

## UN CAPTEUR CHIMIQUE DE GAZ

P. MONTMÉAT, F. PARRET, L. HAIRAUT, P. PRENÉ  
CEA - Le Ripault

**Q**ue ce soit au titre du contrôle de la pollution, ou de la lutte contre le terrorisme, la détection de substances chimiques gazeuses devient un élément incontournable de la vie quotidienne. C'est une des raisons pour lesquelles divers groupes de recherche s'attachent à mettre au point des capteurs chimiques de gaz. Ces dispositifs sont aisément miniaturisables et bénéficient de coûts de fabrication réduits. Leur fonctionnement est basé sur une interaction entre un matériau sensible solide et une phase gazeuse, qui conduit à une modification de la physico-chimie du matériau. Récemment, des chercheurs du CEA - DAM, en collaboration avec l'Université de Dijon, ont développé des capteurs de vapeurs d'explosifs de type nitroaromatique. Cet article décrit la conception et les performances de détection des capteurs.

L'utilité de disposer de systèmes fiables et sensibles permettant de surveiller la concentration dans l'air de composés toxiques n'est plus à démontrer. De tels dispositifs basés sur des capteurs chimiques de gaz sont couramment utilisés dans l'industrie chimique et dans certains laboratoires. Ils permettent de contrôler les taux d'exposition de divers dérivés toxiques comme le monoxyde de carbone ou le benzène.

Par ailleurs, l'utilisation croissante d'explosifs par des terroristes nécessite la mise au point de systèmes de détection de vapeurs spécifiques. Il s'agit ici de détecter rapidement, et de façon fiable, la présence de substances pyrotechniques aussi bien dans les bagages ou les véhicules que dans le sol. À l'heure actuelle, c'est le nez du canidé qui constitue l'outil le plus performant. Toutefois, l'utilisation du chien est limitée dans le temps et nécessite un entraînement spécifique, régulier, et coûteux.

C'est pour l'ensemble de ces raisons que divers groupes de recherche axent leurs efforts sur l'élaboration de capteurs chimiques de vapeurs d'explosifs. Plus particulièrement, en collaboration avec l'université de Dijon, des chercheurs du CEA - DAM [1], ont développé des capteurs de vapeurs d'explosifs de type nitroaromatique (figure 1). Il s'agit de microbalances à quartz revêtues de macrocycles métallés.

**Des détecteurs de nitroaromatiques ont été développés dans le cadre d'une collaboration entre l'université de Dijon et le CEA-Le Ripault**

### Principe de fonctionnement d'un capteur chimique de gaz

Le principe de fonctionnement d'un capteur chimique de gaz repose sur l'interaction hétérogène entre un matériau sensible solide et le gaz que l'on souhaite détecter. Comme cela est présenté dans le cadre de la figure 2, c'est à l'issue de cette interaction que nous assistons à la modification d'une ou plusieurs des propriétés physico-chimiques du matériau, à savoir : modification de la masse, de la conductivité électrique, ou de la température.

Généralement, le capteur se compose de quatre unités bien distinctes. Le substrat assure la tenue mécanique du dispositif. Le matériau sensible est le siège des réactions chimiques avec le gaz. Il peut être de diverses natures (*organique, oxyde métallique, etc.*), et il doit disposer d'une excellente affinité pour le gaz à détecter. Il est déposé en film mince sur le substrat (*épaisseur de 10 nm à 1 µm*). Le transducteur, déposé sur le substrat,

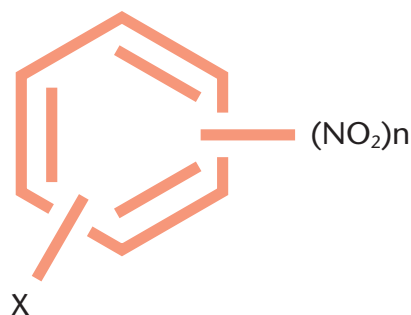


Figure 1  
Composé nitroaromatique

a pour rôle de convertir l'information physico-chimique en une information électrique plus facilement exploitable. Le dispositif de mesure assure l'acquisition du signal électrique issu du transducteur, et précède souvent une étape de traitement du signal adapté.

### Dispositif étudié

Le dispositif utilisé ici est un capteur gravimétrique : c'est une variation de masse du matériau sensible qui est prise en compte. Le transducteur choisi est une microbalance à quartz : nous mettons à profit les propriétés de piézoélectricité du quartz. En particulier, sa fréquence de vibration est directement liée à la masse du matériau déposé à sa surface.

