

b

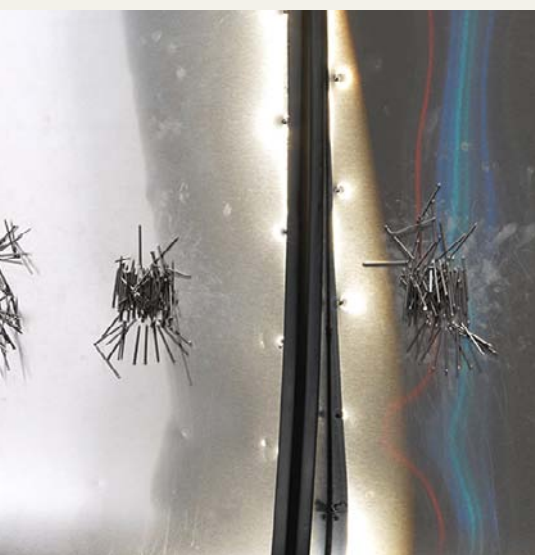
Une musique magnétique. Chaque panneau blanc dissimule un aimant qui agite une aiguille de fer. Dans ses mouvements, elle heurte une corde de piano tendue.

Palais de Tokyo / A. Morin/ADAGP, Paris 2015



c

Le premier homme dans l'espace apparaît sur la photo au fond de la salle. À droite, des cônes métalliques sont en sustentation, à quelques centimètres des toiles.



IDÉES DE PHYSIQUE

Ces boîtes qui crient « Au feu ! »

Les détecteurs de fumée sont devenus obligatoires dans les logements français. Leur principe de fonctionnement : ils déclenchent l'alarme dès qu'ils captent de la lumière diffusée par les particules de fumée.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Afin d'alerter les dormeurs en cas d'incendie nocturne, tous les logements en France doivent, depuis mars 2015, être équipés d'un « détecteur avertisseur autonome de fumée » (DAAF). Ces dispositifs émettent une alarme sonore lorsqu'ils détectent les signes d'un départ de feu (voir la figure ci-dessous). Dans le monde, on trouve généralement deux types de détecteurs de fumée, peu onéreux et robustes : les détecteurs optiques et les détecteurs ioniques. Voyons à quels principes ils font appel.

Le bon choix : la fumée

Comment détecter vite et avec fiabilité un incendie ? En décelant une modification rapide des grandeurs physiques liées au feu : hausse de température, rayonnement spécifique des flammes, présence de gaz de combustion ou de fumée.

Que choisir ? Les détecteurs modernes de température qui mesurent les effets de la chaleur grâce à un réseau distribué de fibres optiques sont bien adaptés à de grandes structures telles que tunnels, stations de métro ou usines, mais pas aux habitations. La détection du rayonnement infrarouge ou ultraviolet des flammes, elle, nécessite une analyse à plusieurs longueurs d'onde, délicate à mettre en œuvre si l'on veut éviter des alarmes intempestives. Quant aux détecteurs de monoxyde de carbone, ils sont plus chers et usent plus vite les piles.

C'est donc finalement la fumée, due à une combustion incomplète des matériaux, qui est la plus facilement détectable. Elle constitue en outre l'une des signatures les plus précoces des feux couvants, dont la combustion peut être longue avant que n'apparaissent les premières flammes.

