

# La chimie au service de l'investigation criminelle

## Les molécules explosives et leurs moyens de détection sur site

Yann Marchal, Fabienne Martinez, Dominique Gardebas, Jean-François Errard, Jérôme Escrich, Bertrand Frère, Guillaume Cognon et Pierre Ledroit

- Résumé** Cet article présente l'intérêt des méthodes colorimétriques, chromatographiques et spectroscopiques utilisables sur une scène d'explosion pour la mise en évidence et la détermination des molécules présentes dans des compositions explosives.
- Mots-clés** **Criminalistique, explosifs, colorimétrie, spectrométrie infrarouge, proche infrarouge, mobilité ionique, chromatographie sur couche mince.**
- Abstract** **Chemistry for criminal investigation: the detection of explosives**  
This article describes the interest of the colorimetric tests, chromatographic and spectroscopic methods used for bringing out and determining the nature of the molecules which are used in the explosive compositions.
- Keywords** **Forensic science, explosives, colorimetric tests, infrared, near infrared, ion mobility spectrometry, thin layer chromatography.**



Figure1 - Explosion d'une charge explosive dans un véhicule.

Un bruit sourd retentit : un véhicule vient d'exploser à une heure de grande affluence sur cette place d'ordinaire si paisible. Bâtiments détruits ou menaçant de s'effondrer, portes et vitres brisées, véhicules et abris voisins en feu ou criblés d'éclats, victimes tuées, blessées ou en état de choc, telles sont les visions des enquêteurs lorsqu'une explosion vient de se produire. Les conséquences humaines et matérielles sont souvent dramatiques ; chercher à savoir rapidement si le sinistre résulte d'un phénomène accidentel ou d'un acte malveillant devient alors une priorité. Dans ce dernier cas, la compréhension de l'évènement et la recherche des causes sont des éléments déterminants pour l'enquête, en

particulier s'il y a eu usage de substances explosives. Les enjeux sont cruciaux à ce stade ; il faut donc recueillir rapidement les premières informations afin d'orienter les autorités administratives et judiciaires sur les mesures sécuritaires, sanitaires, ainsi que sur les investigations nécessaires.

En réponse à ces impératifs, des laboratoires d'État accrédités tels que l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) mettent à disposition tous leurs moyens projetables et apportent des solutions techniques de terrain permettant rapidement une première orientation des investigations. Cette composante tactique et opérationnelle du laboratoire vient renforcer les techniciens en identification criminelle (TIC), ainsi que le coordinateur des opérations de criminalistique (CoCrim) en charge du traitement de la scène de crime.

L'ampleur du sinistre (les débris issus de l'explosion peuvent avoir été projetés sur plusieurs centaines de mètres), la diversité des dégâts, la difficulté d'accès vont être autant de contraintes pour les spécialistes en explosion. L'extrême complexité de la scène rend nécessaire un engagement humain et logistique important. Afin de pouvoir apporter rapidement une réponse technique aux besoins opérationnels, l'IRCGN dispose d'un plateau technique pluridisciplinaire unique, armé par des experts de divers domaines, pouvant être projetés au sein d'une équipe constituée et disposant de moyens d'investigation de pointe. Drone d'observation, caméras thermiques, explosimètres, laser scanner 3D permettant de figer la scène de crime dans le temps et l'espace peuvent venir en complément du déploiement de l'Unité nationale d'identification des victimes de catastrophes suivant le nombre de victimes à identifier.

Tableau I - Quelques explosifs primaires.

Fulminate de mercure	Azoture de plomb	Styphnate de plomb	Tétrazène	Diazodinitro phénol

L'arsenal de techniques complémentaires d'identification pour lesquelles la chimie joue un rôle majeur, comme la colorimétrie, la spectroscopie moléculaire ou encore la chromatographie sur couche mince, est développé dans cet article. Auparavant, un préalable s'impose : comprendre ce qu'est un explosif et connaître la structure des molécules qui le composent.

### Quelques généralités sur les explosifs [1-5]

Les explosifs sont des molécules (seules ou en mélanges) qui, sous l'effet d'une excitation appropriée, sont susceptibles de se décomposer en donnant naissance, en un temps très court, à un grand volume de gaz à température et pression très élevées.

