

ÉTUDE COMPARÉE DE DIVERSES SUBSTANCES HYDROSOLUBLES EXTRAITES DE QUELQUES LITIÈRES TROPICALES ET TEMPÉRÉES

G. JUNG
O.R.S.T.O.M., Dakar

[S. BRUCKERT]
Faculté des Sciences, Nancy

Y. DOMMERMUES
C.N.R.S., Nancy*

RÉSUMÉ

La comparaison d'extraits aqueux provenant, d'une part de litières tropicales et tempérées, d'autre part, de l'horizon A₁ d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior) soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* a permis les remarques suivantes :

(1) Les percolats des litières tropicales étudiées contiennent en général davantage d'acides aliphatiques, phénols, aminés et sucres réducteurs que ceux des litières tempérées. Ceci explique en partie que les formations tropicales ont une action plus importante sur la pédogénèse que les formations tempérées.

(2) La différence de composition des litières de *Festuca silvatica* et de *Calluna vulgaris* rappelle l'opposition de composition entre litières de feuillus (hêtre) et de résineux (pin).

(3) Les extraits aqueux d'horizons A₁ sous *Acacia albida* sont plus riches en substances hydrosolubles que les extraits des mêmes horizons sous *Andropogon gayanus* ; la forte activité biologique et la fertilité élevée du sol sous *Acacia albida* peuvent être en rapport avec cet enrichissement par les substances lessivées des litières.

ZUSAMMENFASSUNG

Wasserextrakte einiger tropischen und gemässigten Streutypen, sowie des A₁ Horizontes eines tropischen, von *Acacia albida* beeinflussten, bzw. unbeeinflussten Bodens, wurden untersucht und gaben folgende Ergebnisse.

1) Die Blätter tropischer Streuschichten enthalten im allgemeinen viel mehr Aliphatische —, Phenolische — und Aminosäuren als diejenigen von gemässigten Gegenden. Diese Tatsache dürfte die bedeutend grössere Wirkung des tropischen Waldes auf die Bodenbildung wohl teilweise erklären.

* Vandœuvre-les-Nancy, B. P. 5.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Références

n° /3631ex1

2) Der chemische Unterschied zwischen *Festuca silvatica* und *Calluna vulgaris* - Streu erinnert an den seit lange bekannten Gegensatz zwischen Streuschichten von Nadel - (Fichte) und Laubhölzen (Buche).

3) Die extrakte der A_1 Horizonte unter *Acacia albida* sind reicher an wasserlöslichen Stoffen als diejenigen derselben Horizonte unter *Andropogon gayanus*; die hohe biologische Aktivität und Fruchtbarkeit des Bodens unter *Acacia albida* steht vielleicht in Beziehung mit dieser Bereicherung an, aus den Streuschichten ausgelaugten Stoffen.

SUMMARY

The comparison between various water extracts of tropical and temperate litters and of a weakly leached tropical ferruginous soil A_1 horizon either or not influenced by *Acacia albida* leads to the following conclusions :

(1) Water extracts of the tropical litters that we studied contain much more aliphatic, phenolic and amino acids than water extracts of temperate soils. This fact explains that the tropical forest has a much more powerful influence over the pedogenesis than temperate formations.

(2) The difference of composition between *Festuca silvatica* and *Calluna vulgaris* litters recalls the well established opposition between hardwood (beech) and softwood (pine) litter compositions.

(3) The water extracts from A_1 horizon under *Acacia albida* are richer in hydrosoluble substances than the homologous horizon under *Andropogon gayanus*; the high biological activity and the high fertility level of the soil under *Acacia albida* may be related to this enrichment by litter leachates.

INTRODUCTION

Les litières, au cours de leur évolution annuelle sur les sols, constituent un matériel végétal capable de libérer de nombreuses substances hydrosolubles organiques ou minérales (LOSSAINT, 1959; NYKVIST, 1963; MUIR *et al.*, 1964; JACQUIN et BRUCKERT, 1965 : RAPP, 1967).

Si diverses recherches ont permis de déterminer la composition d'extraits de litières, aucune étude, à notre connaissance, n'a porté sur la comparaison entre des litières de régions tempérées et des litières de régions tropicales. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant d'aborder ce point dans ce travail. D'autre part, parmi les composés hydrosolubles, ce sont les acides organiques qui ont fait l'objet des travaux les plus nombreux, car ils jouent un rôle important dans les phénomènes de complexation et de migration de sesquioxydes. Si nous déterminons ici les acides aliphatiques et phénols d'extraits de litières, il nous a semblé utile d'analyser aussi les acides aminés et les sucres réducteurs.

Enfin, le travail que nous présentons met en évidence l'influence du type de litière — *Acacia albida*, *Andropogon gayanus* — sur la teneur en substances hydrosolubles de l'horizon de surface (A_1) d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior).

I. — MATÉRIEL D'ÉTUDE

1. NATURE ET PROVENANCE DU MATÉRIEL VÉGÉTAL.

Celui-ci provient d'une région tempérée (Vosges) et d'une région tropicale sèche (Sénégal).

