

# Investigations et analyses chimiques sur les incendies

## Un sujet d'actualité qui s'enflamme

Guillaume Cognon, Audrey Junker, Thierry Ducellier, Christophe Remillon, Christophe Briffa et Nicolas Haraczaj

**Résumé** « L'incendie est-il d'origine criminelle ? » C'est à cette question que doivent répondre les enquêteurs confrontés à un site incendié. La recherche de l'origine et des causes d'un incendie passe par l'examen des traces au cours de l'investigation, puis par la recherche et l'identification au laboratoire de produits accélérants. Ces deux axes font l'objet d'une constante évolution au sein de la Gendarmerie nationale : tout d'abord sur le terrain par l'utilisation de chiens spécialisés dans la détection de produits accélérateurs d'incendies, puis au sein des laboratoires de l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) par le développement de techniques analytiques novatrices encore peu utilisées en criminalistique (GCxGC-MS et analyse détaillée de coupes pétrolières à l'aide du logiciel Carburane®) et par l'optimisation de méthodes existantes dans le traitement particulier des échantillons de cadavres. Au-delà de l'aspect technique, la lutte contre les incendiaires demande une connaissance non seulement des produits inflammables potentiellement utilisés, mais également une compréhension des supports sur lesquels ils sont déversés. En conséquence, l'augmentation des informations collectées et leur complexité d'interprétation requièrent le développement d'outils statistiques.

**Mots-clés** **Produits accélérants, investigation incendie, matrices interférentes, chiens incendie, Carburane®, GCxGC, traitement statistique, criminalistique.**

**Abstract** **Fire investigations and chemical analysis: a burning topic**  
 "Is this fire criminal?" Investigators have to answer to these situations using helpful field and laboratory tools recently developed. Arson dogs are used in combination to investigators on fire scenes to increase fire debris quality and sampling. Laboratory innovative techniques such as comprehensive GC or detailed hydrocarbons families analysis using Carburane® software are performed. Improvements on sampling preparation (clean up) on burned corpses specimens are also suitable to efficient results interpretation. A good knowledge in petroleum products and interfering matrixes is also necessary, with the use of a reference database continuously updated. The huge quantity of processed data requires now appropriate statistical treatments in order to give reliable results and conclusions.

**Keywords** **Flammable liquids, fire investigation, arson dogs, interfering matrixes, Carburane®, comprehensive GC, statistical process, forensic science.**

Plus de 310 000 incendies ont été comptabilisés en France par les services de secours sur l'année 2011 (soit environ un incendie déclaré chaque minute et demi). Ces chiffres éloquent traduisent un réel besoin sécuritaire, car leurs conséquences ne se résument pas qu'à des dégâts matériels souvent très importants, mais conduisent aussi à des blessures corporelles, voire au décès de victimes. Les feux volontaires, délictuels ou criminels, font également aujourd'hui partie des infractions les plus fréquemment commises, et obligent les forces de l'ordre à une perpétuelle recherche d'amélioration de leurs techniques de lutte, sur tous les fronts.

Lorsqu'un feu survient dans des circonstances suspectes, l'enquête judiciaire, dans sa définition la plus large, doit inclure les investigations réalisées sur site par des spécialistes de scène de crime tels les techniciens en investigations criminelles (TIC) de la Gendarmerie nationale. Ils effectuent si nécessaire, et aux endroits jugés pertinents, des prélèvements strictement contrôlés [1-2].

Les investigations vont se poursuivre au sein de laboratoires spécialisés et accrédités tels que l'Institut de Recherche

Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) à Rosny-sous-Bois (93). Examens techniques, analyses chimiques et interprétations opérés par les spécialistes en incendie, associés au travail des enquêteurs territoriaux ou d'unités de recherche, concourent à la résolution d'affaires en déterminant l'origine et la cause du sinistre, et notamment son intentionnalité.

*A contrario* de certaines disciplines liées à la biométrie ou à l'ADN, ou plus récemment avec l'émergence des marqueurs chimiques, l'identification au laboratoire de produits pétroliers ne désigne pas directement un auteur, en l'occurrence l'utilisateur du produit de question mis en évidence. Tous les coups sont donc permis dans cette discipline pour lier, même partiellement, un fait à son auteur.

La recherche et l'identification de produits inflammables ayant permis d'initier l'incendie ou facilité sa propagation (on parle alors d'accélérateur) est une des premières tâches analytiques assignées au laboratoire. Bien que cruciale, elle n'est pas toujours suffisante pour conclure de façon formelle sur la cause du sinistre [3] (voir encadré 1). Une des clés dans

**Encadré 1****Interprétation et produit accélérant**

Un produit accélérant se définit comme tout matériau utilisé pour initier ou faciliter le développement d'un incendie. Les plus courants sont des liquides combustibles ou inflammables (alcools, essences, diluants, solvants...). La notion d'accélérateur tient donc davantage à son utilisation qu'à sa structure chimique. La mise en évidence d'un produit inflammable dans des prélèvements ne peut constituer la preuve d'une origine criminelle que lorsque la présence du produit en question est inexplicable sur les lieux. En effet, l'identification d'un produit accélérant dans des résidus d'incendie n'est pas toujours suffisante pour conclure à une origine volontaire, et inversement, l'absence de produit accélérant ne doit pas d'emblée exclure l'origine criminelle (les prélèvements n'auront pas été réalisés au bon endroit, le produit utilisé a complètement brûlé ou est masqué par d'autres hydrocarbures...).

cette étape consiste à connaître les profils chromatographiques caractéristiques de chaque produit inflammable, et si possible des matériaux courants qui peuvent être rencontrés sur des scènes incendiées.