On distingue les explosifs primaires, qui sont des explosifs d'amorçage utilisés en raison de leur grande sensibilité, des explosifs secondaires dont la décomposition explosive ne peut être obtenue que moyennant une énergie d'activation plus importante.

#### Les explosifs primaires

Ces explosifs prennent facilement le régime de la détonation (voir encadré 1) sous l'effet d'une faible sollicitation (choc, fil rougi, étincelle...). Ils constituent l'élément le plus sensible des amorces et des détonateurs dont le rôle est de provoquer la détonation des explosifs secondaires.

Parmi les principaux explosifs primaires, le fulminate de mercure  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ , très sensible au choc, se présente sous forme de cristaux brillants de couleur blanche, grise ou gris pâle. L'azoture de plomb  $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ , quant à lui, se présente sous forme de fines aiguilles incolores qui brunissent rapidement sous l'action de la lumière. Il est très sensible au choc, à la friction et à la flamme. Autre explosif primaire couramment utilisé : le styphnate de plomb  $(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{HO}_2\text{Pb}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , qui se

présente sous forme de cristaux orange pâle ou brun rouge. Sensible au choc, au frottement et au feu, il se caractérise également par une extrême sensibilité à l'électricité statique. On peut citer également le tétrazène  $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}$ , qui se présente sous forme de fines aiguilles ou de cristaux plus compacts jaunes orangés. Il est très sensible au choc mais peu sensible à l'électricité statique. Pour finir cette liste non exhaustive, citons le diazodinitro phénol  $\text{C}_6\text{H}_2\text{N}_4\text{O}_5$  qui se présente sous forme de cristaux variant du jaune au brun. Peu sensible à la friction et aux décharges électrostatiques, il est cependant sensible aux chocs (tableau I).

#### Les explosifs secondaires

Disposés, dans toute chaîne explosive, à la suite d'un explosif primaire, ils constituent la charge principale et sont responsables des dégâts observés. On peut distinguer deux catégories majeures représentant la plupart des explosifs couramment rencontrés : les poudres et artifices, et les explosifs manufacturés, qu'ils soient à usage industriel ou à usage militaire.

#### Les poudres et artifices

L'une des compositions les plus importantes de cette famille est la poudre noire. Elle se présente sous forme de grains anguleux et de forme irrégulière. La vitesse de combustion et la vivacité des poudres noires varient en fonction de la densité et de la taille des grains, des proportions des composants et des conditions de combustion. Chimiquement, la poudre noire est composée de nitrate de potassium, de soufre et de charbon de bois. Elle sert principalement dans le domaine civil aux allumages de feux d'artifices et à la confection de mèches lentes. Dans le domaine militaire, elle est utilisée comme poudre d'allumage (tube porte-amorces pour munitions, appoints pour gargousses<sup>(1)</sup>, artifices divers...).

#### Les poudres propulsives

Généralement utilisées pour la propulsion balistique (du petit calibre au missile en passant par les roquettes), les poudres existent sous de nombreuses formes (bâtonnets, paillettes, grains sphériques, tubulaires ou disques). Si l'on considère leur composition chimique, il existe trois types de poudres : les poudres dites « simple base » (p.s.b) ne contenant que de la nitrocellulose, celles dites « double base » (d.b) contenant en plus de la nitroglycérine, et celles dites « triple base » (t.b) qui, en plus de la nitrocellulose, contiennent de la nitroglycérine et de la nitroguanidine. Elles sont une signature du type de munition et d'arme utilisées.

#### Les explosifs à usage industriel

Principalement utilisés dans les activités d'extraction minière, les carrières ou divers travaux de génie civil (construction de route, démolition...), il existe un grand

#### Encadré 1

##### Les régimes de décomposition

On peut distinguer trois modes principaux de décomposition :

- **La combustion** : il s'agit d'une réaction d'oxydoréduction, dont le front de réaction se déplace à une vitesse particulièrement lente de l'ordre de quelques centimètres par seconde en général. La matière explosive « brûle » sans produire d'effets mécaniques.
- **La déflagration** : bien plus rapide que la combustion, ce mode de décomposition va générer une onde de choc dans le milieu environnant. La vitesse de décomposition, de l'ordre de quelques centaines de mètres par seconde, demeure cependant inférieure à la vitesse du son dans la substance.
- **La détonation** : extrêmement rapide, ce mode de décomposition va engendrer dans la matière elle-même une onde de choc dont la vitesse de propagation atteint plusieurs milliers de mètres par seconde.

nombre de formulations disponibles, répondant ainsi aux besoins des industriels, notamment en termes d'efficacité, de coût et de sécurité.