— *Litières tempérées :*

- pseudophylles de *Pinus silvestris* (Abiétinée).
- rameaux de *Calluna vulgaris* (Ericinée).
- feuilles de *Festuca silvatica* (Graminée).
- feuilles de *Fagus silvatica* (Cupulifère).

Les débris de pin (*Pinus silvestris*) et de callune (*Calluna vulgaris*) constituent l'essentiel de la litière « acidifiante » d'un podzol humoferrugineux à mor; les feuilles de hêtre (*Fagus silvatica*) et de fétuque (*Festuca silvatica*) représentent la litière « améliorante » d'un sol brun à mull acide.

Ce choix nous permet d'établir une comparaison entre (1) des stations caractérisées par un humus de type mull correspondant à des peuplements de *Fagus silvatica* comportant une strate herbacée à *Festuca silvatica*; 2) des stations caractérisées par un humus de type mor, correspondant à des peuplements de *Pinus silvestris* associé à *Calluna vulgaris*.

— *Litières tropicales :*

- feuilles d'*Acacia albida* (Légumineuse).
- feuilles de *Guiera senegalensis* (Combrétacée).
- feuilles de *Khaya senegalensis* (Méliacée).
- feuilles de *Gmelina arborea* (Verbénacée).

Acacia albida, *Guiera senegalensis* et *Khaya senegalensis* sont des espèces dominantes en zone tropicale sèche de climat sahélo-sénégalais (AUBREVILLE, 1949) ; le sol est généralement un sol ferrugineux tropical peu lessivé (BONFILS et FAURE, 1955).

Gmelina arborea se trouve sur sols ferrallitiques, à roche-mère constituée de grès sablo-argileux (MAIGNIEN, 1965) soumis à un climat du type guinéen-casamancien (AUBREVILLE, 1949).

2. EPOQUE DE RÉCOLTE DES LITIÈRES.

Comme nous le verrons plus loin, la composition de la litière dépend de la date de récolte du matériel végétal en vue de son analyse; c'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, les feuilles ont été récoltées à la même époque de leur cycle végétatif (début de la chute).

3. TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE ET AZOTE TOTAL DES LITIÈRES (tableau 1).

Le rapport C/N des litières est en général du même ordre de grandeur (31 à 46) quelle que soit l'espèce considérée et sa provenance; mais les feuilles d'*Acacia* (Légumineuse) et les rameaux de *Calluna* (Ericacée) se distinguent par des C/N très différents, respectivement de 23 et 74.

TABLEAU 1
Teneurs en carbone et azote des litières

Détermination	Litières tropicales				Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Gmelina	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
C %	55,4	56,9	51,5	55,1	62,3	59,2	58,7	55,7
N %	2,45	1,50	1,12	1,44	1,75	0,80	1,90	1,50
C/N	23	38	46	38	36	74	31	37,1

Résultats en pour cent de litière sèche à 105 °C.

TABLEAU 2
Caractérisation des horizons minéraux

Analyse des horizons A ₁	pH eau 1/2,5	C	N	C/N	N _m	S	T	S/T	Granulométrie %		
									Argile	Limon	Sables
sous <i>Acacia albida</i>	6,7	7,7	0,86	8,9	11,6	41,3	42,3	92,9	4,7	1,1	92,7
sous <i>Andropogon gayanus</i>	6,2	4,0	0,40	10,0	5,4	18,8	22,9	83	3,1	1,3	94,9

Les résultats sont exprimés par rapport à la terre séchée à 105 °C :

- C et N : en pour mille.
- N_m : N minéral (N-NH₃ + N-NO₃) en ppm.
- S et T : en milliéquivalents par kg.
- Argile, limon et sables en pour cent.

4. CARACTÉRISTIQUES D'UN SOL FERRUGINEUX TROPICAL PEU LESSIVÉ (Dior) SOUS ACACIA ALBIDA (Légumineuse) ET SOUS ANDROPOGON GAYANUS (Graminée).

Le tableau 2 rapporte les caractéristiques physico-chimiques essentielles de l'horizon A₁ (0-8 cm) de ce sol.

II. TECHNIQUES D'EXTRACTION ET MÉTHODES D'ÉTUDE DES SUBSTANCES HYDROSOLUBLES

1. EXTRACTION.

— *Matériel végétal*: les substances hydrosolubles sont extraites à partir d'un poids déterminé de feuilles non broyées, séchées à l'air, par percolation (durée 6 h) après 12 h de macération à la température du laboratoire, en opérant de telle sorte que le rapport: poids de litière / volume de percolat soit égal à 1/10.

— *Horizons minéraux*: les horizons minéraux, tamisés à 2 mm, ont subi le même traitement mais le rapport *p/v* adopté dans ce cas est égal à 3/10.

2. ISOLEMENT DES SUBSTANCES HYDROSOLUBLES EN VUE DE LEUR ANALYSE CHROMATOGRAPHIQUE.

L'extrait aqueux obtenu après percolation est divisé en 5 fractions destinées soit au dosage du carbone organique, de l'azote total et des sucres réducteurs, soit à l'isolement des acides aliphatiques, phénols et aminés.

