

Les détecteurs de fumée

Les détecteurs de fumée ou DAAF (Détecteurs Avertisseurs Autonomes de Fumée) font partie de ces objets quotidiens que l'on croise sans les remarquer. En France, ils restent peu fréquents (quelques pourcents de logements sont équipés) mais deviendront obligatoires dans le cadre domestique en 2015. Chaque année, ces petits appareils sauvent des milliers de vie à travers le monde

De la nature du feu

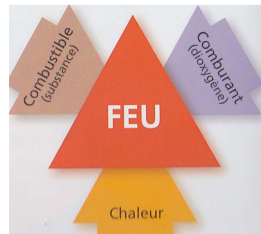
La fumée, pour reprendre un dicton populaire, est la plupart du temps la manifestation d'un feu.

Les atomes peuvent se combiner entre eux par des liaisons chimiques pour former des molécules. Ces liaisons chimiques consistent en une mise en commun d'électrons par les atomes impliqués. Une molécule bien connue, par exemple, est la molécule de dioxygène, constituée de deux atomes d'oxygène et notée O_2 . Les combinaisons d'un nombre plus ou moins grand d'atomes donnent les diverses molécules qui nous entourent, qu'elles existent dans la nature ou qu'elles soient fabriquées par l'être humain, comme la molécule d'aspirine.

Lors d'une réaction chimique, les molécules échangent des atomes et modifient leurs liaisons. Par exemple, dans la réaction élémentaire $A + B \rightarrow C + D$, les deux molécules A et B vont échanger des atomes pour former deux nouvelles molécules C et D complètement différentes mais globalement composées des mêmes atomes qu'au départ : la chimie ne crée pas de nouveaux atomes, mais modifie leur arrangement.

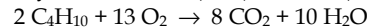
Ce que l'on appelle combustion d'une substance est en fait une réaction chimique, c'est-à-dire la réorganisation des différents atomes au sein des molécules. Le feu - la chaleur qui s'en dégage, les flammes, etc. - n'est que la conséquence de cette combustion.

La combustion d'une substance (le combustible) nécessite la présence de dioxygène (le comburant), le plus souvent fourni par l'air atmosphérique. Une certaine quantité d'énergie, une étincelle ou plus généralement de la chaleur est nécessaire pour que la réaction démarre. L'ensemble de ces trois éléments indispensables au déclenchement de la combustion constitue ce qu'on appelle le « triangle du feu ».

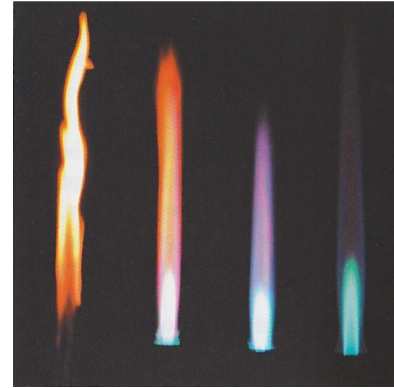


Avant de comprendre la combustion d'un morceau de bois, qui fait intervenir plusieurs réactions, prenons l'exemple de la combustion du butane (gaz bouteille).

La combustion complète dans l'air du butane (de formule chimique C_4H_{10}) utilise le dioxygène et conduit à la formation de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau (H_2O) selon l'équation



Cette réaction produit suffisamment d'énergie pour provoquer la combustion d'une autre molécule de butane, qui à son tour engendre une nouvelle combustion, etc. : c'est ce qu'on appelle une réaction en chaîne, qui perdure en se propageant (via une flamme par exemple ou plus brutalement s'il y a explosion) tant qu'il reste du combustible, et du comburant. Si la quantité de dioxygène disponible n'est pas suffisante, la combustion est incomplète, d'autres réactions se déclenchent alors et il se produit en particulier du monoxyde de carbone (CO) très toxique. La couleur et la forme de la flamme dépendent du combustible et de cette concentration en dioxygène.



Flamme d'un bec Bunsen alimenté en butane. La virole est complètement fermée à gauche (combustion incomplète), complètement ouverte à droite (combustion complète).

