

## The factors responsible for the decline of the cork-oak of Kroumirie (North West of Tunisia).

### Les facteurs responsables du dépérissement de la subéraie de la Kroumirie (Nord Ouest de la Tunisie).



F. HASNAOUI<sup>1\*</sup>, I. ZOUAOUT<sup>1</sup>, N. BOUSSAIDI<sup>1</sup>, R. NCIBI<sup>1</sup>, CH. ABBES<sup>1</sup> ET B. HASNAOUI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Sylvo-Pastoral Tabarka - Tunisie

\*Corresponding author: hasnaoui.foued@gmail.com

**Abstract - :** Observations during the period (2002-2017) were achieved in different cork oak forest according to altitude, exposures, masked and unmasked trees, burned, not burned, and mutilated. This study focused on the whole Tunisian cork oak forest.

The various visits of the exploitation cork sites showed that the decline of the cork oak forests is the direct result of the bad cutting cork, capping and mutilation, repeated fires, xylophagous insects, fungal diseases, and water stress. All these factors act simultaneously from the first infestation to the inevitable decline of the tree.

Observations and follow-ups of the stations studied made the following conclusions:

- Defective removal associated with mutilations predisposes the tree to a progressive physiological weakening;
- Xylophagous insects and fungal diseases take advantage of this weakening to colonize the tree in a critical situation;
- The analysis of rainfall distribution, in the study area, has highlighted the existence of a deficit annual water balance ranging from 5 to 6 months (from April to September in the sub-region of Tabarka and 5 months in the hives of Ain Draham and El Feija).
- Avoiding at all costs the dismantling of decline trees, diseased, limbed, mutilated or recently burned;
- Hire only skilled and experienced workers in cork harvesting;
- Use appropriate cork harvesting equipment;
- Re-examine the rotation and the weeding coefficients, which vary according to the fertility of the stations;
- Apply silvicultural treatments according to stages of development to prevent competition between cork producing trees.

**Keywords:** Cork oak forests, oak pests, decline, Kroumirie

**Résumé- :** Les observations au cours de la période quinquennale (2002-2017) ont été réalisées dans différents peuplements de chêne-liège en fonction de l'altitude, les expositions, arbres démasclés et non démasclés, incendiés et non incendiés et mutilés. Cette étude a porté sur l'ensemble de la subéraie tunisienne.

Les différentes visites des chantiers de démasclage ont montré que le dépérissement des forêts de Chêne-liège est la résultante directe du mauvais démasclage, gaulage et mutilation, incendies répétés, insectes xylophages, maladies fongiques, et stress hydrique. Tous ces facteurs agissent simultanément depuis la première infestation jusqu'au dépérissement inéluctable de l'arbre.

Les observations et suivis des stations étudiées ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le démasclage défectueux associé aux mutilations prédisposent l'arbre à un affaiblissement physiologique progressif ;

- Les insectes xylophages et les maladies fongiques profitent de cet affaiblissement pour coloniser l'arbre en situation critique ;
- L'analyse de la répartition pluviométrique, dans la région d'étude, a mis en évidence l'existence d'un bilan hydrique annuel déficitaire allant de 5 à 6 mois (du mois d'Avril au mois de Septembre dans la subéraie de Tabarka et de 5 mois dans les subéraies d'Ain Draham et El Feija).

Pour limiter les vagues de dépérissement de la subéraie tunisienne, il est souhaitable de prendre les précautions nécessaires suivantes :

- Eviter à tout prix de démascler les arbres dépéris, malades, ébranchés, mutilés ou récemment incendiés ;
- N'embaucher que des ouvriers qualifiés et expérimentés en matière de récolte de liège ;
- Utiliser un matériel de récolte de liège approprié ;
- Réétudier la rotation et les coefficients de démasclage qui varient étroitement en fonction de la fertilité des stations ;
- Appliquer les traitements sylvicoles suivant les stades de développement afin d'empêcher les concurrences entre les arbres producteurs de liège.

---

**Mots clés :** subéraie, ravageurs de chênes, xylophages, dépérissement, Kroumirie.

---

## 1. Introduction

La futaie sur souche représente plus de 80% de la subéraie Tunisienne. Cette futaie résulte réellement d'incendies devant dater de 1870 à 1880, suivis de grosses coupes assises de 1885 à 1900 (Boudy, 1952). Les forêts de chêne-liège occupaient une superficie de 140000 ha (Boniard, 1934 ; cité par El Hamrouni, 1992). Cette superficie a fortement diminué sous l'action des principaux facteurs de dégradation.

Boudy (1952) a précisé que la superficie de la subéraie Tunisienne était de 127000 ha et enfin l'inventaire national sylvo-pastoral (D.G.F, 2003) n'a trouvé que 70000 ha seulement soit une perte de 50% en 69 ans.

On qualifie de dépérissement du chêne liège, tout phénomène inhabituel de perte de vitalité qu'elle qu'en soit la cause (Ladmann, 1990). Ladmann (1993), précise dans une autre définition que le terme de « dépérissement » se réfère généralement à une perte de vigueur et de santé prématurée et progressive non associé systématiquement à un insecte ou à un pathogène spécifique.

Les premières observations de dépérissement, remontent à 1988 avec une accélération plus forte à partir de 1990. Un dessèchement complet ou partiel des cimes a été observé sur plusieurs pieds de chêne liège (Ben Jamaâ et Hasnaoui, 1996). Les dépérissements et la mortalité dans les forêts de chêne liège en Tunisie ont été observés bien avant les années 80 (Delatour, 1983) a constaté ce phénomène depuis les années soixante.

Des dépérissements inquiétants du chêne liège dans les subéraies, se sont développés depuis la fin des années 1980 avec des dégâts de gravité variable : perte de vigueur, défoliation et dans certains cas mortalité (Doufène, 1998). Outre les causes liées à la sécheresse, aggravées par ailleurs par le pompage dans les nappes pour l'approvisionnement en eau, il convient de citer les autres agents aggravants la situation : attaques d'insectes défoliateurs et des champignons.

Hasnaoui et al, (2004) ont précisé que le taux de dépérissement moyen pour la forêt de Tabarka est de l'ordre de 14%. Les taux de dépérissement les plus faibles ont été enregistré dans les stations d'altitude et les taux les plus élevés dans les stations de basse altitude et celles orientées vers le sud.

Les objectifs de cette étude sont en premier lieu l'identification des principaux facteurs de dépérissement des subéraies tout en cherchant à corrélérer les différentes variables testées.

## 2. Matériel et Méthodes

Notre intérêt porte, dans ce travail, sur le dépérissement qui affecte la subéraie du Nord Ouest Tunisien. Nous avons mis en place au cours des années 2008-2010 des réseaux de surveillance permanents dans le but de définir l'incidence réelle de ce phénomène et d'en déterminer les principales causes afin d'arrêter les interventions les plus appropriées. Le diagnostic de l'état phytosanitaire de la subéraie a été réalisé par l'analyse de diverses données, collectées sous forme de fiches pour chaque placette et chaque arbre dépéri et l'identification des différentes causes de dépérissement de ces écosystèmes. Pour ce faire, les étapes ci-dessous ont été suivies.