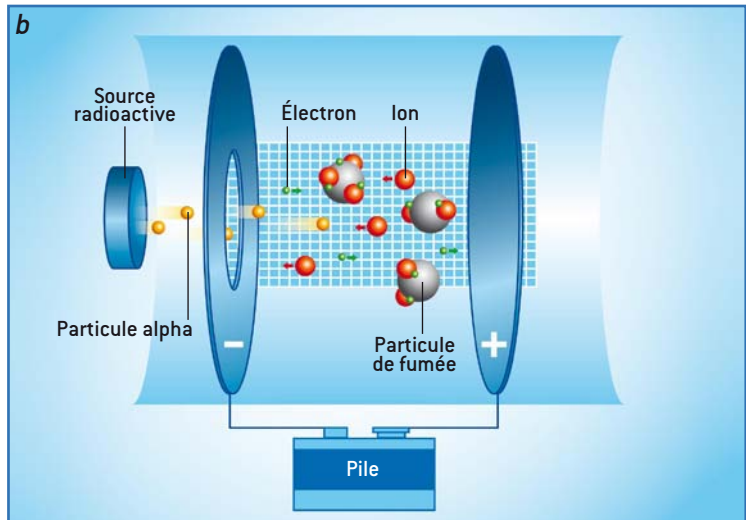
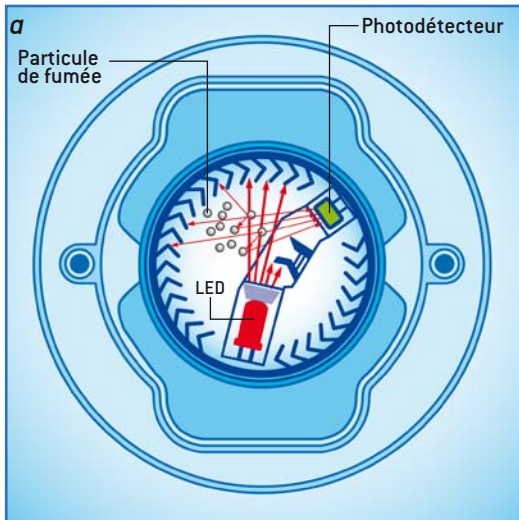
Les particules de fumée sont formées par l'agrégation aléatoire de sphérules dont le diamètre est de quelques centièmes de micromètre. Les agrégats sont de tailles variables, allant jusqu'à une dizaine de micromètres, la taille moyenne étant de l'ordre de un micromètre. La fumée est, par ailleurs, une substance opaque. Autrement

dit, elle absorbe la lumière qu'elle reçoit. On peut estimer cette absorption grâce à la taille des particules de fumée. Si l'on recouvre une surface de un mètre carré par des particules de un micromètre de diamètre, on obtient une surface parfaitement opaque avec un millionième de mètre cube de suie, soit une masse de l'ordre du gramme.

Il s'ensuit que si la concentration des particules de fumée est de l'ordre du gramme par mètre cube, un rayon lumineux a toutes les chances d'être intercepté au bout de un mètre. Pour la taille d'un détecteur, qui est plutôt de l'ordre du centimètre, l'absorption de lumière sera bien plus faible, de l'ordre du



LES DÉTECTEURS DE FUMÉE émettent une alarme sonore. Ceux autorisés en France sont des détecteurs optiques, mais on trouve dans d'autres pays des détecteurs ioniques.



Dessins de Bruno Vézaro

DANS UN DÉTECTEUR OPTIQUE (a), une LED émet de la lumière, que les particules de fumée diffusent. Le photodétecteur capte une partie de la lumière diffusée, tandis que les rayons lumineux provenant directement de la LED lui sont masqués. Les chevrons empêchent les

réflexions parasites. Dans un détecteur ionique (b), des particules alpha ionisent l'air entre les électrodes. Un courant électrique s'établit. La présence de particules de fumée, auxquelles se collent des ions et des électrons, a pour effet de diminuer l'intensité du courant.

pourcent, voire moins. La réduction du flux lumineux sera difficile à mesurer de façon fiable si l'intensité de la source de lumière n'est pas parfaitement stabilisée.

Mais tout n'est pas perdu : les particules de fumée non seulement absorbent de la lumière, elles en renvoient aussi dans toutes les directions. C'est le phénomène de diffusion, que l'on retrouve dans le brouillard, la neige... (milieux qui demeurent d'un blanc laiteux car ils dévient la lumière, sans l'absorber).

L'optique, préférée à la radioactivité

Pour les toutes petites particules de quelques centièmes de micromètre, on est dans le cas d'une diffusion dite de Rayleigh avec, comme pour les molécules de l'air, une diffusion privilégiée des longueurs d'onde lumineuses les plus courtes. La délicate fumée qui monte d'une cigarette apparaît ainsi bleutée, pour les mêmes raisons que le ciel est bleu.

Pour les feux plus intenses, la plupart des particules de fumée sont plus grosses, de taille comparable aux longueurs d'onde de la lumière (quelques dixièmes de micromètre). Dans ce cas, on a des effets d'interférence entre les ondelettes diffusées par les différentes parties des particules. On est alors

dans le régime de la diffusion dite de Mie. Les calculs, complexes, montrent que la diffusion devient à peu près indépendante de la longueur d'onde lumineuse. La fumée éclairée est ainsi blanche, comme le sont les nuages dans le ciel, lorsqu'elle est peu dense et absorbe peu ; elle devient de plus en plus grise, voire noire à mesure qu'elle s'épaissit.

