

Introduction

Données sur la production secondaire

Les recherches nécessaires et les priorités

Bibliographie

Introduction

La production secondaire donne lieu aux mêmes problèmes de définition que la production primaire. De nombreux écologistes la définissent comme l'élaboration des nouveaux tissus qui s'ajoutent à la biomasse animale ou au poids vif considéré (McCullough, 1970). Cette définition est techniquement correcte mais insuffisante parce que la production secondaire peut être appréhendée à chaque niveau de l'organisation des écosystèmes et que le concept n'a pas la même signification à chacun d'entre eux. Ainsi, la croissance d'un animal représente la production secondaire de cet individu. La production secondaire d'une population est l'accroissement de biomasse de l'ensemble des individus de cette population; c'est la somme des croissances individuelles diminuée des pertes de poids, compte tenu de la natalité, de la mortalité, de l'immigration et de l'émigration caractérisant la population. De la même façon, on peut considérer l'ensemble des animaux de l'écosystème en tant qu'hétérotrophes. La production secondaire de cette faune n'est pas la somme des productions des différentes populations puisque les unes peuvent se nourrir aux dépens des autres transférant ainsi de la matière organique entre compartiments du même ensemble hétérotrophe. A ce niveau d'organisation la production secondaire est plutôt l'accroissement de biomasse de l'ensemble de la faune. Il est évident que l'intervalle de temps considéré est extrêmement important pour le calcul de chacune de ces productivités. La période de temps de référence est généralement la durée de vie de l'individu pour la production individuelle, une année ou une saison pour la population et une ou plusieurs années pour l'écosystème.

Lorsque l'on considère la production secondaire il est donc nécessaire de préciser le niveau d'organisation et l'intervalle de temps. Les données sur la production secondaire des individus, des populations et du compartiment hétérotrophe des écosystèmes sont relativement abondantes pour les faunes tempérées mais très rares pour les forêts tropicales. Ainsi, les modalités de croissance des individus font partie des connaissances générales des biologistes et l'explication détaillée des processus impliqués se trouve dans les ouvrages élémentaires de physiologie ou de biologie animales. Divers facteurs de nature écologique et génétique influent sur la croissance des individus, parmi lesquels la température et la nutrition sont particulièrement importants. Il n'est pas prouvé que les animaux tropicaux présentent un mode de croissance fondamentalement différent de celui de leurs homologues tempérés (voir chapitre 7).

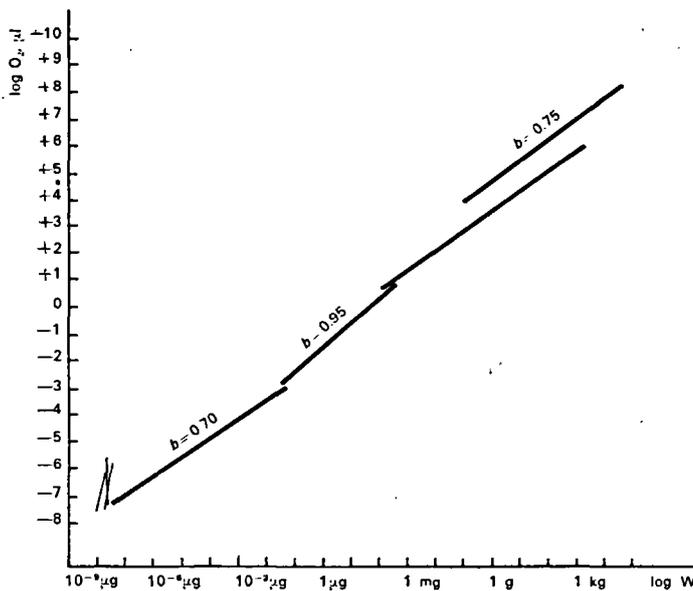


FIG. 1. Relation entre le métabolisme basal ($\log O_2$ en μl) et le poids corporel ($\log W$, en μg , mg , g et kg) chez divers organismes.

