

LES AUTEURS



Jean-Michel COURT
et Édouard KIERLIK
sont professeurs
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.
Ils remercient Stéphane Holé.
Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique

BIBLIOGRAPHIE

M. Merlan, *Study and realization of a microwaves system to estimate the moisture content in wood biomass*, Thèse de doctorat de l'université Pierre-et-Marie-Curie, février 2016.

W. L. James, *Electric moisture meters for wood*, rapport FPL-GTR-6, U. S. Dept. of Agriculture, 1988.

déterminer avec certitude l'humidité d'un bois donné.

Une solution est le passage à l'étuve. On place un échantillon de bois préalablement pesé sous une atmosphère sèche à plus de 100 °C, jusqu'à ce que sa masse n'évolue plus. Le bois est alors anhydre. En le pesant, on en déduit son taux d'humidité initial. C'est l'une des méthodes de mesure les plus précises, mais elle est lente (il faut environ 24 heures) et elle ne porte que sur un échantillon. Que faire lorsqu'on doit gérer des stocks importants et hétérogènes ?

Mesurer la résistivité

Un procédé aujourd'hui très répandu est fondé sur la différence de résistivité électrique entre le bois sec et l'eau. Le bois sec, constitué de cellulose et de lignine, est un isolant électrique (un « diélectrique »), tandis que l'eau, surtout si elle est chargée en ions, est conductrice.

L'humidimètre typique est constitué de deux électrodes, deux sondes longues de quelques millimètres et écartées de quelques centimètres, que l'on plante dans le matériau à tester (voir la figure page précédente). Il convertit alors la valeur de résistance trouvée en teneur en eau, grâce à des abaques qui tiennent compte de la température, mais aussi de l'essence du bois.

Entre 5 % et 30 % d'eau, la résistivité du bois varie de plusieurs ordres de grandeur. On a ainsi de bonnes mesures pour des matériaux usuels massifs et bien homogènes, tels que les bois de charpente. Mais pas

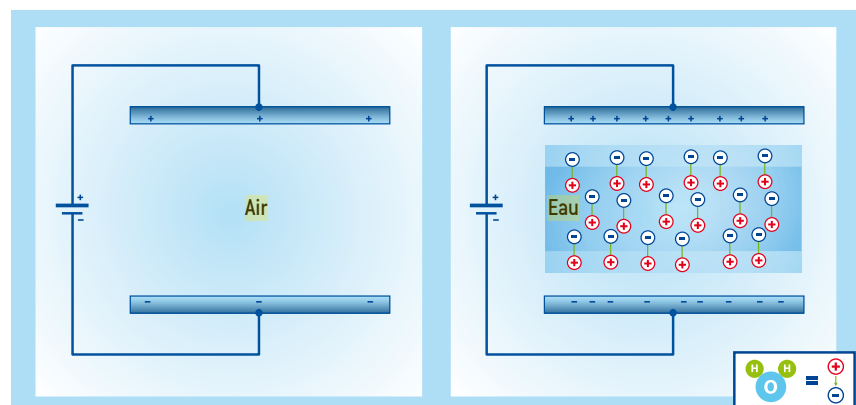
pour les plaquettes forestières, petits morceaux de bois peu épais de quelques centimètres de longueur que l'on emploie de plus en plus comme bois de chauffage. Comment mesurer leur humidité moyenne, qui varie d'une plaquette à l'autre étant donné qu'elles sont très inhomogènes et que leurs surfaces sont dégradées ?

Une solution est de s'appuyer sur le comportement de l'eau en présence d'un champ électrique. La molécule d'eau, H_2O , est polaire, c'est-à-dire que les charges électriques sont inégalement réparties en son sein. On a un excédent de charges négatives sur l'atome d'oxygène, compensé par un excédent de charges positives sur les deux atomes d'hydrogène. Plongée dans un champ électrique, une molécule d'eau s'oriente ainsi préférentiellement dans la direction du champ. Cette orientation privilégiée engendre un champ électrique opposé au champ initial : la présence d'eau modifie donc la réponse électromagnétique du système.

À titre d'illustration, considérons un condensateur constitué de deux plaques métalliques séparées par de l'air. Lorsqu'on applique une différence de potentiel électrique V entre ces deux armatures (voir la figure ci-dessous), ces dernières se chargent électriquement et créent entre elles un champ électrique uniforme et égal au quotient de la différence de potentiel sur la distance entre les plaques.

