

PépiPIAF : une nouvelle génération de biocapteurs pour le diagnostic stationnel en forêt

Fanette Chevallier ^(1,2), Philippe Balandier ^(1,3), Jean-Paul Nebout ⁽⁴⁾,
Dider Coste ⁽⁵⁾, Boris Adam ⁽¹⁾ et Thierry Améglio ⁽¹⁾

⁽¹⁾ INRA, UMR 547 PIAF, F 63100 CLERMONT-Fd, France, ameglio@clermont.inra.fr

⁽²⁾ Université Blaise Pascal, UMR 547 PIAF, F-63017 AUBIERE, France,

⁽³⁾ Cemagref, Research Unit on Forest Ecosystems, F-45290 Nogent-sur-Vernisson, France

⁽⁴⁾ CRPF Auvergne, F-03000 MOULINS

⁽⁵⁾ Lycée LAFAYETTE, F-63002 CLERMONT-Fd, France

Résumé : Le suivi en continu de la croissance et des déformations d'un organe permet de détecter les contraintes abiotiques (ex. stress hydrique, gel,...) et biotiques (ex : défoliateurs, maladie foliaire...) que l'arbre subit. Le nouveau biocapteur PépiPIAF permet de réaliser ce suivi de façon innovante. Cet article présente les principales caractéristiques du biocapteur PépiPIAF et un exemple d'application sur l'hévéa. Les informations issues de cet outil sont appliquées à la description d'une station forestière et au diagnostic de l'impact d'une gestion sylvicole dans le cadre d'un travail de thèse qui démarre sur la «vulnérabilité des chênaies de l'Allier aux contraintes hydriques dans un contexte de changement climatique».

Mots clés : croissance, stress abiotiques, biocapteur, diagnostic stationnel

Introduction

La croissance radiale est un indicateur de la santé et des conditions de vie des plantes pérennes. Ainsi, la dendrochronologie analyse les variations interannuelles de la croissance en diamètre des arbres et permet *a posteriori* l'évaluation de l'adéquation d'une station forestière avec les espèces présentes, de l'impact des pratiques sylvicoles et aussi des effets du climat. Pour suivre **en temps réel** ces impacts, la mesure continue du diamètre du tronc ou d'une branche peut être utilisée en utilisant des capteurs LVDT (Linear Variable Differential Transformer) de forte résolution (microns). Les variations de diamètre reflètent l'action de quatre facteurs : 1) la croissance cellulaire irréversible ; le gonflement ou la contraction réversible de l'organe en relation avec 2) le niveau d'hydratation et 3) la dilatation thermique de l'organe et 4) la contraction ou l'expansion des éléments conducteurs sous l'impact des tensions internes liées à l'état hydrique de ces éléments conducteurs.

Les LVDT sont donc utilisés pour aider les arboriculteurs fruitiers dans leur décision d'irrigation de leurs vergers. Mais, l'irrigation n'est pas la seule issue possible du suivi continu des variations de diamètre. Les capteurs LVDT sont aussi utilisés pour étudier la réponse des plantes à l'infection par des champignons pathogènes (Cohen et al., 1997), à des températures gélives (Améglio et al., 2001) ou à la mise en saignée d'hévéas pour la récolte du caoutchouc naturel (Silpi et al., 2006).

En conséquence, la mesure continue du diamètre présente un attrait considérable aussi bien pour des études physiologiques à vocation de recherches, que dans des situations très appliquées d'expertises de la vitalité des arbres dans des milieux et conditions variés. Dans cette optique, nous avons mis au point récemment un nouvel outil, le PépiPIAF, permettant de mesurer et mémoriser les variations de diamètre de tronc (ou branche) d'un arbre, sans perturber son fonctionnement, en utilisant une technologie sans fil. Cet article présente les principales caractéristiques du biocapteur PépiPIAF et un exemple d'application dans un contexte forestier.

Matériel et méthode

Les mesures de variations de diamètre : le biocapteur PépiPIAF

Les mesures continues de diamètre sont réalisées à l'aide du système PépiPIAF (UMR PIAF, INRA, France). Ce dispositif intègre un capteur LVDT et une mesure de température. Le capteur LVDT est monté sur un porte capteur fixé sur l'organe à mesurer et dont les axes dans le sens de la mesure sont en alliage Invar® à très faible coefficient de dilatation. Le capteur est relié à une mini-centrale d'acquisition spécialement développée pour ce capteur qui intègre également un capteur de température (précision $\pm 0,5^\circ\text{C}$). Elle permet en totale autonomie (2 à 6 piles AA ; pour plus d'un an d'autonomie), d'effectuer des séries de mesures (diamètre et température) toutes les 30 mn (paramétrable par logiciel), de stocker ces données pendant 45 jours (mémoire permanente paramétrable par logiciel) et de transmettre ces données à distance par liaison HF 2,4 Ghz, d'une portée de 150 m. Pour cela, un logiciel commande en parallèle un module USB à partir d'un ordinateur portable et permet le téléchargement des données, leurs mises en forme et l'affichage sous forme graphique.