## 2.1. Choix du dispositif

Le diagnostic du dépérissement par divers indices, taux et classes, a montré une variation inter-stationnelle et entre les peuplements en question (Hasnaoui, 2008). L'étalement des résultats de nos investigations sur la Kroumirie, nous a permis la mise en place d'un réseau de surveillance du dépérissement des subéraies pures et des peuplements en mélange.

L'existence de ce réseau ou observatoire peut être indispensable pour le contrôle annuel de la vigueur et de la dynamique de ces forêts.

Le choix des stations pilotes de ce réseau a été effectué sur la base de leurs indices et taux de dépérissement les plus élevés. Nous avons sélectionné les endroits qui présentent en premier lieu l'indice de dépérissement le plus élevé (supérieur à 1) et en second lieu les placettes présentant plus de 26 % d'arbres dépéris (Hasnaoui, 2008).

L'application des critères retenus a donné 22 placettes pour la subéraie pure et 14 placettes pour les peuplements en mélange. Nous avons obtenu un total de 36 placettes de contrôle de l'état phytosanitaire. Ces sites de contrôle par ce réseau de monitoring sont portés dans le tableau suivant :

**Tableau 1.** Les placettes retenues pour le réseau de monitoring dans la région de Tabarka – Aïn Drahem et Ghardimaou

Région	peuplements	Série	Triage	Parcelle	I.D. moy	Taux moy	N° Ordre	
Tabarka	Chêne-liège	Hamdia	Majen Erroumi	15	1,48	48	1	
				41	1,88	54	2	
				28	1,27	60	3	
		Sidi Bader	Mekna I	22	0,79	43	4	
				37	0,81	31	5	
				12	1,69	54	6	
				20	1,30	41	7	
				18	1,14	33	8	
		Aïn Sobah	Mekna III	19	1,22	41	9	
				27	1,22	52	10	
	Chêne-liège + Chêne zeen	Mekna V	Mekna V	16	1,00	42	11	
				29	1,76	52	12	
				42	1,03	29	13	
				40	1,40	40	14	
				39	1,36	45	15	
		Aïn Snoussi	Mekna I	Mekna I	41	0,71	29	16
					22	0,95	37	17
					25	0,79	26	18
					9	0,82	27	19
					45	1	28	20
	Aïn Drahem	Chêne-liège + Chêne zeen	Amdoun I	Amdoun I	11	1,31	38	21
					44	1,14	33	22
2					1,44	37	23	
22					1,06	29	24	
11					1,53	41	25	
Oued Zeen		O Z I	O Z I	14	0,35	26	26	
				8	0,87	48	27	
				21	1,29	54	28	
				27	1,54	41	29	
				29	1,48	41	30	
Chardimaou	Chêne-liège +Chêne- liège	Série V	Série V	21	0,88	53	31	
				34	1,03	30	32	
				31	1,16	33	33	
				12	1,05	29	34	
				13	0,93	28	35	
				24	0,93	26	36	

## 2.2. Suivi du dispositif

Le monitoring ou le monitoring est la surveillance continue de certains paramètres ou phénomène physiologiques de l'arbre reflétant leur état sanitaire (Hasnaoui, 2008).

Le monitoring de notre zone d'étude est possible par l'installation d'un réseau de surveillance, qui est une organisation ordonnée d'un ensemble de dispositif choisi au paravent et suivi annuellement pour des objectifs bien précis.

Ce réseau est formé par tout un groupe de chercheur multidisciplinaire (pédologue, écologue, entomologiste, pathologiste et deux techniciens) en collaboration avec les gestionnaires de la région. Une fois les séries des placettes échantillons ont été choisies sur terrain et portées sur une carte, on délimite chaque zone cible sur une superficie circulaire de 4000 m<sup>2</sup>, tout en fixant le centre et les limites de chaque placette.

Le suivi de ce dispositif se fait d'une façon périodique (une fois par an) à partir du premier juillet à la fin du mois de septembre de la même année. Le travail consiste au remplissage de deux fiches « fiche placette » et « fiche arbre ». Au sein de chaque placette, on procède au prélèvement des échantillons de sol et de feuilles des deux catégories d'arbres (arbres sains et arbres dépéris). Ces échantillons vont servir aux analyses chimiques des feuilles et du sol. On prélève aussi, à chaque observation, les symptômes de dépérissement, généralement couplés avec des agents pathogènes, des échantillons de bois, écorce, liège feuilles branches, rondins, etc. Pour des analyses et des observations pathologiques et entomologiques nécessaires au laboratoire.

Ces réseaux sont constitués des placettes modèles implantés suivant les gradients altitudinaux, les expositions, dans les peuplements de chêne liège incendiés, non incendiés et démasclés et non démasclés. Ces réseaux représentent les différents peuplements de chêne liège purs et en mélange.

## 2.3. Caractérisation du Dépérissement en fonction des paramètres stationnels et des peuplements

### 2.3.1. Les variables retenues pour les Analyses en Composantes Principales (ACP) des paramètres relatifs aux peuplements

Pour mieux comprendre la relation existant entre la détérioration de l'état sanitaire des peuplements et des arbres de l'ensemble de nos placettes et les différents paramètres du milieu susceptibles de leur être défavorables, nous avons regroupé et trié les données de la «fiche placette», dans une matrice, en fonction des variables figurant sur le tableau 1. Cette matrice a été utilisée pour faire les Analyses en Composantes Principales (ACP) de l'effet de différentes variables sur l'état phytosanitaire des peuplements. Les données sont analysées par les logiciels : SAS V8 et EXCEL.

**Tableau 2** Variables retenues pour les Analyses en Composantes Principales (ACP).

Variables	Descriptif des modalités
Altitude (alt)	1 (0 – 250 m) ; 2 (251 – 500 m) ; 3 (501 – 750 m) et 4 > 750 m
Pente	1 ( $P \leq 5\%$ ) ; 2 ( $5 < P \leq 15$ ) ; 3 ( $15 < P \leq 30$ ) et 4 ( $P > 30$ ).
Charge en cailloux (ccharge)	0 : nulle ; 1 : moyenne ; 2 : forte.
Erosion (ceros)	0 : nulle ; 1 : moyenne ; 2 : forte.
Pâturage (cpat)	0 : nulle ; 1 : modéré ; 2 : sur pâturé (Intense).
Incendie (cincend)	0 : aucun passage visible ; 1 : un passage visible.
MOF	Epaisseur de la matière organique fraîche (cm).
MOD	Epaisseur de la matière organique décomposée (cm).
Hmoy	Hauteur moyenne en mètre du peuplement.
Dmoy	Diamètre moyen en mètre du peuplement.

## 2.4. Caractérisation du Dépérissement en fonction des paramètres des arbres

### 2.4.1. Rappel des variables retenues pour les Analyses en Composantes Principales (ACP) des caractéristiques des arbres

L'appréciation de l'état sanitaire des arbres de l'ensemble de nos placettes et les différents paramètres du milieu susceptibles d'être néfastes aux peuplements a été réalisée comme suit : nous avons regroupé et trié les données de «la fiche arbre» sur une matrice en fonction de quelques variables pour les différentes placettes (tableau 3). Cette matrice a été utilisée pour effectuer les Analyses en Composantes Principales (ACP) de l'effet de différentes variables sur l'état phytosanitaire des arbres.