Pour répondre à ce besoin, une collection de produits inflammables de référence comptant près de 800 échantillons est spécifiquement développée au laboratoire. Régulièrement incriminée par les nouveaux produits commerciaux disponibles, c'est un outil indispensable pour les personnels dans leur travail d'interprétation.

**Accélérateur et stratégie analytique : les esprits chauffent**

La stratégie analytique générique utilisée au laboratoire comporte deux étapes principales qui couvrent l'ensemble du « spectre » des produits inflammables potentiellement utilisés par un incendiaire. Développée à partir de standards américains [4-5], elle utilise des méthodes d'essais qualitatives (la quantification d'un accélérant dans un résidu d'incendie n'a aucun sens) s'appuyant sur la chromatographie gazeuse associée à divers détecteurs (FID, NCD, MS...) et accréditées par le Comité Français d'Accréditation [6]. Une recherche d'hydrocarbures dits légers (extraction par espace de tête puis analyse des composés organiques volatils jusqu'à C<sub>16</sub> – du méthanol au kérosène) précède la mise en évidence d'hydrocarbures lourds (extraction par solvant puis analyse des composés organiques semi et non volatils de C<sub>12</sub> à C<sub>40</sub> – des gazoles aux huiles).

Cette stratégie permet de répondre à la plupart des cas rencontrés mais est rarement optimale à ce stade en cas d'importants interférents matriciels.

En effet, la difficulté majeure à laquelle tout spécialiste incendie de laboratoire est confronté lors de l'interprétation des résultats analytiques est l'interférence de composés issus des supports des prélèvements reçus [7]. Par nature très variés et dégradés, ils peuvent être constitués de matières inorganiques (béton, aluminium, verre...) ou organiques (bois, carton, papier...). Le problème se pose particulièrement lorsque les matériaux présents contiennent des matrices biologiques (nous les aborderons plus tard) ou sont issus de l'industrie pétrochimique. Les matières synthétiques/plastiques, omniprésentes dans notre vie quotidienne, sont formées de nombreux composés qui entrent également dans la formulation de nos produits inflammables cibles, tels que le supercarburant ou le gazole.

Améliorer la qualité des prélèvements sur site, diminuer ou supprimer l'influence des interférents, améliorer l'identification et la comparaison de produits accélérants au laboratoire, constituent les défis majeurs pour accroître la pertinence des réponses données aux enquêteurs. Cet article propose donc les voies envisagées pour chaque problématique posée.

**Le meilleur ami de l'investigateur**

Sur le terrain, des équipes cynophiles spécialisées en recherche de produits accélérants ont été mises en place. Permettant d'effectuer des « screening » sur des surfaces importantes, soit de mieux cibler pour mieux prélever, ils font désormais partie du paysage d'investigation en matière d'incendie (voir encadré 2). N'ayant pas encore la capacité à

**Encadré 2****Les chiens « incendie »**

« Fidji », chien incendie lors de ses recherches de produit inflammable sur un site incendié.

Les démarches d'investigation nécessitent du personnel, du temps, et selon le type de site incendié dans lequel les constatations sont effectuées, du matériel de détection spécifique, pas toujours disponible immédiatement. Par ailleurs, les techniciens peuvent être confrontés à des configurations particulières de lieux sinistrés qui ne leur permettent pas de pouvoir évoluer aisément et en toute sécurité.

C'est pour répondre à ces contraintes que sont déployés des chiens « incendie ». Ces chiens sont capables d'évoluer dans des lieux très hostiles (enchevêtrement de poutres...) et/ou très étendus (entrepôts, forêts...). Ils sont en mesure de couvrir la surface d'un demi terrain de football en une trentaine de minutes, d'où un gain de temps considérable puisque dans certaines conditions, il n'est plus nécessaire de déblayer la zone pour procéder à la recherche des zones de départ de feu.

Les États-Unis ont été les premiers à entraîner des chiens de recherche d'accélérateurs d'incendie dans les années 1980, afin qu'ils soient capables de flairer des traces résiduelles de ces produits chimiques.

En France, des chiens sont instruits au Centre National d'Instruction Cynophile de la Gendarmerie à Gramat (Lot) depuis 2002. Ils sont formés à la détection de sept produits accélérants commerciaux (alcool à brûler, acétone, white-spirit, essence de térébenthine, supercarburant, gazole et fioul domestique), produits les plus couramment utilisés pour initier un incendie. Six chiens incendies sont actuellement employés à Arras, Beynes, Metz, Montpellier et Valdahon. Un chien incendie est également opérationnel au Groupe national d'investigation cynophile (GNIC) à Gramat.