– *Les dynamites* : c'est le Suédois Alfred Nobel qui inventa en 1865 la dynamite en faisant imprégner de la nitroglycérine sur du Kieseluhr (terre de diatomée), remplacé en 1875 par la nitrocellulose. En fonction du taux de nitroglycérine, on distingue les dynamites gommes, les dynamites plastiques, qui contiennent également un certain pourcentage de dinitrotoluène leur donnant ainsi une consistance plastique, ou encore les dynamites pulvérulentes.

Aujourd'hui, toutes les dynamites sont fabriquées à partir d'un mélange de nitroglycérine et d'éthylène glycol dinitrate ou nitroglycol pour constituer un mélange appelé nitroglycérroglycol. Le nitroglycol est destiné à protéger la dynamite contre le gel. En effet, en dessous d'une certaine température, la nitroglycérine cristallise et la dynamite devient très sensible aux frottements. En outre, si les dynamites sont conservées trop longtemps ou si elles sont soumises à de fortes chaleurs, la nitroglycérine, liquide huileux, a tendance à s'écouler. Aussi, les dynamites étant des explosifs relativement sensibles aux chocs, elles doivent donc être transportées, stockées et manipulées avec précaution.

– *Les nitrates fiouls*, ou ANFO (« ammonium nitrate fuel oil »), sont constitués très majoritairement de nitrate d'ammonium et d'un certain ratio de combustible liquide de type hydrocarbure. Ils ont connu un développement considérable dans les années qui ont suivi la Seconde Guerre mondiale. En dépit d'une vitesse de détonation relativement faible, les ANFO présentent deux avantages : ce sont des explosifs peu coûteux et stables. Du fait de leur faible sensibilité face aux agressions mécaniques, les nitrates fiouls sont chargés en vrac dans des trous de mine ou fabriqués sur site, dans des installations mobiles montées sur camion. Ils sont notamment utilisés pour abattre de grandes quantités de roches ou ameublir des terrains trop compacts pour les engins de terrassement.

– *Les explosifs bouillies* (« slurries ») et *les gels* : afin de répondre à un besoin d'explosifs pouvant être chargés en vrac dans un trou de mine vertical, même si ce dernier est rempli d'eau, le canadien Melvin A. Cook développa en 1958 une composition liquide contenant 10 à 15 % d'eau et sensibilisée par du TNT. Plusieurs compositions furent ensuite développées avec divers sensibilisants. Livrées en vrac (sacs ou conteneurs), elles ont véritablement l'aspect de bouillie et peuvent être versées ou pompées directement dans un trou de mine.

Les explosifs en émulsion, quant à eux, ont été mis au point aux États-Unis dans les années 1975-1980. Ils sont constitués d'une phase aqueuse saturée en nitrates oxydants dispersés dans une phase « grasse » combustible.

### Les explosifs militaires

Afin de satisfaire les besoins des forces armées, un grand nombre de molécules ont été développées. En fonction de l'usage final (chargement de munitions, explosifs plastiques...), elles peuvent être intégrées dans des formulations diverses, soit seules ou en mélanges, offrant ainsi un panel large et varié, tout en répondant aux exigences en termes de sécurité, d'efficacité ou d'aisance de mise en œuvre.

– *Les nitroaromatiques* : caractérisés par une fonction C-NO<sub>2</sub>, ils sont en général dérivés du toluène – le plus connu étant le TNT, obtenu par nitration du toluène et se présentant sous forme de cristaux jaune pâle. La mélinite ou acide picrique, quant à lui, est obtenu par nitration du phénol et se présente sous forme de cristaux jaune paille. Il a un caractère

particulièrement acide et attaque la plupart des métaux pour former des picrates métalliques très sensibles.

Le tétryl fut préparé par Karel Hendrik Mertens en 1877. Utilisé depuis 1906, notamment pour la confection des détonateurs, il a été fabriqué industriellement surtout depuis la Seconde Guerre mondiale, par nitration de la diméthylaniline.