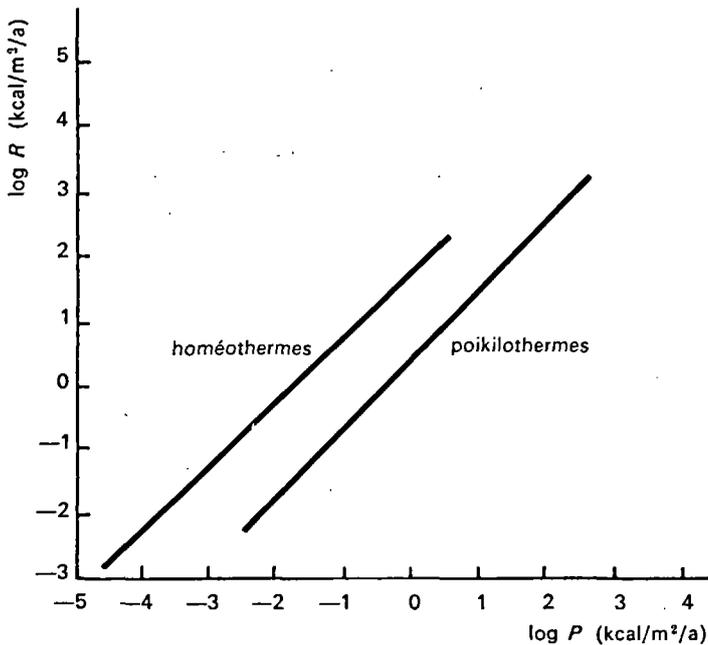


FIG. 2. Relation entre la production ($\log P$ en $kcal/m^2/a$) et le métabolisme ($\log R$ en $kcal/m^2/a$) dans quelques populations naturelles.

On en sait beaucoup moins au sujet de la production des populations et des lois générales dans ce domaine ne sont pas encore admises. La production secondaire des populations est fonction des gains et des pertes : que les gains l'emportent sur les pertes et il y aura mise en réserve, c'est-à-dire accroissement de biomasse, donc, par définition, production secondaire. Les intrants sont représentés par la consommation alimentaire, la natalité et l'immigration; les extrants par les excréta (féces, urine, gaz de rumination), la mortalité et l'émigration. Le calcul de la production secondaire des populations est donc évidemment compliqué puisqu'il est rarement possible de peser la population entière à deux reprises pour déterminer ses gains ou ses pertes.

Il n'y a que très peu d'études de production concernant des espèces animales de forêts tropicales qui aient été poursuivies une année entière. Il existe beaucoup de travaux sur la taxinomie, la biogéographie et l'histoire naturelle des animaux de forêt tropicale mais de telles informations sont rarement directement utilisables pour estimer la production secondaire. Elles sont en revanche tout à fait utiles pour interpréter des différences dans l'écologie de la production ou le comportement trophique des individus, des populations ou des faunes des divers types de forêts tropicales (voir chapitres 6 et 7).

Un autre moyen de déterminer la production secondaire consiste à récolter des individus des différentes espèces, à établir les caractéristiques de l'écologie de la production d'une espèce, puis à extrapoler les résultats à l'ensemble du peuplement. Par exemple, les oiseaux caractéristiques du sous-bois peuvent être capturés au moyen de filets. La consommation, l'assimilation, la croissance, la natalité et la mortalité des espèces les plus communes peuvent être déterminées et, en supposant que ces espèces communes sont représentatives du peuplement total, la production de l'avifaune peut être évaluée. La validité de cette hypothèse a rarement, sinon jamais, été éprouvée. Les différences interspécifiques pourraient être plus importantes dans les forêts tropicales où les espèces sont plus nombreuses et la dominance souvent moins marquée que dans le cas des faunes des régions tempérées. Malgré cela, l'écologie de la production de groupes d'animaux tels que granivores, phytophages arboricoles, faune du sol, faune de la litière, petits mammifères et oiseaux, est occasionnellement étudiée globalement.

Une grande quantité de données sur les besoins métaboliques et la production secondaire est disponible pour certaines populations et certains individus. Si la diversité interindividuelle des hétérotrophes et leur taille corporelle ou leur poids sont connus il est possible de déterminer leur métabolisme basal à partir d'abaques (fig. 1). Pour tenir compte des dépenses d'activité, de nourrissage et de thermorégulation il est nécessaire de corriger l'intensité du métabolisme de base; de telles corrections peuvent être faites pour de nombreux types de populations (Golley, 1968).

Si les dépenses métaboliques annuelles de la population sont connues, il est alors possible d'évaluer sa production puisque, dans les populations naturelles, comme l'ont montré McNeil et Lawton (1970), production et métabolisme sont liés (fig. 2). Pour un même niveau métabolique, l'intensité de production est plus basse chez les organismes homéo-

thermes (10 espèces d'oiseaux et de mammifères) que chez les organismes poikilothermes (42 espèces d'invertébrés et de poissons).