2.a. Acides aliphatiques.

Dans ce cas, le volume de percolat utilisé doit contenir environ 2 à 4 méq. d'acide; il est passé successivement sur résine échangeuse forte de cations (Amberlite IR 120) puis sur résine échangeuse forte d'anions (Dowex 1 × 8 50 à 100 mesh); cette dernière est ensuite éluée par du carbonate d'ammonium M, qui est lui-même éliminé de l'extrait obtenu par évaporation sous vide à une température inférieure à 40 °C.

2.b. Composés phénoliques.

La fraction destinée à l'étude des composés phénoliques est concentrée par évaporation sous vide, acidifiée à pH 1 par HCl 2 N, conservée une nuit à + 4 °C (précipitation des composés polymérisés), puis centrifugée; les acides phénols et les phénols sont alors extraits par l'acétate d'éthyle ou l'éther éthylique (BRUCKERT et al, 1967).

2.c. Acides aminés.

Les acides aminés du percolat sont fixés sur résine échangeuse forte de cations (Dowex 50 × 8 100-200 mesh) puis élués par NH₄OH 2 N; l'ammoniaque est ensuite évaporé sous vide à basse température. (40 °C).

3. IDENTIFICATION CHROMATOGRAPHIQUE.

Un certain nombre de composés, purifiés selon les techniques décrites ci-dessus, ont pu être identifiés par chromatographie sur papier; cette identification repose sur plusieurs critères: la détermination des R_F obtenus avec plusieurs systèmes de solvants et leur comparaison avec les R_F de témoins — l'utilisation de témoins internes et de réactifs colorés spécifiques.

3.a. *Acides aliphatiques.*

Leur séparation chromatographique est obtenue sur papier Whatman n° 1 par développement généralement ascendant à l'aide des solvants suivants :

- a) butanol - acide acétique - eau : 4/1/2.2 (v/v);
- b) éthylméthylcétone - acétone - eau - acide formique : 80/4/12/2 (v/v);
- c) alcool éthylique - eau - ammoniacque : 16/3/1 (v/v);
- d) isopropanol - ammoniacque - eau : 70/5/255 (v/v);

Les solvants a et c sont couramment employés en chromatographie bidimensionnelle (CARLES *et al.*, 1958).

Sur les chromatogrammes les composés acides sont révélés par l'un des réactifs suivants :

— indicateur de pH : vert de bromocrésol ou bleu de bromophénol à 0,2 g / 100 ml d'éthanol amenés à leur teinte de virage par NaOH N/10, les acides apparaissent en jaune sur fond bleu-vert ou violet;

— solution de p-anisidine glucose : dissoudre séparément 2 g de glucose dans 15 ml d'eau et 1 g de p-anisidine dans 10 ml de méthanol, mélanger et compléter à 100 avec du butanol; ce réactif est pulvérisé sur le chromatogramme, lequel est porté à l'étuve pendant 7 à 10 minutes entre 115° et 120°C. Les acides apparaissent en brun foncé sur fond clair; comparé à l'aniline glucose ce réactif donne de meilleurs résultats.

— solution de ferrocyanure (CARLES *et al.*, 1958).

3.b. *Acides phénols.*

Les acides phénols sont séparés par chromatographie sur papier Whatman n° 1 à l'aide des solvants suivants :

- a) solution aqueuse d'acide acétique à 2 %;
- b) benzène - acide acétique - eau : 6/7/3 (v/v);
- c) butanol - acide acétique - eau : 4/1/2.2 (v/v);
- d) formiate de sodium - acide formique - eau : 10 g / 1 ml / 200 ml;

Les chromatogrammes examinés en lumière de Wood — la fluorescence est notée avec ou sans NH_3 — sont ensuite révélés, soit par une solution de p-nitraniline diazotée, soit par une solution aqueuse de chlorure ferrique à 6 % (JACQUIN, 1963).

3.c. *Acides aminés.*

Les acides aminés ont été identifiés sur papier Whatman 3 MM puis séparés à l'aide des systèmes de développements suivants :

- a) butanol secondaire - acide formique - eau : 7/1/2 (v/v);
- b) méthyléthylcétone - pyridine - eau : 70/15/15 (v/v);
- c) n-butanol - acide acétique - eau : 4/1/5 (v/v);
- d) mélange d'une solution aqueuse d'acide acétique à 40 % et de n-butanol dans

les proportions suivantes :

1 ^{er}	solvant :	30 %	de solution acétique dans le n-butanol
2 ^e	»	: 35 %	» » »
3 ^e	»	: 37,5 %	» » »
4 ^e	»	: 40 %	» » »

Dans ce dernier cas, les 4 solvants sont utilisés successivement pour un même chromatogramme.

Les solvants *a* et *b* sont utilisés surtout en chromatographie bidimensionnelle (LOISELEUR, 1963).