– *Les esters nitriques* se caractérisent par une fonction C-ONO<sub>2</sub>. Citons tout d'abord la pentrite : obtenue par nitration du pentaérythritol, elle se présente sous forme de cristaux blancs et est sensible aux chocs et à la friction. La pentrite est utilisée pure dans les détonateurs et les cordons détonants, mais c'est aussi le principal constituant d'un grand nombre d'explosifs militaires de type plastique. On peut également mentionner la nitroglycérine, obtenue par nitration de la glycérine. Il en est de même pour l'éthylène glycol dont la nitration conduit à l'éthylène glycol dinitrate (EGDN).

– *Les nitramines* se caractérisent par une fonction N-NO<sub>2</sub>. Il y a tout d'abord l'hexogène, ou RDX, qui se présente sous forme de cristaux blancs. L'octogène ou HMX, quant à lui, est l'homologue supérieur de l'hexogène. Ces deux explosifs sont issus de la nitration de l'hexaméthylène tétramine. En mélange ou purs, ils sont essentiellement destinés à un usage militaire.

### Les explosifs artisanaux

Ces derniers sont élaborés à partir de composés d'usage courant. Leur caractère artisanal en fait des produits particulièrement dangereux, à la fois pour ceux qui les fabriquent, mais également pour leur entourage et les services d'intervention. Outre la mise en péril de leur propre intégrité physique, les personnes se risquant à la fabrication ou à la mise en œuvre de tels composés s'exposent également aux sanctions visées par la loi.

Cette première partie nous montre bien la grande variété de molécules recherchées par le spécialiste pour identifier la nature de la charge explosive utilisée lors d'un acte malveillant (*tableau II*). Disposer d'outils lui permettant de procéder aux investigations préliminaires s'avère donc nécessaire pour pouvoir fournir rapidement les premières informations aux diverses autorités impliquées dans le dispositif.

### Tri et observation, ou comment chercher l'intrus : une étape primordiale avant la détection

Avant de réaliser toute une série d'analyses, l'expert procède au tri et à l'observation méthodique des prélèvements collectés sur la scène d'infraction en s'appuyant sur des protocoles stricts. Il s'agit tout d'abord de reconnaître des fragments du dispositif meurtrier parmi ceux issus de la dégradation d'objets environnants. Puis en fonction de la nature et de la taille des éléments examinés, on emploiera les moyens de détection appropriés aux éléments macroscopiques (fragments métalliques, résidus de matière active...) ou microscopiques (traces...) relevés. À cette fin, les experts vont pouvoir s'appuyer sur un certain nombre d'outils et de techniques analytiques qui vont être présentées ci-après.

## Les méthodes analytiques

### Les techniques colorimétriques

Nécessitant peu de moyens, très rapides à mettre en œuvre, globalement sensibles, robustes et fiables, ces techniques constituent une excellente méthode d'orientation pour

Tableau II - Quelques explosifs secondaires.

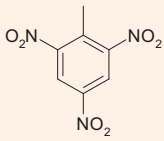
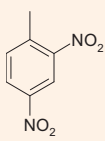
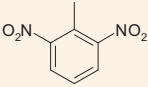
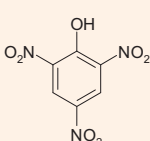
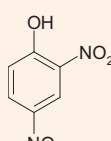
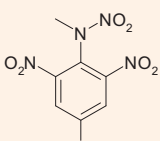
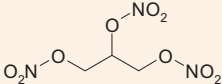
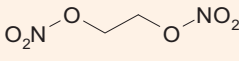
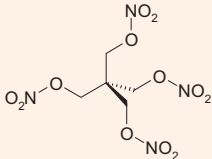
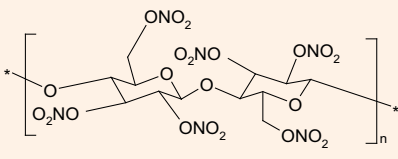
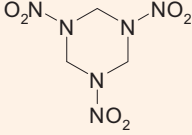
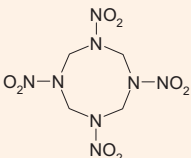
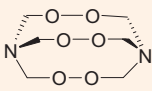
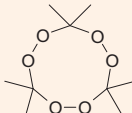
Explosifs de type nitroaromatique (désignation usuelle)					
					
TNT	2,4 DNT	2,6 DNT	TNP	2,4 DNP	Tétryl
Explosifs de type nitroester (désignation usuelle)					
					
Nitroglycérine	EGDN	Pentrite	Nitrocellulose		
Explosifs de type nitramine (désignation usuelle)					
					
RDX			HMX		
Explosifs de type peroxyde organique (désignation usuelle)					
					
HMTD			TATP		



Figure 2 - Vues générale et rapprochée de l'intérieur d'un coffre après explosion d'une charge explosive dans un véhicule..