Supposons maintenant que de l'eau soit présente entre les plaques. Les molécules H_2O s'orientent selon le champ électrique et ont ainsi un effet d'écran qui réduit l'influence des charges présentes sur les plaques. La

LA CHARGE ÉLECTRIQUE des plaques d'un condensateur dépend du matériau présent entre ces plaques. Lorsque ce matériau est composé de molécules polaires, comme l'eau (H_2O), il y a accumulation de charges à proximité des plaques. Celles-ci se chargent alors davantage, pour les compenser.



différence de potentiel V étant fixée par le générateur, la charge sur les plaques doit augmenter : cela revient à une augmentation de la capacité du condensateur (rapport de la charge sur la tension).

Cet effet traduit le fait que la polarisation du matériau entraîne une accumulation de charges [positives d'un côté, négatives de l'autre] au voisinage des plaques du condensateur, accumulation qui provoque l'arrivée de charges compensatrices.

La charge augmente ainsi d'un facteur qui dépend du matériau séparant les deux plaques et qui a pour nom « permittivité relative ». Ce facteur vaut 80 pour l'eau, ce qui est considérable. Sachant que la permittivité relative du bois anhydre est plutôt de l'ordre de quelques unités, on prévoit que la permittivité du bois humide sera bien sensible à sa teneur en eau.

C'est ce qu'a vérifié l'équipe de Stéphane Holé, de l'université Pierre-et-Marie-Curie. Ces physiciens ont conçu un dispositif constitué de deux plaques d'aluminium mesurant 100 centimètres par 50, séparées de 70 centimètres, qui permet de sonder un volume important. Dans l'air, la capacité de ce condensateur n'est que de 6,3 picrofarads, mais avec des plaquettes de bois plus ou moins humide, elle peut frôler les 200 picrofarads.

Hélas, ces mesures très sensibles requièrent un environnement très bien contrôlé électriquement, et notamment l'absence d'humidité sur les plaques – des conditions difficiles à réaliser sur un convoyeur industriel ou dans un camion de transport.

Des ondes qui sondent

La piste diélectrique ne s'arrête cependant pas là, car la permittivité relative a d'autres signatures. Notamment la réduction de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le matériau par rapport à leur vitesse dans le vide [300 000 kilomètres par seconde]. Plus subtilement, le facteur d'atténuation de l'onde par le matériau est aussi modifié. Autrement dit, la permittivité relative détermine à la fois l'indice de réfraction du matériau et son pouvoir absorbant, c'est-à-dire tout ce qui pilote les propriétés de propagation des ondes électromagnétiques



dans le matériau, ou de leur réflexion, transmission et pénétration au niveau de sa surface. Du bois humide et du bois sec soumis au même rayonnement – des ondes hertziennes en pratique – se distingueront ainsi par leur réponse électromagnétique.

L'un des dispositifs envisagés consisterait à enfouir dans l'amas de plaquettes une antenne dite demi-onde, constituée de deux tiges conductrices alimentées électriquement en leur point de jonction. La puissance maximale émise dans le vide par une telle antenne s'obtient à une fréquence d'environ 300 mégahertz pour une tige longue de 50 centimètres. Mais cette fréquence est divisée par l'indice de réfraction lorsque l'antenne est plongée dans un matériau diélectrique.

On obtient des fréquences relativement basses, autour de 100 mégahertz, qui ont l'avantage d'être peu atténuées et donc de sonder un volume important du bois. Par ailleurs, la longueur d'onde correspondante [quelques dizaines de centimètres] est suffisamment grande pour que l'antenne voie un matériau homogène autour d'elle, gommant ainsi les hétérogénéités d'agencement, de taille et de forme des plaquettes.

Les premiers tests réalisés par Stéphane Holé sont prometteurs : la sensibilité à la teneur en eau s'est révélée élevée, et la mesure d'humidité assez précise (à 3 % près) et relativement indépendante de l'essence du bois. Mais, comme d'habitude, il faudra déployer le dispositif sur le terrain pour confirmer ces résultats.

AFIN DE MESURER CONVENABLEMENT

l'humidité de plaquettes forestières, une voie explorée consiste à sonder la masse de ces plaquettes à l'aide d'ondes hertziennes émises par une antenne : l'interaction de ces ondes avec le matériau dépend sensiblement de sa teneur en eau, et la longueur d'onde est assez grande pour que ces ondes soient indifférentes aux détails d'agencement, de taille et de forme des plaquettes.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr