

Évaluation de la biomasse arborée et arbustive dans une séquence de dégradation de la suberaie à Cytise de Kroumirie (Tunisie)

Houcine Sebei^{a,*}, Ali Albouchi^b, Maurice Rapp^c et Mohamed Hédi El Aouni^d

^a École Supérieure d'Agriculture de Mograne, 1121 Mograne, Tunisie

^b Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts, BP 2, Ariana 2080, Tunisie

^c CNRS - CEFE L. Emberger, BP 5051, 34033 Montpellier, France

^d Faculté des Sciences de Bizerte, Jarzouna 7021, Tunisie

(Reçu le 12 juillet 1999 ; accepté le 16 novembre 1999)

Résumé – Les biomasses aérienne et souterraine des strates arborée et arbustive ont été étudiées dans une séquence de dégradation de la suberaie à cytise de Kroumirie. Des mesures de biomasse et de paramètres dendrométriques de douze arbres échantillons de chênes lièges ont été réalisées dans des parcelles bien venantes et d'autres appartenant à différents stades de dégradation. Les relations allométriques obtenues ont permis de déceler les meilleures variables explicatives des biomasses compartimentales au niveau de l'individu et de la parcelle. Au niveau individuel, la circonférence des branches à l'insertion sur le tronc en ce qui concerne la biomasse individuelle des branches et le diamètre à 1,30 m (DBH) en ce qui concerne les différents compartiments de l'arbre, sont des paramètres hautement explicatifs. Pour un arbre de taille moyenne (20 cm de DBH), la biomasse aérienne représente 81,5 % de la biomasse totale contre 18,5 % pour les racines. Le tronc renferme 57 % de la biomasse épigée avec 44 % dans le bois et 13 % dans le liège. Les 43 % contenus dans le houppier se répartissent entre le bois des branches (23 %), le liège des branches (12 %), les rameaux et les feuilles (4 % chacun). Par ailleurs, le pourcentage de liège dans la biomasse du tronc varie en sens inverse du DBH. Au niveau parcellaire, la surface terrière s'est avérée la meilleure variable de calcul de biomasses partielles des chênes lièges et un bon critère de l'état des peuplements. La dégradation s'est traduite par une diminution continue de la densité (723 à 223 tiges ha⁻¹), du DBH moyen (20,21 à 2,97 cm), de la surface terrière (32,928 à 0,985 m² ha⁻¹) et de la biomasse des chênes lièges (139 à 4 t ha⁻¹). L'ouverture de la strate arborée, qui accompagne cette dégradation, entraîne une baisse quasi-linéaire de la biomasse des chênes lièges et constitue, de ce fait, un second critère quantitatif de l'état des peuplements. Cependant, jusqu'à un seuil de 70 %, cette ouverture a favorisé le développement du maquis (9 à 54 t ha⁻¹). Au-delà, la biomasse du maquis a chuté en dépit d'un meilleur taux de recouvrement.

biomasse / suberaie / dégradation / surface terrière / Kroumirie

Abstract – Evaluation of the overstorey and understorey biomasses in a damaging sequence of *cytisus* cork oak forest in Kroumirie (Tunisia). The aerial and underground biomasses of the overstorey and understorey have been studied in a damaging sequence of *cytisus* cork oak stands in Kroumirie region. Measurements of biomass and dendrometric parameters on twelve sampled trees have been realized in different plots, with variable damage stages. The allometric relationships obtained allowed to detect the best predictive variables of partial biomasses at individual and stand levels. At individual level, branch girth at stem insertion and diameter at breast height (DBH) are highly predictive parameters. The aerial biomass of a tree cork oak of medium size (DBH = 20 cm) represents 81.5% of the total tree biomass against 18.5% for the roots. The bole contains 57% of the aboveground biomass with 44% in the wood and 13% in the cork. 43% within the crown are subdivided into branch wood (23%), branch cork (12%), twigs and leaves (4% each). Moreover, the percentage of cork in the trunk biomass decreases with increasing DBH. At stand

* Correspondance et tirés-à-part
Tel. 2 16 2 660 043 ; Fax. 2 16 2 660 563.

level, the basal area proved the best stand parameter to predict partial biomasses and also a criterion of stand state. Damaging was characterized by a continuous decrease of stand density (from 723 to 223 stems ha^{-1}), of the mean stand DBH (20.21 to 2.97 cm), of stand basal area (32.928 to 0.985 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) and of cork oaks biomass (139 to 4 t ha^{-1}). The opening of the canopy which goes along with damaging involves a quasi-linear decrease of cork oaks biomass and appears as a second quantitative criterion of stand state. However, up to 70%, the canopy opening has contributed to the development of shrubs (9 to 54 t ha^{-1}); beyond this opening level shrubs biomass has decreased in spite of a better cover.

biomass / cork oak forest / degradation / basal area / Kroumirie

1. INTRODUCTION

La régression des chênes lièges, décrite dans certaines régions du bassin méditerranéen [34], a touché les suberaies tunisiennes qui couvraient 127 000 ha en 1950 [9, 10] et dont il ne restait en 1995 que 73 000 ha avec 45 000 ha seulement de forêts productives situées, pour les trois quarts, en Kroumirie [1, 17]. La régression de ces forêts peut être évaluée à 1,22 % de la superficie par an.

Parmi les facteurs naturels de ce phénomène figure le dépérissement occasionné par les attaques d'insectes phyllophages [6, 15, 24] et de champignons parasites ou saprophytes déclenchées par des cycles de sécheresse [6, 22].

Toutefois, la dégradation des suberaies tunisiennes a été nettement accentuée au cours des dernières décennies sous la pression de l'homme et de son cheptel : leur superficie a ainsi diminué de 54 000 ha durant la seconde moitié du XX^e siècle contre 18 000 ha durant sa première moitié. La Kroumirie est en effet habitée par une population rurale en augmentation continue, qui utilise la forêt comme terrain de parcours et comme source de bois et qui ouvre des clairières pour ses cultures [13]. Ainsi, les causes de cette dynamique régressive de la suberaie sont diverses. En effet, il a été montré en Kroumirie qu'à basse altitude domine le défrichage, relayé plus haut par le surpâturage puis par les coupes délictuelles [38]. Le taux de surpâturage atteint dans cette région 77 % [20] sans compter les incendies de forêts qui détruisent chaque année 323 ha en moyenne [14]. D'autre part, il a été établi qu'à la dégradation de la strate arborée dans cette région sont associés un meilleur recouvrement et une plus forte biomasse du maquis et vice versa [38]. Cette dégradation d'origine anthropique est aggravée par l'absence de régénération naturelle des chênes lièges par semis, due, essentiellement, à la sécheresse et à la chaleur estivales et à la prédation [15, 25, 32].

Néanmoins, une seule étude a été consacrée à la biomasse des strates arborée et arbustive dans un peuplement de chênes lièges de Sicile [30] et aucune étude quantitative n'a abordé l'effet de la dégradation sur cette biomasse.

Ce travail a pour objectif principal de suivre l'évolution des biomasses aérienne et souterraine des chênes lièges et du maquis dans une séquence de dégradation croissante de la suberaie à cytise de Kroumirie. La biomasse a été déterminée à partir d'arbres échantillons. Des relations de type allométrique ont été établies sur la base des données dendrométriques recueillies en recherchant les meilleures variables explicatives des biomasses compartimentales au niveau de l'individu et de la parcelle. L'analyse des résultats obtenus au niveau de la séquence étudiée a permis de dégager des critères quantitatifs du niveau de dégradation de la suberaie à cytise.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

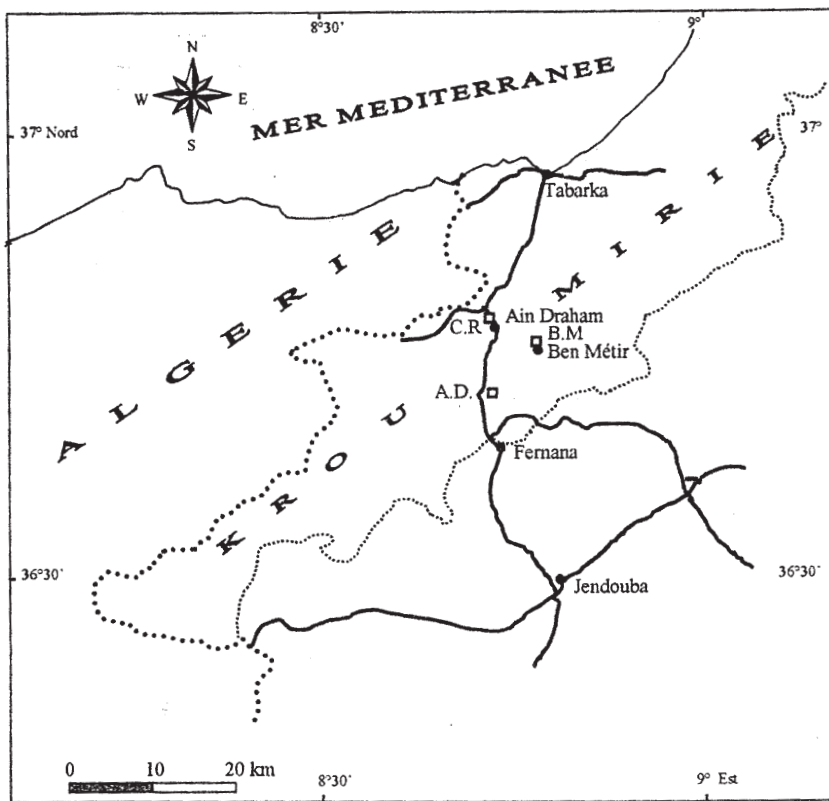
2.1. Stations d'étude

L'étude a porté sur trois stations de la suberaie à cytise (*Cytisus villosus*), comportant chacune une parcelle en bon état (notée 1) et une autre dégradée (notée 2) dont le choix a été guidé par la physionomie des strates arborée et arbustive (figure 1). Il s'agit des stations suivantes :

- Col des Ruines (CR) à 748 m d'altitude et à 3 km au nord d'Aïn Draham sur la route de Tabarka ;
- Aïn Debba (AD) à 570 m d'altitude et à 14 km au sud d'Aïn Draham sur la route de Fernana ;
- Ben Métir (BM) s'étendant entre 460 et 500 m d'altitude à proximité d'un barrage du même nom, à l'est des deux stations précédentes.

