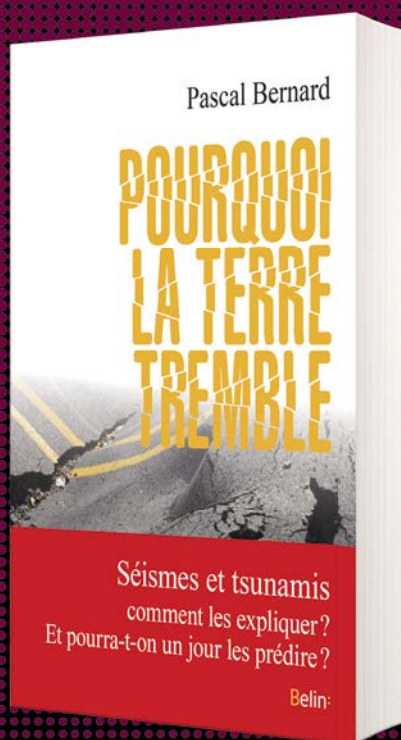
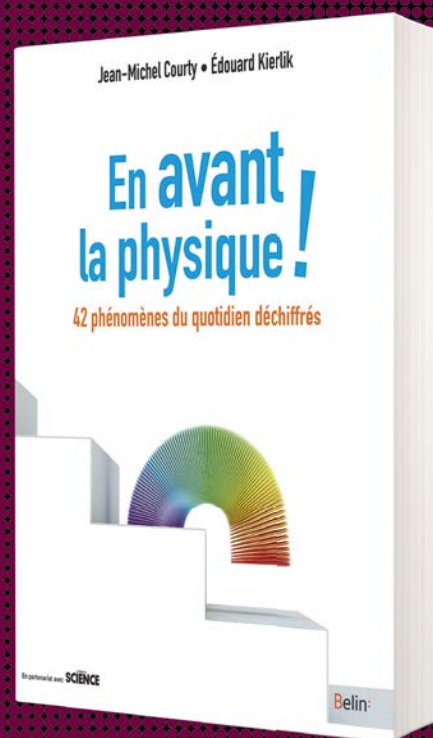


Le nouvel opus de deux vulgarisateurs hors pair !

Une bouteille qui chante. Un verre de chocolat soluble qui tinte. Un carillon dont les cloches homothétiques couvrent toute la gamme. Un escalier qui joue du clairon. Une sculpture qui filtre certains sons... Et en avant la physique !

18,5 x 24,5 cm - 192 pages - 24 euros



Séismes et tsunamis, comment les expliquer ? Et pourra-t-on un jour les prédire ?

Une découverte passionnante de la lente évolution de nos connaissances sur les séismes, qui se lit comme un roman !

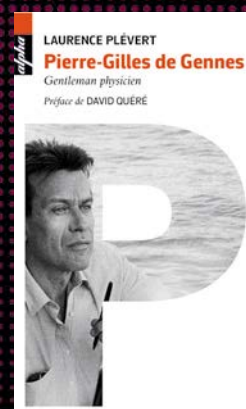
15 x 22 cm - 288 pages - 19,50 €

Et aussi...

Dans notre collection de livres de poche



10 x 17 cm - 304 pages - 9,90 €



10 x 17 cm - 392 pages - 9,90 €

IDÉES DE PHYSIQUE

Bois sec, bois humide

Mesurer avec précision et rapidité la teneur en eau du bois serait très utile pour les industriels. Le défi pourrait être relevé en sondant le matériau avec des ondes électromagnétiques.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Ajoutons une bûche dans la cheminée pour ranimer un feu qui s'éteint doucement. Las, au lieu de flamber vivement, la voilà qui peine à s'enflammer et qui dégage une épaisse fumée : c'est le signe d'un bois sans doute trop humide ! Ce désagrément domestique devient, dans le contexte de la filière bois-énergie, un problème industriel. En outre, acheter du bois humide a un double inconvénient : d'une part, il apporte moins d'énergie que le bois sec ; d'autre part, on a payé inutilement le poids de l'eau qu'il contient.

