

Sciences et techniques séparatives innovantes pour scènes de crimes complexes

Application à la détection des accélérateurs d'incendie

Guillaume Cognon est l'adjoint du chef du département Environnement Incendies Explosifs de l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN¹), qu'il a intégré en 1998. Titulaire d'un Mastère de chimie de l'UPMC (Paris VI), il est expert près la Cour d'appel de Paris dans la spécialité « explosions et incendie » depuis 2008.

Bertrand Frère est le chef du département Environnement Incendies Explosifs de l'IRCGN. Après avoir travaillé pour le Groupe des Laboratoires Wolff puis au Laboratoire Central du SCERCAT (Service Central d'Études de Réalisations du Commissariat de l'Armée de Terre), il a intégré l'IRCGN en 2000. Titulaire d'un diplôme d'ingénieur de l'ENSCCF et d'un diplôme d'études approfondies de chimie, il est expert près la Cour d'appel de Paris dans la spécialité « analyses physico-chimiques » depuis 2007, et agréé par la Cour de Cassation depuis 2014.

Si les principes de la chromatographie² n'ont pas beaucoup évolué depuis soixante ans, date de sa découverte, cette technique de séparation analytique connaît récemment un essor important du fait des progrès de l'électronique et de l'informatique. Les per-

formances des appareils modernes (précision, répétabilité, automatisation...) contribuent à l'heure actuelle à l'accroissement de la quantité de données disponibles, de l'analyse de l'échantillon de question aux créations de bases de données de référé-

1. <http://www.gendarmerie.interieur.gouv.fr/fre/Sites/Gendarmerie/Presentation/Police-Judiciaire/Police-scientifique-IRCGN>. Voir le **Chapitre de P. Touron** dans *Chimie et expertise, sécurité des biens et des personnes*, coordonné par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny, EDP Sciences, 2014.

2. Voir une explication de la chromatographie dans le **Chapitre de P. Sibille** dans *Chimie et expertise*, EDP Sciences, 2014.

rence, toujours plus importantes. La police technique et scientifique exploite ces nouvelles opportunités technologiques pour apporter une réponse plus complète, en tout cas des résultats plus pertinents et donc exploitables dans le cadre des enquêtes.

1 L'intervention de la science sur les scènes de crimes incendie

1.1. Le travail des experts

De nombreuses présentations, notamment dans les séries télévisées, ont contribué à populariser auprès du grand public une certaine image du travail d'un expert judiciaire (*Figure 1*).

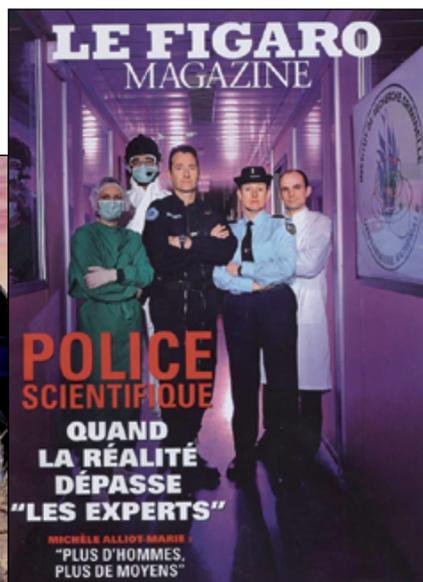
La réalité est cependant très différente de ce que l'on voit à la télévision, même si dorénavant ces séries sont conseillées par des spécialistes. Les différences sont impor-

tantes en termes d'emplois : un expert judiciaire ne mène pas l'enquête, qui reste du domaine d'un juge d'instruction ou d'un officier de police judiciaire, mais est là pour répondre à une question technique, à un moment donné de l'enquête quand l'enquêteur est face à une problématique à laquelle il ne peut pas répondre seul.

Les experts travaillent donc essentiellement au niveau du laboratoire ; même s'ils sont conduits à se déplacer sur le terrain. Les déplacements se font toujours dans un cadre technique d'expertises ou d'assistance aux enquêteurs, pour apporter une compétence technique dans un domaine précis. En aucun cas l'expert ne prendra le relais de l'enquêteur pour conduire des investigations en dehors du domaine technique.

Figure 1

À gauche, les experts d'une série télévisée américaine
Les experts, et à droite, de véritables experts de l'IRCGN.



Les experts mènent également une nécessaire veille technologique afin de connaître et ainsi tenter d'appliquer les nouvelles technologies à leurs problématiques et protocoles analytiques. Mais c'est aussi un point que l'on peut hélas constater du côté des criminels qui se tiennent au courant des techniques mises en œuvre ! Les experts tentent donc d'avoir une longueur d'avance, pour apporter les réponses toujours plus précises afin de confondre les criminels, ou du moins essayer d'apporter des moyens qui permettent de les confondre.

L'expert sur le terrain va principalement utiliser le principe de l'échange de Locard, expliqué dans le **Chapitre de F. Dupuch** dans l'ouvrage *Chimie et expertise* (EDP Sciences, 2014), et basé notamment sur les échanges de matière laissée sur une scène de crime entre un lieu et un individu. Si les applications forensiques² chimiques permettent rarement de s'aventurer sur l'individualisation de la trace (il est extrêmement difficile de pouvoir signer formellement la présence et surtout l'action d'un individu sur une scène de crime), il s'agit de travailler sur le mode opératoire employé par le criminel, d'essayer de déterminer ce qui a pu se passer, et si les déclarations des personnes mises en cause ou des témoins sont techniquement compatibles avec les constatations.

L'exemple de la **Figure 2** illustre une scène de crime particulièrement complexe ! La mission de l'expert sera d'identifier le produit répandu un peu partout (explosif, stupéfiant, insecticide, peinture...), sa toxicité, ses caractéristiques (inflammabilité,...) et également tenter d'apporter des éléments qui permettent de savoir qui est à l'origine de ce dépôt, en particulier par l'étude des traces de transfert.

Pour cela, il faudra non seulement caractériser les composés présents, mais aussi travailler sur toutes les autres formes de traces disponibles. Toutes les spécialités analytiques disponibles en criminalistique peuvent alors être mises à contribution. Ne sachant pas a priori quel sera



Figure 2

Une scène de « crime » particulièrement complexe ! Identifier les produits, leurs origines... un défi pour la chimie analytique, en collaboration avec d'autres spécialités, afin de mettre en évidence une infraction et un auteur par des liens ou des transferts.

2. Au sujet des sciences forensiques, voir le **Chapitre de P. Touron** dans *Chimie et expertise*, EDP Sciences, 2014.

l'impact de la découverte d'une trace (au sens large du terme) sur l'enquête, les éléments tels que l'ADN, les empreintes digitales, les traces de pas, de sang, d'oreilles, d'outils ne sont pas à négliger. Ces éléments permettent totalement ou partiellement de signer non seulement la présence d'un individu sur une scène de crime (il s'agit d'inférer au niveau dit source), mais également d'établir un lien entre une action et une personne (il s'agit d'inférer au niveau dit activité).

