

ETUDE DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE DES TRONCS D'HEVEA: CAS D'UNE PLANTATION EN COTE D'IVOIRE. (I) MATERIEL ET METHODES

Jerzy Jan NIZINSKI¹, Gérard GALAT², Anh GALAT-LUONG²

ABSTRACT:

The necrosis of the rubber tree is an affection of the stem, being expressed by a deterioration of the cortical tissues on the level of which are located the conducting latex tissues.

We studied the water relations in a mature rubber tree plantation (clone PB 260; planted in January 1996), in Côte d'Ivoire (May and September 2004), on «healthy» and on «necrosed» trees: mean height 15.0 m; mean circumference at 1.3 m level 59.6 cm; stand density 333 trees ha⁻¹; leaf area index 3.2; rooting depths 4 m; field capacity, R_{FC}=412 mm; permanent wilting point, R_{WP}=225 mm; available water content, R_{AW}=187 mm.

Measurements of water potential allow us to appreciate resistances along the continuum roots - trunk - leaves: the resistances between the trunk and the leaves are identical for « healthy » trees ($0.3 \pm 0.1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O s}^{-1} \text{ bars}^{-1}$) and « necrosed » trees ($0.2 \pm 0.1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O s}^{-1} \text{ bars}^{-1}$); on the other hand, concerning the resistances between the roots and the trunk the two types of trees differentiate radically: $0.2 \pm 0.1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O s}^{-1} \text{ bars}^{-1}$ for « healthy » trees and $1.1 \pm 0.3 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O s}^{-1} \text{ bars}^{-1}$ for « necrosed » trees, it is thus on the level of the junction of grafting that resistance is exceptionally high for « necrosed » trees.

The results seem to show a difference in functioning between «healthy» and «necrosed» trees in the regulation of transpiration flux. Measurements were made here in optimum conditions for water availability; these measurements would have to be continued in conditions of water shortage for the plant, we could then provide more contrasting results.

Keywords: *Hevea brasiliensis*; clone PB 260; Côte d'Ivoire; bark necrosis; transpiration; hydraulic conductance of a stem.

1. INTRODUCTION

La nécrose de l'écorce de l'hévéa est une affection du tronc, s'exprimant par une altération des tissus corticaux au niveau desquels se situent les tissus conducteurs de latex (Nandris *et al.*, 2004). Même dans le cas d'attaques très sévères, le cambium et le xylème demeurent fonctionnels. Compte tenu de la différenciation continue de cellules par l'assise cambiale, la couche de tissus laticifères nécrosés non fonctionnels est repoussée vers l'extérieur. Cette maladie touche essentiellement des arbres adultes en cours de saignée qui ne produisent alors plus de latex mais des cas de nécrose ont été observés sur de jeunes hévéas non exploités; il ne s'agit donc pas, comme pour l'encoche sèche, d'une maladie associée à la saignée.

De nombreuses observations suggèrent que le développement de la nécrose corticale est déclenché, ou accéléré, par une combinaison de facteurs chimio-physiques du milieu (stress liés au climat et au sol) et un traumatisme (mécanique et/ou métabolique) provoqué

¹ Institut de Recherche pour le Développement - I.R.D., UMR 211 «BIOEMCO », Centre IRD d'Orleans, 5 rue du Carbone, 45072 Orleans cedex 2; telephone: 02-38-49-95-25; fax: 02-38-49-95-76; courriel: georges.nizinski@ird.fr.

² Institut de Recherche pour le Développement, UR 060 « CLIFA », BP 64501, 911 Avenue Agropolis, 34394 Montpellier cedex 5.

par les saignées. On peut également supposer une contribution de nature génétique (variabilité clonale, nette dans le cas de l'encoche sèche, moins nette pour la nécrose).