Figure 3 - Fragments métalliques déformés par les effets d'une explosion..

caractériser une substance organique ou minérale associée à une composition explosive. Outils indispensables aux spécialistes en explosifs, ces tests sont complémentaires des

techniques analytiques plus récentes, également projetables sur le terrain.

Des tests commerciaux<sup>(2)</sup> permettent de balayer rapidement les différentes familles d'explosifs (screening) afin d'aiguiller d'autres tests colorimétriques de conception « maison ». Ces derniers, plus spécifiques, seront utilisés en vue d'affiner l'identification (figure 4).

L'utilité de ces tests n'est plus à prouver : outre un gain de temps opéré sur le terrain (en fonction des résultats obtenus, la mise en œuvre d'autres supports d'analyse sera adaptée), l'avantage réside également au niveau du laboratoire puisque la stratégie analytique de confirmation (dont l'objet est d'écartier tout risque de faux positifs et/ou négatifs) sera elle aussi adaptée, notamment grâce à cet important travail de tri effectué en amont.

#### Mise en évidence d'espèces organiques et minérales dans des compositions explosives [6-11]

S'appuyant sur la réactivité des fonctions ou groupements chimiques particuliers présents sur les molécules d'intérêt, ces tests conduisent à la formation de composés chimiques colorés (tableau III). Comme le montre la figure 5, les réactions colorimétriques peuvent être extrêmement spécifiques, permettant ainsi de distinguer différentes molécules de type nitroaromatique.





Figure 4 - Mallette colorimétrique développée au sein de l'IRCGN comprenant à la fois des tests colorimétriques commerciaux et des tests colorimétriques à façon.

Tableau III - Réactivité des composés d'intérêt.

Molécule ou ion cible (désignation usuelle)	Réactif(s) test(s) (désignation usuelle)	Couleur
Ion ammonium	Réactif de Nessler	Orange
Ion chlorate	Aniline	Bleu
Ion chlorure	Chromate ou nitrate d'argent	Blanc
Ion nitrate	N-(naphtyl-1)-éthylène diamine	Violet
Nitrate d'urée	Para-diméthyl-aminocinnamaldéhyde (p-DMAC)	Orange
Ion perchlorate	Bleu de méthylène	Bleu-violet
Ion potassium	Dipicrylamine	Orange
Soufre	Oxydation en milieu basique	Vert
Aluminium métallique (Al <sup>0</sup> )	Aurinetricarboxylate d'ammonium (après oxydation de Al <sup>0</sup> en Al <sup>+III</sup> )	Rouge
Peroxyde	Peroxydase/réducteur organique	Bleu
HMX (nitramines)	Thymol	Bleu-vert
RDX (nitramines)	Thymol	Bleu intense
Nitroesters	Diphénylamine	Bleu
TNP (nitroaromatique)	Hydroxyde de potassium	Orange
2,4 DNT (nitroaromatique)		Bleu
2,6 DNT (nitroaromatique)		Rose
1,3 DNB (nitroaromatique)		Violet
Tétryl (nitroaromatique)		Orange-marron
TNT (nitroaromatique)		Rouge

En complément de ces tests colorimétriques, un grand nombre d'appareils de détection transportables s'appuyant sur la spectroscopie ou la spectrométrie à mobilité ionique peuvent être employés. Des techniques chromatographiques, telle que la chromatographie sur couche mince, sont également utilisées.