1.2. La problématique de l'incendie

Il faut savoir qu'avec un peu plus de 300 000 incendies par an, soit plus d'un incendie déclaré toutes les deux minutes, les laboratoires d'État ont du pain sur la planche ! L'abondance et la nature des faits, l'ampleur des dégâts humains et matériels sous tous leurs aspects, nécessitent un investissement important pour faire face aux contraintes de sécurité des personnes et des biens (**Figure 3A**).

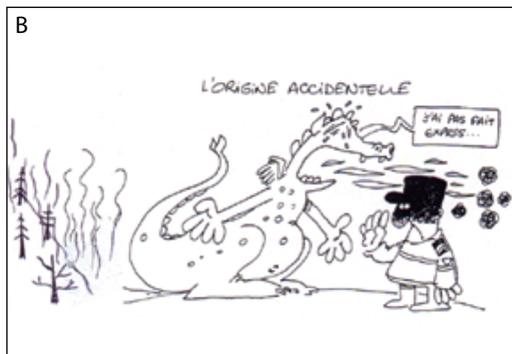
L'une des problématiques majeures du législateur dans ce domaine est la diminution à terme du nombre des incendies. Au-delà de la compréhension des phénomènes régissant l'éclosion et le développement des incendies, il s'agit pour les spécialistes du domaine de travailler en collaboration étroite avec les enquêteurs de manière à vérifier la compatibilité technique de ce qui a pu être mis sous la forme d'hypothèses sur le terrain avec les analyses et les examens réalisés au laboratoire. Pour diminuer à terme le nombre d'incendies, le point clé est véritablement la recherche des causes (**Figure 3B**).

À partir du moment où les causes d'un incendie sont déterminées, il est possible travailler de façon préventive, c'est le rôle notamment de la sécurité civile, de manière à soit légiférer sur des cas qui sont potentiellement dangereux, soit prendre les mesures nécessaires en cas d'incident ou d'accident.

La **Figure 4** illustre différents exemples de cas sur lesquels les experts sont amenés à travailler sur le terrain : de taille

Figure 3

A) Les incendies, s'élevant à plus de trois cent mille par an, posent un problème de sécurité des personnes et des biens au cœur des problématiques de la police scientifique ; B) l'une des problématiques majeures posées par les incendies est la recherche des causes.



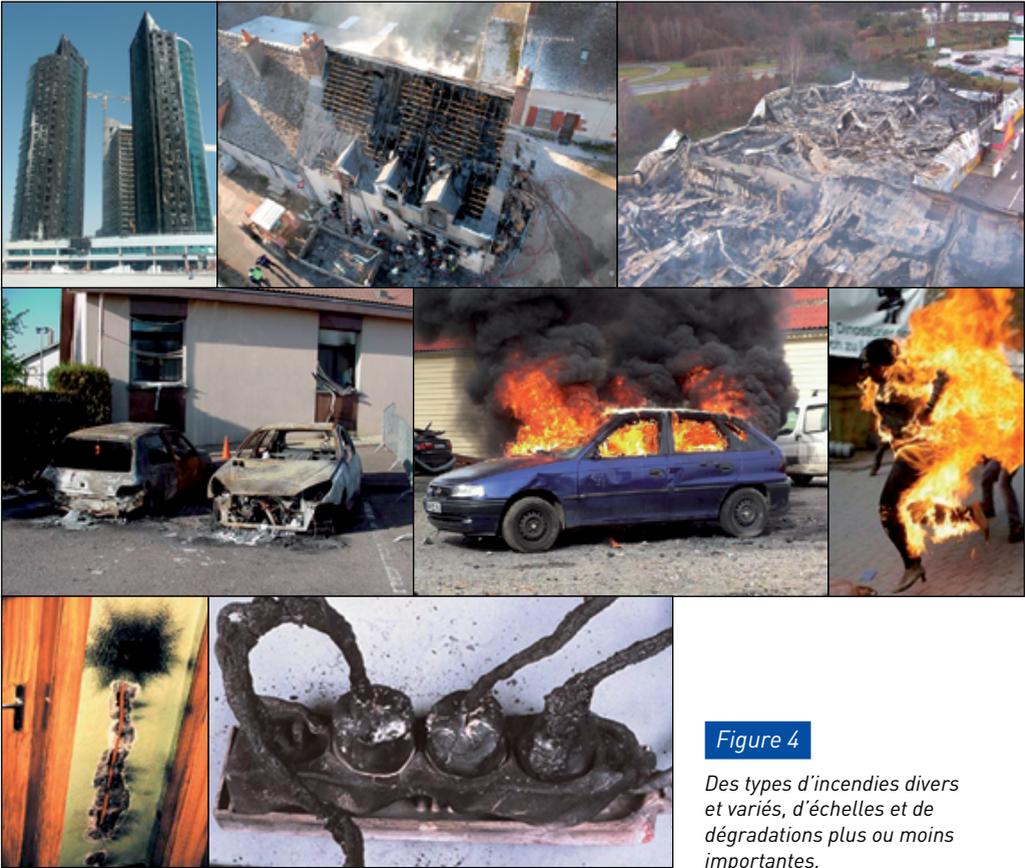


Figure 4

Des types d'incendies divers et variés, d'échelles et de dégradations plus ou moins importantes.

limitée, de bien plus grande ampleur, de natures variées (véhicules, habitations, forêts, corps...) et d'origines diverses (naturelles telles que la foudre, chimiques telles que la fermentation, électriques ou mécaniques...). Il n'y a finalement pas deux cas qui se ressemblent, même s'il est possible d'établir avec l'expérience des généralités ou des tendances théoriques et pratiques sur le procédé de la combustion. Les spécialistes doivent donc s'adapter à chaque cas étudié. On retrouvera cette même problématique de diversité lors du traitement au laboratoire, du

fait de l'hétérogénéité et de la dégradation des matériaux à notre disposition.