Dans un feu de forêt, la combustion de la cellulose - principal constituant des végétaux de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$ dérivée du glucose - produit différents gaz et de la fumée. Cette combustion fait intervenir des réactions complexes...

La combustion de la cellulose du bois libère d'une part du gaz sous l'effet de l'augmentation de la température, et d'autre part de petites particules de carbone. Les particules émises lors d'une combustion incomplète du bois se retrouvent en suspension dans l'air et forment ce qu'on appelle la fumée. Quand ces particules se déposent sur une surface, une couche de suie apparaît.

Afin de prévenir les incendies, mais aussi l'intoxication par le monoxyde de carbone ou les autres gaz libérés, plusieurs dispositifs de détection ont été mis au point. Ils reposent sur deux techniques, l'une fondée sur un capteur optique, l'autre sur la radioactivité.

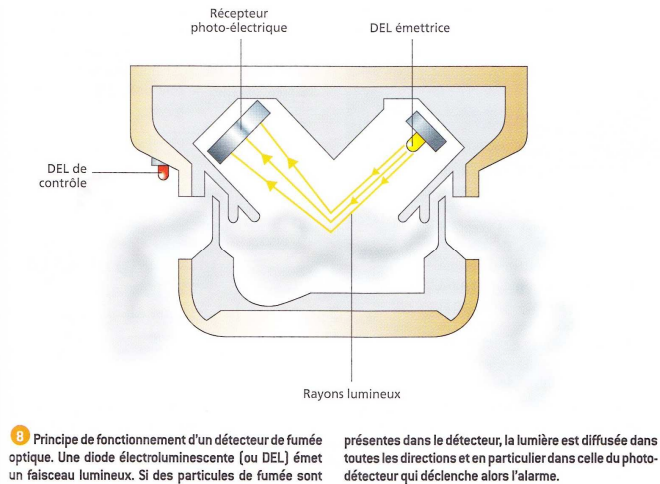
Le détecteur de fumée optique

Le premier type de détecteur exploite le phénomène de diffusion de la lumière, c'est-à-dire le fait que la fumée renvoie de la lumière dans toutes les directions lorsqu'elle est éclairée. La diffusion de la lumière par la matière (atomes, molécules ou particules qui composent la fumée) dépend de la taille des objets diffusants. Ainsi, la diffusion de la lumière solaire sur les molécules de l'atmosphère (le diazote et le dioxygène principalement) donne sa couleur bleue au ciel, alors que la diffusion sur les gouttes d'eau contenues dans les nuages les fait apparaître en blanc (d'autant plus blancs lorsqu'on les observe dans une direction quasi alignée avec celle du Soleil).

La fumée contient des particules assez grosses par rapport à la longueur d'onde de la lumière, de sorte que la diffusion de la lumière s'effectue sans direction privilégiée. Très schématiquement, on peut considérer que cette diffusion est équivalente au rebond d'un photon (ou grain de lumière) sur les particules de carbone de la fumée dans une direction aléatoire. Dans un détecteur optique, cette lumière diffusée va servir de signature de la présence de fumée.

Un faisceau lumineux est émis par une diode électroluminescente. Un photodétecteur est placé à 90° de la DEL et ne reçoit donc pas la lumière directe du faisceau. Quand la fumée pénètre dans le boîtier par les ouvertures prévues à cet effet, les particules de carbone diffusent la lumière dans toutes les directions, et notamment vers le photodétecteur : ce dernier produit alors un signal électrique, traité par un circuit électronique afin de déclencher l'alarme.

Ce système de détection très simple est bien adapté aux incendies dégagant une fumée épaisse, qui diffuse bien la lumière, et aux incendies à progression lente, comme ceux provoqués par un mégot de cigarette. C'est le seul autorisé en France dans le cadre domestique.