### Les techniques chromatographiques

#### La chromatographie sur couche mince (CCM)

Une première révélation, non destructive, sous lampe UV, permet de mettre en évidence divers composés absorbant à la radiation excitatrice comme par exemple les nitroaromatiques. D'autres techniques de révélation chimique peuvent également être utilisées (révélation des esters nitriques, des nitramines ou des nitroaromatiques : réactif de Griess ; révélation des composés nitroaromatiques : réactif de Bratton-



Figure 5 - Mise en évidence des explosifs de type nitroaromatiques (TNP, 2,4 DNT, 2,6 DNT, 1,3 DNB, tétryl et TNT).

Marshall ; révélation d'amines présentes dans certaines poudres balistiques : réactif de Muraour). Facilité de mise en œuvre, faible coût ou encore obtention rapide du résultat constituent les principaux atouts de cette technique de choix.

## Encadré 2

## Les techniques spectroscopiques

• **La spectrométrie infrarouge ATR** : cette technique utilise un cristal avec un indice de réfraction élevé. Sous certaines conditions, ce cristal va être capable de réfléchir totalement une onde électromagnétique. Quand un échantillon capable d'absorber est en contact avec une phase totalement réfléchissante, l'intensité des radiations réfléchies à l'intérieur diminue aux longueurs d'onde absorbées par l'échantillon. Ces atténuations donnent donc un moyen de déterminer le spectre de l'échantillon. Un tel spectre est appelé spectre de réflexion interne ou spectre de réflexion totale atténuée.

• **La spectrométrie proche infrarouge** : la région du spectre correspondant au proche infrarouge s'étend de la limite supérieure du visible, c'est-à-dire de 770 jusqu'à 2 500 nm, soit de 13 000 à 4 000  $\text{cm}^{-1}$ . Dans ce domaine, les bandes sont constituées d'harmoniques ou de combinaisons de bandes fondamentales de vibrations se situant dans la gamme allant de 3 000 à 1 700  $\text{cm}^{-1}$ .

• **La spectrométrie à mobilité ionique** : l'échantillon à tester est chauffé au sein de l'appareil pour vaporiser les substances recueillies. Ces dernières pénètrent ensuite dans la zone de réaction, à travers une membrane, grâce à un flux porteur d'air propre et sec. Au sein de la zone de réaction se trouve une source radioactive ( $^{63}\text{Ni}$ ) qui est un émetteur  $\beta$ . Les particules émises permettent, par le jeu de diverses interactions, d'aboutir à la formation d'ions positifs et négatifs. Ces espèces chargées sont alors soumises à un champ électrique au sein duquel elles se déplacent à vitesse constante. Les espèces ionisées atteignent le collecteur dans un temps bien précis. C'est ce paramètre qui sert de base à l'identification des espèces analysées.

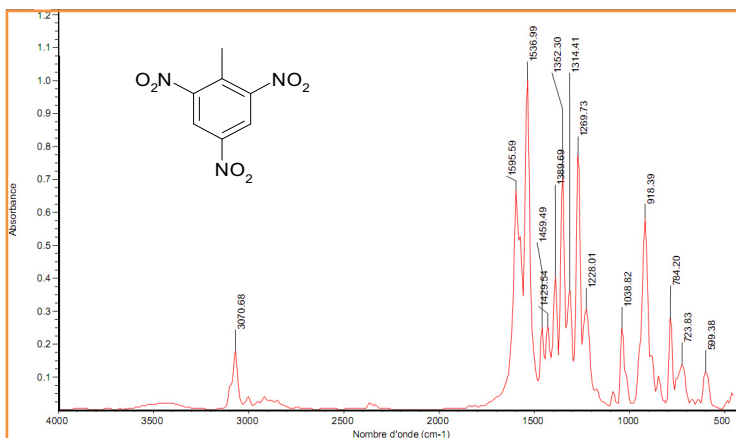


Figure 6 - Spectre infrarouge du TNT.

## Les techniques spectroscopiques

Certaines techniques spectroscopiques comme la spectrométrie infrarouge [12] ou proche infrarouge [13] peuvent également apporter les premières orientations nécessaires aux experts. À l'instar de la CCM, elles sont en général très rapides à mettre en œuvre et souvent non destructives, avantage non négligeable lorsque l'expert dispose de peu de matière.

Que ce soit pour l'analyse d'explosifs mais aussi celles de stupéfiants, de produits phytosanitaires ou encore de matériaux, il existe des appareils facilement transportables et s'appuyant sur ces technologies qui permettent de répondre rapidement aux besoins opérationnels.