Contexte d'Application de ces mesures de variations de diamètre

Un exemple d'applications est présenté dans cet article.

Il concerne un arbre industriel, l'Hévéa (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.), planté en Thaïlande sur le Centre de la Recherche du Caoutchouc de Chachoengsao (CRRC-DOA: 13.410°N; 101.040°E), dans une partie de la Thaïlande qui reçoit approximativement 1300 mm de pluie par an avec une saison sèche marquée. Les arbres ont été plantés en 1993 et ont commencé à être saignés en juillet 2001 à 1,30 m du sol. La saignée consiste à entailler régulièrement l'écorce sur le tronc, en ouvrant les cellules laticifères sur une $\frac{1}{2}$ spirale avec un angle de 30° par rapport à l'horizontale en allant de la gauche en haut vers la droite en bas de cette $\frac{1}{2}$ spirale. En conséquence, le latex s'écoule le long de la coupe et s'accumule dans une tasse attachée au tronc. Cette saignée est réalisée deux fois par semaine.

Résultats

La figure 1 ci-dessous, met en évidence le fonctionnement et les informations obtenues à partir du biocapteur PépiPIAF. La figure 1a présente le téléchargement à distance des données du biocapteur PépiPIAF. Celui-ci est installé sur le tronc d'un hévéa industriel et les données sont récupérées grâce à une transmission sans fil entre un PC portable équipé d'un boîtier USB receveur et le biocapteur. Les données (figure 1b) sont présentées sur quatre journées successives, où l'on peut visualiser une croissance journalière apparente (CJ) pour chaque journée avec un cumul de 200 μm de croissance apparente pour ces 4 journées. On visualise également une amplitude maximale de contraction (AMC) pour chaque journée, d'autant plus importante que la demande climatique est importante.

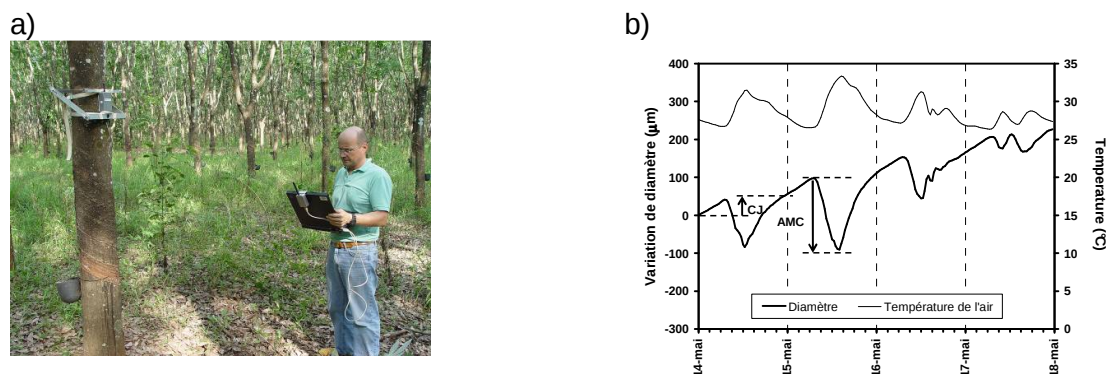


Figure 1 : Visualisation d'un téléchargement (a) et présentation des données journalières des deux mesures (température et variation de diamètre) issues du biocapteur PépiPIAF durant 4 journées aux climats contrastés (b). Deux paramètres journaliers synthétisent la réaction de l'arbre vis-à-vis de ces conditions de cultures : CJ, la croissance journalière et AMC, l'amplitude maximale de contraction.

