

CARENCE EN POTASSIUM ET EN PHOSPHORE chez *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus sp.*, *Acacia auriculiformis* et *Tectona grandis* au Sud-Bénin (Afrique occidentale)

par Wolfgang ZECH et Martin KAUPENJOHANN
Pédologues à l'Université de Bayreuth (Allemagne)

SUMMARY

POTASSIUM AND PHOSPHORUS DEFICIENCIES OF *CASUARINA EQUISETIFOLIA*, *EUCALYPTUS SP.*, *ACACIA AURICULIFORMIS* AND *TECTONA GRANDIS* IN SOUTH BENIN (WEST AFRICA)

On sandy soils in South Benin, fast growing tree species suitable for fire wood production, like *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus torrelliana* and *Acacia auriculiformis* often show deficiency symptoms. When the tips and margins of old leaves are getting yellow and necrotic it is due to a potassium deficiency. In affected trees the following foliar K-levels were analysed: 0.20 % (*Casuarina equisetifolia*), 0.30 % (*Eucalyptus camaldulensis*), 0.25 % (*Eucalyptus torrelliana*). Also naturally occurring *Lophira lanceolata* is chlorotic (0.38 % foliar K) as well as most of the oil palms.

Besides K- also P-levels are low. In P-deficient trees with yellow and purple tinged leaves 0.06-0.07 % foliar P (*E. camaldulensis* and *E. torrelliana*) were analysed. These K- and P-deficiencies are due to the poverty of the soils, which have derived from poor, medium to coarse textured coastal sands. On sites with high water table deficiency symptoms are most pronounced and trees even die, because available K- and P-stockages are very low due to the reduced soil volume. On these shallow soils also water stress during the dry periods is possible.

Tectona grandis (Teak) was studied on vertisols with high pH and high base saturation and on red acid ferralitic soils. Usually in the leaves of the upper part of the crown K is very low on acid soils (0.17-0.44 %). Even dieback occurs, accompanied by chlorosis and necrosis of the leaf margins and intercostal spaces. It is not sure that root decay due to water logging is responsible for this frequent decline, because soils of affected stands not always show hydromorphic features, but foliar P besides foliar K usually are very low (0.09-0.10 % P; 0.17-0.26 K). On vertisols, with high pH and rich in nutrients, periodically flooding does not induce deficiency symptoms and decline of Teak, but obviously their vitality is also reduced. Where external drainage is good, annual increments are $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and foliar analysis confirms medium to high nutrient levels, e.g. 0.17 % P, 0.66 % K, 2.31 % Ca, 0.27 % Mg, 8 ppm Cu and 25 ppm Zn. Always Mn-levels remain low (25 ppm) due to high pH-values.

RESUMEN

CARENCIAS DE POTASIO Y DE FOSFORO DE *CASUARINA EQUISETIFOLIA*, *EUCALYPTUS SP.*, *ACACIA AURICULIFORMIS* Y *TECTONA GRANDIS* EN EL SUR DEL BENIN (AFRICA OCCIDENTAL)

En los suelos arenosos del Sur del Benin, las especies madereras de crecimiento rápido, adecuadas para la producción de leña (como, por ejemplo *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus torrelliana* y *Acacia auriculiformis*) dan frecuentemente muestras de carencia mineral.

Los síntomas típicos de deficiencias en cuanto a potasio se manifiestan por la decoloración amarilla y la necrosis del extremo y de la periferia de las hojas más antiguas en la parte inferior de la copa. El análisis foliar de los árboles que sufren de carencias minerales acusa un coeficiente de un 0,20 % en el caso de *Casuarina equisetifolia*, de un 0,30 % en el *Eucalyptus camaldulensis*, de un 0,25 % para el *Eucalyptus torrelliana*, del mismo modo que para la especie local *Lophira lanceolata*, que presenta una clorosis (0,38 % de potasio), como también ocurre con todas las palmeras productoras de aceite.

Así como ocurre con el potasio, los niveles de fósforo son también reducidos. Las hojas que toman un tono amarillento y purpúreo de los árboles que acusan deficiencias de fósforo, se han analizado. Los coeficientes son de un 0,06 % y de un 0,07 % para *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus torrelliana*. Tales carencias en K y P se deben a la pobreza de los suelos derivados de arenas costeras mediocres, de textura media o basta.

En los emplazamientos que presentan una hidromorfía elevada, los síntomas de carencia son más acusados y los árboles llegan incluso a perecer, puesto que las reservas disponibles en cuanto a K y P son aún más reducidas, debido al volumen más reducido en los suelos. En estos suelos superficiales, parece normal que se produzcan estrés hídricos durante los periodos áridos.

Tectona grandis (Teca) se ha estudiado en vertisuelos con un pH elevado y una saturación básica también elevada, en suelos rojos ácidos y ferralíticos. Sucede, con gran frecuencia, que el nivel de K es sumamente reducido en las hojas de la parte superior de la copa, en

los suelos ácidos (0,17-0,44 %). Los fenómenos de depauperación pueden también presentarse, acompañados de clorosis y de necrosis de las margenes foliares, así como de los espacios intermedios.