Au moment où cette étude a été entreprise, ces trois parcelles appartenaient à des parcelles en fin de rotation (intervalle entre deux démasclages). L'opération de démasclage porte uniquement sur les sujets dont la circonférence du tronc à 1,30 m a atteint 63 cm environ soit un diamètre de 20 cm

Selon les données climatiques de Aïn Draham et Ben Métir [8] les stations CR et BM appartiennent à l'étage méditerranéen humide à variante hivernale tempérée selon la classification d'Emberger [21] (sous-étage supérieur pour la première et inférieur pour la seconde). Le bioclimat de la station de Aïn Debba (AD) s'apparente à celui de Ben Métir d'altitudes voisines.



- Principales villes
- Routes principales
- ⋯ Limites de la Kroumirie
- Stations d'étude (C.R.: Col des Ruines; B.M.: Ben Métir; A.D.: Ain Debba)

Figure 1. Localisation des parcelles d'étude sur la biomasse des suberaies à cytise de Kroumirie (Tunisie).

Du point de vue phytosociologique, ces stations appartiennent au *Cytiso-Quercetum suberis* Br. Bl. 1953 qui s'étend de 450 à 900 m d'altitude [19]. Selon l'altitude et la présence ou non de chênes zeens (*Q. canariensis* Willd.), CR appartient au *Quercetosum canariensis*, AD à la sous-association *typicum* et BM au *Pistacietosum lentisci* [19].

La composition floristique de la strate arborée et du maquis a été établie à partir de relevés floristiques de 250 m² chacun, exécutés dans les six parcelles selon la méthode de Braun-Blanquet [11]. Elle a varié selon la station et le stade de dégradation. Le chêne zeen (*Q. canariensis*) représenté par quelques individus dans CR1, a totalement disparu de CR2. L'abondance-dominance des chênes lièges, très élevée dans CR1, a baissé dans BM1 et AD1 et cette baisse s'est accentuée au niveau du stade 2. Le maquis est dominé dans CR1 par *Erica arborea* L., *Cytisus villosus* Pourret et *Rubus ulmi-*

folius (L.) Schott. avec la présence constante de *Pteridium aquilinum* Kuhn., *Crataegus monogyna* Jacq. et *Rhamnus alaternus* L. Dans BM1 et AD1, *Cytisus villosus* et *Rubus ulmifolius* ont cédé la place à *Arbutus unedo* L. et *Phillyrea latifolia* L. Le stade 2 a été caractérisé par une abondance-dominance plus élevée des espèces du maquis et surtout par l'apparition d'autres espèces telles que *Calicotome villosa* (Poir.) Link, *Cistus salvifolius* L., *Erica scoparia* L., *Halimium halimifolium* (L.) Willk. et *Lavandula stoechas* L.

Les caractères morphologiques et physico-chimiques de six profils pédologiques exécutés dans les parcelles d'étude (tableau I) mettent en évidence plusieurs traits communs :

- un caractère fortement induré de l'ensemble du profil en saison sèche, dû à l'abondance de concrétions ferrugineuses ;

Tableau I. Caractères physico-chimiques des sols de trois stations de la suberaie à cytise de Kroumirie (Tunisie) comportant chacune un stade en bon état (noté 1) et un autre plus ou moins dégradé (noté 2).

Station	Stades	Profondeur (cm)	Granulométrie Grossière (%)	Granulométrie fine (%)			N (%)	M.O (%)	C/N	pH	V (%)	Profondeur (cm)	P ₂ O ₅ Total (%)	P ₂ O ₅ assimil (ppm)
				S	L	A								
Col des Ruines (CR)	1	0-2	19,0	32,7	32,7	34,6	6,4	14,4	13,1	5,5	85	0-20	0,66	11
		2-27	50,0	7,5	29,0	63,5	1,4	2,7	11,4	5,2	30	20-40	0,82	3
		27-70	48,0	3,7	24,6	71,7	1,2	1,3	6,4	5,0	15	40-60	0,55	3
Ben Métir (BM)	2	0-10	23,0	57,1	21,4	21,5	2,4	4,4	10,7	6,1	100	0-10	0,32	2
		10-30	25,0	63,5	22,8	13,7	1,3	2,5	11,2	5,6	96	10-30	0,23	2
		30-40	37,0	65,9	21,9	12,2	0,5	0,9	10,4	5,2	80	30-50	0,09	15
Ain Debba (AD)	1	0-15	5,0	74,1	12,5	13,4	4,8	12,3	14,8	5,2	100	0-20	0,55	12
		15-40	17,2	56,0	17,2	26,8	1,2	2,4	11,6	5,7	60	20-40	0,62	7
		40-60	29,5	41,7	15,6	42,7	0,9	1,2	7,9	5,3	52	40-60	0,41	3
Ain Debba (AD)	2	0-5	22,5	45,5	27,2	28,3	3,2	8,9	15,7	5,7	100	0-10	1,1	8
		5-30	20,0	52,1	21,8	26,1	0,9	1,5	9,9	5,7	48	10-30	1,01	1
		30-50	60,3	52,7	15,2	32,1	0,6	1,1	10,7	5,6	70	30-50	1,21	3
Ain Debba (AD)	1	0-10	5,0	60,4	15,2	24,4	1,8	5,9	19,0	6,0	100	0-20	0,37	21
		10-20	5,0	41,5	8,5	50,0	1,1	3,7	19,3	5,6	80	20-40	0,21	6
		20-50	14,0	17,9	17,1	65,0	0,9	2,9	19,0	5,8	56	40-60	0,46	3
Ain Debba (AD)	2	0-10	4,1	54,4	22,6	23,0	1,3	3,9	17,3	5,8	97	0-20	0,32	2
		10-30	8,5	67,5	16,9	15,6	1,0	2,6	15,2	5,3	73	20-40	0,14	3
		30-40	5,0	38,6	6,5	54,9	0,6	1,9	18,8	5,5	50	40-60	0,39	16

S : Sables ; L : Limons ; A : Argiles ; V : Taux de saturation du complexe absorbant.

- une charge en graviers et cailloux gréseux, représentant parfois 50 % de la phase solide ;
- une couche de litière temporaire et discontinue, d'épaisseur variable selon l'état du peuplement ;
- un horizon de surface de type mull forestier ou moder de couleur noire, à structure grumeleuse, renfermant 4 à 14,4 % de matière organique ;
- un pH décroissant légèrement avec la profondeur et un complexe saturé en Ca^{2+} , au moins dans la partie supérieure des profils ;
- l'apparition de traces d'hydromorphie dès le second horizon, liée à l'existence d'une nappe perchée saisonnière.
- la présence, sous l'horizon de surface, d'un sous-horizon enrichi en argiles dans les parcelles en bon état (stade 1) et appauvri en cet élément dans celles dégradées (stade 2) ;
- sur le plan de la fertilité, la parcelle en bon état de chaque station se distingue nettement de la parcelle dégradée. En effet, au stade 1, les horizons de surface renferment 5,9 à 14,4 % de matière organique, 1,8 à 6,4 % d'azote total et 11 à 21 ppm de P_2O_5 assimilable (tableau I). Au stade 2, ces teneurs sont toujours plus faibles : 3,9 à 8,9 % de matière organique, 1,3 à 3,2 % d'azote total et 2 à 8 ppm de P_2O_5 assimilable.

2.2. Dendrométrie des chênes lièges

Les mensurations ont été effectuées sur les individus de six parcelles d'un hectare chacune, délimitées dans les stades 1 et 2 des trois stations. Les mesures de diamètre à 1,30 m ou DBH sur tous les individus de chênes lièges nous ont permis de tracer les histogrammes des effectifs répartis en classes de DBH de 2 cm. Le DBH moyen (\bar{D}) et la surface terrière (G) de chaque parcelle ont été calculés à partir de l'inventaire des arbres fait par catégorie de diamètre de 2 cm, selon les formules :

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q n_i D_i \quad (1)$$

$$\text{et } G (\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}) = 10^{-4} \sum_{i=1}^q n_i \pi \left[\frac{D_i^2 (\text{cm})}{4} \right] \quad (2)$$

avec : q = nombre de classes de diamètre

n_i = effectif de la classe de diamètre i de centre D_i

N = effectif total de la parcelle.

Dans les histogrammes et les différentes relations allométriques, le DBH sous liège a été préféré au DBH exté-

rieur afin de s'affranchir des récoltes de liège antérieures. Pour transformer les DBH extérieurs en DBH sous liège, nous avons cherché une relation entre ces deux paramètres dans le cas d'arbres jeunes n'ayant pas atteint l'âge d'exploitation et dans le cas d'arbres ayant subi un ou plusieurs démasclages, mais tous en fin de rotation. Ces deux paramètres ont été mesurés sur deux lots de 4 arbres chacun, choisis dans les différentes parcelles.

La relation entre le DBH et la surface de projection au sol du houppier a été établie en deux étapes. D'abord, les projections au sol des houppiers de 84 chênes lièges établies par Hasnaoui dans quatre stations de Kroumirie [25] nous ont permis de déterminer la surface de chaque projection, son plus grand axe (L) et l'axe perpendiculaire à ce dernier (l) puis de calculer la relation entre cette surface et le produit $L \times l$. Ensuite, DBH, L et l ont été mesurés sur 69 arbres des parcelles étudiées. La surface de projection de leur houppier a été déduite de la relation précédente et ses variations analysées en fonction de DBH. La relation établie a été appliquée à toutes les classes de DBH en vue de déterminer le degré de recouvrement des chênes lièges dans les différentes parcelles expérimentales.

