

# La chromatographie gazeuse, une technique au service de l'enquête

## Application aux incendies de grandes structures

Anne-Laure Marty et Emmanuel Foulon

- Résumé** Les feux de grandes structures (usines, ateliers, entrepôts...) font partie des scènes d'incendie les plus difficiles à traiter, en raison notamment de l'ampleur des dommages occasionnés. La méthodologie des enquêtes sur les incendies repose sur une démarche systématique. Des informations sur le site et le maximum de témoignages sont recueillis, puis les constatations techniques sont effectuées, conduisant à de premières hypothèses. Des prélèvements, réalisés en accord avec ces hypothèses, sont transmis au laboratoire où ils seront analysés. La présence de résidus de substances inflammables dans ces échantillons peut être mise en évidence par différentes techniques. Parmi celles-ci, la chromatographie en phase gazeuse, avec ces différentes techniques de piégeage et de détection, s'avère particulièrement adaptée. La concordance de l'enquête et des résultats d'analyses obtenus concourent à établir l'origine et la cause du feu.
- Mots-clés** **Criminalistique, investigation, incendie, chromatographie en phase gazeuse, analyse de débris, substance accélératrice de combustion, produits de pyrolyse.**
- Abstract** **Gas chromatography, a technical assistance to the investigation: cases of large structure fire**  
Fires of large structures (factories, workshops, warehouses...) are among the most complex fire scenes to investigate, especially due to the extent of the damages. The basic methodology of such fire scene investigation relies on a systematic approach. Informations about the plant and all the witnesses interviews are collected. A technical inspection is then performed in order to establish preliminary hypothesis. Samples are collected to check the previous hypothesis and sent to the laboratory where different techniques can be used for their analysis. Among available techniques, gas chromatography owing to the different trapping and detection techniques appears to be an essential tool for the identification of flammable liquid residues. All these results allow to conclude to the origin and cause of the fire.
- Keywords** **Forensic science, fire investigation, gas chromatography, debris analysis, flammable liquid residues, pyrolysis products.**

### Problématique de l'incendie de grandes structures (dépôt, atelier, grande surface...)

Le feu peut rayer de la carte économique des usines, des entrepôts de quelques milliers de m<sup>2</sup> de surface, occasionnant des dizaines de milliers d'euros de perte. D'après les statistiques portant sur les sinistres ayant causé de gros dégâts matériels (sinistres qui intéressent particulièrement les compagnies d'assurance), la part de causes indéterminées reste relativement élevée, parfois supérieure à 50 %. Le caractère généralement enclavé de certains sites et l'absence de témoins directs présents sur les lieux aux moments des faits concourent à ce pourcentage élevé. L'ampleur des destructions permet difficilement par le seul examen des lieux de localiser avec précision le ou les point(s) de départ du sinistre. La quasi-totalité de la structure du bâtiment est généralement effondrée. Les investigations amènent souvent à conclure à une seule zone de départ de feu comprenant un ou plusieurs

foyer(s) d'incendie. Il est généralement impossible de le (les) localiser précisément, compte tenu de l'uniformité des dégâts (voir *figure 1*).

Après recueil d'informations concernant l'établissement sinistré et examen approfondi des lieux par des personnes spécialisées, des prélèvements sont effectués afin de rechercher en laboratoire, par chromatographie en phase gazeuse, la présence éventuelle de substances inflammables.

### Premières démarches de l'enquête

Une description précise du site, de son mode d'activité et de son fonctionnement est requise. Des renseignements généraux doivent être pris sur son environnement économique et social.

La surface des biens sinistrés et la structure du bâtiment sont décrites (types de matériaux, enceinte, toiture). Il convient de préciser le type d'activité (plate-forme de stockage, atelier de fabrication...) et la nature des stocks entreposés



Figure 1 - Exemples de sites industriels sinistrés.

dans la zone sinistrée. Des informations sur l'état des installations électriques (liste du matériel censé rester sous tension), des ouvertures, des accès, du type d'alarme utilisé, d'éventuels capteurs de coupure électrique de courant, de sondes de température sont prises.

Dans la mesure du possible, des clichés des lieux avant les faits sont mis à disposition. Un plan général du site peut également être fourni.

