

Biomasse, productivité et transferts de matière organique dans une séquence altitudinale de peuplements de *Castanea sativa* Mill de l'Etna

S Leonardi^{1,2}, M Rapp³, M Failla¹, D Guarnaccia¹

¹ *Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Università di Catania, 19 Via A Longo, 95125 Catania ;*

² *Corso di Laurea in Scienze Forestali ed Ambientali, Università di Palermo, 23 Via Roma, 92010 Bivona, Italie ;*

³ *CNRS-CEFE, BP 5051, 34033 Montpellier cedex, France*

(Reçu le 3 octobre 1994 ; accepté le 19 septembre 1995)

Summary – Biomass, productivity and organic matter fluxes in *Castanea sativa* Mill stands of various elevation in the Etna volcano. All the compartments and fluxes of organic matter distribution and turnover within four *Castanea sativa* Mill coppice stands of various ages and at various elevations were studied on the flanks of the Etna volcano (Sicily). Aboveground biomass was to 22 and 24 Mg ha⁻¹ in 7-year-old stands and 83 and 100 Mg ha⁻¹ in 12- and 22-year-old coppices, with good correlations between biomass and climatic conditions or stand age. Wood accounted for 95% of the biomass and leaves for 5%. Aboveground perennial biomass production amounted to 2.4 to 5.4 Mg ha⁻¹ year⁻¹, and thus was also correlated with the age and the altitudinal location of the stands. Litterfall, measured during 3 successive years, varied between 1.7 and 5.1 Mg ha⁻¹ year⁻¹ and was directly related to the stand age. The litter accumulation on the soil surface was 7.4 to 7.9 Mg ha⁻¹, with only small differences between the four sites. Decomposition required more than 6 years. The comparison of the four coppices showed that all the processes concerning productivity, as well as decomposition, were related to climatic conditions and to the age of the coppice stands.

***Castanea sativa* Mill / organic matter / biomass / productivity / litterfall / litter decomposition**

Résumé – Les différents compartiments et flux caractérisant la répartition de la matière organique sont étudiés dans quatre taillis de *Castanea sativa* Mill, étagés le long d'un gradient altitudinal, dans le massif de l'Etna (Sicile). Les biomasses épigées sont respectivement de 22 et de 24 Mg ha⁻¹ à 7 ans, 83 Mg ha⁻¹ à 12 ans et 100 Mg ha⁻¹ à 22 ans, avec de bonnes corrélations : biomasse/âge et biomasse/facteurs climatiques. Le bois représente 95 % et les feuilles 5 % de ces biomasses. Les productions aériennes pérennes s'échelonnent entre 2,4 et 5,4 Mg ha⁻¹ an⁻¹ en relation à la fois avec l'âge des taillis et leur localisation géographique. Les retombées de litière, observées durant 3 années consécutives, se situent entre 1,7 et 5,1 Mg ha⁻¹ an⁻¹. Elles sont directement fonction de l'âge des peuplements. Cette litière reste immobilisée à la surface du sol, où elle représente une masse de 7,4 à 7,9 Mg ha⁻¹, donc peu variable d'une station à l'autre. La décomposition de cette litière s'étend sur une période supérieure à 6 années. La comparaison des quatre taillis étudiés indique que l'ensemble des processus impliqués, aussi bien dans la production que dans la décomposition de la matière

organique, est fonction d'une part des facteurs climatiques stationnels ou globaux, d'autre part de l'âge des peuplements.

***Castanea sativa* Mill / matière organique / biomasse / litière / décomposition / production**

INTRODUCTION

Dans le domaine forestier, les peuplements de châtaigniers (*Castanea sativa* Mill) occupent en Italie le second rang en ce qui concerne la surface, après les différents peuplements de chênes, et ce tout au long du pays, depuis les Alpes jusqu'en Sicile. Au niveau économique, cette essence, méditerranéenne et calcifuge, occupe également la seconde place pour la production de bois et constitue une source importante de revenus par sa production fruitière (Boggia, 1988).

En Sicile (Asciuto et al, 1988), les forêts de *Castanea sativa* ne couvrent qu'une surface réduite, de l'ordre de 4 000 ha, soit moins de 1 % de la surface occupée sur l'ensemble de l'Italie, dont plus de la moitié dans le massif de l'Etna. *Castanea sativa* y est implanté depuis fort longtemps (Scuderi, 1825), plus particulièrement sur les versants sud et est du volcan, entre 600 et 1 600 m d'altitude.

L'existence de peuplements de différents âges, localisés à différentes altitudes, mais sur un substrat géologique identique et des sols voisins, constitue dans le massif de l'Etna un bon modèle, à la fois synchrone et diachronique, pour l'étude du fonctionnement des écosystèmes à *Castanea sativa*.

La présente étude porte sur la production de biomasse épigée, la répartition et les flux de matière organique dans quatre peuplements du parc de l'Etna. Deux peuplements sont implantés à basse altitude (1 000–1 200 m), sur le versant oriental du volcan, deux autres entre 1 400 et 1 600 m d'altitude avec exposition sud. Chaque couple est constitué lui-même d'un taillis jeune, âgé de 7 ans au début de l'étude, et d'un taillis âgé arrivé plus ou moins à maturité.

Ce travail débouche à la fois sur la connaissance du fonctionnement des systèmes à *Castanea sativa* au niveau de la production et de la répartition de la biomasse aérienne, en relation avec les facteurs climatiques ou avec l'âge des peuplements et sur des indications permettant l'amélioration de leur gestion sylvicole, en relation avec l'environnement.

DESCRIPTION DES STATIONS

Localisation

Les quatre peuplements ont été sélectionnés le long d'un gradient altitudinal. Les deux sites d'altitude sont localisés sur la face sud de l'Etna, entre 1 400 et 1 600 m d'altitude, sur une pente de 30 % pour la station de Fossa la Nave, de 10 % pour celle de Balilla (fig 1).

La station de Monte Crisimo, implantée sur d'anciennes terrasses, et celle de Piano Porcheria se situent sur le versant oriental du volcan et sont représentatives des châtaigneraies de basse altitude, reconnues les plus productives.

Sol

Les quatre stations se trouvent sur des laves et des cendres volcaniques basaltiques, qui selon les dates des dernières coulées sont âgées de 2 000 à 2 000 000 d'années. Les sols des quatre stations sont très proches, de type andosol humifié, de 50 à 60 cm d'épaisseur en moyenne. Ces sols se subdivisent en un horizon A₁, riche en matière organique, de 1 à 15 cm d'épaisseur, suivi d'un horizon (A₁B) de 15–60 cm, moins organique, très riche en cendres ou en laves dégradées, bien colonisés par les racines.