2.3. Biomasses des strates arborée et arbustive

2.3.1. Biomasse des chênes lièges

Les biomasses aérienne et souterraine des chênes lièges ont été déterminées à partir d'arbres échantillons représentatifs des classes de DBH des six parcelles d'étude [30, 36]. Douze arbres au total ont permis de déterminer la biomasse aérienne des chênes lièges ; parmi ceux-ci neuf arbres de DBH compris entre 2 et 23 cm, ont été abattus. Les circonférences de toutes les branches ont été mesurées au niveau de leur insertion sur les troncs puis les arbres ont été séparés en différents compartiments (bois et liège du tronc, bois et liège des branches, rameaux de diamètre inférieur ou égal à 1 cm, feuilles et brindilles). Après détermination des poids de matière fraîche, un échantillon par compartiment a été transporté au laboratoire, sa matière fraîche et sa teneur en eau ont été déterminées avant et après séchage à l'étuve à 85 °C. Ces données nous ont permis de calculer la matière sèche des différents compartiments. Les circonférences des 53 branches de ces neuf arbres ont ensuite été mises en relation avec leurs biomasses de bois, de liège, des rameaux et des feuilles [4, 35]. Les trois autres arbres de DBH compris entre 37 et 68 cm ont servi à des estimations de la biomasse sur pied. En ce qui concerne les troncs, nous avons repéré sur chaque arbre,

le niveau h_2 où la tige a un diamètre sous liège de 23 cm et le niveau h_1 situé à 1,30 m plus bas. La portion du fût située au-dessus de h_1 a été assimilée au tronc de l'arbre abattu de 23 cm de DBH. Celle située au-dessous de h_1 a été assimilée à un tronc de cône dont les biomasses du bois et du liège ont été établies à partir de leur volume et de leur densité [12, 36]. Les volumes du bois (V_1) et du liège (V_2) ont été calculés respectivement selon les formules :

$$V_1 = \frac{\pi H}{3} (r_1^2 + r_2^2 + r_1 \cdot r_2) \quad (3)$$

$$\text{et } V_2 = \frac{\pi H}{3} \left[(r_1^2 + r_2^2 + r_1 \cdot r_2) - (r_1'^2 + r_2'^2 + r_1' \cdot r_2') \right] \quad (4)$$

où : H est la hauteur du tronc de cône ;

r_1 et r_1' sont les rayons externe et sous liège à la base du tronc de cône ;

r_2 et r_2' et sont les rayons externe et sous liège au sommet du tronc de cône.

Les densités du bois et du liège ont été mesurées sur deux lots de 7 échantillons prélevés sur l'arbre abattu de 23 cm de DBH et ceci à l'aide d'un volumomètre à mercure (type Amisler 9/573). Les biomasses du bois et du liège du tronc ont été calculées en ajoutant aux valeurs obtenues celles de l'arbre de 23 cm de DBH.

En ce qui concerne les houppiers, nous avons repéré, sur chaque arbre, le niveau h_3 situé à 2,65 m au-dessus du niveau h_1 , hauteur correspondant à la base du houppier de l'arbre abattu de 23 cm de DBH. Les branches insérées au-dessus de h_3 ont été assimilées au houppier de l'arbre de 23 cm de DBH. Les circonférences des branches situées au-dessous de h_3 ont été mesurées à leur insertion sur le tronc et leurs biomasses ont été obtenues en appliquant, branche par branche, les régressions calculées sur l'échantillon d'arbres coupés [36, 40].

À partir de l'ensemble des données pondérales, nous avons établi les équations de régression entre le DBH et les éléments de la biomasse aérienne par arbre [5, 36]. Les biomasses à l'hectare (B) ont été déterminées en appliquant ces équations aux différentes classes de DBH de chaque parcelle et en multipliant la biomasse de l'arbre moyen de chaque classe par le nombre d'individus de la classe concernée, selon la formule :

$$B = \sum_{i=1}^q n_i b_i \quad (5)$$

où n_i et b_i sont, respectivement, l'effectif et la biomasse compartimentale de l'arbre moyen de la classe i de diamètre central D_i .

Enfin, les biomasses à l'hectare ont été mises en relation avec la surface terrière des différentes parcelles d'étude.

Sous les houppiers de sept arbres abattus, deux prélèvements volumiques de sol, d'un quart de mètre carré chacun et de 40 cm de profondeur ont été effectués de part et d'autre de la souche, sans que celle-ci soit extraite. Les racines ont été séparées et leurs poids de matière sèche déterminés [36]. La biomasse souterraine moyenne par arbre a été calculée en multipliant le poids moyen des racines obtenu sur un demi-mètre carré par la surface de projection au sol de son houppier, déduite de son DBH. En effet, sous un peuplement de pins pignons dépourvu de strate arbustive, 91,5 % de la biomasse racinaire sont localisés sous les houppiers contre 8,5 % entre les arbres [12]. On peut penser que dans le cas des chênes lièges, la proportion des racines situées entre les arbres soit encore plus faible à cause de la présence du maquis. Les données obtenues à partir des 7 arbres abattus ont servi à établir la relation entre le DBH et la biomasse souterraine par arbre appliquée ensuite aux différentes parcelles.

2.3.2. Biomasse du maquis

Les organes aériens du maquis ont été échantillonnés sur six carrés de 1 m² chacun, répartis dans les différentes parcelles d'étude. Le matériel végétal récolté a été séparé en tiges, d'une part, et en feuilles et jeunes pousses, d'autre part. Leurs poids de matière sèche ont été établis à partir de ceux de la matière fraîche, après séchage d'échantillons à l'étuve à 85 °C. La biomasse à l'hectare a été obtenue en tenant compte du degré de recouvrement moyen du maquis dans chaque parcelle expérimentale. Les recouvrements des strates arborées et arbustives des parcelles d'étude ne pouvant être représentatifs de l'ensemble de la suberaie à cytise, il fallait chercher des recouvrements moyens correspondant aux différents stades étudiés. Ayant été établi que dans les suberaies de Kroumirie, la biomasse aérienne du maquis varie en sens inverse de la densité de la strate arborée [38], nous avons recherché une relation éventuelle entre ces deux paramètres. Pour ce faire, 37 placettes de 200 m² chacune ont été délimitées en différents points de la suberaie à cytise et les DBH ont été mesurés sur tous les individus de chênes lièges. Leur recouvrement moyen dans chaque placette a été déduit du DBH moyen et a été mis en relation avec le recouvrement du maquis estimé visuellement. Cette relation a permis de calculer le recouvrement moyen du maquis dans les différentes parcelles d'étude.

Sous le maquis de chaque parcelle, les racines ont été extraites de cinq prélèvements volumiques de sol, d'un

quart de mètre carré chacun et de 40 cm de profondeur, et leurs poids de matière sèche ont été déterminés. La biomasse souterraine à l'hectare du maquis (B_m) a été établie en tenant compte du degré de recouvrement moyen de la strate arbustive, à l'aide de la formule :

$$B_m = \frac{pR}{12,5} \quad (6)$$

avec : B_m = Biomasse souterraine ($t\ ha^{-1}$),
 p = Poids sec des racines obtenu sur $1,25\ m^2$ de surface (kg),
 R = Degré de recouvrement moyen du maquis (%).

2.4. Calculs statistiques

Tous les calculs de moyennes, d'écart types, de paramètres d'équations et de coefficients de corrélation ont été exécutés sur des variables non transformées à l'aide du logiciel « Excel 5.0 ». Pour chaque série, l'équation de régression retenue a été celle à plus fort coefficient de détermination parmi les courbes de tendance proposées par le logiciel. Le coefficient de corrélation a été déterminé par analyse des données à l'aide de la fonction « Corrélation » du même logiciel et son degré de signification a été vérifié par la « Table des valeurs critiques du coefficient de corrélation » [16].

3. RÉSULTATS

3.1. Au niveau de l'individu

Les relations entre le DBH extérieur ou DBH sur liège (en cm) et celui du bois ou DBH sous liège (en cm) (figure 2a) sont représentées par deux droites correspondant, respectivement, aux arbres non exploités pour le liège (relation 8) ou ayant subi un ou plusieurs démasclages (relation 7) avec un coefficient de corrélation r hautement significatif ou significatif. Le point d'intersection suggère que le début d'exploitation du liège a porté sur les arbres ayant dépassé un DBH extérieur de 12,8 cm et un DBH sous liège de 6,6 cm. Les écarts entre la bissectrice (droite en pointillé) et les droites de régression traduisent un accroissement continu de l'épaisseur du liège chez les jeunes arbres et une stabilisation relative de son épaisseur chez ceux en fin de rotation. La relation (7) donne, pour un arbre de taille moyenne (DBH de 20 cm) en fin de rotation de 12 ans, une épaisseur de liège de 32,5 mm avec un accroissement annuel de 2,7 mm en moyenne. Pour calculer les DBH sous liège des individus des différentes parcelles,

la première équation a été appliquée aux DBH extérieurs supérieurs ou égaux à 13 cm et la seconde à ceux inférieurs à cette valeur.

Les figures 2b et 2c représentent, respectivement, les relations (9) et (10) entre la variable $L \times l$ (en m^2) caractérisant les dimensions de la projection au sol des houppiers de chêne liège (cf. 2.2) et sa surface mesurée (en m^2) d'une part et entre le DBH et la surface de projection des houppiers estimée à partir de la variable $L \times l$, d'autre part. Toutes les deux sont de type puissance avec des coefficients de corrélation très hautement significatifs.