La production et le métabolisme représentent ensemble la quantité de matière assimilée par la population. Si le taux d'assimilation est connu, on déduit aisément la consommation de la population. Malheureusement les taux d'assimilation varient selon le type de nourriture consommée, les conditions physiologiques ainsi que le type de tube digestif considéré. Certains vertébrés peuvent assimiler 80 à 90 % de la nourriture ingérée tandis que certains organismes détritivores tels que des Isopodes ou des Myriapodes n'en assimilent pas plus de 10 à 30 %. Il est cependant possible, pour un milieu et une saison donnés, d'extrapoler à l'ensemble de la population les données relatives à quelques individus déterminés. Davantage de données de ce type sont cependant requises.

Données sur la production secondaire

Les données fondamentales pour évaluer la production des organismes hétérotrophes sont la densité et la biomasse. Il n'y a eu que très peu de tentatives pour déterminer la densité ou la biomasse de faunes tropicales forestières. Les seules données disponibles se rapportent à une mangrove (Golley, 1968), une pluviersylve de faible altitude (Odum *et al.*, 1970), une forêt amazonienne de terre ferme (Fittkau et Klinge, 1973) et l'écosystème miombo (Malaisse *et al.*, 1972). En outre, une estimation de la dynamique de la faune d'une forêt tropicale humide a été présentée par Golley *et al.* (1975).

Dans ces écosystèmes tropicaux les biomasses animales sont les suivantes (en kg/ha) :

Forêt amazonienne de terre ferme	210
Pluviersylve de faible altitude	118
Forêt claire miombo	76
Mangrove	64
Forêt tropicale humide	73

Aucune de ces estimations ne s'appuie, malheureusement, sur des échantillonnages adéquats pour tous les groupes et toutes les saisons. D'ailleurs, dans la plupart des cas, les auteurs présentent eux-mêmes ces résultats comme incomplets et préliminaires. Toutefois, les biomasses réelles ne devraient pas dépasser le double de ces valeurs préliminaires. Si cette hypothèse est correcte la biomasse animale des forêts tropicales est bien moindre que la seule biomasse des vertébrés, y compris les grands ongulés, des savanes et prairies africaines. Les prairies de l'Afrique orientale peuvent supporter jusqu'à 100 à 300 kg/ha des seuls grands herbivores (Bourlière, 1963; Lamprey, 1964). Cependant, dans une savane à épineux d'Afrique orientale, Hendrichs (1970) trouve 50 kg d'ongulés, 4 kg de petits mammifères et 250 kg d'animaux endogés par hectare, ce qui correspond à peu près à la biomasse animale observée en forêt.

Les travaux sur la densité, les variations saisonnières, l'alimentation et la production des petits mammifères de forêt tropicale sont peu nombreux. Dans la synthèse de ces données, Fleming (1975) conclut que, bien que les faunes

de petits mammifères soient plus riches en zone tropicale qu'en zone tempérée (par exemple la partie continentale des États-Unis renferme environ 267 espèces tandis que Panamá, sur une surface cent fois moindre, en héberge 166), la dominance d'un petit nombre d'espèces y est la règle comme dans les forêts tempérées. Les petits mammifères tropicaux réagissent à la périodicité des pluies et leurs effectifs ainsi que leur reproduction peuvent varier selon les saisons mais la production globale de progéniture semble inférieure à celle des espèces des régions tempérées. Les biomasses de petits mammifères sont connues pour quelques localités, mais ces données sont trop peu nombreuses pour permettre des généralisations. Des variations saisonnières de la biomasse ont été enregistrées.

