.5. Impacts potentiels sur le sol et l'érosion	69
3.3.6. Impacts sur l'augmentation des risques d'incendies de forêt	72
4. Impacts observés du changement climatique sur les écosystèmes forestiers au Maroc et projections futures	76

4.1. Conséquences du changement climatique antérieur sur les écosystèmes au Maroc	76
4.2. Tendances du changement climatique récent au Maroc	80
4.2.1. Evolution récente des précipitations et de la sécheresse	82
4.2.2. Evolution récente des températures	83
4.3. Projections futures du climat au Maroc	85
4.3.1. Projections des températures et des précipitations à court terme	85
4.3.2. Projections des températures et des précipitations à moyen et long termes	88
4.4. Conséquences du changement climatique récent au Maroc : cas du cèdre de l'Atlas	95
4.4.1. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas : phénomène révélateur	95
4.4.2. Observations récentes du changement climatique dans le Moyen Atlas marocain	97
4.4.3. Conséquences observées sur la croissance du cèdre au Moyen Atlas	100
4.5. Impacts potentiels du changement climatique futur sur les écosystèmes forestiers	101
4.5.1. Caractérisation des conditions bioclimatiques futures des essences forestières	101
4.5.2. Impact sur la répartition du cèdre de l'Atlas	109
4.5.3. Simulation de la saison de végétation et la période de croissance	116
5. Fonctions sensibles des écosystèmes forestiers marocains et processus de vulnérabilité	125
<hr/>	
5.1. Les écosystèmes forestiers : espace multifonctionnel et multi-usage	125
5.1.1. Fonctions et usages sociaux	125
5.1.2. Utilisation des écosystèmes forestiers : valeur économique des produits, services, biens et externalités des forêts	128
5.2. Vulnérabilités liées aux processus d'évolution biophysiques et anthropogéniques : dégradation, érosion et désertification	130
5.2.1. Evolution paléoclimatique et anthropique des écosystèmes forestiers	130
5.2.2. Processus d'évolution et vulnérabilité des écosystèmes forestiers	134
5.2.3. Analyse succincte des principaux processus : ségradation, érosion, désertification	137
5.3. Conséquences potentielles pour la biodiversité	153
6. Intégration de l'adaptation dans la gestion durable des écosystèmes forestiers : premières mesures prises	156
6.1. La gestion durable des écosystèmes forestiers marocains : cadre d'action pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique	156
6.1.1. Du contexte général du développement durable	156
6.1.2. Du contexte sectoriel des forêts et de la lutte contre la désertification	162
6.2. Mise en place du Réseau National d'Aires Protégées (SIBE)	166
6.2.1. Contexte et objectifs	166
6.2.2. Résultats et perspectives	168
6.3. Surveillance environnementale à moyen et long terme : Les Observatoires (ROSELT/OSS)	169
6.3.1. Contexte et objectifs	169
6.3.2. Résultats et perspectives	170

6.4. Révision et adaptation des plans de gestion des cédraies dépérissantes: cas des forêts de cèdre du Moyen Atlas	173
6.4.1. Contexte et Objectifs	173
6.4.2. Résultats et perspectives	176
6.5. Mise en place d'un dispositif de prévention, d'alerte et de lutte contre les feux de forêts	181
6.5.1. Contexte et objectifs	181
6.5.2. Résultats et perspectives	182
6.6. Stratégie nationale pour la surveillance et le suivi de la santé des forêts : Cas pilote de la région du Moyen Atlas	187
6.6.1. Contexte et objectifs	187
6.6.2. Résultats et perspectives	189
7. Adaptation des forêts marocaines au changement climatique : stratégie et orientations pour l'action à moyen et long termes	194
7.1. Cadre général des orientations stratégiques	194
7.1.1. Du concept de l'adaptation au changement climatique	194
7.1.2. De la nécessité de l'adaptation des forêts au changement climatique	199
7.1.3. Gestion durable des écosystèmes forestiers, adaptation et atténuation	203
7.2. Cadre stratégique globale d'adaptation	205
7.2.1. Des enjeux de l'adaptation au changement climatique	205
7.2.2. D'une vision stratégique à moyen et long termes	210
7.3. Orientations pour l'action : Options potentielles d'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique	213
7.3.1. Prévention des risques	214
7.3.2. Gestion et aménagement forestiers	218
7.3.3. Conservation, gestion et, valorisation de la biodiversité	221
7.3.4. Consolidation du dispositif d'observation	226
7.3.5. Formation, information et sensibilisation	227
7.3.6. Développement des connaissances : nécessité d'un effort de recherche	228
7.4. Perspectives multisectorielles d'adaptation au niveau national	234
7.4.1. De la nécessité d'une approche holistique des impacts et l'adaptation au changement climatique	234
7.4.2. De la promotion d'une approche adaptée aux territoires	236
7.4.3. Des possibilités de financer les actions d'adaptation	237
7.4.4. Mécanismes internationaux d'appui à l'intégration de l'adaptation au changement climatique au niveau des plans nationaux de développement	237
Références bibliographiques	240
Listes des tableaux, figures, encadrés et photos	257



Remerciements

La mission, objet de la présente étude s'est déroulée dans d'excellentes conditions. C'est pour les consultants un agréable devoir que d'exprimer leurs remerciements à toutes les personnes, au niveau de l'Institut Royal des études stratégiques, du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification et de la Direction de la Météorologie Nationale pour leur appui et leurs avis qui ont largement facilité la réalisation de ce travail et, tout particulièrement :

Dr. Abdeladim LHAFI, Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLCD), qui a initié la réflexion sur les écosystèmes forestiers face au changement climatique, constitué un groupe ad-hoc à cet effet, dont les consultants faisaient partie ; et mis en œuvre les premières mesures et actions d'adaptations au niveau du secteur forestier ;

M. Tawfik MOULINE, Directeur Général de l'Institut Royal des Etudes Stratégiques, qui a défini le contexte et orienté la conception et le cadrage de la réalisation de cette étude ;

M. Abdalah MOKSSIT, Directeur de la Météorologie Nationale et vice président du Groupe de travail du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), chargé de l'évaluation des aspects scientifiques du système climatique et de l'évolution du climat, qui nous a fait bénéficier de l'expérience du Maroc en matière de prévisions, de projections et de résultats sur le changement climatique probable au cours du siècle et mis à notre disposition la documentation requise ;

M. Mohamed BENZYANE, Directeur du Centre de Recherche Forestière du HCEFLCD pour son appui et ses avis, tout au long de la mission, qui ont largement contribué à enrichir les résultats de ce travail et à nuancer ses propositions.

M. Rachid CHEDDADI, chercheur au CNRS – France (Institut des Sciences de l'Evolution, Université de Montpellier), qui a mis aimablement à notre disposition les résultats de recherche de son laboratoire sur les analyses palynologiques et les reconstitutions climatiques spatio-temporelles des vingt derniers millénaires dans le Moyen Atlas marocain et les conséquences sur le comportement et la réaction de la forêt de cèdre au changement climatique durant cette période.

Dr. Omar MHIRIT

Dr. Mohamed ET-TOBI

Introduction

La communauté scientifique internationale est unanime au sujet du changement climatique : il s'agit d'un phénomène réel dont les effets se font déjà sentir dans certaines régions du globe. En outre, il est largement reconnu que le changement climatique s'intensifiera en dépit de la mise en œuvre d'importantes mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et qu'il aura des conséquences économiques, sociales et environnementales dont l'importance variera en fonction des régions et des secteurs.

Différents modèles et simulations climatiques ont abouti à la conclusion qu'il fallait s'attendre, en particulier dans les parties méridionales et orientales du bassin méditerranéen, à une augmentation d'événements climatiques extrêmes et à de fortes fluctuations du climat qui, probablement, dépasseront les moyennes mondiales : vagues de chaleur, fortes précipitations de courte durée, tempêtes récurrentes.

La conférence cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et le GIEC insistent aussi sur l'urgence d'une mise au point de stratégies d'adaptation. La Conférence internationale de solidarité sur les impacts et stratégies avancées d'adaptation au changement climatique pour les régions africaines et méditerranéennes (11/2007 à Tunis) réclame une extension de telles stratégies aux régions nord-africaines. Le « Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008 », sous-titré « La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé » souligne l'importance de l'information, portant sur les risques climatiques, comme une des clés de la planification en vue de l'adaptation au changement climatique et la nécessité de se doter de moyens et de ressources pour le suivi des modèles météorologiques, la prévision des impacts par secteur et l'évaluation des risques des secteurs vulnérables, pour être en mesure de cibler les investissements publics et les politiques susceptibles de limiter leur vulnérabilité.

Le Comité des Forêts (COFO), dans sa 19^{ème} session (Rome, avril 2009) a consacré l'année 2009 comme étant « l'année du changement climatique ». Cette question était omniprésente et, souvent, les discussions se sont focalisées sur les problématiques liées à ce thème. Le COFO a été aussi l'occasion pour le Partenariat de collaboration sur les forêts (PCF), qui regroupe l'ensemble des organismes et des institutions internationales, de lancer le « cadre stratégique sur les forêts et les changements climatiques ».

Tous les pays du pourtour méditerranéen sont confrontés à la question de savoir comment réagir de la façon la plus appropriée au changement climatique. Lors de leur 20^{ème} conférence en avril 2008 à Sofia, « Silva Mediterranea », organe de la FAO, conjointement avec le projet CIRCE (Climate Change and Impact Research : the Mediterranean Environment) et le Plan Bleu ont insisté sur l'urgence pour les forêts méditerranéennes de programme d'adaptation au changement climatique afin de minimiser les dommages et les pertes au niveau macroéconomique. La conférence méditerranéenne de l'International Union for Conservation of Nature (UICN) et du World Wildlife Foundation (WWF), qui s'est tenue en avril 2008 avec le soutien d'ONG méditerranéennes et de représentants des autorités nord-africaines pour l'environnement, s'est achevée par un appel du même ordre pour la biodiversité et les capacités des sols à stocker l'eau ainsi que pour la prévention des feux de forêts.

Ainsi, les écosystèmes forestiers sont au cœur du débat et de la problématique des changements climatiques en raison de leur double rôle de puits et de sources de carbone. Au Maroc, cette double importance s'additionne à l'importance cruciale que représentent les forêts pour la survie des populations rurales et de montagne, mais surtout en raison de leur rôle dans le bilan hydrologique et les implications intersectorielles dans le développement socio-économique et humain.

Les modèles climatiques globaux convergent pour estimer un réchauffement probable de la région du Maghreb de l'ordre de 2°C à 4°C au cours du 21^{ème} siècle. Pour l'essentiel, les projections climatiques au Maroc pour la fin du siècle (4^{ème} Rapport du GIEC) sont caractérisées par : l'augmentation de la température moyenne 2,5°C à 5,5°C, plus marquée durant l'été ; l'augmentation des températures maximales et de la fréquence des vagues chaudes, la diminution du nombre de jours frais et de jours de gel et, la diminution des précipitations de l'ordre de 20% . De façon générale, les sécheresses deviendront plus longues et plus sévères.

Le Maroc bénéficie d'une complexe et importante diversité floristique et faunistique principalement représentée par les écosystèmes forestiers. Il recèle des ressources génétiques précieuses aussi bien pour le pays lui-même que pour la communauté des pays méditerranéens. Les écosystèmes forestiers marocains, par la richesse des formes sauvages qu'ils hébergent et par leur rôle majeur dans la préservation de la qualité de l'air et des eaux, constituent la meilleure assurance de stabilité vis-à-vis des aléas d'un futur incertain en particulier le changement climatique. Cependant, dans l'état actuel des choses, les impacts pour certains secteurs vulnérables aux aléas du climat comme la forêt, n'ont pas encore fait l'objet d'étude spécifique, tel que cela est relaté dans le rapport de la première communication nationale du Maroc.

C'est dans ce contexte que l'Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES, Rabat) engage la présente étude intitulée « Les écosystèmes forestiers face au changement climatique: situation et perspectives d'adaptation ». Son objectif principal est d'aider les pouvoirs publics à préparer la forêt marocaine au changement climatique, pour pallier le déficit de connaissances dans ce domaine, initier une base de réflexions et de prospective sur le devenir de la forêt marocaine et sur les voies et moyens d'adaptation. A terme, le changement climatique doit faire partie intégrante de la politique forestière du pays.

Le présent rapport est organisé autour de sept chapitres. Le premier chapitre introduit les écosystèmes forestiers marocains à travers une esquisse de leur structure et de leurs particularités bioclimatiques. L'objet du second chapitre est de comprendre et mieux appréhender les concepts, les évolutions, les impacts et les modèles de prévision du changement climatique.

L'état embryonnaire de la recherche scientifique marocaine, en matière d'impacts des changements climatiques sur les écosystèmes naturels a conduit, dans le troisième chapitre, à l'exploitation d'un certain nombre de résultats de recherches écologiques et forestières dans ce domaine effectuées sur la rive nord de la région méditerranéenne ; ce qui a permis d'élaborer une synthèse des impacts observés et projetés du changement climatique dans cette région. En effet, le caractère représentatif de la méditerranéité des écosystèmes forestiers marocains ouvre la voie à ce type d'investigations.

Les analyses effectuées dans les chapitres précédents, complétées par les études et informations fournies par la Direction de la Météorologie Nationale, ont largement facilité, dans le quatrième chapitre, l'analyse des impacts observés du changement climatique sur les écosystèmes forestiers au Maroc et l'élaboration de projections futures. Des modèles de prévision et des simulations sont construits respectivement pour la caractérisation des conditions bioclimatiques futures pour les essences forestières, leur répartition et leur période de croissance.

Souvent, la vulnérabilité actuelle d'un système, c'est-à-dire : le degré par lequel le système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, est évalué à partir de la façon dont il a réagi à la variabilité climatique par le passé, c'est l'objet du cinquième chapitre. Après avoir défini les fonctions et usage sensibles des écosystèmes forestiers, il décrit l'état de vulnérabilité liées aux processus d'évolution biophysiques anthropogéniques, en particulier, les processus de dégradation-déforestation, d'érosion des sols et de désertification, pour en dégager les conséquences potentielles sur la biodiversité.

Le sixième chapitre rappelle le contexte de la politique générale de développement durable du pays et la politique sectorielle y afférente des forêts et de la lutte contre la désertification, qui constitue le cadre d'action approprié pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique. Il analyse par la suite les premières actions et mesures mises en œuvre en vue d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans la stratégie de gestion des écosystèmes forestiers.

Les analyses conduites et les réflexions développées, ont permis, dans le septième chapitre, de dégager les enjeux principaux de l'adaptation des écosystèmes forestiers marocains au changement climatique et de suggérer un cadre stratégique globale d'adaptation, qui prend en considérations les orientations internationales et des expériences régionales. Des éléments de programme sont proposés par rapport à six axes principaux : 1) la prévention des risques ; 2) la gestion et aménagement forestiers ; 3) la conservation, la gestion et la valorisation de la biodiversité ; 4) la consolidation du dispositif d'observation ; 5) la formation, l'information et la sensibilisation, et 6) le développement des connaissances scientifiques et techniques. Enfin des perspectives multisectorielles d'adaptation au niveau national sont suggérées.

1. Les écosystèmes forestiers du Maroc : Structure et particularités bioclimatiques

La forêt est un monde extrêmement vivant, l'œuvre la plus parfaite de la création dans le domaine végétal. Grâce à des mécanismes étonnants dont le plus fondamental, et encore l'un des plus mystérieux, est la photosynthèse ; c'est là que se fabrique en permanence les deux tiers des matières organiques continentales qui sont les matériaux de la vie-même.

« La vie de la forêt ; B. FISCHER, 1970 »

1.1. Répartition et particularités bioclimatiques des écosystèmes forestiers marocains

1.1.1. La forêt¹ dans son cadre géographique

L'état actuel des écosystèmes forestiers est le produit d'interactions très anciennes entre les activités humaines (histoire des pratiques agrosylvopastorales et aménagements récents), la dynamique naturelle de la végétation interne aux écosystèmes (dégradation, adaptation, résilience ...) et l'influence de la perturbation naturelle (vents, feux ...).

En raison de la diversité géographique et géomorphologique, de la variété spatio-temporelle des conditions climatiques, mais aussi de la présence ancestrale de l'homme et son impact sur les écosystèmes, la distinction des formations forestières n'est concevable que d'après leur morphologie générale et les espèces ligneuses dominantes en les rattachant à trois domaines phytogéographiques : méditerranéen, subméditerranéen et saharien (Mhirit, 1993), comme décrit à l'encadré 1:

¹ La définition de la forêt est celle retenue pour la formulation des critères et indicateurs de gestion durable des forêts de la sous-région Afrique du Nord et Proche Orient : « La forêt est un écosystème à prédominances d'arbres comportant un couvert relativement dense, supérieur à 10% ». Les maquis, les garrigues qui sont des formations végétales formées d'arbres, d'arbustes, d'arbrisseaux et de sous - arbrisseaux touffus, caractéristiques des paysages méditerranéens seront définis par la notion de « terres boisées ».

Encadré 1 - Types d'écosystème forestier dominant au Maroc

I. DOMAINE MEDITERRANEEN

- 1.1. Forêts de chênes sclérophylles** : *chêne vert, chêne liège, chêne kermès ;*
- 1.2. Forêts décidues de chênes méditerranéens** : *chêne zeen, chêne tauzin, chêne des Canaries ;*
- 1.3. Forêts méditerranéennes de conifères** :
 - **Forêts de pins** : *Pins d' Halep, P. maritime, P .noir, P .pignon, etc.,*
 - **Forêts de thuya et de cyprès** : *thuya de berbérie, cyprès de l'Atlas,*
 - **Forêts de genévriers** : *genévrier de Phénicie, genévrier oxycèdre, genévrier commun, genévrier thurifère,*
 - **Forêts de cèdre** : *cèdre de l'Atlas,*
 - **Forêts de sapin** : *sapin du Maroc ;*
- 1.4. Formation arborée de l'Oléastre -lentisque** : *olivier sauvage, pistachier de l'Atlas, caroubier, filaires ;*
- 1.5. Formations arbustives et buissonnantes** : *Formation de haute montagne à arbustes, xérophytes épineux, maquis et garrigues méditerranéens;*

II. DOMAINE SUB MEDITERRANEEN

- 2.1. Formations arbustives d'arganier** : *Arganier,*
- 2.2. Formations arbustives d'acacia** : *Acacia gommier, jujubier, pistachier de l'Atlas,*
- 2.3. Formations steppiques** : *Alfa, armoise...*

III. DOMAINE SAHARIEN : *Acacias sahariens, Maerua crassifolia, Balanites egyptiaca, Rhus tripartitum ; Tamarix sp.*

Le premier inventaire forestier national (IFN) réalisé entre 1990 et 1995 a permis de mieux appréhender l'état du patrimoine forestier et de disposer d'une base de données cartographiques et numériques importante et fiable portant sur la répartition, la consistance et l'état général des ressources forestières. Sur le plan de l'occupation et du statut foncier des terres, les écosystèmes forestiers, et alfatiers sont domaniaux² (domaine privé de l'Etat) et s'étendent sur 9.037.714 ha, soit l'équivalent de 12,7 % du territoire national (tableau 1) :

² Loi forestière (Dahir du 17 octobre 1917 ; Article 1er) « sont soumis au régime forestier et administrés conformément aux dispositions de la loi : le domaine forestier, les forêts des collectivités susceptibles d'aménagement ou d'exploitation régulière ; les terrains collectifs reboisés ou à reboiser et les terres de parcours collectives à améliorer par l'Etat après accord du conseil de tutelle des collectivités ; ainsi que les terrains reboisés ou à reboiser et les terres de parcours appartenant à des particuliers, dont les propriétaires entendent confier à l'Etat, soit la surveillance, soit la surveillance et la gestion ».

Tableau 1 : Classes d'occupation des terres (IFN, 1999)

Classe d'utilisation	Surfaces en Ha	Pourcentage
Surface agricole utile (1)	9 241 000	13,00 %
• Forêts (2)	5 719 454	8,00 %
• Steppe d'alfa	3 318 259	4,70 %
Terrains de parcours (3)	21 325 000	30,00 %
Autres terrains	31 481 287	44,30 %
Surface nationale	71 085 000	100,00 %

(1) et (3) source : Ministère de l'agriculture, données générales sur l'agriculture Marocaine, février 1996 ;
(2) la surface forêts comprend 490.518 ha de plantations artificielles (bilan 1994).

Les écosystèmes forestiers, situés en majeure partie, dans les climats semi-aride, subhumide et humide, couvrent une surface de 5.719.000 ha. Ils sont constitués de 66 % d'essences feuillues (chêne vert, chêne liège, arganier, acacias sahariens), de 18 % d'essences résineuses (cèdre de l'Atlas, thuya, pin d'Alep et pin maritime, genévriers, cyprès de l'Atlas et sapin du Maroc), de 9 % de plantations artificielles, et 7 % est occupé par des formations basses, plus ou moins ouvertes, de type matorral et essences secondaires résultant souvent de la dégradation des forêts. La figure 1 donne la répartition des superficies des principales essences forestières.

La répartition spatiale des écosystèmes forestiers à l'échelle du pays est conditionnée, au premier niveau de perception écologique, par les facteurs du climat, en particulier, les précipitations et leur variabilité, les températures maximales et minimales (Mhirit et Yassin, 1993). D'une façon générale, ce sont les régions les plus septentrionales, en particulier les massifs montagneux du Rif, des Atlas et les plaines littorales qui sont les plus riches en espèces. La grande diversité des habitats qui y sont représentés (forêts, steppes, zones humides...) en fait de véritables « réservoirs génétiques ».

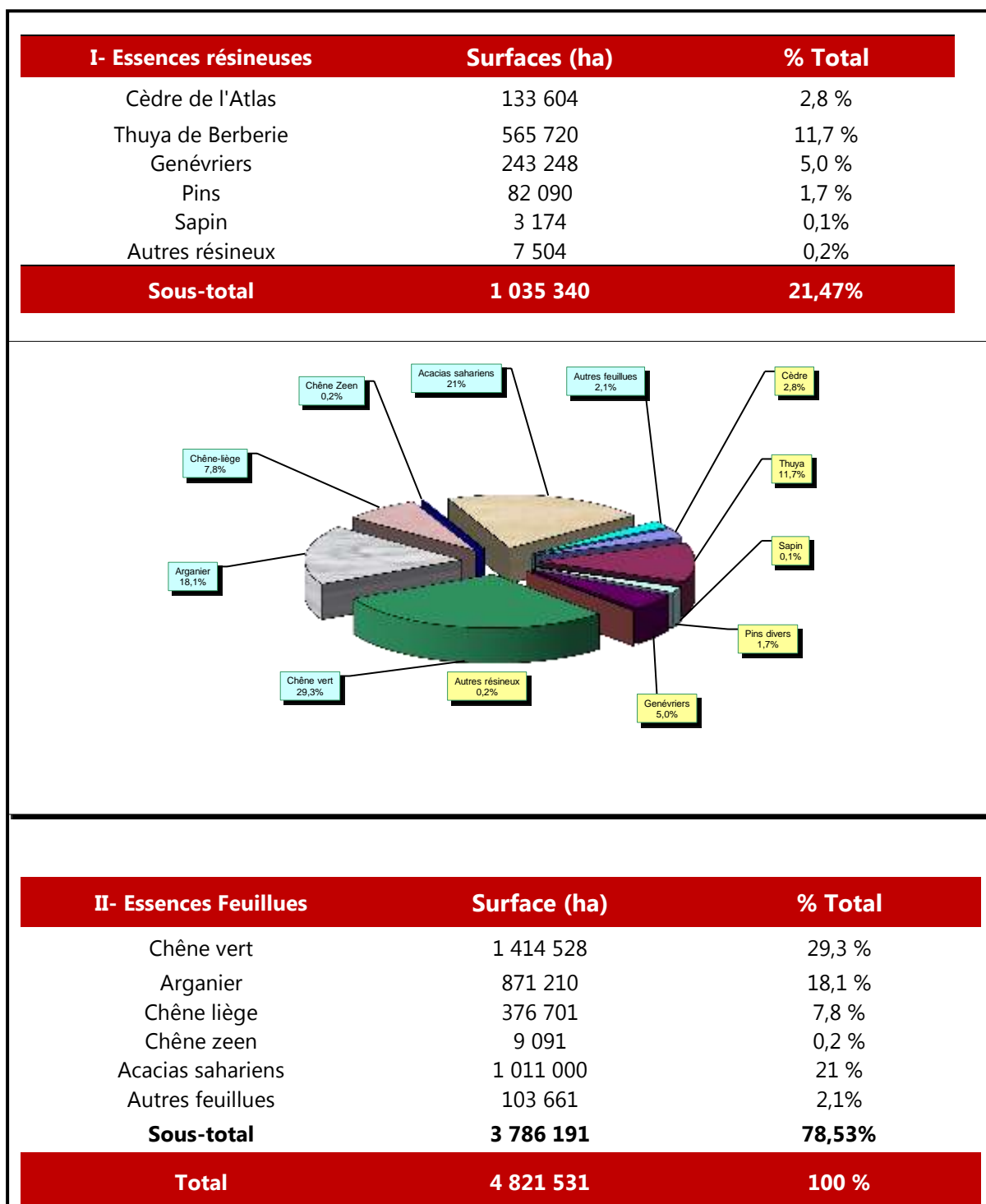


Figure 1 : Superficies des principales essences forestières.

Pour l'essentiel, les forêts sont liées au relief (figure 2). En allant du sud-ouest au nord-est du pays, elles se localisent sur le Haut Atlas et l'Anti-Atlas, puis sur le Moyen Atlas et la chaîne de Debdou vers l'est. Les forêts couvrent aussi la chaîne du Rif d'ouest en est, et le plateau central du pays Zaer-Zemmour. En zones de plaines, trois ensembles s'individualisent : un bloc nord autour de Larache et Souk-El-Arba, un bloc constitué par la forêt de la Maamora et celles de l'arrière pays de Rabat et de Benslimane, et un bloc sud groupant les forêts des régions d'Essaouira, Agadir et Tiznit. Dans les provinces sahariennes, essentiellement à Ed-Dakhla, les acacias sahariens et les tamarix à faible densité, présentent un cachet particulier (figure 2).



Figure 2 : Répartition géographique des principales essences forestières au Maroc

La région du sud-ouest, constituée essentiellement d'arganier et de thuya, et celle de l'Oued Ed-Dahab-Lagouira, formée principalement d'acacia, présentent de vastes étendues forestières mais les peuplements sont en majorité très ouverts et peu productifs. Par contre, dans les régions de Meknès - Tafilalt, Taza - El Hoceima - Taounate et Marrakech - Tensift, on y rencontre les peuplements les plus productifs compte tenu du fort potentiel de production forestière de ces régions. La région de l'Oriental concentre l'essentiel des nappes alfatières sur l'ensemble de son territoire.

1.1.2. Climat, répartition et croissance des espèces forestières

Le Maroc occupe une position géographique particulière à la pointe nord-ouest de l'Afrique avec des côtes baignées par deux mers: l'océan Atlantique et la mer Méditerranée. Son territoire bénéficie d'un climat varié résultant des effets conjugués des influences océaniques, méditerranéennes et sahariennes, avec un automne-hiver pluvieux et frais, auquel succède une saison sèche et chaude plus ou moins longue. La pluviométrie annuelle varie de 50 mm dans les zones désertiques à plus de 2.000 mm dans les montagnes exposées aux vents humides (Moyen Atlas et Rif). Les températures mensuelles du mois le plus froid (janvier en général) peuvent varier de (- 9°C) dans les Atlas à (+ 10°C) dans le littoral méditerranéen, tandis que les températures maximales mensuelles du mois le plus chaud (juillet /août) peuvent dépasser 40°C.

Le climat intervient dans la formation de l'écosystème forestier, sa structure, sa distribution géographique, sa croissance et son fonctionnement. Les facteurs discriminant de ces éléments sont : **la lumière, l'humidité, la chaleur et le froid**. Ils sont indirectement mesurés par les températures, les précipitations et des indices synthétiques combinant ces deux facteurs (Indice de Thornthwaite, Indice xérothermique de Gaussen, Indice de De Martonne, Indice de Giacobbe, Coefficient pluviothermique d'Emberger, etc.).

La figure 3 présente la position des principaux écosystèmes forestiers en fonction du facteur température.

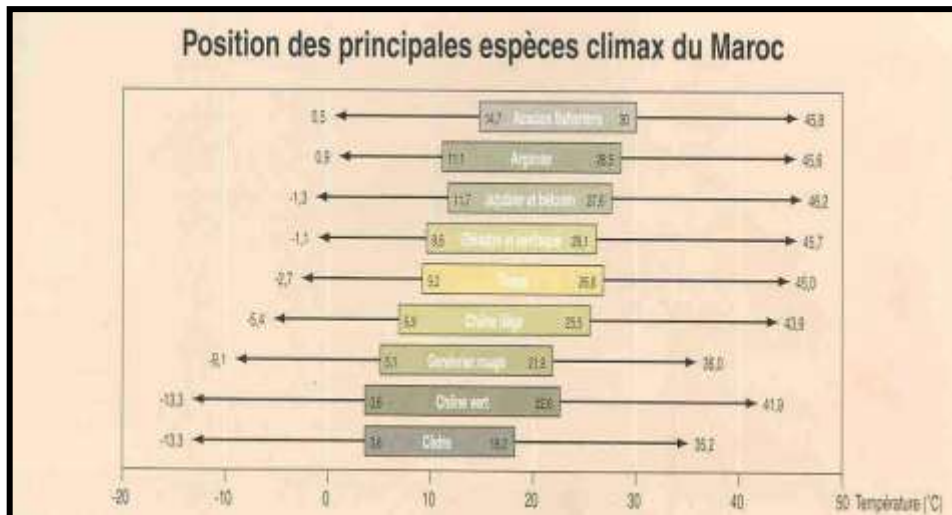


Figure 3 : Tempérament des espèces forestières climax en fonction du facteur température (Mhirit et al., 1999)

(Les limites des rectangles correspondent aux températures moyennes annuelles des minima et des maxima. Les limites des flèches représentent les températures minimales du mois le plus froid à gauche et celles du mois le plus chaud à droite).

Le chêne-liège, par exemple, prospère entre des maxima de températures dont la moyenne annuelle peut atteindre 25,5°C et la moyenne des maxima du mois le plus chaud 43°C. La moyenne annuelle des minima est de l'ordre de 6,9°C tandis que la moyenne des minima du mois le plus froid peut atteindre (-5,4°C).

La figure 4 présente la position des principaux écosystèmes forestiers en fonction du facteur précipitations.

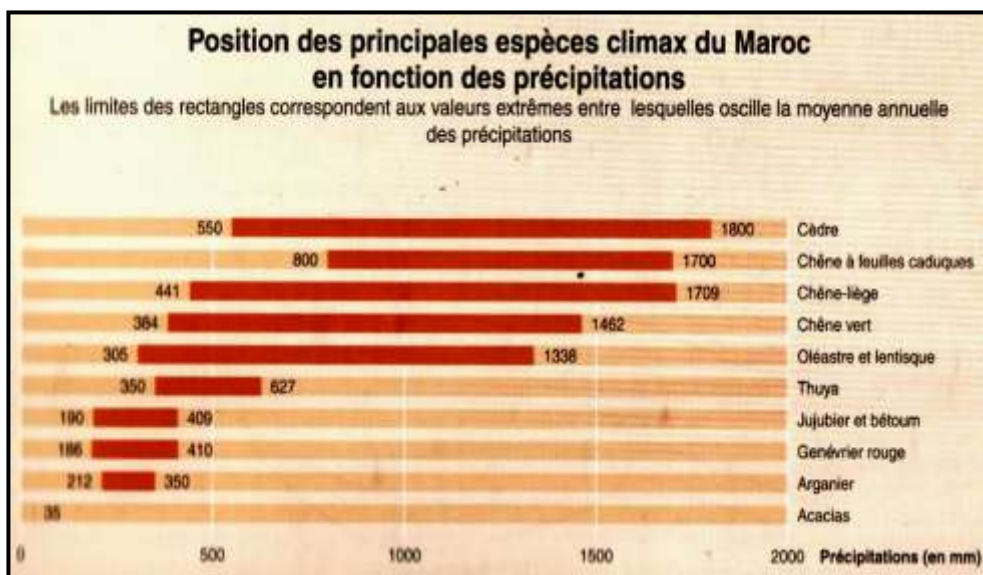


Figure 4 : Tempérament des espèces forestières climax en fonction du facteur précipitation (Mhirit et al., 1999)

Le chêne-liège est remarquablement plastique vis-à-vis des précipitations. La moyenne annuelle varie de 441 à 1.700 mm. Ces valeurs sont proches de sa limite naturelle en plaine vis-à-vis du facteur eau et en montagne vis-à-vis du facteur température.

L'indice pluviothermique d'Emberger (Emberger, 1939) $\{Q = 1000P / [(M+m/2)(M-m)]\}$, dans lequel (**P**) est la moyenne annuelle des précipitations en mm, (**M**) la moyenne des maxima du mois le plus chaud et (**m**) la moyenne des minima du mois le plus froid, combine les facteurs précipitations et température pour définir les bioclimats du Maroc. La représentation graphique de l'indice (**Q**) en fonction de (**m**) a permis de définir les surfaces auxquelles correspondent graphiquement **les étages bioclimatiques** de végétation et **les sous-étages**.

La figure 5 ci-après, représente les aires bioclimatiques des essences forestières marocaines dans le climagramme d'Emberger. Le cèdre de l'Atlas occupe essentiellement les variantes fraîches à extrêmement froides des étages bioclimatiques perhumide, humide et subhumide. La valeur du quotient (Q) varie de 50 à 330 alors que la température moyenne minimale du mois le plus froid varie entre (-9°C) et 1°C.

Le système d'Emberger est largement utilisé dans le bassin méditerranéen : pour l'individualisation des aires bioclimatiques des essences forestières, pour les études génécologiques, zoologiques, pour le choix des essences en matière de reboisement, etc.

Les écosystèmes forestiers, au Maroc, occupent un éventail très large de bioclimats méditerranéens et de leurs variantes, des bioclimats sahariens au bioclimat perhumide et de haute montagne dans une gamme de précipitations annuelles allant de 50 mm à 2.000 mm.

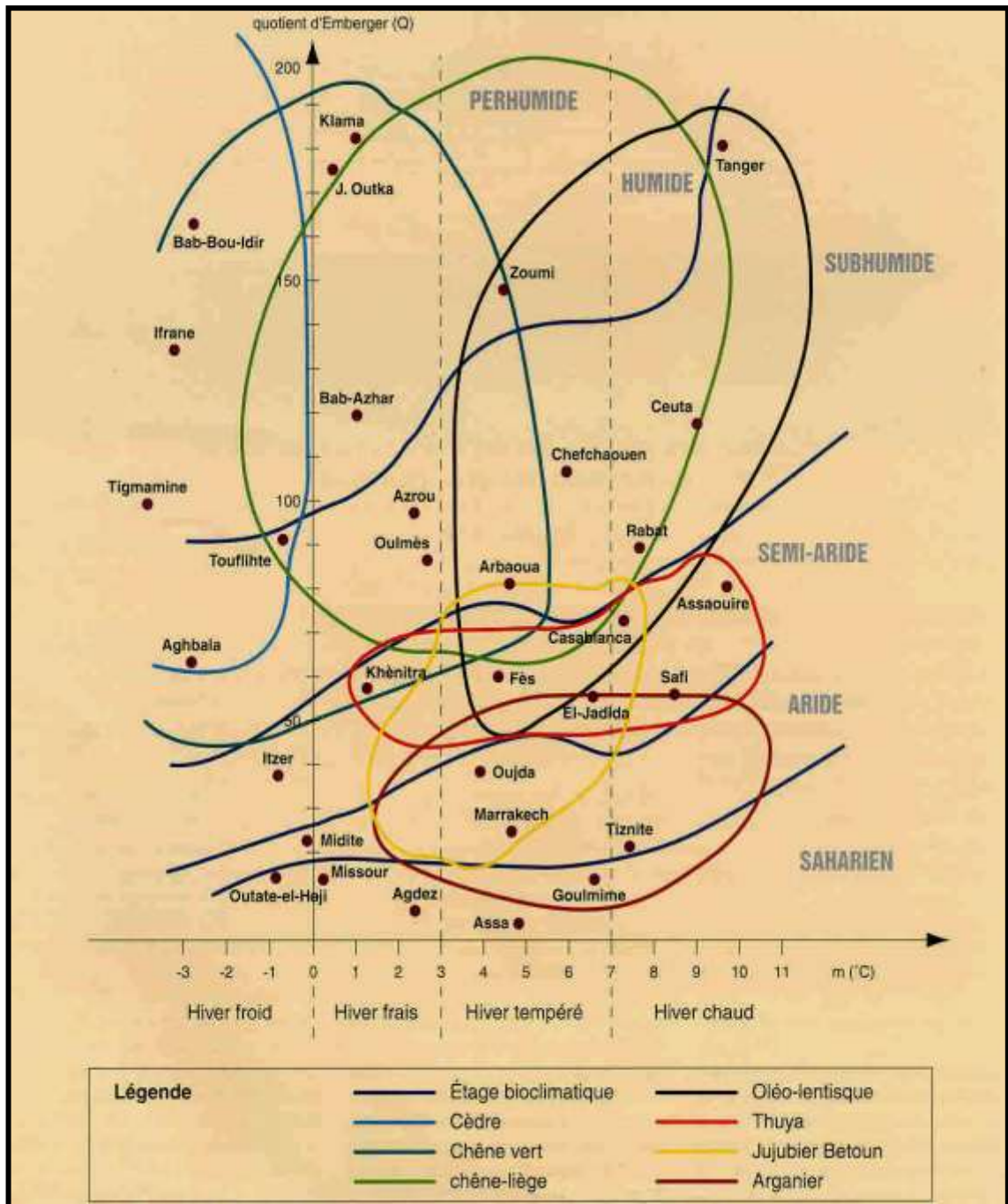


Figure 5 : Aires bioclimatiques des essences forestières marocaines dans le climagramme d'Emberger (Mhirit et al., 1991)

Le tableau 2 présente la distribution des principaux écosystèmes forestiers marocains en fonction du bioclimat, des étages de végétation et du sol (Mhirit, 1999, 2005). Toutefois cette distribution est nuancée par la nature des substrats géologiques et des sols qui y sont formés.

Tableau 2 : Types d'écosystèmes forestiers en fonction du bioclimat, des étages de végétation et du sol.

CLIMAT - ETAGE DE VEGETATION				SOL		TYPE D'ECOSYSTEMES FORESTIERS (espèces dominantes)
Type	Pluies (mm)	Variabilité (%)	(Saison sèche)	Type	Processus d'évolution lié au climat	
Désertifique et Subdésertique	P<100	<100	10 à 12	-sols gris - sierozem -sols salsodiques	-Encroûtement calcaire -Salinisation	- Steppes arborées à Acacia raddiana et Seyal - Steppes subdésertiques à Euphorbes et Chénopodiacées - Regs et Hamadas à Haloxylon sp.
Aride (Méditerranéen inférieur)	100<P<300	50 à 100 %	7 à 9	-sols bruns de steppes -brunizem -sols salsodiques	-Isohumisme -Encroûtement calcaire - salinisation	- Forêt à arganier au Brousse de Pistachier de l'Atlas et de jujubier -Brousses à acacia gommier -Steppe d'alfa et d'armoise
Semi-aride (Thermoméditerranéen)	300<P<600	25 à 50%	4 à 7	- sols marrons - sols rouges fersiallitique -vertisols et planosols	- isohumisme - Encroûtement calcaire	- Brousse thermophile à oléastre et lentisque - Forêt de pin d'Alep - Forêt de thuya de Berbérie et genévriers de Phénicie - Forêt de cyprès sp.
Subhumide (Méditerranéen supérieur)	600<P<800	10 à 25 %	3 à 5	-sols rouges fersiallitiques -sols bruns fersiallitiques	-rubéfaction	- Forêts de pin d'Alep, de pin maritime - Forêt de pin pignon - Forêts de chêne sclérophylles chêne vert, chêne liège, chêne quermès
Humide (supra Méditerranéen Montagnard méditerranéen)	p>800	10 à 25 %	3 à 5	-sols bruns fersiallitiques -sols bruns tempérés -sois bruns lessivés	-Brunification lessivage	- Forêts de sapins du Rif - Forêts de pin maritime et de pin noir - Forêts de chêne liège, - Forêts de chênes caducifoliés : chêne zeen, chêne tauzin, - Forêts de cèdre : cèdre de l'Atlas
Haute montagne (Oroméditerranéen)	P>500	-	-	-lithosols -régosols	-	- Forêt de cèdre sèche et de genévriers - Forêts de genévrier thurifère et xérophytes épineux

La conséquence première de la variabilité bioclimatique pour la gestion forestière est l'importance de la période de croissance des arbres. Les essences forestières poussent de manière continue en zone tropicale humide et équatoriale en raison de l'humidité et de la chaleur élevée. Elles sont limitées par les températures hivernales en climat tempéré et boréale.

Par contre, en climat méditerranéen, la période de croissance ou saison de végétation est conditionnée par plusieurs facteurs: le régime saisonnier des précipitations, les températures minimales hivernales, les températures maximales estivales, l'intensité de la sécheresse, le vent, etc.

D'une manière générale, sous nos climats, les espèces forestières profitent pendant la première moitié de l'année d'un bilan climatique positif favorisant la reconstitution d'une importante réserve en eau du sol. De ce fait, les arbres continuent à croître au début de la saison sèche estivale lorsque le rapport (**P/T > 2**), (P ,étant les précipitations moyennes et T la température moyenne), tandis que le ralentissement de la croissance est lié à l'élévation des températures maximales de juillet et à l'épuisement de la réserve en eau du sol.

La croissance peut reprendre en automne quand la réserve en eau est reconstituée et que les températures le permettent. La période de croissance, définie pour les espèces forestières marocaines en fonction du climat, se déroule en deux phases correspondant à **[T > 10°C et P/T > 1 pour la première moitié de l'année ; et à T > 10°C et P/T > 5 pour la seconde moitié de l'année]**.

La figure 6 présente la période de croissance du cèdre en nombre de mois (Mhirit, 1982).

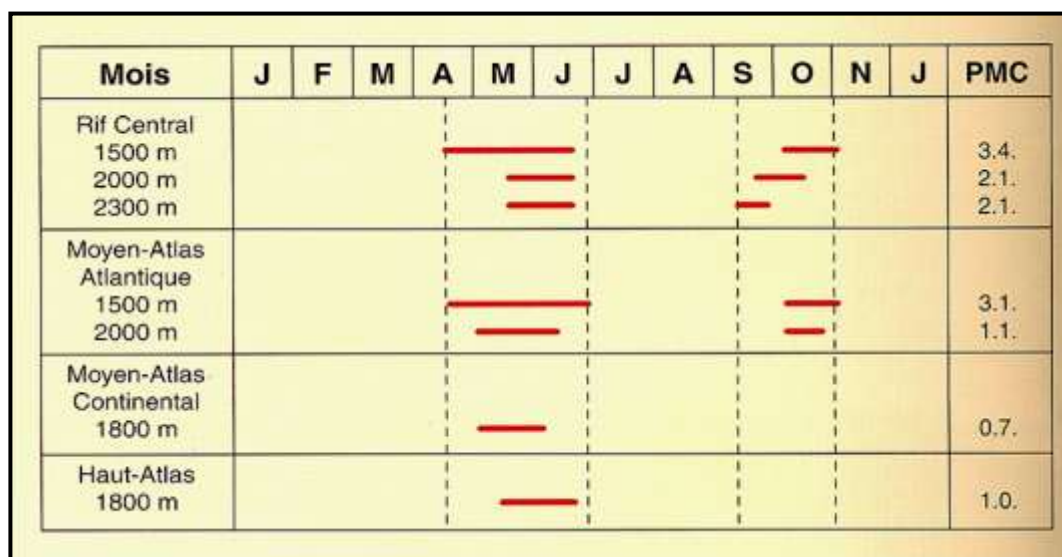


Figure 6 : Période moyenne de croissance du cèdre de l'Atlas

L'indice de productivité CVP de Patterson (Climat, Végétation, Productivité), qui intègre les éléments du climat et la longueur de la saison de végétation est calculé pour 95 stations marocaine réparties dans l'ensemble des étages bioclimatiques d'Emberger et représentant toute la gamme des essences forestières naturelles (Mhirit, 1973, 1993, ...).

La relation productivité potentielle, établie par cet indice, et le bioclimat a permis de donner une évaluation de la productivité potentielle ligneuse moyenne en m³/ha/an des écosystèmes forestiers par étage et par variante bioclimatique (tableau 3).

La productivité est bonne dans les variantes douces et tempérées des étages bioclimatiques (3°C < m < 7°C) qui correspondent à l'optimum de croissance des essences forestières, notamment dans les ambiances subhumides et humides du versant atlantique. Elle est par contre faible pour les valeurs extrêmes de variantes froides (m < 0°C) ou chaudes (m > 7°C).

Tableau 3 : Productivité forestière potentielle moyenne en m³/ha/an par étage et par variante bioclimatique

Etage bioclimatique \ Variante	m < 0°C (froide)	0°C < m < 3°C (fraiche)	3°C < m < 4,5°C (douce)	4,5°C < m < 7°C (tempéré)	m > 7°C (chaude)
Humide	5,1	6,7	-	7,3	-
Subhumide	3,3	5,2-	5,9	6,5	5,9
Semi-aride	2,4	3,9	4,5	4,6	4,2
Aride	0,4	1,6	3,2	2,7	0,9

L'action combinée des éléments du climat et, plus particulièrement les facteurs thermiques et hygrométriques, règle les conditions d'existence, de répartition et de productivité des écosystèmes forestiers. Il en résulte que les modifications récurrentes ou permanentes du climat s'accompagneront de modification de ces conditions et influenceront sur tous les indicateurs de productivité des écosystèmes et sur leur capacité à fournir les biens et services à la société.

1.2. Le changement climatique : des tendances lourdes pour les écosystèmes forestiers

Le climat est l'une des variables qui influent sur la distribution des forêts, sur leur santé et leur productivité, et particulièrement sur les régimes de perturbation. Selon le troisième rapport du GIEC, la température moyenne mondiale de l'air en surface devrait augmenter de 1,4 à 5,8 °C d'ici 2100, ce qui aura des conséquences notables sur tous les éléments du système climatique mondial. L'impact de ce changement climatique sur les écosystèmes forestiers et les collectivités qui en sont tributaires dépendra de toute une série d'effets biophysiques et socio-économiques positifs et négatifs.

Les écosystèmes forestiers marocains sont exceptionnels et à intérêts multiples. Leur capacité à résister au climat et à la pression humaine a été démontrée par le passé. Au niveau économique, ces écosystèmes génèrent de multiples activités en milieu rural. Le Cèdre, le Thuya, le Chêne-liège et l'Eucalyptus ont une valeur économique réelle qu'il est, d'ailleurs, possible de mieux valoriser notamment en milieu rural. La diversité des produits mobilisables par les populations locales, joue un rôle très important ; les fourrages, le bois de feu, le bois pour les usages locaux, le tannin, constituent des apports économiques substantiels. D'autres produits tels que les plantes aromatiques et médicinales représentent un potentiel de développement significatif. Enfin, le potentiel touristique des espaces forestiers est un gisement important de nouvelles activités économiques et d'emplois en milieu rural.

Il n'en demeure pas moins vrai que ces écosystèmes sont particulièrement dans un état médiocre et offrent des rendements faibles. Les forêts marginales ou de haute altitude ou à continentalité importante (massif du Bou Iblane) sont en voie d'extinction puisque la dégradation des sols et un pâturage permanent rendent impossible la régénération des peuplements. La dégradation qualitative des écosystèmes forestiers, de leur potentiel et de leurs fonctions environnementales est d'ailleurs beaucoup plus inquiétante que la diminution apparente en surface.

Les tendances au réchauffement du climat au cours de ce siècle pourraient accentuer ces risques et menacer ce patrimoine dans sa stabilité, sa pérennité et ses capacités à fournir des biens et services à la société. La désertification et les problèmes liés au cycle de l'eau et à la conservation des sols s'aggraveront ; de plus les espaces littoraux pâtiront du développement du tourisme. Certes, le Maroc peut importer des matières premières (bois et produits dérivés) en provenance de nombreux pays ou la compétitivité économique de la production et de la transformation de bois est plus forte que celles des forêts méditerranéennes. En revanche, la maîtrise de l'eau, des sols et de la biodiversité, restent des contraintes nationales incontournables et des enjeux majeurs pour le long terme (Anon., 1999b).

Les impacts du changement climatique sur les écosystèmes forestiers varieront selon les régions et dépendront de plusieurs facteurs, notamment la composition des espèces, les conditions du milieu et le microclimat local. Ainsi, la capacité des diverses espèces d'arbre de s'adapter au réchauffement climatique, leur réaction à des concentrations élevées de CO₂ et leur tolérance aux perturbations varient amplement. On s'attend à ce que certaines espèces d'arbre réagissent au réchauffement des températures par une migration vers le nord et vers des régions situées à une altitude plus élevée.

Le changement des conditions d'humidité et des régimes de perturbation constituent une préoccupation clé du secteur forestier. Il est probable que le réchauffement des températures augmente la fréquence des feux de forêt et agrandisse les zones d'activité des ravageurs forestiers. En effet, l'augmentation de perturbations telles que les infestations d'insectes et les incendies peuvent entraîner de rapides changements structuraux et fonctionnels des forêts.

Les impacts biophysiques du changement climatique sur les forêts se traduiront par de nombreux effets sociaux et économiques dont l'importance dépendra de la nature et du rythme du changement climatique; de la réaction des écosystèmes forestiers; de la sensibilité des collectivités aux impacts du changement climatique et des politiques d'atténuation implantées en réaction au changement climatique; des caractéristiques économiques et de la capacité d'adaptation des collectivités concernées.

Les forêts marocaines, en plus de subir les effets du changement climatique, subiront le stress causé par d'autres changements liés à la pression humaine. Compte tenu de ces variables et des limites imposées par les incertitudes planant sur les modèles climatiques, surtout en ce qui concerne les futurs changements des modèles de précipitations, il est difficile de prévoir les effets du changement climatique sur les forêts, à l'échelle régionale et locale. Cependant, il est essentiel, pour la planification de la gestion des ressources forestières, de connaître la vulnérabilité des écosystèmes forestiers et des pratiques de foresterie adaptées au changement climatique. Aussi une adaptation appropriée permettra de réduire les effets négatifs du changement climatique tout en offrant au secteur la possibilité de saisir d'éventuelles nouvelles occasions. A ce titre, de nombreuses activités de gestion et d'aménagement des écosystèmes forestiers liées à l'adaptation au changement climatique font déjà partie des activités courantes des services publics et de la société civile. Toutefois, dans le contexte du changement climatique, c'est la localisation de ces problèmes et leur intensité qui changeront et mettront à contribution la capacité du secteur à s'adapter.

2. Le changement climatique : concepts, évolutions, impacts et prévisions

2.1. Changement climatique : évolutions récentes à l'échelle globale

2.1.1. Changement climatique observé

Le climat a connu de fortes variations au cours de l'histoire de la Terre. Pendant les deux derniers millions d'années, il a connu tour à tour des périodes glaciaires et des périodes chaudes - dites interglaciaires. Au cours des dix derniers millénaires, par exemple, la plupart des régions du Maroc (Cheddadi et al., 1998) ont connu, à différents moments, des conditions climatiques plus douces, plus fraîches, plus humides et plus sèches que celles de nos jours.

Les facteurs qui régissent la variabilité du système climatique sont en rapport avec, les fluctuations des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols, les changements de l'orbite terrestre et de la production solaire, les cycles des tâches solaires, et les éruptions volcaniques (figure 7).

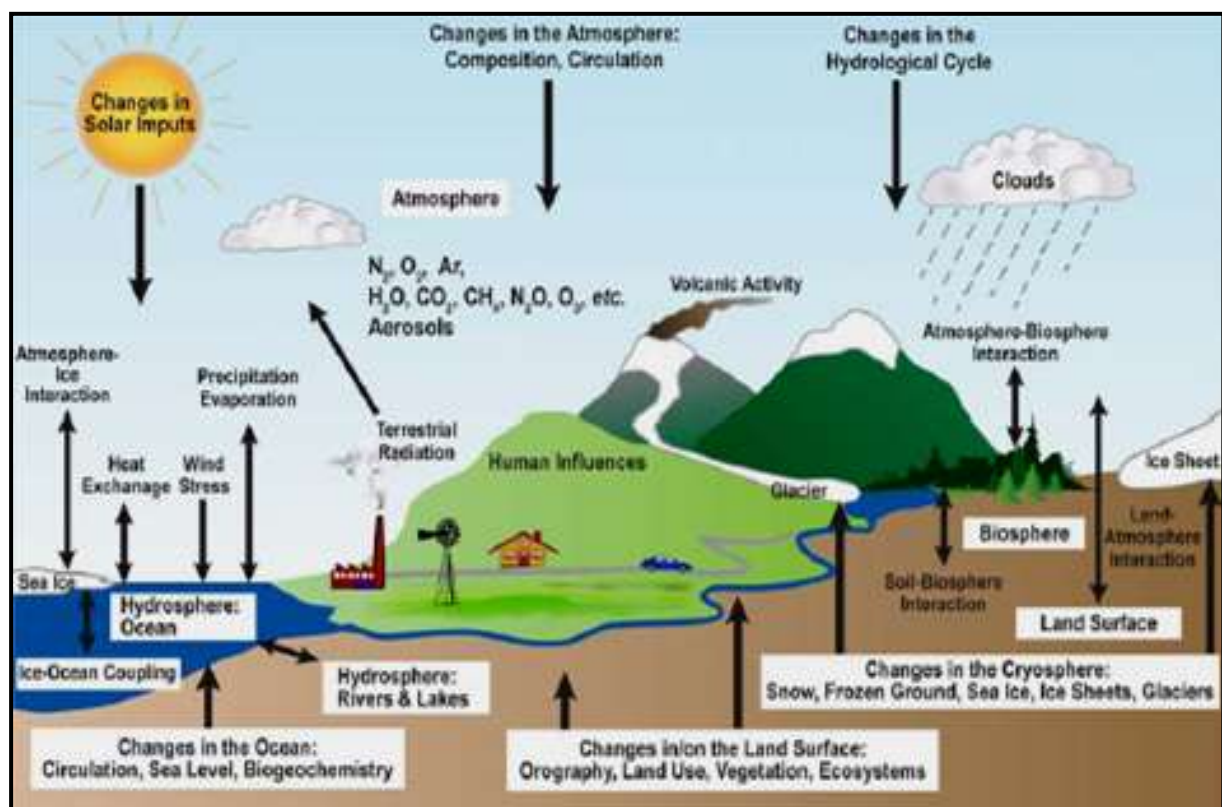


Figure 7 : Schéma représentant les composantes du système climatique mondial (GIEC, 2007) qui jouent un rôle dans le changement climatique à l'échelle séculaire (*gras*), avec leurs processus et interactions (*petites flèches*) et certains éléments pouvant varier (*grosses flèches*)

Ces facteurs évoluent selon diverses échelles temporelles, mais, l'examen de leurs effets combinés, permet d'expliquer la plus grande partie de la variabilité climatique des derniers millénaires. La figure 8 (a, b) montre que l'augmentation observée de la température récente ne peut pas être expliquée uniquement par le forçage naturel (Houghton et al., 2001). Ainsi, au cours du siècle dernier, la température moyenne à la surface de la Terre s'est élevée d'environ 0,6 °C (figure 8).

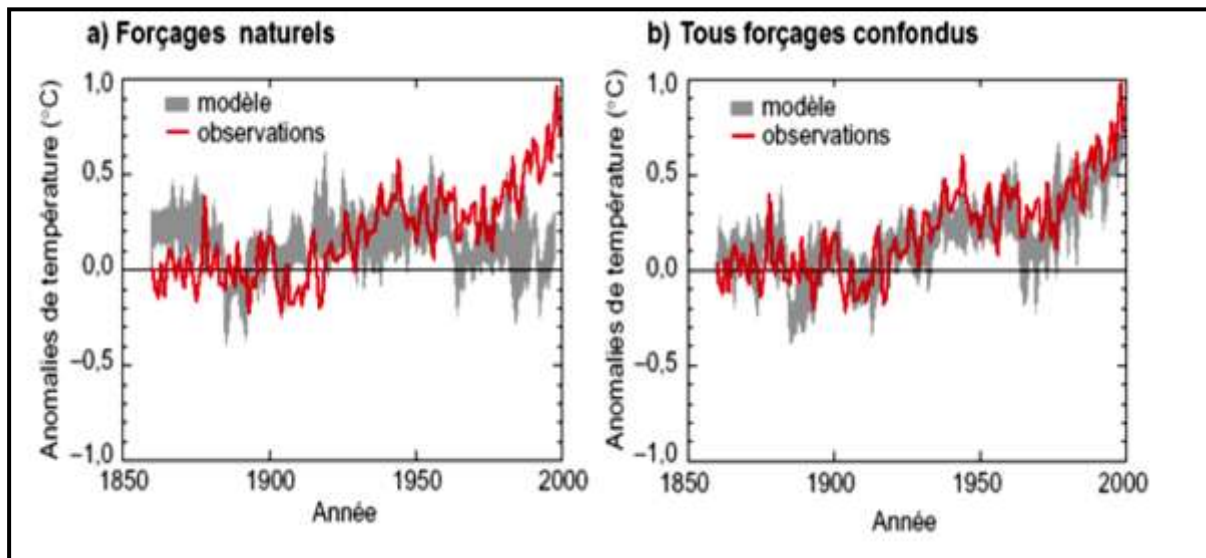


Figure 8 : Profil des des températures à l'échelle planétaire et interpolations obtenues à l'aide de modèles mathématiques : a) en utilisant les facteurs naturels, et b) en utilisant les facteurs naturels et effets des gaz à effet de serre et aérosols (Houghton et al., 2001)

L'analyse de séries historiques provenant de milliers de stations réparties sur l'ensemble du globe (GIEC, 2001; Salinger, 2005) a permis d'établir les éléments suivants (Tableau 4) :

Tableau 4 : Constat de l'évolution historique des températures et des précipitations à l'échelle du globe et hypothèses

Facteurs du climat	Faits observés	Hypothèses
Température	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement de l'ordre de 0,6° C depuis 1860 • La période 1990- 2004 était la plus chaude de toutes celles considérées • Deux périodes de réchauffement : <ul style="list-style-type: none"> - (1910 à 1945) : augmentation de 0,14° C, - (1976 à 1990) : augmentation de 0,17° C, • les températures minimales augmentent deux fois plus vite que les maximales. 	<p>Le réchauffement du 20^{ème} siècle est probablement le plus important de ceux constatés depuis les dernières mille années.</p>
Précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Tendence modérée (2%) à la hausse mais variable de la pluviométrie annuelle à l'échelle globale ; • Région boréales : diminution de 7à 12% ; • Région intertropicale : diminution de 3% par décennie ; • Europe : accroissement de 10% à 40% • Région méditerranéenne : diminution de 20%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il est probable qu'une augmentation de la fréquence des évènements de précipitations extrêmes s'est produite dans les latitudes moyennes et hautes de l'hémisphère Nord. • Les épisodes chauds du phénomène « El Niño» ont été plus fréquents, plus durables et plus intenses depuis le milieu des années 1970.

Ces évolutions des facteurs climatiques (figures 8 et 9a) s'accompagnent d'observations sur celles de la cryosphère et des océans (figures 9, 10 et 11). La surface de la couverture neigeuse a diminué d'environ 10% depuis la fin des années 1960 (figure 9c). Les données sur les marées montrent que le niveau moyen des mers s'est élevé de 10 à 20 cm pendant le 20^{ème} siècle (figure 9b). Il est très probable que cela est dû, au moins en partie, à l'expansion thermique de l'eau de mer et à la fonte de glace associée au réchauffement. De plus la masse globale des glaciers a chuté (figure 10), et l'étendue de la banquise de l'hémisphère nord a décru (figure 11).

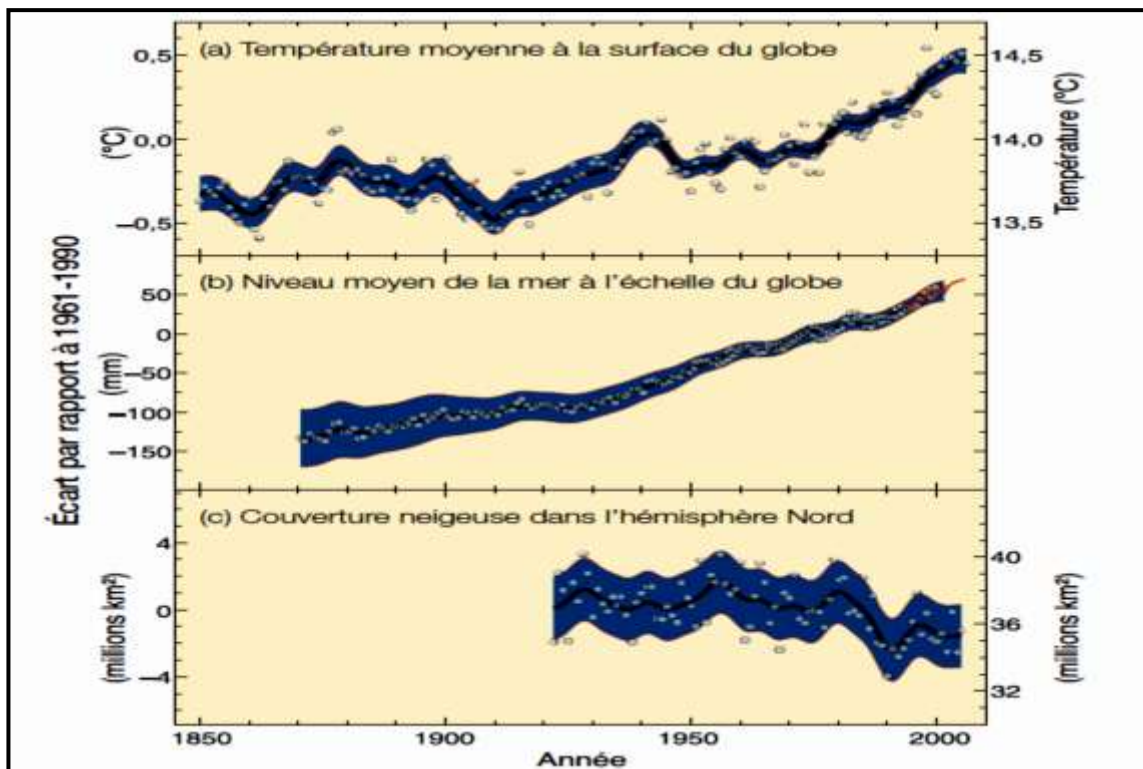
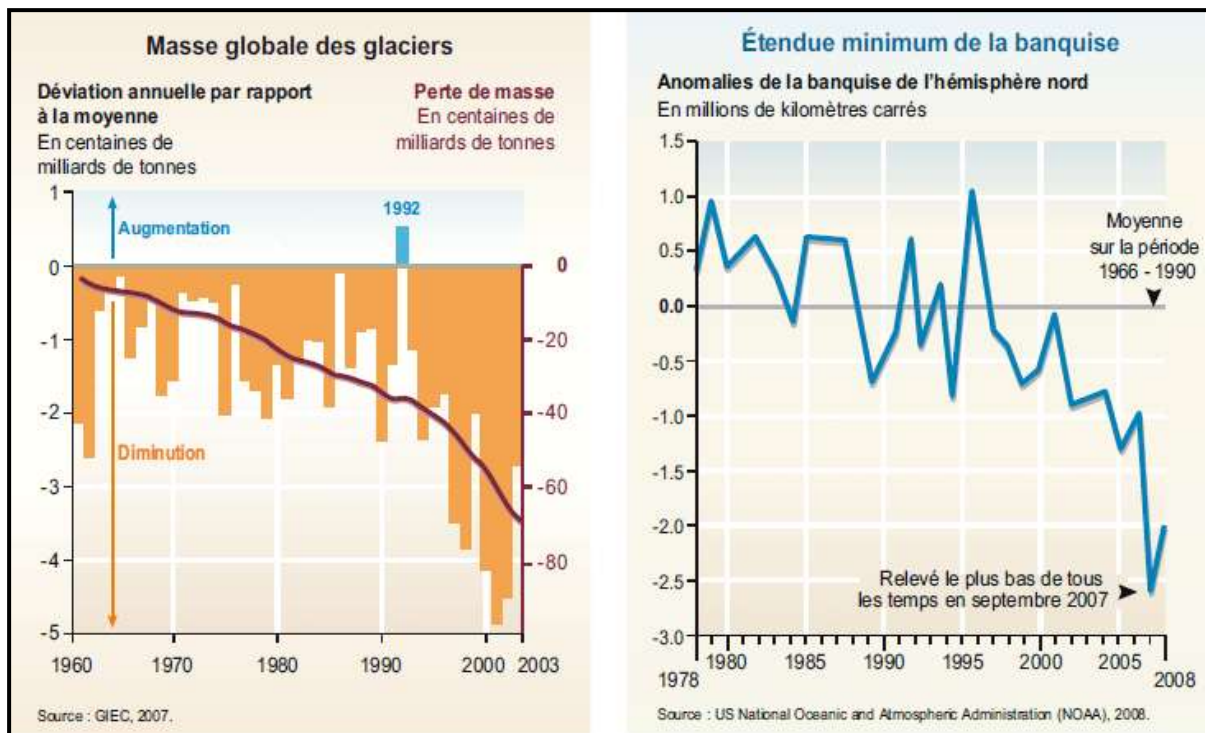


Figure 9 : Variations observées : a) de la température moyenne à la surface du globe, b) du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe, selon les données recueillies par les marégraphes (en bleu) et les satellites (en rouge), et c) de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord en mars-avril³ (GIEC, 2007).

En conclusion, le diagnostic formulé par le GIEC (2007) peut être résumé par cette phrase:

« Le réchauffement du système climatique est maintenant reconnu sans équivoque, car évident dans les observations de l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer. Les informations paléoclimatiques confirment l'interprétation que le réchauffement du dernier demi-siècle est atypique sur au moins les 1.300 dernières années. L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20^{ème} siècle est très vraisemblablement dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques. On peut maintenant discerner des influences humaines dans d'autres aspects du climat, comme le réchauffement de l'océan, les températures continentales moyennes, les températures extrêmes et la structure des vents».

³ Tous les écarts sont calculés par rapport aux moyennes pour la période 1961-1990. Les courbes lissées représentent les moyennes décennales, et les cercles correspondent aux valeurs annuelles. Les zones ombrées représentent les intervalles d'incertitude qui ont été estimés à partir d'une analyse poussée des incertitudes connues (a et b) et à partir des séries chronologiques (c)



**Figure 10 : Masse globale des glaciers :
 Déviation annuelle et perte de masse**

Figure 11 : Etendue minimum de la banquise : anomalies de la banquise de l'hémisphère nord

2.1.2. L'effet de serre, cause principale du changement climatique

Beaucoup de recherches ont porté sur cette question, dont la réponse est devenue de plus en plus certaine avec le temps : « (...) la majeure partie du réchauffement observé ces cinquante dernières années est imputable aux activités humaines » (Albritton and Filho, 2001); ce qui revient à dire qu'on ne peut expliquer le récent changement climatique qu'en prenant en compte les effets de concentrations atmosphériques croissantes de gaz à effet de serre (figure 8).

Les gaz à effet de serre (GES) comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde de diazote (N₂O) sont émis par des processus naturels, notamment la décomposition et la respiration des plantes, les éruptions volcaniques et les flux des océans. Une fois dans l'atmosphère, ces gaz piègent et reflètent la chaleur vers la surface de la Terre, selon un processus connu sous le nom d'effet de serre, qui est nécessaire pour le maintien de températures autorisant la vie sur Terre (Encadré 2).

Toutefois, au cours du siècle dernier, les activités anthropiques comme la combustion des combustibles fossiles et les changements d'affectation des terres ont considérablement accru les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (figure 12).

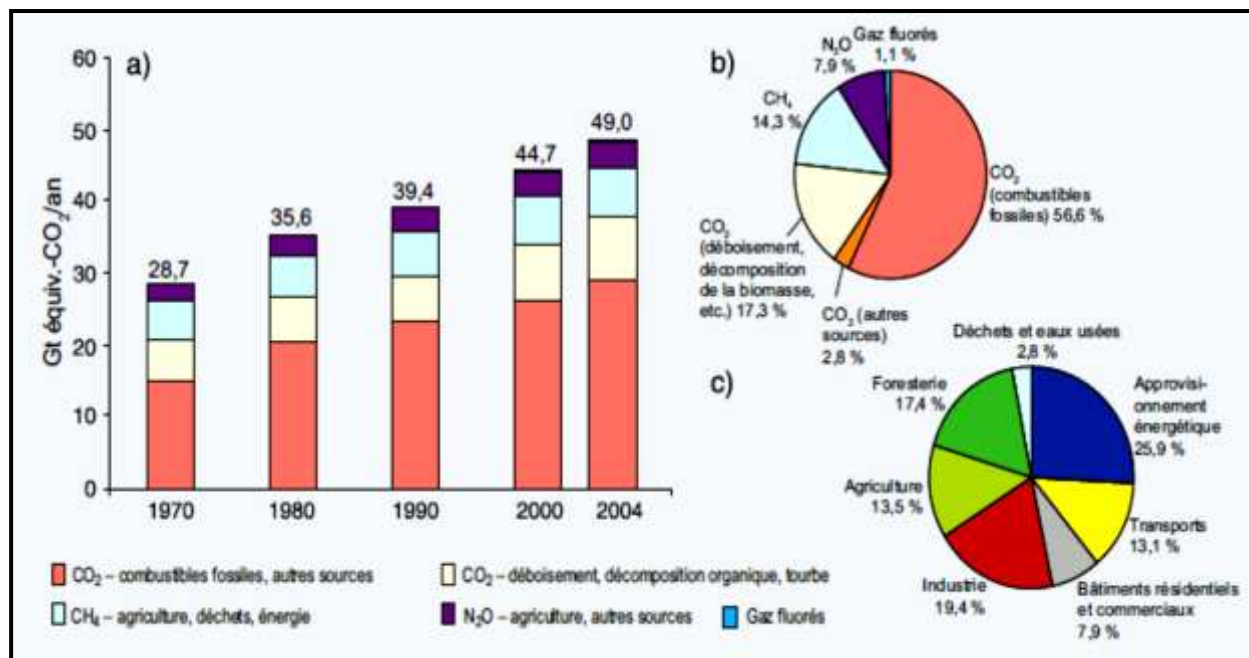


Figure 12 : Émissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques (GIEC, 2007)

- a) Émissions annuelles de GES anthropiques dans le monde, 1970–2004
 b) Parts respectives des différents GES anthropiques dans les émissions totales de 2004, en équivalent-CO₂.
 c) Contribution des différents secteurs aux émissions totales de GES anthropiques en 2004, en équivalent-CO₂. (La foresterie inclut le déboisement).

Ainsi, la concentration atmosphérique de CO₂ a augmenté d'environ **30%** depuis la révolution industrielle, passant de **280** parties par million (ppm) vers la fin du 18^{ème} siècle à environ 372 ppm en 2002 (Blasing and Jones, 2003). Les humains ont aussi introduit dans l'atmosphère d'autres gaz à effet de serre encore plus puissants, comme les halocarbures (les chlorofluorocarbures). Cet accroissement des concentrations des gaz à effet de serre attribuable aux activités humaines renforce l'effet de serre naturel de la Terre (Encadré 2).

Encadré 2 - Effet de serre et réchauffement climatique (GIEC, 2001)

L'effet de serre est un phénomène naturel, qui résulte de la présence dans l'atmosphère de gaz absorbant le rayonnement infrarouge thermique émis par les surfaces terrestres, et sans lequel la température moyenne du globe s'établirait aux alentours de **-18° C** au lieu de **+15° C**. On sait que l'effet de serre naturel est dû à la propriété de certains gaz de l'atmosphère d'absorber le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre, et de le renvoyer vers cette surface, entraînant son réchauffement.

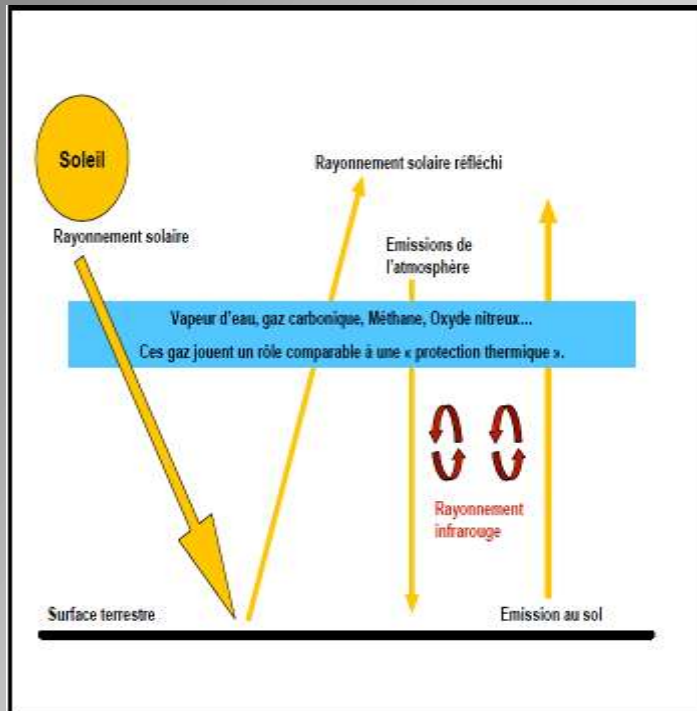


Schéma simplifié de l'effet de serre, redessiné d'après l'Institut d'aéronomie spatiale de Belgique.

D'autres gaz, présents naturellement à l'état de traces, comme le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N_2O) s'accumulent dans l'atmosphère.

Les chlorofluorocarbones (CFC) et d'autres gaz traces d'origine industrielle interviennent pour 14%. La concentration en méthane (CH_4) dans l'atmosphère a été multipliée par 2,5 et elle continue à s'accroître actuellement. Les sources de méthane sont à la fois naturelles (élevage, rizières, zones humides, feux de biomasse) et industrielles (gaz naturel, charbon). Quant au protoxyde d'azote (N_2O), s'il est émis en partie par l'industrie; ce sont les sols agricoles et les décharges qui sont responsables de la majorité des émissions.

La différence entre ce rayonnement émis par la surface (**390 W.m^{-2} en moyenne**) et le rayonnement émis par la Terre vers l'espace (**240 W.m^{-2}**) représente le **forçage radiatif (150 W.m^{-2})** lié à **l'effet de serre naturel de l'atmosphère**. Celui-ci est augmenté par l'accroissement des concentrations en gaz à effet de serre provoqué par les activités humaines. Un doublement de concentration du seul **CO_2** par rapport à sa concentration préindustrielle entraînerait un forçage additionnel de **4 W.m^{-2}** environ. L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre mélangés de façon homogène à la troposphère est la première cause du réchauffement; l'évaluation de leurs contributions respectives au forçage radiatif est illustré par les données suivantes :

Gaz trace	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	CFC-12	HCFC-22	CF ₄
Concentration pré-industrielle	280 ppmv	700 ppbv	275 ppbv	0	0	0	40 pptv
Concentration en 1998	365 ppmv	1745 ppbv	314 ppbv	268 pptv	533 pptv	132 pptv	80 pptv
Augmentation annuelle	1.5 ppmv/an 0.4%/an	7 ppbv/an 0.6%/an	0.8 ppbv/an 0.25%/an	-1.4 pptv/an	4.4 pptv/an 1.4%/an	5 pptv/an 5%/an	1 pptv/an
Durée de vie (années)	50 à 200	8.4 à 12	114 à 120	45	100	12	> 50 000
Contribution au forçage radiatif (W.m ⁻²)	1.46	0.48	0.15	0.07	0.17	0.03	0.003
Contribution au forçage radiatif (%)	60	20	6.2	2.9	7.0	1.2	0.1
Potentiel de réchauffement global (PRG)	1	62	275	6300	10 200	4800	3 900

ppmv : partie par million en volume (10⁻⁶) ; ppbv : partie par milliard en volume (10⁻⁹) ; pptv : partie par trillion en volume (10⁻¹²). La contribution au forçage radiatif est calculée depuis l'ère préindustrielle (1750) jusqu'à l'époque actuelle (fin des années 1990). Le potentiel de réchauffement global (PRG) est calculé pour un horizon de 20 ans en équivalents massiques CO₂. Par exemple, une tonne de CH₄ aura, à cet horizon, 62 fois le PRG d'une tonne de CO₂.

2.2. Conséquences et futurs probables du changement climatique

2.2.1. Scénarios d'émissions

Les scénarios servent à prévoir l'évolution possible des conditions dans l'avenir. Un scénario est une « description cohérente, structurée et plausible d'un état futur possible du monde » (Parry and Carter, 1998). On peut s'en servir pour obtenir des données utiles dans les études sur la vulnérabilité, les impacts et l'adaptation; pour circonscrire l'éventail des futurs plausibles; pour explorer les ramifications des décisions en matière d'adaptation et d'atténuation; et pour sensibiliser les gens au problème du changement climatique. Les scénarios jouent un rôle important dans la recherche sur les impacts et l'adaptation. Divers **scénarios climatiques** (Encadré 3) sont utilisés pour prévoir comment le climat pourrait changer au cours des années à venir (figure 13).

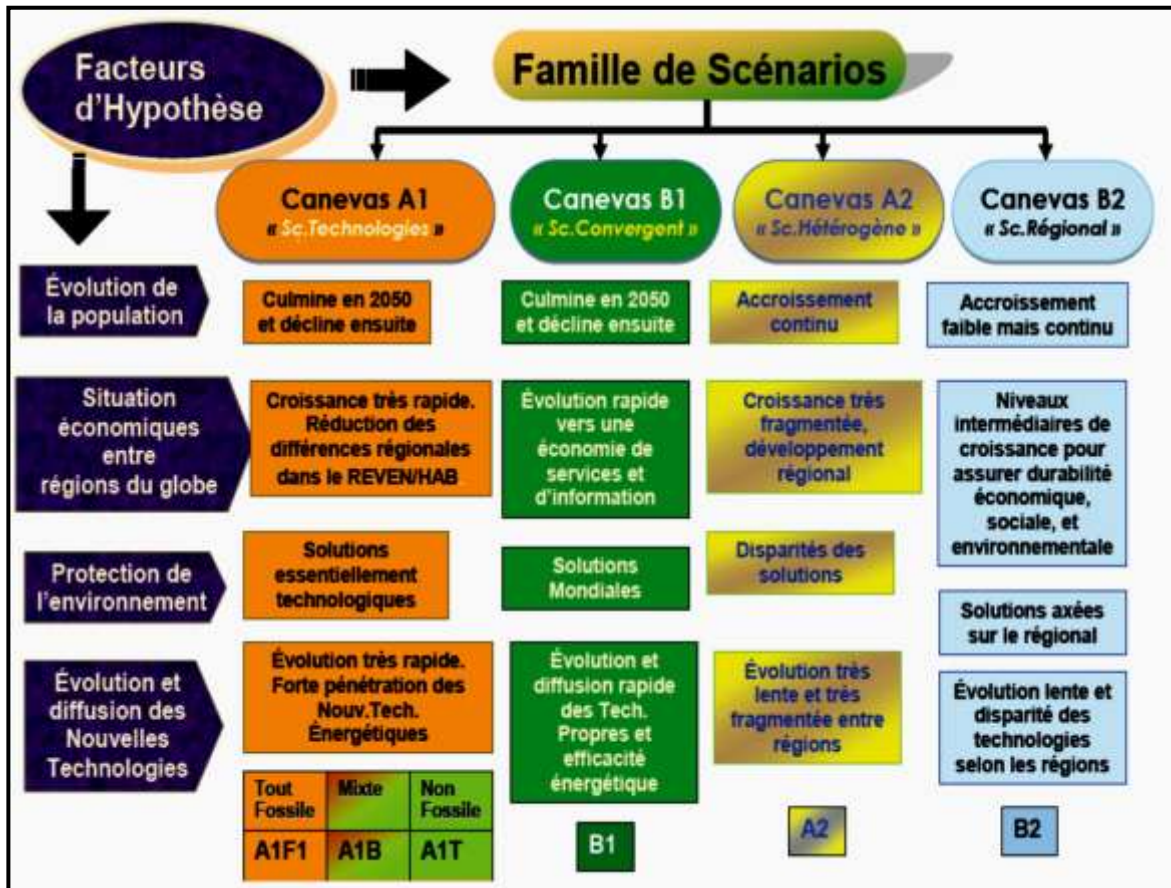


Figure 13 : Caractéristiques résumées des quatre canevas de Scénarios d'émissions du Rapport spécial sur les scénarios d'émissions (RSSE) du GIEC (1997)

Vers la fin du siècle présent, les modèles prévoient des concentrations atmosphériques en CO₂ situées entre **540** et **970 ppm**, à comparer avec une concentration avant la révolution industrielle de **280 ppm** et avec une concentration actuelle d'environ **380 ppm** (figure 14). Il en résulte que l'accroissement moyen de la température de surface se situe entre **1,5** à **6° C** de 1990 à 2100. La gamme de réchauffement en fonction des scénarios d'émission de GES va de 1,8° C (*avec une fourchette de vraisemblance de 1,1 à 2,9*) à 4,0° C (*fourchette de 2,2 à 6,4*) (figure 14). Il est presque certain que toutes les surfaces continentales se réchaufferont plus rapidement que la moyenne, particulièrement celles situées à haute latitude en saison froide.