No es cierto que la podredumbre de las raíces originada por un exceso de agua sea el factor responsable de este debilitamiento frecuente, ya que, incluso si los suelos de las zonas forestales atacadas no siempre muestran características de atascamiento hidromórfico, los niveles de P y de K son no obstante, muy poco elevados frecuentemente (0,09-0,10 % de P ; 0,17-0,26 % de K). En los vertisuelos, y con un pH elevado y una gran riqueza nutritiva, las inundaciones periódicas no acarrearán síntomas de carencia y de debilitamiento de la especie Teca, pero su vitalidad parece reducida de forma evidente. Allí donde el drenaje externo es conveniente, los incrementos anuales de $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y los análisis foliares vienen a confirmar los elevados o medios valores nutritivos (por ejemplo, 0,17 % P ; 0,66 % K ; 2,31 % Ca ; 0,27 % Mg, 8 ppm Cu y 25 ppm Zn). Los niveles de Mn siguen presentando, no obstante, un nivel siempre bajo (25 ppm) debido a los valores elevados del pH.

Dans la majeure partie de l'Afrique occidentale, la forêt primitive est détruite ou, du moins, très endommagée (FAO/UNEP, 1981 ; MYERS, 1980). Sans la mise en place de plantations ligneuses à croissance rapide, un cruel déficit en bois d'œuvre et en bois de feu se fera sentir, en particulier dans les zones à forte population et autour des centres urbains.

Les essences utilisées pour le boisement sont plus ou moins bien adaptées aux sols et aux conditions du site, entraînant des perturbations de leur nutrition minérale, une

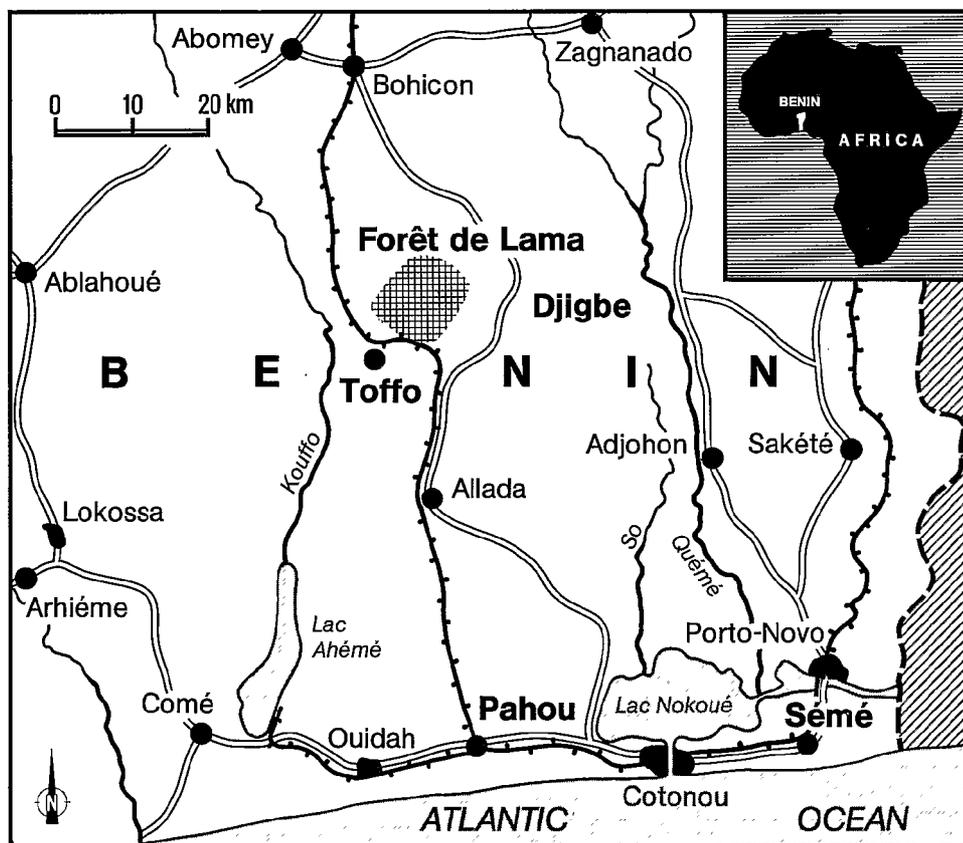
diminution de la productivité et une faible rentabilité (ZECH, 1984a, 1984b).

Cet article donne des informations sur les carences en potassium et en phosphore des plantations de *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus sp.*, *Acacia auriculiformis* et *Tectona grandis* du Sud-Bénin. Des plantations de bois de feu y ont été réalisées avec le financement de la Banque Africaine pour le Développement. Nos études ont pour but d'améliorer les connaissances sur la qualité du site, les relations arbre-sol, ainsi que sur le bien-fondé de la sélection des essences.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La carte ci-dessous présente les données concernant les zones du projet à Sémé, Pahou, Djigbe et en forêt de la Lama.

Les précipitations annuelles moyennes sont de 1 470 mm à Sémé, 944 mm à Pahou et de 1 118 mm dans la forêt de la Lama. Les mois les plus secs sont décembre



Situation des parcelles expérimentales à Sémé, Pahou, Djigbe et dans la forêt de la Lama (Sud-Bénin).

et janvier (26-36 mm), ainsi que août (17-56 mm). Les précipitations mensuelles moyennes les plus importantes ont été relevées en juin (Sémé 410 mm, Pahou 297 mm, Forêt de la Lama 200 mm) et en octobre. La température annuelle moyenne est d'environ 27 °C (20 °C et 34 °C étant les températures extrêmes) ; l'humidité relative de l'air est élevée : 80 % (IRHO, 1972).