Karr (1975) a comparé les principaux éléments du bilan énergétique des avifaunes forestières de zone tropicale et de zone tempérée. Ses données proviennent d'études effectuées à Panamá, au Libéria et dans l'Illinois. Le nombre des espèces est supérieur de 75 % et celui des individus de 49 % dans les milieux forestiers tropicaux. Cependant les besoins énergétiques d'entretien sont très voisins en zone tropicale et en zone tempérée : 420 kcal/ha/jour à Panamá et 410 kcal/ha/jour dans l'Illinois. En outre, le poids moyen des oiseaux tropicaux était inférieur à celui des oiseaux tempérés. La biomasse, la consommation d'énergie et les besoins d'entretien des peuplements étaient relativement semblables (tableau 1). En définitive, l'avifaune utilise environ 0,2 % de la production primaire nette annuelle de la forêt, aussi bien en zone tropicale qu'en zone tempérée. Karr conclut que l'augmentation de la diversité spécifique des peuplements d'oiseaux de forêt tropicale est imputable à la variété de

TABLEAU 1. Biomasses et besoins énergétiques d'entretien d'avifaunes forestières résidentes (d'après Karr, 1975)

	Biomasse (g/ha)		Besoins énergétiques d'entretien (kcal/ha/jour)	Poids moyen (g)
	Biomasse réelle ^a (poids vif)	Biomasse consommante ^b		
Illinois	1,21	0,25	0,41	49,5
Libéria	1,24	0,30	0,47	34,9
Panamá	1,32	0,34	0,42	36,2
Ile Puercos	0,95	0,30	0,44	22,1

$$a. \text{ Biomasse réelle (poids vif)} = \sum_{i=1}^n (A_i) (W_i)$$

$$b. \text{ Biomasse consommante} = \sum_{i=1}^n (A_i) (W_i)^b$$

$$c. \text{ Énergie d'entretien} = \sum_{i=1}^n (a) (A_i) (W_i)^b$$

où A_i = abondance de l'espèce i ; W_i = poids vif individuel de l'espèce i ; b = pente de la droite de régression poids/métabolisme; a = intersection par cette droite de régression de l'axe des ordonnées (y).

ressources alimentaires supplémentaires (fruits par exemple).

La majeure partie de la biomasse des organismes hétérotrophes est représentée par la faune du sol et de la litière. La biomasse des saprophages équivaut à 5 ou 6 fois celle des herbivores et des carnivores, ainsi que le montrent les données suivantes :

	Biomasse (kg/ha)		
	Faune du sol	Herbivores	Carnivores
Pluviisylve amazonienne	165	30	15
Pluviisylve de faible altitude	80	25	10
Mangrove	52	8	4

(A noter que ces résultats ne coïncident pas exactement avec ceux donnés précédemment parce qu'ils ont été calculés à partir d'une gamme de données fournies par différents auteurs.) L'importance de la décomposition est probablement liée à la résistance du bois et des feuilles, plus grande en forêt qu'en savane, aux difficultés que rencontrent les herbivores sylvoicoles à se nourrir de feuilles, de fleurs et de fruits situés jusqu'à 90 m au-dessus du sol, ainsi qu'à des différences dans la phénologie et la disponibilité saisonnière.

Bien qu'il existe divers travaux relatifs à une population ou un peuplement déterminés dans un certain nombre de localités, la seule étude sur la production secondaire conduite, en zone tropicale, au niveau de l'écosystème tout entier se rapporte à la savane à rôniers de Lamto, en Côte-d'Ivoire (Lamotte, 1975). Les résultats n'en seront donc pas présentés ici puisque seuls sont concernés les écosystèmes forestiers tropicaux. Voir Unesco (1979, 1980).

Golley (1972) a fait remarquer que la relation entre la biomasse d'un compartiment de l'écosystème et le flux à travers ce compartiment traduit le rôle de ce dernier dans les processus de régulation de l'écosystème. Les compartiments dont la masse est petite, la vitesse de renouvellement élevée et qui sont traversés par un flux important doivent vraisemblablement jouer un rôle capital dans la régulation de l'écosystème. Il y a peu de données sur la proportion de la biomasse de feuilles ou de la production de feuilles directement consommée par les herbivores dans les forêts tropicales. Dans une pluviisylve de faible altitude Odum et Ruiz-Reyes (1970) ont estimé que 7 % de la surface foliaire étaient consommés par les animaux ; cette proportion était de 6 % au Costa Rica (de la Cruz, 1964) et de 10 % à Panamá (Golley *et al.*, 1975). Bray et Gorham (1964), pour un grand nombre de forêts en majorité tempérées, ont conclu que la consommation annuelle des insectes représentait 6 à 10 % de la surface foliaire totale. A l'opposé, Klinge et Rodrigues (1973) considèrent, d'après Eidmann (1942, 1943) et Hopkins (1967), que 25 à 60 % de la biomasse foliaire peuvent être consommés par les herbivores. Cette proportion semble peu vraisemblable étant donné la biomasse des herbivores de forêt, mais elle pourrait traduire des cas particuliers.

