

Influence de la densité et du type de peuplement sur le dépérissement du cèdre à Sidi M'Guild (Moyen Atlas marocain)

par Mchich DERAK, Omar M'HIRIT, Boujemàa MOUFLIH
et Mohamed ET-TOBI

Cet article sur le Cèdre au Maroc, écrit par un jeune chercheur, sous la houlette de notre grand ami Omar M'hirit, surprendra, sans doute, quelques "vieux forestiers" comme moi, qui ont connu l'époque où le sylviculteur prenait le temps d'aller "écouter les arbres pousser dans sa forêt"! Les plus caustiques penseront, peut-être, qu'on "réinvente l'eau tiède"... Eh bien ! Ils auront tort ! Cette étude présente deux qualités majeures à notre époque : on ose y reprendre les précis de sylviculture d'auteurs du siècle dernier, pour guider cette étude du dépérissement du Cèdre et cela devient suffisamment rare pour être souligné ; on y démontre, de façon indubitable, en utilisant un dispositif statistique rigoureux et les techniques modernes d'analyse de données, qu'au Maroc, cette essence autochtone obéit aux mêmes lois sylvicoles que nos essences européennes : l'élimination naturelle des arbres dominés, la nécessité des éclaircies raisonnées et — moins classique et à confirmer — l'effet positif du mélange des essences (cèdre-chêne vert).

Guy BENOIT de COIGNAC

Introduction

Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) est une essence forestière endémique des montagnes de l'Afrique du Nord, tolérante à la sécheresse et productrice de bois de haute qualité. Ses valeurs bioécologiques et socioéconomiques lui confèrent une importance internationale (M'HIRIT, 1994).

Au Maroc, outre les difficultés de régénération, le cèdre est confronté à un phénomène de dépérissement récurrent (années 40 et 80), qui a pris une ampleur sans précédent au cours de ces dernières années. Il s'agit là d'un phénomène complexe ayant fait l'objet de plusieurs études : dendrochronologiques, cartographiques, zoologiques et écosystémiques (BENABID, 1994 ; MOKRIM et CHBOUKI, 1994 ; BAKRI et HADDAN, 1999). Ces études suggèrent la révision des stratégies de protection des cédraies marocaines, qui doivent désormais mettre l'accent sur la gestion à long terme des perturbations dans le cadre de l'écosystème, plutôt que sur la lutte et l'éradication des ravageurs (ET-TOBI *et al.*, 2001).

L'une des forêts du Moyen Atlas Central menacée par le dépérissement, est la cédraie de Ain Kahla, caractérisée par un déséquilibre d'alimentation en eau et en substances minérales nutritives, notamment le phosphore, le potassium et le magnésium (TARGUI, 1986 ;

1 - Juxtaposition de peuplements équiennes et inéquiennes.

2 - Qualification basée sur les symptômes visibles (défoliation, décoloration du feuillage, attaque d'insectes et de champignons...)

BENABID, 1994). L'inventaire phytosanitaire de cette forêt (AMRANI, 2002) indique que les anomalies observées sont plus fréquentes là où le matériel sur pied est abondant.

Partant de ces résultats, le présent travail tente d'élucider l'impact d'une éventuelle surdensité sur la vitalité de la cédraie de Ain Kahla. On teste alors l'hypothèse que la compétition entre arbres, issue d'une gestion sylvicole inadéquate, est le facteur prédisposant au dépérissement observé et aggravé par des attaques phytosanitaires secondaires. L'étude portera également, dans le cadre d'une analyse multivariable, sur l'influence du type de peuplement sur la santé du cèdre.

Matériel et méthode

Zone d'étude

La zone d'étude correspond au massif forestier de Ain Kahla (8410 ha), composé essentiellement de cèdre, mélangé au chêne vert. C'est un massif qui fait partie intégrante de la forêt de Sidi M'Guild, située dans le Moyen Atlas Central et présentant un relief ondulé, où l'altitude varie de 1400 à 2200 m. L'ambiance bioclimatique est subhumide et humide à variante fraîche à froide.

N° de la strate	Structure correspondante	Nombre de placettes
1	Equienne	21
2	Irrégulière	6
3	Jardinée	13

Tab. I (ci-contre) : Répartition des placettes par types de structure

La cédraie de Ain Kahla est sujette aux attaques de ravageurs de divers types. On cite notamment : des insectes phylophages (la processionnaire des pins *Thaumetopea pityocampa*, la processionnaire de l'été *Thaumetopea bonjeani* et la tordeuse du cèdre *Alceris undulana*), des champignons lignivores (*Trametes pini* connu localement sous le nom de *Mjej* et *Ungulina officinalis* ou *Saboun*) et le singe magot *Macaca sylvanus* (BAKRI et HADDAN, 1999 ; AMRANI, 2002).

Stratégie d'échantillonnage

L'analyse repose sur un échantillonnage aléatoire stratifié. Le critère de stratification retenu est la structure des peuplements, déterminée à partir des données parcellaires contenues dans le dossier de l'aménagement de la forêt de Sidi M'Guild (SAFBV, 1995). Ainsi, nous avons pu distinguer les trois types de structure suivants : structure régulière (SR), structure jardinée (SJ) et structure irrégulière¹ (SI) (Cf. Tab. I).

La variabilité de la compétition dans les strates prédéfinies est exprimée par la surface terrière qui constitue un bon indicateur de la concurrence (INRA, 2000). Le nombre total d'unités d'échantillonnage (calculé selon une répartition proportionnelle) est égal à 40 placettes circulaires ayant 18 m de rayon chacune. Elles sont réparties sur le terrain suivant une distribution systématique moyennant une grille à maille carrée (460 m de côté).

Les arbres-échantillons ont été choisis suivant la méthode du sixième arbre (*The order method*) qui permet le calcul du nombre d'arbres et de la surface terrière à l'hectare (RONDEUX, 1999). Le principe est de mesurer la distance entre un point de sondage choisi au milieu de la placette et le sixième arbre le plus proche (Cf. encadré).