Les données sont analysées par les logiciels : SAS V8 et EXCEL. Cette technique est particulièrement avantageuse lorsque les axes principaux sont facilement interprétables et lorsqu'un nombre réduit d'axes prend en considération une part importante de la variabilité des données (Palm, 2000).

**Tableau 3.** Les variables retenues pour les Analyses en Composante Principale (ACP).

Variables	Descriptif des modalités
Indice de défoliation (Defol)	0 (arbre sain) : 0 – 10 % ; 1 : 11 – 25% ; 2 : 26 – 60 % ; 3 : > 60 % ; 4 (arbre mort) : 100 %.
Dégâts sur les feuilles (DegatF)	0 : feuilles normales (sans dégâts); 1 : feuilles avec des dégâts
Présence de défoliateurs (Defoliat)	0 : Absence ; 1 : présence
Nombre de défoliateurs (Nb_defol)	De 1 à n défoliateurs
Démasclage (Demasc)	0 : arbre non démasclé ; 1 : arbre démasclé
Nombre de récolte (Nb_reclt)	De 0 à n récoltes
Nombre de cicatrice (Nb_cicat)	De 0 à n cicatrices
Importance de dommages (dessèchement, éclatement d'écorce, pourriture, cavité, déformation d'écorce, écoulement noirâtre) (Impdomg)	0 : faible ; 1 : moyenne ; 2 : forte.
Nombre de xylophages (Nb_Xylo)	De 0 à n xylophages
Présence de champignons (Champ)	De 0 à n champignons
Etat de dépérissement (Etat)	De 1 à 4 (arbre mort)
Hauteur totale (Ht)	Mesurée et exprimée en mètre
Circonférence à 1,30 (C130)	Mesurée et exprimée en mètre
Circonférence à 0,30 (C30)	Mesurée et exprimée en mètre

### 3. Résultats et Discussion

Pour caractériser les facteurs de dépérissement, nous avons réalisé sur les matrices de données pour les différentes placettes et les deux types de peuplements une Analyse en Composantes Principales (ACP) suivie d'une représentation de l'Indice moyen de dépérissement dans les plans factoriels formés par les deux premiers axes principaux.

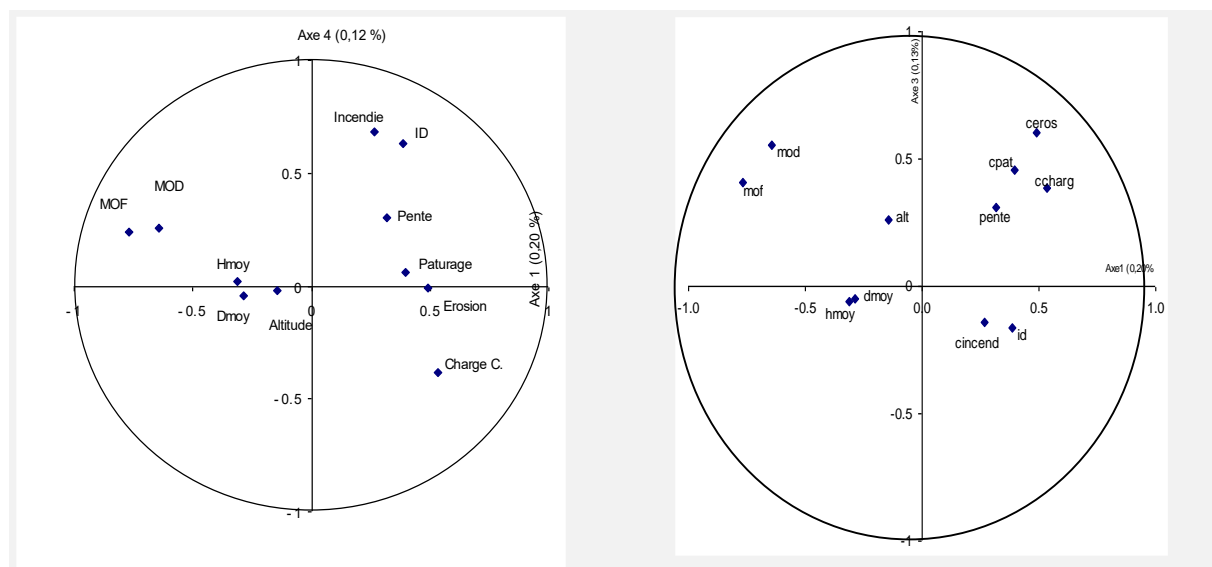
Les tableaux (4 et 5) donnent, par type de peuplement, les informations relatives aux valeurs propres et les corrélations des variables initiales avec les quatre premières composantes principales. Il ressort du tableau 4 que la première composante principale comporte 20 à 21 % de la variabilité totale d'un type de peuplement à un autre. Elle est la plus importante, puisque les trois autres composantes n'expliquent que 11 à 15 % de cette variabilité pour les mêmes sites.

**Tableau 4.** Valeurs propres et contribution à la variation totale relative et cumulée.

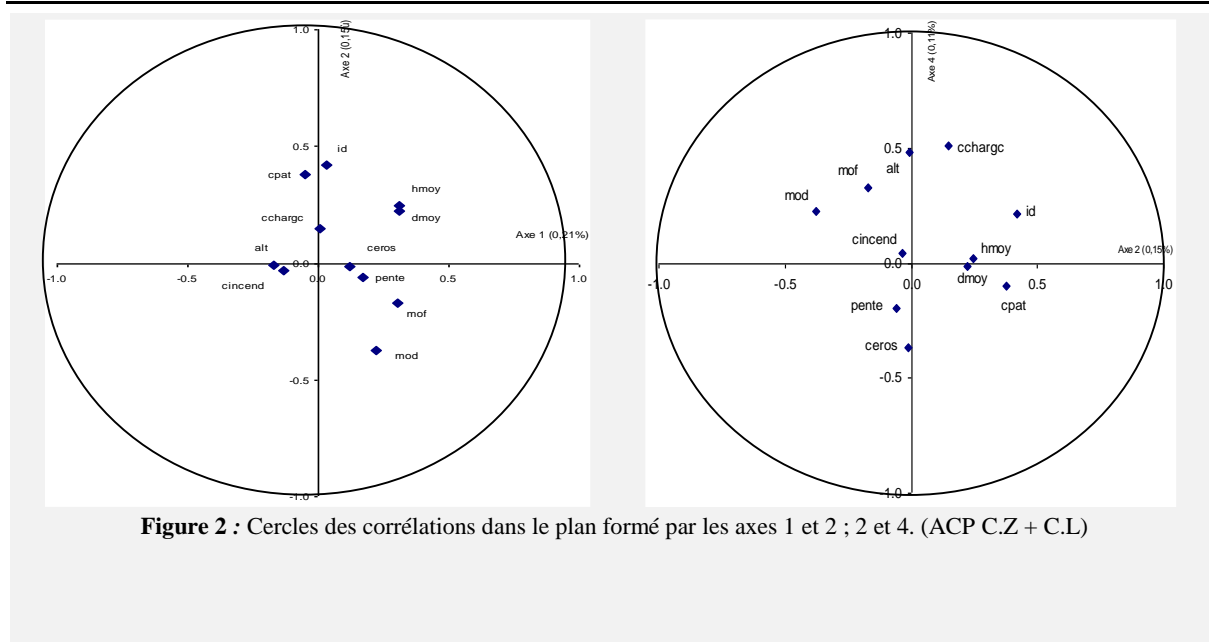
Type peuplement	Axes principaux	Valeurs propres	Contribution à la variation totale (en %)	Contribution Cumulée (en %)
Peuplement Subétraie pure	1	2,2122	20	20
	2	1,6289	15	35
	3	1,4117	13	48
	4	1,2352	12	60
	5	0,9695	9	69
Peuplement mixte	1	2,3551	21	21
	2	1,5946	15	36
	3	1,2447	11	47
	4	1,1345	11	58
	5	1,0511	10	68