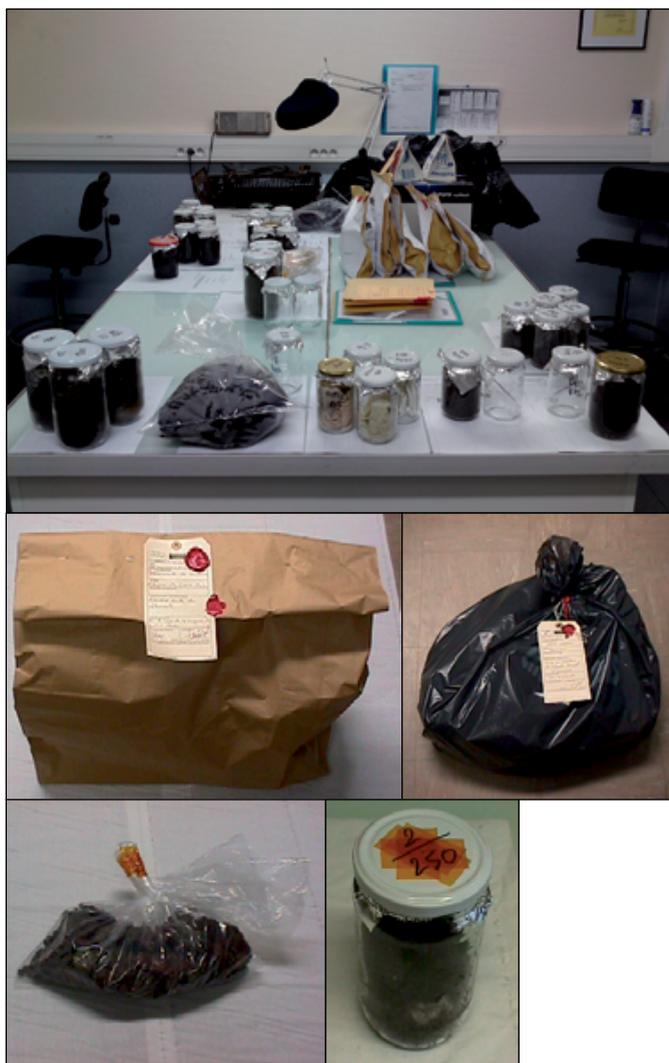
2 La détection des accélérants d'incendie

2.1. L'analyse des résidus prélevés sur les lieux d'incendie

La **Figure 5** montre une salle de préparation d'échantillons de l'IRCGN où sont déposés des prélèvements placés sous scellés (mis à la disposition de la Justice), en vue de leur traitement et de leur analyse.

Figure 5

Divers exemples de résidus prélevés sur scènes d'incendie et confiés au laboratoire de l'IRCGN en vue de leur préparation pour les analyses. Les conditionnements de type Kraft, adaptés à la conservation des prélèvements biologiques, sont en revanche inadéquats pour la préservation des composés volatils recherchés.



Généralement, les résidus d'incendies sont conservés dans des bocaux en verre, hermétiquement fermés par un couvercle en métal ou par des sacs en nylon 11 (Rilsan), notamment pour conserver les résidus volatils.

Mais certains prélèvements sont de tailles plus importantes, ou sont par exemple réalisés sur les mains d'un suspect : leur conditionne-

ment est alors adapté afin d'apporter des réponses efficaces aux enquêteurs et aux magistrats sur la présence d'une part de produits inflammables, et d'autre part sur la pertinence de la présence de ces produits (il est logique de retrouver de l'essence dans une voiture incendiée même si ce n'est pas pour autant que l'essence aura servi à mettre le feu à la voiture). Il faut donc

également travailler sur la discrimination la plus efficace possible des constituants rencontrés sur les différentes scènes à traiter, ainsi que sur les différents prélèvements à analyser.

L'analyse chimique des résidus d'incendie concernera principalement des produits commerciaux issus de l'industrie pétrolière, d'une part, parce que ce sont des produits facilement inflammables, donc intéressants pour un incendiaire potentiel, d'autre part parce qu'ils sont disponibles pour le grand public, et ne présentent donc pas de difficultés d'approvisionnement. N'étant pas tracés, il est en outre particulièrement difficile de remonter à leur origine. Le problème avec ces produits issus de l'industrie pétrolière est qu'ils sont également retrouvés un peu partout dans notre quotidien : nous sommes entourés de matières plastiques, synthétiques, sur nous, dans les locaux comme dans les véhicules. Ces produits, lorsqu'ils sont soumis à l'effet de l'incendie, peuvent se dégrader et donner une signature qui

sera proche du produit inflammable qui aurait pu être déposé. Il faut donc une formation et une bonne connaissance de ces produits pour que le technicien en charge des analyses puisse faire la différence entre des produits commerciaux inflammables et des produits de dégradation. L'interprétation des résultats d'analyse est à ce stade particulièrement complexe et nécessite une expérience non négligeable pour obtenir des résultats pertinents.

La mise en évidence des familles de produits fait appel à l'analyse par chromatographie en phase gazeuse, couplée à différents détecteurs. La **Figure 6** donne des exemples de chromatogrammes obtenus pour un supercarburant (**Figure 6A**), pour une fraction légère d'une coupe de type gazole (**Figure 6B**), et pour un produit de type alcool à brûler (**Figure 6C**). Dans un supercarburant, il est possible de détecter plusieurs centaines de composés et dans un gazole plusieurs milliers. Il est donc nécessaire de travailler par profils et c'est l'em-

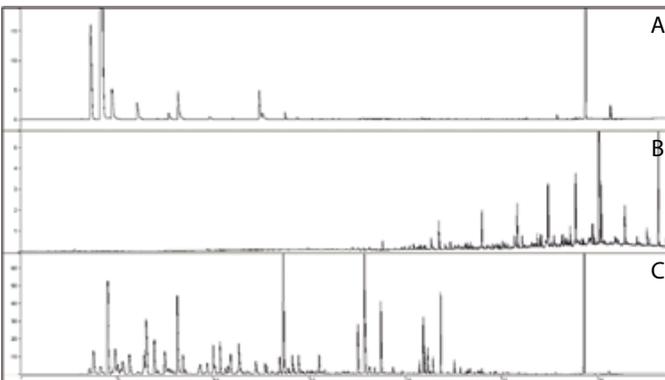


Figure 6

Identification de produits inflammables accélérants par leur profil chromatographique, sorte d'empreinte chimique, à l'aide de chromatogrammes (A : supercarburant, B : gazole, C : alcool à brûler).

preinte chromatographique du composé qui, comme une empreinte digitale, permettra d'une part son identification, d'autre part sa discrimination.

Les analyses opérées dans ce cadre sont qualitatives, car il n'est pas pertinent de tenter de relier la quantité de produit mise en évidence dans les résidus avec la quantité de produit qui aurait été déposée avant l'incendie. En revanche, il apparaît crucial de caractériser la présence ou l'absence d'un produit inflammable sur les lieux d'un incendie, afin par exemple de privilégier l'hypothèse d'un acte humain volontaire par rapport à un acte accidentel.

Le travail de reconnaissance des produits commerciaux inflammables s'effectue essentiellement par comparaison avec des matériaux de référence, ceci afin de différencier des produits de dégradation issus des matrices présentes sur les lieux avec les autres matériaux présents sur site.