Des observations, qualitatives et quantitatives (Nizinski *et al.*, 2005) semblent justifier l'hypothèse de l'association de la nécrose à une fermeture partielle des stomates et à potentiel hydrique plus négatif chez les arbres nécrotiques, indiquant un problème d'accès à l'eau (racines) ou de conduite de l'eau (xylème). Nous avons étudié les transferts hydriques dans des plantations d'hévéas en Côte d'Ivoire en considérant le sol, l'individu d'hévéa et l'atmosphère comme une entité physique dans laquelle les processus mis en œuvre pour la circulation de l'eau sont interdépendants (Philip, 1966). Nous avons mesuré les potentiels hydriques et les résistances au flux de sève brute au travers des racines, de la jonction de greffage, du tronc et des feuilles sur des individus « sains » et des individus « nécrosés ».

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Situation géographique et climat: la station d'étude se trouve au sud de la Côte d'Ivoire, le climat y est représentatif du climat général de la zone forestière humide. La migration d'air humide et instable (alizés australs, du sud au nord) débute en février – mars, il y a deux saisons des pluies caractérisées par une importante variabilité dans le temps et dans l'espace, d'avril à juin et de septembre à novembre, avec des précipitations moyennes annuelles de $P_i=2065 \text{ mm an}^{-1}$, une évapotranspiration potentielle (Penman, 1948) de 1365 mm an^{-1} ($E_p=3,7 \text{ mm jour}^{-1}$), un rayonnement global moyen annuel journalier de $18,4 \text{ MJ jour}^{-1}$, une durée d'insolation moyenne journalière de 6,3 heures, une température moyenne de l'air de $26,3 \text{ °C}$ ($t_{\max}=28,8 \text{ °C}$, $t_{\min}=23,7 \text{ °C}$), une humidité relative de l'air de 87,3 %, une vitesse moyenne du vent de $95,8 \text{ km jour}^{-1}$ (station de référence Abidjan: latitude $5^{\circ}15' \text{ N}$, longitude $3^{\circ}56' \text{ W}$; altitude 125 m; www.fao.org). La période d'avril à juin correspond à la grande saison des pluies ($P_i=712 \text{ mm}$; avec des précipitations moyennes annuelles de $P_i=1723 \text{ mm an}^{-1}$; station météorologique de Bongo située sur la plantation). Nous avons fait les mesures d'une part pendant cette saison des pluies, en mai 2004 ($P_i=146 \text{ mm mois}^{-1}$; avec un sol à la capacité au champ) et d'autre part en septembre qui correspond statistiquement à la fin de la saison sèche, avec juillet ($P_i=175 \text{ mm mois}^{-1}$) – août ($P_i=68 \text{ mm mois}^{-1}$) – septembre ($P_i=87 \text{ mm mois}^{-1}$); mais en 2004 la 2^e saison des pluies fut précoce et lors des mesures en septembre les pluies avaient déjà ramené le sol à la capacité au champ.

Géologie et sols: la zone d'étude se situe dans un bassin sédimentaire côtier (pliocène) comportant des grès argileux, des sables et des argiles. Les sols sont des sols ferrallitiques, légers, perméables en surface, pauvres en éléments minéraux du fait de la désaturation en bases du complexe absorbant des horizons A et B, acides ($\text{pH}<6,0$).

Végétation: la végétation d'origine de Côte d'Ivoire est une forêt humide. Les surfaces défrichées sont transformées en cultures pérennes, plantations de palmier à huile, de caféier, de cocotier et d'hévéa. Le mot hévéa provient du terme indien « hyévé » qui désigne l'arbre à latex. Il a acquis une importance commerciale vers le milieu du XVIII^{ème} siècle en Europe en raison des caractéristiques d'élasticité et d'imperméabilité de son latex qui, coagulé, fut appelé « caoutchouc ». L'hévéa appartient à la famille des Euphorbiacées comprenant 321 genres et 7.950 espèces dont de nombreuses dans la zone tropicale, en particulier en Inde, Malaisie et Amérique du Sud. Les feuilles sont caduques. La refoliation, associée à une élongation des tiges se fait immédiatement après la chute des feuilles qui a lieu de fin janvier à février. Les tiges et les feuilles de l'hévéa contiennent des tubes spécialisés qui sécrètent le latex, substance liquide laiteuse provenant de cellules laticifères réparties au niveau du cortex et orientées verticalement, qui ont une longueur de plusieurs mètres

(Kramer et Kozłowski, 1993). L'hévéa est d'introduction récente en Côte d'Ivoire. Le clone étudié, PB-260, a été créé entre 1955 et 1960 en Malaisie par pollinisation et a été classé comme clone à latex et à bois d'œuvre avec un tronc droit et régulier, ayant une croissance rapide avant saignement (5 ans). Les individus cultivés sont greffés, il existe donc « une jonction de greffage » chez ces individus.