**Tableau 5 :** Corrélations des variables initiales avec les quatre premiers axes principaux.

Types de peuplements	Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Subétraie pure	<b>id</b>	<b>0,3852</b>	<b>0,10621</b>	<b>-0,16555</b>	<b>0,63304</b>
	alt	-0,1450	-0,44348	0,26081	-0,02069
	pente	0,3191	0,34445	0,31101	0,30379
	cchargc	0,5327	0,10173	0,38462	-0,38525
	ceros	0,4889	0,16032	0,60222	-0,00864
	cpat	0,3976	0,09208	0,45552	0,05973
	cincend	0,2657	-0,1201	-0,14288	0,68275
	mof	-0,7695	-0,06947	0,40748	0,23834
	mod	-0,6453	-0,10157	0,55609	0,25363
	hmoy	-0,3139	0,78927	-0,05711	0,01734
dmoy	-0,2875	0,77798	-0,04987	-0,04542	
Peuplement mixte	<b>id</b>	<b>0,03400</b>	<b>0,41978</b>	<b>0,22907</b>	<b>0,21557</b>
	alt	-0,16774	-0,00856	-0,16530	0,48262
	pente	0,16976	-0,06041	0,12145	-0,19708
	cchargc	0,00580	0,14627	0,47217	0,50778
	ceros	0,12246	-0,01401	0,56793	-0,37019
	cpat	-0,05177	0,37934	0,07518	-0,10148
	cincend	-0,13483	-0,03284	-0,00573	0,04074
	mof	0,30315	-0,16924	-0,00498	0,32528
	mod	0,22232	-0,37656	0,16020	0,22363
	hmoy	0,31062	0,24454	-0,26862	0,01835
dmoy	0,31057	0,22439	-0,24460	-0,01390	



**Figure 1.** Cercles des corrélations dans le plan formé par les axes 1 et 4 ; 1 et 3. (ACP C.L)



**Figure 2 :** Cercles des corrélations dans le plan formé par les axes 1 et 2 ; 2 et 4. (ACP C.Z + C.L)

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont portés sur les tableaux 4 et 5 et sont représentés par les figures 1 et 2.

D'après ces résultats et afin de visualiser le dépérissement sur un plan factoriel, il est judicieux de retenir les quatre premières composantes, qui expliquent ensemble 60 % et 58 % de la variabilité totale, respectivement, pour les zones de chêne-liège purs et le peuplement en mélange.

L'examen des corrélations des variables initiales avec la première composante pour la subéraie pure (tableau 5 et figure 1 de l'ACP C.L), montre une nette opposition des paramètres de dépérissement, exprimé par l'indice moyen (I.D.), de l'état de la surface de la placette (charge en cailloux et érosion de surface), le degré de pâturage, la pente et le passage d'incendie, aux paramètres de l'importance de la matière organique décomposée et fraîche à la surface, altitude et caractéristiques dendrométriques (hauteur et diamètre) de l'arbre moyen.

L'interprétation des dépendances des variables initiales avec la première composante pour le peuplement mixte (tableau 5 et figure 2 de l'ACP C.L + C.Z), montre une légère dépendance entre le dépérissement, l'état de la surface du sol exprimé par la charge en cailloux à la surface et l'importance de l'érosion à la surface, les caractéristiques dendrométriques et l'indice de pâturage de la placette avec les autres éléments: la pente, l'altitude et l'importance de la matière organique décomposée et fraîche à la surface. D'après ces cercles de corrélations de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) des types de peuplements, nous avons enregistré une opposition nette de la richesse du sol, évaluée par l'épaisseur de la matière organique fraîche et la matière décomposée avec les facteurs stationnels, représentés par l'indice de pâturage, la pente, la charge en cailloux et l'indice d'érosion. Ces analyses ont montré que pour une station caractérisée par une pente forte, les quantités reçues de précipitation, ruissellent en grande partie, favorisant l'érosion et par suite l'affleurement de la roche mère et appauvrissent ainsi, le sol par la diminution de la matière organique.

D'une façon générale, les paramètres des placettes (pente, indice de pâturage,...) forment une micro station (micro climat), se réunissent ensemble et influent sur la dynamique de la végétation et notamment la vigueur des arbres et des peuplements.

Pour évaluer les mécanismes intervenant dans les phénomènes d'affaiblissement et de dépérissement des différents peuplements à base de chêne-liège, nous avons réalisé sur les matrices de données pour les différents arbres dépéris et inventoriés une Analyse en Composantes Principales (ACP), suivie d'une représentation de l'état de l'arbre dans les plans factoriels formés par les deux premiers axes principaux. Les tableaux (6 et 7) accordent, par espèce, les données relatives aux valeurs propres et les corrélations des variables initiales avec les quatre premières composantes principales. Il ressort du tableau 6 que la première composante principale comporte, à elle seule, 41 % de la variabilité totale pour chaque espèce. Elle est partiellement la plus importante, puisque les trois autres composantes n'expliquent que 6 à 24 % de cette variabilité pour l'espèce en question.

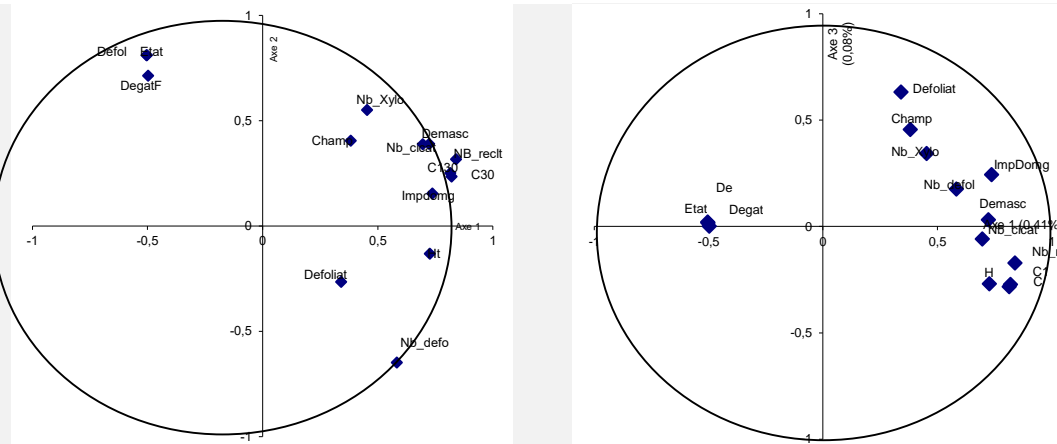
**Tableau 6.** Valeurs propres et contribution à la variation totale relative et cumulée.