Les relations entre la circonférence des branches (X) et leurs biomasses partielles (Y) sont illustrées par les courbes de la figure 3. Toutes les équations obtenues (tableau II) sont de type puissance avec des coefficients de corrélation très hautement significatifs. D'après ces équations, dans une branche de taille moyenne (50 cm de circonférence à l'insertion sur le tronc), les biomasses relatives du bois et du liège sont, respectivement, de 52 et 34 %, celles des rameaux et des feuilles de 7 % chacune.

Les mesures de densité du fût ont donné 0,26 et 0,74 pour le liège et le bois respectivement.

La figure 4 illustre les relations entre le DBH des douze arbres échantillons et leurs biomasses compartimentales. Les équations de régression (tableau II) sont de type puissance pour le tronc et les racines, polynomial pour les branches et linéaire pour les rameaux et les feuilles. Dans le cas du tronc, les exposants de X dans les relations allométriques (15) et (16) indiquent un accroissement plus important du compartiment ligneux avec le DBH en comparaison avec le liège. Il en a résulté une baisse de la proportion du liège dans la biomasse du tronc durant sa croissance en épaisseur, passant 29 % chez un individu en début d'exploitation à 22 % chez un arbre de taille moyenne (20 cm de DBH) et à 16 % seulement chez un individu de 60 cm de DBH. Les mêmes différences d'accroissement avec le DBH se retrouvent entre le bois et le liège des branches comme le montrent les termes en X^2 des relations allométriques (17) et (18). De ce fait, la proportion de liège dans les branches est tombée de 49 % de leur biomasse chez un individu en début d'exploitation à 34 % pour un DBH égal ou supérieur à 20 cm. Par ailleurs, chez un individu de 20 cm de DBH, 57 % de la biomasse aérienne sont localisés dans le tronc avec 44 % dans le bois et 13 % dans le liège. Le houppier renferme 43 % de la biomasse aérienne répartis entre le bois des branches (23 %), le liège des branches (12 %), les rameaux et les feuilles (4 % chacun). La biomasse des racines représente 18,5 % de celle de l'arbre.

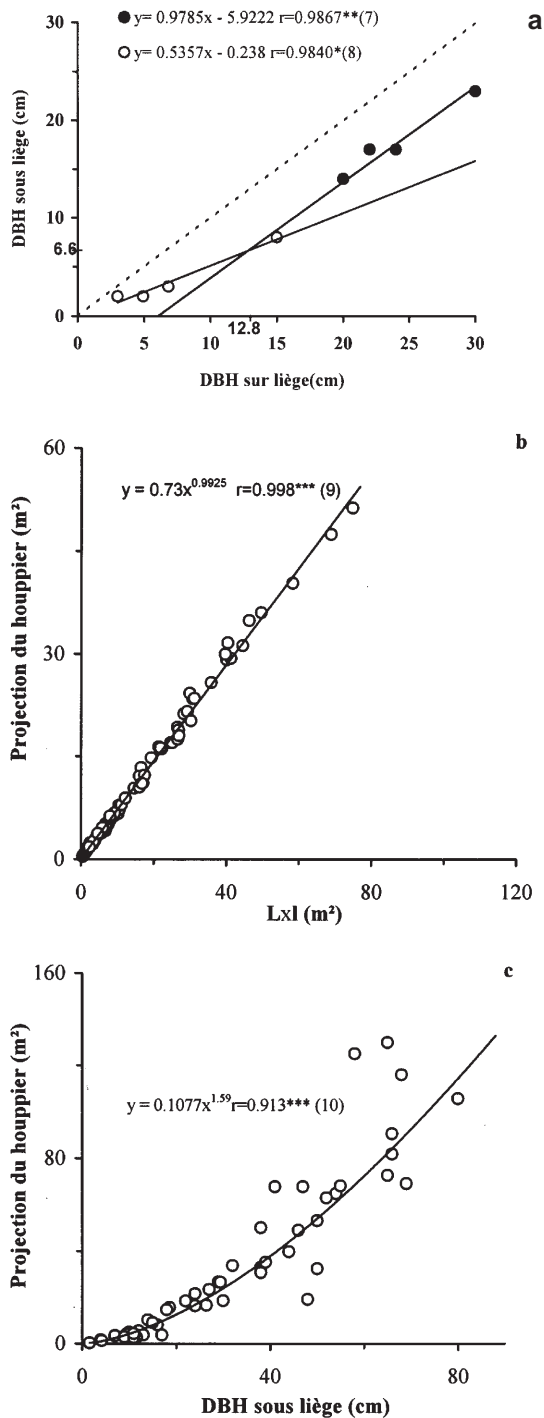


Figure 2. a. Relations entre le DBH sur liège et le DBH sous liège d'arbres jeunes (○) ou ayant subi un ou plusieurs démasclages (●). b. Relation entre la surface de projection au sol des houppiers de 84 chênes lièges de kroumirie (Tunisie) et le produit de leur grand axe (L) par l'axe perpendiculaire (l) (mesures effectuées sur des houppiers projetés au sol (Hasnaoui [25])). c. Relation entre le DBH sous liège et la surface de projection des houppiers de 69 chênes lièges de Kroumirie (Tunisie). * $\alpha = 0,05$, ** $\alpha = 0,01$, *** $\alpha = 0,001$.

3.2. Au niveau de la parcelle

La figure 5 montre les histogrammes des effectifs des arbres en fonction du DBH dans les six parcelles d'étude classées par surface terrière décroissante. Au stade 1, les densités des chênes lièges sont, respectivement, de 723 tiges ha^{-1} à Ben Métir, 528 au Col des ruines et 322 à Ain Debba. Au stade 2, ces densités ont subi une baisse systématique passant à 301 tiges ha^{-1} dans BM2, 258 dans AD2 et 223 dans CR2. La dégradation s'est traduite également par une restriction de l'éventail des classes de fort diamètre, entraînant une diminution continue du DBH moyen de la parcelle qui est passé de 20,21 cm dans CR 1 à 2,97 cm dans CR 2. D'autre part, la distribution des effectifs selon les classes de DBH sensiblement normale au stade 1 est devenue plus dissymétrique au stade 2. Les effets de la dégradation sur la densité et l'éventail des classes de DBH se sont traduits par une baisse de la surface terrière qui est passée de 32,928 $m^2 ha^{-1}$ dans la parcelle la mieux conservée à 0,985 $m^2 ha^{-1}$ pour la plus dégradée (tableau III).

La comparaison des coefficients de corrélation entre les biomasses partielles à l'hectare d'une part et la densité des arbres, le DBH moyen ou la surface terrière, d'autre part, (tableau IV) mettent en évidence une plus forte liaison entre la biomasse et la surface terrière. Ces deux paramètres sont reliés par des équations linéaires (figure 6) dont la somme des pentes donne pour la strate arborée un accroissement total de biomasse de 4,1 tonnes par m^2 de surface terrière. Les calculs faits à partir des données de biomasse du tableau III montrent par ailleurs, que la répartition de la biomasse à l'hectare entre les organes se fait dans les mêmes proportions qu'au niveau de l'individu.

La figure 7a traduit la relation entre l'ouverture de la canopée des chênes lièges et le recouvrement du maquis estimé visuellement dans 37 placettes de 200 m^2 chacune de la suberaie à cytise. Chaque point représente l'ouverture moyenne dans trois à neuf placettes ayant un même recouvrement du maquis. L'ajustement calculé à l'aide des recouvrements moyens indique que l'ouverture de la strate arborée a été accompagnée d'un accroissement du recouvrement de la strate arbustive selon une loi polynomiale avec un coefficient de corrélation significatif. Selon cette équation, le recouvrement du maquis passerait de 36% sous un couvert arboré totalement fermé à 98% dans le cas contraire. Le recouvrement moyen du

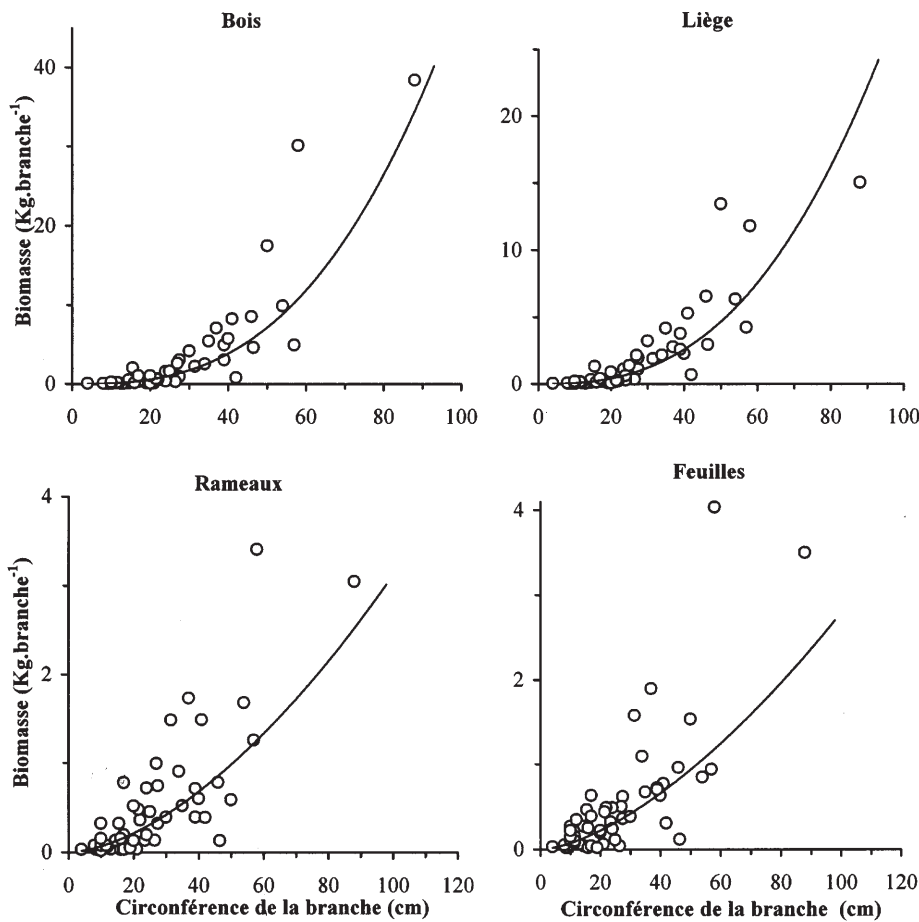


Figure 3. Relation entre la circonférence des branches de chênes lièges à leur insertion sur le tronc et leurs biomasses partielles.