Les races de chien les plus utilisées sont le springer spaniel, le berger allemand et le labrador. Cette formation spécialisée d'une durée de 14 semaines permet aux chiens, grâce à leur odorat ultrasensible, de détecter dans les débris la moindre trace des liquides combustibles cibles.

signer eux-mêmes des rapports d'expertises, la continuité s'effectue au laboratoire avec la mise en corrélation des marquages du chien et des résultats d'analyses. La collaboration entre équipes cynophiles et laboratoire permet la remise en question permanente des deux parties, et contribue à l'amélioration des techniques de formation de l'animal. Une augmentation du taux de résultats positifs (présence d'hydrocarbures) observée au laboratoire ainsi qu'une diminution par les unités du nombre de prélèvements réalisés sur le terrain (moins d'échantillons aléatoires) traduisent l'efficacité du dispositif.

Au laboratoire, nous avons travaillé sur des cas qui nécessitent une adaptation soit par un traitement préalable de l'échantillon (découverte de cadavre), soit par des analyses plus poussées afin de gagner en discrimination, voire conduire à l'individualisation des produits inflammables les plus couramment rencontrés : les carburants... Il s'agit de franchir une étape supplémentaire en associant autant que possible une trace à un suspect présumé pour en faire un indice utile à l'enquête. Nous l'avons vu, dans cette discipline, ce lien sera rarement direct mais pourra être établi par le recoupement de différents faisceaux convergents de preuves. Ces analyses interviennent donc en complément de la stratégie employée en routine : l'analyse détaillée des coupes pétrolières utilisant la GC-FID couplée au logiciel Carburane® dans le cas des supercarburants et la chromatographie en phase gazeuse intégralement bidimensionnelle (GCxGC-MS) pour les gazoles et fiouls domestiques.

## La contrainte des matrices biologiques

Dans les cas, malheureusement fréquents, où des victimes sont retrouvées parmi les décombres, les échantillons prélevés sur ou au contact des corps sont délicats d'interprétation. À l'éventuel accélérateur utilisé vient s'ajouter la matière organique extraite du corps brûlé (effets de la pyrolyse des constituants de l'organisme de la victime au cours de l'incendie et phénomènes de décomposition du corps *post mortem*) [8]. Ces interférents biologiques matriciels compliquent autant la préparation des échantillons que leur analyse. Composés organiques polaires à haut point d'ébullition, ils augmentent substantiellement la viscosité du solvant d'extraction et constituent une entrave lors de la phase de concentration précédant l'analyse. Dotés de groupes fonctionnels carboxyles, hydroxyles et amines [9], ils représentent des espèces difficilement analysables en GC. En raison de leurs natures et propriétés physico-chimiques, ils sont d'une part fortement adsorbés sur les sites du système analytique qui ne sont pas parfaitement désactivés, et d'autre part difficilement vaporisés dans l'injecteur, synonymes de pollution responsable de pics fantômes. Enfin, lors du dépouillement des acquisitions, leur présence génère un bruit de fond supplémentaire gênant l'identification de nos composés cibles.

Ces contraintes ont conduit au développement d'un protocole de purification des extraits par combinaison de deux techniques d'extraction appliquées tour à tour [10-11] (voir encadré 3). Opérée en amont des analyses habituelles, cette préparation d'échantillons a donné des résultats spectaculaires (figure 1). Les bénéfices sont observés à plus d'un titre : la méthode contribue à réduire la viscosité de l'extrait liée à son enrichissement en molécules « grasses » et en facilite ainsi la préparation, prévient l'encrassement du système chromatographique et notamment de l'injecteur, réduit enfin le bruit de fond nuisible à

### Encadré 3

## L'extraction des matrices biologiques

L'étape d'extraction par solvant est opérée au laboratoire avec le 2,2,4-triméthylpentane au lieu du pentane (meilleur solvant mais plus volatil) habituellement utilisé. Sa température d'ébullition ( $T_{éb} = 100\text{ °C}$ ) plus élevée autorise l'étape ultérieure de chauffage nécessaire à l'extraction. Le surnageant obtenu après centrifugation constitue la base pour la suite des opérations de purification. Une extraction liquide-liquide, à l'aide d'un mélange diméthylsulfoxyde/soude (DMSO/NaOH) est ensuite réalisée. Dans cette opération, le DMSO, solvant organique polaire aprotique, miscible à la soude, favorise la dissociation des paires d'ions. La solubilité des sels produits par la réaction s'en trouve améliorée. Le caractère basique de l'ion hydroxyle apporté par la soude est renforcé dans ces conditions, et permet donc de déprotoner plus facilement des acides faibles. Il présente enfin la propriété intéressante de ne pas être miscible avec les alcanes, composés cibles majoritaires aidant à la reconnaissance des profils chromatographiques de produits accélérateurs.

Les sels d'acides gras formés dans la réaction sont solubles dans la phase DMSO, ainsi que les interférents matriciels ayant une meilleure affinité avec ce solvant. À l'issue de l'opération, et après centrifugation, le mélange obtenu peut présenter deux phases liquides, voire trois phases (l'intermédiaire pouvant présenter un aspect gélatineux) en fonction de la nature des interférents présents. La phase supérieure est ensuite reprise dans une cartouche dSPE QUECHERS® pour y subir une ultime extraction sur phase solide dispersive. La phase échangeuse employée est connue pour son aptitude à fixer, donc éliminer, les acides gras organiques, principaux responsables de la perturbation des analyses. Après centrifugation de la cartouche, la solution obtenue est concentrée par évaporation pour analyse.

la détection des analytes cibles utiles à la mise en évidence de profils chromatographiques des accélérateurs. Un logique bémol subsiste toutefois : cette purification empêche l'identification de produits comportant des huiles végétales ou équivalents. Néanmoins victime de son succès, sur des contextes d'affaires similaires, cette technique fait tache d'huile et est désormais employée dès lors que les informations relatives aux prélèvements à traiter font état de la présence potentielle d'interférents polaires à haut poids moléculaire.