Ainsi, il existe en forêt une importante biomasse foliaire dont une faible partie seulement est consommée. Golley

(1973) et d'autres auteurs ont suggéré que certains organismes hétérotrophes, particulièrement des insectes, pourraient opérer comme des régulateurs cybernétiques de l'écosystème, y compris au niveau de la production primaire. Les insectes phytophages, par exemple, occupent la position stratégique de régulateurs potentiels dans la mesure où ils consomment des feuilles, qui sont le lieu principal de fixation de l'énergie et de biosynthèse des plantes. Aussi, les espèces d'insectes phytophages sont-elles généralement coextensives avec les espèces végétales, de sorte que celles-ci se rencontrent rarement sans leurs consommateurs. De surcroît, ces deux ensembles d'êtres vivants sont depuis longtemps associés au cours de l'évolution. En définitive, plantes et insectes présentent des interactions sur le plan physiologique, écologique et évolutif. Ils peuvent donc être considérés comme deux sous-systèmes évoluant de concert, concurrents et interdépendants (voir chapitre 8).

Les insectes et autres consommateurs réagissent aux diverses conditions de l'hôte, telles que la valeur nutritive de la plante, la présence ou l'absence de substances capables de régler la croissance des insectes et la spécificité de composés volatils (essences) produits par le métabolisme de la plante. Il existe de nombreux exemples de pullulements d'insectes dans des régions tempérées, liés à des conditions trophiques ou hygrométriques contraignantes pour la végétation. Il est également bien connu que les arbres vieux, affaiblis ou agressés sont plus vulnérables à l'attaque des insectes que les arbres vigoureux. Il semble évident que, lorsque change l'état des plantes hôtes avec le vieillissement ou sous l'effet d'agressions climatiques ou autres, les insectes consommateurs peuvent percevoir ces variations et y réagir. L'un des mécanismes en cause pourrait résider dans la modification des teneurs en sucres ou en azote du feuillage (Schwenke, 1968). (Voir aussi le chapitre 14.)

Si les insectes réagissent aux changements d'état de l'hôte par une reproduction accrue, une rétroaction peut se manifester au niveau de l'hôte par le biais de l'activité des insectes. Par exemple, une défoliation massive peut changer brutalement l'état physiologique des hôtes et accroître la chute des feuilles, entraînant un apport accru d'éléments nutritifs au système sol-litière. Les plantes âgées ou affaiblies meurent généralement après une telle défoliation, modifiant ainsi le milieu physique. Il en résultera finalement une augmentation des ressources en nutriments, en lumière et en humidité, disponibles pour les plantes survivantes, et donc une accélération probable de la croissance. Ainsi, les consommateurs peuvent contribuer à la restauration de l'intensité optimale de la production primaire et du recyclage des éléments nutritifs. De tels changements interviennent à la suite de la modification de l'efficacité du processus photosynthétique, de la mobilisation et de l'utilisation de réserves, de l'interaction et de la différenciation des primordia de bourgeons ainsi qu'à la suite d'une modification de la répartition verticale de la production de biomasse. Les organismes brouteurs peuvent agir directement sur les éléments producteurs des forêts tropicales et exercer une influence notable sur les autres constituants de sorte que le faible taux de consommation devrait être considéré comme l'expression de l'efficacité élevée d'organismes

dont le rôle principal est de contrôler le fonctionnement de l'écosystème.

En revanche, la litière des écosystèmes forestiers doit être décomposée rapidement afin que les macro-éléments immobilisés dans la biomasse deviennent utilisables pour les plantes. Dans les forêts tropicales la production de litière peut dépasser 20 t/ha/an. Cela entraîne un important travail de décomposition pour l'écosystème. Les champignons y ont une importance plus grande que dans les forêts tempérées et assureraient la première étape des processus de décomposition (Went et Stark, 1968). De nombreux auteurs ont aussi démontré le rôle essentiel des termites. Dans une forêt sempervirente du Zaïre, par exemple, Maldague (1970) a trouvé 870 colonies de termites/ha, soit une biomasse de 16 t/ha. Ces colonies immobilisaient 2,6 t de matière organique/ha, dont 0,7 t de calcium et 61 kg d'azote. Ces termites auraient consommé environ 6 t/ha/an. Huttel et Bernhard-Reversat (1975) ont relevé des densités de termites analogues pour une forêt subéquatoriale de Côte-d'Ivoire.