Tableau II. Équations de régression des biomasses partielles des branches et des arbres (Y en kg) de chêne liège sur respectivement la circonférence des branches à leur insertion et sur le diamètre du bois du tronc à 1,30 m de hauteur (X en cm).

Compartiments	Equations	n	r	relation
Branche				
Bois	$Y = 0,1364 \times 10^{-3} X^{2,778}$	53	0,819***	(11)
Liège	$Y = 0,1443 \times 10^{-3} X^{2,6539}$	53	0,858***	(12)
Rameaux	$Y = 1,4447 \times 10^{-3} X^{1,6672}$	53	0,787***	(13)
Feuilles et brindilles	$Y = 1,9545 \times 10^{-3} X^{1,5774}$	53	0,762***	(14)
Arbre				
Bois du tronc	$Y = 0,2387X^{1,9555}$	12	0,955***	(15)
Liège du tronc	$Y = 0,1949X^{1,6027}$	11	0,987***	(16)
Bois des branches	$Y = 0,1275X^2 - 0,6083X + 3,3126$	12	0,956***	(17)
Liège des branches	$Y = 0,0743X^2 - 0,7362X + 6,5845$	11	0,951***	(18)
Rameaux	DBH < 7 : $Y = 0,2543X$	12	0,990***	(19)
	DBH ≥ 7 : $Y = 0,502X - 1,7336$			(20)
Feuilles et brindilles	DBH < 7 : $Y = 0,2536X$	12	0,992***	(21)
	DBH ≥ 7 : $Y = 0,4912X - 1,6631$			(22)
Racines	$Y = 0,119X^{1,9625}$	6	0,978***	(23)

*** $\alpha = 0,001$.

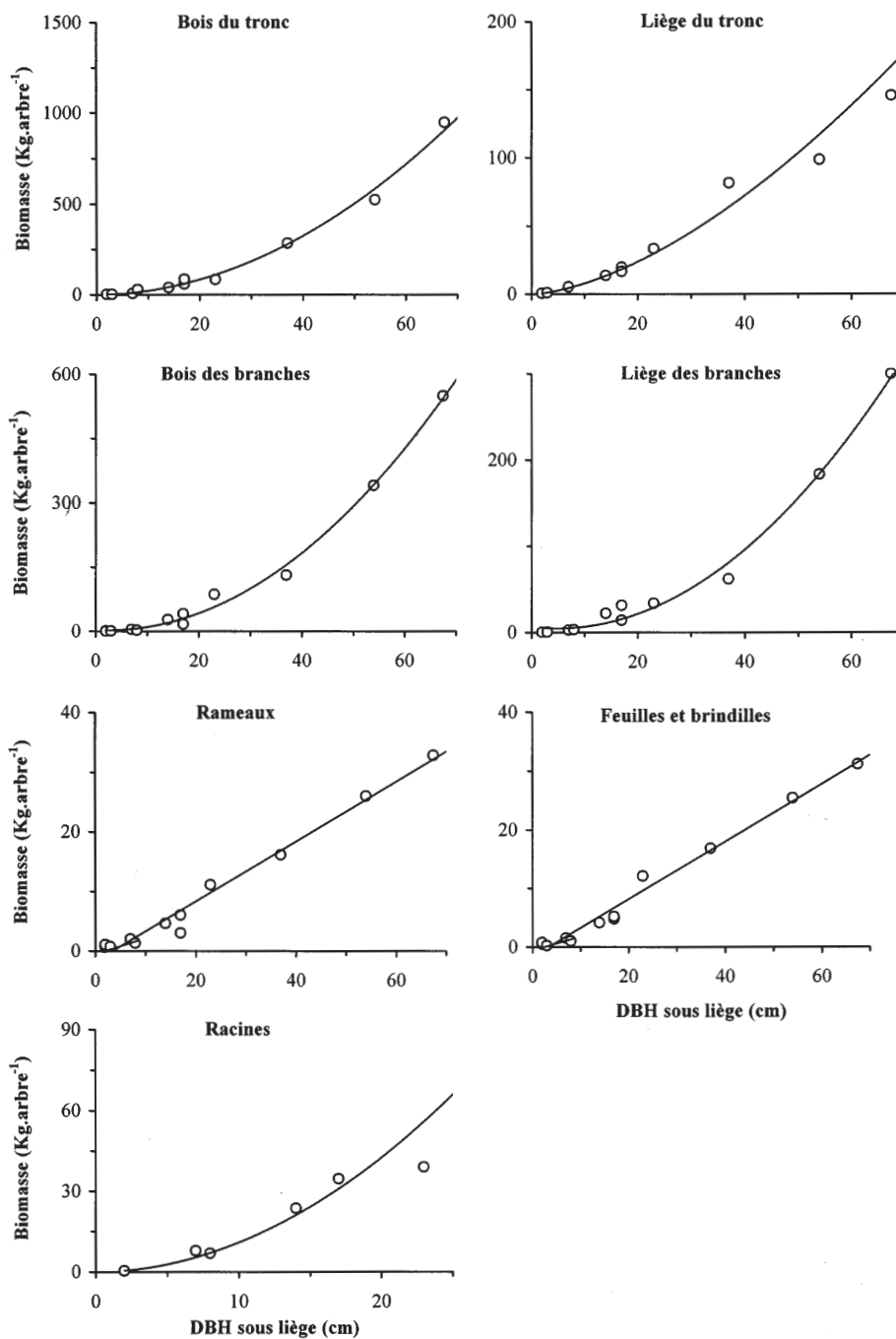


Figure 4. Relations entre les DBH sous liège et les biomasses compartimentales de 12 chênes lièges de Kroumirie (Tunisie).

maquis dans les six parcelles expérimentales, calculé à l'aide de cette équation (tableau III), est passé de 68,4 % dans CR1 à 98 % dans BM2 et CR2. La biomasse totale a

subi une baisse continue selon un taux croissant avec la dégradation avec, toutefois, des différences entre les chênes lièges et le maquis (figure 7b). La biomasse des

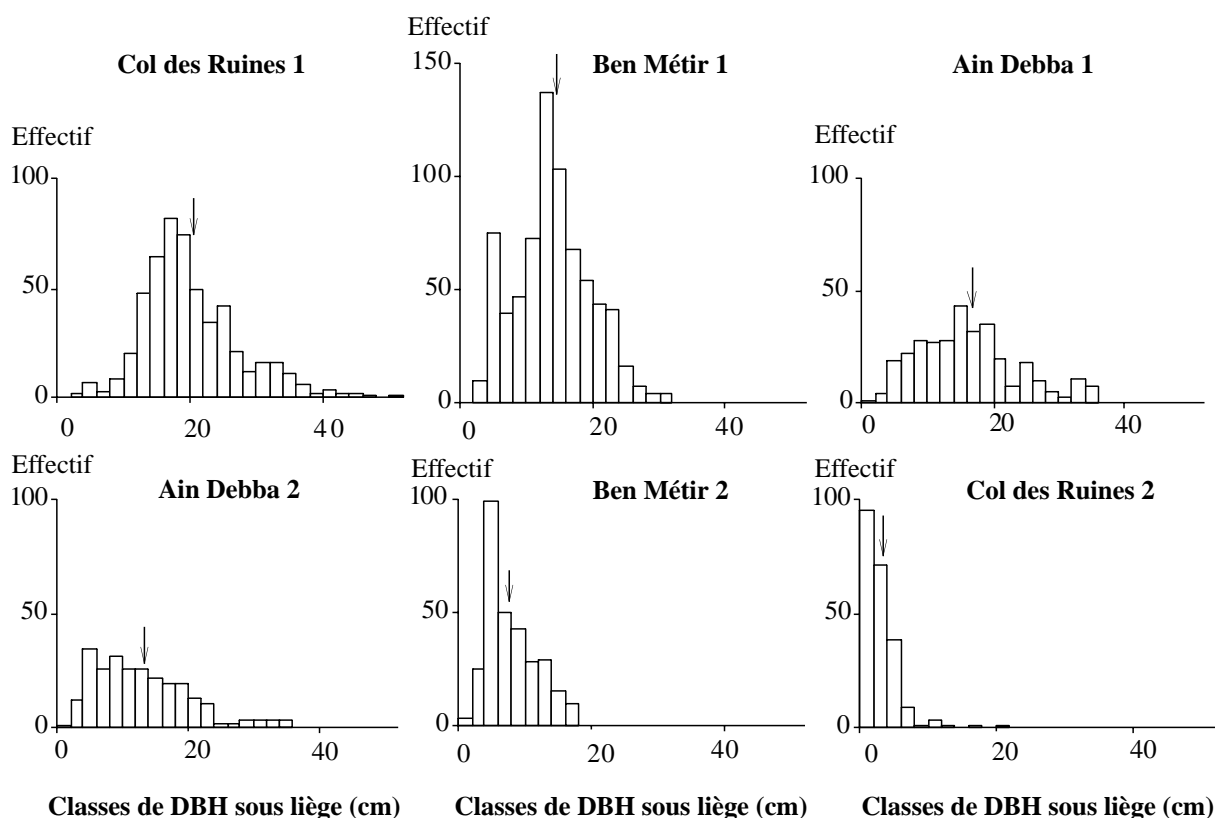


Figure 5. Distribution des effectifs des arbres en fonction des diamètres du bois à 1.30 m (DBH) dans 6 parcelles de 1 ha chacune appartenant à des différents stades de non-dégradation (notés 1) et de dégradation (notés 2) de la suberaie à cytise (*Quercus suber* L.) de Kroumirie (Tunisie). Les flèches indiquent le DBH moyen de la parcelle.

chênes lièges a baissé de façon quasi-linéaire passant de 139 à 4 t ha⁻¹; les racines ont été plus affectées que la partie aérienne en fin de séquence, comme l'atteste le rapport de la biomasse hypogée à la biomasse épigée qui est tombé à 11 % dans CR2 contre 19,8 à 22,8 % dans les autres parcelles (tableau III). Dans les parcelles bien conservées, la fermeture du maquis a été accompagnée d'une augmentation de sa biomasse qui est passée de 9 à 54 t ha⁻¹ pour une ouverture de 70 % du couvert arboré (figure 7b). En ce qui concerne la répartition de cette biomasse entre les organes, les résultats (tableau III) montrent que la proportion stockée dans les feuilles n'a pas été très affectée par la dégradation (18 % de la biomasse totale en moyenne) contrairement aux compartiments ligneux et racinaire. En effet, la biomasse relative du bois est passée de 65 % dans les parcelles en bon état à 45 % dans AD2 et BM2 et cette situation a été inversée au niveau des racines.