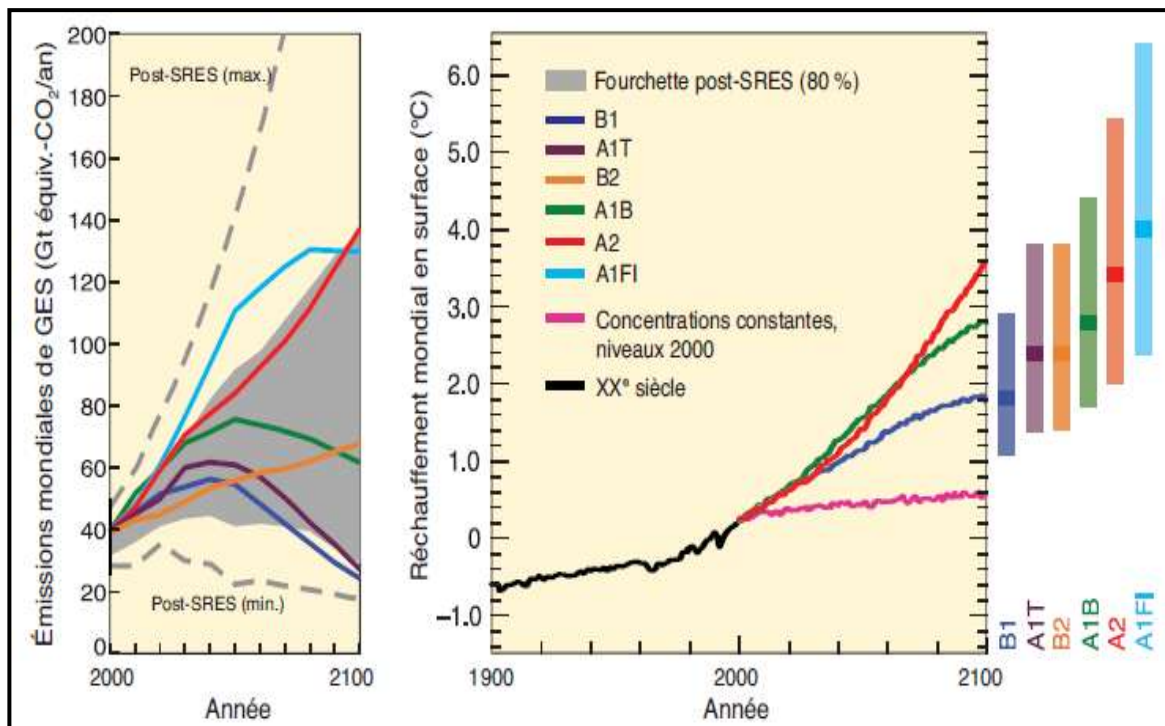


Figure 14 : Emissions mondiales de GES (GIEC, 2007)⁴

L'élévation du niveau des mers de 1990 à 2100 serait de l'ordre de 0,18m à 0,59 m, soit deux à quatre fois le taux observé pendant le 20^{ème} siècle. Une perte majeure de glace de l'Antarctique et une élévation accélérée du niveau des mers sont très peu probables au 20^{ème} siècle.

Au Maroc, par exemple, l'évolution des indices thermiques indique une tendance vers le réchauffement plus accentuée vers la région orientale et l'est du pays, sur le relief montagneux et le piedmont. Celle des indices pluviométriques affiche une tendance vers l'assèchement surtout en fin de la saison pluvieuse; période importante pour l'agriculture, et une tendance vers la migration du climat à caractère semi-aride vers le nord. En raison de sa latitude subtropicale, des influences sahariennes et des conditions méditerranéennes, le Maroc devrait connaître des taux de réchauffement supérieurs à ceux d'autres régions du monde.

⁴ **À gauche** : Émissions mondiales de GES en l'absence de politiques climatiques : six scénarios illustratifs de référence (SRES, lignes colorées) et intervalle au 80e percentile des scénarios publiés depuis le SRES (post-SRES, partie ombrée). Les lignes en pointillé délimitent la plage complète des scénarios post-SRES. **À droite** : Les courbes en trait plein correspondent aux moyennes mondiales du réchauffement en surface pour les scénarios A2, A1B et B1, en prolongement des simulations relatives au 20^{ème} siècle. La courbe en rose ne correspond pas à un scénario mais aux simulations effectuées à l'aide de modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) en maintenant les concentrations atmosphériques aux niveaux de 2000. Les barres sur la droite précisent la valeur la plus probable (zone foncée) et la fourchette probable correspondant aux six scénarios de référence du SRES pour la période 2090-2099. Tous les écarts de température sont calculés par rapport à 1980-1999.

Encadré 3 - Scénarios de base utilisés pour les projections et prévisions de l'évolution du climat

Il s'agit des scénarios d'émissions décrits dans le Rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions (RSSE, 2000). Ceux-ci sont regroupés en **quatre familles (A1, A2, B1 et B2)**, qui étudient différentes voies de développement en fonction d'un large éventail de facteurs de type (GIEC, 2007) : démographiques, économiques, technologiques ainsi que des émissions de GES qui en résultent.

CANEVAS A1. Le monde du futur tel qu'il est décrit dans les canevas narratifs et la famille de scénarios A1, se caractérise par une croissance économique rapide, un pic démographique vers le milieu du siècle suivis d'un déclin, et par l'introduction rapide de nouvelles technologies plus efficaces. Les principaux thèmes sous-jacents sont la convergence régionale, le renforcement des capacités et l'intensification des interactions culturelles et sociales, accompagnées d'une mise à niveau considérable des revenus régionaux par habitant. La famille de scénarios A1 se scinde en trois groupes, chacun présentant une orientation différente du développement technologique des systèmes énergétiques. Chacun des trois groupes de la famille A1 met l'accent sur une technologie différente : sources d'énergie essentiellement fossiles (A1FI), sources d'énergie non fossiles (A1T), ou équilibre entre toutes les sources (A1B) (« équilibre » signifiant que l'on ne s'appuie pas excessivement sur une source d'énergie particulière, en supposant que des taux d'amélioration similaires s'appliquent à toutes les technologies de l'approvisionnement énergétique et des utilisations finales).

CANEVAS A2. Les canevas narratifs et la famille de scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Le thème principal met en valeur l'autonomie et la préservation des identités locales. Les canevas de fécondité dans diverses régions ne convergent que lentement, avec pour conséquence une croissance démographique continue. L'orientation du développement économique y est principalement régionale et individuelle, la croissance économique et le développement technologique plus fragmentés et plus lents que dans d'autres canevas narratifs.

CANEVAS B1. De même que la famille de scénarios A1, les canevas narratifs et la famille de scénarios B1 décrivent un monde convergent, ayant la même tendance démographique, atteignant des maximums vers le milieu du siècle et déclinant par la suite, à cette différence que les structures économiques évoluent rapidement vers une économie de services et d'information, dans laquelle l'exploitation matérielle perdrait en intensité et où apparaîtraient des technologies propres, utilisant les ressources avec efficacité et discernement. L'accent est mis sur les solutions aux problèmes mondiaux posés par le développement économique, social et environnemental durable, y compris les mesures visant à assurer l'égalité, mais sans initiatives additionnelles relatives au climat.

CANEVAS B2. Les canevas narratifs et la famille de scénarios B2 décrivent un monde dans lequel l'accent est mis sur des solutions aux problèmes locaux du développement économique, social et environnemental durable. C'est un monde où la croissance démographique mondiale est en hausse constante, bien que plus lente par rapport au scénario A2, comportant des niveaux intermédiaires de développement économique et un développement technologique plus lent et plus diversifié que dans les canevas narratifs B1 et A1. Bien que ce scénario soit également orienté vers la protection de l'environnement et l'égalité sociale, il est axé sur les niveaux locaux et régionaux.

Pour chaque groupe des six scénarios A1B, A1FI, A1T, A2, B1 et B2 on a choisi un scénario illustratif. Tous les scénarios sont également fiables. Les initiatives additionnelles relatives au climat ne sont pas comprises dans les scénarios du RSSE, ce qui signifie que l'on n'inclut aucun scénario qui suppose expressément l'application de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques ou les objectifs d'émissions du Protocole de Kyoto.

La probabilité de phénomènes climatiques extrêmes devrait également changer au cours des années à venir. En effet Les augmentations de la fréquence des phénomènes extrêmes sont l'une des plus graves préoccupations dues au changement climatique. Ces extrêmes sont notamment des vagues de chaleur ou de froid, des sécheresses, des inondations et les tempêtes.

Au Maroc , les pertes récentes dues à une vague de froid persistante dans la localité d'Anfgou, dans la région d'Itzer, en 2007, occasionnant une trentaine de victimes humaines, et aux inondations telles celles de 2002, suite à des pluies extrêmes, témoignent de la vulnérabilité du pays à des événements semblables (Encadré 4).

Encadré 4 - Bilan des catastrophes climatiques au Maroc en novembre 2002

(Agoumi, 2003)

Lors de la semaine du 20 au 27 novembre 2002 le Maroc a connu l'une des plus importantes inondations de son histoire avec des dégâts matériels et humains considérables :

- Au moins 63 morts, 26 disparus, des dizaines de blessés;
- Des pertes importantes au niveau de l'habitat (24 habitations effondrées, 373 inondés,...);
- Des centaines d'hectares de terres agricoles endommagés;
- Des centaines de têtes de bétail emportées;
- Des unités industrielles subissant de graves dégâts notamment à Berrechid et Mohammedia :

Dans cette ville, la plus importante raffinerie du royaume (La SAMIR) a pris feu ce qui représenterait plus de 300 millions de dollars USD en pertes, sans compter la rupture d'approvisionnement du pays pendant plusieurs mois.

Il est à noter que cette année humide et pluvieuse succède à plusieurs années sèches ou partiellement sèches bien que la dernière année humide -1996 - a aussi été une année catastrophique pour le pays.



La poursuite des émissions de GES au rythme actuel ou à un rythme plus élevé devrait accentuer le réchauffement et modifier profondément le système climatique au 21^{ème} siècle. Il est très probable que ces changements seront plus importants que ceux observés pendant le 20^{ème} siècle. Le tableau 5 présente les projections des valeurs moyennes du réchauffement à la surface du globe à horizon la fin du 20^{ème} siècle (2090-2099).

Tableau 5 : Projections des valeurs moyennes du réchauffement à la surface du globe prévues pour la fin du 20^{ème} siècle (2090-2099) par scénario (GIEC, 2007)

Canevas	Scénario	Concentration CO ₂ (ppm)	Valeur probable	Intervalle probable
Convergent	B1	600	1,8	1,1 – 2,9
Technologies énergétiques	A1T Non Fossile	700	2,4	1,4 – 3,8
Régional	B2	800	2,4	1,4 – 3,8
Technologies énergétiques	A1B Mixte/équilibré	850	2,8	1,7 – 4,4
Hétérogène	A2	1 250	3,4	2,0 – 5,4
Technologies énergétiques	A1F1 Tout Fossile	1 550	4,0	2,4 – 6,4
Concentration constante		(niveau 2000)	0,6	0,3 – 0,9

2.2.2. Impacts observés et projetés du changement climatique

Les effets observés et probables sont décrits en détail dans le 4^{ème} Rapport du GIEC (2007), selon lequel, le changement climatique devrait se traduire par des transformations dans les répartitions géographiques des espèces végétales et animales en raison des modifications que subirait leur environnement. Ces transformations auront des conséquences sur le monde naturel et sur les biens et services fournis par les écosystèmes, comme par exemple l'eau et la nourriture.

Au fur et à mesure que les températures augmentent et que d'autres effets du changement climatique s'intensifient, les environnements seraient susceptibles de changer trop vite pour que les espèces aient le temps de s'adapter ou de migrer vers un autre environnement plus favorable. De même, les effets d'événements météorologiques extrêmes fréquents et intenses engendreront des urgences et des régressions en termes de développement. Toutefois les conséquences varieront selon l'adaptation, la vitesse de changement des températures et les choix socio-économiques.

Environ 20 à 30% des espèces seront confrontées à un risque accru d'extinction si le réchauffement global moyen dépasse 1,5 à 2,5°C. Lorsque la hausse moyenne de la température globale dépasse 3,5°C, les projections de modèles prévoient l'extinction massive de 40 à 70% des espèces connues à la surface du globe. Il s'agit de l'un des impacts irréversibles du changement climatique (figure 15).

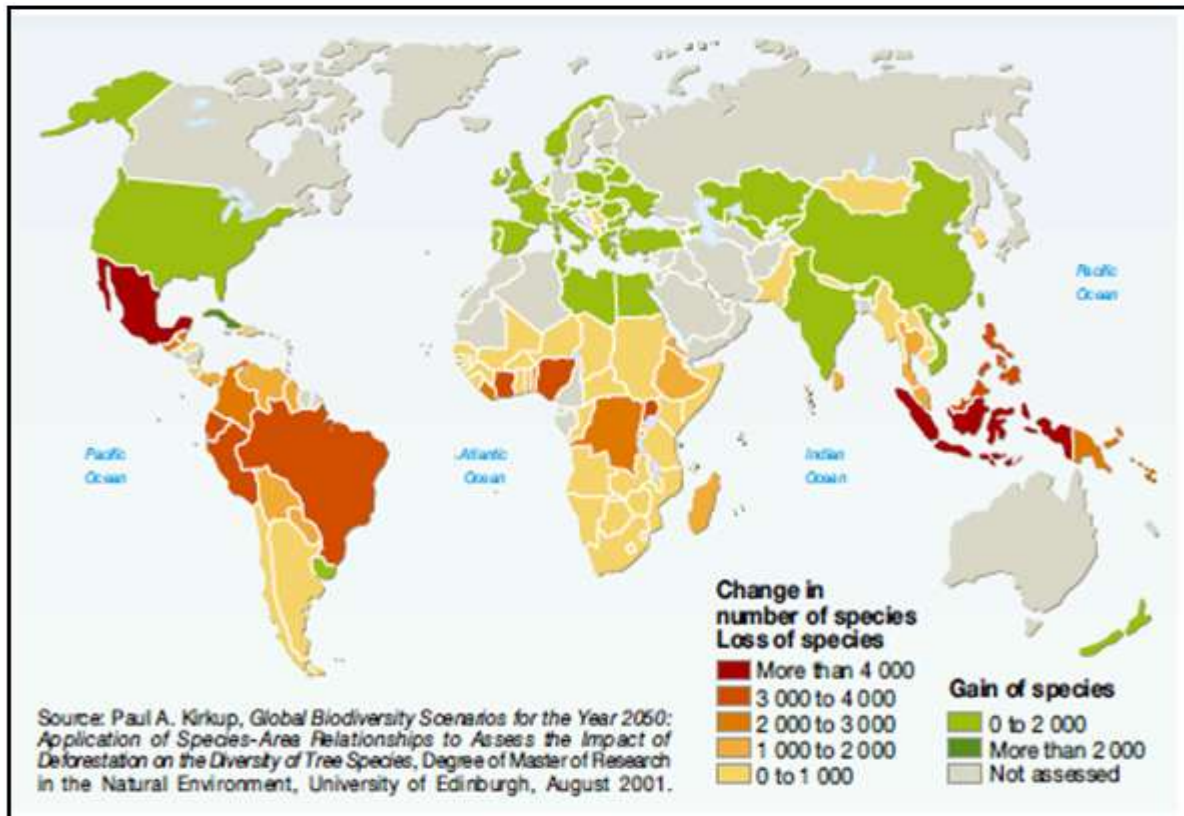


Figure 15 : Prévisions (2000-2050) des pertes en espèces de plantes à l'échelle mondiale (kirkup, 2001)

Les impacts du changement climatique sur les forêts doivent être analysés dans un contexte local. Toutefois, il est possible d'indiquer les impacts potentiels du changement climatique et les vulnérabilités de chacun des quatre grands domaines forestiers tels qu'ils sont définis par la FAO, à savoir les forêts : **boréales, tempérées, subtropicales et tropicales**.

Les écosystèmes méditerranéens relèvent du type **subtropical**. Selon des scénarios de croissance, ce type de forêt devrait être soumis à des températures croissantes, à une évaporation plus grande et à des pluies moins fréquentes. Les incendies vont devenir tout d'abord beaucoup plus fréquents et diminuer avec l'arrivée des pluies; parallèlement, le volume des carburants verts diminuera (Seppälä et al., 2009).

Les régions subtropicales contiennent beaucoup de points chauds de biodiversité hautement sensibles au changement climatique. Les projections suggèrent que **40 % de la biodiversité des forêts subtropicales peuvent être perdus**, même avec des scénarios stables. De nombreuses forêts subtropicales existent dans des environnements fragmentés et courent particulièrement des risques de disparition.

De nombreux pays subtropicaux sont en train d'augmenter leurs parts sur le marché du bois sur la base du bois disponible. Une rotation très courte sur des variétés d'arbres plantés permet de mettre en place une stratégie efficace d'adaptation au changement climatique parce qu'elle permet de cloner les espèces en tenant compte des conditions changeantes.

Au Maroc, le changement climatique prévu par les modèles, devrait avoir des impacts dans toutes les régions du pays et dans presque tous les secteurs de l'économie. Des augmentations, même modestes de la température, pourraient changer de manière drastique la disponibilité de l'eau; une augmentation de 1°C pourrait réduire les écoulements dans le bassin d'Ouergha de 10 % à l'horizon 2020. Les mêmes résultats pour les autres bassins versants aboutiraient à l'équivalent de la perte chaque année de l'eau contenue dans un grand barrage. Des impacts analogues sont prévisibles sur l'agriculture, la forêt (Encadré 5), la santé humaine et les maladies à transmission vectorielle.

2.3. Des incidences du changement climatique sur les forêts

2.3.1. Traits généraux des effets des variations climatiques

La végétation actuelle est le résultat d'interactions complexes entre la flore, le climat, les conditions édaphiques et la nature et la fréquence des perturbations d'origine anthropiques. Les facteurs climatiques qui déterminent sa structure et son fonctionnement sont principalement de nature hydrique : les précipitations et leur distribution annuelle, la température et l'évapotranspiration potentielle (ETP) et, leurs relations avec les précipitations. Le facteur édaphique principal est le substrat géologique qui conditionne en grande partie l'ampleur du réservoir-sol.

Les perturbations d'origine anthropique ayant un impact notable sur la dynamique de la végétation sont les coupes de bois (sylviculture), le pâturage et le feu. La modification de l'utilisation des terres conditionne pour partie le développement actuel des écosystèmes naturels. A ces perturbations s'ajoutent également les implications et effets des événements climatiques extrêmes (tempêtes, ouragans, tornades, avalanches,...), ou physiques (séisme, coulées volcaniques, coulées boueuses, glissement de terrains, etc.) dont l'effet est souvent catastrophique.

Le changement climatique peut également affecter un grand nombre de processus érosifs. Si les précipitations croissent en moyenne et en intensité, elles peuvent entraîner des chutes de rochers et des glissements de terrains. Un grand nombre de travaux relie les changements rapides dans les milieux naturels à l'accroissement de la variabilité climatique associée au changement dans la circulation atmosphérique globale (Cook et al., 1996; Kane et Buriti, 1997; Overpeck et al., 1997; Hunt et Davies, 1997; Hunt, 1998).

Dans la perspective d'identifier les moteurs de l'évolution des écosystèmes passés, de nombreux travaux ont mis en évidence l'influence du climat sur des phénomènes écologiques. En plus des travaux du GIEC sur les écosystèmes terrestres, les exemples les plus fréquemment cités sont : (i) les déplacements des limites latitudinales et altitudinales des arbres (Koerner, 1994; Solomon et Kirrilenko, 1997; MacDonald et al., 1998); (ii) l'extension ou la contraction de l'aire d'occupation des espèces ou les fluctuations des populations (Theurillat, 1995; Karafyllidis, 1998; Saetersdal et al., 1998); et (iii) les changements dans le rythme et les formes de croissance des arbres (Arseneault et Payette, 1997; Luckman, 1997; Luckman et al., 1997; Briffa et al., 1998a, 1998b).

Encadré 5 - Impact du changement climatique sur le cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas



Dépérissement du cèdre de l'Atlas (Et-tobi, 2008) dans la forêt d'Azrou dû au changement climatique :

A gauche : versant sud de la cuvette de Michlifène,

A droite : versant sud dans le canton de Boutrouba

▪ Apparition de nouveaux ravageurs dans le Rif <i>Ips sexdentatus</i> (xylophage)	
▪ Déplacement altitudinal (basse à haute) <i>haumetopea bonjeani</i> (Phytophage)	
▪ Augmentation du nombre de générations (3 à 5) <i>Orthotomicus erosus</i> (xylophage)	
▪ Évolution du degré d'agressivité (secondaire à primaire) <i>Phaenops marmottani</i> (xylophage)	

Exemples de conséquences du changement climatique sur les insectes forestiers ravageurs . Une augmentation des températures et de la sécheresse dans les montagnes pourrait favoriser des infestations plus intenses et plus répandues d'insectes forestiers ravageurs, ou faire apparaître de nouveaux ravageurs, ou modifier le comportement d'insectes secondaires (in Lhafi, 2008).

Le réchauffement récent de la planète, les changements de composition de l'atmosphère (concentration accrue de GES) et les augmentations locales de l'ensoleillement et des précipitations ont favorisé la croissance de nombreuses forêts au cours des dernières décennies (Boisvenue et Running, 2006), particulièrement, en zone tempérée (Europe, Canada) . Par contre dans les régions semi arides, les forêts peuvent accuser de fortes baisses de croissance ou des augmentations de mortalité dues à la sécheresse ou aux températures en hausse, tel le cas de la région méditerranéenne (Peñuelas, Lloret et Montoya, 2001).

Néanmoins, la croissance et la mortalité ne se limitent pas uniquement aux environnements xériques, les forêts plus humides du globe (des forêts tropicales aux systèmes boréaux) sont également très dépendantes de la sécheresse pour lesquelles des situations de mortalité ont été décrites (Clark ,2004 ; Nepstad et al. ,2007 ; Soja et al. 2007, etc.)

A l'échelle de la planète, les forêts couvrent actuellement 30% des terres émergées (FAO, 2006). Dans de nombreuses régions, celles-ci subissent des transformations rapides sous l'effet des impacts de la pression démographique et de l'essor économique. Le changement climatique au cours des cinquante dernières années a touché plusieurs aspects de ces écosystèmes y compris la croissance des arbres et leur dépérissement, les distributions d'espèces indigènes, la prolifération d'espèces envahissantes, les modèles saisonniers dans les processus d'écosystèmes et les dynamiques de population d'espèces forestières, les insectes et pathogènes, mais aussi les relations plantes – parasites (GIEC, 2007).

De façon générale, la mortalité des arbres dépend de multiples facteurs interactifs, allant de la sécheresse aux attaques d'insectes nuisibles et aux pathogènes, rendant souvent irréaliste la recherche d'une cause unique. Cependant, ce sont les facteurs abiotiques qui sont la base des problèmes de santé de forêt ; le stress climatique demeure considéré en tant que facteur déclenchant pour de nombreuses attaques d'insectes et de maladies (Desprez-Loustau et al., 2006; Raffa et al., 2008).

Les conditions climatiques influencent aussi directement la dynamique des populations d'insectes et d'agents pathogènes mycosiques (Hicke et al., 2006). En effet, certaines infestations massives d'insectes forestiers ravageurs pourraient être attribuées à des facteurs climatiques (Raffa et al., 2008). Indépendamment du mécanisme précis, le dépérissement est souvent un processus non linéaire ; il peut se manifester de manière brusque à l'échelle régionale lorsque les conditions climatiques dépassent les seuils physiologiques de tolérance de l'espèce, ou déclencher des infestations d'insectes nuisibles (Allen, 2007).

De nombreux rapports relient la mortalité accrue des forêts à diverses combinaisons climatiques comprenant la chaleur et/ou la sécheresse, comme à titre d'exemple, la sécheresse ayant sévi dans les zones tropicales à la suite d'évènements liés au : phénomène El Niño en 1988 et 1997-1998, le réchauffement persistant et diffus d'une grande partie de l'Amérique du Nord depuis les années 1990, et la sécheresse et vague de chaleur de l'été 2003 en Europe occidentale (Allen, 2009).

Des exemples récents de stress et de dépérissement des forêts liés à la sécheresse et à de fortes températures font l'objet de documentation récente dans tous les continents boisés à l'occasion de nombreuses publications. Les travaux de Allen (2007), et Allen et al. (2009) fournissent des détails plus exhaustifs à ce sujet (tableau 6).

Tableau 6 : Dépérissement et mortalité des forêts liés à la sécheresse à l'échelle mondiale (complété d'après Allen et al., 2009)

Régions/pays	Type de forêt
Afrique	
Maroc	<i>Cedrus atlantica</i>
Algérie	<i>Cedrus atlantica</i>
Namibie	<i>Aloe dichotoma</i>
Sénégal	Espèces d' <i>Acacia</i> , <i>Cordyla</i> , <i>Nauclea</i> et <i>Sterculia</i>
Afrique du Sud	Espèces de <i>Dichrostachys</i> , <i>Pterocarpus</i> et <i>Strychnos</i> dans le nord-est
Ouganda	Espèces d' <i>Uvariopsis</i> et <i>Celtis</i> dans la forêt tropicale humide
Asie et Pacifique	
Australie	Espèces d' <i>Eucalyptus</i> et <i>Corymbia</i> dans le nord-est
Chine	<i>Pinus tabulaeformis</i> dans les régions centrales et de l'est, <i>Pinus yunnanensis</i> dans le sud-ouest
Inde	Espèces d' <i>Acacia</i> , <i>Terminalia</i> et <i>Emblica</i> dans le nord-ouest
Malaisie	<i>Diptérocarpacées</i> dans les forêts tropicales humides de Bornéo
République de Corée	<i>Abies koreana</i>
Fédération de Russie	Espèces de <i>Picea</i> et <i>Pinus</i> dans les forêts tempérées et boréales de Sibérie
Europe	
France	Espèces d' <i>Abies</i> , <i>Fagus</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i>
Grèce	<i>Abies Alba</i> dans le nord
Norvège	<i>Picea abies</i> dans le sud-est
Fédération de Russie	<i>Picea obovata</i> dans le nord-ouest
Espagne	Espèces de <i>Fagus</i> , <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i>
Suisse	<i>Pinus sylvestris</i>
Amérique latine et Caraïbes	
Argentine	Espèces d' <i>Austrocedrus</i> et <i>Nothofagus</i> en Patagonie
Brésil	Forêt atlantique tropicale semi-décidue dans le sud-est
Costa Rica	Forêt tropicale humide
Panama	Forêt tropicale humide
Proche Orient	
Turquie	Espèces de <i>Pinus</i> et <i>Quercus</i> dans la région centrale
Arabie saoudite	<i>Juniperus procera</i>
Amérique du Nord	
Canada	Espèces d' <i>Acer</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> et <i>Populus</i>
Etats-Unis	Espèces d' <i>Abies</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Populus</i> , <i>Pseudotsuga</i> et <i>Quercus</i>

L'avenir du changement climatique et son impact sur les forêts ainsi que sur les services et sur les produits ne peuvent pas être prévus de façon certaine, mais, ils peuvent être approchés en utilisant des scénarios basés sur des affirmations possibles à propos de l'évolution démographique, socioéconomique, technique et environnementale.

A cet effet, le GIEC a développé des scénarios globaux d'émissions pour les gaz à effet de serre et les aérosols qui correspondent aux scénarios de changement climatique (RSSE). Ils peuvent être rassemblés en quatre groupes basés sur leur modèles d'émission pendant le 21^{ème} siècle : **inévitable, stable, croissance, et croissance rapide (Encadré 6).**

Encadré 6 - Groupes de scénarios utilisés pour prévoir l'impact sur les écosystèmes forestiers

Groupe I : « Inévitable »:

Les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère sont gelées au niveau actuel. Ce scénario ne peut pas être atteint de façon certaine, bien que les émissions progressent à un rythme croissant depuis l'année 2000. Ces scénarios, toutefois, permettent l'évaluation des besoins d'adaptation minimum parce qu'ils révèlent un réchauffement qui ne peut être empêché et qui, à cause de l'inertie du système climatique, prendra place suite aux émissions passées.

Groupe II : « Stable »

Dans les scénarios de ce groupe, les émissions de gaz à effet de serre diminuent au cours du siècle actuel en tant que résultats des changements d'importance socioéconomique qui permettent aux concentrations de CO₂ d'approcher un nouvel équilibre en 2100.

Groupe III : « Croissance»

Dans ces scénarios, les émissions continuent de croître au cours de ce siècle à des taux similaires de ceux de la 2^{ème} moitié du siècle dernier (i.e. « pas de changement»). Les concentrations de CO₂ de l'atmosphère continuent d'augmenter pendant des décennies jusqu'à 2100; le système climatique atteindra son point d'équilibre dans les siècles suivants.

Groupe IV : « Croissance rapide »

Les scénarios dans ce groupe sont similaires à ceux du groupe de croissance mais ils ont atteint des niveaux sans précédent et dépassent les scénarios du rapport spécial du GIEC.

Selon tous les scénarios et dans les quatre grandes régions biogéographiques, telles qu'elles sont définies par la FAO, à savoir les forêts : **boréales, tempérées, subtropicales et tropicales**, le changement climatique devrait affecter la distribution des types de forêts et des espèces d'arbres (figure 15). De façon globale, l'écosystème des forêts devrait **s'adapter de façon efficace** à l'impact du changement climatique associé aux scénarios des groupes inévitables et stables, mais aura des **difficultés d'adaptation** au changement associé aux scénarios de croissance et de croissance rapide (Seppälä et al., 2009).

La biomasse et les sols des forêts contiennent à peu près la moitié de la totalité de carbone des écosystèmes terrestres. Les forêts séquestrent actuellement un peu plus du quart des émissions anthropogéniques totales, ce qui constitue un important **service écosystème** dans le contexte du changement climatique. Toutefois, selon plusieurs projets de modèles, les services de régulation de gaz carbonique des forêts actuels pourraient disparaître complètement avec un réchauffement global de 2,5°C ou, de façon plus relative, lorsque tous les écosystèmes terrestres commencent à devenir des sources nettes de gaz carbonique. Ces émissions de gaz carbonique s'additionneraient aux combustibles fossiles entraînant ainsi la déforestation et la dégradation des forêts et exacerbant le changement climatique.

Ainsi, l'adaptation à elle seule ne serait pas suffisante pour préserver les services d'écosystèmes fournis actuellement par les forêts et pour diminuer les risques de perte significative de biodiversité. En plus de l'adaptation, l'atténuation qui ralentit le changement climatique reste nécessaire notamment grâce à une large réduction des émissions des combustibles fossiles et à l'arrêt de la déforestation.

Bien que plusieurs travaux dans les différentes régions du globe convergent quant à l'augmentation de la température et modification du régime des précipitations (Bradley et al., 1987; Diaz et al., 1989; Wang et al., 1992; Beniston et al., 1994; Brazdil et al., 1995; Kukla et al., 1995 ; Brazdil et al.,1996; Karl et al., 1996; Dessens et Barès, 1996; Easterling et al. 1997; Balling et al.,1998; Klink, 1999; Hasenauer et al.,1999); il n'en reste pas moins vrai que de grosses lacunes, non élucidées subsistent (Lebourgeois et al., 2001), en particulier : les variations de paramètres telles que la durée d'ensoleillement, le nombre de jours sans pluie, la fréquence des gelées hivernales et printanières, la longueur de la saison de végétation.

Ces paramètres sont discriminants pour la végétation forestière notamment, en ce qui concerne les conséquences sur les évolutions possibles des contraintes hydriques (Aussenac et Guehl, 1994 ; Aussenac, 2000), et le rôle majeur du climat pour expliquer les changements récents de croissance et les vagues de dépérissement (variation de l'état des cimes, mortalité...) observés dans différents écosystèmes forestiers à l'échelle du globe (Becker et al., 1995 ; Badeau et al., 1996; Allen et al., 2007 ; Et-tobi, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2007c, Et-tobi et al., 2008 ; Et-tobi et al., 2009 ; Allen, 2009).

2.3.2. Effets des variations du climat sur les écosystèmes forestiers : rôle de l'eau et du gaz carbonique

Les impacts attendus sur le fonctionnement des écosystèmes seront plus importants dans les climats à saisonnalité marquée, où la végétation subit de fortes contraintes climatiques saisonnières (Hoff et Rambal, 1998,1999). En effet, l'élévation de la demande évaporative, due à l'augmentation de température, combinée à la diminution de la quantité d'eau disponible provoquera une aggravation de la sécheresse estivale (Rambal et Debussche, 1995 ; Tessier, 1999). Il est par conséquent fondamental d'en comprendre les mécanismes et les effets pour les arbres et les peuplements forestiers (Brocher, 1977 ; Dreyer et al., 1992).

D'une façon générale, les réductions de croissance et d'échanges gazeux dans les peuplements forestiers (ONF, 1999) sont observées lorsque les réserves en eau du sol utilisables par les arbres, sont réduites à moins de 40% de la réserve utile maximale (soit **R.U.M < 0,4**). Ce manque d'eau dans le sol ou « sécheresse édaphique » peut être aggravé par l'existence d'une évapotranspiration potentielle élevée.

Le fonctionnement hydrique et photosynthétique et la croissance des arbres sont d'autant plus favorables que le rapport [**évapotranspiration réelle (ETR)/ évapotranspiration potentielle (ETP)**] est proche de 1. Dans le contexte climatique actuel ce rapport est très souvent inférieur à 1, même dans les zones favorables à la forêt. Ainsi, si les températures augmentent et si la pluviométrie est plutôt déficitaire en été, ce rapport sera encore plus faible ; la croissance en sera affectée et la survie de certaines espèces pourra aussi être compromise.

Le second facteur qui contrôle la consommation maximale en eau d'un peuplement forestier est son **indice foliaire (LAI : Leaf Aerea Index)**, c'est-à-dire la surface de feuilles, de tous les arbres, rapportée à la surface du sol (Bréda, 1999). Plus un peuplement présente une surface terrière élevée, plus son indice foliaire, et donc sa consommation en eau, sont également forts, même si des variations dans la structure et la composition en espèces peuvent modifier légèrement cette tendance (Landmann et al., 2003). C'est pourquoi limiter la surface foliaire constitue, en effet, un moyen de limiter la consommation en eau pour les arbres.

En effet, le contrôle de la surface foliaire par la sylviculture est utilisé comme moyen, par les forestiers, pour limiter les risques d'apparition de sécheresses critiques dans les peuplements ; il vise à ajuster l'indice foliaire des parcelles à la réserve en eau maximale du sol dans les conditions de climat local.

Les travaux à l'origine de ces constats suggèrent que l'amélioration des aptitudes de rétention en eau du sol est tributaire d'une répartition spatiale optimale des racines dans le sol, ce qui nécessite un bon mélange des essences et un peuplement pluri-étagé (de tout âge) pour maintenir cette qualité (Et-tobi et al., 2001, 2007, 2008, 2009).

Les réservoirs de carbone du sol jouent un rôle important dans le stockage du carbone atmosphérique tout en améliorant la productivité du site (par exemple, la rétention de l'eau et la fertilité des sols). Même si les réservoirs de carbone du sol ont été grandement appauvri en raison de la surexploitation et de la dégradation des terres au cours du siècle dernier, des pratiques adaptées d'aménagement du territoire associées au changement climatique pourraient accroître le réservoir de carbone du sol tout en atténuant le risque de perte de carbone causée par les événements extrêmes liés au changement climatique (par exemple, l'érosion du sol due à des pluies torrentielles, les incendies de forêts et la perte de couvert végétal attribuables à la sécheresse).

Le facteur souvent utilisé pour quantifier les échanges d'énergie, d'eau et de carbone entre la canopée des peuplements et l'atmosphère est **l'indice foliaire** (Hoff et Rambal, 2000 ; Et-tobi et al., 2007). En effet, la photosynthèse, la transpiration et l'interception du rayonnement solaire sont toutes reliées au Leaf Area Index (LAI); de même, que l'une des plus importantes sources de régulation du LAI est la disponibilité en eau. De ce fait, l'indice foliaire constitue un bon indicateur des changements qui affectent à court terme le fonctionnement des écosystèmes en terme de cycles de l'eau et du carbone sans pour autant affecter significativement sa composition floristique. Hoff et Rambal (2000) ont pu modéliser et quantifier l'évolution de ce paramètre pour le chêne vert (espèce méditerranéenne bien représentée au Maroc) dans le cas où les quantités de précipitations et les températures sont modifiées avec une tendance évolutive du même ordre que celle prévue par les scénarios du changement climatique (Encadré 7).

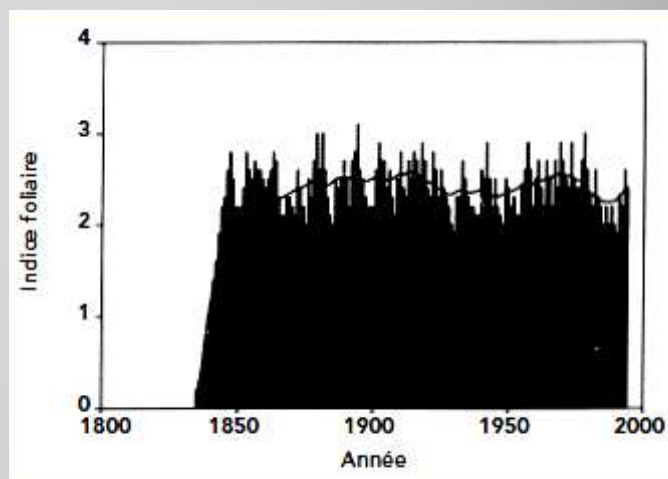
Encadré 7 - Fonctionnement d'un écosystème à chêne vert (étude de cas)

(Hoff et Rambal, 2000)

Différents modèles de simulation des flux d'eau et de carbone au sein des écosystèmes forestiers ont été proposés dans la littérature. Ainsi le modèle PnET développé par J. Aber du Complex Systems Research Center, Etats-Unis, en 1992 peut être utilisé au niveau régional pour simuler ces flux à l'échelle mensuelle. Il a été validé pour un écosystème à chêne vert caractéristique de la région nord-montpellieraine. Les données météorologiques en entrée du modèle PnET sont les moyennes mensuelles de température minimale et maximale, les précipitations et le rayonnement solaire mensuels. La série de données de pluies (1835-1995) montre une diminution significative de la pluie estivale. La variation de température qui a été appliquée à la série observée est égale à +0,7 °C/100 ans. Elle est similaire à la tendance au réchauffement mise en évidence sur des données au niveau global de la période 1861-1984. Le rayonnement solaire a été supposé inchangé dans cette simulation.

La valeur moyenne de LAI simulé par le modèle PnET est très proche de celle mesurée sur le même site par R. Joffre (CEFE) en juillet 1993. Cette valeur est représentative des écosystèmes de chênes verts poussant sur des sols à faibles réserves en eau. L'évolution du LAI (figure ci-dessous) montre la superposition de deux tendances : la première est une tendance à long terme (-5 %/100 ans) qui est le résultat de la diminution des pluies d'été signalée précédemment, la seconde reflète le comportement de l'écosystème face à l'alternance des années sèches et humides qui provoque des fluctuations du LAI entre 2,0 et 3,1. Ces fluctuations sont très importantes du point de vue écologique car elles représentent l'ajustement de la végétation aux ressources en eau. En réduisant la surface transpirante, la transpiration et le stress hydrique sont réduits ainsi que corrélativement les risques d'inflammabilité. Les variations de LAI ne sont toutefois pas assez importantes pour accroître sensiblement le rayonnement photosynthétiquement actif atteignant le sol et pour permettre le développement des espèces végétales de sous bois ou la régénération de cet écosystème par semis.

L'écosystème à chêne vert simulé avec le modèle PnET montre donc un équilibre stable. Les ajustements observés autour de la valeur moyenne d'indice foliaire révèlent les possibilités d'adaptation de l'écosystème face aux variations aléatoires et souvent importantes des apports d'eau par les précipitations, qui semblent exclure l'embranchement vers une nouvelle dynamique végétale.



Les végétaux des écosystèmes terrestres jouent un rôle central dans le cycle terrestre du carbone, en absorbant, au cours de la photosynthèse, le CO₂ contenu dans l'atmosphère et en stockant le carbone sous forme de biomasse. Le rendement photosynthétique dépend du type de végétal, des concentrations de CO₂ ambiant et de la température ainsi que de la teneur en éléments nutritifs et en humidité. Des niveaux plus élevés de CO₂ ambiant pourraient activer la croissance des végétaux grâce à l'effet fertilisant du CO₂ et à une meilleure utilisation de l'eau.

La réaction des végétaux à des concentrations plus élevées de CO₂ dans l'atmosphère (Vivin et al., 1996) est fonction, en partie, de la voie de photosynthèse (c'est-à-dire du **type de photosynthèse** ou type de **carboxylation** du végétal, cf. Encadré 8). Il en résulte d'importantes différences, selon les régions, quant à la réaction des végétaux à des concentrations plus élevées de CO₂.

La concentration atmosphérique en CO₂ affecte le fonctionnement des plantes de **type métabolique C3**, dont tous les arbres font partie par deux effets directs (Mortier, 1995 ; Vinvin et al., 1996) : **(i)** Une diminution de la conductance stomatique (degré d'ouverture des stomates) qui a pour effet de diminuer à la fois le flux transpiratoire de vapeur d'eau sortant des feuilles, mais également le flux diffusif d'entrée de CO₂ dans la feuille et **(ii)** Une stimulation de la photosynthèse induite, malgré l'effet de réduction de la conductance stomatique, par une augmentation de la concentration en CO₂ à l'intérieur de la feuille.

Ces effets s'expriment de façon très variable en fonction des espèces (ou même au niveau intraspécifique) et des conditions environnementales et nutritionnelles. Dans certains cas, ils peuvent même être inexistantes. Les recherches entreprises au cours des dernières années notamment (Mortier, 1995 ; INRA, 2000), ont essentiellement porté sur l'analyse de la croissance et de ces déterminants physiologiques (photosynthèse, concentrations en sucres dans les différents tissus...) ainsi que sur la tolérance à la sécheresse.

Les arbres forestiers, soumis à un doublement de la concentration (**700 ppm**), présentent dans leurs tissus un taux d'azote plus faible que ceux ayant poussé à la concentration atmosphérique actuelle. Ce phénomène appelé « **dilution de l'azote** » se traduit par une augmentation du rapport C/N d'autant plus élevée que l'assimilation de carbone est stimulée. En termes d'effet sur la croissance des arbres et des peuplements, les résultats obtenus sur différentes espèces (INRA, 2000) font ressortir une augmentation moyenne de 46% de la croissance en biomasse avec le doublement de la concentration en CO₂ avec cependant des différences entre espèces. L'effet stimulant du CO₂ sur la croissance est moins sensible en conditions nutritionnelles ou hydriques limitées⁵.

⁵ Ceci est plus souvent le cas pour les forêts méditerranéennes, qu'en conditions optimales.

Les interactions entre augmentation du CO₂ atmosphérique et tolérance à la sécheresse sont essentielles dans le contexte des changements globaux (Picon et al., 1996 ; Vivin et al., 1996).

Les travaux de l'INRA (2000), effectués, d'une part sur le pin maritime, espèce « évitante » caractérisée par une très grande sensibilité stomatique vis-à-vis des contraintes hydriques, et, d'autre part, sur les chênes (sessile, pédonculé et plus ponctuellement chêne liège), espèces « tolérantes » dont la sensibilité stomatique est moins importante, montrent que l'adaptation à la sécheresse met en œuvre des mécanismes différents.

En effet, la sensibilité stomatique à la sécheresse du pin n'est pas modifiée, cependant, celle du chêne pédonculé est augmentée. En dépit de ces résultats préliminaires, il reste toutefois à déterminer si cette différence est extrapolable à l'ensemble des espèces « évitantes » et « tolérantes » et à élargir l'analyse à l'ensemble des composantes de la tolérance à la sécheresse.

Encadré 8 - Les divers types de photosynthèse ou carboxylation

Il existe trois types de photosynthèse (type métabolique) qui correspondent à des adaptations différentes à deux caractéristiques du milieu, la température et l'intensité lumineuse (Teeri and Stove, 1976; Dajoz, 1996) :

Les végétaux du type métabolique (C3)

Ils comprennent de nombreuses espèces cultivées (blé, soja, tournesol,...), toutes les algues, de mauvaises herbes, la totalité des arbres et, d'une façon générale la plupart des espèces des régions tempérées. Le premier produit stable formé lors de la photosynthèse en C3 est l'acide phosphoglycérique qui renferme 3 atomes de carbone dans sa molécule. Le rendement de la photosynthèse nette est 2 à 3 fois plus faible chez les végétaux en C3 que chez les végétaux en C4, particulièrement aux températures élevées de l'ordre de 30 °C à 40 °C et pour des éclaircements intenses dépassant 30.000 lux. En outre, les plantes en C3 ont besoin de 2 fois plus d'eau que les plantes en C4 pour produire une quantité égale de matière sèche. Le rendement de la photosynthèse est faible en raison de l'existence de la photorespiration ; c'est-à-dire de l'oxydation d'un composé carboné, l'acide glycolique, qui se produit dans les cellules chlorophylliennes. La photosynthèse en C3 est le type primitif et le plus répandu chez les végétaux terrestres.

Les végétaux de type métabolique (C4)

Ils sont représentés par des espèces d'origine tropicale (maïs, sorgho), diverses graminées (*Andropogon*, ...), des mauvaises herbes poussant sur des sols salés ou arides (*Atriplex*, *Salsola*). Le premier produit stable de la photosynthèse, chez les plantes en C4, est l'acide oxalo-acétique à 4 atomes de carbone. Il existe chez ces végétaux une dissociation dans l'espace des étapes de la photosynthèse. La première étape a lieu dans les cellules du mésophylle (parenchyme chlorophyllien situé entre les nervures des feuilles), et l'étape suivante dans la gaine de parenchyme qui entoure les nervures. La productivité des végétaux en C4 est élevée car leur photorespiration est faible ou nulle. Leurs besoins en eau sont plus faibles. Le pourcentage de plantes en C4 dans les flores augmente vers les basses latitudes (Teeri et Stove, 1976). Elles sont nombreuses dans les régions arides et dans les régions tropicales, ce qui confirme la valeur adaptative de ce type de photosynthèse. La photosynthèse des plantes de type métabolique C4 ne répond pratiquement pas à l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique, cependant il semble que l'effet de fermeture stomatique puisse exister.

Les végétaux de type métabolique CAM (Crassulean Acid Metabolism)

Ces végétaux ont une faible productivité. Ils appartiennent aux familles des *Cactacées*, *Broméliacées*, *Orchidées*, *Mésambryanthémacées*, *Liliacées*, *Asclépiadacées*. La fixation du gaz carbonique se fait chez ces végétaux **la nuit**, lorsque les stomates sont ouvertes, d'où une moins grande perte d'eau. Les acides dicarboxyliques formés servent de réserve de gaz carbonique, mais ils interviennent aussi dans le maintien de la pression osmotique et dans le bilan d'eau. Le type CAM a un caractère adaptatif.

En termes de dynamique des peuplements forestiers, les résultats obtenus (Nys et al., 1995 ; INRA, 2000) permettent de prédire une accélération de la croissance initiale dont le résultat majeur pourrait être une diminution du temps nécessaire pour la fermeture des couverts. Cette conclusion est importante sur le plan du fonctionnement des peuplements et des écosystèmes et incite à penser qu'il sera nécessaire dans l'avenir de modifier les règles de conduite des peuplements (par exemple éclaircies plus précoces).

L'étude de la dynamique de la production ligneuse des forêts européennes, par exemple, montre des résultats convergents orientés vers une augmentation de la productivité des forêts, en relation avec des modifications environnementales d'origine anthropique, que les approches soient fondées sur des résultats et des extrapolations d'inventaires forestiers nationaux ou des investigations régionales étudiant l'accroissement radial des arbres. Ce fait est maintenant établi et seules les valeurs annoncées sont encore sujettes à caution (Mortier, 1995). Les facteurs explicatifs proposés sont d'abord la fertilisation des écosystèmes forestiers par certains polluants azotés notamment (5 à 20 kg/ha/an en moyenne) puis le changement climatique et l'enrichissement en CO₂. De nombreux modèles de croissance intègrent la variable CO₂ pour réaliser des simulations plus pertinentes, et mieux expliquer les gains de croissance observés au cours notamment des dernières décennies.

2.3.3. Implications pour la biodiversité

L'impact du changement climatique sur les écosystèmes forestiers est particulièrement important dans les régions de montagne, qui concentrent, sur de faibles superficies (zonation altitudinale), la plus grande biodiversité, et dont la plupart sont classées ou considérées comme des réserves naturelles. Le changement climatique est susceptible d'affecter significativement l'étagement altitudinal de nombreuses espèces.

Au-delà de l'intérêt propre de la biodiversité et de son rôle dans la préservation du capital génétique, nombre d'activités humaines sont dépendantes de leur environnement naturel (Ushe, 2005). L'impact du changement climatique sur la biodiversité peut être appréhendé à différents niveaux, selon qu'on se situe à l'échelle de l'individu (diversité génétique), d'un ensemble d'individus (diversité infraspécifiques), d'une espèce (diversité spécifique), ou d'assemblages entre espèces (diversité des écosystèmes).

Il conviendrait par conséquent de distinguer l'adaptation des individus (capacité d'adapter leurs organes aux conditions climatiques) de celle des espèces (du fait par exemple d'une certaine sélection naturelle ou de leur capacité de déplacement, d'essaimage) et de celle des écosystèmes (par les relations entre espèces, les phénomènes de compétition, la capacité de réponse au déséquilibre créé par le changement climatique, etc.). La nécessité d'une vision globale s'impose pour appréhender les interactions entre le changement climatique, les usages des terres et la dynamique biologique.

De nombreux travaux consacrés aux effets du changement climatique sur la biodiversité mettent l'accent sur le déplacement observé d'aires de répartition de certaines espèces ou habitats. Pour simplifier, les conditions potentielles sont réunies pour une migration vers le nord (de l'ordre de 400 à 800 km suivant les scénarios) ou en altitude (de 300 à 600 m) des espèces végétales ou animales.

La grande inconnue réside dans la façon dont cette évolution s'effectuera sur une période de cent ans, beaucoup plus courte que les périodes historiques (des milliers d'années) sur lesquelles elle s'est étalée. Là aussi, la biodiversité sera fortement affectée, surtout si on ajoute à ce panorama l'éventualité de l'apparition d'espèces invasives favorisées par le réchauffement. Ces prédictions reposent sur des évolutions du climat moyen. Il reste à évaluer les conséquences des événements extrêmes qui pourraient s'avérer déterminants pour moduler la tendance moyenne, comme l'ont démontré, entre autres, la tempête de fin 1999 ou la sécheresse/canicule de l'été 2003 en Europe.

Les conséquences d'un monde enrichi en CO₂ pourraient être si importantes à l'échelle de la planète que l'on ne pourra pas se satisfaire de réponses partielles sur des modèles trop simplifiés. La recherche s'intéressant aux conséquences écologiques d'un enrichissement en CO₂, fondée sur des expérimentations et des observations *in situ* d'écosystèmes forestiers, est actuellement très minoritaire. Même si la littérature récente présente de plus en plus de travaux réalisés *in situ*, elle porte sur un nombre très restreint de formations végétales. Il serait intéressant de multiplier les modèles d'études et de les appréhender de façon plus globale : bilan de carbone, croissance, nutrition, etc... Afin que des réponses pertinentes puissent être apportées aux questions fondamentales qui motivent tout l'effort scientifique : quelles sont les réactions des écosystèmes forestiers au changement climatique dans leur intégrité et leur complexité ?

3. Bases scientifiques des impacts du changement climatique sur les forêts méditerranéennes

3.1. Considérations générales

Parmi les modélisations à l'échelle régionale et mondiale présentées dans les divers rapports du GIEC, un grand nombre ont été obtenues à partir de deux hypothèses opposées sur la réaction possible des écosystèmes à l'évolution climatique mondiale. Ces hypothèses et théories sont aussi à la base de l'élaboration de divers outils mathématiques destinés aux simulations de l'évolution des écosystèmes et des espèces pour appréhender les distributions futures selon divers scénarios de projections climatiques.

Dans son dernier rapport d'évaluation, le GIEC (2007) précise que le nombre d'études relatives aux tendances observées dans l'environnement physique et biologique et à leurs relations avec le changement climatique régional a considérablement augmenté depuis le Troisième Rapport d'évaluation de 2001. De plus, la qualité des jeux de données s'est nettement améliorée, avec cependant un manque d'équilibre notable dans la répartition des données et de la littérature scientifique concernant les changements observés. Les données et la littérature en la matière demeurent grevés d'une **rareté critique au sein des pays en voie de développement**.

Dans le cadre du présent rapport, les investigations se sont malheureusement heurtées à ce constat dont le pays fait état. En effet, la recherche scientifique marocaine, en matière d'impacts du changement climatique sur les écosystèmes naturels, reste fragmentaire, voire à l'état embryonnaire, à l'exception des études sur le Cèdre de l'Atlas dont des résultats seront exposés dans le quatrième chapitre. Toutefois, le caractère représentatif de la méditerranéité des écosystèmes forestiers marocains ouvre la voie à l'exploitation et l'extrapolation prudente d'un certain nombre de résultats de recherches écologiques et forestières effectuées sur la rive Nord de la région, qui sont synthétisés dans cette section.

La communauté scientifique s'accorde à dire que la région méditerranéenne (dont l'Afrique du Nord) sera particulièrement touchée par les perturbations liées au changement du climat. C'est en effet une région déjà soumise à de fortes contraintes climatiques l'été, où le manque d'eau et les fortes températures vont de pair. Or, les modèles climatiques prédisent que c'est justement dans cette région que le réchauffement sera maximum l'été, avec un rallongement très significatif de la durée de la période de sécheresse, un réchauffement significatif et une diminution des précipitations (Houghton et al. 1996; Gibelin and Déqué, 2003).

Du point de vue thermique, les fourchettes fournies se situent entre une élévation de 0 et 2 à 2,5 °C sur une trentaine d'année, et pourraient se solder, dans la dernière de ces situations, par une extension notable de la région méditerranéenne (Médail et Quézel, 1996). Les limites de végétation pourraient commencer à se déplacer, vers le nord en zone méditerranéenne et vers le haut en montagne. Le processus de déplacement des zones de végétation, déjà entamé, devrait se poursuivre de 150 km à 550 km vers le Nord et de 150 m à 550 m en altitude.

De nombreux travaux relient les changements rapides dans les milieux naturels à l'accroissement de la variabilité climatique associée au changement dans la circulation atmosphérique globale (Cook et al., 1998 ; Kane et Buriti, 1997 ; Overpeck et al., 1997 ; Hunt et Davies, 1997; Hunt, 1998). Compte tenu des échelles de temps en jeu dans la dynamique biologique et écologique, et pour saisir les conséquences que peut avoir un tel changement climatique sur le dynamisme des communautés d'organismes, on doit s'en remettre à l'étude du passé pour trouver des équivalents aux processus actuels qui fonctionnent aux mêmes échelles de temps et d'espace.

Or, la reconstitution des paléoconditions (paléoclimatiques et paléoécologiques) fait appel à des indicateurs, dont l'enregistrement dépend de processus complexes et qui ne trouvent souvent leur expression qu'en des milieux ou conditions limites (Bégin et Tessier, 1998). Seules ces données fournissent des indications sur les rythmes des changements possibles et leur amplitude. Ce sont par ailleurs les seuls moyens de valider les modèles théoriques globaux ou régionaux de simulation de l'évolution dynamique de la végétation.

3.2. Méthodes et outils de modélisation des incidences du changement climatique

3.2.1. Des hypothèses et théories de migration des espèces

Deux hypothèses majeures et deux grandes théories de migration des espèces sont décrites (GIEC, 2007; Regato, 2008) : l'hypothèse du « mouvement des écosystèmes » et l'hypothèse de « modification des écosystèmes », les théories de « migration sur de longues distances » et les théories des « événements de dispersion rares de longue distance ».

L'hypothèse du « mouvement des écosystèmes » suppose une migration des écosystèmes relativement intacts vers de nouveaux emplacements très proches de leur climat et environnement actuels. De toute évidence, il s'agit là d'une extrême simplification de ce qui se passera dans la réalité.

Les connaissances biologiques de base indiquent que l'hypothèse du «mouvement des écosystèmes » a fort peu de chance de se produire en raison des *différentes tolérances climatiques* des espèces concernées, notamment : la variabilité génétique au sein des espèces, les différences en matière de longévité ou de capacité d'adaptation, et les effets des espèces invasives.

Il s'agit là d'une hypothèse de travail idéalisée qui a l'avantage de permettre d'utiliser le lien clairement établi entre les aires de répartition des écosystèmes et le climat actuel pour prévoir de nouvelles répartitions des écosystèmes dans de nouvelles conditions climatiques. En tant que tels, ces modèles sont utiles pour rechercher des effets possibles significatifs dans des scénarios de changement climatique.

L'hypothèse de « **modification des écosystèmes** » suppose que, parallèlement aux changements du climat et des autres facteurs environnementaux, il y aura des changements sur place de la composition et de la dominance des espèces. Ceux-ci se produiront lors de la diminution ou de l'extinction locale de certaines espèces et de l'augmentation de l'abondance d'autres espèces. La longévité individuelle, la structure des âges des populations existantes, et l'arrivée d'espèces invasives auront un effet modérateur sur ces changements.

Le résultat aboutirait à des types d'écosystèmes qui pourront être très différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui. Des données paléoécologiques indiquent que les types d'écosystèmes largement semblables à ce qui existent aujourd'hui ont existé par le passé, mais contenaient des combinaisons d'espèces dominantes désormais disparues.

Le problème de la théorie de la « modification des écosystèmes » réside dans la difficulté d'utilisation de cette hypothèse dans la prévision théorique des changements possibles en raison du manque d'informations détaillées sur la répartition actuelle de chaque espèce et de l'insuffisance de notre compréhension de leurs interactions (Gitay et al., 2002).

Ainsi, la plupart des études évaluant les incidences potentielles du changement climatique ont dû utiliser l'hypothèse du « mouvement des écosystèmes ». Ces études tendent également à être limitées aux prévisions des changements de la répartition de la végétation, avec l'hypothèse implicite, et souvent erronée, que les populations animales suivront les composants végétaux d'un écosystème. Cependant, des études d'observation et expérimentales mettent en lumière de nombreux cas dans lesquels les animaux réagissent aux changements d'ordre climatique et environnemental bien avant tout changement significatif de la végétation (GIEC, 2007).

Le cas de la région méditerranéenne est quelque peu particulier. En effet, les espèces méditerranéennes sont en général capables de vivre sous une gamme assez large de conditions climatiques, grâce à la plasticité individuelle (un même individu peut survivre sous une certaine gamme de conditions climatiques) et à la diversité génétique infraspécifique (chaque espèce est composée de nombreuses populations dont chacune s'est adaptée à ses conditions de milieu). Par ailleurs, la variabilité climatique va se surimposer à la variabilité édaphique du territoire, le changement climatique ayant un effet plus important sur certaines stations que sur d'autres. Le déplacement de l'aire des essences sera également influencé par la concurrence des essences en place et par la fragmentation des paysages à coloniser (Koskela et al., 2007). En définitif, la migration possible des essences forestières sous l'influence de l'évolution climatique se réaliserait plutôt selon le schéma « réaliste » de la figure 16.

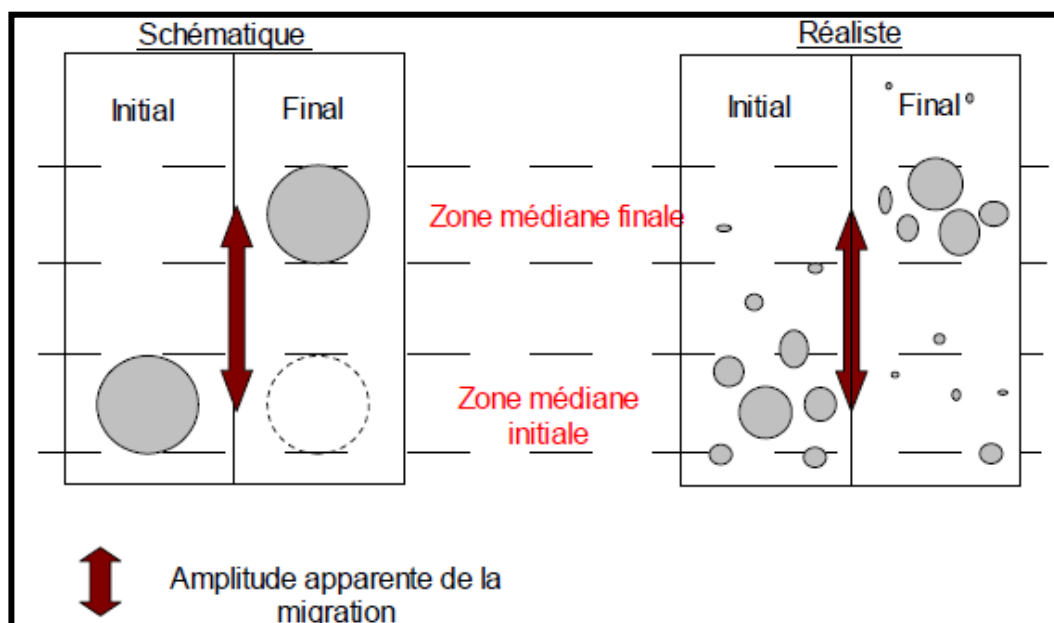


Figure 16 : Deux représentations de la migration des espèces forestières (Roman-Amat, 2007)

Les théories de « migration sur de longues distances » : la théorie des « super-espèces » et la théorie des « changements brusques » permettent de comprendre la manière dont les espèces forestières migrent sur de longues distances dans un court laps de temps (Regato, 2008).

Concernant la « théorie des super-espèces » , des études provenant du nord-ouest américain suggèrent qu'une colonisation rapide peut se produire lorsqu'une essence d'arbre colonisatrice échappe temporairement à des pathogènes spécifiques à l'hôte et se comporte telle une « *super-espèce* » jouissant d'un avantage compétitif transitoire sur les espèces autochtones.

Les chercheurs expliquent cette façon la propagation rapide du hêtre il y a 3.000 - 2.500 ans Before Present (BP) dans le nord ouest américain, suite au déclin rapide de la pruche du milieu à la fin de l'Holocène (une espèce compétitrice et autochtone au territoire en raison d'une propagation antérieure durant l'Holocène) lié à une prolifération de pathogènes forestiers (Moorcroft et al., 2006).

Néanmoins, il existe une différence significative entre la dispersion des espèces forestières en période post-glaciaire et les exigences de dispersion en réponse aux variations climatiques futures dans les territoires méditerranéens hautement hétérogènes et riches en espèces/habitats: les espèces forestières indigènes ne trouveront pas de territoires vides propres à la colonisation et les conditions préalables à leur transformation en « super-espèces » pourraient ne pas être réunies. Les changements dans les interactions entre espèces et dans les mécanismes de succession opèreront en parallèle avec les dynamiques des populations d'organismes pathogènes, ces derniers étant quasi-impossibles à prédire.

Dans une toute autre situation, les espèces forestières introduites évolueraient plus facilement vers des « super-espèces ». Tel est le cas d'un certain nombre d'espèces d'arbres exotiques dans toutes les régions biogéographiques du bassin méditerranéen (par exemple, *Pinus pinaster*, une espèce de l'ouest du bassin méditerranéen devenue espèce introduite très envahissante dans l'écorégion du Cap en Afrique du Sud). Ceci s'explique par une multiplicité de causes difficiles à comprendre, incluant, en outre, l'absence d'organismes pathogènes spécifiques à l'hôte.

Concernant la « théorie des changements brusques », elle a été utilisée par plusieurs auteurs (Carrion, 2003; Tinner et al., 2000 et 2005; Finsinger et al., 2006) afin d'expliquer la raison pour laquelle des changements brusques de la végétation durant les périodes antérieures de changement climatique, sont accompagnés d'une progression rapide des espèces xériques et d'une réduction significative ou de l'extinction d'espèces plus tempérées (figure 17).

Concernant la théorie des « événements de dispersion rares de longue distance », les archives paléoenvironnementales mettent en évidence des événements de dispersion de longue distance d'espèces arborescentes en réponse au réchauffement climatique de la fin de la dernière période glaciaire. Les auteurs expliquent que parallèlement aux taux normaux de dispersion de certaines espèces, des événements de dispersion rares de longue distance se produisent de façon sporadique (par exemple, la dispersion des graines par anémochorie suite à des tempêtes exceptionnelles, des ouragans, etc. ; la dispersion des graines par zoochorie suite à des mouvements exceptionnels de longue distance d'espèces de mammifères et/ou d'oiseaux).

Ces événements de dispersion rares entraînent l'apparition d'îlots de populations isolées, suivie d'une phase de repos pendant laquelle très peu de changements sont observables au niveau de l'aire de distribution, puis d'une phase active de progression explosive (Overpeck et al., 2003).

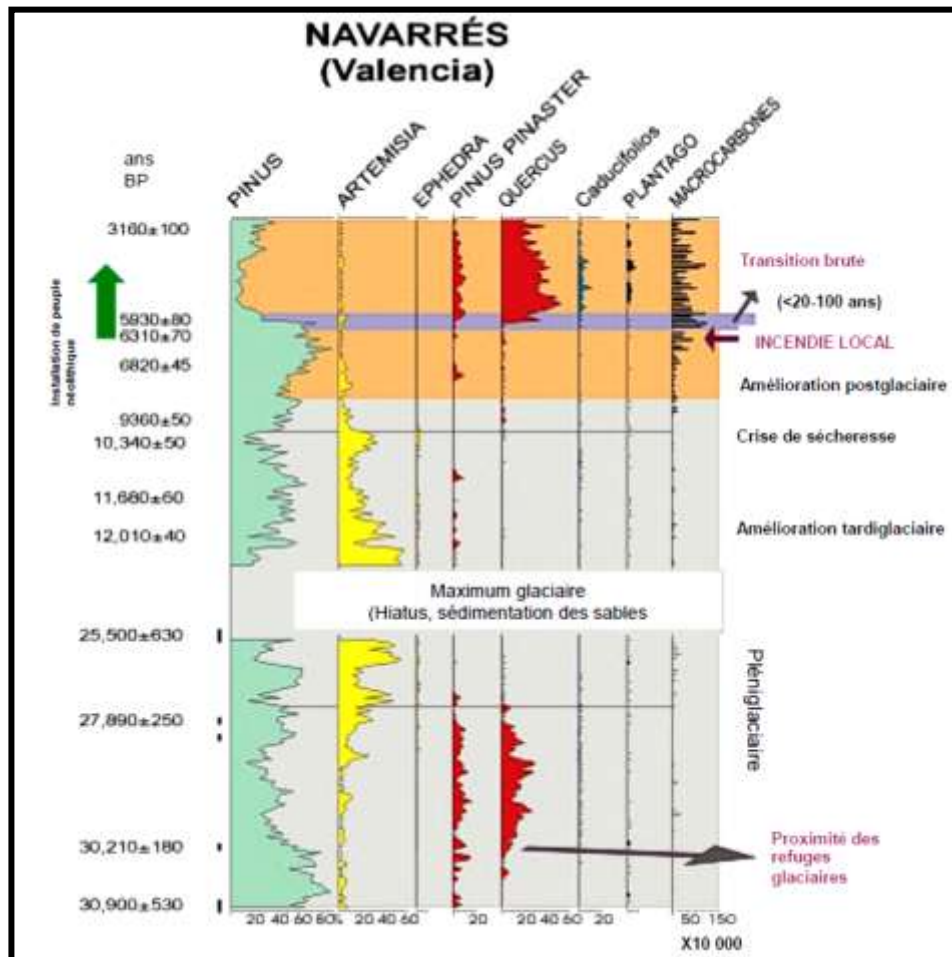


Figure 17 : Série pollinique illustrant un incendie comme élément moteur de changements brusques de la végétation, il y' a de cela ~ 6000 ans BP (Carrion, 2003).

Face à une accélération prévue des variations climatiques dans un avenir proche, les stratégies et les réactions adoptées par les différentes espèces forestières au cours des périodes antérieures de changement climatique, durant lesquelles de courts épisodes de modifications climatiques brusques et de perturbations à grande échelle se sont également produits, permettent de comprendre pour mieux appréhender la dynamique de la végétation des forêts méditerranéennes et de surcroît, la planification de stratégies adaptatives moins incertaines et moins risquées pour faire face aux conditions climatiques futures.

Les implications pour l'aménagement et la gestion, découlant de ces théories, devraient être nuancées en fonction des exigences et des mécanismes de réponse aux migrations des différentes espèces ainsi que les possibilités de préservation *in situ* dans les zones de refuge des paysages méditerranéens.

3.2.2. Modèles et outils de simulation des aires des espèces et des écosystèmes

Deux modèles types de simulations ont été utilisés au Maroc notamment pour la simulation de l'aire de distribution du cèdre de l'Atlas (Demarteau, 2006; Cheddadi et al., 2009). Le modèle **CARAIB** (**Carbon Assimilation In the Biosphère**) qui simule les flux de carbones et les aires de distribution de groupes de plantes ou d'espèces (Otto et al., 2002). Ce modèle CARAIB étant généralement utilisé pour simuler des répartitions de **groupes de végétaux ayant les mêmes Affinités Bioclimatiques** qu'on appelle par abréviation anglaise les « **BAGs** ». Toutefois dans la pratique, c'est en fait une version couplée de deux modèles, **IBM** (**Improved Bucket Model**) et **CARAIB** qui permet de réaliser les différentes modélisations. Le premier modèle évalue l'eau contenue dans le sol et l'épaisseur de la couverture neigeuse; le second est un modèle mécaniste du cycle du carbone dans la biosphère terrestre (Hubert et al., 1998, Otto et al., 2002).

Le **modèle IBM** (*Improved Bucket Model*) a été développé par Louis Francois et ses collaborateurs (Warnant et al. 1994, Hubert et al., 1998) pour calculer la disponibilité en eau dans le sol en fonction des variables climatiques (précipitations, températures et humidité de l'air, vitesse du vent et ensoleillement). Outre la quantité d'eau présente dans le sol, il calcule également l'évapotranspiration réelle, le ruissellement et l'infiltration. Le pas de temps est d'une journée.

Le **modèle CARAIB** est un modèle mécaniste du cycle du carbone dans la biosphère terrestre. Il simule les stocks de carbone de la végétation et les flux de carbone existant entre la végétation, l'atmosphère et le sol (Warnant et al., 1994 ; Hubert et al. 1998 ; Warnant, 1999 ; Otto et al., 2002 ; Laurent et al., 2004). Sa résolution spatiale est de 10'x10' en longitude et latitude (**10'** correspondent à environ 18 km à l'équateur). L'une des sorties les plus importantes du modèle est la **productivité primaire nette** (« **Net Primary Productivity** » ou **NPP**) : elle correspond au taux net d'absorption de carbone par les plantes vivantes.

Cinq réservoirs de carbone (Otto et al., 2002) sont considérés par le modèle (figure 18). Les différents flux de carbone et d'eau pris en compte par le modèle sont les suivants : budget en eau du sol ; photosynthèse; respiration autotrophe ; allocation des photosynthates; production de litière et mortalité ; respiration hétérotrophe; biogéographie et BAGs (*Groupes d'Affinité bioclimatique*)

La **NPP** et l'**indice foliaire** (LAI) permettent de déterminer la fraction couverte par différentes associations végétales. La version récente de CARAIB simule des BAGs, c'est à dire des « Groupes d'Affinité Bioclimatique » définis par leurs enveloppes climatiques d'après les concepts de biogéographie prédictive. Ils sont caractérisés par des distributions géographiques différentes, liées à leurs tolérances et besoins climatiques (Laurent et al., 2004 et Dubois-Laurent, 2005).

Les données d'entrée les plus importantes des deux modèles sont les données climatiques de la région étudiée, les données pédologiques et les paramètres caractérisant les types de végétation considérés. Le modèle requiert ainsi 6 principales entrées climatiques (Hubert et al., 1998) qui sont : la température moyenne journalière, l'amplitude de la variation diurne de température, l'ensoleillement relatif, l'humidité relative de l'air, la vitesse horizontale du vent, et les précipitations.

En ce qui concerne les données pédologiques, le modèle nécessite le type de sol qui permet d'identifier les zones de lithosols, sur lesquels la profondeur racinaire est supposée égale à 10 cm, ainsi que le détail de la texture du sol (pourcentage moyen de sable, limon et argile dans la couche racinaire; essentiellement au premier mètre de sol). La texture du sol permet notamment d'évaluer la conductivité hydrique des sols utilisés dans le calcul des flux de ruissellement et de drainage.

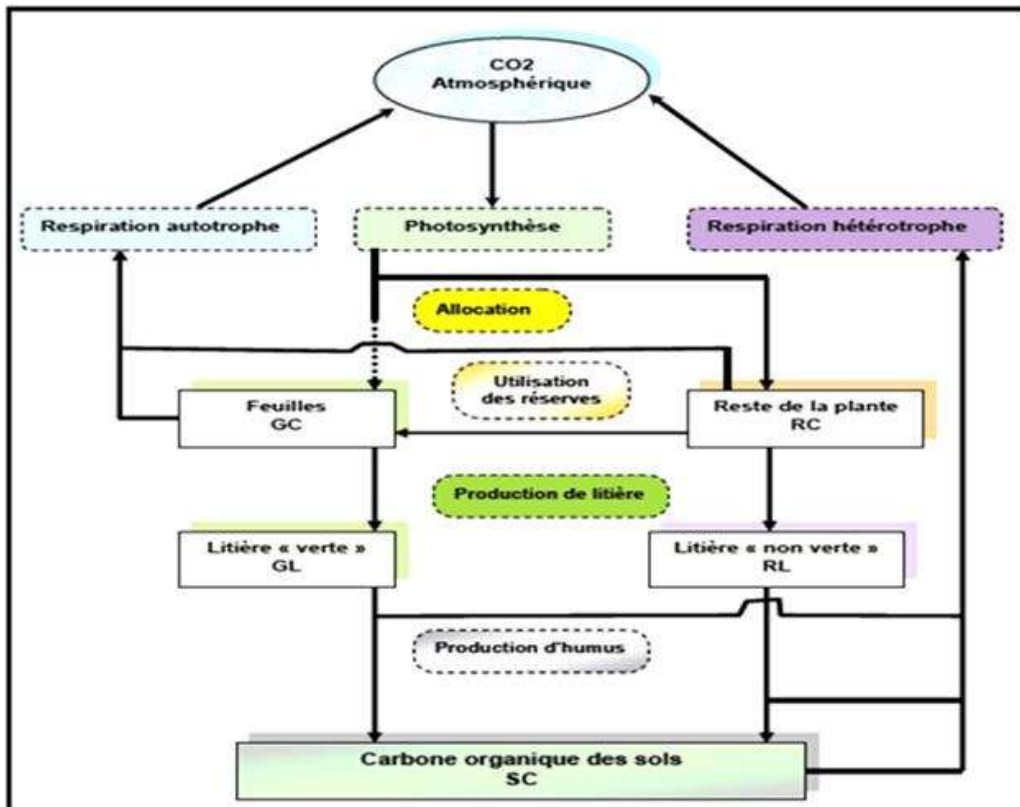


Figure 18 : Représentation schématique des cinq réservoirs de carbone et des flux dans CARAIB (d'après Warnant, 1999)¹.

Les paramètres décrivant la tolérance climatique conditionnent fortement l'aire de répartition de la plante. Chaque type de plante est caractérisé par un ensemble de paramètres décrivant sa tolérance climatique (conditions climatiques induisant un stress sur la plante ou empêchant la germination, contenu en azote des tissus, taux de respiration, profondeur racinaire moyenne, etc.). De plus amples détails sur l'utilisation pratique du modèle sont présentés dans : Hubert et al., 1998 ; Otto et al., 2002 ; François, 2004 ; François et al., 2006.

3.3. Synthèse des impacts observés et projetés pour les écosystèmes méditerranéens

3.3.1. Déplacements des aires de distribution d'espèces et d'écosystèmes

Les observations portant sur les déplacements des aires de distribution parallèlement au changement climatique continu sont nombreuses, particulièrement en Europe du Nord, où des notes d'observation pour plusieurs espèces d'oiseaux, de papillons et de plantes ont été transcrites depuis le milieu 18^{ème} siècle (Parmesan, 2006). Des preuves de l'influence du changement climatique sur les aires de distribution des espèces et sur les limites des écosystèmes ont également été observées au niveau de la végétation méditerranéenne, malgré la singularité des preuves fournies.

Les bandes altitudinales des zones biotiques semblent avoir subi un déplacement ascendant ; par conséquent, des conditions climatiques plus sèches et plus chaudes caractérisent des territoires dont le climat était autrefois plus froid et plus humide. Plusieurs observations notées dans différentes régions du bassin méditerranéen prouvent ce constat :

- Le déplacement ascendant et vers le nord d'espèces sahariennes telles que *Fredolia aretioides* et *Zilla macroptera* dans les régions de basse montagne du Haut Atlas et de la partie est du Moyen Atlas (Medail & Quezel, 2003). Ces observations effectuées sur les revers méridionaux des portions orientales du Haut et Anti Atlas, ont démontré que les limites septentrionales des associations végétales à caractère désertique correspondaient, en 1991, à l'isohyète de 150 mm de pluie par an. Au début des années 1960, ces mêmes limites coïncidaient avec l'isohyète de 100 mm, ce qui prouve que les associations végétales à caractère désertique se sont étendues vers le Nord en gagnant quelques dizaines à une centaine de kilomètres (Benabid, 1995).

- Le déplacement de 200 m en amont des pins d'Alep dans les montagnes du sud de la France (massif de la Sainte-Baume) qui occupent l'aire de distribution en basse altitude des forêts de pins sylvestres. Dans cette zone écotonale, le pin sylvestre se distingue par un taux de croissance ralenti et a subi un dépérissement terminal durant la période de sécheresse extrême de 2003 (Vennetier et al., 2005).
- Un remplacement progressif des écosystèmes froids tempérés par des écosystèmes méditerranéens dans la chaîne de montagnes de Montseny (Catalogne, nord-est de l'Espagne) a été observé depuis 1945. Les forêts de hêtres (*Fagus sylvatica*) se sont déplacées d'environ 70 m en amont aux altitudes les plus hautes (1.600 à 1.700 m). Les forêts de hêtres et les landes de bruyères (*Calluna vulgaris*) sont remplacées à moyenne altitude (800 à 1.400 m) par le chêne vert (Peñuelas & Boada, 2003).
- La limite forestière et la répartition altitudinale des espèces alpines en Europe se déplacent en altitude (Walther et al., 2002) . Cependant, les déplacements ascendants doivent être rigoureusement analysés car ils pourraient être associés à l'abandon des pâturages de haute montagne ainsi qu'à la recolonisation de ces espaces par la végétation forestière qui a permis de rétablir la limite forestière naturelle existant avant l'intervention de l'homme (jusqu'à 300 m plus élevée que la limite forestière actuelle).

Le réchauffement climatique, combiné à la perte d'habitat et à d'autres facteurs du changement biologique, pourrait mener à un déclin important de la diversité écologique en montagne et dans les autres régions où les espèces se trouvent à la limite méridionale de leur aire de distribution latitudinale (Wilson et al., 2007). Dans ce contexte, de très vastes étendues de peuplements forestiers morts sur pied ont été observés sur les revers méridionaux des portions orientales des Moyen et Haut Atlas, dans la Mamora et le Gharb. Dans les portions orientales des Moyen et Haut Atlas marocains, les écosystèmes des cédraies et juniperaies ont péri, d'autres sont en voie de dépérissement sur de vastes étendues (Et-tobi, 2006, 2007, 2008; Mhirit et al.; 2008).

3.3.2. Migration et extinction des espèces

La capacité migratoire dépend du niveau de production de graines de chaque espèce, ainsi que des stratégies de leur dispersion. Néanmoins, il est assez difficile de prévoir la distance de parcours des graines, puisqu'elle dépend d'une grande variété de processus (Higgins et al., 2003). Les connaissances limitées du taux de migration potentiel des espèces limitent notre habilité actuelle à prévoir les impacts du changement climatique sur leur distribution géographique future, sur la taille de leurs aires de distribution, et même sur la menace potentielle de leur extinction (Midgley et al., 2007).

La migration des plantes reste une incertitude majeure en ce qui concerne la prédiction de la réaction de la végétation au changement climatique, pour plusieurs raisons (Midgley et al., 2007) et plus particulièrement :

- Les aires de distribution actuelles des espèces pourraient dépendre de facteurs autres que le climat, tels les régimes de perturbation, les dégradations anthropiques et/ou les interactions importantes entre les espèces.
- La dynamique de changement des aires de distribution des essences forestières arborescentes peut difficilement être prédite en raison des délais impartis dans le taux de mortalité adulte, ainsi que des mécanismes autorégulateurs des peuplements forestiers (c'est-à-dire les conditions microclimatiques à l'intérieur des peuplements forestiers matures) qui pourraient freiner la contraction des aires de distribution.
- L'influence contradictoire de l'impact humain qui pourrait, d'une part, constituer un obstacle et un filtre à la dispersion, empêchant ou ralentissant les taux migratoires, et d'autre part, accélérer les taux de dispersion par l'introduction artificielle d'espèces.

Le changement climatique entraînera non seulement un déplacement ascendant des bandes de végétation montagneuse, mais affectera également la compétition interspécifique en raison de la capacité migratoire et de la vitesse de chaque espèce. Les végétaux pourraient ne pas être en mesure de migrer assez rapidement ; leurs chances de migration seraient donc limitées par des facteurs de nature édaphique, ou hydrique, ainsi que les obstacles anthropogéniques à la migration.

Il est possible que les chances de migration de nombreuses espèces soient limitées par la réduction de l'espace disponible pour les espèces dans les régions de haute montagne, ainsi que par l'absence de certaines exigences relatives à l'habitat. Tel pourrait être le cas de nombreuses espèces végétales endémiques, dans la région méditerranéenne, dont les aires de distribution sont limitées (figure 19). Ces étapes représentent le groupe endémique régional le plus répandu et constitue l'assise de base de la biodiversité méditerranéenne, particulièrement en montagne et dans les îles (Thompson, 2005).

Plusieurs scénarios de changement global (Thuiller et al., 2004) s'accordent sur le fait que l'évolution climatique dans les montagnes méditerranéennes pourrait augmenter le risque d'extinction grave d'espèces, voire de communautés végétales et engendrer le déclin significatif de la diversité biologique en raison de problèmes migratoires et de compétition interspécifique. Cette situation pourrait affecter plusieurs espèces endémiques dans chacune des principales chaînes montagneuses de la Méditerranée.

La majorité des régions montagneuses de la portion méditerranéenne de l'Europe risque de perdre sa diversité biologique (Ohlemüller et al., 2006). Les auteurs font particulièrement référence à la flore et à la faune des chaînes montagneuses de l'Ibérie du nord et de l'Ibérie centrale qui, selon les prédictions, se caractériseront ultérieurement par des conditions climatiques uniques en Europe. Cependant, l'extinction serait moins sévère dans les portions les plus méridionales de la région caractérisées par la présence d'espèces bien adaptées à la chaleur et à la sécheresse.