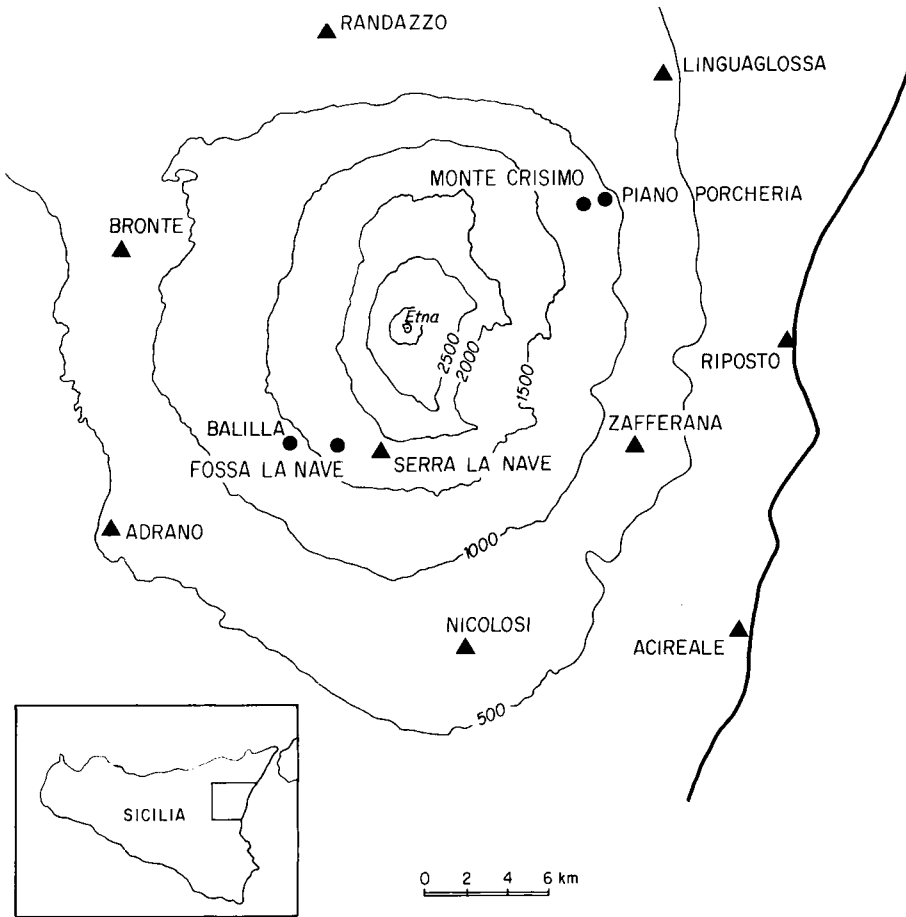


Fig 1. Localisation des quatre stations de *Castanea sativa* Mill dans le massif de l'Etna (cercles pleins).

En dessous de 60–70 cm on ne rencontre que des sables, scories ou laves volcaniques en blocs.

Les caractéristiques chimiques des sols des quatre stations sont résumées sur le tableau I.

Climat

Le climat est de type mésoméditerranéen xérothermique pour les stations de faible

altitude. La station de Fossa la Nave et à un moindre degré celle de Balilla sont caractéristiques d'un climat de montagne, à hiver froid, avec régulièrement de la neige et une pluviométrie moindre. Dans tous les peuplements, la période de sécheresse estivale est de 3 mois. La figure 2 résume les variations des températures et des précipitations moyennes mensuelles de stations météorologiques situées au voisinage des parcelles étudiées.

Tableau I. Propriétés chimiques des sols des quatre stations étudiées.

Stations :	Fossa la Nave		Balilla		Piano Porcheria		Monte Crisimo	
Profondeur sol cm :	20	50	20	50	20	50	20	50
pH :	6,7	6,7	6,4	6,5	6,6	6,6	6,5	6,5
C %	2,52	2,18	2,85	2,27	1,94	1,90	2,14	1,94
N %	0,18	0,18	0,19	0,16	0,15	0,17	0,19	0,16
C / N	14	13	15	14	13	11	11	13
M Org, %	4,33	3,75	4,90	3,90	3,34	3,27	3,68	3,34
CEC méq % sol	13,7	15,2	13,3	12,2	9,2	10,1	10,7	11,2
Ca	7,50	8,00	7,50	6,90	4,90	4,60	4,60	4,30
Na	0,09	0,11	0,09	0,09	0,06	0,06	0,08	0,06
Mg	1,82	1,79	1,78	1,46	1,14	1,24	1,38	1,19
K	0,59	0,56	0,51	0,51	0,28	0,32	0,35	0,30
S / T %	73	69	74	73	61	62	60	52
Éléments totaux								
%								
Ca	5,64	5,53	5,62	5,66	5,77	5,48	5,25	4,98
Mg	2,03	1,89	2,01	2,00	2,02	1,95	1,91	1,70
K	1,20	1,11	1,21	1,23	1,25	1,24	1,23	1,16
Na	2,44	2,42	2,46	2,51	2,64	2,56	2,57	2,48
P	0,64	0,64	0,62	0,63	0,61	0,61	0,61	0,66
S	0,04	0,04	0,07	0,04	0,07	0,10	0,07	0,06

Végétation

Les châtaigneraies de l'Etna, toutes introduites depuis fort longtemps, occupent l'aire naturelle des chênes caducifoliés mesoméditerranéens (Ronsisvalle et Signo-

rello, 1979 ; Poli et al, 1981). Ceci explique l'absence d'une association caractéristique à ces groupements.

Les peuplements sont constitués d'une strate arborée, formée essentiellement de rejets sur souche de *Castanea sativa*. Le

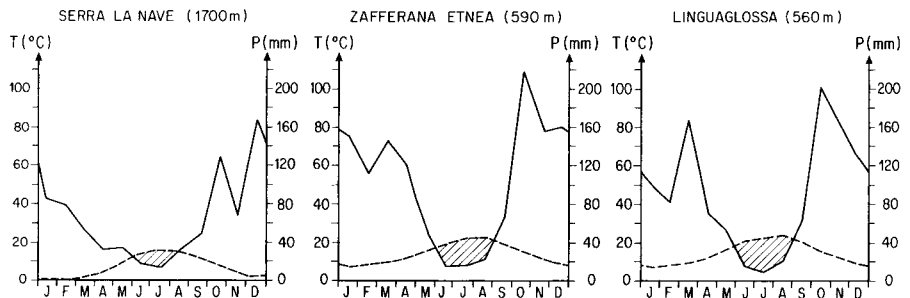


Fig 2. Diagrammes ombrothermiques de trois stations météorologiques situées à proximité des peuplements étudiés : Serra la Nave pour Fossa la Nave et Balilla ; Zafferana Etnea et Linguaglossa pour Monte Crisimo et Piano Porcheria.

Tableau II. Caractéristiques des quatre stations de *Castanea sativa* Mill de l'Etna.

Station	Altitude (m)	Cépées (ha ⁻¹)	Rejets (t ₀)	Rejets (t + 2/3 ^{**})	Rejets par cépée (t ₀)	Rejets par cépée (t + 2/3)	Surface terrière (m ² ha ⁻¹)	Diamètre moyen du tronc à 1,30 m (cm)
Fossa la Nave	1600	238	1895	1876	8	7	8,4	7,5
Balilla	1400	245	1529	1376	6	6	30,9	16,0
Monte Crisimo	1200	441	5529	5199	12	12	29,1	8,2
Piano Porcheria	1000	288	5668	4955	20	17	10,5	4,9

* t₀ = année initiale. ** t + 2/3 = après 2 années (après 3 années : Fossa la Nave).

tableau II et la figure 3 résumant la répartition des tiges de *Castanea sativa* en cépées et rejets ainsi qu'en classes de diamètre.

La strate herbacée très réduite, se limite essentiellement à *Pteridium aquilinum*.

METHODES D'ÉTUDE

Biomasse

La biomasse a été déterminée en établissant des relations mathématiques entre un paramètre dendrométrique facile à mesurer et les poids secs d'un certain nombre d'arbres abattus ou de leurs organes respectifs. Cette approche est préconisée et utilisée par de nombreux auteurs et a été décrite en détail par Bouchon et al (1985) et plus récemment par Hanchi (1994).

Pour l'ensemble des quatre stations, 36 rejets, couvrant les différentes classes de diamètre, entre 0,5 et 35,3 cm, ont été coupés, puis séparés en tronc et en branches ; 22 individus ont été abattus en hiver, 14 durant la période de végétation, pour établir la biomasse de feuilles.

Pour tous les individus on a séparé les branches du tronc et les feuilles des branches. Les différentes fractions ont été pesées sur place, des sous-échantillons représentatifs (rondelles du tronc à différentes hauteurs, branches de différents diamètres et longueurs) ont été trans-

férés au laboratoire, repesés puis séchés à l'étuve à 85 °C jusqu'à poids constant. Cela permet de calculer la teneur en eau des arbres avec un maximum de précision.

