

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

Teneur en eau et en éléments minéraux du
sol, diagnostic foliaire et croissance de
Eucalyptus à Hinda (Congo)

par

E. DAGBA

Centre ORSTOM de Pointe-Noire (Congo)
Physiologie Végétale
Février 1998

Fonds Documentaire ORSTOM



010013219

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

Teneur en eau et en éléments minéraux du
sol, diagnostic foliaire et croissance de
Eucalyptus à Hinda (Congo)

par

E. DAGBA

Centre ORSTOM de Pointe-Noire (Congo)
Physiologie Végétale
Février 1998

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : A*13219 Ex : 1

SOMMAIRE

page

A.- TEXTE

Résumé - Abstract	1
I.- Introduction	2
II.- Matériel et méthodes	2
III.- Résultats et discussion	4
3.1.- Caractéristiques du sol	4
3.2.- Teneur en eau du sol au cours du temps	5
3.3.- Teneur en éléments minéraux de la solution du sol	6
3.4.- Diagnostic foliaire	6
3.5.- Croissance radiale du tronc de l'eucalyptus	12
IV.- Conclusion	15
Bibliographie	16

B.- ILLUSTRATION

Tableaux

Tabl.I : Densité apparente et porosité	19
Tabl.II: Capacité au champ et point de flétrissement permanent	19-20
Tabl.III et IV: Analyse du sol	21-22
Tabl.V : Analyse de la solution du sol	23-24
Tabl.VI: Diagnostic foliaire	25-26

Figures

A l'intérieur du texte (Diagnostic foliaire)

5.1 et 5.2.....	verso 9 et 10
5.3 et 5.3bis.....	entre 6 et 7
5.4	verso 8

A l'extérieur du texte

1.- Pluviométrie	27
2 et 3.- Teneur en eau du sol au cours du temps	28-35
4.- Teneur en éléments minéraux de la solution du sol	36-41
5.- Diagnostic foliaire (cf.: " A l'intérieur du texte").....	
6.- Croissance radiale du tronc de l'eucalyptus	42-43

FICHE DESCRIPTIVE
(Rapport interne 1998)

Auteur : DAGBA (E.)

Titre original : Teneur en eau et en éléments minéraux du sol, diagnostic foliaire et croissance de l'*Eucalyptus* à Hinda (Congo)

Titre en anglais : Soil water and nutrient content, foliar diagnostic and *Eucalyptus* growth at Hinda (Congo)

Mots-clés matières : *Eucalyptus* , sol, teneur en eau du sol, solution du sol, éléments minéraux, diagnostic foliaire, Congo.

Résumé en Français :

Dans les plantations d'*Eucalyptus* du littoral congolais, deux parcelles présentant 3 ou 4 situations topographiques (crête, plateau, pente, glacis) ont été choisies pour étudier, au cours du temps, la teneur en eau du sol, en éléments minéraux de la solution du sol et la croissance radiale de l'*Eucalyptus*. Un prélèvement de diagnostic foliaire a été effectué.

L'analyse montre que le sol est du type ferrallitique sableux (87 à 95% de sables) avec un taux faible d'argile, d'humus ou de matière organique et qu'il est carencé en N, P, K, Ca et Mg. L'analyse de la solution du sol et le diagnostic foliaire confirment la carence en N, K, Ca et Mg. La teneur en eau du sol est faible, souvent proche du point de flétrissement permanent en saison sèche et toujours située dans le tiers inférieur de la Réserve Utile : la plante n'est jamais convenablement approvisionnée en eau, même en saison pluvieuse. La croissance du tronc de l'*Eucalyptus* est rythmique : faible en saison sèche, plus élevée en saison de pluies.

Résumé en Anglais :

Soil moisture and the nutrient content of soil solution were studied , during one year, in two plots of 3 or 4 topographic situations (crest, plateau, slope, glacis), together with *Eucalyptus* radial growth and foliar diagnostic , in the congolese littoral plantations

The soil was ferrallitic sandy (87 to 95% of sands) with a weak clay, humus and organic matter content and a deficiency in N, P, K, Ca and Mg. Soil solution analysis and foliar analysis confirm the deficiency in N, K, Ca, Mg. Soil humidity content is low, often near permanent wilting point during the dry season and always located in the lowest third of the total available water capacity : the plant is never suitably supplied with water , even during the rainy season. The *Eucalyptus* stem growth is rhythmic : weak during the dry season and higher during the rainy season.

Key-words. *Eucalyptus* , soil, soil moisture content, soil solution, nutrients, foliar diagnostic, Congo.

Teneur en eau et en éléments minéraux du sol, diagnostic foliaire et croissance de l'*Eucalyptus* à Hinda (Congo)

par

E. DAGBA

Résumé.

Dans les plantations d'*Eucalyptus* du littoral congolais, deux parcelles présentant 3 ou 4 situations topographiques (crête, plateau, pente, glacis) ont été choisies pour étudier, au cours du temps, la teneur en eau du sol, en éléments minéraux de la solution du sol et la croissance radiale de l'*Eucalyptus*. Un prélèvement de diagnostic foliaire a été effectué.

L'analyse montre que le sol est du type ferrallitique sableux (87 à 95% de sables) avec un taux faible d'argile, d'humus ou de matière organique et qu'il est carencé en N, P, K, Ca et Mg. L'analyse de la solution du sol et le diagnostic foliaire confirment la carence en N, K, Ca et Mg. La teneur en eau du sol est faible, souvent proche du point de flétrissement permanent en saison sèche et toujours située dans le tiers inférieur de la Réserve Utile : la plante n'est jamais convenablement approvisionnée en eau, même en saison pluvieuse. La croissance du tronc de l'*Eucalyptus* est rythmique : faible en saison sèche, plus élevée en saison de pluies.

Mots-clés. *Eucalyptus*, sol, teneur en eau du sol, solution du sol, éléments minéraux, diagnostic foliaire, Congo.

Abstract

Soil water and nutrient content, foliar diagnostic and *Eucalyptus* growth at Hinda (Congo)

Soil moisture and the nutrient content of soil solution were studied, during one year, in two plots of 3 or 4 topographic situations (crest, plateau, slope, glacis), together with *Eucalyptus* radial growth and foliar diagnostic, in the congolese littoral plantations

The soil was ferrallitic sandy (87 to 95% of sands) with a weak clay, humus and organic matter content and a deficiency in N, P, K, Ca and Mg. Soil solution analysis and foliar analysis confirm the deficiency in N, K, Ca, Mg. Soil humidity content is low, often near permanent wilting point during the dry season and always located in the lowest third of the total available water capacity : the plant is never suitably supplied with water, even during the rainy season. The *Eucalyptus* stem growth is rhythmic : weak during the dry season and higher during the rainy season.

Key-words. *Eucalyptus*, soil, soil moisture content, soil solution, nutrients, foliar diagnostic, Congo.

I.- Introduction

L'U.A.I.C. (Unité d'Afforestation Industrielle du Congo) a installé environ 40 000 ha de plantations d'*Eucalyptus* en vue de la fabrication de la pâte à papier ou de l'exportation du bois. L'*Eucalyptus* occupe ainsi une place très importante dans l'économie congolaise. Il a suscité, de ce fait, de nombreuses études, notamment de sol (Jamet et al, 1976; Bandzouzi, 1993; Trouvé et al., 1994; Barthès, 1995), de litière (Bernhard-Reversat, 1993; Bernhard-Reversat et Schwartz, 1997), de sous-bois (Loumeto et Bernhard-Reversat, 1997), de biomasse et de minéralomasse (Laclau, 1997). Dans ces parcelles apparaissent, par endroits, des zones de moindre productivité où un certain nombre de plantes meurent à bas âge. La cause de cet état de choses demeure non élucidée. Nous avons suivi, au cours du temps, à Hinda (Congo), la croissance de la plante, la teneur en eau du sol et en éléments minéraux de la solution du sol, sur les parcelles 84-19 et 84-26, dans des situations topographiques diverses (crête, plateau, pente, glacis) . Un prélèvement de diagnostic foliaire a été également effectué. Les deux parcelles sont distantes d'environ 2km l'une de l'autre; elles sont à environ 8km au sud-(sud-est) de Hinda, village situé à une trentaine de Kilomètres au nord-est de Pointe-Noire. Etablie sur sol ferrallitique sableux appartenant à la Série des Cirques (Jamet et Riffel, 1976), chaque parcelle, plantée en 1984 du clone 2-13 (hybride 12ABL x Saligna) avec un écartement de 5m x 5m, couvre environ 40ha et se présente sous la forme d'une cuvette ou d'un amphithéâtre.

II.- Matériel et méthodes

Les plants sont des rejets d'*Eucalyptus* coupés trois ans avant le début de notre expérimentation. Celle-ci a duré de janvier 1994 à avril 1996. Nous nous sommes intéressé notamment à la teneur en eau du sol, à l'analyse du sol, de la solution du sol et de la feuille et enfin à la croissance radiale du tronc de l'*Eucalyptus*.

2.1.- Teneur en eau du sol (par la méthode pondérale).

Les prélèvements ont eu lieu toutes les 4 semaines sur 2 parcelles (84-19 et 84-26) x 3 situations topographiques (crête, pente, glacis) x 3 profondeurs (0-20, 30-50, 120-150cm) x 6 répétitions. Les échantillons sont placés à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Le premier prélèvement a eu lieu le 06.01.1994. La densité apparente, la porosité, la capacité au champ (14 répétitions) et le point de flétrissement permanent (6 répétitions) ont été déterminés par une méthode indiquée précédemment (Dagba, 1993).

2.2.- Analyses. Les analyses sont faites au Laboratoire Commun d'Analyses de l'ORSTOM à Pointe-Noire :

- granulométrie 5 fractions (pipette Robinson)
- carbone total (méthode Walkey et Black)
- azote total (méthode Kjeldahl)
- bases échangeables (dosage par spectrométrie d'absorption)
- capacité d'échange à pH=7 (dosage par complexométrie)
- phosphore total (dosage par colorimétrie)

2.2.1.- Sol. Des prélèvements de sol ont été effectués pour analyses granulométriques et chimiques sur les différentes situations topographiques des 2 parcelles, aux profondeurs (0-10), (0-20), (30-50) et (120-150)cm. Il y a une seule répétition. Les fosses de prélèvement ont été creusées sur un interligne de passage des véhicules d'entretien. Celles de Barthès (1995) ne sont pas sur un interligne de passage et les profondeurs sont légèrement différentes des nôtres.

2.2.2.- Solution du sol extraites par bougies poreuses. Des capteurs DTS 2000 (marque Nardeux) en céramique poreuse ont été installés sur la parcelle 84-26 : 1 parcelle x 3 situations topographiques (plateau, pente, glacis) x 3 profondeurs (bougies de 30, 60, 120cm) x 4 répétitions. Chaque répétition s'aligne sur une rangée d'*Eucalyptus*, chaque bougie étant placée à égale distance entre 2 plants voisins. L'essai a commencé le 16.03.1994. La dépression est de 500 hPa et la solution est prélevée 48h après la mise en dépression du système. Le volume recueilli est mesuré une fois par semaine et l'analyse chimique effectuée toutes les 4 semaines sur la solution prélevée durant la quatrième semaine. Quelques gouttes de solution saturée de thymol déposées dans l'échantillon, placé par la suite au réfrigérateur, assurent sa conservation avant analyse.

Méthode de calcul de la quantité d'un élément minéral donné dans un volume donné de sol.

" Pour évaluer les quantités d'éléments en solution, les teneurs mesurées à 30cm, 60cm et 120cm ont été considérées comme représentatives des teneurs moyennes dans les tranches de sol 0-45cm, 45-90cm et 90-150cm. Les quantités ont été calculées pour chaque date de prélèvement en multipliant ces teneurs par le stock d'eau contenu dans chaque tranche de sol, à partir des mesures réalisées" (Poss, 1991).

De la teneur en eau (T.E.), on déduit l'humidité volumique (Hv) avec la formule $Hv = T.E. * Da$ (g ou $cm^3/100cm^3$ de sol) où Da = densité apparente. De plus, comme les tranches de sol étudiées ici ne se touchent pas, nous faisons l'hypothèse suivante :

$$Hv (0- 45) = [Hv (0- 20) + Hv (30 -50)] / 2$$

$$Hv (45- 90) = [Hv (30- 50) + Hv (120 -150)] / 2$$

$$Hv (90- 150) = [Hv (45-90) + Hv (120 -150)] / 2$$

2.2.3.- Diagnostic foliaire. La plus jeune feuille adulte de chaque rameau du tiers supérieur du houppier (van den Driessche, 1974 - Brunck, 1984 - Smith, 1986 - Herbert, 1991), a été prélevée le 20.04.1995 sur les rejets qui se développent au pied des *Eucalyptus*, les houppiers de ces derniers étant trop élevés pour être facilement accessibles. La feuille prélevée se distingue par sa couleur vert foncé d'une feuille juvénile qui est vert tendre à rougeâtre. Elle est, en général, la deuxième ou la troisième feuille étalée, comptée à partir de l'extrémité distale du rameau. Dix plants ont été prélevés par situation topographique.

2.3.- Croissance radiale au cours du temps.

La croissance radiale a été suivie dans les deux parcelles, au millimètre près tous les six mois, sur 50 plantes par situation topographique, à partir de janvier 1994; et au 1/10mm près (au microdendromètre) toutes les 4 semaines sur 6 plantes par situation topographique. Les microdendromètres ont été installés le 02.05.94 sur la parcelle 84-26 et fin septembre sur la 84-19. L'abscisse 0 (Fig. 6.2; p.43) correspond à l'accroissement de croissance mesuré le 25.05.94 et l'abscisse 1 à celui mesuré le 22.06.94. Les circonférences sont mesurées à 130cm au-dessus du sol. Un second glacis (= glacis b = nouveau glacis) où les arbres sont plus vigoureux que dans le premier (= glacis a = ancien glacis) a été retenu par la suite, le 13.09.95 (absc.17: Fig. 6.1; p. 42).

2.4.- Climat. (Fig.1, p. 27)

Des appareils météorologiques n'ont pu être installés à Hinda. Nous utiliserons les données de Pointe-Noire où la saison sèche correspond à la période de mi-mai à mi-octobre et la saison des pluies à celle de mi-octobre à mi-mai. Un tel climat caractérisé par 5 à 6 mois secs et la température du mois le plus froid de l'année supérieure à 15°C est dit *thermoxérochiménique moyen* suivant la classification de Gaussen et al. (1957). La hauteur annuelle de pluies (Fig.1, p. 27) est de : 531,4 - 2 052,7 - 1 568,0mm respectivement pour les périodes du 06.10.93 au 21.09.94, du 22.09.94 au 20.09.95 et du 21.09.95 au 29.05.96. Selon Anonyme (1989), la hauteur annuelle des pluies au Bas-Congo oscille habituellement entre 1 200 et 1 700mm, déterminant ainsi le *climat bas-congolais, une variante du type "guinéen forestier"*.

III.- Résultats et discussion

3.1.- Caractéristiques du sol.

Ce sont des dépôts sédimentaires de la Série des Cirques où se développent des sols sableux . On y observe de grandes variations, même sur de faibles distances (Jamet et Riffel, 1976).

3.1.1.- Propriétés physiques (Tabl. I et IIIa, b; p.19 et 21)

Comme il n'y a qu'une seule répétition, nous donnons ces résultats avec réserve. On peut ainsi, dans les conditions de nos expériences, noter :

3.1.1.1. Crête, pente, glacis des deux parcelles (Tabl.IIIa, p. 21)

- une proportion élevée de sables (87 à 95%) dont les 2/3 environ de sables fins et le 1/3 de sables grossiers. La densité apparente est de l'ordre de 1,3 à 1,5 (Tabl. I, p.19) dans les deux parcelles. La porosité (Tabl. I, p.19) est du même ordre de grandeur dans les deux parcelles : 40 à 46% sur la crête, la pente et le glacis ancien, 25 à 35% sur le plateau et le nouveau glacis.

- une légère élévation de 2% du taux d'argile dans la parcelle 84-26 (4,5 à 12,6%) par rapport à la parcelle 84-19 (2,7 à 10,4%)

- une légère élévation du taux de matière organique à la profondeur (0-10)cm dans la parcelle 84-26 par rapport à la parcelle 84-19 : sur la crête (2,64% vs 1,48%), la pente (1,64% vs 1,48%) et le glacis ancien (2,5% vs 1,43%). Ce taux est sensiblement le même dans les 3 sites de la parcelle 84-19. Dans la parcelle 84-26 par contre, il baisse d'environ 1% sur la pente par rapport aux deux autres situations .

3.1.1.2. Plateau de la parcelle 84-26 (Tabl.IIIb, p.21)

- pour l'ensemble confondu des profondeurs (0-10), (0-20), (30-50) et (120-150)cm, une baisse (Tabl. IIIb), du 13.02.96 au 24.02.96, soit dans l'intervalle de 11 jours, du taux moyen d'argile (de 8,62% à 6,54%), de limons fins (de 0,93% à 0,83%) et de matière organique (de 0,67% à 0,45%). Un prélèvement antérieur du 01.04.94 (Barthès, 1995), pour l'ensemble confondu des profondeurs (15-25), (40-50),(65-75) et (105-115)cm, indique un taux moyen d'argile de 7,23%, de limons fins de 1,20% et de matière organique de 0,38%. La baisse apparente en 11 jours n'est pas significative et relève des variations aléatoires déjà signalées par Jamet et Riffel, 1976.

3.1.2.- Propriétés chimiques (Tabl. IVa et IVb; p.22)

3.1.2.1. Crête, pente, glacis des deux parcelles (Tabl.IVa, p.22)

- pH. Le pH à l'eau est compris entre 4,2 et 5,3. Le sol des deux parcelles est acide.

- Carbone. Le taux de carbone total à la profondeur (0-10)cm est plus élevé dans la parcelle 84-26 que dans la parcelle 84-19: sur la crête (1,53% vs 0,86%), la pente (0,95% vs 0,86%) et le glacis ancien (1,45% vs 0,83). Ce taux, comme on le voit, est sensiblement le même dans les 3 situations topographiques de la parcelle 84-19. Dans l'autre par contre, il est plus faible sur la pente (0,95%) que sur les deux autres situations (1,45% et 1,53%) .

- Phosphore. Le taux de phosphore est faible : il varie entre 0,05 et 0,46 ‰.

- Azote. Le taux d'azote à la profondeur (0-10)cm est plus élevé dans la parcelle 84-26 que dans la 84-19: sur la crête (0,60 vs 0,44 ‰), la pente (0,50 vs 0,46 ‰) et le glacis ancien (0,66 vs 0,42 ‰). Même sur le glacis nouveau (0,46 vs 0,52 ‰) où les plantes sont vigoureuses, ce taux est inférieur à (1 - 2)‰, seuil des niveaux satisfaisants en Afrique Occidentale et Centrale (Boyer, 1982). Il y a donc carence ou déficience en N.

- Potassium. Les teneurs oscillent entre traces et 0,06me/100g. Les seuils de carence et de déficience en K sont respectivement 0,10 et 0,20me/100g (Boyer, 1982). Il y a donc carence en potassium.

- Calcium et Magnésium. Les teneurs sont souvent des traces dans les deux parcelles.

-Capacité d'échange. Pour chaque profondeur de chaque situation topographique, la capacité d'échange est plus élevée sur la 84-26. Elle est par exemple de 5,4 (sur la parcelle 84-26) et de 2,98me/100g (sur la parcelle 84-19) à la profondeur (0-10)cm pour le glacis ancien. La parcelle 84-26 semble un peu plus fertile.

3.1.2.2. Plateau de la parcelle 84-26 (Tabl. IVb, p.22).

Pour deux prélèvements distants de 11 jours (13.02. et 24.02.96) à la profondeur (0-20)cm par exemple, on constate une différence de taux, notamment du C (0,6 vs 0,42%) et de la C.E. (2,6 vs 1,63me/100g). Un prélèvement antérieur, du 01.04.94 (Barthès, 1995) à la profondeur (15-25)cm indique un taux de C de 0,32% et de la C.E. de 1,98me/100g. Comme dans la partie granulométrique, les différences sont dues à des variations aléatoires.

3.2.- Teneur en eau du sol au cours du temps (Tabl. IIa,b,c; p.19 et 20)

3.2.1.-Effet des saisons (Fig. 2.1 et 2.2; p. 28 et 29).

Comme on pouvait s'y attendre, les teneurs en eau du sol sont plus faibles en saison sèche (Fig.1, p.27) (abscisses 20 à 40; 75 à 92) qu'en saison pluvieuse (abscisses 41 à 71; 93 à 117). Celles de la profondeur (0-20)cm sont les plus faibles, puis viennent celles de la profondeur (30-50)cm, très proches de ces dernières; et enfin, en général, bien au-dessus, celles de la profondeur (120-150)cm. Les teneurs, en saison sèche, sont un peu plus faibles sur la parcelle 84-19 (2 à 3%) que sur la parcelle 84-26 (3,4 à 4,5%)

3.2.2.-Niveaux de référence (Tabl.II a,b,c et Fig.3; p. 19,20,30...): Hc, Hf, (Hf + nRU/3)

Les figures 3 (3.1.1 à 3.1.3 et 3.2.1 à 3.2.3; p.30 à 35) comparent les courbes de teneur en eau du sol avec les estimations de la capacité au champ (Hc), du point de flétrissement permanent (Hf), de (Hf + RU/3) et de (Hf + 2RU/3) : Réserve Utile = RU(%) = Hc(%) - Hf(%)

En général, la zone située entre (Hf + 2RU/3) et Hc, appelée RFU (Réserve Facilement Utilisable), correspond au tiers supérieur de la RU, une zone où la plante, largement approvisionnée en eau, offre un rendement optimal. Dans la zone comprise entre (Hf + 2RU/3) et (Hf + RU/3) ou zone du tiers moyen de la RU, la plante commence à souffrir de manque d'eau avec une diminution de rendement brusque ou graduelle suivant l'espèce. Enfin, dans la zone comprise entre (Hf + RU/3) et Hf ou zone du tiers inférieur de la RU, la plante manque sérieusement d'eau et son rendement décroît lentement au fur et à mesure que l'on s'approche du point de flétrissement permanent, seuil d'une mort irréversible (KOZLOWSKI, 1968; NIZINSKI *et al.*, 1989). On appelle Rs (Réserve de survie), la réserve d'eau correspondant aux 2/3 inférieurs de la RU. Anonyme (1995) indique que Hc correspond à environ -10kPa; RFU, à l'intervalle de -10kPa à -100kPa; Rs, à l'intervalle de -100kPa à -1500kPa et Hf à environ -1500kPa.

Pour les deux campagnes (Fig. 3.1. et 3.2.; p.30 à 35), les courbes relatives à la parcelle 84-19 se situent toutes dans la zone du tiers inférieur de la RU. Il en est de même pour la 84-26 sauf dans deux cas: ceux des courbes (Fig.3.1.3 f; p.32) et (Fig.3.2.2 e; p.34) qui tombent, par moments, dans la zone du tiers moyen de la RU. En saison sèche, celles des profondeurs (0-20) et (30-50)cm des 3 situations (crête, pente, glacis) sont très proches (1,5 à 3,0%) du point de flétrissement permanent de ces 2 profondeurs (Hf=1,1 à 2,2%: Tabl.IIa, p.19). De plus, entre la litière et la surface du sol, se développent de fines racines d'*Eucalyptus* qui tirent profit de la litière nouvellement décomposée (R. MOREAU, 1994: commun. pers.). Et comme la teneur en eau du sol à la profondeur (0-20)cm est, pendant la saison sèche, très proche du Hf, l'activité et la vie même de ces racines se trouvent compromises. Il est possible que ces racines de surface soient annuelles. Cette proximité du point de flétrissement permanent de la teneur en eau aux profondeurs (0-20) et (30-50)cm en saison sèche et la localisation, même en saison de pluies, de la teneur en eau des 3 profondeurs des 3 situations topographiques dans le tiers inférieur de la RU, expliquent les zones à productivité moindre où des plantes meurent à bas âge, non seulement sur les parcelles à plateau, crête, pente, glacis, mais aussi sur les parcelles installées sur terrain plat (assimilable à un plateau ou à une crête).