Le principe consiste en l'examen approfondi des proportions relatives des groupes de pics issus de composés de propriétés chimiques voisines, au sein d'un même chromatogramme. Ces proportions relatives vont permettre de privilégier plutôt la présence d'un produit pétrolier ou d'un produit de dégradation issu des matrices.

Pour progresser dans ce domaine, deux axes de recherche ont été identifiés :

- avoir une bonne connaissance des produits inflammables, d'une part de ceux qui sont distribués aujourd'hui mais également de leur évo-

lution, car pour les carburants, les normes évoluent régulièrement (par exemple, le pourcentage de composés oxygénés ou soufrés dans les essences). Il faut donc s'attacher à connaître les nouveaux additifs afin de les identifier par la suite dans les analyses ;

- savoir identifier les matrices interférentes, comme par exemple les matériaux synthétiques issus de l'industrie pétrolière, de façon à identifier la signature de ces produits lors de leur dégradation par un incendie, afin d'éviter de les confondre avec un produit inflammable qui aurait pu être ajouté.

2.2. La stratégie de l'analyse de routine

L'IRCGN a mis en place une stratégie d'analyse de routine en deux étapes (**Figure 7**), qui consiste dans un premier temps à rechercher les composés organiques volatils (COV) par une stratégie dite d'espace de tête³, puis à rechercher ensuite les semi et non volatils, par extraction par solvant. Les premières analyses se font en chromatographie en phase gazeuse, et utilisent des détecteurs à ionisation de flamme. En cas de doute, l'identification du produit est confirmée par des méthodes d'essai, qui font souvent appel à la spectrométrie de masse⁴.

3. L'extraction dite par espace de tête consiste à effectuer les prélèvements des molécules volatiles à analyser dans la partie supérieure des bocal où les échantillons sont stockés.

4. Le principe de la chromatographie est décrit dans le **Chapitre de P. Sibille**, dans *Chimie et expertise*, EDP Sciences, 2014.

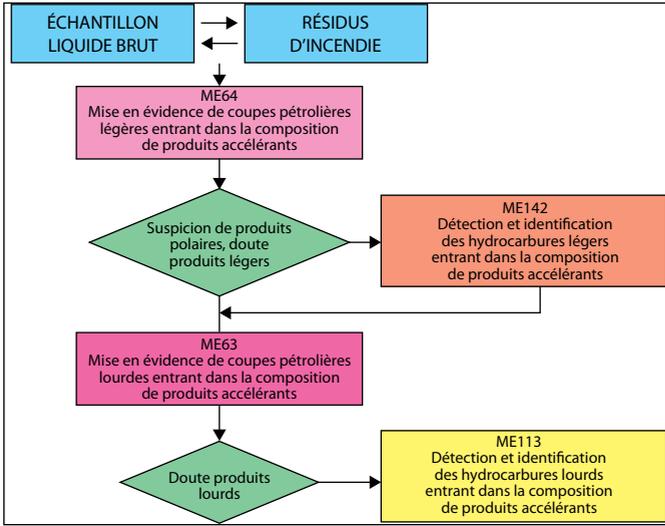


Figure 7

Schéma simplifié représentant la stratégie d'analyse de routine de l'unité d'expertise Incendies de l'IRCGN.

L'ensemble des méthodes et techniques qui composent cette stratégie d'analyse est accrédité par le COFRAC⁵ (Comité français d'accréditation) depuis 2008. Cette stratégie est régulièrement mise en œuvre puisque le département traite environ sept cents dossiers par an en matière d'incendie.

D'autres laboratoires (les laboratoires du LCPP et de l'INPS qui travaillent également dans la recherche de produits accélérants dans les incendies criminels) ont développé des stratégies et des méthodes différentes mais qui aboutissent globalement aux mêmes types de résultats.

Aujourd'hui, les équipes de spécialistes de l'IRCGN sont en mesure d'identifier des produits commerciaux inflammables allant de 4 à 40 atomes

de carbone, des carburants aux solvants et produits de la vie quotidienne. Mais toutes ces étapes d'analyse présentent une limitation : elles permettent l'identification de la famille chimique des composés obtenus, mais ne permettent pas le rapprochement formel de deux échantillons issus d'une même coupe pétrolière, c'est-à-dire qu'elles ne permettent pas de déterminer si deux échantillons ont, ou non, la même provenance.

Deux voies d'amélioration possibles ont été identifiées :

- au niveau de la préparation d'échantillons, par la mise en œuvre de traitements qui rendront les analyses plus simples et plus sélectives ; mais cela génère un surcroît de travail donc augmente le délai de réponse et la durée de traitement du scellé, ce qui ne rentre pas forcément dans les créneaux judiciaires imposés en cas d'urgence ;

5. Accréditation COFRAC n°1-1916 et 8-2527 – Portée disponible sur www.cofrac.fr.

– l'utilisation d'outils analytiques à haut pouvoir discriminant, permettant de s'affranchir d'étapes de traitements préalables des échantillons.

C'est plutôt cette seconde voie de développement qui a été choisie. Les outils analytiques employés seront décrits dans les paragraphes suivants.

2.3. La préparation des échantillons

Dans le cas des résidus d'incendies, la préparation d'échantillons au laboratoire est inexistante pour identifier les composés volatils des résidus stockés en bocaux, car les manipulations entraîneraient des pertes en qualité et en quantité d'informations (*Figure 8*). D'autre part, ces échantillons traités dans le département incendies sont issus d'une scène de crime, et peuvent aussi faire l'objet de recherches de traces d'ADN, de traces papillaires, et éventuellement de microtraces (fil, cheveux, poils...), ou de détermination de tel ou tel matériau. Plus l'échantillon sera dégradé, moins il sera potentiellement utilisable par les autres départements. Pour ce type de prélèvements, on choisit de ne pas effectuer de préparation d'échantillons, hormis pour des cas singuliers tels que des extraits liquides dans des conditions particulières ; c'est le cas notamment lors d'étapes de purification d'extraits liquides issus de cadavres calcinés, où l'on essaye de s'affranchir des acides gras qui sont présents dans les restes humains et qui masquent les composés inflammables potentiellement recherchés.

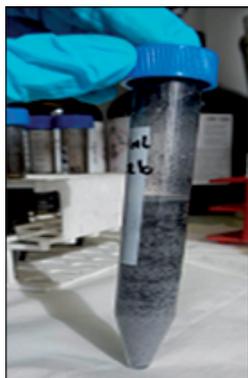


Figure 8

La préparation d'un échantillon issu d'un incendie ou d'une scène de crime est délicate : à tout moment on peut perdre des informations précieuses !