Ici, l'AMC maximale est obtenue le 15 mai. Or, en observant la courbe des températures mesurées, cette journée présente des conditions climatiques très favorables à la transpiration. Cette forte transpiration mobilise les réserves hydriques de l'écorce (forte AMC) qui se reconstituent dans la même journée et est également favorable à une forte photosynthèse au regard du deuxième paramètre obtenu grâce au PépiPIAF, la CJ. En effet, le 15 mai, cet arbre montre la CJ la plus forte des quatre journées présentées. En combinant les données AMC, CJ et température, nous retrouvons les caractéristiques d'une belle journée climatique, impliquant une forte demande, avec des réserves hydriques dans le sol suffisantes pour satisfaire cette demande et les besoins de l'arbre et favoriser l'activité photosynthétique. A l'inverse, la journée du 17 mai (figure 1b), illustre une journée de faible amplitude thermique, avec des CJ et AMC faibles. Cette journée sera donc considérée comme une journée au climat peu favorable, à la croissance de l'arbre.

La figure 2a présente la croissance en diamètre d'un hévéa et l'impact des pluies sur cette croissance. On peut par conséquent évaluer l'efficacité des pluies sur la croissance de l'arbre grâce à l'outil PépiPIAF. Cette figure met en évidence que les pluies inférieures à 20 mm ont peu d'impact, alors que celles de plus de 20 mm semblent avoir un effet positif sur le rythme de croissance de cet arbre. Ainsi, entre le 12 et le 22 juin, les quatre épisodes pluvieux ont peu d'impact sur la croissance de l'arbre qui s'atténue donc. Mais, la pluie supérieure à 20 mm du 22 juin, relance la croissance en diamètre de l'hévéa. En lien avec la figure 1b précédente, on peut observer qu'en période de plus faible croissance (avant le 11 juin ou entre 15 et 20 juin), les AMC sont fortes (environ 200 μm), alors que la journée après une pluie jugée efficace pour la croissance, l'AMC reste faible et inférieure à 50 μm . En un mois, la croissance apparente totale représente 1000 μm .

La figure 2b résume la croissance radiale de 2 lots d'hévéa, un lot témoin dit « vierge » de tout traitement et un lot « saigné ». On observe ainsi des rythmes de croissance au cours de l'année liés d'une part au climat (saison sèche : décembre à avril vs. saison humide : mai à novembre) et d'autre part, à l'exploitation de l'arbre pour son latex (Hévéa « vierge » vs. « Hévéa saigné »). Le puits de carbone supplémentaire que représente la production de caoutchouc pour l'arbre « saigné » pénalise fortement sa croissance radiale, qui est alors réduite de moitié.

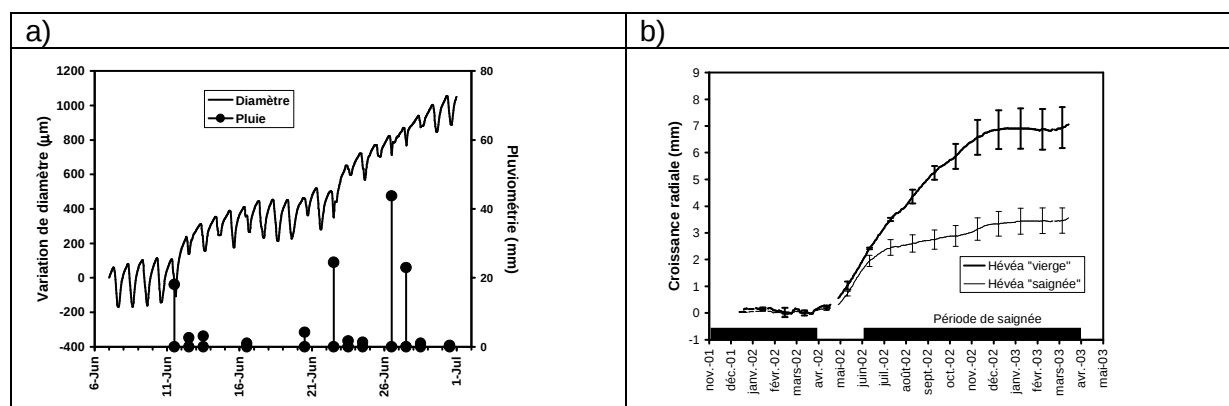


Figure 2 : Impact des pluies (a) et de la saignée (b) sur la croissance radiale de l'hévéa, d'après Silpi et al, 2006. Les erreurs types sur le paramètre CJ sont présentés ($n=4$).

