

LA CÉDRAIE MAROCAINE : PROTECTION ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Omar MHIRIT

*Professeur de Sylviculture,
Ancien Directeur de l'École Nationale Forestière
d'Ingénieurs de Salé, Maroc*

Membre de l'Académie d'Agriculture de France



Introduction

Les forêts de cèdre de l'Atlas constituent un élément fondamental du paysage marocain dont le rôle environnemental de protection est prééminent avec des fonctions biopatrimoniales et récréatives singulières à fort ancrage socioculturel. Ces forêts ont joué un rôle fondamental dans la vie des populations au cours des différentes civilisations qui se sont succédées au Maroc. Une symbiose fructueuse s'est établie entre les marocains et la cédraie principale source de bois d'œuvre du pays mais aussi par d'autres produits, biens et services (bois de construction et combustibles ligneux pour les besoins domestiques, nourriture pour le bétail, stabilité de l'environnement et paysages, protection contre l'érosion, permettant une agriculture continue dans les piedmonts, les produits forestiers non ligneux.

Cependant cet espace multifonctions et multi-usages est soumis à des formes d'exploitation multiples dont la manifestation se traduit par leur dysfonctionnement et par leur appauvrissement en biodiversité et la perte de leur vitalité. Dans ce cadre de vulnérabilité de l'écosystème cèdre, le changement climatique, peut être révélateur et/ou amplificateur de l'évolution de ces processus et des menaces pour l'écosystème et pour les populations qui en dépendent. **Plus particulièrement, l'état de santé des forêts de cèdre dans le Moyen Atlas, durant les trois dernières décennies, est très préoccupant pour l'avenir de cet écosystème.**

Le présent article, après un bref rappel de l'histoire de la répartition du cèdre de l'Atlas au Maroc, décrit les particularités édaphoclimatiques et phytogéographiques de cet écosystème mettant en relief sa richesse et sa diversité biologique remarquables et analyse l'état et la complexité du phénomène de dépérissement et de dysfonctionnement des peuplements du cèdre. Une approche holistique intégrée et interdisciplinaire est proposée pour appréhender le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé dans la région.

Cette approche envisage l'intégration de plusieurs facteurs ayant trait aux caractéristiques physiques du sol, aux conditions trophiques et hydriques, dendrométriques, écophysiologiques, phytosanitaires ainsi qu'aux caractéristiques sylvicoles. A cet effet, les données nécessaires sont collectées par thématique mise en jeu selon un protocole unifié d'échantillonnage aléatoire simple avec un échantillon de 54 placettes, matérialisées dans la zone d'étude choisie pour l'étude.

L'article résume, par la suite, les résultats des études thématiques pour chacune des composantes : bioclimatologie et dendrochronologie, écophysiologie, sol et nutrition minérale des arbres, entomologie, inventaire dendrométrique et phytosanitaire et développe des synthèses axées sur la structuration et l'analyse multidimensionnelle de l'ensemble des données récoltées.

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 carte des densités et **(ii)** la carte de sensibilité du cèdre au dépérissement. Ces synthèses ont abouti à la proposition de trois programmes : un programme d'urgence de cinq ans, des guides de sylviculture et de gestion à moyen terme (durée d'application de l'aménagement des forêts étudiées) et un programme de recherche à long terme.

1. le cèdre de l'Atlas: histoire et répartition

1.1. Bref aperçu de la répartition historique du cèdre de l'Atlas

L'aire de distribution historique du cèdre de l'Atlas peut être reconstituée à partir des diagrammes palynologiques publiés dans les pays du bassin méditerranéen. Néanmoins, ces diagrammes recouvrent des périodes qui ne remontent pas au-delà du Pliocène de telle sorte que l'évolution spatio-temporelle du genre *Cedrus* pour les périodes antérieures reste difficile à appréhender.

Toutefois, des fossiles dont le nom évoque celui du genre actuel, *Cedrostrobus caneti*, *Protocedroxylon araucazioides*, *Cedrus lennieri*, *Cedroxylon reticulatum*, *Cedroxylon barremianum*, *Cedrus manehuldense* et *Cedrus oblonga*, ont été trouvés dans les formations d'âge crétacé et jurassique de Belgique, du Nord de la France, du Havre et de Haute Marne. Ces données paléobotaniques laissent supposer que les espèces de cèdres sont les descendants d'un ancêtre unique qui daterait du tertiaire.

En effet, le cèdre aurait fait son apparition au crétacé inférieur (120 millions d'années) en Europe. Durant le tertiaire ancien (entre 65 et 1 million d'années), il était probablement plus répandu qu'aujourd'hui. Du Miocène au Pléistocène (entre 25 et 1 million d'années), une espèce de cèdre en Europe connaît une histoire attestant d'une écologie recouvrant celle des trois espèces circumméditerranéennes actuelles (*Cedrus atlantica* au Maroc et en Algérie, *Cedrus libani* au Liban, Turquie et Syrie et *Cedrus brevifolia* à Chypre). Au quaternaire, le cèdre est signalé en France au Villafranchien, à la Sierra Nevada en Espagne aux Pléistocènes moyen et supérieur et représente l'élément méditerranéen de ces régions avec les espèces du genre *Juglans*, *Cistus*, *Vitis* et *Taxodium*.

Le caractère le plus frappant de l'aire du cèdre est son aspect disjoint, en considérant aussi bien la distribution du genre *Cedrus* que celle des espèces qui le composent. Les auteurs s'accordent pour affirmer que le cèdre n'existait pas depuis l'Holocène au sud de sa limite latitudinale méridionale actuelle mais, il est certain qu'au nord de cette limite, l'aire du cèdre était plus vaste que celle qu'on lui connaît actuellement et que sa répartition, après les glaciations du quaternaire n'a pas beaucoup évolué (Reille, 1977).

Au cours des derniers cycles climatiques, le cèdre de l'Atlas s'est développé durant deux épisodes climatiquement frais et humides du dernier glaciaire, environ autour de 23.000 ans. (Ballouche et Damblon 1988; Lamb et *al.*, 1989; Cheddadi et *al.*, 2009). Mais il est probable que l'assèchement du climat au cours du subatlantique (10.000 ans), aggravé par l'intensification de la pression humaine au cours des époques romaine, phénicienne, vandale et arabe, soit à l'origine de la contraction de l'aire du cèdre.

1.2. Le cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle actuelle

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Man.), espèce montagnarde, forme spontanément sept blocs distincts dans les montagnes de l'Afrique du Nord (Figure 1), dont quatre dans les montagnes marocaines avec une superficie de l'ordre de 133000 ha (Mhirit, 1987, 1999) et trois dans les montagnes algériennes (40 000 ha). Au Maroc, les principales forêts de cèdre sont décrites ci-dessous.

La cédraie du Mont Tazekka s'étend sur une superficie de l'ordre de 800 ha; le cèdre s'y développe sur schistes primaires non calcaires. Cette forêt, très dynamique présente beaucoup d'affinités floristiques avec les cédraies du Rif.

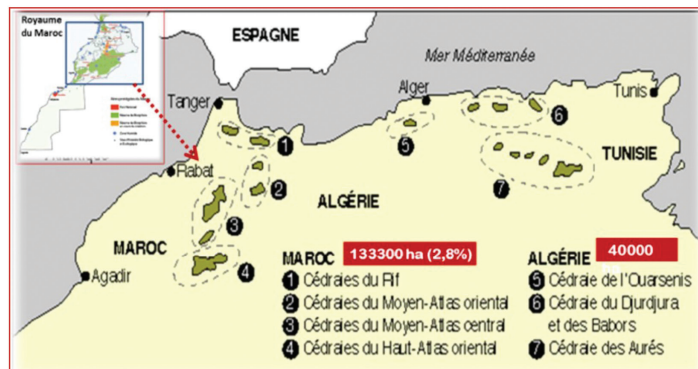


Figure 1: Aire de répartition du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord (Mhirit, 1982)

Les cédraies du Rif couvrent une superficie actuelle de l'ordre de 11500 ha, où le cèdre se développe, à partir de 1500 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.

Les cédraies du Moyen-Atlas central, d'une superficie de 76.000 ha (57% de la surface totale de la cédraie), constituent l'ensemble le plus important du cèdre de l'Atlas, sur substrat calcaire ou dolomitique du Lias et du Jurassique et sur des grès primaires. 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 (Pujos, 1966; Achhal *et al.*, 1980).

Les cédraies du Moyen-Atlas Oriental sont individualisées en petits îlots, de près de 18000ha, 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-Aalénien (Peyre, 1979; Ziat, 1986).

Les cédraies du Haut-Atlas Oriental occupent une surface de 27000 ha .Elles se développent sur les versants nord du Jbel Layachi et du Jbel Masker sur marno-schistes calcaires et présentent des affinités avec les cédraies du Moyen-Atlas Oriental (Quézel *et al.* 1987).

2. Originalité écologique du cèdre de l'Atlas

2.1. Particularités phytogéographiques

La forêt de cèdre apparaît de façon assez sporadique à partir de 1500 m) dans le Rif, de 1600 m dans le Moyen Atlas et de 1700 m dans le Haut Atlas oriental. La limite supérieure du cèdre peut atteindre 2400m au Jbel Tidighine dans le Rif et 2600m au Jbel Bou Iblane dans le Moyen Atlas oriental. Le cèdre est remplacé aux altitudes supérieures par le genévrier thurufère (*Juniperus thurifera*) et par de vastes tapis de xérophytes épineux caractéristiques des Atlas marocains.

Les fourchettes d'adaptation du cèdre de l'Atlas correspondent à des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 550mm à 1800mm et à des températures moyennes minimales et maximales de -13,3°C à 35,2°C. Le cèdre de l'Atlas occupe essentiellement les variantes fraîches à extrêmement froides des ambiances bioclimatiques perhumide, humide et subhumide) avec des températures moyennes minimales du mois le plus froid variant entre 9°C et -1°C.

Dans cet éventail biogéographique, le cèdre constitue sur les Atlas marocains des groupements végétaux variés dont la distinction entre cédraie atlantique et cédraie continentale répond à des réalités phytoécologiques. A ce titre, le cèdre de l'Atlas individualise un certain nombre groupements végétaux variés dans une amplitude altitudinale importante entre 1.500 m et 2.500 m (cf. Encadré 1).