Les chromatogrammes sont ensuite révélés :

— soit par une solution de ninhydrine à 0,5 % dans le *n*-butanol saturé d'eau et contenant 7 % d'acide acétique.

— soit par un mélange ninhydrine - acétate de cadmium, préparé comme suit :

- dissoudre respectivement 6,7 g d'acétate de cadmium dans 1 litre d'une solution aqueuse d'acide acétique à 50 % et 8,7 g de ninhydrine dans 850 ml d'acétone ;

- ajouter à la solution de ninhydrine 130 ml de solution d'acétate de cadmium, compléter à 1000 avec de l'acétone et placer le mélange une nuit à + 4 °C avant son utilisation.

Après pulvérisation, les acides aminés apparaissent généralement en rouge vif sur fond blanc (la proline prend une teinte jaune).

4. MÉTHODES DE DOSAGE DES COMPOSÉS IDENTIFIÉS :

4.a. Dosage densitométrique

On réalise une chromatographie unidimensionnelle permettant d'isoler correctement les divers composés identifiés ; chaque chromatogramme doit contenir des témoins à des concentrations choisies de telle sorte qu'elles encadrent celles des substances à doser. Après leur révélation la densité optique des taches est mesurée (source lumineuse : visible ou UV) à l'aide d'un densitomètre enregistreur Photovolt Corporation selon la technique de METCHE *et al.* (1962).

Cette méthode a permis la détermination quantitative de 7 acides aliphatiques, 9 acides phénols et 17 acides aminés.

4.b. Dosage titrimétrique

Ce dosage appliqué aux acides aliphatiques, s'effectue après une chromatographie de partage sur colonne de gel de silice.

L'échantillon à doser, amené à sec puis acidifié, est introduit au sommet de la colonne, en mélange avec une petite quantité de silice. L'élution des acides est réalisée par 6 solvants (butanol tertiaire - chloroforme) dont la concentration en butanol croît de 8 à 40 %. L'élution est accélérée par application d'une pression de 0.2 à 0.3 kg au sommet de la colonne. L'éluat sortant de la colonne est recueilli par fractions de 4 ml à l'aide d'un collecteur Gilson ; chacune d'elles est ensuite titrée par NaOH N/100 en présence de rouge de phénol ce qui permet de dresser les courbes d'élution et par suite, de calculer les concentrations des acides obtenus.

Remarque. — Cette technique, couramment employée au C.N.R.A. par JOLIVET (1963), a été améliorée par utilisation d'un gradient d'élution linéaire en disposant au-dessus de la colonne deux récipients parallèles contenant chacun 700 ml de solvant ; le plus concentré (40 % de butanol tertiaire) s'écoule par l'intermédiaire d'un capillaire dans le moins concentré (5 % de butanol tertiaire) et le mélange ainsi obtenu parvient au sommet de la colonne de gel de silice.

4.c. Dosage des sucres réducteurs, du carbone organique et de l'azote total hydrosolubles.

- les sucres réducteurs sont dosés par la méthode à l'anthrone (HELBERT-BROWN, 1957) ;
- le carbone organique et l'azote total sont respectivement déterminés à l'aide du Carmographe « Wösthoff » et par la méthode Kjeldahl.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. COMPOSITION DES LITIÈRES.

1a) *Carbone organique et azote total hydrosolubles* (tableau 3).

Les teneurs en C et N hydrosolubles sont caractérisées par une très grande variation liée à l'espèce végétale. Si nous examinons par exemple les litières tempérées nous observons une opposition très nette entre le C/N de la fétuque (8,3) et celui de la callune (89,3).

TABLEAU 3

Carbone organique et azote total hydrosolubles des litières

Détermination	Litières tropicales			Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
C hydrosoluble	43,4	21,0	24,4	13,6	28,6	2,9	9,1
N hydrosoluble	1,70	1,05	0,62	0,12	0,32	0,24	1,09
C/N	25,5	20,0	39,3	113	89,3	12,0	8,3

Résultats exprimés en pour mille du poids des litières sèches à 105 °C.

Pour une espèce végétale donnée, la teneur en carbone et azote hydrosolubles ainsi que la teneur en acides organiques, varie très vite et de façon considérable selon le degré d'évolution des litières après leur retour au sol (BRUCKERT et JACQUIN, 1966 — DUCHAUFOR *et al.*, 1968).

Parmi les facteurs modifiant rapidement la composition des litières fraîchement tombées, il faut évidemment retenir l'activité biologique du milieu, mais aussi les conditions atmosphériques de l'époque de prélèvement; nous avons ainsi observé que des litières de hêtre récoltées deux années de suite *au début de la chute des feuilles, mais sous des conditions météorologiques différentes* — l'une sèche, l'autre humide — présentent de grandes variations de composition. Une remarque identique a pu être faite concernant une litière tropicale (*Tectona grandis*).

Ces observations permettent donc d'attirer l'attention sur l'importance des conditions d'échantillonnage du matériel végétal; rappelons que nous avons prélevé les feuilles étudiées dans un état physiologique sensiblement identique, au début de leur chute.

