

# Laboratoire sur le terrain au profit de l'enquête

D'après la conférence de Sandrine Pereira-Rodrigues

*Sandrine Pereira-Rodrigues dirige depuis 2011 la section d'intervention des produits inconnus du pôle Explosifs, Intervention, Risques chimiques du Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP)<sup>1</sup>. Elle est experte auprès de la cour d'appel de Paris dans le domaine de la criminalistique et a rejoint le LCPP en 2004 après un certain nombre d'affectations dont le déroulement de ses travaux de doctorat à la délégation générale pour l'armement au centre d'étude du Bouchet (DGA Maîtrise NRBC), spécialisé notamment dans le domaine des armes chimiques de guerre.*

## 1 La sécurité liée aux risques chimiques dans les grandes métropoles

Comment garantir ce besoin et cette nécessité sécuritaire dans des métropoles qui concentrent de hautes densités de population et une importante activité éco-

nomique ? Paris et sa petite couronne possèdent une population de près de sept millions d'habitants ; la seule capitale voit transiter *via* ses réseaux de transports environ dix millions de voyageurs chaque jour. Il est alors aisé d'imaginer les conséquences, dans ces environnements urbains qui concentrent une

1. Le LCPP est un organisme scientifique pluridisciplinaire placé sous l'autorité du Préfet de Police qui intervient à Paris et en petite couronne sur toutes les questions de sécurité des personnes et des biens, de salubrité et de pollution (site : [www.lcpp.fr](http://www.lcpp.fr)). Voir le [Chapitre de P. Carlotti](#), directeur du LCPP, dans *Chimie et expertise, sécurité des biens et des personnes*, coordonné par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny, EDP Sciences, 2014.

haute activité, d'un incident ou d'un acte de malveillance mettant en œuvre une substance chimique, les dommages qui seraient occasionnés aux infrastructures et aux personnes, notamment en termes de désorganisation de la vie économique, mais également les conséquences du sentiment de panique qui serait engendré. En quelques clics, en quelques secondes, des images, des vidéos, des informations peuvent être transférées aux quatre coins du monde et venir alimenter un sentiment de peur qui se sera répandu de manière instantanée *via* les réseaux de communication.

Dans ce contexte urbain, on peut légitimement s'interroger sur la problématique du risque « chimique » et la menace qu'il représente dans notre quotidien. La chimie est à l'origine de la vie, elle est omniprésente dans notre environnement, elle est perçue comme source de bien-être, de confort et est un facteur d'amélioration et de progrès. Toutefois, les produits chimiques, du fait de leurs caractéristiques physico-chimiques (réactivité, inflammabilité, toxicité, corrosivité), représentent un risque pour l'homme et son environnement.

Dans un usage normal, les activités de nature chimique sont cadrées par des processus contrôlés et par des réglementations établies et adaptées ; ces dispositions sont destinées à limiter et prévenir les accidents ou incidents. Toutefois, il est possible de gérer les risques mais pas de les supprimer totalement : les

erreurs humaines et les problèmes techniques ouvrent la porte à l'imprévu. Lorsque le risque chimique ne peut plus être maîtrisé, quels que soient les processus ou les réglementations existants ou appliqués, la chimie ne constitue alors plus un risque mais une réelle menace, susceptible d'occasionner des blessés, des morts, des dommages aux bâtis et aux structures, ainsi qu'à l'environnement.

Des incidents sont signalés régulièrement dans différents pays et des quatre continents, et ce, quel que soit le niveau d'industrialisation du pays concerné. Ainsi, on peut citer l'incident survenu récemment à l'usine Lubrizol de Rouen en 2013 qui a occasionné des émanations d'importantes quantités de mercaptan<sup>2</sup>, produit soufré à l'odeur nauséabonde. Ces nuisances olfactives, invisibles à l'œil nu et sans risque pour les personnes du fait des faibles teneurs, ont été ressenties jusqu'en région parisienne et dans le sud de l'Angleterre. Elles avaient suscité de vives inquiétudes abondamment relayées par les réseaux sociaux avec plus de 10 000 appels reçus en une nuit par les seuls sapeurs pompiers de Paris.