Les principales caractéristiques dendrométriques des peuplements et des arbres échantillons, ainsi que leurs statistiques descriptives sont consignées dans le tableau II.

Les données absolues sur le dépérissement restent insuffisantes, car le nombre d'arbres dépérissants par placette peut être significatif ou non selon la densité du peuplement et la grosseur de ces arbres par rapport à celle du reste du peuplement. Ainsi, nous caractérisons l'ampleur du dépérissement observé par les proportions que représentent les arbres morts et endommagés² en surface terrière (% Mort/G et %Domg/G).

Précisions sur la méthode d'échantillonnage

Le point de sondage correspond dans cette étude à l'arbre le plus proche du centre de la placette. On retient 1 à 2 arbres (points) de sondage par placette selon la densité du peuplement et donc selon l'espacement entre arbres. En effet, une placette à faible densité englobe 1 seul arbre de sondage entouré de 6 voisins, de manière à ce que le sixième voisin reste à l'intérieur de la placette. Par contre, une placette à forte densité est divisée en "2 sous placettes" et englobe donc 2 arbres de sondages entourés chacun de 6 voisins (12 voisins par placette). Nous obtenons donc 69 arbres de sondage [(11x1) + (29x2)] et 414 voisins [(11x6) + (29x12)], et par conséquent un nombre total d'arbres mesurés de 483. Les différentes mesures (circonférence, hauteur, statut social, vitalité...) ont été prises de la même manière pour les 483 arbres, sauf que pour les 69 arbres de sondages, la largeur des 10 derniers cernes et la distance au sixième voisin ont été mesurées en plus.

Le pourcentage du chêne vert dans la placette a été noté pour élucider les interactions cèdre – chêne vert dans la forêt de Ain Kahla.

La densité relative des peuplements est calculée de trois manières à l'aide de trois indices de compétition : l'indice de Reineke IR et les deux facteurs d'espacement de Hart-Becking IH et de Veen IV (Cf. Tab. III). Notons que $IV = k/(IH)^2$ avec $k=11547$. Nous nous sommes intéressés à ces trois indices précisément parce qu'ils sont fondés sur des principes peu compliqués et se prêtent à des mesures faciles sur le terrain. Ces indices ont également l'avantage commun d'éviter l'estimation délicate et imprécise de l'âge et de l'indice du site (PARDÉ et BOUCHON, 1988 ; RONDEUX, 1999).

Basés sur le calcul du nombre d'arbres à l'hectare, ces indices n'ont de sens que pour les peuplements équiennes (RONDEUX, 1999), c'est pour cela que nous les utilisons tout en gardant dans l'esprit leur inadaptation aux peuplements jardinés et irréguliers.

Le calcul de l'indice de Reineke nécessite la détermination de la droite de régression du nuage [Log(D_g) ; Log(N)] appelée "droite d'auto-éclaircie". Cette régression n'inclut que les peuplements à densité complète (*fully stocked*) (WILLIAM *et al.*, 2000 ; TORRES *et al.*, 2000). Or, pour notre cas, le nombre de placettes est limité (40 seulement) et ne permet pas de déterminer la pente de la droite de régression par rapport à une courbe de densité maximale. C'est la raison pour laquelle nous calibrons la relation [Log(D_g) ; Log(N)] sur les 40 placettes pour obtenir une tendance moyenne. Ainsi, pour chaque placette, l'indice de Reineke est calculé par rapport à la densité moyenne de notre échantillon (Cf. Fig. 1). La valeur de la pente de la droite de régression est de -1,81. Nous rappelons au passage que notre échantillon est représentatif de la population (stratification par la structure et répartition selon un maillage systématique et la surface terrière), ce qui donne à l'indice de Reineke calculé une valeur indicatrice de la densité relative.

De haut en bas :

Tab. II : Statistiques descriptives des caractéristiques des peuplements et des arbres échantillons

Tab. III : Indices de compétition calculés pour la cèdraie de Ain Kahla

Fig. 1 : Relation "taille - densité" dans la cèdraie de Ain Kahla

	Caractéristiques	Unité	Moy.	Ecart -type	Min	Max
Peuplements	Nombre d'arbres à l'ha (N/ha)*	-	268	311	10	1298
	Surface terrière à l'ha (G/ha)*	m ² /ha	22	12	2	55
	Circonférence de l'arbre moyen (C _g)	cm	172	116	26	509
	Hauteur dominante (h _{dom})**	m	29	5	15	40
Arbres échantillons	Circonférence à 1m30 (C ₁₃₀)	cm	161	87	19	510
	Hauteur (H)	m	24	9	3	48
	Largeur des 10 dernières cernes (69 arbres)	cm	2,3	1,3	0,6	6

* méthode du sixième arbre

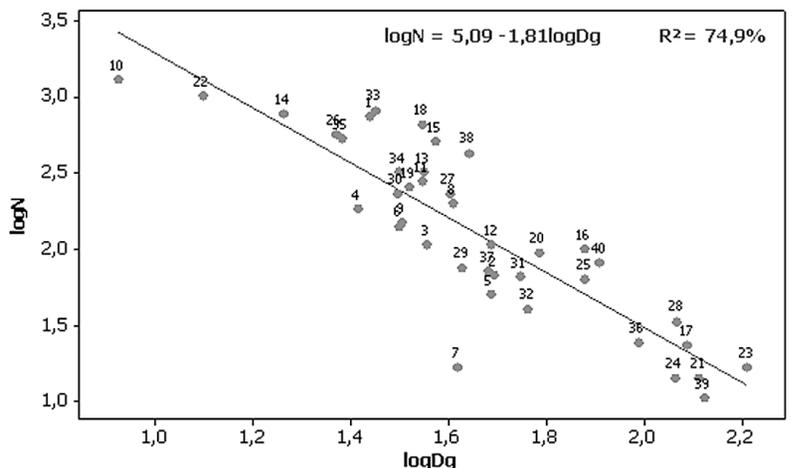
** moyenne des hauteurs des 20% plus grands arbres par placette (RONDEUX, 1999).