1b) *Acides aliphatiques hydrosolubles* (tableau 4).

Au total, les litières tropicales étudiées comparées à quelques litières tempérées libèrent 2 à 22 fois plus de composés aliphatiques hydrosolubles : 10 000 à 22 000 p.p.m. contre 1 000 à 4 500 p.p.m., soit 10 à 22 ‰ contre 1 à 4,5 ‰.

TABLEAU 4

Teneur en acides aliphatiques hydrosolubles des litières

ACIDES	Litières tropicales				Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Gmelina	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
lactique	tr.	852	2261	2639	0	0	252	391
succinique	266	376	1956	3212	tr.	133	457	776
malique	5226	tr.	6913	710	101	411	655	1311
citrique	4016	501	6174	5184	404	1810	320	803
quinique	990	8085	4919	589	333	1827	148	1170
glucuronique	tr.	0	0	0	tr.	0	325	27
oxalique	137	0	0	146	154	340	62	89
TOTAL (ppm)	10635	9814	22223	12480	992	4521	2219	4567
C des acides (ppm)	5225	5620	11516	6456	484	2324	1113	2371
$\frac{C \text{ des acides}}{C \text{ tot. hydro}} \%$	12,0	26,7	47,2	—	3,6	8,1	38,3	26,0

Résultats exprimés en ppm de litière sèche à 105 °C.

— C tot. hydro. = carbone organique total hydrosoluble.

— tr. = traces.

Si nous examinons maintenant la teneur des divers acides, nous observons, aussi bien dans les litières tropicales que dans les litières tempérées, l'abondance de l'acide malique, citrique ou quinique.

1c) *Acides phénols hydrosolubles* (tableau 5).

D'une façon générale et abstraction faite des rameaux de callune, la teneur globale en acides phénols semble plus élevée dans les litières tropicales (124 ppm à 448 ppm) que dans les litières tempérées (39 p.p.m. à 190 p.p.m.). Parmi les litières des régions tempérées, la callune fournit des quantités très importantes d'acides phénols (489 ppm) et de composés phénoliques, ce qui est en accord avec la grande richesse en phénols des Ericacées.

Parmi les acides phénols isolés, les acides vanillique, p-coumarique et p-hydroxybenzoïque sont toujours présents; mais nous relevons aussi l'abondance d'autres composés tels les acides gentisique ou chlorogénique.

TABLEAU 5

Teneur en acides phénols hydrosolubles des litières

ACIDES	Litières tropicales				Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Gmelina	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
férulique	1,5	1,1	1,5	0	20	3,1	5,9	0,2
vanillique	8,8	2,2	65,2	29,0	30	35,3	11,1	25,2
p-coumarique	55,0	67,7	134,8	56,5	20	57,6	14,8	3,7
p-hydroxybenzoïque	8,8	5,2	130,4	69,1	25	7,5	15,8	5,2
gentisique	5,8	9,8	4,1	0,6	8	49,1	2,2	0,4
caféique	tr.	2,2	19,6	2,3	25	127,0	1,4	2,9
protocatéchique	0	33,8	84,8	14,0	15	19,0	14,8	0
chlorogénique	44,0	3,7	7,5	4,0	22	162,0	3,0	1,7
gallique	0	45,0	0	0	23	28,7	0	0
TOTAL (ppm)	123,9	170,7	447,9	175,5	188	489,3	69,0	39,3
C des acides (ppm)	93	129	357	142	128	315	53	30
$\frac{\text{C des acides}}{\text{C tot. hydro.}} \%$	0,25	0,61	1,46	—	0,94	0,86	1,82	0,32

Résultats exprimés en ppm de litière sèche à 105 °C.

— C tot. hydro. = carbone organique total hydrosoluble.

— tr. = traces.

1d) Acides aminés hydrosolubles (tableau 6).

Parmi les acides aminés, 17 composés ont pu être identifiés. Au total, leur teneur, très variable suivant l'espèce végétale, oscille entre 90 ppm (pin) et 3 305 ppm (fétuque).

Les litières tropicales étudiées sont toutes riches en acides aminés hydrosolubles (1 791 ppm à 2 938 ppm); le taux d'azote aminé hydrosoluble (N aminé / N total hydrosoluble \times 100) de l'*Acacia* est relativement faible (19.1 %) comparé à ceux du *Guiera* (38.3 %) et du *Khaya* (52.7 %).

Les litières tempérées renferment des teneurs très variables en acides-aminés, tant en valeur absolue (90 ppm à 3 305 ppm) qu'en valeur relative (12.5 % à 53.7 %).