L'ensemble de ces sous-échantillons constitue également le substrat analytique pour une étude du cycle biogéochimique dans ces mêmes peuplements.

Après détermination de l'âge des arbres abattus et établissement du poids sec des troncs, des branches et des feuilles des 36 arbres étudiés, on a calculé des équations de régressions entre le diamètre à 1,30 m du tronc et le poids fractionné ou total des arbres. Ce sont les régressions de puissance qui donnent les meilleurs résultats (Baskerville, 1965). Elles sont de type :

$$Y = a \times X^b$$

avec Y : poids de tronc, de branches ou de feuilles ; X, diamètre en cm du tronc à 1,30 m ; a et b, constantes.

Ces équations, appliquées aux différentes classes de diamètre des individus de chaque station et multipliées par le nombre d'individus par classe, permettent d'établir la biomasse du peuplement

Productivité

Deux approches ont été utilisées. La première est basée sur la notion de productivité moyenne d'un écosystème depuis son origine, telle qu'elle a été définie par

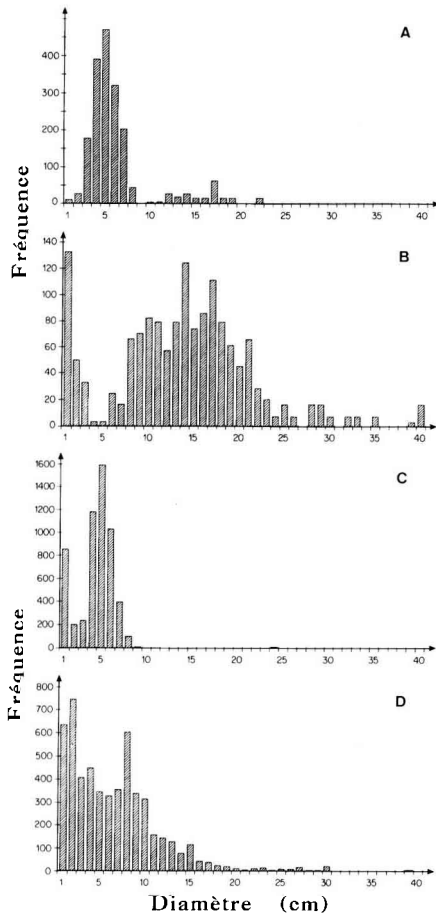


Fig 3. Distribution des rejets en classes de diamètre à 1,30 m dans les quatre stations étudiées : (A) Fossa la Nave, (B) Balilla, (C) Piano Porcheria et (D) Monte Crisimo.

Duvigneaud (1974) et Lemee (1974) : augmentation de la masse de matière vivante élaborée au cours d'un temps donné. Elle peut concerner un arbre pris individuellement ou un peuplement à un âge donné et sur une superficie déterminée. Dans ce travail, vu le nombre d'arbres étudiés, nous avons privilégié l'approche par arbre, beaucoup plus précise, quant à la détermi-

nation exacte de l'âge, qu'un calcul global au niveau des quatre peuplements. On peut ainsi établir, à partir de la biomasse et de l'âge des arbres traités, toute une série de productions moyennes en fonction de leur âge.

Une seconde approche a consisté à déterminer la biomasse des peuplements par mensuration des circonférences de tous les individus des quatre peuplements à 2 ans (Balilla, Piano Porcheria, Monte Crisimo) ou 3 ans (Fossa la Nave) d'intervalle. La différence entre les valeurs des deux biomasses pérennes successives représente la production de chaque peuplement durant l'intervalle de temps donné.

Si cette approche ne pose pas de problème pour les peuplements les plus âgés de Balilla et de Monte Crisimo, le cas est différent pour les formations plus jeunes, la morphologie des rejets juvéniles pouvant varier avec l'âge. Mais après 6 ou 7 ans, les rejets des sites étudiés ont des tiges à morphologie d'adulte. Par ailleurs l'échantillon de 36 arbres utilisés pour calculer les biomasses inclut 17 individus de diamètre à 1,30 m inférieur à 10 cm. La même approche peut donc être utilisée pour l'ensemble des quatre stations.

Pour la station de Piano Porcheria, on note également une très forte mortalité : 713 tiges sur un total de 5 668, soit 12 % des individus. Ce même fait, déjà constaté par Ford et Newbould (1970), Ranger et al (1990b) et Bedeneau (1994), a nécessité une correction des estimations directes. Pour cela on a utilisé la première approche et calculé, sur un certain nombre de pieds bien identifiés, l'incrément de biomasse durant la période allant du 25 mars 1990 au 27 mars 1992. Celui-ci était en moyenne de 15,9 % par an. Ce taux, appliqué à l'ensemble des tiges initialement présentes, permet d'établir une biomasse théorique, hors mortalité, de 31 229 kg ha⁻¹, correspondant à une production moyenne annuelle optimale de 4 381 kg ha⁻¹ de biomasse pérenne épigée, que l'on peut

subdiviser elle même en 82 % de bois de troncs et 18 % de bois de branches.

Surface foliaire

Pour l'ensemble des rameaux feuillés transportés au laboratoire, on a déterminé le nombre total de feuilles puis établi leurs surfaces foliaires à l'aide d'un photoplanimètre automatique. Cela permet d'établir une relation entre le poids des feuilles et leur surface et de calculer l'indice foliaire (LAI m²/m²) au niveau de chaque station.

Retombée de litière

Dix collecteurs, d'un quart de mètre carré de surface de captage chacun, ont été disposés au hasard dans chacune des quatre stations. La litière a été récoltée mensuellement, ou à un rythme plus soutenu durant la phase automnale.

La litière récoltée est subdivisée en feuilles, bois, inflorescences, fruits et matériel divers non identifiable. Après séchage à 85 °C, les différentes fractions sont pesées puis leurs poids respectifs extrapolés à une superficie d'un hectare.

Litière au sol

Dix échantillons de litière au sol de 2 500 cm² de surface chacun (un quart de mètre carré) ont été prélevés dans chacune des quatre stations. Pour chaque échantillon, on a séparé le matériel foliaire des organes reproducteurs, essentiellement bogues et châtaignes et du matériel ligneux.

Pour éliminer toute contamination, soit directement à partir du sol, soit depuis d'éventuelles retombées solides, très fréquentes en milieu volcanique actif, on a calciné un certain nombre d'échantillons à 550 °C et exprimé les résultats en matière organique.

Décomposition de la litière

Dans chaque peuplement, des échantillons de 10 g de feuilles séchées ont été placés dans des filets en nylon de 2 mm de maille (*litter-bags*), disposés au milieu de la litière en place. Trois sacs par station sont récupérés tous les 2 mois durant 2 années consécutives, séchés et pesés.

Cette approche, initialement décrite par Burges (1956) et Bockock et Gilbert (1957), a été depuis utilisée par de nombreux chercheurs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Biomasse et production épigée

À partir des 36 arbres abattus et débités, on a établi les équations de régression suivantes, permettant de calculer les différentes fractions de la biomasse d'un arbre (Y) en gramme en fonction du diamètre du tronc à 1,30 m (X) en centimètre :

$$Y_{\text{bois}} = 96,771 \times X^{2,318} \quad n = 36 \quad r = 0,981$$

$$Y_{\text{feuilles}} = 3,023 \times X^{2,414} \quad n = 14 \quad r = 0,967$$

$$Y_{\text{biomasse}} = 102,000 \times X^{2,314} \quad n = 36 \quad r = 0,982$$

Appliquées aux populations des quatre stations étudiées, ces équations permettent d'établir les biomasses épigées respectives suivantes : 22,0 et 24,1 Mg ha⁻¹ 7 ans après la dernière coupe à Fossa la Nave et à Piano Porcheria, 83,2 Mg ha⁻¹ 12 ans après la dernière coupe à Monte Crisimo et 99,6 Mg ha⁻¹, 22 ans après coupe à Balilla (tableau III).