Mesurer efficacement l'humidité du bois est donc une question importante. Si elle n'a pas encore de réponse satisfaisante, on dispose désormais de pistes prometteuses, comme nous le verrons.

Le taux d'humidité d'un bois est défini comme la fraction en masse d'eau par rapport à sa masse totale : à 0 %, le bois est totalement sec (anhydre), tandis qu'à 100 %, on n'a pas de bois, mais uniquement de l'eau. Le pouvoir calorifique du bois sec est considérable. Il est de 18 gigajoules (GJ) par tonne, soit 45 % de l'énergie que peut fournir la

même masse de pétrole. Le bois vert fraîchement coupé contient, lui, environ 50 % d'eau. Une tonne de bois vert ne contient donc qu'une demi-tonne de matière sèche ; qui plus est, lorsque ce bois brûle, on perd 1,15 GJ pour vaporiser l'eau présente.

Le bois vert fournit donc moins de 8 GJ par tonne, d'où l'intérêt de le faire sécher. Or c'est un processus long, qui mobilise de grands espaces de stockage. Un an de séchage à l'air sous abri réduit l'humidité à 30 % ; deux ans, à 20 %. Mais ce sont là des moyennes, qui ne permettent pas de

LE BOIS HUMIDE BRÛLE TRÈS MAL et dégage beaucoup moins d'énergie que la même masse de bois sec. Il est donc intéressant de pouvoir mesurer avec précision le taux d'humidité du bois. Ici, un appareil fondé sur la mesure de la résistivité électrique.



Dessins de Bruno Vacaro

■ 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

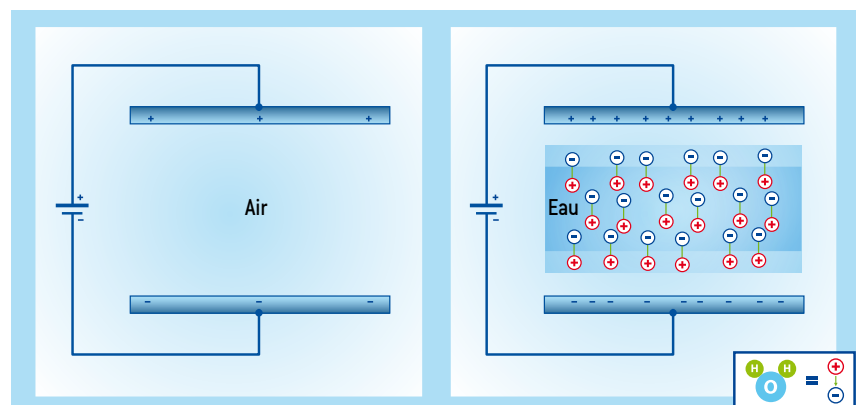
pour les plaquettes forestières, petits morceaux de bois peu épais de quelques centimètres de longueur que l'on emploie de plus en plus comme bois de chauffage. Comment mesurer leur humidité moyenne, qui varie d'une plaquette à l'autre étant donné qu'elles sont très inhomogènes et que leurs surfaces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

QUESTION AUX EXPERTS

L'inversion du champ terrestre sera-t-elle une catastrophe ?

La polarité du champ magnétique de la Terre a changé plusieurs fois au cours des ères géologiques. Sans dégâts !

Henri-Claude NATAF



© Shutterstock.com/Andrey VP

Le champ magnétique de la Terre a un pôle Sud et un pôle Nord. Or ces pôles magnétiques vont s'inverser. Dans 1 000, 10 000, 100 000 ans, plus ? Les géophysiciens ne sont pas capables de le prévoir, mais en tout cas cette inversion ne déclenchera aucune catastrophe.