Individus d'hévéa étudiés: Nandris et al. (2004) ont choisi en septembre 2003 pour le suivi des transpirations, potentiels et résistances, des individus « sains » et des individus « nécrosés », qu'il a associés par couple (un individu « sain » dénommé S; un individu « nécrosé » dénommé N); les deux individus de chaque couple sont proches l'un de l'autre, ont eu des conditions de croissance similaires et sont, au moment des mesures, dans des conditions similaires (lumière, ombre): il y a trois couples (S-N) au sein de la placette étudiée (**Photo 1**).



Photo 1. Vue générale de la placette d'étude – P20: futaie d'hévéas (clone PB-260) plantée en janvier 1996 à l'état de plantules issues de boutures, plantules d'environ 0,3 m de hauteur, plantées en rangs orientés nord-sud avec un écartement de 4 m entre deux individus d'une même ligne et un écartement de 6 m entre deux lignes, avec comme paramètres: hauteur moyenne de 15 m; circonférence moyenne de 59,6 cm; densité de 333 arbres ha⁻¹; surface terrière de 10 m² ha⁻¹; volume de bois de 79,3 m³ ha⁻¹; indice foliaire de 3,2; zone racinaire de 4 m. General sight of the study plot - P20: mature rubber trees plantation (clone PB-260) were planted in Janvier 1996 with transplants (0.3 m high) in pits dug at a spacing of 4 m x 6 m (rows facing Nord-South); mean height 15 m; mean stem diameter at 1.3 level 0.17 m (59.6 cm); stand density 333 trees ha⁻¹; total basal area 10 m² ha⁻¹; total wood production 79.3 m³ ha⁻¹; mean annual leaf area index 3.2; rooting depths 4 m.

Caractéristiques qualitatives de la surface d'aubier: nous ferons référence à une étude faite à Abourra (Ghana) en mars 2003 pour laquelle nous avons utilisé la méthode suivante: quatorze individus, sept sains et sept nécrosés ont été choisis, pour leur circonférence proche de la circonférence moyenne, abattus. Nous avons prélevé pour chaque individu, une section de tronc (billot) d'une épaisseur d'environ 8 cm, incluant la jonction de greffage qui a été immédiatement placée dans une solution de Phoxine B® à 0,5 cm³ dm⁻³. Ce colorant rouge migre dans les vaisseaux conducteurs fonctionnels et atteint en quelques

minutes l'autre extrémité, en délimitant de manière bien visible la zone conductrice. Nous avons photographié les surfaces supérieures des billots tâchés de Phoxine B®, après 1, 5, 30 et 60 minutes. Les photographies ont été scannées, les surfaces d'aubier colorées ont été planimétrées à l'aide du logiciel « SigmaScanPro5® ». La comparaison des surfaces « tâchées » par la Phoxine B® a permis une première discrimination qualitative des résistances au transfert du flux de sève brute à travers la jonction de greffage.

Indice foliaire: on rendra compte de la surface des feuilles et de leur distribution par l'indice foliaire, surface totale des feuilles divisée par la surface du sol recouvert par celles-ci, obtenu par mesures indirectes qui consiste à comptabiliser le nombre de feuilles de l'année (litière fraîche) récoltées à l'aide d'une aiguille, utilisée perpendiculairement au sol, chaque mesure étant répétée 300 fois.