4. DISCUSSION

La biomasse de la strate arborée a été calculée à partir des données provenant d'arbres échantillons. Étant donné le large éventail de DBH des chênes lièges, en particulier au stade 1 (figure 5) et les moyens limités mis à notre disposition, neuf individus représentatifs des stations d'étude et stades de dégradation ont été abattus. Les équations de régression obtenues à l'échelle individuelle ont été appliquées à tous les individus de chaque parcelle [5, 18]. Pour améliorer ces corrélations, trois autres individus complétant la gamme de DBH dans les parcelles étudiées ou celle du peuplement, ont servi à des estimations de biomasse sur pied [4, 33, 39]. Pour estimer la biomasse du tronc de ces trois arbres, la méthode basée sur la régression de la matière sèche sur le volume [12, 36] ne peut être appliquée au chêne liège en raison de l'irrégularité de son fût dans la partie portant des branches. Pour cela, la portion du tronc située au-dessus

Tableau III. Caractéristiques de peuplement et biomasses compartimentales des chênes lièges et du maquis dans les six parcelles d'étude représentant différents stades de dégradation de la suberaie à cytise de Kroumirie (Tunisie).

Parcelle		CR1	BM1	AD1	AD2	BM2	CR2
Nombre d'arbres / ha:		528	723	322	258	301	223
DBH moyen sous liège (cm)		20,21	14,01	16,25	12,95	7,88	2,97
Surface terrière (m ² ha ⁻¹):		32,928	26,443	14,817	8,509	4,965	0,985
Recouvrement des chênes lièges (%)		71,1	55,1	31,8	18,3	9,3	1,7
Recouvrement moyen du maquis (%)		68,4	81,2	93,7	97,1	98	98
BIOMASSE (t ha ⁻¹)							
CHÊNES LIÈGES							
Troncs :							
	Bois	50,636	34,908	21,634	11,840	4,924	0,767
	Liège	13,535	10,493	6,056	3,487	1,776	0,330
	Total	64,171	45,401	27,690	15,327	6,700	1,097
Houppiers :							
	Branches						
	Bois	26,429	17,404	11,127	6,026	2,473	0,782
	Liège	13,598	9,527	5,911	3,406	1,949	1,285
	Rameaux	4,446	3,879	2,084	1,261	0,748	0,180
	Feuilles + brindilles	4,368	3,819	2,050	1,242	0,740	0,179
	Total :	48,841	34,629	21,172	11,935	5,910	2,426
	Total aérien :	113,012	80,030	48,862	27,262	12,610	3,523
	Racines :	25,813	17,754	11,019	6,025	2,495	0,388
	Total arbres :	138,825	97,784	59,881	33,287	15,105	3,911
	Biomasse hypogée						
	Biomasse épigée (%)	22,8	22,2	22,6	22,1	19,8	11,0
MAQUIS							
	Feuilles	1,604	5,476	9,099	7,022	1,139	3,171
	Bois	5,709	16,898	39,155	16,706	2,770	13,734
	Total aérien :	7,313	22,374	48,254	23,728	3,909	16,905
	Racines	1,855	5,486	5,782	12,856	2,447	3,944
	Total maquis :	9,168	27,860	54,036	36,584	6,356	20,849
	Biomasse hypogée						
	Biomasse épigée (%)	25,4	24,5	12,0	54,2	62,6	23,3
	Total parcelle :	147,993	125,644	113,917	69,871	21,461	24,760

CR : Col des Ruines ; BM : Ben Métir ; AD : Ain Debba.

du niveau h_1 (cf. 2.3.1) et les branches insérées au-dessus de h_3 ont été assimilées, respectivement, au tronc et au houppier de l'arbre abattu de 23 cm de DBH. La biomasse du tronc située au-dessous de h_1 (plus régulière) a été déterminée à partir de mesures de volume et de densité [36].

Le poids des racines extraites de 0,5 m² sous chaque arbre abattu a été multiplié par la surface de projection de son houppier étant donné le faible pourcentage de biomasse racinaire entre les arbres [12].

La qualité des ajustements (figure 4, tableau II) semble indiquer une homogénéité entre les données des arbres abattus et les estimations sur pied.

La forte liaison entre la surface de projection du houppier de chêne liège et son DBH (figure 2c) atteste que le premier paramètre peut être estimé à partir du second. Les tarifs des biomasses partielles des branches (figure 3, tableau II) peuvent être établis à partir de leur circonférence à l'insertion sur le tronc à l'aide d'une relation du type suivant :

$$Y = c \cdot X^b$$

Tableau IV. Equations de régression des biomasses partielles à l’hectare (Y en t) des chênes lièges sur la surface terrière (X en $m^2 ha^{-1}$) et coefficients de corrélation de ces biomasses avec la densité à l’hectare et le diamètre moyen du bois à 1,30 m (DBH moyen). Données de six parcelles de 1 ha dans une séquence de dégradation de la suberaie à cytise de Kroumirie (Tunisie).

Variable		Densité à l’hectare	DBH moyen	Surface terrière		
Compartiments	n	r	r	r	Équations	Relation
Bois du tronc	6	0,794 NS	0,879*	0,994***	$Y = 1,5093 X - 1,515$	(24)
Liège du tronc	6	0,837*	0,868*	0,999***	$Y = 0,4102 X - 0,1139$	(25)
Liège des branches	6	0,799 NS	0,876*	0,992***	$Y = 0,3792 X + 0,3432$	(26)
Bois des branches	6	0,777 NS	0,855*	0,990***	$Y = 0,7715 X - 0,692$	(27)
Racines	6	0,794 NS	0,879*	0,994***	$Y = 0,7691 X - 0,7814$	(28)
Rameau	6	0,879*	0,848*	0,998***	$Y = 0,1369 X + 0,0769$	(29)
Feuilles et brindilles	6	0,879*	0,848*	0,998***	$Y = 0,1345 X + 0,0792$	(30)

NS : non significatif ; * $\alpha = 0,05$; *** $\alpha = 0,001$.

qui par transformation logarithmique peut s’écrire sous forme linéaire, soit :

$$\log Y = a + b \cdot \log X.$$

Des équations de ce dernier type ont été obtenues sur des individus d’*Argania spinosa* [7], *P. pinea* [12] et *Q. ilex* [36] et les calculs indiquent que, pour une même circonférence, la biomasse de la branche est 4 à 5 fois plus faible chez le chêne liège en comparaison avec ces trois essences. Ces différences sont imputables, en partie, à la

couche de liège dont la densité est trois fois plus faible que celle du bois. La répartition de la biomasse de la branche varie avec sa taille et avec l’espèce. Pour une branche de taille moyenne, les feuilles en retiennent 7% chez le chêne liège et le pin pignon [12], 6% chez l’arganier [7] et 9% chez le chêne vert [36], le reste étant emmagasiné dans le bois et le périderme.

La forte liaison entre les DBH des 12 arbres échantillons et leurs biomasses compartimentales (figure 4, tableau II) témoigne que le DBH est une variable hautement explicative de la biomasse des chênes lièges au niveau de l’individu. Toutefois, les types de relations diffèrent selon les compartiments. Dans le cas du tronc, les relations de type allométrique obtenues dans le présent travail sont similaires à celles existant entre la biomasse du tronc et son DBH chez *Betula aetnensis* Rafin. [31] ou sa circonférence à 1,30 m chez *Q. suber* [30]. La plupart des travaux sur les essences forestières ont fait appel à la forme logarithmique de cette relation, dans laquelle la variable indépendante est représentée soit par le DBH soit par la circonférence du tronc à 1,30 m ou à sa base. De telles formes ont été obtenues sur *Q. ilex* [26, 29, 30], *Argania spinosa* L. Skeels [7], *P. silvestris* L. [5], *P. pinea* L. [12], *P. laricio* Poir. [27] et *P. halepensis* Mill [28]. La faible proportion du liège dans la biomasse du tronc (16 à 29%) en comparaison avec celle du liège des branches (34 à 49%) et sa baisse durant la croissance en épaisseur peuvent s’expliquer par son exploitation régulière. De même, dans un jeune peuplement de Sicile de 31 ans d’âge moyen [30], apparemment non exploité régulièrement, la biomasse du liège, calculée chez un individu de 20 cm de DBH, représente 28% de celle du tronc. En ce qui concerne le houppier la biomasse en bois et en liège de l’ensemble des branches est une

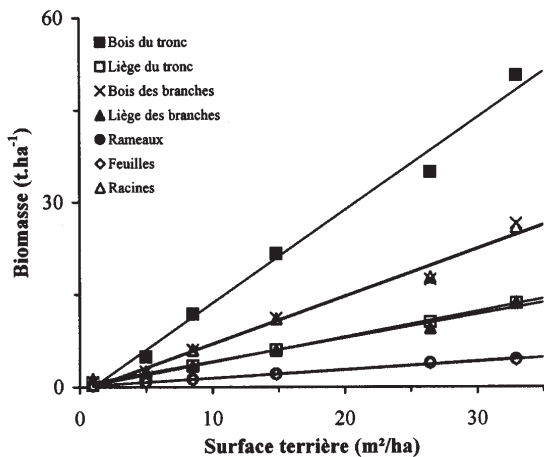


Figure 6. Relations entre la surface terrière et les biomasses partielles des chênes lièges dans 6 parcelles d’un hectare de la suberaie à cytise de Kroumirie (Tunisie).