Encadré 1. L'écosystème cèdre de l'Atlas : une richesse et une diversité biologique remarquables

- ✧ 20 types de milieux et de communautés végétales
- ✧ 60 familles floristiques (150 au Maroc)
- ✧ 1100 espèces végétales (22% de la flore marocaine)
- ✧ Taux d'endémisme : 25%
- ✧ 21 Sites d'intérêt biologique et écologique (SIBE), 10 zones humides d'importance internationale (Sites RAMSAR)
- ✧ 4 Parcs nationaux (Ifrane, Khénifra, Tazekka, Talassemtane et la Réserve de Biosphère du Cèdre de l'Atlas (mars, 2016) de 1.375.000 ha
- ✧ 37 espèces de mammifères : (*Singe, mouflon, sanglier, chacal, renard, Chat sauvage, écureuil, ...*)
- ✧ 209 espèces d'oiseaux
- ✧ 33 espèces reptiles et amphibiens

Ces groupements s'intègrent, d'après leurs critères floristiques et en fonction de leurs exigences écologiques, soit dans l'Ordre des *Quercetalia ilicis*, soit dans la classe des *Quercetea pubescentis* et dans l'Ordre de *Quercetalia atlanticae* (Lecompte 1969, Barbero et al., 1980; Peyre, 1979; Mhirit, 1982, Quézel et al., 1987). Ils peuvent être classés en quatre grands types de communautés végétales:

- a) **Les communautés végétales de la cédraie-sapinière** dans le Rif occidental (*Abies maroccana-Cedrus atlantica*) et dans les Babors en Algérie: le sapin de Numidie (*Abies numidica*) et le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) avec les espèces principales suivantes: l'if (*Taxus baccata*), le houx (*Ilex aquifolium*), le chêne à feuilles caduques (*Quercus mirbekii*), les érables (*Acer granatense* et *Acer obtusatum*);
- b) **Les communautés végétales de la cédraie à chêne vert**, avec *Ilex aquifolium* et *Acer monspessulanum* dans le Moyen-Atlas et le Rif occidental et central;
- c) **Les communautés de la cédraie mésophile** dans le Moyen-Atlas, le Rif, l'Ouarsenis algérien où dominent les espèces suivantes: *Argyrocyttis battandieri* et *Ilex aquifolium*;
- d) **Les communautés de la cédraie orophile** dans la dorsale calcaire du Rif; du Moyen-Atlas oriental et les Aurès en Algérie avec des genévriers: *Juniperus thurifera*, *Juniperus oxycedrus* et un grand cortège de xérophytes épineux.

La composition floristique des cédraies, sa signification dynamique et syntaxonomique et son évolution sont décrites en détail par ailleurs (Pujos 1966; Lecompte 1969; Mhirit, 1982; Peyre 1979; Barbero et al. 1980; Quézel et al. 1987)

Ces communautés végétales abritent une faune sauvage remarquable dont le représentant le plus emblématique est le singe “magot” (macaque de berbérie), espèce endémique du cèdre, mais l’on citera également le renard roux, la genette, le sanglier, la mangouste, le chat sauvage, le cerf de berbérie (réintroduit récemment dans le Parc National de Tazzeka) et de nombreux insectes et oiseaux (circaète, aigle botté, faucons, coucou, chouette hulotte, pic épeiche, rollier d’Europe, roitelet triple bandeau, bec-croisé des sapins, petit-duc, mésange bleue...). Les deux espèces les plus impressionnantes, le lion de l’Atlas et la panthère ont disparu, le premier dans les années 1920 et la seconde, récemment, dans les années 1980-1990.

2.2. Caractéristiques édaphiques et autoécologiques

L’originalité édaphique du cèdre de l’Atlas réside, tout particulièrement, dans sa rusticité et son indifférence à la nature lithologique du sol. Le cèdre se rencontre sur des substrats et des sols variés: sur des basaltes, de la dolérite, des marno-calcaires, des marno-schistes, des dolomies, des calcaires dolomitiques, des schistes et des grès au Maroc. Toutefois, il trouve son optimum sur les roches siliceuses et les sols meubles, à structure et texture hétérogène, profonds (> 60 cm), assez riches chimiquement et avec une réserve utile comprise entre 80 et 100 mm. Il accepte également une large gamme de pH, avec un optimum compris entre 4 et 6,5. (Figure 2).

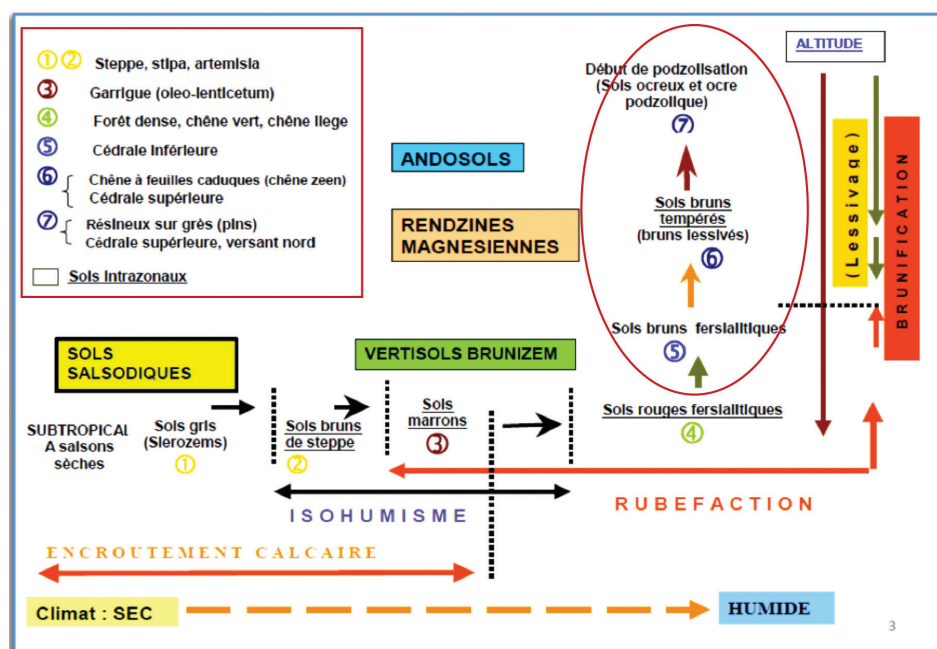


Figure 2: Place du cèdre dans l'ensemble écosystémique forestier structurant le paysage marocain en fonction des processus édaphoclimatiques (Mhirit, 2006)

Par contre, le cèdre trouve ses limites sur les sols dont l'aération est mauvaise: sols argileux mal structurés et compacts (notamment les marnes) ou sols à engorgement permanent ou temporaire, même peu marqué. Sa croissance est également réduite sur les sols très

acides sableux ou limono-sableux sur lesquels il souffre de problèmes nutritionnels et de sécheresse édaphique

Les types de sols rencontrés dans les cédraies, selon la classification française des sols, sont du type fersiallitiques sur calcaires, rendzine magnésienne sur dolomie, andosolique sur basalte, ocre podzolique sur grès avec une richesse en matière organique et en fer marquée (Lepoutre, 1961; Mhirit, 1982).

Le comportement autoécologique du cèdre de l'Atlas a fait l'objet de nombreuses recherches, en particulier, au niveau de la région méditerranéenne, au Maroc, en Algérie, en France, en Turquie, en Italie, **sur le plan écophysologique** (Abourrouh, 1983; Aussenac et al. 1981, Aussenac et Finkestein, 1983; Zaki, 1968; Till, 1985; Zine El Abidine et Adel, 2009; etc.), **sur le plan génétique** (Destremeau, 1974; Arbez et al., 1978; Mille, 1986; Bariteau, 1994; Panetsos et al. 1994; Derridj, 1994; Bariteau et Mhirit, 1997; etc.), **sur le plan phytosanitaire**: Mouna, 1982; Mouna, 1994 Fabre, 1994; Benhalima, 2004; etc.) et **sur le plan sylvicole** (Lepoutre 1966; Byoung Yi, 1976; Benmbarek 1985; Ziat, 1986; Mhirit et Postaire, 1983, Nedjahi, 1987; Mhirit, 1982, 1994; Toth 1994; Et-Tobi, 2006; Bakhyi et Mhirit, 2008; etc.). **Les résultats obtenus par ces auteurs, entre autres, permettent d'appréhender le comportement et les mécanismes autoécologiques nécessaires à la conservation et à la gestion durable des forêts de cèdre.**

Le cèdre de l'Atlas a été utilisé depuis longtemps dans quelques pays circumméditerranéens, d'abord comme espèce ornementale, et ensuite comme espèce de reboisement. Les dates d'introduction de 1886 en France, 1864 en Italie, 1890 en Bulgarie sont habituellement citées. Introduit en URSS, en Crimée et dans le Caucase vers 1890, le cèdre de l'Atlas fut employé dans les reboisements. Mais, c'est en France où l'espèce a été largement utilisée depuis la fin du XIX^{ème} siècle dans les basses et moyennes montagnes méridionales, avec l'objectif de constituer des peuplements stables en régénération naturelle. Ce sont principalement les régions du Languedoc-Roussillon et de Provence-Alpes-Côte-D'azur qui l'accueillent, souvent pour reboiser des forêts sinistrées (Toth, 1994). Le cèdre est très bien adapté à l'étage du chêne pubescent (étage supraméditerranéen) et sa surface avoisine 20 000 ha.

3. Fonctions, services et vulnérabilité écosystémiques du cèdre de l'Atlas

Les fonctions biopatrimoniales et de production de cet écosystème, de sa biodiversité et sa contribution à la protection de l'environnement et au développement socioéconomique du pays ainsi que les principaux enjeux sous-jacents pour une gestion durable sont résumés dans l'encadré 2 ci-après (Mhirit, 2017).