Évapotranspiration potentielle du couvert et transpiration d'individus « sains » et d'individus « nécrosés »: les formules de Penman (1948) et de Monteith (1965) ont été utilisées pour estimer l'évapotranspiration potentielle (E_p) et l'évapotranspiration réelle du couvert (E_a). Nous avons utilisé les données météorologiques de la station installée à environ cinq kilomètres des peuplements étudiés (**photo 2a et 2b**).



a



b

Photo 2ab. Station météorologique du site d'étude (mesures à 2 m au-dessus de la surface du sol: capteur de photons (Licor Quantum Sensors®), humidité relative de l'air et température moyenne de l'air (sonde Vaisala, HMP35AC®), vitesse du vent (anémomètre Vector®), rayonnement global (pyranomètre Li-200SZ®) et rayonnement net (bilan mètre REBS/Q-7®); température moyenne du sol à 0,05 m et 0,15 m (sonde 107®); les mesures sont stockées sur une centrale d'acquisition de données de type Micrologger CR10 X®. Meteorological data issued from the meteorological station located about 5 km from (2 m above the savannah's soil surface): Photosynthetically Active Radiation (PAR) (quantum sensor; Li-cor®, NE, USA), air humidity, mean air temperature (R.H. probe, Vaisala HMP35AC®, Helsinki, Finland), wind speed (anemometer A100R, Vector Instruments®, Rhyl, UK), global radiation (pyranometer Li-200SZ, Li-cor®, NE, USA) and net radiation (net radiometer REBS/Q-7, Campbell®, Logan, USA); soil temperatures (at 0.05 m and 0.15 depth; 107 probes, Campbell®, UK) were recorded on a CR10 X Datalogger (Campbell®, Logan, USA)

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle et réelle ont été calculées chaque vingt minute, puis cumulées sur les durées correspondant aux intervalles de mesures des potentiels et des résistances.

$$E_p = (\Delta R_n / \lambda + \gamma E_0) / (\Delta + \gamma) \quad [\text{mm jour}^{-1}] \quad (1)$$

Pour estimer l'évapotranspiration réelle du couvert, nous avons utilisé la formule de Penman - Monteith, soit:

$$E_a = E_p / (1 + (\gamma / (\Delta + \gamma))) \left(r_{s(\text{moy})} / \text{LAI}_{\text{P20}} r_a \right) \text{ [mm jour}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

Avec : $r_{s(\text{moy})}$ - résistance stomatique moyenne d'une feuille (valeurs mesurées), en s cm^{-1} ; LAI_{P20} - indice foliaire du couvert (valeurs mesurées); $\text{LAI}=3,24$; r_a - résistance aérodynamique du couvert, en s cm^{-1} (Monteith, 1965):

$$r_a = \left(1 / \left(k^2 u_{2M} \right) \right) \left(\ln(z-d) / z_0 \right)^2 \text{ [s cm}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

Avec: r_a - résistance aérodynamique, en s cm^{-1} ; k - constante de von Karman (0,39); u_{2M} - vitesse du vent mesurée à 2 mètres de la surface du sol, en m s^{-1} ; z - niveau considéré, en m; z_0 - longueur de rugosité, en m; d - hauteur du déplacement, en m (Thom, 1972).

$$d = 0,75 \text{ h [m]} \quad (4)$$

$$z_0 = 0,1 \text{ h [m]} \quad (5)$$

avec : h - hauteur du peuplement, en m.

$$\text{Tr} = \Sigma \text{Tr}_{(i)} * S_{(i)} / N / 3 \text{ [dm}^3 \text{heure}^{-1} \text{arbre}^{-1}\text{]} \quad (6)$$

avec:

$$\text{Tr}_{(i)} = E_p / (1 + (\gamma / (\Delta + \gamma))) \left(r_{s(\text{moy})(i)} / \text{LAI}_{\text{P20}} r_a \right) \text{ [mm jour}^{-1}\text{]} \quad (7)$$

et

$$S_{(i)} = \text{SP20} / \text{NP20} \text{ donc pour } S_{\text{P20}} = 30,03 \text{ [m}^2 \text{arbre}^{-1}\text{]} \quad (8)$$

Avec: $\text{Tr}_{(i)}$ - transpiration d'individu (i) au sein d'une placette P20, mm jour^{-1} ; $r_{s(\text{moy})(i)}$ - résistance stomatique moyenne d'une feuille d'individu (i), en s cm^{-1} ; $S_{(i)}$ - surface du sol occupée par un individu (i) au sein d'une placette P20, en m^2 ; S_{P20} - surface de la placette P20 ($\text{P20} = 25,7 \text{ ha}$), en hectares; N_{P20} - nombre d'arbres présents sur la placette P20 ($A_{\text{P20}} = 8558 \text{ arbres}$); 3 - nombre des scrutations par heure (3 x 20 minutes); i - appellation des individus, individus «sains» (S17, S16, S18) et individus «nécrosés» (N1, N2, N3).