Indice de compétition	Formule de calcul	Valeurs extrêmes	Moy.	Ecart -type	CV(%)
Indice de Reineke	$IR = N(25/D_g)^{-1,81}$	[41,5–1223,9]	448,5	286	63,7
Facteur d'espacement de Hart-Becking	$IH = 100.(a/h_{dom}) = \frac{10\ 000}{h_{dom}} \sqrt{\frac{2}{N\sqrt{3}}}$	[12,6 – 114,6]	39,3	24,5	62,4
Facteur d'espacement de Veen	$IV = \frac{N h_{dom}^2}{10\ 000} = 11\ 547/(IH)^2$	[0,87 – 73,2]	18,1	17,4	96,2

Où :

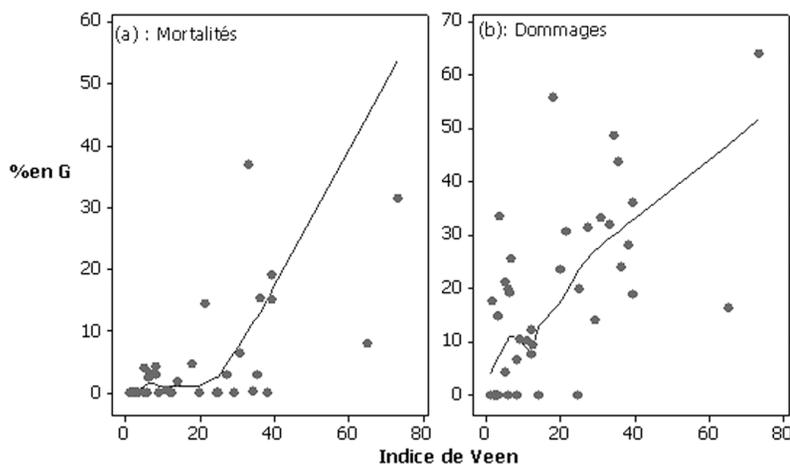
N : nombre de bois à l'hectare. ; D_g : diamètre quadratique moyen (cm).

h_{dom} : hauteur dominante. ; a : espacement moyen entre tiges (en m), calculé en faisant l'hypothèse d'une répartition triangulaire de celles-ci. $a = 100. \sqrt{\frac{2}{N\sqrt{3}}}$ (Pardé et Bouchon, 1988 ; Rondeux, 1999)



3 - A défaut de données sur les âges des arbres morts, nous supposons que leur mort est suffisamment récente pour qu'il n'y ait pas de grande différence entre leur position au sein du peuplement juste avant la mort et au moment du prélèvement.

Dans cette étude, le pouvoir compétitif des arbres affectés sera évalué en comparant la dimension d'un arbre mort ou endommagé à la distribution des dimensions des arbres constituant le peuplement auquel il appartient. Ainsi, nous pourrions déduire si cet arbre est compétitif ou non³. Pour ce faire, nous calculons le rapport existant entre la surface terrière g_i (m²) d'un arbre i et celle de l'arbre moyen \bar{g} (m²). L'arbre i sera d'autant plus vigoureux et compétitif que ce rapport est élevé (RONDEUX, 1999).



Variables	Moyenne	Ecart-type	CV(%)
%Dépérissement (Mort+Domg)	22,84	22,11	97%
%chêne vert (%Qr)	23,94	18,44	77%
Indice de Veen IV (sans unité)	18,09	17,39	96%



Les largeurs des dix derniers cernes ont été mesurées sur les 69 arbres de sondage pour en estimer la croissance. Nous nous sommes contentés d'effectuer les mesures sur cette portion d'arbres (14% de la taille de l'échantillon) pour minimiser les dégâts causés par les prélèvements à l'aide de la tarière de Pressler (bien que les résineux y soient, en général peu sensibles).

Résultats

A l'échelle du peuplement

L'étude de la corrélation entre les deux variables % Mort/G et % Domg/G avec les trois indices de compétition IR, IH et IV, montre que le dépérissement du cèdre est plus significativement corrélé à l'indice de Veen (IV). Les coefficients de Spearman étant respectivement $r = 0,634$ pour la mortalité et $r = 0,506$ pour dommages ($p < 0,001$).

En représentant la variable % Mort/G en fonction de l'indice de Veen (Cf. Fig. 2a), on remarque que la mortalité augmente avec la densité en accusant un démarrage important à partir de la valeur IV = 25. Quant aux dommages enregistrés, ils sont moins liés à la densité, puisqu'ils démarrent dès l'origine du repère et croissent sensiblement avec l'indice de Veen (Cf. Fig. 2b).

Etant donné que le seul facteur densité n'est pas suffisant pour expliquer un phénomène aussi complexe que le dépérissement forestier, nous adoptons une approche multivariable basée sur l'Analyse factorielle des correspondances (AFC) et la Classification ascendante hiérarchique (CAH).