Ces valeurs sont inférieures aux 107 Mg ha⁻¹ de biomasse citée par La Marca (1984) pour un peuplement de *Castanea sativa* d'Italie âgé de 13 ans et proches des évaluations de Berthier (1984) en France. Ce dernier auteur détermine des biomasses aériennes pérennes (tronc et branches) de 25,2, 37,8 et 67,8 Mg ha⁻¹ à 5, 8 et 11 ans respectivement. Ranger et al (1990b) indiquent des valeurs voisines avec

Tableau III. Biomasse des stations en kg ha⁻¹.

	Biomasses fractionnées				Biomasse totale
	Tronc	Branches	Bois	Feuilles	
Fossa la Nave	16688,7	3741,3	20430,0	1607,2	22037,2
Balilla	78642,2	17249,3	95891,5	3658,8	99550,3
Monte crisimo	65465,2	14503,2	79968,4	3288,6	83257,0
Piano Porcheria	18386,4	4207,8	22594,2	1487,7	24081,9

des biomasses de 9,7, 39,7, 60,5, 107,2 et 119,9 Mg ha⁻¹ à 2, 5, 9, 15 et 19 ans.

La figure 4, qui regroupe l'ensemble de ces données, montre qu'il y a une excellente corrélation entre l'âge et les biomasses des stations françaises et l'âge et les biomasses de trois des stations de l'Etna. La station de Monte Crisimo présente, elle, des valeurs nettement différentes des trois autres sites de l'Etna, voisines des châtaigneraies de France. Ceci se retrouvera également au niveau de la productivité et résulte probablement d'une influence anthropique ancienne, la châtaigneraie actuelle occupant un ancien vignoble. À part le site de Monte Crisimo, la productivité de *Castanea sativa* est inférieure, de l'ordre de 30 à 40 %, dans le

massif de l'Etna par rapport aux peuplements plus septentrionaux.

Le tableau III indique également les parts respectives des différentes fractions. Les troncs représentent en moyenne 77 % de la biomasse totale et 82 % de la biomasse ligneuse épigée ; les branches, 17 et 18 % alors que la part des feuilles est en moyenne de 6 %. Au niveau du tronc, l'écorce représente en moyenne 15 % du poids total, avec des variations stationnelles se situant entre 13,4 et 16,4 %. Ranger et al (1990b) indiquent des pourcentages d'écorce allant de 10,1 à 15,8 % du poids du tronc, en relation inverse avec l'âge des peuplements.

Il faut également noter que les biomasses foliaires ont été déterminées en mai, donc avant la période de croissance maximale des feuilles. Une étude de la variation de la nappe foliaire au cours de la période de végétation faite dans les deux peuplements les plus jeunes (Fossa la Nave et Piano Porcheria) indique que la croissance se poursuit jusqu'en septembre.

Mais les peuplements étudiés, bien qu'exploités régulièrement toutes les 12 à 18 années, ne sont pas équiennes. Le silviculteur italien laissant toujours sur pied un certain nombre d'individus plus âgés, les « matricine ».

À partir des déterminations de l'âge des arbres abattus, de leur diamètre à 1,30 m, de la démographie des quatre peuplements, il est possible d'estimer les biomasses pérennes respectives pour dif-

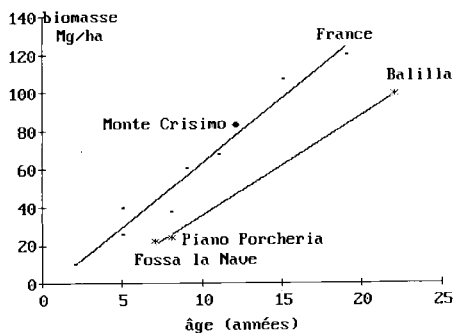


Fig 4. Comparaison de la relation âge / biomasse aérienne pour des peuplements de *Castanea sativa* de France (Berthier, 1984 ; Ranger, 1990) et de Sicile.

Tableau IV. Répartition des biomasses individuelles par âge en poids kg ha⁻¹ dans les stations étudiées.

Station	Âge (année)	Nombre indiv (ha ⁻¹)	Poids (kg ha ⁻¹)		
			Tronc	Branches	Bois
Fossa la Nave	1	31	12	3	15
	7	1 686	7 578	1 729	9 307
	21	164	8 692	1 921	10 613
	35	4	406	89	495
Bailla	1	183	29	7	36
	15	852	198 843	4 330	24 173
	30	407	35 965	7 993	43 958
	46	70	15 859	3 429	19 288
	60	17	6 946	1 490	8 436
Monte Crisimo	1	1 473	330	79	409
	10	3 625	32 922	7 364	40 286
	24	345	17 043	3 769	20 812
	38	82	13 630	2 961	16 591
	52	4	1 541	330	1 871
Piano Porcheria	1	1 066	144	34	178
	7	4 884	16 885	3 876	20 761
	=> 21*	12	1 358	297	1 655

* Impossible d'estimer les individus âgés au-delà de 21 ans.

Tableau V. Évolution du poids des troncs et des branches (kg) en fonction de l'âge des rejets.

Âge (années)	Poids de l'arbre	Origine (station)	Production (kg an ⁻¹)
7	5,49	FN	0,78
7	4,25	PP	0,61
10	11,11	MC	1,11
15	28,32	Ba	1,89
21	64,71	FN	3,08
24	60,32	MC	2,51
30	108,00	Ba	3,60
35	123,75	FN	3,53
38	202,33	MC	5,32
46	275,54	Ba	5,99
52	467,75	MC	8,35
60	496,23	Ba	8,27

FN = Fosa la Nave ; PP = Piano Porcheria ; MC = Monte Crisimo ; Ba = Bailla

férentes classes d'âges (tableau IV) ou les biomasses individuelles des arbres en fonction de leur âge (tableau V). Ces dernières, exprimées en kilo par arbre, peuvent être définies par la régression :

$$\text{Biomasse arbre} = 0,0748 \times X^{2,156}$$

avec $n = 12$; $r = 0,996$; X : âge des arbres (années).

Divisant ces biomasses d'arbre par leur âge respectif, on peut estimer la productivité moyenne annuelle d'un individu à 0,23 kg an⁻¹ par rejet d'un an ; 0,78–0,61 kg an⁻¹ par tige entre 1 et 7 ans (Fossa la Nave, Piano Porcheria) ; 1,11 kg an⁻¹ par tige entre 1 et 10 ans (Monte Crisimo) et 1,89 kg an⁻¹ par tige entre 1 et 15 ans (Balilla).

Les productivités calculées pour des arbres plus âgés (tableau V) sont plus aléatoires, car l'existence d'éventuels élagages peut entraîner une certaine sous-estimation.

Le même tableau permet également d'estimer un âge moyen pour chaque station à partir des classes d'âge et du nombre d'individus par classe. On obtient les âges moyens respectifs suivants : 7/8 ans à Piano Porcheria, 8 ans à Fossa la Nave, 12 ans à Monte Crisimo, 22 ans à Balilla.

Le tableau VI résume la valeur des différentes biomasses déterminées à 2 ou 3 ans d'intervalle dans les stations de Fossa la Nave, Balilla et Monte Crisimo suite à une nouvelle mesure des diamètres des différentes tiges. Pour la station de Piano Porcheria, la seconde valeur de biomasse n'est pas le résultat des mensurations directes, mais d'un calcul effectué selon l'approche indiquée dans la partie méthodes d'étude.