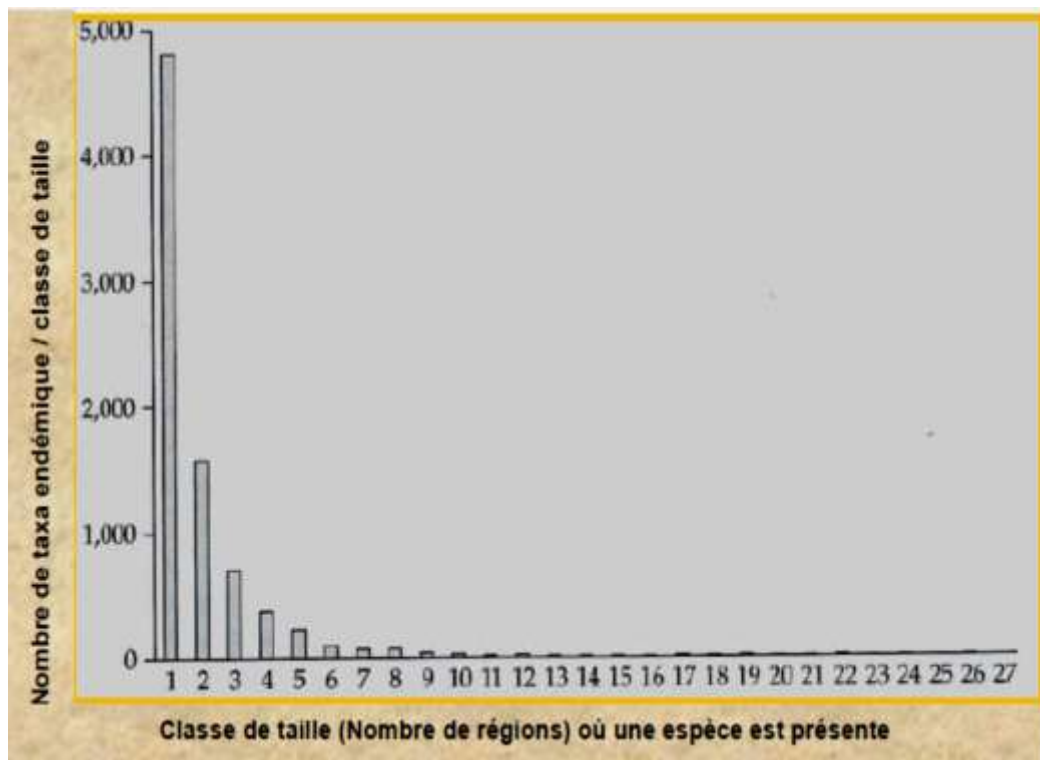


Figure 19 : Prévalence des espèces végétales à distribution limitée en Méditerranée (Thompson, 2005)

3.3.3. Phénologie et reproduction des arbres

Les changements phénologiques liés au réchauffement climatique pourraient avoir de répercussions sérieuses sur les espèces forestières, notamment si l'apparition des espèces pollinisatrices ne correspond pas à la période de floraison.

Les effets déjà observés sont les suivants :

- Comparé à 30 ans auparavant, le printemps est arrivé deux semaines plus tôt en Espagne et s'est prolongé de 23 journées chaudes (par exemple, les amandiers fleurissaient vers la fin février/mars, mais fleurissent désormais dès la fin janvier).
- Les changements du niveau de précipitations et de la disponibilité de l'eau constituent un indicateur clé à l'origine de bouleversements phénologiques importants chez les espèces d'arbustes méditerranéens (par exemple, *Erica multiflora* et *Globularia alypum* en Catalogne) et de changements subséquents de la structure, de la composition et du fonctionnement de leurs peuplements (Peñuelas et boada, 2003).
- Les changements phénologiques pourraient réduire la capacité compétitive des espèces résineuses de montagne (par exemple, les différentes sous-espèces méditerranéennes de *Pinus nigra*) qui sont bien adaptées aux conditions climatiques extrêmes en particulier, les gelées tardives et les températures hivernales basses, mais favoriser les espèces feuillues (par exemple, les espèces de chênes à feuilles caduques) qui pourraient prolonger leur période de croissance, autrefois limitée par les mois estivaux offrant peu d'eau et ce en raison des gelées printanières et automnales).

L'impact de ces évolutions du climat sur le cortège des parasites des fleurs et des fruits n'a pas encore été étudié de manière approfondie.

3.3.4. Impacts sur l'évolution des risques phytosanitaires

Le changement climatique peut avoir un effet direct sur les pathogènes ou les insectes phytophages en affectant leur biologie ou leur répartition, ou indirect, en affectant la biologie ou la répartition de leurs plantes-hôtes, de leurs ennemis ou compétiteurs. En tenant compte du fait que chaque ensemble **parasite-hôte-milieu** est spécifique, les risques sanitaires semblent être plutôt augmentés que diminués par le réchauffement climatique sous l'effet de trois phénomènes principaux : l'introduction de nouveaux parasites, l'extension de l'aire de présence (ou virulence) des parasites actuels et la forte reproduction des parasites sur les arbres stressés.

Il est probable que l'évolution générale pour les pathogènes et insectes forestiers soit différente ; certains risquent d'être favorisés tandis que d'autres pourraient voir leur population diminuer (Candau, 2008). Ainsi, par exemple, sous des climats plus chauds, l'oïdium et le chancre du chêne devraient être favorisés tandis que le chancre à *Xanthomonas* du peuplier pourrait disparaître (Jactel, cité par Roman-Amat, 2007). Dans ces conditions deux phénomènes peuvent se produire : l'évolution des risques sanitaires et la modification des interactions entre espèces:

Concernant l'évolution des risques sanitaires, le réchauffement du climat peut permettre l'implantation de parasites (champignons, bactéries, virus, insectes ...) actuellement inconnus; des parasites non virulents peuvent le devenir (Roman-Amat 2007). Par ailleurs, l'aire de répartition de certains des parasites déjà présents et limités par des seuils de température devrait s'étendre en suivant les isothermes (exemple de la chenille processionnaire du pin en Région Centre en France); le réchauffement climatique pourrait augmenter alors la surface de la zone forestière touchée, notamment si l'homme contribue fortement à la dispersion du parasite. En prenant l'exemple pour le *Phytophthora* du chêne, ceci semble déjà se produire (Marçais, 2007).

Enfin la sensibilité des arbres à certains parasites peut augmenter en situation de stress hydrique notamment comme c'est le cas du cèdre de l'Atlas, au Maroc et en Algérie, face aux scolytes.

Par ailleurs, les niveaux accrus de CO₂ atmosphérique entraînent une augmentation du rapport C/N dans les tissus végétaux, ce qui donne lieu à une baisse de la qualité nutritionnelle des feuilles consommées par de nombreux insectes défoliateurs (Regato, 2008). Certains insectes réagissent en augmentant leur niveau de consommation foliaire, ce qui aggrave les dommages causés aux arbres. D'autres insectes subissent un taux de mortalité plus élevé et une performance réduite.

Concernant la modification des interactions entre espèces, une augmentation même minime de la température tend à accélérer les processus physiologiques, en permettant un développement plus rapide des insectes, l'augmentation du nombre de générations par saison, l'augmentation des déplacements, et en réduisant la mortalité due aux facteurs abiotiques (Legay et Mortier 2005). A titre d'exemple, avec une augmentation des températures hivernales et printanières de 2°C, on prévoit d'observer 4 à 5 générations supplémentaires par an pour certains pucerons.

Mais les effets du réchauffement ne peuvent être considérés à partir de simples moyennes globales, mais vont se différencier selon la saison et le cycle biologique des insectes. Ainsi, l'émergence de *Sphaeropsis sapinea* (champignon pathogène des pins) en Europe a pu être facilitée par des stress répétés au cours des 20 dernières. De même, le déplacement des isothermes correspondant aux seuils létaux minimaux vers le nord et en altitude peut induire une expansion des insectes et l'établissement d'espèces exotiques peut être rendu possible.

3.3.5. Impacts potentiels sur le sol et l'érosion

Les changements de climat et de composition de l'atmosphère à venir se traduiront par des déplacements des limites thermiques, pluviométriques, des végétations, des usages du territoire, mais le sol restera en place. Le sol occupe une position d'interface dans l'écosystème : interface entre les roches, l'atmosphère, l'eau et les êtres vivants dont il est le support (figure 20).

La dynamique du carbone est directement en relation avec l'effet de serre et avec le changement climatique. Mais, le sol est également le lieu de stockage et de transit de l'eau, qui assure en fonction de son niveau de remplissage par les pluies, la recharge des nappes, l'alimentation des hydrosystèmes de surface et l'alimentation des cultures et des êtres vivants. Le sol est, de plus, un monde vivant actif et son fonctionnement biologique est étroitement dépendant, lui aussi, de paramètres climatiques comme la température ou la pluviométrie.

Il est quasiment impossible de prévoir une accélération importante de l'altération du sol liée au changement climatique tout au moins à court terme (100 ans) ; par contre, les changements de climat et de composition de l'atmosphère pourraient entraîner des déséquilibres avec changements de certaines caractéristiques (Robert (2000), en particulier : la réserve organique (carbone et azote), les éléments nutritifs et l'acidité, les conditions d'oxydo-réduction et les caractéristiques hydriques et physiques. Les relations sol-climat apparaissent donc essentielles pour différents phénomènes qui seront abordés préférentiellement : (i) la dynamique du carbone et le fonctionnement biologique qui lui très est lié et (ii) la dynamique de l'eau qui peut entraîner l'érosion.

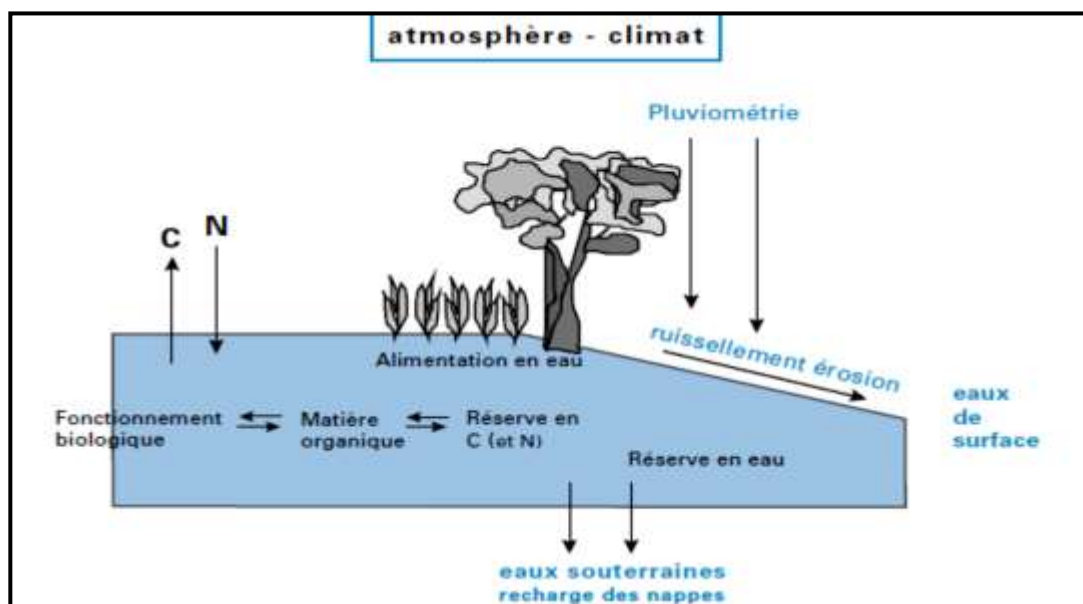


Figure 20 : Le sol une interface dans l'écosystème : influence du climat sur les propriétés, les réserves et les flux (Robert, 1996)

En dehors des changements de végétation, les principales modifications attendues du fonctionnement des écosystèmes sont celles du cycle du carbone (figure 21). En effet, l'augmentation des gaz à effet de serre aura trois effets principaux :

- l'effet de « **fertilisation carbonée** » par le CO_2 augmentera la production végétale, comme c'est le cas dans certaines serres forcées, et augmentera les retours de carbone au sol. Cet effet pourrait avoir déjà affecté nos écosystèmes forestiers depuis bien longtemps;
- l'augmentation de la température et de ses amplitudes de variation serait susceptible d'augmenter les vitesses de l'activité microbienne, en particulier la biodégradation des matières organiques du sol ;
- les modifications climatiques seront accompagnées de changements des régimes de précipitations et d'humidité des sols, affectant autant le végétal que les micro-organismes.

Il est reconnu que le cycle interne du carbone dans le sol (matières organiques) est un des principaux facteurs explicatifs de la production végétale et de la stabilité des écosystèmes : matières organiques du sol et fertilité sont toujours associées. Enfin la réserve organique des sols contribue à la stabilité physique des couches de surface, favorisant l'implantation de la végétation, prévenant la dégradation - voire l'érosion - du sol et limitant la perturbation des écosystèmes en aval, en particulier des écosystèmes aquatiques (rivières, lacs, barrages, zones humides,...).

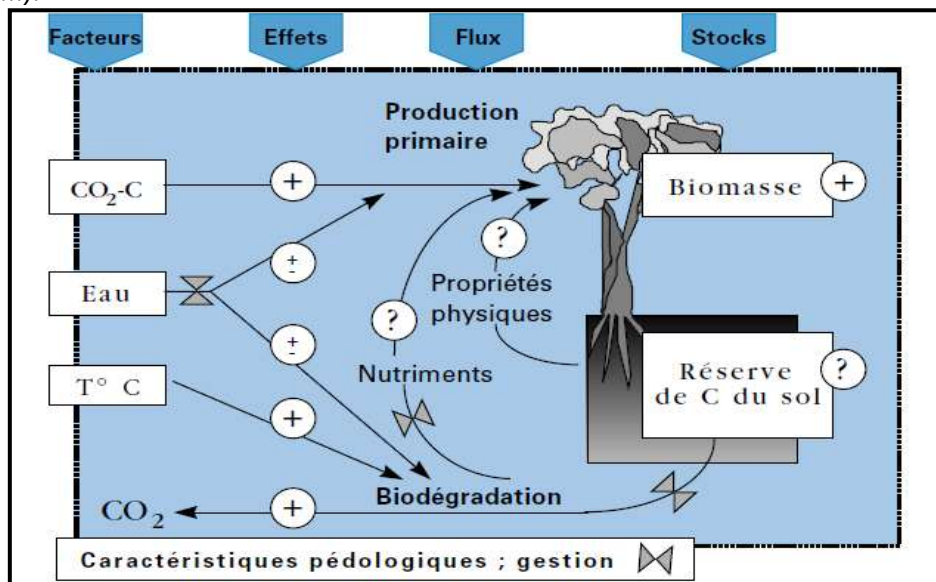


Figure 21 : Principaux effets des changements climatiques sur le cycle du carbone et des nutriments dans les sols (Robert, 2000)

L'érosion hydrique fait intervenir des processus en relation directe avec les facteurs climatiques et en particulier la pluviométrie et l'intensité des événements pluvieux de type orages qui multiplierait les coulées boueuses catastrophiques notamment sur les reliefs montagneux. En effet, l'augmentation de la pluviométrie durant la période de l'année où les sols sont nus (hiver, printemps) devrait entraîner une augmentation de l'érosion et du ruissellement qui en résulte. Les prévisions font également état d'une fréquence plus grande des événements pluvieux intenses (orages) au cours de l'année. Ceci peut entraîner une accentuation des phénomènes d'érosion, de ruissellement, générateurs de crues. En ce qui concerne l'érosion par le vent, il sera nécessaire d'avoir des scénarii sur ce sujet pour établir des modèles de prévision.

La figure 22 résume les interactions possibles entre les facteurs climatiques, géomorphologiques et humains qui peuvent conduire l'écosystème à subir des perturbations comme les incendies de plus en plus fréquentes et/ou à évoluer vers une aridité croissante (Hoff et Rambal, 2000).

D'une manière générale, à haute altitude, l'érosion risque d'être exacerbée par l'évolution de différents facteurs. Les changements de végétation, les dépérissements, les dégradations d'origine anthropique, et les changements d'utilisation des sols sont autant de phénomènes qui renforcent l'érosion qui existe déjà sur les versants. Aux altitudes moyennes, l'érosion torrentielle serait augmentée en cas de proportion accrue des précipitations orageuses. Aux altitudes où l'enneigement deviendra faible ou nul, l'érosion torrentielle pourrait croître, notamment en hiver (Beniston, 2006). L'érosion devrait augmenter également en raison de la rapide fonte des neiges générant un écoulement superficiel plus important. Par ailleurs, l'augmentation du risque d'incendie pourrait conduire à une proportion plus élevée de sol nu, et donc à un risque d'érosion plus important

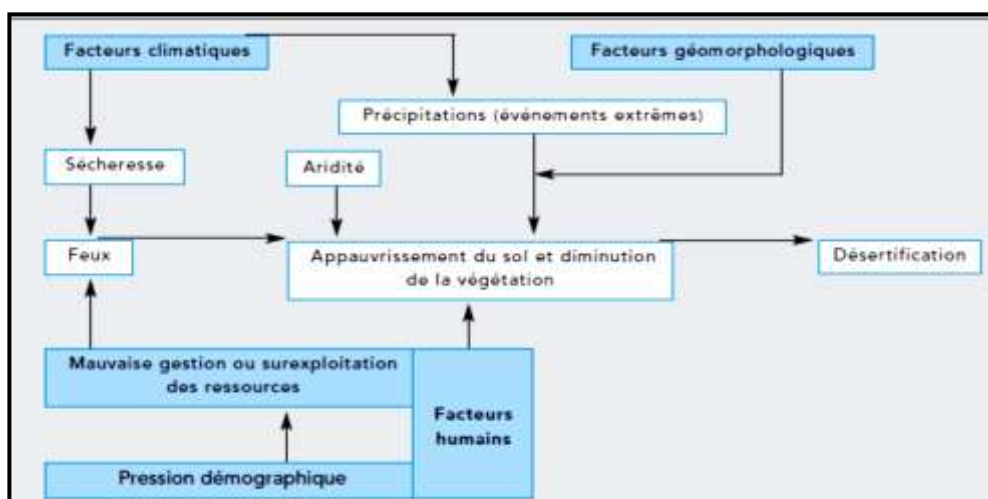


Figure 22 : Résumé des interactions entre les processus climatiques et humains pouvant amener les écosystèmes dans des états critiques telle une augmentation de l'aridité ou accroître les risques de perturbations comme les incendies (Perez-Trejo, 1994 in Robert, 2000)

3.3.6. Impacts sur l'augmentation des risques d'incendies de forêt

L'accumulation de la biomasse et l'allongement de la période de stress hydrique (lié par exemple à une modification du régime des précipitations) augmentent la période favorable au déclenchement des incendies d'autant plus que l'inflammabilité de la végétation est élevée ce qu'est le cas des espaces boisés méditerranéens. Le risque d'incendie recouvre à la fois : **l'aléa** défini comme « la probabilité qu'un phénomène naturel d'intensité donnée se produise en un lieu donné » et la **vulnérabilité**, conséquences particulières découlant de cet événement.

Les précipitations, la température, l'humidité de l'air sont des facteurs naturels de départ de feu (éclosion). La baisse des précipitations et l'augmentation prévue de la température à travers le changement climatique auront donc un impact direct sur l'augmentation de l'aléa. De plus, ces facteurs auront un impact sur la diminution de la teneur en eau des végétaux et donc sur l'augmentation de leur inflammabilité et leur combustibilité. Il faudrait par conséquent s'attendre à une augmentation du risque d'incendie dans la région.

Les incendies de forêts sont indissociables du paysage méditerranéen et représentent une des perturbations les plus importantes subies par la végétation dans cette région. Cependant, des millénaires de transformation anthropogénique de la végétation méditerranéenne ont modifié la dynamique naturelle des incendies de forêts. De plus, pour de nombreuses espèces, il est difficile de déterminer si les incendies ou toute autre perturbation d'origine anthropogénique ont joué le rôle de forces sélectives majeures dans leur adaptation environnementale :

Dans le cas des essences résineuses xérophiles, tel le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), une «**double stratégie** » a été observée en réaction aux incendies et aux périodes de sécheresse intense (Goubitz et al., 2004) : d'une part, un colonisateur primaire rapide et efficace après des incendies sauvages ou d'origine anthropogénique et , d'autre part, un pionnier à capacité de régénération rapide en terrain non brûlé où des épisodes de sécheresse intense et des sols peu fertiles posent un obstacle majeur à la croissance des arbres.

Dans le cas des essences feuillues à feuilles persistantes, telles l'arbousier (*Arbutus unedo*), une «stratégie double» peut également être observée, particulièrement en réaction aux incendies et au pacage intensif : une espèce qui rejette très bien suite à des incendies sauvages ou d'origine anthropogénique et au pacage intensif d'animaux sauvages ou domestiques.

Toutefois, bien que les essences feuillues sempervirentes réagissent moins bien que les essences résineuses aux sécheresses chaudes et froides (problèmes au niveau du système circulatoire, mortalité cellulaire et perte de feuilles), elles contribuent davantage à la conservation de l'humidité du sol.

Les écosystèmes ont développé des mécanismes d'adaptation afin de résister au feu et aux nouvelles conditions environnementales qui surviennent pendant et suite à un incendie. Néanmoins, si la période entre deux incendies consécutifs est trop courte pour permettre la production de graines fertiles ou rétablir la banque de graines du sol d'espèces ligneuses à reproduction sexuée obligatoire (par exemple, *Pinus spp.*, *Ulex parviflorus*, *Cistus spp.*, *Rosmarinus officinalis*), la remise en état de l'écosystème à l'état originel (pré-incendie) semble peu probable et les processus d'**auto-succession** sont bouleversés (Valdecantos, 2008).

L'anticipation de la dynamique de la végétation après feu n'est pas un exercice simple. Trois modèles proposés permettent de donner un diagnostic pour une gestion écologique durable (tableau 7). La reconstitution d'un écosystème mature après incendie dépend de la végétation considérée et peut se faire soit par semis en une quarantaine d'années pour les pins, soit par rejet de souche en plus de 70 ans pour les chênes. Dans ce dernier cas, les phénomènes mis en jeu lors d'un feu restent complexes. La vitesse de reconstitution dépend de l'état des réserves carbonées dans la souche après l'incendie, qui dépend, à son tour, de la date et de l'intensité de celui-ci.

La prévision de risque d'incendie au niveau de la région méditerranéenne (Giannakopoulos et al. 2005) a été approchée par « l'index forêt-météo canadien (IFM) », qui permet la projection des changements suivants (figures 23 et 24) :

- Deux à six semaines supplémentaires de risques d'incendie de forêts sont prévues partout sauf en Provence, au sud de l'Italie, en Sardaigne, au nord de la Tunisie et en Libye, où une semaine supplémentaire est prévue.
- En Égypte et sur la côte du Moyen-Orient, aucune aggravation des risques de feux de forêts n'est anticipée.
- Un risque accru d'incendie de **6 à 7 semaines supplémentaires** est prévu pour le centre ouest de la péninsule ibérique, les **montagnes de l'Atlas et les plateaux d'Afrique du nord**, où une fraction significative de cette augmentation sera effectivement liée au risque extrême d'incendie de forêts.

Tableau 7 : Caractéristiques essentielles de trois grands modèles dynamiques forestiers en région méditerranéenne (Barbéro et al., 1991)

Type de modèle	Expansion	Résistance	Stabilisation
Exemple d'espèce	Pin d'Alep, Pin mésogéen, Pin Pignon, cèdre	Chêne vert, Chêne liège	Chêne pubescent
Biologie	Fertilité précoce (10-20 ans) Production de graines importante	Fertilité tardive (40-60 ans) Production irrégulière et faible	Fertilité très tardive (70-80 ans) Production irrégulière et faible
Ecologie	Indifférent au substrat et sol Stress hydrique toléré 1-6 mois	Sols évolués ou semi évolués Stress hydrique toléré 1-6 mois	Sols bruns forestiers Stress hydrique toléré 1-2 mois
Dissémination	Très forte (vent)	Faible	Faible
Compétition interspécifique	Faible	Forte	Forte
Valeur forestière	Pré-forêt Croissance rapide Production de biomasse : grande	Pré-forêt Croissance lente Production de biomasse : faible	Forêt Croissance assez rapide Production de biomasse : bonne
Inflammabilité	Très élevé sauf le cèdre	Elevée	Faible
Combustibilité	Elevée	Elevée	Faible
Régénération après feu	Semis	Rejet de souche	Rejet de souche
Reconstitution	40-50 ans	70-80 ans	90-100 ans

- Une plus faible augmentation est prévue pour les régions côtières, dont le risque extrême d'incendie ne variera presque pas, sauf pour la péninsule ibérique, **le Maroc**, le nord de l'Italie et l'est de la côte adriatique.
- L'augmentation maximale du risque d'incendie se produira en juillet et en août, particulièrement sur la portion centrale de la péninsule ibérique, au nord de l'Italie, dans les Balkans et en Anatolie centrale.
- Hormis la période estivale, l'accroissement du risque d'incendie est prévu en **mai et en octobre pour le Maroc**, la péninsule ibérique et l'Algérie.

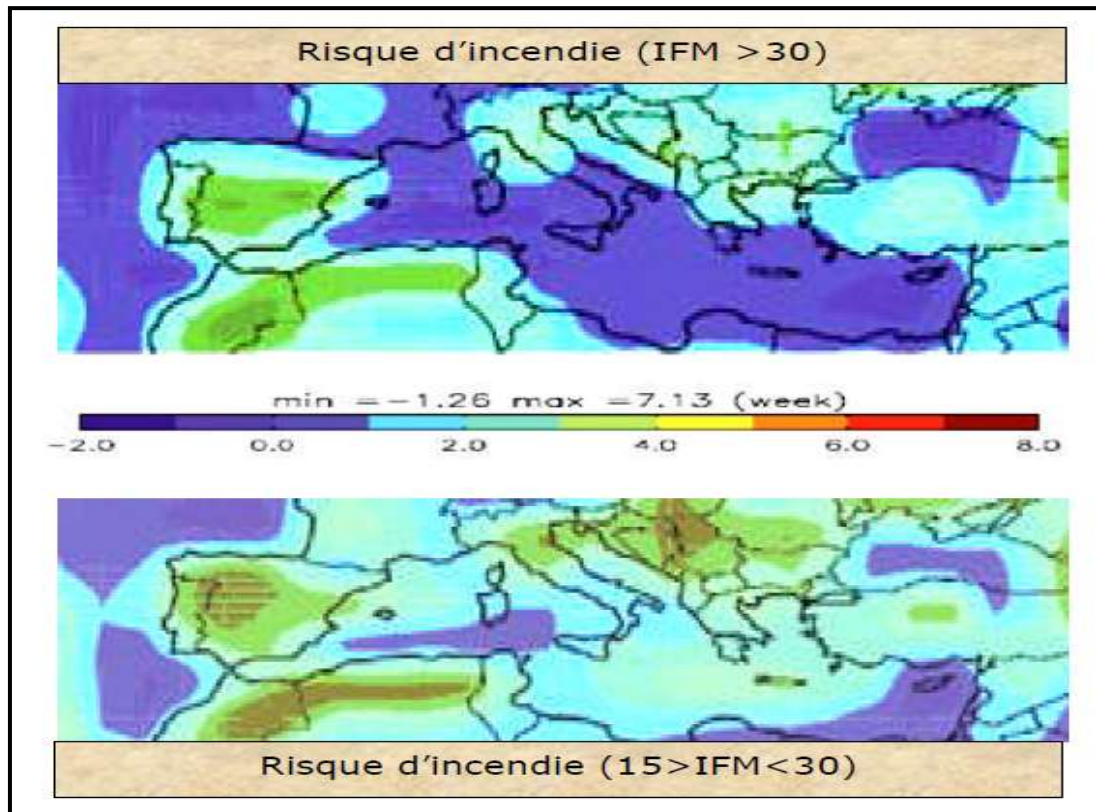


Figure 23 : Augmentation du nombre de jours (en semaines) comportant un risque (*IFM* : *Index Forêt Météo*) d'incendie (Giannakopoulos et al., 2005)

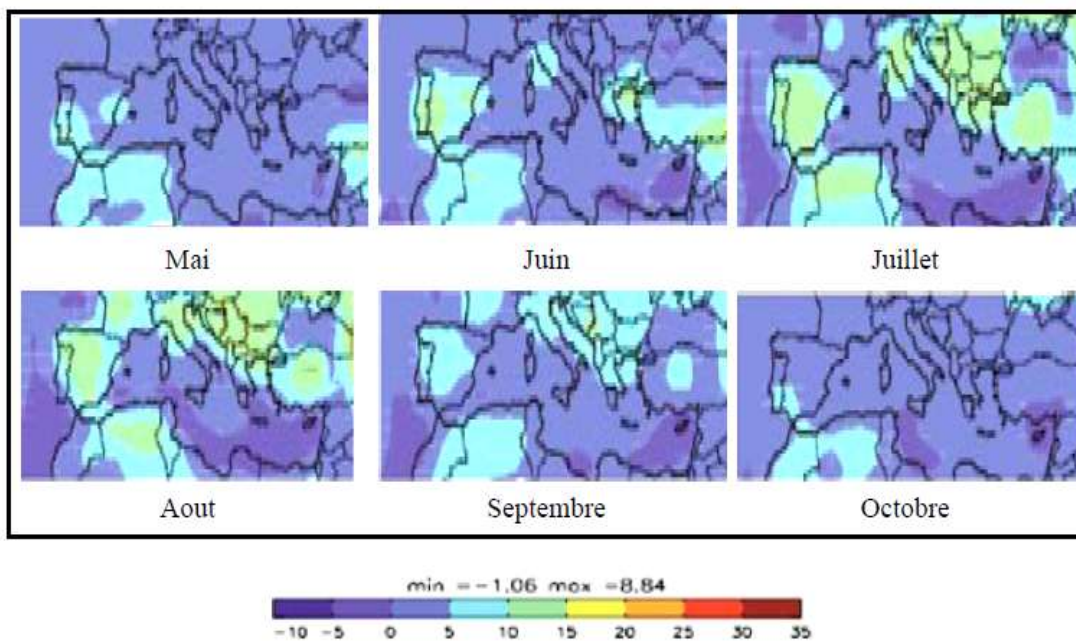


Figure 24 : Variations mensuelles de l'IFM (*Index Forêt-Météo*) moyen de mai à octobre entre la période de référence (1961 à 90) et la période future (2030 à 2060) (Giannakopoulos et al., 2005).

4. Impacts observés du changement climatique sur les écosystèmes forestiers au Maroc et projections futures

4.1. Conséquences du changement climatique antérieur sur les écosystèmes au Maroc

Les études portant sur les impacts des périodes antérieures de changement climatique sur la diversité biologique constituent l'une des sources de données les plus sûres en termes de validation des conséquences écologiques et évolutives des modèles de prévision des changements futurs (Petit et al., 2005). Les plantes sont représentées en grand nombre au sein des vestiges paléolithiques et constituent donc des données de haute valeur permettant l'analyse des évolutions climatiques antérieures.

En raison du faible nombre de sites favorables (zones humides telles que des lacs ou des tourbières) permettant la préservation de la matière organique durant plusieurs millénaires, les études palynologiques au Maroc sont beaucoup moins nombreuses qu'en Europe et souvent très partielles ou fragmentaires (Ballouche et Damblon, 1988). Dans le contexte marocain, le cèdre de l'Atlas reste le cas le mieux documenté du pays permettant un recul suffisant dans l'histoire du temps et des écosystèmes. Les séquences sédimentaires les plus complètes et les mieux datées sont celles prélevées dans les lacs de Tigalmamine (Lamb et al., 1995; Cheddadi et al., 1998) et de Sidi Ali (Lamb et al., 1999), tous les deux situés dans le Moyen Atlas. Le sondage dans le lac Tigalmamine a permis à la fois la reconstitution de l'évolution de la végétation ainsi que le changement climatique durant les 10 derniers millénaires (figure 25).

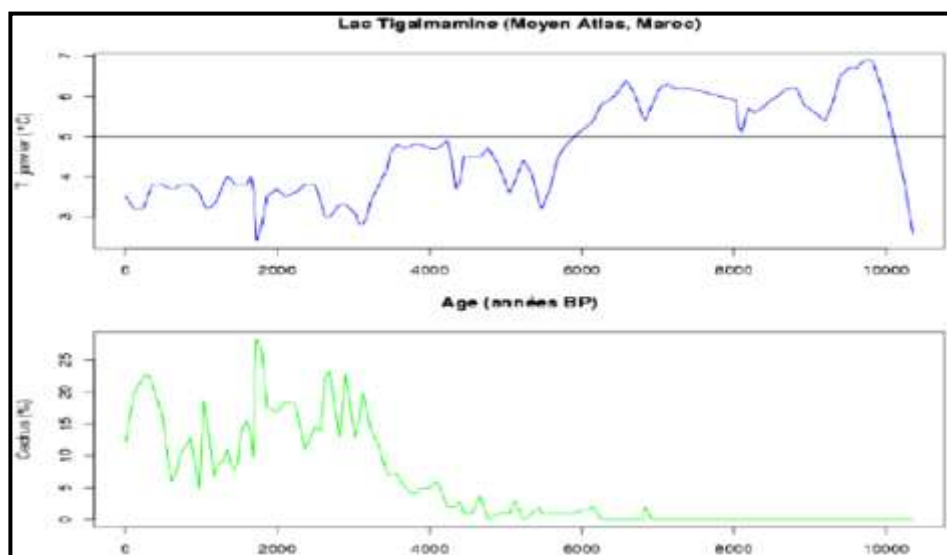


Figure 25 : Reconstitution des températures de janvier (courbe bleue) dans le site de Tigalmamine (Moyen Atlas, Maroc) et pourcentages polliniques du cèdre (courbe verte) ; (Cheddadi et al., 1998).

Les données palynologiques de ces deux séquences indiquent que durant l'Holocène, les cédraies étaient plus étendues dans le moyen Atlas qu'actuellement. Le cèdre est réapparu dans ces régions autour de 7.000 ans BP et son aire géographique s'est progressivement étendue jusqu'à il y a 2.000 ans.

Les reconstitutions climatiques dans la région de Tigalmamine (figure 25) montrent que la température du mois le plus froid (janvier) a oscillé avec une amplitude de 3 à 5°C, et que les précipitations annuelles ont fluctué de 200 à 400 mm/an durant cette période. Cette étude suggère que l'expansion du cèdre de l'Atlas après 7.000 ans BP a été possible grâce à la baisse des températures hivernales en dessous d'un seuil d'environ 5°C ainsi qu'à une augmentation des précipitations.

Le début de l'Holocène (entre 10.000 et 7.000 ans BP) a enregistré des températures d'environ 2°C au dessus de ce seuil; ce qui semble avoir empêché l'expansion du Cèdre. Ces fluctuations climatiques sont comparables à celles projetées pour le siècle à venir avec la différence principale que le changement prévu se produira dans une période approximativement 10 fois plus courte. Une augmentation de 3 à 5°C des températures hivernales, pourrait remettre en cause son maintien dans cette région.

Afin de mieux cerner les changements des aires de distribution du cèdre ainsi que la présence d'éventuels refuges glaciaires et mieux évaluer sa réaction au changement climatique, deux nouveaux sites situés à une centaine de kilomètres du lac de Tigalmamine ont été étudiés ; il s'agit des lacs (ou dayets) d'Ifrah et d'Iffir (figure 26).

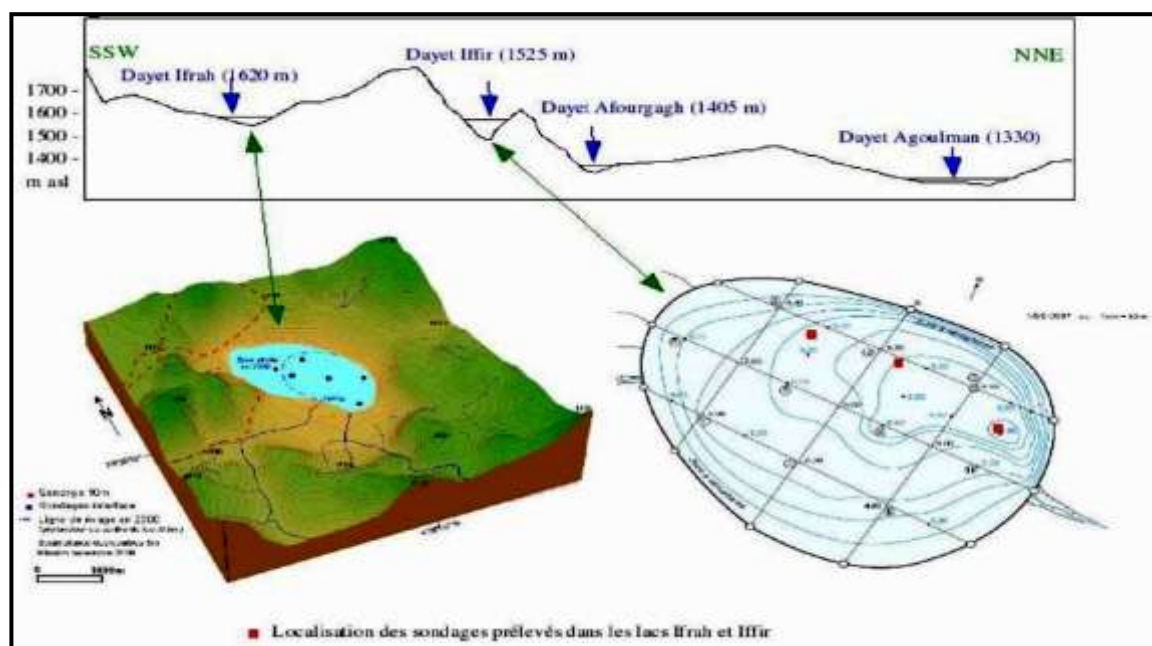


Figure 26 : Localisation des sondages prélevés dans les lacs Dayet Ifrah et Dayet Iffir (Cheddadi et al., 2001)

Les séquences prélevées dans le lac Iffir se sont révélées peu intéressantes car la période de temps couverte n'atteint pas la dernière période glaciaire. Les données palynologiques ne montrent pas de changements significatifs en termes de taxons arborés (*Quercus*, *Olea*, *Cedrus* et *Pinus*) (figure 27).

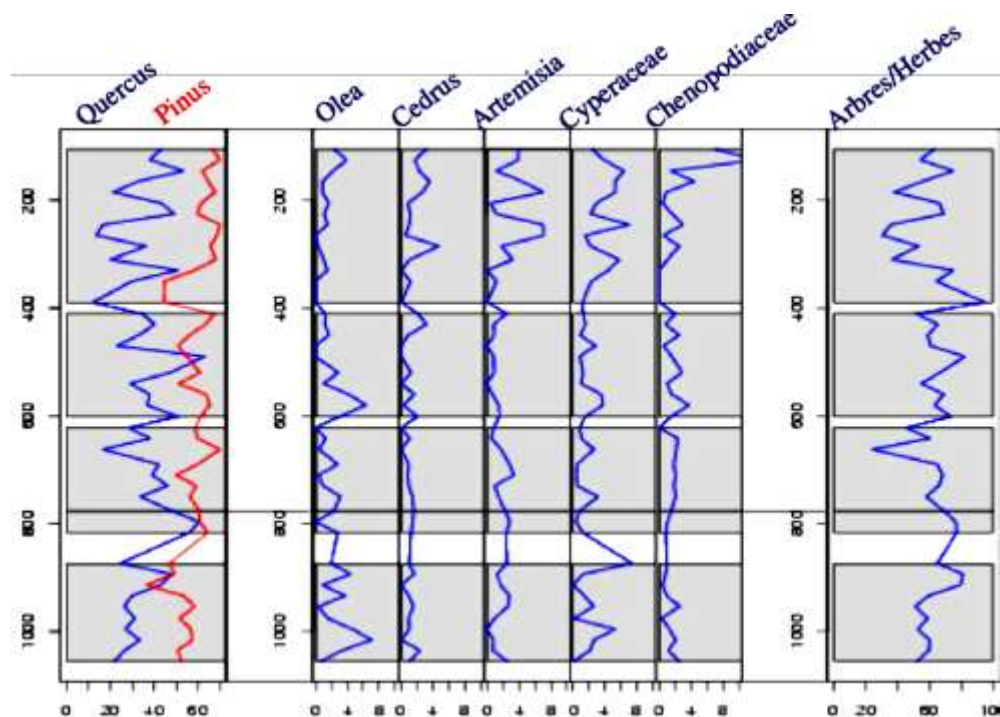


Figure 27 : Diagramme pollinique synthétique issu du lac Iffir (Cheddadi et al., 2001)

La base des sondages issus du lac Iffir n'est certainement pas plus ancienne que 6000 ans environ; ce qui rend difficile l'exploitation de ces données en terme d'évaluation paléoclimatique. Par contre, la séquence prélevée sur le bord du lac Ifrah est plus intéressante car les ages ^{14}C obtenus indiquent qu'elle couvre une période supérieure à 20.000 ans en continu (figure 28).

L'étude palynologique de la séquence confirme que ce lac a enregistré la dernière période glaciaire avec une végétation steppique à plus de 90% des plantes composant le paysage autour du lac. Cette steppe est remplacée au fur et à mesure par une végétation arborée vers le sommet de la carotte. Ces données indiquent également que *Cedrus atlantica* était présent dans le Nord-est du Moyen Atlas avant la période Holocène. Ses forts pourcentages en continue entre les dates 19430 +/- 100 et 16330 +/- 80 suggèrent la présence de populations importantes de cèdre dans cette région.

Ces nouvelles données soutiennent fortement la présence de refuges glaciaires dans le Moyen Atlas. La localisation d'une ou plusieurs aires refuges dépendra du nombre de sites qui seront étudiés et datés par le ^{14}C . L'identification de refuges glaciaires pour le cèdre de l'Atlas constitue un résultat important vis-à-vis de l'impact du changement climatique prévu.

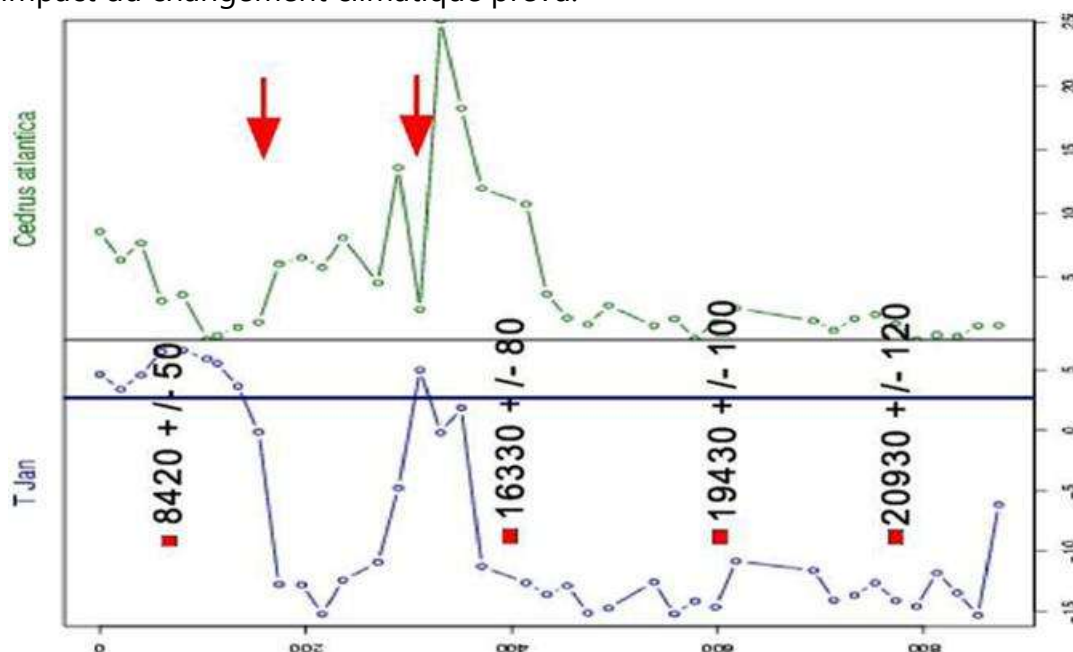


Figure 28 : Reconstitution des températures de janvier (Courbe bleue), et expression de la cédraie en pourcentage (courbe verte) par rapport aux autres espèces identifiées dans les analyses palynologiques (Lac Ifrah, Moyen Atlas ; Cheddadi et al., 2001)

Une reconstitution climatique a été également effectuée à partir des données palynologiques issues de la carotte prélevée dans le lac Ifrah. Ces données suggèrent que la cédraie a réagi de façon extrêmement rapide à un refroidissement abrupt d'environ 15°C, mais plutôt de façon tardive à un réchauffement de la même amplitude.

L'identification de réaction de la forêt de cèdre à des événements climatiques abrupts et de grande amplitude dans les enregistrements palynologiques est un autre résultat important. Ces nouvelles données paléo-environnementales obtenues montrent que le cèdre de l'Atlas a des capacités de réponse à des bouleversements climatiques de grandes amplitudes. Cependant, ces données montrent qu'une augmentation de température de 2 à 3°C, probablement hivernale, aurait un impact fort sur la distribution actuelle du cèdre de l'Atlas.

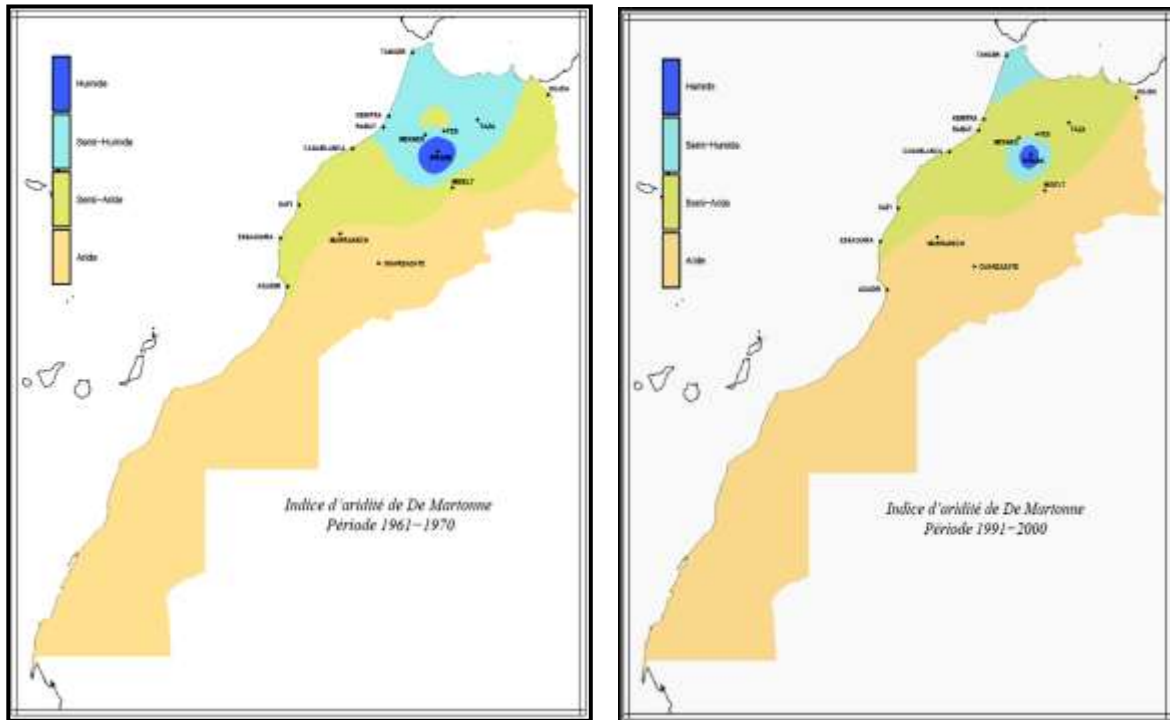
Malgré les quelques nouveaux sites étudiés au Maroc, le référentiel de données permettant des reconstitutions climatiques spatio-temporelles est encore très insuffisant. La couverture spatiale nécessite un effort de collecte de nouvelles données pour atteindre des reconstitutions climatiques plus fiables et une meilleure connaissance de la relation « plante-climat ». L'étude d'autres sites dans les montagnes du Rif (au nord du moyen Atlas, dans la région de Ketama) ainsi qu'à la « jonction » du Moyen et du Haut Atlas (lac Tislit) près d'Iseli, où les simulations futures indiquent une très forte régression permettra une meilleure maîtrise des incertitudes.

4.2. Tendances du changement climatique récent au Maroc

Les éléments du climat au Maroc présentent une grande variation géographique; les moyennes annuelles des précipitations varient de moins de 25 mm dans le Sahara jusqu'à près de 2.000 mm dans le Rif et le Moyen Atlas. La distribution des zones climatiques à l'échelle territoriale (MATEUH, 2000) couvre 560.000 km² en zone aride et saharienne (78%), 100.000 km² en zone semi- aride (14%), et 50.000 km² en zone subhumide et humide (7%). L'essentiel du pays est ainsi situé dans le domaine aride caractérisé par un ensoleillement prolongé et de sévères sécheresses. Les températures enregistrent des tendances excessives avec des vagues de gel de courte durée, ainsi que des vagues de chaleur d'origine saharienne (jusqu'à 45°C). Le climat est ainsi caractérisé par une forte irrégularité qui concerne aussi le problème de début de la saison humide et celui de la précocité de la saison sèche; ce qui détermine l'occurrence ou non de pluies de printemps.

Selon l'indice bioclimatique De Martonne, la répartition climatique se traduit, à l'échelle nationale, par un climat semi-humide à semi aride dans le Nord du pays, tandis que le Sud est plutôt aride à désertique. Les traits généraux du climat marocain s'expriment par une variabilité temporelle et spatiale des précipitations avec des cumuls moyens à faibles, des hivers relativement humides et des étés chauds et secs (Driouech, 2009).

L'une des premières observations du changement climatique au Maroc se traduit par une nouvelle configuration de la répartition des bioclimats au niveau du territoire national entre les périodes 1961-1970 et 1991-2000 (figure 29).



a : Bioclimats 1961-1970

b : Bioclimats 1991-2000

Figure 29 : Changement récent des types de bioclimats du Maroc (Driouech, 2009)

La comparaison entre les cartes *a* et *b* de la figure 29 révèle une nette extension de l'aire aride et semi-aride vers le nord et nord ouest du pays. Cette progression de l'aridité est accompagnée d'une contraction de l'aire semi-humide et humide déterminée selon l'indice d'aridité de De Martonne [$I = P/(T+10)$], (P : précipitations moyennes annuelles et T : température moyenne annuelle).

Si la répartition bioclimatique du Maroc a changé durant les trois dernières décennies, cela sous-entend que les paramètres climatiques (températures et précipitations) à l'origine de l'indice de De Martonne ont subi des changements de valeur. A ce titre, l'analyse tendancielle ci-après des observations récentes des précipitations et des températures explique en partie ce changement dans la répartition des bioclimats au Maroc.

4.2.1. Evolution récente des précipitations et de la sécheresse

En termes d'évolution récente, les précipitations ont enregistré une tendance générale à la baisse (figure 30) dans toutes les régions du Maroc. En plus du fait qu'elles étaient de plus en plus rares, elles se sont caractérisées par des disparités spatiales importantes et par de fortes fluctuations entre années de sécheresses, parfois sévères, et années à forte pluviométrie.

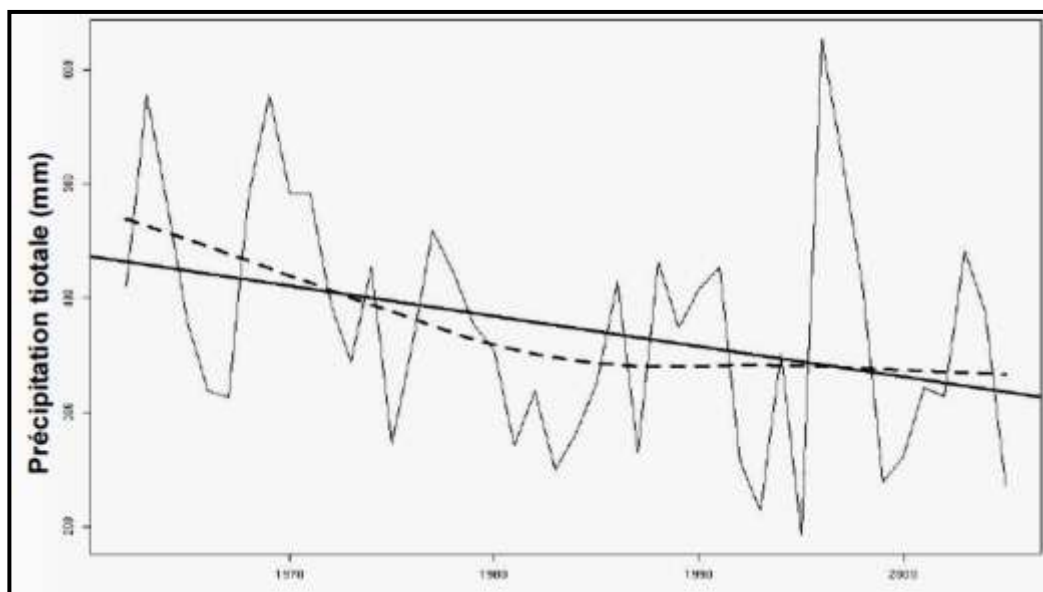


Figure 30 : Précipitations moyennes cumulées sur la saison pluvieuse entre 1955 et 2004 (Driouech, 2009).

Durant la période récente 1955-2004, le Maroc a connu 7 périodes de grande sécheresse (figure 31), dont 5 après 1975. Le nombre de jours de pluie se limite à 50 jours sur une grande partie du pays. Ces deux tendances, rareté et irrégularité, renseignent sur le caractère crucial de la question de l'eau au Maroc et expliquent la très grande vulnérabilité de l'activité agricole et économique à la donne climatique.

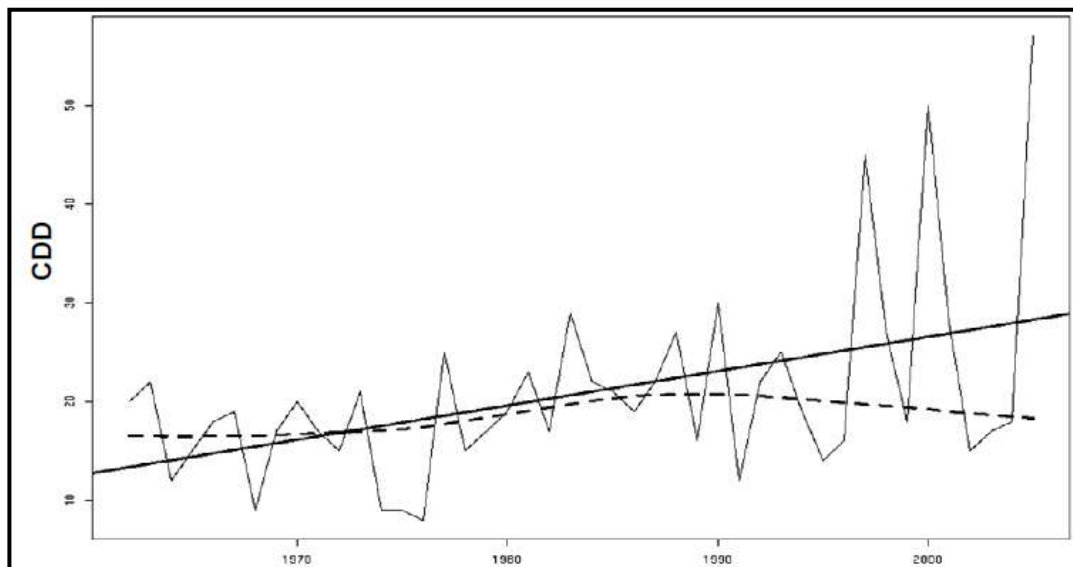


Figure 31 : Durée maximale de sécheresse de 1955 à 2004 (Driouech, 2009).

(CDD : Nombre maximale consécutifs de sécheresse où $RR < 1 \text{ mm}$)

4.2.2. Evolution récente des températures

Situé en contexte méditerranéen, le Maroc connaît aussi des températures moyennes annuelles élevées, dépassant les 20°C dans le Sud et le long du littoral (figure 32).

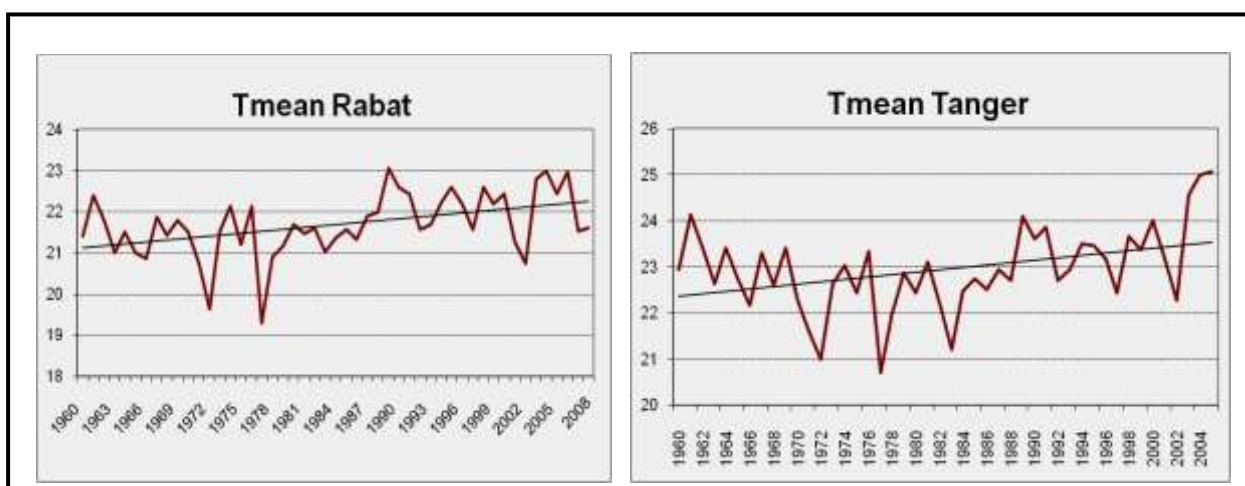


Figure 32 : Evolution des températures moyennes annuelles pour les stations de Rabat et Tanger entre 1960 et 2004 (Driouech, 2009).

L'évolution récente durant les 50 dernières années, dans plusieurs stations météorologiques nationales (figure 33), montre que les températures maximales d'hiver, et minimales et maximales d'été, s'inscrivent plutôt dans une tendance à la hausse, tandis que la température minimale d'hiver connaît une tendance à la baisse.

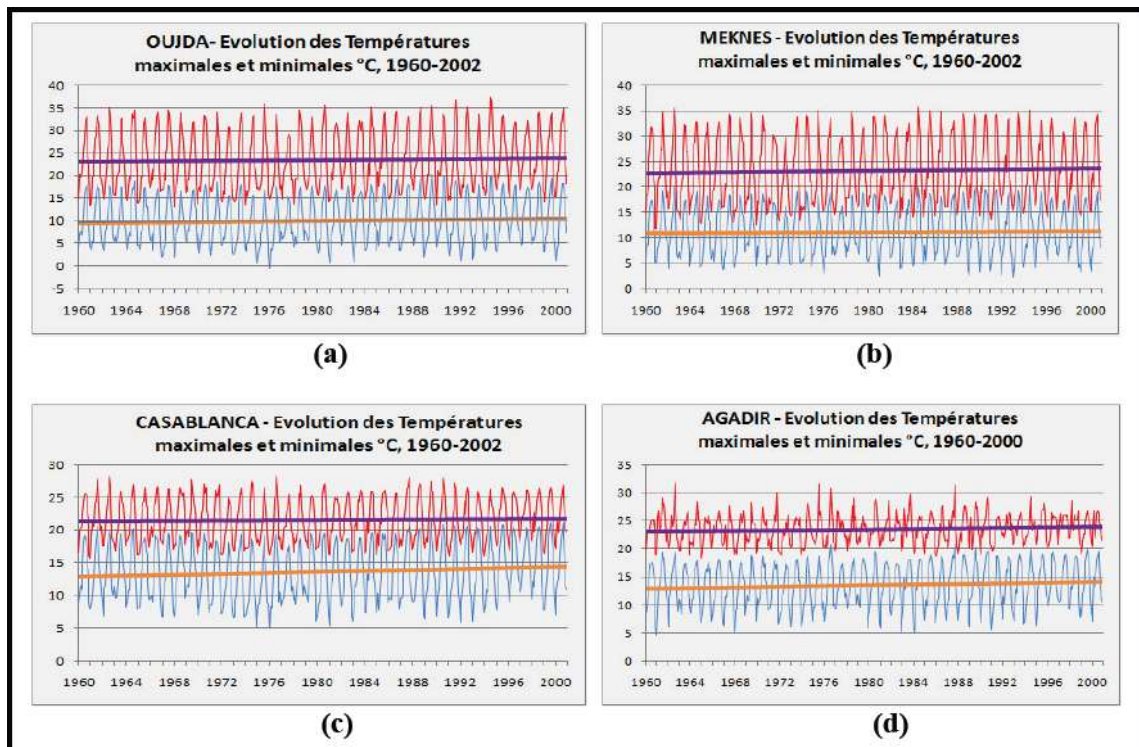


Figure 33 : Evolution récente des températures maximales et minimales pour quelques stations de 1960 à 2000 (Hydraumet-PNUD, 2009)

Les tendances observées des températures (moyenne, maximale et minimale) pour de nombreuses stations du pays sont identiques à celles des figures 32 et 33 présentées à titre d'exemples (Hydraumet-PNUD, 2009).

L'évolution et tendance observées pour quelques indices climatique est également révélatrice de ce contexte. En effet, selon Driouech (2009), le nombre de « **Jours frais** » affiche une nette tendance à la baisse à l'échelle nationale. Cette baisse correspond à une diminution de l'ordre de 25 jours en 45 ans. En ce qui concerne le nombre de « **Jours chauds** », les tendances observées sont positives, mais relativement faibles et statistiquement non significatives. Parallèlement, l'évolution des « vagues de froid » montre des tendances significatives à la baisse de l'ordre de **-0,25 jour/an** (diminution de 11 jours en 45 ans), alors que les « vagues de chaleur » expriment une tendance à la hausse de même ordre de grandeur que les vagues de froid mais statistiquement non significatives.

En termes d'évolution générale, le Maroc aura connu une augmentation de sa température moyenne d'environ 1°C, renseignant sur le phénomène global de réchauffement. L'évolution des indices pluviométriques traduit une tendance vers l'assèchement surtout en fin de saison pluvieuse. Au niveau global, l'ensemble des observations concourent à une migration du climat à caractère semi-aride vers le nord (figure 29). La synthèse des tendances observées des paramètres climatiques au Maroc est résumé par le tableau 8.

4.3. Projections futures du climat au Maroc

4.3.1. Projections des températures et des précipitations à court terme

L'étude des projections climatiques pour le Maroc corrobore les tendances au réchauffement et à l'aridité du climat marocain. Entre 2000 et 2020, la première communication nationale évalue le réchauffement de 0,6 °C à 1,1°C, et prévoit une réduction des précipitations d'environ 4%. L'étude (Alibou, 2002) a été faite à partir de l'état de référence climatique et en utilisant le modèle MAGICC/SCENGEN fourni par le GIEC. La figure 34 offre un résumé schématique des scénarios et projections climatiques appliqués au Maroc par Alibou (2002).

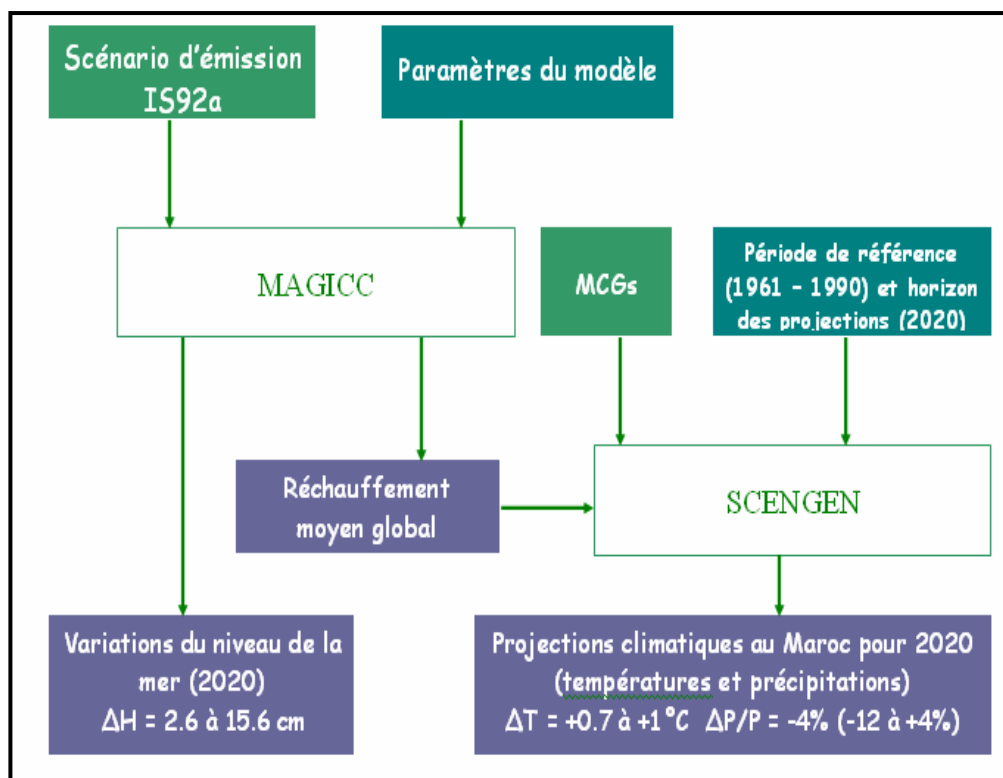


Figure 34 : Représentation schématique de la méthodologie du GIEC pour le développement de scénarios climatiques (Alibou, 2002)⁶

⁶ SCENGEN : Scénario Generator; ou générateur de scénario. MAGICC : Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change, ou modèle d'évaluation des gaz à effet de serre inducteurs de changement climatique

Tableau 8 : Synthèse des tendances observées de changements des paramètres climatiques au Maroc durant les 45 dernières années (d'après Mokssit, 2009)

Paramètre climatique	Tendances et variabilités
Cumuls de précipitations	<p>Changement du régime pluviométrique à l'échelle intra-annuelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Légère augmentation des pluies du début de saison (Octobre-Novembre) ; • Déclin de celles du cœur et de fin de saison (<i>significatif</i>) de près de -26% sur le Nord-Ouest du Royaume ; • Tendances à la baisse (<i>significatives</i>) des précipitations printanières de -47% à l'échelle nationale. • Déclin des pluies d'hiver dans les régions de l'intérieur du Maroc (<i>non significatif</i>).
Evènements extrêmes de précipitations	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des cumuls de très fortes précipitations au début et au cœur de la saison pluvieuse (<i>faible en moyenne et non significative</i>), et fortes tendances à la hausse sur l'extrême Nord-Ouest et la zone d'Agadir (<i>non significatives</i>). • tendance à la baisse des cumuls dus aux fortes et très fortes précipitations en Février-Mars-Avril (<i>baisse significative et importante pour les fortes précipitations</i>). • Sur la région Nord-Ouest, la baisse est de 38 mm en 45 ans. A l'échelle nationale, la baisse est de 23 mm en 45 ans.
Durée intra-annuelle de sécheresse	<p>Allongement des périodes intra-annuelles de sécheresse et augmentation de leur persistance temporelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • +15 jours à l'échelle nationale, et +13 jours au Nord-Ouest (en 45 ans) significatif en Février-Mars-Avril; • tendances au raccourcissement (<i>faibles et non significatives</i>) en début de la saison pluvieuse (Septembre -Octobre).
Température moyenne annuelle	<p>Augmentation de la température moyenne annuelle (significative) sur tout le Royaume de l'ordre de 0,16 °C par décennie</p>
Vagues de chaleur et vagues de froid	<ul style="list-style-type: none"> • Tendances à la baisse (significatives) à l'échelle nationale de -0,246 jour/an (diminution de 11 jours en 45 ans) ; et baisse des vagues de froid (significative) pour le Nord-Ouest mais plus faible. • Evolution à la hausse (mais <i>non significative</i>) des vagues de chaleur avec des tendances de même ordre de grandeur que les vagues de froid.
Nombre annuel de jours chauds et de jours frais	<ul style="list-style-type: none"> • Nette diminution des totaux annuels de jours frais (à <i>températures maximales < 15°C</i>), avec une tendance de -5 jours par décennie ; • Evolutions vers la hausse (faibles et non significatives) des jours chauds (températures maximales > 35°C). • L'évolution des indices thermiques confirme le réchauffement observé.

Sur la base du scénario moyen du GIEC (IS92a), avec une sensibilité moyenne du climat et le maillage de SCENGEN, sept modèles de circulation générale (MCG) ont été considérés pour les simulations climatiques à l'horizon 2020 (tableau 9). Les simulations des changements des températures par les différents MCG présentent une très grande homogénéité et affichent toujours le même ordre de grandeur s'inscrivant dans la plage allant de **+0,7°C à +1°C** en moyenne avec une bonne reproduction de l'effet de la latitude.

Les changements des précipitations par contre, présentent de grandes disparités, tant qualitatives (sécheresse ou humidité) que quantitatives (amplitude du changement). On rencontre ainsi des simulations donnant une tendance à l'humidité et d'autres à la sécheresse. Cependant la plupart des modèles privilégient des tendances à la sécheresse avec des plages de taux de réduction allant de -7% à 0% dans la partie Nord du pays et de -7,5% à +2,8% dans la partie Sud.

Tableau 9 : Projections climatiques 2020 ; variations des moyennes de température (T en °C) et des précipitations (P/P en %) ; (Alibou, 2002)

Zones climatiques	Cadran SCENGEN	Station représentative	Température (°C)		P/P (%)	
			Plage	Moy.	Plage	Moy.
Nord-Ouest	NW	Tanger, Tétouan	0,6 à 0,8	0,7	-2,8 à -5,4	-3,3
Oriental	NE et E	Oujda, Bouaarfa	0,6 à 0,9 0,8 à 1,1	0,7 0,9	-1,8 à -5,5 -7 à 0	-2,3 -4,2
Ouest	NW et W	Kénitra	0,6 à 1	0,8	-7 à 0,1	-3,8
Oum Er Rabia Tensif	W	Marrakech	0,8 à 1	0,9	-7 à 0,1	-4,3
Moyen, Haut Atlas	W et E	Ifrane, Beni Mellal	0,8 à 1,1	0,9	-7 à 0	-4,3
Tensift Draa	W, SW et SE	Agadir	0,8 à 1	0,9	-7 à 0,1 -11,7 à +2,8	-4,3 -10
Sud-Est	W, E et SE	Ouarzazate, Errachidia	0,8 à 1	1	-7,5 à 0 -11,7 à +2,8	-4,3 -11
Sud	SW et S	Laayounne, Dakhla	0,8 à 1,1	0,9	Nord : -8 à -1 Sud : +1 à +4	-

Les résultats de ces projections à l'horizon 2020 pour le Maroc, se présentent comme suit :

- Une tendance nette au réchauffement de l'ordre de 0,7°C et 1°C,
- Une tendance à la réduction moyenne du volume annuel des précipitations de l'ordre de 4%,

Ces changements auraient un impact sur la fréquence et la distribution des phénomènes climatiques extrêmes, notamment ceux liés au cycle hydrologique, à savoir :

- Une fréquence accrue de l'intensité des orages dans le nord; une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses dans le sud et à l'est du pays ;

- Un dérèglement du signal saisonnier des précipitations (moins de jours de pluies et une pluie moins persistante l'hiver), accompagné d'une diminution de l'enneigement.

Cette évolution probable du climat entre 2000 et 2020 aurait également un impact significatif sur le cycle de l'eau et sur la demande et la consommation en eau, notamment pour l'agriculture et les forêts. Agoumi (2005) estime que le débit moyen des eaux superficielles et souterraines baissera de 10 à 15% entre 2000 et 2020.

4.3.2. Projections des températures et des précipitations à moyen et long termes

Les scénarios et projections climatiques appliquées par la DMN au Maroc pour le moyen et long terme comprennent quatre groupes A, B, C et D avec des variantes (Driouech, 2009) :

- A1 et A2: continuité de la situation des dernières décennies avec des émissions de CO₂ qui continuent à croître :
 - ✓ A1: émissions en croissance extrême de 2%, doublement du CO₂ vers 2045 ;
 - ✓ A2: croissance réduite à 1% par an, doublement atteint vers 2065 (actuellement le plus vraisemblable) ;
- B : stabilisation des émissions aux taux de 1990, (recommandé par les climatologues), doublement retardé d'au moins un siècle ;
- C1 et C2: diminution des émissions respectivement de 1% et de 2% par an ;
- D : Arrêt total des émissions ; montre qu'il faudrait déjà, même dans ce cas, plusieurs siècles pour que le taux de CO₂ revienne à sa valeur d'avant la révolution industrielle (valeur scientifique uniquement).

Les prévisions de changements pour les températures et les précipitations varient selon les scénarios de simulations, les saisons et l'échéance de projection comme le montrent les figures pour les scénarios A2, A1B et B2 à l'encadré 10. Les prévisions climatiques (Moksssit, 2009) concordent globalement avec celles du GIEC pour la fin du siècle (encadré 9).

Encadré 9 - Projections futures (GIEC) du changement climatique au Maroc (Mokssit, 2009)

Selon le quatrième rapport du GIEC, les principaux changements projetés pour la fin du siècle au Maroc sont les suivants :

- L'augmentation de la température moyenne au Maroc variera entre +2,5 °C et +5,5 °C. Elle sera plus marquée durant l'été.
- L'augmentation des températures maximales et de la fréquence des vagues chaudes.
- La diminution de nombres de jours frais et de jours de gel.
- Selon le modèle utilisé, le changement dans les précipitations d'hiver au Maroc variera entre -0,1 mm/jour et +0,25 mm/jour ; celui de l'été entre -0,1 mm/jour et +0,75 mm/jour, induisant en moyenne une diminution de 20%.
- La tendance vers la diminution de l'humidité du sol.
- Certains modèles projettent l'augmentation de la probabilité des jours secs et des jours successifs sans pluie. Là où la moyenne des précipitations décroît, la probabilité de sécheresse croit de façon marquée.
- Les sécheresses deviendront plus longues et plus sévères.

Tendances du changement projeté pour les températures

La figure 35 présente la répartition spatiale des changements de température moyenne estivale projetés à l'horizon 2050 selon le scénario A2 au moyen du modèle ARPEGE-Climat (Mokssit, 2009).

Les augmentations sont plus faible sur le nord du pays (+0 à 3°C), et s'accroissent (+4 à +5°C) vers l'intérieur et le nord sur le Rif, et vers l'est sur la région orientale en passant par les reliefs des Atlas.

Tendances du changement projeté pour les précipitations

Comme pour les projections à court terme, les précipitations à moyen et long terme, tendraient vers une diminution des volumes annuels tout en marquant une concentration dans le temps (Encadré 10). Cette situation expliquerait la fréquence de plus en plus élevée des inondations et des sécheresses qui affectent le pays ces deux dernières décennies.

C'est dans le nord du pays que les changements seront les plus conséquents (figure 36). En effet, des taux de réduction entre -12 et -15% des pluies sont prévus pour les précipitations d'hiver, alors que les réductions les plus fortes (entre -12% à -75% pour le scénario A2) sont attendues durant le printemps.

D'une façon générale, compte tenu des diverses projections, le climat du Maroc apparaît plus aride et chaud avec plus de contrastes régionaux : climat aride et diversifié, précipitations erratiques, et des anomalies thermiques en constante évolution. Le tableau 10 ci-après restitue la synthèse des projections futures du changement climatique attendues au Maroc.

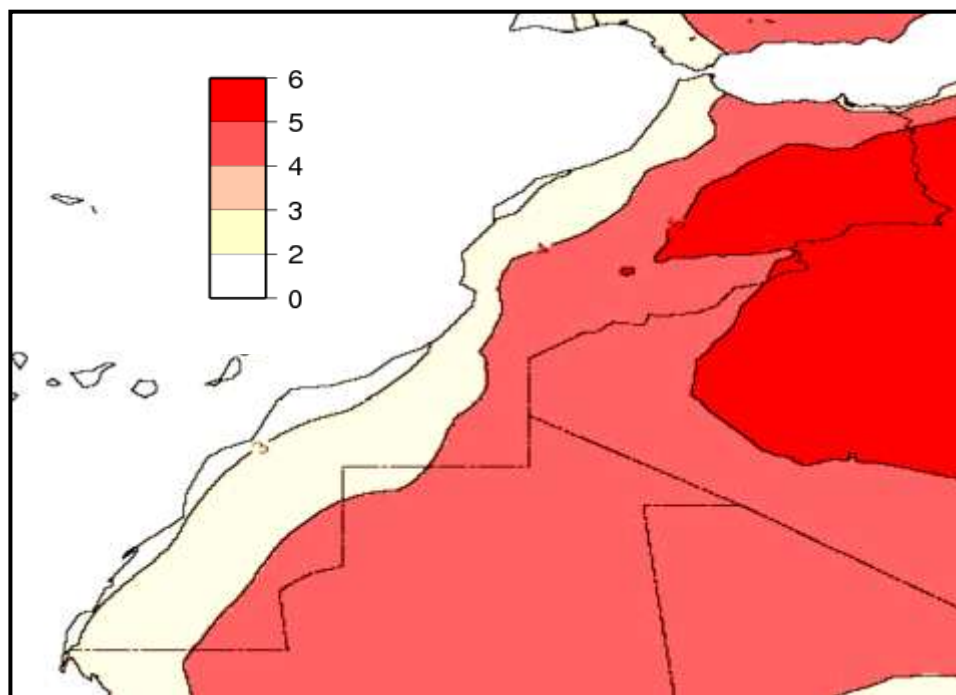


Figure 35 : Changements projetés pour les températures moyennes estivales (T°C), (Scénario A2, modèle ARPEGE-climat (Mokssit, 2009)

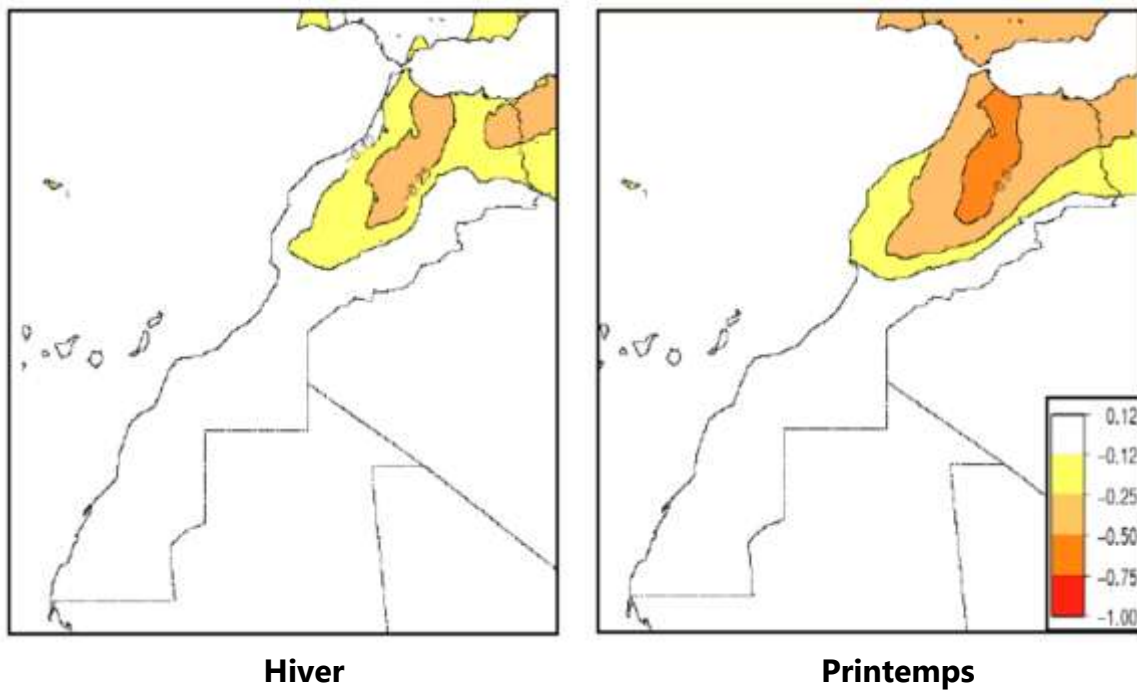
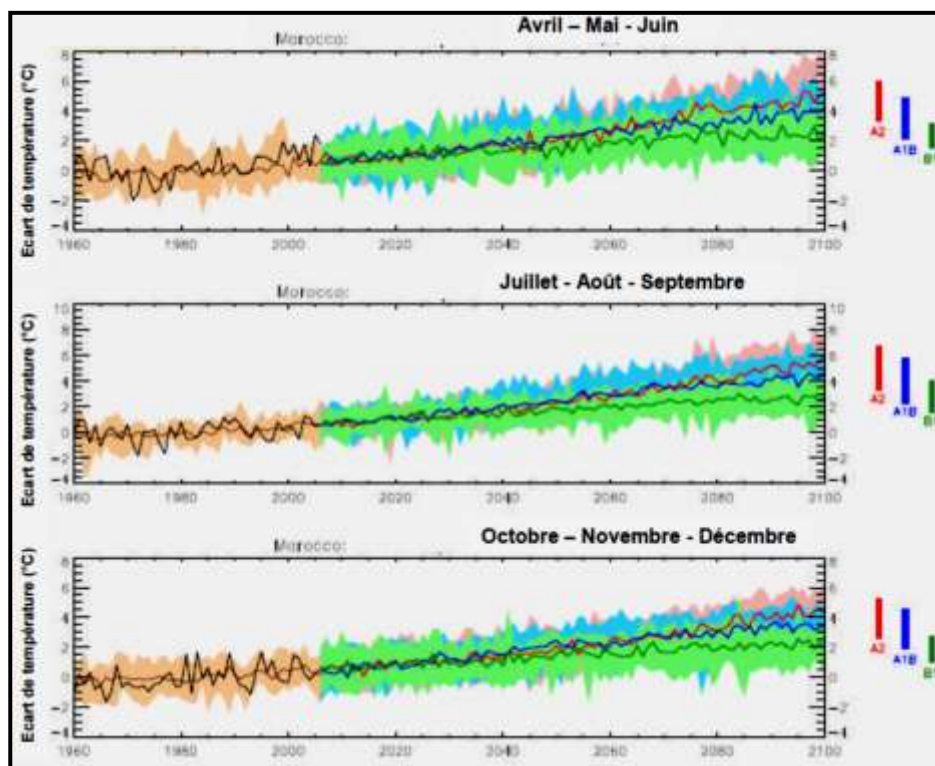


Figure 36 : Changements projetés pour les cumuls pluviométriques d'hiver et de printemps (Scénario A2 ; ARPEGE-Climat, Mokssit, 2009)

Encadré 10 - Changements des températures moyennes et des précipitations moyennes saisonnières (Hydraumet-PNUD, 2009)



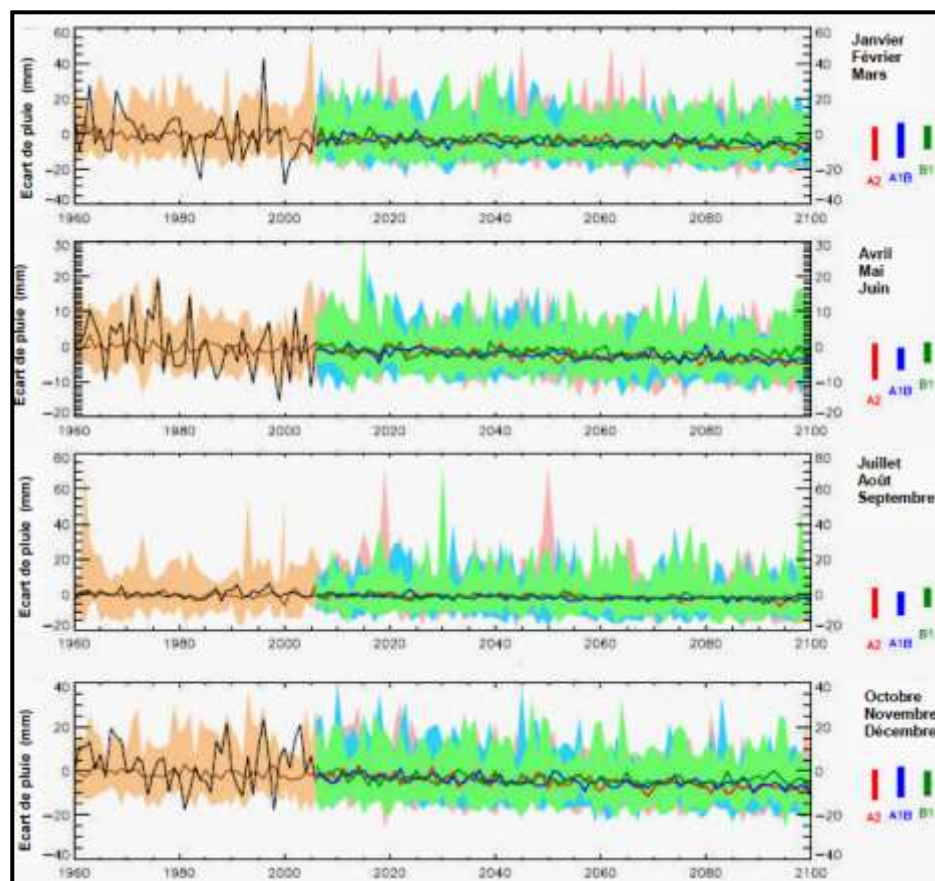


Tableau 10 : Synthèse des projections futures du changement climatique au Maroc (modèle Arpège-Climat, Scénario A2), d'après (Mokssit, 2009)

Paramètre climatique	Projections futures
Températures moyennes estivales	<p>Réchauffement de l'ordre de 2 à 6°C des températures moyennes estivales avec un gradient Est-Ouest bien prononcé en été :</p> <ul style="list-style-type: none"> • augmentations de l'ordre de 2 à 3°C sur la côte atlantique, atteignant 6°C en se déplaçant vers l'intérieur du pays. • réchauffement en hiver variant entre 3 et 5°C avec une répartition spatiale moins contrastée. • augmentations des températures maximales de 2 à 6°C et des minimales de 2 à 5°C.
Précipitations moyennes	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution des précipitations plus marquée au printemps qu'en hiver. • Tendance vers l'assèchement probablement associée à une baisse du contenu en eau du sol (impacts négatifs sur les ressources hydriques et la végétation).
Phénomènes extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation importante du nombre de vagues de chaleur estivale. • Allongement des périodes intra-annuelles de sécheresse, et donc une augmentation de sa persistance temporelle, plus marquée au printemps que durant le reste de la saison pluvieuse.