C'est sur cette diffusion que sont fondés les détecteurs optiques de fumée. Une diode électroluminescente (LED) éclaire un volume d'air tandis qu'un photodétecteur capte la lumière diffusée par ce même volume (voir la figure ci-dessus, a). Si l'on masque les rayons lumineux qui iraient directement de la source lumineuse au photodétecteur, et si les parois de la boîte absorbent toute lumière incidente, le photodétecteur ne capte rien ou presque en situation normale.

En revanche, dès que des particules de fumée pénètrent dans le volume du dispositif, elles diffusent la lumière émise par la diode. Ce flux diffusé, quoique faible, est bien plus facile à détecter qu'une variation de 1 % d'un éclairage déjà présent. En pratique, les détecteurs optiques sont aujourd'hui sensibles à une « fumée grise » dont l'absorption est de l'ordre de 0,06 % par centimètre.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTJY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



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

BIBLIOGRAPHIE

Z. Liu et A. K. Kim, **Review of recent developments in fire detection technologies**, *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 13(2), pp. 129-151, mai 2003.

G. W. Mulholland, **Smoke production and properties**, dans *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association (2^e édition), pp. 217-227, 1995.

Cette solution n'est pas la seule. Une autre catégorie de détecteurs est fondée sur un tout autre principe : l'interaction des particules de fumée avec des charges électriques (ions, électrons) créées dans l'air (voir la figure page 89, b). Ces détecteurs comportent une petite source radioactive, en général de l'américium 241. Les rayons alpha (des noyaux d'hélium) émis par cette source heurtent les molécules de l'air qui se trouvent dans la chambre du détecteur et les ionisent. Soumis au champ électrique créé par deux électrodes placées de part et d'autre de la chambre, les ions et les électrons ainsi produits se déplacent jusqu'à être captés par ces électrodes, d'où un faible courant électrique.

Lorsque des particules de fumée pénètrent dans la chambre, elles captent à la fois des ions et des électrons, lesquels se

neutralisent. Cela diminue légèrement le courant d'ionisation, comparé à un courant de référence créé au sein d'une chambre parfaitement scellée. Cette comparaison permet de compenser les modifications de courant dues aux variations de température, de pression de l'air ou de vieillissement de la source sur plusieurs années. La sensibilité de ces dispositifs est excellente !

Ce type de détecteurs contient hélas une source radioactive. La quantité d'américium est assez faible pour que la radioactivité engendrée, 37 000 becquerels, soit très faible (inférieure à la radioactivité naturelle de six adultes !). Il n'empêche : par précaution, en raison de la longue durée de vie de l'américium (demi-vie de 432 années) et des risques de dispersion dans l'environnement, la France a interdit ces détecteurs depuis fin 2011. ■

L'information scientifique de référence maintenant sur tablette et smartphone !

Avec l'application « Pour la Science », retrouvez dès leur sortie le mensuel *Pour la Science* à 4,49 € et son hors-série trimestriel *Dossier Pour la Science* à 5,49 € en version numérique optimisée pour tablette : lecture intuitive, sommaire interactif, contenus enrichis, feuilletage hors connexion, etc.



Découvrez aussi l'application « Cerveau & Psycho ».