D'après la nomenclature française des sols, les sols de Sémé sont classés en « sols peu évolués » (VOLKOFF et WILLAIME, 1976). D'après la nomenclature américaine, ils peuvent être qualifiés de « Typic Orthopsamments », « Aqueptic Orthopsamments » et « Dystric Psammaquents ». Les matériaux d'origine sont les sables côtiers à grain grossier du cordon littoral dahoméen. Ils sont très appauvris en éléments nutritifs et en matériaux organiques mais sont enrichis en dioxyde de silicium.

Dans le sol, le pH (H₂O) est d'environ 4 et peut atteindre 6 près de la mer, à cause des coquillages. La capacité d'échange des cations totaux est inférieure à

5 meq par 100 g de sol (VOLKOFF, 1965 ; I.R.H.O., 1972 ; KAUPENJOHANN et ZECH, 1988).

Près de Pahou, non loin du littoral, les sols sont identiques à ceux de Sémé. A plus grande distance de la mer, les « terres de barre » sont caractéristiques. Elles sont de couleur rouge et probablement stratifiées, avec une couche sablonneuse de limon au-dessus de l'argile sablonneuse. Ces sols sont classés comme sols ferrallitiques (VOLKOFF et WILLAIME, 1976) et les matériaux d'origine sont des sédiments du continental terminal.

Dans la dépression de la Lama, on trouve des vertisols avec des argiles tertiaires enrichis en calcaire. Même les horizons de surface peuvent être enrichis en carbonates. Les valeurs de pH sont proches de 6,5-8,5 ; la capacité d'échange en cations totaux est supérieure à 6 meq par 100 g de sol (VIENNOT, 1966). En bordure de la dépression, les vertisols sont voisins des sols ferrallitiques (terres de barre).

MÉTHODES

En ce qui concerne les analyses de feuilles, les premières feuilles adultes de la partie supérieure de la cime sont généralement utilisées. Après lavage à l'eau distillée, les échantillons sont séchés (65°), mélangés et analysés (N d'après Kjeldahl avec un appareil Büchi ; P mesuré par colorimétrie dans une solution HCl à 882 nm (bleu de

molybdène) ; K, Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Zn détectés par absorption atomique (AAS Perkin Elmer 420), après dissolution des cendres de 2 g de tissu (500 °C) dans 50 ml HCl à 10 % ; S, Si et Cl détectés avec un analyseur de fluorescence aux rayons X Siemens.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

A Sémé, sur des sables grossiers profonds avec une nappe phréatique profonde (3-4 m) près de la côte, *Casuarina equisetifolia* (Filao) a une croissance rapide et ses aiguilles sont d'un vert intense. A des endroits plus éloignés de la mer, la nappe phréatique est plus élevée et le Filao présente la maladie du jaunissement des extrémités, en particulier sur les vieilles feuilles. On suppose qu'à cause de la présence de la nappe phréatique élevée, le volume de sol à la disposition du système racinaire est considérablement réduit et qu'ainsi les réserves en potassium ne sont plus suffisantes. Il se pourrait aussi que le manque d'eau pendant la saison sèche puisse tuer les arbres (KAUPENJOHANN et ZECH, 1988).

Les analyses des feuilles confirment cette opinion (cf. tableau p. 34, N° 1, 2). Pour les jeunes feuilles vertes des arbres sains, les analyses donnent 0,31 % de K et le rapport K/Ca est de 0,78, alors que, chez les jeunes feuilles jaunes des arbres atteints, il y a seulement 0,20 % de K et le rapport K/Ca n'est que de 0,32. Les teneurs en azote (1,91-2,01 %) et en soufre (0,16 %) sont suffisantes, les teneurs en phosphore sont faibles (0,09 % dans les feuilles de la cime supérieure, 0,05-0,08 % dans les parties inférieures de la cime). Malgré le taux élevé de Cl et de Na dans les feuilles (0,43-0,54 % pour Cl et 0,27-0,30 % pour Na), nous ne pensons pas que la toxicité du Cl et du

Na soit la cause des symptômes visuels observés parce que le Filao est bien adapté au milieu salin (WEBB et al., 1980 ; ZECH, 1983).

A Sémé, outre le Filao, *Eucalyptus camaldulensis* et *Acacia auriculiformis* souffrent aussi manifestement de carences en éléments nutritifs. Les feuilles de *E. camaldulensis* sont jaune pâle avec des taches violettes, avec parfois des chloroses interveineuses et un jaunissement aux extrémités et sur les bords. Les analyses des feuilles (cf. tableau p. 34, N° 3, 4, 5) montrent que, outre les teneurs en P (0,06 %), les teneurs en K (0,3-0,44 %) sont aussi relativement faibles. Dans les feuilles jaunes d'*Acacia auriculiformis* gravement atteint de la maladie du jaunissement des extrémités, on a relevé seulement 0,19 % de K (N des feuilles = 2,65 % et P des feuilles = 0,098 %).

