

Un capteur d'extensométrie miniature à deux voies

Jean-Charles FERRAND

*I.N.R.A., Station de Recherches sur la Qualité des Bois
Centre de Recherches forestières de Nancy,
Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

Un capteur d'extensométrie miniature à deux voies a été réalisé. Il permet de mesurer les déformations dans deux directions perpendiculaires, et sa sensibilité est de 5 micro-déformations. Il s'applique sur le bois sans collage.

Après avoir étudié une méthode indirecte de mesure de la déformation potentielle longitudinale ε_L , à la périphérie des troncs, FERRAND (1982) a montré le besoin d'un capteur extensométrique à deux voies pour la mesure des déformations ε_L et ε_T dues aux contraintes de croissance longitudinale et tangentielle des arbres forestiers. Pour être pratique, un tel capteur devait répondre aux exigences suivantes :

- 1) fournir une mesure fidèle dans deux directions perpendiculaires (longitudinale et tangentielle sur l'arbre),
- 2) ne pas nécessiter de collage sur le bois pour accélérer le déroulement des mesures,
- 3) être adapté à toutes les surfaces, et pas seulement aux surfaces quasi planes,
- 4) avoir des dimensions très faibles pour minimiser le traumatisme infligé à l'arbre et permettre les mesures sur des tiges de diamètre faible,
- 5) comporter sur chaque lame quatre jauges câblées en pont complet afin d'assurer une bonne stabilité de la mesure dans toutes les conditions de température.

Les exigences 2 et 3 aboutissent fatalement à une configuration où l'appareil ne repose sur le bois que par trois pointes. Un capteur à 8 pointes rigides soudées sur des lames déformables a été proposé par SEICHEPINE (1980) pour des mesures sur échantillons rabotés. Il a montré que les pointes ne glissent pas sur le bois. Par conséquent, il est possible de concevoir un extensomètre reposant sur le bois par des pointes et fonctionnant correctement.

Le capteur proposé est présenté sur la photo 1 ; il comporte un corps rigide A en forme d'équerre, un pied rigide B, et deux pièces de protection C (figure 1) qui servent également à la fixation des lames déformables sur lesquelles sont collées les jauges de mesure (figure 2). Le pied B et les lames se terminent en pointe. La force d'appui est assurée, soit par un ruban élastique fixé sur le tronc avec des punaises,

soit, comme sur la photo 1, par une potence munie à sa base d'une pointe d'acier qu'on enfonce dans le bois et qui appuie sur le corps du capteur par l'intermédiaire d'un ressort. Afin de ne pas glisser, les lames doivent être minces pour ne pas résister trop aux déplacements que leur impose le bois, et se terminer par une pointe rigide mais suffisamment aiguë. Cela va à l'encontre d'une sensibilité importante puisque celle-ci augmente avec l'épaisseur de la lame. Finalement, on a découpé les lames dans une tôle d'acier écroui de 0,15 mm d'épaisseur. Toutes les arêtes ont été usinées en plaçant la tôle entre des pièces de laiton. La réalisation de ce travail délicat est due à J.R. PERRIN (*) qui doit être chaleureusement remercié ici.