L'écosystème cèdre de l'Atlas est exceptionnel et à intérêts multiples. Sa capacité à résister au climat et à la pression humaine a été démontrée par le passé. La diversité des produits mobilisables joue un rôle très important; le bois d'œuvre; les fourrages, le bois de feu, le bois pour les usages locaux, constituent des apports économiques substantiels. D'autres produits tels que les plantes aromatiques et médicinales représentent un potentiel de développement significatif. De même, la stabilité de l'environnement et la protection contre l'érosion permettent une agriculture continue dans les piedmonts. Enfin, le

potentiel touristique de ces espaces forestiers de montagne est un gisement important de nouvelles activités économiques et d'emplois en milieu rural.

Encadré 2. Fonctions, services écosystémiques du cèdre de l'Atlas

La cédraie : 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 M DH/an
- **Consommation/foyer** de bois de feu : 10 T/an (550 H/mois/foyer)
- **Production forestières** non ligneuse : (lichen, fleurs, champignons, PAM, miel, fourrages, chasse pêche)

La cédraie : régulatrice du cycle de l'eau et garant 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 réduisent 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

La cédraie : espace de vie des sociétés pastorales

- **Espace pastoral** : 425000 ha (9%). 116,3 MUF/an (47% du bilan fourrager)
- **Revenu d'élevage/ménage usager** : 38 à 45% du revenu agricole total.

La faculté d'adaptation du cèdre dans des conditions difficiles, sa résistance aux incendies, la qualité de son bois, la valeur esthétique de ses peuplements, en font l'essence de base pour la reconstitution et la valorisation des forêts improductives ou dégradée dans la région méditerranéenne.

Espace multifonctions et multi-usages, les cédraies, sont soumis à des formes d'exploitation multiples à l'origine d'enjeux, écologiques, fonciers, socioéconomiques, dont la manifestation se traduit par leur dysfonctionnement et par leur appauvrissement en biodiversité (Figure 3).

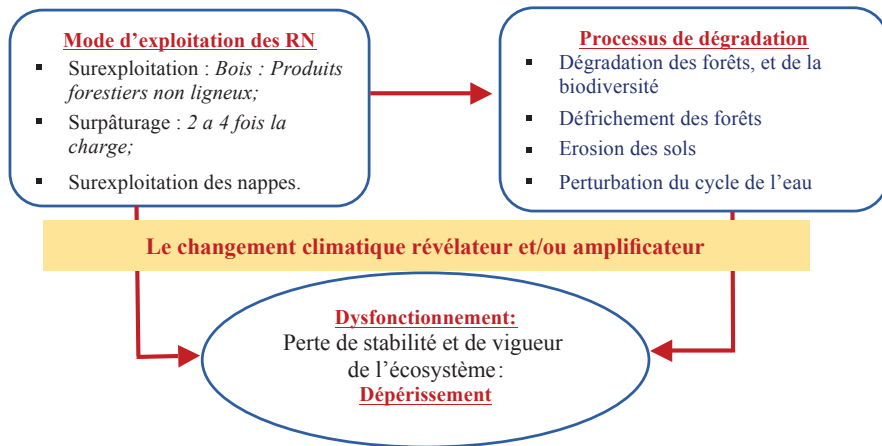


Figure 3: Fonctions sensibles de la cédraie et processus de vulnérabilité

Dans ce cadre de vulnérabilité de l'écosystème cèdre, liée aux processus biophysiques et anthropiques, le changement climatique, peut être révélateur et/ou amplificateur de l'évolution de ces processus et des menaces pour l'écosystème et pour les populations qui en dépendent. (Mhirit et Et-Tobi, 2009; Labhar et Lebaut, 2012). Plus particulièrement, l'état actuel de santé des forêts de cèdre et, notamment celles du Moyen Atlas, est très préoccupant. Des milliers d'hectares de cette essence sont dépéris et d'autres en voie de dépérissement. Des mortalités importantes sont en général constatées laissant planer de nombreuses interrogations sur l'avenir de cet écosystème (Mhirit et *al.*, 2008).

4. Les dépérissements : Préoccupation principale pour l'avenir du cèdre

4.1. Concept, état et évolution

Le dépérissement des forêts est un phénomène complexe dont les causes multiples ne sont pas aisément identifiables et hiérarchisables a priori. Leur origine est à rechercher dans l'action de plusieurs facteurs biotiques, écologiques ou anthropozoïques interagissant et se succédant d'une façon particulière, et entraînant une détérioration générale qui se termine souvent par la mort des arbres. D'une manière générale, trois niveaux de facteurs, en partie interchangeables, interviennent dans ce phénomène : **les facteurs prédisposants** (changements climatiques à long terme, pollution chronique, réduction de vigueur liée à l'âge...) contribuent à l'affaiblissement général des arbres; **les facteurs déclenchants** (sécheresse, insectes défoliateurs...) agissent de façon intense sur une période relativement courte et les **facteurs aggravants** (champignons, insectes...) accentuent la perturbation.

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); il est réapparu au cours de la décennie 1990-2000. La gestion de ce phénomène s'est traduite par les traitements phytosanitaires par des épandages aériens à base de produits biologiques (*Bacillus thuringiensis*) et chimiques qui sont des insecticides inhibiteurs de la croissance (*Diffubenzuron*) et se limitent à des coupes d'assainissement de bois mort. Les superficies traitées ont atteint 116 670 ha de cèdre au cours de la période de 1980 à 1990, 133 780 ha durant la période de 1991 à 2003.

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 des forêts. La figure 4 présente l'importance des dépérissements du cèdre dans les principaux massifs du Moyen Atlas et

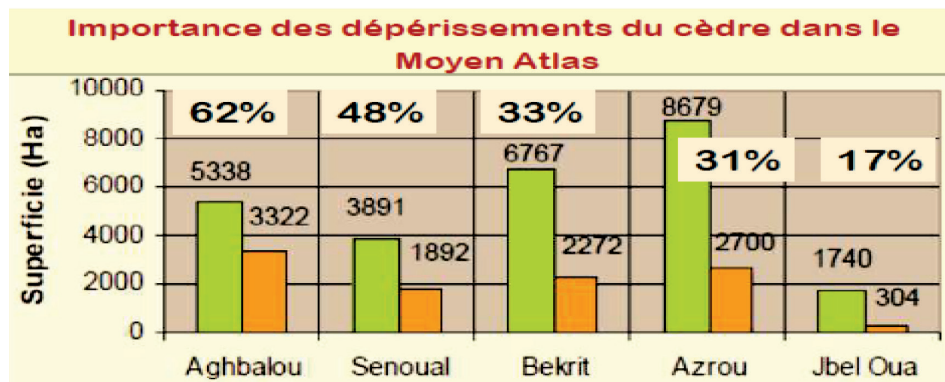
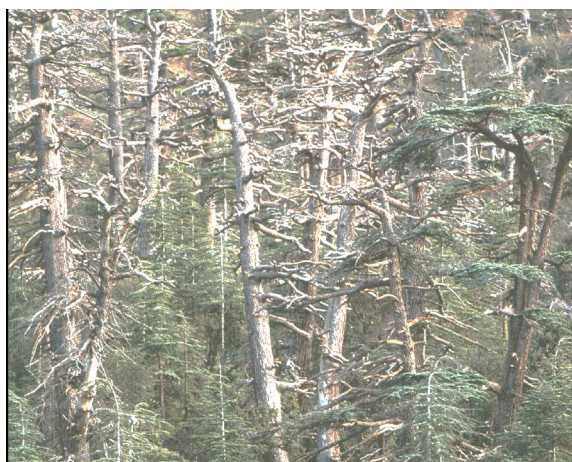


Figure 4: Importance des dépérissements du cèdre dans le moyen Atlas
(Source ET-Tobi, 2004)

montre que les dépérissements sont plus importants dans les massifs continentaux plus secs (forêt d'Aghbalou Larbi) que dans les massifs occidentaux plus humides (Forêt d'Azrou).



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

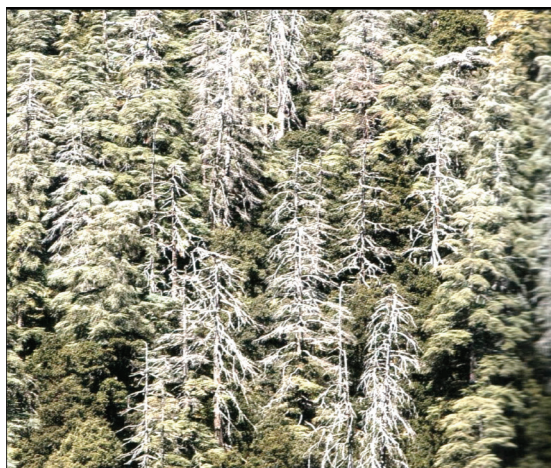


Photo 2 (droite): Peuplement de cèdre de l'Atlas en cours de mortalité généralisée dans la forêt d'Azrou (Moyen Atlas).

Cette situation a mis en relief l'importance du volet de la santé des forêts dans les stratégies de gestion durable des écosystèmes forestiers et conduit, dès 2003, à plusieurs actions, en particulier :

- (i) l'inventaire phytosanitaire au niveau des forêts de cèdre dans le Moyen Atlas;
- (ii) la cartographie générale des zones concernées par les dépérissements;
- (iii) l'estimation des volumes sur pieds de cèdre dépéris et morts pour un plan de gestion et d'assainissement des forêts dépérissantes;
- (iv) la mise en place d'un réseau de suivi de l'évolution de ce phénomène;
- (v) le lancement de l'élaboration d'une stratégie nationale de santé des forêts.

C'est dans ce cadre que le projet «**Etude des causes du dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas**» a été élaboré par le Département des Eaux et Forêts avec l'assistance de la FAO.

4.2. Méthode et matériel

Objectifs et zone d'étude

Les principaux objectifs des investigations prévues dans le cadre de ce projet, consistent à caractériser le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé et 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.

La zone d'étude concerne deux massifs forestiers contigus d'une superficie de 21.000 ha : la forêt d'Azrou (18.000 ha) et la forêt d'Aït Youssi Amekla (3.000 ha) qui relèvent de la province d'Ifrane (cf. Figure 5). Ces massifs, constituent un échantillon représentatif de la cédraie du Moyen Atlas marocain.