3 La chromatographie multidimensionnelle

La chromatographie multidimensionnelle⁶ s'est rapidement imposée comme outil d'analyse de choix pour obtenir une empreinte et une vision la plus globale possible des produits complexes. Du fait d'une importante capacité de pics, elle peut fournir des informations détaillées des échantillons, sans pour autant avoir forcément recours à des étapes de traitement préalables qui pourraient être préjudiciables à la qualité des résultats.

3.1. Principe de la chromatographie intégralement bidimensionnelle

La chromatographie classique à une dimension est un système relativement simple avec un système d'injection, une colonne chromatographique et un détecteur. Dans le cas d'un système bidimensionnel, deux colonnes chromatographiques de propriétés différentes sont couplées en série et reliées entre elles au moyen d'un modulateur cryogénique. Le modulateur a pour fonction de stopper et de refocaliser les composés issus de la première colonne chromatographique pour les réinjecter intégralement⁷ dans

6. La chromatographie multidimensionnelle est une chromatographie où l'éluant (la phase mobile) et les produits à séparer passent dans plusieurs colonnes.

7. Elle est dite « intégralement bidimensionnelle » lorsque la totalité de l'échantillon subit les deux dimensions de séparation. Lors d'une réinjection « partielle », on parlera plutôt de « Heart-cutting ».

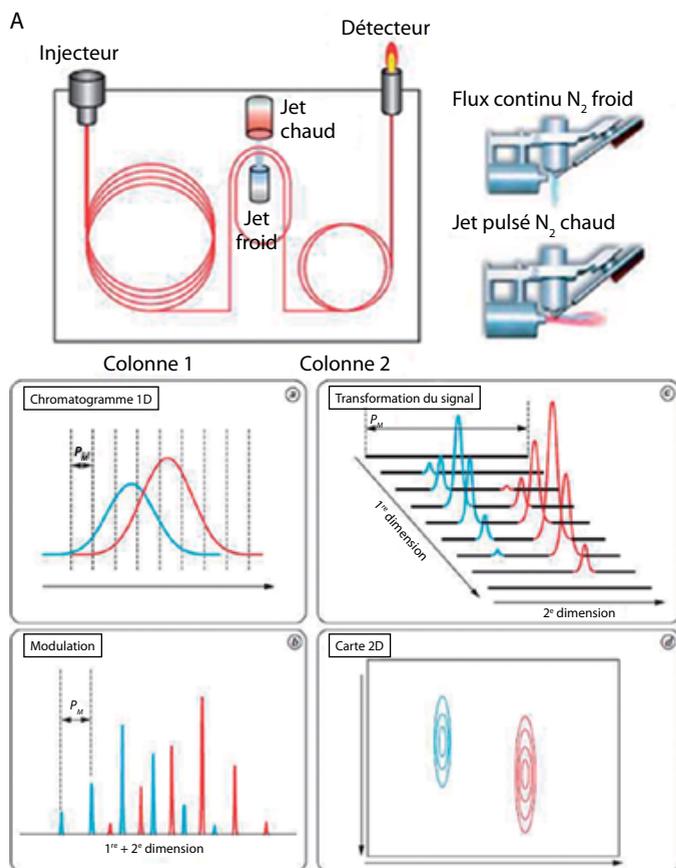


Figure 9

Principe de la chromatographie intégralement bidimensionnelle CPGxCPG : A) schéma du montage en série de deux colonnes ; B) détail des étapes de traitements des deux signaux obtenus puis obtention du résultat final sur une carte 2D.

la seconde colonne. Tout ce qui est séparé dans la première colonne va subir une deuxième séparation dans la deuxième colonne⁸. (**Figure 9A**).

Concrètement, c'est un système en continu de jet d'air froid puis d'air chaud qui va permettre d'abord le blocage des molécules dans la première colonne (piège froid) puis la réinjection dans la seconde colonne, qui va d'une part refocaliser les pics à une période

de modulation donnée pour les réinjecter et donner une succession de chromatogrammes de quelques secondes qui, après déconvolutions et traitements informatiques, ne va pas fournir un chromatogramme classique avec une succession de pics mais une succession de taches dans un espace bidimensionnel (**Figure 9B**).

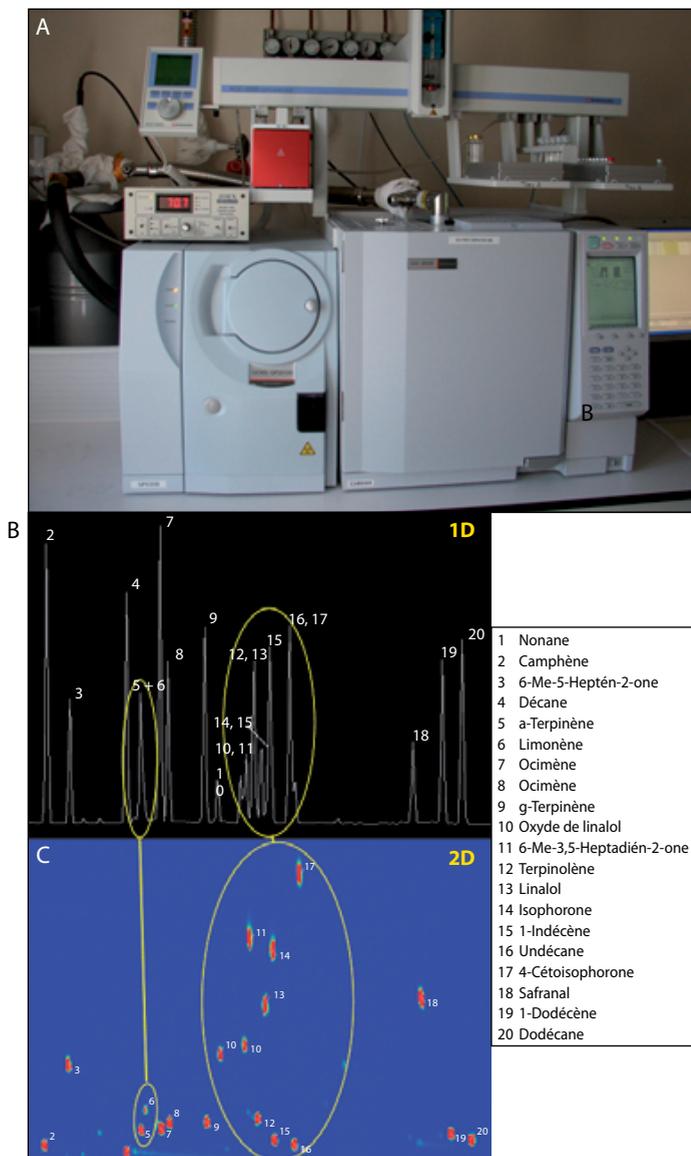
3.2. Les chromatogrammes

La **Figure 10** illustre très simplement l'apport visuel de la chromatographie bidimensionnelle lors de l'analyse de mélanges de propriétés voisines. Le chromatogramme obtenu sur un mélange test

8. Jeanville M., Fernandez X., Filippi J. J. (2011). Chromatographie en phase gazeuse à deux dimensions : GC-GC et GCxGC, *Techniques de l'ingénieur, Chromatographie et techniques séparatives*.