Ces sols, initialement abandonnés pour leur infertilité par le paysan, sont sableux (87 à

95% de sables fins et grossiers) et le faible taux de matière organique (M.O.= 0,38 à 0,98% pour (0-20) et (30-50)cm: Tabl.IIIa, p.21) ne leur permet pas de retenir beaucoup d'eau. A Bilala, dans le Mayombe congolais, nous notons 56 à 70% de sables (fins et grossiers) avec M.O.=0,83 à 1,1% pour la profondeur (0-30)cm et la teneur en eau du sol, pour la profondeur (0-40)cm (DAGBA,1993), ne se situe dans le tiers inférieur de la RU qu'en saison sèche ; en saison de pluies, elle se situe dans le tiers moyen de la RU, celle de la profondeur (0-10)cm étant en partie dans le tiers supérieur de la RU.

Pour améliorer la situation, on pourrait envisager des essais d'introduction de légumineuses comme plantes de couverture, en vue d'un apport en azote, d'une diminution de l'ETP et de la lutte contre l'érosion.

3.3.-Teneur en éléments minéraux de la solution du sol .

Pendant la saison sèche (Fig.1, p.27), on n'a pu obtenir aucune extraction de solution du sol: les ordonnées des courbes pendant cette période sont égales à zéro. En fait, ces courbes (Fig. 4.1. et 4.2.; p.36 à 41) ne tiennent compte que des périodes pluvieuses. En début de saison de pluies (42ème et 99ème semaines), on observe un pic pour Ca, Mg et Na des solutions des bougies de 30cm, 60cm et 120cm. Les teneurs sont en général plus faibles dans les bougies de 120cm que dans les autres. La comparaison de nos résultats (Tabl.Va, p.23; Fig.4.1. et 4.2., p. 36-41) avec ceux obtenus au Togo (Tabl.Vb, p. 23) montrent que les teneurs en éléments minéraux des solutions du sol de nos plantations d'*Eucalyptus* sont très faibles. Ainsi, alors qu'on note ici $0,0 \leq K \leq 0,55\text{mg/l}$, on enregistre au Togo, sur les terres n'ayant pas reçu de fumure minérale $0,78 \leq K \leq 6,24\text{mg/l}$, niveaux estimés les plus bas rencontrés en Afrique où le taux moyen de K est de $31,20\text{mg/l}$ (POSS, 1991). De même, pour $0,4 \leq \text{NO}_3 \leq 5,0\text{mg/l}$ - $0,1 \leq \text{Ca} \leq 3,6\text{mg/l}$ et $1,6 \leq \text{Mg} \leq 23,0\text{mg/l}$ ici, les terres du Togo présentent respectivement $6,4 \leq \text{NO}_3 \leq 322,4\text{mg/l}$ - $4,0 \leq \text{Ca} \leq 56,1\text{mg/l}$ et $2,4 \leq \text{Mg} \leq 24,0\text{mg/l}$. De même aussi, les quantités(kg/ha) d'élément sont plus faibles ici (Tabl. Vc, p.24) qu'au Togo. Par exemple, la quantité de K oscille entre 0 et 2,4kg/ha ici alors qu'au Togo, elle varie de 5 à 25kg/ha (avec 80 à 110kg/ha à la maturité des cultures); celle de NO_3^- , entre 0,8 et 11,4kg/ha ici, contre au Togo, 3 à 65kg/ha sur parcelles cultivées (mesure faite sur la profondeur: 0-90cm) et 70 à 200kg/ha sur parcelles nues (0-150cm).

Les sols des plantations d'*Eucalyptus* sont donc pauvres en NO_3^- , K^+ et Ca^{++} . Cette pauvreté en ces 3 éléments (d'autres éléments, le S et le P par exemple, n'ont pu être étudiés par la méthode des bougies poreuses), associée à une teneur en eau très proche du point de flétrissement permanent en saison sèche et située dans le tiers inférieur de la RU, même en saison de pluies, placent ces sols dans une situation critique où il suffit d'une faible variation pour qu'ils se retrouvent au-dessous du point de flétrissement permanent. On sait de plus que ces sols, classés dans la Série des Cirques, présentent une grande variabilité, même sur de faibles distances (Jamet et Riffel, 1976). Cette possibilité de variation, par endroits, autour d'une position critique, explique la faible croissance et la mort de plantes dans certaines zones.

3.4.- Diagnostic foliaire (Tabl. VI a,b,c; p.25)

Le diagnostic foliaire (= DF) consiste à prélever une feuille convenablement choisie (du point de vue de son rang, de son époque de prélèvement, ...)pour révéler et indiquer l'état de "santé minérale" de la plante entière. Dans l'interprétation du DF, on fait souvent appel à la notion de **niveau critique**. On appelle niveau critique d'un élément minéral, la teneur foliaire en cet élément à partir de laquelle tout apport de cet élément comme engrais minéral, n'élève plus le rendement de la plante de façon significative. Il est déterminé sur la courbe de Mitscherlich. On parle de niveau critique :

- théorique : abscisse du point de départ du palier de la courbe (de Mitscherlich)
- ou pratique : abscisse d'un certain pourcentage du maximum de la courbe : 95% (Bennett et al., 1953), 90% (Olsen et al., 1990) ou même 80% du maximum. Ce pourcentage est déterminé à partir de considérations économiques comme le rapport entre le bénéfice prévu sur la récolte

Fig. 5.3.- Schéma général de la relation entre le rendement et la teneur foliaire en éléments minéraux.

(cf. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales par MARTIN-PREVEL et al. p. 84 et 179)

La courbe générale résumant ces différentes notions est représentée à la figure 8.1 et est due à W.L. BERRY (1).

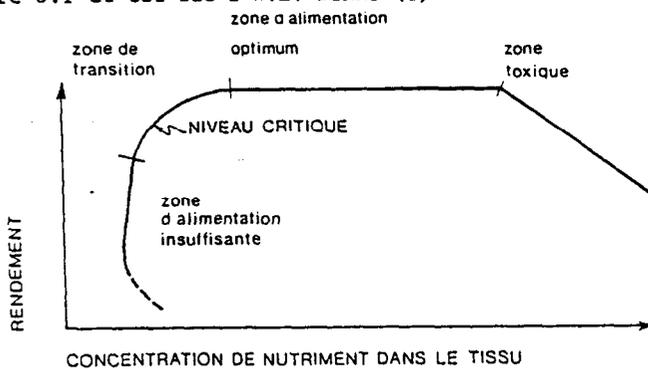


Figure 8.1. -Diagramme schématique de la courbe de calibration des éléments nutritifs montrant la localisation des zones d'alimentation

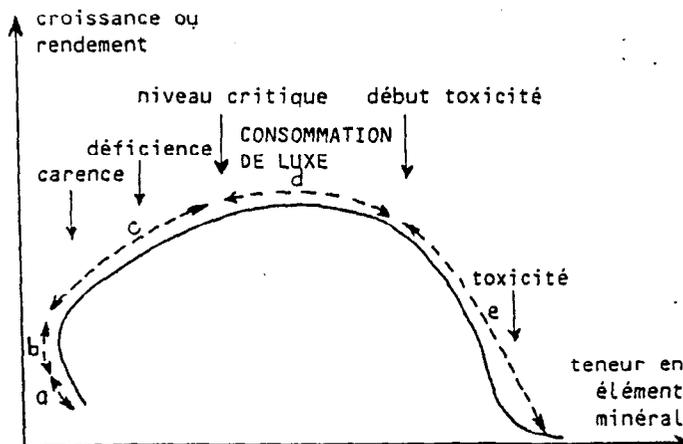


Figure 4.3. - Relations générales entre croissance ou rendement et teneur en éléments minéraux

D'après P. PREVOT et M. OLLAGNIER(1956)

et le coût local de l'engrais fourni au sol.

Une telle définition laisse penser - et beaucoup de chercheurs n'ont pas manqué de le faire - que le niveau critique est un point, un seuil bien défini. Or la courbe de Mitscherlich est établie en supposant constante la concentration des autres éléments minéraux; cela se traduit, dans l'équation de cette courbe, par une constante c qui varie avec la concentration de ces éléments. De ce fait, la courbe varie et, avec elle, la position du niveau critique, suivant la concentration racinaire des autres éléments (Fig. 5.3 bis). En fait, le niveau critique n'est pas un point mais une zone, une plage de points, mise en évidence dans des études d'interaction entre éléments minéraux tant au laboratoire sur *Aspergillus niger* par Lavollay dans les années 1939 qu'en champ sur plusieurs plantes (arachide, palmier, ananas,...) par Prévot et Ollagnier (1956, 1961) et Martin Prével (1961: cf. Fig. 5.3 bis). De plus, le niveau critique dépend de l'espèce ou de la variété (Drechsel et al. , 1991), de l'âge (Sobrado, 1992, 1994; Drechsel et al. , 1991), de la température (Lahav et al. , 1985), de la saison (Schönau, 1981), des facteurs climatiques et édaphiques (Herbert, 1991). Signalons aussi que les résultats d'analyses chimiques varient d'un laboratoire à l'autre et que les différences entre laboratoires dépassent parfois l'amplitude entre déficience et nutrition optimale (Marchal et al., 1980).

Devant une telle variation, on a pensé aux rapports entre éléments. Mais ces derniers se révélèrent moins fixes que prévu. Beaufils (1961, 1973) créa alors l'indice ou système DRIS ("Diagnosis and Recommendation Integrated System" = système intégré de diagnostic et de recommandation) où il tient compte non seulement des rapports entre éléments mais aussi du rendement et des conditions du milieu et de cultures. Ainsi, l'optimum d'une teneur foliaire peut être déterminé non seulement sur une courbe de Mitscherlich mais aussi sur une courbe de second degré dont l'ordonnée est occupée par la teneur foliaire et l'abscisse par un facteur du milieu (température, éclairage, pH, taux des éléments minéraux du sol, ...); et l'optimum d'un rapport entre deux éléments minéraux, déterminé sur une courbe de second degré où l'un des deux éléments est à l'ordonnée et l'autre, à l'abscisse. En fin de compte, "pour la détermination des niveaux critiques, il convient de disposer d'un nombre considérable d'expériences de fumure minérale..." (Prévot et Ollagnier, 1956). Et les résultats d'un chercheur doivent être considérés comme un élément d'une banque de données (Martin-Prével, 1980).

En ce qui concerne nos analyses foliaires dont le nombre (=1) de répétitions est très faible, nous les comparerons aux niveaux critiques connus et examinerons la courbe de rendement en fonction de la teneur foliaire en l'un de ces éléments. Nous considérons ces résultats comme un élément d'une banque de données auquel viendront par la suite s'ajouter d'autres éléments.

3.4.1.- Comparaison des teneurs observées aux niveaux critiques connus (Tabl. VI a,b; p. 25).

Azote. Yost et al. (1987), à Hawaï (19°30'N, 155°15'W), sur des plants de *E. saligna* âgés de 2 ans, déterminent un niveau critique de $1,03 \leq N \leq 1,52\%$. Olsen et al. (1990), sur 6 espèces d'eucalyptus cultivées dans le Newlands pendant 16 semaines à la serre ($T^\circ \text{ min.} : 16-20^\circ\text{C}$ - $T^\circ \text{ max.} : 29-40^\circ\text{C}$) indiquent, pour les 3 plus jeunes feuilles adultes prélevées ensemble, un niveau critique de $1,3 \leq N \leq 1,8$. Pour la plus jeune feuille adulte, Bell (1985) trouva $1,16 \leq N \leq 1,95$ chez *E. camaldulensis* et $0,64 \leq N \leq 1,20$ chez *E. tetradonta*; Schönau et al. (1982), 2,0% chez *E. grandis* âgé de 6 à 34 mois; Lamb (1977), 2,10% chez *E. deglupta*; Drechsel et al. (1991), $1,19 \leq N \leq 2,08\%$ chez *E. saligna* âgé de 3-4 ans, Dell et al. (1993), $1,7 \leq N \leq 2,6\%$ chez *E. maculata* de 6-12 semaines, Judd et al. (1996) enfin, $N=2,5\%$ chez *E. globulus* âgé de 1 à 4 ans. Nos plantes et leurs rejets sont âgés respectivement de 4 ans et de 6 mois. Les plants de la pente de la parcelle 84-26, avec un taux foliaire en N de 1,0% (Tabl. VIa, p.25), témoignent d'une déficience sévère en N selon Dell et al. (Tabl. VIb, p.25) qui définissent comme plage de déficience sévère, l'intervalle ($1,0 \leq N \leq 1,2\%$). Chez les autres plantes, les teneurs se situent entre 1,42% et 2,22% et peuvent être considérées comme convenables.

Phosphore. Les niveaux critiques connus sont: $0,12 \leq P \leq 0,16\%$ (Yost et al. , 1987)- $0,07 \leq P \leq 0,21\%$ (Olsen et al. , 1990)- $0,08 \leq P \leq 0,16\%$ chez *E. camaldulensis* et $0,05 \leq P \leq 0,10\%$ chez *E. tetradonta* (Bell, 1985)- $0,10\%$ chez *E. marginata* ou chez *E. calophylla* et $0,15\%$ chez

E. diversicolor (Barrow, 1977)-0,17% chez *E. grandis* (Schönau et al., 1982)- $0,09 \leq P \leq 0,19$ chez *E. saligna* (Drechsel et al., 1991) - $0,10 \leq P \leq 0,26\%$ chez *E. maculata* (Dell et al., 1993) et $P=0,23\%$ chez *E. globulus* (Judd et al., 1996). Sur les parcelles de Hinda, les teneurs foliaires en P se situent entre 0,14 et 0,27% (Tabl.VIa, p.25). Il ne semble pas y avoir de déficience en P.

Soufre. Les niveaux critiques connus sont: $0,10 \leq S \leq 0,15\%$ (Yost et al., 1987)- $0,22 \leq S \leq 0,28\%$ (Drechsel et al., 1991) et $0,18 \leq S \leq 0,42\%$ (Dell et al., 1993). Les plantes de la pente de la parcelle 84-26, avec une teneur foliaire de 0,15% en S (Tabl.VIa, p.25), souffrent d'une légère déficience en S selon Dell et al. (1993; Tabl.VIb, p.25) qui ont défini comme intervalle de légère déficience, $0,14 \leq S \leq 0,16\%$.

Potassium. Les niveaux critiques connus sont: 0,70% (Schönau et al., 1982)- $0,95 \leq K \leq 1,28\%$ (Yost et al., 1987)- $0,51 \leq K \leq 1,18\%$ (Drechsel et al., 1991) et $1,0 \leq K \leq 1,7\%$ (Dell et al., 1993; Tabl. VIb, p.25). Les teneurs foliaires des eucalyptus de nos 2 parcelles de Hinda se situent entre 1,05 et 1,2% (Tabl.VIa, p.25). Apparemment, ces teneurs en K sont correctes.

Calcium. Les niveaux critiques connus sont: $0,51 \leq Ca \leq 0,67\%$ (Yost et al. 1987)-0,69% (Drechsel et al., 1991) et $0,29 \leq Ca \leq 0,40\%$ (Dell et al., 1993; Tabl. VIb, p.25). Les teneurs foliaires se situent entre 0,27 et 0,42% (Tabl.VIa, p.25) sur les 2 parcelles de Hinda. Elles seraient convenables selon Dell et al. mais faibles selon Yost et al. ou Drechsel et al.

Magnésium. Les niveaux critiques connus sont: $0,22 \leq Mg \leq 0,33\%$ (Yost et al. 1987)- $0,22 \leq Mg \leq 0,37\%$ (Drechsel et al., 1991) et $0,09 \leq Mg \leq 0,24\%$ (Dell et al., 1993; Tabl. VIb, p.25). Sur les 2 parcelles de Hinda, les teneurs foliaires sont $0,23 \leq Mg \leq 0,31\%$ (Tabl.VIa, p.25). Elles seraient correctes suivant les deux premiers chercheurs mais élevées suivant le dernier.

Résumé. Les niveaux critiques connus pour chaque élément indiquent une déficience sévère en N et faible en S sur les plantes qui poussent sur la pente de la parcelle 84-26. Ils semblent indiquer également un taux faible en Ca sur toutes les plantes des 2 parcelles.

3.4.2.- Rapports entre éléments minéraux (Tabl. VI d, e; p. 26)

Nous envisageons de comparer les rapports entre éléments minéraux obtenus (Tabl. VI d; p. 26) à Hinda avec les optima des mêmes rapports préconisés par d'autres chercheurs. Seul le rapport N/P a fait l'objet de nombreuses études.

Rapport N/P. Comme optimum, on trouve $4 \leq N/P \leq 10$ pour les 6 espèces étudiées par Olsen et al., (1990), $6 \leq N/P \leq 11$ chez *E. camaldulensis* et $5 \leq N/P \leq 15$ chez *E. tetròdonta* (Bell, 1985), $N/P = 15$ chez *E. globulus* et *E. sieberi* (Cromer et al., 1981), $N/P = 10$ chez *E. deglupta* (Lamb, 1977), $N/P = 11,9$ chez *E. grandis* (Lacey et al., 1966), $10 \leq N/P \leq 16$ chez *E. grandis* (Schönau et al., 1982), $7,9 \leq N/P \leq 10,1$ chez *E. saligna* (Yost et al. 1987), $11 \leq N/P \leq 12$ chez *E. globulus* âgé de 1 an et $15 \leq N/P \leq 16$ chez *E. globulus* âgé de 4 ans (Judd et al., 1996). Sur les 2 parcelles de Hinda, ce rapport varie, suivant les situations topographiques, entre 7,1 et 9,9. On peut le considérer comme acceptable suivant certains niveaux critiques, faible suivant d'autres.

Les autres rapports (Tabl. VI d, e; p. 26). Seuls Yost et al. (1987) ont proposé un optimum pour chacun des autres rapports. La comparaison des rapports entre éléments obtenus à Hinda avec ces optima (Tabl. VI d vs VI e; p. 26) montre que

- tous les rapports où S est au dénominateur (N/S, P/S, K/S, Ca/S, Mg/S) sont inférieurs au seuil inférieur de l'optimum préconisé. Exemple de N/S : optimum préconisé = $8,46 \leq N/S \leq 11,69$ rapports sur 84-19 = $6,72 \leq N/S \leq 7,18$ - rapports sur 84-26 = $6,52 \leq N/S \leq 7,10$. Cela indique une carence ou une déficience des éléments au numérateur: N, P, K, Ca et Mg.

- tous les rapports où Ca est au dénominateur (N/Ca, P/Ca, K/Ca) sont supérieurs à la limite supérieure de l'optimum préconisé. Exemple de P/Ca : optimum préconisé = $0,21 \leq P/Ca \leq 0,29$ rapports sur 84-19 = $0,51 \leq P/Ca \leq 0,66$ - rapports sur 84-26 = $0,33 \leq P/Ca \leq 0,56$.

Cela indique une carence ou une déficience en Ca. Cela laisse supposer aussi, pour nos plantes de Hinda, un optimum supérieur à celui préconisé, comme dans le cas noté plus haut du rapport N/P chez *E. grandis* ($10 \leq N/P \leq 16$) et chez *E. saligna* ($7,9 \leq N/P \leq 10,1$).

- les rapports où K (ou Mg) est au dénominateur (N/K, P/K, N/Mg, P/Mg, K/Mg) sont, une partie, à l'intérieur de l'intervalle de l'optimum préconisé et l'autre, au-delà de cet intervalle.

On peut en déduire que, comme dans le cas de Ca, un optimum supérieur à celui préconisé, pourrait aussi être envisagé ici. Cela fait penser aux optima préconisés pour *E. grandis* et *E. saligna* :

$0,21 \leq P/K \leq 0,26$ (Schönau et al., 1982) vs $0,10 \leq P/K \leq 0,15$ (Yost et al. 1987)

$N/K=3$ (Schönau et al., 1982) vs $0,87 \leq N/K \leq 1,55$ (Yost et al. 1987)

- le rapport Ca/Mg, dans nos 2 parcelles, est inférieur au seuil inférieur de l'intervalle de l'optimum préconisé. Ainsi : optimum préconisé = $1,76 \leq Ca/Mg \leq 2,44$

rappports sur 84-19 = $1,17 \leq Ca/Mg \leq 1,52$ - rappports sur 84-26 = $1,10 \leq Ca/Mg \leq 1,56$.

Cela confirme la carence ou la déficience en Ca (ici Ca est au numérateur) observée dans les rappports entre éléments où Ca est au dénominateur.

Résumé. Le rapport Ca/Mg et les rappports où S se trouve au dénominateur sont inférieurs au seuil optimal proposé par Yost et al. (1987). C'est le signe du besoin d'un apport des éléments (N, P, K, Ca, Mg) comme engrais minéral. La déficience en N et Ca observée plus haut se trouve ainsi confirmée.. Les rappports ayant au dénominateur l'un des cations, sont souvent supérieurs à l'optimum préconisé. Il est possible que ces optima ne soient pas adaptés aux conditions de Hinda ou au clone 2-13. Et on a étudié la relation rendement/ teneur foliaire qui peut nous apporter des renseignements complémentaires.

3.4.3.- Courbe de rendement (ou de croissance) en fonction de la teneur foliaire en un élément minéral donné.

3.4.3.1.- Rappel bref. Cette courbe classique (Fig. 5.3, en bas; entre p. 6 et 7) de Prévot et Ollagnier (1956) présente successivement, au fur et à mesure que l'abscisse croît, une zone d'ambiguïté, de déficience, de niveaux critiques, de consommation de luxe et enfin de toxicité.

La "zone d'ambiguïté" (Fig. 5.4 a; en face p.9) est caractérisée par le fait qu'à un point de l'abscisse correspondent deux ordonnées qui peuvent être assez éloignées l'une de l'autre (Fig. 5.4 b,c; en face p.9). Dans la partie inférieure de cette zone, la courbe est en général décroissante : plus la teneur foliaire est élevée, plus le rendement (ou croissance) est faible. C'est la plage de carence grave ou aigue, domaine de l'"effet d'auto-dilution", forme classique d'interaction entre éléments minéraux. Dans la partie supérieure de cette zone, la courbe est croissante et, correspond, en général, à la plage de carence. Il arrive qu'elle dépasse cette plage de carence (Fig. 5.4 b,c) pour tomber dans celle de la déficience .

3.4.3.2.- Interprétation des données sur les plantes des parcelles de Hinda.

Nous allons établir la courbe de rendement [circonférence du tronc secondaire (celui des rejets) et du tronc principal (celui d'où est issu le rejet)] en fonction de la teneur foliaire en un élément minéral donné et essayer de localiser sur cette courbe, comparativement aux Fig. 5.3 (courbe du bas; entre p. 6-7) et 5.4a,b,c (verso p. 8), une zone " d'ambiguïté", de carence, de déficience ou de niveau critique. Chaque point de cette courbe (Fig. 5.1 et 5.2; verso p.9 et 10), caractérisé par ses ordonnées, correspond à une situation topographique donnée que nous définissons aussi par les mêmes coordonnées.