Conductivité hydraulique des troncs - absorption racinaire: conductivité hydraulique des troncs il s'agit du flux de sève transitant par un segment de tronc par unité de temps et par unité de gradient de potentiel (sans spécifier le diamètre du tronc) (Cruiziat et Tyree, 1990), à savoir:

$$k_h = \text{Tr} / (\Delta \Psi / l) \text{ [cm}^3 \text{H}_2\text{O s}^{-1} \text{bars}^{-1} \text{arbre}^{-1}\text{]} \quad (9)$$

Avec: k_h - conductivité hydraulique, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O s}^{-1} \text{bars}^{-1} \text{arbre}^{-1}$; Tr – transpiration, en cm^3 ; $\Delta \Psi$ - différence de potentiel entre deux points de mesure de potentiel, en bars; l – longueur du segment de tronc, en cm.

Dans nos conditions expérimentales les quantités d'eau transpirées (Tr) quotidiennement par l'hévéa sont celles absorbées par les racines (Abs), le flux d'eau à travers l'hévéa pouvant être considéré comme conservatif (Philip, 1966), soit: $Abs \approx Tr$.

Par simplification, nous réduisons l'hévéa à trois compartiments: le compartiment «feuilles», le compartiment «tronc» qui est le greffon, le compartiment «racines» qui est le porte-greffe; la jonction de greffage délimite physiquement deux portions du tronc réel mais dans notre schéma de compartiments, elle délimite le compartiment «racines» et du compartiment «tronc»:

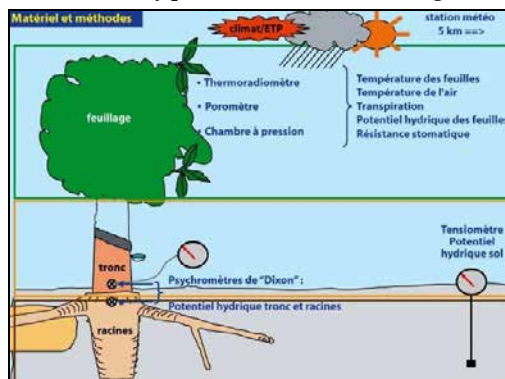
$$\begin{aligned} Abs &= (\Psi_{sol} - \Psi_{racines}) / r_{sol-racines} \\ &= (\Psi_{racines} - \Psi_{tronc}) / r_{racines-tronc} \\ &= (\Psi_{tronc} - \Psi_{feuilles}) / r_{tronc-feuilles} = Tr(i) \end{aligned} \quad (10)$$

Ainsi: Abs – absorption racinaire, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1}$; Ψ_{sol} – potentiel hydrique du sol, en bars; $\Psi_{racines}$ - potentiel hydrique des racines (porte greffe), en bars; Ψ_{tronc} – potentiel hydrique du tronc (greffon), en bars; $\Psi_{feuilles}$ - potentiel hydrique des feuilles, en bars; Tr - transpiration en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1}$; $r_{sol-racines}$ – résistance au passage de l'eau du sol aux racines, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O s}^{-1} \text{bars}^{-1}$; $r_{racines-tronc}$ – résistance au passage de l'eau des racines (porte greffe) au tronc (greffon) à travers la jonction de greffage, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1} \text{bars}^{-1}$; $r_{tronc-feuilles}$ – résistance au passage de l'eau à travers du bas du tronc (greffon) aux feuilles, en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O arbre}^{-1} \text{s}^{-1} \text{bars}^{-1}$.

3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL (TABLEAU 1)

Les poromètres permettent de mesurer les échanges gazeux entre la feuille et l'atmosphère (photos 3a, 3b et 3c). Ces flux sont proportionnels à la surface de l'objet, aux gradients de concentration du gaz entre l'intérieur et l'extérieur de la feuille, à la conductivité (=1/résistance) de l'objet.