L'importance de l'ensemble des projections climatiques pour les écosystèmes forestiers apparaît à travers la coïncidence des fortes températures et de la réduction des pluies qui s'exprime notamment par des taux élevés d'évapotranspiration susceptible de provoquer la sécheresse en particulier de type édaphique (*Chap.2, Section 2.3*).

L'exemple des différences prévisibles de températures entre zones agro écologiques (figure 37) illustre parfaitement les différences régionales et leurs impacts potentiels pour l'agriculture par exemple. Ainsi, un réchauffement voisin de 3°C d'ici à 2080 atteindrait 5°C dans les zones agro-écologiques classées *défavorables* « DEF » .

Le maintien dans le temps de cette combinaison favorise l'installation d'une aridité croissante surtout lorsque le rapport ETP/ETR (évapotranspiration potentielle et réelle) devient voisin de zéro. L'augmentation de l'aridité à la station de la région de Settat en fournit un exemple concret (figure 38).

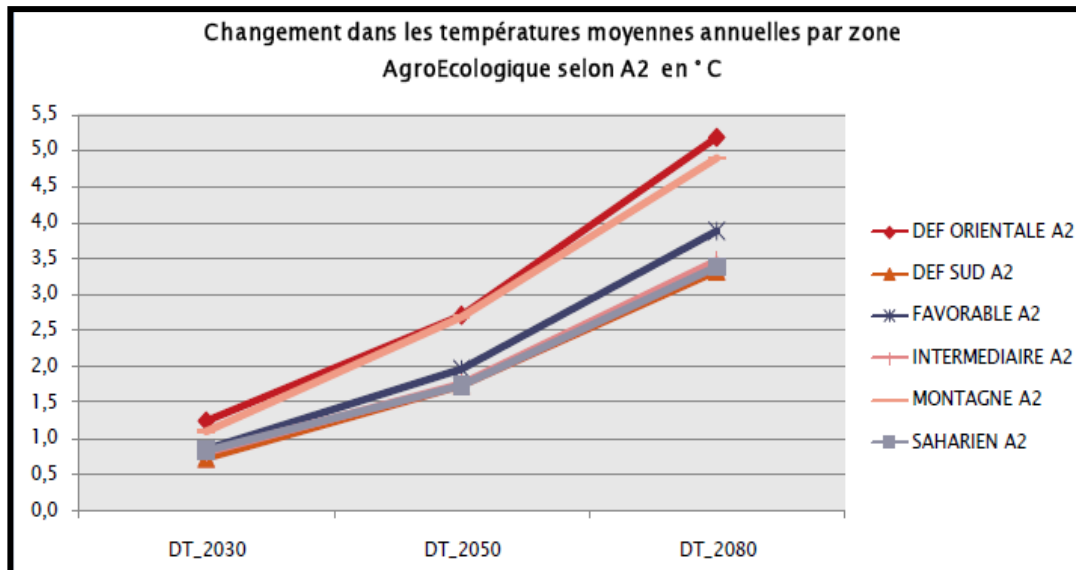


Figure 37: Changement dans les températures moyennes annuelles par zone agroécologique selon le scénario A2 (Gommes et Balaghi, 2008)

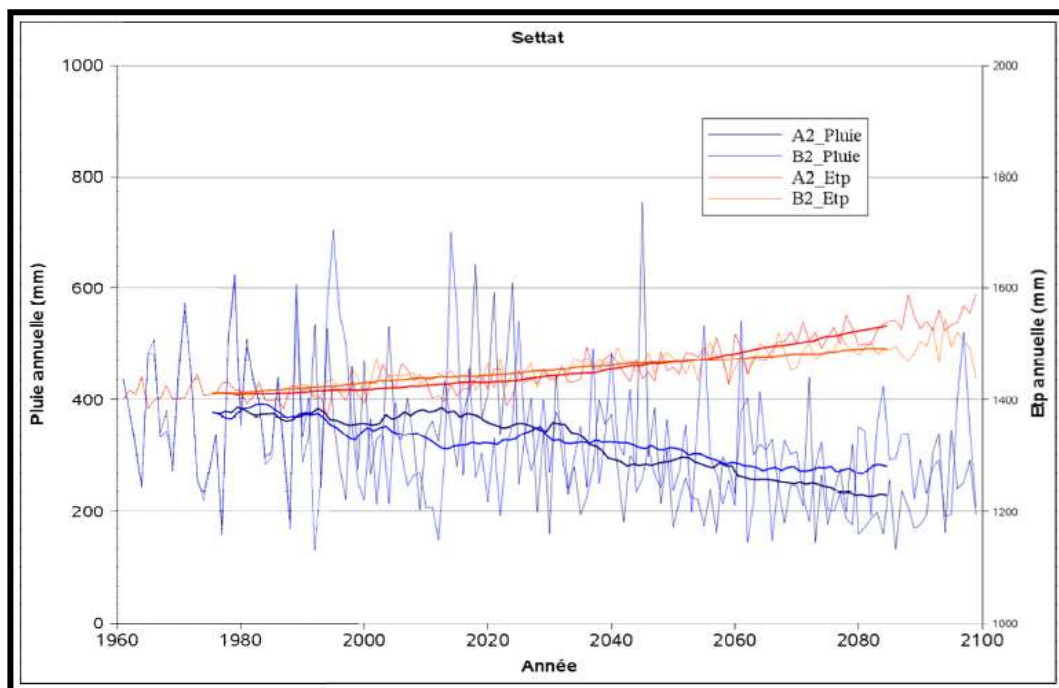


Figure 38 : Exemple de profils de pluies et ETP pour la station de Settat (Hydaumet-PNUD, 2009)

La tendance du climat du Maroc à l'assèchement en dépit de ce réchauffement est certainement accompagnée d'une réduction du contenu du sol en eau et donc d'un déficit dans les ressources hydriques (Mokssit, 2009). Cette situation expliquerait les conditions de plus en plus sèches pour les écosystèmes forestiers au Maroc.

4.4. Conséquences du changement climatique récent au Maroc : cas du cèdre de l'Atlas

4.4.1. Le dépérissement du cèdre de l'Atlas : phénomène révélateur

L'apparition massive des dépérissements des forêts de cèdre date de l'été 2001 pour les forêts du Moyen Atlas (*Photo 1*). Les premiers travaux sur le dépérissement du cèdre au Moyen Atlas (Et-tobi, 2006a, 2007a, 2007b, 2007c, 2008; Derrak et al., 2008 ; Et-tobi et al., 2009) ont permis d'évaluer l'importance du phénomène (tableau 11, figure 39).

L'importance du phénomène apparaît nettement à travers les 40% de surface atteinte de dépérissement et de mortalité. L'intensité est néanmoins différenciée d'un massif à l'autre : très importante pour la cédraie de Senoual (49%) et Aghbalou Laarbi (62%), entre 31 et 33% pour les cédraies de Bekrit et Azrou, et relativement faible pour la cédraie de Jbel Aoua Sud (17,47%). L'importance et la répartition aléatoire du dépérissement laissent penser à des causes plutôt physiques liées à des modifications climatiques.

Tableau 11 : Importance des dépérissements du cèdre dans le moyen Atlas (Et-tobi, 2007)

Forêt	Surface totale (ha)	Surface prospectée	Surface de cèdre (ha)	% de Cédraie	Surface atteinte de mortalité et/ou de dépérissement	% de cédraie affectée
Aghbalou Laarbi	30275	15201	5338	35,12	3322	62,23
Senoual	5923	4874	3891	79,83	1892	48,63
Bekrit	10346	10346	6767	65,41	2272	33,57
Azrou	17806	13763	8679	63,06	2700	31,11
Jbel Oua Sud	7865	7865	1740	22,12	304	17,47
Total	72215	52049	26415	50,75	10490	39,71

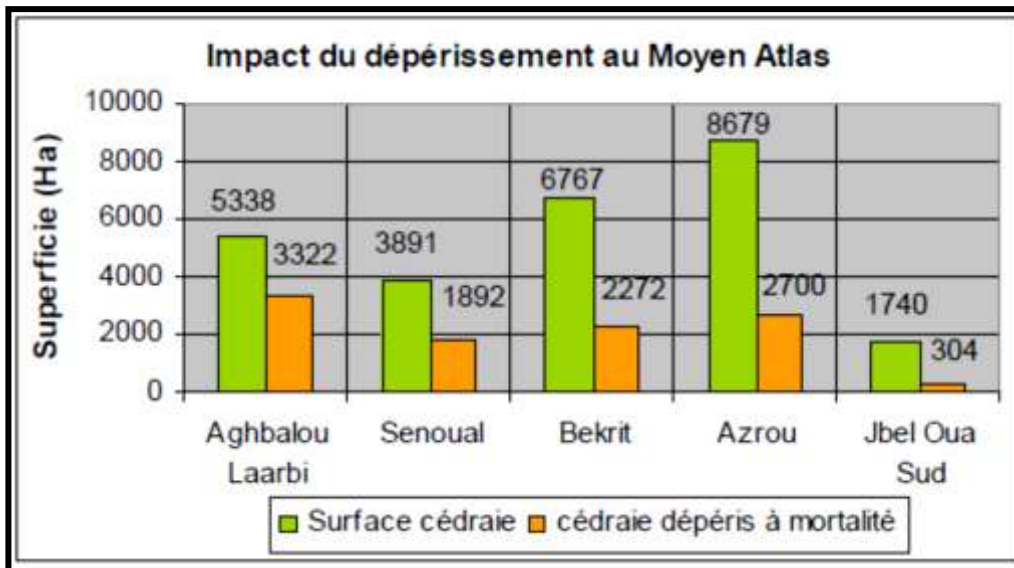


Figure 39 : Importance de l'étendue du dépérissement observé pour les principales cédraies du Moyen Atlas (Et-tobi, 2007)



Photo 1 : Jeune cédraie en situation de dépérissement, Forêt d'Ait Youssi Lamekla



Photo 2 : Peuplement de cèdre de l'Atlas en cours de mortalité généralisée dans la forêt d'Azrou (Moyen Atlas).

4.4.2. Observations récentes du changement climatique dans le Moyen Atlas marocain

Dans le cadre de la Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR « Appui à la mise en œuvre du Programme forestier national - Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas », des analyses bioclimatiques et dendrochronologiques (Mokrim, 2008) ont été réalisées en vue d'appréhender la problématique du dépérissement du cèdre. L'accent est mis sur les évolutions et les tendances des paramètres climatiques, du bilan hydrique et du bilan de la croissance chez le cèdre.

L'analyse des températures montre, de manière générale, une tendance légère à l'augmentation des températures moyennes, minimales et maximales de l'ordre de 0,5°C pour la période 1981-2006 (Figure 40).

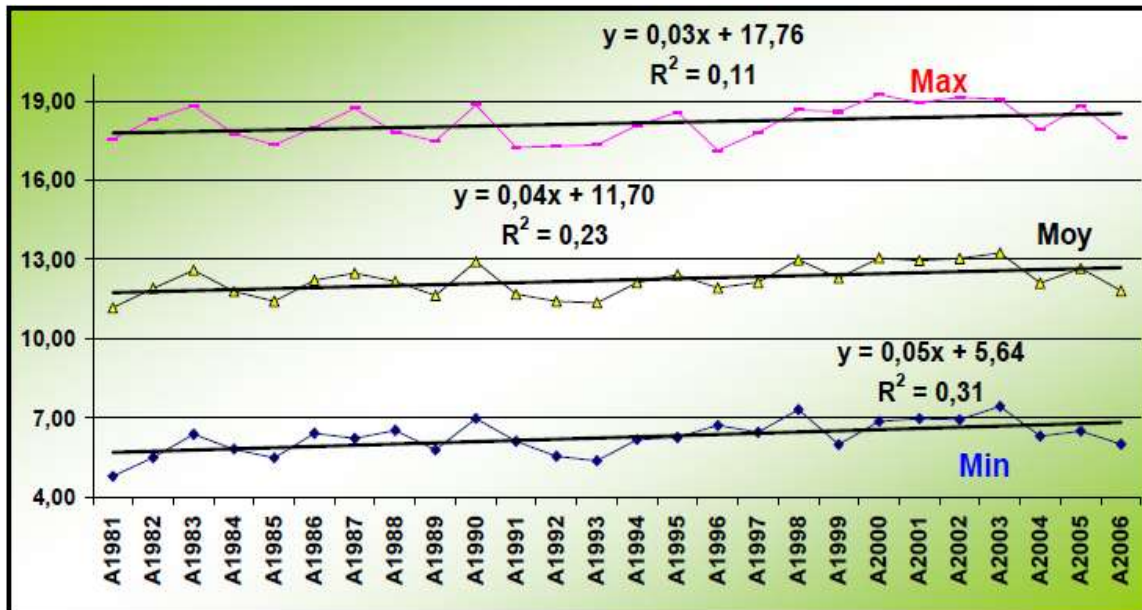


Figure 40 : Evolution de la température minimale, moyenne et maximale à Ifrane (altitude 1600m; période 1981-2006)

La pluviométrie annuelle, à Ifrane (Figure 41), a enregistré une baisse de 24,2 % entre les périodes (1930-1980) et (1981-2006). La fréquence des années déficitaires en pluie est passée de 59 à 77 % entre ces deux périodes. La tendance à la baisse des précipitations neigeuses (Figure 42) est relativement plus marquée que celle de la pluviométrie. Les précipitations comme la neige semblent tendre vers une concentration au cours de la saison d'hiver et vers une baisse durant le printemps.

L'évolution inter-annuelle du bilan hydrique, pour la période considérée (1981 et 2006), montre que ce bilan est largement déficitaire pour la période estivale. La dynamique de l'eau dans le sol, appréciée à travers les prélèvements au niveau de la réserve hydrique des sols ou des dayas, durant les 26 dernières années, est de l'ordre de **6344 mm pour Azrou et de 5486 mm pour Hachlaf**. En d'autres termes, le niveau des dayas dans la zone des deux stations (Daya Hachlaf, Daya Ifrah...) aurait baissé d'au moins 5,5 m à 6,3 m.

Les résultats et enseignements de l'analyse bioclimatique et dendrochronologique sont résumés ci-après :

- cinq épisodes de sécheresse sur les douze, qu'a connu le siècle dernier au Maroc, ont eu lieu durant la période 1982 et 1996;
- tendance à l'augmentation des températures moyennes de 0.5°C, durant la période 1981-2006;

- baisse de précipitations de 24% entre les périodes (1930 - 1980) et (1981- 2006);
- fréquence des années sèches de 59 à 77% entre (1930 - 1980) et (1981- 2006);
- tendance à la baisse de la neige plus marquée depuis les années 80;
- concentration des précipitations en hiver et baisse au printemps ;

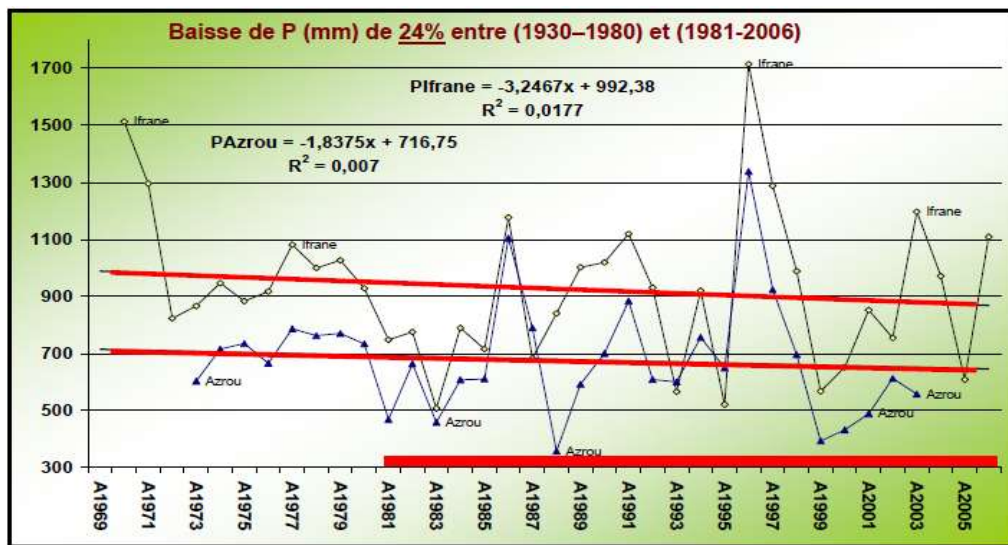


Figure 41 : Evolutions des précipitations annuelles à Ifrane (altitude 1600 m; période 1970- 2006), et Azrou (altitude 1200 m; période 1973-2003)

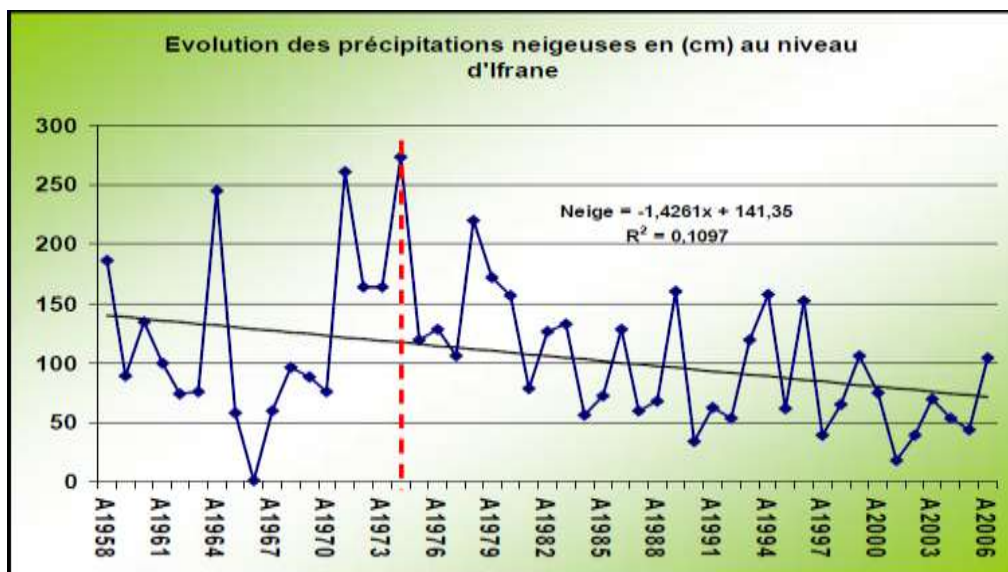
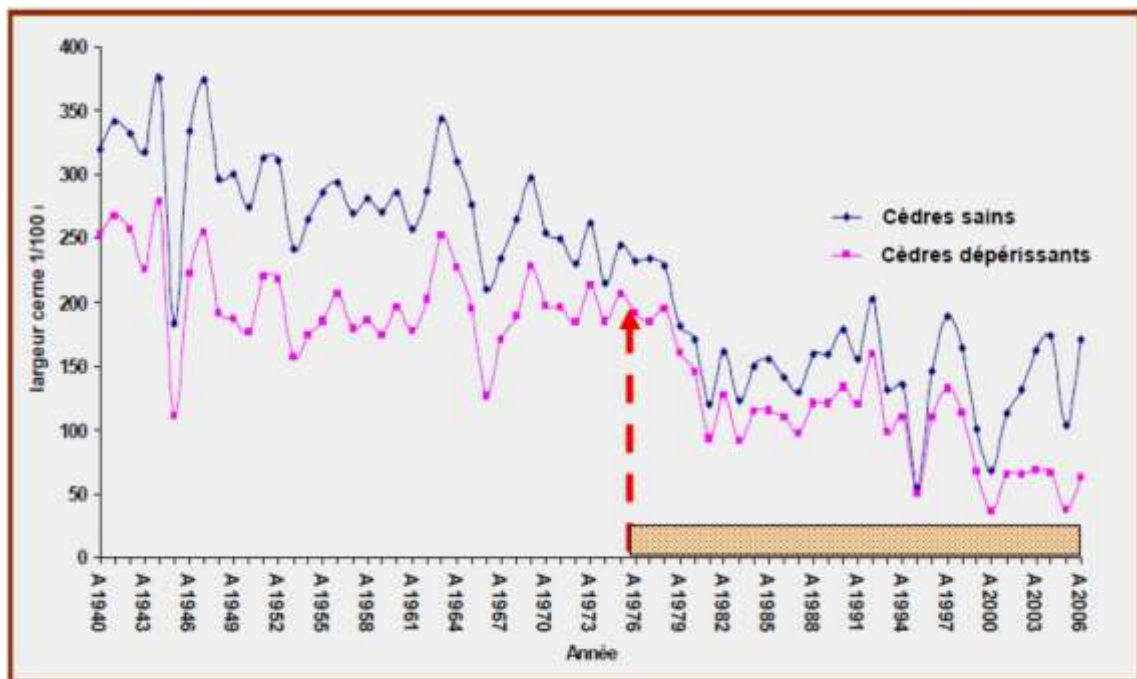


Figure 42 : Evolution des précipitations neigeuses en (cm) à Ifrane (1958-2006)

4.4.3. Conséquences observées sur la croissance du cèdre au Moyen Atlas

Les résultats de l'analyse bioclimatique et dendrochronologique (Mokrim, 2008) ont permis de retracer l'évolution de la croissance du cèdre depuis 1940 en parallèle à l'évolution des paramètres bioclimatiques dans les cédraies dépérissantes du Moyen Atlas. Cette évolution conjointe se traduit par une concordance des chronologies d'épaisseurs de cernes et des variations dans les paramètres climatiques (bilan hydrique), mais aussi avec les classes de dépérissement ou le degré de stress des arbres (figure 43).



**Figure 43 : Impact sur la croissance du cèdre au Moyen Atlas (Mokrim, 2008)
Evolution comparée de la largeur du cerne dans de cèdres sains et dépérissants**

L'impact de ces changements dans les paramètres du climat s'est traduit par une perte de la vigueur de croissance du cèdre de l'ordre de 30%. Cette perte de vigueur mesurée sur le cerne moyen est passé de 2,01 mm pour la période 1940 – 2006, à 1,40 mm pour la période 1976 – 2006.

En conclusion, la tendance des précipitations pluvieuses et surtout neigeuses vers la baisse en valeur absolue et vers une concentration dans le temps, l'augmentation de la température et son impact sur le bilan hydrique et la réduction de la durée de la saison de croissance contribueront à limiter l'activité de croissance chez le cèdre. La persistance et l'amplification de cette limitation constituent des facteurs d'autant plus prédisposant au phénomène du dépérissement que les conditions de station sont moins favorables.

De plus amples détails sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas sont fournis par l'ensemble des rapports de l'étude des causes du dépérissement du cèdre de l'Atlas (Projet FAO/MOR/028/HCEFLCD- Maroc), et les travaux de Et-tobi, 2006, 2007 et 2008; Derrak et al., 2008, Mhirit et al., 2008.

4.5. Impacts potentiels du changement climatique futur sur les écosystèmes forestiers

4.5.1 Caractérisation des conditions bioclimatiques futures des essences forestières

Les hypothèses, théories et méthodes de prévision et de simulation de l'impact du changement climatique applicables aux écosystèmes forestiers ont été décrits dans le chapitre 3. L'ensemble de ces méthodes est soumis à une triple contrainte : la disponibilité des données pertinentes de base, nécessaires à l'application de l'une ou l'autre des approches, les données sur les seuils de tolérance climatique des espèces forestières à une résolution régionale, et le temps imparti à l'accomplissement des analyses. Dans ce contexte ; l'appréhension des simulations pour l'ensemble des espèces forestières du Maroc n'est pas techniquement réalisable compte tenu de l'objectif essentiel et des délais du cadre de la présent étude.

Néanmoins, deux démarches ont été développées pour palier cette contrainte. La première se base sur la comparaison des projections climatiques futures au tempérament des principales essences selon les facteurs températures et précipitations en exploitant la théorie du « **mouvement des écosystèmes** » (*Chap.3*). L'objectif consiste à évaluer l'impact sur l'aire de distribution, le déplacement altitudinal et l'étagement des écosystèmes à cèdre de l'Atlas. La seconde approche, de type prospective a trait à un essai de simulation de l'aire potentielle future du cèdre de l'Atlas à travers la modélisation du nombre de saison de végétation et la durée de la période moyenne de croissance du cèdre de l'Atlas.

A ce titre, les précipitations, les températures et leurs variabilités, constituent dans nos climats les paramètres climatiques les plus importants de la distribution des espèces et de leur croissance (Mhirit, 1982, 1994, 1999). Fait naturel, la répartition et la croissance (potentiel de production) des essences forestières au Maroc ne sont pas géographiquement uniformes. Celles-ci varient considérablement en raison non seulement des critères bioclimatiques, mais aussi orographique, lithologique et anthropique (*Chap.1*).

Dans ce contexte, les perspectives inhérentes à l'impact des projections climatiques sur les essences forestières peuvent être appréhendées selon la méthodologie spécifique développée à cet égard (figure 44). Cette approche a pour objectif la détermination des valeurs projetées des paramètres du climat futur, et de les comparer aux valeurs qui déterminent le tempérament bioclimatique actuel des essences forestières considérées (*figures 3 et 4, Chap.1*).

A ce titre, des multiples combinaisons des facteurs géographiques et bioclimatiques, entre autres topoclimatiques, résulte la cartographie actuelle des principaux écosystèmes forestiers (carte 4 de la figure 44) que nous avons dressée sur la base des cartes pré-existantes. Or, à l'échelle territorial, les bioclimats et leurs variantes sont également assujettis à cette répartition géographique. La démarche suivie passe ainsi par une cartographie parallèle des projections climatiques (Driouech, 2009) attendues sur l'ensemble du pays.

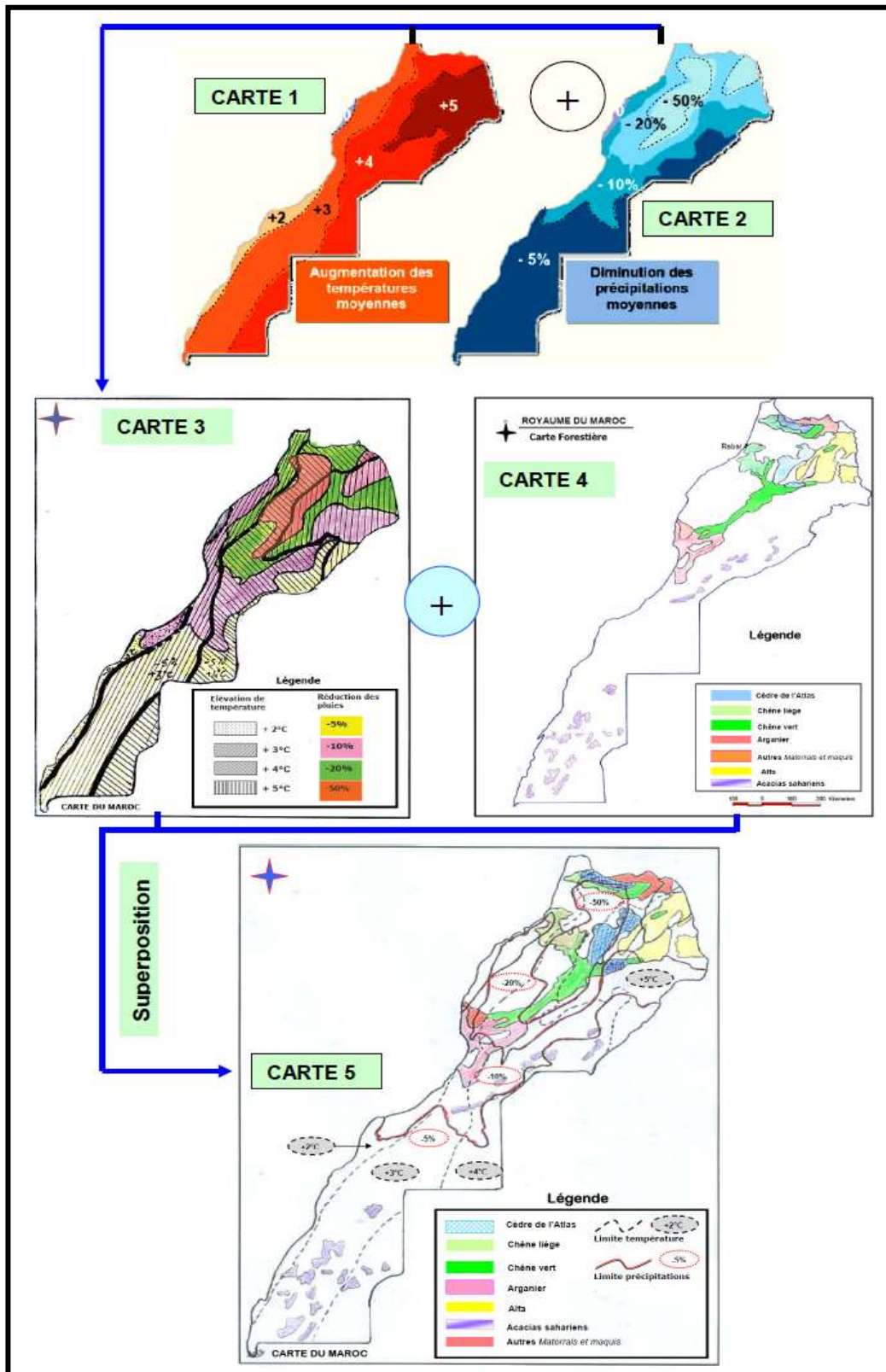


Figure 44 : Démarche de mise en évidence de l'impact des projections climatiques sur les principaux écosystèmes forestiers au Maroc (Dressé par Mhirit et Et-tobi, 2009).

La superposition des cartes (figure 44) des projections climatiques des températures moyennes (carte 1) et celles des précipitations (carte 2) permet de dresser une **typologie des zones homogènes des projections thermo-pluviométrique pour 2050** à l'échelle de l'ensemble du territoire national (carte 3 de la figure 44).

La superposition de ce document graphique à la carte de répartition des principaux écosystèmes forestiers du Maroc permet la détermination des projections thermiques et pluviométriques relatives aux écosystèmes forestiers à l'échelle des grands massifs dans chaque zone géographique (carte 5 de la figure 44).

La lecture de la **carte 5** permet de dresser la matrice « **Projections climatiques x Espèce x Zone géographique** » dont la synthèse est restituée par le tableau 12.

Tableau 12 : Projections par zone géographique des changements de température et de précipitations pour les principales essences forestières à l'horizon 2050 (Scénario A2)

Augmentation de Tmax, et réduction des pluies		Cèdre		Chêne vert		Chêne liège	
		+T°C	-Pr (%)	+T°C	-Pr (%)	+T°C	-Pr (%)
Région géographique		+T°C	-Pr (%)	+T°C	-Pr (%)	+T°C	-Pr (%)
Rif	Occidental	+3	-20	-	-	+3	-20
	Central	+4	-50	+3	-50	+4	-50
	Oriental	+4	-20	+3	-20	+4	-20
Moyen Atlas	Oriental	+5	-20 à -50	+5	-20	-	-
	Central	+5	-50	+5	-50	-	-
Haut Atlas	Oriental	+5	-20	+5	-20 à -50	-	-
Anti Atlas	-	-	-	+4	-20	-	-
Maâmora	-	-	-	-	-	+3	-20
Meseta côtière	-	-	-	-	-	+3	-10
Plateau central	-	-	-	-	-	+4	-20 à -50

(+T°C) : Augmentation de température, (-Pr(%)) : Taux de réduction des précipitations

A ce niveau, les données du tableau 12 expriment les niveaux de changements susceptibles d'affecter les caractéristiques bioclimatiques auxquelles seraient probablement exposées les principales essences économiques du pays (Cèdre de l'Atlas, Chêne vert et Chêne liège), et qui conditionneraient leur répartition, leur croissance et leur développement.

Les valeurs seuils du tempérament des principales essences forestières en fonction des températures et des précipitations ne sont pas encore établies pour l'ensemble des régions géographiques du pays; cette contrainte rend difficile les prévisions de l'impact climatique à une résolution régionale.

Dans le cas du chêne vert, par exemple, les réductions projetées (tableau 12) dans les précipitations appliquées aux valeurs seuils de pluie actuelle (**384 - 1462 mm/an**) seront de nature à provoquer une contraction de l'aire de distribution du chêne qui serait :

- très importante dans le Rif central, le Moyen Atlas central et certains versants du Haut Atlas oriental puisque la tranche de pluie ne serait plus que de **192-731 mm/an** (réduction de 50% des précipitations).
- relativement moins grave dans le reste de l'aire d'existence du chêne vert puisque la tranche de pluie projetée varierait entre **345 et 1170 mm/an** correspondant à une réduction plus faible de **20%** des précipitations.

Dans les deux cas de figures, ce sont d'abord les aires marginales de distribution qui subiraient les premiers impacts. Cependant, dans le cas des fortes réductions (**-50%**), l'impact du changement climatique affecterait (par contraction) l'aire de distribution du chêne vert même dans les zones actuellement les plus favorables (plus humides) du pays.

Pour le chêne liège qui est une essence réputée plastique sur le plan écologique, les variations projetées de température de précipitations ne manqueront pas d'affecter certaines portions de son aire de distribution actuelle. En effet, les précipitations actuelles (**441 – 1709 mm/an**) seront réduites à des tranches de :

- 220 - 854 mm/an dans le Rif central et certaines localités du plateau central ;
- 352 - 1367 mm/an dans le Rif occidental et oriental et dans la Maamora.

Les subéraies de montagne et de plaine sont ainsi menacées d'une réduction plus ou importante de leur contour actuel de répartition ; une fragmentation de l'aire est pratiquement certaine dans les deux cas de figures.

Ce raisonnement reste applicable aux autres essences forestières marocaines ; le changement climatique devrait affecter les zones marginales en premier lieu et s'étendre progressivement vers les massifs représentatifs. L'encadré 11 fournit un bref aperçu sur les modifications attendues dans les quantités de pluie pour des essences forestières représentant dans de nombreuses situations, les espèces mélangées au cèdre, chêne vert et chêne liège.

Encadré 11 - Projections des changements dans la tranche pluviométrique de certaines essences forestières formant massif ou accompagnant les essences principales.

Essences forestières	Tranche pluviométrique actuelle (mm/an)	Tranche pluviométrique projetée pour 2050 mm/a	
		(- 50%)	(- 20%)
Genévrier rouge	186-410	93-205	148-328
Thuya	350-627	175-313	280-501
Oléastre et lentisque	305-1338	152-669	244-1070
Jujubier et bétoum	190-409	95-204	152-327
Arganier	212-350	106-175	169-280

Ces modifications projetées des précipitations sont variables selon la zone géographique de répartition de chaque espèce forestière, mais elles montrent notamment le manque d'eau qui affecterait probablement tout développement normal de la végétation forestière.

Par ailleurs, en plus des réductions attendues dans les quantités de pluie, les projections des augmentations de température vont parallèlement exacerber l'évapotranspiration et engendrer des phénomènes de sécheresse édaphique (*chap.3*), et réduire par conséquent la saison de végétation ; de ce fait, moins de jours favorables seraient disponibles pour la croissance normale des arbres forestiers et de l'ensemble de la végétation de manière générale.

Ces modifications du climat (précipitation et température) sont ainsi de nature à influencer l'aire de répartition, les limites altitudinales, mais aussi la composition et la structure des peuplements en agissant sur la physiologie des arbres et de la végétation associée. L'augmentation de température et la réduction des pluies projetées devraient intensifier l'évapotranspiration et accroître ainsi l'aridité. Ces effets engendreraient progressivement une réduction de la croissance pouvant conduire à plus ou moins brève échéance à des dépérissements, voire des mortalités progressives et plus ou moins massives pour les écosystèmes forestiers.

Dans le cas du cèdre de l'Atlas, la disponibilité de l'information sur les seuils de tolérance climatique et de celles des projections climatiques futures (tableau 13), l'existence d'une riche documentation scientifique pour le cèdre de l'Atlas (encadrés 12 et 13), la réponse antérieure et récente des cédraies au changement climatique (Chap.4, Sections 4.1, 4.4), sont autant de raisons qui suggèrent sa prise en compte comme « écosystème modèle » pour nos essais de prévision des impacts futurs du changement climatique sur les écosystèmes forestiers.

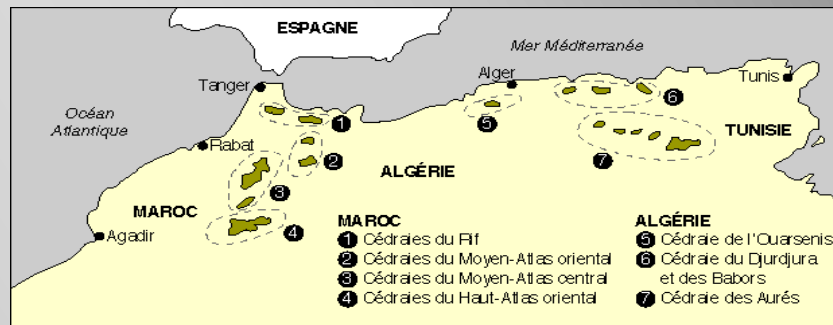
Tableau 13 : Valeurs actuelles et projetées des précipitations moyennes et des températures estivales pour l'aire de répartition du cèdre de l'Atlas

Régions phytogéographiques	Précipitations et températures actuelles		Précipitations et températures projetées (2050)	
	Précipitations annuelles moyennes (mm)	Températures maximales moyennes (Tmax, en °C)	Précipitations annuelles pour 2050 (mm)	Températures maximales moyennes (Tmax, en °C) pour 2050
Rif occidental	1588,0	26,20	1270,5	29,20
Rif central	1482,0	26,25	741,5	30,25
Rif oriental	960,0	25,60	768,0	29,60
Moyen Atlas central	968,5	29,25	386,0	34,25
Moyen Atlas oriental	771,0	27,60	629,5	32,60
Haut Atlas oriental	649,0	26,40	519,0	31,40

Sur la base des données existantes et dans le cadre d'un éclairage prospectif, les paragraphes qui suivent présentent une analyse des impacts du changement climatique sur la répartition altitudinale et l'étagement du cèdre de l'Atlas, les effets sur la saison de végétation et la période moyenne de croissance, et esquissent une simulation de son aire potentielle de distribution future.

Encadré 12 - Grands traits écologiques et phytogéographiques du cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.), espèce montagnarde, forme spontanément sept blocs distincts dans les montagnes de l'Afrique du Nord (voir figure ci-après), dont quatre dans les montagnes marocaines (130 000 ha) et trois dans les montagnes algériennes (40 000 ha). Au Maroc, on retrouve (Mhirit, 1982, 1994, 1999) :



Les cédrâies du Rif couvrent une superficie de l'ordre de 15 000 ha, où le cèdre se développe à partir de 1.500 m sur calcaire en mélange avec le sapin du Maroc et sur des substrats quartzeux-schisteux de la nappe de Kétama ou des substrats gréseux de la nappe de Tizirène.

La cédrâie du Tazekka s'étend sur une superficie de l'ordre de 850 ha ; le cèdre s'y développe sur schistes primaires non calcaires et présente beaucoup d'affinités avec les cédrâies du Rif.

Les cédrâies du Moyen-Atlas central constituent l'ensemble le plus important du cèdre de l'Atlas, d'une superficie de l'ordre de 120.000 ha sur substrat calcaire ou dolomitique du Lias et du Jurassique. Deux groupes se distinguent par leur structure morphologique et phytoécologique : le groupe du Causse moyen atlasique tabulaire au nord et le groupe du Moyen-Atlas plissé au sud constitué par des reliefs plus individualisés (Emberger, 1939 ; Pujos, 1966 ; Achhal *et al.*, 1980).

Les cédrâies du Moyen-Atlas Oriental (23.000 ha) sont individualisées en petits îlots dans les massifs du Bou Iblane, de Taffert et de Tamtroucht au Nord et dans les massifs de Bou Naceur au sud sur substrat dolomitique ou marno-calcaire du Toarcien-Aalenien (Peyre, 1979 ; Ziat, 1986).

Le cèdre de l'Atlas occupe essentiellement les variantes fraîches à extrêmement froides des étages bioclimatiques **perhumide**, **humide** et **subhumide** selon la classification d'Emberg. La valeur du **quotient pluviothermique (Q)** varie de **50** à **330** alors que la température moyenne minimale du mois le plus froid varie entre **-9°C** et **-1°C**. La forêt de cèdre apparaît de façon assez schématique à partir de **1500 m** (individus) dans le **Rif**, de **1600 m** dans le **Moyen Atlas** et de **1700 m** dans le **Haut Atlas oriental**. La limite supérieure du cèdre varie également en fonction des stations ; il atteint le sommet de Jbel Tidighine (2440 m) dans le Rif ; dans le Moyen Atlas, des individus isolés sur le revers sud du Bou Iblane ont été observés jusque 2600 m et il atteint des altitudes analogues dans le Haut Atlas oriental. Dans cet éventail, le cèdre constitue sur les Atlas marocains des groupements végétaux variés dont la distinction entre cédrâie atlantique ou océanique et cédrâie continentale répond à des réalités phyto-écologiques. A ce titre, le cèdre de l'Atlas au Maroc (Mhirit, 1999 ; Benabid et Fennane, 1999), individualise 3 types de séries de végétation :

- celles du supra-méditerranéen, infiltrées par des chênes sclérophylles ou caducifoliés ;
- celles du montagnard méditerranéen inférieur, généralement pures et denses ou mélangées aux chênaies vertes ;
- celles du montagnard méditerranéen supérieur, clairsemées et infiltrées d'espèces de pelouses écorchées ou de genévriers.

4.5.2. Impact sur la répartition du cèdre de l'Atlas

Les changements dans la répartition altitudinale de la végétation figure parmi les impacts directs du changement climatique. En effet, une augmentation de température provoque un accroissement de l'évapotranspiration climatique « ETP » (Chap.3). L'impact d'une hausse de température sur l'ETP met en évidence des modifications possibles dans les limites géographiques de la végétation. Ceci provoquerait à plus ou moins long terme une contraction des zones de végétation concernées à cause de l'aridité croissante générée. En montagne, la contraction de l'aire de distribution peut se traduire par un déplacement altitudinal (migration) des espèces à la recherche de conditions plus favorables. L'augmentation de température contribue directement à ces déplacements à raison, en général, de **100 m** par augmentation de **0,55°C** (Hoff et Rambal, 2000).

Pour appréhender l'impact potentiel du changement climatique sur les limites altitudinales des cédraies marocaines (Encadré 12), cette règle biogéographique conceptuelle (hypothèse) est mise à contribution conformément aux valeurs de températures projetées pour 2050 du tableau 13.

Les modifications attendues (*à partir des limites altitudinales inférieures*) dans la répartition altitudinale des cédraies marocaines varient de 545 à 909 m selon la zone géographique (tableau 14).

Tableau 14 : Impact potentiel de l'augmentation de température sur les limites altitudinales du cèdre au Maroc

Zone géographique	Altitudes actuelles	Amplitude altitudinale actuelle (m) (I)	Augmentation projetée de température (°C)	Variation d'altitude (m) en 2050 (II)	Limite altitudinale inférieure en 2050	Tranche altitudinale (m) restante en 2050 (I) - (II)
Rif occidental	1400 à 2300	900	+3	545	1945	355
Rif central	1500 à 2400	900	+4	727	2227	173
Rif oriental	1700 à 2200	500	+4	727	2427	Contraction de l'aire et/ou disparition probable du cèdre
Moyen Atlas central	1500 à 2000	500	+5	909	2409	
Moyen Atlas oriental	1800 à 2000	200	+5	909	2709	
Haut Atlas oriental	1800 à 2400	600	+5	909	2709	

Conformément à l'hypothèse utilisée et aux augmentations projetées de températures, le Cèdre de l'Atlas semble être menacé d'extinction dans le Moyen Atlas oriental et le Haut Atlas à l'horizon 2050. Les taux inférieurs d'augmentation de température prévus pour le Rif et des écarts d'altitude plus importants donneraient probablement plus de chance de maintien pour les cédraies notamment sur la façade occidentale et au niveau du Rif central. Dans ce contexte, l'essentiel du cèdre de l'Atlas devrait rester concentré dans le Rif entre 1.945 et 2.300 m d'altitude sur la portion occidentale ; et entre 2.227 à 2.400 m dans la partie centrale.

Cependant, l'utilisation des limites altitudinales inférieures et de la règle biogéographique conceptuelle (*qui par ailleurs suppose l'entrée en jeu de la théorie du « mouvement des écosystèmes »*) demeure une approche trop simpliste. Elle ignore les différences de tolérance climatiques des diverses espèces constituant un étage de végétation donné. Par ailleurs, cette approche donne l'illusion d'une disparition totale de la végétation dans l'aire considérée, ce qui est évidemment loin de simulation raisonnable. Une modification de la composition en espèces et de la structure des peuplements serait plus soutenable comme impact à prévoir (*Chap.3*).

Afin d'illustrer ces propos, l'étagement de la végétation est appréhendé à travers trois exemples pris parmi les écosystèmes au Maroc moyennant une hypothèse de déplacement de 500 m en altitude pour un accroissement de température de 3°C traduisant un scénario « moyen » de simulation qui suppose le même changement climatique pour les trois cas. Les exemples retenus (figures 45, 46 et 47) représentent des transects de la végétation de montagne caractérisant la répartition altitudinale des étages de végétation (Benabid et Fennane, 1994) parmi lesquels figure le cèdre de l'Atlas, à savoir : un transect dans le Rif sur Jbel Tizirène qui culmine à 2.100 m d'altitude, un transect dans le Moyen Atlas oriental sur Jble Bou Iblane (3.172 m), et un transect dans le Haut Atlas sur Jbel Ayachi (3173 m).

Les amplitudes altitudinales des étages à cèdre, notamment le *supra-méditerranéen* et le *montagnard méditerranéen*, pouvant résulter de ces hypothèses figurent dans le tableau 15.

Tableau 15 : Simulation des limites altitudinales des étages de végétation du cèdre à l'horizon 2020 et 2100

Etage de végétation du cèdre par zone	Supraméditerranéen			Montagnard méditerranéen		
	Rif	Moyen Atlas	Haut Atlas	Rif	Moyen Atlas	Haut Atlas
Limites altitudinales actuelles	1400-1800	1600-2000	1800-2200	1800-2300	2000-2500	2200-2700
Limites vers 2100 : (500m / 3°C)	-	-	-	-	-	-
Limite supérieure des forêts	2400	2600	2800	2400	2600	2800

Si l'hypothèse géographique envisagée se concrétisait, le cèdre de l'Atlas serait menacé d'extinction dans ces régions, et laisserait place à d'autres formations forestières moins sensibles, dans le cadre de cette hypothèse, au changement climatique en perspective. L'impact du changement climatique entraînerait la perte des zones climatiques les plus froides et le déplacement linéaire de toutes les ceintures de végétation vers les sommets. On assistera par conséquent à la disparition du cèdre sur d'importantes surfaces de son étendue actuelle comme le prouvent les dépérissements en cours dans le Moyen Atlas (*Section 4.4*).

Comme ces étages contiennent une part importante des endémiques de la flore (Benabid et Fennane, 1999), l'impact sur la biodiversité dans les montagnes serait très significatif surtout que la richesse floristique des cédraies est estimée à un millier d'espèces dont près de 10% d'arbres et 15% d'arbustes et arbrisseaux, et 75% de plantes herbacées annuelles ou pérennes. Dans les versants sud, réchauffement et baisse des précipitations peuvent entraîner une progression vers le nord des écotypes méditerranéens (steppisation des écosystèmes). Ces phénomènes seraient susceptibles de présenter un impact écologique plus intense, en particulier une remontée vers le nord du climat saharien et des espèces qui lui sont liées (Quézel et al, 1990).

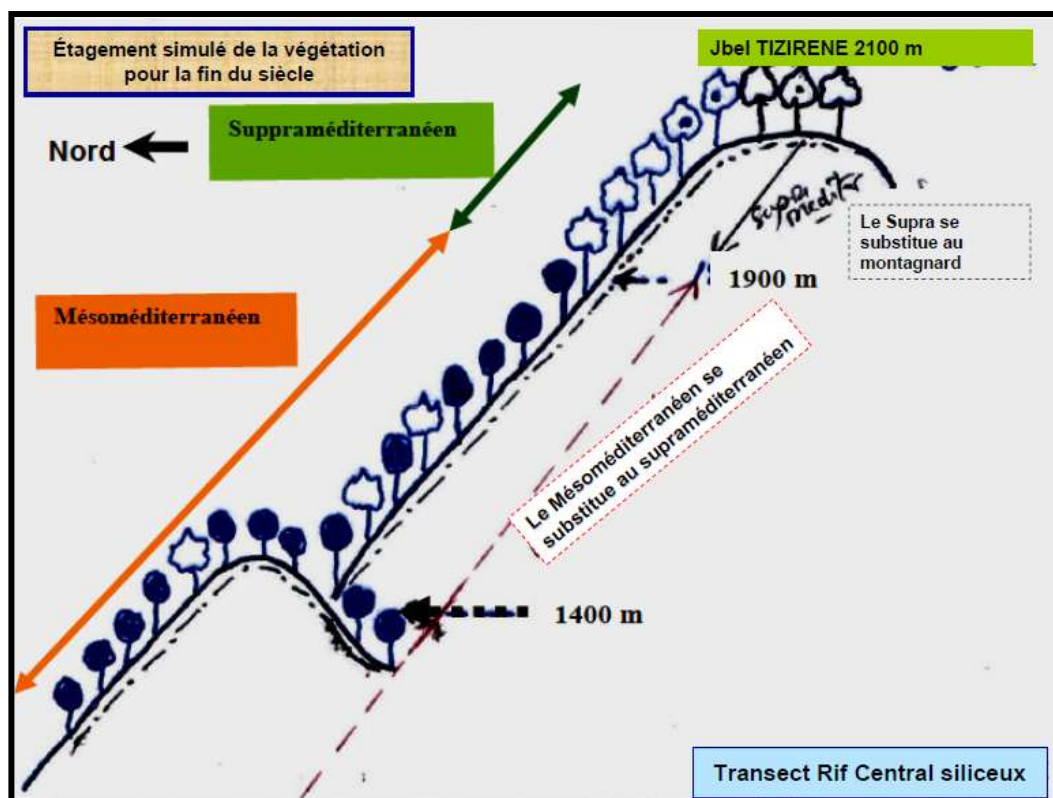
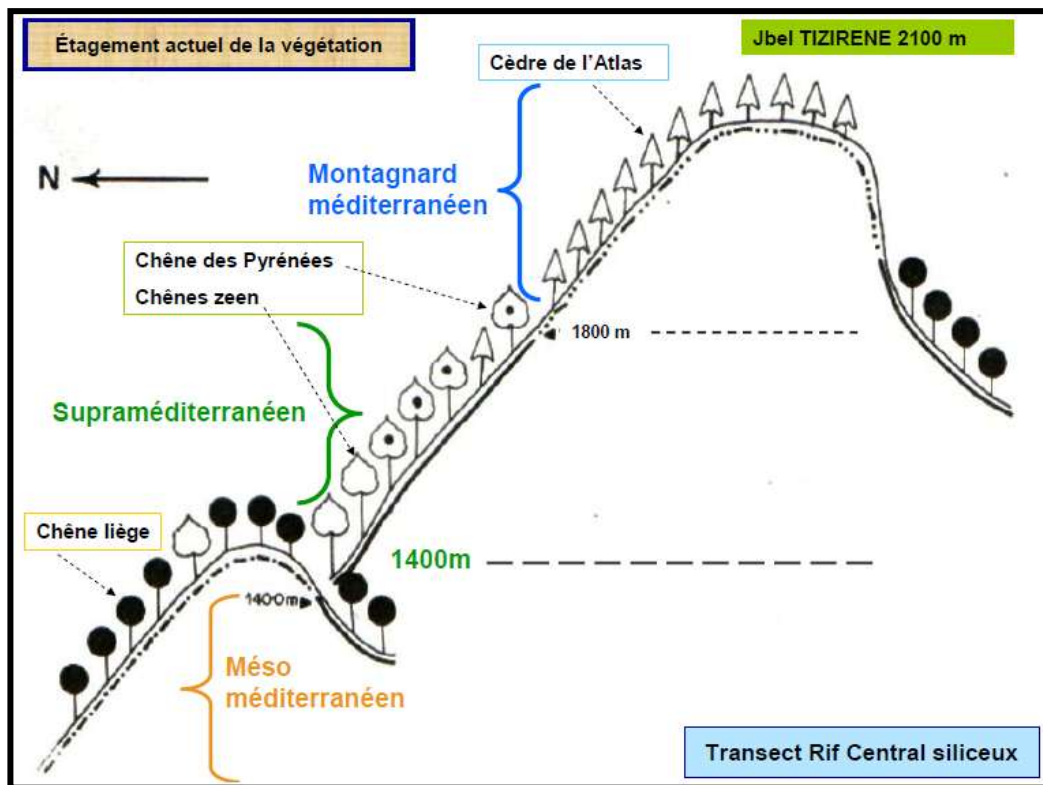


Figure 45 : Etagement de la végétation du Jbel Tizirène dans le Rif central (Transect actuel et transect simulée pour la fin du 21^{ème} siècle)

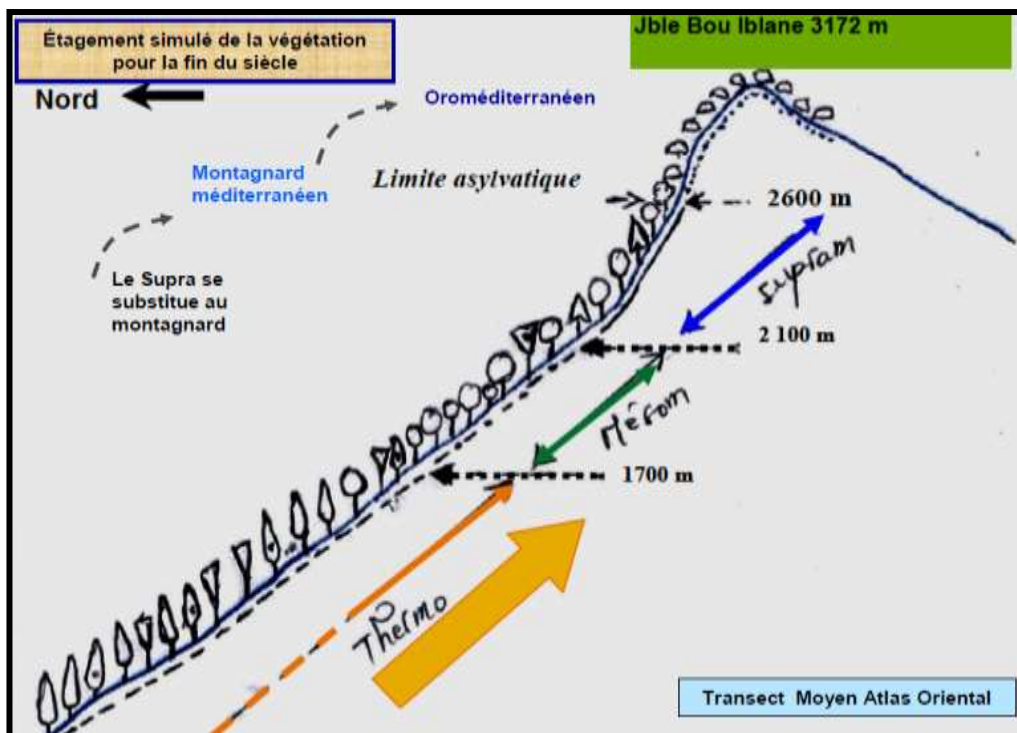
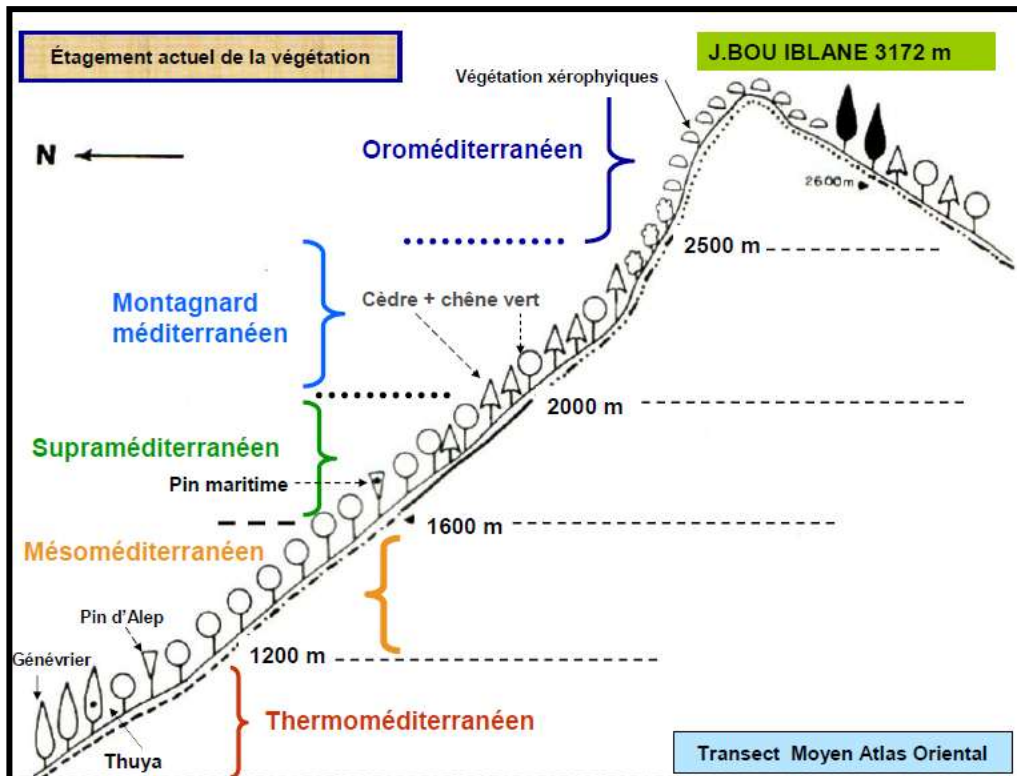


Figure 46 : Etagement de la végétation du Jbel Bou Iblane au Moyen Atlas oriental
(Transect actuel et transect simulée pour la fin du 21^{ème} siècle)

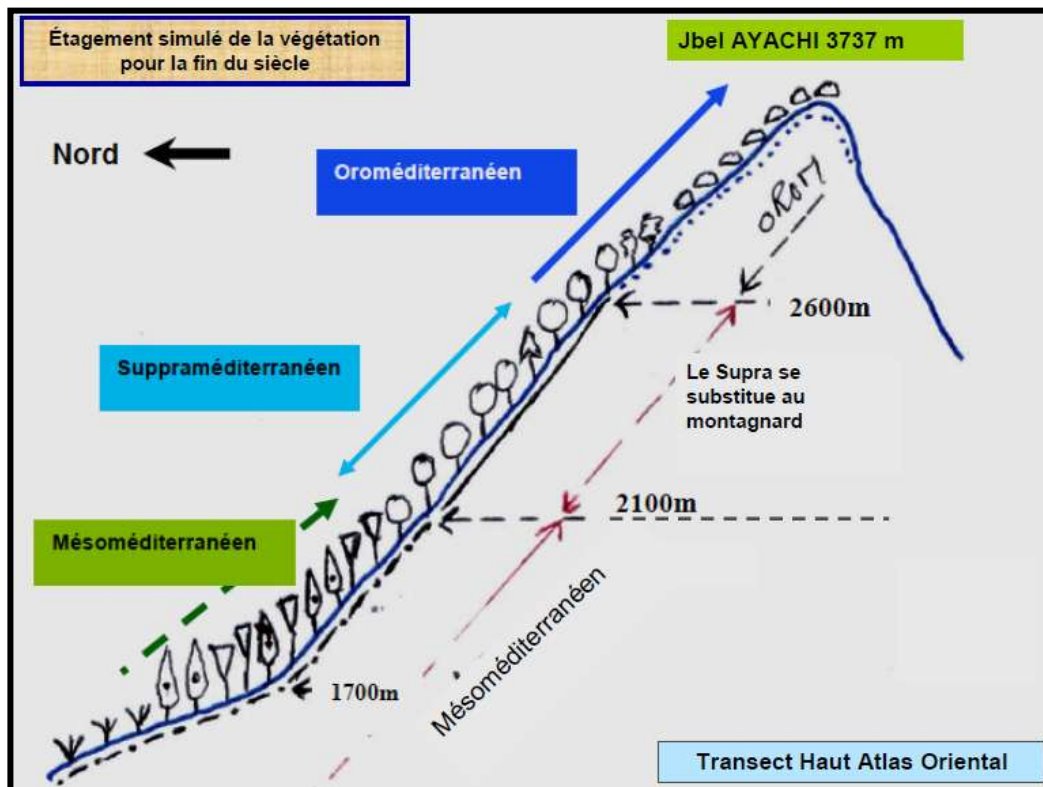
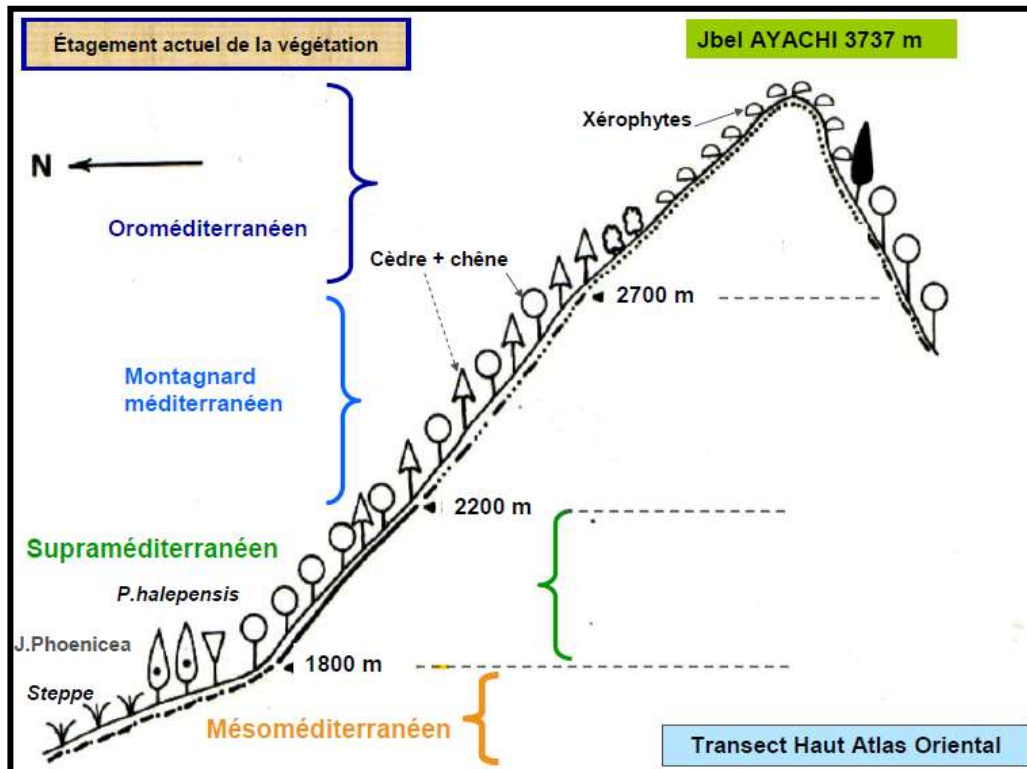


Figure 47 : Etagement de la végétation du Jbel Ayachi au Haut Atlas oriental
(Transect actuel et transect simulée pour la fin du 21^{ème} siècle)

Néanmoins, le cèdre de l'Atlas, compte tenu de sa sensibilité (encadré 13), pourrait toutefois se maintenir en tant qu' « **espèce relique** » (îlots ou arbres isolés, *photo 3*) au niveau supérieur de l'étage supra-méditerranéen de Jbel Ayachi dans le Haut Atlas et probablement dans le Moyen Atlas oriental sur Jbel Bou Iblane entre 2.100 et 2.600 m d'altitude au niveau de l'étage supra-méditerranéen également.



Photo 3 : Aspect de cédraie marginale, relique et très vulnérable (Haut Atlas oriental)

En conclusion, l'essai de simulation ci-dessus réalisé sur la base d'une hypothèse biogéographique de déplacement altitudinal demeure critiquable dans la mesure où seul le facteur température est pris en compte ; il reste ainsi biaisé par l'absence d'intégration des précipitations qui restent déterminantes dans nos régions.

Comme tout essai prospectif, il garde néanmoins l'avantage de renseigner sur la possible existence de « **zones refuges** » pour une éventuelle migration du cèdre en altitude dans le cas d'un éventuel changement drastique du climat. A ce sujet, l'importante dénivelée des montagnes du Rif peut offrir à haute altitude (1945-2300 m) un espace de zones refuges pour une migration éventuelle du cèdre de l'Atlas. C'est le résultat essentiel à retenir à travers cette simulation dans le contexte des connaissances scientifiques actuelles.

4.5.3. Simulation de la saison de végétation et la période de croissance

Les prévisions du changement climatique projeté à l'horizon 2050 au Maroc (augmentation de température et réduction des précipitations), auront pour effet des modifications des conditions bioclimatiques de croissance pour les essences forestières dans l'ensemble des régions du pays d'une manière générale. La conséquence première du bioclimat pour la sylviculture est l'importance de la période moyenne de croissance (PMC) des arbres ou durée de saison de végétation (*Chap.1, section 1.1.2*).

Pour le cèdre de l'Atlas au Maroc, la période moyenne de croissance (tableau 16) est relativement courte et ne dépasse guère 1 mois dans le Haut Atlas et le moyen Atlas oriental (les conditions climatiques de cette zone n'autorisent pas une seconde phase de croissance), entre 1 et 3 mois dans le Moyen Atlas central, et de 2 à 3,4 mois dans le Rif (Mhirit, 1982, 1994).

Tableau 16 : Caractéristiques bioclimatiques et période moyenne actuelle de croissance (PMC) du cèdre de l'Atlas au Maroc (Mhirit, 1994)

Région	Atitudes (m)	Précipitations moyennes (mm)	Température maximale moyenne (°C)	Période moyenne de croissance (mois/an)	Nombre de saison de végétation par an
Rif occidental	1400 à 2300	1588	26,20	2,1	2
Rif central	1500 à 2400	1482	26,25	3,4	2
Rif oriental	1700 à 2200	960	25,60	2,1	2
Moyen Atlas central	1500 à 2000	968,5	29,25	3,1	2
Moyen Atlas oriental	1800 à 2000	771	27,60	0,7	1
Haut Atlas oriental	1800 à 2400	649	26,40	1,0	0,7

Pour cela, il est important de passer en revue quelques aspects déterminants dans la relation entre la croissance du cèdre et sa réponse aux variations des paramètres climatiques. La complexité de la relation « croissance-climat » dans le cas du cèdre est perceptible à travers le bref aperçu de l'encadré 13.

En effet, la tendance des précipitations à la réduction accompagnée du réchauffement dû à l'élévation des températures devrait déboucher sur la baisse du rapport « **P/t** » ; ce qui est de nature à réduire le nombre de mois (jours) où les conditions [**P/t > 1 et t > 10°C**] seraient réunies, quoique la sous-condition « **t > 10°C** » serait plus fréquente en hiver en raison de l'élévation des températures minimales.

Ce dérèglement du signal saisonnier devrait théoriquement engendrer un raccourcissement de la période moyenne de croissance (raccourcissement de la saison de végétation, ou sa fragmentation), et de modifier le contour spatial des aires et des étages de végétation dans nos montagnes. Ces variations vont dépendre par ailleurs de la tranche altitudinale dans chaque relief et pour chaque écosystème considéré.

La détermination précise de la période moyenne de croissance exige des données climatiques (températures et précipitations) journalières et mensuelles; contrainte à laquelle sont confrontées les projections climatiques futures ; ce qui serait de nature à empêcher toute simulation de l'impact futur sur la PMC du cèdre. Mais à ce titre, une approche spécifique a été conçue et testée pour tenter d'apporter un modeste éclairage sur les possibles modifications de la PMC en conséquence de l'impact futur du changement climatique.

Encadré 13 - Aperçu de la relation « Croissance – climat » pour le cèdre de l'Atlas (Mhirit et al., 2006)

La relation croissance-climat se base sur les principes et les outils de la dendrochronologie, en particulier le coefficient de sensibilité moyenne qui mesure « **le degré de sensibilité des arbres aux fluctuations climatiques et les fonctions de réponse résumant l'ensemble des relations liant les facteurs climatiques à la croissance au cours du temps** ». Ces fonctions sont exprimées sous forme d'équations montrant l'importance relative de chaque facteur pour chaque intervalle de temps (décade, mois ou saison) et le sens d'association avec la croissance.

Les analyses dendrochronologiques montrent que la croissance est moins limitée dans les régions humides et fraîches du Rif et sur la bordure occidentale du Moyen Atlas compris entre 1500 et 1700 m d'altitude. Le cèdre témoigne dans ces conditions d'une croissance maximale, d'un nombre réduit de cerne absents et d'une sensibilité minimale. La **sensibilité** du cèdre de l'Atlas augmente avec l'altitude et devient maximale sur substrat calcaire, marno-calcaire ou marno-schisteux. L'exposition et la pente, par contre, ne semblent pas avoir beaucoup d'influence sur la sensibilité. Les cédraies du Rif présentent la plus faible sensibilité et celles du Haut Atlas la plus forte. Par contre, les caractéristiques de la croissance annuelle suggèrent que le cèdre ne soit pas totalement indifférent à la nature du substrat comme il est classiquement admis. Quoique la cédraie se développe sur des substrats variés, sa sensibilité à l'égard des facteurs climatiques varie selon la nature du substrat ; celle-ci est plus importante sur les substrats marneux que sur les substrats calci-magnésiques. La synthèse des fonctions de réponse met en relief l'influence prépondérante des précipitations d'automne et d'hiver sur l'élaboration du cerne de l'arbre. Ces précipitations ont une influence positive ; elles permettent de reconstituer les réserves en eau du sol et de favoriser le développement des organes moteurs de la croissance radiale tels que les bourgeons, les racines et les primordiums foliaires.

Les températures maximales et minimales, diurnes et nocturnes jouent un rôle complexe. L'effet positif des températures de janvier s'expliquerait par une stimulation des diverses fonctions de l'arbre : photosynthèse, production de régulateurs hormonaux de croissance favorisant une levée de dormance précoce des organes aériens et du cambium. Au mois d'avril, des températures élevées sont associées à une forte évapotranspiration induisant un stress hydrique pendant la saison de réactivation cambiale. Au mois d'août, l'effet favorable des températures maximales favorise la croissance radiale au détriment de la production des cônes, phénomène biologique plus exigeant en matière de photosynthèse.

D'une manière générale, le cèdre de l'Atlas, à travers son aire naturelle, montre une sensibilité aux précipitations qui reflète l'importance du stress hydrique dans le contrôle de la croissance. De même, l'effet défavorable des températures maximales d'avril à septembre peut expliquer la diminution du pouvoir de concurrence du cèdre à basse altitude tandis que ce même effet serait joué à haute altitude par les températures minimales hivernales.

Dans leur ensemble, les cèdres du pourtour méditerranéen (*Cedrus atlantica*, *C.Libani*, *C.brevifolia*) effectuent la photosynthèse jusqu'à des niveaux de sécheresse très bas dans les tissus. Cette activité chute dès l'apparition d'un niveau de sécheresse de 10 bars mais peut se poursuivre faiblement au-delà de 50 bars. La photosynthèse se poursuit à des niveaux de sécheresse plus importants que la croissance en hauteur. Le cèdre de l'Atlas maintient une activité de photosynthèse et de transpiration jusqu'à des niveaux de grande sécheresse (30 et 50 bars). Il possède à ce sujet un comportement identique au chêne vert, contrairement aux pins qui bloquent leurs stomates vers 15 et 17 bars. Les recherches menées dans ce domaine en conditions naturelles confirment celles menées en conditions expérimentales.

La croissance du cèdre en hauteur est monocyclique, elle se produit de façon générale pendant la nuit, toutefois lorsque le temps est couvert et pluvieux, elle peut aussi s'effectuer pendant la journée. Le **seuil apparent de végétation (température moyenne journalière en dessous de laquelle la croissance est nulle)** est de **6,6°C**. Comparé à d'autres espèces résineuses, seuil met en évidence le caractère thermophile du cèdre de l'Atlas quoique montagnard dans son aire naturelle. L'analyse concomitante de l'évolution des températures et des réserves en eau du sol pour l'ensemble des cédraines du pourtour méditerranéen a permis de distinguer deux périodes moyennes de croissance durant l'année qui correspondent à des « mois où les températures moyennes sont supérieures à **10°C** ». La première période s'étend de la mi-avril au début juillet ; la seconde s'étend de fin septembre à fin octobre.

L'approche développée pour contourner la contrainte des données climatiques fait appel à l'utilisation des outils statistiques de prévision dans le cadre d'un essai simplifié d'analyse prospective inhérent au contexte de cette étude. La démarche comprend deux étapes :

Etape 1 : Essai de modélisation du nombre de saison de végétation et résultats

Des tests préalables de corrélation réalisés entre le nombre de saison de végétation (variable à expliquer) et divers paramètres climatiques ont permis de retenir comme prédicteur (variable explicative) un paramètre apparenté à l'indice (**I**) d'aridité de De Martonne (**$I = 12P/T+10$**). L'indice étant construit sur le principe du rapport des précipitations aux températures « P/t » au même titre que les conditions de détermination de saison de végétation et la période moyenne de croissance. Par procédure d'analyse de régression, l'équation du modèle ajusté a pour formule :

$$\text{Nombre de Saison} = -140,453 + 109,408 \log(\text{Indice}) - 20,9751 \log(\text{Indice})^2 \quad (\mathbf{A})$$

$R^2 = 94,4 \%$ et $R^2 \text{ ajusté} = 90,6 \%$, ; écart type = **0,183966**

Où, Indice = $12*P/(T+10)$, avec *P* : précipitations moyennes, et *T* : Moyenne des températures estivales.

Cette régression a été envisagée dans le double but de transformer le nombre de saison de végétation initiale en variable continue et afin d'estimer le nombre de saison de végétation pour tout changement climatique en utilisant le prédicteur (I). Les valeurs du nombre de saison estimé par le modèle de régression figurent au tableau 17, et représentée graphiquement par la figure 48.

Tableau 17 : Nombre actuel de saison de végétation et nombre estimée par le modèle A selon la zone géographique

Zone géographique	Nombre actuel de saison de végétation	Nombre estimé de saison de végétation
Rif occidental	2	1,94948
Rif central	2	2,07524
Rif oriental	2	2,01687
Moyen Atlas central	2	1,82706
Moyen Atlas oriental	1	1,23075
Haut Atlas oriental	0,7	0,6006

L'utilisation du modèle de régression permet une meilleure discrimination du nombre de saison de végétation (figure 48). Ainsi, le Rif apparaît comme compartiment à part entière où la PMC affiche pratiquement une tendance uniforme pour les valeurs initiales et estimées par le modèle. Les distinctions sont par contre plus nettes pour le Moyen Atlas central et le Haut Atlas oriental pour lesquels la PMC estimée est plus faible, mais par contre relativement plus élevée dans le cas du Moyen Atlas oriental.

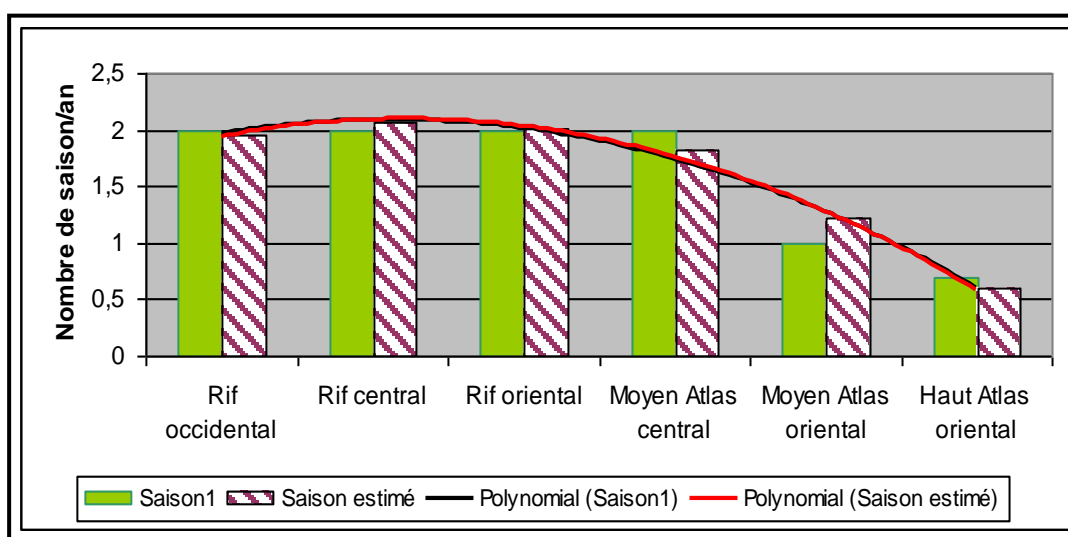


Figure 48 : Tendances comparées du nombre actuel et ajusté de saison de végétation par zone géographique pour le cèdre de l'Atlas

Néanmoins, sur un plan pratique, la comparaison du nombre actuel et estimé de saison de végétation met en évidence une homothétie des courbes de tendance (courbes rouge et noire). Ce constat, et les caractéristiques statistiques du modèle ajusté, autorisent son acceptation comme « outil prospectif »

Etape 2 : Essai de simulation de la période moyenne de croissance (PMC) et résultats

La même procédure d'analyse de régression a été suivie pour la modélisation de la PMC sauf que dans ce cas, il s'agit de régression multiple ayant permis de sélectionner quatre prédicteurs dont le nombre de saison de végétation estimé par le précédent modèle (**A**). La formule de l'équation de régression multiple développée est la suivante :

$$\text{PMC} = - 11,0 + 1,96 X_1 + 0,374 X_2 - 0,00268 X_3 + 0,00450 X_4 \quad (\mathbf{B})$$
$$R^2 = 94,5\% ; R^2 \text{ ajusté} = 72,4\%, \text{ et } S = 0,5681$$

Avec : X_1 : nombre de saison estimé ; X_2 : Moyenne des températures estivales ; X_3 : précipitations moyennes, et X_4 : Dénivellée entre l'altitude supérieure et inférieure de l'étage du cèdre.

Les caractéristiques statistiques du modèle sont satisfaisantes : Le modèle de prédiction (**B**) ainsi obtenu permet théoriquement une estimation de la PMC du cèdre de l'Atlas dans diverses conditions bioclimatiques.

Selon ce modèle, la valeur ajustée de la PMC (*valeur théorique uniquement*) obtenue par chaque zone géographique comparée à sa valeur actuelle affiche la même tendance (tableau 18).

Tableau 18 : PMC actuelle et estimée par le modèle B, selon la zone géographique

Zone géographique	PMC actuelle	PMC estimée
Rif occidental	2,1	2,07596
Rif central	3,4	3,27885
Rif oriental	2,1	2,00383
Moyen Atlas central	3,1	3,27885
Moyen Atlas oriental	0,7	0,88606
Haut Atlas oriental	1,0	0,88606

Toutefois, la comparaison des valeurs actuelles de la PMC et des valeurs estimées démontre le comportement du modèle (figure 49).