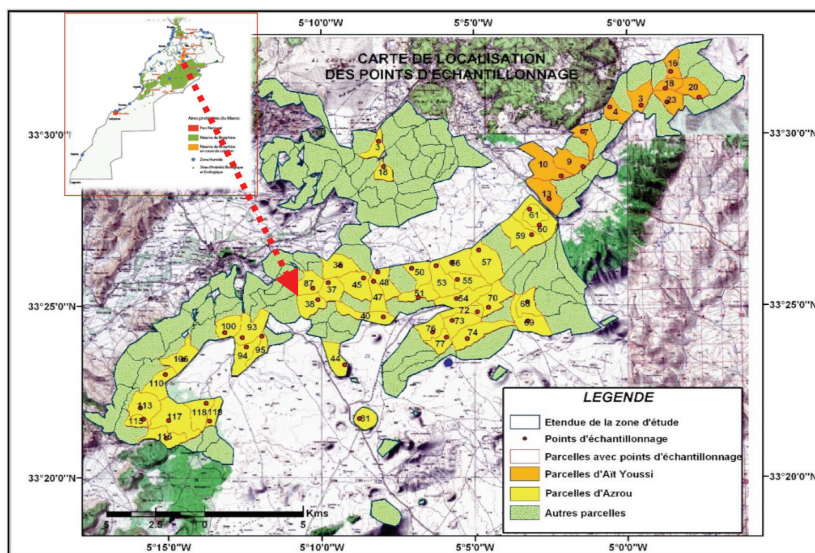


Figure 5: Carte de situation et de localisation des placettes échantillons

Protocole expérimental : Gestion et organisation de la base des données

La complexité du phénomène de dépérissement et de dysfonctionnement des peuplements du cèdre dans le Moyen Atlas exige une approche holistique et interdisciplinaire permettant d'appréhender pour mieux comprendre la problématique et structurer les informations pour mieux synthétiser et agir. Pour ce faire, les thématiques sont identifiées, eu égard à l'état des connaissances sur les dommages causés au cèdre et les agents causaux de ces dommages (Figure 6).

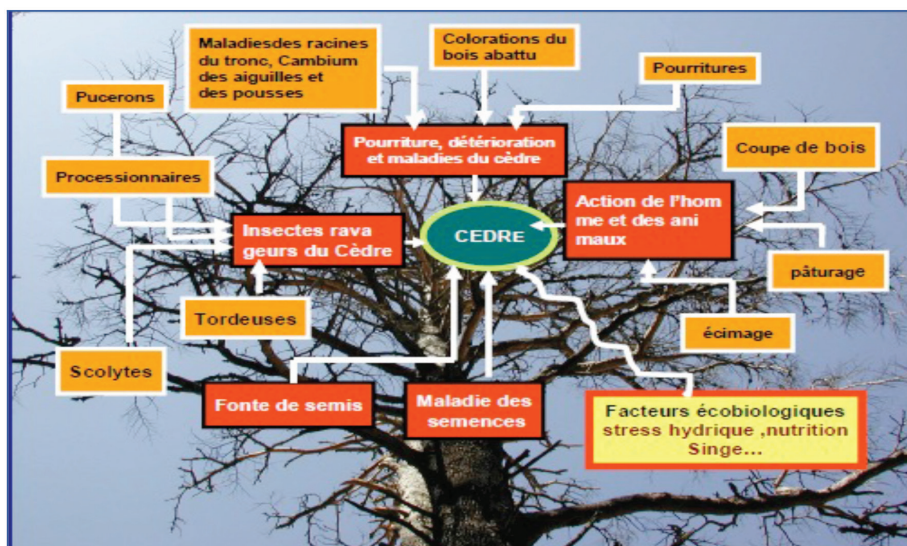


Figure 6: Dommages causés au cèdre (Mhirit et al., 2008)

Ces thématiques concernent la bioclimatologie, la dendrochronologie, l'écophysiologie, les sciences du sol, l'entomologie, la phytopathologie, la dendrométrie, la biométrie, le système d'information géographique et l'aménagement forestier.

Le support expérimental, à travers lequel sont recherchées les relations explicatives entre la santé du cèdre et les divers facteurs explicatifs (effets directs ou produits d'interaction) relevant de toutes les disciplines concernées dans l'étude, est un **protocole d'échantillonnage unifié, de type aléatoire simple probabiliste avec un échantillon de 54 placettes, d'un rayon maximal de 30 m, dont deux placettes témoins contenant des peuplements sains**. La figure 7 présente un schéma simplifié de l'organisation et de la dérivation des données pour les différentes analyses proposées.

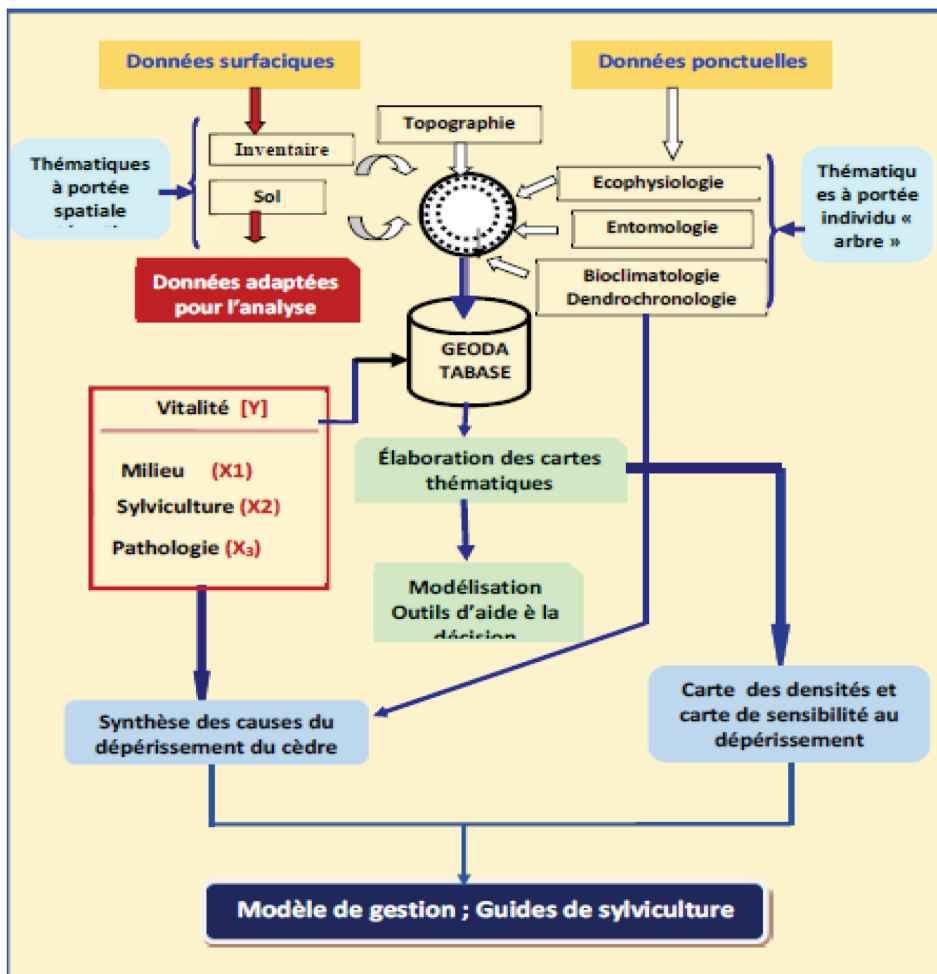


Figure 7: Organisation et structuration des données de l'étude

Source : Mhirit et al., 2008

Les données relatives à la zone d'étude en rapport avec les dépérissements de la cédraie, sont intégrées au Système d'Information Géographique, élabore à cet effet, selon leur format cartographique ou alphanumérique et structurées comme suit :

- (i) **Données cartographiques de la forêt d'Azrou** : cartes des types de peuplement réalisées lors de l'aménagement des forêts; cartes des dépérissements (émanant des données des descriptions parcellaires et ceux d'inventaire; cartes des facteurs topographiques, notamment, l'altitude, l'exposition et la pente;
- (ii) **Tables attributaires** : Outre les tables des attributs des cartes, les données descriptives d'études. Ces informations sont identifiées dans le Système d'Information Géographique par les numéros des placettes d'observation;
- (iii) **Modélisation et structuration des données** afin de permettre leur traitement en respectant les éléments suivants : la génération des surfaces par classe de dépérissement; l'élaboration de la carte de sensibilité du cèdre aux dépérissements qui servira comme support cartographique pour identifier les actions d'intervention future;
- (iv) **Elaboration des cartes thématiques possibles** à partir de la base de données stationnels, écologiques et celles relatives au dépérissement.

Du fait que toutes les données collectées sont alphanumériques et sont présentées soit sous format Excel ou sous forme de tableaux Word, il a été jugé nécessaire de les transformer en une base de données Access. Les tables de cette base de données sont importées à la base de données géospatiales d'ArcGIS et liées en considérant le schéma conceptuel de la base de données.

Les données à portée spatiale systématique constituées par les données de l'inventaire et de la pédologie sont fusionnées puis réparties selon l'affinité thématique en 4 groupes, en l'occurrence :

- i. **Un groupe de variables de structure écologique** ou considérées comme telles, qui expriment les conditions de croissance;
- ii. **Un groupe de variables de structure dendrométrique**, qui sous-entendent les conditions de concurrence et de compétition (problème d'espace vital de croissance);
- iii. **Un groupe de variable de structure symptomatique** traduisant l'intensité des dégâts et dommages phytosanitaires et anthropiques affectant les arbres de cèdre;
- iv. **Un groupe de variables de structure de santé de la forêt** qui exprime la vitalité des arbres (morts, dépéris, vigoureux).

Ce dernier groupe constitue la «structure à intérêt direct» de l'étude qu'on cherche à expliquer alors que les trois premiers groupes sont considérés comme des structures à rôle explicatif pouvant renseigner ou apporter de l'explication aux différents états de santé de la forêt. Les données de ces quatre groupes sont traitées par l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) moyennant une transformation et un codage adéquat des variables.