Les cas d'épandage de substances chimiques dans l'environnement, que ce soit suite à des fuites de récipients ou de réservoirs, sont multiples et nous pouvons en citer

---

2. Le mercaptan, « qui capte le mercure » (car réagit avec les ions  $Hg^{2+}$ ) est un composé organique comportant un groupement thiol  $-SH$  (groupement sulfhydryle).

quelques exemples. Ainsi, en 2010, en Hongrie, les écoulements de boues usagées toxiques utilisées pour l'extraction de l'aluminium dans la bauxite, contenant de hautes teneurs d'arsenic et de cyanure, sont à l'origine du décès de trois personnes, ainsi que de plusieurs centaines de blessés.

En Nouvelle-Calédonie, en 2009, un déversement de plusieurs dizaines de milliers de tonnes d'acide sulfurique dans une rivière est à l'origine de dommages majeurs au niveau de la faune et de la flore.

Rappelons que la survenue des marées noires occasionnent de véritables désastres écologiques, tel que le tristement célèbre naufrage de l'Erika en 1999, qui transportait plus de trente mille tonnes de fioul qui se sont déversées dans l'océan, souillant quelque 400 km de nos côtes bretonnes et engluant mortellement près de 300 000 oiseaux.

Citons également l'explosion de l'usine AZF en 2001 à Toulouse (explosion d'un stock d'engrais constitué de nitrate d'ammonium), qui entraîna la mort d'une trentaine de morts, fit plusieurs milliers de blessés et de lourds dégâts matériels. La détermination des causes et circonstances de cet accident a fait l'objet d'opérations d'expertises approfondies. Enfin, il convient d'évoquer les accidents de transport, comme en Belgique, en 2013, où suite au déraillement d'un train transportant des wagons citernes contenant de l'acrylonitrile, les émanations

toxiques qui se sont dégagées suite à l'explosion des récipients et à la combustion des substances ont amplifié les pertes humaines occasionnées. De manière plus générale, chaque année, des citernes transportant des produits chimiques inflammables ou pas, sont accidentés, que ce soit sur la voie routière ou sur la voie ferroviaire ; ils occasionnent des dommages aux infrastructures situées à proximité, aux habitations, ainsi que des décès dans la population.

En dehors de ces événements accidentels, en cas de détournement des produits ou des processus, des actions humaines délibérées peuvent être à l'origine d'événements très meurtriers car destinés à l'être, et aux conséquences matérielles importantes.

Ces actes peuvent être réalisés à des fins notamment de profits financiers, dans le cadre de trafics de drogues, dont la synthèse peut de surcroît être réalisée avec des processus qui sont parfois mal maîtrisés, ce qui entraîne un risque d'explosion de ces laboratoires clandestins ou un danger pour les consommateurs de ces drogues de mauvaise qualité (**Figure 1**).

Ces actes peuvent aussi être perpétrés dans un contexte de malveillance ou d'intention de nuire, pour engendrer le sentiment de peur. Rappelons la crise des poudres à l'anthrax en 2001, qui causa trois décès aux États-Unis. L'anthrax est une bactérie qui peut être transportée sur un support inerte tel que la farine, le sucre ou le plâtre.



**Figure 1**

*Le risque chimique lié aux laboratoires clandestins, à la malveillance, aux menaces, agressions,...*

Source : LCPP.

La survenue de ces trois décès, relayée dans les media, a inspiré des idées malveillantes ou des plaisantins aux quatre coins du monde où des enveloppes contenant des poudres ont été reçues par des autorités, des institutions ou des personnalités. En France, entre septembre et novembre 2001, environ 4 300 cas d'enveloppes contenant des poudres suspectes qui, bien que toutes inoffensives, ont dû être traitées, avec les coûts et les conséquences que l'on peut imaginer pour les laboratoires associés à ces enquêtes et l'engorgement des structures d'analyse.