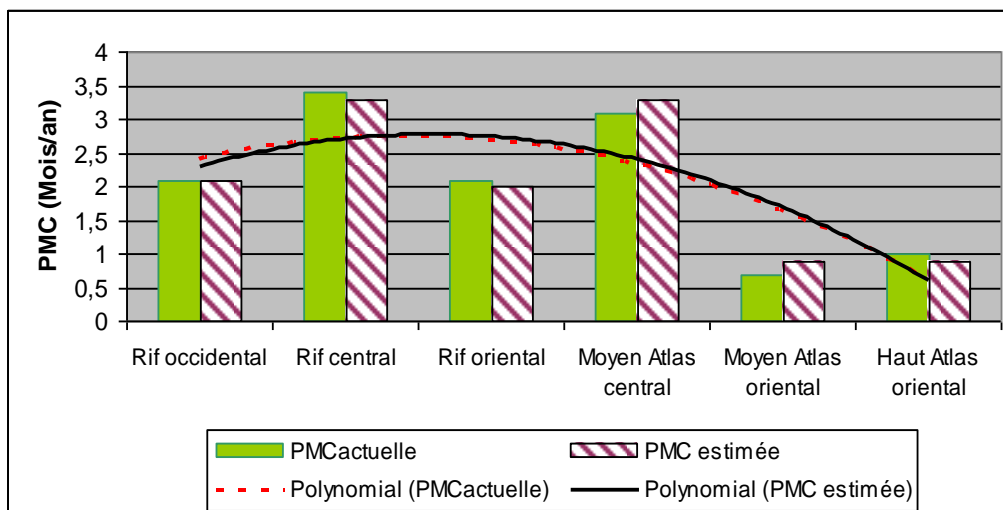


Figure 49 : Tendances comparées de la période moyenne de croissance actuelle et estimée par zone géographique du cèdre de l'Atlas

Ce modèle apporte une discrimination plus précise à la valeur de la PMC : très peu de modification pour les valeurs de la PMC estimée dans les trois compartiments rifains par rapport aux valeurs initiales ; par contre la PMC estimée est relativement quelque peu plus élevée dans le Moyen Atlas central et le Moyen Atlas oriental ; elle est par contre sensiblement moins élevée dans le Haut Atlas oriental. Cependant dans la tendance générale, la PMC estimée peut se substituer à la PMC initiale (figure 49). L'homothétie des courbes de tendance autorise l'acceptation du modèle de prédiction **(B)** en matière de prospective.

A présent, ayant apporté une solution transitoire à la simulation de la PMC, l'étape finale consiste à réaliser un essai de prédiction de la PMC future. L'estimation de la PMC à l'horizon 2050 se base sur les valeurs projetées des caractéristiques climatiques utilisées comme prédicteurs dans le modèle **(B)**.

Les données des tableaux 13 et 14 intégrées comme entrée dans ce modèle permettent de calculer la PMC des six zones géographiques de répartition du cèdre. Les valeurs projetées à l'aide des modèles **A** et **B** du nombre de saisons de végétation et de la PMC sont résumées par zone géographique dans le tableau 19.

Tableau 19 : Valeurs projetées (2050) du nombre de saison de végétation et de la PMC pour le cèdre de l'Atlas

ZONE	Nombre projeté de saison de végétation 2050	PMC projetée pour 2050
Rif occidental (RO)	2,21055	4,89854
Rif central (RC)	0,76093	3,86771
Rif oriental (ROR)	0,99723	2,21673
Moyen Atlas central (MAC)	- 5,03921	- 6,85183
Moyen Atlas oriental (MAO)	- 0,48999	- 0,55504
Haut Atlas oriental (HA)	- 1,67339	- 1,22716

La comparaison de la PMC actuelle et la PMC projetée est illustrée par la figure 50 et appelle un certain nombre de commentaires. Les prévisions de la PMC, comparées aux valeurs actuelles montrent une nette tendance à la hausse dans le cas du Rif occidental et central, avec toutefois une ascension moins importante pour le Rif oriental (non significative). La tendance est globalement à la baisse pour le Moyen et le Haut Atlas où les valeurs négatives démontrent plutôt une disparition des conditions de végétation et de croissance pour le cèdre dans ces régions.

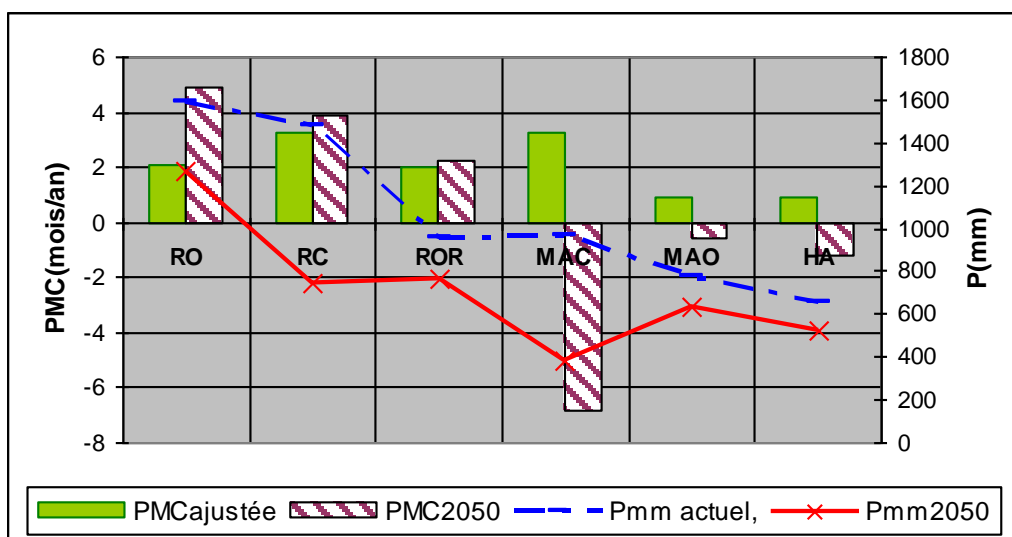


Figure 50 : Tendances comparées des précipitations moyennes et de la PMC actuelle aux projections pour 2050

Cette tendance peut être expliquée par la réduction projetée des précipitations à l'horizon 2050, précipitations estimées à 386 mm/an dans le Moyen Atlas central, et 519 mm/an dans le Haut Atlas oriental (tableau 13).

Ces valeurs situées nettement en dessous du seuil minimum de pluie (**550 mm/an**) nécessaire à la croissance et au développement du cèdre de l'Atlas (*Chap.1, figure 4*), affecteraient préalablement le nombre de saison de végétation, qui à l'exception du Rif occidental, affiche une tendance générale à la baisse, voire une absence de saison de végétation pour les aires de répartition du cèdre du Moyen et Haut Atlas. Dans le cas particulier du Moyen Atlas oriental, malgré une valeur projetée de 629 mm/an de pluie pour 2050 supérieure au seuil minimum, la valeur négative de la PMC serait plutôt liée à la disparition de toute saison de végétation (tableau 19), ce qui explique la valeur négative de sa PMC, et par conséquent un risque d'extinction de la cédraie dans le Moyen Atlas oriental également.

En conclusion, selon le scénario et les modèles statistiques utilisés, l'impact du changement climatique à l'horizon 2050 devrait s'exprimer par une réduction de la PMC des cédraies du Moyen et du Haut Atlas, voire une disparition des cédraies, alors que la tendance est plutôt à la hausse pour les compartiments du Rif ; ce qui devrait théoriquement améliorer les conditions bioclimatiques de croissance du cèdre dans les aires de distribution rifaine. Ces projections (prospectives) demeurent toutefois sujettes à une validation par des modèles de prédiction plus élaborés et sous divers scénarios de changement climatique, mais les données de base restent encore une lacune à combler par la recherche scientifique.

En admettant que les scénarios utilisés reflètent bien le climat de 2100, tous les résultats considérés ne constituent pas une prévision sûre pour les écosystèmes forestiers. En effet, il reste encore beaucoup d'incertitudes sur le comportement des essences forestières : seront-elles capables de s'adapter à la compétition avec de nouvelles espèces ? Quels seront les équilibres avec les nouveaux cortèges de pathogènes et de symbiotes ? Quel rôle jouera la variabilité génétique ? Quelles seront les capacités des espèces à coloniser de nouvelles niches climatiques ?

Dans ce contexte, marqué par de nombreuses incertitudes et face aux risques potentiels qui ne sont pas à écarter, des plans d'action mûrement réfléchis et conçus dans le cadre de stratégies d'adaptation représentent la voie la plus appropriée.

5. Fonctions sensibles des écosystèmes forestiers marocains et processus de vulnérabilité

5.1. Les écosystèmes forestiers : espace multifonctionnel et multi-usage

5.1.1. Fonctions et usages sociaux

L'écosystème « forêt » est un système spatial ouvert qui inclut une communauté d'êtres vivants végétaux et animaux et leur environnement et ce en donnant lieu à des processus biologiques complexes. Les caractères fondamentaux de ce système sont déterminés par l'arbre qui, par sa masse, son couvert, son mode de croissance, sa longévité et sa pérennité, exerce une action puissante capable de modifier le microclimat et de former à partir du substrat géologique un sol, une flore et une faune spécifique.

Par ailleurs, l'écosystème forestier remplit des rôles socio-économiques résultant de ses relations avec les différents acteurs sociaux. En effet, la forêt est une source de produit dont l'homme a besoin pour son existence et son épanouissement (nourriture, énergie, oxygène, bois, médicaments...). Elle contribue à la protection des installations humaines et améliore le microclimat ; elle agit sur la régularisation des régimes des eaux et assure le maintien de la fertilité des terres agricoles ; elle constitue un lieu de repos, d'inspiration, de détente et de loisirs. De ce fait, les acteurs ont chacun, vis-à-vis de cet espace des attitudes, des comportements, des attentes et des modes d'action spécifiques.

D'une manière générale, les processus écologiques de l'écosystème forestier et ses rôles socio-économiques sont regroupés sous le terme de « fonctions ». Si les processus biologiques se déroulent dans toute forêt, il n'en reste pas moins vrai que les fonctions n'apparaissent qu'avec les hommes qui utilisent ces processus dans un but déterminé (De Montgolfier et *al*, 2002).

Ainsi, la fonction de production de bois est liée à la productivité des arbres et à l'exploitation du bois dans un but économique. De même la fonction de protection n'a d'intérêt que si des enjeux à protéger sont définis par des acteurs sociaux. De même encore, les usages sociaux de la forêt n'existent que par rapport aux usagers. En effet, la complexité des questions forestières vient précisément de ce que la forêt présente un double caractère, d'écosystème où les processus éco-biologiques « naturels » tiennent une grande place et, d'espace aménagé permettant la satisfaction des besoins d'acteurs et d'usagers.

La population au Maroc, maintient une relation étroite avec le milieu naturel environnant. Sa dépendance vis à vis des espaces boisés est très forte, et l'intérêt présenté par les forêts, d'une manière générale, ou leurs biens et services, en particulier, pour les populations rurales est très diversifié: le bois de construction et les combustibles ligneux pour les besoins domestiques, la nourriture pour le bétail et la stabilité de l'environnement et sa protection contre l'érosion pour permettre une agriculture continue.

L'utilisation de la terre se fait le plus souvent de trois façons: agriculture, pâturage et forêt qui déterminent des pratiques traditionnelles de ces espaces, basées sur un mode de vie donné de chaque société. Les écosystèmes forestiers se trouvent ainsi intégré au fonctionnement des sociétés rurales et ne peut être, de ce fait, dissocié des autres modes d'utilisation de l'espace par la population. L'encadré 14, présente les types de fonctions de l'écosystème « cédraie du Moyen Atlas ».

**Encadré 14 - L'écosystème « cédraies » du Moyen Atlas marocain :
Espace socio-écologique et économique multifonctionnel.**

A. La cédraie-chênaie : source de produits ligneux et non ligneux

- Production de bois : (1995-2004) : 81 300 m³ de bois d'œuvre (78 à 82% de la production nationale)
- Equivalent travail : 9 450 000 HJ/an
- Revenu annuel moyen (exploitation et sciage) : 353,4 Millions de DH/an
- Consommation/foyer de bois de feu : 10 T/an (550 DH/mois/foyer)
- Production forestières non ligneuse : (lichen, fleurs, champignons, plantes aromatiques et médicinales, miel, fourrages, chasse et pêche)

B. La cédraie-chênaie : espace de vie des sociétés pastorales

- **Espace pastoral :**
 - 425 000 ha (9%). 116,3 Millions UF /an (47% du bilan fourrager)
 - 800 000 têtes (8% du cheptel total pâturant en forêt).
- **Revenus d'élevage / ménage usager :**
 - 4 700 DH pour les classes de troupeau ≤ à 100 ovins.
 - 9 800 DH pour les classes de 100 à 300 ovins.
 - 42 200 DH pour les classes ≥ 300 ovins.
 - **38 à 45 % du revenu agricole total.**

C. La cédraie -chênaie : protectrice du cycle de l'eau du « château d'eau du pays »

- Le Moyen Atlas : Château d'eau de 3 grands bassins hydrauliques du Maroc (Moulouya, Oum Rabia et Sebou).
- 41% des apports pluviométriques : Moulouya : 9%, Oum Rabia : 12% et Sebou 20%.
- 59% des ressources mobilisables : Moulouya : 12%, Oum Rabia : 22% et Sebou : 25%.
- Les arbres forestiers, en réduisant le ruissellement et les pertes et en favorisant l'infiltration des précipitations, contribuent à l'augmentation des réserves en eau du sol et à la recharge des nappes.

D. La cédraie-chênaie : espace de récréation et de tourisme écologique : Capital nature et culture, riche et varié

- Sites paysagers, sportifs, zones d'intérêt biologique et écologique, etc. : 21 SIBE et 10 zones humides, 2 parcs nationaux.
- 60 familles floristiques naturelles, sur environ 150 au Maroc.
- 20 types de milieux et de communautés végétales.
- 37 espèces de mammifères (mouflon, sanglier, chacal, renard).
- Chat sauvage, écureuil, loutre, etc., le singe magot ou macaque étant la plus commune.
- 142 espèces d'oiseaux.
- 33 espèces de reptiles et amphibiens.

E. La cédraie-chênaie : levier du développement local

- Filière bois d'œuvre : 9 450 000 HJ/an
- Filière marqueterie : valeur ajoutée : 350 000 DH/an (équivalent à 1 432 DH/m³)
- Productions animales (viande rouge, lait et ses dérivés, laine, peaux)
 - viandes rouges : 33 000 tonnes, volume d'affaire : 861 Millions de DH.
 - **Revenu pratique du pâturage 950 DH/ha/an.**
- Recettes forestières : 105 Millions de DH, soit 1/3 des recettes forestières totales.
- Fort potentiel pour les filières des produits forestiers non ligneux (PFNL) et tourisme rural.

5.1.2. Utilisation des écosystèmes forestiers : valeur économique des produits, services, biens et externalités des forêts

Les écosystèmes forestiers marocains sont soumis à des conditions climatiques méditerranéennes généralement peu propices à la production ligneuse intensive. La fonction de production de bois et de valeurs de consommation directe se trouve largement surpassée par les fonctions de protection de valeurs d'utilisation indirecte (protection des ressources en eau et sols des bassins versants, des investissements et des équipements, sauvegarde et maintien de la diversité biologique, valeurs esthétique et paysagère, revenu rural, etc.).

Ainsi, l'économie forestière est définie par deux types de marchés, cohabitant ensemble. Le premier est ouvert sur les transactions et les échanges tandis que le second est fermé et exclusivement orienté vers la satisfaction des besoins de subsistance des populations riveraines des forêts; la plus grande proportion des biens et services de consommation directe mobilisés, par ce biais, échappent aux contrôles et aux calculs de la comptabilité nationale.

Dans ces conditions, la contribution du patrimoine forestier, établie suivant les méthodes classiques qui ne s'intéressent qu'aux productions des valeurs de marchés, est très largement biaisée. Cette situation n'est pas propre au Maroc, puisque la question de l'évaluation complète des biens et services des ressources forestières est au centre des préoccupations des forestiers, des économistes et des organisations internationales intéressées.

Dans le passé, la valeur était généralement définie en se basant sur l'utilisation directe. Quoique la plupart des études d'évaluation évaluent encore principalement en termes de valeur directe d'utilisation pour les activités commerciales (production de bois et accessoirement les unités fourragères) et pour les activités sans prélèvement (récréation), des efforts sont fournis pour inclure d'autres valeurs intrinsèques dans la détermination de la valeur économique d'un écosystème forestier.

Les valeurs non marchandes (usage passif), les valeurs de legs et les valeurs d'existence ou intrinsèque, sont moins tangibles, et donc, plus difficiles à quantifier en termes monétaires, par exemple, la valeur qu'un individu ou le gestionnaire attribue à l'existence de produits et services d'une valeur parfois dépassant le principal produit qui est le bois.

La raison principale de l'incapacité à quantifier ces valeurs positives et réelles est que les valeurs intrinsèques sont basées sur la volonté d'un consommateur, d'une communauté ou de l'Etat à les payer.

Toutefois, les marchés pour ces valeurs n'existent pas. D'autres approches, telle la moins-value sont actuellement en étude pour évaluer à sa juste valeur économique un espace forestier à usages multiples.

Le tableau 20 présente une tentative d'évaluation des biens et services des écosystèmes forestiers marocains (Anon., 1995c ; 1999b). La spécificité des écosystèmes forestiers dégage deux difficultés majeures pour approcher la valeur économique totale des productions forestières marocaines : insuffisance des données fiables sur certains produits et services et choix des techniques et des indicateurs d'évaluation pertinents et appropriés au contexte socio-économique du pays.

Tableau 20 : Valeur moyenne annuelle des biens et services (millions de Dh)

1. Valeur d'utilisation directe	
1.1. Biens et services commerciaux officiels	324,4 (6%).
1.2. Biens et services prélevés hors marchés (bois de feu et unités fourragères seulement)	4.413 (81%)
1.3. Produits non ligneux (fruits, champignons, graines, gibiers, plantes médicinales et aromatiques) prélevés hors marchés	NE
1.4. Loisirs (excursions, récréation, sports divers, photos, etc.)	NE
2. Valeur d'utilisation indirecte	
2.1. Protection de l'environnement	710 (13%)
2.2. Protection des ressources en eau et en sols des bassins versants	NE
2.3. Echanges gazeux (cycle du carbone et de l'oxygène)	NE
2.4. Habitat et maintien de la diversité biologique	NE
2.5. Valeurs esthétiques de la diversité biologique	NE
3. Valeur d'option en rapport avec l'utilisation future de certaines composantes de la forêt (progrès technologiques et scientifiques)	NE
4. Valeur de patrimoine et de legs (valeur intrinsèque des forêts sans référence à leur utilisation)	NE
Total	5447,4

N.E. = non estimé

Une étude récente, menée dans le cadre du projet régional euro-méditerranéen «MEDFOREX », pour approcher l'évaluation des biens, services et externalités des forêts méditerranéennes, montre que la valeur économique totale des écosystèmes forestiers marocains est formée par des usages aussi divers que la récolte du bois de feu (30 %), le pâturage des animaux (23 %) et la protection du cycle de l'eau (18 %). Cette valeur est, en revanche, négativement influencée par l'érosion (- 11 %) et la déforestation (- 7 %).

Il n'en reste pas moins vrai que le déficit de connaissances et la sous-estimation des écosystèmes forestiers et de leurs ressources ont pour conséquences directes, en particulier : (i) la pénalisation des ressources forestières dans la stratégie d'affectation des terres par rapport aux autres formes d'utilisation du territoire; (ii) l'insuffisance des allocations de ressources financières au secteur forestier au profit de besoins à rentabilité immédiate et (iii) le transfert de la valeur ajoutée des forêts aux autres secteurs de l'économie, ce qui se traduit par un désinvestissement et une dégradation inquiétante dans certaines régions (Rif, par exemple).

Dans une démarche d'adaptation au changement climatique, il importe d'analyser les modes d'utilisation des écosystèmes forestiers du pays face à une réglementation qui en définit les règles scientifiques et les techniques de gestion, ainsi que les règles de conduite et du comportement humain vis-à-vis des ressources, pour concevoir des modèles de gestion selon les principes d'une économie écologique réconciliant « conservation et développement » faisant face aux modifications climatiques prévisibles.

5.2. Vulnérabilités liées aux processus d'évolution biophysiques et anthropogéniques : dégradation, érosion et désertification

5.2.1. Evolution paléoclimatique et anthropique des écosystèmes forestiers

La nature et la composition actuelle des communautés végétales au Maroc, comme dans le pourtour du bassin méditerranéen, ne peuvent être comprise sans tenir compte des facteurs paléoclimatiques et anthropiques qui ont marqué la genèse et les processus d'évolution des écosystèmes. Les différentes étapes de la mise en place des grands écosystèmes méditerranéens depuis les dix derniers millénaires sont aujourd'hui bien connues grâce aux nombreuses études palynologiques et anthropologiques réalisées autour de la Méditerranée (Babin et al, 1997). En s'appuyant sur les études effectuées au Maroc, on peut dégager les phases d'évolution des périodes suivantes :

- De 13.000 à 10.000 *ans B.P* : le climat est froid et aride avec la dominance des espèces steppiques : armoises et graminées.

Parmi les arbres, très peu présents, seul le chêne vert est faiblement présent avec un léger regain à l'occasion de périodes légèrement humides. La période est marquée aussi par une forte instabilité des pluies rares mais violentes.

- De 9.000 à 3.000 *ans B.P* : le climat était plus chaud et plus humide qu'actuellement.

Les steppes sont remplacées par le chêne vert et les pins dans des stations supérieures à 2.000 m dans les Atlas. Dans le Haut Rif occidental siliceux, le cèdre est remplacé par le chêne zeen (Reilles, 1976). Ce regain d'humidité et de chaleur ne semble avoir duré que 2.000 ans environ. En effet dans le Moyen Atlas (Tiguelmamine) vers 7.000 *ans B.P*, le chêne vert se dissocie du chêne zeen avec l'apparition de frênes et de pins. Vers 4.000 *ans BP*, un événement climatique majeur se produit ; le retour du froid se traduit par l'apparition du cèdre, le quasi disparition des pins et d'une recrudescence du chêne vert.

D'une manière générale, il apparaît que le climat du Maroc, après s'être fortement réchauffé, durant la période froide du *Tardiglaciaire* (13.000 – 10.000 *ans B.P.*), avec une pluviosité nettement majorée que la période actuelle au *Boréal* (9.000 – 7.500 *ans B.P.*), s'est surtout asséché vers 7.000 *ans B.P.* Un épisode pluvial à *l'Atlantique* de 6.000 à 7.000 *B.P ans* a été suivi au *Subboréal* vers 5.000 à 4.000 *ans B.P.*, d'un refroidissement aboutissant pratiquement à la mise en place du climat actuel.

Les débuts du processus néolithique : action de l'homme par la culture et l'élevage, qui a affecté la forêt méditerranéenne par le défrichage, remontent à 10 .000 *ans B.P* dans le Proche Orient. Ces activités se sont étendues en Grèce et en Crète vers 6.000 *ans B.P* et à l'Afrique du Nord vers 5.500 à 4.500 *ans B.P.* Cette période est marquée dans tout le Maghreb par l'anthropisation des milieux due à la succession des civilisations phénicienne, romaine, carthaginoise et arabe.

Les analyses pollenalytiques effectuées au Maroc ces dernières années ont montré (Lamb et al., 1989) confirment ce processus d'anthropisation dans les différentes régions du pays. Dans le Moyen Atlas deux périodes de déforestation sont décrites :

- une première déforestation vers 2.250 *ans B.P.*, de faible envergure qui correspondrait à l'époque romaine. Elle est surtout marquée par la disparition du frêne (espèce utilisée pour la fabrication du charbon de bois). Une recrudescence des crucifères pourrait, également correspondre au développement des cultures ;

- une seconde déforestation vers 1.600 B.P., très marquée par une forte baisse du chêne vert associée à une semblable recrudescence des graminées. Le chêne zeen déjà amoindri par les variations climatiques de l'Atlantique (7.500- 4.500 B.P.) sécheresse puis refroidissement, disparaît une première fois peu après. Le cèdre régresse également.

Vers **440 B.P.**, la forte recrudescence du cèdre est un indice d'un refroidissement du climat.

Dans le Prérif (Reille, 1977), les déforestations commencent vers **2.800 B.P.**, aux époques phéniciennes et romaines comme en témoigne la forte régression des cédraies. Vers **1.000 ans B.P.**, l'arrivée des Arabes serait responsable de l'extension de l'olivier et de la bruyère arborée témoin de la déforestation des subéraies.

Dans les Atlas à haute altitude, on retrouve les effets des déforestations, dues successivement aux Phéniciens, aux Romains, aux Arabes. Le genévrier thurifère aurait ainsi disparu des plus hauts sommets de l'Atlas, comme aux sources de la Tessaoute (2.900 m d'altitude), laissant le terrain aux seuls xérophytes épineux. Par ailleurs, l'hypothèse d'un assèchement climatique pourrait être à l'origine de la disparition du chêne zeen vers 1.150 ans B.P. dans le Moyen Atlas aux altitudes 2.100 m et vers 2.860 ans B.P. dans le Haut Atlas (Oukaimeden).

L'analyse des documents historiques montre que dans l'antiquité, existaient au Maroc, aux côtés de vastes régions dénudées du fait du climat ou de la nature, de très grandes forêts certainement beaucoup plus nombreuses et plus étendues qu'aujourd'hui. Il est même probable que la surface boisée se rapprochait alors de celle de la forêt primitive ou climacique, telle qu'elle a été évaluée par les phytogéographes à environ 30 % du territoire.

Les forêts furent néanmoins détruites dès le 10^{ème} siècle, en raison du développement des grandes villes populeuses et riches, telles Marrakech, Fès, Rabat et Salé, qui réclament de grosses quantités de combustibles et de produits tannants. Cette évolution entraîne un recul important des massifs boisés dans les Atlas et expliquent la disparition de la plus grande partie des forêts du Gharb et des régions de Rabat et Casablanca. Après les grandes migrations du 10^{ème} siècle, le déboisement continue dans les plaines et les vallées mais à un rythme beaucoup plus modéré ; de belles forêts se maintiennent dans l'intérieur, naturellement protégées par l'insécurité et la crainte des fauves qui interdisent aux pasteurs d'y conduire leurs troupeaux.

Les effectifs encore réduits de la population et du cheptel n'exercent d'ailleurs, à cette époque, qu'une légère pression beaucoup plus acceptable que celle d'aujourd'hui.

Au cours du dernier millénaire, la plupart des régions du Maroc ont connu, à différents moments, des conditions climatiques plus douces, plus humides et plus sèches, comme le montre les travaux de dendrochronologie réalisés au Maroc depuis 1976 (Stockton 1988 ; Chbouki, 1992) qui ont appréhendé l'histoire du climat à partir des couches d'accroissement des arbres, appelés « cernes ». L'étude de ces cernes dévoile par leur minceur ou leur épaisseur, la succession aléatoire des années sèches et humides, permettant d'établir une chronologie précise s'étendant sur plusieurs siècles.

Les séries dendrochronologiques élaborées pour des cèdres millénaires dans le Haut Atlas Oriental (Tounfite) et dans le Moyen Atlas (Col du ZAD) à des altitudes de 2.200 m, ont permis de mieux appréhender les reconstitutions climatiques, en particulier, l'histoire des sécheresses, leur fréquence, leur durée et leur intensité. Le tableau 21 donne les fréquences et la durée des sécheresses des dix derniers siècles.

**Tableau 21 : Fréquence et durée de la sécheresse (période 1000-1984)
Col du Zad, Moyen Atlas (Stockton, 1988)**

Durée de la période de sécheresse	Nombre de sécheresses observées	Intervalle entre deux sécheresses
1 à 6	89	11,0
2 à 6	35	28,5
3 à 6	09	113,7
4 à 6	06	182,0
5 à 6	04	399,3
6	03	455

Le Maroc a connu dans le passé des périodes d'intense sécheresse. Deux principales périodes de sécheresse centrées au tour des années 1749 et 1878 ont été relevées. Des sécheresses de 6 années telles que celle de 1979-84 ont eu lieu une fois tous les 455 ans. Une sécheresse d'une durée de 5 années a eu lieu entre 1794-1798. Les sécheresses de courtes durées (moins de 2 ans dans 60 % des cas) s'observent tous les onze ans.

L'examen des années de sécheresse vécues par le pays durant le 20^{ème} siècle fait ressortir une fréquence, une durée plus élevée et une extension spatiale plus importante des sécheresses entre 1982 et 1996 : **cinq épisodes de sécheresse au Maroc sur les douze du siècle ont eu lieu en effet durant cette période**. Depuis 1896, on note plusieurs périodes très sèches dont l'extension a été généralisée à la majeure partie du pays et dont l'intensité a été modérée à forte. Il s'agit des années 1904-05 ; 1917-20 ; 1930-35 ; 1944-45 ; 1948-50 ; 1960-61 ; 1974-75 ; 1981-84 ; 1986-87 ; 1991-93 ; 1994-95 ; 1999-2000. Il n'en demeure pas moins que, durant la moitié du XX^{ème} siècle, l'occurrence des sécheresses semble croître de façon continue (tableau 22).

Tableau 22 : Occurrences des sécheresses agricole (1940-2002)

Période	Occurrence des sécheresses agricole	(%)
1940 - 1979	5 sur 40 ans	12,5
1980 - 1995	6 sur 16 ans	37,5
1996 - 2002	4 sur 7 ans	57,1

De même, l'étude du comportement thermique et pluviométrique enregistrés à la station de Casablanca pour la période 1911-1989 (Agoumi et *al*, 1995 ; Agoumi, 2005) montre une augmentation de la température moyenne mensuelle de 0,5° C. L'analyse des précipitations confirme le caractère aléatoire et extrêmement discontinu dans le temps des précipitations au Maroc et une tendance globale à la baisse depuis 1964.

Ces observations et ces analyses confirment les conclusions du GIEC quant au réchauffement observé au cours du 20^{ème} siècle. Ce réchauffement, accompagné par un certain nombre d'autres changements probables dans le système climatique, peut être **révélateur et/ou amplificateur des processus d'évolution en rapport avec la vulnérabilité et les menaces pour les écosystèmes naturels et pour les populations qui en dépendent (dégradations des milieux, en particulier les forêts, érosion des sols et désertification)**.

5.2.2. Processus d'évolution et vulnérabilité des écosystèmes forestiers

Espace multifonctions et multi-usages, les écosystèmes forestiers au Maroc, est le produit d'interactions très anciennes entre les activités humaines (histoire des pratiques agro-sylvopastorales et aménagements récents), la dynamique de la végétation et l'influence des perturbations naturelles (vent, feu, dépérissements...).

Ces écosystèmes sont soumis à des formes d'exploitation multiples à l'origine d'intérêts conflictuels et d'enjeux, écologiques, fonciers, socioéconomique, dont la manifestation se traduit par le déboisement, la dégradation des milieux naturels (dédensification et déstructuration des forêts, érosion, désertification), comme le schématise la figure 51.

Les causes directes de ces processus s'identifient aux processus suivants :

- **Le défrichement et la mise en culture de l'espace forestier** pour l'extension des exploitations ou la compensation de la perte productivité de leurs terres ruinées par l'érosion. 5.000 à 6.000 ha sont défrichés annuellement.
- **La surexploitation des parcours forestiers et steppiques** : L'appropriation progressive et agricole ou la disparition de cette pratique, ont engendré une très forte dépendance du bilan fourrager annuel ; la mise en culture des terres traditionnellement réservées aux parcours, le faible recours à la jachère des ressources forestières qui y contribuent à hauteur de 17 % en moyenne.
- **L'approvisionnement en bois-énergie** : Le bilan énergétique national demeure très dépendant des énergies de biomasse qui y contribuent à hauteur de 30 % ; la quantité de bois-énergie consommée annuellement est de 11,3 millions de tonnes dont 53 % d'origine forestière. La consommation du bois-énergie en milieu rural représente 89 % de la consommation totale avec 49,52 quintaux par ménage. La pression potentielle, compte tenu de la consommation de biomasse totale, représente l'équivalent de 202.000 ha d'Eucalyptus exploités par an.
- **Les incendies de forêt** : Durant la période 1963-1997, les incendies provoqués par diverses causes, d'origine essentiellement anthropique, ont endommagé une superficie moyenne de 3.000 ha/an. Les superficies moyennes incendiées présentent une nette tendance à la hausse (3.732 ha/an pour la période 1990-1997), en particulier, dans la région rifaine (Anon., 2001b).
- **Urbanisation et infrastructures** : Le patrimoine forestier est de plus en plus sollicité par les pouvoirs publics, les collectivités et le secteur privé pour les divers aménagements, engendrant un changement d'affectation non compensé des terres forestières.

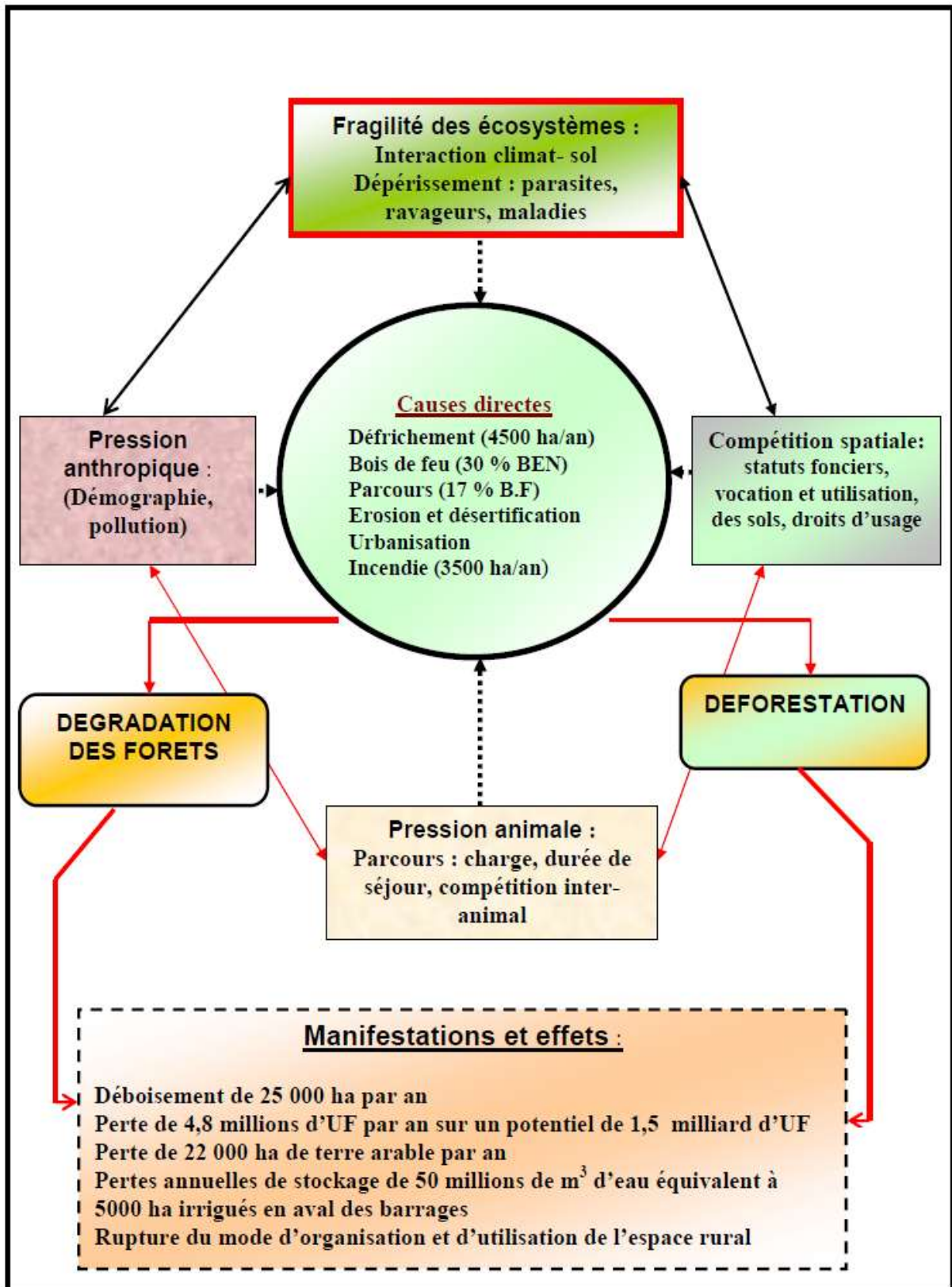


Figure 51 : Processus et facteurs de dégradation des écosystèmes forestiers

Ces causes et leurs manifestations sont sous-tendues par quatre facteurs principaux : **(i)** la fragilité des écosystèmes (interaction climat - sol, dépérissement : parasites, ravageurs, maladies); **(ii)** la pression anthropique (expansion démographique en milieu forestier et préforestier), **(iii)** la pression animale (charge pastorale, durée de séjour des animaux en forêt, compétition inter-animal, sédentarisation des pasteurs); et **(iv)** la compétition spatiale (statuts fonciers, vocation et utilisation, des sols, droits d'usage).

5.2.3. Analyse succincte des principaux processus : ségradation, érosion, désertification

Déboisement, dégradation et transformation des habitats des écosystèmes forestiers

Les écosystèmes forestiers sont domaniaux (domaine privé de l'Etat) et grevés de droits d'usage reconnus aux populations riveraines, en particulier : le parcours en forêt, le bois de feu et de service, les menus produits pour l'autoconsommation. Espace écologique, richesse économique et bien social, ces écosystèmes souffrent d'un triple déséquilibre, d'abord entre les besoins des populations et les ressources disponibles, ensuite entre les prélèvements actuels et la possibilité biologique des écosystèmes et enfin, entre le niveau de développement des zones forestières et périforestières et celui des zones de piémont et des grandes plaines agricoles. Cette situation se traduit en général par le déboisement et la dégradation (figure 52).

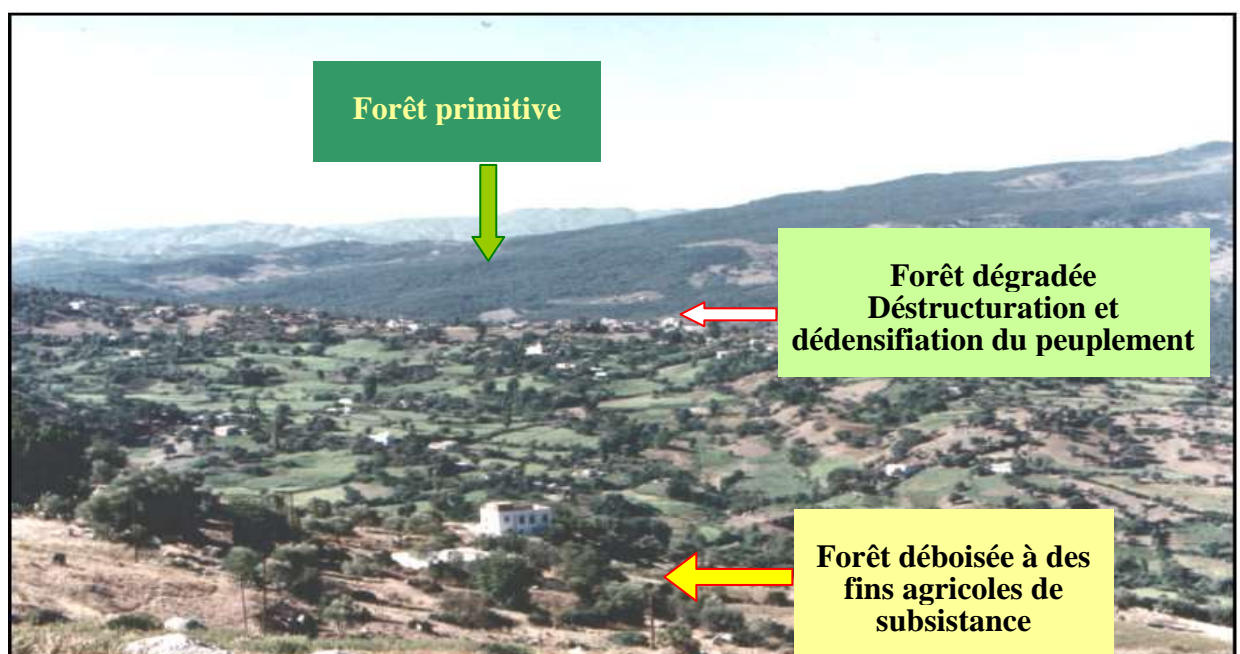


Figure 52 : Processus de dégradation et de déboisement d'une forêt de chêne vert dans le Rif

Le défrichement des forêts naturelles pour la recherche ou l'extension de terres agricoles est la principale cause de déboisement; il favorise et amplifie l'érosion des sols et diminue les possibilités de mobilisation et de conservation des eaux, notamment dans les zones de montagne et dans les zones semi-arides et arides. La faible productivité et la superficie réduite des exploitations, le niveau de revenu des populations dans les zones forestières et périforestières constituent autant de facteurs qui conduisent actuellement au défrichement d'environ 4.500 ha annuellement.

La dégradation consiste en un changement de structure, de consistance voire de composition des peuplements forestiers en particulier, et de l'écosystème en général, là où ils n'ont pas été défrichés pour d'autres utilisations. Elle provient, d'une manière générale, de la pression anthropique (exploitation non viable en l'absence d'aménagement, en cas de récolte de bois de feu, de surpâturage, d'incendies) de sécheresse prolongée ou d'attaques parasitaires.

Les processus de dégradation sont souvent graduels et insidieux; ils participent à la diminution de la productivité et de la valeur du capital forestier dans son rôle de production, de biens et de services, de régulateur écologique ou encore de patrimoine génétique. Dans des écosystèmes dédensifiés et déstructurés après dégradation, c'est le capital sol qui est en danger. L'érosion, éolienne ou hydrique, devient un facteur de dégradation souvent irréversible pour l'écosystème lui-même mais également pour les terres en aval, par la diminution de la fertilité et parfois la perte totale des terres arables.

La connaissance et la quantification de la dégradation ont permis, dans l'ensemble des régions du pays, de mieux appréhender ce processus. Dans la région du Rif, l'analyse diachronique à partir de photographies aériennes (1966 et 1986) a permis d'évaluer la dégradation de la forêt de l'équivalent de 5.000 ha/an, soit un taux de 35 % ; de même, l'analyse d'images satellitaires Landsat captées en 1982 et 1992 a révélé l'expansion du processus dans d'autres régions (tableau 23).

Tableau 23 : Evolution des surfaces forestières au Maroc

1. Évolution des surfaces forestières dans le Rif (en hectares)					
Provinces	Surface forêt 1966	Surface forêt en 1986	dégradation 1966-1986	dégradation /an	Taux de Recul
Al Hoceima	82 602	61 891	20 711	1036	25,07 %
Chefchaouen	106 868	72 486	34 382	1719	32,17 %
Tétouan	70 884	35 641	35 243	1762	49,72 %
Larache	20 368	13045	7 323	366	35,95 %
Total	280 722	183 063	97 659	4883	34,79 %

2. Evolution des forêts dans d'autres régions (en hectares)

Province	Surface forêt 1982	Surface forêt 1992	Recul (ha)	Recul/an	Taux de recul
Agadir	220 262	215 484	4 778	478	2,17 %
Benslimane	67 592	64 507	3 085	309	4,56 %
Taounate	44 022	38 845	5 177	718	11,76 %
Essaouira	108 890	95 480	13 410	1 341	12,32 %
Kenitra	72 065	59 719	12 346	1 235	17,13 %

L'Inventaire Forestier National (1996) permet ainsi des comparaisons, qui à l'échelle du pays, font état d'une tendance forte à la dégradation, voire à la réduction des surfaces forestières sous les pressions simultanées anthropique et animale. La surface totale forestière dégradée, selon l'IFN, est de l'ordre de 25.000 ha par an. La figure 53 ci-après résume cette évolution.

Les projections établies estiment la population marocaine, vers l'année 2025 à près de 50 millions d'habitants dont la moitié en milieu rural et, dont le nombre continuera de s'accroître en valeur absolue en dépit de la tendance à l'urbanisation. **L'emprise de la pression sur les écosystèmes combinée au changement climatique probable au cours de ce siècle risque d'aggraver les pressions déjà lourdes, si des programmes d'adaptation et d'action significatifs, ne sont pas mis en œuvre.**

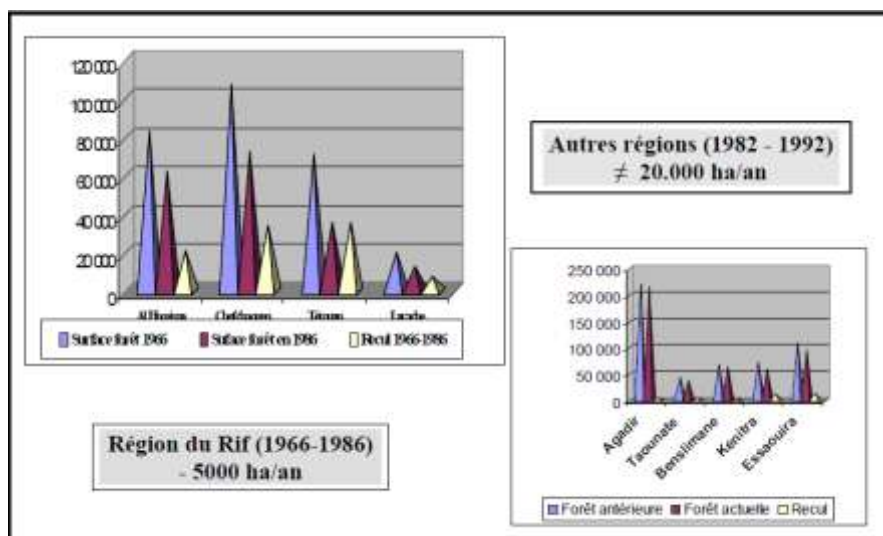


Figure 53 : Evolution de la dégradation des surfaces des écosystèmes forestiers

Du processus d'érosion des sols et d'ensablement au Maroc : causes, manifestations et impacts

L'importance accordée par le Maroc à la mobilisation des ressources en eau est reflétée par l'ambitieux programme en matière de construction de barrages. Il existe à ce jour, plus de 110 barrages. Les bassins versants en amont de ces barrages couvrent une superficie totale de plus de 20 millions d'ha dont plus de 50 % présentant des risques importants d'érosion.

La conséquence la plus néfaste des phénomènes d'érosion réside dans le transport vers l'aval d'alluvions qui, en s'accumulant dans les retenues des barrages, réduisent leur capacité de régularisation. A cela s'ajoute la perte de la productivité des sols agricoles à l'amont. La figure 54 donne l'évolution des pertes cumulées en retenue de barrage durant la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle.

Devant l'ampleur des problèmes d'érosion hydrique, les pouvoirs publics ont pris, depuis plus d'un demi siècle, des dispositions juridiques, administratives et techniques (*Dahir du 21 mars 1951, Dahir du 25 juillet 1969* du Code des investissements agricoles) pour la promotion des interventions de conservation des sols dans le cadre d'une approche visant l'intégration et la complémentarité entre les interventions de protection des sols à l'amont et la préservation des infrastructures hydro-agricoles à l'aval.

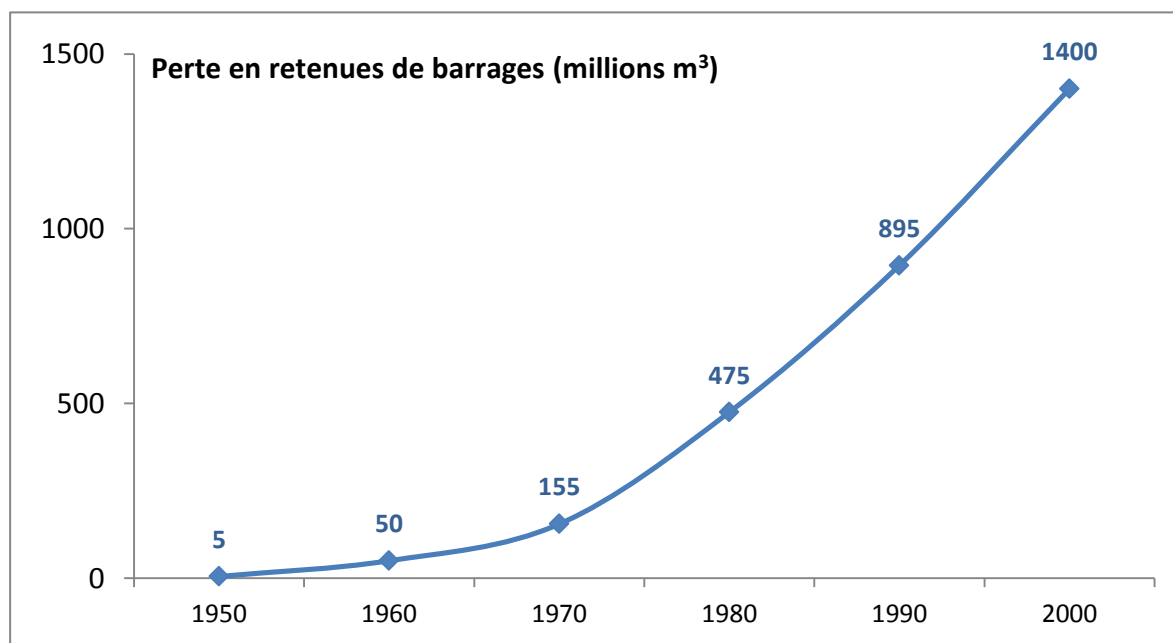


Figure 54 : Evolution des pertes cumulées en retenues de barrages (1,4 milliard m³ en 50 ans : équivalent à la capacité du barrage IDRISS 1^{er})

Malgré les efforts déployés, les réalisations sont restées en deçà des besoins et la pression anthropique sur les ressources naturelles n'a fait qu'accentuer la dégradation des sols et donc accélérer les phénomènes d'érosion. L'encadré 15 résume les causes, les manifestations et les impacts du processus.

Le Plan National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV), adopté en 1996, comme cadre stratégique fixant les priorités d'interventions et proposant les approches ainsi que les mécanismes financiers et institutionnels de mise en œuvre, devrait donner une nouvelle dynamique à l'action de lutte contre l'érosion.

Malgré une série d'expériences innovantes dans la préparation, les montages institutionnels et financiers, les approches de mise en œuvre et de partenariat dans le cadre de certains projets d'aménagement intégré des bassins versants, le PNABV souffre, dans sa mise en œuvre, du manque d'intégration et de mise en cohérence horizontale des actions sectorielles et de la difficulté de mobilisation des moyens financiers.

Encadré 15- Processus de l'érosion des sols : causes, manifestations et impacts

A. Des conditions physiques, climatiques et anthropiques prédisposant à l'érosion des sols

Facteurs naturels :

- Extension des zones au relief montagneux, (25% du pays) ;
- Prédominance des substrats fragiles, des sols peu profonds et pauvres ;
- Agressivité climatique, intensité et irrégularité des pluies, faiblesse du taux de couverture végétale (8%).

Facteurs anthropiques : pression sur les ressources :

- Surexploitation du bois de feu et des parcours
- Extension des terres de culture sur sols marginaux sans pratiques antiérosives
- Faible niveau d'intensification de la production en zones de montagne
- Insuffisance des équipements et des investissements pour une diversification des activités économiques en milieu rural

B. Des effets lourds de conséquences sur le capital eau et sol à l'amont et à l'aval

Conséquences au niveau du bassin versant :

- Pertes en sol (Plus de 2000 t/km²/an dans le Rif ; 1000 à 2000 t/ km² /an dans le Prérif et la bordure méditerranéenne ; 500 à 1000 t/ km² /an dans le Moyen et Haut Atlas
- Perte d'éléments fertilisants des sols agricoles de l'amont
- Altération des conditions écologiques des milieux: dynamique de régénération naturelle du couvert forestier et appauvrissement de la biodiversité

Impacts sur les infrastructures hydro-agricoles :

La capacité perdue chaque année par envasement est évaluée 75 millions de m³ soit une diminution de l'ordre de 0,50% par an de la capacité totale de stockage (16 milliards de m³) :

- Perte d'un volume de stockage d'eau équivalent à une possibilité d'irrigation de 5000 ha
- Réduction des quantités d'eau mobilisées pour l'approvisionnement en eau potable et industrielle et altération de leur qualité (phénomène d'eutrophisation),
- Régression de la faune aquatique par suite de la réduction des zones frayères dues au colmatage des fonds de rivière,
- Surdimensionnement des barrages : réservation d'une tranche morte à l'accumulation des apports solides ;
- Réduction de la tranche réservée au laminage des crues et donc l'augmentation du risque de déversement et d'inondation à l'aval ;
- Réduction des débits des canaux par suite du développement des plantes aquatiques favorisé par les transports solides ;
- Augmentation des frais de fonctionnement et de gestion des barrages, des usines hydroélectriques, des unités de traitement des eaux et des systèmes d'irrigation.

Le tableau 24 présente l'évolution des ressources en eau au Maroc à l'horizon 2020 et la tendance à l'état actuel vers une situation de pénurie; situation qui risque de s'aggraver avec les effets probables du changement climatiques au cours du siècle.

**Tableau 24 : Evolution des ressources en eau au Maroc à l'horizon 2020
(Source HCP, 2006)**

Ressources en eau (milliards de m3)	2000	2020	Taux de réduction
Renouvelables	29	25,5	12%
Mobilisables	20	17	15%
Superficielles	16	13,6	15%
Souterraines	4	3,4	15%
Capital en eau (m³/habitant/an)	1010	682	33%

L'érosion éolienne est un mécanisme physique que l'on peut considérer comme exclusif jusqu'à un isohyète de 300 mm. Le vent devient alors un facteur causal de l'érosion par arrachement, transport et dépôt des particules du sol. Le vent est un paramètre climatique qui a une influence majeure sur les conditions du sol et de végétation en raison de son action sur les échanges de chaleur et de vapeur d'eau, près de la surface du sol. La figure 55 ci-après représente les régions qui sont soumises à l'érosion éolienne.

L'érosion éolienne et les problèmes de l'ensablement se posent aussi bien pour les zones côtières que continentales. Ce phénomène touche particulièrement les provinces du littoral atlantique, en particulier celles d'El Jadida, Safi, Essaouira, Agadir, Tiznit, et certaines provinces du Sud et du Sud Est du pays, notamment : Tata, Ouarzazate, Errachidia, Boudnib et Figuig. Il touche particulièrement la frange côtière de Tarfaya, Laayoune, Khénifiss, les vallées du Draâ, du Ziz, de Gheris.

L'érosion éolienne résulte de l'action et des fréquences des vents dans ces régions, mais elle est accentuée par la dégradation de la végétation naturelle, notamment près des grands centres urbains où les besoins en bois et en pâturage ont atteint des proportions importantes déjà au début du 20^{ème} siècle (cas d'Essaouira et d'Agadir). Les dommages et/ou menaces de l'ensablement concernent les palmeraies, les barrages, les canaux de dérivation, les canaux d'irrigation, les villages et les voies de communication.

Au niveau des zones maritimes, les premiers travaux de lutte contre l'ensablement ont été lancés au début du siècle dernier à Essaouira puis à Agadir. Mais pour les dunes continentales, les travaux de lutte contre l'ensablement avec les moyens de l'Etat n'ont pris une importance appréciable que depuis 1980 à Zagora et à Errachidia. Les réalisations en matière de stabilisation des dunes ont permis en zones littorales la protection de certaines villes côtières (Essaouira, Agadir...).

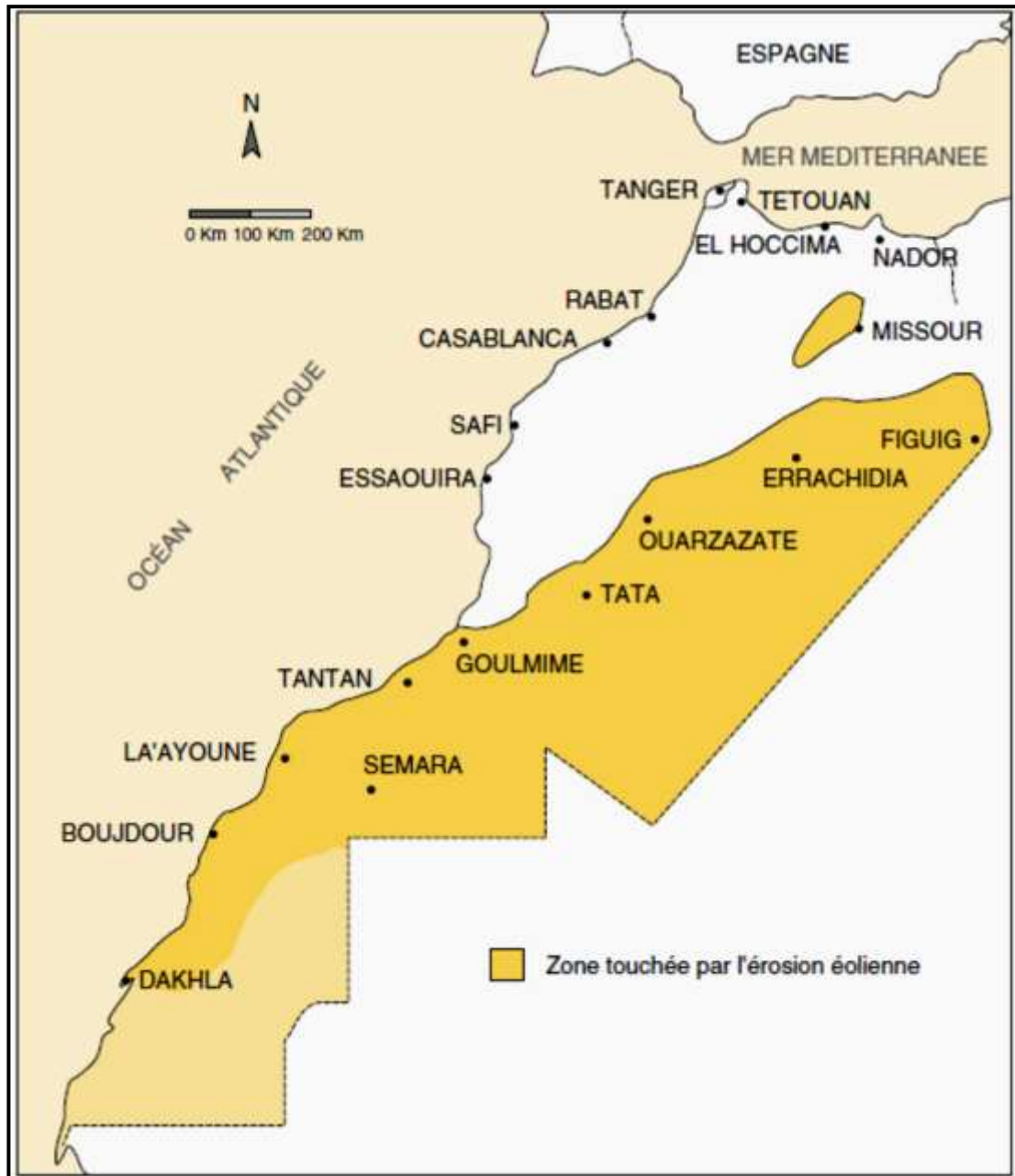


Figure 55 : Répartition approximative des zones touchées par l'érosion éolienne et l'ensablement au Maroc (Benbrahim et al., 2004)

En milieu terrestre, les superficies fixées bien que limitées à cause du coût élevé (5 fois plus cher qu'en milieu littoral), revêtent une importance capitale quant à leur impact sur la vie des populations. En plus, les réalisations ont permis des acquis techniques importants et ont contribué au développement des réflexions sur l'aménagement et la gestion des zones arides et désertiques du pays

Les effets de l'érosion sur le capital eau, sol et biodiversité à l'amont et à l'aval et ses impacts sur les infrastructures hydro-agricoles et sur la vie des populations combinés au changement climatique probable au cours de ce siècle, risquent avec une tendance à la baisse des précipitations et vers plus d'événements extrêmes (sécheresses, inondations, etc.), d'aggraver les problématiques socio-écologiques et économiques déjà lourds.

De ce fait, la conservation des sols et l'aménagement des bassins versants devraient constituer un enjeu stratégique national pour l'équilibre écologique et socio-économique du pays. Ils requièrent, cependant, dans le cadre de l'adaptation au changement climatique, le développement de véritables mécanismes en vue d'un meilleur rééquilibrage de la solidarité intergénérationnelle dans le respect des ressources naturelles et de leur équilibre, de la solidarité interspatiale et interrégionale et de la solidarité amont/aval dans les bassins hydrauliques, pour une meilleure répartition de ces ressources, véritable ciment des interdépendances, et du sentiment partagé d'un devenir commun.

Du processus de désertification

Le terme « **désertification** », du latin « *desertum facere* » : rendre désert, désigne « **la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.** » (*Article 1, Convention sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, 1996*). Ce terme inclut la perte de productivité et de diversité biologiques ou économiques des terres cultivées, des pâturages et des forêts. Les principales causes avancées aujourd'hui pour expliquer ce phénomène sont les fluctuations climatiques et les modes non durables d'exploitation des sols.

Au Maroc, la désertification peut potentiellement toucher toutes les zones du territoire national (figure 56). Les principaux facteurs qui favorisent le déclenchement et l'accentuation de ce phénomène sont en rapport avec :

- 1)** Une aridité du climat qui concerne près de 90% du territoire national accentuée par une variabilité annuelle et interannuelle des pluies ;
- 2)** Une pauvreté et une fragilité des sols dues, essentiellement, à leur faible teneur en matière organique et à des utilisations incompatibles avec le principe de leur conservation : près de 68% des terres agricoles se situent en milieu aride et semi-aride ;
- 3)** Une dégradation continue du couvert végétal constamment sollicité pour la satisfaction des besoins des populations en terrains de culture, en bois de feu et en ressources fourragères pour le cheptel ;
- 4)** Une érosion hydrique intense notamment dans les zones à pluviosité élevée ; il en résulte tout particulièrement une perte de capacité de stockage des retenues de barrage supérieures à 60 millions de m³ par an ;
- 5)** Des phénomènes d'ensablement menaçant notamment dans les provinces continentales et côtières du pays ; les palmeraies menacées sont estimées à 30.000 ha pour 80.000 habitants dans la Province de Ouarzazate et à 250.000 ha pour 2000.000 habitants dans la Province d'Errachidia.

C'est en reconnaissance de la gravité de la situation, que le Maroc a signé et ratifié la Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification (UNCCD) en 1996 et a élaboré un programme d'action national de la lutte contre la désertification (PANLCD) pour mettre en œuvre cette convention.

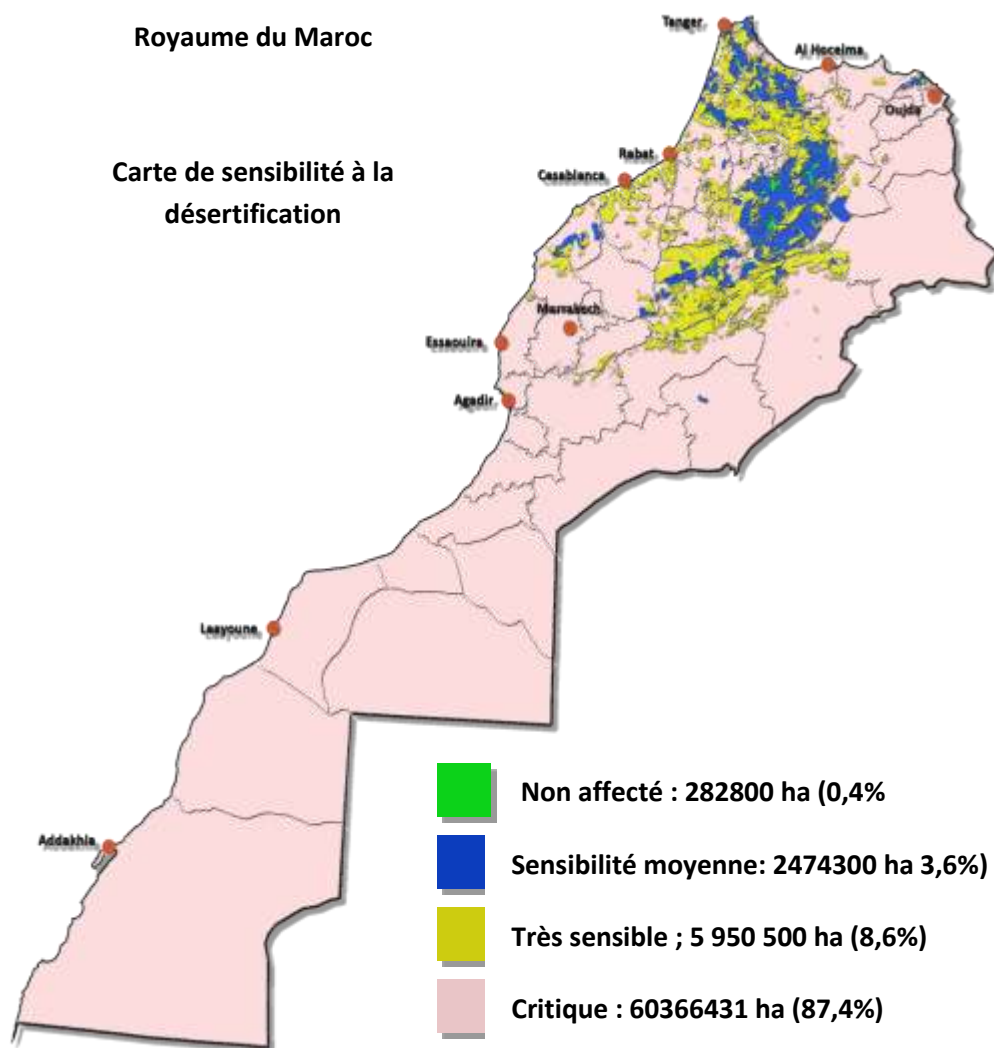


Figure 56 : Sensibilité à la désertification au Maroc (HCEFLCD, 2007)

Nonobstant, les pouvoirs publics ont accordé, depuis fort longtemps, une grande importance à la lutte contre la dégradation des ressources naturelles à travers l'initiation et la mise en œuvre des politiques et programmes en mesure d'en limiter l'ampleur et d'en atténuer les conséquences (conservation des ressources forestières, reboisement, lutte contre l'érosion, mobilisation des ressources en eau, aménagement des ressources pastorales etc.). C'est dans le cadre de ces efforts que peuvent s'inscrire les diverses dispositions législatives pertinentes en matière forestière (1917), de lutte contre l'érosion hydrique (1951), du Code des Investissements Agricoles (1969) ; et des institutions appropriées mises en place.

Dans le même sens, le Maroc a élaboré dès 1986, un « Plan National de la lutte contre la désertification » (Mhirit et al.,1986) qui a été intégré dans le plan d'orientation 1988-1992.

Face à l'évolution du contexte éco-sociologique et environnemental du Maroc et du contexte international (**Stratégie décennale de l'UNCCD, Objectifs du Millénaire, Plan d'action du SMDD;** etc.), depuis la mise en œuvre PANLCD en 2001, et à la pression croissante exercée sur les ressources naturelles par le changement climatique et, sachant que l'ampleur des problèmes de désertification continue de s'amplifier, malgré les interventions dans le cadre de plans sectoriels et d'autres à caractère horizontal; il devient impératif de renforcer la mise en œuvre du PANLCD et plus particulièrement son adaptation au changement climatique probable au cours de ce siècle.

Dans les perspectives d'adaptation au changement climatique, la lutte contre la désertification doit être approchée de manière holistique, coordonnée et intégrée avec le souci de contribuer à la lutte contre la pauvreté et au développement humain. L'approche devra viser l'intégration des actions au niveau des grands systèmes constituant des unités « homogènes » du point de vue biophysique, climatique et social, et en ce qui concerne le type de problématique de désertification. A cet effet, il devient nécessaire d'asseoir un système de suivi rigoureux du processus selon des indicateurs spécifiques à chaque zone homogène, en vue d'orienter la politique de lutte contre la désertification sur une base objective.

De la vulnérabilité des écosystèmes forestiers aux incendies

La fragilité face au feu est une caractéristique fondamentale des écosystèmes forestiers méditerranéens. On enregistre chaque année près de 50.000 feux détruisant entre 700.000 ha à un million d'ha de forêts. Les dégradations occasionnées par les incendies sont extrêmement variables dans le temps et dans l'espace en fonction du rythme des sécheresses, de la conduite des populations et du pouvoir de résilience des espèces forestières.

Le feu menace de plus en plus les forêts marocaines même si la superficie forestière brûlée annuellement, reste relativement faible par rapport aux pays nord-méditerranéens. Au cours de la période 1960-1969, la superficie moyenne parcourue par le feu n'était que de 1.883 ha/an ; elle est passée à 2.960 ha/an entre 1970 -1979, soit une augmentation de 57%. Durant la période 1980-1990, la superficie brûlée moyenne était de 3.138 ha/an soit une augmentation de 6 % par rapport à la période 1970-1979. Ces dernières années, elles atteignent 4.503 ha, d'où une augmentation de 43 % par rapport à la période 1980-1990 et 140 % par rapport à 1960-1969.

Au cours des quarante dernières années (1960-2008) une superficie moyenne de 2.984 ha par an a été parcourue par le feu avec un maximum de 11.289 ha en 1983, en pleine période de sécheresse 1979-1984 qu'a connue le pays, et un minimum de 597.ha, en 2007. La vulnérabilité et gravité des incendies de forêts varient selon les régions. Elle est directement liée au type de végétation et notamment, du type de sous-bois. Le Rif est la région la plus touchée ; elle perd environ 1.185 ha/an, soit 43% de la superficie globale incendiée au niveau national. La région orientale vient en deuxième position avec 500 ha, soit 18 % du total. La figure 57 présente l'évolution des incendies de forêts durant la période 1960-2008 (HCEFLCD, 2008).

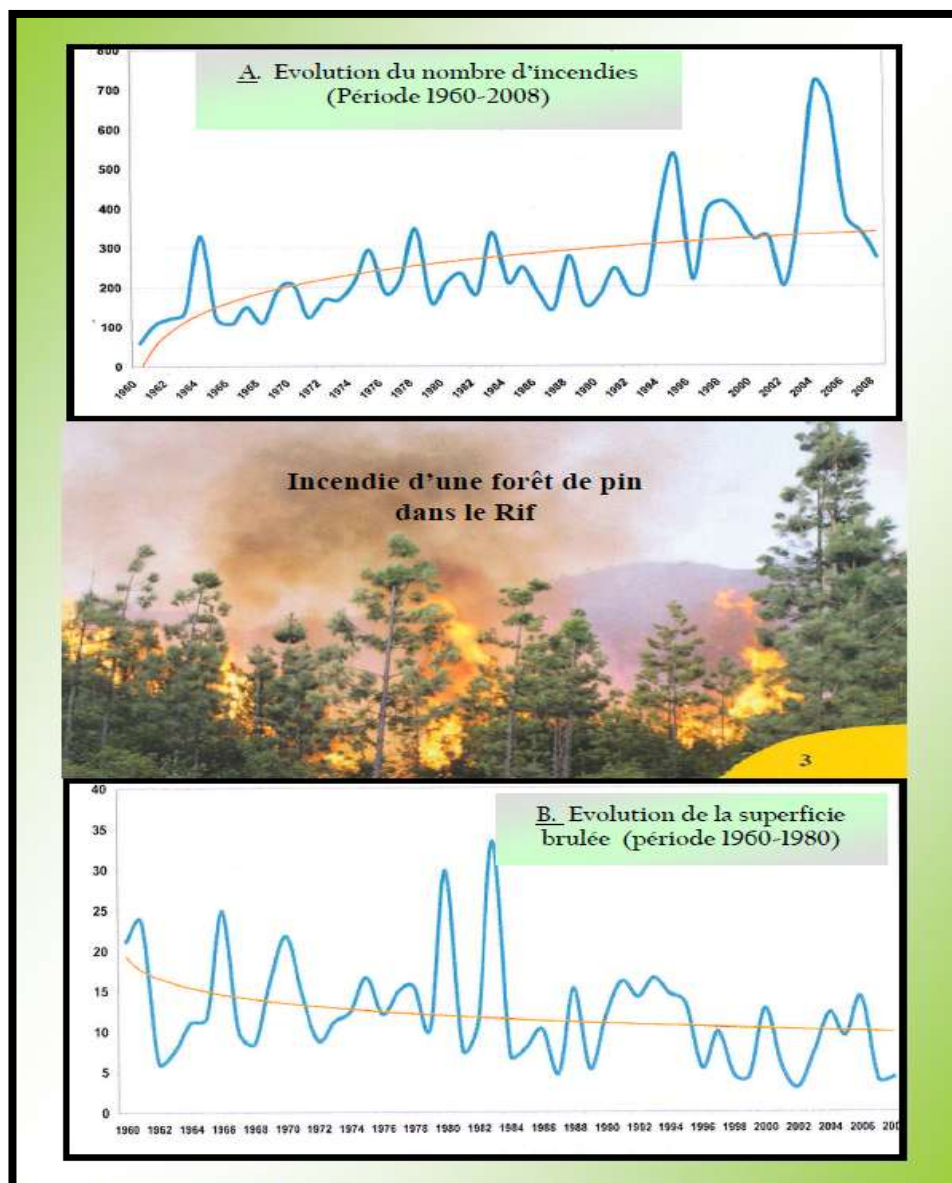


Figure 57 : Evolution des incendies au Maroc (1960-2008)⁷

⁷ Malgré la tendance à la hausse du nombre d'incendies durant la période 1960-2008, la superficie incendiée est en légère diminution en raison de l'amélioration de la gestion des incendies de forêts.

Le Maroc accorde à la question des incendies de forêts une place prioritaire pour la conservation et la préservation du patrimoine forestier. Pour faire face aux risques récurrents et impondérables des incendies, un Plan Directeur de Prévention et de Lutte contre les Incendies de forêts (PDCI) a été élaboré et adopté en 2001 par un Comité interministériel regroupant l'ensemble des départements concernés (Ministère de l'Intérieur, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification, Gendarmerie Royale, Protection Civile, Forces Armées Royales, Forces Royales Air, Forces Auxiliaires, collectivités territoriales).

Le PDCI vise la mise en place d'un système cohérent et efficace de maîtrise des incendies de forêts par le biais de programmes modulables d'actions pluriannuels (10 ans) portant sur le renforcement des infrastructures de base (prévention, prévision et alerte) et la mobilisation des capacités humaines et matérielles pour l'extinction.

En intégrant la problématique des incendies dans l'aménagement durable et concerté des espaces forestiers, l'effort actuel des pouvoirs publics (HCEFLCD) s'articule autour des trois composantes suivantes:

- la prévention, à travers l'intensification de la sylviculture préventive (aménagement du combustible) au niveau des zones à haut et moyen risque pour rendre les forêts moins vulnérables au feu; le choix et la diversification des espèces pour le reboisement de ces zones et la sensibilisation du grand public ;
- la détection et l'alerte, à travers, l'association de différents moyens d'observation et de détection sur le terrain en période d'incendie et le développement d'un réseau de communication et de transmission à l'échelle nationale ;
- L'amélioration de l'efficacité de lutte, à travers la mise en place des moyens facilitant l'engagement rapide des équipes de lutte, et des moyens de lutte terrestres et aériens.

Les incendies figurent parmi les conséquences associés aux événements extrêmes. En effet, une augmentation combinée de la température et de la sécheresse estivale pourrait assimiler certaines régions indemnes ou peu sensibles aux zones les plus sensibles de la région rifaine par exemple. Cette sensibilité aux incendies pourrait être d'autant plus forte, que la pluie fait défaut, la température plus élevée et la vitesse des vents plus élevée, comme prévu dans les modèles climatiques du GIEC. Aussi la probabilité d'une aggravation du risque incendie est-elle élevée pour les régions à fort potentiel forestier. Dans ces conditions, l'adaptation des écosystèmes forestiers devrait s'orienter vers plus de prévention et vers la maîtrise des risques d'éclosion et de propagation des feux au moyen de puissants outils d'aide à la décision.

De la santé et du dépérissement des écosystèmes forestiers

Les conditions écologiques difficiles (aridité, sécheresses récurrentes et prolongées et sol fragile), le surpâturage, les prélèvements de bois de feu et de produits non ligneux, la mutilation des arbres, mettent l'écosystème forestier dans un état de dysfonctionnement physiologique et autoécologique qui le rend vulnérable aux attaques des différents agents pathogènes. Ce phénomène, peut représenter un énorme danger pour la santé des forêts et, de surcroît, pour leur capacité à assurer la fonction de production, environnementale ou biopatrimoniale. Les attaques parasitaires et phytopathologiques touchent principalement les pins, le cèdre, le chêne-liège et les eucalyptus ; bref les espèces les plus productives et économiquement les plus intéressantes de la forêt marocaine.

La gestion phytosanitaire s'est traduite par des luttes chimiques, dès les années 50 en forêt de chêne liège de la Maamora, mais les campagnes de lutte ne démarrèrent qu'au début des années 80, au moment de la grande sécheresse 1979-1984 qu'a connu le Maroc. Durant cette période, certains écosystèmes naturels (chêne liège, cèdre, pins, etc..) ainsi que l'eucalyptus et les pins reboisés artificiellement ont manifesté une grande vulnérabilité aux attaques parasitaires. Les traitements phytosanitaires s'effectuent par des épandages aériens à base de produits biologiques (*Bacillus thuringiensis*) et chimiques qui sont des insecticides inhibiteurs de la croissance (*Diﬂubenzuron*).

Au cours de la période de 1980 à 1990, les superficies traitées ont atteint 198.951 ha (116.671 ha de cèdre, 60.090 ha de pin, 19.660 ha de chêne-liège et 2.530 ha de chêne vert) et sont situées principalement dans le Moyen-Atlas (cèdre et pin), le Nord-Ouest (pin et chêne-liège), le Nord-est (pin, cèdre) et le Rif (chêne liège, pin). Par ailleurs, durant la période de 1991 à 2003, ces superficies ont presque doublé enregistrant 383.481 ha (133.781 ha de cèdre, 234.661 ha de pin, 9.905 ha de chêne liège et 5.134 ha de chêne vert). Cette augmentation a été due principalement aux attaques importantes des forêts de pins et de cèdre par la processionnaire du pin.

Le premier bilan de santé des forêts à l'échelle nationale a été établi en l'an 2000 et relate l'ensemble des dysfonctionnements phytosanitaires. En effet, durant ces quatre dernières années (2000-2003), une superficie totale de **25.884 ha** a subi des dépérissements importants.

Les plus grandes superficies forestières touchées par les dépérissements ont été enregistrés dans le Moyen-Atlas (8.284 ha de chêne vert et cèdre), et le Haut-Atlas (7.673 ha de genévrier rouge et pins, et 5.155 ha de chêne-vert, cèdre, reboisements...).

Les problèmes sanitaires qui ont touché les peuplements forestiers et qui continuent toujours de l'être comme ceux des peupliers en 1978, le *Phoracantha* des eucalyptus en 1980, le chêne-liège (Maamora) en 1983, le thuya en 1993 et dernièrement les dépérissements à causes multiples des cédraies des Moyen-Atlas et autres problèmes, ont fait émerger chez les pouvoirs publics (HCEFLCD) une prise de conscience quant à l'importance du volet de la santé des forêts dans les stratégies d'aménagement et de conservation des écosystèmes forestiers.

Cette prise de conscience a conduit, dès 2003, à plusieurs actions, en particulier : l'inventaire phytosanitaire au niveau des forêts de cèdre dans le Moyen Atlas, la cartographie générale des zones concernées par les dépérissements, l'estimation des volumes sur pieds de cèdre dépéris et morts pour un plan de gestion et d'assainissement des forêts dépérisantes, la mise en place d'un réseau de suivi de la cinétique d'évolution de ce phénomène; et l'engagement d'une étude pluridisciplinaire (aménagement, entomologie, dendrochronologie, pédologie, écophysologie, etc.) pour identifier des causes plausibles du dépérissement constaté et proposer un modèle de sylviculture approprié.

Actuellement, des dépérissements multiples touchent sérieusement plusieurs écosystèmes importants au Maroc : cèdre du Moyen Atlas, chêne liège à la Maamora, etc. Les interrogations nombreuses de l'impact du changement climatique planétaire, désormais avéré, plus particulièrement sur les forêts marocaines, imposent désormais comme dans de nombreux pays la mise en place de dispositif d'évaluation et de suivi de l'état de santé des forêts de façon à établir rapidement un état des lieux initial dont on pourra suivre l'évolution.

La surveillance continue de l'état de santé des forêts constitue ainsi une étape importante pour la prévention des déséquilibres phytosanitaires et un outil de gestion durable.

5.3. Conséquences potentielles pour la biodiversité

L'impact combiné de l'action anthropique et des modifications climatiques à tendance xérique sur les écosystèmes forestiers marocains est particulièrement important dans les régions de montagne, qui concentrent, sur de faibles superficies (zonation altitudinale), la plus grande biodiversité, et dont la plupart sont classés ou considérées comme des réserves naturelles. Au-delà de l'intérêt propre de la biodiversité et de son rôle dans la préservation du capital génétique, nombre d'activités humaines sont dépendantes de leur environnement naturel.

A l'échelle globale, il a été estimé que le changement climatique pourrait provoquer la disparition de plus d'un million d'espèces d'ici 2050. Entre **15** et **37 %** des espèces terrestres de la planète seraient menacées d'extinction. Par exemple, en France métropolitaine, 19 % des vertébrés et 8 % des végétaux pourraient disparaître (ONERC, 2006).

Au Maroc, les rapports (REEM, 1999) ont mis en exergue les différentes catégories de menaces qui pèsent sur les composantes de la biodiversité nationale. Les espèces menacées sont au nombre de : 1617 pour les végétaux et 610 espèces animales dont 86 formes marines, 98 espèces d'oiseaux et 18 mammifères. Les prévisions (RREM, 1999) font état du risque de disparition de près de 22% de la biodiversité nationale à l'horizon 2050 (figure 58).