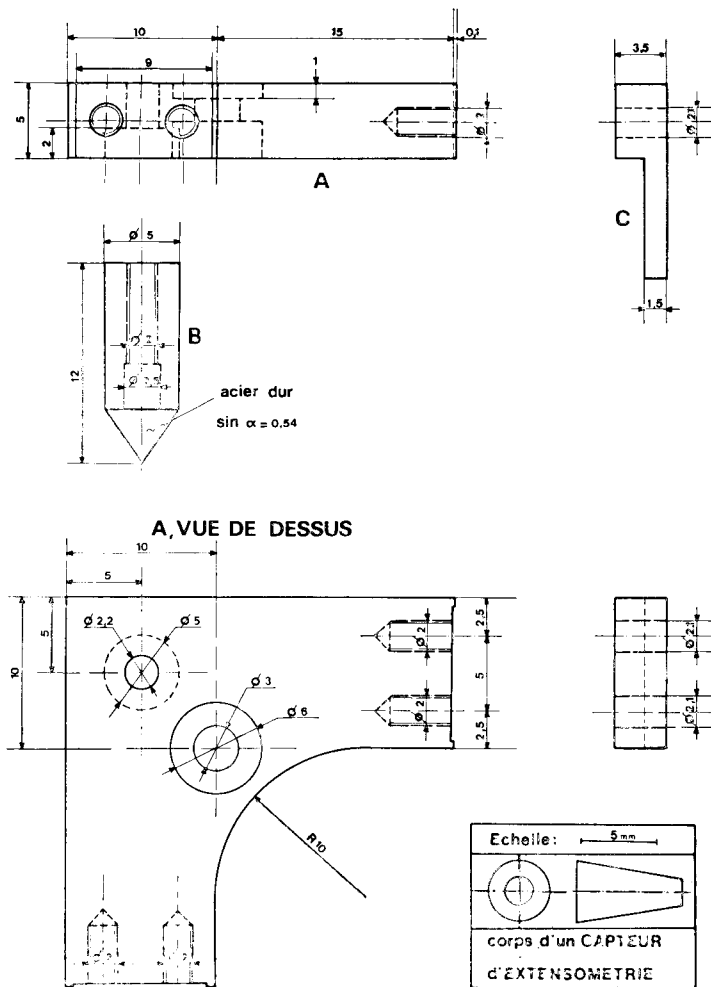


FIGURE 1

Capteur d'extensométrie, corps
Extensometric sensor, body

(*) Station de Recherches sur la Qualité des Bois.

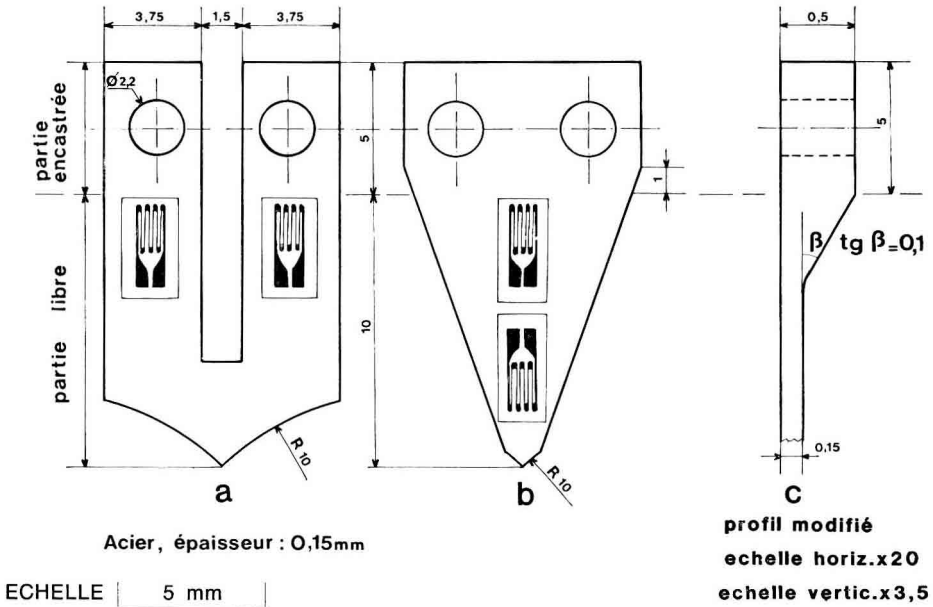


FIGURE 2

Capteur d'extensométrie, lames (« corps d'épreuve ») et emplacement des jauges
Extensometric sensor, blades and location of the gages

Les calculs classiques de la résistance des matériaux montrent que, pour les dimensions choisies ($l = 20$ mm) entre la pointe fixe et les extrémités des lames mobiles ; $L = 10$ mm pour la longueur libre de ces lames et $b = 0,15$ mm pour leur épaisseur (figure 2 a) la déformation relative maximale des lames (ε_1) est d'environ 0,045 fois celle du bois entre les pointes (ε) :

$$\left[\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} = \frac{3}{2} \frac{b}{L^2} \right]$$

En disposant deux jauges sur chaque face, câblées en pont complet, on multiplie le signal par 4. Cependant, on ne peut coller les jauges à l'endroit où la déformation est maximale, c'est-à-dire au ras de l'encastrement de la lame dans le corps, mais seulement à 1 mm de celui-ci. La déformation en un point de la lame rectangulaire étant proportionnelle à sa distance à la pointe, on obtient finalement un gain théorique qui vaut : $K = 0,045 \times 4 \times 0,9 = 0,162$. La déformation relative minimale enregistrée par le pont de mesure étant de 10^{-6} s.d. la sensibilité théorique du capteur sera donc d'environ 6 microdéformations (1 microdéformation = 10^{-6} s.d.).