Les produits chimiques peuvent également être détournés de leur usage normal en vue d'élaborer des armes, afin d'exercer une pression sur les autorités ou sur la population, pour défendre des idées politiques ou des croyances religieuses dans le cadre d'actes terroristes, par exemple des engins explosif improvisés, des armes chimiques,...

Par ailleurs, la disponibilité et l'accessibilité des produits dans les commerces favorisent leur mise en œuvre par des personnes psychologiquement déséquilibrées à l'encontre des citoyens.

## 2 L'enquête sur le terrain

### 2.1. L'enquête au service de la sécurité

En cas de survenue d'accident ou d'incident à caractère chimique, de nature accidentelle ou provoqué

par l'homme, des plans et des dispositifs d'intervention des services de secours et de police sont déployés. Afin d'apporter une réponse adaptée à l'événement et conseiller efficacement les autorités et services de secours, il est nécessaire d'identifier rapidement la ou les substances mises en œuvre, établir l'origine du sinistre ou de la malveillance afin d'en limiter les conséquences (*Figure 2*).

En effet, les soins dispensés aux victimes sont fonction de la substance à laquelle elles ont été exposées et que les seuls symptômes ne permettent pas d'identifier, que ce soit suite à un contact direct avec la peau ou les yeux, ou suite à l'inhalation ou encore l'ingestion d'une substance.

Il est nécessaire de mettre en place des moyens efficaces de neutralisation et de décontamination des lieux pour permettre un retour à la normale et participer à la sécurité et à l'efficacité des intervenants sur le terrain (services de secours et police) par le conseil du port de tenues de protection adaptées au risque identifié.

### 2.2. L'enquête au service de la justice

L'enquête qui se joue à la suite ou en parallèle de la sécurisation est un acte de police scientifique qui a pour objectif d'établir rapidement les causes et origines de l'événement afin d'apporter une aide à la justice (*Figure 3*). En cas de malveillance avérée ou largement suspectée, des actes complémentaires de po-



Figure 2

Déploiement des différents dispositifs de secours (police, SAMU, pompiers...).

Source : Préfecture de Police.

lice scientifique sont à réaliser afin de constituer la preuve d'un acte d'infraction, retrouver et confondre l'auteur ainsi que prévenir et limiter la récurrence du phénomène.

Pour apporter une aide à la justice et contribuer ainsi à la protection des citoyens, les délais de réponse aussi courts que possible sont un critère extrêmement important. Que ce soit pour les primo-intervenants ou pour les autorités, il faut donc identifier rapidement les substances chimiques employées pour évaluer notamment la dangerosité et le risque encouru, que ce soit pour les populations impliquées ou pour les intervenants eux-mêmes. Cela permet de :

- limiter les conséquences socio-économiques et l'impact sur l'activité économique : plus rapidement la substance sera connue, plus rapidement les

lieux seront rendus à la vie normale ;

- aider les secours et les autorités à la prise de décisions sur la base d'éléments matériels et concrets issus des résultats d'analyse.

Les informations transmises vers les autorités et les médias permettent d'enrayer également le phénomène de peur ou de psychose que l'inconnu peut alimenter. Par exemple, dans le cas de l'incident de l'usine Lubrizol, seule la communication des résultats des mesures de polluant effectuées dans l'atmosphère de la région parisienne a permis de rassurer et d'apaiser les populations exposées.

L'identification des produits se fait habituellement sur des prélèvements qui sont constitués sur le terrain puis conditionnés et transportés vers les structures des laboratoires d'expertise compétents, et en



Figure 3

L'enquête sur le terrain par la police scientifique doit être réalisée dans des délais courts afin d'aider efficacement la justice.

Source : Préfecture de Police.