## La spectrométrie infrarouge ATR

La spectrométrie par réflexion totale atténuée (ATR : « attenuated total reflectance ») est devenue ces dernières années une méthode standard de spectrométrie infrarouge (voir encadré 2).

Cette technique permet d'obtenir rapidement des spectres infrarouges dont l'interprétation renseigne sur la matière analysée (figure 6).

## La spectrométrie proche infrarouge

Contrairement à la spectrométrie dans le moyen infrarouge qui apporte notamment de nombreuses informations structurales, le domaine du proche infrarouge est principalement utilisé dans le cadre d'analyses qualitatives et/ou quantitatives (encadré 2).

L'appareil utilisé est le MicroPHAZIR<sup>TM</sup> de Polychromix, spectromètre portable travaillant dans la gamme du proche infrarouge. C'est un système analytique rapide qui permet d'identifier de nombreuses compositions explosives ainsi que d'autres éléments ayant une réponse dans ce domaine de longueurs d'onde (fibres, plastiques...).

Permettant d'effectuer une analyse sans ouvrir un conteneur (dépendant entre autres de son épaisseur et de sa réponse dans la gamme de longueurs d'onde utilisée : verre transparent par exemple), il s'agit d'une avancée majeure pour les spécialistes en explosifs, tant en termes de sécurité que d'efficacité.

## La spectrométrie à mobilité ionique

Fréquemment utilisée sur le terrain, la spectrométrie à mobilité ionique [14] permet de fournir de précieuses orientations, notamment pour l'identification des traces (encadré 2). Particulièrement simple à réaliser, le prélèvement est effectué par frottis au niveau de zones pertinentes à l'aide d'un support spécifique. Ce dernier est ensuite introduit dans l'appareil afin de procéder à l'analyse.

## Conclusion

Attentats, explosions, sécurité, voire sûreté, sont des termes forts à manier avec précaution dans un contexte géopolitique toujours plus sensible. Les moyens techniques développés pour faire face aux besoins sécuritaires de la population doivent donc être à la hauteur des enjeux. Tant au niveau des industriels que des laboratoires d'État accrédités, chacun doit évoluer en permanence : les uns pour fournir des technologies de plus en plus rapides et fiables en matière de détection et de caractérisation d'explosifs, les autres pour développer des méthodes ou des protocoles en vue de pouvoir appréhender de la meilleure façon possible des scènes de crime particulièrement complexes telles que les scènes d'explosion.

À cette fin, obtenir rapidement les éléments matériels pertinents nécessaires à la compréhension de l'évènement et à la recherche de ses causes est un enjeu majeur. En effet, outre l'importance de fournir aux enquêteurs les premiers éléments leur permettant de procéder aux investigations initiales, il est également nécessaire d'apporter des réponses aux autorités hiérarchiques, administratives ou judiciaires pour, à chaque niveau, prendre ainsi les mesures idoines.

Pour répondre à cette mission, il est donc fondamental de pouvoir disposer d'outils transportables, rapides à mettre en œuvre, non destructifs, et dont la diversité et la complémentarité permettent le croisement des résultats obtenus. Ces moyens et méthodes de détection d'explosifs de terrain réunies



Figure 7 - Présentation du laboratoire mobile (Lab'UNIC) développé au sein de l'IRCGN.

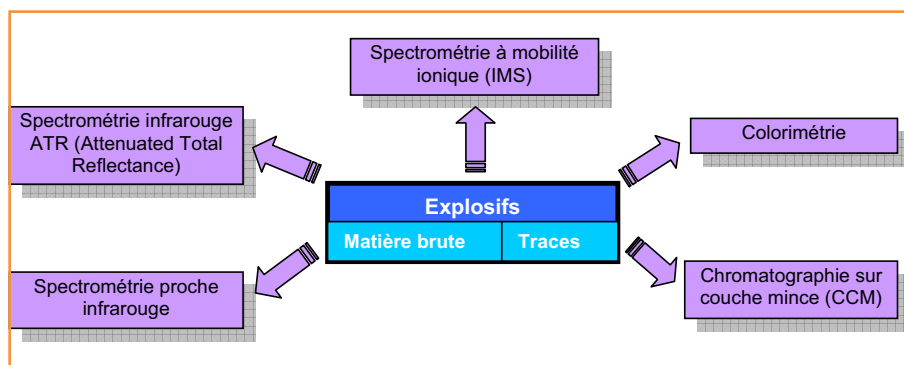


Figure 8 - Choisir une technique analytique adaptée à l'élément à analyser (matière brute, trace...).