Tableau 1. Matériels et méthodes utilisés lors de missions en Cote d'Ivoire en 2004. Sampling and measurement technique used on the study plot in Cote d'Ivoire during 2004 (Nizinski et al., 2009)



Dans les systèmes ouverts, un flux d'air constant et de concentration en vapeur d'eau connue entre dans la chambre où se situe la feuille, la concentration en vapeur d'eau sortante est ensuite mesurée. Il est alors possible de calculer la transpiration et la résistance stomatique. Les mesures ont été faites entre 10h30 et 15h30 car, compte du type d'appareil utilisé (poromètre AP4, Delta-T-Devices®), l'humidité relative de l'air, très élevée (plus de 80 %), a empêché toute mesure avant 10h30 et après 15h30. Cette humidité relative se maintenant élevée au cours de la journée (de 70 à 80 %), nos mesures de résistance stomatique approchent la résistance stomatique minimale.



Photo 3abc. Mesures de la résistance stomatique ($r_{\text{stomatique}}$, en s cm^{-1}) avec un poromètre de type AP4, Delta-T-Devices®. Measurement of the stomatal resistance (r_{stomatal} , s cm^{-1}), with a AP4 Delta-T-Devices® porometer

Tableau 2. Caractéristiques morphologiques du peuplement de la station d'étude P20.
Morphological characteristics of the rubber tree plantation of the study plot P20.
 (Nizinski et al., 2009)

Date de plantation	1996
Clone	PB-260
Ecartement (en mètre)	6 x 4,0
Hauteur moyenne des arbres (m)	15,0
Surface de la placette (hectare)	25,70
Nombre d'arbres	8558
Nombre d'arbres (arbres ha ⁻¹)	333
Surface du sol occupée par un arbre (m ²)	30,03
Circonférence à 1,3 m du sol (cm)	59,57
Diamètre du tronc à 1,3 m du sol (cm)	18,96
Surface terrière m ² ha ⁻¹	10,00
Indice foliaire (LAI, m ² m ⁻²)	3,24

Le radio thermomètre (**photo 4**): la réduction de transpiration d'une feuille due à un accroissement de la résistance stomatique, diminue le flux de chaleur latente d'évaporation et augmente le flux de chaleur sensible, avec accroissement de la température.



Photo 4. Mesure de la température des feuilles à l'aide d'un thermo radiomètre (T_{feuilles} , en °C) de type DTMX de Raytek®. Measurement of the leaf and air temperature with DTMX de Raytek® radio thermometer (measurement error ± 0.3 °C).

La température d'une feuille dépend de l'état hydrique du couvert végétal, des conditions microclimatiques, des conditions de plantation, des conditions de mesure, de l'âge de la feuille, de son éclaircissement, de ses conditions de croissance, de sa localisation sur la branche. Nous avons adopté un échantillonnage prenant en compte cette variabilité. Nous avons mesuré à l'aide d'un radio thermomètre DTMX de Raytek® la température de dix feuilles de chacun des individus étudiés. Les mesures ont été effectuées sur la partie supérieure de la feuille à une distance d'environ 0,3 m. De façon synchrone la température de l'air environnant les feuilles a été mesurée avec un thermocouple couplé au radio thermomètre. Les mesures débutaient le matin après évaporation de l'eau de rosée présente sur la feuille et s'achevaient au coucher du soleil. Nous n'avons pas eu de période de pluie.

La chambre à pression (photos 5a et 5b): La feuille est séparée de la branche au moyen d'une lame de rasoir, à la base du pétiole et introduite dans la chambre à pression. Celle ci mesure la pression hydrostatique négative dans le pétiole de la feuille à partir de l'équilibre entre la pression hydrique de la feuille et la pression de l'air de la chambre (Ritchie et Hinckley, 1975), équilibre qui se

manifeste pour l'observateur par l'apparition de la sève sur la coupure du pétiole, observée à la loupe. Nous avons utilisé la chambre à pression mise au point par la S^{te} PMS Instrument® ; cette chambre est portable et alimentée par une bouteille d'azote (précision des mesures $\pm 0,5$ bars).