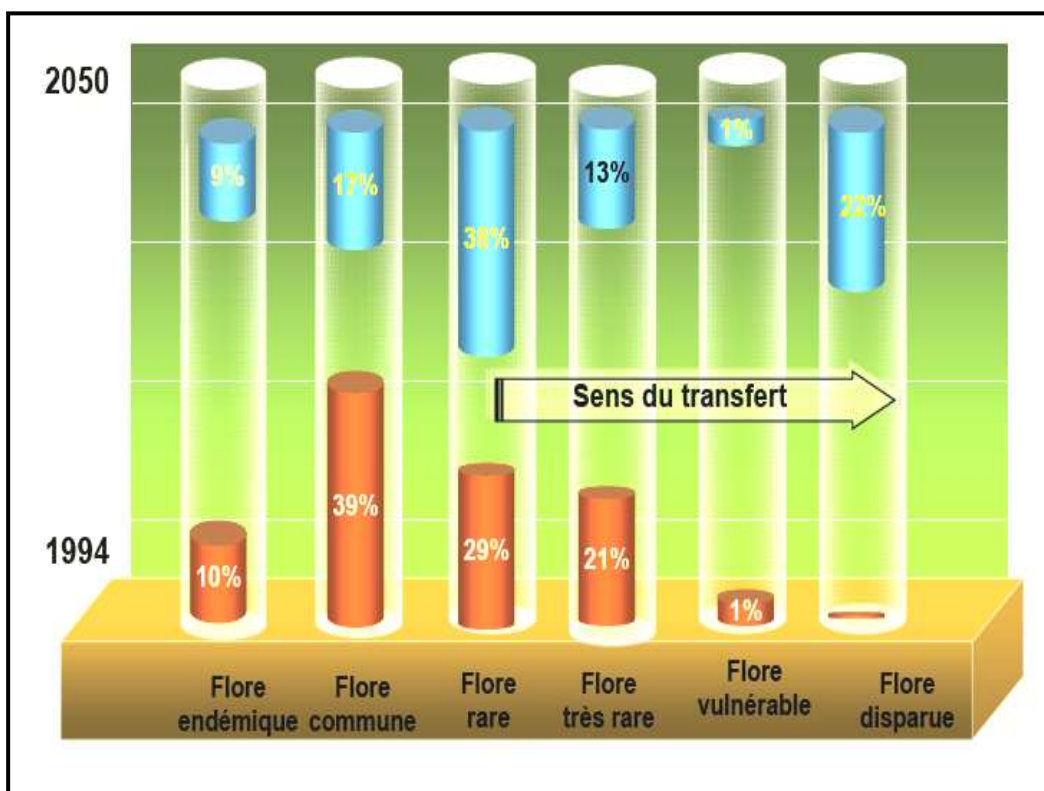


Figure 58 : Prédiction du taux de disparition de la biodiversité du Maroc à l'horizon 2050 (RREM, 1999)

La biodiversité des milieux côtiers du littoral, les zones humides, les oasis et les montagnes du Maroc sont particulièrement vulnérables au changement climatique. Ces milieux subissent un ensemble de pressions traduites par une surexploitation des ressources naturelles due à la grande croissance démographique et au surpeuplement dans certaines régions ainsi qu'aux effets de la sécheresse persistante.

Parmi les menaces principales pesant sur la biodiversité au Maroc figurent (Birouk, 2003): (i) la perte, la fragmentation et la dégradation des habitats; (ii) la surexploitation d'espèces; (iii) la prolifération d'espèces exotiques envahissantes et (iv) la pollution et le changement climatique. En matière de zones humides, sous l'effet du changement climatique, on estime que 50% du patrimoine humide (grands lacs naturels de montagne, lagunes, marais, etc.) a été perdu durant les 50 dernières années.

Globalement, les espèces caractéristiques, des eaux froides comme les truites fario et arc-en-ciel répondraient négativement au changement climatique en réduisant très fortement leur distribution actuelle. Au contraire, la plupart des espèces des eaux chaudes pourraient coloniser de nombreuses stations où elles sont actuellement absentes (barbeau et carpes). Ces changements affecteront également les oiseaux d'eau auxquels les zones humides fournissent un habitat, et vont limiter de plus leurs rôles récréatifs et touristiques, mais surtout leur rôle de réservoir génétique.

Les menaces sur les zones humides sont perceptibles au travers des menaces actuelles affectant les ressources hydrologiques du Maroc en conséquence du changement climatique, en particulier : la baisse des niveaux piézométriques, induisant une diminution des débits des exécutoires naturels (fleuves et rivières) et des nappes phréatiques, la réduction de la capacité des barrages (précipitations concentrées et envasement accéléré par l'érosion (la capacité des barrages perdues en retenue est estimée à 75 millions de m³, soit 0,5% par an) ; le dérèglement du régime de débit des oueds et la salinité des eaux souterraines.

De nombreux travaux consacrés aux effets du changement climatique sur la biodiversité mettent l'accent sur le déplacement observé d'aires de répartition de certaines espèces ou habitats. Pour simplifier, les conditions potentielles sont réunies pour une migration vers le nord (de l'ordre de 400 à 800 km suivant les scénarios) ou en altitude (de 300 à 600 m) des espèces végétales ou animales.

Cependant, la grande inconnue réside dans la façon dont cette évolution s'effectuera sur une période de cent ans, beaucoup plus courte que les périodes historiques (des milliers d'années) sur lesquelles elle s'est étalée. Là aussi, la biodiversité sera fortement affectée, surtout si on ajoute à ce panorama l'éventualité de l'apparition d'espèces invasives favorisées par le réchauffement. Ces prédictions reposent sur des évolutions du climat moyen. Il reste à évaluer les conséquences des événements extrêmes qui pourraient s'avérer déterminants pour moduler la tendance moyenne, comme l'ont démontré, entre autres, la tempête de fin 1999 ou la sécheresse/canicule de l'été 2003 en France.

La vulnérabilité liées aux processus d'évolution biophysiques et anthropogéniques, préalable aux impacts du changement climatique sur la biodiversité peut être appréhendé à différents niveaux, selon qu'on se situe à l'échelle de l'individu (diversité génétique), d'un ensemble d'individus (diversité des espèces), d'assemblages entre espèces (diversité des écosystèmes), ou de groupes fonctionnels (diversité fonctionnelle). Il conviendrait par conséquent de distinguer l'adaptation des individus (capacité d'adapter leurs organes aux conditions climatiques) de celle des espèces (du fait par exemple d'une certaine sélection naturelle ou de leur capacité de déplacement, d'essaimage) et de celle des écosystèmes (par les relations entre espèces, les phénomènes de compétition, la capacité de réponse au déséquilibre créé par le changement climatique...).

Il en résulte qu'une vision globale est nécessaire pour appréhender et comprendre les interactions entre le changement climatique, les usages des terres et la dynamique biologique. Les réseaux d'aires protégées, en plus de leur rôle socio-écologiques, doivent pouvoir être utilisées comme des laboratoires d'étude sur les impacts et l'adaptation au changement climatique.

6. Intégration de l'adaptation dans la gestion durable des écosystèmes forestiers : premières mesures prises

6.1. La gestion durable des écosystèmes forestiers marocains : cadre d'action pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique

6.1.1. Du contexte général du développement durable

Durant les deux dernières décennies, en particulier, après la Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement (CNUED, RIO 1992) et les processus qui l'ont suivi (mondialisation des services libéralisation de l'économie, conventions environnementales internationales , etc.), le Sommet Mondial pour le Développement Durable (SMDD; Johannesburg , 2002), le Maroc se trouve en pleine transition politique, économique et sociale marquée par une ouverture de plus en plus grande à l'origine de l'émergence de nouvelles forces de dynamisme et d'une société civile agissante. De ce fait, il a réorienté et refondé sa politique sur la construction de processus de développement durable dans leur triple dimension : écologique, économique et socioculturelle.

Dans ce sens, la prise de conscience et la volonté politique se sont traduites par la construction de processus de développement durable, en particulier:

- des choix politico-économiques stratégiques touchant les domaines de la libéralisation de l'économie, de la régionalisation et la décentralisation, de l'éducation et formation et de la lutte contre la pauvreté ;
- des stratégies et programmes d'action nationaux :
 - ✓ **dans le domaine socio-économique :** Programme national de construction des routes ; Programme d'approvisionnement en eau potable (PAGER); programme d'électrification rurale globale (PERG); programme des priorités sociales pour l'éducation de base (BAJI); Stratégie Nationale pour la Protection de l'Environnement (Anon.; 1995); Stratégie 2020 de Développement Rural (Anon., 1999);
 - ✓ **dans le domaine de gestion des ressources naturelles et de lutte contre la désertification :** Programme national d'irrigation (PNI); Plan national d'aménagement des bassins versants (PNABV, Anon.,1995, 2002); Plan directeur de reboisement (PDR; Anon.; 1997); Plan directeur des aires protégées (Anon., 1996) ; Plan directeur de gestion conservation des terres bours ; Stratégie de développement des terres de parcours; Programme forestier national (PFN; Anon., 1999), Programme d'action national de lutte contre la désertification (PANLCD; Anon.; 2001), Plan national de la biomasse-énergie (PNBE; Anon.; 1998) et, Plan directeur pour la prévention et la lutte contre les Incendies de forêts (PDPCI, 2001; Anon., 2001).
- la mise en place d'instruments - cadre, institutionnels et réglementaires : Charte Nationale de l'Education-Formation : Code de l'eau, Code du travail, Code de la famille, Code du commerce, Code des investissements agricoles, Loi de la Décentralisation, Charte Nationale de l'Aménagement du Territoire etc., qui sont autant de leviers et de facteurs de succès pour la politique de développement durable.

L'originalité des processus de développement durable ainsi construits, dont la gestion des ressources naturelles constitue la trame de fond, réside dans les approches, les méthodes d'action et les instruments de mise en œuvre. Ces approches, qui s'inscrivent dans une perspective de durabilité et de vision à long terme, reposent sur de nouveaux paradigmes qui en garantissent la faisabilité et le succès, en particulier : l'intégration et l'approche holistique, la décentralisation et la territorialisation, la participation, le partenariat et la contractualisation; une mise en cohérence horizontale des actions sectorielles concourant au développement ; **(iii)** un cadre opérationnel de l'action gouvernementale : le Comité interministériel permanent de développement rural, la Commission nationale de l'eau et du climat, le Conseil national de l'environnement, le Conseil national des forêts, etc.

L'encadré 16 donne les principales stratégies, les programmes et les instruments de la politique gouvernementale, à caractère horizontal et intégrateur, dans le domaine du développement durable et de l'environnement élaborés et mis en œuvre durant les deux dernières décennies.

Dans le prolongement de ces choix politico-économiques et des stratégies et programmes d'action nationaux correspondant, le Maroc a mis en œuvre, en cohérence avec les processus internationaux (CNUED, SMA, OMD, SMDD, etc.) un plan ambitieux : le Plan d'Action National pour la protection de l'Environnement (PANE ; Anon., 2002), qui comporte sept programmes fédérateurs, et promulgué trois nouvelles lois de protection de l'environnement en 2003.

Dans le même ordre d'idée, il a élaboré, en 2005, une étude prospective pluridisciplinaire, à l'occasion du cinquantième de l'indépendance du pays, « **50 ans de Développement Humain au Maroc et Perspectives pour 2025** » (www.rdh50.ma) avec la participation des différents organismes des Nations Unies en place. Cette étude, axée sur les travaux d'une dizaine de groupes thématiques relatifs aux composantes environnementales, économiques, sociales et culturelles, constitue un appui au cadre stratégique et aux outils de planification pour le développement du pays à l'horizon 2025.

Cette étude a donné naissance à « **l'Initiative Nationale de Développement Humain (INDH)** » lancée en mai 2005 par la plus Haute Autorité du pays, conformément aux grandes orientations du Royaume en matière de développement humain durable. Cette initiative est venue renforcer la lutte contre la pauvreté, la vulnérabilité, l'exclusion et la précarité, notamment dans le monde rural et dans les milieux périurbains, avec des modalités innovantes en matière de ciblage et d'intégration des actions, de financement et d'accès aux capacités et au revenu ainsi que leur appropriation par les bénéficiaires.

Le groupe thématique « **Cadre naturel, environnement et territoire** » de cette étude a approché le développement humain sous l'angle de l'aménagement des ressources et des espaces naturels et, proposé des perspectives et orientations de nature à contribuer à la réflexion globale sur le développement humain du Maroc à l'horizon 2025 (Lhafi et al., 2005). Les orientations stratégiques suggérées, dans ce cadre concernent, en particulier :

- Le renforcement de la politique de mobilisation et de gestion des ressources naturelles en s'adaptant au contexte climatique de la région et de l'évolution prévue en liaison avec le changement climatique global que connaît la planète ;

Encadré 16 : Stratégies, programmes et instruments de la politique gouvernementale mis en œuvre dans le domaine du développement durable et de l'environnement

A caractère horizontal et intégrateur

- La Charte Nationale de l'Aménagement du Territoire ;
- Plan d'Action National pour l'Environnement ;
- Stratégie de Développement Rural intégré 2020;
- Stratégie Nationale pour la Conservation et l'Utilisation Durable de la Biodiversité ;
- Programme National de Construction des Routes Rurales ;
- Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification ;
- Programme des priorités sociales pour l'éducation de base (BAJI) ;
- Fondation Mohammed VI pour l'Environnement
- Loi cadre N° 18-95 formant charte de l'Investissement ;
- Loi sur 10-95 de l'eau ;
- Loi 11-03 relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement
- Loi 12-03 relative aux études d'impacts sur l'environnement ;
- Loi 13-03 relative à la lutte contre la pollution de l'air
- Loi relative aux sur les aires protégées en cours de promulgation)
- Décret 2-04-553 relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux superficielles et souterraines
- 50 ans de développement humain au Maroc, et perspectives pour 2025 (RDH50).

Principaux instruments de mise en œuvre

- Fonds National de protection de l'Environnement ;
- Fonds de développement rural ;
- Fonds de développement agricole ;
- Fonds National Forestier ;
- Fonds de sauvegarde du cheptel ;
- Code des investissements agricoles ;
- Conseil National du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP) ;
- Conseil national de l'aménagement du territoire ;
- Conseil national de l'eau et du climat ;
- Conseil national de l'environnement ;
- Comité interministériel permanent du développement rural.
- Conseil national des forêts

- l'adaptation de l'utilisation de l'espace aux vocations des terres (agriculture, urbanisation, industrie, tourisme, ...). A ce titre, la terre doit être considérée comme un moyen de production, plutôt qu'un outil de spéculation, en jouant sur divers leviers d'incitation (fiscalité, subventions, ...);
- la recherche de voies d'amortissement des effets des variations climatiques et de dégradation de l'environnement à travers une planification écologique basée sur des choix des terres, des techniques et des spéculations économiques appropriées (céréalière vs. arboriculture fruitière, cas des terres en pente, parcours naturels ovin vs. mise en culture, cas de la région de l'Oriental et réhabilitation et préservation des écosystèmes naturels vs. plantations artificielles);
- l'adoption des principes d'intégration des politiques et des actions, de leur territorialisation et la participation effective des acteurs sociaux dans le processus de décision et de gestion des ressources et espaces ;
- l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes terrestres et marins, la préservation et la valorisation de leur biodiversité ainsi que le renforcement des capacités humaines nécessaires à cet effet et la mise en place de systèmes d'information harmonisés.

L'encadré 17 résume les principales stratégies et les programmes, à caractère sectoriel, de la politique gouvernementale dans le domaine du développement durable et de l'environnement élaborés et mises en œuvre durant les deux dernières décennies.

Encadré 17 : Stratégies, programmes de la politique gouvernementale mis en œuvre dans le domaine du développement durable et de l'environnement à caractère sectoriel

1. Eau et sol

- Plan National de l'eau ;
- Stratégie Nationale sur les zones humides ;
- Programme National de l'Irrigation ;
- Programme d'Approvisionnement Groupé en Eau Potable des Populations Rurales

2. Énergie

- Nouvelle Stratégie Énergétique ;
- Plan stratégique national pour le développement des énergies renouvelables ;
- Plan National de la Biomasse Énergie ;
- Programme d'électrification rurale global (PERG) ;
- Code des hydrocarbures 2000 ;

3. Forêts et parcours

- Programme Forestier National
- Inventaire Forestier National ;
- Programme National d'Aménagement BV
- Plan Directeur de Reboisement ;
- Étude Nationale sur les Aires protégées
- Plan Directeur pour la Prévention et la lutte contre les Incendies de forêts ;
- Stratégie Nationale de surveillance et de suivi de la santé des forêts
- Stratégie Nationale de Développement des Terres de Parcours.

4. Agro-systèmes

- Stratégie de développement agricole ;
- Programme National de l'Irrigation ;
- Programme National d'élaboration des cartes de vocation agricole des terres ;
- Plan National Oléicole ;
- Plan National de Restructuration et de Développement de la Palmeraie ;
- Loi 33-94 relative à la mise en valeur en Bour (PMVB).

5. Littoral et espace marin

- Stratégie Nationale des zones humides ;
- Réseau de surveillance de la salubrité du littoral ;
- Réseau de surveillance des plages ;
- Programme MedPol sur la Méditerranée ;
- Loi formant code des pêches maritimes ;
- Décret N° 2-95 717, relatif à la réparation et à la lutte contre les pollutions marines accidentelles.

6.1.2. Du contexte sectoriel des forêts et de la lutte contre la désertification

Le Maroc, soucieux de préserver et de développer de façon durable son patrimoine écologique et ses richesses forestières, n'a cessé d'œuvrer pour la mise en place d'une politique capable d'infléchir, voire de renverser, les processus de dégradation des écosystèmes et de la désertification, qui reconnaît la diversité des intérêts liés à la conservation et à l'exploitation des ressources naturelles et la nécessité d'impliquer les principaux groupes d'intérêt dans leur gestion.

A cet effet, une série de réflexions et d'études stratégiques d'appui à la planification pour un développement durable du secteur forestier ont été conduites au lendemain de la CNUED (Rio, 1992), en particulier, l'Inventaire forestier national (IFN, 1999), le Plan national d'aménagement des bassins versants (PABV, 1995), l'Etude nationale sur les aires protégées (ENAP, 1995), le Plan directeur de reboisement (PDR, 1996), le Colloque national sur les forêts (1996), le Plan national de la biomasse-énergie (PNBE, 1998), le Plan directeur pour la prévention et la lutte contre les incendies (PDPCI, 2001).

L'ensemble de ces études a été mis en cohérence et synthétisé pour l'élaboration du Programme Forestier National (PFN) en conformité avec l'Agenda 21 de la CNUED et des processus internationaux sur les forêts qui en sont issus. Le PFN constitue un outil stratégique de développement durable du secteur forestier à l'horizon 2020. Il définit les objectifs globaux et détaillés de la stratégie, les programmes prioritaires opérationnels et les actions prioritaires pour conduire le changement; il précise aussi les principales conséquences micro-économiques, juridiques, constitutionnelles financières et organisationnelles. L'encadré 18 présente les objectifs et éléments de programme du PFN.

De même une série d'expériences innovantes dans la préparation, les montages institutionnels et financiers, les approches de mise en œuvre et de partenariat avec les populations et les ONG, a été lancée dans le cadre de projets d'aménagement de bassins versants avec le concours de la coopération internationale [Sidi Driss (UE), Oued Lakhdar Oued et Msoun (BM)], d'aires protégées [Souss-Massa et Toubkal (GTZ), Tazeka (FAO)], et de développement intégré des zones forestières et périforestières [Chefchaouen (UE), Ifrane (AFD)].

Ces études et ces expériences ont servi de base au Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLCD) pour construire un **plan d'intégration territorialisé (PIT)** dont il a entrepris la mise en œuvre, dans le cadre de contrats programmes, sous forme de projets décennaux (2005-2014).

La mise en œuvre du (PIT) a donné lieu à la promotion de processus innovants de prise de décision qui permettent une gestion patrimoniale des ressources naturelles, la territorialisation et l'intégration des programmes et des actions, dans le cadre d'une approche de concertation, de participation, de partenariat et de responsabilisation partagée.

Parallèlement, un grand nombre de chantiers, à caractère stratégique, sont mis en place ou en cours, dans les perspectives d'une meilleure gouvernance du cadre institutionnel et des pratiques administratives, afin de s'affranchir des difficultés qui ralentissent et diminuent la portée et l'efficacité de la mise œuvre et l'exécution d'initiatives et de programmes en matière de développement intégré participatif et de développement humain.

Encadré 18 : Le Programme Forestier National marocain : Objectifs et éléments de programme à l'horizon 2020

1. Objectifs globaux

- (i) **Protection des eaux et des sols** : le taux d'érosion et d'envasement des barrages réduit de moitié et les risques de catastrophes naturelles strictement limités ;
- (ii) **Développement socio-économique des populations rurales** des zones périforestières, notamment en montagne. Les espaces boisés naturels contribueront au développement de ces populations dans le cadre d'une gestion locale durable ;
- (iii) **Protection de la biodiversité et de l'environnement** : La dégradation de la diversité biologique sera stoppée. Le potentiel économique de cette richesse écobioécologique sera valorisé ;
- (iv) **Production de bois pour l'industrie et l'artisanat** : La production soutenue de bois d'œuvre et de produits de qualité (cèdre, thuya, liège) et celle du bois à pâte et panneaux seront intensifiées dans les espaces spécialisés gérés à cet effet. Les produits seront valorisés par des filières économiques modernisées et mises à niveau.
- (v) **Production de services** : les principales agglomérations urbaines disposeront d'espaces gérées pour l'accueil, la détente et les loisirs. Les espaces naturels et forestiers remarquables seront préservés à des fins éco-touristiques.

2. Orientations pour l'action : éléments du programme

- (i) **Hierarchisation des fonctions de la forêt** en fonction de l'utilité collective et de la faisabilité technique et socio-économique comme suit : (1) Protection des sols et régularisations des eaux ;(2) Préservation de la biodiversité et de l'environnement (3) Développement socio-économique des populations rurales ;(4) Production de bois pour l'industrie et l'artisanat ; (5) Production de services pour les populations urbaines
- (ii) **Spécialisation des espaces forestiers** pour tenir compte localement de leur utilité dominante en fonction de leur capacité et des besoins ci-dessus hiérarchisés pour la concentration et l'optimisation des efforts, la maîtrise des coûts d'investissement et de gestion et la mesure des résultats ;
- (iii) **Développement de mécanismes de financements flexibles** permettant l'optimisation de l'emploi des moyens en fonction des priorités, la mobilisation de nouveaux moyens dans le cadre de la politique rurale, énergétique et de l'eau, la participation accrue des collectivités locales, du secteur privé et l'appui international.
- (iv) **Innovations institutionnelles** favorisant le transfert des responsabilités au niveau local et la décentralisation accrue pour certaines actions forestières au niveau régional et local, une démarche participative et des pratiques de partenariat, de concertation et de contractualisation et des projets autonomes.
- (v) **Développement de mécanismes économiques** permettant une meilleure valorisation des biens et services marchands et non marchands produits par les écosystèmes forestiers et péri-forestiers (amélioration des marchés de bois et des produits non ligneux : liège, alfa, plantes aromatiques et médicinales, huiles,...) ainsi que de services marchands : droits de chasse, droits de pâturage, éco-tourisme,...) ;

- (vi) **Développement de méthodes modernes de gestion** de l'administration et des organismes professionnels notamment ceux qui concernent l'évaluation à priori des aménagements forestiers, des projets de lutte contre la désertification, leur contrôle et leur suivi ainsi que leur évaluation postérieure. (Indicateurs de gestion durable, système d'information, etc.)
- (vii) **Améliorer la formation et l'information** ; le profil des cadres et techniciens forestiers devra profondément évoluer. Les compétences **juridiques, économiques et de gestion** devront être largement maîtrisées.
- (viii) **Approfondir les connaissances : nécessité d'un effort de recherche dans les domaines suivants :**
 - (i) fonctionnement des écosystèmes en rapport le changements climatique et la séquestration du carbone ;
 - (ii) évaluation des produits, services et externalités des écosystèmes forestiers ;
 - (iii) élaboration de critères et indicateurs de gestion durable» comme instrument objectif d'évaluation de l'état des forêts, de tendances et de progrès en faveur d'une gestion durable,
 - (iv) usages des espaces boisés et pratiques sociales pour développer les approches participatives et partenariales et
 - (v) aménagement des bassins versants et lutte contre la désertification.
- (ix) **Adapter les structures suivant des blocs de missions identifiées** avec le recentrage du HCEFLCD sur les missions régaliennes et sous-traitance des missions de gestion opérationnelle.

L'approche globale adoptée par le HCEFLCD s'inscrit dans le cadre d'une vision à moyen et long terme qui conduit à l'élargissement du rôle du forestier pour intégrer les nouvelles demandes (lutte contre la désertification, biodiversité, paysage et tourisme, forêts périurbaines, développement local,...). En effet, le service forestier s'intéresse de plus en plus à des actions d'accompagnement élaborées avec la population (protection des ressources naturelles, actions productives, infrastructures, hydraulique villageoise, actions socioculturelles, ...) qui conditionnent, en retour, la réussite et l'efficacité de la réalisation des programmes forestiers et de lutte contre la désertification.

Dans le cadre général de la politique gouvernementale de développement durable, HCEFLCD a mis en œuvre des actions et des mesures, avec l'appui technique de la FAO (Convention « FAO/UTF/MOR/028/MOR Appui à la mise en œuvre du programme forestier national, 2005 »), pour la mise en place des principales mesures d'accompagnement du PFN, qui constituent les leviers nécessaires pour permettre aux programmes retenus de donner les résultats attendus. Ces mesures concernent essentiellement la communication interne et externe, le suivi et l'évaluation, la rationalisation des filières d'exploitation, de transformation et de commercialisation des produits forestiers et les aspects de protection de la forêt. Elles contribuent aussi à intégrer l'adaptation au changement climatique dans la stratégie de gestion durable des écosystèmes forestiers. Les premières actions et mesures mises en œuvre en vue d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans la stratégie de gestion des écosystèmes forestiers, sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

6.2. Mise en place du Réseau National d'Aires Protégées (SIBE)

6.2.1. Contexte et objectifs

Le réseau de « **Site d'intérêt Biologique et Ecologique** » (**SIBE**) est le produit de « l'Etude Nationale sur les Aires Protégées », élaborée en 1996, par le HCEFLCD avec la contribution du Fonds de la Banque Africaine de Développement. Cette étude, qui englobe tous les écosystèmes du Royaume, a permis d'évaluer le statut actuel du milieu naturel marocain à travers:

- l'actualisation des données sur les grands types d'écosystèmes, les espèces rares, endémiques menacées et remarquables de plantes, de mammifères, d'oiseaux et de reptiles,
- l'identification d'un réseau national d'aires protégées constitué de 154 unités spatiales différentes (SIBE) dont : 6 parcs nationaux, 2 parcs naturels, 146 réserves naturelles, (108 du domaine continental et 38 du domaine littoral).
- l'évaluation, le diagnostic et la proposition de modes de gestion pour l'ensemble des SIBE, sous forme de plan de gestion pour les parcs et de fiches analytiques pour les réserves naturelles.

Un programme est mis en place et se propose comme objectifs spécifiques : l'amélioration de la gestion, la conservation et l'utilisation des écosystèmes et de leurs biodiversité, l'implication des populations locales à la cogestion des ressources naturelles et le suivi de l'évolution des écosystèmes. La figure 59 présente la répartition spatiale des aires protégées du Royaume.

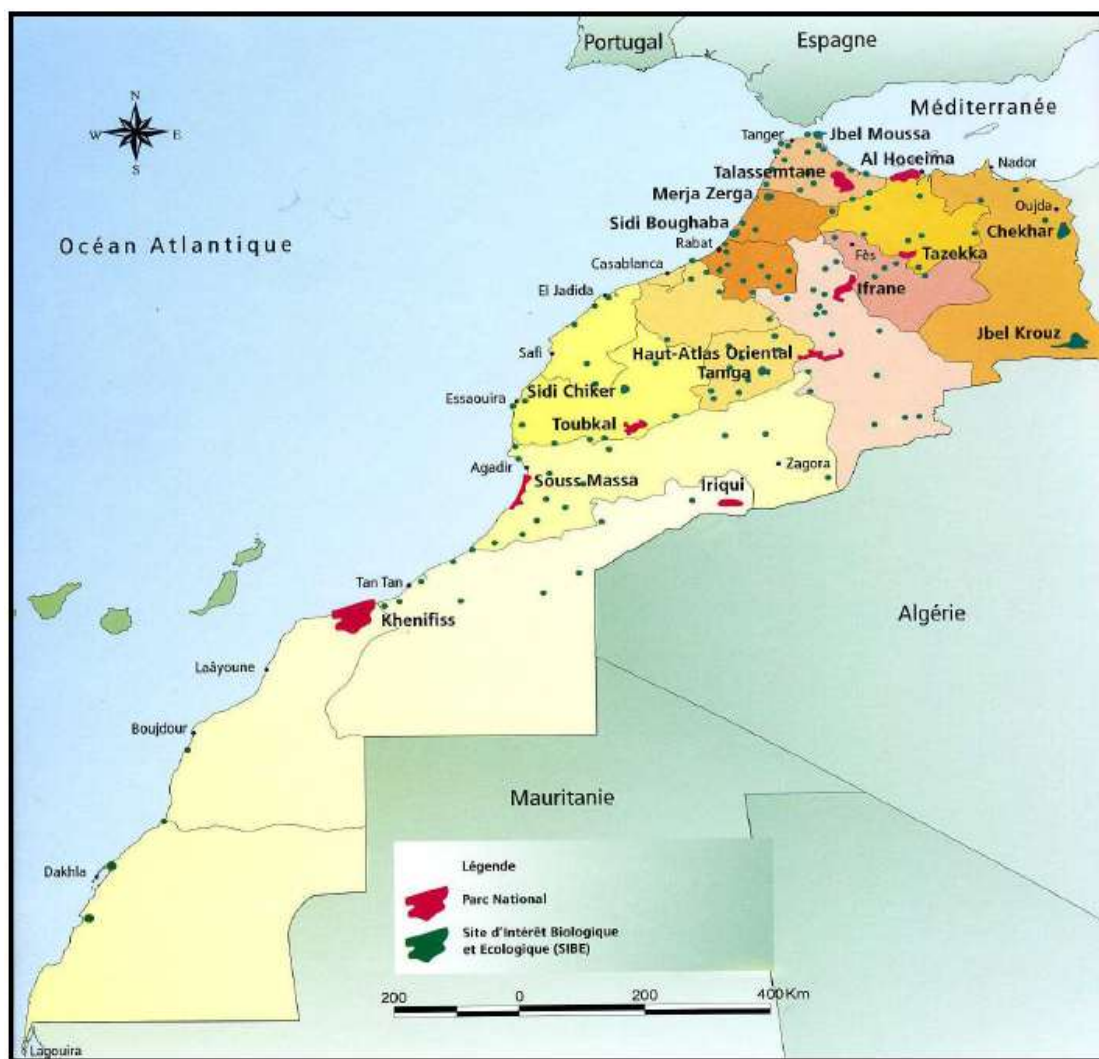


Figure 59 : Réseau d'aires protégées du Maroc

6.2.2. Résultats et perspectives

L'importance du programme a conduit à définir trois niveaux de priorité pour sa mise en œuvre, en se basant essentiellement sur le degré de dégradation des sites. Actuellement ce programme est entamé sur 32 SIBE de première priorité dans le cadre du «**Projet de gestion des aires protégées** ».

Les principales réalisations concernent essentiellement:

- l'élaboration de 5 plans d'aménagement et de gestion pour les cinq SIBE prioritaires ;
- l'établissement de 4 unités SIG et une base de données nationale sur les aires protégées ;
- le renforcement de capacité du personnel en matière de gestion des aires protégées et la mise en place d'une option de spécialisation, au niveau de la formation des ingénieurs forestiers à l'Ecole nationale forestière d'ingénieurs (ENFI) et de modules de formations spécifiques sur les aires protégées pour les techniciens au niveau de l'institut Technique Royal des eaux et Forêts (ITREF);
- L'établissement et la mise en œuvre d'un plan de communication et d'une charte signalétique sur les aires protégées ;
- L'élaboration de la loi sur les Aires Protégées au Maroc dont le texte est en cours de promulgation.

Le Programme d'action se poursuit par la mise en place de l'ensemble du système national d'aires protégées, l'établissement des plans d'aménagement et de gestion pour tous les SIBE prioritaires du pays (première et deuxième priorité) et leurs mises en œuvre, le renforcement de la coopération et de l'appui technique et financier international. Il n'en demeure pas moins que l'opérationnalisation de la base de données et du SIG est indispensable, pour en faire de véritables outils d'aide à la prise de décision et de gestion durable de ces espaces naturels de grand intérêt pour le pays.

6.3. Surveillance environnementale à moyen et long terme : Les Observatoires (ROSELT/OSS)

6.3.1. Contexte et objectifs

Depuis le lancement du Programme « Réseau régional d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme ROSELT/OSS » en 1994, (encadré 19) le Maroc s'est engagé à mener des activités de surveillance sur onze observatoires proposés avec des thématiques de suivi variées. Les observatoires sont localisés en grande partie dans des bioclimats arides ou hyper arides. Trois, en l'occurrence, Oued Mird, Issougui et Fezouata, ont été labellisés par ce réseau. Ils correspondent à trois situations fortement différentes et assez représentatives des principales formes d'utilisation des terres dans les zones arides (Mhirit, 2006). D'une façon concise les trois observatoires peuvent être caractérisés comme suit (tableau 25).

L'observatoire de l'Oued Mird fait partie des 154 Sites d'Intérêt Biologique et Ecologique inventoriés par le Département des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification, il offre un très bel écosystème à *Acacia raddiana*, assez dynamique avec une assez bonne diversité biologique comparativement à des zones bioclimatiques similaires, mais la sédentarisation accrue des nomades Aït Isfoul et la rareté et l'irrégularité des ressources en eau, combinée à la non maîtrise des techniques culturales, ne permettent pas une durabilité des systèmes de production existant.

L'observatoire d'Issougui est une zone pastorale d'environ 120.000 ha, exploitée par la tribu des Aït Zekri, elle constitue une unité pastorale bien délimitée sur le plan sociologique mais présente un transect bioclimatique varié allant du semi-aride à hiver froid à l'hyperaride à hiver frais, il connaît un fort bouleversement en raison des transformations que connaissent les systèmes de production sur parcours.

Tableau 25 : Caractéristiques des observatoires Oued Mird, Issougui et Fezouata

Nom	Surface ha	Climat	Milieu dominant	Activité dominante	Champ thématique
Oued Mird	60 000	Hyper Aride	SIBE à <i>Acacia raddiana</i>	Elevage et agriculture	Conservation de la biodiversité
Issougui	123 850	Aride	Parcours présahariens	Elevage transhumant	Impact de l'activité pastorale sur le milieu
Fezouata	120 000	Aride	Terrain de culture en irrigué	Agriculture oasienne	Dynamique de l'ensablement

L'observatoire de Fezouata est un ensemble relativement complexe comprenant une oasis et la vaste vallée avoisinante. Un grand programme de fixation des dunes y a été entrepris depuis 1980. C'est un site qui se prête bien au suivi du système oasien.

Les activités d'observation et de suivi environnemental ont démarré pratiquement dans les observatoires de l'oued Mird et d'Issougui en 1998 et 2001, Chaque observatoire est placé sous la responsabilité d'un « responsable d'observatoire » en coordination avec le représentant national (institution scientifique compétente) et l'Organe National de Coordination (ONC) du PAN/LCD. Le Centre de recherche forestière (CRF), relevant du (HEFLCD) est l'institution scientifique et technique qui représente le programme ROSELT/OSS au niveau national. A cet effet, elle constitue un groupe de travail technique national interdisciplinaire et pluri-institutionnel pour la mise en œuvre des activités de ROSELT/OSS.

6.3.2. Résultats et perspectives

Les activités menées sur l'observatoire de l'Oued Mird (encadré 20), ont abouti à la réalisation d'une série d'analyses et de rapports.

La première étude « **Etude de la biodiversité dans le site d'intérêt biologique et écologique de l'Oued Mird** » éditée, par l'OSS en octobre 1996, constitue le document préliminaire de base du programme quadriennal 1998-2001 de cet observatoire. Ce programme donne lieu, dès sa première année d'exécution, à l'élaboration d'une approche méthodologique validée au cours d'un atelier tenu à Rabat, en janvier 1999. Le « Rapport scientifique de l'observatoire ROSELT/OSS de l'Oued Mird » élaboré en octobre 2002 restitue, suivant cette méthodologie, les résultats et les acquis du programme quadriennal.

Le programme de surveillance environnementale engagé au niveau de l'observatoire ROSELT d'Issougui s'inscrit dans la deuxième phase opérationnelle du projet ROSELT/OSS. Les principales activités retenues pour 2004-2005 devraient définir le protocole de surveillance adéquat pour l'observatoire au niveau de la partie Sud (Jbel Sagho) en vue d'engager des réflexions pour la mise en place d'un Système d'information sur l'Environnement local (SIEL).

Encadré 19 : Les Observatoires ROSELT/OSS : organisation et fonctionnement

L'**Observatoire du Sahara et du Sahel** (OSS), est une organisation internationale autonome établie en Tunisie. Il offre une plateforme de partenariat solidaire et mutuellement profitable Nord-Sud-Sud au service de la lutte contre désertification et la pauvreté en Afrique à travers la maîtrise, la diffusion et le partage de l'information utile à la gestion durable des ressources naturelles.

Le **Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT)** est un programme mis en œuvre par l'OSS. Il est constitué par un ensemble d'observatoires fonctionnant en réseau à l'échelle régionale de la zone géographique de l'OSS qui comprend trois sous-régions : Afrique du Nord, Afrique de l'Ouest et Afrique de l'Est. La stratégie de ROSELT s'inscrit comme une contribution essentielle à la compréhension des phénomènes d'environnement en liaison avec la problématique des changements globaux et du développement durable, et de la lutte contre la désertification. Il constitue, de ce fait, un outil à la fois au service de la recherche et au service du développement qui doit répondre à des préoccupations à court et moyen terme et garantir la pérennité du dispositif à long terme.

Les objectifs spécifiques de ROSELT se déclinent comme suit :

- i. **utiliser et valoriser les acquis en matière** des méthodes d'inventaire et d'évaluation des changements environnementaux, à l'intérieur de chacun des systèmes biophysiques ou socio-économiques des observatoires, pour servir de base au dispositif harmonisé d'échantillonnage et de recueil de données et à l'élaboration d'indicateurs pertinents des changements environnementaux dans les zones arides et semi-arides circum-sahariennes.
- ii. **mettre en œuvre un système de surveillance environnementale harmonisé** relativement à la collecte des données environnementales et leur traitement pour des évaluations des changements des écosystèmes et agro-écosystèmes en vue de fournir aux acteurs du développement les outils appropriés, performants et harmonisés d'aide à la décision aux différents échelons nécessaires.
- iii. **garantir la pérennité du dispositif de surveillance** à travers la définition d'un système d'observation à la fois techniquement fiable et au moindre coût. L'ancrage institutionnel de ROSELT dans les politiques nationales, en particulier, dans la mise en œuvre du Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification tel que prôné par la CCD.
- iv. **rendre les connaissances utilisables pour les acteurs du développement** par la mise en place d'outils communs de traitement, de communication et de circulation de l'information et par des produits d'aide à la décision, en particulier des Diagnostics initial et périodiques du territoire au niveau local et des Indicateurs de la désertification et de l'environnement aux différentes échelles concernées et aux différents niveaux de décision, avec un « kit minimum d'indicateurs »

Ces objectifs sont traduits par la mise en place d'unités spatiales de mesures et d'observations « **les observatoires ROSELT** » labellisés par l'OSS avec le concours d'un Comité Scientifique et répondent à des critères préalablement définis. Un observatoire est:

- un territoire caractérisé par un fonctionnement biophysique et un fonctionnement socio-économique homogènes ;
- un ensemble de moyens scientifiques, humains et matériels ;
- un système organisé de collecte et de traitement des données : de la station au paysage, puis à la région écologique ;
- une demande de produits d'aide à la décision pour différents niveaux d'intégration spatiale.

L'organisation de ROSELT comprend quatre niveaux: local (observatoires), national (pays), sous régional (Afrique du Nord, Afrique de l'Ouest et Afrique de l'Est) et régional (institutions conventions internationales, partenaires scientifiques et financiers). Des missions et des attributions sont définies pour chacun des niveaux.

Les principaux résultats du programme ROSELT/OSS, à travers l'Observatoire de l'Oued Mird, qui semble avoir fonctionné normalement, concernent, en particulier : **(i)** la connaissance de la structure, du fonctionnement et de l'évolution des ressources naturelles sous l'impact de processus endogènes et de facteurs externes tels que le climat et les usages dans une zone représentative du bioclimat hyper aride et; **(ii)** le renforcement de la capacité des cadres, des techniciens et des chercheurs des institutions nationales, ayant participé à la réalisation des activités dans cet observatoire, dans les domaines de suivi environnemental en relation avec la lutte contre la désertification.

Encadré 20 : Programme d'activité de l'observatoire de Oued Mird (1998-2001)

A. Données de base : Présentation et synthèse cartographique

- A1.** Données biophysiques : Topographie : Géologie, Géomorphologie, Pédologie
Climatologie : Hydrographie et hydrologie. les faciès de végétation
- A2.** Données sociales et économiques : Historique de la sédentarisation des Aït Isfoul
Modalités de mise en valeur des terres et propriété foncière ; Fonctionnement des systèmes de production (carte des usages)

B. Activités de surveillance

- B1.** Surveillance des paramètres météorologiques et climatologiques : Variation des données climatiques
- B2.** Surveillance hydrologique : Ressources en eau, évolution de la nappe
- B3.** Surveillance des paramètres édaphiques : Etat et évolution du sol, de végétation et des exploitations
- B4.** Surveillance de la flore et de la végétation : Composition, richesse et recouvrement, stades évolutifs
- B5.** Surveillance de la faune : composition et inventaire et évolution
- B6.** Surveillance socioéconomique et suivi des usages : Dynamique des installations à Oued Mird. Activité pastorale.

C. Analyse, Interprétation et synthèse de l'information. Etude des mécanismes.

- C1.** Dynamique et état de l'écosystème à Acacia raddiana/ Impact des évolutions climatiques Le climat. Impact de l'Action de l'homme et des animaux
- C2.** Production d'indicateurs de suivi : Indicateurs de surveillance pédologique : (2)
- C3.** Rapports et cartes thématiques : Rapports; Carte géologique ; Carte du réseau hydrographique ; Carte de la végétation ; Carte des habitats la faune Indicateurs de surveillance de la végétation : (13)

Le concept, le choix des observatoires et de leur programme sont pertinents pour la surveillance environnementale des écosystèmes et l'élaboration d'une stratégie d'adaptation au changement global. Néanmoins, la lenteur des processus de mise en place et de fonctionnement des observatoires et la faible mobilisation des compétences requises auprès des autres institutions nationales constituent un frein pour la construction de scénarios prospectifs pour l'aide à la décision et au développement de ces zones.

Les atouts du programme ROSELT/OSS et les conditions de sa pérennité résident dans sa capacité d'évoluer en fonction des contextes et des besoins nationaux et internationaux ainsi que des avancées scientifiques et techniques. En effet, un document de réflexion sur la mise en place d'un dispositif national de surveillance environnementale (DNSE) a été élaboré et validé en mai 2003 lors de l'atelier de lancement de la 2ème phase de ROSELT/OSS au Maroc. Il s'agit de mettre en place le Dispositif national et de pérenniser, de surcroît les observatoires ROSELT/OSS, ce qui nécessite la mobilisation de nouvelles ressources et de tous les partenaires.

6.4. Révision et adaptation des plans de gestion des cédraies déperissantes: cas des forêts de cèdre du Moyen Atlas

6.4.1. Contexte et Objectifs

Le dépérissement des cédraies du Moyen Atlas est un phénomène récent, tout au moins à l'état de nos connaissances. Constaté déjà durant la grande période de sécheresse qu'a connue le Maroc (1940 -1945), ce phénomène est réapparu au cours de la décennie 1990-2000. Mais, depuis le début du siècle, les peuplements de cèdre du Moyen Atlas subissent un phénomène important de dépérissement dont l'ampleur et la gravité ont suscité la réaction des autorités administratives, des chercheurs et des pouvoirs publics.

A cet effet, l'étude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas, composante de la « Convention UTF/MOR/028/MOR : Appui à la mise en œuvre du Programme forestier national », concerne deux massifs forestiers : la forêt d'Azrou et la forêt d'Aït Youssi Amekla, qui relèvent de la province d'Ifrane. Ces massifs, d'une superficie de 20.940 ha, constituent un échantillon représentatif de la cédraie du Moyen Atlas marocain

Les investigations pluridisciplinaires réalisées dans le cadre de ce projet (figure 60) consistent à caractériser le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé dans la région et, à définir une stratégie de gestion et de protection de la cédraie sous forme d'outils de gestion à court, à moyen et à long terme.

Pour ce faire, les thématiques identifiées, eu égard à l'état des connaissances sur les dommages causés au cèdre et les agents causaux de ces dommages, concernent des analyses et des diagnostics en rapport avec la bioclimatologie, la dendrochronologie, l'écophysiole, les sciences du sol, l'entomologie, la phytopathologie, la dendrométrie, la biométrie, le système d'information géographique et l'aménagement forestier.

Les analyses entreprises de façon interdisciplinaire, avec des approches scientifiques solidement établies (analyse multidimensionnelle des données, classification automatique, cartographie, SIG etc.) ont permis de décrire, d'analyser et évaluer l'impact des différents facteurs écologiques, anthropiques et sylvicoles, sur la santé des peuplements de cèdre de l'Atlas, mais aussi d'appréhender la complexité de leurs relations.

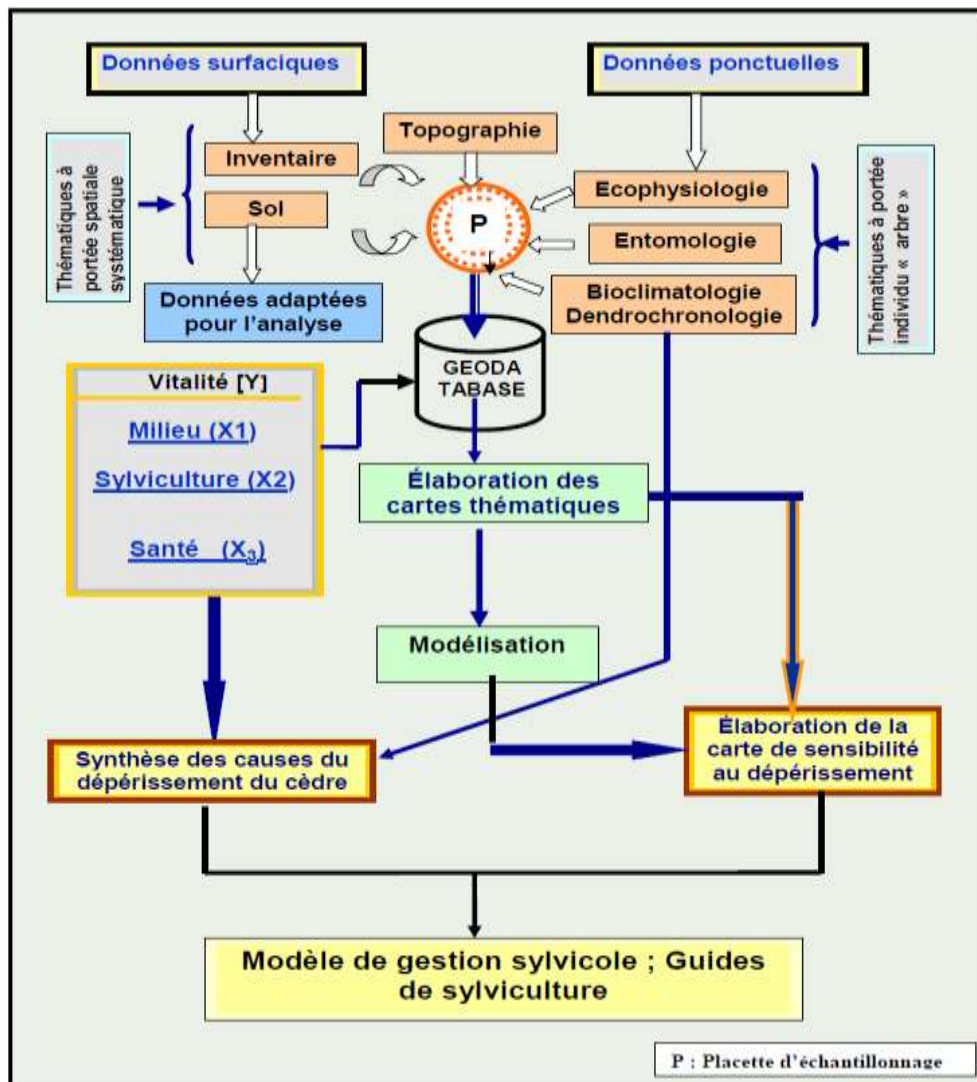


Figure 60 : Organisation et structuration des données de l'étude

Ces analyses, ont mis en évidence une série de facteurs actifs impliqués dans le phénomène de dépérissement, leur hiérarchie et leur variabilité spatiale et temporelle (Mhirit; 2008 ; Et-tobi, 2007 et 2008; Bakhyi, 2008; Mhamdi et Rouchdi, 2008; Mouna, 2008; Chouraichi, 2008; Zine Elabidine, 2008; Mokrim A., 2008).

D'une manière générale, les sécheresses récurrentes associées à l'absence d'une sylviculture permettant d'équilibrer la densité et la structure des peuplements forestiers aux disponibilités hydriques des sols et aux conditions écologiques des habitats, sont à l'origine du dysfonctionnement des peuplements du cèdre. Ce déséquilibre a amplifié l'effet du stress hydrique sur des arbres se développant notamment aux niveaux des situations défavorables (sols superficiels sur pentes et expositions chaudes) conduisant ainsi, au dépérissement des arbres et des peuplements.

6.4.2. Résultats et perspectives

Les analyses et synthèses effectuées montrent que ce phénomène est le résultat d'un cumul de stress de plusieurs facteurs sur plusieurs années. Ainsi, vu les spécificités statiques ou dynamiques de chacun des facteurs faisant partie des causes du dépérissement, **le changement climatique, exprimé dans cette étude à travers la « Réserve utile en eau du sol », semble être le facteur le plus prépondérant dans l'explication du dépérissement.** L'impact de ce facteur, en conjugaison avec les autres facteurs étudiés, s'exprime différemment selon l'importance de compensation et d'interaction entre eux

Il ressort de ces investigations, que le facteur critique prédisposant les peuplements aux dépérissements, s'exprime à **travers le couple « régime hydrique du sol -densité des peuplements».** Ce couple reste potentiellement déterminant dans l'apparition graduelle des dépérissements et plus tardivement des mortalités conséquentes de la « sécheresse de type édaphique », en particulier, en l'absence d'outils et de stratégie de gestion de la densité. L'encadré 21 précise les facteurs discriminants du dépérissement du cèdre.

Le « guide de sylviculture » est un outil, à l'usage de l'aménagiste et du gestionnaire, qui définit le cheminement sylvicole le plus économe et le plus efficace pour optimiser les objectifs fixés (Dubourdiou, 1997). Dans le cas de la présente étude, il s'agit de **proposer un modèle de gestion et de sylviculture sous la contrainte de dépérissement** qui ambitionne de redynamiser les cédraies et d'aider à surmonter leurs difficultés phytosanitaires.

Les guides de sylviculture sont élaborés au niveau de chaque forêt. Pour une forêt donnée et un type de traitement adopté (taillis simple, futaie régulière, futaie jardinée...), il est possible de conduire les peuplements, de leur état juvénile jusqu'à leurs âges d'exploitabilité, de diverses manières selon les règles de culture adoptées. **Si nuancés soit-ils, les guides ne dispenseront jamais, au niveau des interventions, de faire preuve de pragmatisme et de doigté pour adapter en chaque endroit l'application du guide.**

Ces synthèses ont permis de mieux appréhender les liens de causalité pouvant expliquer le phénomène de dépérissement et d'élaborer en conséquence, un certain nombre d'outils nécessaires pour la mise en œuvre de stratégies d'intervention à court, moyen et long terme, en particulier : (i) la typologie de l'état phytosanitaire du cèdre; (ii) la carte des densités et (iii) la carte de sensibilité du cèdre au dépérissement. Ces résultats sont déclinés ensuite en plans opérationnels et en guides d'orientation pour les gestionnaires des espaces forestiers ((guides de sylviculture), qu'il s'agisse de plans d'aménagement ou d'exploitation, des opérations sylvicoles, du choix de mode d'opération en matière de régénération ou de reboisement

Pour les forêts étudiées d'Azrou et d'Aït Youssi, l'élaboration des guides de sylviculture proposés, est fondée sur les résultats de toutes ces analyses, et plus particulièrement, **(i)** les niveaux de potentialités des milieux définis ; **(ii)** l'intensité du dépérissement définis par l'indice et la carte de sensibilité au dépérissement, et la carte des densités ; **(iii)** le zonage du Parc National d'Ifrane qui inclut les massifs étudiés (zone naturelle protégée, sanctuaire naturel et zone de gestion des ressources naturelles) ; **(iv)** le mode de traitement illustré dans cette étude par la structure du peuplement (régulière ou irrégulière) ; **(v)** les prescriptions des aménagements en vigueur et **(vi)** le parcellaire existant des forêts étudiées.

Encadré 21 : Facteurs discriminants du dépérissement du cèdre : contraintes d'aménagement

Modification climatiques à tendance xérique : sécheresse récurrente depuis plus 3 décennies :

Tendance à l'augmentation des températures moyennes, maximales et minimales pour la période (1981-2006) ;

Baisse de Précipitations de 24% entre les périodes (1930–1980) et (1981-2006) ;

Fréquence des années sèches de 59 à 77% ;

Tendance à la baisse de la neige, plus marquée depuis 1981 ;

Action déterminante du substrat et de la topographie, sur le bilan hydrique du sol;

Fréquence et gradation du xylophage *Phaenops marmottani* sur les classes de dépérissement et sur les arbres morts :

- un ravageur primaire redoutable ;
- attaque les arbres en pleine vitalité ;
- Participation active au phénomène de dépérissement;

Action prépondérante de la sylviculture : densité, composition des peuplements, couvert;

Tempérament délicat du cèdre : forte évapotranspiration, besoins en eau excessifs; (espèce opportuniste sur le plan hydrique) ;

Action anthropique très forte : écimages, ébranchage et mutilations des arbres, parcours intense et violations des mises en défens

Le tableau 26 ci-après, présente les guides de sylviculture élaborés pour deux massifs forestiers d'Azrou et d'Aït Youssi et les parcelles prioritaires pour l'exploitation et la reconstitution de la cédraie durant l'aménagement en vigueur de ces forêts.

La figure 61 présente une esquisse schématique de l'élaboration des guides de sylviculture pour les deux massifs forestiers d'Azrou et d'Aït Youssi. Les éléments des guides sont présentés sous forme de recommandations pour mieux faciliter leur mise en application par les gestionnaires.

Les propositions et recommandations présentées dans les guides de sylvicultures établis, s'organisent autour des trois éléments principaux suivants :

- 1) Caractéristiques dominantes l'unité de gestion**: il s'agit de rappeler les types de milieux et de potentialités de l'unité de gestion concernée et de préciser la composition et la consistance du peuplement, la nature et l'intensité du dépérissement ;
- 2) Directives d'aménagement**: il s'agit de nuancer et de compléter les propositions de l'aménagement en vigueur, pour tenir compte de la contrainte dépérissement imposée aux peuplements, dans les domaines : du choix des objectifs, du classement des parcelles, de la structures finale du peuplement, des rotations des coupes et du niveau et types de régénération et de reconstitution à entreprendre ;
- 3) Recommandations de sylviculture**: ces recommandations concernent les interventions qui ont une action directe sur le dépérissement, en particulier : les types, nombre et techniques des coupes, les modalités d'exécution des coupes des dépérissants, les modalités d'utilisation des normes de densité et de traitement du chêne vert, les techniques de martelage des coupes et les techniques de reconstitution de la cédraie.

Tableau 26 : Guides et parcelles prioritaires pour les forêts d’Azrou et Ait Youssi Lamekla

Guide de sylviculture	Forêt	Série/unité de gestion	Parcelles prioritaires
GUIDE 1	Azrou	Série de protection intégrale	3, 71, 73, 76 et 77
GUIDE 2		Série futaie régulière sur basalte (Groupe d’amélioration)	40, 29, 36, 44 et 119,
GUIDE 3		Série futaie régulière sur calcaire	
		Groupes de régénération	12, 28, 48, 54, 59, 62, 74, 117 et 118
		Groupes d’amélioration	37, 47, 50, 53 et 63
GUIDE 4	Ait Youssi Lamekla	Série futaie régulière sur calcaire	
		Groupes de régénération	10, 11 et 18 ; 3, 15, 17 20, 23 et 24
		Groupes d’amélioration	4, 6 et 9
GUIDE 5		Série futaie jardinée sur calcaire	17, 24, 16

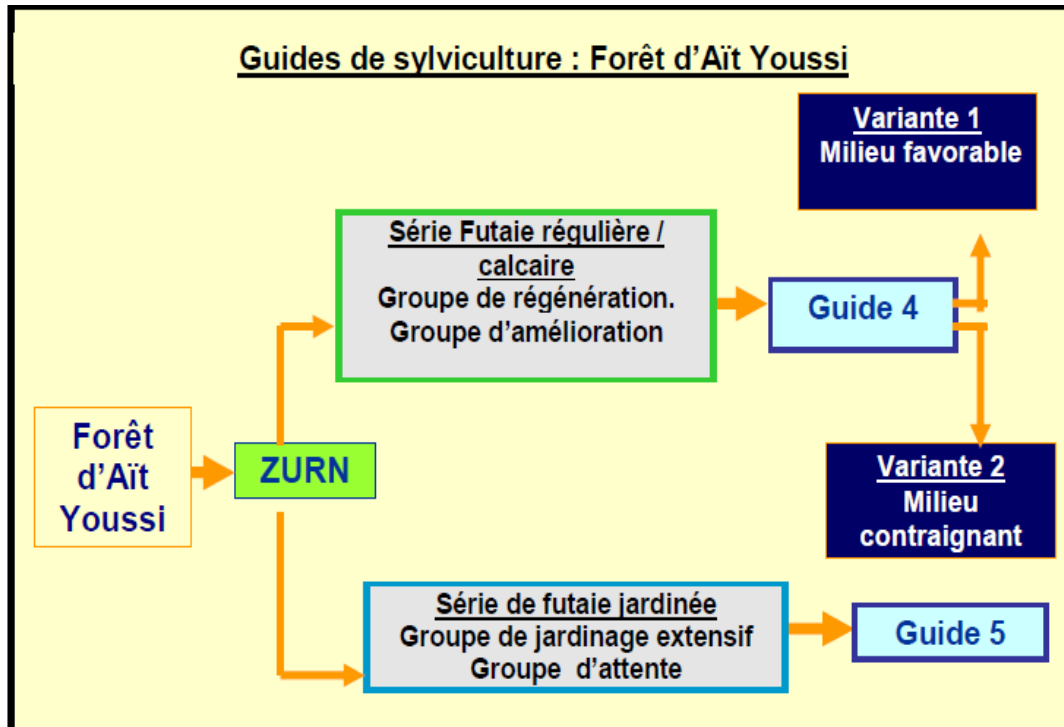
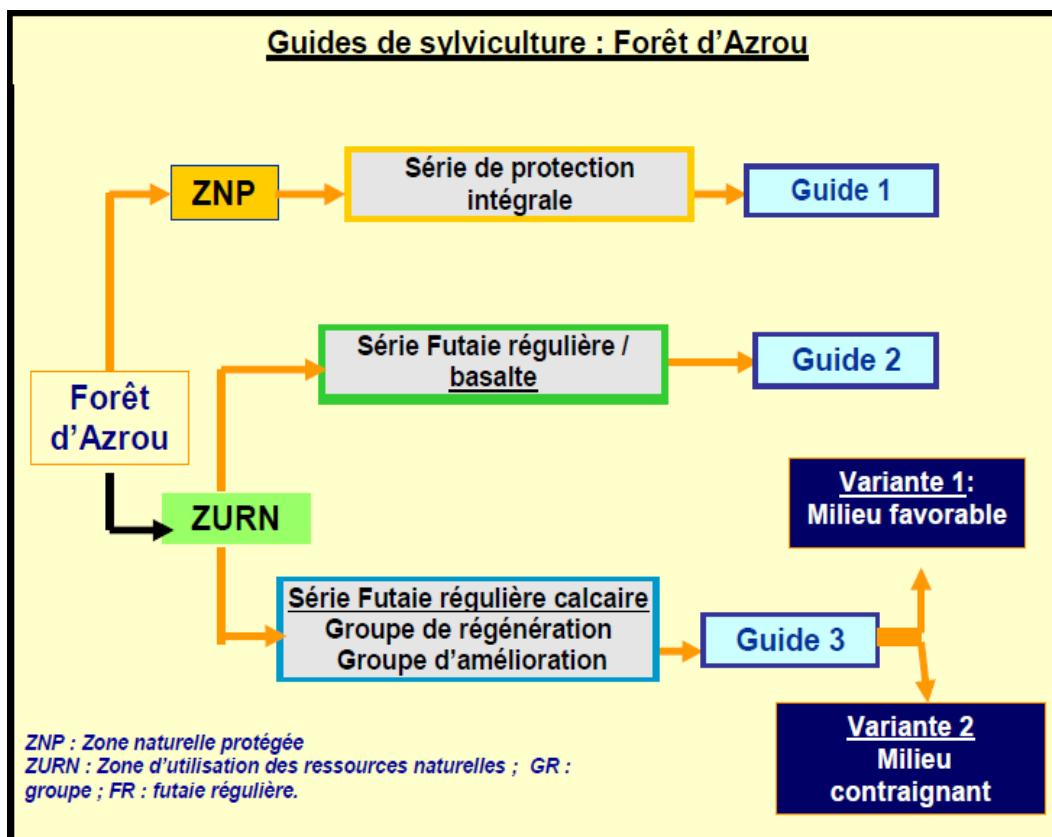


Figure 61 : Schéma de l'élaboration des guides de sylviculture

6.5. Mise en place d'un dispositif de prévention, d'alerte et de lutte contre les feux de forêts

6.5.1. Contexte et objectifs

La composante « Elaboration des cartes de risques des incendies de forêts » de la Convention « FAO/UTF/MOR/028/MOR Appui à la mise en œuvre du programme forestier national », s'inscrit dans le Plan Directeur de Prévention et de Lutte contre les Incendies de forêts (PDCI) qui vise, entre autres , **(i)** l'élaboration d'outils de prédiction permettant d'évaluer le danger et d'anticiper le risque d'incendie au moyen de mesures préventives et dissuasives adéquates; **(ii)** l'optimisation et l'amélioration de l'efficacité des équipements et des moyens d'intervention; **(iii)** le renforcement des capacités techniques du personnel en charge de la protection des forêts contre les incendies et **(iv)** l'adaptation et le renforcement des outils d'information et de sensibilisation du public aux dangers des incendies et aux mesures de prévention.

Globalement, l'étude se propose de concevoir et de développer un système opérationnel, au niveau d'unités spécialisées à l'échelle centrale et régionale du HCEFLCD, pour l'élaboration de cartes de risques aux incendies de forêts. Le but recherché consiste à orienter et optimiser, à court et à moyen termes, les infrastructures, les équipements et les opérations d'aménagement anti-feu en milieu forestier, à pré-positionner les moyens d'intervention et à déclencher, en temps réel, le processus d'alerte. Il s'agit, en fait, de l'élaboration, à un rythme journalier, de cartes statiques et dynamiques de risques aux incendies de forêts

A cet effet, la méthodologie adoptée, pour appréhender cette problématique, repose sur une approche interdisciplinaire intégrée pour mieux comprendre et appréhender le phénomène et développer en conséquence un modèle approprié. La zone d'étude, dans cette première phase, se limite aux trois régions forestières, du Nord-ouest (Provinces de Rabat, Khemisset, et Kenitra, Sidi Provinces Kacem), du Rif (Provinces de Larache, Chefchaouen, Tanger et Tétouan), et du Nord-est (Provinces de Taounate, Taza, Al Hoceima), qui sont les plus touchées par les incendies de forêts (Benabid, 2007; Rouchdi, 2008; Alexandrian; 2008).

6.5.2. Résultats et perspectives

Les principaux résultats de l'étude concernent, d'une part, des acquis scientifiques et méthodologiques qui apportent une grande contribution aux progrès de la connaissance en matière de prévention et d'alerte des incendies de forêts et, d'autre part des acquis techniques qui ont permis la construction d'outils d'aide à la décision sous forme de cartes de risques à l'usage des gestionnaires. Les principaux acquis de l'étude concernent :

- 1) **la mise au point d'une méthodologie de prévention et d'alerte des incendies de forêts** au Maroc. La méthode repose sur le principe du triangle du feu, des conditions de référence et des aléas d'éclosion et de propagation. Elle définit ensuite les éléments d'élaboration de deux types de cartes de risque : les cartes statiques, destinées à l'aménagement, qui repose sur les composantes stables du risque d'incendie et de cartes dynamiques qui prennent en compte l'évolution des conditions météorologiques quotidiennes. Cette méthode précise, enfin, les éléments nécessaires à la réalisation de ces cartes, en particulier, la constitution d'une base de données alphanumériques et cartographiques sur les incendies, la mise à jour de la cartographie des types de peuplements forestiers, la description végétale des types de combustible et la préparation des données météorologiques ;

- 2) **l'élaboration de quatre types de carte de risque d'incendie** pour chacune des 11 provinces au 1 / 200.000^{ème}, en fonction de la composante de l'aléa de l'occurrence et de l'intensité du phénomène, (tableau 27; figures 62 et 63). L'information apportée par les cartes de risque statiques et dynamiques, constitue un outil d'aide à la décision utile à chaque niveau ;

Tableau 27 : Liste des cartes de risque élaborées

Composante de l'aléa	<u>Occurrence</u>		<u>Intensité</u>	
Modèle d'éclosion (aléa induit)	1. Carte de la probabilité d'éclosion		2. Carte de la surface menacée	
	Statique	Dynamique	Statique	Dynamique
	Indice d'éclosion statique	Indice d'éclosion dynamique	Surface de chaque unité de menace	-
Modèle de propagation (aléa subi)	3. Carte de la probabilité d'incendie		4. Carte de l'intensité du feu	
	Statique	Dynamique	Statique	Dynamique
	Risque Moyen Annuel	-	Puissance du feu statique	Puissance du feu dynamique

3) La mise en place d'un site web pour la diffusion et le suivi du risque d'incendie statique et dynamique. Cette application est destinée à produire tous les jours les cartes de risque incendie pour les trois régions du Nord du Maroc étudiées. Le HCEFLCD assure l'administration du site.

4) Élaboration d'un protocole d'ordre d'opérations (tableau 28), prenant en compte le niveau de risque prévu, basé sur la procédure opérationnelle en vigueur d'intervention contre les incendies de forêts, complétée par la proposition de stratégie de mobilisation préventive en fonction de l'échelle de danger. Il s'agit d'intégrer dans l'ordre d'opérations des actions préventives (niveau 0) à mettre en place avant tout départ de feu.

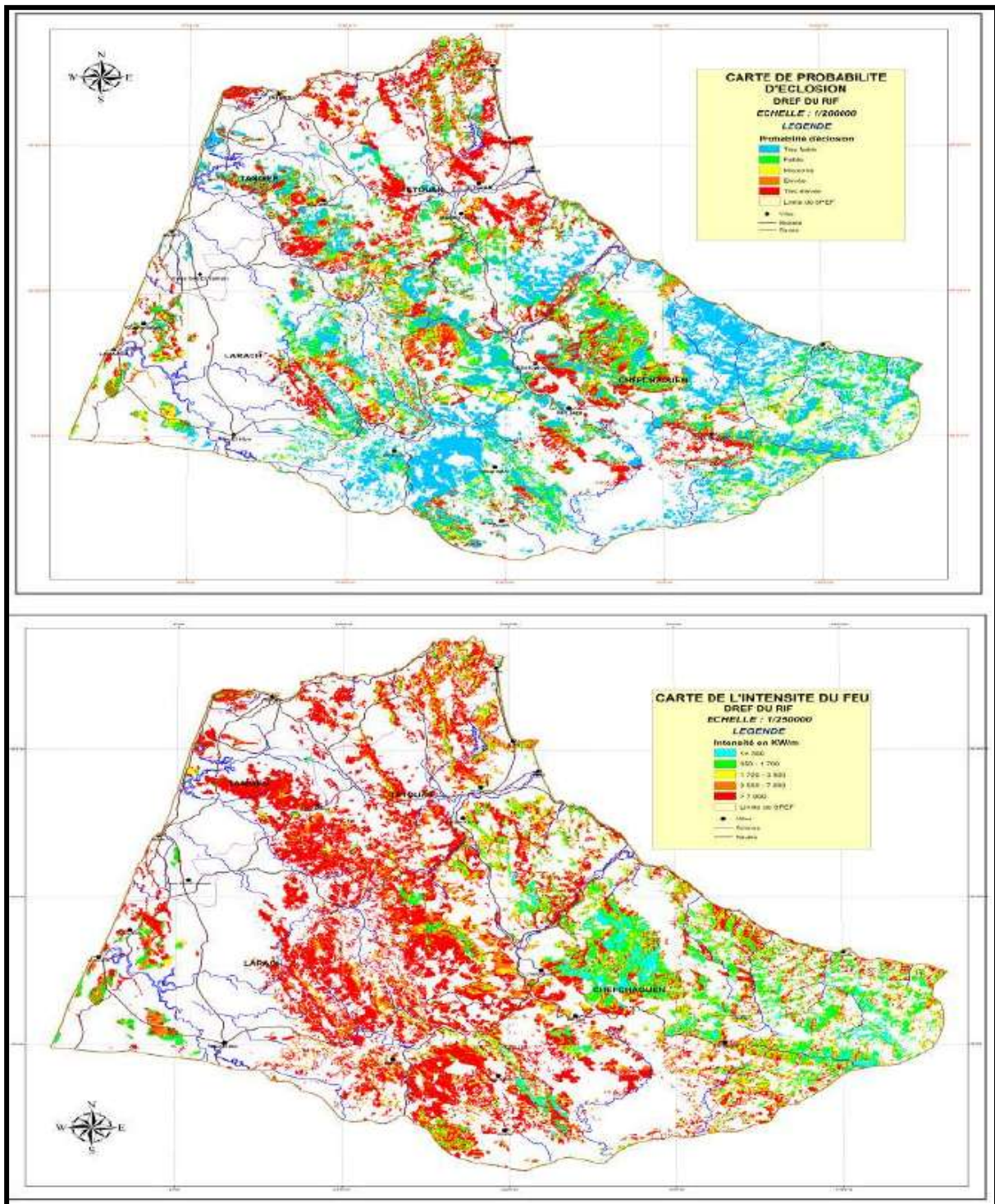


Figure 62 : Cartes de risque statiques de la région du Rif

Haut : carte de probabilité d'éclosion du feu générée en fonction du degré d'inflammabilité, du Topoclimat (exposition, vent) et de la pression de mise à feu (nombre de feux, surface boisée)

Bas : Carte d'intensité de propagation, générée en fonction de la biomasse combustible et de la vitesse de propagation (type de combustible, pente, conditions météo de référence).

Tableau 28 : Plan de mobilisation et d'intervention en fonction de l'échelle de danger de départ de feu

Intervenants	HCEFLCD		Protection civile	Gendarmerie Royale	Forces Royal Air
Moyen/ Échelle de danger	75 Postes vigies	48 VPI	Équipement anti-feux	18 TT	2 C130
Faible	Surveillance normale	Pas de mesure particulière			
Modéré	Surveillance normale	Pas de mesure particulière			
Moyenne	Surveillance normale	Patrouille en forêt	Pas de mesure particulière		
Forte	Vigilance renforcée	Patrouille en forêt	Pré-positionnement sur terrain	Déplacement vers d'autres aéroports ou aérodromes	Astreinte (1 avion)
Très forte	Vigilance renforcée	Prépositionnement sur points chauds	Pré-positionnement sur terrain	Guet Armé Aérien	Astreinte (Prépositionnement + 2 avions)

Il n'en demeure pas moins que l'efficacité du système de prévention et d'alerte des incendies de forêts, ainsi construit, dépend de l'opérationnalité de l'application site Web dont le processus normal repose sur les éléments suivants : **(i)** la réception automatique des prévisions météorologiques de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN); **(ii)** l'exploitation de ces données et la conception automatique des cartes, **(iii)** l'analyse automatique des résultats et leur validation; **(iv)** la consultation des cartes par les professionnels autorisés et leur archivage.

A cet effet, l'accent est mis sur les actions qui conditionnent le bon fonctionnement du système, entre autre, **(i)** la rédaction d'un manuel de procédure, **(ii)** la correction, l'exploitation et la mise à jour régulière (au moins annuelle) des bases de données constituées et **(iii)** la rédaction et la diffusion auprès de tous les services d'un bilan annuel de campagne incluant un retour d'expérience et les principaux enseignements tirés de l'analyse des risques.

La figure 63 illustre l'exemple d'une carte instantanée de la probabilité de départ de feu pour la journée du 5 août 2008 pour la région du Rif.

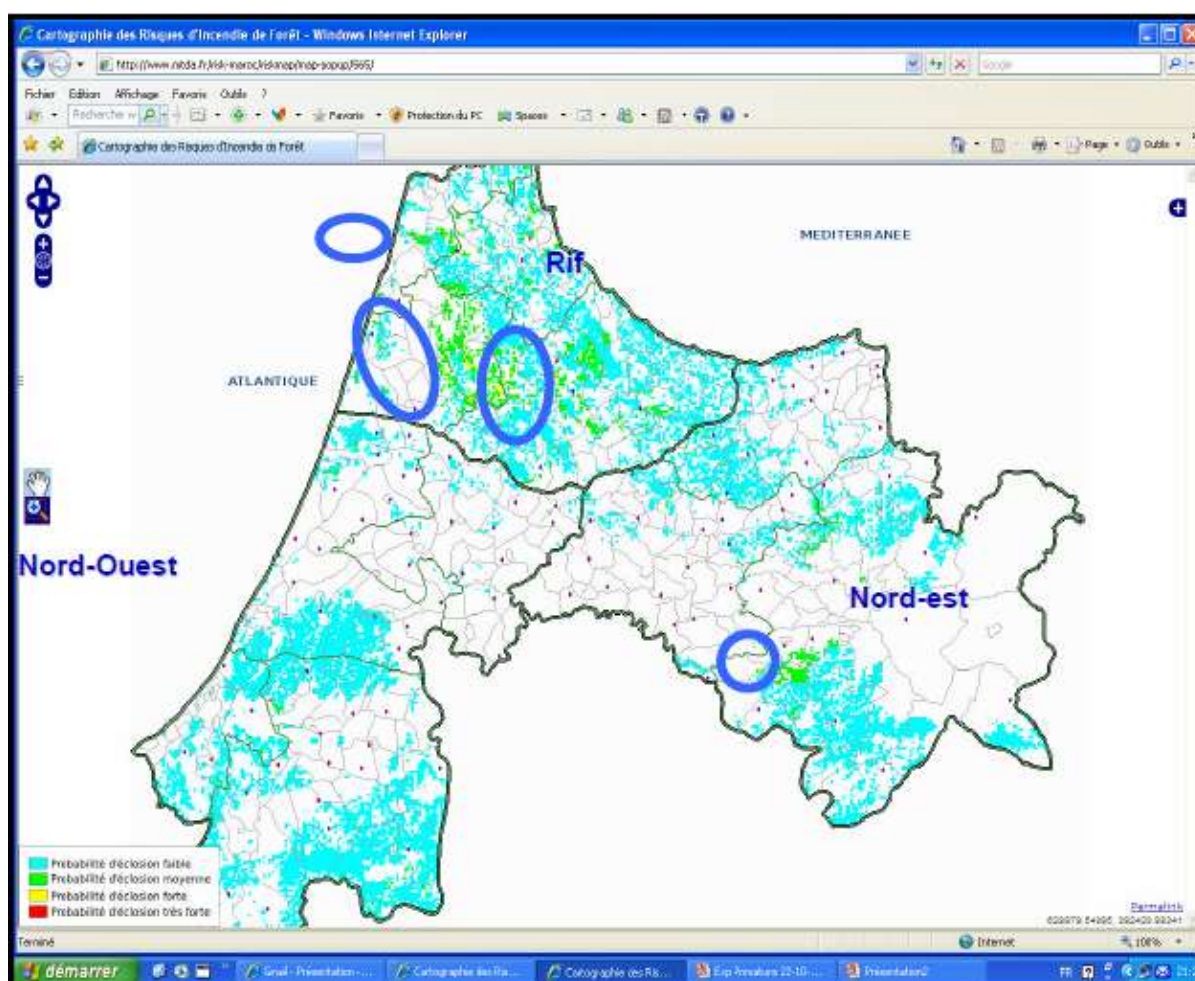


Figure 63 : Carte de risque dynamique du Rif (Site Web) : Prévisions de probabilité de départ de feu du 5 août 2008.

Le système, ainsi construit, ne couvre, que les DREF du Rif et du Nord- est. Il serait souhaitable de consolider les résultats obtenus et de les étendre, dans une seconde phase de la convention, aux régions de l’Oriental, de Fes-Boulemane et du Moyen Atlas.

6.6. Stratégie nationale pour la surveillance et le suivi de la santé des forêts : Cas pilote de la région du Moyen Atlas

6.6.1. Contexte et objectifs

Les interrogations nombreuses de l'impact du changement climatique planétaire, désormais avéré plus particulièrement sur les écosystèmes forestiers, imposent désormais comme dans de nombreux pays la mise en place de dispositif d'évaluation et de suivi de l'état de santé des forêts de façon à établir rapidement un état des lieux dont on pourra suivre l'évolution. La surveillance continue de l'état de santé des forêts constitue ainsi une étape importante pour la prévention des déséquilibres phytosanitaires et un outil de gestion durable.

La surveillance sanitaire des forêts au Maroc s'est limitée pendant longtemps au suivi de quelques insectes défoliateurs connus (processionnaire du pin, bombyx disparate ...). Le suivi des dommages causés par les autres facteurs biotiques et abiotiques n'ont jamais été effectués d'une manière exhaustive, d'où une méconnaissance de l'ampleur des dommages causés. Le manque de données chiffrées relatant l'état actuel de la santé des forêts ne permet malheureusement pas d'évaluer les politiques en matière de gestion des espaces forestiers.

Actuellement, des dépérissements multiples, en rapport, probablement, avec de modifications climatiques (sécheresse répétées et prolongées, etc.) touchent sérieusement plusieurs écosystèmes importants au Maroc : cèdre du Moyen Atlas, chêne liège à la Maamora, etc. Le tableau 29 présente l'importance, en hectares, des dépérissements des différentes essences dans les forêts du Moyen Atlas.

Tableau 29 : Dépérissement de différentes essences forestières au niveau de la région du Moyen-Atlas

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Provinces								
Meknès EL Hajeb	-	-	-	-	-	9 ha: (eucalyptus)	-	-
Khénifra	-	-	-	4134 ha (cèdre)	2380 ha (cèdre)	164 ha (pins) 22 ha (chêne vert)	-	-
Ifrane	1800 ha : (chêne vert)	1810 ha : (chêne vert) 3400 ha : (cèdre)	-	-	700 ha : (Eucalyptus et pins)	1189 ha (cèdre) (160 ha eucalyptus) 574 ha (chêne vert) 160 ha (cèdre et chêne vert.)	-	663 ha (cèdre) 120 ha (pin d'Alep) 112 ha (chêne vert.)

La mise en place d'une stratégie nationale de surveillance et de suivi de la santé des forêts s'avère indispensable pour pouvoir détecter, évaluer et suivre, pour mieux appréhender, les perturbations liées à la problématique de la santé des forêts. L'application, par la suite de mesures de prévention et d'assainissement sera mieux raisonnée et plus efficace.

C'est dans ce contexte que le HCEFLCD a envisagé, en 2006, dans le cadre du projet « TCP /MOR/3101 », la réalisation par étapes de la stratégie nationale de surveillance continue de la santé des forêts avec l'appui technique de la FAO. La première étape a consisté à développer une stratégie régionale pilote ciblée au niveau de la région du Moyen Atlas, une deuxième sera de l'étendre progressivement, par la suite, à l'échelle nationale.

L'effet catalytique principal visé était le renforcement des capacités nationales, au niveau central et régional, aux principes de suivi de la santé des forêts et la mise à disposition d'une stratégie opérationnelle nationale. A terme, la santé des forêts doit faire partie intégrante de la gestion durable des écosystèmes forestiers marocains et s'intégrer dans des systèmes de surveillance déjà existants (système européen notamment).

Le dispositif de surveillance et de suivi de la santé des forêts au Maroc doit pouvoir répondre à plusieurs interrogations : **(i)** comment se porte la forêt marocaine ? **(ii)** quelles sont les causes de dommages observés ? **(iii)** quelles sont les stratégies d'intervention applicables pour remédier aux dommages, notamment en ce qui concerne les insectes phyllophages : pourquoi réaliser un traitement insecticide, où, quand, comment ? **(iv)** comment réagir face à l'installation d'un nouveau parasite de quarantaine (insecte ou champignon)? Des plans d'action doivent être établis et adaptés à chaque cas (mise en quarantaine, arrachage, traitement etc.).

La réponse à ces interrogations s'est traduite par la mise en place de trois dispositifs complémentaires de surveillance : un **réseau systématique** de placettes permanentes , un dispositif de **veille sanitaire** permettant de détecter les dommages même à l'extérieur du réseau de placettes permanentes et des **dispositifs spécifiques** permettant de répondre à des problématiques locales importantes : dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas, dépérissement du chêne zeen, suivi de la santé de la subéraie de la Maâmora, etc. Ces dispositifs s'inscrivent en rapport avec les principes de base suivants (Nageleisen, 2008; Anon., 2009):

- Instaurer, standardiser et simplifier les observations (dimension temporelle) ;
- Perfectionner et valoriser le travail réalisé habituellement (dimension nationale) ;

- S'harmoniser avec les systèmes de surveillance des autres pays, ceux de l'Europe notamment (dimension spatiale) ;
- Intégrer la santé des forêts dans la gestion des écosystèmes forestiers avec une vision adaptative au changement climatique (dimension prospective).

6.6.2. Résultats et perspectives

La première phase du projet s'est focalisée sur l'organisation générale du dispositif et sur la mise au point de la partie « **réseau systématique** », socle du dispositif d'observation de la santé des forêts au sein du pays. Ce réseau est conçu pour donner des informations pertinentes sur la santé des forêts par échantillonnage statistique à **l'échelle régionale et nationale**.

Ce réseau est composé de placettes permanentes, de 20 tiges chacune de l'étage dominant les plus proches du centre de la placette, installées au nœud d'une maille carrée de 8 km x 8 km, et implantées sur tout le territoire national. La cartographie théorique de ce réseau a été préparée par les services de l'Inventaire Forestier National marocain (IFN).

Les simulations réalisées permettent de prévoir l'installation d'environ 400 placettes pour l'ensemble des formations forestières marocaines. Cette première phase a été concrétisée par la mise en place et la notation des 54 placettes du Réseau Systématique sur le Moyen Atlas.

Une notation de l'ensemble des placettes du réseau a lieu, en général, chaque année durant la période du 15 juin au 15 juillet. Cette notation concerne les arbres échantillons et porte essentiellement sur 3 critères obligatoires: l'émondage (critère anthropique), la mortalité de branches (critère de dépérissements des arbres) et le déficit foliaire par rapport à un arbre de référence (critère classique d'estimation de la vitalité d'un arbre). Pour ce faire, des manuels techniques, valables à l'échelle nationale, sont élaborés et mis à la disposition des notateurs. La figure 64 donne la configuration du réseau systématique de placettes permanentes.