Les échantillons foliaires ont été prélevés sur les rejets et représentent en principe les rejets. On peut se demander s'ils représentent aussi les tiges principales. Dans le cas de la parcelle 84-26 (Fig. 5.1 et 5.2 d,e,f; verso p.9 et 10) où les courbes relatives aux rejets et celles relatives aux tiges principales sont semblables, on peut répondre par l'affirmative. Dans celui de la parcelle 84-19 où les courbes (Fig. 5.1 et 5.2 a, b, c; verso p.9 et 10) ne sont pas semblables, nous pensons que cette différence est due à une concurrence nutritive entre rejets et troncs principaux.

3.4.3.2.1.-Anions (Fig. 5.1, verso p.9)

- Parcelle 84-19. (Fig. 5.1 a,b,c; verso p.9)

Azote. (Fig. 5.1a, verso p.9). La courbe des rejets est décroissante de la pente (1,58%N-8,9cm) à la crête (1,68%N-8,2cm); nous sommes dans la partie inférieure de la zone d'ambiguïté. On en déduit que les plantes qui poussent sur la crête souffrent de carence grave en N et celles qui poussent sur la pente, de carence grave aussi ou simplement de carence. De la pente au glacis (2,22%N-11cm), la courbe est croissante; les plantes qui se développent sur le glacis souffrent de carence ou peut-être de déficience en N.

La courbe des tiges principales est croissante. On peut admettre une carence sur les

plantes de la pente (1,58%N-25,1cm), une carence ou une déficience sur celles de la crête (1,68%N-32,1cm) et une déficience ou une nutrition acceptable sur celles du glacis (2,22%N-35cm). Ce résultat laisse penser à une compétition nutritive entre rejets et tiges principales, sur la crête.

Soufre. (Fig. 5.1b, verso p.9). Ici, la courbe des rejets et celle des tiges principales sont semblables à celles de la fig.5.1a. On en déduit

- chez les rejets, une carence grave en S sur les plantes qui poussent sur la crête (0,25%S-8,2cm), une carence grave ou simple sur celles de la pente (0,22%S-8,9cm), puis une carence ou une déficience sur celles du glacis (0,31%S-11,0cm)

- chez les tiges principales, une carence en S sur les plantes de la pente (0,22%S-25,1 cm), une carence ou une déficience sur celles de la crête (0,25%S-32,1cm) et une déficience ou une nutrition acceptable sur celles du glacis (0,31%S-35cm). Comme pour N, une compétition nutritive peut expliquer que, sur la crête, les rejets souffrent de carence grave alors que les tiges principales souffrent d'une simple carence ou d'une déficience.

Phosphore(Fig. 5.1c, verso p.9). La courbe des rejets est croissante. Les plantes qui poussent sur la crête (0,17%P-8,2cm) et sur la pente (0,18%P-8,9cm) souffrent de carence en P et celles qui poussent sur le glacis (0,27%P-11cm), de déficience en P.

La courbe des tiges principales présente une zone d'ambiguïté dont la partie décroissante va de la crête (0,17%P-32,1cm) à la pente (0,18%P-25,1cm) et la partie croissante, de la crête au glacis (0,27%P-11cm). Les eucalyptus qui poussent sur la pente souffrent de carence grave en P; ceux qui poussent sur la crête, soit de carence grave, soit de carence simple en P; ceux enfin qui poussent sur le glacis pourraient présenter une déficience en P. Ici, à l'inverse de ce que nous avons observé pour N et S, ce sont les tiges principales qui manifestent une carence grave là où les rejets manifestent une simple carence. Il semble que les rejets privent les tiges principales de P tandis que ces dernières privent les rejets de N et de S.

- Parcelle 84-26 (Fig. 5.1 d,e,f; verso p.9).

Les teneurs foliaires en anions sont plus élevées sur la parcelle 84-19 que sur la parcelle 84-26: $1,58\% \leq N \leq 2,22\%$ vs $1,00\% \leq N \leq 1,63\%$; $0,22\% \leq S \leq 0,31\%$ vs $0,15\% \leq S \leq 0,25\%$ et $0,17\% \leq P \leq 0,27\%$ vs $0,14\% \leq P \leq 0,20\%$. Les courbes (Fig. 5.1d,e,f; verso p. 9) des rejets et des tiges principales de la parcelle 84-26 sont toutes croissantes. On peut en déduire une carence ou une déficience. Même sur la crête où les plants sont les plus vigoureux, une déficience est à retenir du fait que les faibles teneurs foliaires de la parcelle 84-26 se situent entièrement ou partiellement dans la zone d'ambiguïté observée sur la parcelle 84-19 : $1,00\% \leq N \leq 1,63\%$ compris entièrement dans l'intervalle $1,58\% \leq N \leq 1,68\%$; $0,15\% \leq S \leq 0,25\%$, en partie dans l'intervalle $0,22\% \leq S \leq 0,25\%$; et $0,14\% \leq P \leq 0,20\%$, en partie aussi dans l'intervalle $0,17\% \leq P \leq 0,18\%$. Cette hypothèse de déficience des plants situés sur la crête est en accord, au moins pour l'azote, avec les observations de Dell et al. (1993) qui ont défini comme zone de "déficience sévère" en azote, l'intervalle $1,0\% \leq N \leq 1,2\%$.

3.4.3.2.2.- **Cations** (Fig. 5.2, verso p.10)

Potassium (Fig. 5.2 a,d; verso p.10).

- Parcelle 84-19 (Fig. 5.2a; verso p.10). Les deux courbes, celle des rejets et celle des tiges principales, sont toutes deux décroissantes. Elles se situent, de ce fait, dans la partie inférieure de la zone d'ambiguïté. Il y a donc carence grave en K sur toutes les plantes quel que soit le site:

- rejets : glacis (1,05%K-11cm), pente (1,14%K-8,9cm) et crête (1,2%K-8,2cm)

- tiges princ.: glacis (1,05%K-35cm), pente (1,14%K-25,1cm) et crête (1,2%K-32,1cm)

Les teneurs foliaires de nos eucalyptus se situent ainsi dans la gamme $1,05\% \leq K \leq 1,20\%$ alors que les niveaux critiques préconisés par Drechsel et al. (1991) ou Dell et al. (1993) se situent respectivement dans l'intervalle $0,51\% \leq K \leq 1,18$ ou $1,0\% \leq K \leq 1,7\%$ (Tabl.VIb, p. 25). C'est dire que la zone d'ambiguïté, dans sa portion ascendante ici inexistente, atteint et recouvre une bonne partie de la plage du niveau critique définie par Dell et al. (1993).

- Parcelle 84-26 (Fig. 5.2d, verso p.10). Les deux courbes, celle des rejets et celle des tiges principales, présentent chacune une zone d'ambiguïté avec une portion décroissante, du

plateau (1,05%K) à la pente (1,2%K) et une portion ascendante, du plateau (1,05%K) à la crête (1,18%K) en passant par le glacis (1,08%K). La portion décroissante des deux courbes indique une carence grave en K sur les eucalyptus qui se développent sur la pente (1,2% - 21,5cm). Avec la portion ascendante, il est difficile de savoir s'ils sont dans l'aire de carence, de déficience ou de niveaux critiques. On peut admettre une carence grave ou simple pour les eucalyptus du plateau (1,05%-29,8cm), une carence simple ou une déficience pour ceux du glacis (1,08%-35,8cm) et une déficience ou une nutrition acceptable pour ceux de la crête (1,18%-37,2cm). La zone d'ambiguïté, avec ici une portion ascendante réelle, recouvre effectivement une partie de la plage du niveau critique définie par Drechsel et *al.* (1991) ou Dell et *al.* (1993).

Calcium. (Fig. 5.2b, e; verso p.10)

- Parcelle 84-19 (Fig. 5.2b; verso p.10). Pour les rejets, la courbe est croissante. On peut admettre une carence sur les plantes qui poussent sur la crête (0,27%Ca-8,2cm) ou sur la pente (0,35%Ca-8,9cm) et une déficience sur celles qui poussent sur le glacis (0,41%Ca-11cm).

Pour les tiges principales, une zone d'ambiguïté apparaît: la courbe est d'abord décroissante (de la crête à la pente) puis croissante (de la crête au glacis). Cela indique une carence grave sur les eucalyptus qui se développent sur la pente (0,35%Ca-25,1cm), une carence grave ou simple sur ceux qui se développent sur la crête (0,27%Ca-32,1cm) et enfin une carence simple ou une déficience sur ceux qui se développent sur le glacis (0,41%Ca-35cm). La carence est plus accusée sur les tiges principales que sur les rejets. Il est possible que ces tiges principales cèdent des éléments minéraux aux rejets dans le cadre d'une compétition nutritive ou que les rhizosphères exploitées par rejets et tiges principales ne soient pas les mêmes .

- Parcelle 84-26 (Fig. 5.2e, verso p.10). Les tiges principales de la crête (0,32% - 37,2cm), du plateau (0,34% -29,8cm) et de la pente (0,42% -21,5cm) se situent dans la partie décroissante de la "zone d'ambiguïté". Il en est de même celles du glacis (0,39% -35,8cm) : teneur en Ca plus élevée et circonférence du tronc plus faible que chez les plantes de la crête. On en déduit une carence aigüe en Ca sur les eucalyptus de tous les sites. La courbe des rejets est semblable à celle des tiges principales; il s'ensuit que les rejets souffrent aussi de carence grave en Ca sur tous les sites.

Magnésium (Fig. 5.2c, f; verso p.10)

- Parcelle 84-19 (Fig. 5.2c; verso p.10). Pour les rejets, la courbe est d'abord croissante puis légèrement décroissante. On peut en déduire une carence en Mg sur les plantes qui poussent sur la crête (0,23%Mg-8,2cm) et peut-être une simple déficience sur celles qui poussent sur la pente (0,30%Mg-8,9cm) ou sur le glacis (0,27%Mg-11cm).

Pour les tiges principales, la courbe est d'abord décroissante (de la crête à la pente) puis croissante (de la crête au glacis), présentant ainsi une zone d'ambiguïté. De la crête (0,23%Mg-32,1cm) à la pente (0,30%Mg-25,1cm), nous sommes dans la partie inférieure de la "zone d'ambiguïté" et il y a carence grave en Mg, au moins sur les eucalyptus de la pente. De la crête (0,23%Mg-32,1cm) au glacis (0,27%Mg-35cm), nous sommes dans la partie ascendante de la "zone d'ambiguïté" et il y a carence simple ou déficience en Mg sur les eucalyptus du glacis. La crête, intermédiaire entre les deux autres situations topographiques, peut être considérée comme portant des arbres affligés d'une carence grave ou simple en Mg. Comme dans le cas du Ca, la carence en Mg est plus accusée sur les tiges principales que sur les rejets.

- Parcelle 84-26 (Fig. 5.2f, verso p.10).

Les deux courbes, celle des rejets et celle des tiges principales, présentent chacune une zone d'ambiguïté avec une portion décroissante et une portion croissante, caractérisées comme suit :

. rejets

- portion décroissante : du glacis (0,26%Mg-8,4cm) à la pente (0,27%Mg-6,2cm)
et du glacis (0,26%Mg-8,4cm) au plateau (0,31%Mg-6,9cm)
- portion croissante : du glacis (0,26%Mg-8,4cm) à la crête (0,28%Mg-11,3cm)

. tiges principales

- portion décroissante : du glacis (0,26%Mg-35,8cm) à la pente (0,27%Mg-21,5cm)
et du glacis (0,26%Mg-35,8cm) au plateau (0,31%Mg-29,8cm)
- portion croissante : du glacis (0,26%Mg-35,8cm) à la crête (0,28%Mg-37,2cm)

On en déduit, aussi bien chez les rejets que chez les tiges principales, une carence grave en Mg sur les eucalyptus de la pente et du plateau, une carence grave ou simple sur ceux du glacis et une déficience ou une nutrition correcte sur ceux de la crête.

3.4.3.2.3.- Essai de synthèse.

L'intensité de la malnutrition (carence grave, simple ou déficience) est la même sur les rejets et les tiges principales de la parcelle 84-26. Il n'en est pas toujours de même sur la parcelle 84-19. La raison exacte nous échappe. Sur la parcelle 84-19 en effet, lorsque les rejets présentent une carence aigue (cas de N et S), les tiges principales montrent une carence simple. Lorsqu'ils présentent une carence simple (cas de P, Ca et Mg), les tiges principales montrent une carence aigue. Il semble qu'il y ait compétition nutritive entre rejets et tiges principales. Dans le cas du K, tiges principales et rejets souffrent tous deux de carence aigue. La carence en K serait nettement plus sévère.

Dans les deux parcelles, on constate, sur toutes les plantes, notamment sur celles de la pente, une carence aigue en K, Ca et Mg. Laclau (1997), dans une étude de minéralomasse au cours du temps au Congo, montre que la totalité du Mg et 65% du K sont incorporés dans l'*Eucalyptus* pendant les deux premières années de sa vie. Judd et al. (1996) montrent en outre, sur *E. globulus* en Australie, qu'un apport de N,P,K, 2, 9, 14 et 26 mois après la date de plantation, élève la croissance de la plante pendant les quatre années d'expérimentation mais n'élève les teneurs en N, P, K de la feuille prélevée pour le D.F. que durant la première année. Ces teneurs étant déjà faibles dans le sol de Hinda, on comprend que le taux foliaire de ces éléments, sur des plantes âgés de plus de deux ans, révèle une carence grave.

Une carence aigue en N, S et P se manifeste sur les plantes de la crête et de la pente de la parcelle 84-19 tandis qu'un facteur limitant restreint, chez les arbres du glacis de la parcelle 84-26, l'assimilation de ces mêmes anions. Il s'agit probablement d'une interaction entre anions et cations liée à la carence grave en cations. Une carence ou déficience en oligo-élément (s) peut aussi en être la cause.

Ces résultats sont conformes à ceux observés lors de l'analyse du sol ou de la solution du sol. Ils sont aussi en accord avec le fait que les plantations d'*Eucalyptus* sont établies sur des sols abanbonnés par les paysans pour leur infertilité.

3.5.- Croissance radiale au cours du temps.

A l'aide des mesures de circonférence, nous voulons apprécier l'influence de la topographie et de la saison sur la croissance des eucalyptus et essayer de comparer, dans la mesure du possible, le taux de croissance à Hinda à ceux obtenus ailleurs.

Les figures 6.2b et d (p.43) présentent un palier à partir de l'abscisse 14 : les ressorts des microdendromètres, rouillés par l'eau des pluies, sont bloqués. Il semble qu'une mesure au mètre couturier, au millimètre près, soit préférable à une mesure au microdendromètre, si l'expérience devait durer plus de 8-10 mois sous un climat tropical.

3.5.1.- Effet des différentes situations topographiques.

Sur les 2 parcelles, la circonférence du tronc (Fig.6.1a,b; p.42) dans la pente est la plus faible des situations topographiques étudiées. La teneur en NO_3^- , Mg^{++} et en Na^+ de la solution du sol recueillie dans la pente est également la plus faible des 3 situations (plateau, pente, glacis) pour les 3 profondeurs (Fig.4.1.1 à 4.1.3b,e,f; 4.2.1 à 4.2.3b,e,f; p.36-41). Une carence aigue en N, K, Ca et Mg, très accusée dans la pente, a été révélée par le diagnostic foliaire. Ces faibles teneurs expliquent ce développement faible de la plante dans la pente.

Sur la parcelle 84-19, la circonférence du tronc dans la crête est inférieure (Fig. 6.1a; p. 42) à celle du tronc dans les 2 glacis. Sur la parcelle 84-26 (Fig. 6.1b; p.42), elle est par contre supérieure à celle observée dans les 2 glacis; les plants du plateau (Fig. 6.1b, p.42)

présentent la même circonférence que ceux du glaciis a (mois n° 16 et 19) avec une légère chute entre les mois n° 19 et 25.

3.5.2.- Effet des saisons.

Dans les 2 parcelles, la vitesse de croissance (Fig. 6.1a,b; p.42) est plus élevée de janvier à juillet (saison de pluies: de mi-octobre à mi-mai) que de juillet à janvier (saison sèche: de mi-mai à mi-octobre). La croissance est rythmique: accélérée en saison humide et ralentie en saison sèche. Ce ralentissement est lié, à notre avis, à la teneur en eau du sol, à la température et à l'éclairement plus faibles en saison sèche qu'en saison de pluies.

Sur la figure 6.2c (p.43) par exemple, on observe aussi un arrêt ou un retrait de croissance de l'abscisse 5 (=12.10.94) à 6 (=09.11.94) suivi d'un changement de pente (pente plus élevée) de l'abscisse 6 (=09.11.94) à 12 (= 26.04.95) et, plus loin, de l'abscisse 18 (=11.10.95) à 24 (=27.03.96 : fin des mesures). La vitesse de croissance est ainsi plus élevée en saison de pluies qu'en saison sèche. Ces résultats sont en accord avec ceux de Poupon (1971, 1972) qui a noté, en Tunisie du Nord, chez *E. camaldulensis* et d'autres espèces, une croissance active d'octobre à mai (automne-hiver-printemps : saison pluvieuse) suivie d'un arrêt ou d'un retrait de croissance de juin à septembre (été : saison sèche). La concordance de ces résultats obtenus en Tunisie (Hémisphère Nord) et au Congo (Hémisphère Sud) met l'accent sur l'importance du facteur eau dans cette croissance radiale, les facteurs degré de température et intensité d'éclairement étant inversés (faible ou élevé) d'un Hémisphère à l'autre au cours du même mois pour la même latitude(N ou S). En Afrique du Sud, Schönau et Grey (1987) cités par Boden (1991) ont montré que l'eau était le principal facteur limitant de la croissance des arbres. A ce sujet, Nautiyal et al. (1994) transplantent de jeunes pousses d'eucalyptus hybride(*E. camaldulensis* x *E. teriticornis*) âgées d'un an dans des pots (1 plant/pot) remplis de terre. Après 15 jours d'acclimatation à la serre, ces pots, répartis en 5 lots, reçoivent un arrosage de 500cm³ d'eau par pot, soit par jour (témoin), soit à intervalle de 4, 7, 10 ou 15 jours. La circonférence au collet, mesurée après 3 mois est de :

Intervalle (jr) d'arrosage :	1	4	7	10
Circonférence (cm)	3,8	3,1	2,4	1,4

En 3 mois, la plante arrosée tous les jours a une circonférence 2,7 fois plus grande que celle arrosée tous les 10 jours.

3.5.3.- Comparaison de taux de croissance.

Bien que les conditions climatiques et expérimentales ne soient jamais semblables d'un milieu à l'autre, il peut être intéressant comparer le taux de croissance de l'eucalyptus à Hinda à ceux obtenus ailleurs. Exposons les résultats de trois essais réalisés ailleurs qu'au Congo.

Honeysett et al. (1992) étudient à Esperance Valley, au sud-est de la Tasmanie (Australie), de novembre 1986 à avril 1988, des plants de *E. nitens* et de *E. delegatensis* âgés de 3-4 ans au début de l'expérimentation (Date de plantation: janvier 1983; densité: 2 500 plants/ha; épandage d'engrais: une ou deux fois pendant la saison de culture jusqu'à l'âge de 4 ans). La pluviométrie annuelle est de 916 à 1132mm (1984-1988) avec une saison de culture de novembre à avril. Les précipitations sont deux fois plus élevées en 1986/87 qu'en 1987/88. La circonférence du tronc est mesurée à 130cm au-dessus du sol. Voici les résultats :

	nov. 86	av. 87	nov. 87	av. 88	Différence
Circonférence (cm)					
<i>E. nitens</i>	22,0	26,8	30,6	33,0	11,0
<i>E. delegatensis</i>	18,7	22,4	25,5	27,1	8,4

A Hinda où les plantes sont du même âge, la circonférence la plus faible au départ (janvier 94) est de 13,9cm (pente parc. 84-26) et la plus forte après 18 mois, de 36,7cm (crête parc. 84-26). Au cours de cette période, les accroissements sont de 7,6-6,6-7,6-10,2-3,8 et 5,4cm respectivement pour les plantes de la crête, de la pente et du glaciis ancien des parcelles 84-19 et 84-26. Seul donc l'accroissement (10,2cm) des plantes de la crête de la parcelle 84-26 se situe

entre celui de *E. delegatensis* (8,4cm) et celui de *E. nitens* (11,0cm). Tous les autres leur sont inférieurs. De plus, aux valeurs extrêmes des circonférences (18,7cm et 33,0cm à Esperance Valley - 13,9cm et 36,7cm à Hinda) correspondent les surfaces terrières (somme des sections des troncs par hectare à 1,30m au-dessus du sol) respectives suivantes: 697dm², 2 164dm², 61dm² et 428dm². L'accroissement de croissance radiale plus faible et les valeurs extrêmes également plus faibles des surfaces terrières montrent que le sol de Hinda est plus pauvre que celui de Esperance Valley. Mais les conditions expérimentales ne sont pas tout à fait les mêmes : pluviométrie = [(1200-1700mm) vs (816-1132 mm)], écartement = [(5m x 5m) vs (2m x 2m)] et température moyenne annuelle = [(25°-26°C) vs (inconnue)].

Fonweban et al. (1997) étudient *E. saligna* à Bana (Cameroun): altitude = 2097m, pluviométrie annuelle = 1800mm, écartement initial = 2m x 2m, densité lors des mesures = 1650 plants/ha, température moyenne annuelle (non indiquée), température moyenne annuelle à Bafut (1800-2000m d'altitude) = 18,9°C, climat du type guinéen d'altitude avec une saison sèche de 2 à 3 mois, sol du type ferrallitique rouge. Les plants âgés de 3 et 5 ans ont une circonférence respective de 25,1cm et 31,4cm. Les plants de 3 et 5 ans du glacis ancien (25,7 et 34,3cm) de la parcelle 84-19 et de la crête (26,5 et 38,4cm) de la parcelle 84-26 sont plus gros que leurs homologues de Bana. Les autres plants de Hinda sont plus petits (13,9cm par exemple) que ceux de Bana. En 2 ans, l'accroissement radial à Hinda est plus élevé (7,4cm à 11,9cm) qu'à Bana (6,3cm) sauf sur la pente (5,6cm) de la parcelle 84-26. En outre, aux valeurs extrêmes des circonférences (25,1cm et 31,4cm à Bana - 13,9cm 25,7cm et 38,4cm à Hinda) correspondent les surfaces terrières respectives suivantes: 1254dm², 1 963dm², 61dm², 210dm² et 470dm². L'accroissement de croissance radiale plus faible et les valeurs extrêmes également plus faibles des surfaces terrières montrent que le sol de Hinda est plus pauvre que celui de Bana. Mais les conditions expérimentales ne sont pas tout à fait les mêmes : écartement initial = [(5m x 5m) vs (2m x 2m)], température moyenne annuelle = [(25-26 °C) vs (# 18,9°C)], climat = [(type guinéen congolais) vs (type guinéen d'altitude)]

Yost et al. (1987) fournissent 3 fois (à 0, 6, 15 mois après plantation) à de jeunes pousses de 3 mois de *E. saligna*, 4 taux d'engrais (0, 25, 50, 75g d'urée et 0, 30, 60, 90g de triple superphosphate par arbre). L'écartement est de 1,5m x 1,5m. L'expérience a eu lieu à Hawaï (19°30'N, 155°15'W), altitude = 480m, pluviométrie annuelle = 5000mm, répartie également tout au long de l'année. Le phosphore élève la croissance seulement pendant les 9 premiers mois; l'azote, pendant les 48 premiers mois. Voici la circonférence des arbres après 48 mois :

urée (g)/arbre	0	25	50	75
circonférence (cm)	6,3	18,4	27,1	26,4

Les plus gros de ces plants âgés de 4 ans 3 mois, ont une circonférence de 26,4 à 27,1cm, taille à peine supérieure à celle de nos plus gros plants (glacis a de 84-19 et crête de 84-26) âgés de 3 ans (25,7 et 26,5cm). Lorsqu'ils ont eu 4 ans, les plus gros de nos plants avaient 30,6 et 33,2cm et les plus minces, 16,2cm de circonférence. L'avantage d'une forte pluviométrie à Hawaï (5000mm uniformément répartis sur l'année vs (1200-1700)mm répartis sur 6 mois consécutifs) est comme neutralisé par une forte densité de peuplement (écartement de 1,5m x 1,5m vs 5m x 5m): aux valeurs extrêmes des circonférences (6,3cm, 26,4cm et 27,1cm à Hawaï - 16,2cm, 30,6cm et 33,2cm à Hinda) correspondent les surfaces terrières respectives suivantes: 140dm², 2 466dm², 2 598dm², 84dm², 298dm² et 351dm².