A côté des termites, vers de terre et micro-arthropodes peuvent être aussi importants dans les forêts tropicales. Dans une forêt subéquatoriale de Côte-d'Ivoire localisée sur un thalweg, Huttel et Bernhard-Reversat (1975) ont enregistré une grande abondance de turricules de vers de terre; ceux-ci traduisent un remaniement du sol et une minéralisation de l'azote qui contribuent à enrichir de façon notable l'horizon superficiel du sol (tableau 2). Le rôle exact des micro-arthropodes endogés est mal connu et les nombres élevés enregistrés dans le sol et la litière suggèrent des effectifs encore plus importants (tableau 3).

Les recherches nécessaires et les priorités

L'écologie des organismes hétérotrophes dans son ensemble nécessite une plus grande attention. Tandis que l'étude de la production secondaire est de peu d'intérêt pour la compréhension des écosystèmes, les mesures des flux d'énergie et de matière à travers le réseau trophique sont très importantes. Les recherches devraient se dérouler suivant les étapes suivantes :

Échantillonnages pour dénombrer les différentes espèces d'hétérotrophes;

TABLEAU 3. Nombre de micro-arthropodes par m² dans l'horizon superficiel du sol de forêts tropicales

Banco, plateau	(Côte-d'Ivoire; Huttel et Bernhard-Reversat, 1975)	54 000
Banco, thalweg		17 500
Yapo		26 000
Zaïre (Maldague, 1970)		64 000-72 000
Nigéria, sol et litière (Madge, 1969)		65 200
Porto Rico (Wiegert, 1970)		1 890- 7 620
Amazonie (Beck, 1971)		14 700

Identification de tous les hétérotrophes se trouvant dans ces échantillons;

Détermination de leur régime alimentaire;

Élaboration d'un réseau trophique, précisant les changements dans l'espace et dans le temps du régime alimentaire;

Mesure des quantités de nourriture consommées et, donc, des flux à travers le réseau trophique;

Détermination de la teneur en énergie et en éléments minéraux des aliments et expression des flux en ces termes;

Intégration des données de fonctionnement des hétérotrophes et de celles relatives à la végétation pour établir la dynamique globale de l'écosystème.

Qu'il n'y ait jamais eu en zone tropicale une description satisfaisante de réseau trophique indique bien l'ampleur de la tâche. Le problème vient en partie du fait que peu d'écologistes ou de taxinomistes sont capables d'étudier tous les groupes animaux. Ce sont, plutôt, des équipes de chercheurs qu'il faudrait, mais même lorsque celles-ci existent il est rarement possible d'éviter que chaque spécialiste ne travaille séparément et selon ses habitudes; il en résulte que l'étude globale s'achève sous la forme d'un grand nombre de travaux individuels, à différents stades d'avancement, et qui ne peuvent être intégrés. Une solution probable est de s'orienter sur les flux qui constituent la trame du réseau trophique plutôt que sur les espèces elles-mêmes; cela n'exclut pas la nécessité de connaître largement la biologie des espèces (voir chapitres 6 et 7).

Enfin, il faut souligner que les organismes hétérotrophes accomplissent, par leurs activités alimentaires, un autre ensemble de fonctions importantes mais qui n'apparaît pas dans les calculs de flux d'énergie et de matière. Il s'agit

TABLEAU 2. Comparaison des teneurs en macroéléments du sol de surface et des turricules (Huttel et Bernhard-Reversat, 1975)

	C ‰	N total ‰	P total ‰	Bases échangeables (m. équiv./100 g de sol)				pH
				Capacité d'échange	Mg	K	Ca	
Turricules	30,0	1,88	0,69	7,5	0,61	0,16	0,79	4,3 ± 0,2
	24,5	1,33	0,83	6,5	0,37	0,12	0,34	
Sol (0-10 cm)	13,2 ^a	0,96 ^a	0,45	4,6	0,33	0,08	0,30	4,3 ± 0,2
			0,37	4,8	0,14	0,19	0,39	

a. Moyenne annuelle.

notamment de la pollinisation, de la dissémination des graines et de la prédation s'exerçant sur les semences et les fruits, processus qui semblent extrêmement importants dans les forêts tropicales. On en sait encore peu de choses et rien quant à leur signification quantitative dans l'écosystème. C'est là une lacune majeure qui devrait représenter à l'avenir un domaine de recherche privilégié (voir chapitre 8).