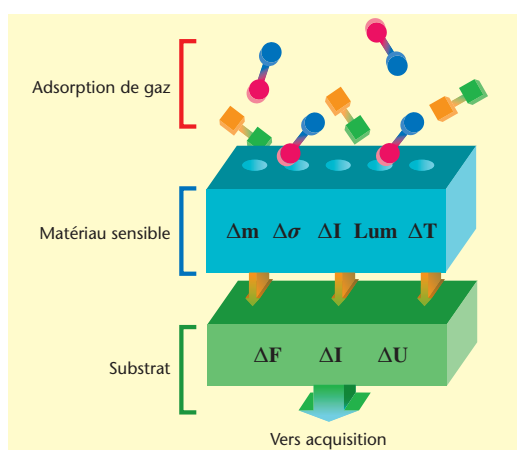


Figure 2  
Principe de fonctionnement des capteurs chimiques de gaz.

Le choix du matériau sensible a porté sur une famille de composés bien connus pour leur aptitude à la détection des gaz : les métalloporphyrines (figure 3). Ces macromolécules sont caractérisées par leurs substituants périphériques  $R_1$  ou  $R_2$ , et par le métal central  $M$ . Ce sont ces deux composantes qui confèrent au capteur sa sensibilité et sa spécificité [2]. La synthèse des molécules est réalisée au Laboratoire d'Ingénierie Moléculaire pour la Séparation et les Applications des Gaz de l'Université de Dijon [3].

La métalloporphyrine est déposée sur la microbalance au moyen d'une technique de pulvérisation en solution.

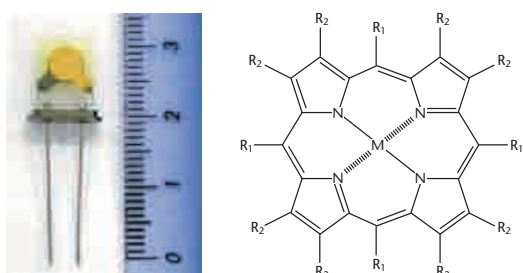


Figure 3  
Microbalance à quartz et métalloporphyrine.

Ensuite, il s'agit d'évaluer les performances de détection du quartz revêtu. Deux critères sont retenus : la sensibilité et la sélectivité. La sensibilité représente la réponse du capteur à une pression donnée de vapeur de nitroaromatique. La sélectivité caractérise l'aptitude du capteur à discriminer le nitroaromatique en présence d'autres vapeurs interférentes comme des solvants usuels.

La réponse d'un capteur à 3 ppmv (partie par million volumique) de nitroaromatique est présentée sur la figure 4. Le polluant provoque une nette diminution de la fréquence du quartz : nous assistons à une fixation des vapeurs de nitroaromatique à la surface de la métalloporphyrine. Comme prévu, le macrocycle se révèle particulièrement sensible au dérivé d'explosifs ciblé.

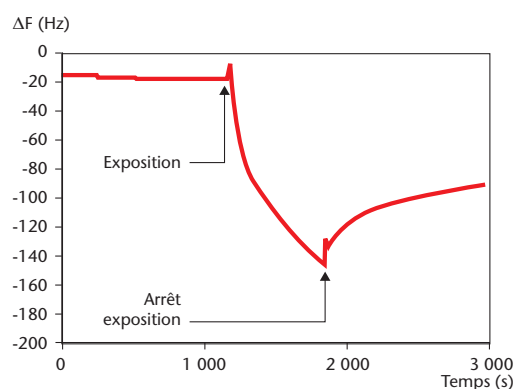


Figure 4  
Réponse d'un capteur aux vapeurs de nitroaromatique.

Des tests de sélectivité ont été menés. Ils consistent à évaluer la réponse des capteurs à différentes vapeurs interférentes comme les solvants usuels. De ces essais, il ressort que la réponse du quartz en présence de nitroaromatique est au moins 100 fois supérieure à celle observée en présence de solvants.

### Nous serons capables de développer un détecteur d'explosifs

Nous avons démontré la faisabilité d'un capteur de vapeur d'explosifs au moyen d'une microbalance à quartz revêtu de métalloporphyrine.

### Références

[1] P. MONTMÉAT et al, "Metalloporphyrins as Sensing Material for Quartz-Crystal Microbalance Nitroaromatics Sensors", *IEEE Sensors Journal*, 5, n°4, p. 610-615 (Août 2005).  
 [2] A. D'AMICO et al, "Metalloporphyrins as basic material for volatile sensitive sensors", *Sensors and Actuators B*, 65, p. 209-215 (2000).  
 [3] F. BOLZE et al, "Luminescence properties of a cofacial dipalladium porphyrin dimer under argon and in the presence of dioxygen", *J. Porphyr. Phtalocyanin.*, 253, p. 569-574 (2001).