A Hinda, la densité faible (5m x 5m) permet aux situations topographiques les plus fertiles (crête de la parcelle 84-26 et glacis ancien de la parcelle 84-19) de développer des plants légèrement plus gros que dans les essais cités plus haut, réalisés ailleurs qu'au Congo. Les autres situations topographiques, moins fertiles, développent des plants plus petits. La comparaison des surfaces terrières montre que, même dans les zones les plus fertiles, le rendement est plus faible à Hinda. Le sol de Hinda est plus pauvre.

IV.- Conclusion

L'existence, dans les plantations d'*Eucalyptus*, de zones de moindre productivité, nous a amené à déterminer, dans deux parcelles présentant 3 à 4 situations topographiques (crête, plateau, pente, glacis), la composition granulométrique ou chimique et la teneur en eau du sol,

puis la teneur en éléments minéraux de la solution du sol et de la feuille (diagnostic foliaire). On note :

- a) **un sol ferrallitique sableux** (87 à 95% de sables) caractérisé par :
 - un taux d'argile , de matière organique et de carbone légèrement plus faible sur la parcelle 84-19 que sur la parcelle 84-26, la pente étant toujours caractérisée par les taux les plus bas parmi les différentes situations topographiques étudiées.
 - un pH (=4,5 à 5,3) acide, une carence en N , en K et une teneur faible en P , en Ca (traces) et en Mg (traces) sur les deux parcelles.
- b) **une solution du sol** extraites par bougies poreuses de 30, 60 et 120cm, **carencée** en K , en NO₃ et en Ca , surtout dans la pente.
- c) **une teneur foliaire en éléments minéraux** présentant une " zone d'ambiguïté", **signe d'une carence grave en K, Ca et Mg**, très accusée sur les plantes qui se développent sur la pente. On observe aussi une déficience en N, S et P. Il est possible que des cations ou des oligo-éléments jouent un rôle de facteur limitant.
- d) **une teneur en eau du sol** qui, même en saison pluvieuse, se situe dans le tiers inférieur de la Réserve Utile, zone où la plante croît peu, végète ou meurt.

Une comparaison de nos taux de croissance avec ceux obtenus dans des conditions assez proches des nôtres montre que nos plantes sont plus petites. Cela prouve que nos parcelles sont moins fertiles. La pauvreté du sol en argile, en humus et en matière organique laisse l'eau de ruissellement dessécher rapidement le sol . Il serait bon d'envisager une expérimentation

- de mise en place de légumineuses comme plantes de couverture (apport en N, diminution de l'ETP, protection contre l'érosion)
- et, si cela n'est pas trop onéreux, d'établissement de gradins dans les pentes pour contre-carrer l'effet torrentiel de l'eau de ruissellement.

Clermont-Ferrand le 16 Février 1998

Remerciements. Je remercie F. Bernhard-Reversat pour ses remarques et suggestions qui ont nettement amélioré ce texte.

Bibliographie

- ANONYME, 1989. Formulation d'un programme de développement de la recherche agricole au Congo. Rapport technique (AG: TCP/PRC/8852): La recherche agricole au Congo - situation actuelle et perspectives de développement. F.A.O., 147 pages.
- ANONYME, 1995. Soil water research. *ICFR Annual Research Report* : 106-133
- BANDZOUZI J., 1993. Variabilité spatiale de quelques caractéristiques édaphiques (pH, carbone, granulométrie) des sols sableux sous Eucalyptus du littoral congolais. Application à l'optimisation de l'échantillonnage et à l'étude de l'évolution dans le temps de parcelles d'Eucalyptus. *Mém. IDR, Brazzaville*, 58p. + ann., fig. et tab.
- BARROW N.J., 1977. Phosphorus uptake and utilization by tree seedlings. *Australian Journal of Botany*, 25, 571-84.
- BARTHES B. 1995. Caractérisation morphologique et physico-chimique des sols sur collines de la parcelle d'Eucalyptus 84-26 (Hinda, Congo). *Rapport ORSTOM du Centre ORSTOM de Montpellier (France)*, 35 p.
- BEAUFILS E.R., 1961. Les déséquilibres dans la composition chimique de l'Hévéa. La méthode du diagnostic physiologique. *Thèse d'ingénieur-docteur; Fac. des Sci. Université de Paris*.
- BEAUFILS E.R., 1973. Système intégré de diagnostic et de recommandation (DRIS). *Soil Sc. Bulletin n° 1, Univ. of Natal-Pietermaritzburg*, 40-42.
- BELL D.T. and WARD S.C., 1984. Foliar and twig macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) in selected species of Eucalyptus used in rehabilitation : sources of variation. *Plant and soil*, 81, 363-76.
- BELL L.C., 1985. Nutrient requirements for the establishment of native flora at Weipa. In "North Australian Mine Rehabilitation Workshop. n° 9" (Ed. J.W. Lawrie) pp. 61-75 (Comalco : Weipa).
- BENNETT F.G., STANFORD, DUMENIL L., 1953. Nitrogen, phosphorus and potassium content of the corn leaf and grain as related to nitrogen fertilization and yield. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 17, 252-258.
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1993. Dynamics of litter and organic matter at the soil-litter interface in fast-growing tree plantations on sandy ferrallitic soils (Congo). *Acta Oecol.* 14(2) : 179-195.
- BERNHARD-REVERSAT F. and SCHWARTZ D., 1977. Change in lignin content during litter decomposition in tropical forest soils (Congo): comparison of exotic plantations and native stands. *C. R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la terre et des planètes*. 325, 427-432.
- BODEN (D.I.), 1991. The relationship between Soil Water Status, Rainfall and the Growth of *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*, n° 156, march : 49-55
- BOYER J., 1982. "Les sols ferrallitiques. Tome X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols". Initiations-Documents techniques n° 52. Ed. ORSTOM Paris, 384 p.
- BRUNCK (F), 1984. Essences forestières tropicales in "L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales par MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J. et GAUTIER P. - Ed. Lavoisier, 1984- 810p - : 538-546"
- CROMER R.N., CAMERON D., CAMERON J.N., FLINN D.W., NEILSEN W.A., RAUPACH M., SNOWDON P. and WARING H.D., 1981. Response of eucalypt species to fertilizer applied soon after planting at several sites. *Australian Forestry*, 44, 3-13
- DAGBA (E.), 1993 - La teneur en eau du sol dans deux bananeraies (var. Gros Michel) à Bilala (Congo). *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 5, 191-211.
- DELL (B.) et ROBINSON (J.M.), 1993. Symptoms of mineral nutrient deficiencies and the nutrient concentration ranges in seedlings of *Eucalyptus maculata* Hook. *Plant and soil* 155/156 : 255-261

- DRECHSEL (P.) et ZECH (W.), 1991.-Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. *Plant and soil* 131: 29-46
- DRIESSCHE, R. (van den), 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. *The botanical review*, vol. 40, n° 3, 347-394.
- FONWEBAN J.N. et HOUILLIER F., 1997. *Eucalyptus saligna* au Cameroun. Tarif de peuplement et modèle de production. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 253 (3), 21-31.
- GAUSSEN H., BAGNOULS F., 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Géogr.*, 46, 193-220.
- HERBERT, (M.A.), 1991. The influence of site factors on the foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis* in Natal. *South African Forestry Journal*, n° 156, 28-34
- HONEYSETT J.L., BEADLE C.L. and TURNBULL C.R.A., 1992. Evapotranspiration and growth of two contrasting species of eucalyptus under non-limiting and limiting water availability. *Forest Ecology and Management*, 50, 203-216.
- JAMET (R) et RIEFFEL (J.M.), 1976. Notice explicative n° 65. Carte pédologique du Congo au 1/200 000. Feuilles Pointe-Noire et Loubomo. Ed. ORSTOM Paris, 176p. + 2 cartes h.t.
- JUDD T.S., BENNETT L.T., WESTON C.J., ATTIWILL P.M. and WHITEMAN P.H., 1996. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill) plantations in Gippsland, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 82, 87-101.
- KOZLOWSKI (T.T.), 1968. Water deficits and plant growth. Vol.1, Academic Press, New York.
- LACEY C.T., LEAF A.L. and TALLI A.R., 1966. Growth and nutrient uptake by flooded gum seedlings subjected to various phosphorus supplies. *Australian Forestry*, 30, 212-22
- LACLAU J.-P., 1997. Dynamique d'incorporation des éléments minéraux majeurs (N, P, K, Ca, Mg) dans une futaie d'*Eucalyptus* au Congo. *Diplôme d'études approfondies. Institut National Agronomique Paris-Grignon. CIRAD Forêt* - 48p.
- LAHAV E. and TURNER D.W., 1985. Temperature influences the composition of diagnostic samples used to assess the nutrient status of banana plants. *Scientia Horticulturae*, 27, 275-283.
- LAMB D., 1977. Relationships between growth and foliar nutrient concentrations in *Eucalyptus deglupta*. *Plant and soil*, 47, 495-508.
- LOUMETO J.-J. et BERNHARD-REVERSAT F., 1997. La biodiversité dans les les plantations d'arbres à croissance rapide au Congo. *Bois et Forêts des Tropiques* N° 253(3), 57-61.
- MARCHAL J., PERRIER X., CORADIN C., 1980. Variations entre laboratoires dans l'analyse des feuilles du bananier. *Fruits*, 35, 663-674.
- MARTIN-PREVEL P., 1961. Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée. V. Données de l'analyse foliaire. *Fruits*, 16, 539-557.
- MARTIN-PREVEL P., 1980. La nutrition minérale du bananier dans le monde. *Fruits*, 35, 503-518, 583-593.
- MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J. et GAUTIER P., 1984. *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*. Ed. Lavoisier - 810p
- NAUTIYAL S., BADOLA H.K., PAL M. and NEGI D.S., 1994. Plant responses to water stress: changes in growth, dry matter production, stomatal frequency and leaf anatomy. *Biologia Plantarum* 36 (1): 91-97.
- NIZINSKI (J.) et SAUGIER (B.), 1989. Dynamique de l'eau dans une chênaie (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) en forêt de Fontainebleau. *Ann. Sci. For.* 46, 173-186 .
- OLSEN J.K. and BELL L.C., 1990. A glasshouse evaluation of "critical" N and P concentrations and N:P ratios in various plant parts of six Eucalypt species. *Aust. J. Bot.*, 38, 281-298.
- POSS (R.), 1991. *Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de barre au Togo. Conséquences agronomiques*. Thèse Doctorat d'Université (spécialité: pédologie), Univ. Paris VI. Multigr. 335p.
- POUPON, (H.), 1971.-Etude de la croissance en hauteur et en circonférence de quelques espèces de pins et d'eucalyptus dans l'arboretum de Zerniza. *Collection ORSTOM* n° 5119 : 1-30
- POUPON, (H.), 1972.- Rythme saisonnier de croissance en hauteur et en épaisseur chez *Eucalyptus camaldulensis* Dhen. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, n°17 : 61 -75.
- PREVOT P., OLLAGNIER M., 1956. Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire. Analyse des plantes

- et problèmes des engrais minéraux. *Vle Congr. Intern. Sci. du Sol, Paris, II*, 176 - 192
- PREVOT P., OLLAGNIER M., 1961. Law of the minimum and balanced mineral nutrition. *Plant Analysis and Fertilizer Problems*, 3, 257-277.
- SCHÖNAU A.P.G., 1981. Seasonal changes in foliar nutrient content of *E. grandis*. *South African Forestry Journal*, n° 119, 1-4.
- SCHÖNAU A.P.G. and HERBERT M.A. 1982. Relationship between growth rate and foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium for *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*, n° 120, 19-23
- SMITH F.W. 1986. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In " Plant Analysis - An Interpretation Manual (Eds. D.J. Reuter and J.B. Robinson) pp. 1-12 (Inkata Press: Melbourne)
- SOBRADO M.A., 1992. The relationship between nitrogen and photosynthesis in relation to leaf age in a tropical xerophytic tree. *Photosynthetica* 26 : 445 -448
- SOBRADO M.A., 1994. Leaf age effects on photosynthetic rate, transpiration rate and nitrogen content in a tropical dry forest. *Physiologia Plantarum* , 90 : 210 -215.
- TROUVE C., MARIOTTI A., SCHWARTZ D. et GUILLET B., 1994. Soil organic carbon dynamics under eucalyptus and pinus planted on savannas in the Congo. *Soil Biol. Biochem.* 26(2) : 287-295.
- YOST R.S., DEBELL D.S., WHITESELL C.D. and MIYASAKA S.C., 1987. Early growth and nutrient status of *Eucalyptus saligna* as affected by nitrogen and phosphorus fertilisation. *Aust. For. Res.*, 17, 203-214 .
- ZECH W. et KAUPENJOHANN M., 1990. Carences en K et en P chez *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus sp.*, *Acacia auriculiformis* et *tectona grandis* au Sud-Bénin (Afrique Occidentale). *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 226, 29 - 36.

Tableaux

Tabl. I.- Densité apparente et porosité du sol dans deux parcelles d'Eucalyptus à Hinda

Parcelle	Profondeur Situations	Densité apparente (m _t i)			Porosité (%) (m _t i)		
		0-20 cm	30-50 cm	120-150 cm	0-20 cm	30-50 cm	120-150 cm
84-19	Crête	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,0	1,5 ± 0,2	43,5 ± 3,7	38,9 ± 1,4	41,3 ± 6,3
	Pente	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	41,3 ± 2,1	41,5 ± 2,1	44,7 ± 2,7
	Glacis (a)	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,0	1,5 ± 0,0	41,0 ± 1,8	39,6 ± ,9	40,5 ± 1,0
	Glacis (b)	1,7 ± 0,0	1,7 ± 0,0	1,6 ± 0,0	32,3 ± 3,1	32,0 ± 1,7	34,6 ± 2,1
84-26	Plateau	1,9 ± 0,0	1,8 ± 0,0	1,8 ± 0,0	24,9 ± 1,7	28,6 ± 1,0	26,9 ± 2,4
	Crête	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	41,7 ± 3,3	45,8 ± 4,1	45,6 ± 2,3
	Pente	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,0	45,6 ± 2,9	44,9 ± 2,4	44,0 ± 1,7
	Glacis (a)	1,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,0	47,3 ± 5,3	41,1 ± 2	39,6 ± 1,4
	Glacis (b)	1,6 ± 0,0	1,8 ± 0,0	1,8 ± 0,0	34,7 ± 1,5	29,9 ± 1,7	30,1 ± 1,8

m ± i = moyenne ± intervalle de confiance à 5%

Tabl. II.- Capacité au champ (Hc), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol
a) Exprimés en Teneur en eau (T.E.), dans deux parcelles d'Eucalyptus à Hinda

Situation	Parcelle	84-19				84-26			
		Hc(m _t i)	Hf(m _t i)	Hf+RU/3	Hf+2RU/3	Hc(m _t i)	Hf(m _t i)	Hf+RU/3	Hf+2RU/3
Plateau	Profondeur								
	0-20(cm)					28,6 ± 0,7	2,1 ± 1,6	10,9	19,8
	30-50 (cm)					29,0 ± 0,6	1,5 ± 0,3	10,7	19,8
	120-150 (cm)					28,2 ± 0,7	3,4 ± 1,6	11,7	19,9
	m						11,1	19,83	
Crête	0-20	30 ± 0,7	1,8 ± 0,9	11,2	20,6	30,9 ± 4,9	2,8 ± 1,7	12,2	21,5
	30-50	29,8 ± 1,8	2,2 ± 0,3	11,4	20,6	29,3 ± 1,9	2,8 ± 1,5	11,6	20,5
	120-150	31,1 ± 1,9	4,2 ± 2,1	13,2	22,2	29,5 ± 0,5	3,4 ± ,04	12,1	20,8
	m			11,93	21,13			11,97	20,93
Pente	0-20	27,9 ± 2,3	2,1 ± 0,1	10,7	19,3	31,1 ± 0,5	2,6 ± 0,3	12,1	21,6
	30-50	29,4 ± 2,2	1,1 ± 0,1	10,5	19,9	29,6 ± 1,7	3,1 ± 0,5	11,9	20,8
	120-150	30,2 ± 1,5	2,7 ± 0,9	11,9	21,1	28,5 ± 0,8	3,5 ± 0,4	11,8	20,2
	m			11,03	20,1			11,93	20,87
Glacis a	0-20	32,8 ± 2,6	1,6 ± 0,7	12	22,4	26,6 ± 0,7	2,8 ± 0,2	10,7	18,7
	30-50	31,5 ± 1,6	1,9 ± 0,2	11,8	21,7	24,4 ± 0,8	2,9 ± 0,3	10,1	17,2
	120-150	33,3 ± 1,7	2,3 ± 0,5	12,6	22,9	19,6 ± 0,3	1,2 ± 0,3	7,3	13,5
	m			12,13	22,33			9,37	16,47
Glacis b	0-20	24,6 ± 0,7				29,5 ± 0,3			
	30-50	32,3 ± 0,9				34,2 ± 0,7			
	120-150	28,7 ± 0,6				30,9 ± 0,5			

m = moyenne

i = intervalle de confiance au seuil de 5%

Tabl. II.- Capacité au champ (Hc), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol
b) Exprimés en Teneur relative en eau (T.R.E.), dans deux parcelles d'Eucalyptus à Hinda

Parcelle		84-19				84-26			
Objet		Hc	Hf	Hf+RU/3	Hf+2RU/3	Hc	Hf	Hf+RU/3	Hf+2RU/3
Situation	Prof.								
Plateau	0-20					100	7,3	38,2	69,1
	30-50					100	5,2	36,8	68,4
	120-150					100	12,1	41,4	70,7
	m					100	8,2	38,8	69,4
Crête	0-20	100	6	37,3	68,7	100	9,1	39,4	69,7
	30-50	100	7,4	38,3	69,1	100	9,6	39,7	69,9
	120-150	100	13,5	42,4	71,4	100	11,5	41	70,5
	m	100	8,97	39,33	69,73	100	10,07	40,03	70,03
Pente	0-20	100	7,5	38,4	69,2	100	8,4	38,9	69,5
	30-50	100	3,7	35,7	67,7	100	10,5	40,3	70,2
	120-150	100	8,9	39,4	69,9	100	12,3	41,5	70,8
	m	100	6,70	37,83	68,93	100	10,40	40,23	70,17
Glacis	0-20	100	4,9	36,6	68,3	100	10,5	40,3	70,2
	30-50	100	6	37,5	68,9	100	11,9	41,3	70,6
	120-150	100	6,9	37,8	68,8	100	6,1	37,4	68,7
	m	100	5,93	37,30	68,67	100	9,50	39,67	69,83

m = moyenne

Tabl. II.- Capacité au champ (Hc), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol
c) Exprimés en lame d'eau (mm) dans 10cm de sol, dans deux parcelles d'Eucalyptus à Hinda

Parcelle		84-19				84-26			
Objet		Hc	Hf	Hf+RU/3	Hf+2RU/3	Hc	Hf	Hf+RU/3	Hf+2RU/3
Situation	Prof.								
Plateau	0-20					46,6	3,4	17,8	32,2
	30-50					50,7	2,6	18,6	34,7
	120-150					49,4	6	20,5	34,9
	m					48,90	4,00	18,97	33,93
Crête	0-20	42,3	2,5	15,8	29,1	45,1	4,1	17,8	31,4
	30-50	45,6	3,4	17,5	31,6	39,6	3,8	15,7	27,7
	120-150	45,4	6,1	19,2	32,3	40,1	4,6	16,4	28,3
	m	44,43	4,00	17,50	31,00	41,60	4,17	16,63	29,13
Pente	0-20	41	3,1	15,7	28,3	42,3	3,5	16,4	29,4
	30-50	42,9	1,6	15,4	29,2	40,8	4,3	16,5	28,6
	120-150	41,7	3,7	16,4	29,1	39,9	4,9	16,6	28,2
	m	41,87	2,80	15,83	28,87	41,00	4,23	16,50	28,73
Glacis	0-20	48,2	2,4	17,7	33	34,6	3,6	13,9	24,3
	30-50	47,6	2,9	17,8	32,7	35,9	4,3	14,8	25,4
	120-150	49,6	3,4	18,8	34,2	29,6	1,8	11,1	20,3
	m	48,47	2,90	18,10	33,30	33,37	3,23	13,27	23,33

Tabl. III a).- Caractéristiques granulométriques du sol des plantations d'Eucalyptus à Hinda (Congo)

Paramètre étudié		argiles (%)		limons fins (%)		limons gros.(%)		sables fins (%)		sables gros. (%)		humidité (%)		M.O.	
Parcelle		84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26
Situation topographique	Profondeur (cm)														
Crête	0-10	7,15	7,1	0,36	0,5	1,28	1,25	61,45	56,17	28,22	32,33	0,6	1	1,48	2,64
	0-20	7,92	7,1	0,51	0,36	1,25	1,31	59,64	61,87	29,31	28,87	1,1	0,6	0,64	0,57
	30-50	8,63	10,88	1,03	0,92	1,75	1,22	57,37	55,91	29,41	29	1,4	1,5	0,52	0,38
	120-150	10,37	12,16	0,67	0,64	1,85	1,43	57,32	50,95	28,54	34,13	1,6	1,1	0,26	0,24
Pente	0-10	4,7	8,76	0,36	0,82	0,88	1,28	59,63	56,12	32,5	30,5	0,8	1	1,48	1,64
	0-20	3,58	7,82	0,76	0,51	0,7	1,49	62,54	61,51	30,87	27,2	1,5	1,1	0,78	0,98
	30-50	6,03	8,42	0,31	0,28	1,22	1,65	58,01	59,14	33,1	29,39	0,8	1,1	0,69	0,45
	120-150	6,85	10,32	0,56	0,1	1,68	1,42	55,77	54,68	34,76	32,3	1,1	1,7	0,24	0,26
Glacis (ancien)	0-10	2,91	8,12	0,56	0,46	0,67	1,28	65,57	48,8	28,72	38,25	0,6	0,7	1,43	2,5
	0-20	2,86	8,48	0,51	0,26	0,64	1,39	61,15	54,67	32,11	33,92	2	1,1	0,79	1,38
	30-50	4,19	7,41	1,17	0,76	1,09	1,22	66,47	55,23	25,72	33,5	1,2	1,2	0,64	0,76
	120-150	8,07	5,16	0,97	0,56	1,48	1,04	65,7	53,9	23,54	37,45	0,8	1,6	0,24	0,26
Glacis (nouveau)	0-10	3,32	5,92	1,12	0,36	0,78	1,04	60,41	61,19	32,33	30,01	0,5	1,1	1,74	1,28
	0-20	2,73	7,51	0,18	0,13	0,98	1,18	49,38	56,17	45,4	31,94	0,2	1,3	0,95	0,95
	30-50	4,62	6,85	0,43	0,63	1,28	1,22	66,19	59,77	24,43	30,62	1,1	0,8	1,29	0,46
	120-150	7,08	4,5	0,97	0,56	1,47	1,15	53,58	48,74	35,33	40,87	1,2	3,9	1,12	0,84