Les données relatives aux thématiques «écophysiologie, entomologie et dendrologie-climatologie», qui concernent des mesures ou observations sur des arbres dans un nombre restreint de placettes, sont utilisées en données auxiliaires pour appuyer l'interprétation des structurations et des typologies qui vont émerger dans le cheminement de l'analyse.

5. Résultats, acquis et conclusions

5.1. Analyses thématiques

Les analyses thématiques entreprises de façon interdisciplinaire, avec des approches scientifiques solidement établies, ont permis de décrire et d'analyser pour mieux évaluer l'impact des différents facteurs écologiques, anthropiques et sylvicoles, pris isolément, sur la santé des peuplements de cèdre de l'Atlas, mais aussi d'appréhender la complexité de leurs relations. Ces études thématiques sont réalisées pour les composantes : bioclimatologie et dendrochronologie, écophysiologie, sol et nutrition minérale des arbres, entomologie, inventaire dendrométrique et phytosanitaires et gestion antérieure des forêts. Les résultats et acquis de ces études sont résumés dans l'encadré ci-après :

Encadré 3. Facteurs discriminants /Dépérissement : contraintes d'aménagement

- **Modifications climatiques à tendance xérique** : sécheresse récurrente depuis plus 3 décennies :
 - Tendance à l'augmentation des températures : (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.
- **Action prépondérante du type de sylviculture pratiquée** : 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 non-respect des mises en défens.

En conclusion, 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. Bref, **le phénomène de dépérissement est le produit d'un cumul de stress de plusieurs facteurs sur plusieurs années.**

5.2. Analyse globales des données

La liste des variables et leur codification sont présentées dans le tableau 1. La figure 8 ci-après présente les cartes factorielles des typologies et identification des classes de santé du cèdre, des stations écologiques et peuplements forestiers et des symptômes et dommages phytosanitaires issues de l'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM). Les matrices de données analysées par l'AFCM sont constituées de 54 placettes en lignes et des modalités de chacune des variables en colonnes en codage disjonctif complet.

Tableau 1: Liste des variables et leur codification

CARACTERISTIQUES	MODALITES
I. variables de santé /vitalité	
1) Taux de mortalité (%)	0 ; 0-25 ; 25-50 ; >50 (4)*
2) Taux de dépérissement (%)	0 ; 0-20 ; 20-40 ; 40-66 (4)
3) Taux de vitalité (cèdre sain) (%)	0-25 ; 25-50 ; 50-75 ; 50-75 (4)
II. Variables du milieu : station écologiques	
4) Profondeur du sol (cm)	0-30 cm ; 0-60 cm ; 0-90 cm (3)
5) Taux d'argile (%)	0-25 ; 25-50 ; >50 (3)
6) Taux de limon (%)	0-25 ; 25-50 ; >50 (3)
7) Taux de sable (%)	0-25 ; 25-50 ; 50-75 ; >75 (4)
8) Réserve Utile en eau du sol (mm)	0-50 ; 50-100 ; 100-150 ; >150 (4)
9) Taux de calcaire actif (Caco3) (%)	0 ; 0-10 ; 10-40 ; 40-60 ; >60 (5)
10) Altitude (m)	1600-1700 ; 1700-1800 ; 1800-1900 ; > 1900
11) Exposition	N ; S ; E ; W ; NENW ; SESW
12) Pente (%)	0-5 ; 5-20 ; 20-35 ; > 35 (4)
13) Position topographique	Haut versant ; Mi versant ; Bas versant ; Replat
14) Substrat géologique	Basalte ; Dolomie calcaire ; Calcaire
15) Couvert forestier (%)	0-30 ; 30-50 ; 50-75 ; > 75 (4)
16) Structure forestière	Perchis : Jeune futaie ; Haute futaie (3)

III. Variables sylvicoles : peuplement forestier		
17) Densité totale (N/ha)	0-100 ; 100-250 ; 250-500	(4)
18) Surface terrière totale (m ² /ha)	0-20 ; 20-40 ; 40-60	(3)
19) Volume total (m ³ /ha)	0-100 ; 100-250 ; 250-500 ; 500-750 ; > 750	(5)
20) Densité de cèdre Vif (N/ha)	0-50 ; 50-150 ; 150-250 ; 250-500	(4)
21) Surface terrière de cèdre vif (m ² /ha)	5-15 ; 15-25 ; 25-50 ; > 50	(4)
22) Volume de cèdre vif (m ³ /ha)	0-50 ; 50-250 ; 250-500 ; > 500	(4)
23) Densité de cèdre Sec (N/ha)	0 ; 0-50 ; 50-150 ; > 150	(4)
24) Surface terrière de cèdre sec (m ² /ha)	0 ; 0-5 ; 5-15 ; 15-25	(4)
25) Volume de cèdre sec (m ³ /ha)	0 ; 0-50 ; 50-150 ; > 150	(4)
26) Densité de cèdre dépéris (N/ha)	0 ; 0-50 ; 50-100 ; 100-200 ; > 200	(5)
27) Volume de cèdre dépéris (m ³ /ha)	0 ; 0-50 ; 50-100 ; > 100	(4)
IV. Symptômes et dommages phytosanitaires		
28) Ebranchage	0 ; 0-2 ; 2-5	(3)
29) Blessures et mutilations	0 ; 0-5 ; > 5	(3)
30) Ecorçage du singe	0 ; 0-5 ; > 5	(3)
31) Nids de chenille	0 ; 1 ; > 1	(3)
32) Miel	0 ; 0-5 ; 5-15 ; > 15	(3)
33) Lichens	0-2 ; 2-5 ; 5-10 ; 10-20 ; > 20	(5)
34) Insectes	0 ; 0-2 ; 2-5 ; > 5	(3)
35) Balais de sorcière	0 ; 0-2 ; 2-5 ; > 5	(4)

* Nombre de modalités de chaque variable

L'exploitation des résultats de cette analyse repose sur l'examen de nombreux indicateurs statistiques: **(i) les rapports de corrélation** entre chaque variable et chaque facteur de l'AFCM pour juger de la valeur discriminante de la variable et de l'importance de chaque facteur dans la discrimination et la typologie; **(ii) la projection des placettes sur le plan factoriel** pour en réaliser une classification en groupes ayant une grande similitude et **(iii) la projection des modalités** des différentes variables en vue de décrire les groupes issus de la classification des placettes.

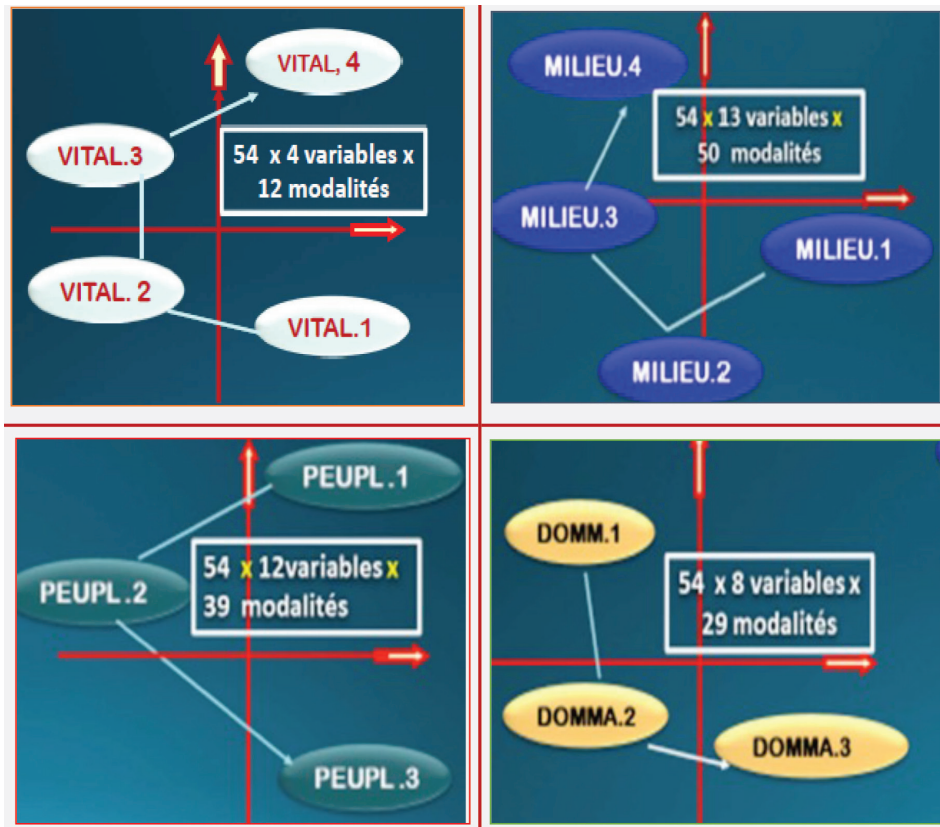


Figure 8: Cartes factorielles des typologies des classes de santé du cèdre, des stations écologiques, des peuplements forestiers et des symptômes et dommages phytosanitaires

L'élaboration des différentes typologies a chronologiquement permis d'identifier :

- **quatre états de vitalité** du cèdre selon l'importance relative dans le peuplement d'arbres sains; d'arbres morts et d'arbres dépérissant;
- **trois groupes de milieux** échelonnés principalement selon un gradient de profondeur de sol et de couvert qui comprend les sols squelettiques, des sols peu profonds et des sols profonds;
- **trois types de peuplement** selon le caractère démographique qui répond convenablement à l'étude du dépérissement et des mortalités (292, 381 et 708 tiges/ha);
- **trois groupes de symptômes et dommages** phytosanitaires marqués par les mêmes agents causaux mais qui diffèrent par leur gravité ou intensité.

L'AFCM a permis de mettre en évidence une série de facteurs actifs impliqués dans le phénomène de dépérissement, leur hiérarchie et leur variabilité spatiale et temporelle. **La solution consiste alors à faire progresser de façon concomitante le modèle causal et**

les analyses multivariées pour mieux appréhender les liens de causalité et orienter l'élaboration d'un programme d'action et de guides de sylviculture à l'usage des gestionnaires.