Photo 5ab. Mesure du potentiel foliaire (Ψ_{feuilles} , en bars) avec une chambre à pression PMS®. Measurement of the leaf water potential with a PMS® pressure chamber

Le micro-psychromètre (photos 6a, 6b et 6c): mesure le potentiel du xylème (micro psychromètre Stem Psychrometer, Plant Water Status®) (Dixon, 2004). Il est relié à un microvoltmètre à point de rosée Wescor HR-33T® (Nizinski et al., 2010). Deux cellules sont appliquées au niveau du tronc à deux hauteurs dans le but d'estimer la résistance au transfert de la sève. Principe: l'appareil utilise le principe du refroidissement par effet Peltier. La mesure s'effectue en trois temps: (1^{er}) mesure de la température de l'air ambiant; (2^{ème}) refroidissement par effet Peltier de l'air emprisonné dans les deux cellules jusqu'au point de condensation, puis détermination de la quantité de vapeur d'eau du volume d'air des deux cellules; (3^{ème}) mesure de la force électromotrice (f.e.m) générée par l'évaporation de la goutte d'eau issue de la condensation. Le passage de la valeur de la force électromotrice à la valeur de potentiel se fait par une courbe-étalon d'équation: f.e.m.= a Ψ +b (Ψ_{racines} ou Ψ_{tronc}).

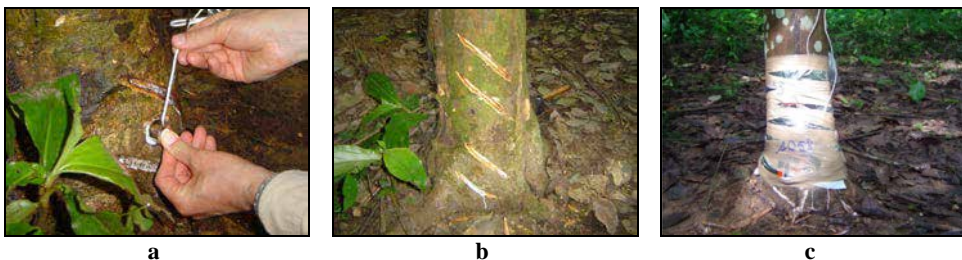


Photo 6abc. Mesure du potentiel hydrique du xylème (Ψ_{racines} et Ψ_{tronc} , en bars) avec micro psychromètre Stem Psychrometer, Plant Water Status®. Setting of the micro-psychrometer of Dixon-Tyree® into level of the grafting junction for measurements of xylem water potential (Ψ_{stem} and Ψ_{root} ; bars) (Nizinski et al., 2010)

Le tensiomètre (**photos 7a et 7b**): mesure le potentiel hydrique du sol. La mesure consiste à placer une bougie poreuse saturée en eau dans le sol. Cette bougie est reliée à un manomètre par un circuit hydraulique étanche. Le sol va engendrer une succion au niveau de la bougie qui se traduit par un transfert d'eau de celle-ci vers le sol avec chute de pression hydrostatique dans le circuit hydraulique mesurée par le manomètre. Les bougies poreuses sont placées dans le sol dans l'environnement proche des individus sains et nécrosés. Les mesures sont effectuées à des pas de temps identiques, pour tous les jours de prises de données, pour la profondeur 40-60 cm.

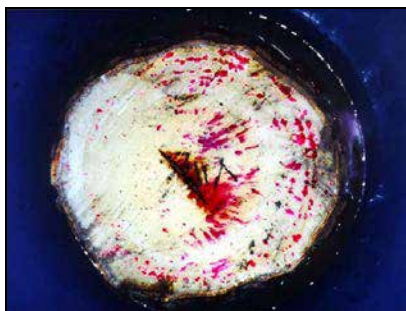


a

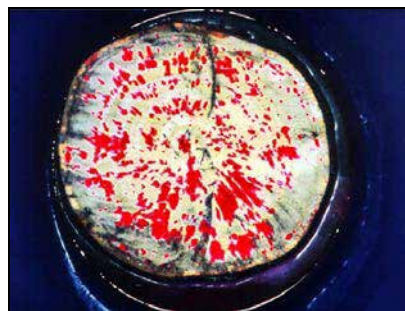


b

Photo 7ab. Mesures du potentiel hydrique du sol (Ψ_{sol} , en bars) avec un tensiomètre de type SMS 2500 - SDEC®. Measurement of the soil-water potential with a SMS 2500, SDEC® tensiometers.