La figure 3 montre le résultat de l'étalonnage d'une voie du capteur sur une poutre en bois de peuplier de dimensions $1,5 \times 5,5 \times 100$ cm, déformée en flexion

circulaire. La linéarité est excellente, et l'accord est tout aussi bon avec les indications fournies par des jauges collées sur la poutre. Le gain réel K_1 est de 0,208, c'est-à-dire que la sensibilité est de 1 microdéformation pour 5 au lieu de 1 pour 6 comme dans le calcul théorique. Cette légère différence n'a rien d'alarmant et s'explique en grande partie par l'épaisseur des joints de colle entre la lame et la trame de la jauge.

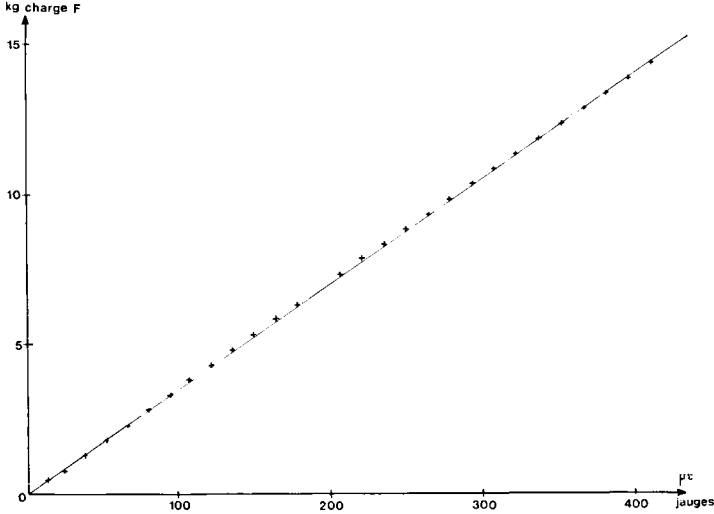


FIGURE 3

Etalonnage d'une voie du capteur sur une poutre de peuplier
Calibration of one way of the sensor, on a timber beam (poplar)

La figure 3 montre qu'il n'y a pas de phénomène de glissement des pointes sur le bois. Mais on peut s'en assurer d'une autre façon, en calculant la force appliquée à la pointe d'une lame. Celle-ci vaut :

$$f = \frac{3l}{L^3} \varepsilon E \frac{ab^3}{12}$$

(b , L , l et ε ont été définis ci-dessus) ; a est la largeur de la lame ; E est son module d'Young. On voit sur la figure 2 B que la largeur de la lame a été diminuée par une profonde encoche, précisément pour réduire la force f . En appliquant cette formule avec un module d'Young de $21 \cdot 10^{10}$ Pascal, on trouve qu'une déformation du bois $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ s.d. produit une force d'environ 0,050 Newton.

Le tableau 1 contient les résultats d'une manipulation au cours de laquelle on a suspendu au bout de la lame du capteur des masses étalon. Le capteur indique l'équivalent d'une déformation $\varepsilon = 1,98 \cdot 10^{-3}$ pour une masse de 5,5 grammes. L'accord avec la valeur calculée est donc bon. De plus, il se maintient lorsque la déformation augmente puisque le signal fourni pour une charge de 10 g est exactement le double de celui obtenu avec 5 g.

TABLEAU 1

*Étalonnage d'une voie du capteur à l'aide de masses étalon
suspendues à l'extrémité d'une lame ($K_1 = 0,208$)*

*Calibration of one way of the sensor with standard weights hung
on the extremity of one blade ($K_1 = 0.208$)*

Masse (grammes)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	10
Déformation lue : ε_c (10^{-6} s.d.)	0	37	75	112	149	187	223	261	298	336	373	412	746
Incrément (10^{-6} s.d.)	37	38	38	38	37	37	36	38	37	38	37	39	
Déformation équivalente $\varepsilon = \varepsilon_c / K_1$ (10^{-6} s.d.)	0	178	361	538	716	890	1 072	1 235	1 433	1 615	1 793	1 981	3 586

Ainsi, la petitesse des efforts mis en jeu, attestée tant par le calcul que par les résultats expérimentaux, est une garantie du bon fonctionnement du capteur, et de non glissement des lames.

Note

La figure 2 représente deux modifications possibles des lames du capteur.

La première (b) consiste à adopter une forme triangulaire. On obtient alors une déformation constante tout au long de la lame, ce qui permet de coller les jauges n'importe où sur l'axe de symétrie. Par rapport à la forme rectangulaire, et pour des dimensions identiques, la force f est plus faible, mais le gain K aussi.