5.3. Evaluation des apports explicatifs des variables écologiques sur dépérissement

Cette phase de l'étude consiste à mettre en relation les caractéristiques de santé des peuplements exprimées par la typologie sur les données (taux de mortalité, taux de dépéris et taux de sains) relevées dans les 54 placettes avec la combinaison des trois typologies élaborées des stations, des peuplements et des aspects phytosanitaires.

La démarche d'analyse adoptée se base sur la reconstitution deux tableaux de synthèse :

- le premier tableau formé des 54 placettes en lignes et d'une seule colonne où chaque placette porte le code ou le numéro de la classe de son appartenance (classe de vigueur identifiée par la typologie);
- le second tableau, formé de 54 placettes d'échantillonnage en lignes et 3 colonnes correspondant chacune à l'une des trois typologies; stations, peuplements et aspects phytosanitaires.

Chaque placette (ligne du tableau) porte ainsi un codage de trois indices correspondant chacun à son appartenance à chacune des trois typologies réalisées sur les trois thèmes.

L'Analyse factorielle des correspondances sur variables instrumentales (AFCVI), méthode d'analyse de couple de tableaux, permet de réaliser une analyse sous contrainte expérimentale où la classe de santé dans chaque placette, sera considérée comme une performance de vitalité (structure à expliquer), réalisée dans des conditions de milieu de peuplement et d'intensité des dommages phytosanitaires considérées d'une manière simultanée (structure explicative jouant le rôle de contrainte expérimentale).

L'AFCVI, réalisée sur ce couple de tableaux permet de dresser le bilan des relations entre l'état de vitalité du cèdre et les conditions écologiques stationnels globales. La description des caractéristiques des types de biotopes pour chaque performance de vitalité du cèdre est présentée dans la figure 9 qui met en relief les causes du dépérissement de la cédraie.

L'expression de l'état de vitalité du cèdre appréhendée selon la contribution des différents états de santé (taux des arbres sains, taux des arbres dépéris et taux des arbres secs) a permis une classification en quatre performances de vitalité (depuis l'état le plus sain à celui le moins sain). Cette expression a, par la suite, été confrontée aux différentes variables et facteurs de l'ensemble des disciplines mises en jeu pour restituer les causes de perte de vitalité du cèdre.

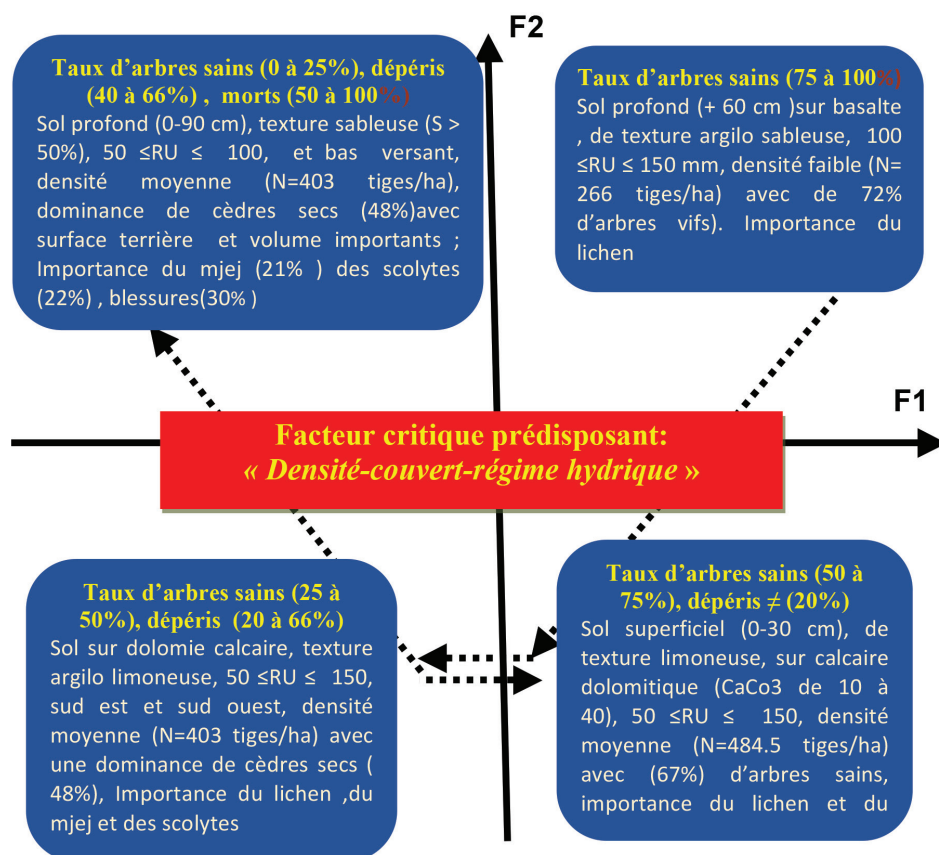


Figure 9: Relations «Etats de santé-milieu-sylviculture»; Plan factoriel (1,2)

En conclusion, les analyses multidimensionnelles ont mis en relief différentes typologies mais aussi des gradients qui permettent de conclure que le dépérissement et la mortalité du cèdre s'aggravent à mesure que s'accroît le matériel sur pied et que parallèlement les conditions du milieu physique deviennent contraignantes. **Ainsi, le facteur critique prédisposant les peuplements aux mortalités s'exprime à travers le couple (densité des peuplements, régime hydrique du sol). 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.**

5.4. Construction d'outils d'aide à la décision pour la gestion de la cédraie

Elaboration de cartes de sensibilité au dépérissement et de densités des peuplements

Les analyses précédentes ont permis de montrer que le dépérissement du cèdre dans cette zone est lié au régime hydrique et à la densité du peuplement. La spatialisation de ces paramètres constitue un support indispensable pour l'aménagement et la gestion rationnelle des cédraies. Ainsi, la figure 10 présente la carte de sensibilité élaborée à

partir d'un **indice synthétique** intégrant les facteurs stationnels discriminants du régime hydrique et du stock d'eau du sol de la forme : $[IS = 5*RU + 4*SUB + 3*Sa + 2*CaCO_3 + 5*Pe + 3*Ex]$ avec (IS) : Indice de sensibilité; (RU) : Réserve utile; (SUB) : Substrat; (Sa) : Teneur en sable au niveau de l'horizon 30 – 60cm; (CaCO₃) : Teneur en calcaire total au niveau de l'horizon 30 – 60cm; (Pe) pente en %; (Ex) : Exposition dominante. La figure 11 présente la carte des densités du peuplement issue de l'inventaire dendrométrique et tenant compte des classes de densités discriminées par l'analyse typologique.

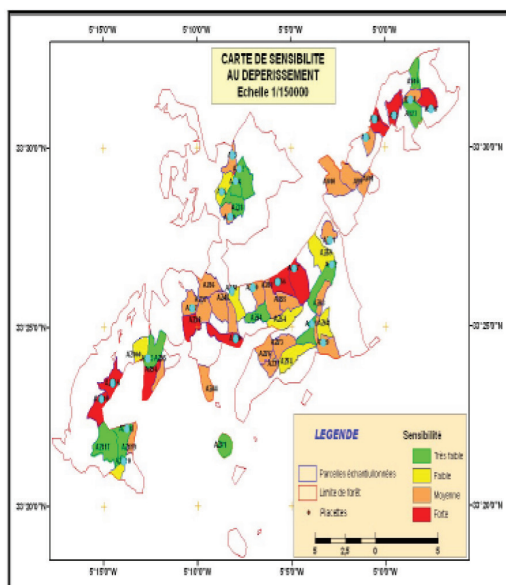


Figure10: Carte de sensibilité au dépérissement

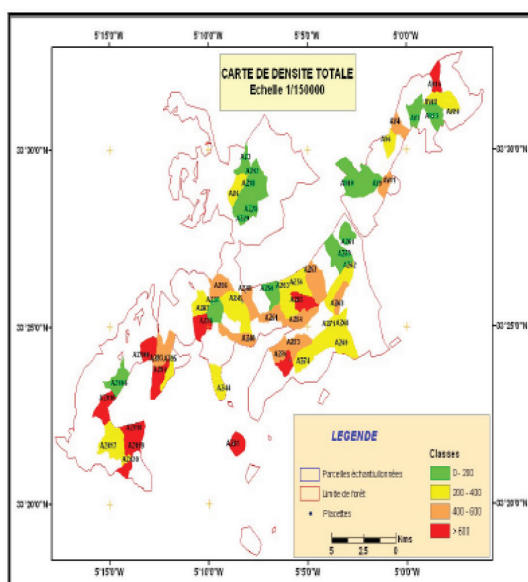


Figure 11: Carte des densités du peuplement

Approximation d'un modèle de prédiction des mortalités du cèdre

La possibilité d'estimer aussi bien la production des arbres et des peuplements forestiers, que de prédire les dépérissements et les mortalités devient une préoccupation pertinente des gestionnaires forestiers dans la mesure où ces outils demeurent indispensables à tout processus rationnel de planification forestière.

Le modèle en question fait allusion à la prévision des mortalités dans des peuplements de cèdre où la surface terrière et le volume seraient connus. Ces derniers, tous des expressions de la densité des peuplements, seraient les variables explicatives d'une équation de prédiction des mortalités en termes de densité également. Ce type d'équation exprime la relation de dépendance de paramètres caractérisant le phénomène de compétition intraspécifique. La relation retenue est celle entre la densité du nombre de cèdres morts et le volume unitaire total par unité de surface terrière correspondante (Figure 12).

L'équation de régression (polynôme du second degré) obtenue est la suivante:

$$\text{DSEC} = 910,719 - 151,300 (V/G.\text{Tot}) + 6,40620 *(V/G.\text{tot}^2)$$

($R^2 = 86,3 \%$; Ecart –type résiduel= 26,08)

DSEC : Densité de mortalité du cèdre en nombre de tiges à l'hectare,

V/G.Tot : Rapport du volume total à la surface terrière totale en m^3/m^2 à l'hectare.