Type peuplement	Axes principaux	Valeurs propres	Contribution à la variation totale (en %)	Contribution Cumulée (en %)
Peuplement Subéraise pure	1	5,6799	41	41
	2	3,3513	24	65
	3	1,0785	8	73
	4	0,8293	6	79
Peuplement mixte	1	4,5930	33	33
	2	3,3650	24	57
	3	1,7574	13	70
	4	1,0122	7	77

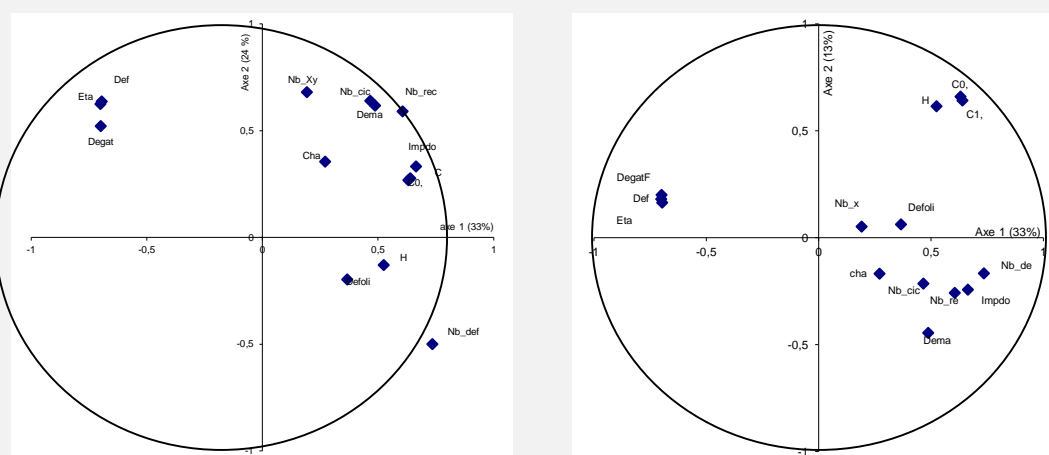
**Tableau 7.** Corrélations des variables initiales avec les quatre premiers axes principaux.

Types de peuplements	Variables	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
Subéraise pure	Defol	-0,50321	0,81231	0,01749	0,11845
	DegatF	-0,49738	0,71402	0,00196	0,15322
	Defoliat	0,34112	-0,26457	0,63241	0,58513
	Nb_defol	0,58322	-0,64813	0,17697	-0,01258
	Demasc	0,7234	0,39019	0,03247	-0,20695
	Nb_reclt	0,8394	0,31735	-0,17088	0,04257
	Nb_cicat	0,69574	0,38914	-0,05781	-0,19458
	Impdomg	0,73679	0,15451	0,24453	-0,16153
	Nb_Xylo	0,45291	0,55188	0,34353	-0,08385
	champ	0,38209	0,40571	0,45698	-0,28112
	<b>Etat</b>	<b>-0,50443</b>	<b>0,81111</b>	<b>0,0217</b>	<b>0,11424</b>
	Ht	0,72636	-0,13111	-0,26941	-0,06581
	C130	0,81422	0,25255	-0,28289	0,34594
	C30	0,81969	0,23511	-0,2713	0,34289
Peuplement mixte	Defol	-0,70086	0,62618	0,18061	0,08801
	DegatF	-0,69909	0,52169	0,20097	0,07089
	Defoliat	0,36592	-0,19645	0,06351	0,71286
	Nb_defol	0,73471	-0,49861	-0,1663	0,06414
	Demasc	0,48747	0,61774	-0,44461	-0,18324
	Nb_reclt	0,60577	0,59117	-0,2577	-0,22609
	Nb_cicat	0,46571	0,64089	-0,21447	-0,11204
	Impdomg	0,66365	0,33344	-0,24267	0,14512
	Nb_Xylo	0,19164	0,68035	0,05256	0,31304
	Champ	0,27098	0,35555	-0,16761	0,47184
	<b>Etat</b>	<b>-0,69582</b>	<b>0,63685</b>	<b>0,1649</b>	<b>0,08215</b>
	Ht	0,5245	-0,12915	0,61479	0,05773
	C 1,30	0,63977	0,27753	0,64135	-0,14126
	C 0,30	0,63143	0,26826	0,66058	-0,13489





**Figure 3.** Cercles des corrélations dans le plan formé par les axes 1 et 2 ; 1 et 3. (ACP C.L)



**Figure 4.** Cercles des corrélations dans le plan formé par les axes 1 et 2 ; 1 et 3. (ACP C.L + C.Z)

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sont résumés par les tableaux 6 et 7 et sont représentés par les figures 3 et 4.

Afin de visualiser le dépérissement sur un plan factoriel, on a retenu les quatre premières composantes, qui expliquent ensemble 79 % et 77 % de la variabilité totale respectivement pour le Chêne-liège et le Chêne-liège en mélange (tableau 6).

L'examen des corrélations des variables initiales avec la première composante pour le Chêne-liège (tableau 7 et figure 3 de l'ACP C.L), montre une nette opposition des paramètres de dépérissement, exprimés par l'état de l'arbre (compris entre 0 = arbre sain et 4 = arbre mort sur pied), de l'indice de défoliation (compris entre 0 et 4) aux paramètres de démasclage, l'attaque des xylophages, des défoliateurs et de champignons, l'importance des dommages et les paramètres dendrométriques de l'arbre (Circonférence et Hauteur).

Ces analyses ont regroupé le démasclage avec l'attaque des xylophages au niveau du tronc, des champignons tout au long de l'arbre et des défoliateurs. On a remarqué aussi que plus l'arbre est démasclé plus les dommages (chancres, nécroses, éclatement d'écorce, écoulement noirâtre), sont observés sur l'arbre. Ce dommage croît avec l'âge de l'arbre. Toutes ces constatations ne sont pas corrélées directement avec l'état de l'arbre.

On peut dire donc que le démasclage et l'attaque des champignons, des défoliateurs et des xylophages sont des facteurs aggravants. Ils n'interviennent généralement que sur des arbres préalablement affaiblis. Leurs actions conduisent, le plus souvent, à leur mort ; mais ne peuvent pas être considérés comme des agents causaux.

L'interprétation des dépendances des variables initiales avec la première composante pour le peuplement mixte (tableau 7 et figure 4 de l'ACP C.L + C.Z), montre une nette opposition entre les paramètres de dépérissement et les autres variables prises en compte.

D'après les deux représentations de cette étude, qui concerne l'espèce chêne liège en mélange avec le chêne zeen il s'avère que l'état de ces deux espèces est légèrement influencé par l'attaque des xylophages uniquement.