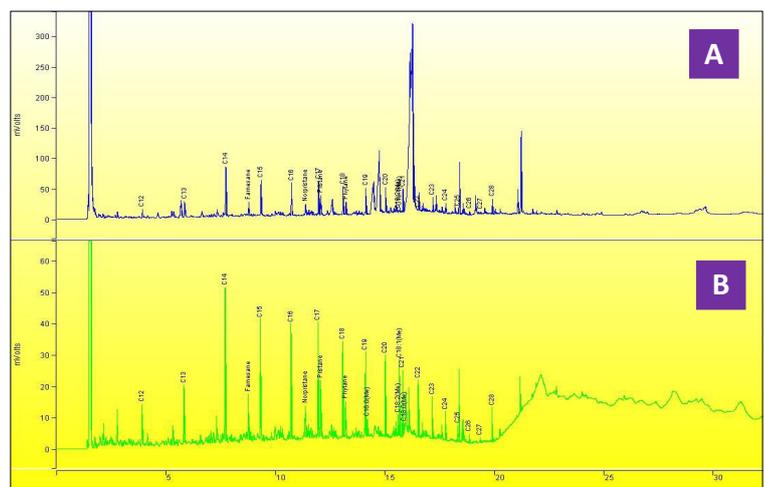


Figure 1 - Les chromatogrammes présentés correspondent aux résultats d'analyse du même extrait, sans (A) et avec (B) purification.

La lecture des analytes cibles est améliorée au moins dans la région du chromatogramme où les interférents sont élués et n'altère pas le profil chromatographique du produit pétrolier (ici un carburant biodiesel), sa caractérisation se faisant sans équivoque.

## Encadré 4

## Vous avez dit supercarburant ??

Les carburants automobiles sont des mélanges complexes d'hydrocarbures répondant à des normes particulières régies par les différents acteurs que sont les pétroliers, les motoristes de l'industrie automobile et les instances gouvernementales liées à ce secteur. Les spécifications édictées pour les supercarburants ou essences pour automobiles laissent cependant aux pétroliers une certaine marge de manœuvre quant à l'assemblage et à l'additivation de leurs produits.

Ceci génère des différences de composition qui, si elles ne peuvent être détectées au moyen de techniques conventionnelles, le peuvent au moyen d'analyses plus fines, permettant ainsi un niveau de discrimination accru.

Sur le territoire national français coexistent les quatre types de supercarburants. Les supercarburants sans plomb SP95, SP95E10 et SP98 peuvent se distinguer soit par leurs indices d'octane, soit dans une moindre mesure par leur teneur en composés oxygénés.

Quant au dernier, le superéthanol E85, il ne sera pas évoqué ici tant il s'agit d'un carburant particulier en composition (85 % de bioéthanol), ce qui permet de le distinguer aisément par chromatographie. De plus, il reste d'un usage restreint, au moins sur le plan délictuel.

## Les supercarburants et l'analyse détaillée

L'utilisation de supercarburant à des fins incendiaires est une problématique bien connue des laboratoires : facilement inflammable, il est aisé de s'en procurer sur le territoire, 24 h/24, et en quantités importantes ; il est ainsi assez fréquemment à l'origine des incendies volontaires.

Les stratégies analytiques classiquement employées permettent la caractérisation des coupes pétrolières éventuellement utilisées, sans pouvoir toutefois identifier précisément leur nature (voir encadré 4).

Pour permettre une individualisation plus fine des profils chromatographiques des supercarburants, une méthode analytique basée sur Carburane<sup>®</sup>, un logiciel commercial d'intégration dédié au contrôle qualité des produits en sortie de raffinerie, développée par IFP Énergies nouvelles (IFPEN), a été détournée de son utilisation première [12-13] et adaptée à des fins criminalistiques.

Cette méthode d'essai normée [14] a pour vocation originelle un contrôle des cinq familles chimiques d'hydrocarbures qui composent le mélange : n-paraffines, iso-paraffines, naphthènes, oléfines et aromatiques. Les teneurs des composés oxygénés sont également évaluées et viennent former une sixième famille, hors hydrocarbures au sens strict du terme.

L'analyse repose sur la séparation des composés issus d'un échantillon de produit liquide par chromatographie en phase gazeuse, à pression constante et en gradient de température, avec une détection réalisée par FID.

Les teneurs massiques en familles chimiques ainsi que les indices d'octane RON et MON d'un supercarburant sont déterminés automatiquement via Carburane<sup>®</sup>, grâce notamment à une base de données recensant les propriétés

physico-chimiques pertinentes de chacun de ces constituants. L'association de chaque pic chromatographique à un composé se fait via l'attribution d'un indice de température programmé (ITP). Ce dernier est déterminé à l'aide des temps de rétention des deux alcanes linéaires de référence encadrant l'élution dudit composé. Par ailleurs, sur le système de séparation employé, la séquence d'élution de l'ensemble des composés présents dans le supercarburant est connue.