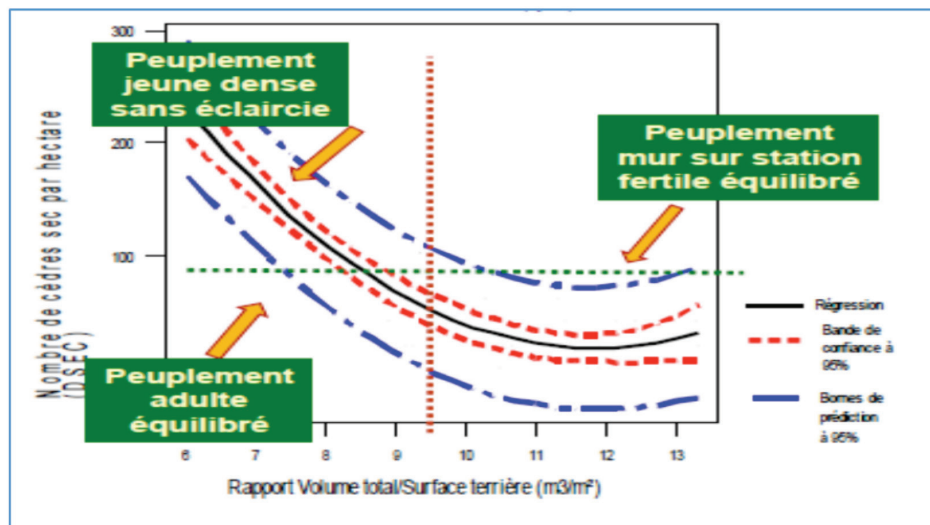


Figure 12: Courbe de régression et intervalle de confiance

Approximation d'un modèle de prédiction des dépérissements du cèdre

La même procédure a été suivie pour l'approximation de la fonction de dépendance entre la densité de cèdres dépéris (N/ha) et la densité totale (N/ha) du peuplement initial.

L'analyse montre que le diagramme des corrélations exprime une relation croissante du dépérissement en fonction de l'augmentation du nombre de tiges (figure 13).

L'équation de régression qui s'ajuste le mieux aux données recueillies pour cette fonction est un polynôme cubique (3^{ème} degré) de la forme :

$$\text{DDEP} = -29,6978 + 0,761628 (\text{N/ha.tot}) - 0,0016879 (\text{N/ha.tot})^2 + 0,0000012 (\text{N/ha.tot})^3$$

(R² = 76,9% Ecart –type résiduel=31,4374)

DDEP : densité de cèdres dépéris (N/ha)

N/ha.tot : densité totale de cèdre (N/ha)

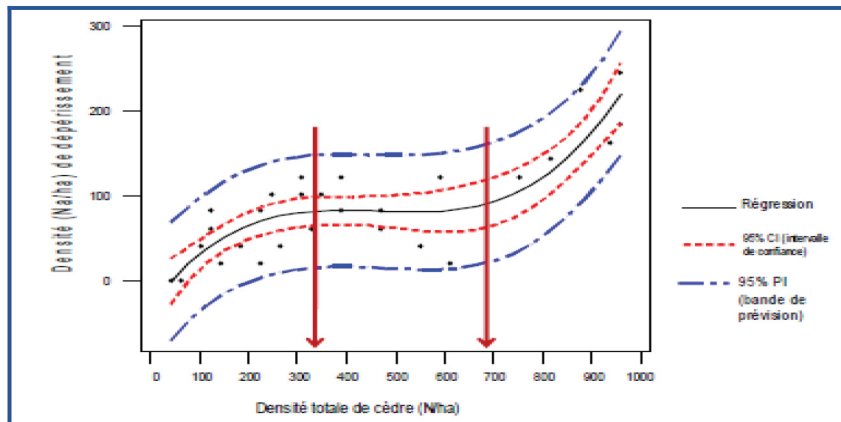


Figure 13: Courbe de régression et intervalle de confiance

6. Programme d'action et gestion

Les propositions de directives d'aménagement et de sylviculture pour remédier au dysfonctionnement de la cédraie intègrent les résultats et les outils élaborés. Ces propositions font l'objet de trois programmes : un programme d'urgence de cinq ans, des guides de sylviculture et de gestion à moyen terme (durée d'application de l'aménagement des forêts étudiées) et un programme de recherche à long terme.

Dans le cas de la présente étude, le guide de sylviculture consiste à **proposer un modèle de gestion et de sylviculture sous la contrainte de dépérissement** qui ambitionne de redynamiser les cédraies et aider à surmonter leurs difficultés phytosanitaires. Ces guides sont élaborés, au niveau de chaque forêt, sur la base des résultats des analyses thématiques, de l'analyse globale des relations «santé des peuplements – station – sylviculture – symptômes et dommages phytosanitaires», des propositions des aménagements en vigueur et des contraintes imposées par le Parc national d'Ifrane où sont implantées ces deux forêts.

Les guides sont structurés autour des trois parties suivantes: 1) **Caractéristiques dominantes de la forêt**; 2) **directives d'aménagement**; 3) **recommandations de sylviculture** qui concernent les interventions qui ont une action directe sur le dépérissement. Le tableau ci-après présente les guides de sylviculture élaborés pour deux massifs forestiers d'Azrou et d'Ait Youssi.

Guide de sylviculture	Forêt	Série/unité d'aménagement et de gestion	Groupe /unité d'intervention Sylvicole
GUIDE 1	Azrou	Série de protection intégrale	—
GUIDE 2	—	Série futaie régulière sur basalte	Groupe d'amélioration
GUIDE 3	—	Série futaie régulière sur calcaire	Groupes de régénération et d'amélioration
GUIDE 4	Ait Youssi	Série futaie régulière sur calcaire	Groupes de régénération et d'amélioration
GUIDE 5	—	Série futaie jardinée sur calcaire	Groupes de jardinage extensif et d'attente

Le programme d'urgence et les guides de sylviculture sont décrits en détail dans (Mhirit *et al.*, 2008).

A plus long terme un effort de recherche est nécessaire suivant deux axes principaux.

L'axe1 «fonctionnement de l'écosystème cédraie» aura pour objectif d'approfondir et préciser les relations «peuplement – sol – eau et diversité biologique» en rapport avec la tendance aux changements climatiques. Il s'agit en particulière de:

- Poursuivre les investigations dendrochronologies et écophysologiques dans des stations représentatives de la sensibilité en incluant le chêne vert;
- Assurer le suivi de l'humidité du sol sur le réseau des 14 placettes choisies, pour intégrer la variabilité temporelle des résultats dans la surveillance du régime hydrique et du stock d'eau des sols de cette zone;
- Évaluer l'interception des précipitations en fonction des types des peuplements en vue de quantifier les pertes d'eau par le couvert forestier et évaluer le bilan hydrologique avec précision. **L'interception, qui est liée au type et à la densité des peuplements, peut être à l'origine des pertes importantes des précipitations;**
- Étudier la biologie de *Phaenops marmottani*: indices de présence précoces, dégâts et seuils d'attaques, ennemis naturels; parasites et de sa phéromone sexuelle ce qui permettrait d'engager un programme de lutte contre le ravageur;
- Explorer la diversité phénotypique intraspécifique et individuelle en relation avec le comportement vis-à-vis la sécheresse, (génotypes résistant à la sécheresse).

L'axe 2 «sylviculture-aménagement» visera la maîtrise des outils d'aide à la décision pour une gestion durable de la cédraie sous contraintes Il s'agit en particulière de :

- 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;

- Élaborer et mettre en œuvre des «tables de cubage, tables de production, modèles de croissance sous la contrainte «sensibilité au dépérissement»;
- 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 **un espacement vital optimal de croissance** pour la conduite des éclaircies;
- Construire et valider des modèles de prédiction des mortalités et dépérissements comme outil d'aide à la décision de la gestion;
- Dans le cas des programmes de reboisement du cèdre de l'Atlas, conduire des essais sur les techniques de travail du sol qui permettent d'améliorer les réserves hydriques des sols et leur disponibilité en eau et sur les standards d'élevage des plants;
- Conduire des essais de reboisement prospectifs sur des milieux sur substrat calcaire et sur stations difficiles, aux altitudes 1500 à 2000 m, utilisant des espèces forestières pionnières (Pin maritimes de montagnes, provenances de cèdre, cyprès de l'Atlas, etc.).

Conclusion

L'écosystème cèdre de l'Atlas est exceptionnel et à intérêts multiples. La diversité des produits et services écosystémiques joue un rôle très important à la fois environnemental et socioéconomique. Toutefois, l'état actuel de santé des forêts de cèdre et, notamment celles du Moyen Atlas, est très préoccupant. Des milliers d'hectares de cette essence sont dépéris et des mortalités importantes sont en général constatées laissant planer de nombreuses interrogations sur l'avenir de cet écosystème.

Cette situation a conduit, dès 2005, au lancement d'un grand programme de recherche dont principaux objectifs consistent à caractériser le lien des causes et des symptômes pouvant expliquer le phénomène de dépérissement observé et 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.

La complexité du phénomène de dépérissement et de dysfonctionnement des peuplements du cèdre dans le Moyen Atlas exige une approche holistique et interdisciplinaire permettant d'appréhender pour mieux comprendre cette problématique. 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: **la bioclimatologie, la dendrochronologie, l'écophysiologie, les sciences du sol, l'entomologie, la phytopathologie, la dendrométrie, la biométrie, le système d'information géographique et l'aménagement forestier.**

Les analyses thématiques entreprises de façon interdisciplinaire, avec des approches scientifiques solidement établies, ont permis de décrire, d'analyser et d'évaluer l'impact des différents facteurs écologiques, anthropiques et sylvicoles, pris isolément. Ces analyses concluent que **le phénomène de dépérissement est le produit d'un cumul de**

stress de plusieurs facteurs sur plusieurs années.

Les analyses multidimensionnelles (analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) puis analyse factorielle sur variable instrumentales (AFCVI)) ont mis en relief différentes typologies mais aussi des gradients qui permettent de conclure que le facteur critique prédisposant les peuplements de cèdre aux mortalités s'exprime à travers le couple **(densité des peuplements, régime hydrique du sol)**. 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 des peuplements.