TABLEAU 6

Teneur en acides aminés hydrosolubles des litières

ACIDES	Litières tropicales			Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
tryptophane	tr.	112	279	0	tr.	0	70
valine	168	580	343	tr.	86	102	250
leucine + isoleucine	41	467	356	2,2	86	249	349
thréonine	148	205	87	tr.	43	44	285
phényl-alanine	5,7	189	43	tr.	50	4,3	57
tyrosine	tr.	166	85	tr.	66	5,8	83
alanine	209	96	156	14,8	137	95	179
lysine	129	114	65	11,5	50	12,9	262
histidine	67	84	83	10,4	38	11,9	92
ac. glutamique	228	33	220	26,4	266	214	203
*asparagine + arginine	35	451	174	22,0	173	43,6	428
**ac. aspartique + sérine + glycine	418	142	354	3,3	277	197	590
proline	342	300	200	0	0	88	457
TOTAL (ppm)	1791	2938	2445	90	1272	1067	3305
N aminé (ppm)	326	403	327	15	185	129	475
$\frac{\text{N aminé}}{\text{N tot. hydro.}} \%$	19,1	38,3	52,7	12,5	57,8	53,7	43,5

Résultats exprimés en ppm de litière sèche à 105 °C.

* Teneur en asparagine 2 à 3 fois supérieure au taux d'arginine.

** Proportions sensiblement égales.

N tot. hydro. = azote total hydrosoluble.

tr. = traces.

On remarque surtout que les litières acidifiantes (mor) libèrent beaucoup moins d'acides aminés que les litières améliorantes (mull) : 3 à 11 fois moins; cette différence apparaît nettement, par comparaison du pin et du hêtre d'une part, de la callune et de la fétuque d'autre part. On note en particulier, de grandes différences de concentration en proline, valine et leucine.

1e) Sucres réducteurs hydrosolubles (tableau 7).

Le taux des sucres réducteurs hydrosolubles, exprimé en glucose, varie selon la litière de 2 000 ppm (hêtre) à 30 000 ppm (callune) ; on observe des variations aussi importantes dans les litières tropicales que dans les litières tempérées.

TABLEAU 7

Teneur en sucres réducteurs hydrosolubles des litières

SUCRES	Litières tropicales			Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
Sucres réducteurs totaux (ppm)	22000	4290	15654	8784	30595	1907	7923
C des sucres (ppm)	8778	1711	6245	3805	12207	760	3161
$\frac{\text{C des sucres}}{\text{C tot. hydro.}} \%$	20,2	8,1	25,6	25,8	42,6	26,2	34,7

Résultats exprimés en ppm de glucose par rapport à la litière sèche à 105 °C.

— C tot. hydro. = carbone organique total hydrosoluble.

Parmi ces dernières, les rameaux de callune sont exceptionnellement riches en sucres et, tout comme les aiguilles de pin, ils contrastent avec les feuilles de fétuque et de hêtre; il semble que l'on puisse encore opposer le matériel végétal des sols à mor et des sols à mull.

Ces résultats semblent rejoindre ceux de GUPTA et SOWDEN (1963) et de ROBERT (1964) qui signalent une teneur très forte en sucres libres dans les horizons humifères des podzols.

Le tableau 8, qui récapitule les résultats relatifs aux teneurs globales des litières en substances hydrosolubles, suggère les remarques suivantes :

— les litières tropicales, comparées aux litières tempérées, sont en général plus riches en substances hydrosolubles;

— parmi les *litières tropicales*, celle d'*Acacia albida* se distingue par la plus faible teneur relative en azote aminé ($N \text{ aminé} \times 100 / N \text{ total hydrosoluble}$: 19 %);

— parmi les *litières tempérées*, nous notons l'opposition constante entre litières de mor et litières de mull, opposition qui se manifeste entre litières de la strate herbacée (callune-fétuque) et entre litières de la strate arborescente (pin-hêtre) :

● le carbone des acides aliphatiques, rapporté au carbone total hydrosoluble ($C \text{ des acides} \times 100 / C \text{ total hydrosoluble}$) est faible dans les litières du mor (4 à 8), élevé dans les litières du mull (26 à 38); ce résultat est d'autant plus remarquable que la callune est aussi riche que la fétuque en acides aliphatiques ($C \text{ des acides} = 2\,300 \text{ ppm}$); il permet, semble-t-il, de séparer de façon significative, les litières du mor et du mull.

● la callune, comparée à la fétuque, libère davantage d'acides phénols et de sucres, mais elle fournit par contre 3 fois moins d'azote aminé hydrosoluble; le pourcentage d'azote aminé, rapporté à l'azote total hydrosoluble, est cependant plus élevé dans la callune que dans la fétuque (58 % contre 44 %).

TABLEAU 8

Tableau récapitulatif de la teneur en substances hydrosolubles des litières, rapportée soit au carbone soit à l'azote total hydrosoluble

SUBSTANCES HYDROSOLUBLES	Litières tropicales			Litières tempérées			
	Acacia	Guiera	Khaya	Pinus	Calluna	Fagus	Festuca
<i>Acides aliphatiques</i>							
C des acides (ppm)	5225	5620	11516	484	2324	1113	2371
$\frac{C \text{ des acides}}{C \text{ tot. hydro.}} \%$	12	27	47	4	8	38	26
<i>Acides phénols</i>							
C des acides (ppm)	93	129	357	128	315	53	30
$\frac{C \text{ des acides}}{C \text{ tot. hydro.}} \%$	0,3	0,6	1,5	0,9	1,1	1,8	0,3
<i>Sucres réducteurs</i>							
C des sucres (ppm)	8778	1711	6245	3805	12207	760	3161
$\frac{C \text{ des sucres}}{C \text{ tot. hydro.}} \%$	20	8	26	26	43	26	35
<i>Acides aminés</i>							
N aminé (ppm)	326	403	327	15	185	129	475
$\frac{N \text{ aminé}}{N \text{ tot. hydro.}} \%$	19	38	53	13	58	54	44

Résultats exprimés en ppm de litière sèche à 105 °C.