### Recueil des témoignages

L'investigateur se doit d'établir une liste de vérifications dans laquelle divers éléments d'informations doivent être reportés, tels que les informations sur la (ou les) victime(s), le(s) éventuel(s) suspect(s)... Il est nécessaire de prendre connaissance des témoignages des personnels travaillant sur le site sinistré, et plus particulièrement des personnes découvrant l'incendie. Il convient également de noter dans quelle direction les employés se sont dirigés pour échapper au sinistre. Ces premières observations permettront de localiser la zone où les premiers signes de l'incendie ont été perçus et d'établir dans quelle direction le feu s'est propagé. Il faudra s'enquérir des conditions météorologiques et notamment de l'influence du vent (force et orientation) sur le sens de propagation du feu.

Une description sommaire de l'intervention des services de secours est réalisée.

Si l'heure du départ de feu n'a pu être déterminé qu'approximativement à partir des premiers éléments du dossier transmis par les services d'enquête, l'ensemble des témoignages recueillis permettra de le préciser. Un tableau chronologique des événements sera dressé.

À partir de ces éléments, une zone de départ du feu et des premières hypothèses quant à l'origine peuvent être posées. Les éléments seront confrontés avec les constatations effectuées sur les lieux du sinistre.

### Sécurisation du site

Avant toute intervention, les lieux doivent être sécurisés [1]. Il se peut que l'atmosphère sur le site soit irrespirable et ne permette pas d'effectuer de constatations. Les fumées dégagées peuvent atténuer la visibilité et disperser des produits toxiques (figure 2). Il est de ce fait parfois nécessaire de reporter l'intervention. Des prises de vues (au sol et aériennes) peuvent toutefois être effectuées.



Figure 2 - Fumées persistantes.

Lorsque des dégâts importants touchent la structure des locaux incendiés, des opérations de sécurisation passant par des travaux de démolition doivent être entrepris afin de permettre aux personnels d'intervenir en toute sécurité. La recherche ultérieure d'éléments utiles à l'enquête après déblaiement des structures affaissées sur le sol dans une zone inaccessible pourra alors être effectuée.

### Détermination du ou des foyer(s) de mise à feu [2-3]

Un foyer de mise à feu correspond physiquement au lieu d'éclosion du feu. La multiplicité de ces foyers peut constituer la preuve du caractère volontaire de l'incendie dans la mesure où il est établi qu'il s'agit bien de foyers distincts.

Pour que deux foyers soient indépendants, il faut qu'ils soient physiquement distincts l'un de l'autre, c'est-à-dire qu'une zone non brûlée les sépare, et avoir vérifié que le second foyer ne peut pas être une conséquence du premier par diverses modes de propagation tels que :

- la convection : transfert de chaleur par l'intermédiaire d'un transfert de matière (gaz chauds), ce transfert s'effectuant généralement de manière verticale ;
- la conduction : propagation de la chaleur à l'intérieur d'un solide (par exemple au moyen d'une tige ou d'une charpente métallique) ;

- le rayonnement thermique : dû à la température des corps, il se fait à leur surface (à titre d'exemple, dans le cas de l'incendie d'un dépôt de bus où les véhicules sont stationnés côte à côte, le feu se propageant de véhicule en véhicule) ;
- la projection de débris enflammés.

La méthodologie en matière d'investigation incendie repose sur une approche systématique et une attention au moindre détail. Dans un premier temps, un examen général de l'état des lieux du sinistre et de destruction des structures doit être réalisé. Cet examen doit être confronté avec les observations des sapeurs pompiers primo-intervenants. Le cheminement du feu va en effet également dépendre des conditions de l'intervention des services de secours : la préservation de la zone de stockage de combustibles, des conditions météorologiques, l'accessibilité des lieux... Il se peut que priorité ait été donnée à la sauvegarde d'une petite partie de l'entreprise, telle que les réserves de combustibles ou de comburants. Il est important de recueillir auprès de ces services les éventuelles traces d'effraction constatées.