a



b

Photo 8. Surface supérieure d'un billot prélevé au niveau de la jonction de greffage sur le tronc mis dans un bain de Phoxine B®: (a) d'un individu « nécrosé » et (b) d'un individu « sain ». Upper surface of a block of wood taken on the stem at the level of the grafting junction put in a bath of Phoxine B®: (a) of a « healthy » tree and (b) of a « necrotic » tree.

REMERCIEMENTS :

Ce programme a été financé par Institut Français du Caoutchouc (MICHELIN-SIPH-SOCFINCO). Nous remercions la Direction Générale de la SAPH et le personnel de la plantation de Bongo (Côte d'Ivoire) et nos collègues André Clément-Demange (CIRAD-CP Hévéa), Daniel Nandris, Frédéric Pellegrin et Hervé Chrestin (Institut de Recherche en Développement, Montpellier) de leur aide sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- Cruiziat P., Tyree M., (1990), *La montée de la sève dans les arbres*. La Recherche, 21, 406-414.
- Dixon M., (2004), *Temperature corrected stem hygrometer. Instruction Manual, Plant Water Status Instruments, Inc., Guelph*, 14 p.
- Kramer P.J., Kozlowski T.T., (1979), *Physiology of woody plants*, Academic Press, London, 811 pp.
- Landsberg J.J., Gower S.T., (1997), *Applications of physiological ecology to forest management*. Academic Press, London, 354 p.
- Monteith J.L., (1965), *Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms*. Symosia of the Soc. Exp. Biol., New York, Academic Press, 19, 205-234.
- Monteith J.L. et Unsworth M.H., (1990), *Principles of environmental physics. 2nd édition*, Edward Arnold, London, 291 p.
- Monteny B.A., (1987), *Contribution à l'étude des interactions végétation - atmosphère en milieu tropical humide. Importance du rôle du système forestier dans le recyclage des eaux de pluies*. Thèse d'Etat, Université de Paris - Sud, Orsay, 170 p.
- Nandris D., Chrestin H., Pellegrin F., Moreau R., (2004), *Rapport de synthèse de 1999 à 2004 sur la Nécrose de l'écorce de l'hévéa*. Convention de recherche « NEH » entre l'IRD & IFC-Michelin-SIPH-SOCFINCO, Montpellier, 150 p.
- Nizinski J.J., Dingkuhn M., Clement-Demange A., Fabre D., Clement-Vidal A., Sainte-Beuve J., (2005), *Analyse écophysiological de l'eau chez Hevea brasiliensis d'individus sains et d'individus atteints de nécrose corticale dans des plantations en Côte d'Ivoire, Rapport d'expertise n°CP-SIC1812*, CIRAD, Montpellier, 30 p.
- Nizinski J.J., Galat-Luong A. et Galat G., (2009), *Aspects bioclimatiques de nécrose corticale de l'hévéa*. Geographia Technica, numéro spécial, 355-360
- Nizinski J.J., Galat-Luong A., Galat G. et Lhomme J.P., (2010), *L'intérêt de l'utilisation in situ des sondes psychrométriques de Dixon-Tyree: cas d'une plantation d'hévéa en Côte d'Ivoire*. Climatologie, 7, 109-121
- Penman H.L., (1948), *Natural evaporation from open water balance bare soil, and grass*. Proceedings of the Royal Society, London, Series A 193, 120-145.
- Philip J.R., (1966), *Plant water relations: some physical aspects*. Annual Review of Plant Physiology, 28, 71-88.
- Ritchie G.A., Hinckley T.M., (1975), *The pressure chamber as an instrument for ecological research*. Advances in Ecological Research, 9, 165-254.
- Thom A.S., (1972), *Momentum, mass and heat exchange of vegetation*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 98, 124-134.