Le champ magnétique terrestre n'a rien de bien impressionnant. En surface, son intensité est d'une cinquantaine de microteslas, soit 100 fois moins que celle d'un aimant de réfrigérateur. Il suffit cependant à orienter une petite aiguille aimantée – une boussole – et à former un bouclier contre les particules cosmiques chargées, qui s'étend sur plus de dix fois le rayon de la Terre.

Le champ magnétique de notre planète est dû aux courants électriques qui circulent dans le noyau terrestre, une grosse boule de fer liquide dont la température dépasse les 4 000 °C. Le fer liquide est animé de mouvements de convection (les parties les plus chaudes, moins denses, tendent à monter par poussée d'Archimède). En raison de ces mouvements, de l'ordre du millimètre par seconde, le champ magnétique induit des courants électriques, qui eux-mêmes entretiennent le champ.

Le champ terrestre est principalement dipolaire, comparable à celui que produirait un aimant à peu près aligné sur l'axe de rotation de la Terre. Aujourd'hui, le pôle Sud magnétique se trouve... près du pôle Nord géographique, mais il n'en a pas toujours

été ainsi. Loin de là : l'enregistrement par les roches du champ magnétique passé nous montre que sa polarité peut s'inverser en quelques milliers d'années. Cela s'est produit à un rythme aléatoire, mais plutôt soutenu, de plusieurs inversions par million d'années au cours des dernières ères géologiques !

La blogosphère regorge de scénarios effrayants sur les conséquences de telles inversions : changement du sens de rotation de la Terre, séismes et tsunamis gigantesques, catastrophe climatique, extinctions massives d'espèces, paralysie des circuits électriques, irradiations mortelles...

Des événements bénins

En réalité, une inversion du champ de la Terre est un événement bénin. Comme pour le Soleil, dont le champ magnétique s'inverse tous les onze ans, cela se passe en douceur. Pas besoin d'un réarrangement radical des écoulements dans le noyau. Et les enregistrements géologiques confirment que les nombreuses inversions passées n'ont provoqué aucun événement tectonique ou climatique décelable.

En fait, le champ magnétique ne s'annule jamais en s'inversant. Il chute, typiquement d'un facteur 10, et perd probablement son caractère dipolaire (il présente alors plusieurs pôles Nord et Sud). Le même phénomène se produit lors d'une excursion magnétique, qui est une inversion avortée au bout de laquelle le champ retrouve sa polarité initiale.

Cette atténuation du champ a toutefois des effets. La haute atmosphère subit un bombardement plus intense de particules. Il s'ensuit des trous dans la couche d'ozone, ce qui permet au rayonnement ultraviolet du Soleil de pénétrer plus profondément vers la surface. Mais pas de quoi s'alarmer : nos ancêtres ont déjà vécu plusieurs inversions sans que rien n'indique qu'ils en aient souffert. La dernière inversion franche remonte à 780 000 ans, et la dernière excursion magnétique à l'arrivée d'*Homo sapiens* en Europe, il y a 41 000 ans.

Notre civilisation technologique pourrait toutefois subir quelques désagréments dus à l'affaiblissement du bouclier magnétique spatial. C'est ainsi que, en raison de l'anomalie magnétique (un champ plus faible) présente sur l'Atlantique sud, les satellites qui survolent cette région peuvent voir leurs instruments ou logiciels endommagés par un flux plus important de protons en provenance de l'espace.

Par ailleurs, les éruptions solaires projettent des particules chargées qui illuminent les régions polaires la nuit et induisent aussi des courants électriques susceptibles de perturber les réseaux électriques. En serait-il de même en cas d'inversion magnétique ? Les chercheurs qui étudient les divers scénarios possibles sont nuancés : selon eux, une baisse de l'intensité du champ magnétique ne conduira pas partout à une augmentation des radiations. ■

Henri-Claude NATAF est géophysicien du CNRS à l'Institut des sciences de la Terre, à Grenoble.