D'après ces résultats, il apparaît que les arbres poussant sur les sols sablonneux de Sémé souffrent surtout de carences en K et parfois aussi en P, en particulier sur les sites ayant une nappe phréatique élevée (> 50 cm à la fin de la saison des pluies). Les arbres qui fixent l'azote, comme le Filao et l'*Acacia*, contiennent aussi des valeurs en S plus grandes : 0,16 % pour le Filao, 0,18 % pour *A. auriculiformis* contrairement à *E. camaldulensis* où nous n'avons relevé que 0,11 % de S.

A Pahou, *Eucalyptus torrelliana* avec des feuilles chlorotiques et nécrosées (dans l'espace intercostal et sur les bords) souffre de carences en K et en P, même sur les sites ayant une nappe phréatique basse. Il se peut que cette essence soit plus sensible que *E. camaldulensis*. Les teneurs en K et en P des feuilles sont respectivement de 0,25 % et de 0,07 % (cf. tableau p. 34, N° 6). Avec 1,31 % de N et 0,17 % de S dans les premières feuilles adultes provenant de la partie supérieure de la cime, l'apport de ces deux éléments nutritifs semble satisfaisant. Les teneurs en Ca (0,7 %), Mg (0,39 %) et Cl (0,79 %) dans les feuilles sont étonnamment élevées.

A titre comparatif, nous avons aussi étudié *Lophira lanceolata* qui pousse naturellement sur ces sols sablonneux appauvris. Cette essence a une croissance rapide et une couleur d'un vert sain aux endroits où la nappe phréatique est profonde ; sa croissance est lente et l'extrémité de ses feuilles est chlorotique et nécrosée sur les sols ayant une nappe phréatique élevée (60-80 cm à la fin de la saison des pluies). La teneur en K des feuilles des arbres sains est de 0,56 % avec un rapport K/Ca de 1,55. Celle des feuilles des arbres atteints n'est que de 0,38 % et le rapport K/Ca est de 0,93. Outre la faible teneur des feuilles en K, on note une teneur en P qui semble peu élevée (0,08-0,09 %). Ainsi qu'à Sémé, ces phénomènes sont supposés être induits par le site. Dans les deux sites, les sols sablonneux sont appauvris en éléments nutritifs, en particulier en K et P. Si la nappe phréatique est basse, les arbres ont une chance de couvrir leurs besoins nutritifs en pénétrant dans la profondeur du sol. Une nappe phréatique élevée réduit le volume de sol disponible et les réserves d'éléments nutritifs. D'après la composition chimique du sol, K et P sont en tout premier lieu au niveau minimal (KAUPENJOHANN et ZECH, 1988).

Dans la région de la Lama près de Toffo et de Djigbe, de grandes plantations de *Tectona grandis* (Teck) ont été réalisées sur des sols ferrallitiques rouges, provenant de sédiments du continental terminal. Leur croissance est satisfaisante avec un accroissement d'environ 8-10 m³/ha/an ; des troubles de croissance ne se produisent que sur des pentes inférieures et dans de petites dépressions. Là, le dépérissement terminal du Teck est supposé être provoqué par la stagnation d'eau temporaire entraînant le pourrissement des racines. Les feuilles présentent alors toujours des chloroses et des nécroses interveineuses qui se manifestent sur les bords.

Chez les arbres sains, nous avons relevé : 2,22 % N, 0,14 % P, 0,44 % K (cf. tableau p. 34, N° 9) et chez les arbres dépérissants : 1,43-1,8 % N, 0,09-0,10 % P et 0,17-0,26 % K (cf. tableau p. 34, N° 11-12a). D'après notre expérience concernant le Teck, dans d'autres parties de l'Afrique occidentale (données non publiées), la carence en N n'est pas responsable du dépérissement observé mais les teneurs foliaires en P et K sont, suppose-t-on, en dessous du niveau critique correspondant à une alimentation adéquate. Dans les feuilles de la partie inférieure des arbres dépérissants, nous avons relevé des teneurs plus faibles en N (1,32 %), P (0,08 %) et K

(0,10 %) mais une teneur élevée en Mg (0,51 %) (cf. tableau p. 34, N° 12b).

Comme les sols sous les Tecks dépérissants ne présentent pas de symptômes hydromorphiques dans les 100 cm de la couche supérieure, nous mettons en doute l'hypothèse du pourrissement des racines provoqué par stagnation d'eau. Mais nos résultats en sont au stade préliminaire parce qu'il faudrait étudier un plus grand nombre de sites et de peuplements et faire aussi des analyses de sols et de racines.

Dans la forêt de la Lama sur vertisols, le Teck a une croissance moyenne à rapide. Les plus forts accroissements annuels, 10 m³/ha/an, ont été relevés dans des peuplements réalisés sur des argiles ayant une couche sablonneuse colluviale de 20 à 30 cm d'épaisseur. Ces sites ne sont inondés que pendant quelques jours. Dans les feuilles vertes, nous avons détecté 1,65 % N, 0,17 % P, 0,13 % S, 0,66 % K et 2,31 % Ca. Le rapport K/Ca est seulement de 0,29.