La première phase du développement a été consacrée à l'adaptation de la méthode à notre parc analytique et à nos contraintes, notamment en termes de quantités d'échantillons (parfois très faibles) à notre disposition sur les cas concrets. Parallèlement, une base de données a été constituée à l'aide du traitement des résultats issus de l'analyse de différents types et marques de supercarburants provenant du commerce. S'appuyant sur ces données, des méthodes d'évaluation statistiques ont été mises en place pour permettre de déterminer à quel type de supercarburant un échantillon de question pouvait être rattaché (95, 95E10 ou 98). La comparaison des données fournit un rapport de vraisemblance (LR) ; les résultats sont exprimés selon une échelle verbale de probabilité, l'analyste restant seul maître de l'interprétation globale des résultats d'analyse.

Cette première étape a été concluante et a permis une comparaison effective du type des supercarburants analysés, ceci cependant pour des carburants fraîchement prélevés en station-service ou supposés très peu dégradés (le supercarburant étant par nature volatil, dès lors qu'il sort de la pompe à essence, il est réputé s'altérer).

La seconde phase du développement a consisté en l'étude de supercarburants dégradés de façon à déterminer un seuil critique d'altération au-delà duquel il n'est plus possible d'inférer sur un type particulier. Pour cela, une méthode de dégradation contrôlée a été mise au point au laboratoire. Celle-ci a permis d'obtenir pour différents types et marques de supercarburants des degrés d'évaporation allant de 0 à 90 %, ainsi que les teneurs en familles chimiques associées. Cette étude nous permet de distinguer les trois types de supercarburants jusqu'à près de 50 % m/m<sup>(1)</sup> d'évaporation (figure 2). Il est ensuite possible de différencier les supercarburants d'indice d'octane 98 des deux types de supercarburants 95 jusqu'à près de 70 % m/m d'évaporation.

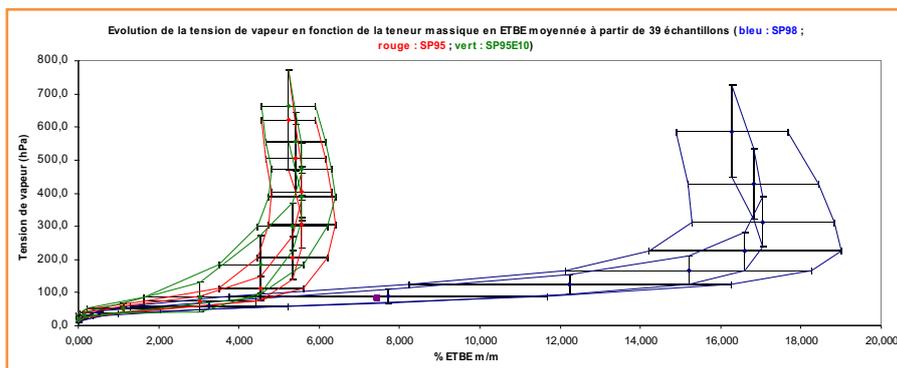


Figure 2 - Un indicateur permettant à partir de la teneur d'un composé oxygéné et de son degré d'évaporation de déterminer le type de supercarburant analysé, ici du SP98.

Il s'agit maintenant de s'appuyer sur les résultats des deux précédentes phases pour travailler sur la transposition de cette méthode en injection de type espace de tête, et pouvoir traiter encore plus finement l'analyse des supercarburants extraits de différentes matrices réelles sous forme gazeuse.

## Encadré 5

## La « comprehensive GC »

La chromatographie en phase gazeuse bidimensionnelle (GCxGC) fait partie des méthodes de couplage intégral pour lesquelles la totalité de l'échantillon est analysée dans deux dimensions indépendantes, en conservant l'intégralité des performances des deux étapes séparatives. Cette technique, initiée par J. Phillips au début des années 1990, connaît un intérêt croissant pour l'analyse détaillée des mélanges complexes, dans des domaines aussi variés que l'industrie pétrolière, la parfumerie, l'industrie du tabac, l'agroalimentaire... Le principe repose sur le couplage en série de deux colonnes chromatographiques de sélectivité différente à l'aide d'une interface appelée modulateur. Celui-ci échantillonne l'effluent issu de la première colonne sous forme d'impulsions chimiques (dont la durée est appelée période de modulation) et les transfère en continu sous forme de fractions concentrées vers la deuxième colonne.

Différents types de configurations bidimensionnelles ont été développés, associant les techniques de chromatographie en phase liquide (LC), gaz (GC), supercritique (SFC) ou l'électrophorèse capillaire (CE).

Les données brutes d'une analyse GCxGC correspondent à une grande série de chromatogrammes rapides sur la seconde dimension, qui sont « empilés » côte à côte pour constituer le chromatogramme bidimensionnel. Le début de chaque cycle de modulation marque le temps de rétention d'un composé dans la première dimension, alors que le maximum de chaque pic marque le temps de rétention dans la seconde dimension. Le résultat peut se présenter sous la forme d'une surface de réponse en trois dimensions : deux axes indiquant les temps de rétention dans chacune des deux dimensions et le troisième l'intensité du signal.