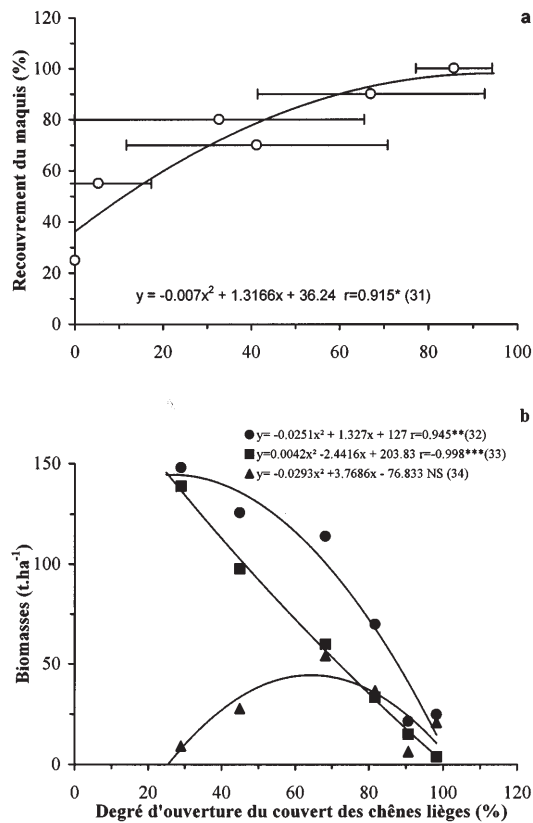


Figure 7. a. Relation entre le degré d'ouverture des houppiers des chênes lièges et le recouvrement du maquis estimé visuellement dans 37 placettes de 200 m² chacune de la suberaie à cytise de Kroumirie (Tunisie). Chaque point représente l'ouverture moyenne de 3 à 9 placettes. **b.** Relations entre le degré d'ouverture des houppiers des chênes lièges et la biomasse totale (●), arborée (■) et arbustive (▲) dans 6 parcelles d'un hectare de la suberaie à cytise de Kroumirie (Tunisie). NS: non significatif, * $\alpha = 0,05$, ** $\alpha = 0,01$, *** $\alpha = 0,001$.

fonction polynomiale du DBH (*tableau II*) différente du type de relation allométrique obtenu sur d'autres essences feuillues [26, 29, 30, 36] ou résineuses [5, 27, 28]. Les biomasses des rameaux et des feuilles sont des fonctions linéaires du DBH, résultat similaire à celui obtenu sur *Betula aetnensis* [31]. Cependant, des relations de type allométrique ont été rapportées pour les feuilles de *Q. ilex* [26, 36] et *Q. suber* [30] et les aiguilles de *P. silvestris* [5], *P. pinea* [12], *P. laricio* [27] et *P. halepensis* [28]. Avec 57% de la biomasse aérienne, le tronc de chêne liège de Kroumirie s'est avéré un « réservoir » sensiblement plus faible que celui du chêne vert [26] ou du chêne liège de Sicile [30] dont la biomasse

aérienne relative est de 66%. Cette situation est due, vraisemblablement, à l'exploitation régulière du liège dans le peuplement de Kroumirie. Par contre, la biomasse relative des feuilles est sensiblement identique chez les trois espèces (4,5 à 5,5%). Quant à la biomasse souterraine des chênes lièges, elle varie avec le DBH selon une relation de type puissance, analogue à celle obtenue chez *P. silvestris* [5] et *P. pinea* [12] avec comme variable explicative la circonférence du tronc à 1,30 m. Ces équations ont permis d'estimer la part des racines à 18.5% de la biomasse de l'arbre chez le chêne liège, 20% chez le pin sylvestre et 11% chez le pin pignon.

Une comparaison des biomasses à l'hectare des chênes lièges du stade 1 avec celles d'autres suberaies du bassin occidental de la Méditerranée (*tableau V*) fait ressortir une variabilité avec les caractéristiques du peuplement et les qualités de la station. Les biomasses aérienne et foliaire de AD1 sont comparables à celles du peuplement de Sicile de densité et de DBH moyen comparables [30]. La biomasse aérienne du peuplement de Quart (Espagne) [37] dépasse celle de CR1 de 46 t ha⁻¹. Cette différence serait imputable, d'une part, aux caractères édaphiques, en particulier la richesse en humus (12,4% de matière organique contre 3,6% dans les 27 premiers centimètres), d'autre part aux classes de DBH représentées qui dépasseraient en majorité celle de 20 cm. La biomasse du peuplement de Saint Hilari (Espagne) [37] sous climat méditerranéen humide à tendance atlantique atteint 328 t ha⁻¹ sans doute en raison d'une meilleure répartition saisonnière des précipitations et surtout de la richesse du sol en phosphore assimilable (13,8 ppm contre 7 ppm en moyenne dans la parcelle CR1) (*tableau I*). Ces deux caractères stationnels auraient favorisé nettement la croissance des troncs en épaisseur car les arbres du peuplement ont un DBH minimal de 24 cm.

La biomasse des racines de chênes lièges des parcelles en bon état varie entre 11 et 25,8 t ha⁻¹ et représente 22 à 28% de la biomasse aérienne. Elle est nettement inférieure à celle des essences feuillues des forêts tempérées et tropicales, qui peut atteindre 97 t ha⁻¹ et représente 24 à 37% de leur biomasse épigée [36] mais dépasse celle d'une plantation mélangée de *P. halepensis* Mill, *Acacia cyanophylla* Lindl. et *Eucalyptus occidentalis* Endel. âgée de 25 ans en Tunisie centrale [3]. Notons que cette faible biomasse hypogée des chênes lièges de Kroumirie a été sous-estimée car elle ne tient pas compte de la masse importante de la souche. Cependant, elle pourrait être imputable, en partie, aux caractères stationnels, notamment la pluviosité annuelle, et la richesse du sol en éléments fertilisants.

Le passage du stade 1 au stade 2 de la séquence étudiée s'est traduit par une diminution de la densité des chênes lièges à l'hectare, en particulier pour les classes

Tableau V. Comparaison des biomasses à l'hectare de différents peuplements de chênes lièges du bassin occidental de la Méditerranée (d'après différents auteurs).

Pays Parcelle ou Région	CR1	Tunisie	AD1	Italie	Espagne		
		BMI		Sicile	St Hilari	Quart	
DBH moyen (cm)	20,21	14,01	16,25	16,5	(*) 4 à 57	(*) 9,3 à 29	
Densité (arbres ha ⁻¹)	528	723	322	345	–	–	
Biomasse (t ha ⁻¹)	Aérienne	113,0	80,0	48,9	42,2	328	159
	Feuilles	4,37	3,82	2,05	2,3	–	–
	Racines	25,8	17,8	11,0	–	–	–
Référence		Présent travail		[30]	[37]	[37]	

* Amplitude de variation du diamètre du peuplement.

de forts diamètres (*figure 5*), une diminution de leur recouvrement, du DBH moyen et de la surface terrière à l'hectare (*tableau III*). Cette régression s'explique, en particulier par les coupes délictuelles. Des résultats similaires ont été obtenus sur les suberaies du Rif Central Marocain [23] et de Kroumirie [38]. En comparant les densités moyennes des chênes lièges dans les trois stations, on constate qu'elles sont les plus élevées à Ben Métir (512 tiges ha⁻¹) et les plus faibles à Ain Debba (290 tiges ha⁻¹), tendance qui se confirme en cas de dégradation modérée ou sévère (stade 1 ou 2). La faible densité de CR 2 serait imputable à des coupes plus axées sur le chêne *zeen* comme en témoigne son élimination totale. Ceci tend à prouver que les coupes délictuelles sont plus faibles à basse altitude et les plus fortes à moyenne altitude. Ce résultat confirme celui de Saoudi [38] qui a montré que les coupes délictuelles de la strate arborée sont plus intenses dans le *Cytiso-Quercetum suberis typicum* que dans le *Pistacietosum lentisci* et plus modérées dans le *Quercetosum canariensis*.