Sur les vertisols, dans les bas-fonds inondés pendant quelques semaines durant la saison des pluies et ayant une dynamique de pseudogley prononcée, le taux de croissance est réduit, mais les symptômes visuels de carences caractéristiques n'ont pu être observés dans des plantations âgées (28 ans). La teneur des feuilles est ici de 1,44 % N, 0,12 % P, 0,10 % S, 0,37 % K, 1,66 % Ca et le rapport K/Ca est de 0,22. Ces faibles teneurs en N, P, S et K sont à mettre en corrélation avec une vitalité réduite. Par rapport aux Tecks qui poussent sur sols ferrallitiques, ceux qui poussent sur les vertisols sont seulement moins riches en manganèse : 72-90 ppm et 25 ppm respectivement. Mais aucun symptôme de carence en Mn n'est apparu (cf. ZECH et DRECHSEL, 1991). Des études nouvelles montrent que, seulement dans les plantations très jeunes de la Lama, le Teck souffre fréquemment de carences en Mg et N visibles pendant les premières années (DRECHSEL et al., 1989).

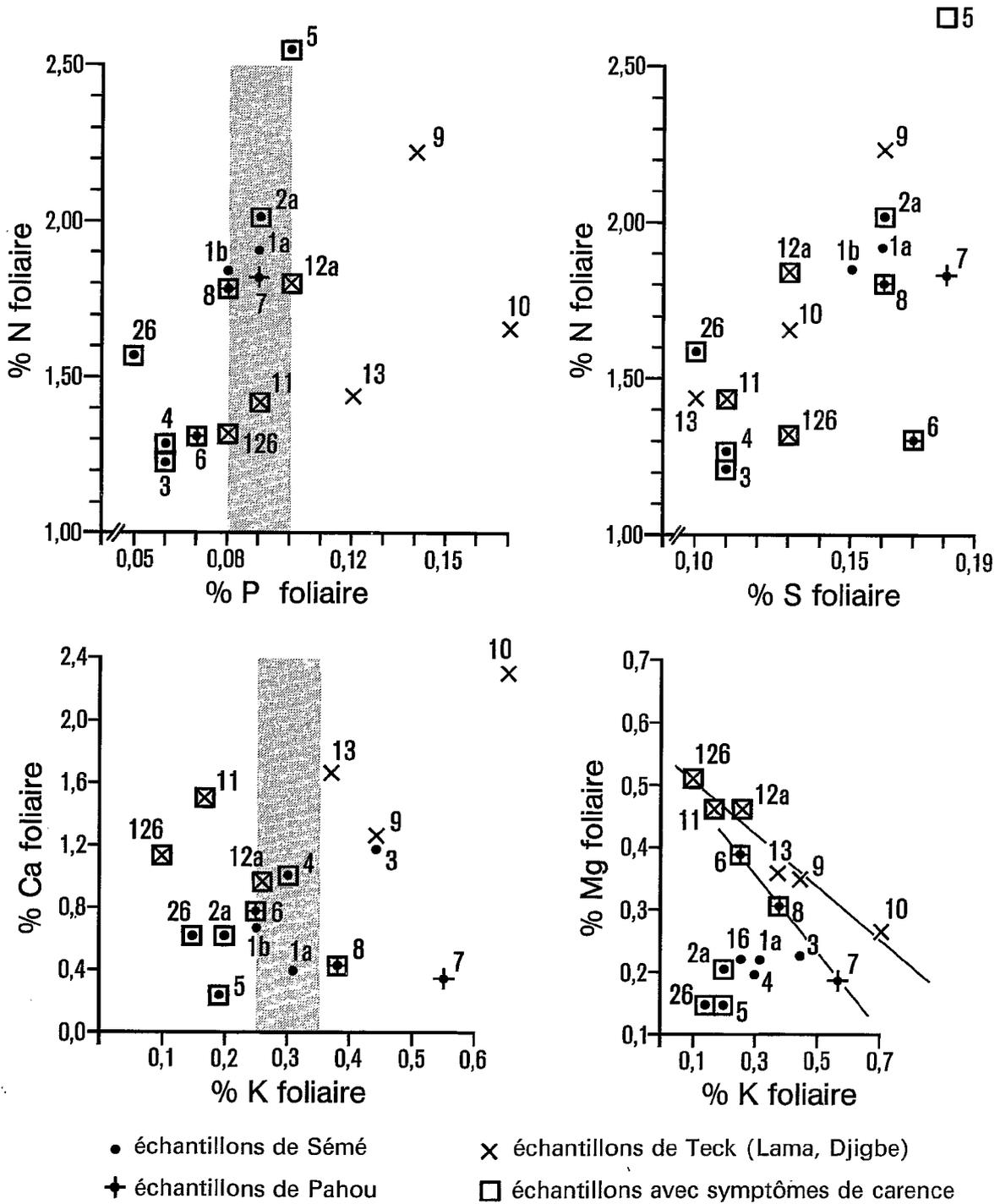
Les feuilles de Teck des plantations dans les régions de la Lama et de Djigbe ont des teneurs en Si de 2,31-5,75 %. Dans les plantations ligneuses sur sols sablonneux côtiers, les teneurs en Si relevées sont comprises entre 0,29 et 0,70 %. Par ailleurs, les concentrations en Cl sont plus faibles (0,10-0,16 % Cl) au nord qu'à Sémé et Pahou (0,20-0,79 %). Des résultats identiques ont été obtenus pour Na (Lama : Na des feuilles = 0,09-0,14 % ; Sémé et Pahou = 0,15-0,31 % Na).