Profondeur (0-10) : prélevée le 29.11.95

Profondeurs (0-20, 30-50, 120-150) de crête, pente, glacis ancien : prélevées le 05.10.94

Profondeurs (0-20, 30-50, 120-150) de glacis nouveau : prélevées le 24.02.96

Tabl. III b).- Caractéristiques granulométriques du sol du plateau de la parcelle 84-26 à deux dates différentes à Hinda
(Dates de prélèvement : 13/02/1996 et 24/02/1996)

Paramètre étudié		argiles (%)		limons fins (%)		limons gros.(%)		sables fins (%)		sables gros. (%)		humidité (%)		M.O.	
Date de prélèvement		13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02
Profondeur (cm)	0-10*	5,36		0,57		1,01		54,78		36,08		0,9		1,81	
	0-20	6,54	3,53	1,15	0,97	1,4	1,02	51,33	52,26	37,51	40,19	1,5	0,6	1,03	0,72
	30-50	6,26	4,7	0,71	0,69	1,31	1,08	58,37	56,98	31,35	34,49	1,3	0,8	0,72	0,31
	120-150	10,98	9,55	0,69	0,69	1,52	1,67	51,59	54,32	33,95	31,57	1,3	1,2	0,31	0,17

* La profondeur (0-10) cm a été prélevée le 29/11/1995

Tabl. IV a).- Caractéristiques chimiques du sol des plantations d'Eucalyptus à Hinda (Congo)

Paramètre étudié		pH (eau)		pH (KCl)		C total (%)		N total (‰)		P (‰)		K+ (me/100)		Ca++ (me/100)		Mg++ (me/100)		CE (me/100)	
Parcelle		84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26	84-19	84-26
Situation topographique	Profondeur (cm)																		
Crête	0-10	4,66	4,49	3,98	3,68	0,86	1,53	0,44	0,6	0,05	0,07	0,04	0,04	0,06	0,02	0,05	0,04	2,63	2,65
	0-20	4,98	4,96	4,56	4,41	0,37	0,33	0,37	0,28	0,07	0,1	traces	traces	0,05	traces	0,01	0,01	1,73	2,45
	30-50	5,14	4,83	4,63	4,29	0,3	0,22	0,32	0,25	0,09	0,15	traces	traces	traces	traces	0,01	traces	2,48	2,8
	120-150	5,28	4,72	4,8	4,67	0,15	0,14	0,29	0,15	0,1	0,12	traces	traces	traces	traces	traces	traces	1,95	2,88
Pente	0-10	4,13	4,52	3,76	3,9	0,86	0,95	0,46	0,5	0,11	0,09	0,03	0,06	0,05	0,03	0,04	0,07	3,18	3,28
	0-20	5,03	4,73	4,36	4,37	0,45	0,57	0,35	0,44	0,11	0,2	traces	0,01	traces	traces	traces	0,03	2,3	3,7
	30-50	4,9	4,88	4,37	4,63	0,4	0,26	0,34	0,27	0,14	0,18	traces	traces	traces	traces	0,01	traces	2,7	3,42
	120-150	5,55	5,02	4,79	4,66	0,14	0,15	0,23	0,16	0,22	0,18	traces	traces	traces	traces	0,01	0,01	2,9	3,03
Glacis (ancien)	0-10	4,7	4,37	3,8	3,71	0,83	1,45	0,42	0,66	0,08	0,19	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03	0,06	2,98	5,4
	0-20	5,03	4,74	4,22	4,14	0,46	0,8	0,27	0,49	0,13	0,25	traces	0,01	traces	traces	0,02	0,01	3,35	4,58
	30-50	5,13	4,9	4,33	4,36	0,37	0,44	0,3	0,37	0,15	0,23	traces	traces	traces	traces	traces	0,01	2,75	3,7
	120-150	5,3	5,15	4,81	4,57	0,14	0,15	0,2	0,22	0,17	0,21	traces	traces	traces	traces	0,01	traces	2,2	3,03
Glacis (nouveau)	0-10	4,23	4,33	3,76	3,78	1,01	0,74	0,52	0,46	0,07	0,13	0,03	0,04	0,11	0,02	0,05	0,06	3,1	3,4
	0-20	4,69	4,65	3,96	3,85	0,55	0,55	0,29	0,5	0,15	0,39	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	2,5	4,68
	30-50	4,71	4,6	4,04	4,07	0,75	0,27	0,38	0,31	0,15	0,22	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	2,5	2,33
	120-150	4,44	4,4	4,09	4,09	0,65	0,48	0,25	0,31	0,33	0,46	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	3,8	3,9

Profondeur (0-10) : prélevée le 29.11.95

Profondeurs (0-20, 30-50, 120-150) de crête, pente, glacis ancien : prélevées le 05.10.94

Profondeurs (0-20, 30-50, 120-150) de glacis nouveau : prélevées le 24.02.96

Tabl. IV b).- Caractéristiques chimiques du sol du plateau de la parcelle 84-26 à deux dates différentes à Hinda
(Dates de prélèvement : 13/02/1996 et 24/02/1996)

Paramètre étudié		pH (eau)		pH (KCl)		C total (%)		N total (‰)		P (‰)		K+ (me/100)		Ca++ (me/100)		Mg++ (me/100)		C.E. (me/100)	
Date de prélèvement		13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02	13/02	24/02
Profondeur (cm)	0-10*	4,62		3,89		1,05		0,46		0,08		0,03		0,02		0,03		2,63	
	0-20	4,74	4,65	4,07	4,22	0,6	0,42	0,38	0,26	0,15	0,14	0,04	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02	2,6	1,63
	30-50	4,79	4,54	4,27	4,27	0,42	0,18	0,24	0,25	0,12	0,16	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	1,63	1,55
	120-150	4,65	4,72	4,3	4,33	0,18	0,1	0,15	0,22	0,15	0,2	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	1,25	1,2

* La profondeur (0-10) cm a été prélevée le 29/11/1995

Comparaison des teneurs extrêmes en éléments minéraux de la solution du sol au Congo et au Togo

Tabl. Va)
Teneurs extrêmes en éléments minéraux (mg/l) de la solution du sol à Hinda (Congo)

Campagne n°	Elément	Longueur (cm) de la bougie		
		30	60	120
1	NO ₃ -	0,5-9,0	0,5-4,5	0,0-3,2
	K ⁺	0,0-1,3	0,05-0,40	traces
	Ca ⁺⁺	0,31-3,10	0,20-3,60	0,10-2,10
	Mg ⁺⁺	6,5-21,5	2,0-19,0	1,0-14,4
	Na ⁺	0-8,6	0,0-7,2	0,14-2,70
	NH ₄ ⁺	traces	traces	traces
	Cs	traces	traces	traces
2	NO ₃ -	0,0-11,0	0,5-7,5	0,0-5,5
	K ⁺	0,0-7,5	0,0-1,5	0,0-1,8
	Ca ⁺⁺	0,0-0,75	0,0-1,0	0,0-0,50
	Mg ⁺⁺	0,0-19,0	0,6-10,0	0,0-6,5
	Na ⁺	0,0-4,0	0,0-2,90	0,0-2,0
	NH ₄ ⁺	traces	traces	traces
	Cs	0,0-0,06	0,0-0,06	0,0-0,06

Cs = Carbone soluble

Tabl. Vb)
Teneurs extrêmes en éléments minéraux (mg/l) de la solution du sol des terres du Togo (R. POSS, 1991)

Elément	Parcelle	Longueur de la bougie (cm)			
		30	120	180	non précisée
K ⁺	Ko			0,78-1,95	
	K2			1,56-5,07	
	NoPoKo				6,24
	NoPoK2				58,5
	N2P2Ko				4,68
NO ₃ -	nue	124,0-322,4	31,0-310,0	12,4-49,6	
	N2P1Ko	6,2-148,8		93,0-210,8	
	N2P1K2	6,2-86,8		24,8-136,4	
Ca ⁺⁺	nue	32,1-56,1			
	N2P1Ko	4,0-40,1		24,1-56,1	
	N2P1K2			16,0-32,1	
Mg ⁺⁺	nue	14,4-24,0			
	N2P1Ko	2,4-14,4			

Tabl. Vc).- Quantité (kg/ha) d'élément minéral sur 1,5m de profondeur (0-150cm) (1)
Concentration (mg/l) en élément minéral sur 1,5m de profondeur (0-150cm) (2)

Hauteur de pluies			faible					élevée				
Date de prélèvement			17	42	69	106	110	43	47	114	118	
Objet	Elément	Situation										
1	Cs	pente	0,094	0,156	0,091	0,103	0,027	0,091	0,034	0,088	0,041	
	Cs	glacis	0,098	0,126	0,058	0,089	0,06	0	0,009	0,095	0,013	
	NO3	pente	4,069	3,664	2,749	11,38	0,751	2,197	3,753	3,827	2,412	
	NO3	glacis	1,682	5,289	4,413	7,895	4,142	3,872	2,425	6,806	6,516	
	NH4	pente	0,852	5,13	1,198	0	0,852	5,911	4,096	0	0	
	NH4	glacis	0	3,954	0	0	0,286	2,52	2,769	0,643	0	
	K	pente	0,749	0,351	0,01	0,809	0,47	0	0,33	2,409	2,376	
	K	glacis	0,224	0,499	0,012	0,111	0,958	0,314	0,16	0,906	0	
	Ca	pente	2,05	1,74	0,269	1,377	0	2,297	0,691	0	0	
	Ca	glacis	1,837	2,095	0,274	0,653	0	1,541	0,997	0	0	
	Mg	pente	27,502	29,092	10,505	15,314	1,778	18,427	19,471	10,359	10,397	
	Mg	glacis	27,367	34,136	10,847	6,703	5,221	16,627	14,78	5,902	2,517	
	Na	pente	3,472	7,451	1,075	1,71	0,208	4,424	1,449	0,851	0	
	Na	glacis	2,713	8,157	1,265	1,727	0,652	6,35	2,6	1,666	0,364	
	2	Cs	pente	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,01	0,03	0,02
		Cs	glacis	0,06	0,05	0,04	0,08	0,04	0	0,01	0,03	0,01
NO3		pente	2,03	1,22	1,34	4,88	1,12	0,79	1,32	1,49	1,31	
NO3		glacis	0,92	2,17	2,55	6,52	3,21	1,71	1,06	3,41	5,85	
NH4		pente	0,21	1,73	0,57	0	1,27	1,83	1,64	0	0	
NH4		glacis	0	1,34	0	0	0,23	0,8	1,22	0,19	0	
K		pente	0,39	0,18	0	0,43	0,7	0	0,09	0,72	1,32	
K		glacis	0,13	0,15	0,01	0,09	0,68	0,11	0,04	0,27	0	
Ca		pente	1,06	0,65	0,16	0,77	0	0,97	0,26	0	0	
Ca		glacis	1,05	1,05	0,21	0,54	0	0,72	0,46	0	0	
Mg		pente	13,27	10,91	3,5	4,8	2,65	6,71	6,18	2,46	4,07	
Mg		glacis	15,38	16,05	6,25	5,51	4,02	6,07	6,06	2,35	2,04	
Na		pente	1,64	3,33	0,5	0,36	0,31	1,63	0,61	0,16	0	
Na		glacis	1,6	2,93	0,97	1,43	0,52	2,43	1,18	0,8	0,15	

N.B. La date de prélèvement est exprimée en nombre de semaines à partir du 06.01.1994

Tabl. VI a).- Teneur foliaire (%) de l'Eucalyptus à Hinda (prélèvement du 20.04.95)

Variable	Parcelle	Plateau	Crête	Pente	Glacis
N(%)	84-19	-	1,68	1,58	2,22
	81-26	1,42	1,52	1	1,63
S(%)	84-19	-	0,25	0,22	0,31
	81-26	0,2	0,23	0,15	0,25
P(%)	84-19	-	0,17	0,18	0,27
	81-26	0,18	0,18	0,14	0,2
K(%)	84-19	-	1,2	1,14	1,05
	81-26	1,05	1,18	1,2	1,08
Ca(%)	84-19	-	0,27	0,35	0,41
	81-26	0,34	0,32	0,42	0,39
Mg(%)	84-19	-	0,23	0,3	0,27
	81-26	0,31	0,28	0,27	0,26

Tabl. VI b).- Niveaux critiques (% de matière sèche) des éléments minéraux chez l'Eucalyptus

Espèce	Elément Minéral	Symptômes de déficience	Faible	Intermédiaire	Auteur
<i>E. saligna</i>	N	0,64	0,95	1,19-2,08	P. DRECHSEL et W. ZECH (1991)
<i>E. saligna</i>	P	0,06-0,07	-	0,09-0,19	
<i>E. saligna</i>	K	-	-	0,51-1,18	
<i>E. saligna</i>	Ca	-	-	1,03-2,13	
<i>E. saligna</i>	Ca	-	-	0,69	
<i>E. saligna</i>	Mg	-	-	0,22-0,37	
<i>E. camaldulensis</i>	S	-	0,11	0,22-0,28	
Espèce	Elément Minéral	Déficience sévère	Très Faible Déficience	Adéquate	Auteur
<i>E. maculata</i>	N	1,0-1,2	-	1,7-2,6	B. DELL et J. M. ROBINSON (1993)
<i>E. maculata</i>	P	0,04-0,05	0,08	0,10-0,26	
<i>E. maculata</i>	K	0,4	0,5-0,7	1,0-1,7	
<i>E. maculata</i>	S	0,12-0,13	0,14-0,16	0,18-0,42	
<i>E. maculata</i>	Ca	0,15-0,20	0,21	0,29-0,40	
<i>E. maculata</i>	Mg	0,03	0,04-0,06	0,09-0,24	

Tabl. VI c).- Circonférence (cm) des troncs des rejets prélevés et des plantes-mères

Variable	Parcelle	Plateau	Crête	Pente	Glacis	Tout confondu
Moyenne	84-19 (arbres)	-	32,1	25,1	35,0	30,7
Ecart-type	84-19 (arbres)	-	1,2	2,4	1,7	4,6
Valeurs extrêm.	84-19 (arbres)	-	30,5-34,3	21,7-28,0	32,7-37,5	21,7-37,5
Moyenne	84-26 (arbres)	29,8	37,2	21,5	35,8	31,1
Ecart-type	84-26 (arbres)	1,5	2,5	1,8	1,2	6,5
Valeurs extrêm.	84-26 (arbres)	27,0-31,7	33,6-40,7	19,0-23,7	34,1-37,5	19,0-40,7
Moyenne	84-19 (rejets)	-	8,2	8,9	11,0	9,4
Ecart-type	84-19 (rejets)	-	4,8	4,3	4,5	4,5
Valeurs extrêm.	84-19 (rejets)	-	4,0-17,7	3,8-15,4	4,5-17,2	3,8-17,7
Moyenne	84-26 (rejets)	6,9	11,3	6,2	8,4	8,2
Ecart-type	84-26 (rejets)	4,1	7,3	2,4	4,0	5,0
Valeurs extrêm.	84-26 (rejets)	1,8-14,5	5,5-24,8	4,0-10,5	4,0-17,3	1,8-24,8
Nombre		10	10	10	10	

Tabl. VId).- Rapports entre éléments minéraux dans la feuille à Hinda

Parcelle	Rapport	Plateau	Crête	Pente	Glacis
84-19	N/P		9,88	8,78	8,22
	N/K		1,40	1,39	2,11
	N/Ca		6,22	4,51	5,41
	N/Mg		7,30	5,27	8,22
	N/S		6,72	7,18	7,16
	P/K		0,14	0,16	0,26
	P/Ca		0,63	0,51	0,66
	P/Mg		0,74	0,60	1,00
	P/S		0,68	0,82	0,87
	K/Ca		4,44	3,26	2,56
	K/Mg		5,22	3,80	3,89
	K/S		4,80	5,18	3,39
	Ca/Mg		1,17	1,17	1,52
	Ca/S		1,08	1,59	1,32
Mg/S		0,92	1,36	0,87	
84-26	N/P	7,89	8,44	7,14	8,15
	N/K	1,35	1,29	0,83	1,51
	N/Ca	4,18	4,75	2,38	4,18
	N/Mg	4,58	5,43	3,70	6,27
	N/S	7,10	6,61	6,67	6,52
	P/K	0,17	0,15	0,12	0,19
	P/Ca	0,53	0,56	0,33	0,51
	P/Mg	0,58	0,64	0,52	0,77
	P/S	0,90	0,78	0,93	0,80
	K/Ca	3,09	3,69	2,86	2,77
	K/Mg	3,39	4,21	4,44	4,15
	K/S	5,25	5,13	8,00	4,32
	Ca/Mg	1,10	1,14	1,56	1,50
	Ca/S	1,70	1,39	2,80	1,56
Mg/S	1,55	1,22	1,80	1,04	

Tabl. VIe).- Norm values used in computation of DRIS indices for 24-month-old *E. saligna* (Yost et al. Aust. For. Res., 1987, 17, 203-14)

The norm values for the desirable population were taken from the upper 10% of the plots with respect to diameter at breast height (dbh). The foliar nutrient contents are given as pourcentage dry weight, and all nutrient ratios are included. CV is coefficient of variation.

Quantity	Mean value	CV	Minimum	Maximum
Tree height (m)	10.27	7.37	8.89	11.50
Tree dbh (mm)	70.77	6.35	65.50	79.10
Nutrient content (%)				
N	1.22	12.86	1.03	1.52
P	0.14	10.59	0.12	0.16
K	1.09	9.96	0.95	1.28
Ca	0.57	8.68	0.51	0.67
Mg	0.27	11.60	0.22	0.33
S	0.12	11.47	0.10	0.15
Nutrient ratios				
N/P	8.72	6.70	7.93	10.13
N/K	1.13	18.90	0.87	1.55
N/Ca	2.13	12.57	1.85	2.57
N/Mg	4.56	20.63	3.36	6.08
N/S	9.55	9.47	8.46	11.69
P/K	0.12	15.22	0.10	0.15
P/Ca	0.24	10.76	0.21	0.29
P/Mg	0.52	18.01	0.39	0.68
P/S	1.09	5.88	1.00	1.20
K/Ca	1.90	10.50	1.66	2.28
K/Mg	4.01	4.95	3.57	4.31
K/S	8.60	12.86	6.86	10.08
Ca/Mg	2.12	11.42	1.76	2.44
Ca/S	4.51	9.15	3.92	5.40
Mg/S	2.15	15.56	1.66	2.60

Figures

Fig. 1- Pluviométrie à Pointe-Noire (Congo)

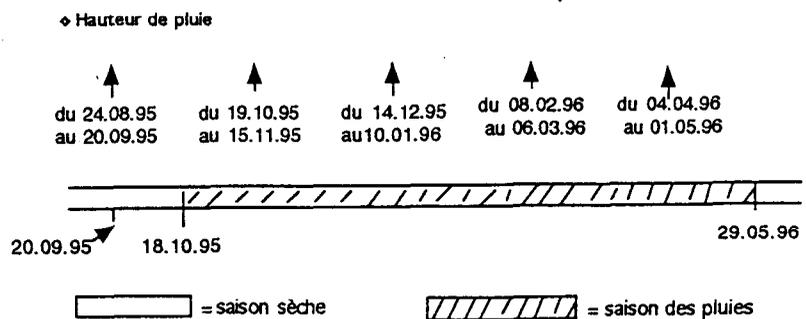
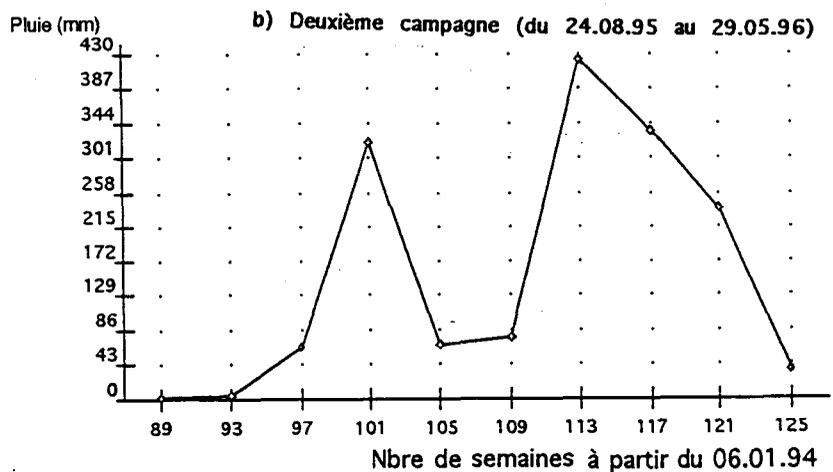
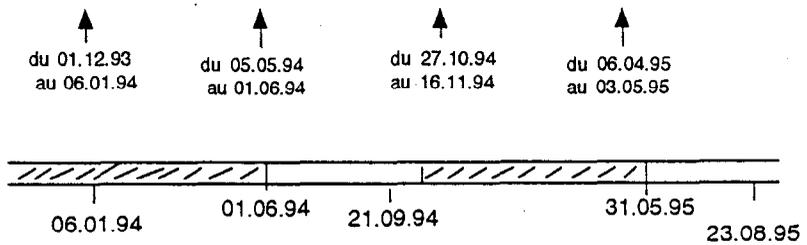
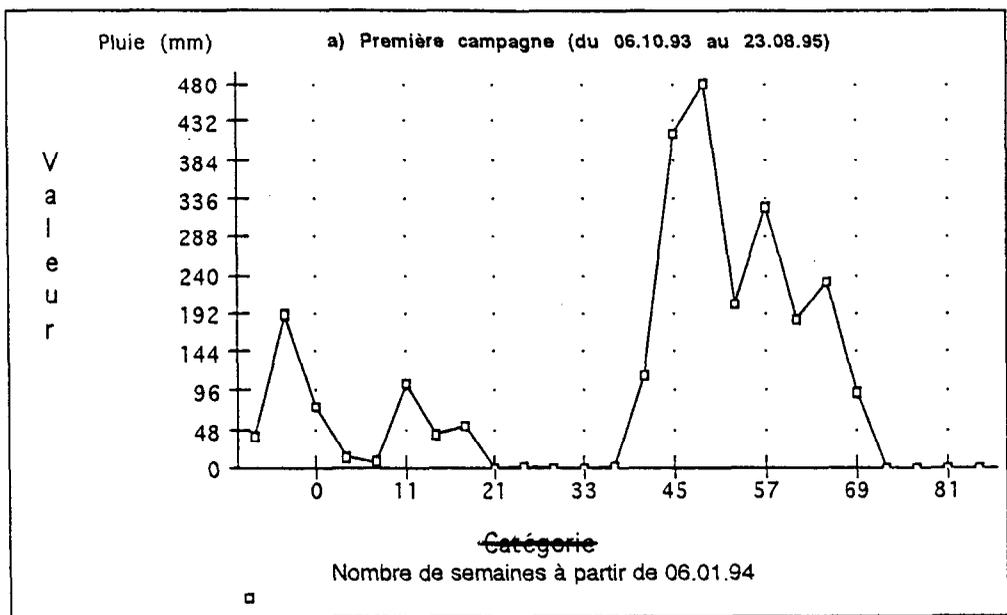