Ceci constitue un défi chromatographique ambitieux qui nous permettra d'évaluer dans un futur proche dans quelle mesure il est encore possible de se prononcer quant au type de supercarburant rencontré dans de telles conditions.

À ce jour, les comparaisons effectuées en laboratoire avec cette méthode ne concernent plus uniquement le domaine des incendies, mais aussi les vols de carburants en station-service ou dans les véhicules.

## La chromatographie multidimensionnelle

La discrimination des carburants pour moteurs diesel, avec plus de 6 000 composés, nécessite des systèmes analytiques possédant des capacités de pics plus élevées. Traditionnellement utilisée pour l'analyse des produits pétroliers [15-17], la chromatographie en phase gazeuse bidimensionnelle (GCxGC) s'est rapidement imposée comme technique de choix face à notre problématique [18] (voir encadré 5).

Une configuration de colonnes dite normale (apolaire x polaire) permet l'étude poussée des composés aromatiques. *A contrario*, un examen exhaustif des composés paraffiniques, naphthéniques et contenant des hétéroatomes sera plus aisé avec une configuration de colonnes dite « inverse » (polaire x apolaire). Afin d'obtenir un screening complet et complémentaire, le montage des deux jeux de couples de colonnes dans le même chromatographe devient alors un outil puissant pour la comparaison de produits. Ce système dit « twin GCxGC », composé de deux injecteurs reliés chacun à son couple de colonnes (montage « normal » et montage « inverse »), passe dans un unique modulateur, et les

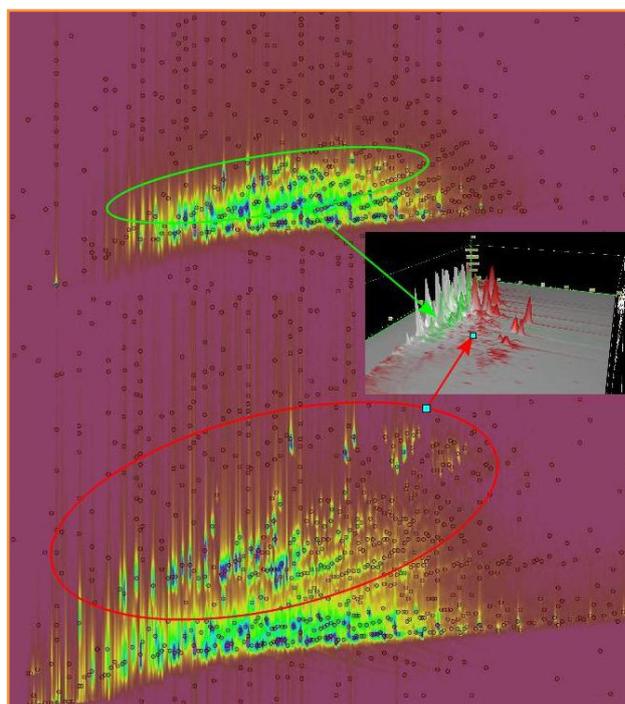


Figure 3 - Images bidimensionnelles de deux distillats moyens de pétrole, de composition majoritaire en « n- et iso-paraffines » commune.

Une fonction du logiciel permet la comparaison d'images et leur visualisation en trois dimensions (encadré noir) : le signal vert indique un enrichissement en oléfines/naphthènes pour le produit A, le rouge correspondant aux espèces mono-aromatiques contenues dans le produit B.

injecteurs sont reliés au spectromètre de masse par une connexion en Y. Les analyses ne peuvent se faire simultanément mais ce procédé évite des manipulations de changement de colonnes souvent fastidieuses.

Afin de pouvoir comparer et discriminer au mieux des produits de même coupe pétrolière, la stratégie de traitement des résultats consiste en la comparaison des profils. Cette étude nous permet de ressortir des zones de l'espace bidimensionnel pour lesquelles nous observons les variabilités de résultats les plus importantes entre les différents produits. Une visualisation rapide des différences est possible à l'aide de la comparaison deux à deux proposée par le logiciel de traitement associé GC Image (figure 3).

Les résultats obtenus sont spectaculaires et permettent de franchir une étape décisive dans la discrimination des échantillons reçus au laboratoire. De récents exemples illustrent parfaitement le gain apporté par cette technique.

Dans le cas de prélèvements reçus au laboratoire comprenant différents frottis de liquides effectués à l'aide de filtres à café, de restes de liquides récupérés dans des bidons laissés sur la scène de crime, de restes de tissus ayant fait office de mèche et de morceaux de bidon de plastique fondus, il s'agissait de déterminer la présence de produits accélérants dans l'ensemble des prélèvements et dans la mesure du possible, d'en effectuer des rapprochements.

L'analyse avec les méthodes de routine a conclu à la présence d'un produit de type gazole ou fioul domestique dans l'ensemble des scellés. Cette information est importante pour l'enquêteur, mais elle ne permet pas d'établir un lien entre les différents prélèvements. L'examen de ces mêmes prélèvements grâce à l'analyse GCxGC a permis de déterminer la nature précise de trois des sept prélèvements : deux étaient des fiouls domestiques, le troisième était un gazole routier, les

quatre autres étaient probablement des mélanges des deux produits. Cette discrimination a pu être possible à l'aide notamment des profils de dibenzothiophènes et n'était pas réalisable par les techniques classiques du laboratoire.