À partir de ces valeurs on obtient pour chaque peuplement une production aérienne pérenne stationnelles de 2 435 kg ha⁻¹ an⁻¹ à Fossa la Nave, 3 257 à Balilla, 5 359 à Monte Crisimo, 4381 à Piano Porcheria.

Ces résultats confirment la nette différence dans la productivité des quatre peuplements, qui est en relation directe avec l'altitude, donc avec les conditions climatiques stationnelles déjà évoquées et avec l'âge, donc la maturité des parcelles étudiées.

Les stations avoisinant 1 500 m, avec une exposition sud, ont une productivité moyenne annuelle faible, avec respectivement 2,4 et 3,3 Mg ha⁻¹ an⁻¹ au bout de 7 et de 22 années. Celles plus basses, du versant est du volcan, présentent, elles, des productivités moyennes annuelles de 4,4 et de 5,4 Mg ha⁻¹ an⁻¹, aux âges respectifs de 7 et de 12 ans. Ceci résulte à la fois des températures plus élevées, durant une période beaucoup plus longue aux altitudes plus basses, mais surtout d'une pluviométrie également plus importante. Cette dernière a été de 667 mm à Fossa la Nave et de 964 mm à Piano Porcheria durant l'année 1992 (Leonardi et al, 1993).

Ces valeurs sont dans la fourchette signalée par Cole et Rapp (1981). Concernant plus particulièrement *Castanea sativa*, Ranger et al (1990a, b) indiquent des productions annuelles moyennes dépassant les 6 Mg ha⁻¹ an⁻¹ à 19 et à 23 ans en France. Bedeneau (1988, 1994) cite des incréments annuels moyens de 4,3 Mg ha⁻¹ à 9 ans et 3,0 Mg ha⁻¹ à 12 ans, avec des valeurs maximales de 12 Mg ha⁻¹ an⁻¹ à 9 ans et 8 Mg ha⁻¹ an⁻¹ à 12 ans. Le même auteur signale également l'interférence de la forte mortalité avant l'âge de 15 ans sur

Tableau VI. Biomasses (kg ha⁻¹) déterminées à 2 ou 3 ans d'intervalle et productivité aérienne pérenne (kg ha⁻¹ an⁻¹) des quatre stations.

	Biomasse 1990	Biomasse 1992/93*	Production moyenne annuelle	Production tronc	Production branches
Fossa la Nave	20 430	27 735*	2 435	1 991	444
Balilla	95 891	102 405	3 257	2 689	568
Monte crisimo	79 968	90 759	5 395	4 417	978
Piano Porcheria	22 466	31 229**	4 381	3 592	789

* Fossa la Nave 3 années ; ** valeur calculée pour tenir compte de la mortalité des jeunes rejets

Tableau VII. Production de biomasse pérenne (Mg ha^{-1}) pour un indice foliaire de 1.

	Stations d'altitude	Stations plus basses
Peuplement âgé	0,6 (Balilla)	1,1 (Monte Crisimo)
Peuplement jeune	1,6 (Fossa la Nave)	2,2 (Piano Porcheria)

la productivité des taillis de *Castanea sativa* Mill. Berthier (1984) détermine une production primaire nette de 6,3 et de 6,7 $\text{Mg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ pour des taillis de *Castanea sativa* âgés respectivement de 8 et 11 ans, dans le sud-est de la France.

Ces différences de productivité se retrouvent et se répercutent également au niveau de l'indice foliaire des quatre stations. Dans les taillis jeunes, celui-ci est de 1,5 (Fossa la Nave) et de 2,0 (Piano Porcheria). Il atteint respectivement 5,0 et 5,4 à Monte Crisimo et à Balilla. Mais, comme déjà signalé pour la biomasse foliaire, ces valeurs sont sous-estimées, car les feuilles continuent à croître longtemps après la mesure de leur surface, effectuée au mois de mai.

Il semble donc que, pour la nappe foliaire, on a également affaire à deux mécanismes qui se superposent : l'âge d'un côté, l'indice foliaire augmentant avec la taille de plus en plus grande des arbres et à nouveau les facteurs climatiques locaux de l'autre côté.

Si l'on ramène ces productions respectives à un même indice foliaire, on remarque que, pour un indice foliaire de 1, les peuplements plus jeunes produisent davantage de biomasse que les peuplements âgés. De même, les peuplements implantés à faible altitude,

produisent à âge égal, plus que les peuplements d'altitude (tableau VII).

Nous retrouvons encore l'important rôle des facteurs climatiques qui se superposent aux effets de l'âge. Ceci résulte essentiellement du fait que les peuplements âgés investissent davantage dans les énergies de maintenance que dans la production apparente.

Restitution au sol de matière organique par l'intermédiaire de la litière

Au cours de 3 années consécutives on a déterminé, pour chacun des quatre sites, les retombées de litière suivantes en $\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ (tableau VIII).

On retrouve encore la nette différence entre les deux taillis âgés et les deux taillis coupés récemment. Ranger et al (1990b) aboutissent aux mêmes résultats avec des retombées de litière de l'ordre de 2,5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$, 2 ans après la coupe à blanc et 5,0 $\text{Mg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ pour des peuplements âgés de 10 à 20 ans.

Les feuilles représentent 51 % de la litière dans les stations de Fossa la Nave, Balilla et Monte Crisimo et 72 % à Piano Porcheria. Ceci provient essentiellement de la très faible production d'organes reproducteurs et de fruits dans cette dernière station.

Tableau VIII. Retombée de litière dans les quatre stations étudiées.

	Litière totale ($\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$)	Litière feuilles ($\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$)
Fossa la Nave	2 640	1 353
Balilla	5 822	2 984
Monte Crisimo	5 093	2 664
Piano Porcheria	1 709	1 230

Notons également que, par rapport à la biomasse foliaire, la fraction « feuilles » de la litière indique, dans les quatre cas, une perte de 18 % lors de la sénescence de ces organes.

La fraction bois, constituée de brindilles et de petits rameaux, est peu importante dans les litières des jeunes taillis (66 et 26 kg ha⁻¹ an⁻¹) comparée aux deux stations les plus âgées (741 et 1 428 kg ha⁻¹ an⁻¹). En réalité la nécromasse ligneuse est plus élevée à Piano Porcheria, mais les 713 jeunes tiges qui ont disparu en deux ans ne sont pas prises en compte par le dispositif de récolte des litières. Ranger et al (1990b) signalent également le rôle non négligeable du bois dans la litière des châtaigneraies, qui augmente par ailleurs parallèlement à l'âge des taillis.

Accumulation de litière au sol

Le tableau IX résume l'ensemble des déterminations pondérales de la litière immobilisée à la surface du sol, avec l'erreur standard entre les dix prélèvements effectués dans chaque station, à la fois globalement et par fraction de litière. Ces valeurs sont exprimées en matière organique après calcination.

On note que le stock de litière au sol est relativement uniforme, variant entre 7,4 et 7,9 Mg ha⁻¹, sans relation apparente avec l'âge réel des différents taillis. Mais on remarque en revanche des différences sensibles entre les fractions identifiées. Ainsi la litière ligneuse est trois fois plus importante dans les peuplements âgés par rapports aux stations récemment coupées. Ceci semble indiquer que l'effet des

coupes, entreprises 7 ans avant les observations à Fossa la Nave et à Piano Porcheria, ne s'est pas traduit par une accélération du processus de décomposition de la litière. Bien plus, les deux stations les plus récemment coupées présentent les stocks de feuilles les plus élevés, malgré des retombées plus faibles de cette fraction de la litière au cours des dernières années. Contrairement aux effets d'augmentation et d'accélération de la décomposition, induits par les coupes forestières en climat tempéré ou froid, on semble assister à un freinage de la décomposition en région méditerranéenne. Parmi les hypothèses que l'on peut avancer pour expliquer ce fait, on peut citer : i) les fortes températures estivales qui empêchent toute activité microbienne et ii) la dessiccation de la nécromasse végétale se prolongeant longtemps en automne et en hiver et inhibant également l'activité des décomposeurs.