Figure 4

Le LCPP dispose de laboratoires d'analyses et d'expertises dans le domaines des explosifs, des incendies, et de l'identification de tout type de substances, dans tout type de matrice (liquide, solide ou gazeuse).

Source : Préfecture de Police.



cas d'actes malveillants avérés, vers les laboratoires du réseau national des laboratoires BIOTOX-PIRATOX dont fait partie le laboratoire central de la Préfecture de Police. L'ensemble de ces laboratoires est capable d'identifier la menace et lever le doute sur l'inconnu (domaine des explosifs, des incendies et du produit chimique inconnu), quel que soit le type de substance et quel que soit le type de matrice<sup>3</sup> (liquide, solide ou gaz), et ce, en déployant des techniques analytiques de pointe selon une démarche expertale (Figure 4).

### 3 Le laboratoire mobile embarqué

L'obligation d'analyser les prélèvements dans les laboratoires d'expertise nécessite leur transport, ce qui peut gêner l'enquête car induit un délai dans la réponse attendue. En cas de survenue d'un événement en dehors

des heures d'activités de la plupart des laboratoires de police scientifique (soirée, nuits, week-ends et jours fériés), le délai de réponse peut alors s'accroître de manière importante, même en faisant appel aux laboratoires de police scientifique qui dispose d'astreintes.

Pour réduire les délais, il s'agirait donc de supprimer le transport et de pouvoir apporter rapidement, en cas de besoin, les capacités d'analyse sur le terrain, c'est-à-dire des personnels compétents et des analyseurs performants.

La réponse apportée à cette nécessité est la création d'un laboratoire mobile intégré dans un véhicule utilitaire peu encombrant, capable de se déplacer rapidement malgré les contraintes urbaines de l'agglomération parisienne pour rejoindre la scène et procéder aux analyses sur le terrain.

Le laboratoire mobile embarqué du laboratoire central de la Préfecture de Police est une unité d'intervention d'urgence qui dispose des compétences d'un laboratoire d'expertise analytique (Figure 5). Il peut être sollicité 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, il intervient dans

3. L'influence de l'environnement chimique d'un atome est appelé effet de matrice. Il est commode de distinguer dans tout échantillon, quel qu'il soit, les deux termes suivants : l'analyte (ce que l'on cherche à déterminer) et tout le reste, qui est la matrice.



des délais très courts. Il est mobilisable sur l'ensemble de la région parisienne (Paris et petite couronne : 75, 92, 93 et 94), mais peut intervenir à la demande des autorités sur un secteur élargi (Grand Paris, incluant 77, 78, 91 et 95). Il est également susceptible d'être projeté sur des missions à l'échelle nationale.

Ce véhicule et ses matériels sont mis en œuvre par des personnels experts chimistes polyvalents, formés aux exigences du terrain. Ils sont formés pour travailler en conditions dégradées (environnement hostile, urgence, stress,...), et également pour procéder à des prélèvements en zone contaminée équipée des EPI (équipement de protection individuel) adaptés en fonction du risque encouru.

Le véhicule aménagé est équipé comme un laboratoire, de paillasse et de hottes, et

de tous les équipements de « pointe » permettant de procéder à la détection et à l'identification des substances. Il est électriquement autonome car il dispose d'un groupe électrogène, et peut donc être « posé » en pleine nature et travailler pendant plusieurs heures sans nécessiter un apport d'énergie extérieure. Il est aussi connecté au réseau Internet afin de faciliter l'accès aux bases documentaires techniques et permettre l'échange des informations vers les autorités.

Les personnels qui pilotent cette unité technique mobile appliquent une méthodologie d'analyse rigoureuse, validée et adaptée aux contraintes du terrain. Les matériels dont est équipé le laboratoire mobile permettent de déployer une méthodologie qui s'effectue en deux temps : des détections de premier niveau, qui sont

**Figure 5**

*Laboratoire mobile embarqué dans lequel les experts chimistes peuvent réaliser des analyses.*

Source : LCPP.

suivis d'une identification des produits.