Figure 10

A) Appareil de chromatographie multidimensionnelle CPGxCPG-SM déposé au laboratoire (développement en collaboration avec la société Shimadzu) ;
 B) chromatogramme CPG obtenu en une dimension (1D) ;
 C) chromatogramme en deux dimensions (2D) pour le même échantillon.

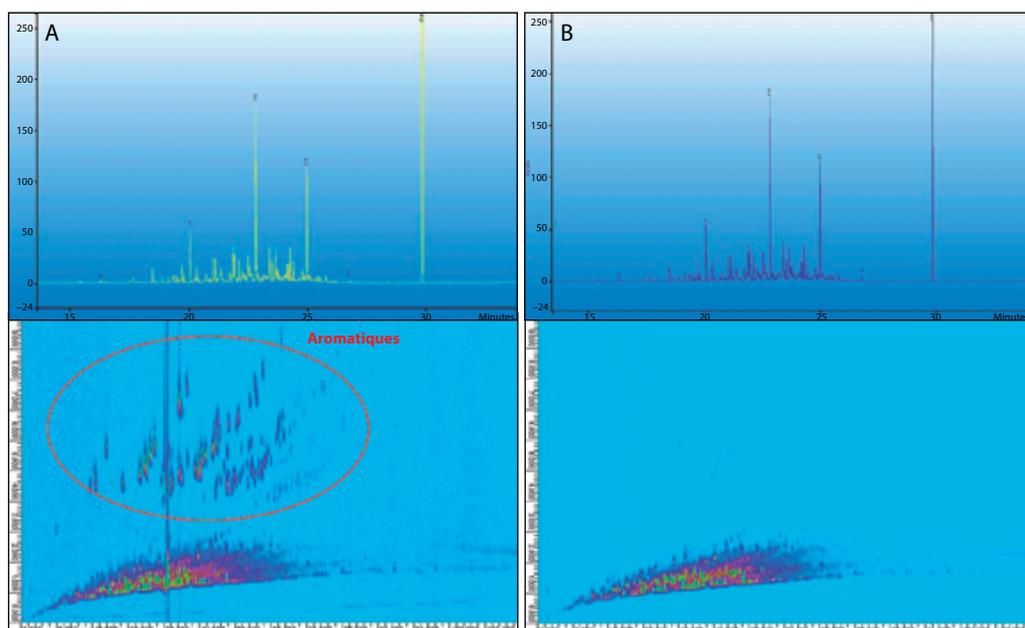


avec un chromatographe CPG à une dimension (**Figure 10B**) montre nettement des zones de coélution⁹. L'analyse en

9. La coélution désigne le cas où deux composés différents ne sont pas séparés chromatographiquement et sont représentés par un même pic, ou présentant un épaulement, sur un chromatogramme à une dimension.

CPGxCPG permet la visualisation rapide de l'ensemble des composés séparés, matérialisés par des taches (spots) bien individualisées (**Figure 10C**).

La chromatographie multidimensionnelle d'échantillons relativement simples permet de comparer facilement deux composés. La **Figure 11** com-



pare les chromatogrammes de deux coupes pétrolières de type White Spirit, l'un avec des composés aromatiques (échantillon A), l'autre ayant subi une étape de désaromatisation (échantillon B). Les deux chromatogrammes supérieurs correspondent à l'analyse chromatographique classique, les deux inférieurs à leur analyse chromatographique bidimensionnelle où l'on voit très clairement apparaître l'ensemble des taches correspondant aux constituants aromatiques (entourés en rouge pour le composé A).

3.3. La « multiconfiguration » des jeux de colonnes apporte des renseignements complémentaires

Le laboratoire a voulu aller plus loin dans la discrimination des coupes pétrolières complexes et s'est attaché à

comparer des coupes du type gazole (biodiesel) (Figure 12), afin de progresser dans la recherche d'une origine commune, et à défaut de tenter éventuellement de les rattacher à une marque ou à une famille de distribution.

Si la comparaison apparaît relativement simple pour les composés du type White Spirit, elle se complique fortement dans le cas des gazoles ou des fiouls domestiques, pour lesquels 2 500 à 3 000 composés sont visibles en chromatographie bidimensionnelle, alors que seulement 200 à 300 sont détectables avec la chromatographie classique. La multiplication de configurations différentes de jeux de colonnes au sein d'un même chromatographe a permis d'obtenir des compléments d'informations comme cela est visible dans le cas de la Figure 13, qui correspond aux

Figure 11

A) Chromatogrammes une dimension et deux dimensions d'un distillat moyen de pétrole de type White Spirit de référence, contenant une famille de composés aromatiques ; B) chromatogrammes une dimension et deux dimensions d'un White Spirit désaromatisé.

Figure 12

Objectif : comparer les coupes pétrolières de type gasoil ou diesel.



analyses d'un gazole en chromatographie bidimensionnelle. S'il est encore illusoire en l'état actuel de la technique et de nos connaissances d'aller sur l'individualisation de la preuve, c'est-à-dire de pouvoir reconnaître formellement dans des résidus d'incendie la marque et le lieu de distribution (pompe) d'un gazole (ce que les enquêteurs et les magistrats adoreraient), en revanche, le gain obtenu est énorme en termes de discrimination et de comparaison.

La **Figure 13B** présente le chromatogramme d'un gazole réalisé avec deux colonnes de propriétés et d'affinités différentes : la première colonne est apolaire et la seconde est polaire, c'est-à-dire qu'elle va séparer les différents constituants selon leur différence de polarité. L'inverse peut être réalisé (**Figure 13C**) : c'est le même produit dans les deux chromatogrammes, mais les conditions chromatographiques, radicalement différentes, fournissent des informations complémentaires qui permettent d'accroître la quantité d'informations disponibles.

Le zoom de la **Figure 13B** correspond à l'identification des esters méthyliques d'huiles végétales présents dans le biodiesel. L'utilisation de la détection par spectrométrie

de masse (comme troisième dimension théorique de séparation) permet de confirmer la présence spécifique d'une molécule ou d'une famille de molécules au sein de l'espace bidimensionnel.

La **Figure 13A** est la représentation en 3D d'une analyse effectuée en deux dimensions dans laquelle l'intensité de chaque pic est représentée par un nuancier de couleurs. Cette vision qui résulte d'un traitement mathématique est particulièrement appréciée des analystes, d'une part parce qu'elle permet de mieux évaluer les proportions relatives des pics pour des zones de l'espace bidimensionnel qui correspondent aux mêmes types de propriétés physico-chimiques, d'autre part elle permet également de mieux visualiser les traces et la représentation du bruit de fond. La visualisation d'un pic en volume se veut également « rassurante » pour l'analyste, car les taches obtenues en deux dimensions peuvent s'avérer déroutantes à interpréter.