Signalons que Ranger et al (1990b) indiquent une masse holorganique de 15 Mg ha⁻¹ à 15 ans, ce qui est plus du double du stock déterminé dans le taillis de Monte Crisimo, âgé de 12 ans.

Cette faible accumulation de litière à la surface du sol témoigne néanmoins d'une très bonne décomposition relative dans les conditions spécifiques de l'Etna, grâce encore, à une conjonction entre les effets de la température et des précipitations.

Décomposition de la litière

À partir de l'estimation des retombées annuelles de litière et des stocks de litière immobilisés à la surface du sol il est possible

Tableau IX. Stock de litière au sol (kg ha⁻¹) dans les quatre taillis, déduction faite des cendres.

	<i>Feuilles</i>	<i>Organes reproducteurs</i>	<i>Bois</i>	<i>Total</i>
Fossa la Nave	5 497 ± 433,8	1 910 ± 221,2	332 ± 103,6	7 739
Balilla	5 230 ± 652,9	1 205 ± 183,4	956 ± 234,0	7 391
Monte Crisimo	4 461 ± 257,3	2 525 ± 363,5	880 ± 110,9	7 876
Piano Porcheria	7 192 ± 502,6	425 ± 132,8	100 ± 30,3	7717

Tableau X. Taux de décomposition et estimations des différents temps de décomposition calculés selon Jenny et al (1949).

	Balilla	Monte Crisimo
<i>Litière totale</i>		
Coefficient de Jenny (%)	40,4	39,3
Temps de demi-décomposition (années)	1,3	1,4
Temps de 95 % de décomposition (années)	5,8	6,0
<i>Fraction feuilles</i>		
Coefficient de Jenny (%)	29,4	37,4
Temps de demi-décomposition	2,0	1,5
Temps de 95 % de décomposition	8,6	6,4

de calculer globalement un certain nombre d'indices de décomposition en condition naturelle, proposés par Jenny et al (1949) ou Olson (1963).

Si ces indices, qui supposent que les taillis étudiés sont en équilibre, peuvent aisément s'appliquer aux deux stations de Balilla et de Monte Crisimo, leur utilisation pour les peuplements jeunes, comme ceux des deux autres stations étudiées dans le massif de l'Etna, est plus aléatoire.

Nous avons calculé pour les deux taillis les plus âgés les coefficients de Jenny et al (1949) et les temps respectifs de demi-décomposition et de 95 % de décomposition de la litière, pour la litière totale et pour la fraction des feuilles prise seule (tableau X).

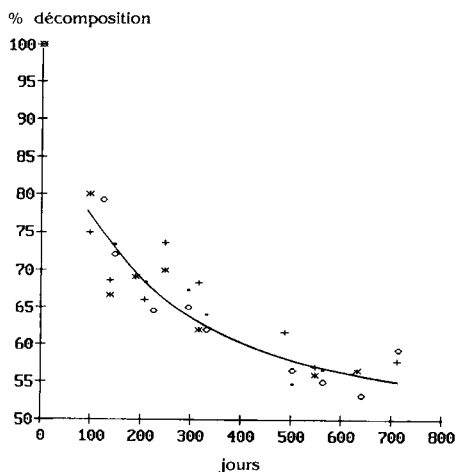
Si les valeurs sont pratiquement similaires entre les deux stations en ce qui concerne les résultats des processus biologiques de décomposition de la litière globale, elles divergent au niveau de la fraction feuilles.

Mais nous avons également estimé la décomposition, du moins celle des feuilles par une seconde approche. À cet effet, différents échantillons de feuilles de *Castanea sativa* ont été mis à décomposer dans des *litter-bags* durant une période de deux ans dans les quatre châtaigneraies de l'Etna. Les résultats, toutes stations regroupées (fig 5), indiquent en premier lieu une similitude du processus quantitatif de la décom-

position, complètement indépendant de sa localisation. Seuls les facteurs macroclimatiques semblent jouer un rôle important dans ce processus, en l'absence de toute différence édaphique d'une station à l'autre.

La figure 5 représente également l'allure générale de la décomposition des feuilles de *Castanea sativa* durant ces deux années. Elle correspond à une régression de type puissance répondant à l'équation :

$$Y = 169,20 X^{-0,17}$$

**Fig 5.** Décomposition des feuilles de *Castanea sativa* en « *litter-bag* » durant deux années consécutives dans les quatre stations de l'Etna.

avec Y , % décomposition ; X , jours ; $n = 32$; $r = 0,847$.

Cette première régression, intégrant les deux années d'observation, peut se subdiviser elle-même en deux régressions linéaires, représentative chacune d'une année (fig 6).

La décomposition est plus importante la première année, représentée par l'équation de régression linéaire :

$$Y (\%) = 92,5 - 0,1 X (\text{jours}) \quad (r = 0,867)$$

Elle diminue sensiblement la deuxième année, comme le montre la constante « b » très faible dans l'équation :

$$Y (\%) = 60,95 - 0,01 X (\text{jours})$$

Mais cette faible décomposition introduit une plus grande marge d'incertitude dans l'expression linéaire que dans les régressions puissances ou logarithmiques.

À partir de cette équation, on peut déterminer un taux de décomposition de 35 % à la fin de la première année. On note une excellente corrélation de cette valeur par rapport à l'approche de Jenny et al (1949).

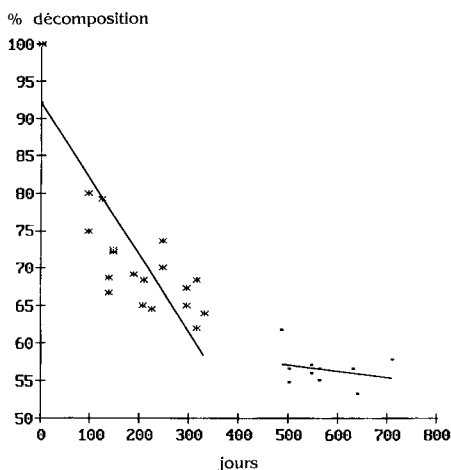


Fig 6. Décomposition annuelle des feuilles de *Castanea sativa* durant 2 années successives.

La méthode de Jenny et al (1949) indique que la moitié de la litière est décomposée en 1,3 et 1,4 ans, alors que la valeur obtenue expérimentalement est de 35 % de décomposition lors de la première année. Les deux approches se recouvrent en valeur et en temps. Des différences dans les processus de décomposition entre *litter-bag* et méthode de Jenny et al (1949) ont été signalées par Rapp (1971). Il semble que les conditions microclimatiques créées à l'intérieur des sachets de litière (meilleur rétention de l'eau lors des périodes de sécheresse) favorisent la décomposition des feuilles en *litter-bag*, et ce malgré une diminution probable de l'activité faunistique, suite au maillage des sacs.

Comparaison des quatre sites

Comme indiqué sur le tableau I, les sols sont relativement identiques. Les seules différences notables sont liées à leur localisation. Les sols des deux stations de basse altitude sont en général plus pauvres en bioéléments totaux, exception faite du magnésium. De même leur capacité d'échange, les cations échangeables (K, Ca et Mg) et les réserves organiques (C et N) sont un peu inférieures à ce qui est observé pour les sols des peuplements d'altitude.

Les deux variables essentielles sont donc représentées par les facteurs climatiques (altitude, exposition) et l'âge des peuplements.