Le détecteur de fumée ionique

Le second type de détecteur de fumée est fondé sur un principe plus complexe : l'ionisation d'un gaz par des particules chargées rapides qui le traversent. Lorsqu'une particule chargée est envoyée dans un gaz, elle arrache des électrons aux atomes qu'elle rencontre, c'est-à-dire qu'elle les ionise. Ce phénomène ralentit la particule et peut finir par l'arrêter. Dans ce cas, la quantité totale d'électrons éjectés est proportionnelle au carré de la vitesse initiale de la particule. Si la particule perd une partie de son énergie ailleurs que dans le gaz - dans des poussières de fumée par exemple - le nombre d'électrons éjectés sera plus faible. Le détecteur ionique exploite cette différence.

Pour produire de manière continue des particules chargées, suffisamment énergétiques pour qu'elles soient capables d'ioniser l'air, on utilise une source radioactive : l'américium 241. Cet isotope se désintègre par radioactivité α en émettant des noyaux d'hélium à grande vitesse (environ 16 000 km/h) susceptibles d'ioniser l'air environnant.

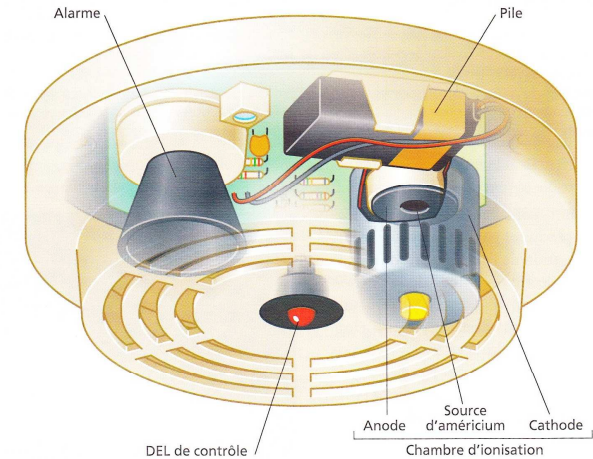
Comment collecter les charges électriques produites par une particule α lors de l'ionisation de l'air ? Il suffit de disposer deux électrodes autour de la portion d'air ionisé, et de les soumettre à une différence de potentiel : le champ électrique qui en résulte accélère les électrons arrachés par la particule α vers l'électrode positive (anode), alors que les ions positifs se dirigent vers l'électrode négative (cathode). Les électrons et les ions ainsi captés forment un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle au nombre d'ionisations dues aux particules α éjectées par la radiosource. La période de l'américium 241 est grande (432 ans) : on peut de ce fait considérer que le nombre de particules α émises par seconde est constant, ainsi que l'intensité du courant associé.

Si des particules de carbone (de la fumée) se trouvent sur le chemin des particules α , ces dernières perdent de l'énergie (elles sont ralenties) et ne pourront pas créer autant d'électrons

dans le gaz : l'intensité du courant électrique résultant diminuera en conséquence et cette variation d'intensité déclenchera l'alarme.

Les détecteurs de fumée ionique ressemblent aux détecteurs optiques. Néanmoins, les différences sautent aux yeux en étudiant l'intérieur. Si la sirène chargée d'émettre le signal sonore d'alarme est bien visible, la partie la plus importante du DAAF est constituée par la chambre à ionisation, ensemble d'électrodes qui permettent de collecter le courant créé après ionisation de l'air par les particules α . Cette chambre d'ionisation cylindrique est percée de plusieurs trous afin de laisser arriver la fumée à l'intérieur. Au centre de la chambre et insérée dans l'anode se trouve la source radioactive d'américium 241. La quantité d'américium a été choisie pour produire un courant électrique mesurable tout en n'émettant qu'une radioactivité très faible (bien inférieure à celle, naturelle, dans laquelle nous évoluons).

Un circuit électronique mesure l'intensité du courant électrique résultant de l'ionisation de l'air et donne l'alerte lorsqu'elle varie. L'ensemble est raccordé au secteur ou alimenté par une pile.



11 Schéma de principe du détecteur de fumée à ionisation. La source radioactive émet environ 30 000 particules α par seconde. Cette source a la forme d'un petit disque doré de 4 mm de diamètre et 0,2 mm d'épaisseur disposé sous l'anode. Elle est constituée d'un mélange d'oxyde d'américium et d'or, entouré d'une fine couche d'or au-dessus, et d'une autre d'argent en dessous.