2. INFLUENCE D'ACACIA ALBIDA SUR LA TENEUR D'UN SOL FERRUGINEUX TROPICAL PEU LESSIVÉ (Dior) EN SUBSTANCES HYDROSOLUBLES.

L'étude de l'influence de la litière d'*Acacia albida* « in situ » est fondée sur la comparaison entre les propriétés du sol sous cette espèce et sous jachère herbacée à dominance d'*Andropogon gayanus* (témoin).

Dans un travail antérieur (JUNG, 1966 et 1967), il a été démontré que le sol sous *Acacia albida*, comparé au sol témoin, est environ deux fois plus riche en azote total (0.86 ‰), en azote minéral (11.6 ppm) et en carbone organique (7.7 ‰).

TABLEAU 9

Influence d'Acacia albida sur la teneur d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior) en substances hydrosolubles

SUBSTANCES HYDROSOLUBLES	Horizon A ₁	
	sous <i>Acacia albida</i>	sous <i>Andropogon gayanus</i> (témoin)
– Acidité titrable des extraits aqueux (még. pour 100 g t.s. 105°C)	0,55	0,19
– Acides aliphatiques (ppm) =		
– lactique	7,7	4,9
– oxalique	15,4	3,0
– Acides phénols (ppm) =		
– férulique	0,13	0,06
– vanillique	0,39	0,18
– p-coumarique	0,91	0,12
– p-hydroxybenzoïque	1,30	0,18
– Sucres réducteurs (ppm glucose)	232	151

Résultats exprimés par rapport à la terre sèche à 105 °C.

Les résultats obtenus ici précisent la nature des composés hydrosolubles présents dans le sol après la retombée annuelle des feuilles (tableau 9).

Le prélèvement des horizons superficiels A₁ (0-8 cm) a été effectué après la saison des pluies (novembre) alors que toutes les feuilles d'*Acacia albida* étaient déjà tombées depuis environ 3 mois.

L'examen du tableau 9 révèle un enrichissement général en substances hydrosolubles de l'horizon soumis à l'influence d'*Acacia albida*.

Acides aliphatiques : la quantité d'acides aliphatiques hydrosolubles présents dans l'horizon minéral sous *Acacia* est de 2 à 3 fois supérieure à celle du même horizon situé dans la zone témoin. D'autre part, les extraits aqueux contiennent principalement les acides oxalique et lactique; des composés tels les acides malique et citrique, ne sont pas mis en évidence, ce qui s'explique par leur dégradation rapide intervenant dans des sols biologiquement très actifs en saison des pluies.

Acides phénols : les extraits aqueux des horizons étudiés contiennent les acides phénols habituellement déterminés dans les percolats des sols des régions tempérées (BRUCKERT et JACQUIN, 1966; BRUCKERT *et al.*, 1967). L'horizon A₁ recevant annuellement les débris végétaux d'*Acacia* est de 2 à 7 fois plus riche en acides phénols.

Sucres réducteurs : ces substances, tout comme les acides étudiés précédemment, sont favorablement influencées par la présence du couvert végétal.

CONCLUSION

L'étude des substances hydrosolubles révèle des différences de composition très significatives, d'une part, entre litières d'origine tropicale ou tempérée, d'autre part, entre horizons A₁ formés sous *Acacia albida* ou sous *Andropogon gayanus*.

Litières :

Les litières tropicales étudiées sont d'une façon générale plus riches que les litières tempérées en acides aliphatiques, phénols, aminés et en sucres réducteurs. Cette forte concentration des litières tropicales en composés, dont on connaît le pouvoir complexant élevé vis-à-vis d'éléments tels que le fer ou l'aluminium, explique en partie, pourquoi la végétation tropicale exerce sur la pédogénèse une action beaucoup plus puissante que la végétation tempérée.

Si, parmi les litières tropicales on remarque quelques différences de composition, richesse des feuilles de *Khaya* par exemple, c'est malgré tout parmi les litières tempérées, que ces différences restent beaucoup plus tranchées.

L'opposition « feuillus-résineux » maintenant bien établie (LOSSAINT, 1959;

BRUCKERT et JACQUIN, 1966), est encore mise en évidence ici entre le hêtre et le pin sylvestre. Nous pouvons l'étendre, semble-t-il, aux débris de la strate herbacée — rameaux de callune et feuilles de fétuque — et parler d'une véritable opposition entre litières du mor et litières du mull.