Nous avons regroupé sur la figure 7 l'ensemble des valeurs concernant les différents compartiments et flux de la matière organique, selon l'altitude des stations et l'âge moyen des arbres.

À partir de ces données, on peut calculer un certain nombre de rapports et de relations entre les quatre peuplements en fonction de ces deux paramètres.

Ainsi la production annuelle de biomasse pérenne est selon l'altitude de 4,4 et 2,4 Mg ha⁻¹ an⁻¹ pour les deux peuplements les plus jeunes et de 5,4 et 3,3 Mg ha⁻¹ an⁻¹ pour les deux stations plus âgées de Monte

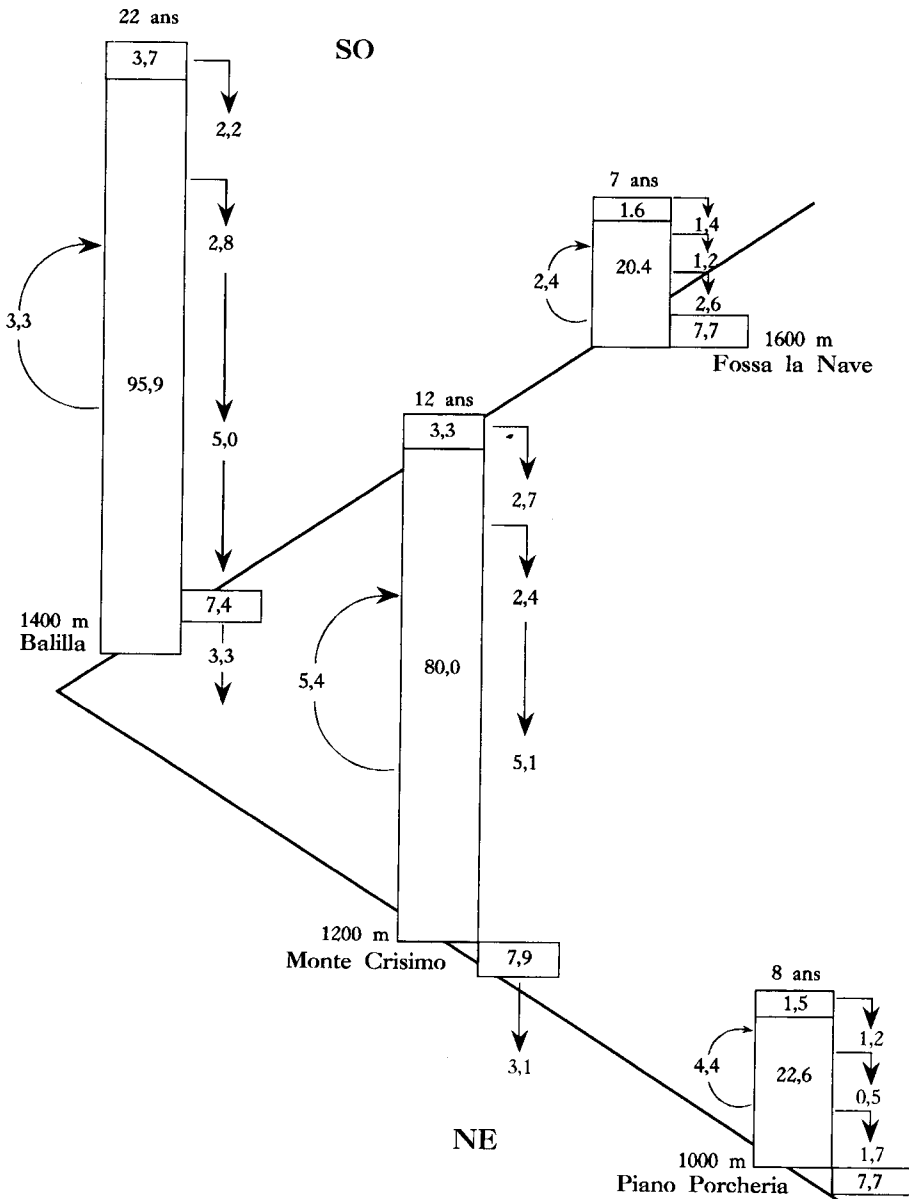


Fig 7. Représentation synthétique et quantitative des différents compartiments et flux de la matière organique dans les quatre stations de l'Etna. Les compartiments : bois, feuilles, litière au sol, sont exprimés en Mg ha⁻¹. Les flux (matérialisés par des flèches) : litière feuilles, autre litière, litière totale, décomposition de la litière, incrément annuel du bois, sont exprimés en Mg ha⁻¹ an⁻¹.

Tableau XI. Relations entre la productivité pérenne en fonction de la biomasse foliaire et l'âge ou la localisation altitudinale des quatre peuplements.

	<i>Biomasse feuilles (Mg ha⁻¹)</i>	<i>Production pérenne (Mg ha⁻¹ an⁻¹)</i>	<i>Production pérenne pour 1 Mg ha⁻¹ de feuilles</i>	<i>Rapport : station jeune/ station âgée</i>
Fossa la Nave	1,6	2,4	1,5	
Balilla	3,7	3,3	0,9	1,7
Piano Porcheria	1,5	4,4	2,9	
Monte Crisimo	3,3	5,4	1,6	1,8

Crisimo et de Balilla. Cela confirme que la production diminue bien avec l'altitude de l'implantation des taillis de *Castanea sativa*. Mais l'âge du peuplement joue également un rôle. Ceci est confirmé si l'on exprime, pour pouvoir comparer les parcelles, la production moyenne de matériel pérenne par rapport à une quantité donnée (1 Mg) de matériel foliaire (tableau XI). L'on retrouve les différences altitudinales avec respectivement 1,5 et 0,9 Mg ha⁻¹ de matériel pérenne produit en altitude et 2,9 et 1,6 Mg ha⁻¹ entre 1 000 et 1 200 m. Mais les rapports : station jeune/station âgée sont très proches : 1,7 et 1,8.

Le rôle de l'âge des arbres apparaît également au niveau de la production primaire nette (PPN = incrément pérenne + retombée de litière). Le tableau XII indique que l'incrément de matériel pérenne dépend essentiellement des facteurs climatiques, avec un rapport moyen : station basse / station d'altitude (B/A) de 1,73 contre un rapport moyen : station âgée / station jeune (A/J) de 1,30.

À l'opposé, en ce qui concerne la production primaire nette, par suite du rôle prépondérant de la biomasse foliaire, qui augmente avec l'âge, c'est ce dernier facteur qui joue le rôle primordial : A/J moyen = 1,69 et B/A moyen = 1,24.

L'altitude ne semble pas influencer le recyclage de la matière organique, qui se fait également plutôt une fonction de l'âge. Ainsi les arbres jeunes produisent davantage de litière, comparée à la biomasse renne, que les individus âgés, surtout si l'on prend en compte la sous-évaluation à Piano Porcheria, suite à l'importante mortalité constatée dans cette station.

Quant aux processus de décomposition, on ne note pas de différence entre les deux stations âgées en fonction de l'altitude. Les taux de décomposition, calculés selon Jenny et al (1949) sont pratiquement identiques, de l'ordre de 40 %, ce qui représente une disparition annuelle de 3,1 à 3,3 Mg ha⁻¹ de litière.

Les processus de décomposition n'ont pas été étudiés dans les deux stations ex-

Tableau XII. Production annuelle pérenne et production primaire nette en fonction de l'âge et de la localisation altitudinale des quatre peuplements.