Fig. 2.1.-Teneur en eau (% de matière sèche) dans les parcelles 84-19 et 84-26 (Première campagne : du 06.01.94 au 23.08.95)

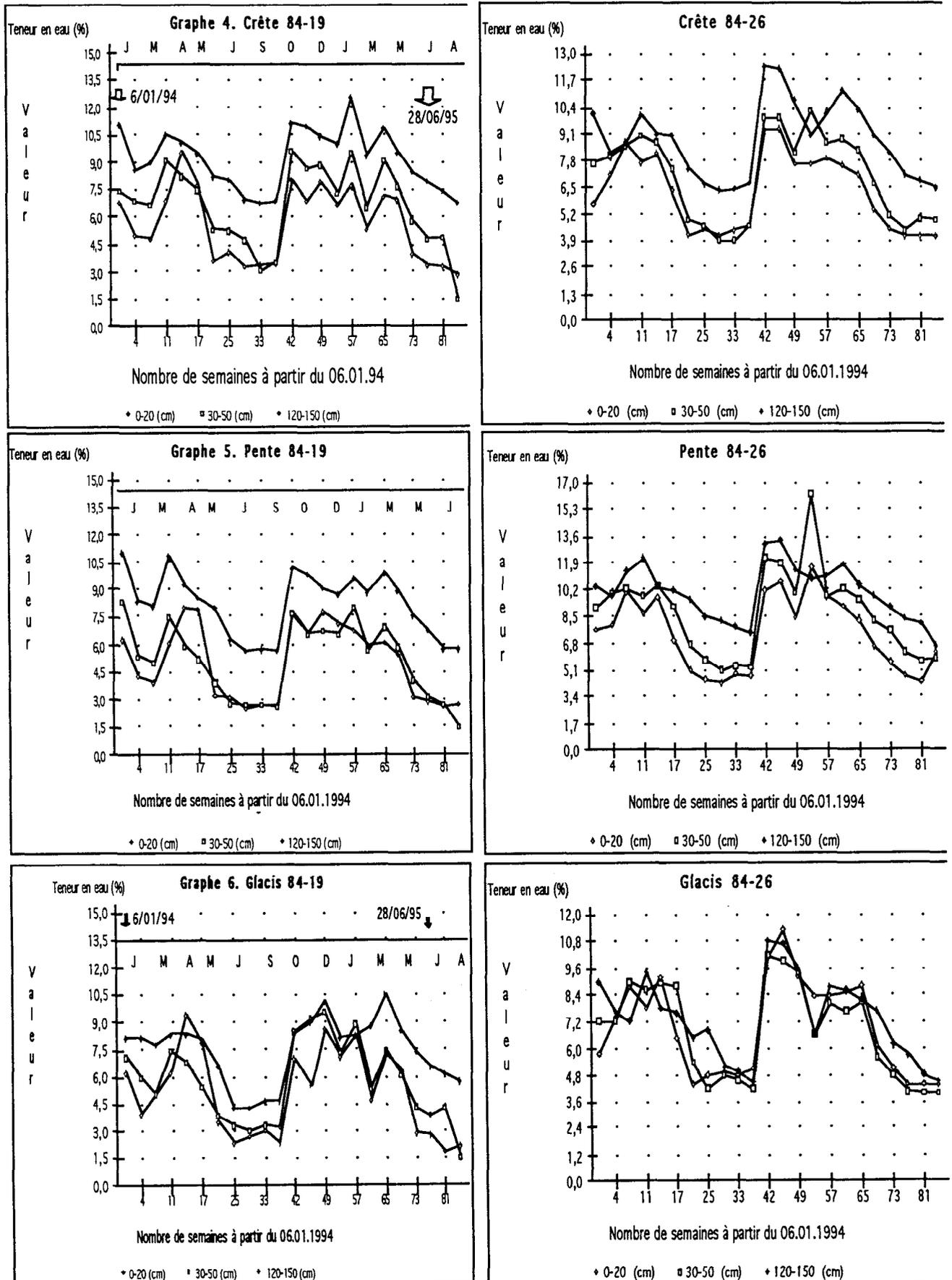


Fig. 2.2.-Teneur en eau (% de matière sèche) dans les parcelles 84-19 et 84-26 (deuxième campagne : du 20.09.95 au 03.04.96)

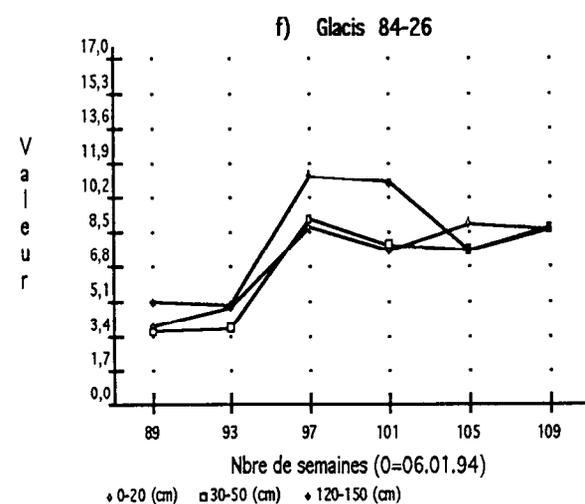
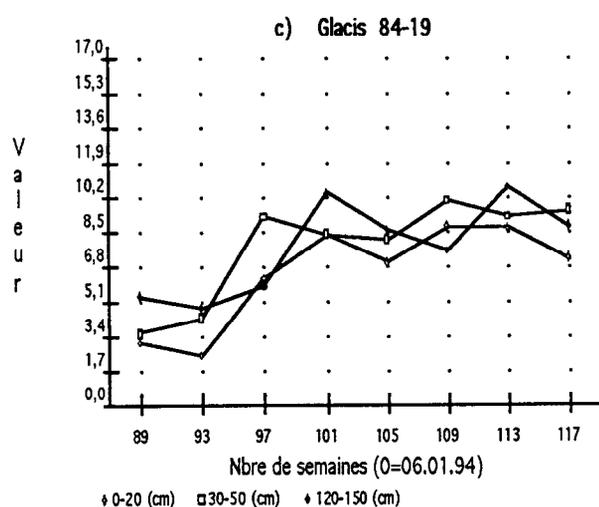
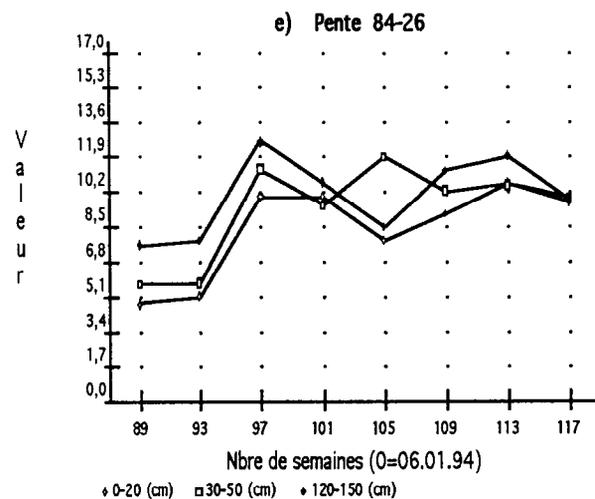
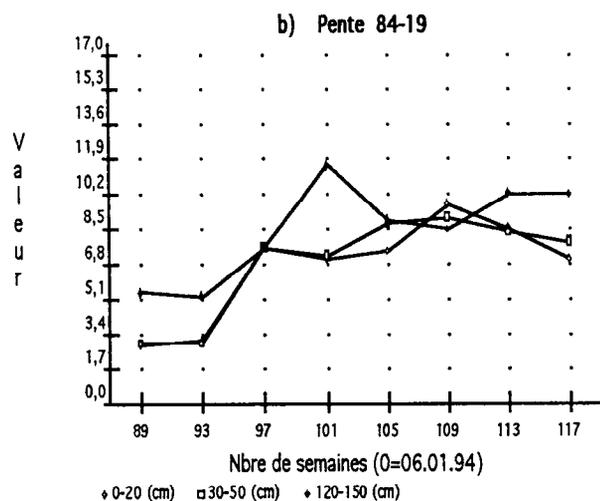
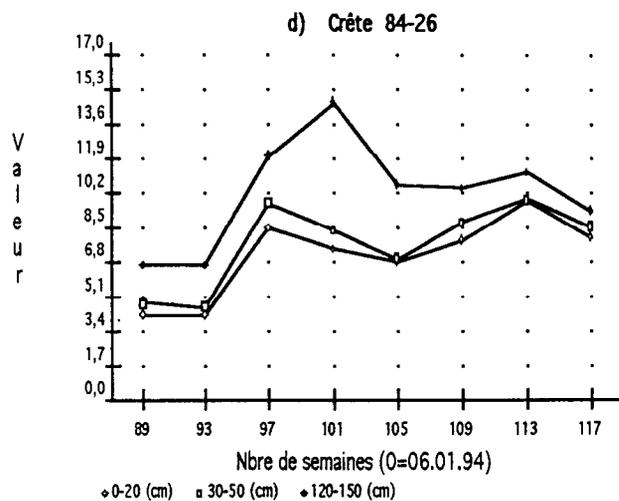
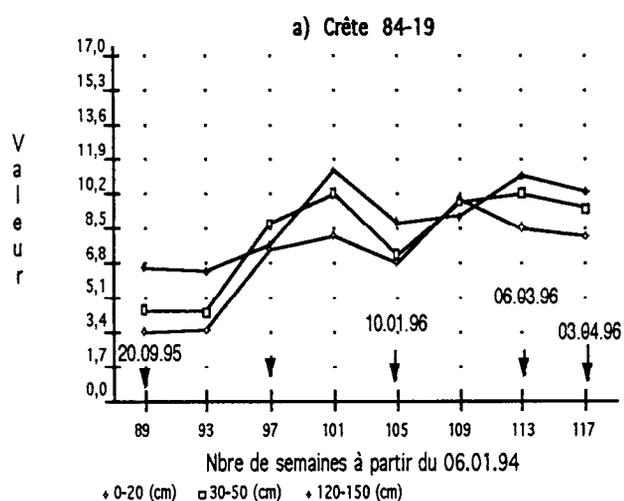


Fig.3.- Teneur en eau (T.E.), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol dans les parcelles 84-19 et 84-26
 3.1.1.- Crête (Première campagne)

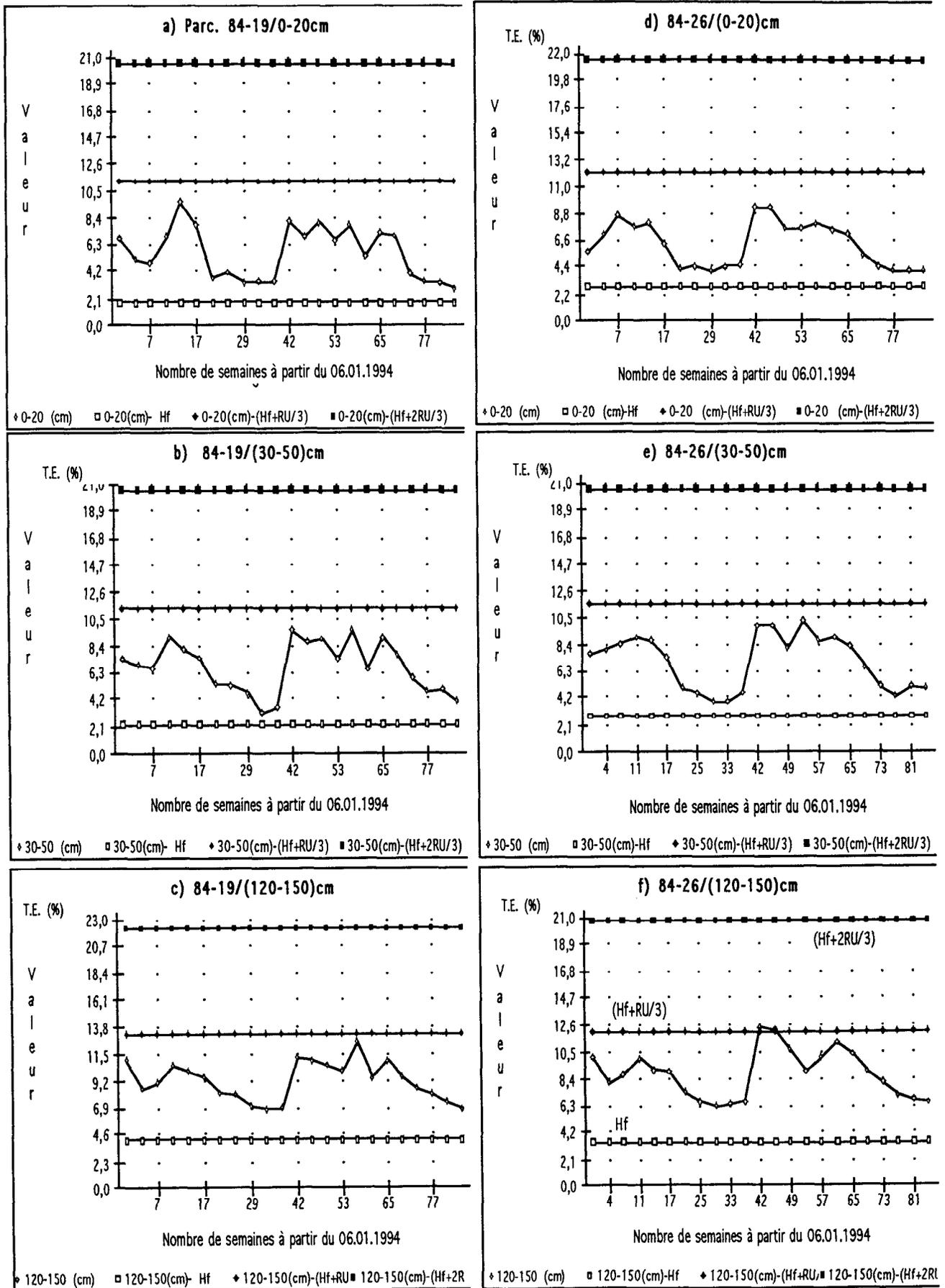


Fig.3.- Teneur en eau (T.E.), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol dans les parcelles 84-19 et 84-26
3.1.2.- Pente (Première campagne)

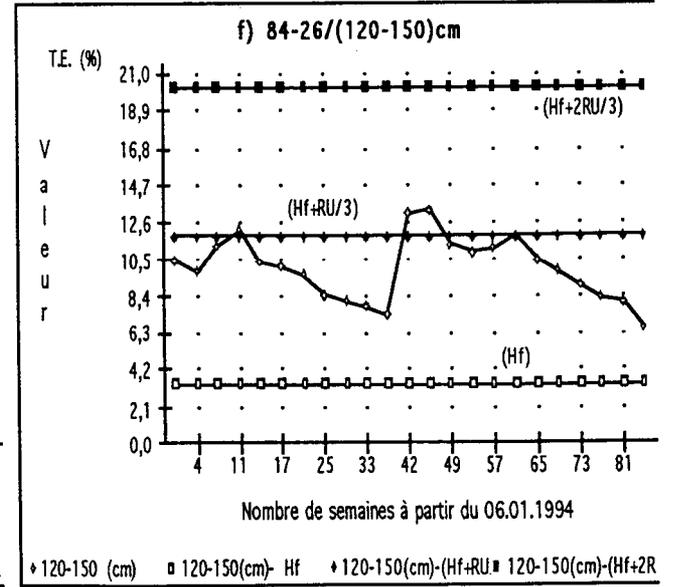
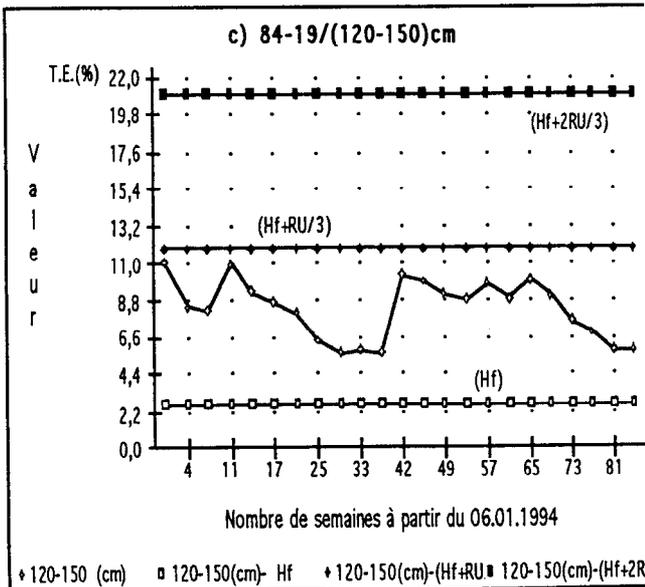
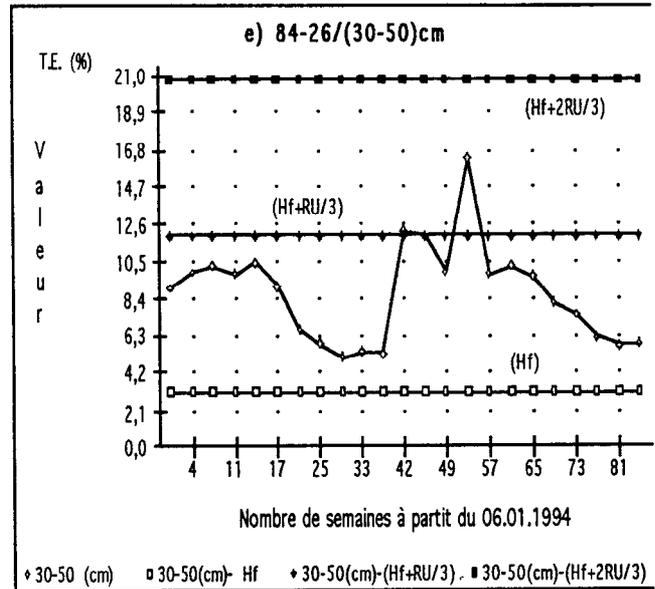
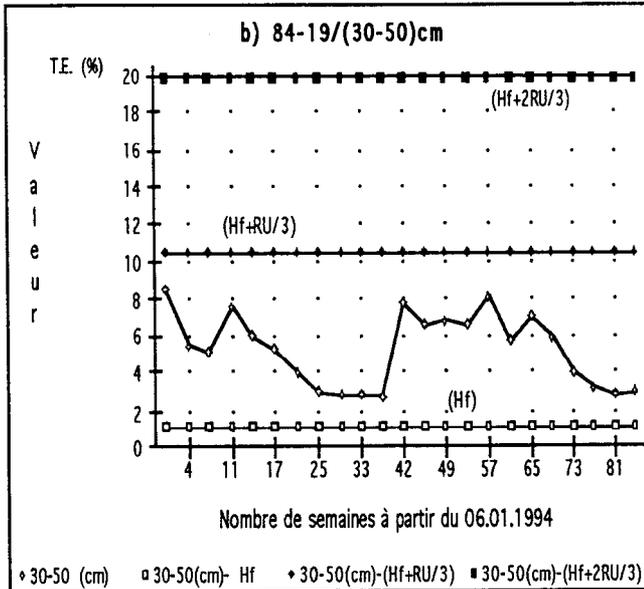
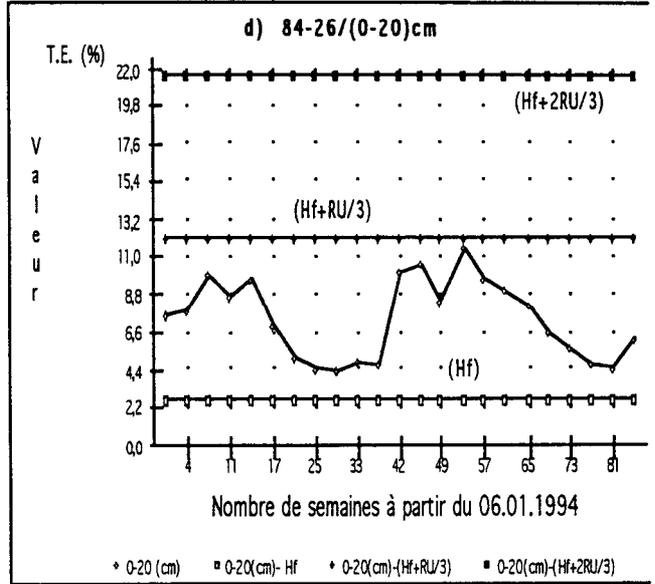
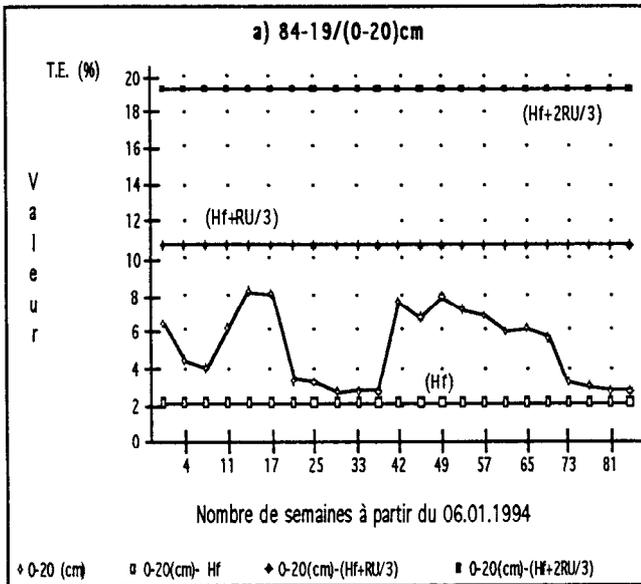


Fig.3.- Teneur en eau (T.E.), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol dans les parcelles 84-19 et 84-26
 3.1.3.- Glacis (Première campagne)