L'AFC repose sur quatre variables peu corrélées entre elles et jugées satisfaisantes pour décrire le phénomène de dépérissement. Il s'agit des variables % chêne vert, indice de Veen, structure du peuplement et

Fig. 2 (en haut) :

Diagrammes (et courbes lissées) des % de mortalités/G et dommages/G en fonction de l'indice de Veen

Tab. IV (au milieu) :

Statistiques descriptives de trois des quatre variables quantitatives de l'AFC
CV : coefficient de variation

Photo 1 (ci-contre) :

Tâches de dépérissement du cèdre dans la forêt de Ain Kahla

Photo Mchich Derak

N°	Variabes	Modalités	Code de modalités	Définition des classes	Nombre de placettes
1	Vitalité	Peuplement sain	Sain	Peuplements sans mortalité ni dommages phytosanitaires	12
		Peuplement dépérissant	Mort +Domg	Peuplement où la mortalité et/ou les dommages en surface terrière sont considérables	28
2	Indice de Veen (IV)	Faible compétition	IVb	0 < IV < 20	25
		Compétition extrême	IVx	IV > 20	15
3	Couvert du chêne vert en pourcent (% Q.r)	Prépondérance du chêne vert	Chêne	% Q.r > 45	7
		Equilibre cèdre-chêne vert	Cèdre+chêne	15 < %Q.r < 45	16
		Chêne vert rare	Cèdre	0 < % Q.r < 15	17
4	Structure du peuplement	Equienne	Equien	Histogrammes des circonférences	21
		Irrégulière	Irrég		6
		Jardinée	Jard		13

Tab. V (ci-contre) :
Classification des quatre variables de l'AFC en modalités

Fig. 3 (ci-dessous) :
Position des dix modalités de l'AFC dans le premier plan factoriel (1 x 2)

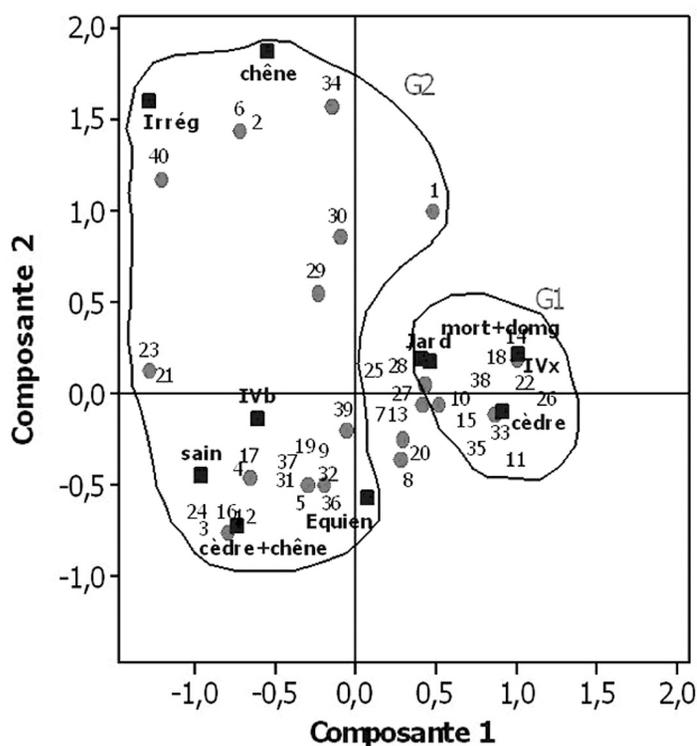
Tab. VI (en bas) :
Valeurs propres et décomposition de l'inertie totale

% Dép/G. Cette dernière variable, qui exprime le pourcentage du dépérissement en surface terrière (% Mor/G + % Domg/G), est utilisée dans une optique de refléter les pertes considérables en volume et qualité du cèdre tout en évitant l'interprétation délicate des cas où les mortalités et les dommages sont fortement représentés dans la même placette.

Les valeurs des coefficients de variation (Cf. Tab. IV) confirment l'agencement amorphe des nuages des points (des trois variables quantitatives) par rapport aux vecteurs moyens. Finalement, l'AFC est appliquée à la matrice de données croisant 40 individus (placettes) et dix variables qualitatives correspondant à dix modalités, prenant les valeurs 0 et 1 et issues de la classification des quatre variables précitées (Cf. Tab. V).

Le tableau VI montre la décomposition de l'inertie totale de l'ensemble des observations. Nous limitons notre interprétation aux trois premiers axes factoriels qui constituent 75,45% de cette inertie, soit respectivement 32,51% pour le premier axe, 25,13% pour le deuxième et 17,80% pour le troisième.

L'examen des contributions absolues et relatives des dix modalités, dans la formation des axes factoriels débouche sur les résultats suivants : la composante 1 (Cf. Fig. 3) met en évidence le contraste entre, d'une part, les densités excessives (IVx) et les densités faibles (IVb), d'autre part les cédraies pures (C>Q.r) et le mélange cèdre-



Axe	Inertie	Proportion	Cumulé	Histogramme
1	0,4877	0,3251	0,3251	*****
2	0,3770	0,2513	0,5764	*****
3	0,2670	0,1780	0,7545	*****
4	0,1655	0,1103	0,8648	*****
5	0,1209	0,0806	0,9454	*****
6	0,0819	0,0546	1,0000	****
Total	1,5000			

4 - Dans cette figure, les placettes 7 ; 8 ; 13 ; 20 ; 25 ; 27 et 28 ainsi que les futaies jardinées se retrouvent entre ces deux regroupements et ce en raison de leur forte corrélation avec le 3^e axe factoriel.

chêne (C+Q.r), et finalement les peuplements sains et ceux dépérissants. La composante 2 différencie les peuplements à majorité de chêne (C<Q.r) et ceux en situation du mélange. Quant à la composante 3 (Cf. Fig. 4), elle oppose les structures équiennes (Equien) à celles jardinées (Jard).

Après examen du premier plan factoriel (Cf. Fig. 3), il paraît que les dépérissements recensés sont associés aux densités exces-

sives et aux situations de cédraies pures. En revanche, les cas de peuplements sains sont caractérisés par des densités moins fortes et des mélanges cèdre – chêne ou abondance du chêne.

Pour étudier la liaison entre la santé du cèdre et la structure du peuplement, nous examinons le deuxième plan factoriel (Cf. Fig. 4). Les peuplements équiennes sont probablement plus vulnérables aux mortalités et attaques parasitaires comparativement aux peuplements jardinés.