En résumé, il existe une bibliographie abondante sur la biologie des divers organismes hétérotrophes vivant dans les forêts tropicales — de telles données se sont accumulées depuis aussi longtemps que les scientifiques et les naturalistes visitent les régions tropicales. Il n'existe cependant aucune étude complète sur l'ensemble des hétérotrophes d'une forêt. Les recherches devraient donc se concentrer sur quelques sites déterminés où des études exhaustives pourraient être alors réalisées. En attendant, aucune spéculation sur le rôle des hétérotrophes — mis à part les plus générales — ne saurait être considérée comme sérieuse.

Le vaste domaine de l'activité des hétérotrophes demande une attention accrue de la part des chercheurs. Les recherches doivent être réalisées dans la perspective d'une analyse de système en s'attachant aux relations trophiques et autres interactions aussi bien qu'à la dynamique des constituants essentiels du système. Par exemple, l'étude du métabolisme d'une population devrait comprendre une évaluation des sources d'énergie pour cette population. A côté du développement des recherches sur la biomasse et la dynamique des peuplements forestiers, il est aussi capital de considérer les autres fonctions qu'assurent les animaux à l'intérieur de l'écosystème. Le flux d'énergie et de matière qui passe par les herbivores est relativement accessoire par rapport à celui de la faune du sol et de la litière, mais le rôle des herbivores dans le fonctionnement de l'écosystème peut être extrêmement important. On ne sait encore que très peu de choses sur les aspects quantitatifs de ces rapports de nature fonctionnelle.

Bibliographie

- BECK, L. Bodenzoologische Gliederung und Charakterisierung des amazonischen Regenwaldes. *Amazoniana*, 3, 1971, p. 69-132.
- BOURLIÈRE, F. Observations on the ecology of some large African mammals. *African Ecol. Human Evol.*, 36, 1963, p. 43-54.
- BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. In: Cragg, J. B. (ed.). *Advances in ecological research*, vol. 2, p. 101-157. London, Academic Press, 1964.
- CRUZ, A. de la. A preliminary study of organic detritus in a tropical forest ecosystem. *Rev. Biol. Trop.*, 12, 1964, p. 175-185.
- EIDMANN, H. Der tropische regenwald als Lebensraum. *Kolonial forstl. Mitt.*, 5, 1942, p. 91-147.
- . Zur Ökologie der Tierwelt. *Beitr. Kolonial forstl.*, 2, 1943, p. 25-45.
- FITTKAU, E. J.; KLINGE, H. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica*, vol. 5, no. 1, 1973, p. 2-14.
- FLEMING, T. H. The role of small mammals in tropical ecosystems. In: Golley, F. B.; Petruszewicz, K.; Ryszkowski, L. (eds.). *Small mammals, their productivity and population dynamics*, p. 269-298. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1975.
- GOLLEY, F. B. Secondary productivity in terrestrial communities. *Am. Zoologist*, 8, 1968, p. 53-59.
- . Summary. In: Golley, P. M.; Golley, F. B. (eds.). *Tropical ecology with an emphasis on organic production*, p. 407-413. Athens, Univ. Georgia, 1972, 418 p.
- . Impact of small mammals on primary production. In: Gessaman, J. A. (ed.). *Ecological energetics of homeotherms, a view compatible with ecological modelling*, p. 142-174. Utah State University (Logan), Mono. Series, vol. 20, 1973.
- ; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. *Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem*. Athens, Georgia, Univ. of Georgia Press, 1975, 248 p.
- HENDRICH, H. Schätzungen der Huftierbiomasse in der Dornbuschsavanne nördlich und westlich der Serengeti steppe in Ostafrika nach einem neuen Verfahren und Bemerkungen zur Biomasse der anderen pflanzenfressenden Tierarten. *Säugetierkund. Mitt.*, 18, 1970, p. 237-255.
- HOPKINS, B. A comparison between productivity in forest and savanna in Africa. *J. Ecol.*, 55, 1967, p. 19-20.
- HUTTEL, C.; BERNHARD-REVERSAT, F. Biomasse végétale et productivité primaire, cycle de la matière organique. In: Recherches sur l'écosystème de la forêt sub-équatoriale de basse Côte-d'Ivoire, p. 203-228. *La Terre et la Vie* (Paris), 29, 1975, p. 169-264.
- KARR, J. Production, energy pathways and community diversity in forest birds. In: Golley, F. B.; Medina, E. (eds.). *Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research*, p. 161-176. Berlin, New York, Springer Verlag, Ecological Studies no. 11, 1975, 398 p.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A. Phytomass estimation in a Central Amazonian rain forest. In: Young, H. E. (ed.). *IUFRO Biomass Studies*, p. 337-350. Orono, Univ. Maine, 1973.
- LAMOTTE, M. The structure and function of a tropical savanna ecosystem. In: Golley, F. B.; Medina, E. (eds.). *Tropical ecological systems: trends in terrestrial and aquatic research*, p. 179-222. Berlin, New York, Springer Verlag, Ecological Studies no. 11, 1975, 398 p.
- LAMPREY, H. F. Estimation of the large mammal densities, biomass and energy exchange in the Tarangire game reserve and the Masai Steppe in Tanganyika. *East African Wildlife J.*, 2, 1964, p. 1-46.
- MADGE, D. S. Field and laboratory studies on the activity of two species of tropical earthworms. *Pedobiologia*, 9, 1969, p. 188-214.
- MALASSE, F.; ALEXANDRE, J.; FRESON, R.; GOFFINET, G.; MALASSE-MOUSSET, M. The miombo ecosystem: a preliminary study. In: Golley, P. M.; Golley, F. B. (eds.). *Tropical ecology with an emphasis on organic production*, p. 363-403. Athens, Univ. Georgia, 1972, 418 p.
- MALDAGUE, M. E. *Rôle des animaux édaphiques dans la fertilité des sols forestiers*. Publ. INEAC, Sér. sci., n° 112, 1970, 245 p.
- MCCULLOUGH, D. R. Secondary production of birds and mammals. In: Reichle, D. E. (ed.). *Analysis of temperate forest ecosystems*, p. 107-130. Berlin, New York, Springer Verlag, Ecological Studies no. 1, 1970.