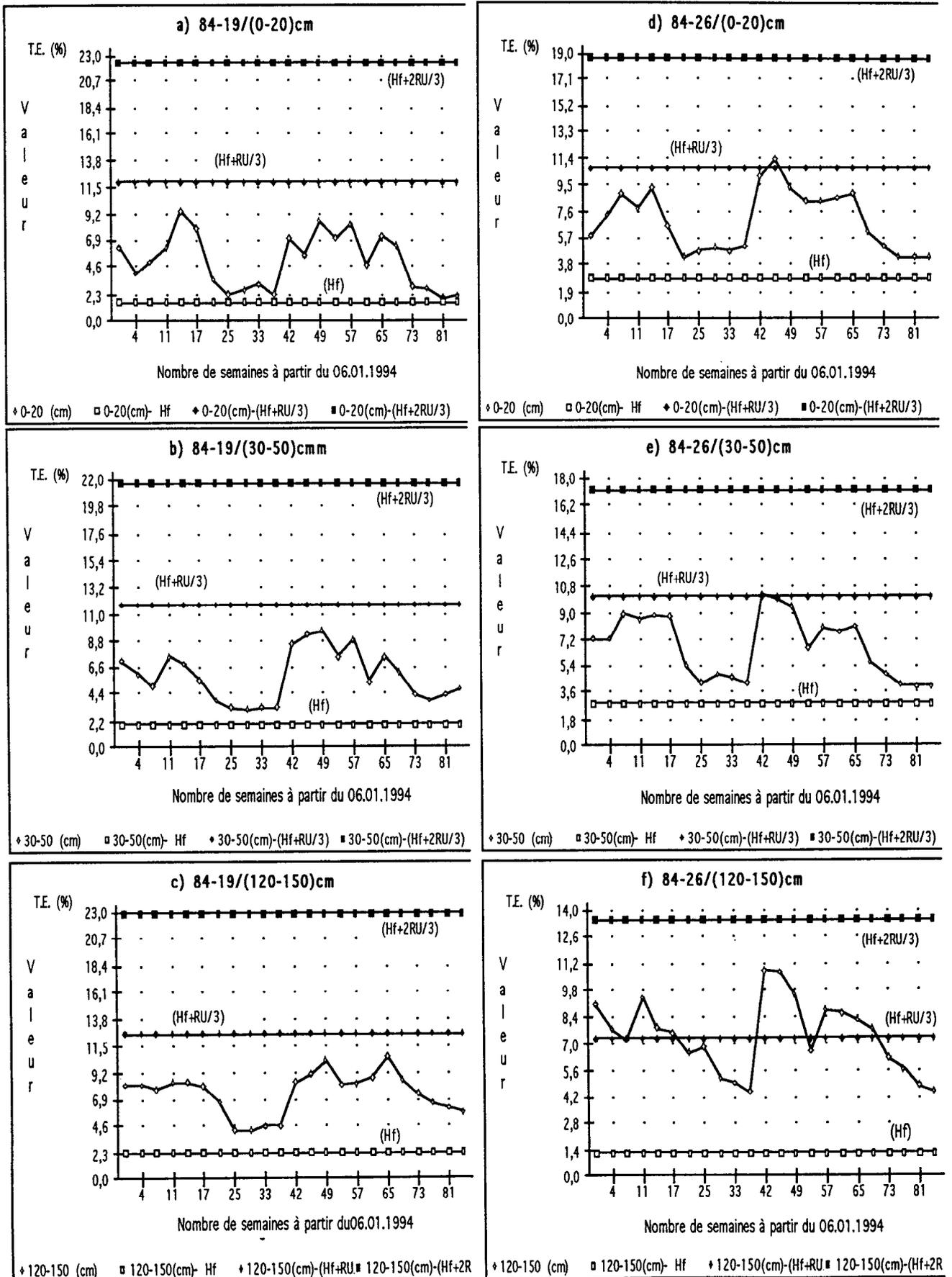


Fig.3.- Teneur en eau (T.E.), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol dans les parcelles 84-19 et 84-26
3.2.1.- Crête (Deuxième campagne)

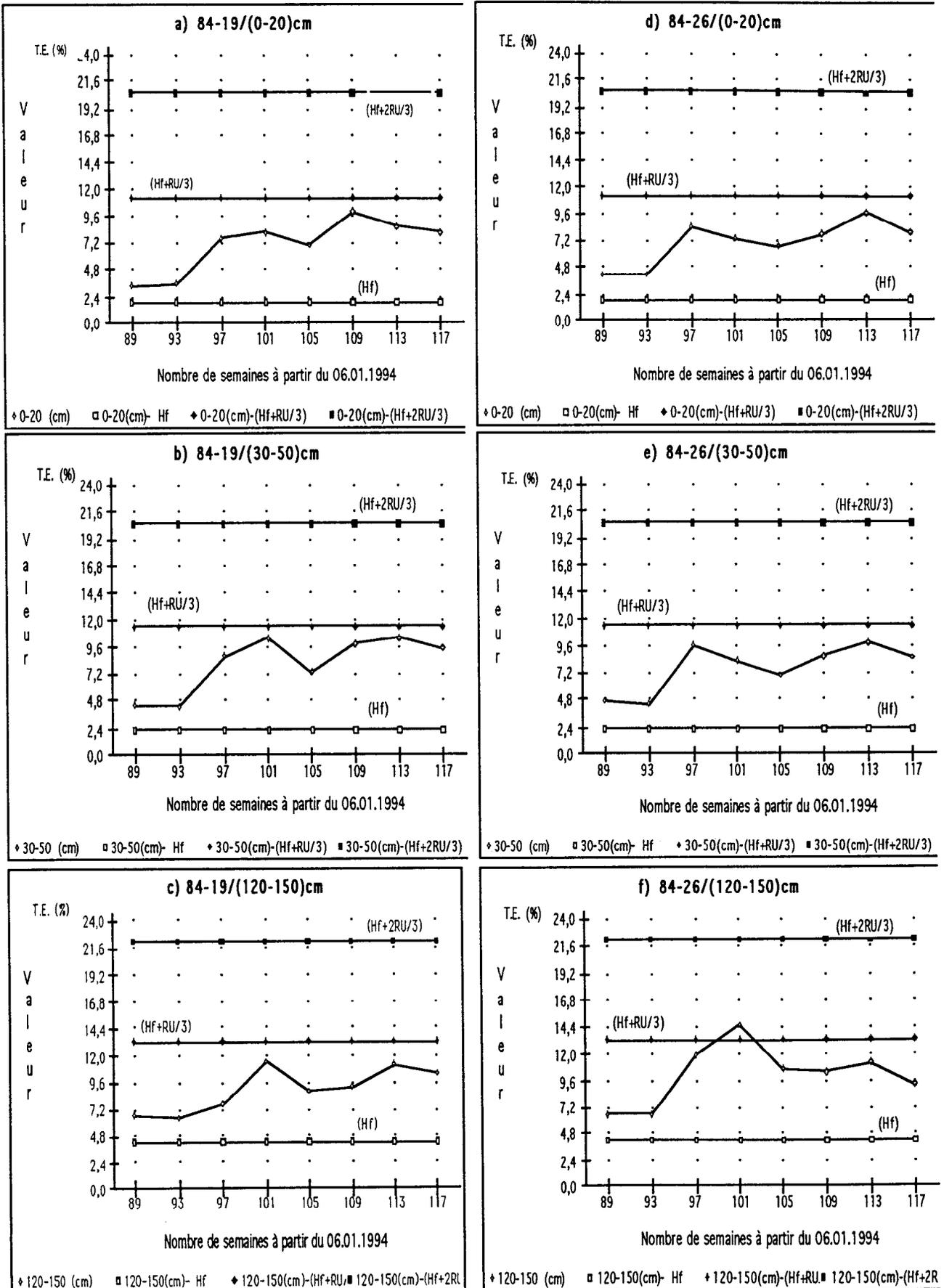


Fig.3.- Teneur en eau (T.E.), point de flétrissement permanent (Hf) et réserve utile (RU) du sol dans les parcelles 84-19 et 84-26
3.2.3.- Glacis (Deuxième campagne)

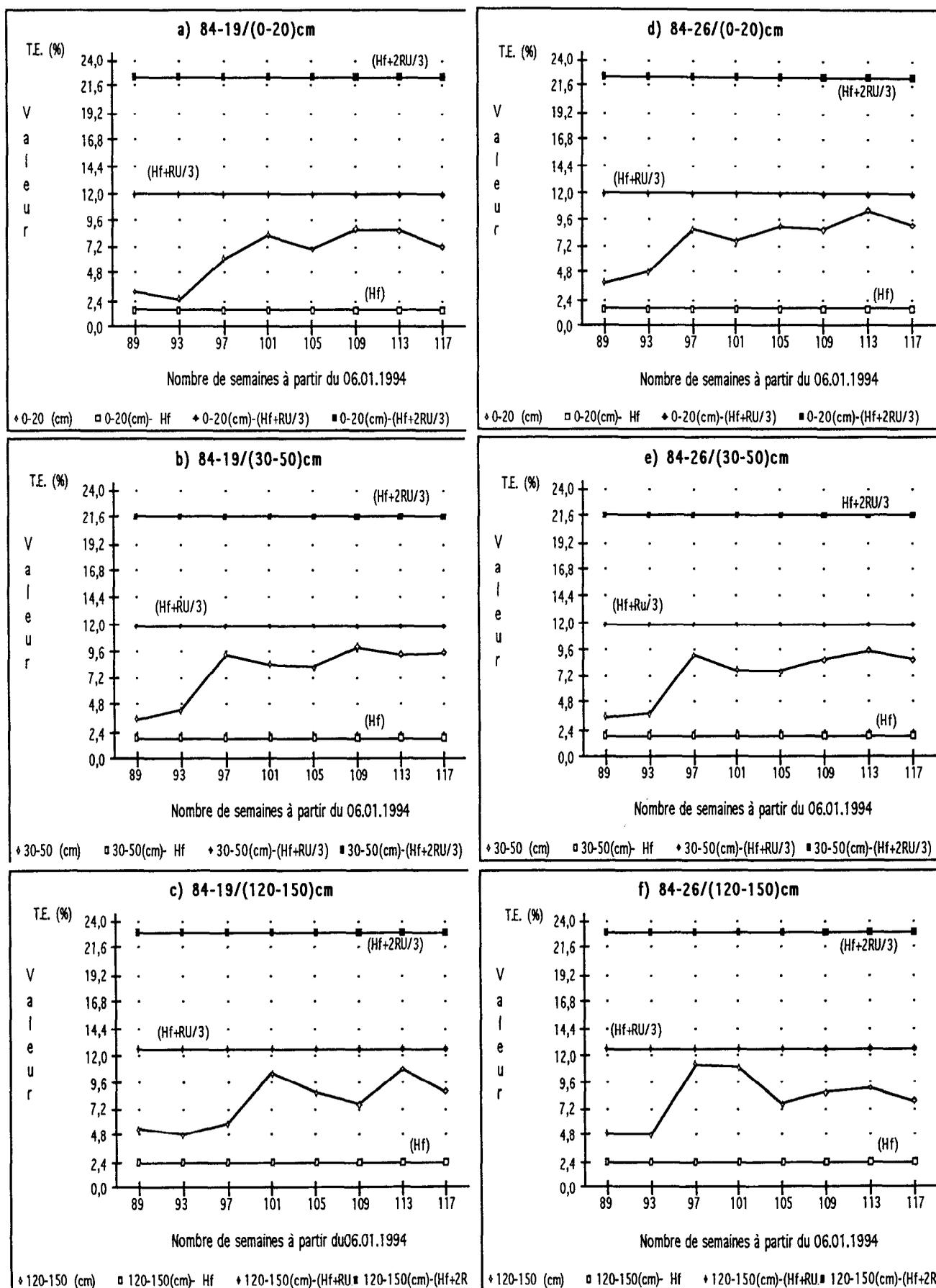


Fig. 4.1.1.-Teneur en éléments minéraux de la solution du sol dans des bougies de 30cm
(Première campagne : du 25.03.1994 au 31.05.1995)

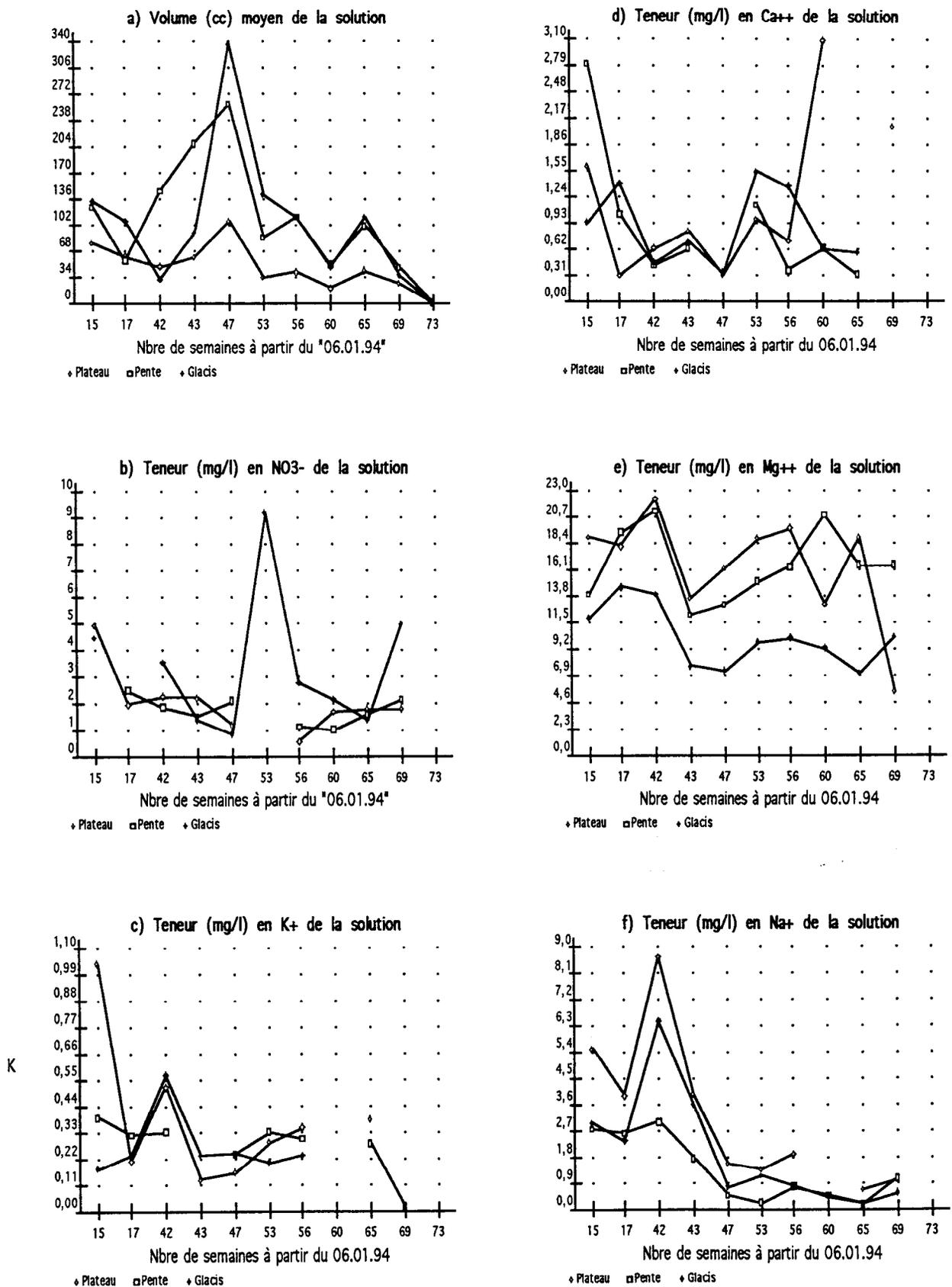


Fig. 4.1.2.-Teneur en éléments minéraux de la solution du sol dans des bougies de 60 cm (Première campagne :du 25.03.1994 au 31.05.1995)

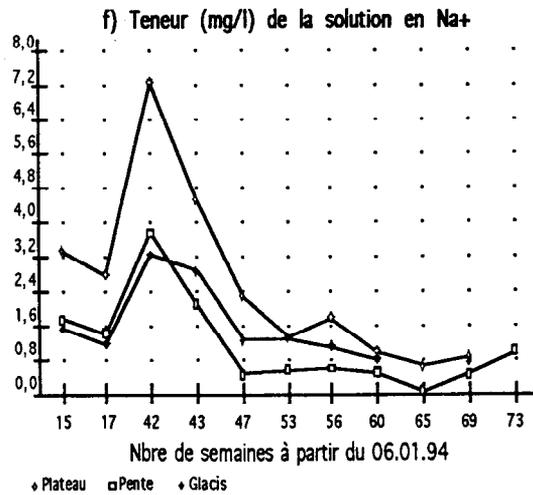
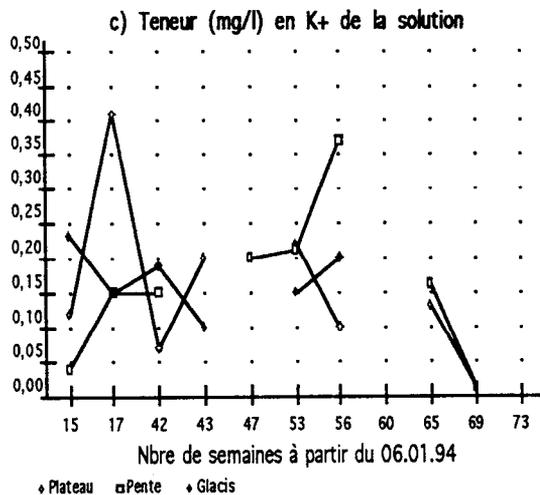
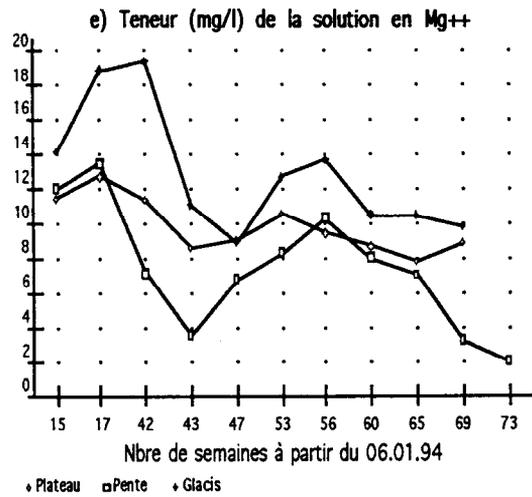
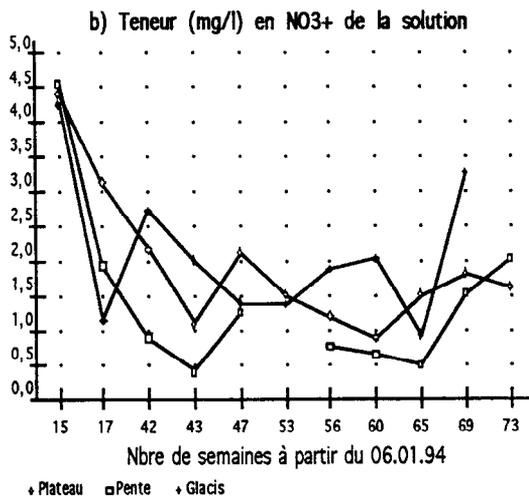
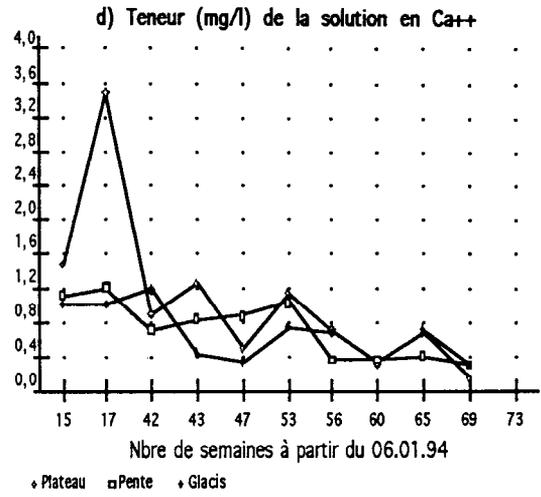
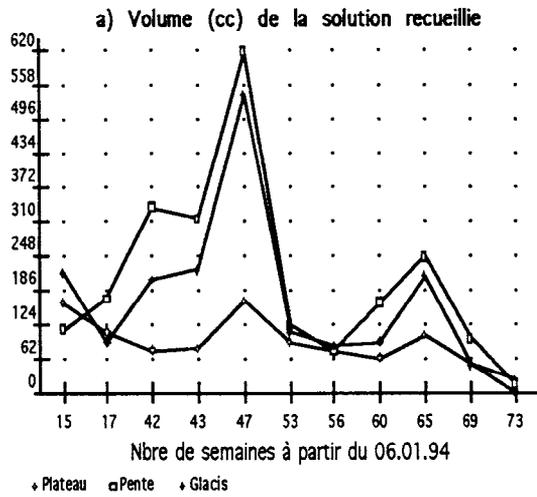


Fig. 4.1.3.- Teneur en éléments minéraux de la solution du sol des bougies poreuses de 120 cm (Première campagne : du 25.03.1994 au 31.05.1995)

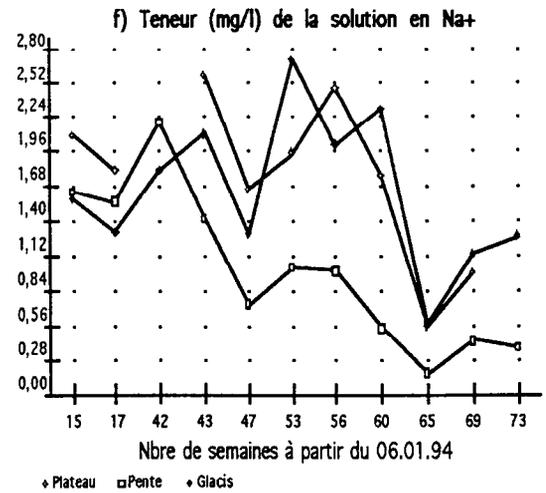
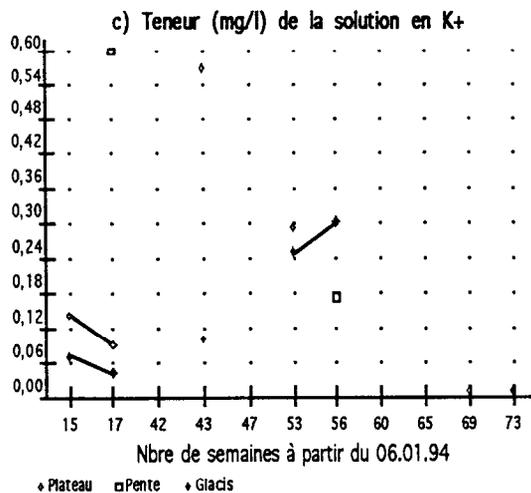
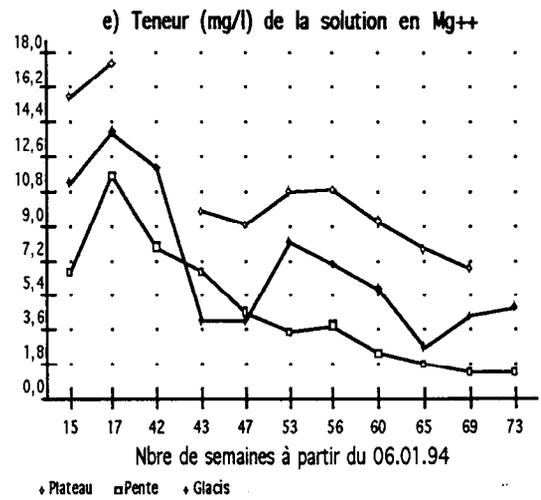
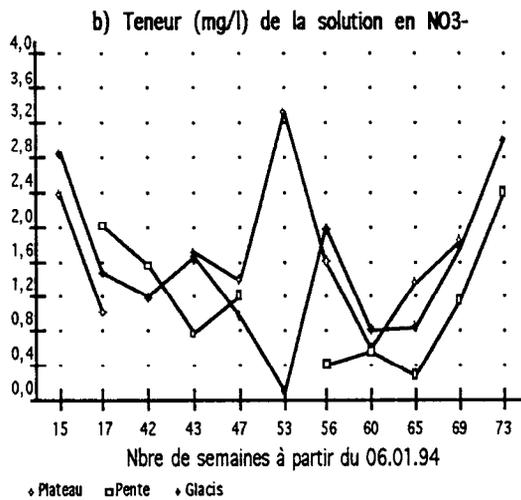
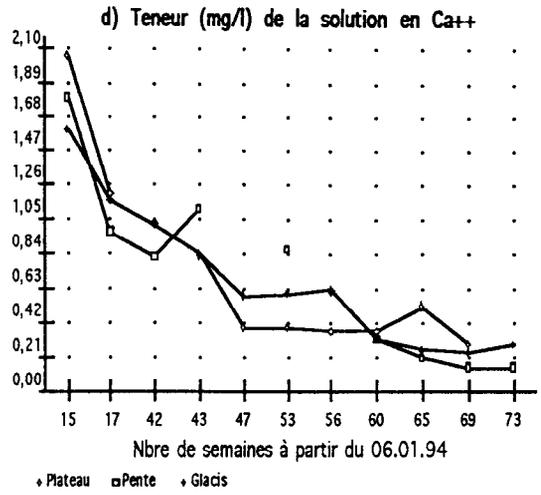
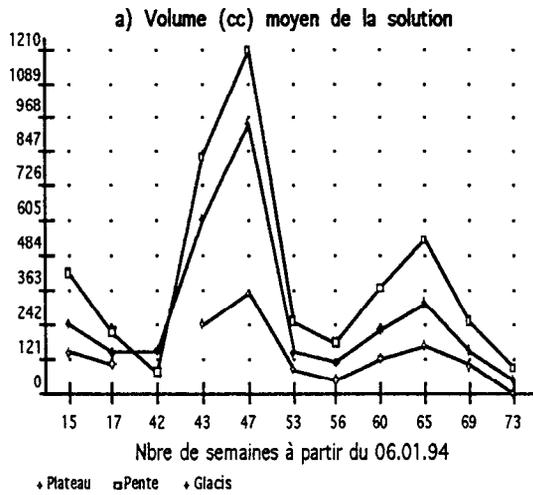