## Autant de données méritent un traitement

Les développements analytiques opérés au laboratoire ont eu pour conséquence une augmentation massive des données produites et donc à exploiter. L'utilisation judicieuse de techniques aussi puissantes, associées à des bases de données importantes, ne peut se faire sans traitement mathématique ou statistique approprié. Il s'agit de tests statistiques permettant *via* des rapports de vraisemblance la mise en place d'échelles de réponse verbale [19] dans le cas de Carburane®, ou d'outils chimiométriques de type analyse en composantes principales (ACP) dans le cas de la GCxGC (figure 4).

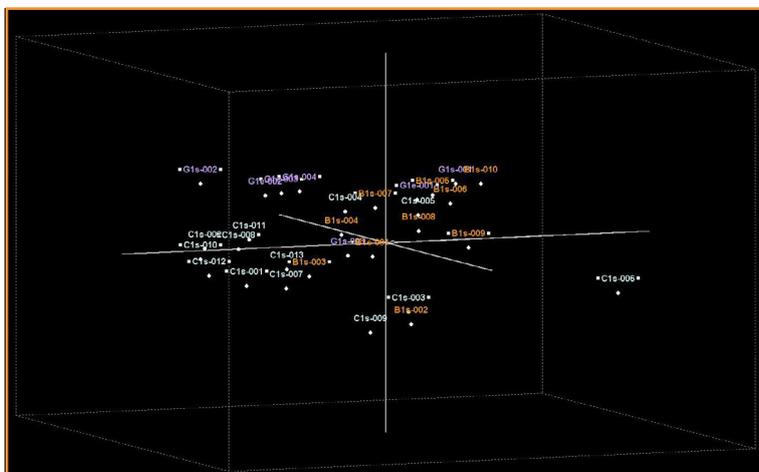


Figure 4 - Visualisation de traitements de données par analyses en composantes principales (ACP) en 3D des résultats analytiques obtenus par GCxGC d'une population de gazoles de trois variétés (marques) différentes.

Le traitement obtenu permet de définir une tendance sur l'appartenance d'un échantillon inconnu à une marque donnée.

Ces conséquences ont conduit le laboratoire à intégrer, avec prudence, les notions de probabilité dans le traitement des dossiers qui lui sont confiés.

Pour un scientifique, une information quantitative, un chiffre, sont souvent considérés, sauf cas particulier, comme étant la transcription de la réalité. Dans un système transversal, multifactoriel et « vestige » d'une réalité plus complexe et plus riche, il en va différemment. Or, ce qu'analyse le technicien comme l'enquêteur judiciaire n'est justement qu'un « vestige d'une présence ou d'une action, se manifestant sous la forme d'un objet, marque, empreinte, signal », comme l'École des Sciences Criminelles de Lausanne définit une trace criminalistique. Sans même se questionner sur la légitimité de la présence d'une trace, par exemple un hydrocarbure (s'agit-il d'un déversement accidentel, d'une négligence... ou le signe d'une volonté de nuire ?), il faut garder à l'esprit qu'elle a été nécessairement altérée par des phénomènes divers : évaporation, dégradations... dont l'impact est soit inconnu, soit partiellement prévisible, et en tout cas probablement différent sur chacun de ses composés. En effet, des informations telles que le temps d'exposition, la présence éventuelle de facteurs limitant ou accélérant le processus de transformation de la matière, la modification de la

quantité relative d'un composé sont au mieux mal ou méconues, et ne permettront pas une connaissance déterministe [20] des modifications générées.

L'emploi des probabilités à des fins d'évaluation de la force probante des traces en général, comme pour l'identification de la source sur la base de l'analyse chimique en particulier, doit ainsi se nourrir de scrupules dans l'emploi des règles des probabilités et des statistiques, notamment en matière d'hypothèses de normalité et d'indépendance. Nonobstant ces quelques « garde-fous », l'outil statistique développé au laboratoire ouvre un champ d'investigation particulièrement fertile en termes d'approche criminalistique et de traitement de données. L'avancée intellectuelle est d'ores et déjà réelle, puisque l'exploitation des données issues des chromatogrammes obtenus par ce traitement a permis d'étayer sur des cas réels le soutien des hypothèses tantôt d'une origine commune, tantôt de deux origines distinctes, tandis qu'une simple étude des chromatogrammes ne permettait pas d'avoir un tel pouvoir discriminant.

## Conclusion

Les investigations et analyses chimiques dans le domaine des incendies sont loin d'être un sujet épuisé. Que ce soit sur le terrain avec les équipes cynophiles, ou au laboratoire avec les techniques d'analyses toujours plus performantes, la discipline est en perpétuelle évolution, dans le but d'accroître la qualité de la réponse fournie aux enquêteurs et aux magistrats.

L'obtention de données chiffrées de plus en plus précises et fiables, grâce à l'évolution extraordinaire des outils analytiques, conduit tout naturellement à l'emploi de techniques de traitement de données afin d'empêcher que les spécialistes puissent affirmer des liens de causalité faussement péremptoirs.

En effet, la notion de « hasard » introduite pour définir les paramètres comme des variables aléatoires n'est pas la même pour tout le monde, et le malentendu persiste dans la compréhension des résultats de nombreuses études, y compris pour la définition du hasard en criminalistique.