- MCNEIL, S.; LAWTON, J. H. Annual production and respiration in animal populations. *Nature*, 225, 1970, p. 472-474.
- ODUM, H. T.; ABBOTT, W.; SLEANDER, R. K.; GOLLEY, F. B.; WILSON, R. F. Estimates of chlorophyll and biomass of the Tabanuco forest of Puerto Rico. In: Odum, H. T.; Pigeon, R. F. (eds.). *A tropical rain forest*, p. I-3 to I-19. Division of Technical Inf., United States Atomic Energy Commission (USAEC), 1970, 1 678 p.
- ; RUIZ-REYES, J. Holes in leaves and the grazing control mechanism. In: Odum, H. T.; Pigeon, R. F. (eds.). *A tropical rain forest*, p. I-69 to I-80. Division of Technical Inf., USAEC, 1970, 1 678 p.
- PESSON, P. (ed.). *Ecologie forestière. La forêt : son climat, son sol, ses arbres, sa faune*. Paris, Gauthier-Villars, 1974, 282 p.
- SCHWENKE, W. New indicators of the dependence of population increases of leaf and needle-feeding forest insects on the sugar content of their diet. *Z. fur Angew. Entomol.*, 61, 1968, p. 365-369.
- UNESCO. *Tropical grazing land ecosystems. A state of knowledge report prepared by Unesco/UNEP/FAO*. Paris, Unesco, Natural Resources Research XVI, 1979, 655 p. *Écosystèmes pâturés tropicaux. Un rapport sur l'état des connaissances préparé par l'Unesco, le PNUE et la FAO*. Paris, Unesco, Recherches sur les ressources naturelles XVI, 1980, 675 p.
- WANNER, H. Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *J. Ecol.*, 58, 1970, p. 543-547.
- WENT, F. W.; STARK, N. The biological and mechanical role of soil fungi. *Proc. National Acad. Sci.* (Washington), 60, 1968, p. 497-504.
- WIEGERT, D. F. Effects of ionizing radiation on leaf fall, decomposition and the litter micro-arthropods of a montane forest. In: Odum, H. T.; Pigeon, R. F. (eds.). *A tropical rain forest*, p. H-89 to H-100. Division of Technical Inf., USAEC, 1970, 1 678 p.