Fig.4.2.1.- Teneur en éléments minéraux de la solution du sol dans des bougies de 30cm (deuxième campagne : du 19.10.95 au 29.05.96)

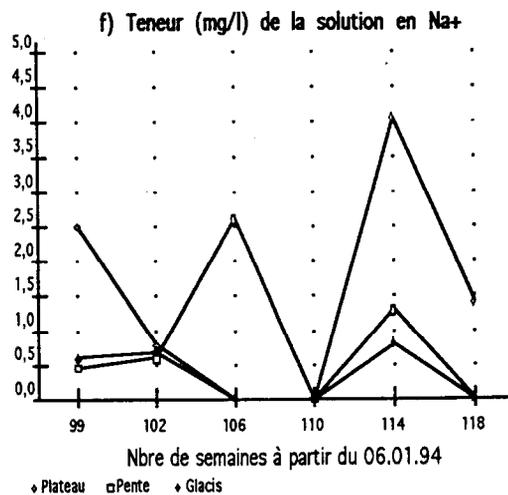
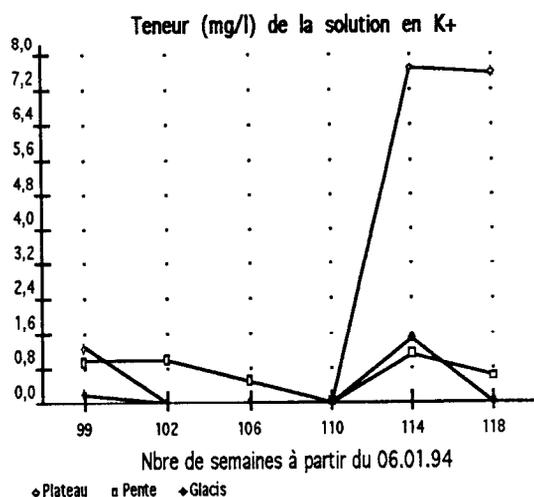
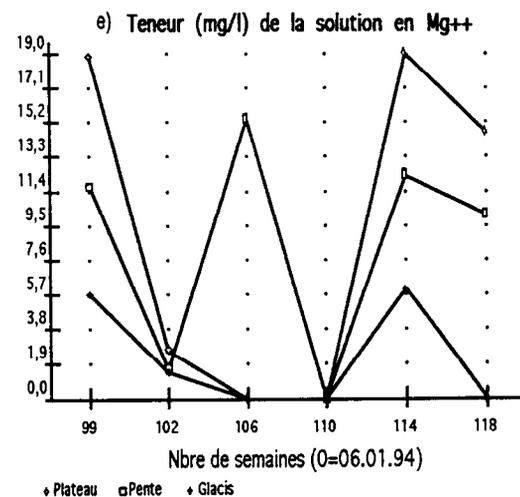
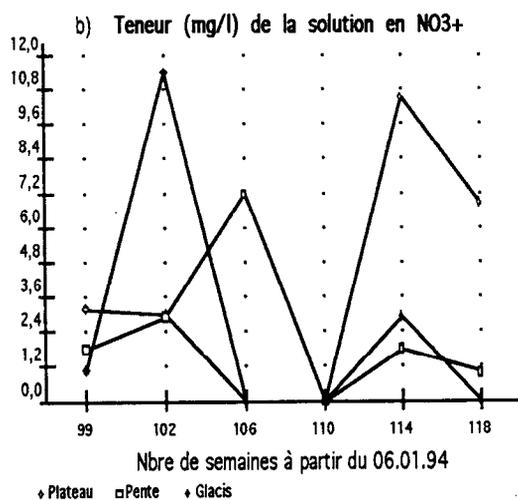
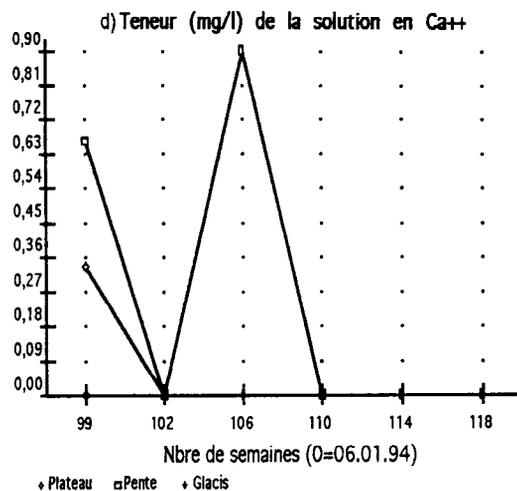
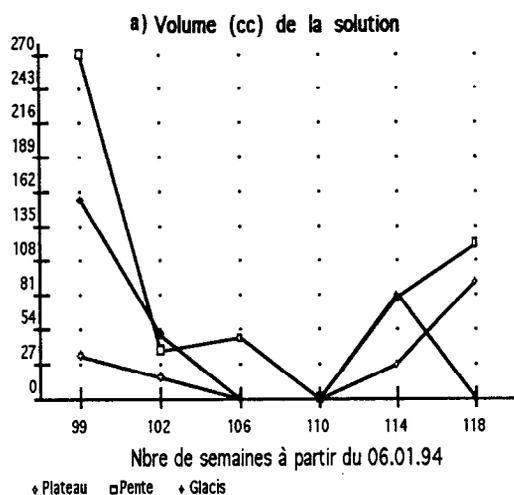


Fig.4.2.2.- Teneur en éléments minéraux de la solution du sol dans des bougies de 60cm (deuxième campagne : du 19.10.1995 au 29.05.1996)

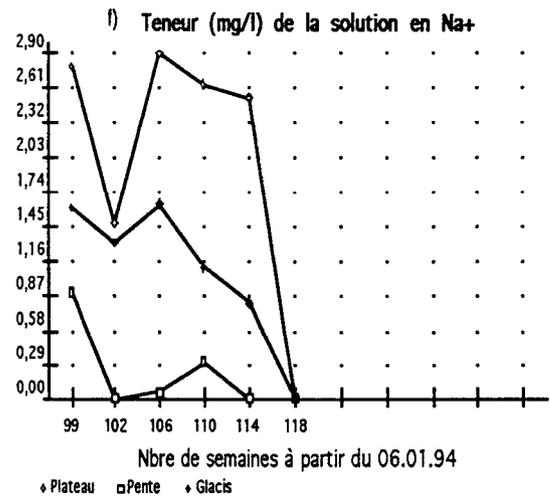
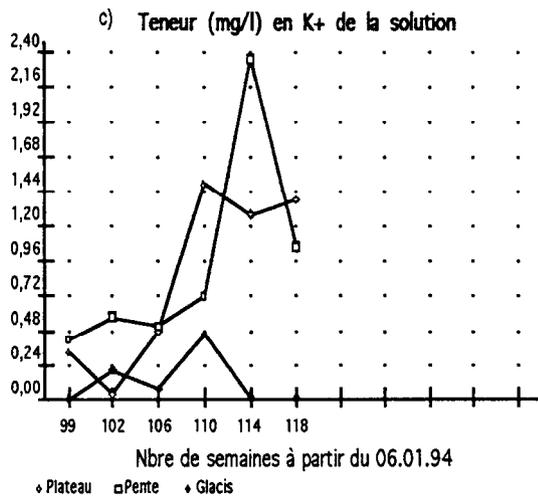
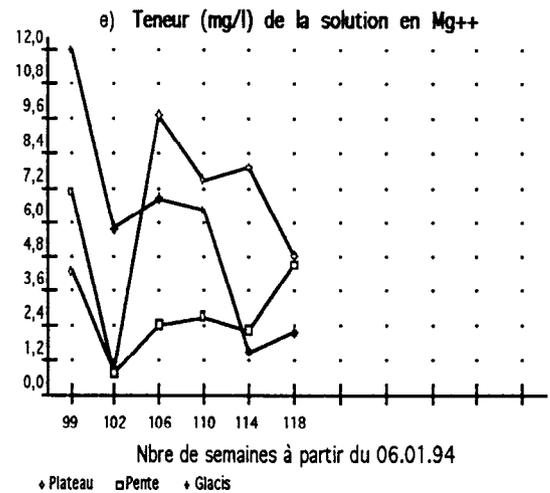
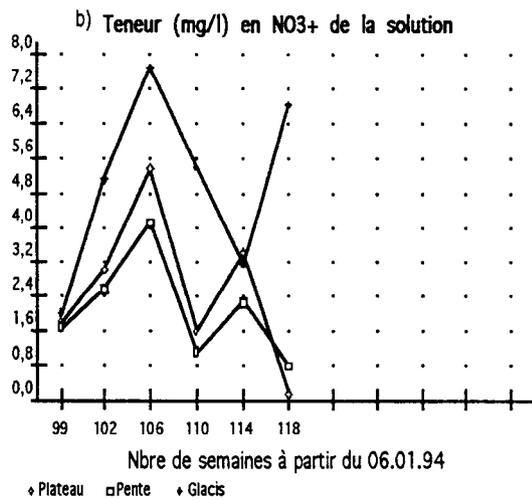
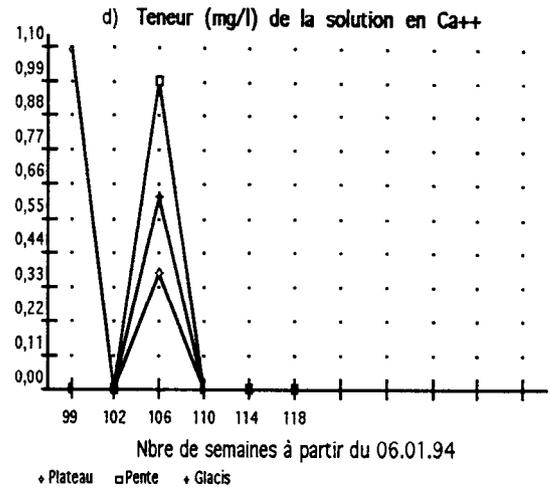
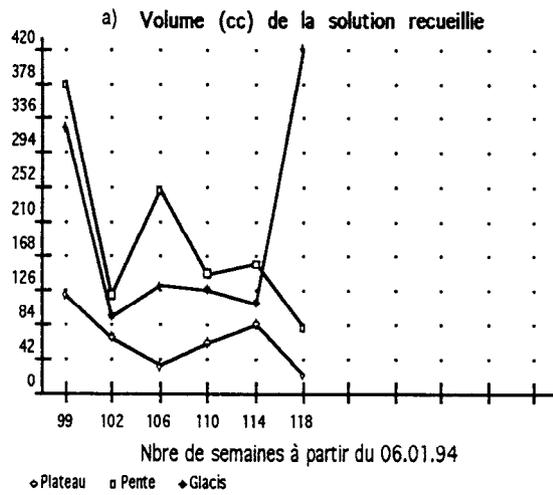


Fig.4.2.3.- Teneur en éléments minéraux de la solution du sol dans des bougies de 120cm (deuxième campagne : du 19.10.1995 au 29.05.1996)

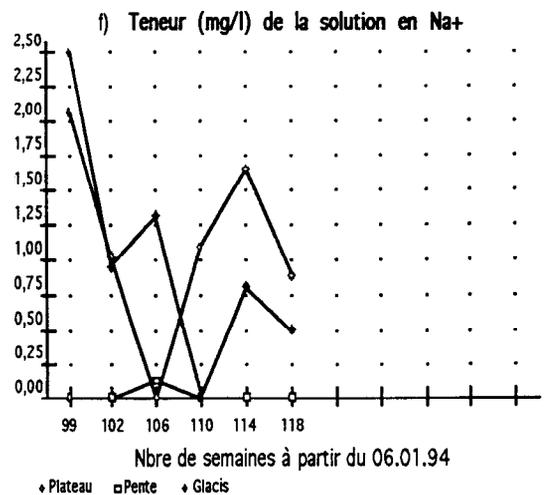
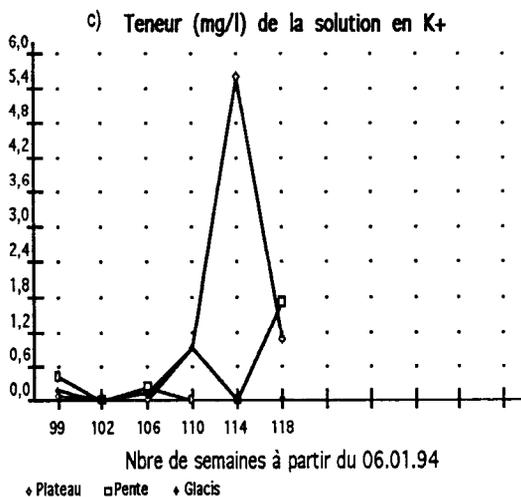
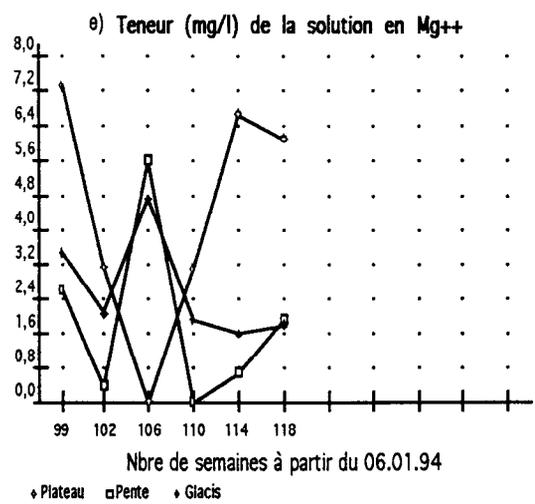
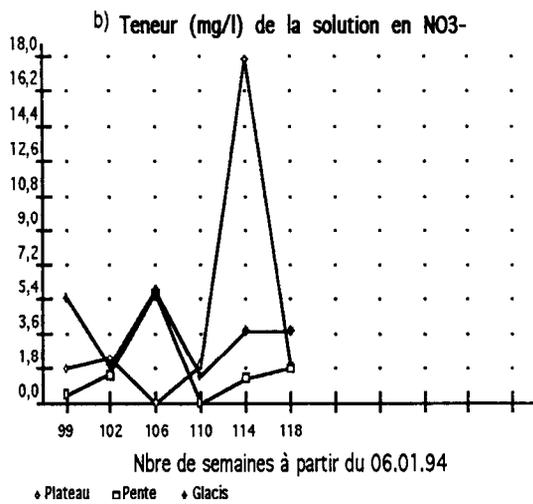
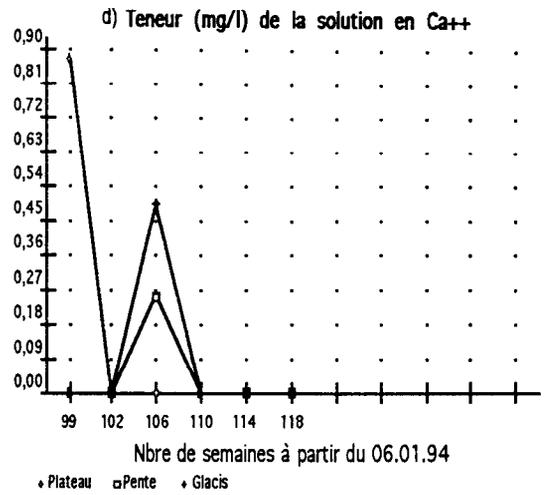
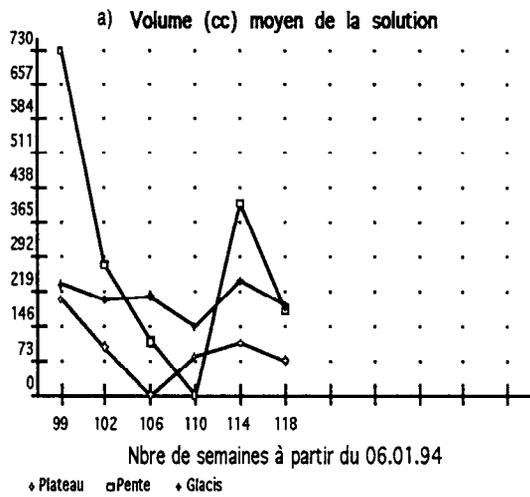
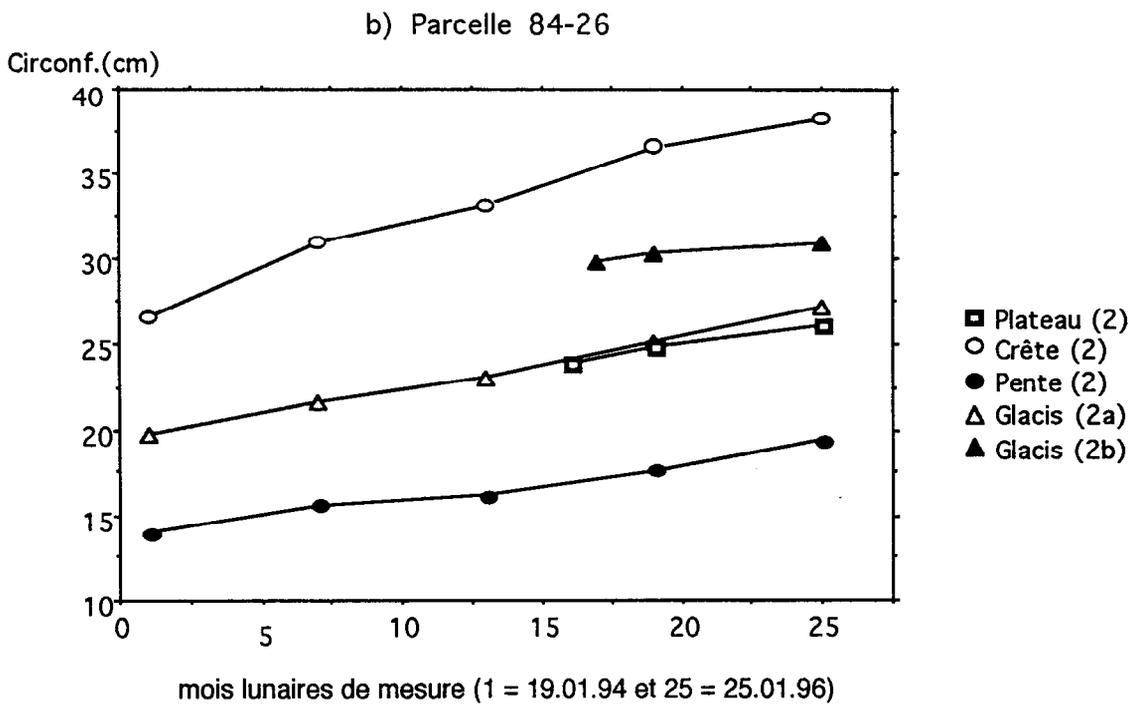
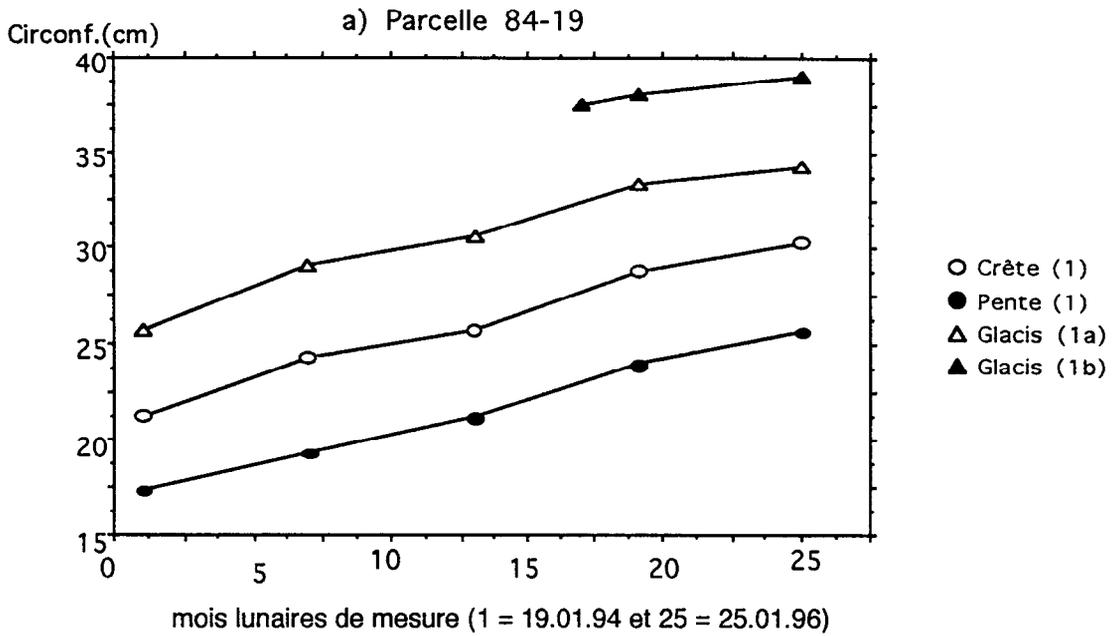


Fig. 6.1.- Circonférence (cm) du tronc de l'*Eucalyptus* au cours du temps (nombre de répétitions = 50)



(1) = Parcelle 84-19

(2) = Parcelle 84-26

(a) = Premier glacis choisi

(b) = Deuxième glacis choisi

Fig. 6.2.- Accroissement (cm ou mm) de la circonférence du tronc de l'*Eucalyptus* au cours du temps (nombre de répétitions = 6)