### 3.1. Détection et évaluation du risque chimique

Il s'agit dans la phase de détection d'évaluer le risque radiologique, biologique et chimique (RBC) par la mise en œuvre de capteurs qui répondent de manière plus ou moins spécifique en présence des substances présentes. Nous nous intéresserons présentement uniquement aux détecteurs chimiques dits de premier niveau. Le **Tableau 1** présente quelques-uns des détecteurs non spécifiques tels que les détecteurs de COV (composés organiques volatils) qui signalent la présence d'une substance

dans l'atmosphère sans pouvoir toutefois en identifier la nature ; ils permettent d'établir un périmètre autour de la zone à risque ou de localiser la source d'émission. Les oxygéno-mètres et les explosimètres offrent par ailleurs une fonction sécuritaire pour les personnels.

Bien que non spécifiques, certains détecteurs ou tests de terrain permettent une orientation vers l'identification, en établissant la famille d'appartenance de la substance recherchée (**Tableau 2**). Il convient alors de prendre en compte les risques d'interférences et de faux-positifs lors de l'usage de ces moyens, l'interprétation des réponses

**Tableau 1**

Détecteurs mis en œuvre sur le terrain pour évaluer le risque chimique.




Explosimètre (gaz et liquides volatils) Composés inflammables	 <p><i>Gazmètre, GM1</i></p>
Oxygéno-mètre	 <p><i>Industrial Scientific</i></p>
PID : détecteur à photo-ionisation FID : détecteur à ionisation de flamme (gaz et liquides volatils) Composés Organiques Volatils	 <p><i>MiniRAE</i> <span style="float: right;"><i>SEWERIN</i></span></p>



Tableau 2

Détecteurs mis en œuvre sur le terrain pour retrouver la famille du produit chimique.

<p>Cellules électrochimiques spécifiques (gaz et liquides volatils) monoxyde de carbone CO, ammoniac NH<sub>3</sub>, acide cyanhydrique HCN, hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S, chlore Cl<sub>2</sub></p>	 <p>Industrial Scientific</p>
<p>AP4C : photométrie de flamme (gaz et liquides) Phosphore, Soufre, Arsenic, Composés azo- tés, Composés Organiques Volatils (gaz et liquides)</p>	 <p>Proengin</p>
<p>Bandelettes colorimétriques spécifiques et papier pH (ions dans liquides ou solides solubilisables)</p>	
<p>Tubes colorimétriques spécifiques (gaz et liquides volatils) jusqu'à 34 composés</p>	 <p>Draeger</p>

obtenues est effectuée par des chimistes qualifiés.

### 3.2. Identification des produits sur le terrain

Les équipements permettant l'identification sont de conception analogue aux appareils matériels de laboratoire classique et possèdent des performances analytiques comparables tout en répondant aux exigences de portabilité requise pour des maté-

riels de terrain. L'équipement permet de répondre à des besoins d'analyse de substances organiques et minérales dans tous types de matrice. Il comporte des matériels compacts et robustes qui doivent être peu gourmands en énergie et doivent notamment pouvoir supporter les éventuels chocs lors des déplacements du camion.

Les principaux appareils d'identification employés sont indiqués dans le [Tableau 3](#).

Tableau 3

Exemples de matériels couramment utilisés par le laboratoire mobile.