Les analyses factorielles et les techniques de classification sont complémentaires, et l'on est, le plus souvent, amené à les utiliser conjointement pour l'analyse d'un problème donné. Dans notre cas et en vue de classer les 40 placettes par rapport aux quatre variables étudiées, nous utilisons la méthode de classification hiérarchique ascendante (Cf. Tab. VII et Fig. 5). Celle-ci permet de distinguer deux groupes de placettes définissant les deux états de santé cités auparavant. En visualisant ce regroupement dans le premier plan factoriel⁴ (Cf. Fig. 3), on peut isoler d'une part, le groupe G1 des peuplements à dépérissement, très denses, purs et à structure équienne, et d'autre part, le groupe G2 des peuplements à faibles niveaux de dépérissement, peu denses, en mélange avec le chêne vert et à structure jardinée.

Ce raisonnement est renforcé par le calcul de certaines caractéristiques moyennes de chaque groupe (Cf. Tab. VIII). Outre les trois variables quantitatives de classification (%Dép/G, %Qr et IV), sont présentées également et à titre indicatif, les trois indices N, IR et IH. On note que chez les peuplements à faible niveau de dépérissement G2, la den-

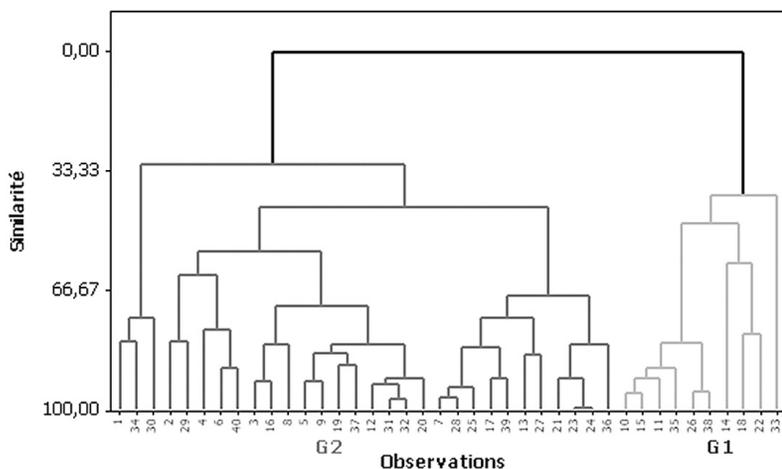
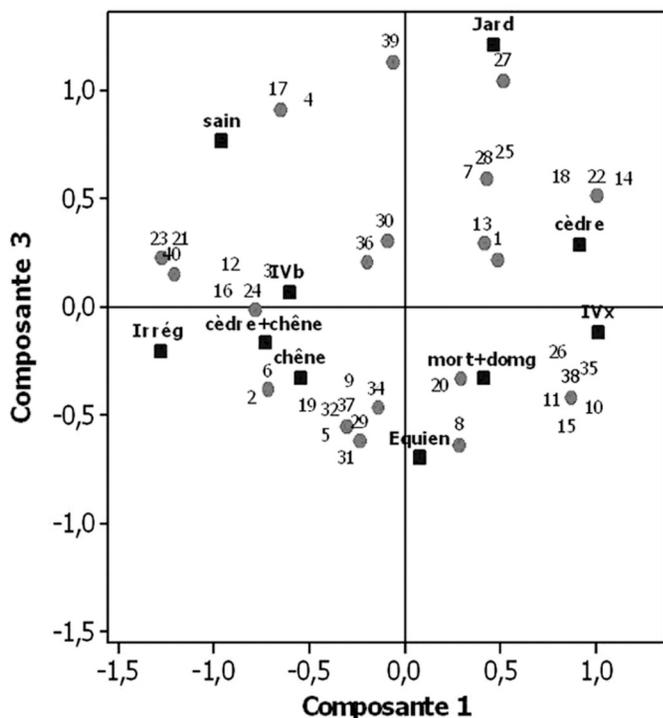


Fig. 4 (en haut) : Position des dix modalités de l'AFC dans le deuxième plan factoriel (1 x 3)

Fig. 5 (ci-contre) : Dendrogramme de la classification hiérarchique

Tab. VII : Classification hiérarchique des quatre variables de l'AFC (Variables normalisées, distance euclidienne, liaison complète, nombre de groupes = 2)

Groupes	Nombre d'observations	Somme des carrés dans le groupe	Distance moyenne du point central	Distance maximale du point central	Distance entre les points centraux des groupes	
					Groupe 1	Groupe 2
Groupe 1	10	27,532	1,501	3,059	2,4974	0,0000
Groupe 2	30	81,690	1,568	3,143	0,0000	2,4974

Groupes	Nombre de placettes		Variables de la classification hiérarchique			Indices indicateurs		
			% dépérissement en G	%chêne vert	Indice de Veen	Nombre d'arbres/ha	Indice de Reineke	Indice de Hart-Becking
			%Dép/G	%Qr	IV (sans unité)	N (pieds/ha)	IR (sans unité)	IH (%)
Peuplements à niveaux de dépérissement élevés	G1	10	45,97	7,60	39,75	687,05	687,22	17,88
Peuplements à niveaux de dépérissement négligeables	G2	30	15,13	29,39	10,87	128,17	368,89	45,45