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Annie Ducrozet (IFPEN) pour sa contribution dans les travaux relatifs à la mise en place de Carburane®, Charles Sauleau (IRCGN) pour sa collaboration sur les points statistiques et Émilie Creux (IRCGN) pour son aide sur l'ensemble des travaux.

## Note et références

- (1) m/m : rapport massique utilisé chez les pétroliers, par analogie avec v/v.
- [1] European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI) - Fire and Explosions Investigation Working Group, *Practical Guide for First Responders to Fire Scenes*, 2008 ; *Practical Guide for Fire and Explosion Investigators*, 2011.
- [2] National Fire Protection Association (NFPA 921), *Guide pour les Investigations Incendie & Explosion*, 2011.
- [3] American Society for Testing and Materials, ASTM Standard E1732-12, *Standard Terminology Relating to Forensic Science*, ASTM Int., West Conshohocken (PA, E.-U.), 2012.
- [4] American Society for Testing and Materials, ASTM E1387-01, *Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fires Debris Samples by Gas Chromatography*, ASTM Int., West Conshohocken (PA, E.-U.), 2001, réédité en 2010.
- [5] American Society for Testing and Materials, ASTM E1618-11, *Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fires Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry*, ASTM Int., West Conshohocken (PA, E.-U.), 2011.
- [6] Accréditation CoFrac n° 1-1916 (disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)).
- [7] Stauffer E., Sources of interference in fire debris analysis, *Fire Investigation*, Chap. 7, N. Nic Daeid (ed), CRC Press, 2004.

- [8] Gill-King H., Chemical and ultrastructural aspects of decomposition, in *Forensic Taphonomy: The Post Mortem Fate of Human Remains*, W.D. Haglund, M.H. Sorg (eds), Chap. 6, p. 102-103.
- [9] Arnaud P., *Chimie Organique*, chap. 17 et 19, Dunod, **2009**.
- [10] Begin D., Lavoué J., Guerin M., *La Substitution des Solvants par le DMSO*, Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail, **2002**, p. 4-5.
- [11] Restek France, *Purification et extraction d'échantillon rapide et simple avec les cartouches QuEChERS*, Note d'application, Réf. Adv2008.3-FRX.
- [12] Durand J.P. *et al.*, Automatic gas chromatographic determination of gasoline components: Application to octane number determination, *J. Chromatogr.*, **1987**, 395, p. 229.
- [13] Durand J.P., Béboulène J.J., Ducrozet A., Detailed characterization of petroleum products with capillary GC analysers, *Analisis*, **1995**, 23, p. 481.
- [14] Norme NF M 07-086 : *Détermination des teneurs en familles chimiques d'hydrocarbures dans les essences pour moteur automobile à partir de l'analyse détaillée*, Association Française de Normalisation (AFNOR), **1995**.
- [15] Hua R., Lin H., Liu J., Zheng J. *et al.*, Determination of sulfur-containing compounds in diesel oils by comprehensive two-dimensional gas chromatography with a sulfur chemiluminescence detector, *J. Chromatogr. A*, **2003**, 1019, p. 101.
- [16] Davies I.L., Bartle K.D., Williams P.T., Andrews G.E., On-line fractionation and identification of diesel fuel polycyclic aromatic compounds by two-dimensional microbore high-performance liquid chromatography/capillary gas chromatography, *Anal. Chem.*, **1988**, 60, p. 204.
- [17] Wang F.C.Y., Robbins W.K., Di Sanzo F.P., Mc Elroy F.C., Speciation of sulfur-containing compounds in diesel by comprehensive two-dimensional gas chromatography, *J. Chromatogr. Sci.*, **2003**, 41, p. 519.
- [18] Liu Z., Phillips J.B., Comprehensive two-dimensional gas chromatography using an on-column thermal modulator interface, *J. Chromatogr. Sci.*, **1991**, 29, p. 227.
- [19] Evett I.W., Jackson G.R., Lambret J.A., More on the hierarchy of propositions: Exploring the distinction between explanations and propositions, *Science and Justice*, **2000**, 40, p. 3.
- [20] Kwan Q.Y., *Inference of identity of source*, Thèse de doctorat, Department of Criminology, University of California, Berkeley, **1977**.



G. Cognon



A. Junker



T. Ducellier



C. Remillon



C. Briffa



N. Haraczaj

**Guillaume Cognon** (*auteur correspondant*) est adjoint au chef du département Environnement Incendies Explosifs, **Audrey Junker**, responsable de l'unité d'expertises Incendie, **Thierry Ducellier**, **Christophe Remillon** et **Christophe Briffa**, spécialistes au sein de l'unité d'expertises Incendie, et **Nicolas Haraczaj**, spécialiste au sein du département Environnement Incendies Explosifs, de l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)\*. Guillaume Cognon, Thierry Ducellier, Christophe Remillon et Nicolas Haraczaj sont experts près la Cour d'appel de Paris dans la spécialité « Explosions et incendie ».

\* Département Environnement Incendies Explosifs (ECX), Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale, 1 bd Théophile Sueur, F-93111 Rosny-sous-Bois Cedex.  
Courriel : ircgn@gendarmerie.interieur.gouv.fr

les éditions d'île de france

102 avenue Georges Clemenceau - 94700 MAISONS ALFORT

Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00

edition@edif.fr - www.edif.fr