3.4. Le post-traitement des données

Le volume des données issues des analyses multidimensionnelles est extrêmement important ; il va donc falloir recourir à des outils statis-

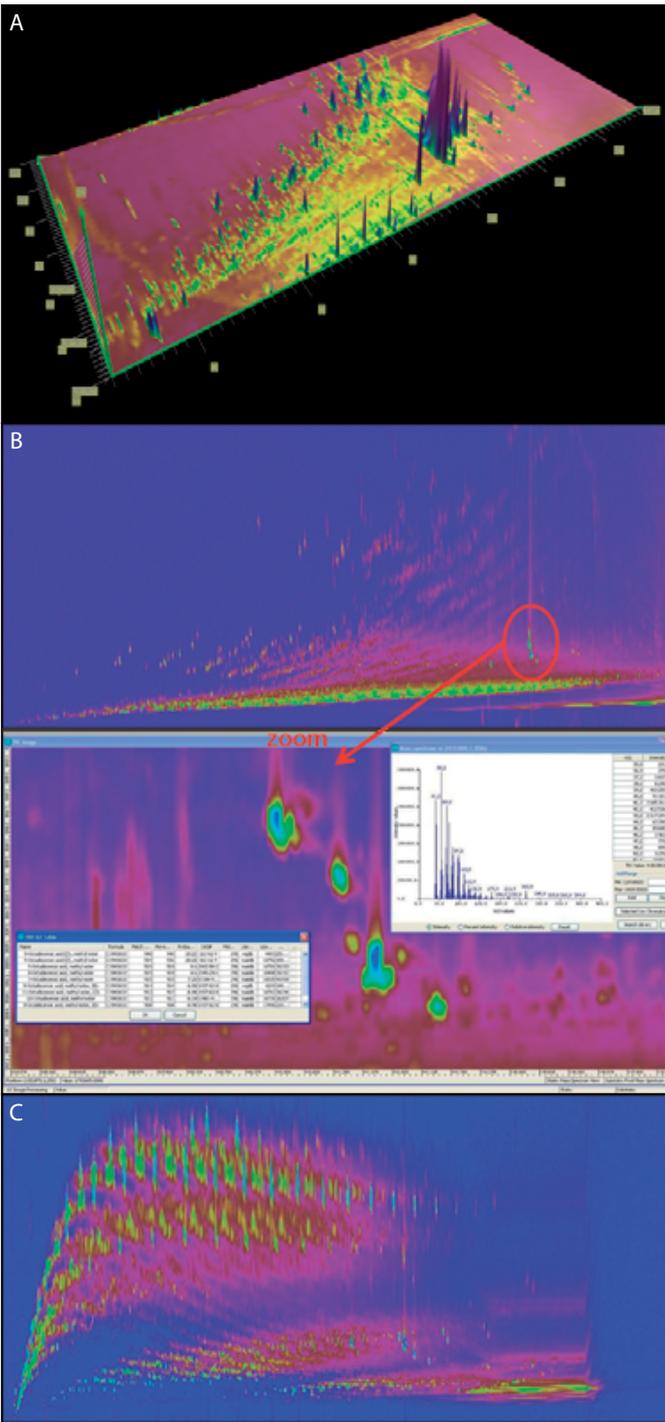


Figure 13

Chromatographie bidimensionnelle d'un gazole : A) chromatogramme en vision 3D ; B et C) chromatogrammes d'un même produit obtenus par deux configurations de colonnes différentes, donnant une complémentarité d'informations liée à une exploitation différente de l'espace bidimensionnel.

tiques et des systèmes de traitement de données pour rendre les résultats d'analyses pertinents.

Dans la première étape du post-traitement, le chromatogramme bidimensionnel est découpé en *région* ou *zones* (Figure 14A) de manière à essayer de trouver les composés

présentant une variabilité qui pourrait être intéressante à des fins discriminatoires. Cela peut être des composés présents à l'état de traces, mais qui varient d'une marque à une autre, ou d'une saison à une autre (car pour les essences comme les gazoles, il y a des spécifications été, des spécifications hiver et