Spectrométrie Infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) (liquides et solides) – (gaz et liquides volatils)	 <p>Smiths detection</p>	 <p>Gasmot</p>
Spectrométrie de fluorescence X dispersif énergie (liquides et solides)	 <p>Bruker</p>	
Spectrométrie Raman (liquides et solides)	 <p>AHURA</p>	
Chromatographie en phase gazeuse couplée à de la spectrométrie de masse (CPG/SM) (gaz et liquides volatils)	 <p>Inficon</p>	 <p>Bruker</p>

### 3.3. Les prélèvements

L'équipe sur le terrain doit pouvoir effectuer un prélèvement intègre et représentatif des agents chimiques mis en œuvre, sans altération de sa nature et de ses caractéristiques. Une bonne analyse sur un prélèvement réalisé néanmoins de manière incorrecte ou mal conservé peut avoir des conséquences néfastes sur la bonne conduite des investiga-

tions. Le prélèvement doit pouvoir être au besoin conservé afin de constituer une preuve ou être destinée à des analyses complémentaires en laboratoire d'expertise.

La stratégie de prélèvement, le conditionnement et la conservation sont donc des points essentiels sur le terrain, au préalable de l'analyse. Le conditionnement adéquat est réalisé par des person-



Figure 6

Divers kits de prélèvement pour assurer un prélèvement intègre et représentatif.

A) Gaz et vapeurs : pompes, poches en matière souple de un à deux litres et tubes absorbants (charbon actif, gel silice, polymères type Tenax®) ; B) Liquide et solides : emballage adapté (verre, plastique, étanchéité).

Sources : trois dernières photos :  
Préfecture de police.

nels qualifiés. Pour cela, ils disposent de différents types d'emballages adaptés au type de matrice à prélever (**Figure 6**) : par exemple, pour les gaz et les vapeurs, les agents disposent de poches en matières souples de un à deux litres, de tubes absorbants (charbon actif, gel de silice, polymères du type Tenax®). Pour les liquides et les solides, on utilisera des bouchons étanches en verre ou en plastique.

#### 4 Un exemple d'enquête explosive

Illustrons la méthodologie et le fonctionnement du laboratoire d'analyse mobile sur une scène de crime en présentant un cas fictif mais néanmoins inspiré de faits réels.

##### 4.1. Le contexte

Vers 06 h 30, un dimanche matin, dans une zone pavillonnaire très tranquille, une forte explosion fait trembler tout le quartier. Les services

de secours, sapeurs pompier, SAMU et police sont alertés, un périmètre de sécurité est établi. Les démineurs du LCPP sont appelés et arrivent rapidement sur place, ils procèdent à la sécurisation conjointement aux équipes d'intervention qui ont établi un périmètre de sécurité. Le siège de l'explosion est rapidement identifié : un cabanon situé dans le jardin de l'un des pavillons (**Figure 7**).

Il est important de toujours penser en termes de sécurité dans le cadre d'une intervention sur explosion, la prise en compte du contexte est primordiale.

Les premiers éléments apportés par une rapide enquête réalisée dans le voisinage font apparaître que : l'occupant des lieux est un individu âgé d'environ trente-cinq ans, qui vit seul dans la grande maison familiale depuis le décès de ses parents dans un accident survenu une dizaine d'années auparavant. Doctorant en chimie analytique dans une

**Figure 7**

Explosion signalée dans un cabanon de jardin : alerte des services de secours et de police (SAMU, Sapeurs-Pompiers,...), intervention des démineurs, des enquêteurs techniques post-explosion du LCPP et du laboratoire d'analyse mobile.

Source : Préfecture de Police.

**Figure 8**

Reconstitution en terrain d'essai de l'explosion survenue, sur la base des constatations techniques réalisées à partir des images de vidéosurveillance (effets de souffle et thermiques, projections).



université parisienne, il a alors brutalement abandonné ses travaux de recherche. Sans emploi, taciturne, voire perturbé, il mène depuis une vie assez solitaire ; il ne reçoit pas et ne fréquente pas son voisinage. Ses proches voisins signalent qu'il effectue de nombreux allers-retours nocturnes depuis la maison vers le cabanon dans lequel il passe beaucoup de temps. Les opérations de reconnaissance qui sont effectuées conjointement par les démineurs et par les services de secours permettent de retrouver l'occupant couché sur l'herbe à côté du cabanon. Il est gravement blessé, inanimé, il présente des blessures sur tout

le corps, notamment des brûlures au niveau des cheveux. Il est en détresse respiratoire, son avant-bras droit a été arraché, son torse et la face avant de ses cuisses comportent des traces de multi-impacts, et son bas-ventre est également déchiré. Il est évacué rapidement vers les services hospitaliers.