La callune, en effet, aussi riche en acides aliphatiques que la fétuque (carbone des acides = 2 300 ppm) se classe avec les pseudophylles de pin, quand ces composés sont rapportés au carbone total hydrosoluble (8 %).

La callune, comparée à la fétuque, fournit des extraits aqueux 10 fois plus riches en acides phénols, ce qui augmente en sa faveur le taux acides phénols / acides aliphatiques.

Horizons A₁.

Les résultats mettent en évidence l'influence du type de litière — *Acacia albida*, *Andropogon gayanus* — sur la teneur en substances hydrosolubles de l'horizon A₁ d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé. L'apport supplémentaire des feuilles d'*Acacia*, entraîne un enrichissement très marqué en tous composés hydrosolubles. Ce fait justifie au moins partiellement l'influence favorable de l'*Acacia* sur l'activité biologique des sols, mise en évidence par JUNG (1966 et 1967), et sur les rendements des cultures, signalés par CHARREAU et VIDAL (1965).

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE A., 1949. — Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. d'Éditions géographiques, maritimes et coloniales.
- BONFILS P. et FAURE J., 1955. — Étude comparative des sols du C.R.A. de Bambey. *Ann. C.R.A. Bambey*, Sénégal, 15, 5-24.
- BRUCKERT S. et JACQUIN F., 1966. — Relation entre l'évolution des acides hydrosolubles de deux litières forestières et les processus pédogénétiques. *Bull. ENSAN*, 8 (2), 95-112.
- BRUCKERT S., JACQUIN F. et METCHE M., 1967. — Contribution à l'étude des acides phénols présents dans les sols. *Bull. ENSAN*, 9 (2), 73-92.
- CARLES (J.), SCHNEIDER (A.), et LACOSTE (A.M.), 1958. — Contribution à l'étude chromatographique des principaux acides organiques. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 11 (1), 221-232.
- CHARREAU C. et VIDAL P., 1965. — Influence de l'*Acacia albida* Del. sur le sol. Nutrition minérale et rendements des mils Pennisetum au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale*, 600-625.
- DUCHAUFOUR P., VEDY C. et BRUCKERT S., 1968. — Contribution à l'étude expérimentale *in situ* de l'évolution chimique et de l'altération d'un grès et d'un granite vosgien sous l'influence de deux types de litières. *Bull. A.F.E.S.*, 1, 5-18.

- GUPTA U.C., et SOWDEN F.J., 1963. — Occurrence of free sugar in soil organic matter. *Soil Science*, **96**, 217-218.
- HELBERT J.R., et BROWN K.D., 1957. — Color reaction of anthrone with mono-saccharide mixtures and oligo and polysaccharides containing hexuronic acids. *Anal. Chem.*, **29**, 1464-1466.
- JACQUIN F., 1963. — Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. *Bull. ENSAN*, **5** (1), 156 p.
- JACQUIN F., et BRUCKERT S., 1965. — Identification et évolution des acides hydrosolubles de deux litières forestières. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, **260**, 4556-4559.
- JOLIVET E., 1963. — Action de la « rindite » sur l'évolution des acides organiques dans diverses parties du tubercule de pomme de terre. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, **257**, 747-750.
- JUNG G., 1966 et 1967. — Influence de l'*Acacia albida* sur la biologie des sols DIOR. Rapport ORSTOM.
- LOISELEUR J., 1963. — Technique de laboratoire. I. Chimie physique, chimie biologique. Masson, Paris, 740 p.
- LOSSAINT P., 1959. — Etude expérimentale de la mobilisation du fer dans les sols sous l'influence des litières. *Ann. Agron.*, **4**, 369-414 et **5**, 493-542.
- MAIGNIEN R., 1965. — Carte pédologique du Sénégal au 1/1 000 000. ORSTOM, 1965.
- METCHE M., JACQUIN F., NGUYEN O.H. et URION E., 1962. — Détermination quantitative d'acides phénols par chromatographie sur papier. *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1763-1765.
- MUIR J.C., MORISSON R.I., BOWN C.J. et LOGAN J., 1964. — The mobilisation of iron by aqueous extracts of plants. I. Composition of the amino-acid and organic-acid fractions of an aqueous extract of pine needles. II. Capacities of the amino-acid and organic acid fractions of a pine needle extract to maintain iron in solution. *J. of Soil Sci.*, **15** (2), 220-237.
- NYKVIST N., 1963. — Leaching and decomposition of water-soluble organic substances from different types of leaf and needle litter. *Studia Forestalia Suecica*, **3**, Skogsbiblioteket Stockholm.
- RAPP M., 1967. — Etude expérimentale de la libération d'éléments minéraux lors de la décomposition de litières d'essences méditerranéennes. *C.R. Ac. Sc.*, Paris, t. **264**, 797-800.
- ROBERT M., 1964. — Etude biologique des sols au cours de l'épreuve d'incubation. II. Glucides libres. *Ann. Inst. Pasteur*, **106**, 801-806.