Les teneurs foliaires en Al et en Fe sont généralement élevées, peut-être à cause des impuretés de la poussière. Le Cu des feuilles est compris entre 6 et 16 ppm, le Zn des feuilles entre 9-31 ppm (cf. tableau p. 34). Les taux minima de 9-11 ppm de Zn sont supposés mettre en évidence une carence latente. Mais toute interprétation est délicate car nous ne connaissons pas exactement les seuils critiques.

Outre les concentrations absolues des feuilles, les rapports fournissent aussi des indications précieuses. La figure ci-contre présente les rapports N/P, N/S, K/Ca et K/Mg. Entre N, P et S il y a une corrélation positive. Mg et K sont corrélés négativement à Pahou et Lama mais

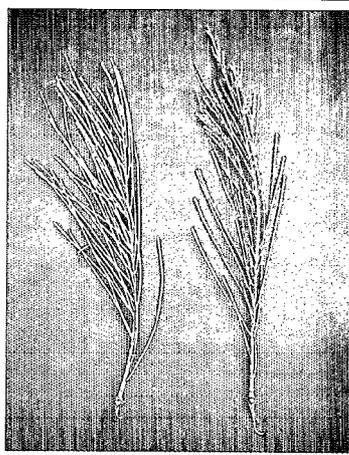
Relations N/P, N/S, K/Ca et K/Mg dans les feuilles de Filao, d'*Eucalyptus sp.*, d'*Acacia auriculiformis* et de Teck.

Valeurs proposées pour les seuils d'apparition de carences en phosphore et en potassium.