<i>Taillis :</i>	<i>Production annuelle pérenne</i>			<i>Production primaire nette</i>		
	<i>Jeunes (J)</i>	<i>Âgés (A)</i>	<i>A / J</i>	<i>Jeunes (J)</i>	<i>Âgés (A)</i>	<i>A / J</i>
Stations d'altitude (A)	2,4	3,3	1,37	5,0	8,3	1,66
Stations basses (B)	4,4	5,4	1,23	6,1	10,5	1,72
B / A	1,83	1,64		1,22	1,26	

Tableau XIII. Comparaison des différents paramètres du cycle de la matière organique, exprimés en pourcent d'une biomasse aérienne commune : 100 kg ha⁻¹ de matériel végétal.

	Stations basses		Stations d'altitude	
	Jeunes	Âgées	Jeunes	Âgées
Biomasse épiquée	100	100	100	100
Retombée litière				
Feuilles (%)	5,3	3,4	6,9	3,1
Total (%)	7,5	6,4	12,7	6,0
Litière au sol				
Feuilles (%)	31,8	5,6	27,0	5,4
Total (%)	34,1	9,9	37,7	7,7
Décomposition		3,9		3,4
Production				
Incrément (%)	19,5	6,7	11,8	3,4
Feuilles (%)	5,3	3,4	6,9	3,1
Total (%)	24,8	10,1	18,7	6,5

exploitées récemment, car l'on ne peut pas considérer qu'elles soient parvenues à un stade d'équilibre, après la perturbation subie lors de la coupe à blanc, malgré un stock global de litière au sol semblable à celui déterminé dans les deux peuplements âgés.

Ces différences inter-stationnelles sont encore mieux perceptibles si l'on exprime les différentes quantités de la figure 4 en pourcentage de la biomasse aérienne pérenne pour toutes les quatre stations (tableau XIII).

On retrouve l'important recyclage de matière organique sous forme de litière dans les stations les plus jeunes, jumelée à une forte productivité primaire. Les deux peuplements âgés montrent peu de différences en ce qui concerne les flux cataboliques : chute de litière, accumulation et décomposition de la litière. À l'opposé, l'influence climatique se traduit par une production plus élevée dans la station de faible

altitude (1 200 m) par rapport à la châtaigneraie située à 1 400 m.

CONCLUSIONS

La comparaison des différents compartiments et flux de matière organique dans quatre taillis de *Castanea sativa* Mill, d'âge différent et implantés sur un gradient altitudinal dans le massif de l'Etna (Sicile) met en évidence quatre conclusions.

- i) Les différentes étapes du cycle sont influencées par l'un ou l'autre de ces paramètres (âge, climat) ou les deux ensemble.
- ii) La productivité pérenne est en relation avec l'altitude, donc avec les facteurs climatiques, alors que la production primaire nette est d'avantage fonction de l'âge des taillis. Ce dernier fait est la conséquence d'une plus grande masse foliaire dans les peuplements matures.
- iii) La décomposition, calculée selon Jenny et al (1949), semble totalement indépendante

des conditions climatiques stationnelles. C'est le climat méditerranéen, caractérisé par une période estivale prolongée, chaude et sèche, qui imprime sa marque sur ce processus, occultant les différences microclimatiques.

iv) Du point de vue cinétique, c'est encore l'âge des peuplements qui semble être primordial. Mais ce sont les taillis les plus jeunes qui présentent, proportionnellement, un plus grand recyclage de matériel organique à travers le système, comparés aux stations plus âgées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les docteurs A Drago et G Scrimali, de l'Ispettorato Ripartimentale Agricoltura e Foreste de Catania, qui ont mis à leur disposition les parcelles d'étude et toute l'aide nécessaire aux travaux de terrain. Cette recherche a été financée par l'UE, contrat STEP/PL 900257 « Biological criteria for sustainable development in natural degenerate forests of Mediterranean Europe ».

RÉFÉRENCES

- Asciuto G, Crescimanno M, Raimondo A, (1988) Il castagno in Sicilia. *Cellulosa e Carta* 39, 5, 4-11
- Baskerville GL (1965) Estimation of dry weight of tree components and total standing in conifer stands. *Ecology* 46, 867-869
- Berthier B (1984) Fonctionnement d'un écosystème forestier : croissance, biomasse et productivité du compartiment ligneux épigé des taillis de châtaigniers *Castanea sativa* Mill du sud-est de la France. Thèse, univ de Grenoble, 62 p
- Bedeneau M (1988) Croissance du taillis de châtaignier en France : premiers résultats. *Ann Sci For* 45, 3, 265-274
- Bedeneau M (1994) Croissance des taillis de châtaignier en France : utilisation des données de l'Inventaire forestier national. *Ann Sci For* 51, 2, 183-194
- Bocock KL, Gilbert OJW (1957) The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant Soil* 9, 179-185
- Boggia L (1988). Conclusioni sulla castanicoltura nazionale. *Cellulosa Carta* 39, 4-10
- Bouchon J, Nys C, Ranger J (1985) Cubage, biomasse et minéralomasse : comparaison de trois taillis simples des Ardennes primaires. *Acta Oecol, Oecol Plant* 6, 53-72
- Burges A (1956) The release of cations during the decomposition of forest litter. *CR VI °C Int Sci Soil Paris*, B 1/2, 741-745
- Chatelus S (1987). Contribution à l'analyse du cycle biologique des éléments minéraux dans un écosystème forestier : cas particulier du taillis de châtaignier (*Castanea sativa* Mill). Thèse, univ de Limoges, 151 p
- Cole DW, Rapp M (1981) Elemental cycling in forest ecosystem. In : *Dynamic Properties of Forest Ecosystems* (DE Reichle, ed), Cambridge Univ Press, Cambridge, 341-409
- Duvigneaud P, (1974) *La synthèse écologique*. Doin, Paris, 296 p
- Ford ED, Newbould PJ (1970) Stand structure and dry weight production through the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill) coppice cycle. *J Ecol* 58, 275-296
- Hanchi A (1994) Cycle de l'eau et des éléments biogènes dans un bassin versant forestier : cas d'une hêtraie au mont Lozère. Thèse, univ de Dijon, 232 p
- Jenny H, Gessel S, Bingham FT (1949) Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci* 2, 419-432
- La Marca O (1984) Ricerche sulla biomassa dei cedui di castagno (*Castanea sativa* Mill) della Valle dell'Irno (AV e SA). *Ricerche Sperimentali di Dendrometria e di Auxometria*, Cappini, Florence, 8, 63-79
- Lemée G (1974) La production primaire de la forêt. In : *Écologie forestière* (P Pesson, ed), Gauthier-Villars, Paris, 135-153
- Leonardi S, Rapp M, Failla M, Guarnaccia D (1993) Interception of rainfall, input and leaching of nutrients within two *Castanea sativa* stands at the Etna volcano. *Oecologia Montana* 2, 7-12
- Olson J S (1963) Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44, 2, 322-331
- Poli E, Maugeri G, Ronsisvalle GA (1981) Note illustrative della carta della vegetazione dell'Etna. *CNR, AQ/1/131*, Roma
- Ranger J, Nys C, Bouchon J (1990a) Les relations entre la fertilité du sol, la production et l'utilisation d'éléments nutritifs dans les taillis de châtaigniers. *Acta Oecol* 11, 487-501
- Ranger J, Felix C, Bouchon J, Nys C, Ravart M (1990b) Dynamique d'incorporation du carbone et des éléments nutritifs dans un taillis simple de châtaignier (*Castanea sativa* Miller). *Ann Sci For* 47, 413-433
- Rapp M (1971) Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens. In : *Écologie du sol. Recherche coopérative sur programme*, CNRS, Paris, 40, 19-188
- Ronsisvalle GA, Signorello P (1979) Contributo allo studio fitosociologico dei castagneti dell'Etna. *Boll Acc Gioenia Sc Nat Catania* 4, 29-41
- Scuderi S (1825) Trattato dei boschi dell'Etna. *Atti Acc Gioenia Sc Nat Catania*.