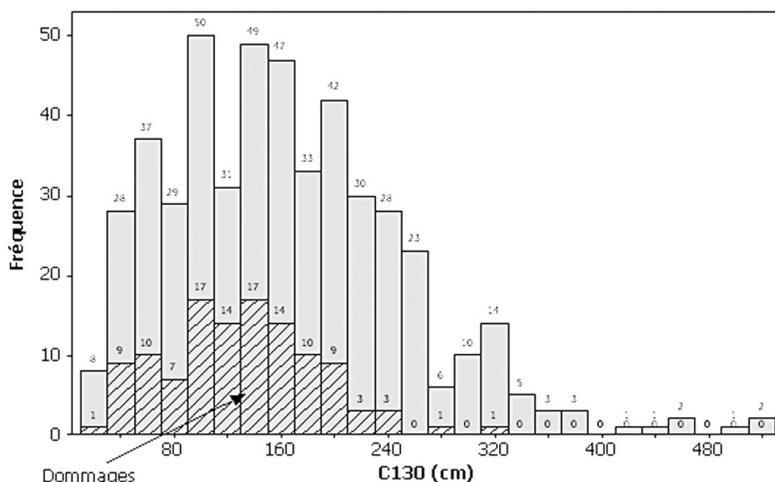
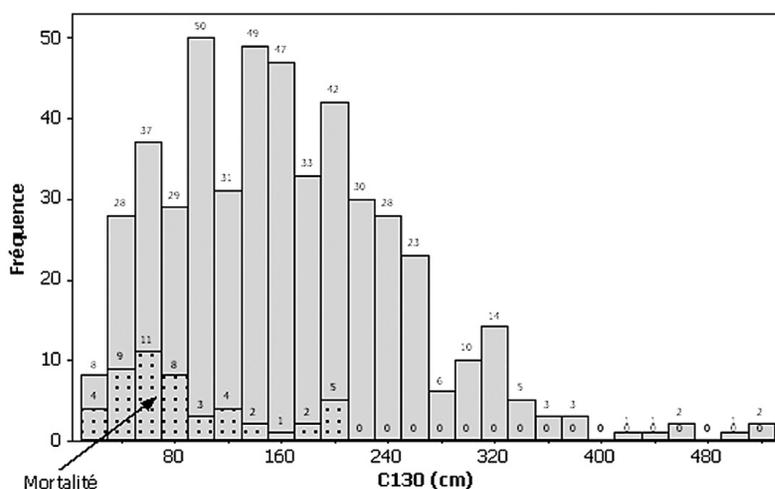
sité absolue (N = 128 pieds/ha) et relative (IR = 369 et IH = 45) est nettement moins forte que celle des peuplements à dépérissement important G1 (N = IR = 687 ; IH = 18).

Tab. VIII (ci-dessus) :
Caractéristiques sylvicoles moyennes des deux groupes de vitalités de la cédraie de Ain Kahla

A l'échelle de l'arbre

Dans ce qui suit, nous nous intéressons au rôle de la compétition sur le plan individuel, dans l'explication des mortalités et dommages observés.

Un premier aperçu sur l'état de santé de la cédraie de Ain Kahla sur le plan individuel montre que parmi les 483 arbres échantillons, 49 sont morts et 116 sont fortement endommagés, soit respectivement des pourcentages de 10% et 24%. Si on accepte que cette situation soit identique dans l'ensemble du massif étudié, cela représenterait une perte considérable, vu la grande valeur écologique et économique du cèdre. Les arbres morts sont plus petits comparativement à ceux endommagés (Cf. Fig. 6 et 7) mais la perte reste considérable pour les deux types (51% des arbres morts ont une C130 comprise entre 70 et 210 cm et 83% des endommagés l'ont entre 70 et 320 cm, bien qu'il ne faille pas perdre de vue l'aspect aléatoire et complexe de la contagion des arbres).



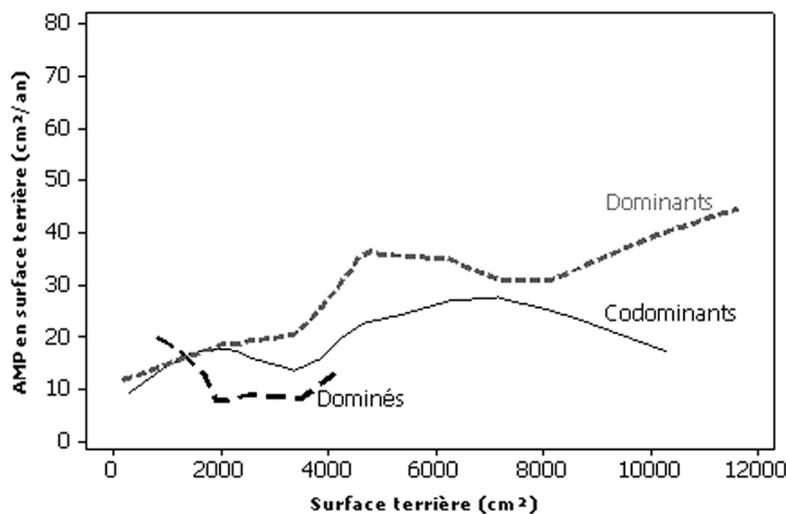
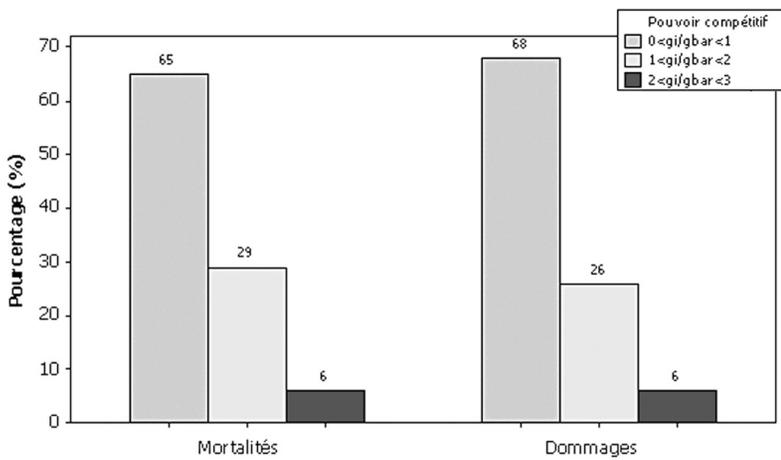
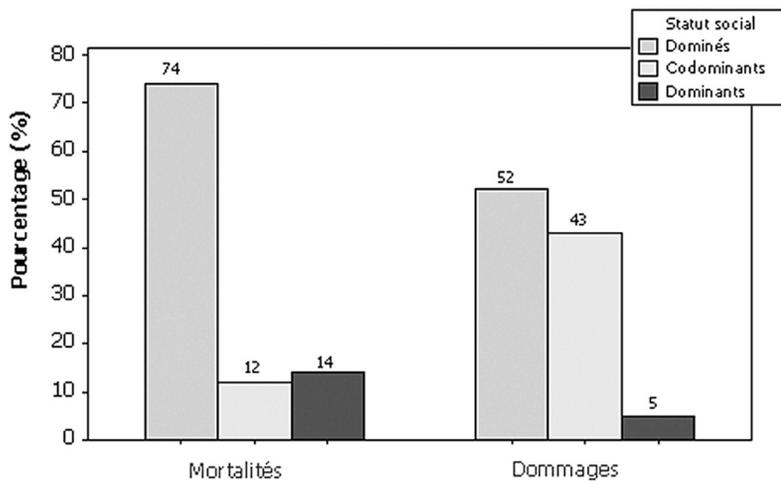
De haut en bas :