Les résultats du *tableau IV* attestent que la biomasse des chênes lièges à l'hectare est plus fortement liée à la surface terrière qu'à la densité ou au DBH moyen. Cela s'explique par le fait que ce paramètre intègre à la fois le DBH moyen et la densité de la parcelle et représente, par conséquent, une variable hautement explicative des biomasses totales et compartimentales des chênes lièges à cette échelle. La forme linéaire des équations reliant ces biomasses à la surface terrière à l'hectare fait de celle-ci un paramètre de choix dans l'évaluation des biomasses à l'hectare de la strate arborée dans les peuplements de chênes lièges. La dégradation peut être appréhendée aussi par l'ouverture de la strate arborée (*figure 7*). Cette ouverture a favorisé le développement du maquis dont le recouvrement dans les parcelles d'étude est passé de 68,4 à 98% (*tableau III*). Toutefois, son effet sur la biomasse de la strate arbustive a varié selon le niveau de dégradation. En cas de dégradation modérée de la strate

arborée (30 ≤ recouvrement < 70 %), l'ouverture du couvert arboré et la diminution de la surface terrière ont été accompagnées d'un accroissement de la biomasse du maquis, résultat similaire à celui de Saoudi [38]. Ce développement du maquis pourrait être attribué à une compétition moins forte de la part des chênes lièges, en particulier pour la lumière, l'eau, l'azote et le phosphore assimilable. En même temps, les espèces sciaphiles telles que *Cytisus villosus* et *Rubus ulmifolius* présents dans CR1 ont cédé la place à d'autres espèces à caractère plus héliophile et de plus grande envergure telles que *Phillyrea latifolia* et *Arbutus unedo*. Au-delà d'une ouverture de 70 %, les biomasses aérienne et souterraine de la strate arbustive ont régressé malgré le fort degré de recouvrement du maquis caractérisant ces parcelles. Cette situation pourrait être liée, d'une part, à l'appauvrissement du sol en éléments minéraux, d'autre part, à la régression des arbustes de grande taille tels que *Arbutus unedo* et *Phillyrea latifolia* au bénéfice d'autres plus petits, plus frugaux et mieux adaptés aux habitats découverts (*Calicotome villosa*, *Cistus salviifolius*, *Erica scoparia*, *Halimium halimifolium* et *Lavandula stoechas*).

D'autre part, la biomasse totale des chênes lièges a subi une baisse linéaire avec l'ouverture du couvert. Cette baisse reflète une dégradation anthropique continue des peuplements suite à des coupes délictuelles d'arbres de forts diamètres comme en témoigne la diminution de la densité, du DBH moyen et de la surface terrière à l'hectare (*tableau III*). L'ouverture de la canopée des chênes lièges peut, ainsi, renseigner sur le niveau de dégradation des strates arborée et arbustive.

Remerciements : Nous tenons à remercier le ministère de l'Enseignement Supérieur pour l'appui financier accordé à l'équipe E16-C09 au titre de l'A.R.U.B. Nos remerciements s'adressent, également, à la Direction Générale des Forêts, à l'Arrondissement des Forêts de Aïn Draham et à l'Observatoire National de

l'Agriculture pour l'autorisation d'abattage des arbres échantillons, l'aide technique fournie et l'appui logistique.

RÉFÉRENCES

- [1] Abid H., Selmi K., La suberaie tunisienne: Importance et orientations pour une gestion durable, in: Actes sémin. médit. sur la régénération des forêts de chêne liège, Tabarka-Tunisie 22–24 octobre 1996, Ann. INGREF Suppl. (1998) 63–72.
- [2] Aloui A., Recherches dendroclimatologiques en Kroumirie (Tunisie), Thèse Docteur Ingénieur, Univ. Aix-Marseille III, 1982.
- [3] Akrimi N., Steen E., Charek A.M., Jellali A., Étude des biomasses souterraines et aériennes développées par certaines espèces forestières, fruitières et fourragères cultivées en Tunisie, *Ecologia mediterranea* XV (1989) 1–14.
- [4] Attiwill P.M., A method for estimating crown weight in Eucalyptus, and some implications of relationships between crown weight and stem diameter, *Ecology* 47 (1966) 795–804.
- [5] Attiwill P.M., Ovington J.D., Determination of forest biomass, *Forest Sci.* 14 (1968) 13–15.
- [6] Ben Jemaa M.H., Hasnaoui B., Le dépérissement du chêne liège (*Quercus suber* L.) en Tunisie, in: Coll. Nat. sur le dépérissement des Forêts au Maroc, CNRF Rabat-Maroc 28 et 29 février 1996.
- [7] Benzyane M., Khatouri M., Estimation de la biomasse des peuplements d'arganier (*Argania spinosa* L-Skeels) dans le plateau de Haha (Essaouirra-Maroc), *Ann. Rech. For. Maroc* 25 (1991) 128–140.
- [8] Bortoli L., Gounot M., Jacquinet J.C., Climatologie et bioclimatologie de la Tunisie septentrionale, *Ann. I.N.R.A. Tunisie* 42 (1969) 9–104.
- [9] Boudy P., Économie forestière nord-africaine, Tome II. Monographie et traitement des essences forestières, Larose, Paris, 1950.
- [10] Boudy P., Guide du forestier en Afrique du Nord, La Maison Rustique, Paris, 1952.
- [11] Braun-Blanquet J., Vocabulaire de sociologie végétale, 3^e edn. Montpellier, 1928.
- [12] Cabanettes A., Rapp M., Biomasse, minéralomasse et productivité d'un écosystème à Pins pignons (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen, *Oecol. Plant.* 13 (1978) 271–286.
- [13] Chaabane A., Les pelouses naturelles de Kroumirie (Tunisie). Typologie et production de biomasse, Thèse Docteur Ingénieur, Univ. Aix-Marseille III, 1984, 146 p.
- [14] Chaabane A., Étude de la végétation du littoral septentrional de Tunisie : Typologie, syntaxonomie et éléments d'aménagement, Thèse, Université de Provence Aix-Marseille III, 1993, 205 p.
- [15] Chakali G., Ghalem M., Les insectes ravageurs du chêne liège, (*Quercus suber* L.) en Algérie, in : Actes sémin. médit. sur la régénération des forêts de chêne liège, Tabarka–Tunisie 22–24 octobre 1996, Ann. INGREF Suppl. (1998) 253–259.
- [16] Dagnelie P., Théories et méthodes statistiques, Vol. II. Presses agronomiques, Gembloux, 1975.
- [17] Direction Générale des Forêts, Résultats du premier inventaire forestier national en Tunisie, Ceres productions, Tunis, 1995.
- [18] Duvigneaud P., La productivité primaire des écosystèmes terrestres, in: Lamotte M., Bourlière F. (Eds.), Problèmes de productivité biologique, Masson et Cie, Paris, 1967.
- [19] El Afsa M., Écologie, phytosociologie, régénération et production des suberaies tunisiennes, Thèse Univ. Aix-Marseille III, 1978.
- [20] El Hamrouni A., Végétation forestière et préforestière de la Tunisie : Typologie et éléments pour la gestion, Thèse Université de Provence Aix-Marseille III, 1992, 235 p.
- [21] Emberger L., Une classification biogéographique des climats, *Rec. Tra. Fac. Sci. Montpellier Bot.* 7 (1955) 3–43.
- [22] Et-Tobi M., Contribution à l'étude de la dynamique et du dépérissement du chêne liège en Mamora (Maroc), Mémoire 3^e cycle E.N.F.I, Maroc, 1996.
- [23] Foundi M., Cartographie et évaluation de la dégradation des suberaies du Rif Central (cas de la Suberaie de Jbel Asri). Mém. 3^e cycle E.N.F.I, Maroc, 1998.
- [24] Fraval A., Graf P., Hamdaoui M., Kadiri Z., Ramzi H., Villemant C., *Lymantria dispar* L., Document scientifique et technique, Actes Inst. Agr. Vet. Hassan II Rabat, 1989.
- [25] Hasnaoui B., Chênaies du nord de la Tunisie : écologie et régénération, Thèse Université de Provence Aix-Marseille I, 1992, 202 p.
- [26] Léonardi S., Rapp M., Phytomasse et minéralomasse d'un taillis de chêne vert du massif de l'Etna, *Ecologia Mediterranea* VIII (1982) 125–137.
- [27] Léonardi S., Rapp M., La Rosa V., Répartition et dynamique de la matière organique dans une forêt de *Pinus laricio* Poir., *Ecologia mediterranea* XIV (1988) 27–29.
- [28] Léonardi S., Rapp M., Productivité et gestion des bioéléments dans un peuplement de Pin d'Alep de Sicile méridionale, *Archivio Botanico Italiano* 65 (1989) 59–72.
- [29] Léonardi S., Rapp M., Production de phytomasse et utilisation de bioéléments lors de la reconstitution d'un taillis de chêne vert, *Acta Oecologia* 11 (1990) 819–834.
- [30] Léonardi S., Rapp M., Dénes A., Biomasse, minéralomasse, productivité et gestion de certains éléments biogènes dans une forêt de *Quercus suber* L. en Sicile (Italie), *Ecologia mediterranea* XVIII (1992) 89–98.
- [31] Léonardi S., Rapp M., Failla M., Komaromy E., Organic matter and nutrient cycling within an endemic birch stand in the Etna massif (Sicily): (*Betula aetnensis* Rafin), *Vegetatio* 111 (1994) 45–57.
- [32] Merouani H., Acherar M., Istambouli A., Recherches de quelques contraintes biotiques et abiotiques à la régénération naturelle du chêne liège (*Quercus suber* L.), in : Actes sémin. médit. sur la régénération des forêts de chêne liège, Tabarka-Tunisie 22–24 octobre 1996, Ann. INGREF (1998) 225–243.

[33] Miller R.B., Plant nutrients in hard beech, N. Z. J. Sci. 6 (1963) 365–413.

[34] Natividade J.V., Subericultura. Ministra da Economia, Direcção General dos serviços Florestais e Aquícolas Lisboa, 1950.

[35] Newbould P.J., Methods of estimating primary production of forests, IBP Handbook (2), Blackwell Scientific Publications, Oxford, Edinburgh, 1967.

[36] Rapp M., Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens, P.I.B. Recherche Coopérative sur Programme du C.N.R.S. N° 40, CNRS, 1971.

[37] Robert B., Caritat A., Bertoni G., Vilar L., Molinas M., Nutrient content and seasonal fluctuations in the leaf component of cork oak (*Quercus suber* L.) litterfall, Vegetatio 122 (1996) 29–35.

[38] Saoudi H., Réponse des végétaux aux facteurs de dégradation en Kroumirie (Tunisie), Thèse de Docteur Ingénieur, Univ. Aix-Marseille III, 1983.

[39] Whittaker R.H., Branch dimensions and estimation of branch production, Ecology 46 (1965) 365–370.

[40] Whittaker R.H., Woodwell G.M., Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York, J. Ecol. 56 (1968) 1–25.