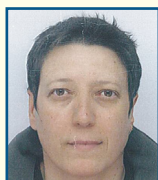
au sein du plateau technique pluridisciplinaire de l'IRCGN sont désormais incontournables pour la mise en évidence d'éléments matériels pertinents nécessaires à la compréhension du sinistre. Ainsi, les experts et les moyens techniques de l'IRCGN sont projetables en France ou à l'étranger, que ce soit dans le cadre de l'investigation post-attentat ou plus généralement dans d'autres domaines de la criminalistique (stupéfiants, armes à feu, empreintes digitales...) pour lesquels la chimie, pour ne citer qu'elle, joue un rôle majeur.

### Notes et références

- (1) Gargousse : cartouche de recharge de la poudre à canon.
- (2) Les tests commerciaux principalement utilisés au laboratoire sont les tests Dropex<sup>®</sup> commercialisés par E2SEC Technologies, les tests Identia<sup>®</sup> commercialisés par Isis Analytics, ou encore les tests bandelettes commercialisés par Merck.
- [1] Quinchon J., *Les Explosifs*, Lavoisier, 2<sup>e</sup> éd., 1987.
- [2] Akhavan J., *The Chemistry of Explosives*, RSC Publishing, 1998.
- [3] Duguet J.R., *Les Explosifs primaires et les Substances d'initiation*, Masson, 1984.
- [4] Quinchon J., Tranchant J., Nicolas M., *Les Poudres pour Armes*, Lavoisier, 2<sup>e</sup> éd., 1986.
- [5] Groupe de travail de pyrotechnie, *Dictionnaire de Pyrotechnie*, 4<sup>e</sup> éd., 1994.
- [6] Jungreis E., *Spot Test Analysis*, Wiley, 2<sup>nd</sup> ed, 1985.
- [7] Charlot G., *Les réactions chimiques en solution – L'analyse qualitative minérale*, Masson, 1969.
- [8] Charlot G., *Analyse qualitative rapide des cations et des anions*, Dunod Université, 1980.
- [9] Ledroit P., *Détection colorimétrique de produits stupéfiants ou explosifs et confirmation par analyse infrarouge (FTIR) ou UV*, Rapport de stage de 3<sup>e</sup> année d'étude à l'ENSCL, 2006.
- [10] Yionon J., *Forensic and environmental Detection of Explosives*, John Wiley & Sons, 1999.
- [11] Yionon J., Zitirin S., *The Analysis of Explosives*, Pergamon Press, 1981.
- [12] Baurecht D., Reiter G., Hassler N., Schwarzott M., Fringeli U.P., Application of special FTIR ATR techniques for quantitative structural analysis of thin surface layers, *Chimia*, 2005, 59, p. 226.
- [13] Skoog D.A., Holler F.J., Nieman T.A., *Principes d'Analyse instrumentale*, DeBoeck Université, 5<sup>e</sup> éd., 2003.
- [14] Fuche C., Deseille J., La spectrométrie à mobilité ionique pour détecter les stupéfiants et les explosifs, *L'Act. Chim.*, 2010, 342-343, p. 91.



Y. Marchal



F. Martinez



D. Gardebas



J.-F. Errard



J. Escrich



B. Frère



G. Cognon



P. Ledroit

**Yann Marchal** (auteur correspondant) est responsable de l'unité d'expertise Explosifs à l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)\*, au sein de laquelle travaillent également **Fabienne Martinez**, **Dominique Gardebas**, **Jean-François Errard** et **Jérôme Escrich**. **Bertrand Frère** et **Guillaume Cognon**, son adjoint, sont responsables du département Environnement, Incendie et Explosifs (IRCGN)\*. **Pierre Ledroit** travaille au sein du département Empreintes digitales (IRCGN)\*.

\* IRCGN, 1 boulevard Théophile Sueur, F-93110 Rosny-sous-Bois.  
Courriel : yann.marchal@gendarmerie.interieur.gouv.fr