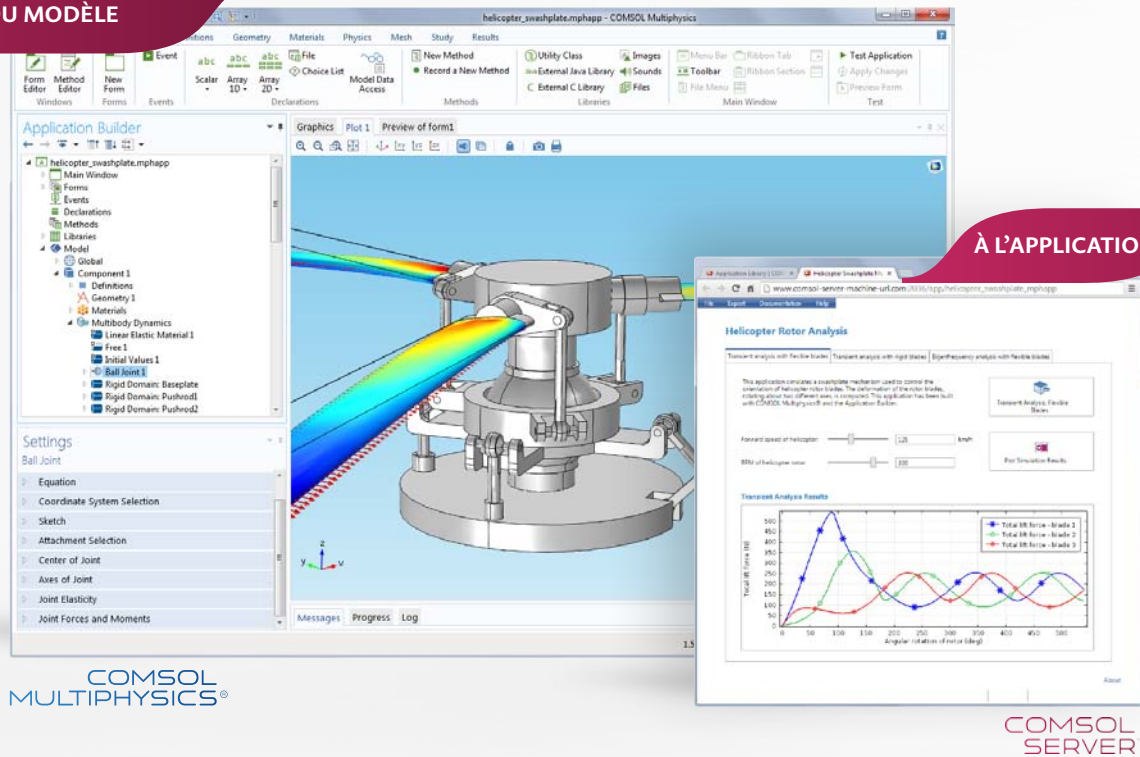
Flashez ce QR code avec votre mobile ou votre tablette pour télécharger immédiatement l'application.



Téléchargez gratuitement l'application sur App Store et Google Play.
Un extrait du numéro en cours de parution vous est offert !



DU MODÈLE



À L'APPLICATION

Testez et Optimisez vos designs avec COMSOL Multiphysics®

NOUVEAUTÉS : APPLICATION BUILDER ET COMSOL SERVER™

L'Application Builder vous permet de créer facilement des interfaces métiers à partir de vos modèles multiphysiques. COMSOL Server™ vous permet de distribuer vos applications à vos collègues et à vos clients partout dans le monde.

Visitez comsol.fr/release/5.0

Product Suite

- › COMSOL Multiphysics®
- › COMSOL Server™

ELECTRICAL

- › AC/DC Module
- › RF Module
- › Wave Optics Module
- › Ray Optics Module
- › MEMS Module
- › Plasma Module
- › Semiconductor Module

MECHANICAL

- › Heat Transfer Module
- › Structural Mechanics Module
- › Nonlinear Structural Materials Module
- › Geomechanics Module
- › Fatigue Module
- › Multibody Dynamics Module
- › Acoustics Module

FLUID

- › CFD Module
- › Mixer Module
- › Microfluidics Module
- › Subsurface Flow Module
- › Pipe Flow Module
- › Molecular Flow Module

CHEMICAL

- › Chemical Reaction
- › Engineering Module
- › Batteries & Fuel Cells Module
- › Electrodeposition Module
- › Corrosion Module
- › Electrochemistry Module

MULTIPURPOSE

- › Optimization Module
- › Material Library
- › Particle Tracing Module

INTERFACING

- › LiveLink™ for MATLAB®
- › LiveLink™ for Excel®
- › CAD Import Module
- › Design Module
- › ECAD Import Module
- › LiveLink™ for SOLIDWORKS®
- › MultiLink™ for Inventor®
- › LiveLink™ for AutoCAD®
- › LiveLink™ for Revit®
- › LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™
- › LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®
- › LiveLink™ for Solid Edge®
- › File Import for CATIA® V5