L'âge de l'arbre n'a pas un effet direct sur l'état phytosanitaire de l'espèce, puisque, le dépérissement de chêne zeen a été observé sur les différentes catégories d'âge et de hauteur ; Toutefois, une certaine dépendance a été observée entre l'âge des arbres et l'importance des dommages sur les arbres. Les arbres âgés sont les plus affaiblis par les attaques de pathogènes. Les attaques par des défoliateurs et des champignons n'impliquent pas le processus de dégradation de cette espèce. Donc, elles sont des facteurs aggravants de ce processus et pas déclenchants.

L'évaluation de la vitalité des arbres et des peuplements a montré que, leurs vigueurs sont étroitement liées aux différentes caractéristiques du milieu (géographiques, topographiques, pédologiques, floristiques, sylviculturales, climatiques, pastorales et d'incendie) et des arbres échantillons (dendrométriques et d'exploitation).

Pour comprendre ces relations, différentes analyses statistiques (de la variance) ont été réalisées, elles ont montré que l'état sanitaire des deux peuplements et pour les deux espèces est influencé par les divers facteurs du milieu. Le dépérissement, exprimé par un taux et un indice moyen au sein des différents peuplements, est très élevé pour les stations exposées vers le Sud (Sud – Est (SE), Sud – Ouest (SW) et, Sud (S)), pour les terrains en pentes fortes et à faibles altitudes. Ces paramètres du milieu qui influencent nettement l'état sanitaire des trois peuplements, ont une relation avec le microclimat des stations. Les terrains en pente, exposés vers le sud et à faibles altitudes sont les stations les moins arrosées et se caractérisent par des vents secs très fréquents, ceux-ci se reflètent sur la vigueur des arbres et par suite ils favorisent le dépérissement d'un peuplement déjà très vulnérable et très fragile, sous l'action de la surpopulation de l'homme et de son cheptel.

L'indice moyen et le taux de dépérissement les plus faibles sont enregistrés dans les stations à expositions (Nord (N), Est (E), Ouest (W), Nord – Est (NE) et Nord – Ouest (NW)), à pentes modérées ou faibles (inférieures à 15%) et les stations alticoles (au-dessus de 500 m d'altitude).

Cette variation de l'état phytosanitaire des arbres et des peuplements avec les facteurs de la station (Exposition, Altitude et pente) est expliquée par les deux facteurs climatiques : les précipitations et la température. Les précipitations, en Kroumirie, varient d'une façon générale selon l'exposition, l'altitude et la topographie. En général, le gradient est de 1 à 2 mm/m d'altitude (Hasnaoui, 2004).

La température varie aussi avec l'altitude : au fur et à mesure que l'altitude augmente, la température diminue. Les peuplements alticoles sont par conséquent plus arrosés et plus frais que ceux de basses altitudes d'où leur meilleure résistance au dépérissement.

Sechi et al. (2002) faisaient un constat similaire en trouvant que 36,7% des subéraies de Sardaigne (Sud de l'Italie) mal venantes (dépérissantes) se développaient en terrains plats et 20 % sur des pentes exposées au Sud-Ouest. Ces deux types d'exposition étaient aussi plus fréquents pour les forêts correspondant aux classes de dépérissement les plus fortes. Ils estimaient que ces forêts étaient plus sensibles au dépérissement car elles étaient soumises à des vents répétés et à un fort ensoleillement.

En ce qui concerne l'altitude, cette même équipe de recherche ajoutaient que les subéraies (environ la moitié), se trouvant dans la frange d'altitude comprise entre 201 et 400 m au-dessus du niveau de la mer, appartenaient à la classe de dépérissement la plus grave.

Nos prospections sur terrain se rapportant à la prédation au sein des chênaies étudiées ont confirmé les résultats trouvés par l'équipe Dypen en 1994. Cette équipe a montré que tous les paysans pratiquaient l'élevage extensif avec des troupeaux à effectifs très variables. Le troupeau était le plus souvent composé de bovins (quelques têtes / ménage) de caprins et d'ovins, (une à deux dizaines de têtes / ménage en moyenne). Les superficies des clairières étant très insuffisantes, ce cheptel se rabattait et se rabat encore aujourd'hui sur le milieu forestier surtout en automne, hiver et printemps; la charge à l'hectare est généralement très élevée d'où un déficit très important en U.F, entraînant une sorte de « ratissage » de toute nourriture disponible (herbes, feuilles d'arbustes et d'arbres, fruits et notamment les glands de Chêne, etc ) et provoquant ainsi la raréfaction de certaines espèces fourragères autochtones comme *Anthyllis barba-jovis* et *Cytisus villosa*, le déséquilibre de la chaîne trophique de tout l'écosystème et des difficultés de régénération de la végétation naturelle (Hasnaoui 1995).

Cette situation fait que chaque arbre adulte que nous perdons, par coupe ou par sénescence, ne sera presque jamais remplacé naturellement, d'où l'obtention d'un milieu de plus en plus dégradé (le Chêne-liège constitue lui-même un premier state de dégradation puisque l'espèce climacique est le Chêne-zeen), (Selmi 1985 ; Hasnaoui 1992).

Cette dégradation est graduelle mais aussi plus accentuée dans les zones les plus enclavées où les habitants comptent presque entièrement sur la forêt pour vivre ; elle va entraîner, entre autres, la diminution quantitative et qualitative de la phytomasse.

La synthèse des résultats, trouvés sur la caractérisation du phénomène d'affaiblissement et de dépérissement des trois types de peuplement en question, a montré aussi, une relation nette entre la vitalité des peuplements et les caractéristiques pédologiques (charge en cailloux, drainage, texture, épaisseur de la matière organique fraîche et décomposée), l'indice de pâturage et le passage ou non d'incendie sur les peuplements.

Les symptômes de la dégradation sanitaire des peuplements ont été observés fréquemment dans les peuplements caractérisés par des sols superficiels, avec affleurement de la roche mère et très chargés en cailloux. De même, le dépérissement est plus observé dans les stations avec une décomposition minimale de la matière organique fraîche et une faible retombée foliaire. Cette insuffisance fait suite à une défoliation élevée, d'ailleurs très corrélée avec l'indice moyen et le taux de dépérissement.

Ces horizons superficiels ont une texture favorisant le ruissellement des eaux de pluie et entraînant une diminution des eaux emmagasinées dans le sol.

Le dépérissement a été observé généralement dans les stations surpâturées, de même, l'état sanitaire des peuplements s'aggrave de plus en plus après un passage d'incendie.

Dans cette forêt, où la répartition des pluies est de type HAPE et la période de sécheresse estivale est assez longue (3 à 5 mois), la perte d'eau par ruissellement due à la texture légère est accentuée par le dommage du sol provoqué par le surpâturage. L'affaiblissement des peuplements, évoluant vers un dépérissement grave au sein des arbres, résulte de la diminution des réserves en eau du sol suite à la sécheresse prolongée.

Les différentes mensurations des arbres moyens de chaque station d'étude (Hmoy et Dmoy), ont montré, que le phénomène d'affaiblissement et de dépérissement est non corrélé avec l'âge et les paramètres morphologiques des arbres. Ce phénomène s'observe pour les différentes classes d'âge, de diamètre et de hauteur.