Dans un second temps, un examen minutieux des lieux est réalisé. Il est indispensable d'établir le schéma de propagation du feu. Ainsi sur le site, l'état de destruction des ouvrants est constaté, permettant de déterminer s'ils étaient ouverts ou fermés durant l'incendie. Les zones présentant des degrés de destruction plus ou moins importants sont identifiées : elles doivent être listées, référencées, l'une de ces zones pouvant correspondre à un foyer de mise à feu. Il faudra toujours avoir à l'esprit que la présence de matériaux combustibles peut provoquer très rapidement un embrasement.

Dans certains cas, des matériaux stockés dans la zone du foyer de l'incendie pourront être utilisés au laboratoire afin d'effectuer un test d'inflammabilité avec ou sans ajout de substance accélératrice de combustion. Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser ces tests en utilisant des matériaux de nature et de conditionnement le plus proche possible de ceux présents sur le site au moment des faits. Ces tests permettent d'évaluer la durée nécessaire à leur embrasement.

Dans d'autres cas, l'hypothèse d'un départ de feu au niveau de l'installation électrique fixe (fils, câbles, tableaux et boîtiers de dérivation) doit être envisagée. Le plus souvent, les incendies d'installations électriques ont pour origine les tableaux et coffrets (courts-circuits...). Il faudra aussi vérifier l'état d'alimentation des armoires électriques et la présence à proximité de matières combustibles à partir desquelles le feu pourrait se propager. Il faut envisager également l'hypothèse d'un départ de feu au niveau d'un récepteur électrique (radiateur...).

Quoiqu'il en soit, des prélèvements doivent être effectués au niveau de la zone « origine » mise en évidence afin de vérifier, en laboratoire, la présence éventuelle de substances accélératrices de combustion. Une première recherche indicative de ces substances peut être effectuée sur le site au moyen d'un détecteur portatif, associée ou non à un chien spécialement dressé dans la recherche de substances inflammables.

### Développer une première hypothèse

L'examen des lieux du sinistre permet donc de délimiter plusieurs zones présentant des degrés de destruction plus ou moins importants, qui sont listées et référencées.

Il convient ensuite d'examiner une à une les causes possibles : la cause naturelle – se renseigner alors sur un éventuel épisode orageux susceptible d'être la cause du sinistre –, la cause accidentelle, la cause criminelle.

Après avoir émis différentes hypothèses, l'expert procède alors par élimination des hypothèses envisagées afin de proposer un scénario plausible. Cette démarche ne sera validée que si aucune autre hypothèse n'a été omise au départ.

À titre d'exemple, prenons le cas où, après la mise en évidence d'un premier foyer, une deuxième zone intensément détruite (de stockage par exemple) est observée. Les hypothèses suivantes peuvent alors être avancées :

- soit cette zone correspond à un foyer secondaire résultant d'une propagation du sinistre depuis la zone principale de destruction par convection (gaz chaud), conduction (structures métalliques) ou projection de débris enflammés. La destruction intense des stocks peut résulter de la nature particulièrement combustible de leur conditionnement, composé par exemple de cartons et de palettes. Ainsi, compte tenu de ces éléments et de l'audition d'employés, l'hypothèse d'un foyer secondaire dû à la progression depuis la zone principale de destruction sera la plus vraisemblable ;
- soit elle correspond à un second foyer d'incendie compte tenu de la nette différence entre l'état des stocks à cet endroit (détruits) et celui d'autres produits ou installations placés à proximité (pratiquement intacts). La mise en évidence de deux foyers distincts permet de conclure à une origine volontaire.

### La cause accidentelle

L'hypothèse de la négligence humaine de type feu couvant, telle une cigarette mal éteinte, est souvent difficile à écarter. Mais pour avoir lieu, un environnement très spécifique s'avère nécessaire. Un mégot ne peut être une source d'inflammation efficace que pour un gaz avec un combustible hautement inflammable (vapeur d'accélérateur...) ou un solide finement divisé (papiers froissés, paille, copeaux, tissus par exemple) dans un réceptacle tel qu'une corbeille, une poubelle, une literie ou un sac. Sans quoi, la déperdition calorifique est trop importante pour qu'il y ait inflammation vive. En supposant qu'un mégot ait pu tomber dans une corbeille contenant des papiers, il est nécessaire que cette dernière se situe à proximité de stocks de matières combustibles pour que ceux-ci prennent feu à leur tour.