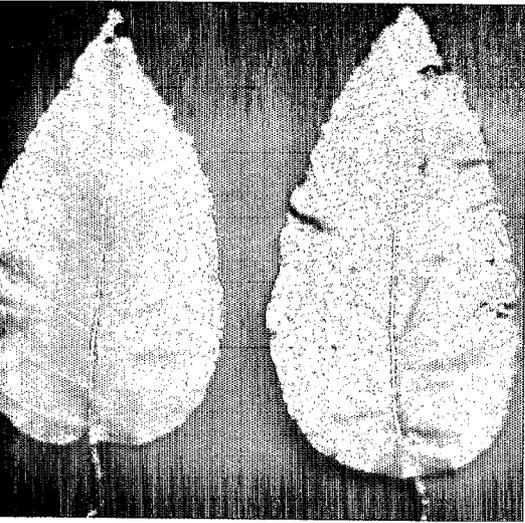


RÉSULTATS DES ANALYSES FOLIAIRES

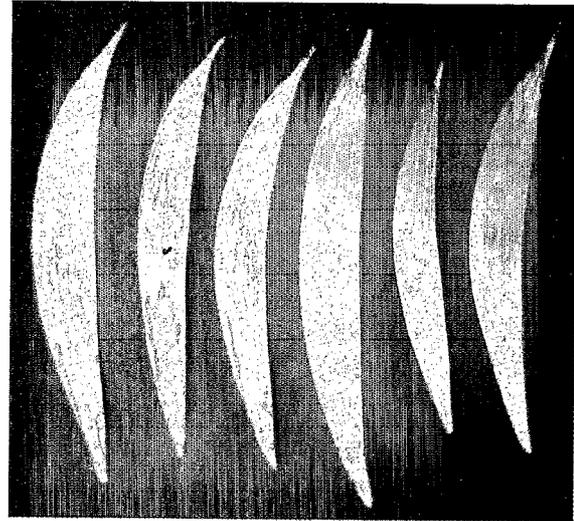
N°	Essence	Description	% N	P	S	K	Ca	Mg	Si	Cl	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	K/Ca
1a	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Jeunes aiguilles vertes provenant du 1 ^{er} tourbillon, 5 arbres, 4 m hauteur, croissance rapide ; Sémé, sable grossier près de la côte.	1,91	0,03	0,16	0,31	0,41	0,22	0,29	0,43	0,27	86	95	220	9	31	0,78
1b	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Aiguilles vertes provenant de la partie inférieure de la cime.	1,84	0,08	0,15	0,25	0,72	0,22	0,41	0,53	0,28	140	395	360	6	23	0,36
2a	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Jeunes aiguilles provenant de la partie supérieure de la cime, 5 arbres ayant la maladie du jaunissement des extrémités, 2-3 m hauteur, croissance moyenne ; Sémé, sable grossier, nappe phréatique à 50 cm.	2,01	0,09	0,16	0,20	0,64	0,21	0,31	0,53	0,28	140	360	395	6	23	0,32
2b	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Aiguilles aux extrémités jaunies provenant de la partie inférieure de la cime.	1,58	0,05	0,10	0,15	0,64	0,15	0,40	0,54	0,30	95	180	90	9	30	0,24
3	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Feuilles jaunâtres avec taches violettes 5 arbres, 5 m hauteur, croissance lente ; Sémé, sable à grain moyen.	1,22	0,06	0,11	0,44	1,20	0,23	0,37	0,20	0,16	120	110	525	8	17	0,38
4	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Chloroses de l'espace intercostal et des bordures 1 arbre, croissance lente ; Sémé, sable à grain moyen.	1,25	0,06	0,11	0,30	1,00	0,20	0,37	0,39	0,22	140	115	380	7	18	0,31
5	<i>Acacia auriculiformis</i>	Maladie du jaunissement des extrémités 5 arbres, 2 m hauteur, croissance moyenne ; Sémé, sable grossier.	2,65	0,98	0,18	0,19	0,25	0,15	0,34	0,43	0,31	108	130	45	16	13	0,78
6	<i>Eucalyptus torrelliana</i>	Chloroses et nécroses de l'espace intercostal et des bordures 5 arbres, 8 m hauteur, croissance moyenne ; Pahou, sols à grain fin à moyen.	1,31	0,07	0,17	0,25	0,70	0,39	0,43	0,79	0,18	215	220	153	9	43	0,37
7	<i>Lophira lanceolata</i>	Vert intense 5 arbres, 4 m hauteur, croissance rapide ; Pahou, sable à grain moyen.	1,82	0,09	0,18	0,56	0,37	0,18	0,37	0,24	0,15	95	80	415	9	14	1,55
8	<i>Lophira lanceolata</i>	Chloroses et nécroses des extrémités et des bordures 5 arbres, 2-3 m hauteur, croissance lente et moyenne ; Pahou, sable à grain moyen.	1,80	0,08	0,16	0,38	0,42	0,31	0,70	0,31	0,16	350	390	230	6	9	0,93
9	<i>Tectona grandis</i>	Vert, 3 arbres, 28 ans, croissance rapide (8,6 m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹) ; Lama, sols ferrallitiques.	2,22	0,14	0,16	0,44	1,21	0,35	4,50	0,10	0,10	240	240	75	8	17	0,37
10	<i>Tectona grandis</i>	Vert, 3 arbres, 28 ans, croissance rapide (10 m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹) ; Lama, vertisols.	1,65	0,17	0,13	0,66	2,31	0,27	5,75	0,11	0,14	320	325	25	8	25	0,29
11	<i>Tectona grandis</i>	Chloroses de l'espace intercostal et des bordures, 3 arbres, 23 ans, Djigbe, sols ferrallitiques dans petites dépressions.	1,43	0,09	0,11	0,17	—	0,46	3,38	0,10	0,12	270	435	72	10	18	0,12
12a	<i>Tectona grandis</i>	Chloroses de l'espace intercostal et des bordures, feuilles de la partie supérieure de la cime, 1 arbre, 23 ans, Djigbe, sols ferrallitiques dans petites dépressions.	1,83	0,10	0,13	0,26	0,96	0,46	2,97	0,16	0,13	310	415	90	9	11	0,09
12b	<i>Tectona grandis</i>	Chloroses de l'espace intercostal et des bordures, feuilles de la partie inférieure de la cime.	1,32	0,08	0,13	0,10	1,17	0,51	2,31	0,15	0,09	320	430	106	9	11	0,09
13	<i>Tectona grandis</i>	Vert, 2 arbres, croissance moyenne, 15 m hauteur.	1,44	0,12	0,10	0,37	1,66	0,36	3,81	0,12	0,13	300	350	29	8	11	0,22



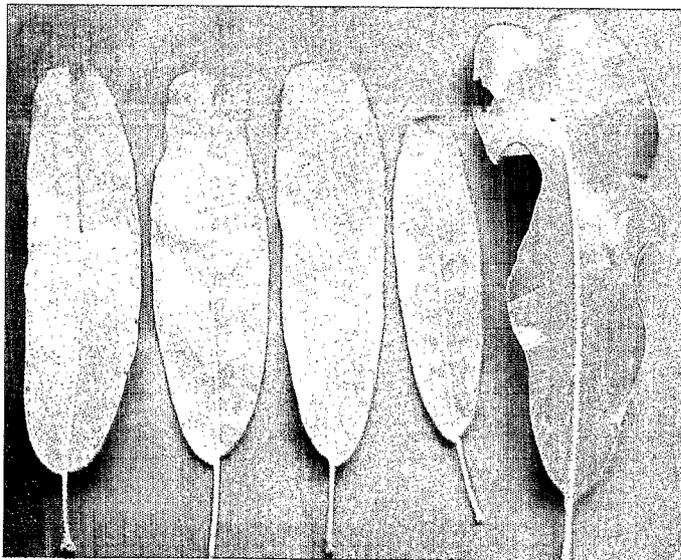
1. *Casuarina equisetifolia*



2. *Eucalyptus torrelliana*



3. *Acacia auriculiformis*



4. *Lophira lanceolata*

1. Des branches chlorotiques et vertes de *Casuarina equisetifolia* (*Filao*) plantés sur sables grossiers près de la côte, Sémé, Bénin. La chlorose est premièrement le résultat d'un manque de K : les aiguilles contiennent seulement 0,20 % K (cf. tableau, analyse N° 1a, 2a).

2. La chlorose des feuilles d'*Eucalyptus torrelliana* s'accompagne des valeurs en K foliaire bas de 0,25 %. En même temps P foliaire est très bas. Le peuplement forestier pousse sur des sols à grain fin à moyen près de Pahou (cf. tableau, analyse N° 6).