Les propositions de directives d'aménagement et de sylviculture pour remédier au dysfonctionnement de la cédraie intègrent les résultats de ces analyses ainsi que les outils d'aide à la décision élaborés à cet effet (carte de densité des peuplements, carte de sensibilité au dépérissement, modèles de prévision des mortalités et des dépérissements). Ces propositions font l'objet de trois programmes : un programme d'urgence de cinq ans, des guides de sylviculture et de gestion à moyen terme (durée d'application de l'aménagement des forêts étudiées) et un programme de recherche à long terme.

Références bibliographiques

- Abourrouh M., 1983 : Essai de mycorhization de *Cedrus atlantica* en pépinière. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. Tome 23, p. 189-328.
- Achhal A., Akabli O., Barbero M., Benabid A., Mhirit O., Peyre C., Quezel p. & Rivas-Martinezs., 1980 : A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea*, 5 pp. 211-249.
- Arbez, M., Ferrandes P. et Uyar N., 1978 : Contribution à l'étude de la variabilité géographique des Cèdres. *Ann. Sci. forest.*, 1978, 35 (4), 265-284.
<http://www.afs-journal.org> ou <http://dx.doi.org/10.1051/forest/19780402>
- Aussenac G., Granier A. & Gross P., 1981 : Etude de la croissance en hauteur du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Utilisation d'un appareillage de mesure automatique. *Ann. Scien. Forest. Vol. 38* (3), pp. 301-316.
- Aussenac G. et Finkelstein D., 1983 : Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Scien. Forest. Vol. 40 n° 1*, 1983, pp. 67-77.
- Bakhyi B. et Mhirit O., 2008 : 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*. HCEFLCD, Rabat, Maroc
- 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.
- Barbero M., Quezel P. & Rivas Martinez, 1980 : Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré-forestiers du Maroc. *Phytocoenologia* 9 (3) : pp. 31 1-412.

- Bariteau M., 1994 : L'amélioration génétique des Cèdres en France. *Ann. Rech. Forest. Maroc. Tome 27*.
- Bariteau M., et M'hirit O. 1997 : La conservation des ressources génétiques du cèdre de l'Atlas. In: Amélioration, conservation et utilisation des ressources génétiques forestières marocaines (p. 155-167). *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*.
- Benhalima (S.), 2004 : Les insectes xylophages et leur rôle dans le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Endl. Carrière) dans le Haut et Moyen Atlas (Maroc). *Thèse d'Etat Es Sciences naturelles en biologie. Université Mohammed V – Agdal, Faculté des Sciences* : 1- 107.
- Benmbarek M., 1985 : Productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti et construction des tables de production des cédraies du Rif. *Mémoire de 3^{ème} cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*, pp. 124.
- Byoung Yi G., 1976 : Croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti.) en relation avec quelques variables du milieu en Langdoc-Roussillon (France). *Thèse Doc. Ing. Univ. Sci. Tech. Du Langdoc-Roussillon; Montpellier; p. 193*.
- 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.
- Chouraichi A., 2008 : 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*.
- 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.
- Courbet F. et al., 2012 : Le cèdre en France face au changement climatique, bilan et recommandations. RMT AFORCE. 32 p. <http://prodinra.inra.fr/record/179283>
- Derridj A., 1994 : Exploration de la variabilité intra-spécifique de *Cedrus atlantica* Manetti en Algérie par l'étude des cônes. *Ann. Rech. For. Maroc, 27 (spécial), vol.1, 1 - XXXVI & 1-361, 1994*.
- Destremeau D.X., 1974 : Précisions sur les aires naturelles des principaux conifères marocains en vue de l'individualisation de provenances. *Ann. Rech. Fores. Maroc, Tome 14, pages 77-91*.
- Et-tobi M. 2006 : Approche multidimensionnelle des relations "Etat sanitaire - Station - Sylviculture" pour l'Etude du dépérissement des cédraies au moyen Atlas en vue d'élaborer un modèle sylvicole de prévention phytosanitaire. *Thèse présentée à l'institut agronomique et vétérinaire Hassan 2. 174p + Annexes. Rabat, Maroc*
- 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*.
- Fabre J.P., 1994 : Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire

- naturelle des Cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1, 1 - XXXVI & 1-361.
- Labhar M. et Lebaut S., 2012 : Les cédraies du Moyen Atlas central (Maroc) : structure et dynamique actuelle. *Revue AFN Maroc* N°6-8 Juin 2012.
- Lamb H.F., et al., 1989 : An 18000 years record of vegetation, Lake-level and climatic change from Tiguelmamine, Middle Atlas, Morocco. *Journal of Biogeogr.* 16: 65-74.
- Lepoutre B., 1961 : Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech. For. au Maroc*, 6. pp. 1-183.
- Lepoutre B., 1966 : Ecologie de la régénération naturelle du cèdre dans le Moyen Atlas marocain. *Ann. Rech. For. au Maroc*
- Lecompte M., 1969 : La végétation du Moyen-Atlas Central, Trav. Inst. Sci. Chérifien, Fac. Sci. *Bot. et Biol. Végé.* 31, 16, 1 carte et notice.
- Mille R., 1986 : Contribution à l'étude de la variabilité géographique du cèdre. *Mémoire ENITEF, Nogent-sur-Vernisson*; 60p.
- Mhirit O., 1982 : Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. Tome 22. p. 502.
- Mhirit O. et Postaire JG., 1983 : Analyse de la forme des tiges pour la construction des tarifs de cubage. Application au cèdre du Maroc (*Cedrus atlantica* Manetti). *Ann. Scien. Forest.* 1983 (2) 59-77
- Mhirit, O., 1987 : Etat actuel des connaissances sur le cèdre, éléments pour un programme de recherche. *Comité CPA/CEF/CFPO des questions forestières méditerranéennes. Silva mediterranea* - FAO, Rome ; 38p.
- Mhirit O., 1994 : Croissance et productivité du cèdre de l'Atlas : Approche multidimensionnelle de l'étude des liaisons stations - productions. *Ann. Rech. For. Maroc*, N°27 spécial, vol. 1, I-XXXVI & 1-361.pp: 296-312.
- Mhirit O., 1999 : Le cèdre de l'Atlas à travers le réseau *Silva mediterranea* «Cèdre». Bilan et perspectives. *Forêt méditerranéenne*, t. XX n° 3, novembre 1999.
- Mhirit O., 2006 : Les écosystèmes forestiers marocains: situation, enjeux et perspectives pour 2025. Contributie au «Rapport sur le Développement Humain au Maroc». Rabat, Maroc; www.rdh50.ma.
- Mhirit O., 2017 : Eléments de Stratégie de valorisation des ressources génétiques forestières et des Connaissances traditionnelles dans le cadre du Protocole de Nagoya : 1. Rapport de base 2. Vision, axes stratégiques et programmes d'action. *Programme «Gouvernance Environnementale et Climatique» (ProGEC). Biodiversité-valorisation des Ressources génétiques au Maroc. Secrétariat d'Etat à l'Environnement*; Rabat, 28 mai 2017; 93p. +39p.
- Mhirit O. et al., 2008 : Etude des causes de dépérissement de la cédraie du Moyen Atlas (SPEF, Ifrane). Rapport de synthèse. *Convention FAO/UTF/MOR/028/MOR. Appui à la mise en œuvre du Programme Forestier National*. 151p.

- Mhirit O. et Et-Tobi M., 2009 : Les écosystèmes forestiers face au changement climatique. Situation et perspectives d'adaptation au Maroc. *Institut Royal des Etudes Stratégiques (IRES)*, Rabat (Maroc). 209 p.
- Mouna M., 1982 : Recherches écologiques sur le peuplement frondicole des insectes du cèdre (*Cedrus atlantica* Man.) dans le Moyen Atlas marocain. Thèse Doct. de Spécialité, Fac. des Sciences St. Jérôme Marseille: 1-121.
- Mouna M., 1994 : Etat des connaissances sur l'entomofaune du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au Maroc. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1,1 - XXXVI & 1 - 361 1994
- Nedjahi A., 1987 : La croissance et la productivité du cèdre de l'Atlas à Chréa. *Ann. de la Rech. Forest. en Algérie*, vol.II, n °2, pp. 23-59.
- Panetsos K.P., Christou A. and Scaltsoyiannes A., 1994 : Les variations d'allosymes dans les espèces du cèdre. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1,1 - XXXVI & 1 - 361 1994
- Peyre C., 1979 : Recherches sur l'étagement de la végétation dans le massif du Bou Iblane (Moyen-Atlas oriental Maroc). *Thèse Univ. Droit. Econ. Sciences. Aix-Marseille*, pp. I-149.
- Pujos A., 1966 : Les milieux de la cédraie marocaine. *Ann. Rech. For. Maroc*, 8, Annexe, (cartes et graph.). pp. 1 -383.
- Reille M., 1977 : Contribution pollenanalytique à l'histoire holocène de la végétation des montagnes du Rif (Maroc septentrional). *La recherche Française sur le Quaternaire, Suppl. Bull. A.F.E.Q.*, 50 : 53-76.
- Quezel P., Barbero M. et Benabid A., 1987 : Contributie à l'étude des gruzementen forestiers et préforestiers du Haut-Atlas oriental (Maroc). *Ecologia mediterranea. Tome XIII, Fasc.1/2*, pp. 107- 117.
- Till. C. 1985 : Recherches dendrochronologiques sur le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) au Maroc. Thèse de doctorat, Faculté des sciences, Université de Louvain; Belgique.
- Toth J. 1994 : Le Cèdre de l'Atlas en France: Croissance et production dans les dispositifs anciens. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (spécial), vol.1, 1 - XXXVI.
- Zaki A., 1968 : Première étude sur les phénomènes de dormance de la graine de cèdre et sur l'influence des différents facteurs à l'égard de sa germination. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. Rapport 1968, p. 245-298.
- Ziat M., 1986 : Ecologie, productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Bou Iblane Moyen-Atlas oriental. *Thèse 3^{ème} cycle, Inst. Agron. et Véter. Hassan II*, Rabat, Maroc, p. 132.
- Zine El Abidine A. et Aadel I., 2009 : Analyse écophysiologie du dépérissement du cèdre dans le Moyen Atlas. Les 3^{ème} Assises de la Recherche Forestière. «L'écosystème cédraie» *Ann. Rech. Forest (Num. spécial). Maroc*.