Par ailleurs, dans l'hypothèse d'un départ de feu au niveau de l'installation électrique, cette dernière peut être bien évidemment exclue si l'entrepôt à l'origine de l'incendie n'était pas alimenté. La destruction localisée des tableaux électriques peut être la conséquence de la progression du sinistre par fusion des câbles sous l'action de la chaleur. La destruction totale d'installations électriques rend souvent difficile leur exploitation.

De plus, il faudra tenir compte que dans la zone de foyer suspectée, des machines sujettes à l'échauffement mécanique pouvaient être présentes. De même, des travaux par points chauds (soudure) ont pu être réalisés précédemment. Il convient de se rapprocher d'un expert en électricité ou du domaine industriel concerné pour l'examen des installations et des matériels.

### La cause criminelle

L'hypothèse volontaire (généralement un foyer au niveau des zones de stockage) est principalement envisagée à partir du moment où toutes les autres sont écartées. En effet, un départ de feu dans un espace de stockage est d'une probabilité d'occurrence très faible, surtout en période de faible activité.

Concernant les motivations, dans le cas d'un incendie criminel, elles peuvent être diverses : profit – fraude à l'assurance,

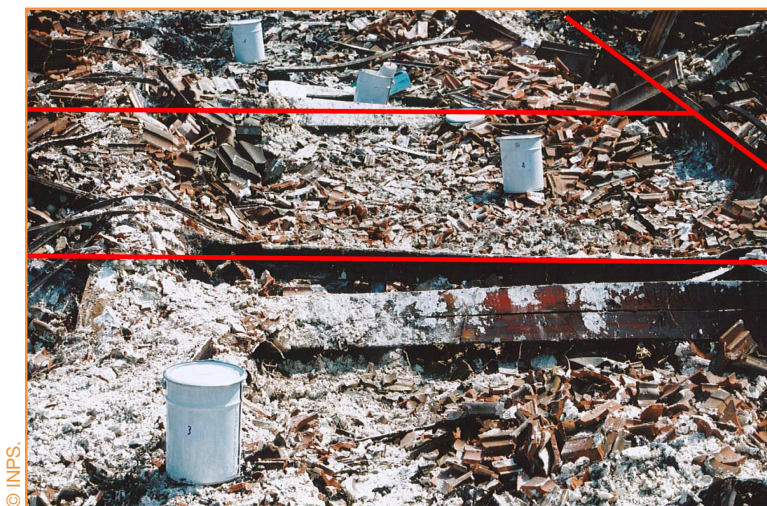


Figure 3 - Prélèvements par quadrillage de zone.

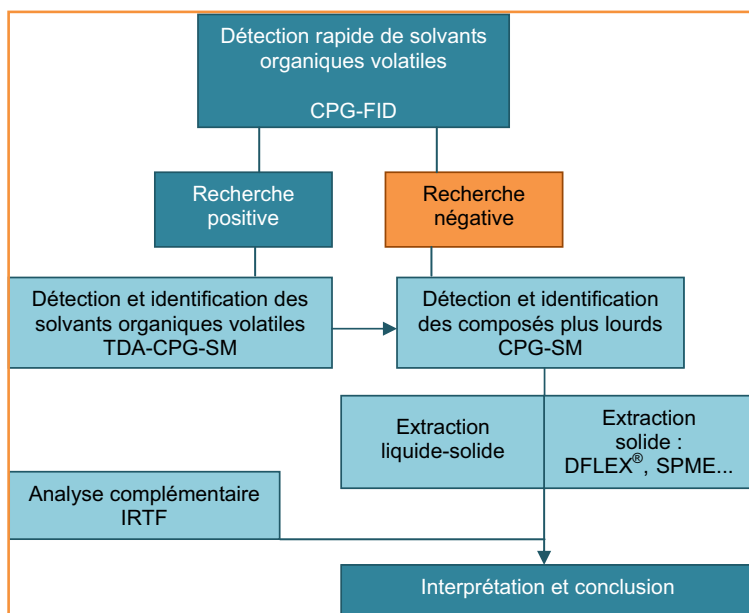


Figure 4 - Protocole d'analyses.

fraude économique (élimination de la concurrence) –, conflit social, dégradation gratuite, couverture d'une autre infraction (vol, crime...).