3. *Acacia auriculiformis* aussi souffre sur sables grossiers près de la côte d'une carence en K, qui se montre par jaunissement des extrémités. Les valeurs foliaires de K se montrent à 0,19 % (cf. tableau, analyse N° 5).

4. *Lophira lanceolata* montre des chloroses et des nécroses si les sables ne sont pas profonds mais superficiels avec la nappe d'eau phréatique très haute (voir tableau, analyses N° 7, 8).

pas à Sémé. K et Ca ne présentent pas de corrélation du tout. D'après ces premiers résultats et par analogie avec les données non publiées provenant du Liberia et de Côte-d'Ivoire, nous supposons que le seuil critique des feuilles pour l'apparition de symptômes de carence en K

et P chez les arbres étudiés se situe autour de 0,25-0,35 % pour K et autour de 0,08-0,10 % pour P. Ces chiffres devront être vérifiés grâce à des expériences de fertilisation. Le rapport K/Ca ne permet pas d'identifier les perturbations concernant l'apport nutritif en K.

CONCLUSION

Les résultats des analyses des feuilles confirment que *C. equisetifolia*, *E. camaldulensis*, *E. torreliana* et *A. auriculiformis*, poussant sur des sols sablonneux côtiers à Sémé et Pahou, souffrent de carences en potassium et en phosphore. Les symptômes caractéristiques sont le jaunissement des extrémités, en particulier sur les feuilles de la partie inférieure de la cime, et le jaunissement de toute la feuille ou de l'espace intercostal, avec apparition d'une teinte violette. La production maintenue de bois de feu sans fertilisation avec K et P semble problématique à cause de l'appauvrissement du sol. Des améliorations pourraient peut-être être apportées si l'on introduisait des plantations mixtes d'essences d'Eucalyptus et d'arbres fixant l'azote, tels que le Filao, l'Acacia, le Sesbania, etc.

Le Teck pousse bien sur des vertisols calcaires riches en bases malgré des inondations périodiques. Cependant,

des expériences complémentaires sont nécessaires pour acquérir des données fiables parce que, sur les sols ferrallitiques avec un pH faible au pied des pentes et dans les bas-fonds, le Teck souffre fortement des carences en K et P. Pour le moment, nous ne savons pas de façon précise si le pourrissement des racines ou l'appauvrissement du sol sont la cause du déclin fréquent du Teck poussant sur ces sols acides dans les dépressions.

Remerciements

Nous remercions M. A. G. AGBAHUNGBA, directeur du « Projet Bois de Feu », pour le soutien qu'il nous a apporté. Sur le terrain, nous avons été guidés par M. E. SIMON et M. TRAINER (DFS), M. P. DJOGBENOU (Projet Bois de Feu) et M. ISSA (Université de Cotonou).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DRECHSEL (P.), SCHMALL (S.) et ZECH (W.), 1989. — Mineral nutrition and soil properties in young teak plantations in Benin and Liberia. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 59/II, 691-696.
- FAO/UNEP, 1981. — *Projet d'évaluation des ressources forestières tropicales. Les ressources forestières de l'Afrique tropicale.* Rome.
- I.R.H.O., 1972. — République de Dahomey, Sémé *Projet Cocotier.* Cotonou (disponible à la « Station de recherche sur le cocotier »).
- KAUPENJOHANN (M.) et ZECH (W.), 1988. — Mineral nutrition and root development in stands of *Casuarina equisetifolia* (Filao) of differing vigour on coastal sands of the Peoples' Republic of Benin, West Africa. *Potash Review*, Subject 11, Forestry, 2nd suite, No. 5, 1-5.
- MYERS (N.), 1980. — Conservation of tropical moist forests. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- VIENNOT (M.), 1966. — Etude de sols de la dépression de la Lama et de ses bordures. ORSTOM, Paris.
- VOLKOFF (B.), 1965. — Les sols de la région littorale du Dahomey. Notice explicative de la carte reconnaissance au 1/50 000. ORSTOM, Paris.
- VOLKOFF (B.) and WILLAIME (P.), 1976. — Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin au 1/200 000. Feuille de Porto-Novo (1). ORSTOM, Paris.
- WEBB (D. B.), WOOD (P. J.) and SMITH (J.), 1980. — A guide to species selection for tropical and subtropical plantations. Overseas Development Administration, London.
- ZECH (W.), 1983. — Etudes sur l'écologie des ligneux d'intérêt forestier dans l'Afrique de l'Ouest semi-aride. *GTZ series No. 154*, Eschborn (Allemagne).
- ZECH (W.), 1984a. — Investigations on the occurrence of potassium and zinc deficiencies in plantations of *Gmelina arborea*, *Azadirachta indica* and *Anacardium occidentale* in semiarid areas of West Africa. *Potash Review*, Subject 22, Forestry 31st suite, No. 1, 1-5.
- ZECH (W.), 1984b. — Possibilities and limitations of leaf analysis as a means of detecting nutritional disorders in fast-growing forest plantations in West Africa. IUFRO-Symposium on site and productivity of fast-growing plantations. Pretoria and Pietermaritzburg, Proc. Vol. 2, 691-699.
- ZECH (W.) et DRECHSEL (P.), 1991. — Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of Teak (*Tectona grandis*) plantations in the rain forest zone of Liberia. *Forest Ecology and Management*, in press.