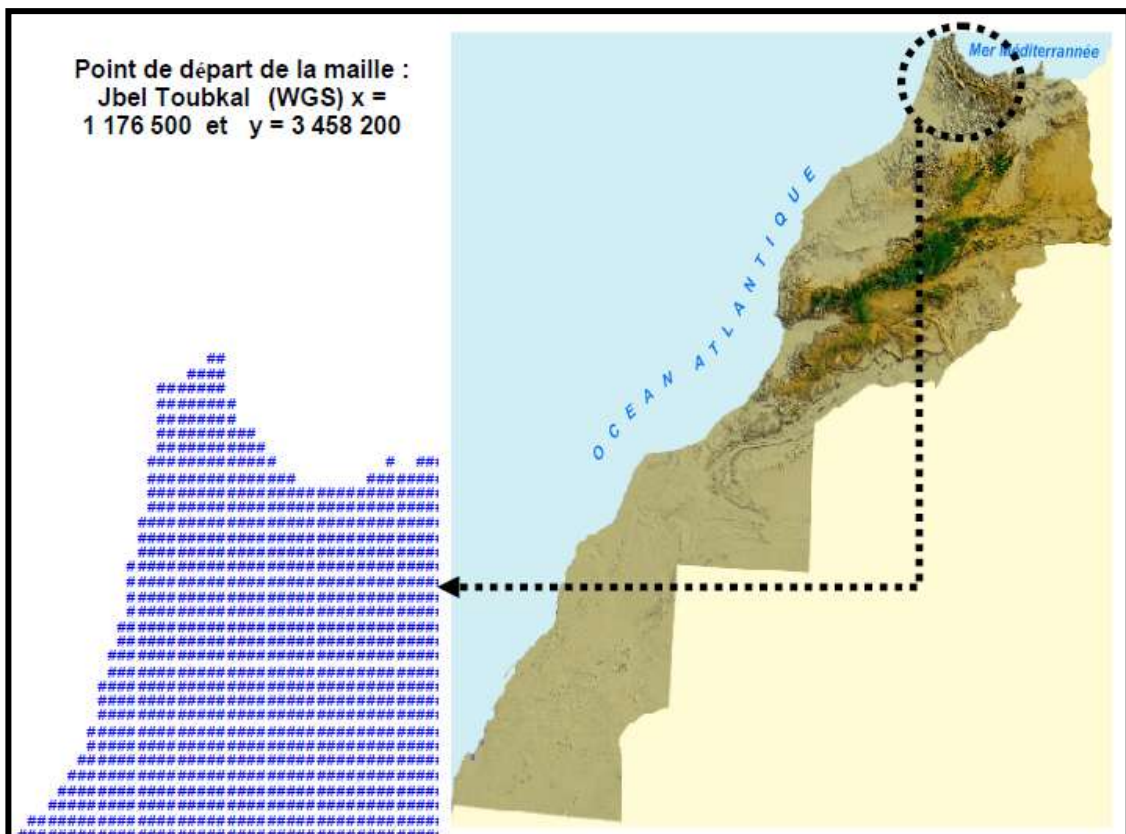


Figure 64 : Réseau systématique de placettes permanentes (maille 8 km x 8 km)

La seconde phase a concerné essentiellement la **veille sanitaire** qui consiste à observer et à donner l'alerte en temps réel, dès l'apparition de tout symptôme anormal au niveau d'un peuplement forestier. Il s'agit dans ce cas de détecter les dommages importants que peut subir la forêt, quelle qu'en soit la localisation. En effet, certains problèmes importants peuvent échapper à une observation à l'aide d'une maille de 8 x 8 km ; il peut s'agir par exemple de problèmes à dispersion agrégative ou de problèmes émergents. La figure 65 donne la configuration du réseau de veille sanitaire.

L'analyse régulière de cette base de données permettra de recenser dans un premier temps les principaux problèmes phytosanitaires des forêts marocaines. Dans une phase ultérieure, l'analyse mettra en évidence l'éventuelle évolution spatiale ou temporelle de leur importance relative.

Une troisième phase a consisté à faire le bilan des **suivis spécifiques** déjà réalisés au Maroc et à voir comment ces dispositifs parfois anciens (suivi des défoliateurs du chêne par exemple en vue d'une lutte) pourraient s'insérer dans le nouveau schéma, tout en assurant une cohérence au niveau des protocoles et une synergie maximale au niveau des acteurs.

Les stratégies spécifiques sont définies **au cas par cas**. Elles correspondent à des problématiques particulières, la plupart du temps localisées à une échelle infrarégionale. Après identification précise de la problématique, il peut être décidé d'implanter un **dispositif particulier de suivi pour répondre à une question bien identifiée et définie** (évaluation de la répartition d'une maladie nouvelle, suivi de l'évolution d'un dépérissement géographique localisé,...).

Trois réseaux spécifiques sont actuellement déjà opérationnels mais nécessitent une révision et une mise en cohérence avec les deux autres dispositifs : le suivi de la processionnaire du pin et du bombyx disparate en vue de traitement insecticide et le réseau de placettes de suivi du dépérissement du cèdre en forêt d'Azrou.

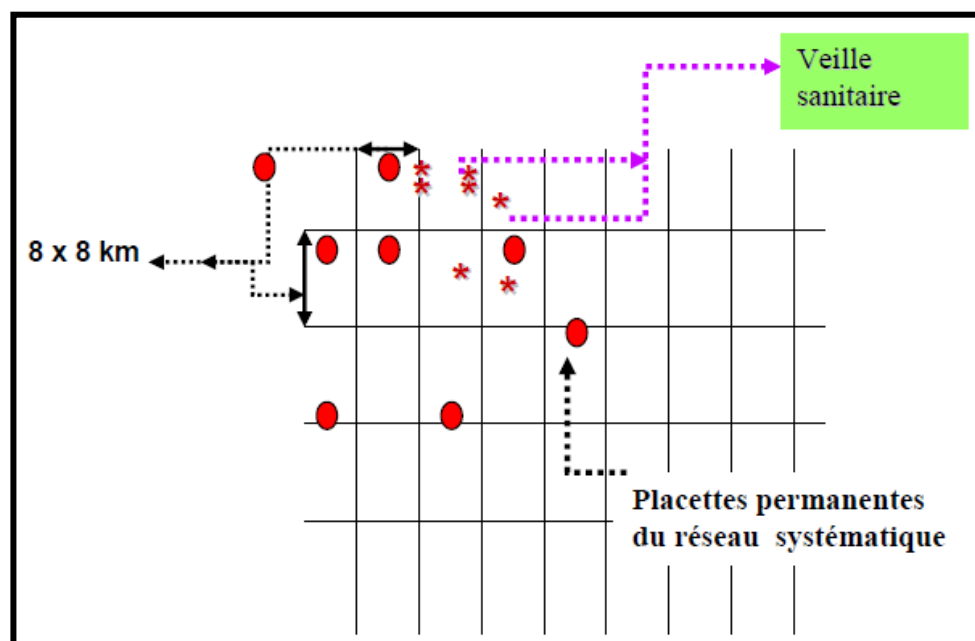


Figure 65 : Réseau de veille sanitaire par rapport au réseau systématique

Au cours du projet, des formations spécifiques ont été dispensées aux personnels concernés pour les initier à la problématique et pour qu'ils acquièrent les compétences nécessaires à la mise en œuvre des protocoles d'observation. Les supports des différentes formations (**manuel d'installation du réseau systématique ; manuel de notation du réseau systématique ; manuel de veille phytosanitaire**) dispensées sont fournis sous format numérique aux différents participants. Ces trois manuels ainsi qu'un recueil de fiches techniques concernant la biologie des principaux ravageurs et pathogènes du Maroc sont regroupés dans un ouvrage unique qui constitue l'outil de mise en place et d'utilisation de ces dispositifs

Les principaux acquis du projet peuvent être résumés comme suit :

- mise en place et fonctionnement du système de surveillance dans région du Moyen Atlas ; le dispositif a pu, pour partie, être mis en application avec succès au cours de deux saisons de végétation. Les figures 66 et 67 résument les premiers résultats de la santé des forêts du Moyen Atlas (2007 et 2008) pour le critère mortalité des branches ;
- capacité technique renforcée en matière entomologique et pathologique ;
- formation, au Maroc et en France, d'une trentaine de cadres et techniciens forestiers dans le domaine de la santé des forêts ;
- élaboration et édition de manuels techniques pour la mise en œuvre des protocoles élaborés. Ces documents ont une valeur nationale et seront utilisés pour l'extension du dispositif aux autres régions forestières du pays ;
- sensibilisation et présentation de cette nouvelle stratégie de surveillance de la santé des forêts à l'ensemble des responsables du HCEFLCD et des acteurs.

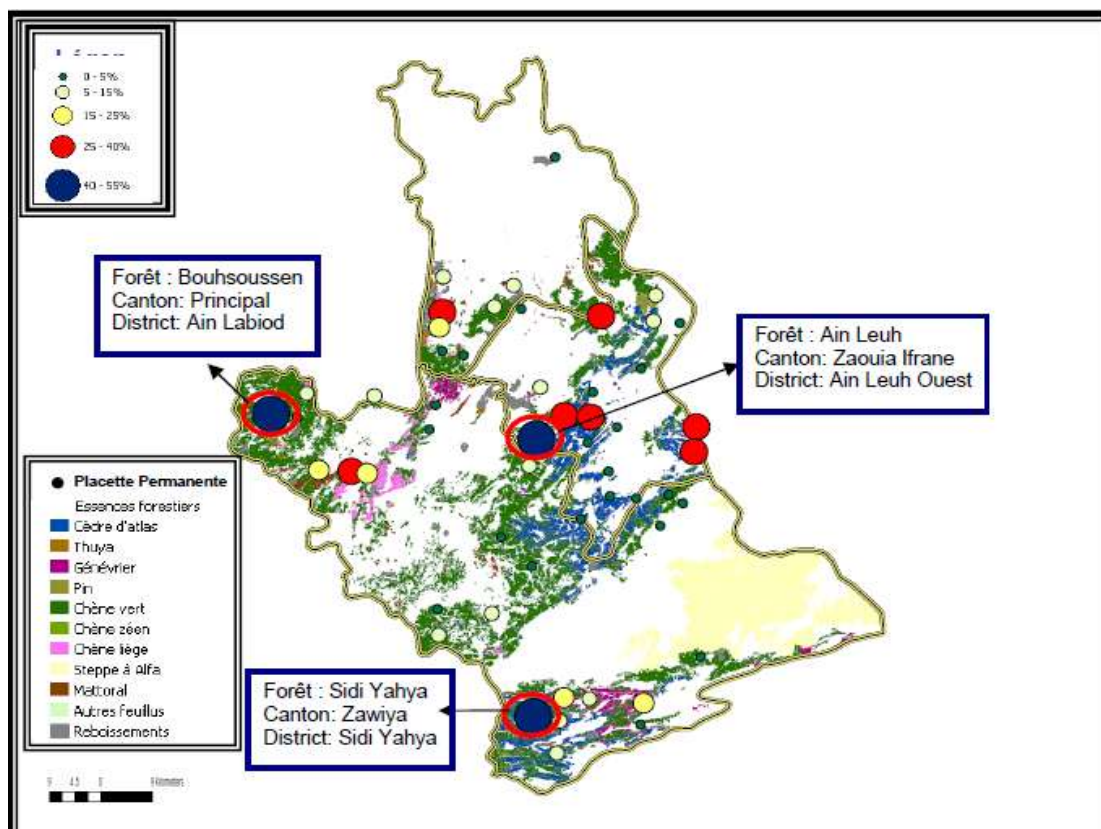


Figure 66 : Carte représentant la proportion d'arbres par forêt et par placette dont la mortalité des branches s'est accentuée entre 2007 et 2008

Cette première phase, qui répond au souci du HCEFLCD de réaliser une stratégie nationale de surveillance continue de la santé des forêts, en réponse au changement climatique et à la prévention de leurs effets sur les peuplements forestiers, a permis de développer et de mettre en place une stratégie régionale pilote ciblée au niveau de la région du Moyen Atlas.

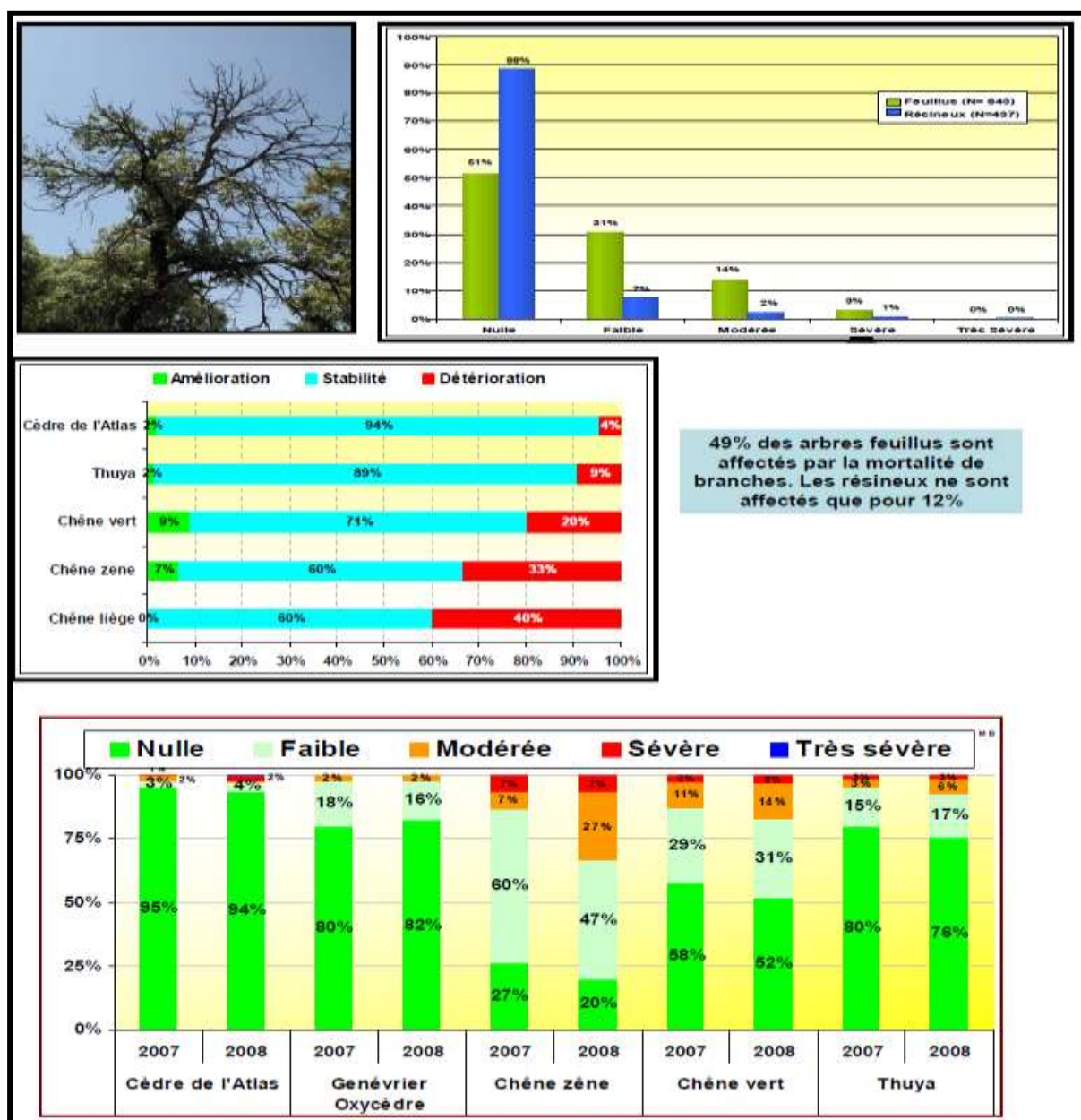


Figure 67 : Premiers résultats de la santé des forêts du Moyen Atlas (réseau systématique 8 km x 8 km). Évolution 2007-2008 par essence (Critère : mortalité des branches)

Le HCEFLCD a inscrit, dans le cadre de la phase II du projet FAO /UTF/MOR/028 « Appui à la mise en œuvre du Programme Forestier National », l'extension aux autres régions du pays du système de surveillance et de suivi de la santé des forêts, développé pour la région du Moyen Atlas. Cette phase se propose, de consolider, de poursuivre et de généraliser cette stratégie à l'échelle nationale pour constituer, ainsi, une étape importante pour la prévention des déséquilibres phytosanitaires et un outil de gestion durable.

L'expérience acquise au cours des premières actions et mesures prises, décrites dans ce chapitre, est concluante. Aussi, Les pouvoirs publics (HCEFLCD), en anticipant l'adaptation au changement climatique, sont-ils appelés à poursuivre ce processus dans le cadre d'une stratégie globale en vue d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans la politique de gestion durable des écosystèmes forestiers voire, dans politique de développement économique et sociale du pays.

7. Adaptation des forêts marocaines au changement climatique : stratégie et orientations pour l'action à moyen et long termes

7.1. Cadre général des orientations stratégiques

7.1.1. Du concept de l'adaptation au changement climatique

Définie par les biologistes dès le début du 19^{ème} siècle, l'adaptation est un ajustement réactif des structures, des fonctions ou des comportements par lequel une espèce ou un individu augmente ses chances de survie dans un environnement spécifique.

Selon la CCNUCC article 12, « l'adaptation est un processus par lequel les sociétés se donnent les moyens de mieux affronter un avenir incertain. L'adaptation au changement climatique exige que l'on prenne les mesures qui conviennent pour réduire les effets négatifs du changement climatique (ou exploiter ses effets positifs) en procédant aux ajustements et aux changements appropriés ». La définition de l'adaptation s'applique à la variabilité du climat ainsi qu'aux changements à long terme. L'encadré 22 précise les définitions de quelques termes de base utilisés dans ce chapitre (GIEC, 2007).

Encadré 22 - Définitions de quelques termes de base (GIEC, 2007)

Adaptation : « un ajustement à des systèmes humains et naturels en réponse à des stimuli actuels ou futurs ou à leurs effets qui atténuent les conséquences négatives ou exploitent les bonnes opportunités. » L'adaptation aux changements climatiques renvoie à toute mesure visant à atténuer les effets néfastes de celui-ci ou à en exploiter les opportunités bénéfiques. L'adaptation peut être **autonome, réactive, anticipatoire** ou **planifiée**.

Capacité d'adaptation : Capacité d'ajustement d'un système face aux changements climatiques (y compris à la variabilité climatique et aux extrêmes climatiques) afin d'atténuer les effets potentiels, d'exploiter les opportunités ou de faire face aux conséquences. »

Vulnérabilité : « Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. »

Sensibilité : « Degré d'affectation positive ou négative d'un système par des stimuli liés au climat. L'effet peut être direct (modification d'un rendement agricole en réponse à une variation de la moyenne, de la fourchette ou de la variabilité de température, par exemple) ou indirect (dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières en raison de l'élévation du niveau de la mer, par exemple). »

Résilience : Capacité d'un système, d'une communauté ou d'une société potentiellement exposées à des dangers, de s'adapter, soit en résistant, soit en changeant afin d'atteindre et de conserver un niveau acceptable de fonctionnement et de structure. Elle est évaluée en fonction du degré auquel le système social est capable de s'organiser afin d'augmenter sa capacité de tirer les leçons des catastrophes passées en vue d'une meilleure protection future et d'améliorer les mesures prise pour réduire les risques.

Selon le **Livre vert de l'Union Européenne** (2007), ce terme recouvre les mesures prises pour faire face à l'évolution du climat, autrement dit, par exemple, à l'augmentation ou la baisse des précipitations, à la hausse des températures, à la raréfaction des ressources en eau ou à la fréquence accrue des tempêtes et de la sécheresse. Il s'agit de prendre en compte les changements actuels mais aussi d'anticiper les changements à venir. L'adaptation vise à réduire les risques et les dommages liés aux incidences négatives actuelles et futures de manière économiquement efficace et, le cas échéant, à tirer parti des avantages possibles.

Le concept d'adaptation au changement climatique n'est pas nouveau. L'humanité a toujours affronté un avenir incertain pour s'adapter aux variations du climat et à ses extrêmes. Les populations, et les gouvernements ont continuellement cherché des moyens de survivre et même de se développer en période de sécheresse, d'inondation ou d'autres extrêmes météorologiques ; l'exemple de la politique des barrages au Maroc est illustratif. En effet, la capacité à s'adapter permet aux sociétés de répondre à une multitude d'incertitudes face à l'avenir.

Différents types de stratégies d'adaptation destinées à réduire la vulnérabilité au changement climatique sont relevés. Ces stratégies sont notamment des mesures prises avant l'observation d'impacts (**mesures préventives**), ou après leur apparition (**mesures correctives**). De plus, les mesures d'adaptation peuvent être le fruit de décisions politiques (**mesures planifiées**), ou elles peuvent être spontanées (**mesures indépendantes**). L'adaptation peut englober des stratégies nationales ou régionales et des mesures concrètes prises au niveau communautaire ou individuel. Menée à bien, de façon anticipative, elle concerne aussi bien les systèmes naturels que les systèmes humains. Le tableau 30 donne les principaux déterminants de la capacité d'adaptation

Tableau 30 : Principaux déterminants de la capacité d'adaptation (Smit, et al., 2001)

Facteur déterminant	Explication
Ressources économiques	<ul style="list-style-type: none"> • Plus les ressources économiques ne sont riches, plus grande est la capacité d'adaptation. • Un manque de ressources financières limite les mesures d'adaptation
Technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Le manque de technologies limite le choix des mesures d'adaptation. • Les régions les moins avancées sur le plan technologique ont moins de chances d'établir et de mettre en œuvre des adaptations technologiques.
Information et compétences	<ul style="list-style-type: none"> • Un manque de personnel informé, qualifié et bien formé réduit la capacité d'adaptation. • Meilleur est l'accès à l'information, plus grandes sont les chances de mettre en place des mesures d'adaptation appropriées en temps opportun
Infrastructures.	<ul style="list-style-type: none"> • Une infrastructure diversifiée peut accroître la capacité d'adaptation, car elle offre davantage de possibilités • Les caractéristiques et le lieu des infrastructures influent également sur la capacité d'adaptation.
Institutions	<ul style="list-style-type: none"> • Des institutions sociales bien développées aident à réduire les impacts du changement climatique, d'où une meilleure capacité d'adaptation.
Équité	<ul style="list-style-type: none"> • Une distribution équitable des ressources accroît la capacité d'adaptation. • La disponibilité et l'accessibilité des ressources sont deux facteurs importants

L'examen des réponses des systèmes naturels à la variabilité climatique permet de délimiter la fourchette d'adaptation d'un système donné. La fourchette d'adaptation se définit (Yohe et Tol, 2002) comme la « **fourchette des conditions dans laquelle aucune conséquence importante n'est observée en raison de la résilience du système** ». Les seuils critiques correspondent aux limites supérieure et inférieure de la fourchette d'adaptation et varient habituellement selon le lieu considéré (Pittock et Jones, 2000). Des impacts importants se produiront vraisemblablement lorsque les changements dépasseront les seuils critiques (Figure 68).

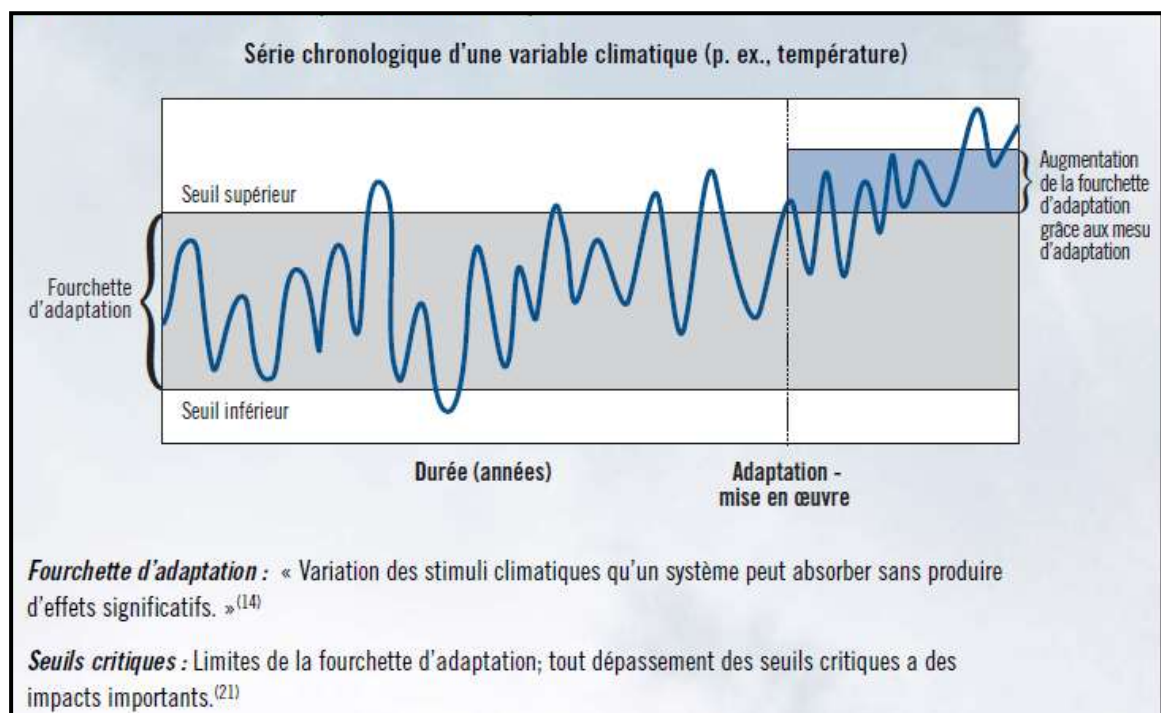


Figure 68 : Fourchette d'adaptation et seuils critiques (Donald et Fiona, 2004)

Les figures 2 et 3 (Chap. 1, Section 1.1.2) illustrent, respectivement, les fourchettes d'adaptations et les seuils critiques des principaux écosystèmes forestiers marocains en fonction du facteur température et du facteur précipitation. Le chêne-liège, par exemple, prospère entre des maxima de températures dont la moyenne des maxima du mois le plus chaud est de (43°C) et la moyenne des minima du mois le plus froid peut atteindre (-5,4°C). Sa fourchette d'adaptation pour les précipitations se situe entre 441 mm et 1.700 mm. Ces valeurs sont proches de sa limite naturelle en plaine vis-à-vis du facteur eau et en montagne vis-à-vis du facteur température. Chaque fois que ces seuils sont dépassés des perturbations se produisent dans l'écosystème et se traduisent par des dépérissements, voire des mortalités.

Les seuils critiques ne sont pas toujours des valeurs absolues; il peut parfois s'agir du rythme d'un changement. Certains systèmes réagiront bien à des changements qui s'opèrent lentement sur de longues périodes, mais seront incapables de s'ajuster à des changements plus rapides, qui auraient donc des impacts importants. C'est le cas de nombreuses espèces forestières marocaines qui ont une forte résilience comme le chêne vert par exemple.

Néanmoins, la connaissance de la fourchette d'adaptation et des seuils critiques d'un système constitue un préalable pour être en mesure d'estimer la vulnérabilité générale au changement climatique, d'évaluer ses impacts probables et le rôle que peuvent jouer les mesures d'adaptation. L'élargissement des fourchettes d'adaptation constitue, en fait, un objectif fondamental des programmes d'adaptation.

L'adaptation des écosystèmes forestiers, comme les systèmes naturels, en général, s'effectue par des mesures correctives et indépendantes, mais en cas de gestion durable, ces systèmes peuvent tirer parti de mesures préventives et de stratégies d'adaptation planifiées (Chap.6; Sections 6.2, 6.5 et 6.6). En effet, les mesures d'intervention adaptative les plus efficaces sont habituellement des mesures préventives qui ont toutes chances d'être moins coûteuses que des actions curatives, mais, qui nécessitent la collaboration d'un grand nombre de groupes différents.

Il n'en demeure pas moins que l'adaptation ne remplace pas la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Au contraire, l'adaptation comme la réduction doivent se voir attribuer le même degré d'importance, intervenir simultanément et se compléter.

7.1.2. De la nécessité de l'adaptation des forêts au changement climatique

Les actions en réponse au changement climatique nécessitent une approche à deux volets qui vise la réduction des émissions de gaz à effet de serre (mesures d'atténuation du changement climatique) ainsi que des activités et des pratiques adaptatives visant à réduire la vulnérabilité aux impacts possibles (mesures d'adaptation) (Encadré 23).

Encadré 23 - Stratégies potentielles face aux changements climatiques

Il existe deux stratégies globales pour répondre au changement climatique prévu: l'adaptation et l'atténuation (GIEC, 2001) :

- **L'atténuation** cherche à agir sur les causes du changement climatique. Les mesures d'atténuation cherchent à limiter l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Deux grandes **options** d'atténuation sont généralement considérées. La première consiste à réduire les émissions de GES dans de nombreux secteurs et en réduisant la déforestation. La seconde option, souvent appelée séquestration du carbone (forêt), cherche à stocker une partie du carbone de l'atmosphère dans la biosphère.
- **L'adaptation** concerne les réponses aux effets du changement climatique et cherche à réduire la vulnérabilité des écosystèmes et des sociétés. Elle se rapporte à tout ajustement, qu'il soit passif, réactif ou prévisionnel pouvant être adopté en vue de compenser les effets nocifs prévus, attendus ou réels du changement climatique.

L'évaluation de la vulnérabilité et des impacts est une phase primordiale pour l'adaptation. La **vulnérabilité** correspond à la mesure selon laquelle un système peut être dégradé ou endommagé par l'évolution du climat.

Liens entre adaptation, vulnérabilité et résilience

L'adaptation peut être autonome, réactive, anticipatoire ou planifiée. Plusieurs stratégies d'adaptation portent sur le renforcement de la possibilité d'absorber les perturbations causées par le changement climatique et d'engranger les bénéfices qui en découlent (**résilience renforcée**) ou accroître la mesure dans laquelle un système a la possibilité de faire face au changement climatique (**renforcer la capacité adaptative et réduire par conséquent la vulnérabilité**). Les notions de résilience et de vulnérabilité sont par conséquent très fortement liées à l'adaptation.

Des mesures d'atténuation sont nécessaires pour réduire le rythme et l'ampleur du changement climatique à l'échelle planétaire. Toutefois, en elles-mêmes, ces mesures ne préviennent pas le changement climatique.

Vu la nature des systèmes climatiques de la Terre, la température devrait continuer à augmenter, même après la stabilisation des concentrations de dioxyde de carbone et des autres gaz à effet de serre. La figure 69 illustre bien cet aspect en montrant l'inertie du système climatique, symbolisée par l'évolution du niveau de la mer, de la température et des concentrations de CO₂, face à une réduction radicale des émissions de CO₂. Des mesures d'adaptation seront donc nécessaires pour compléter les stratégies d'atténuation. La (CCNUCC) et le Protocole de Kyoto exigent que les parties tiennent également compte de l'adaptation au changement climatique.

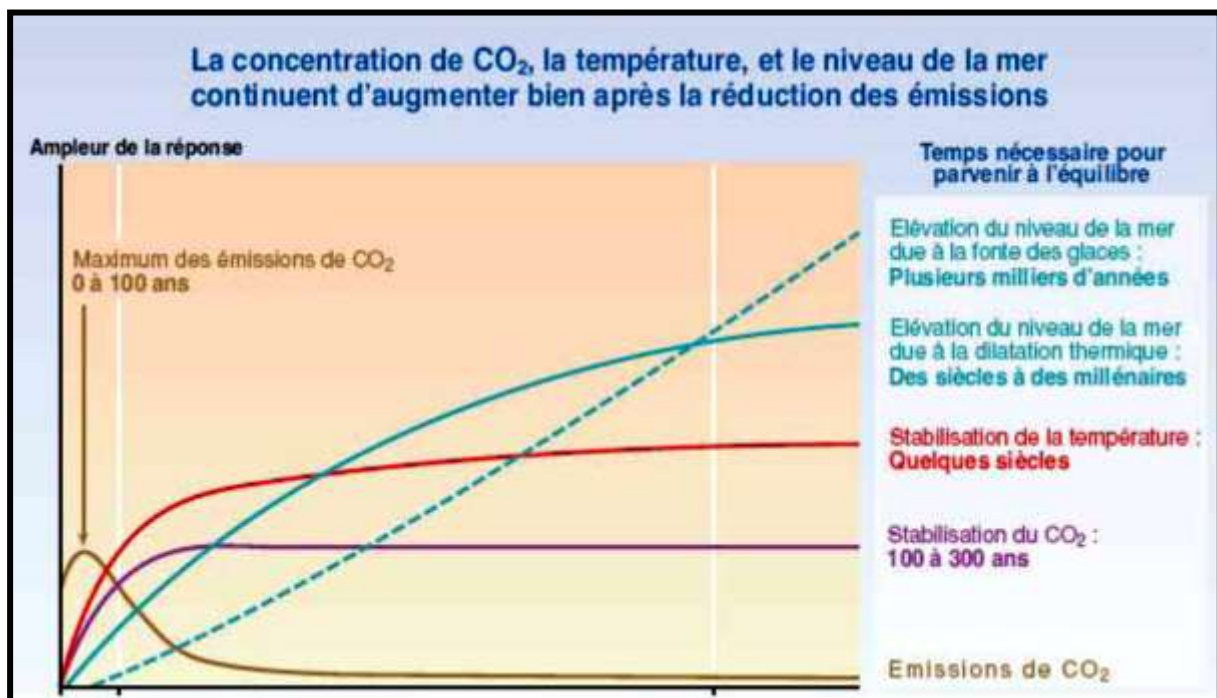


Figure 69 : Les concentrations de dioxyde de carbone, les températures et le niveau de la mer devraient continuer à augmenter bien après une réduction effective des émissions⁸ (GIEC, 2001).

En effet, les écosystèmes forestiers fournissent le soutien, l'approvisionnement, la régulation et les services culturels (« services d'écosystème ») qui aident le bien-être humain localement et globalement. Le changement climatique affecte la fourniture de ces services d'écosystèmes essentiels, avec des conséquences potentiellement dangereuses pour le bien-être humain.

⁸ La variété des scénarios socio-économiques de base retenus explique la moitié de cette fourchette, l'autre moitié étant due à l'incertitude sur la simulation du climat futur. Les hypothèses sous-tendant ces scénarios sont décrites dans le rapport IPCC (2000).

Au cours des dernières décennies, il a touché plusieurs aspects des écosystèmes des forêts y compris la croissance des arbres et leur dépérissement, les distributions d'espèces indigènes, la prolifération d'espèces envahissantes, des modèles saisonniers dans les processus d'écosystèmes et les dynamiques de population d'espèces forestières. Dans certains cas, le changement climatique a été à l'origine des extinctions d'espèces.

Toutefois, les effets climatiques interagissent avec des facteurs non climatiques comme des pratiques d'utilisation des terres par des systèmes de feedback qui peuvent être stabilisant ou déstabilisant et qui compliquent davantage la tâche de quantification des impacts du changement climatique. Aussi, les personnes, les sociétés, les institutions doivent-elles être informées des impacts probables du changement climatique sur ces écosystèmes et doivent avoir des stratégies en place pour s'y adapter.

Il est désormais admis que même si l'on parvient à réduire les émissions, certains impacts du changement climatique sont inévitables compte tenu du volume des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. En conséquence, l'adaptation sera nécessaire parce que les températures continueront à monter en produisant des impacts à court et long terme. Le besoin d'adaptation à court terme est motivé par les coûts élevés des événements météorologiques extrêmes associés à des densités de population croissantes, l'érosion des systèmes de protection naturelle et le vieillissement des infrastructures.

La nécessité d'adapter les écosystèmes forestiers marocains au changement climatique se réfère à l'hypothèse d'un réchauffement climatique dont les impacts et conséquences risquent de se répercuter, non seulement, sur les fonctions et les biens et services environnementaux de ces écosystèmes, mais risquent également de se projeter sur les secteurs et services qui leur sont naturellement liés (ressources en sols, ressources hydrologiques, agriculture, tourisme et zones humides côtières) pour en affecter aussi bien les aspects environnementaux, économiques et sociaux, qu'esthétiques, récréatifs et culturels. Dans ces conditions, l'adaptation au changement climatique consiste à permettre à la nature de conserver ses caractéristiques et ses équilibres ou d'évoluer vers de nouveaux équilibres de manière durable, c'est-à-dire en préservant l'avenir.

7.1.3. Gestion durable des écosystèmes forestiers, adaptation et atténuation

La gestion durable des écosystèmes forestiers (SFM) offre le cadre à partir duquel on peut concevoir des interventions dans le secteur forestier axées sur l'adaptation à l'évolution du climat et l'atténuation du risque climatique. Le respect des principes qu'il définit permet d'éviter que les actions menées aient des effets néfastes fortuits. De même, l'accent mis sur l'atténuation et l'adaptation permet mieux promouvoir la gestion durable des forêts comme un instrument de développement durable apportant des avantages connexes.

Ces dernières années, la question des forêts a occupé une place importante lors des réunions de la Conférence des Parties à la CCNUCC, notamment sur le **rôle que les forêts**, peuvent **jouer dans l'atténuation à long terme du changement climatique** résultant du déboisement et de la dégradation des écosystèmes forestiers dans les pays en développement. Cependant, en cas de gestion durable de ces écosystèmes, toutes les forêts peuvent contribuer aux processus de réduction des émissions de CO₂ par des mesures telles que : la préservation des forêts, la réhabilitation et la régénération, la production bioénergétique à partir du bois et l'utilisation du matériau pour la substitution des produits à fort potentiel d'émission de GES. **La figure 70** résume les réponses possibles de la forêt au changement climatique.

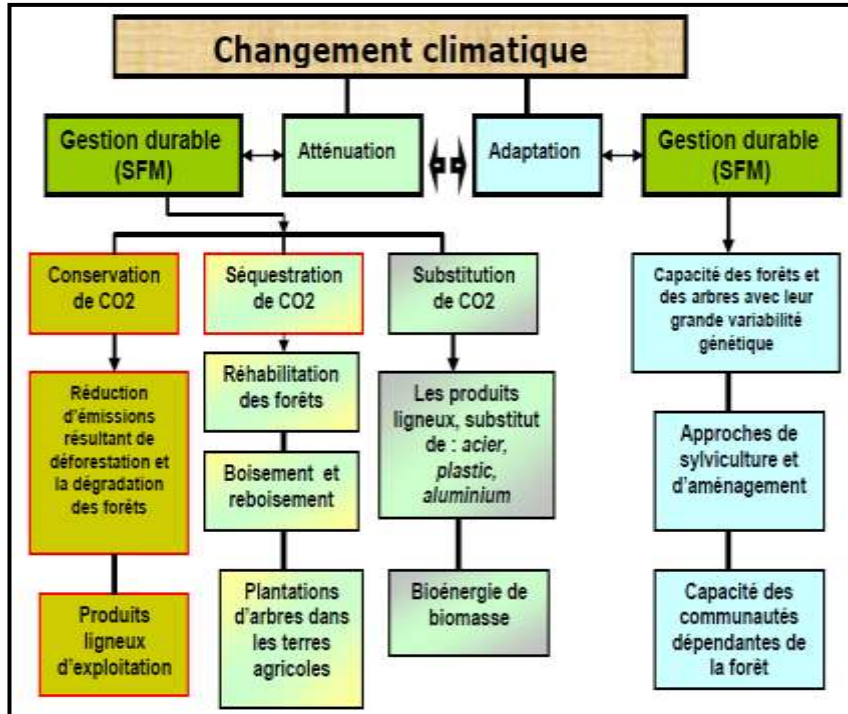


Figure 70 : Réponses possibles de la forêt au changement climatique (PCF, 2008)

La gestion durable des écosystèmes forestiers contribue à atténuer les effets du changement climatique grâce à la conservation, à la fixation et à la substitution du carbone.

Concernant la conservation du carbone, le moyen le plus rapide d'atténuer les effets du changement climatique sur les forêts est de freiner le déboisement et la dégradation du couvert forestier, et de réduire ainsi les émissions de GES. Dans le contexte des négociations sur l'évolution du climat, on désigne généralement cette approche par le terme de **stratégie de « réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des sols » (REDD)**.

À mesure qu'ils se développent, les arbres absorbent le dioxyde de carbone et, par le biais de la photosynthèse, « fixent » ce carbone pour produire du bois. Les forêts de plantation (sur des terres boisées ou reboisées) et de repousse peuvent fixer rapidement le carbone et le stocker pendant toute la durée de vie de la forêt. Lorsque les arbres font l'objet d'une exploitation efficace, une grande partie du carbone fixé peut servir à produire des produits ligneux, tels que des ossatures en bois pour la construction de maisons, qui peuvent être stockés à plus ou moins long terme.

Le bois et ses dérivés constituent aussi des produits de substitution du carbone et peuvent remplacer les produits d'autres secteurs qui émettent des quantités relativement importantes de GES. Les combustibles ligneux comme le bois de feu, le charbon de bois, le gaz, la liqueur noire et l'éthanol peuvent servir de produits de remplacement pour les combustibles fossiles utilisés aux fins de chauffage, de production d'énergie et de transport. Le bois tiré de l'exploitation d'une forêt qui fait l'objet d'une gestion durable est effectivement produit sans émission nette de carbone.

De même, la production de biens en acier, en aluminium, en béton et en plastique donne lieu à une grosse consommation d'énergie et entraîne l'émission d'un volume important de gaz à effet de serre. La substitution de ces produits par des produits ligneux tirés de l'exploitation durable des ressources forestières peut donc contribuer à réduire les émissions de GES.

Le Comité des Forêts (COFO), dans sa 19^{ème} Session (Rome, avril, 2009) a été l'occasion pour le « **Partenariat de Collaboration sur les forêts (PCF)** », qui groupe l'ensemble des organismes et des institutions internationales, de lancer son « **Cadre stratégique sur les forêts et le changement climatique** » pour appuyer la démarche de la CCNUCC et d'autres initiatives qui répondent au besoin d'une action concertée sur la forêt et le changement climatique. Ce cadre stratégique met l'accent, en premier lieu, sur la gestion durable des forêts comme cadre d'action efficace pour l'atténuation et l'adaptation au changement climatique (**Encadré 24**).

Le Maroc a connu durant les deux dernières décennies, une série d'événements politiques qui ont conditionné, de façon durable, son développement économique et social. De ce fait, il a réorienté et refondé sa politique et ses choix stratégiques sur la construction de processus de développement durable et mis en place des stratégies et programmes d'action nationaux dans les domaines socio-économiques et dans les domaines de gestion des ressources naturelles et de lutte contre la désertification. Pour ce faire, des instruments - cadre, institutionnels et réglementaires, qui sont autant de leviers et de facteurs de succès de cette politique, sont élaborés et mis en œuvre (*Chap.6 ; Section 6.1.1*).

Dans ce cadre, le PFN constitue un outil stratégique de développement durable du secteur forestier à l'horizon 2020 (*Chap.6, Section 6.1.2; Encadré 18*). L'appui à sa mise en œuvre a permis la mise en place des premières mesures d'adaptation préventive des écosystèmes forestiers au changement climatique (*Chap.6, Sections 6.2 à 6.7*).

Des écosystèmes forestiers exceptionnels à intérêts multiples dont la capacité à résister au climat et à la pression humaine est démontrée, un contexte institutionnel favorable aux innovations, des stratégies nationales et des processus de développement durable et de développement humain pertinents, des approches et des méthodes d'action et de mise en œuvre innovantes (intégration et approche holistique, décentralisation et territorialisation, responsabilisation, participation, partenariat et contractualisation, etc.), sont autant d'atouts qui soutiennent la stratégie d'adaptation du secteur forestier et de lutte contre la désertification au changement climatique.

7.2. Cadre stratégique globale d'adaptation

7.2.1. Des enjeux de l'adaptation au changement climatique

Les écosystèmes forestiers sont des systèmes dynamiques qui s'adaptent continuellement aux changements environnementaux. Dans le passé, les écosystèmes forestiers de la Méditerranée ont subi de nombreux bouleversements climatiques auxquels ils ont dû répondre de manière distincte (tolérance au changement environnemental due à la plasticité phénotypique de certaines espèces, adaptation suite à des processus d'évolution entraînant l'apparition de nouvelles espèces, sous-espèces et nouveaux génotypes, migration vers des lieux plus favorables, extinction). Le nombre important d'espèces reliques tertiaires et d'espèces paléo- endémiques au sein des forêts méditerranéennes met en évidence leur capacité d'adaptation aux changements environnementaux et leur habilité à survivre à travers les millénaires.

Encadré 24 - Un référentiel stratégique pour les forêts de la planète : Le Cadre de Partenariat sur les Forêts (CPF)

Le cadre stratégique du CPF (1) vise à faciliter les préparatifs du régime climatique après 2012 et l'élaboration d'un mécanisme reposant sur la Convention - cadre des Nations Unies sur les changements climatiques afin de réduire les émissions provoquées par le déboisement et la dégradation des forêts dans les pays en développement. Il a également pour but de renforcer la coordination des activités et l'intégration intersectorielle des aspects touchant les changements climatiques dans la gestion durable des forêts.

Le cadre du CPF a été lancé à Poznan (Pologne) lors de la quatorzième Conférence des Parties à la CCNUCC qui s'est tenue en décembre 2008. Il s'articule autour de **six grands axes d'orientations pour l'action** :

1. La gestion durable des forêts offre un cadre efficace pour atténuer les changements climatiques et faciliter l'adaptation;
2. La mise en œuvre des mesures d'atténuation et celles des mesures d'adaptation doivent se faire en parallèle;
3. La collaboration intersectorielle, les mesures d'incitation économique et la fourniture de nouveaux moyens de subsistance sont indispensables pour réduire le déboisement et la dégradation des forêts;
4. Le renforcement des capacités et la réforme de la gouvernance revêtent un caractère pressant;
5. Un suivi et une évaluation fiables aident à prendre des décisions au vu de toute l'information utile mais exigent une meilleure coordination à tous les niveaux;
6. Les membres du Partenariat sont convaincus du bien-fondé d'une démarche concertée et globale en ce qui concerne l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation.

(1) Sont membres du CPF : le Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, le Centre international de recherche forestière, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, le Secrétariat du Fonds pour l'environnement mondial, le Centre international d'agrosylviculture, l'Organisation internationale des bois tropicaux, l'Union internationale pour la conservation de la nature, l'Union internationale des instituts de recherches forestières, le Secrétariat de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, le Programme des Nations Unies pour le développement, le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le Secrétariat de la CCNUCC, le Secrétariat du Forum des Nations Unies sur les forêts et la Banque mondiale.

Néanmoins, une chute de la population d'espèces arborescentes et une réduction des écosystèmes forestiers ont également été démontrées aux niveaux local et régional en raison, principalement, des périodes antérieures de changement global (combinaison des changements climatiques antérieurs et impacts anthropogènes). Par exemple, des communautés et espèces forestières se sont éteintes suite à des incendies de forêts en réponse à la fois au changement climatique de l'Holocène et aux feux de forêts d'origine anthropogénique du Néolithique dus à la conversion des forêts en terres arables et de parcours (Tinner et al., 2005; Carrion, 2003).

Au Maroc, la population continue de maintenir une relation étroite avec le milieu naturel environnant. Sa dépendance vis à vis des espaces boisés est très forte, et l'intérêt présenté par les forêts, d'une manière générale, ou leurs biens et services, en particulier, pour les populations rurales est très diversifié: le bois de construction et les combustibles ligneux pour les besoins domestiques, la nourriture pour le bétail et la stabilité de l'environnement et sa protection contre l'érosion pour permettre une agriculture continue. Le milieu boisé se trouve ainsi intégré au fonctionnement des sociétés rurales et ne peut être, de ce fait, dissocié des autres modes d'utilisation de l'espace par la population (*Chap.5, Section 5.1*).

Cependant, face à la croissance démographique, aux changements globaux, la question de durabilité et de développement se pose en termes d'évolution au moment où les travaux sur la dynamique des systèmes rejettent les mythes de l'équilibre et font place à la variabilité, à l'incertitude, à la précaution et l'irréversibilité (Babin et al., 1977). En effet, l'utilisation des forêts évolue au rythme des sociétés humaines. Suivant l'époque et la nature de la demande sociale, la même surface forestière détenant des potentialités multiples peut développer des fonctionnalités différentes.

Aujourd'hui, les projections convergent vers un même scénario : **des changements climatiques rapides et intenses sont attendus au cours des cents prochaines années**. Il est très probable que ces changements génèrent des impacts significatifs sur les forêts. Les écosystèmes forestiers marocains seront encore particulièrement vulnérables aux changements environnementaux à venir et à leurs répercussions en raison de l'importance des impacts anthropogéniques. Il en résulte que des politiques et pratiques de conservation, de préservation et de gestion doivent être nuancées afin d'instaurer des stratégies d'adaptation visant à inverser la tendance actuelle à la dégradation de l'environnement, mais aussi à réduire le risque de pertes irréversibles à l'avenir.

La réflexion menée, à ce sujet, qui tient compte, d'une part, des connaissances scientifiques actuelles sur les écosystèmes méditerranéens, en général et sur les écosystèmes marocains en particulier, de la particularité et des processus d'évolution de ces écosystèmes, et de leur capacité d'adaptation et, d'autre part, des observations actuelles des impacts observés et prévisibles du changement climatique dans la région, permet de dégager les enjeux principaux de l'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique (tableau 31).

Tableau 31 : Enjeux, orientations, actions possibles et conséquences

Enjeux	Orientation et actions possibles	conséquences
Favoriser l'adaptation autonome des écosystèmes forestiers	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire la pression humaine sur les ressources et les processus d'érosion et de dégradation, • Pratiques de gestion souples pour renforcer la capacité d'adaptation des espèces et des habitats, réduire les pressions anthropogéniques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atténuation des coûts socio-économiques et environnementaux des perturbations ; • Maintien des valeurs sociales des systèmes écologiques et économiques actuels.
Accroître les facteurs de résilience des écosystèmes forestiers	<ul style="list-style-type: none"> • Conserver et restaurer des peuplements forestiers matures, • Comprendre et influencer les conditions d'habitat, de structure et de croissance. 	Amélioration de la capacité de compétition et de coopération des espèces.
Planification territorialisée des options d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> • Adapter les options et les mesures d'adaptation en fonction des régions, territoires • Maintenir les processus et la structure écologiques à tous les niveaux et réduire les pressions • Intégrer la préservation de la biodiversité dans les autres secteurs d'utilisation des sols • Etendre les superficies forestières en plus grandes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les réponses sociales au changement climatique ne compromettent pas la biodiversité ; • Planification du choix des espèces plantées au niveau territorial ; • Peuplements à surfaces plus grandes, moins fragmentées, plus résistantes aux perturbations.
Renforcement la résilience sociale	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacer les pratiques inadaptées par une utilisation durable des terres et des ressources ; • Améliorer les droits et les mécanismes d'accès aux ressources ; • Améliorer l'éducation et l'information • Développant de nouvelles opportunités commerciales pour les produits et services forestiers de haute qualité ; • Encourager l'équité sociale, l'égalité des sexes dans l'accès aux ressources. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atténuation des impacts négatifs du changement climatique dans les régions les plus vulnérables ; • Préservation des communautés forestières et de renforcer la compétitivité des zones rurales.

Renforcer les capacités en matière d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> • Accroître la prise de conscience autour du besoin d'adaptation ; • Comprendre les perceptions locales relatives aux vulnérabilités, changements et impacts ; • Définir les mesures d'adaptation les acteurs nécessaires pour leur promotion et leur mise en place ; • Mettre en place les processus de suivi/évaluation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidation du cadre institutionnel pour renforcer les connaissances, les compétences et la motivation des groupes cibles ; • Mise en place et contrôle des mesures d'adaptation.
--	---	--

7.2.2. D'une vision stratégique à moyen et long termes

La vision stratégique à moyen et long termes pour l'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique et son intégration dans la politique générale de développement du pays repose, à travers des études plus détaillées (qui sortent du cadre de ce rapport) sur les éléments fondamentaux suivants : les perspectives des changements écologiques attendus, les connaissances nécessaires, et la démarche d'évaluation des impacts en perspective à différentes échelles : en particulier, les paramètres biophysiques à l'échelle des processus biophysiques, les fonctions écosystémiques à l'échelle d'écosystèmes, les biens et les services environnementaux à l'échelle du paysage et l'impact sur le développement socio-économique à l'échelle socio-territoriale.

Ce cadre général, combinant la recherche biophysique, humaine et institutionnelle doit permettre à chaque région d'élaborer ses propres méthodes en fonction de son contexte régional. En principe ce cadre doit débiter par la définition des priorités régionales. A l'échelle politique, la stratégie élaborée doit être institutionnellement intégrée au niveau de la politique nationale de développement. Le renforcement des capacités en matière d'adaptation est une nécessité absolue pour non seulement évaluer la portée de la stratégie d'adaptation que pour assurer le suivi des résultats des actions et des mesures d'adaptation. Ce cadre définit un cheminement de liens entre variables à différents niveaux, comme illustré à l'encadré 25.

En effet, l'un des plus importants défis imposés à la société par le changement climatique, est sans doute l'approche du changement climatique de façon holistique, en considérant les impacts sur une vaste gamme de systèmes et sur les intérêts et problèmes de toutes les parties intéressées. Les impacts du changement climatique seront imposés à tous les secteurs de la société et à chacun des systèmes favorisant son développement et leur répartition sera toujours, inégale (*Rapport sur le Développement humain (2007-2008); PNUD, 2008*).

L'incorporation ou l'intégration de l'adaptation au changement climatique en tant que composante interdisciplinaire des différentes politiques sectorielles s'avère être une stratégie nécessaire en termes de développement durable sur le long terme. Les impacts du changement climatique ne sont pas observés de façon isolée mais, les impacts dans un secteur peuvent affecter ou favoriser un autre secteur (CCNUCC, 2007).

Cette vision stratégique est valable aussi bien pour le moyen terme que le long terme dans la mesure où l'incertitude inhérente aux prévisions climatiques sera progressivement réduite, c'est-à-dire : les modèles de simulations évolueront au niveau de la résolution spatiale et temporelle et des progrès politiques sont accomplis dans les négociations sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il en résulte que les stratégies d'adaptation des écosystèmes forestiers seront l'objet d'une révision permanente.

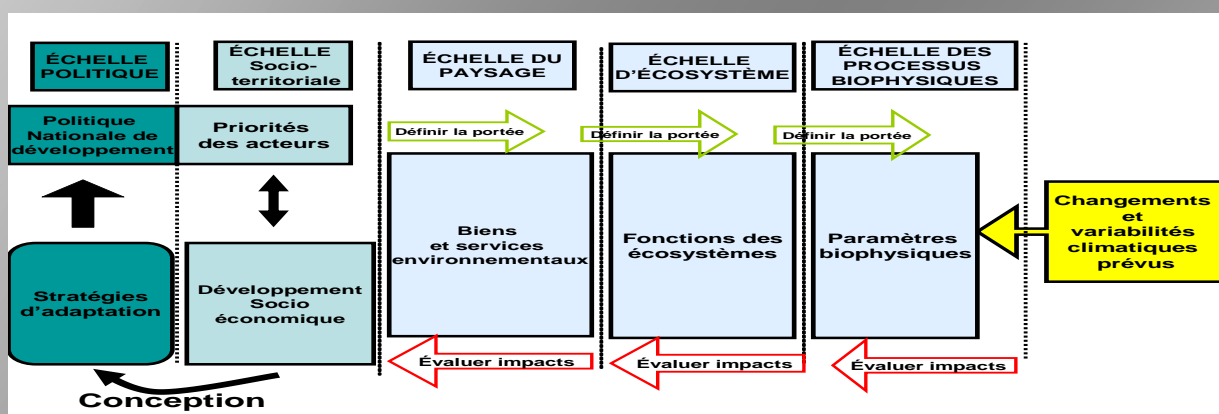
En conclusion, les stratégies d'adaptation des écosystèmes forestiers exigent une politique, une planification de l'espace et des pratiques d'aménagement souples afin d'améliorer la capacité d'adaptation inhérente des espèces et des habitats, mais aussi de réduire les pressions tendancielle d'origine anthropique qui favorisent la vulnérabilité à la variabilité du climat.

Encadré 25 - Cadre stratégique global d'adaptation des forêts marocaines au changement climatique

1- Prise en compte des principaux changements écologiques probables

1. Déplacements des aires de distribution des espèces et des limites des écosystèmes
2. Migration des espèces, interactions entre espèces, et aggravation du Taux d'extinction des espèces
3. Proliférations d'espèces envahissantes
4. Changements phénologiques et changements conséquents de la structure, de la composition et du fonctionnement des peuplements
5. Perturbations de la dynamique du cycle CO₂ (sol – plante - Atmosphère)
6. Changements métaboliques et physiologiques des espèces
7. Parasites forestiers (prolifération et perturbation de cycles)
8. Fréquence accrue des incendies de forêts et des dépérissements

2- Organigramme pour intégrer l'adaptation dans la gestion forestière durable



3- Connaissances nécessaires pour une stratégie d'adaptation

AXE 1 : Information climatique liée à la végétation et aux ressources hydriques

- Évaluation de la fiabilité des données existantes et identification des lacunes en matière d'information ;
- Changements et variabilités climatiques prévisibles sous forme de base cartographiée des paramètres clés.

AXE 2 : Biens et services environnementaux

- Diversité, valeurs et menaces des biens et des services environnementaux liés aux écosystèmes forestiers et impacts sur les populations ;
- Détermination des impacts par simulation des modifications à l'échelle territoriale par écosystème naturel.

AXE 3 : Vulnérabilités des écosystèmes et des populations qui en dépendent

- Evaluation de la vulnérabilité des écosystèmes et des populations et critères d'appréciation ;
- Évaluer les risques sur les ressources et impacts sur le développement socio-économique :

7.3. Orientations pour l'action : Options potentielles d'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique

Les écosystèmes forestiers marocains se caractérisent par une diversité biologique importante parmi les populations méditerranéennes d'espèces arborescentes présentes dans l'ensemble de la région, qui sont génétiquement plus variées que les populations situées à des altitudes nordiques. Les populations et les espèces se caractérisent souvent par une distribution clairsemée et sont particulièrement différenciées. Parallèlement, plusieurs espèces se distinguent par une aire de distribution vaste et large dans différents environnements (cas du thuya, pins, chêne liège, genévrier, etc.), et les paysages forestiers sont très hétérogènes, abritant de nombreux types d'habitats et d'espèces.

Les options en matière de stratégies d'adaptation des forêts au changement climatique dépendront des principaux objectifs des politiques forestières, et des priorités régionales de développement lors de l'évaluation de leur degré de vulnérabilité (par exemple, les produits forestiers ligneux et non ligneux, la préservation des futaies pour les activités de loisir et d'agrément, la conservation des ressources génétiques et de la biodiversité des forêts endémiques).

Néanmoins, la société marocaine exige des systèmes forestiers multifonctionnels, non seulement pour assurer un approvisionnement adéquat en bois et en ressources fourragères, mais aussi pour maintenir une vaste gamme de produits et de services, à savoir : la séquestration du carbone, la préservation de la biodiversité, l'approvisionnement adéquat en eau de qualité et les valeurs esthétiques, culturelles et spirituelles.

Dans ce contexte de multifonctionnalité des écosystèmes et du pluralisme des acteurs, les options en matière de stratégies d'adaptation doivent favoriser la diversité à tous les niveaux (gènes, espèces, communautés et paysages) et nécessiteront des compromis et des ajustements afin de mieux répondre à ces exigences. Dans ce cadre, les propositions d'action sont organisées autour de **six principaux éléments (orientations) de programme**

- 1) Prévention des risques;
- 2) Options d'adaptation pour la gestion et l'aménagement forestiers ;
- 3) Options d'adaptation pour la conservation de la biodiversité;
- 4) Consolidation du dispositif d'observation ;
- 5) Formation, information et sensibilisation,
- 6) Développement des connaissances ou nécessité d'un effort de recherche.

7.3.1. Prévention des risques

La probabilité d'une aggravation du risque d'incendie de forêt doit retenir l'attention et demeurer prioritaire. De même, les dépérissements forestiers et l'apparition de nouveaux problèmes liés aux bio-agresseurs pourraient prendre une ampleur nouvelle dans un contexte de sols à faible réserve hydrique, soumis à des sécheresses fortes et répétées. Le type de sylviculture et d'autres facteurs, tels que la dégradation des sols par l'érosion, pourraient moduler assez fortement l'effet des contraintes hydriques. Les risques sanitaires sur les arbres et les peuplements forestiers, ainsi que les risques d'incendie de forêts constituent les deux axes principaux de cet élément de programme.

Axe 1 : Risques sanitaires sur les arbres et les peuplements

La phase I de la Convention FAO /UTF/MOR/028 « Appui à la mise en œuvre du Programme Forestier National » a été accompagnée par le projet TCP/MOR/3101 « Appui à la mise en place d'une stratégie nationale pour la surveillance et le suivi de la santé des forêts; cas pilote de la région du Moyen Atlas » dans le cadre du Programme technique de coopération (PCT) de la FAO.

La première étape a consisté à développer une stratégie régionale pilote ciblée au niveau de la région du Moyen Atlas. Elle s'est traduite par la mise en place de trois dispositifs complémentaires de surveillance : (1) un réseau systématique de placettes permanentes, (2) un dispositif de veille sanitaire et (3) des dispositifs spécifiques permettant de répondre à des problématiques locales importantes : dépérissement du cèdre, du chêne zeen, suivi de la santé de la subéraie de la Maamora, etc. Une deuxième étape consistera à asseoir progressivement son extension à l'échelle nationale. A terme, la santé des forêts doit faire partie intégrante de la gestion durable des écosystèmes forestiers marocains et s'intégrer dans des systèmes de surveillance déjà existants (système européen notamment). Pour ce faire, les six grandes actions suivantes sont proposées :

- 1) Consolider, poursuivre et généraliser la stratégie régionale pilote à l'échelle nationale.** La surveillance continue de l'état de santé des forêts constitue ainsi une étape importante pour la prévention des déséquilibres phytosanitaires et un outil de gestion durable. L'extension du dispositif à l'ensemble du pays doit se faire par étape. Les régions du Nord-Ouest, Fès-Boulemane et du Centre seraient prioritaires.

- 2) **poursuivre la formation générale en entomologie et en pathologie forestière** ainsi qu'en fonctionnement et dysfonctionnement des écosystèmes forestiers, qui doit être au profit des autres personnels techniques, des animateurs et des observateurs des autres régions pressenties.
- 3) **veiller à l'identification précise de la thématique « santé des forêts »** au sein de l'organigramme, à la mise à disposition de postes précisément affectés à cette mission dans les structures, et à la mise à disposition de moyens de fonctionnement spécifiques et à la hauteur des besoins.
- 4) **Enrichir la formation initiale des corps forestiers** par un module consistant consacré à la santé des forêts. Actuellement, tout le monde s'accorde sur la lacune qui existe dans ce domaine.
- 5) **poursuivre et développer la réflexion sur les dispositifs spécifiques** pour répondre aux interrogations des gestionnaires. Le suivi des défoliateurs, le dépérissement du chêne zeen et un observatoire sur la forêt de la Maamora, sont des priorités actuelles auxquels il conviendra de trouver les moyens de réponse.
- 6) **renforcer les moyens de lutte contre les parasites nouvellement** introduits par la mise en place, d'une politique systématique de détection et de lutte sur le terrain et en pépinière forestière contre les foyers de nouveaux ravageurs, et d'un plan d'action ; mais aussi la formation continue des correspondants observateurs en matière de ravageurs introduits.

7)

Axe 2 : Risque d'incendies de forêts

L'élaboration des cartes de risques des incendies de forêts » dans le cadre du projet FAO /UTF/MOR/028 « Appui à la mise en œuvre du Programme Forestier National » s'inscrit dans le Plan Directeur de Prévention et de Lutte contre les Incendies de forêts (PDCI) qui vise, entre autres, l'élaboration d'outils de prédiction permettant d'évaluer le danger et d'anticiper sur le risque d'incendie au moyen de mesures préventives et dissuasives adéquates.

Dans le cadre de ce projet, il a été conçu et développé un système opérationnel, au niveau d'unités spécialisées à l'échelle centrale et régionale du HCEFLCD, pour l'élaboration de cartes de risques statiques et dynamiques aux incendies de forêts, en particulier : la mise au point d'une méthodologie de prévention et d'alerte des incendies de forêts au Maroc, l'élaboration de quatre types de carte de risque d'incendie (au 1/200000^{ème}) pour chacune des 11 provinces, en fonction de la composante de l'aléa de l'occurrence et de l'intensité du phénomène, la mise en place d'un site web pour la diffusion et le suivi du risque d'incendie et l'élaboration d'un protocole d'ordre d'opérations et d'un plan de mobilisation et d'intervention en fonction de l'échelle de danger de départ de feu.

L'information apportée par les cartes de risque statiques et dynamiques constitue un outil d'aide à la décision utile à chaque niveau pour orienter et optimiser, dans le court et le moyen termes, les moyens d'investissement et de pré-positionner les moyens d'intervention et de déclenchement de la lutte en temps réel. Néanmoins, le système, ainsi construit, ne couvre, dans cette première phase que les DREF du Rif et du Nord-est. Il s'agit par conséquent de consolider ces acquis et de les étendre au niveau national à travers les sept propositions d'actions ci-après :

- 1) consolider et poursuivre et généraliser le système construit**, qui ne couvre actuellement, que les régions du Rif et du Nord-est, à l'échelle nationale. L'extension du dispositif à l'ensemble du pays doit se faire par étape. Les régions de l'Oriental, de Fez-Boulemane et du Moyen Atlas seraient prioritaires ;
- 2) veiller à la vérification et la mise à jour des outils d'aide à la décision élaborés**. Cette vérification doit porter à la fois sur les cartes statiques et les cartes dynamiques, par visite de terrain et croisement de données afin de corriger d'éventuelles erreurs ou imprécisions, mesurer l'effet relatif des différents composant des modèles, et évaluer le caractère prédictif des cartes produites;
- 3) Améliorer l'opérationnalité du site web** par : **(i)** l'élaboration d'un manuel de procédure, la correction, l'exploitation et la mise à jour régulière (au moins annuelle) des bases de données constituées et, **(ii)** la rédaction et la diffusion auprès de tous les services d'un bilan annuel de campagne incluant un retour d'expérience et les principaux enseignements tirés de l'analyse des risques ;

4) La formation du personnel sur la modélisation, la cartographie du risque et tous les aspects liés aux données spatiales (localisation, vérification, corrections, etc.) ; l'utilisation du site web reste également indispensable.

En effet, la mise en place d'un site WEB destiné à produire quotidiennement les cartes de risque d'incendie constitue un outil fondamental pour la diffusion et le suivi du risque d'incendie statique et dynamique. Il n'en demeure pas moins que l'efficacité du système de prévention et d'alerte des incendies de forêts, ainsi construit, dépend de l'opérationnalité de l'application du site Web.

5) Renforcer les moyens mis en place, incluant la prise en charge des ressources humaines (conditions de travail, pour assurer la couverture des risques, en ajustant la capacité de réaction (terrestre et aérienne) et en améliorant notamment l'accessibilité et l'équipement du terrain ;

6) Intégrer la prise en compte du risque dans les aménagements et les reboisements en développant une sylviculture intégrant la DFCI chaque fois que le peuplement présente un risque important de ne pas arriver à maturité ;

7) Pour mener à bien toutes les actions destinées à prévenir les risques liés au changement climatique, il est essentiel de consentir dès à présent :

- un effort important de formation et de création de postes suffisants dans le domaine de l'observation, faute de quoi le peu d'expertise existant encore dans certaines domaines/spécialités risque de disparaître ;
- le développement des bases de données permettant de faciliter l'accès aux informations expertisées, tout en favorisant la convergence des différentes compétences sur ce sujet ;
- la définition et la tenue à jour systématique d'indicateurs sur le changement climatique, sur ses conséquences et sur l'adaptation pour un suivi plus précis tout en apportant une aide à la décision. Ces indicateurs pourront être intégrés dans les indicateurs de développement durable nationaux, comme dans toute autre problématique nécessitant des informations fiables et actualisées sur le changement climatique.

7.3.2. Gestion et aménagement forestiers

Un certain nombre d'études scientifiques ont modélisé les impacts du changement climatique sur divers écosystèmes forestiers et ont suggéré des options d'adaptation potentielles dans le cadre de la gestion des forêts afin d'en atténuer les impacts négatifs tout en augmentant le stockage de carbone dans ces écosystèmes.

Actuellement, la communauté scientifique est unanime que la gestion des risques la plus efficace, eu égard au changement climatique, reste l'application des principes de la sylviculture irrégulière, continue et proche de la nature. Ce mode de traitement forme les peuplements les plus stables, les plus résilients, les plus productifs et les plus économes en travaux, en dépenses d'énergie et en intrants. L'adaptation des résultats de ces études, étayés par la connaissance et l'expérience dont on dispose sur les écosystèmes forestiers marocains, permet de construire cet élément de programme autour de trois principaux axes relatifs à la composition des espèces d'arbres et aux pratiques sylvicoles, et au cas particulier de la foresterie en zones arides :

Axe 1 : Composition des espèces d'arbres

Les quatre actions suivantes sont proposées :

- 1) Accélérer la migration** en plantant de nouvelles essences arborescentes mieux adaptées aux conditions climatiques projetées, bien que cette option puisse présenter un risque important en raison des incertitudes liées au changement climatique. (*programme prospectif pondéré*).
- 2) Accroître la diversité des peuplements forestiers mixtes et des arbres**, particulièrement dans les zones écotonales, en combinant des espèces aux stratégies de croissance variées (reproduction par rejets, par semences, drageonnement) et des espèces résistantes à la sécheresse (peuplement de structure ponctuelle multistrate). En effet, les peuplements forestiers mixtes sont proches de la nature et mieux adaptés aux modifications climatiques et aux impacts projetés du changement climatique (par exemple : les parasites).
- 3) Préserver, réhabiliter et réintroduire, des vecteurs de dispersion biotique** : ces derniers pourraient jouer un rôle important dans la dispersion des semences à longue distance (par exemple, les populations aviaires et les espèces migratoires).

4) Assurer la stabilité du peuplement⁹ par le développement de la cime des arbres, la dispersion des diamètres, la diversité des essences, des arbres individuels (les futaies irrégulières, voire jardinées, résistent mieux aux tempêtes que des futaies résineuses équiennes); de faibles mélanges de feuillus améliorent aussi leur stabilité. Une forêt mélangée en espèces, et possédant une structure verticale complexe permet aussi une prospection racinaire à différents niveaux, utilisant au mieux les réserves en eau du sol, et augmentant la stabilité du peuplement.

Axe 2 : Pratiques sylvicoles

Les actions suivantes sont proposées :

- 1) Proscrire les coupes rases**, comme une mesure normale de régénération et de récolte, sauf exceptions dûment justifiées : le couvert continu, en conséquence, permet la stabilisation des peuplements, une meilleure vie dans le sol, et notamment des mycorhizes, la diminution de l'évapotranspiration, l'atténuation des extrêmes de température du sol et des basses couches de la végétation; le ralentissement de la minéralisation de l'humus et de la libération du carbone qui y est bloqué.
- 2) Modifier les périodes habituelles (durée) de rotation et d'exploitation ou récolte** : Des périodes de rotation plus longues pourraient compenser la réduction du taux de croissance due au stress hydrique, mais aussi assurer une augmentation de la quantité de carbone séquestrée par la biomasse arborescente, les sols forestiers et l'ensemble de la végétation ;
- 3) Pratiquer des éclaircies précoces et fortes** : dans les peuplements à vocation de production ligneuse ou de protection des sols, afin de réduire la compétition pour l'eau et accroître la stabilité des peuplements.

Le volume sur pied, plutôt modéré par rapport aux stades adultes et vieillissants des futaies régulières, permet une diminution de la consommation d'eau en cas de sécheresses. Cette légère diminution du capital sur pied, par rapport aux stades âgés de la futaie équienne, tout en garantissant le couvert, permet une réserve d'eau plus importante pour chaque individu.

⁹ Projet SilviStrat : Stratégies sylvicoles face au changement climatique dans le cadre de la gestion des forêts européennes, UE ; et le Projet EUFORGEN : Changement climatique et diversité génétique forestière en Europe)

À ce jour, l'éclaircie demeure la principale technique sylvicole grâce à laquelle le gestionnaire forestier peut éviter les stress hydriques intenses et les taux de croissance lents qui résulteraient certainement d'une augmentation du niveau de variabilité climatique.

- 4) Convertir les taillis (taillis gérés et matorral) à longue révolution en futaie mixte,** afin : **(i)** d'obtenir des forêts matures plus diversifiées et mieux structurées et donc mieux adaptées au changement climatique (conditions microclimatiques) et ; **(ii)** d'accroître la capacité de stockage des puits de carbone qui atténueraient les effets du changement climatique ;

- 5) Favoriser l'utilisation d'espèces étrangères à la station actuelle.** Elle peut donner réponse à des situations en évolution rapide: sécheresses plus fréquentes, hautes températures, sans mettre en péril le fonctionnement des écosystèmes autochtones. A cette fin, ces essences ne devraient jamais être introduites par grandes surfaces homogènes, mais par bouquets de faible importance ; et les essences autochtones qui s'installeraient dans les jeunes peuplements d'étrangers seraient favorisées et non pas éliminées ;

- 6) Adapter les choix d'espèces pour le reboisement,** à l'échelle locale, en fonction de l'ensemble des paramètres écologiques de la station. Même si la sensibilité aux contraintes hydriques et au vent dépendent largement d'autres facteurs, le mélange d'essences est conseillé (là où celles-ci pourront être gérées dans de bonnes conditions) notamment vis à vis de certains ravageurs.

Axe 3 : Foresterie en zone aride

Le Maroc est soumis à des conditions climatiques sévères puisque une grande partie de son territoire (31%) se trouve dans les ambiances climatiques arides et semi-arides très sensibles à l'érosion éolienne et la dégradation des milieux et des niveaux de vie des populations. Le changement climatique probable menace d'accentuer leur vulnérabilité. L'adaptation à un stress hydrique plus marqué, dû à des précipitations en baisse et à l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle liée à la hausse des températures, est un facteur particulièrement important pour les écosystèmes naturels de ces régions et pour les populations qui en dépendent.

Dans ces zones, le couvert végétal forestier et arbustif est constitué d'essences à croissance lentes et de faible productivité ligneuse mais constitue la principale source de pâturage, d'énergie domestique, de produits non ligneux et vivriers et un écran vert contre l'érosion éolienne et la désertification. Cette végétation est dotée d'un pouvoir de résilience et d'une valeur adaptative (photosynthèse de type C4 et de type CAM, faibles besoins en eau), insensible à l'augmentation du CO₂ atmosphérique qui en fait une ressource génétique à exploiter à l'avenir (*Chap.2, encadré 8*).

L'objectif consiste à contribuer à l'efficacité des actions LCD, en vue d'augmenter leurs retombées sur la population et sur les ressources naturelles, et réduire la vulnérabilité au changement climatique à travers quatre principales actions exposées ci-après. La participation des populations permettra, par ailleurs, de mieux garantir leur durabilité et leur efficacité :

- 1) Etendre et renforcer** les programmes de réhabilitation et de régénérations de la végétation et du sol (mise en défense contrôlée, limitations des défrichements enrichissements, création de rideaux-abris, etc.) ;
- 2) Promouvoir et développer** les opérations de lutte contre l'ensablement et de protection des infrastructures et des conditions de vie des populations par la fixation des dunes et par la création de rideaux- abris ;
- 3) Encourager les boisements d'environnement** dans un cadre partenarial; autour des centres, des agglomérations, des infrastructures hydroagicoles et des cultures (bosquets de verdure, brise-vent, etc.). L'utilisation des espèces autochtones à usages multiples, mieux adaptés à ces conditions, est recommandée (Mhirit et Benabid, 1978 ; Mhirit et Sbay, 1992) ;
- 4) Promouvoir les techniques d'amélioration d'un stockage plus efficace de l'eau dans le sol** dans le cadre de l'ensemble de ces opérations.

7.3.3. Conservation, gestion et, valorisation de la biodiversité

La stratégie et le plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité ont été publiés, en 2006, dans un cadre interdisciplinaire et intersectoriel élargi (Anon., 2006). Ils visent l'intégration de la biodiversité dans les processus du développement humain et socio-économique du pays. Des séries d'actions sont identifiées par type de milieu (biodiversité terrestre, côtière et marine, zones humides, etc.) avec leur niveau de priorité, leur échéancier, les institutions responsables, etc.

De même, le Centre pour la coopération méditerranéenne de l'UICN a élaboré et publié, en 2008, un document d'orientation stratégique : « l'adaptation au changement global : les forêts méditerranéennes » (Regato, 2008).

Il s'agit de mettre en œuvre cette stratégie et ce plan d'action national, de tirer partie des orientations pour les forêts méditerranéennes et d'en évaluer les résultats et les impacts sur les processus d'adaptation au changement climatique. Les propositions d'action relatives à cet élément de programme sont déclinées en trois axes principaux dont des actions d'adaptation dans le cadre des plans de conservation de la biodiversité au niveau de la région méditerranéenne, des actions pour rendre opérationnel le plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, et des actions de contribution au développement local :

Axe 1 : Adaptation dans le cadre des plans de conservation de la biodiversité au niveau de la région méditerranéenne

1) Adapter l'aménagement et la gestion des aires protégées en tenant compte des principes suivants :

- Harmoniser la conservation du nombre d'espèces et de la complexité écologique tout en préservant la diversité à l'échelle du paysage (par exemple, l'aire de distribution altitudinale au sein des réserves est importante pour la migration en altitude; l'hétérogénéité topographique, l'habitat et les microclimats présents dans les réserves contribuent à une augmentation du potentiel d'adaptation des réactions spécifiques au changement climatique);
- Le zonage souple des limites des réserves, le développement de stratégies d'aménagement des zones tampons, ainsi que les stratégies d'aménagement *inter situ* (gestion active des espèces sauvages à l'extérieur des aires protégées) joueront un rôle de plus en plus important dans la distribution des espèces et les scénarios migratoires en situation de changement climatique ;
- La fragmentation (attribuable aux schémas anthropiques d'utilisation des terres et aux obstacles actuels) pourrait constituer l'unique et principale contrainte à l'adaptation des écosystèmes en période de changement climatique. Les effets de lisière s'ajoutant à la fragmentation exposent des habitats complexes aux phénomènes climatiques extrêmes.

2) Évaluer le niveau de vulnérabilité des aires protégées :

- L'un des objectifs des stratégies d'adaptation est de s'assurer que le réseau actuel des aires protégées peut conserver sa diversité biologique à l'avenir en identifiant et en corrigeant les faiblesses existantes.
- La planification de la conservation doit se concentrer sur les processus plutôt que les modèles et donner priorité à la planification proactive ; ce qui implique le développement d'instruments de prévision relative à la réponse de la biodiversité face à l'utilisation des terres et au changement climatique actuel.
- Paradoxalement, les résultats des mesures de protection strictes peuvent donc se traduire par une augmentation de la vulnérabilité des forêts de conifères montagneuses endémiques au changement climatique. Dans ces cas, l'adaptation au changement climatique nécessite le passage à une gestion proactive en vue d'améliorer la diversité structurelle du couvert forestier, à la fois au niveau des peuplements et des paysages.

L'encadré 26 présente une liste non exhaustive des caractéristiques relatives aux facteurs intensifiant la vulnérabilité des aires protégées au changement climatique

Encadré 26 - Liste non exhaustive des caractéristiques relatives aux aires protégées intensifiant leur vulnérabilité au changement climatique (Regato, 2008)

- Présence de types d'écosystèmes fragiles
- Présence d'espèces/d'écosystèmes aux limites de leurs aires de distribution
- Présence d'espèces/d'écosystèmes à distribution géographique limitée
- Uniformité topographique et géomorphologique
- Petite superficie et un rapport élevé périmètre/superficie
- Isolement par rapport aux autres communautés constitutives
- Fragmentation anthropogénique des peuplements et des écosystèmes
- Pressions anthropogéniques au sein, et à proximité, des lisières
- Présence de communautés naturelles dépendant d'un ou de plusieurs processus ou espèces clés

Axe 2 : Opérationnaliser le plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité

- 1) Actualiser en permanence la liste rouge nationale des espèces menacées,** dresser et compléter les listes rouges des différents groupes de la biodiversité terrestre nationale (champignons, lichens, mousses, plantes vasculaires, invertébrés, amphibiens et reptiles, oiseaux et mammifères). Cette liste constitue un outil de décision dont dépendent les réglementations sur la biodiversité;

- 2) **La conservation *in situ* des espèces menacées de disparition.** Ceci passe par la protection des écosystèmes qui constituent leurs habitats, où ils sont déjà acclimatés, particulièrement par l'institution des aires protégées (SIBE). D'autres milieux ne pouvant être institués en aires protégées doivent faire l'objet de plans de réhabilitation et de gestion durable ;
- 3) **Promouvoir et renforcer la réalisation d'un programme de conservation *in situ* et *ex situ*** des peuplements « porte-graines » ; notamment ceux de provenances et de descendance des ressources forestières autochtones dont le Pin maritime du Maghreb, le Pin d'Alep, le Cèdre de l'Atlas, le Cyprès de l'Atlas, le Sapin, l'Arganier, le Chêne-liège, le Thuya, les genévriers, les acacias, etc.
- 4) **Mettre en place des aires de conservation pour des espèces de grand intérêt pastoral de zone aride ;** comme par exemple : l'armoise (*Artemisia herba-alba*), l'alfa (*Stipa tenacissima*), *Salsola* sp. ; *Helianthemum* sp. ; *Stipa* sp. ; *Aristida* sp. ; et d'autres arbustes à usage multiples (Mhirit et Sbay, 1991);
- 5) **Encourager l'institution des Réserves de Biosphère** dans les zones à biodiversité importante ou fortement menacée, à l'image de celle de l'arganier dans la région du Sous. Le Maroc ne compte qu'une seule Réserve de la Biosphère (une seconde est en cours d'établissement dans le Moyen Atlas) malgré la richesse de la biodiversité nationale et l'intégration existante entre les populations rurales et le milieu naturel.

Axe 3 : Contribution au développement local

Trois principales actions sont proposées, avec un certain nombre de mesures d'accompagnement de l'encadré 27:

- 1) **Promouvoir et renforcer la réalisation des programmes de développement intégrés** dans les zones périforestières pour améliorer le niveau de vie des populations et pour diminuer la pression d'exploitation sur la forêt, notamment dans les régions forestières du chêne liège (Maamora), l'arganier, la cédraie, le thuya, le sapin, le pin naturel, etc. Les défrichements, l'utilisation du bois de feu et le pâturage à l'intérieure de zones forestières par les populations rurales riveraines constituent un important facteur de dégradation et de vulnérabilité de ces écosystèmes auxquels il y a lieu de remédier par l'amélioration des revenus des populations.