La seconde modification (c) consiste à usiner des lames rectangulaires dont la partie déformable aurait les mêmes dimensions que les précédentes, mais qui seraient plus épaisses à proximité de l'encastrement : cette partie plus épaisse ne se déformerait presque pas, et les paramètres K et f seraient donc très peu modifiés. En revanche, on pourrait coller les jauges en plaçant leurs connexions du côté de l'encastrement, et non plus vers l'extrémité libre de la lame ; cela supprimerait les liaisons électriques « aériennes » que l'on voit sur la photo n° 1, et qui risquent d'être détériorées lors du travail en forêt.

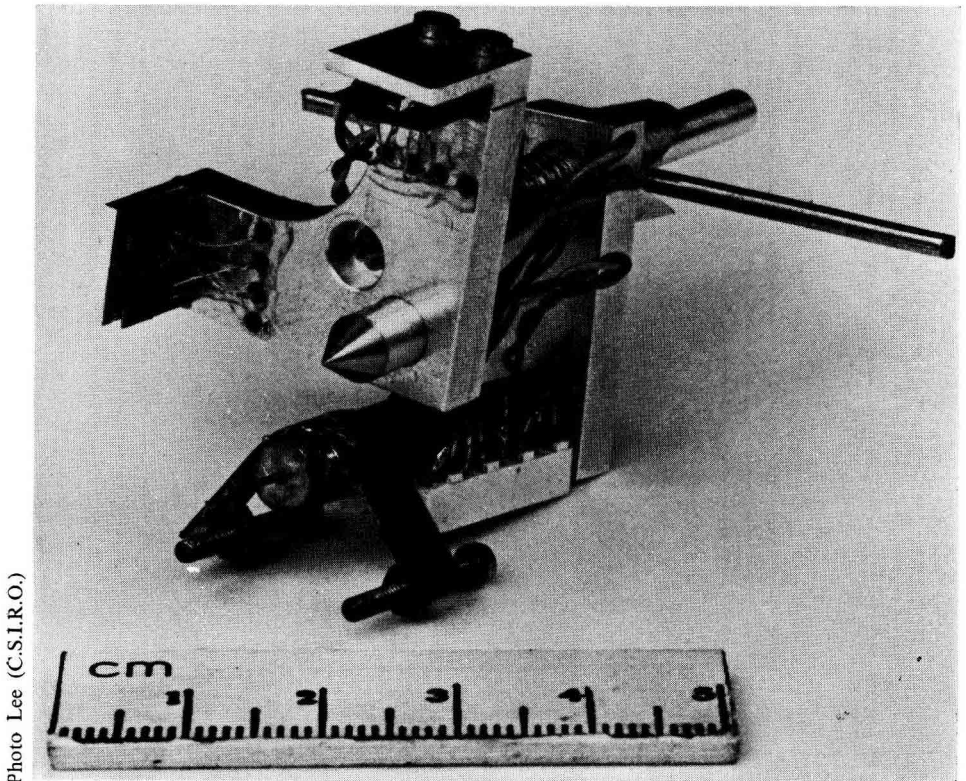


PHOTO 1

*Prototype du capteur à deux voies réalisé selon les figures 1 et 2 a.
Le capteur est muni d'une potence destinée à l'appuyer sur l'arbre
Prototype of the extensometric sensor built accordingly to fig. 1 and 2 a.
A bracket is used to press the sensor on the tree*

Lorsque l'appareil est fixé sur un arbre, la relaxation des contraintes peut être obtenue soit en forant des trous à la mèche à bois, soit en perçant avec une scie à chaîne. Il est évident qu'un capteur extensométrique de ce type peut être utilisé non seulement en forêt, mais aussi en usine et au laboratoire pour une multitude d'usages.

Reçue pour publication le 7 juillet 1981.

Summary

A miniature two-ways extensometric sensor

A miniature two-ways extensometric sensor has been built. It allows the measurement of strains in two perpendicular directions and its sensitivity is 5 microstrains. It is used on timber without gluing.

Références bibliographiques

- FERRAND J.Ch., 1982. Etude des contraintes de croissance. 1^{re} partie : Méthode de mesure sur carottes de sondage. *Ann. Sci. for.*, **39** (2), 109-142.
- SEICHEPINE J.L., 1980. Mise au point d'une méthode expérimentale destinée à l'identification de la matrice des complaisances élastiques de solides anisotropes : application aux matériaux bois. Thèse Docteur-Ingénieur, I.N.P.L., Nancy, 10 octobre.