Les premiers cas de dépérissement inquiétants des chênes ont été signalés à Maâmora (au Maroc) dans les années trente, avec l'attaque du champignon *Biscogniauxia mediterranea* (*Hypoxylon mediterraneum*) (Doufène, 1998). Des dépérissements importants du chêne-liège ont été observés depuis la fin des années 1980 avec des dégâts de gravité variable : perte de vigueur, défoliation et dans certains cas, mortalité (Doufène, 1998). Outre les causes liées à la sécheresse, aggravées par ailleurs par le pompage dans les nappes (drainage) pour l'irrigation et l'approvisionnement en eaux de ville, il convient de citer les autres agents aggravants de la situation : attaque d'insectes défoliateurs (*Lymantria dispar*) et de champignons *Biscogniauxia mediterranea* (*Hypoxylon mediterraneum*). L'Homme est considéré comme le principal agent de dégradation : Défrichement, gaulage, écorçage et écimage sont des opérations délictueuses ou autorisées qui ont fortement appauvri et mutilé la subéraie (Doufène, 1998). La subéraie algérienne a connu beaucoup de bouleversements qui ont contribué à sa régression : vieilles, incendiées, marginalisées et non régénérées, les subéraies dépérissent progressivement d'année en année. Cette situation de crises dont les origines sont lointaines est due à des facteurs multiples : la destruction de la forêt lors de la période coloniale française (destruction due aux colons, destruction due à la paysannerie, etc. (Doufène, 1998).

Des résultats comparables ont été rapportés par Bouhraoua et villemant (2005). Ils ont constaté que, les facteurs qui participent fortement à l'affaiblissement et au dépérissement de certains peuplements dans la subéraie algérienne sont : la succession de cycles d'années sèches, un sol de texture superficielle fine, limono ou argilo-sableuse.

Ces observations concordent avec celles rapportées par Sechi et al. (2002), qui ont constaté que les deux tiers des subéraies de Sardaigne sont pâturées et privées de régénération naturelle et que ces types de subéraies sont plus fréquents dans la classe de dépérissement 4 (plus de 60 % de chênes-lièges montrent des signes de dépérissement).

De ce fait, le pâturage peut avoir un impact négatif sur la forêt quand la charge en bétail est excessive et limite encore plus fortement la régénération naturelle (Hasnaoui, 1998).

Les phénomènes de dépérissement du chêne-liège sont apparus en Sardaigne au début des années 90 (Tarik et al., 2002). Ils se sont manifestés en premier lieu dans les subéraies où les effets négatifs de périodes prolongées de sécheresse se sont ajoutés à des conditions édaphiques peu favorables, un état végétatif précaire et une sylviculture inadéquate (Tarik et al., 2002). Selon les mêmes auteurs, les forêts de chêne-liège les plus affectées sont situées entre 200 et 400 m d'altitude, sur des sols d'origine granitique, en terrain plat et/ou sur des versants exposés au sud ouest. Leurs peuplements purs et équiennes, ont une régénération naturelle insuffisante ou nulle et sont fortement perturbés et sujets à des infestations répétées de lépidoptères défoliateurs.

L'analyse statistique de la relation existant entre la détérioration de l'état sanitaire des arbres de nos stations et des différents paramètres a montré que l'état de l'arbre est étroitement lié à l'indice de défoliation et les dégâts des feuilles observés. Les arbres dépéris présentent une défoliation importante et un dessèchement ou un jaunissement au niveau du feuillage.

Le démasclage de l'arbre de chêne-liège est un facteur de déclenchement du dépérissement des peuplements de la subéraie. Cette variable se comporte comme étant un paramètre de déclenchement de processus, puisqu'il accélère la dégradation des populations et la vigueur des arbres, en permettant l'attaque des xylophages au niveau du tronc et des grosses branches, des champignons sur tout l'arbre et des défoliateurs au niveau des feuilles. Ce constat est confirmé par l'importance des dommages observés au niveau des arbres démasclés.

De même, la subéraie se présente comme étant le peuplement le plus sensible au processus de dépérissement, puisque les attaques diverses des xylophages primaires et secondaires et des champignons, l'importance des dommages et surtout le nombre de cicatrices, ont été fréquemment observés au niveau du tronc c'est-à-dire au niveau du liège qui représente un produit précieux de cette espèce noble. Ainsi, ces attaques et ces dommages ont des conséquences écologiques et économiques plus importantes sur la subéraie que sur la zeenaie.

A l'exception du démasclage, les mêmes constatations ont été observées au niveau des arbres de chêne zeen. L'état de l'arbre n'est pas influencé par l'attaque des champignons, des xylophages et des défoliateurs. Ces variables sont des facteurs d'accélération de processus d'affaiblissement. Mais une certaine corrélation entre l'importance des dommages avec l'âge a été dégagée, par suite plus l'arbre est âgé plus il est attaqué par des agents pathogènes.

Les mensurations dendrométriques relevées sur les arbres dépéris ont montré que le dépérissement touche les différentes classes d'arbres. Mais les arbres âgés présentent le plus d'attaques des xylophages, des champignons, des défoliateurs et le plus de dommages à raison qu'ils sont les arbres les plus démasclés.

Le même comportement de l'état de la subéraie et de la zeenaie de la Kroumirie vis-à-vis de ces variables a été enregistré dans la subéraie algérienne rapporté par Bouhraoua et villemant (2002). Ils ont montré que les peuplements affaiblis deviennent plus vulnérables à l'installation et la multiplication des parasites de «faiblesse», notamment des xylophages. Ces insectes sont particulièrement abondants et leurs attaques ont un impact négatif non seulement sur la qualité du liège dont elles favorisent la déhiscence mais aussi sur la santé des arbres. L'action de ces insectes et les mauvaises conditions de levée du liège ont provoqué un dépérissement irréversible des arbres et la mort de certaines d'entre-deux.

Sechi et al. (2002) a confirmé que l'état sanitaire des arbres en Sardaigne (Italie) est influencé par des facteurs prédisposants. Les arbres soumis à de telles conditions sont rabougris et sont le plus souvent attaqués par des insectes et des champignons. Ceux-ci sont à l'origine de défoliations souvent totales qui conduisent à de graves déséquilibres physiologiques. Elle ajoute aussi, que l'état sanitaire des arbres est ensuite définitivement compromis par les attaques successives des insectes xylophages et surtout des champignons pathogènes qui provoquent leur mort à plus ou moins longue échéance.

Les champignons pathogènes et les insectes phytophages et xylophages tiennent une place de plus en plus importante dans le processus actuel de dépérissement des subéraies tunisiennes (Hartmann, 1989). Leur agressivité et leurs dégâts dépendent étroitement de l'état physiologique des arbres et de l'équilibre de leurs écosystèmes qui subissent d'une manière continue la pression humaine et la rigueur de la sécheresse des périodes estivales.