2) **Promouvoir la réalisation des reboisements énergétiques** pour atténuer la pression sur la forêt et les parcours exploités, entre autres, pour le bois de feu tout en encourageant les améliorations du rendement à la carbonisation, l'économie du bois combustible et des énergies alternatives ;

3) **Renforcer la réalisation des programmes d'amélioration pastorale** et de gestion de parcours en vue de lutter contre le surpâturage et conserver la biodiversité. Une surexploitation des parcours, entraîne une réduction de la couverture végétale avec la disparition de la faune et de la flore et une accélération du phénomène de désertification qui, dans notre pays trouve un terrain favorable dû aux longues périodes de sécheresse;

En outre, le plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité comprend un certain nombre de mesures et d'outils qui pourraient être considérés dans le cadre du développement humain et socio-économique du pays, et de surcroît dans le cadre d'adaptation au changement climatique (encadré 27).

Encadré 27 - Mesures et outils du Plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité

- **Mesures de gestion**, qui visent la satisfaction des besoins en matière de biodiversité sans pour autant mettre en péril sa pérennité. Ils visent également le développement de certaines potentialités offertes par la biodiversité pour des fins socio-économiques;
- **Mesures de l'IEC**, correspondant à des dispositifs d'Information, d'Education et de Communication dont l'objectif est de constituer des programmes pour une meilleure approche participative des populations;
- **Outils scientifiques**, proposés pour disposer de plus de connaissances, et plus de compétences en matière de biodiversité, mais aussi gérer de façon optimale l'information scientifique disponible;
- **Outils économiques et financiers** qui sont destinés à développer certains secteurs de la biodiversité pour répondre à des besoins particuliers, à favoriser le monde rural et à encourager l'intégration de la biodiversité dans la stratégie globale du pays;
- **Instruments législatifs et institutionnels** dont le but est, d'une part, actualiser l'arsenal national pour mieux prendre en considération l'évolution de la biodiversité et son importance de plus en plus grande dans le développement du Maroc, mais aussi mettre en diapason la législation nationale avec les engagements internationaux du pays;
- **Instruments de surveillance et de suivi** qui englobent un grand nombre d'indicateurs permettant de suivre de très près les évolutions des ressources naturelles du pays et de leurs impacts sur divers secteurs socio-économiques ;
- **Mécanismes de coopération** permettant de conforter le Maroc dans sa position internationale, pour mieux mettre à profit ses particularités naturelles, et pour renforcer sa contribution dans l'effort mondial ;

7.3.4. Consolidation du dispositif d'observation

Le HCEFLCD réalise chaque année plusieurs relevés sur des sites ponctuels (placettes) dont les données collectées diffèrent en fonction de la finalité des projets et des études y afférents. Les sondages les plus remarquables sont les inventaires dendrométriques pour l'IFN et ceux relatifs à la santé et aux incendies de forêt, auxquels peut s'ajouter certains points de sondage ayant pour but de recherche forestière ou d'études spécifiques.

Les sondages au sol, tels qu'ils sont exécutés actuellement par les services du HCEFLCD, présentent des inconvénients majeurs en rapport avec la planification et la pratique des échantillonnages et le manque de valorisation des données relevées sur les mêmes stations, par différents opérateurs. Le suivi et la prévision des impacts du changement climatique devra s'appuyer sur des systèmes d'information et des réseaux d'observation intégrant l'ensemble des dimensions d'activité et de préoccupation du HCEFLCD, voire d'autres départements.

La nécessité d'un processus intégré et continu de recueil des données afférentes aux ressources forestières s'impose. Les actions suivantes sont proposées à ce titre :

- 1) Mettre en place un réseau systématique** des sondages au sol multi-ressources ;
- 2) Développer les processus de traitement, d'analyse de données et de synthèse** qui permettent d'évaluer et de suivre les évolutions et les modifications qui affectent les écosystèmes forestiers et leurs ressources.
- 3) faire accompagner la mise en place de ce protocole par le Service de l'IFN du HCEFLCD**, acquérir les capacités nécessaires à son pilotage, et assurer les liens de continuité avec les actions et les acteurs.

Ce dispositif s'attachera à harmoniser les missions d'observation et de suivi sur les différentes placettes en forêt (IFN, dépérissement, santé des forêts, et autres observations).

7.3.5. Formation, information et sensibilisation

Les récentes années ont vu progresser la sensibilisation sur la réalité du changement climatique à la suite des événements météorologiques extrêmes (sécheresse, inondation, vagues de chaleur, vagues de froid, etc.) qui se sont produits. Toutefois, la question de l'adaptation devra être davantage mise en relief dans les actions d'information sur le changement climatique. Quatre principales actions sont proposées, à savoir :

- Renforcer et multiplier les échanges d'information, d'expertise et d'expériences entre les différents acteurs (élus, administration, professionnels, décideurs, collectivités, ONG, etc.) ;
- Encourager les actions visant à favoriser les échanges entre la communauté scientifique, les acteurs et le public tout en fournissant à ce dernier une information scientifiquement fiable et perceptible ;
- Développer et mettre à disposition des décideurs un certain nombre d'outils visant à faciliter l'accès et l'extraction d'informations expertisées sur les scénarios locaux d'évolution du climat, les aléas futurs, les impacts et leurs coûts, les vulnérabilités, etc. Une attention particulière à la représentation et à la communication doit être apportée, notamment par l'intégration des données dans les systèmes d'information territoriaux (régions, agences d'urbanisme...).

De façon générale, l'ensemble des documents d'information, qu'ils relèvent de la responsabilité de l'Etat ou de celle des collectivités territoriales, doivent être utilisés comme outils d'information et de sensibilisation aux nécessités de l'adaptation au changement climatique.

- Promouvoir la généralisation de la formation et la sensibilisation à la problématique du changement climatique dans les établissements de formation et dans les universités à des niveaux requis.

Cet aspect est essentiel car les étudiants d'aujourd'hui seront appelés à prendre des décisions à l'heure où le changement climatique se fera pleinement sentir. De même, compte tenu du caractère transversal de l'adaptation au changement climatique, il apparaît aujourd'hui indispensable de favoriser les actions de formation au sein des départements concernés.

7.3.6. Développement des connaissances : nécessité d'un effort de recherche

L'adaptation aux conséquences du changement climatique demande à agir dans un contexte d'incertitude. Cette incertitude justifie d'autant plus le développement des recherches, des études et de l'observation, car il est d'abord nécessaire de connaître les menaces possibles et d'en évaluer, à la fois, la probabilité d'occurrence, l'ampleur des dommages encourus et la réaction des écosystèmes au changement climatique. Des actions générales impliquant des institutions autres que le HCEFLCD et des actions spécifiques au secteur forestier sont proposées dans ce contexte :

- Actions générales impliquant des institutions autres que le HCEFLCD

La communauté scientifique est aujourd'hui, sollicitée pour apporter des éléments d'aide à la décision. A ce sujet, il est nécessaire de développer à la fois la science du climat et celle des impacts. Ces recherches doivent aider à caractériser les risques et les éventuels bénéfices associés au changement climatique, à définir la vulnérabilité des écosystèmes naturels et des systèmes socio-économiques, à des niveaux sectoriels et géographiques ainsi que la prévision des conséquences du changement climatique. Les actions suivantes sont proposées :

- 1) Promouvoir et développer les recherches** sur les impacts et l'adaptation des écosystèmes naturels, tant en recherche fondamentale qu'appliquée. Le rôle des universités est prééminent à cet effet. Ces recherches doivent être coordonnées, le cas échéant par le HCEFLCD et faire l'objet régulièrement de présentations, de publications et de diffusion ;
- 2) Affiner constamment les scénarios climatiques** et les diffuser largement sous des formes aisément compréhensibles et utilisables par les professionnels du secteur mais aussi par le public. Ils pourront également être intégrés dans des systèmes d'information régionaux, voire locaux (Système d'information sur le développement);
- 3) Développer des méthodologies spécifiques**, pour l'évaluation des coûts des impacts et de l'adaptation ; un projet impliquant l'ensemble des secteurs sensibles pourrait être entrepris en vue d'évaluer ces coûts à l'échelle nationale.

- Actions spécifiques au secteur forestier

Les recherches et les recueils de données sur les écosystèmes forestiers ont progressé depuis plusieurs années. Néanmoins, le niveau des connaissances reste en deçà des besoins scientifiques et techniques eu égard aux exigences de la problématique du changement climatique. Il s'agit de mobiliser la recherche pour adapter et améliorer l'approche des plans et programmes d'actions forestières et de lutte contre la désertification. Un important effort de recherche est donc à mener, en particulier, dans les principales thématiques suivantes :

Axe 1 : Fonctionnement des écosystèmes,

Il s'agit d'approfondir et d'améliorer le niveau de connaissances, en particulier, les questions portant sur les relations plante-sol-eau et sur la diversité biologique végétale et animale en rapport avec la tendance au changement climatique et les fonctions de séquestration du carbone. Ces connaissances sont indispensables pour mieux guider l'adaptation et, de surcroît, la gestion durable des écosystèmes.

Axe 2 : Conservation et amélioration des ressources génétiques

Le Maroc bénéficie d'une complexe et importante diversité floristique et faunistique principalement représentée par les écosystèmes forestiers qui recèlent des ressources génétiques précieuses aussi bien pour le pays lui-même que pour la communauté des pays méditerranéens. La forêt marocaine, incomparable par la richesse des formes sauvages qu'elle héberge et par son rôle majeur dans la préservation de la qualité de l'air et des eaux, constitue la meilleure assurance de stabilité vis-à-vis des aléas d'un futur incertain (réchauffement climatique, pollution atmosphérique, etc.).

Face aux évolutions climatiques probables, et aux nécessités de répondre aux besoins croissants des populations, il est nécessaire de conserver des populations forestières à un niveau de diversité élevée, garantissant ainsi aux générations futures les possibilités d'utiliser un matériel « adaptable et valorisable ». Dans ce contexte, la conservation des ressources génétiques forestières constitue une composante essentielle de tout programme global de préservation de la biodiversité.

Conscient de l'importance de la caractérisation de la diversité génétique, le HCEFLCD a d'ores et déjà entrepris des programmes d'amélioration des ressources génétiques basés sur l'installation d'un réseau de plantations comparatives de provenances et de descendances pour les principales essences forestières du pays (cèdre, pin maritime, pin d'Alep, chêne liège, arganier,...).

Dans ces conditions, l'objectif principal des programmes de conservation et d'amélioration des ressources génétiques est la préservation du **potentiel évolutif/adaptatif** des espèces, peuplements et écosystèmes. Ces programmes de conservation et de gestion adaptative des écosystèmes peuvent être mis en place *in situ* ou *ex situ*.

Les actions *in situ* doivent permettre de préserver et d'améliorer la fonction du système génétique qui assure le transfert de la diversité génétique d'une génération à l'autre et favorise l'évolution (Papageorgiou, 2008). Dans le cas où les espèces ou populations ne peuvent pas s'adapter et les efforts de conservation *in situ* n'empêchent pas la disparition ultérieure d'espèces, des mesures *ex situ* s'avèrent nécessaires pour préserver la diversité génétique

Pour cet axe, les actions suivantes sont proposées; elles ont pour but de contribuer, en premier à la consolidation et au renforcement des programmes mis en œuvre par le HCEFLCD :

- 1) **Dresser un bilan critique des programmes en cours** relatifs à l'amélioration, la conservation et l'utilisation des ressources génétiques des principales espèces forestières marocaines ;
- 2) **Définir une stratégie et un programme d'action national** d'amélioration et de conservation des ressources génétiques forestières dans une perspective d'adaptation des espèces forestières au changement climatique ;
- 3) **Collecter de façon fréquente et représentative, non seulement des graines, des principales espèces forestières et des espèces menacées, mais aussi les semences des espèces adaptées à l'aridité (mesure prioritaire)**. Les graines peuvent être conservées dans des banques et des plantations génétiques (arboreta, plantations comparatives d'espèces, de provenances et de descendances). Ces dispositifs peuvent entraîner une augmentation de la base génétique des populations naturelles par la création de vergers à semences (porte-graines) qui fourniront des graines variables pour les activités de régénération, de réhabilitation, ou de reboisement restauration ;
- 4) **Evaluer le potentiel de survie à long terme des « réserves génétiques »**. Dans ce cas, les populations marginales et disjointes au sein des aires de distribution des espèces sont susceptibles de jouer un rôle important. Les mesures de conservation des « réserves génétiques » ne viseront pas seulement la préservation des génotypes ou des espèces rares, mais aussi la conservation des habitats (Fady, 2008) ;

- 5) Favoriser la dispersion des gènes et le déplacement géographique du pollen** et des graines à des fins d'adaptation (croisements contrôlés, hybridation). Dans ce cas, les actions pouvant entraîner des perturbations du système génétique des populations d'espèces forestières doivent être évitées (fragmentation des forêts) ; par contre le maintien de la connectivité des paysages et des habitats doit être assuré (Papageorgiou, 2008).

La diversité génétique, à l'intérieur des essences d'arbres, permet l'émergence d'écotypes ou d'individus plus résistants que d'autres, de même que la diversité spécifique permet de prévenir l'effondrement des peuplements dans le cas de l'élimination, pour quelque cause que ce soit, de l'une ou l'autre essence.

- 6) Promouvoir les actions de restauration** en faveur de la protection de la régénération naturelle. En cas de reboisement, le matériel utilisé doit provenir de graines locales et de la région de provenance concernée ;
- 7) Identifier et conduire des essais de provenances et de génotypes** d'espèces plus résistantes à la sécheresse ;
- 8) Identifier et conduire des essais multistationnels** d'espèces arborescentes et arbustives des zones arides et semi-arides, autochtones et allochtones pour tester leur degré d'adaptation au changement climatique.

Axe 3 : Sylviculture et aménagement forestier

A travers les actions au niveau de cet axe, le but consiste à renforcer et améliorer l'élaboration et la maîtrise des outils d'aide à la décision pour une gestion durable des écosystèmes forestiers sous la contrainte du changement climatique. Il s'agit notamment de :

- 1) Concevoir et mettre en place** un dispositif permanent pour le suivi des peuplements et pour l'élaboration d'outils d'aide à la décision en matière d'aménagement et de gestion forestiers : « tables de cubage, tables de production, modèles de croissance sous contrainte, modèles ou guides de sylviculture des principales essences » ;
- 2) Établir des normes de densités** en fonction des types de peuplements sur la base des relations d'équilibre avec les conditions des stations et non seulement des caractéristiques sylvicoles des peuplements et définir l'espacement vital optimal de croissance pour la conduite des éclaircies;

3) Conduire des essais, dans les programmes de reboisement, sur les techniques de travail du sol, qui permettent d'améliorer les réserves hydriques des sols et leur disponibilité en eau, ainsi que sur les standards d'élevage des plants ; en particulier pour les espèces autochtones.

4) Conduire des essais de reboisement prospectifs sur les milieux et stations marginales, difficiles et d'altitude utilisant des espèces forestières pionnières. Dans l'exemple des stations de cèdre sur calcaire et aux altitudes 1.500 m – 2.000 m, l'utilisation du pin maritime de montagne, des provenances de cèdre des zones plus sèches et de cyprès de l'atlas est recommandée.

Axe 4 : Utilisation multifonctionnelle et valeur économique des écosystèmes forestiers

Les écosystèmes forestiers marocains sont soumis à des conditions climatiques méditerranéennes généralement peu propices à la production ligneuse intensive. La fonction de production de bois se trouve largement surpassée par les fonctions de production de valeurs d'utilisation indirecte (protection des ressources en eau et sols des bassins versants, des investissements et des équipements, sauvegarde et maintien de la diversité biologique, valeurs esthétique et paysagère, produits forestiers non ligneux, revenu rural, etc.).

Néanmoins, l'approche de la valeur économique totale des productions forestières dégage deux difficultés majeures: insuffisance des données fiables sur certains produits et services et choix des techniques et des indicateurs d'évaluation pertinents et appropriés au contexte socio-économique marocain. Ainsi les investigations doivent s'orienter en priorité vers les éléments suivants en rapport avec les modes d'utilisations des espaces boisés et leur évolution sous la contrainte du changement climatique, en particulier :

1) Elaboration des comptes économiques du secteur (productions de biens et services)

- délimitation du champ économique de la forêt au Maroc
- établissement d'une nomenclature des activités du secteur
- développement d'une méthodologie fiable de collecte de données sur une base annuelle,

2) Evaluation des coûts de la dégradation de la forêt

- Analyse des approches d'évaluation (méthodes de valorisation des effets écologiques) pour la mise au point d'une méthode appropriée pour les écosystèmes forestiers marocains ;
- Définition de la valeur économique globale (valeur d'usage directe, qui comprend les produits autoconsommés ; valeur des fonctions écologiques telles que la régulation du cycle de l'eau ; valeur des options qu'offre la préservation de la diversité génétique des espèces ;
- Evaluation des coûts de l'inaction en prenant comme guide la valeur économique globale.

L'importance de plus en plus grande des bénéfices que les écosystèmes forestiers offrent, qu'il s'agisse de produits traditionnels qui ont un marché ou des externalités positives, nécessite la mise au point de techniques et de procédures de classification et d'évaluation. Ces biens et services constituent une source importante de revenus pour les populations dépendant des écosystèmes forestiers.

3) Usages des espaces boisés et des pratiques sociales : les représentations culturelles, les prescriptions qui leur sont liées et les valeurs qui en découlent, les droits fonciers et les droits coutumiers qui règlent ces usages; les méthodes de gestion traditionnelles. Une meilleure évaluation de ces usages et de ces méthodes est essentielle pour développer les approches participatives et partenariales, élément fondamental de l'adaptation au changement climatique.

Axe 5 : Conservation des sols et lutte contre la désertification

La faiblesse technique et scientifique est particulièrement marquée dans les domaines de l'aménagement intégré des bassins versants, de la foresterie des zones marginales et arides, de la lutte contre la désertification et planification de l'utilisation des terres. La recherche doit s'orienter dans le sens d'investir davantage ces thématiques par la mise en œuvre de nouvelles approches de conservation et de gestion durable de ressources. Dans ce domaine de recherche, les actions suivantes sont proposées :

1) Évaluation de l'érosion et des techniques antiérosives

- Bilan des connaissances sur les techniques antiérosives;
- Conduire des essais sur les corrections mécaniques dans les sous bassins versants ;
- Conduire des essais sur les techniques biologiques à l'échelle des micros – bassins.

2) Adaptation des programmes de lutte contre la désertification, en particulier :

- évaluation de l'état des lieux avec analyse de l'impact des approches mises en œuvre ;
- élaboration d'indicateurs appropriés par zone homogène, et d'un cadre pour la proposition d'objectifs stratégiques et opérationnels ;
- mise en place d'un système de suivi - évaluation opérationnel comme approche pour la mesure des résultats des actions entreprises ;
- définition des liens entre le changement climatique et la désertification, en vue d'une stratégie prospective d'adaptation.

7.4. Perspectives multisectorielles d'adaptation au niveau national

7.4.1. De la nécessité d'une approche holistique des impacts et l'adaptation au changement climatique

Le changement climatique est décrit aujourd'hui comme « l'un des défis majeurs de l'environnement les plus urgents auxquels l'Humanité est confrontée ». Il peut avoir des répercussions sur toutes les régions et sur tous les secteurs de l'économie à des degrés variables. Il est largement reconnu que le changement climatique s'intensifiera en dépit des mesures visant à réduire les émissions de gaz à l'effet de serre. Aussi, l'adaptation est-elle un complément indispensable de l'atténuation dans la lutte contre le changement climatique. L'adaptation entraîne essentiellement une modification de décisions et de la façon de penser et d'agir en fonction du changement climatique constaté ou prévu, en vue d'en atténuer les effets, voire de saisir ses opportunités (Donald et Fiona, 2004).

Aujourd'hui, l'action des pouvoirs publics au Maroc demeure très limitée en situations de crise, où l'on demande aux citoyens de consentir des efforts pour réduire des dommages prévisibles à court terme (consommation d'eau, d'énergie, bois de feu, pollution, déchets, etc.). **Une réflexion globale doit être engagée sur le long terme, dans le cadre de l'adaptation au changement climatique.** Toutefois la construction d'une stratégie d'adaptation efficace devra reposer sur une meilleure connaissance de la vulnérabilité du pays au changement climatique. Cette vulnérabilité est définie selon trois facteurs : la nature du changement climatique, la sensibilité climatique du système ou du territoire en cause et la capacité de s'adapter à des changements qui en résultent.

Le processus d'adaptation doit s'appuyer sur une base institutionnelle solide et cohérente. Les institutions fournissent ou identifient les ressources humaines et techniques et mettent en place des organismes chargés d'atteindre des objectifs précis. Cette base devrait conduire à l'établissement d'un cadre politique qui inclurait l'adaptation comme étant partie intégrante des politiques nationales et des politiques sectorielles actuelles, plutôt que de développer une politique d'adaptation spécifique. Cette approche reconnaît à la fois la nature intersectorielle du changement climatique et contribue à faire un usage plus efficace des ressources et institutions existantes. Mais, il est indispensable, avant tout, de créer une vision largement partagée, par une meilleure information à tous les niveaux.

Un cadre politique propre à l'adaptation peut s'organiser autour d'un « Programme national sur les impacts et l'adaptation au changement climatique » qui devrait impliquer l'ensemble des parties intéressées, y compris les pouvoirs publics, les institutions, les ONG et le secteur privé. Ce cadre, qui doit être instauré en accord avec la situation institutionnelle, sociale et économique du pays afin de pouvoir le lier aux politiques en vigueur, devrait coordonner les mesures propres au changement climatique et les mesures propres aux autres secteurs et permettre de décider des niveaux adéquats pour la conduite des activités, tout en assurant un échange de savoir-faire et d'informations.

Les mécanismes politiques relatifs aux stratégies d'adaptation doivent comprendre des **mesures juridiques et réglementaires**, des **mesures financières et économiques**; et des **mesures encourageant la participation du public**. L'effort d'adaptation ne peut reposer entièrement sur la contrainte réglementaire ou sur des subventions. C'est donc l'ensemble des décideurs privés et publics qui doivent intégrer l'adaptation dans leurs choix.

Des stratégies d'adaptation nationales sont en cours d'élaboration dans quelques pays européens de la région méditerranéenne (par exemple, France, Espagne, Portugal,...) ; et plusieurs pays procèdent à des évaluations multisectorielles du changement climatique (par exemple, Canada, Suède, Espagne) ; d'autres pays mettent en place des mesures d'adaptation dans le cadre de la gestion de la prévention des risques, de la protection de l'environnement et des ressources durables (par exemple, Italie, France) (Meiner, 2006).

La mise en œuvre de la stratégie et des programmes d'adaptation sera guidée notamment par l'application des principes suivants (ONERC, 2006) : **(i)** le souci de l'équité, qui exige d'associer toutes les collectivités et catégories socioprofessionnelles susceptibles de subir les conséquences du changement climatique ; **(ii)** l'anticipation des situations de crise, autant que cela sera possible ; **(iii)** les aides et les subventions ne doivent pas conduire à faire perdurer des situations sans issue, mais plutôt favoriser les évolutions et les diversifications économiques dans une optique de développement durable; **(iv)** le souci d'une meilleure articulation avec l'atténuation .

7.4.2. De la promotion d'une approche adaptée aux territoires

Le changement climatique appelle à une réflexion approfondie sur la conciliation, l'adaptation et la mise en cohérence des utilisations des terres avec leurs vocations. En effet, la gestion des espaces ne s'accommode plus de l'addition des politiques sectorielles, mais impose, au contraire un arbitrage des « conflits » et des politiques de développement dans l'espace et dans le temps.

Une politique nationale d'adaptation ne peut pas se concevoir sans la participation active des collectivités territoriales au côté de l'Etat. En effet, les impacts concernent d'abord, le niveau territorial qui en souffrira directement et se trouve être le plus opportun pour évaluer sa vulnérabilité de façon approfondie, ainsi que les actions à entreprendre pour la réduire. En outre, les phénomènes en cause relèvent souvent de spécificités territoriales, voire locales, qui les rendent, de ce fait, difficilement comptabilisables par un seul organisme placé à un niveau national.

Dans ce contexte, divers échelons territoriaux doivent donc être mobilisés au titre des compétences qu'ils exercent : l'échelon régional a un rôle essentiel dans la planification territoriale, et il a aussi pour compétence de promouvoir le développement économique et social conjointement avec l'Etat. Ainsi, le pilotage d'études, d'évaluations régionalisées et des structures correspondantes constituerait un premier pas vers l'émergence d'un système de gouvernance adapté qui associerait les services de l'Etat et des collectivités territoriales et s'ouvrirait à la société civile selon les circonstances du lieu et du moment.

Une telle démarche devrait aider les collectivités territoriales à élaborer leurs propres stratégies d'adaptation. Il est également indispensable de favoriser la prise en considération de la question de l'adaptation au changement climatique dans tout document de planification territoriale quel que soit le niveau géographique et le secteur sur lequel il s'exerce.

7.4.3. Des possibilités de financer les actions d'adaptation

A l'échelle internationale, les questions relatives à l'adaptation sont devenues un important sujet de négociations et de discussions sur le changement climatique. A cet égard, plusieurs initiatives ont été menées pour promouvoir l'adaptation dans les pays en développement, avec la création de trois fonds, gérés par le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM) :

- 1. Le Fonds spécial pour les changements climatiques** (30 M\$). Les actions prioritaires concernent notamment les mécanismes d'adaptation dans les domaines de l'eau, des terres, agriculture, santé, infrastructures, écosystèmes, zones côtières, catastrophes climatiques (inondations / sécheresses) ;
- 2. Le Fonds pour les pays les moins avancés** (35 M\$). Ce fonds doit soutenir le programme de travail de ces pays, en particulier pour la préparation et la mise en œuvre des programmes d'action nationaux d'adaptation (PANA) ;
- 3. Le Fonds d'adaptation du protocole de Kyoto.** Ce fonds doit permettre de financer des programmes et des projets concrets d'adaptation. Outre les contributions volontaires des pays industrialisés, le financement sera assuré par un prélèvement de 2% sur la valeur des Unités de réduction certifiée des émissions (URCE) générés par les projets « Mécanisme de Développement Propre » (MDP).

7.4.4. Mécanismes internationaux d'appui à l'intégration de l'adaptation au changement climatique au niveau des plans nationaux de développement

La CCNUCC, le Protocole de Kyoto (notamment le plan d'action de Nairobi, CMAE, 2003) et d'autres instruments ont élaboré des mécanismes et programmes pour réduire la vulnérabilité, venir en aide aux habitants et protéger les écosystèmes, y compris les forêts, à des fins d'adaptation au changement climatique. Toutefois, une coopération régionale étroite, ainsi qu'une harmonisation des efforts lors des négociations futures sur un régime climatique post-Kyoto pourraient aboutir à un certain nombre de solutions et d'opportunités, particulièrement, dans les régions affectées et extrêmement vulnérables comme la région méditerranéenne (Castaneda, 2008),

En outre, il est essentiel de promouvoir un meilleur accès aux financements et de favoriser des synergies à l'aide de sources de financement externes au processus de changement climatique. Le PNUE et le PNUD ont lancé une initiative conjointe d'adaptation au changement climatique (le partenariat PNUD-PNUE sur le changement climatique) dont le but est de renforcer les efforts de collaboration existants entre les deux organisations afin d'aider les pays à atteindre un développement durable face au changement climatique (PNUE, 2006). L'un des deux objectifs principaux de ce partenariat est « **d'intégrer l'adaptation aux plans de développement nationaux et dans les cadres de coopération des Nations Unies** » et ce par le biais d'une approche fondée sur trois piliers :

- (i) **Stratégies nationales de développement**: le PNUD et le PNUE aideront les pays à évaluer leur vulnérabilité au changement climatique et à intégrer les stratégies d'adaptation dans la formulation et la mise en place de leurs politiques et plans d'investissement nationaux. Une synergie accrue entre la réduction des risques liés au changement climatique et le développement durable peut être atteinte en incorporant les stratégies d'adaptation aux efforts déployés afin d'atteindre les priorités de développement, telles la gestion des terres et le foncier; la sécurité alimentaire, en particulier la disponibilité et la qualité de l'eau; mais aussi des priorités de développement plus larges telles les questions liées à la gouvernance et au genre.
- (ii) **Programmation par pays des Nations Unies** : le partenariat permettra aux antennes des Nations Unies dans les pays membres d'intégrer les risques liés au changement climatique dans la formulation et la mise en place de cadres de coopération des Nations Unies et apportera son soutien aux pays membres dans la lutte contre les pratiques aggravant leur vulnérabilité au changement climatique. Ceci contribuera au renforcement de leurs capacités d'adaptation à la variabilité climatique et au changement climatique actuels.
- (iii) **Projets pilotes** : l'adaptation constitue un nouveau champ de travail complexe qui implique des décisions d'investissement à long terme face à un degré d'incertitude élevé. En tant que représentant du système de coordination des Nations Unies au niveau national, le PNUD prendra en compte l'expertise collective de tous les organismes des Nations Unies concernés afin d'élaborer des mesures d'adaptation dans les principaux secteurs affectés tels que l'agriculture, la sécurité alimentaire ; les ressources hydriques et l'aménagement des côtes.

Le PNUD et le PNUE faciliteront également l'accès de l'ensemble des organismes des Nations Unies concernés aux programmes de financement gérés par le FEM. Ces projets permettront aux pays d'évaluer les impacts du changement climatique ainsi que les options d'adaptation, de mettre au point des politiques et des mesures d'action et de valoriser les investissements de suivi. Les résultats de ces projets pilotes seront incorporés aux services consultatifs en matière de politique qui seront chargés d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans les plans de développement nationaux et les cadres de coopération des Nations Unies.

Références bibliographiques

1. **Achhal A., Akabli O., Barbero M., Benabid A., Mhirit A., Peyre C., Quezel P., et Rivas-Martinez S., 1980.** A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia mediterranea* 5. 211-249.
2. **Agoumi A., Naji A., et Rahib H., 1995.** « Changements climatiques : évolution régionale (Maroc) » *Revue Marocaine de Génie Civil, numéro (Avril 1995).*
3. **Agoumi A., 2005.** La vulnérabilité hydrique du Maroc face aux changements climatiques : La nécessité des stratégies d'adaptation. Objectif terre, *Bulletin de liaison du développement durable de l'espace francophone* ; Edition spéciale Changements climatiques, Novembre 2005 ; OIF-AIF-IEPF ; p :36-38.
4. **Alexandrian D., 2008.** Amélioration du modèle des cartes statiques, fonctionnement et hébergement de l'application pour les cartes dynamiques. Convention « FAO/UTF/MOR/028/MOR Appui à la mise en œuvre du programme forestier national » ; FAO, Rome.
5. **Alibou J., 2002.** Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc. MATEUH (Départ. Environnement), UICN, 42 pages.
6. **Allen C.D., 2007.** Cross-scale interactions among forest dieback, fire, and erosion in northern New Mexico landscapes. *Ecosystems*, 10:797-808.
7. **Allen C.D., 2009.** Le dépérissement des forêts dû au climat : un phénomène planétaire croissant ? *Unasylva* 231/232, Vol. 60, p.: 43-49.
8. **Allen C.D., et al., 2009.** Drought-induced forest mortality: a global overview reveals emerging climate change risks. (*à publier*).
9. **Anon. ; 1999 (a).** Inventaire forestier National. Rapport de synthèse. Ministère Chargé des Eaux et Forêts. Rabat (Maroc). 37p.
10. **Anon., 1995(a).** Etude sur les Aires Protégées. Rapport de synthèse et définition d'une Stratégie pour la mise en œuvre. Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat (Maroc) ; 110p.
11. **Anon., 1995(b).** Plan National d'Aménagement des Bassins Versants. Rapport de synthèse : Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat (Maroc) ; 58p.
12. **Anon., 1995(c).** Stratégie National pour la Protection de l'Environnement et le Développement Durable. Projet PNUD/UNESCO : MOR/90/001. Ministère de l'Environnement. Rabat ; (Maroc) ; 128p.

- 13. Anon., 1996.** Actes du Colloque National sur les forêts. Ifrane 21-23 mars 1995. Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols. Rabat (Maroc).
- 14. Anon., 1997.** Plan directeur de Reboisement. Administration des Eaux et forêts et de la Conservation des Sols. Rabat (Maroc), 118p.
- 15. Anon. ; 1998.** Plan National de la Biomasse - Energie. Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER). Marrakech, (Maroc), 98p.
- 16. Anon. ; 1999(a).** Inventaire forestier National. Rapport de synthèse. Ministère Chargé des Eaux et Forêts. Rabat (Maroc). 37 p.
- 17. Anon., 1999(b).** Programme Forestier National. (Vol I à IV). Ministère Chargé des Eaux et Forêts, Rabat (Maroc).
- 18. Anon., 1999(c).** Stratégie 2020 de Développement Rural. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches maritimes, Rabat, (Maroc).
- 19. Anon., 2000.** Définition d'une politique de montagne au Maroc. Atelier relatif à la préservation et la gestion durable des ressources naturelles. Rapport de synthèse. Ministère Chargé des Eaux et Forêts, Rabat (Maroc) ; 80p.
- 20. Anon., 2001(a).** Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification. Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Eaux et Forêts. Rabat (Maroc). 136p.
- 21. Anon., 2001(b).** Plan Directeur pour la Prévention et la Lutte Contre les Incendies de forêts au Maroc. Ministère Chargé des Eaux et Forêts. Rabat (Maroc), 87p.
- 22. Anon., 2002(a).** L'aménagement des bassins versants, une composante incontournable de la gestion durable des ressources en eau. Département des Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Rabat (Maroc) ; 23 p + annexes
- 23. Anon., 2002(b).** Plan d'action Environnemental. Ministère de l'Aménagement du territoire, de l'urbanisme de l'Habitat et de l'Environnement, Rabat, Maroc ; 102p.
- 24. Anon., 2009.** Stratégie nationale de surveillance et de suivi de la santé des forêts. Manuels techniques. Ed. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification et FAO ; Rabat (Maroc) ; 227p.
- 25. Aussenac G., et Guehl J.M., 1994.** Dépérissement et accidents climatiques, Rev. For. Fr. 46 (1994) 458–470.
- 26. Aussenac G., 2000.** Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture, Ann. For. Sci. 57 (2000) 287–201.

- 27. Babin D., et al., 1997.** Médiation patrimoniale et gestion subsidiaire. Document de travail pour l'atelier « Managing Pluralism for sustainable forestry and rural développement » CIRAD, Montpellier (France) ; 32p.
- 28. Badeau V., Becker M., Bert G.D., Dupouey J.L., Lebourgeois F., et Picard J.F., 1996.** Long-term growth trends of trees: ten years of dendrochronological studies, in: Spiecker et al. (Eds.), European Forest Institute Research, Report No. 5, Growth trends in European Forests, Springer-Verlag, 1996, pp. 167–181.
- 29. Bakhyi B., 2008(a).** Gestion antérieure de la forêt d'Azrou/dépérissement . Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national.* FAO, Rome.
- 30. Bakhyi B., 2008(b).** Guides de sylviculture. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national.* FAO, Rome.
- 31. Balling Jr R.C., Vose R.S., Weber G.R., 1998.** Analysis of long-term European temperature records: 1751–1995, *Clim. Res.* 10 (1998) 193–200.
- 32. Ballouche A. et Damblon F. 1988.** Nouvelles données palynologiques sur la végétation holocène du Maroc. In : Tissot C. Palynologie, écologie, paléoécologie : actes du Xème symposium de l'association des palynologues de langue française. Travaux de la section scientifique et technique de l'Institut français de Pondichéry 25. 83-90.
- 33. Becker M., Bert G.D., Bouchon J., Dupouey J.L., Picard J.F., Ulrich E., 1995.** Long-term changes in Forest Productivity: the Dendroecological Approach, in: Landmann G., Bonneau M. (Eds.), *Forest decline and air pollution effects in the French mountains*, Springer-Verlag, 1995, pp. 1-12.
- 34. Bégin Y., et Tessier L., 1998.** Changements environnementaux en milieux alpins et boréaux (Introduction). *Géographie physique et Quaternaire*, 1998, vol. 52, n° 2, p. 1- 3.
- 35. Benabid A., 1995.** Les grands écosystèmes naturels du Maroc saharien. Actes des journées d'études sur l'agronomie saharienne; atouts et contraintes -Errachidia, 7-9 Décembre 1994.
- 36. Benabid A., Fennane M., 1994.** Connaissances sur la végétation du Maroc : Phytogéographie, phytosociologie et séries de végétation. *Lazaroa* 14 : 21-97 (1994).
- 37. Benabid A., Fennane M., 1999.** Principales formations forestières au Maroc in « Le Grand Livre de le Forêt Marocaine ». Mardaga éditeur. 26-144.

- 38. Benabid A., 2007.** Description de la composition et de la structure des types de combustibles. *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR, Appui à la mise en œuvre du programme forestier national* FAO, Rome.
- 39. Benbrahim K.F., Ismaili M., Benbrahim S.F., et Tribak A., 2004:** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse* 2004; 15 (4) : 307-20
- 40. Beniston M., Rebetez M., Giorgi F., Marinucci M.R., 1994.** An analysis of regional climate in Switzerland, *Theor. Appl. Climatol.* 49 (1994) 135–159.
- 41. Beniston M., 2006.** Mountain Weather and Climate : A General Overview and a Focus on Climatic Change in the Alps. *Hydrobiologia* 562, no. 1. pp.3-16.
- 42. Birouk A., 2003.** La convention sur la diversité biologique et sa mise en oeuvre au Maroc. *Projet Ancre\ Inventaire des trois conventions et synergies entre elles ; 31 pages.*
- 43. Boisvenue C., et Running S.W., 2006.** Impacts of climate change on natural forest productivity-evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12(5): 862-882.
- 44. Bradley R.S., Diaz H.F., Eischeid J.K., Jones P.D., Kelly P.M., Goodess C.M., 1987.** Precipitation fluctuations over Northern hemisphere land areas since the Mid-19th century, *Science* 237 (1987) 171–175.
- 45. Brazdil H.R., Budikova M., Fasko P., Lapin M., 1995.** Fluctuations of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics, *Atmos. Res.* 37 (1995) 53–65.
- 46. Brazdil H.R., et al., 1996.** Trends of maximum and minimum daily temperatures in Central and Southeastern Europe, *Int. J. Climatol.* 16 (1996) 765–782.
- 47. Bréda N., 1998.** Analyse rétrospective de la croissance radiale des chênes de la forêt domaniale de La Harth (Haut Rhin). *Rapport scientifique, INRA*, 50 p.
- 48. Bréda N., 1999.** L'Indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. *Revue forestière française*, vol. LI, n° 2 spécial « Fonctionnement des arbres et écosystèmes forestiers. Avancées récentes et conséquences sylvicoles », 1999, pp. 135-150.
- 49. Bréda N., et Peiffer M., 1999.** Etude du bilan hydrique des chênaies de la forêt domaniale de la Harthe (Haut-Rhin) et impact des épisodes de sécheresse sur la croissance radiale des chênes. *Rapport scientifique, INRA*, 60 p.

- 50. Brocher P., 1977.** La sécheresse de 1976 en France : aspects climatologiques et conséquences. *Hydrological Sciences- Bulletin des Sciences hydrologiques*, Vol. 22 (3), pp. 393-411.
- 51. Candau J.N., 2008.** Impacts du changement climatique sur les insectes ravageurs des forêts méditerranéennes. *Forêt méditerranéenne*, t.XXIX, n°2, juin 2008.
- 52. Castaneda F., 2008.** Exigencies for adapting forests and their management and conservation to climate change in the Mediterranean Region. In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes », Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].
- 53. Carrion JS., 2003.** Sobresaltos en el bosque mediterráneo: incidencia de las perturbaciones observables en una escala paleoecológica. *Ecosistemas* 2003. [<http://www.aeet.org/ecosistemas/033/revision1.htm>].
- 54. CCE, 2007.** Adaptation au changement climatique en Europe: les possibilités d'action de l'Union européenne. Livre vert présenté par la Commission des Communautés Européennes au Conseil, au parlement européen, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des Régions. Bruxelles, le 29-6-2007 COM (2007) 354 final, {SEC(2007) 849}, 32p.
- 55. CCNUCC, 2007.** Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries. CCNUCC.
- 56. Chbouki N., 1992.** Spatio-temporal characteristics of drought as inferred from tree-ring data in Morocco. Ph. D Dissertation, university of Arizona, Tucson, Arizona.
- 57. Cheddadi R., Lamb H.F., Guiot J., et van der Kaars S., 1998.** Holocene climatic change in Morocco : a quantitative reconstruction from pollen data. *Climate dynamics* ; 14, 883-890.
- 58. Cheddadi R., Guiot J., et Jolly D. 2001.** The Mediterranean vegetation : what if the atmospheric CO2 increased ? *Landscape ecology* 16. 667-675.
- 59. Cheddadi R., et al., 2009.** Putative glacial refugia of *Cedrus atlantica* deduced from Quaternary pollen records and modern genetic diversity. *Journal of Biogeography* (J. Biogeogr.); Special Issue (2009); p.1-11.
- 60. Chouraichi A., 2008(a).** Caractérisation du sol, nutrition du cèdre et suivi de l'humidité. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national* » FAO, Rome.

- 61. Chouraichi A., 2008(b).** Etablissement des cartes de sensibilité du cèdre au dépérissement. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national* »; FAO, Rome.
- 62. CMAE, 2003.** Développement d'un plan d'action de l'initiative environnement du NEPAD. *Domaine d'intervention 5 : Lutte contre les changements climatiques en Afrique*. NEPAD-FEM-PNUE-CMAE. www.environment-directory.org/nepad.
- 63. Cook E.R., D'Arrigo R.D., et Briffa K.R., 1998.** A reconstruction of the North Atlantic Oscillation using tree-ring chronologies from North America and Europe. *The Holocene*, 8: 9-17.
- 64. CPF, 2008.** Strategic framework for forests and climate change: a CPF proposal FAO, Département de foresterie, Rome, 44p. (<http://www.fao.org/forestry/media/16639/1/0/>).
- 65. Dajoz R., 1996.** Précis d'écologie. 6ème édition, Dunod, Paris. 551 pages.
- 66. Demarteau M., 2006.** Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Mémoire pour l'obtention de Licence en Sciences géologiques. Univ. Liège, Fac. Sciences, Belgique ; 72 pages.
- 67. De Montgolfier J., et al., 2002.** Les espaces boisés méditerranéens. Les Fascicules du Plan Bleu. *Edit. Economica*. Paris ; 192p.
- 68. Derrak M., Mhirit O., Mouflih B., et Et-tobi, 2008.** Influence de la densité et du type de peuplement sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas à Sidi Mguild (Moyen Atlas marocain). *Forêt méditerranéenne*, Tome XXIX, n°1, mars 2008.
- 69. Dessens J., Barés A., 1996.** Evolution of the maximum and minimum temperatures in France from 1891–1992, *J. Meteorol.* 21 (1996) 41–48.
- 70. Diaz H.F., Bradley R.S., Eischeid J.K., 1989.** Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800's, *J. Geophys. Res.* 94 (1989) 1195–1210.
- 71. Donald S.L., et Fiona J.W., 2004.** Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne. Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques. Ressources naturelles Canada, Ottawa, Ontario ; 190p. <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective.f.asp>.
- 72. Dreyer E., Aussenac G., Granier A., Guehl J.M., 1992.** Sécheresse et physiologie des arbres. In *Les recherches en France sur les écosystèmes forestiers*. Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, Paris, pp. 95-96.

- 73. Driouech F., 2009.** Variabilité et changements climatiques au Maroc : Observations et projections. (EC/CNRM, Direction de la Météorologie Nationale). Conférence nationale : les changements climatiques au Maroc : défis et opportunités. Rabat, 11-12 février 2009 ; Centre d'Accueil et de Conférence CAC-Hay Riad, (Exposé Powerpoint, 37 slides).
- 74. Dubois-Laurent J.M., 2005.** Dynamique spatiale et temporelle de la végétation en France de 21 000 cal BP à 2100. Thèse de doctorat, Montpellier, Université de Montpellier II. 273 p, inedit.
- 75. Dubourdiou, 1997.** Manuel d'aménagement forestier. Office National des forêts. Edit. *Techniques et Documentation - Lavoisier, Paris*, 244 p.
- 76. Easterling D.R., et al., 1997.** Maximum and minimum temperature trends for the globe, *Science* 277 (1997) 364–367.
- 77. Emberger L., 1939.** Aperçu général sur la végétation au Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1/150000^{ème}. Veröffentlichungen des geobotanischen forschungsinstituts Rübel in Zürich 14.
- 78. Et-tobi M., Mhirit O., Mhamdi A., et Benziane M, 2001.** Réflexions et propositions pour l'élaboration d'un modèle sylvicole de protection phytosanitaire des Cédraies marocaines. *IUFRO - Working Group « silvicultural problems in mountain forests » 1.05.14. Sylviculture of cedar (Cedrus atlantica Endl. M.) and Cork oak (Quercus suber L.). 22 - 26 October 2001, Rabat, Morocco. Edit. CIFOR-INIA, Madrid (spain).*p : 103-120.
- 79. Et-tobi M., 2006(a).** Approche multidimensionnelle des relations « état sanitaire- station - sylviculture » pour l'étude du dépérissement des cédraies (*Cedrus atlantica* man.) au Moyen Atlas en vue d'élaborer un modèle sylvicole de prévention phytosanitaire. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat;191 pages.
- 80. Et-tobi M., 2006(b).** Concepts, définition et prédictions des dépérissements forestiers. Chapitre de l'ouvrage « Le cèdre de l'Atlas. Mémoire du Temps ». *Edition Mardaga, 2006* (ouvrage collectif).
- 81. Et-tobi M., 2007(a).** Description et analyse des conséquences du phénomène de dépérissement : Forêts de Ain Leuh (15 500 ha), Senoual (5 900 ha), Jbel Aoua Sud (7 700 ha), Bekrit (10 350 ha), Aghbalou Laarbi (14 200 ha), Azrou (17 700 ha). Etude du dépérissement du cèdre de la province d'Ifrane. HCEFLCD, DREF-MA (Meknès, Maroc).
- 82. Et-tobi M., 2007(b).** Guide de sylviculture des cédraies dépérissantes : Forêts d'Azrou, Senoual, Bekrit, Jbel Aoua Sud et Aghbalou Laarbi. Etude du dépérissement du cèdre dans les forêts de la province d'Ifrane. HCEFLCD, DREF-MA (Meknès, Maroc).

- 83. Et-tobi M., 2007(c).** Stratégies et programmes d'intervention des cédraies dépérissantes : Forêts d'Azrou, Senoual, Bekrit, Jbel Aoua Sud et Aghbalou Laarbi. Etude du dépérissement du cèdre de la province d'Ifrane, HCEFLCD, DREF-MA (Meknès, Maroc).
- 84. Et-tobi M., Mhirit O., et Mhamdi A., 2007.** L'essentiel des méthodes et instrumentation en écophysiologie. Editions Zaouia, Rabat, 2007, 144 pages. (Co-auteurs Mhirit O., et Mhamdi A.).
- 85. Et-tobi M., 2008.** Inventaire dendrométrique et phytosanitaire du cèdre de l'Atlas. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national* » FAO, Rome, 77 pages + annexes.
- 86. Et-tobi M., Mhirit O., et Benziane M., 2009.** Changements climatiques, dégradations et dépérissements : Arguments et nouveaux outils pour une réforme de la sylviculture des cédraies au Maroc. Actes des 3^{èmes} Assises de la recherche Forestière au Maroc : « L'écosystème cédraie : Un enjeu stratégique pour le développement régional », 16 et 17 Octobre 2008, (Khénifra, Maroc). Annales de la Recherche Forestière au Maroc.
- 87. Finsinger W., Tinner W., van der Knaap WO., Ammann B., 2006.** The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe ? *Quaternary Science Reviews*, 25(2006), 612-631.
- 88. Francois L.M., 2004.** Simulating vegetation dynamics with the CARAIB model. *In* : MILMO meeting Brussels, November 16-17. Power point. 31 p.
- 89. Francois L.M., Laurent J.M., Cheddadi R., Favre E., Suc J.P., Utescher T., et Micheels A., 2006.** Paleovegetation modelling with the CARAIB model. *In* : Open workshop on methods of quantitative climatic and environmental reconstruction based on temporal and spatial data. Guangzhou, China, June 12-14. Power point, 34p.
- 90. Giannakopoulos C., Bindi M., Moriondo M., Le Sager P., Tin T., 2005.** Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Rapport préparé pour le WWF. Observatoire national d'Athènes, Grèce.
- 91. GIEC, 1997.** Introduction aux modèles climatiques simples employés dans le Deuxième Rapport d'évaluation du GIEC. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Auteurs principaux: *Danny Harvey, Jonathan Gregory, Martin Hoffert, Atul Jain, Murari Lal, Rik Leemans, Sarah Raper, Tom Wigley, Jan de Wolde*. Février 1997 ; 61 pages.
- 92. GIEC, 2001.** Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. PNUE, OMM ; 101 pages.

- 93. GIEC, 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri R.K., et Reisinger A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- 94. Gitay H., Suárez A., Dokken D.J., Watson R.T., 2002.** Les changements climatiques et la biodiversité. (GIEC, 2002). Elaboré à la demande de la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique et préparé sous l'égide du Président du GIEC, Dr. Robert T. Watson.
- 95. Gomme R., et Balaghi R., 2008.** Changements climatiques et agriculture au Maroc : impacts et incertitudes. Journée Mondiale de l'Alimentation 2008 : La sécurité alimentaire mondiale : Les défis des bioénergies et du changement climatique. Co-auteurs: Cervigni R.; Khannoufi A.; El Hairech T., Babqiqi A et Driouech F.; Kanamaru H.; Rosillon D., et ElOuali A.; Doukkali R.; Libene M.J; Wilby R.; Göbel W ; (exposé Pw.point, 24 slides).
- 96. Goubitz S., Nathan R., Roitemberg R., Shmida A., Ne'eman G., 2004.** Canopy seed bank structure in relation to fire, tree size and density. *Plant Ecology*, 173, Kluwer Acad. Publishers, Pays-Bas.
- 97. Hasenauer H., Nemani R.R., Schadauer K., Running S.W., 1999.** Forest growth response to changing climate between 1961 and 1990 in Austria, *For. Ecol. and Manage.* 122 (1999) 209–219.
- 98. Hicke J.A., Logan J.A., Powell J., et Ojima D.S. 2006.** Changing temperatures influence suitability for modelled mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) outbreaks in the western United States. *Journal of Geophysical Research*, 111:GO2019.
- 99. Higgins S.I., et al., 2003.** Forecasting plant migration rates: managing uncertainty for risk assessment. *Journal of Ecology*, 91, 341-347.
- 100. Hoff, C., et Rambal S., 2000.** Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques. In: *Impacts potentiels du changement climatique au XXIe siècle, seconde édition 2000*, pp.88-98. http://www.effet-de-serre.gouv.fr/impacts_en_france (accédé décembre 20, 2007).
- 101. Hubert B., Francois L., Warnant P., et Strivay D., 1998.** Stochastic generation of meteorological variables and effects on global models of water and carbon cycles in vegetation and soils. *Journal of hydrology* 212-213. 318-334.
- 102. Hulme PE., 2005.** Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology*, 42 , 784-794.
- 103. Hunt B.G., et Davies H.L., 1997.** Mechanism of multi-decadal climatic variability in a global climatic model. *International Journal of Climatology*, 17: 565-580.

- 104. Hunt B.G., 1998.** Natural climatic variability as an explanation for historical climatic fluctuations. *Climatic Change*, 38: 133-157.
- 105. Hydraumet-PNUD, 2009.** Aperçu général sur l'état de la vulnérabilité du Maroc face aux Changements Climatiques - Présentation des premiers résultats de l'étude de Vulnérabilité et Adaptation sous la SCN. Conférence nationale : les changements climatiques au Maroc : défis et opportunités. Rabat, 11-12 février 2009 ; Centre d'Accueil et de Conférence CAC-Hay Riad, (Exposé Powerpoint) ; UNDP, Hydraumet.
- 106. INRA, 2000.** Les forêts face à l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère. Bulletin d'information de l'INRA, n° Février - mars 2000 ; Nancy ; 4 pages.
- 107. Kane R.P., et Buriti R.A., 1997.** Latitude and altitude dependance of interannual variability and trends of atmospheric temperatures. *Pure and Applied Geophysics*, 149: 775-792.
- 108. Karafyllidis I., 1998.** A model for the influence of the greenhouse effect on insect and microorganism geographical distribution and population dynamics. *Biosystems*, 45 : 1-10.
- 109. Karl T.R., Knight R.W., Easterling D.R., Quayle R.G., 1996.** Indices of Climate change for the United States, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77 (1996) 279–292.
- 110. Kirkup P.A., 2001.** Global biodiversity Scenarios for the year 2050 ; Application of species-area relationships to assess the impact of deforestation on the diversity of tree species. Degree of Master of Research in the natural environment, University of Edinburgh, august 2001.
- 111. Klink K., 1999.** Trends in mean monthly maximum and minimum surface wind speeds in the coterminous United states, 1961 to 1990, *Clim. Res.* 13 (1999) 193–205.
- 112. Koerner C., 1994.** Impact of atmospheric changes on high mountain vegetation, p. 155-166. In M. Beniston, édité., *Mountain Environment in Changing Climates*. Routledge, London.
- 113. Koskela J., et al. éd., 2007.** Climate change and forest genetic diversity, Implications for sustainable forest management in Europe. Rome, Italy. Biodiversity International. 134 p. <http://www.bioiversityinternational.org/publications/>
- 114. Kukla G., Gavin J., Schlesinger M., Karl T., 1995.** Comparison of observed seasonal temperature maxima, minima and diurnal range in North America with simulations from three global climate models, *Atmos. Res.* 37 (1995) 267–275.
- 115. Lamb H.F., et al., 1989.** An 18000 years record of vegetation, lake-level and climatic change from Tiguelmamine, Middle Atlas, Morocco. *Journal of Biogeog*, 16 : 65-74.

- 116. Lamb H.F., et al., 1995.** Relations between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones. *Nature* 373. 134 -137.
- 117. Lamb H., Roberts N., Leng M., Barker P., Benkaddour A., et van der Kaars S., 1999.** Lake evolution in a semi-arid mountain : responses to catchment change and hydroclimatic variation. *Journal of Paleolimnology*, 21, 325–343.
- 118. Landmann G., Bréda N., Houllier F., Dreyer E., et Flot J-L., 2003.** Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises ? *Rev. For. Fr.* LV - 4-2003. p:299-308.
- 119. Laurent J.M., Bar-Hen A., Francois L., Ghislain M., et Cheddadi R., 2004.** Refining vegetation simulation models : From plant functional types to bioclimatic affinity groups of plants. *Journal of vegetation science* 15. 739-746.
- 120. Lhafi A., Badraoui M., et Mhirit O., 2006.** Cadre naturel, environnement et territoire : une vision pour 2025. *Contribution au « Rapport sur le Développement Humain au Maroc »*. Rabat (Maroc); www.rdh50.ma.
- 121. Lhafi A., 2008.** Les écosystèmes naturels à l'épreuve des changements climatiques. Exposé Power Point présenté à l'Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES, Rabat), 7 novembre 2008 ; 57 slides.
- 122. MacDonald G. M., Szeicz J.M., Claricoates J., et Dale K.A., 1998.** Response of the central Canadian treeline to recent climatic changes. *Annals of the Association of American Geographers*, 88: 183-208.
- 123. Marçais B., 2007.** Changement climatique et Agents pathogènes forestiers. Conférence AgroParisTech-ENGREF « enseignement et changement climatique », Présentation *Power Point*, Nancy, le 25 octobre 2007.
- 124. MATEUH, 2000.** Le territoire marocain : Etat des lieux. Contribution au débat national sur l'aménagement du Territoire. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat (DAT) ; Edt Okad, 2ème édition ; 128 pages.
- 125. Medail F., et Quezel P., 2003.** Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen. *Bocconea*, 16(1), ISSN 1120-4060.
- 126. Meiner A., 2006.** Climate Change: a European Perspective. Agence Européenne pour l'Environnement.
- 127. Mhamdi A., et Rouchdi M., 2008.** Essai sur une approche d'analyse multidimensionnelle des données relatives au dépérissement du cèdre de l'Atlas. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention*

FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national ;
FAO, Rome.

128. **Mhirit O., 1973.** La productivité potentielle des formations forestières marocaines. ENFI, Salé (10 pages + 1 carte).
129. **Mhirit O., 1982.** Etude écologique et forestière des cédraies du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Thèse de doctorat es-sciences. Université Aix-Marseille. *Ann. Rech. For. au Maroc (n° spécial) Tome 22, p. 1-502.*
130. **Mhirit O., 1990.** Le cèdre de l'Atlas. Répartition, croissance et traitement sylvicole. XIX. Congrès mondial, IUFRO Montréal, août 1990, 23 p.
131. **Mhirit O., et Sbay H., 1991.** Catalogue des espèces forestières à usages multiples. Rapport technique, *Centre national de recherche forestière, Rabat, Maroc* ; 66 p.
132. **Mhirit O., 1993.** A propos de l'utilisation des données climatiques en matière de gestion et de conservation de la forêt. Journée d'information sur l'agrométéorologie (Rabat, 30 novembre 1993). *Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires* ; Décembre, 1993 ; p. 58-81 (*Spécial agrométéorologie*) ; vol 23, n° 93.
133. **Mhirit O., 1994.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea « Le Cèdre ». In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 - 11 Juin 1993. *Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial), 4-21.*
134. **Mhirit O., 1995.** Le chêne liège au Maroc. Inventaire, caractérisation des ressources génétiques des populations de *Quercus suber* au Maroc. FAO-Rome. (35 page + annexes).
135. **Mhirit O., 1999.** Les forêts méditerranéennes : espace écologique, richesse économique et bien social *Unasylva*. FAO n°197 ; pp 3-16.
136. **Mhirit O., et al., 1999.** Le Grand livre de forêt marocaine - Edition Mardaga - Belgique ; 280 p.
137. **Mhirit O., 2006.** Analyse des acquis des programmes en matière de suivi environnemental pour l'élaboration et la mise en œuvre du projet « DOSE » au Maroc. Observatoire du Sahara et du Sahel ; Tunis (Tunisie) ; 82p.
138. **Mhirit O., et Benchekroun F., 2006.** Les écosystèmes forestiers marocains: situation, enjeux et perspectives pour 2025. Contribution au « Rapport sur le Développement Humain au Maroc ». Rabat ; (Maroc) ; www.rdh50.ma.

- 139. Mhirit O., et al., 2008.** Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Rapport de synthèse des études thématiques. Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national. Rome, 151 p.
- 140. Mhirit O., 2008(c).** Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Rapport de synthèse. *Convention FO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national.* FAO, Rome, 100p.
- 141. Midgley G.F., Thuiller W., Higgins S.I., 2007.** Plant Species Migration as a Key Uncertainty in Predicting Future Impacts of Climate Change on Ecosystems: Progress and Challenges. In : Canadell JG, Pataki DE, Pitelka LF (Eds.) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World, Global Change - The IGBP Series.* Springer Berlin Heidelberg.
- 142. Mokrim A., 2008.** Etude bioclimatologique et dendrochronologique. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national* ». FAO, Rome.
- 143. Mokssit A., 2009.** Le Changement Climatique au Maroc: Observations et Projections. Rencontre Internationale sur le Changement Climatique : Enjeux et Perspectives d'adaptation pour le Maroc. Institut Royal des Etudes Stratégiques, Rabat, 16 Octobre 2009 (Exposé Power Point et résumé de communication).
- 144. Moorcroft P.R, Pacala S.W, Lewis M.A., 2006.** Potential role of natural enemies during tree range expansions following climate change. *Journal of Theoretical Biology*, 241.
- 145. Mouna M., 2008(d).** Analyse et diagnostic entomologique du cèdre de l'Atlas. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national » FAO, Rome.
- 146. Mortier F., 1995.** Le CO₂ et la forêt. Bulletin Technique de l'ONF 29, 159 p.
- 147. Nageleisen L.M., Saintonge F.X., Ramzi H., Lahlou M., et Stiki A., 2008.** Appui à la mise en place d'une stratégie nationale pour la surveillance et le suivi de la santé des forêts : Cas pilote de la région du Moyen Atlas. *FAO/ TCP/MOR/3101* ; FAO, Rome.
- 148. Nys C., Dupouey J.I, et Balesdent J., 1995.** Cycle du carbone dans l'écosystème forestier. Impact du milieu et de la sylviculture sur les immobilisations et les flux. Dossier de l'Environnement de l'INRA 10, 49-55.
- 149. Ohlemüller R., Gritti E.S, Sykes M.T, Thomas CD., 2006.** Towards European climate risk surfaces: the extent and distribution of analogous and non-analogous climates 1931-2100. *Global Ecology and Biogeography*, 15.

- 150. ONERC, 2006.** Adaptation au changement climatique : les propositions de l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique). Conseil d'Orientation de l'ONERC du 2 juin 2006, 56 pages.
- 151. ONF, 1999.** L'Eau et la forêt. Synthèse bibliographique réalisée par Christine Fort. Bulletin technique de l'ONF, n° 37, 1999, 240 p. (ISBN 2-84207-165-4).
- 152. Otto D., Rasse D., Kaplan J., Warnant P., et Francois L. 2002.** Biospheric carbon stocks reconstructed at the Last Glacial Maximum : comparison between general circulation models using prescribed and computed sea surface temperatures. *Global and planetary change* 33. 117-138.
- 153. Overpeck J., et al., 1997.** Arctic environmental change of the last four centuries. *Science*, 278: 1251-1256.
- 154. Overpeck J., Whitlock C., Huntley B., 2003.** Terrestrial Biosphere Dynamics in the Climate System: Past and Future. In : Alverson K, Bradley R, Pedersen T (Eds.) *Paleoclimate, Global Change and the Future*, IGBP Synthesis Volume. Springer- Verlag, Berlin, Allemagne, 81-111.
- 155. Papageorgiou AC., 2008.** Mediterranean forest genetic diversity and adaptive conservation strategies. In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF «Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes » Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].
- 156. Parmesan C., 2006.** Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2006, 37, 637-69.
- 157. Parry M., et Carter T., 1998.** *Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach*, Londres, Royaume-Uni, Earthscan Publications Ltd., 1998, 166 p.
- 158. Peñuelas, J., Lloret, F. et Montoya, R. 2001.** Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science*, 47:214-218.
- 159. Peñuelas P., Boada M., 2003.** A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9(2), 131-140.
- 160. Petit JP., Hampe A., Cheddadi R., 2005.** Climate changes and tree phylogeography in the Mediterranean. *TAXON*, 54(4): 877-885.
- 161. Peyre C., 1979.** Recherches sur l'étagement de la végétation dans le Massif du Bou Iblane (Moyen Atlas oriental, Maroc). Thèse Univ. Droit. Econ. Science. Aix- Marseille, 1-149.

- 162. Picon C., Guehl J.M, et Aussenac G., 1996.** Growth dynamics, transpiration and water-use efficiency in *Quercus robur* plants submitted to elevated CO₂ and drought. *Annales des sciences forestières* 53, 431-446.
- 163. Pittock A.B., et Jones R.N., 2000.** *Adaptation to what and why? Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 61, 2000, pp. 9-35.
- 164. PNUD, 2007.** Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008. La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé. Éditions La Découverte, Paris ; 391 pages.
- 165. Pujos A., 1966.** Les milieux de la cédraie marocaine. Etude d'une classification des cédraies du Moyen Atlas et de la régénération actuelle dans les peuplements. *Ann. Rech. For. Maroc* 8 (1966) 1-383.
- 166. Quézel P., Barbero M., Bonin G., et Loisel R., 1990.** Recent Plant invasions, in the Circum-Mediterranean Region, in Di Castri et all. edit. «Biological Invasions in Europe and Mediterranean Basin, Kluwer Acad. Publ., p:51-60.
- 167. Raffa K.F., Aukema B.H., Bentz B.J., Carroll A.L., Hicke J.A., Turner M.G., et Romme W.H., 2008.** Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification: the dynamics of bark beetle eruptions. *Bioscience*, 58(6): 501-517.
- 168. REEM, 1999.** Rapport sur l'état de l'environnement du Maroc (REEM). Direction de l'Observation, des Etudes et de la Coordination, 1999. Département de l'Environnement, Maroc.
- 169. Regato P., 2008.** Adapting to Global Change: Mediterranean Forests. *Malaga, Spain: IUCN Centre for Mediterranean Cooperation. ii+254 pp.*
- 170. Reille, M., 1976.** Analyse pollinique de sédiments postglaciaires dans le Moyen Atlas et le Haut Atlas marocains: premiers résultats. *Ecologia Mediterranea*, 2, 153-170.
- 171. Reille M., 1977.** Contribution pollenanalytique à l'histoire holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc septentrional). *La recherches Française sur le Quaternaire* », *Suppl. Bull. A.F.E.Q.*, 50 : 53-76.
- 172. Robledo C., et Forner C., 2005.** Adaptation of forest ecosystems and the forest sector to climate change. *Forest and Climate Change Working Paper 2, FAO.*
- 173. Roman-Amat B., 2007.** Préparer les forêts françaises au changement climatique. Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. Décembre 2007.125 pages.

- 174. Rouchdi M., 2008 (a).** Application du nouveau modèle de calcul de risque pour l'élaboration de cartes statiques et de cartes de risque dynamique et la mise en place d'un site WEB. *Convention « FAO/UTF/MOR/028/MOR Appui à la mise en œuvre du programme forestier national »*. FAO, Rome.
- 175. Rouchdi M., 2008 (b).** Cartographie de la surface potentiellement menacée, du risque et de l'intensité des incendies. *Convention « FAO/UTF/MOR/028/MOR Appui à la mise en œuvre du programme forestier national »*. FAO, Rome.
- 176. Salinger J.M., 2005.** Climate variability and change : past, present and future- an overview. *Climatic Change*, 70(1-2), 9-29.
- 177. Saetersdal M., Birks H.J.B., et Peglar S.M. 1998.** Predicting changes in Fennoscandian vascular-plant species richness as a result of future climatic change. *Journal of Biogeography*, 25: 111-122.
- 178. Smit B., Pilifosova O., Burton I., Challenger B., Huq S., Klein R.J.T. et Yohe G., 2001.** «Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity », dans *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White, (éd.) 2001. Contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 877-912. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/641.htm (accès en octobre 2003).
- 179. Solomon A.M., et Kirilenko A.P., 1997.** Climate change and terrestrial biomass : What if trees do not migrate! *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6: 139-148.
- 180. Stockton C.W., 1988.** Current research progress toward understanding drought. *In Drought, water management and food production. Conference Proceedings Agadir (Morocco), November, 21-24. 1985 ; p :21-35.*
- 181. Theurillat J.P., 1995.** Climate Change and the Alpine Flora: Some perspectives, p. 121-128. In A. Guisan, J.L. Holten, R. Spichiger et L. Tessier, édit., *Potential Ecological Impacts of Climate Change in the Alps and Fennoscandian Mountains*. Conservatoires et Jardins botaniques de la Ville de Genève, publication hors série 8.
- 182. Thompson JD., 2005.** *Plant Evolution in the Mediterranean*. Oxford Univ. Press.
- 183. Thuiller W., Brotons L., Araujo MB., Lavorel S., 2004.** Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography* 27, 165-172.
- 184. Tinner W., Conedera M., Gobet E., Hubschmid P., Wehrli M., Ammann B., 2000.** A palaeoecological attempt to classify fire sensitivity of trees in the southern Alps. *The Holocene*, 10, 565-574.

- 185. Tinner W., Conedera M., Ammann B., Lotter A.F., 2005.** Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age. *The Holocene*, 15, 1214-1226.
- 186. Ushe M.B., 2005.** Conserver la diversité biologique européenne dans le contexte du changement climatique, Conseil de l'Europe, 2005.
- 187. Valdecantos A., 2008.** Post-fire restoration strategies/interventions to increase forest resilience against large forest fires exacerbated by climate change: The case of Valencia (Spain). In : Compte-rendu présenté lors de l'atelier international UICN-WWF « Adaptation au changement climatique dans la gestion et la conservation des forêts méditerranéennes », Athènes, 2008 [<http://www.uicnmed.org>].
- 188. Vennetier M., Vila B., Liang E.Y., Guibal F., Ripert C., Chandioux O., 2005.** Impacts du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française. *Ingénieries*, 44, 49-61.
- 189. Vivin P., Guehl J.M, Clément A., Aussenac G., 1996.** The effects of elevated CO₂ and water stress on whole plant CO₂ exchange, carbon allocation and osmoregulation in *Quercus robur* seedlings. *Annales des sciences forestières* 53, 447-449.
- 190. Walther G.R., et al., 2002.** Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- 191. Wang W.C., Portman D.A., Gong G., Zhang P., Karl T.R., 1992.** Beijing summer temperatures since 1724, in: RS Bradley R.S., Jones P.D. (Eds.), *Climate since AD 1500*, Routledge, London, 1992, pp. 210–223.
- 192. Warnant P., Francois L., Strivay D. et Gerard J.C. 1994.** CARAIB : A global model of terrestrial biological productivity. *Global biogeochemical cycles* 8, (3). 255-270.
- 193. Warnant P., 1999.** Modélisation du cycle du carbone dans la biosphère continentale à l'échelle globale. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences. Université de Liège. 276 p.
- 194. Yohe G., et Tol R.S.J., 2002.** « Indicators for social and economic coping capacity - moving toward a working definition of adaptive capacity », dans *Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions*, vol. 12, 2002, pp.25-40.
- 195. Ziat M'B., 1986.** Ecologie, productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.) dans le massif de Bou Iblane. Mémoire de 3^e cycle Institut agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 121 pages.
- 196. Zine Elabidine A., 2008.** Etude écophysiological du dépérissement du cèdre de l'Atlas. Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du programme forestier national ». FAO, Rome.

Listes des tableaux, figures, encadrés et photos

Tableau 1 : Classes d'occupations des terres

Tableau 2 : Types d'écosystèmes forestiers en fonction du bioclimat, des étages de végétation et du sol.

Tableau 3 : Productivité forestière potentielle moyenne par étage et par variante bioclimatique

Tableau 4 : Constat de l'évolution historique des températures et précipitations à l'échelle du globe et hypothèses

Tableau 5 : Projections des valeurs moyennes du réchauffement à la surface du globe pour la fin du 20^{ème} siècle

Tableau 6 : Dépérissement et mortalité des forêts liés à la sécheresse à l'échelle mondiale

Tableau 7 Caractéristiques essentielles de trois grands modèles dynamiques forestiers en région méditerranéenne

Tableau 8 : Synthèse des tendances observées de changement climatique durant les 45 ans derniers

Tableau 9 : Projections climatiques 2020 : variations des moyennes de température et des précipitations

Tableau 10 : Synthèse des projections futures du changement climatique au Maroc

Tableau 11 : Importance des dépérissements du cèdre dans le moyen Atlas

Tableau 12 : Projections par zone géographique des changements de température et de précipitations pour les principales essences forestières à l'horizon 2050 (Scénario A2)

Tableau 13 : Valeurs actuelles et projetées des précipitations moyennes et des températures estivales pour l'aire de répartition du cèdre de l'Atlas

Tableau 14 : Impact potentiel de l'augmentation de température sur les limites altitudinales du cèdre au Maroc

Tableau 15 : Simulation des limites altitudinales des étages de végétation du cèdre à l'horizon 2020 et 2100

Tableau 16 : Caractéristiques bioclimatiques et période moyenne actuelle de croissance (PMC) du cèdre de l'Atlas au Maroc

Tableau 17 : Nombre actuel de saison de végétation et nombre estimée par le modèle A selon la zone géographique

Tableau 18 : PMC actuelle et estimée par le modèle B, selon la zone géographique

Tableau 19 : Valeurs projetées (2050) du nombre de saison de végétation et de la PMC pour le cèdre de l'Atlas

Tableau 20 : Valeur moyenne annuelle des biens et services (millions de Dh)

Tableau 21 : Fréquence et durée de la sécheresse (1000-1984), Col du Zad, Moyen Atlas

Tableau 22 : Occurrences des sécheresses agricole (1940-2002)

Tableau 23 : Evolution des surfaces forestières au Maroc

Tableau 24 : Evolution des ressources en eau au Maroc à l'horizon 2020

Tableau 25 : Caractéristiques des observatoires Oued Mird, Issougui et Fezouata

Tableau 26 : Guides et parcelles prioritaires pour les forêts d'Azrou et Ait Youssi Lamekla

Tableau 27 : Liste des cartes de risque élaborées

Tableau 28 : Plan de mobilisation et d'intervention selon l'échelle de danger de départ de feu

Tableau 29 : Dépérissement de différentes essences forestières au niveau de la région du Moyen Atlas

Tableau 30 : Principaux déterminants de la capacité d'adaptation

Tableau 31 : Enjeux, orientations, actions possibles et conséquences

- Figure 1** : Superficies des principales essences forestières.
- Figure 2** : Répartition géographique des principales essences forestières au Maroc
- Figure 3** : Tempérament des espèces forestières climax en fonction du facteur température
- Figure 4** : Tempérament des espèces forestières climax en fonction du facteur précipitation
- Figure 5** : Aires bioclimatiques des essences forestières marocaines dans le climagramme d'Emberger
- Figure 6** : Période moyenne de croissance du cèdre de l'Atlas au Maroc
- Figure 7** : composantes du système climatique mondial qui jouent un rôle dans les changements climatiques
- Figure 8** : Profil des températures à l'échelle planétaire et interpolations obtenues à l'aide de modèles mathématiques : a) en utilisant les facteurs naturels, et b) en utilisant les facteurs naturels et effets des gaz à effet de serre et aérosols
- Figure 9** : Variations observées de la température moyenne à la surface du globe, du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe, et de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord.
- Figure 10** : Masse globale des glaciers : Déviation annuelle et perte de masse
- Figure 11** : Etendue minimum de la banquise : anomalies de la banquise de l'hémisphère nord
- Figure 12** : Émissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques
- Figure 13** : Caractéristiques résumées des quatre canevas de Scénarios d'émissions du GIEC
- Figure 14** : Emissions mondiales de GES
- Figure 15** : Prévisions (2000-2050) des pertes en espèces de plantes à l'échelle mondiale
- Figure 16** : Deux représentations de la migration des espèces forestières
- Figure 17** : Série pollinique illustrant un incendie comme élément moteur de changements brusques de la végétation, il y a de cela ~ 6000 ans BP
- Figure 18** : Représentation schématique des cinq réservoirs de carbone et des flux dans CARAIB
- Figure 19** : Prévalence des espèces végétales à distribution limitée en Méditerranée
- Figure 20** : Le sol une interface dans l'écosystème : influence du climat sur les propriétés, les réserves et les flux
- Figure 21** : Principaux effets des changements climatiques sur le cycle du CO₂ et des nutriments dans les sols
- Figure 22** : Interactions entre les processus climatiques et humains pouvant amener les écosystèmes dans des états critiques telle une augmentation de l'aridité ou accroître les risques de perturbations comme les incendies
- Figure 23** : Augmentation du nombre de jours (en semaines) comportant un risque d'incendie
- Figure 24** : Variations mensuelles de l'*Index Forêt-Météo* moyen de mai à octobre entre 1961-1990 et la période future (2030 à 2060).
- Figure 25** : Reconstitution des températures de janvier à Tigalmamine et pourcentages polliniques du cèdre
- Figure 26** : Localisation des sondages prélevés dans les lacs Dayet Ifrah et Dayet Iffir
- Figure 27** : Diagramme pollinique synthétique issu du lac Iffir
- Figure 28** : Reconstitution des températures de janvier, et expression de la cédraie en pourcentage par rapport aux autres espèces identifiées dans les analyses palynologiques (Lac Ifrah, Moyen Atlas)
- Figure 29** : Changement récent des types de bioclimats du Maroc
- Figure 30** : Précipitations moyennes cumulées sur la saison pluvieuse entre 1955 et 2004
- Figure 31** : Durée maximale de sécheresse de 1955 à 2004
- Figure 32** : Evolution des températures moyennes annuelles pour Rabat et Tanger (1960-2004).
- Figure 33** : Evolution récente des températures maximales et minimales pour quelques stations (1960-2000)

- Figure 34** : Schéma de la méthodologie du GIEC pour le développement de scénarios climatiques
- Figure 35** : Changements projetés pour les températures moyennes estivales
- Figure 36** : Changements projetés pour les cumuls pluviométriques d'hiver et de printemps
- Figure 37** : Changement dans les températures moyennes annuelles par zone agroécologique
- Figure 38** : Exemple de profils de pluies et ETP pour la station de Settat
- Figure 39** : Importance du dépérissement observé pour les principales cédraies du Moyen Atlas
- Figure 40** : Evolution de la température minimale, moyenne et maximale à Ifrane (1981-2006)
- Figure 41** : Evolutions des précipitations annuelles à Ifrane, et Azrou (1973-2003)
- Figure 42** : Evolution des précipitations neigeuses en cm à Ifrane (1958-2006)
- Figure 43** : Impact sur la croissance du cèdre au Moyen Atlas : *Evolution comparée de la largeur du cerne dans de cèdres sains et dépérissants*
- Figure 44** : Démarche de mise en évidence de l'impact des projections climatiques sur les principaux écosystèmes forestiers au Maroc
- Figure 45** : Etagement de la végétation du Jbel Tizirène dans le Rif central (*Transect actuel et transect simulée pour la fin du 21^{ième} siècle*)
- Figure 46** : Etagement de la végétation du Jbel Bou Iblane au Moyen Atlas oriental (*Transect actuel et transect simulée pour la fin du 21^{ième} siècle*)
- Figure 47** : Etagement de la végétation du Jbel Ayachi au Haut Atlas oriental (*Transect actuel et transect simulée pour la fin du 21^{ième} siècle*)
- Figure 48** : Tendances comparées du nombre actuel et ajusté de saison de végétation par zone géographique pour le cèdre de l'Atlas
- Figure 49** : Tendances comparées de la période moyenne de croissance actuelle et estimée par zone géographique du cèdre de l'Atlas
- Figure 50** : Tendances comparées des précipitations moyennes et de la PMC actuelle aux projections pour 2050
- Figure 51** : Processus et facteurs de dégradation des écosystèmes forestiers
- Figure 52** : Processus de dégradation et de déboisement d'une forêt de chêne vert dans le Rif
- Figure 53** : Evolution de la dégradation des surfaces des écosystèmes forestiers
- Figure 54** : Evolution des pertes cumulées en retenues de barrages
- Figure 55** : Répartition des zones touchées par l'érosion éolienne et l'ensablement au Maroc
- Figure 56** : Sensibilité à la désertification au Maroc
- Figure 57** : Evolution des incendies au Maroc (1960-2008)
- Figure 58** : Prévision du taux de disparition de la biodiversité du Maroc à l'horizon 2050
- Figure 59** : Réseau d'aires protégées du Maroc
- Figure 60** : Organisation et structuration des données de l'étude des causes de dépérissement
- Figure 61** : Schéma de l'élaboration des guides de sylviculture
- Figure 62** : Cartes de risque statiques de la région du Rif
- Figure 63** : Carte de risque dynamique du Rif : Prévisions de probabilité de départ de feu du 5/08/2008.
- Figure 64** : Réseau systématique de placettes permanentes (*maille 8 km x 8 km*)
- Figure 65** : Réseau de veille sanitaire par rapport au réseau systématique
- Figure 66** : Carte représentant la proportion d'arbres par forêt et par placette dont la mortalité des branches s'est accentuée entre 2007 et 2008
- Figure 67** : Premiers résultats de la santé des forêts du Moyen Atlas (*réseau systématique 8 km x 8 km*). Évolution 2007-2008 par essence (*Critère : mortalité des branches*)
- Figure 68** : Fourchette d'adaptation et seuils critiques
- Figure 69** : Les concentrations de dioxyde de carbone, les températures et le niveau de la mer devraient continuer à augmenter bien après une réduction effective des émissions.
- Figure 70** : Réponses possibles de la forêt au changement climatique (PCF)

- Encadré 1** - Types d'écosystème forestier dominant au Maroc
- Encadré 2** - Effet de serre et réchauffement climatique
- Encadré 3** - Scénarios de base utilisés pour les projections et prévisions de l'évolution du climat
- Encadré 4** - Bilan des catastrophes climatiques au Maroc en novembre 2002
- Encadré 5** - Impact du changement climatique sur le cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas
- Encadré 6** - Groupes de scénarios utilisés pour prévoir l'impact sur les écosystèmes forestiers
- Encadré 7** - Fonctionnement d'un écosystème à chêne vert (étude de cas)
- Encadré 8** - Les divers types de photosynthèse ou carboxylation
- Encadré 9** - Projections futures (GIEC) du changement climatique au Maroc
- Encadré 10** - Changements des températures moyennes et des précipitations moyennes saisonnières
- Encadré 11** - Projections des changements dans la tranche pluviométrique de certaines essences forestières formant massif ou accompagnant les essences principales.
- Encadré 12** - Grands traits écologiques et phytogéographiques du cèdre de l'Atlas
- Encadré 13** - Aperçu de la relation « Croissance – climat » pour le cèdre de l'Atlas
- Encadré 14** - L'écosystème « cédraies » du Moyen Atlas marocain : Espace socio -écologique et économiques multifonctionnel
- Encadré 15** - Processus de l'érosion des sols : causes, manifestations et impacts
- Encadré 16** - Stratégies, programmes et instruments de la politique gouvernementale mis en œuvre dans le domaine du développement durable et de l'environnement
- Encadré 17** - Stratégies, programmes de la politique gouvernementale mis en œuvre dans le domaine du développement durable et de l'environnement à caractère sectoriel
- Encadré 18** - Le Programme Forestier National marocain : Objectifs et programme à l'horizon 2020
- Encadré 19** - Les Observatoires ROSELT/OSS : organisation et fonctionnement
- Encadré 20** - Programme d'activité de l'observatoire de Oued Mird
- Encadré 21** - Facteurs discriminants du dépérissement du cèdre : contraintes d'aménagement
- Encadré 22** - Définitions de quelques termes de base (Adaptation)
- Encadré 23** - Stratégies potentielles face aux changements climatiques
- Encadré 24** - Un référentiel stratégique pour les forêts de la planète : Le Cadre de Partenariat sur les Forêts
- Encadré 25** - Cadre stratégique global d'adaptation des forêts marocaines au changement climatique
- Encadré 26** - Liste non exhaustive des caractéristiques relatives aux aires protégées intensifiant leur vulnérabilité au changement climatique
- Encadré 27** - Mesures et outils du Plan d'action national pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité

Photo 1 : Jeune cédraie en situation de dépérissement, Forêt d'Ait Youssi Lamekla

Photo 2 : Peuplement de cèdre de l'Atlas en cours de mortalité généralisée dans la forêt d'Azrou (Moyen Atlas)

Photo 3 : Aspect de cédraie marginale, relique et très vulnérable (Haut Atlas oriental)