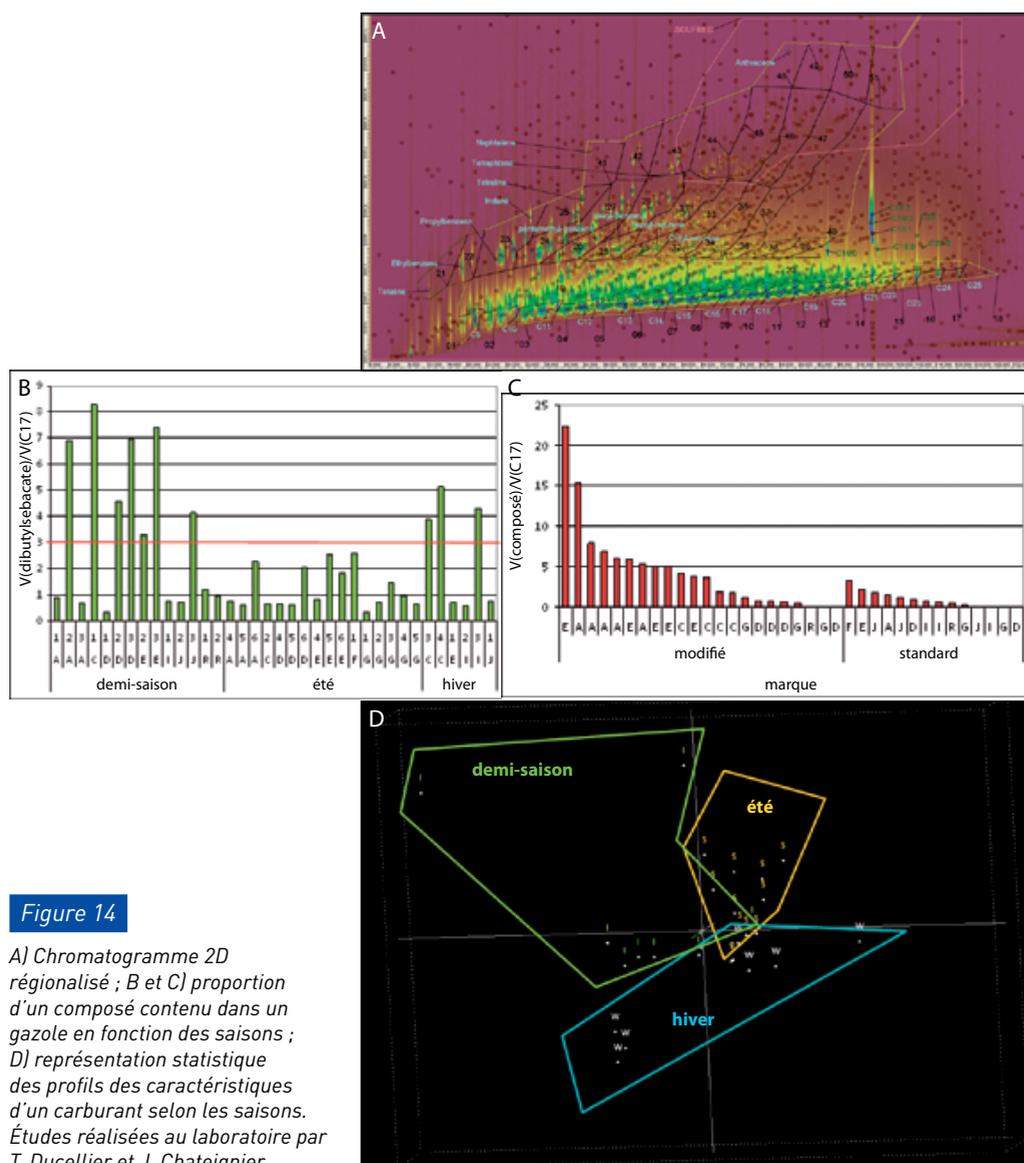


Figure 14

A) Chromatogramme 2D régionalisé ; B et C) proportion d'un composé contenu dans un gazole en fonction des saisons ; D) représentation statistique des profils des caractéristiques d'un carburant selon les saisons. Études réalisées au laboratoire par T. Ducellier et J. Chateignier.

des spécifications intersaison pour répondre aux exigences des motoristes, afin d'éviter des phénomènes de cliquetis pouvant générer des casses-moteur).

L'emploi d'outils statistiques (traitements chimiométriques) a été rendu nécessaire pour exploiter ces données et permettre, à partir de l'ensemble des analyses réalisées sur notre population de carburants de référence détenue au laboratoire, d'entrevoir des possibilités de discrimination entre les gazoles de type été, hiver et intersaison (**Figure 14B et C**).

4 Les pistes de progrès pour l'avenir

Même en disposant d'outils performants en matière d'analyse et notamment en termes de discrimination et d'association d'échantillons, il faut sans cesse améliorer et élargir la connaissance des produits recherchés. Comme nous l'avons vu, connaître la classification été, hiver ou intersaison des carburants est importante pour conclure à une origine commune ou non. Il faut donc bien connaître les spécifications de chacun de

ces produits qui existent sur le marché. Il faut également améliorer la connaissance des matrices interférentes : il apparaît de nouveaux composés et de nouveaux matériaux, et il faut savoir comment ils se comportent, notamment lorsqu'ils sont exposés au feu.

Pour améliorer la précision des résultats d'analyse, il nous faudra encore améliorer la qualité des prélèvements réalisés sur site car le prélèvement est en quelque sorte la première étape de l'analyse. S'il est mal effectué, c'est-à-dire au mauvais endroit ou mal conditionné, quelle que soit la qualité de l'analyse, il ne sera pas possible d'aboutir à résultat correct. C'est pourquoi les enquêteurs suivent une formation afin d'améliorer les prélèvements et de les standardiser pour gagner du temps au niveau du traitement en laboratoire.

L'IRCGN dispose aussi d'un bus laboratoire qui peut se déplacer sur site et amener les systèmes analytiques au plus près de la scène de crime quand cela est possible, de façon à réaliser quelques premières analyses sur place (**Figure 15**). Il reste cependant peu utilisé



Figure 15

Intérieur du Labunic, un bus laboratoire mobile permettant la réalisation d'analyses sur les scènes de crimes.

Figure 16

Le couplage de la chromatographie en phase liquide (CPL) avec la spectrométrie de masse haute résolution (SMHR) fournit des informations complémentaires à la chromatographie en phase gazeuse (CPG).

pour la partie chimie, sauf lors d'interventions lors de manifestations de type Rave Party qui concernent la mise en évidence de produits stupéfiants.

L'avenir, pour la partie analytique, est d'utiliser tous les couplages à disposition, notamment en matière de chromatographie multidimensionnelle, où apparaissent régulièrement des nouvelles possibilités (Figure 16). Même si les produits recherchés peuvent être traités traditionnellement en chromatogra-

phie gazeuse, les couplages avec la chromatographie liquide et la spectrométrie de masse présentent, avec les récents progrès informatiques, des potentialités particulièrement intéressantes.

La spectrométrie de masse à haute résolution a tendance à s'imposer dans les laboratoires de chimie analytique en complément indispensable (Figure 17) pour l'identification des produits, et notamment lors d'analyses de matrices complexes telles que le gazole.

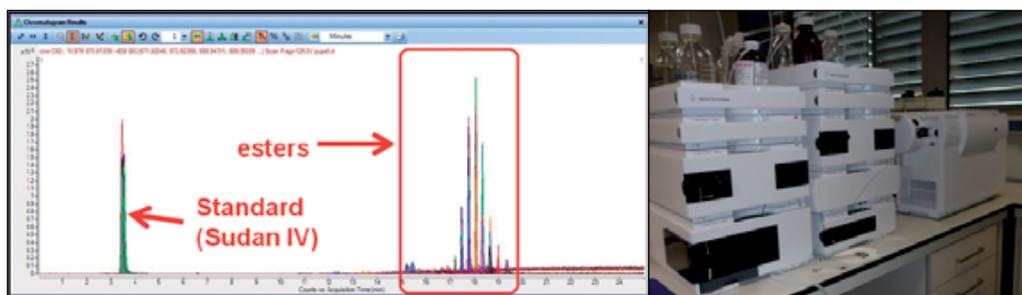


Figure 17

Appareils de spectrométrie de masse à haute résolution.

L'analyse chimique par chromatographie, l'alliée de la criminalistique

Les systèmes de chromatographie multidimensionnelle sont donc une voie d'avenir à développer pour améliorer la réponse des chimistes aux questions posées par les enquêteurs et donc aussi la prévention des incendies.

Il est clair que l'apport de multiples systèmes chromatographiques couplés à la spectrométrie de masse, voire à la spectrométrie de masse haute résolution, constituent ainsi l'avenir dans le cadre d'un plateau technique pluridisciplinaire pour résoudre les affaires criminelles.

En complément, l'emploi des outils statistiques peut s'avérer très utile pour évaluer la pertinence et le poids de chaque type d'analyse, de manière à apporter une réponse globale aux enquêteurs et aux tribunaux.