Discussion

Parmi les quatre facteurs qui contribuent aux variations de diamètre d'un organe, la croissance irréversible et la contraction réversible sont habituellement les plus importants (Daudet et al., 2004). Ils traduisent le fonctionnement physiologique de l'arbre en fonction de la demande climatique et des réserves hydriques du sol et de ces tissus. Même en conditions de bonne alimentation en eau, l'état hydrique des différentes parties d'un arbre (ici les cellules vivantes de l'écorce du tronc) varie régulièrement au cours d'une journée. Ces oscillations journalières, en lien avec la demande climatique, sont d'autant plus marquées qu'une plus

grande mobilisation de réserves en eau des tissus de l'écorce est nécessaire (belle journée estivale : cf. figure 1b).

Lorsque l'absorption ne comble pas le déficit hydrique dû à la transpiration de l'arbre, ce dernier ferme ses stomates pour éviter de se dessécher de façon irréversible, mais en retour pénalise la pénétration du gaz carbonique dans la feuille et par conséquent diminue la photosynthèse de l'arbre et *in fine* sa croissance (Daudet et al. 2004).

Ces réponses sont clairement visibles par le suivi continu des variations de diamètre d'un organe de l'arbre (Améglio et Cruiziat, 1992), d'où leurs utilisations assez communes pour piloter l'irrigation arbres fruitiers en verger, mais également, pour le suivi de production industrielle avec l'hévéa. Dans notre étude, nous avons quantifié l'efficacité d'une pluie sur la croissance diamétrale de l'hévéa en plantation industrielle (figure 2a), mais également suivi l'impact du climat et de la production de latex sur cette croissance (figure 2b). Dans ce dernier cas, en conditions hydriques comparables entre témoin et traités, ce puits supplémentaire de carbone utilisé pour produire le latex modifie très fortement la croissance radiale de l'hévéa (Silpi et al., 2006). On peut ainsi suivre finement les conditions d'exploitation d'un arbre et étudier l'impact de ces conditions sur son développement

On peut également penser que la connaissance des dates de reprise cambiale au débourrement et de durée de cycle végétatif sont facilement accessibles avec ce type d'outils et permet de mieux comprendre le potentiel des stations forestières en termes de dynamique de croissance des arbres en fonction du climat et des conditions édaphiques de ces stations. C'est l'utilisation actuelle qui est faite de cet outil sur le fonctionnement des chênaies, sur des stations hydromorphes de l'Allier, dans le cadre d'une thèse en cours. Ce projet contribuera à l'amélioration des connaissances sur la vulnérabilité des chênes pédonculé et sessile en fonction du climat et de la station forestière. Vulnérabilité vis-à-vis de la sécheresse édaphique, mais également des risques d'ennoyage au printemps, ou d'acclimatation au froid en hiver ce qui donnera des bases pour une meilleure gestion de ces deux essences face au changement climatique et de contribuer à l'évaluation de scénarii de gestion.

Conclusion

Le suivi en continu de la croissance et des déformations d'un organe permet de détecter et de gérer les contraintes abiotiques (stress hydriques, thermiques,...) voire biotiques (défoliateurs, maladies foliaire...) que l'arbre subit. Notre biocapteur PépiPIAF, par ces caractéristiques de sensibilité, d'autonomie (énergie, programmation, stockage des données, technologie sans fil, interrogation à distance,...) permet de suivre ces contraintes dans des environnements divers et variés. Ses applications potentielles sont donc multiples et concernent tout type d'arbres, en particulier dans le diagnostic stationnel forestier.

Bibliographie

Améglio T, Cruiziat P., 1992 - Daily variations of stem and branch diameter: Short overview from a developed example. In: Karalis T.K. ed. Mechanics of swelling, NATO ASI Series, Vol. H.64. Springer Verlag, Berlin, (DEU), 193-204.

Améglio T, Cochard H, Ewers FW., 2001 - Stem diameter variations and cold hardiness in walnut tree. *Journal of Experimental Botany*, 52 (364): 2135-2142.

Cohen M. Luque J, Alvarez IF., 1997 - Use of stem diameter variations for detecting the effects of pathogens on plant water status. *Annals of Forest Science*, 54, (5), 463-472.

Daudet F.A., Améglio T., Cochard H., Archilla O., Lacointe L., 2005 – Experimental analysis of the role of water and carbon in the tree trunk diameter. *Journal of Experimental Botany* 56 (409), 135-144.

Silpi U., Thaler P., Kasemsap P., Lacointe A., Chantuma A., Adam B., Gohet E., Thanysawanyangkura S., Améglio T., 2006 - Effect of tapping activity on the dynamics of radial growth of *Hevea brasiliensis* trees. *Tree Physiology* 26 (12), 1579-1587.