Plusieurs signes de malveillance peuvent être mis au jour : présence d'indices manifestes d'intrusion dans les locaux, traces de vandalisme, vol de matériel, découverte suspecte de cadavres... Une origine volontaire pourra alors sembler la cause la plus probable, avec ou sans utilisation de substances accélératrices de combustion, cette origine pouvant être confortée par la mise en évidence de telles substances.

### Prélèvements pour la recherche de substances accélératrices de combustion

Si le foyer est clairement identifié, le prélèvement est effectué au niveau de ce dernier. Dans le cas contraire, il convient de procéder à un quadrillage régulier de l'espace supposé correspondre à la zone de départ de feu et d'effectuer dans chaque cadre délimité une multitude de points de prélèvements correspondant, au final, à un échantillon donné [3]. Il y a donc autant d'échantillons que de mailles du quadrillage (figure 3).

Il convient d'identifier et de référencer minutieusement chaque prélèvement réalisé. Les renseignements doivent être pris sur la présence éventuelle de produits inflammables dans la zone de prélèvement. Les prélèvements sont ensuite placés sous scellés, puis transmis au laboratoire.

### Analyses au laboratoire

Le travail en laboratoire consiste en la recherche et l'identification de substances inflammables : solvants organiques oxygénés ou hydrocarbures (essence, gasoil, white-spirit...). Ces derniers sont des mélanges complexes pouvant contenir des centaines de composés organiques de concentrations différentes.

La majorité de ces substances peuvent s'enflammer en présence de l'oxygène de l'air et d'une source d'énergie et peuvent être utilisées comme accélérateur de combustion.

Ces substances sont non thermolabiles, elles ne sont donc pas modifiées ni détruites lorsqu'elles sont soumises à une certaine température. La chromatographie en phase gazeuse (CG ou CPG) couplée à un détecteur à ionisation de flamme (DIF) ou à un spectromètre de masse (SM) permet de les analyser. En effet, la chromatographie est utilisée pour séparer les constituants d'un mélange susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans qu'ils se décomposent.

L'analyse de résidus de substances inflammables provenant de débris d'incendie s'appuie sur la norme ASTM E1618-11 [4]. Chaque prélèvement sera soumis à des analyses dans un ordre bien établi afin de détecter la présence de substances inflammables sans risque de perte des substances les plus volatiles (figure 4). À chaque série d'analyses, un échantillon témoin, représentatif d'hydrocarbures de volatilités différentes, est analysé afin de s'assurer que les méthodes d'analyse permettent de détecter à la fois des molécules peu volatiles à très volatiles. L'utilisation d'une solution standard comprenant un mélange de treize composés est préconisée (voir tableau).

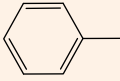
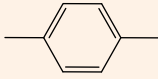
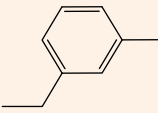
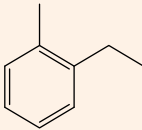
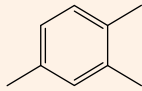
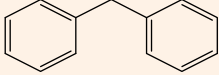
### Détection et identification des solvants organiques oxygénés

Tout d'abord, une analyse permettant la mise en évidence des solvants organiques oxygénés est réalisée par chromatographie gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme (CPG-DIF) : les prélèvements se trouvant dans des récipients hermétiques sont chauffés à 85 °C pendant 30 minutes.

L'identification préliminaire des composés présents dans l'échantillon se fait par une analyse comparative de substances inflammables témoins (acétone, alcool à brûler, méthanol, éthanol, isopropanol et propanol). Elle sera confirmée par une analyse fondée sur l'utilisation de la méthode de l'espace de tête dynamique.

L'espace de tête est une méthode fondée sur la volatilité des composés. La méthode de l'espace de tête dynamique est basée sur la désorption thermique des composés « piégés ». Après chauffage, les composés sous forme gazeuse sont « piégés » sur une cartouche renfermant du TENAX® (un polymère qui a la propriété de « piéger » un très grand nombre de composés organiques), puis désorbés thermiquement. L'analyse est alors réalisée par CPG-SM couplée à un thermodésorbiteur automatique (TDA-CPG-SM).