#### 4. Conclusion

L'effet de l'action humaine s'est fait sentir pour devenir actuellement une menace sérieuse pour la subéraie (démasclage et déliègeage, ébranchage, mutilations graves défectueux. Les peuplements de chêne liège, affectés par plusieurs insectes xylophages redoutables (Le grand capricorne et La piqûre noire du chêne liège...) et maladies (*Biscogniauxia mediterranea* et *Diplodia mutila*), souffrent, s'affaiblissent et dépérissent. Le stress hydrique qui demeure le facteur le plus important pour son influence sur la vitalité du chêne liège. Cette espèce étant appelée à supporter une sécheresse qui sévit pendant 5 à 6 mois de l'année.

Le dépérissement du chêne liège touche l'ensemble des subéraies de plaines et de montagnes. Les facteurs identifiés sont principalement la dégradation du milieu naturel résultant à la pression humaine, le déficit hydrique dû à la sécheresse, les insectes phyllophages et les champignons pathogènes.

L'état actuel des forêts de chêne liège est en perpétuelle lutte contre l'homme et ses animaux, la sécheresse et les insectes et les maladies.

Le stress hydrique se produit lorsque le contenu en eau des tissus diminue à cause d'une demande évapotranspiratoire élevée ou une forte baisse du stock d'humidité du sol. Les principaux effets du stress hydrique dépendent de la sévérité, de la durée de stress et de l'âge de l'arbre. Dès que le stress hydrique devient progressivement plus sévère, des changements physiologiques et biochimiques se produisent. Le manque d'eau peut réduire la croissance directement par ses effets sur la turgescence. Le stress hydrique modifie également les propriétés spectrales des feuilles et induit des émissions acoustiques. Les arbres stressés deviennent plus sensibles à travers leur système de défense et par conséquent favorables aux attaques parasitaires des insectes et des agents pathogènes. Les effets du stress hydrique peuvent entraîner la mortalité des arbres de chêne liège adultes.

Parmi les différents facteurs qui interviennent dans le processus du dépérissement du chêne liège, il semble que l'action des champignons *Biscogniauxia mediterranea* et *Diplodia mutila* représente la phase ultime. Mais il est difficile de dire, dans l'état des connaissances, si ces champignons ont un réel pouvoir pathogène sur des arbres parfaitement sains. Il convient donc de bien surveiller l'évolution de ces dépérissements en fonction des facteurs climatiques.

Le démasclage, le déliègeage, effectués par une main d'œuvre non qualifiée, le gaulage et l'ébranchage des arbres sont des opérations peuvent compromettre le développement ultérieur de l'arbre par la suppression d'une partie importante de son enveloppement protectrice subéreuse, de l'assise génératrice externe se dessèche et les dommages causés par l'écimage et le gaulage entraînent un déséquilibre physiologique profond pouvant aller jusqu'à la mort de l'arbre.

#### 5. Références

- Aussenac G, Guhl J. M (1994).** Dépérissement et accidents climatiques. Revue Forestière Française, vol XLVI, n°5, 458-470p.
- Bakry M. et Abourouh. M (1996).** Nouvelles données sur le dépérissement du chêne liège (*Quercus suber* L) au Maroc. Ann. Rech. For. Maoc. 29 : 24-39p.
- Ben Jemaâ M. H et Hasnaoui B (1996).** Le dépérissement du chêne liège (*Quercus suber* L) en Tunisie : Première réflexion. Colloque National sur le dépérissement des forêts. Maroc, les 28 et 29 Février 1996 : 10p.
- Ben Jamaâ M. H, Sghaier T et Mnara S (2004).** Caractérisation du dépérissement du chêne liège dans la forêt de Bellif (Nefza –Béjâ) –Tunisie : Bilan d'observation des années 2001-2004.
- Boniard F (1934).** La Tunisie du Nord. Le tell septentrional .Etude géographique. Librairie orientale. Paul Geuthner. 534p.
- Bonneau M et Landmann G (1988).** De quoi la forêt est-elle malade ? Le dépérissement des forêts en Europe. La recherche, 205, vol 19 : 1543-1553.
- Boudy P (1952)** Guide du forestier en Afrique du Nord .Maison Rustique. Paris ; 505p.
- Dgreef J et Malaisse F (1993).** Le dépérissement des chênes en Europe, Progrès récents de la recherche et perspectives. Silva Belgica, 100, n°1, 17-20 p.
- Delatour C (1983).** Le dépérissement de chênes en Europe. Rev. For. Fr. 35: 265-282p.
- D.G.F. (2003).** Direction Générale des Forêts. Inventaire Forestier National Tunisie. 165 p
- Doufène H (1998).** La crise subericole en Algérie et quelques perspectives de relance. Annales de l'INRGERF., 259. 42-47p.

- El Hamrouni A (1992).** La végétation forestière, préforestière et prédésertique de la Tunisie : Thèse Doctorat en Sciences à la Faculté des Sciences et Techniques de Saint Jérôme, Université de Droit d'Economie et des Sciences d'Aix Marseille III.
- Hartmann G (1989).** Untersuchung aktueller Schaden an *Quercus suber* und *Pinus halepensis*. Auftraggeber, GTZ-Forstschutzprojekte Nr. 81 2005.7-01 200 in Morokko, 23p.
- Hartmann C (1992).** La senescence des végétaux. Collection Méthodes – Editeurs des Sciences et des Arts, Paris, 130p.
- Hasnoui F, Réjaïbi N, Abbes Ch, Hasnaoui B (2004).** Contribution à l'étude du dépérissement du chêne liège dans la forêt de Tabarka : relation possible entre nutriments et état sanitaire de l'arbre.
- Ladmann G (1990).** Bilan de cinq années de recherches (1985-1990) dans le cadre du programme DEFORPA. Rapport annuel, Départ .Santé des forêts : 51-55.
- Ladmann G (1993).** Concepts et définitions des dépérissements forestiers : Les dépérissements des arbres forestiers causes connues et inconnues. Journées scientifiques et techniques. Nancy, 29 et 30 Juin 1 p.
- Mahari, S (1992).** Etude synécologique des niveaux de peuplement arthropodiens de l'écosystème de chêne liège dans les subéraies de la Mamora et de Ben Slimane (Maroc). Thèse Faculté des Sciences et Techniques St-Jérôme, Aix Marseille. 295p.
- Nsibi R (2005).** Sénescence et rajeunissement des subéraie de Tabarka-Ain Draham avec approches écologiques et biotechnologiques. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Faculté des Sciences de Tunis. 170p.
- Nsibi R (1997).** Relation entre le couvert végétal et la régénération naturelle des forêts de Pin d'Alep de la région de Sakiet (Nord Ouest de la Tunisie). Diplôme d'Etudes Approfondies. 85p.
- Selmi M (1985).** Différenciation des sols et fonctionnement des écosystèmes forestiers sur grés numidiens de Kroumirie (Tunisie). Ecologie de la subéraie-zénaie. Thèse doctorat es Sciences. Université .Nancy.200p.
- Seltzer P (1946).** Le climat de l'Algérie –Trav. Inst.Météor.et Phys. du Globe. Univ. Alger, 219 p., Cartes h.t.
- Turc L (1961).** Evaluation des besoins en eau d'irrigation, d'évaporation potentielle, formule climatique simplifiée et mise à jour. Ann. Agrn.12, 13 :13-49p.