Fig. 6 (au milieu) :

Histogramme montrant la proportion des arbres morts dans l'échantillon

Fig. 7 (en bas) :

Histogramme montrant la proportion des arbres endommagés dans l'échantillon



La figure 8 montre que la majorité des arbres morts (74%) ou fortement endommagés (52%) ont un statut social défavorable (arbres dominés).

On remarque aussi que 65 % d'arbres morts et 68 % d'arbres endommagés ont un faible pouvoir compétitif exprimé par un rapport gi / \bar{g} inférieur à 1 (Cf. Fig. 9).

Pour évaluer l'impact de la compétition sur la croissance des arbres, nous examinons l'Accroissement moyen périodique (AMP) des 69 arbres de sondage au cours des dix dernières années précédant l'étude. La figure 10 donne une allure lissée de cet accroissement, et ce en fonction de la grosseur et du statut social des arbres sondés. Pour une même valeur de la surface terrière, on remarque que l'accroissement des arbres dominés (subissant la compétition) est inférieur à celui des arbres codominants qui est inférieur à son tour à l'accroissement des arbres dominants.

Discussion

Les résultats de l'Analyse factorielle des correspondances et de la Classification hiérarchique montrent que les peuplements déperissants sont plus denses comparative-ment aux peuplements sains. Néanmoins, l'étude séparée des deux composantes mortalité et dommages montre que ces derniers sont moins liés à la densité. Ceci n'empêche pas d'attirer l'attention sur les cas des plaquettes à densité élevée où les mortalités et dommages sont simultanément et fortement présents, ce qui laisse suggérer que les attaques phytosanitaires sont probablement plus mortelles en fortes densités.

En toute rigueur, l'établissement d'une relation directe entre la densité et l'apparition des dommages nécessite un dis-

De haut en bas :

Fig. 8 :
Classification des arbres morts et endommagés selon leur statut social

Fig. 9 :
Classification des arbres morts et endommagés selon leur pouvoir compétitif

Fig. 10 :
Courbes lissées des accroissements moyens périodiques (AMP) des 69 arbres sondés en fonction de leur grosseur et statut social

positif expérimental adéquat impliquant plus d'informations sur la santé du cèdre : l'historique des attaques, leur sens d'évolution dans l'espace, leur gravité, la distinction symptômes - agents causaux, les propriétés physico-chimiques du sol... On peut même tester l'existence d'autres causes que la densité (épidémie, changements climatiques...).

Par ailleurs, l'étude indique que les peuplements en situation de mélange cèdre – chêne vert ou de prépondérance du chêne vert sont moins exposés au risque de dépérissement. La présence du chêne vert apparaît donc bénéfique pour le cèdre insensible à cette compétition. La litière du chêne vert (et d'autres feuillus) semble assurer en effet un bon fonctionnement de l'écosystème en maintenant la valeur productrice et améliorant les sols calcaires sur lesquels se développent les cédraies-chênaies vertes du Moyen Atlas (BENABID, 1994). D'autres recherches ont montré d'ailleurs que la diversité spécifique, au sein d'une forêt, augmente sa productivité globale et sa résistance face aux épidémies (MRNQ, 1999). Il y a lieu de signaler aussi que dans la sylviculture dite "proche de la nature", la notion de groupes d'arbres joue un rôle essentiel, où on cherche à favoriser les interactions de coopération et la stabilité du peuplement (OTTO, 1997b).

Les résultats montrent également que les peuplements sains sont associés aux structures irrégulières et jardinées. En effet, les peuplements étagés utilisent mieux la lumière et l'acide carbonique et sont moins exposés aux divers dangers et accidents (BOUDRU, 1989). Pour une meilleure conservation des cédraies marocaines, BENABID (1994) propose de proscrire la futaie régulière (équienne) au profit de la futaie jardinée (inéquienne).

A l'échelle de l'arbre, l'effet de la surdensité sur la vigueur du cèdre est plus explicite. Les arbres dépérissants (morts ou fortement endommagés) sont dotés d'un faible pouvoir compétitif suite à une position sociale défavorable. Ce sont essentiellement les arbres dominés dont la quantité reçue de lumière, d'eau et de nutriments est limitée par les arbres concurrents (dominants et codominants). Cette concurrence vitale les rend plus vulnérables aux attaques parasitaires et autres causes de mortalité naturelle (GOUREAUD, 2000). On note également que la croissance des arbres dominés est altérée par la compétition dans une cédraie qui souffre déjà d'un bilan hydrique négatif et d'une

carence en éléments nutritifs.

Conclusion

Dans cette étude, le rôle de la densité dans l'explication du dépérissement de la cédraie de Ain Kahla s'est révélé plus évident à l'échelle de l'arbre qu'à celle du peuplement. Cela justifie la nécessité de recourir à une gestion sylvicole fine qui éduque les arbres et donne à chacun son espace vital optimal.