## Listing des treize composés recherchés et de l'étalon interne.

Nom	Température d'ébullition	Formule brute	Structure	Ions caractéristiques (m/z) pour l'analyse de masse
n-hexane	68,7 °C	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71
toluène	110,6 °C	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>		91
n-octane	125,6 °C	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
p-xylène	138,3 °C	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>		91, 106
m-éthyltoluène	161,3 °C	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>		105, 120
o-éthyltoluène	165,2 °C	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>		105, 120
1,2,4-triméthylbenzène	169,3 °C	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>		105, 120
n-décane	174,1 °C	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
n-dodécane	216,3 °C	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
n-tétradécane	253,5 °C	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
n-hexadécane	286,8 °C	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
n-octadécane	316,3 °C	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
n-eicosane	343,0 °C	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> -CH <sub>3</sub>	43, 57, 71, 85
diphénylméthane (étalon interne)	265,0 °C	C <sub>13</sub> H <sub>12</sub>		152, 167

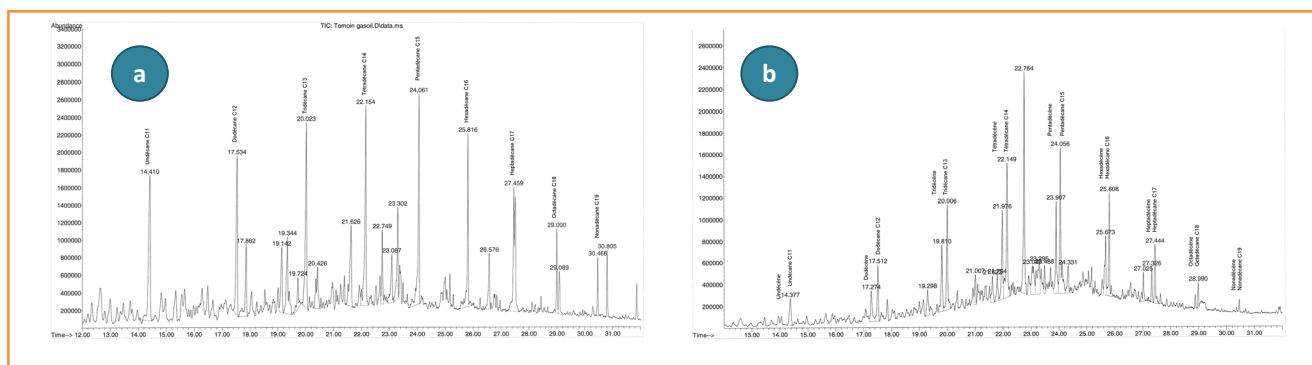


Figure 5 - Chromatogramme a) d'un gasoil ; b) d'une pyrolyse de polyéthylène.

Suite à l'analyse par TDA-CPG-SM ou directement après la détection de solvants organiques volatiles par CPG-DIF, si la recherche s'est révélée négative, une analyse complémentaires des hydrocarbures est mise en œuvre par CPG-SM.

### Identification des hydrocarbures

Cette méthode est utilisée pour la recherche de traces d'hydrocarbures (essence pour automobile, white-spirit, pétrole pour feu, gasoil...). Plusieurs techniques peuvent être employées : extraction liquide-solide, SPME (« solid phase micro extraction »), DFLEX® (petite bande fine, rectangulaire,

de charbon actif qui a la propriété de « piéger » un très grand nombre de composés organiques, dont quasiment tous les constituants des substances inflammables courantes).

Les analyses terminées, il reste un important travail d'interprétation. Les substances recherchées sont composées de nombreuses molécules pouvant aussi se retrouver dans certaines matières ou dans les produits de pyrolyse de matériaux rencontrés de manière courante dans les habitats ou les bâtiments industriels (mobilier, emballage, tissus...). Le rôle de l'analyste pour l'interprétation est donc primordial. À titre d'exemple, un gasoil pour automobile est constitué d'une coupe d'alcane linéaires majoritaire en C<sub>14</sub> ou C<sub>15</sub> (figure 5a) ;