Le test sur trois indices de compétition : l'indice de Reineke (IR) et les deux facteurs d'espacement de Hart-Becking (IH) et de Vein (IV), a montré l'efficacité de ce dernier qui s'est montré positivement corrélé au pourcentage de dépérissement en surface terrière. L'approche multidimensionnelle à travers l'Analyse factorielle des correspondances et la Classification hiérarchique a permis de distinguer deux groupes de peuplements se différenciant par la densité, la structure et la composition, et dont le niveau de dépérissement dans l'un est triple de l'autre.

Les anomalies phytosanitaires observées ont pu être évitées et une partie du bois perdu par mortalité aurait dû être récupérée si des éclaircies mieux réfléchies avaient été appliquées à la cédraie de Ain Kahla, dans le cadre d'une sylviculture préventive visant la gestion durable des cédraies marocaines, de celles du Moyen Atlas en particulier.

Références bibliographiques

- Amrani Y., (2002) : Contribution à l'inventaire phytosanitaire du cèdre de l'Atlas dans la forêt de Sidi M'guild- Canton de Ain Kahla. Mémoire de 3^e cycle ENFI. 79 p.
- Bakri et Haddan, (1999) : *La forêt et ses ennemis. Le Grand Livre de la Forêt Marocaine*. Mardaga éditeur. 94-100.
- Benabid A., (1994) : Biogéographie, physiologie et phytodynamique des cédraies de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27), 61-76.
- Boudru M., (1989) : Forêt et sylviculture : traitement des forêts. A.S.B.L. 50-57.
- Et-tobi M., M'hirit O., Mhamdi A., et Benziane M., (2001) : Réflexions et propositions pour l'élaboration d'un modèle sylvicole de protection phytosanitaire des cédraies marocaines.

- Séminaire du groupe IUFRO sur la sylviculture du chêne-liège et du cèdre, Rabat, Maroc, 103-120.
- Goreaud F., (2000) : Apports de l'analyse de la structure spéciale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes. Thèse de Doctorat. ENGREF. Centre de Nancy, 525 p.
- INRA (2000) : Mesures relatives à la constitution de peuplement (régénération naturelle et boisement) - Adapter la sylviculture aux risques croissants d'accidents climatiques- Unité d'écophysiologie forestière- Centre de Nancy. p2.
- M'hirit O., (1994) : Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea Le "Cèdre". *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27), 3-21.
- Mokrim A. et Chbouki N. (1994) : Dynamique de la croissance radiale du cèdre – Apport de la dendrochronologie. *Ann. Rech. For. Maroc*, T(27), 187-203.
- MRNQ, (1999) : Ministère des Ressources Naturelles du Gouvernement du Québec. Les forêts : Stratégies de protection des forêts. p 3.
- Otto H.J. (1997b) : Les forêts de Basse-Saxe en Allemagne du nord : un passé difficile commande une gestion nouvelle. 2 : le programme gouvernemental Lowe, principes d'une sylviculture proche de la nature. *Rev. For. Fr.*, 49 (5) : 477-488.
- Pardé J. et Bouchon J., (1988) : *Dendrométrie*. 2^e éd. Nancy, Ecole nationale du Génie rural, des Eaux et Forêts, 328 p.
- Rondeux J., (1999) : Les mesures des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux. 338-373.
- SAFBV, (1995) : Révision du PV d'aménagement de la forêt de Sidi M'guild. Centre régional d'études et d'aménagement de Meknès.
- Targui M., (1986) : Contribution à l'étude de la nutrition minérale du cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le Moyen Atlas Central (Maroc) Corrélation avec la production. Mémoire de 3^e cycle. IAV Hassan II.Rabat.
- Torres Rojo Juan M. et Velazquez Martinez Alejandro (2000) : Índice de densidad relativa para rodales coetáneos mezclados. ENSAYO en Agrociencia 34: 497 -507.
- William R.Harms, Craig D. Whitesell, Dean S. Debell (2000): Growth and development of

Résumé

Un total de 40 placettes échantillonnées dans la cédraie de Ain Kahla (forêt de Sidi Mguild au Moyen Atlas marocain) a permis d'étudier le phénomène du dépérissement du cèdre en fonction de certaines caractéristiques du peuplement. L'analyse à l'échelle du peuplement et surtout celle au niveau de l'arbre, met en évidence la prépondérance de la surdensité dans l'explication du dépérissement observé. Une compétition accrue entre arbres, aggravée par des attaques parasitaires, semble altérer la santé du cèdre.

L'utilisation de l'Analyse factorielle des correspondances et de la Classification hiérarchique a permis de lier l'état de santé du cèdre aux variables : densité, structure et composition du peuplement. Les résultats indiquent que les peuplements dépérissants sont caractérisés par une forte densité, une structure équienne et une rareté du chêne vert. L'étude montre qu'il est urgent de réduire la densité dans la forêt de Ain Kahla, par des éclaircies bien dosées dans le cadre d'une gestion fine ciblant aussi bien le peuplement que l'arbre.

Mots clés : Dépérissement, Ain Kahla, densité, compétition, éclaircies

Summary

Influence of density and stand configuration on the decline of cedars in Sidi M'Guild (Middle Atlas, Morocco)

A total of 40 plots sampled in the Ain Kahla cedar forest (Sidi M'Guild forest in Morocco's Middle Atlas) provided data for a study of cedar decline in relation to certain characteristics of the stand. Analyses at the stand level and especially at the single tree scale have highlighted that major excess density could account for observed decline. It seems that strong competition between trees, aggravated by parasite attacks, has affected the stands' health.

Through the use of analysis of correspondences and hierarchical classification it has been possible to link the health of the cedars to variables in density, structure and composition. The results show that the stands in decline are characterized by high densities, an even age pattern and a scarcity of evergreen holm oak. The study shows the urgent need to reduce density in the Ain Kahla forest by carefully-planned thinning within the framework of pinpoint management focused as much on whole stands as on the individual tree.

Key words: Decline, Ain Kahla, density, competition, thinning