Une prise de contact dans les heures qui suivent avec les services municipaux permet aux services de police de récupérer un enregistrement effectué par les caméras de vidéosurveillance de la ville ; il permet de visualiser le cabanon du jardin et de constater que l'explosion a été relativement importante (**Figure 8**). On observe lors de l'explosion la formation d'une boule de feu (effets thermiques), des effets de souffle (poussée des cloisons) et des projections de débris, y compris métalliques, sur de grandes distances, ainsi que des effets thermiques.

#### 4.2. Les dommages constatés sur le lieu de l'explosion : l'intérieur du cabanon

Les démineurs du LCPP poursuivent la sécurisation des lieux, en synergie avec l'équipe d'investiga-



**Figure 9**

*Photos des lieux de l'explosion,  
à l'intérieur du cabanon.*

Source : Préfecture de Police.

tion du laboratoire central (Permanence générale) chargée de mener l'enquête technique sur les lieux (**Figure 9**). Ils constatent à l'intérieur du cabanon les conséquences de l'explosion : la projection d'une multitude de petits débris partout sur de grandes distances, des cloisons qui ont été poussées de manière importante, des fenêtres et la porte qui ont été arrachées de leurs gonds ainsi

que la porte, et des traces de carbonisation relativement limitées mais plus marquées au niveau du côté droit du canapé. L'ensemble des constatations conduit très rapidement à suspecter dans le cadre de cette explosion la mise en œuvre d'explosifs et permet d'exclure l'hypothèse que l'explosion soit consécutive à une fuite de gaz naturel. En effet, les dommages constatés sont caractéris-

tiques de la mise en œuvre de matière explosive, les blessures présentées par la victime confirment également cette hypothèse. La suspicion d'usage d'explosif se trouve avérée lors des inspections qui sont réalisées dans le reste de la maison.

#### 4.3. L'inspection et la sécurisation des lieux par les démineurs

L'inspection des lieux permet de constater la présence de grandes quantités de produits chimiques entreposés dans le sous-sol de la maison, dans la cuisine et dans la salle de bains. Il s'agit de produits qui sont facilement accessibles car ils peuvent être achetés en grandes et moyennes surfaces (**Figure 10**) : de l'acétone, de l'acide sulfurique, de l'eau oxygénée, des nitrates, des chlorates, des engrais. Les emballages des produits étant relativement intègres voire non entamés, leur contenu est donc identifié et ne nécessite pas une vérification analytique.

Les produits retrouvés entrent dans la fabrication d'explosifs artisanaux<sup>4</sup> ou dans l'élaboration de mélange explosifs avec parfois ajout de produits de consommation (sucre, café, farine,...). Un explosif artisanal peut être préparé suite à une synthèse ou à la réalisation d'un mélange relativement simple obtenu à partir de produits achetés dans le commerce. L'explosif obtenu peut posséder des propriétés extrêmement puissantes par les dommages qu'il peut occasionner. La seule limite malheureusement dans la fabrication et la mise en œuvre de ces explosifs, dont

**Figure 10**

*Au cours de l'inspection/sécurisation par les démineurs du LCPP, de très nombreux produits chimiques sont retrouvés dans le cabanon et dans le sous-sol de la maison (produits de laboratoire et de commerce), et notamment des précurseurs d'explosifs artisanaux.*



4. D'après l'Article L2353-4, modifié par Loi n°2005-1550 du 12 décembre 2005 - art. 12 JORF 13 décembre 2005, sont punies d'un emprisonnement de cinq ans et d'une amende de 3 750 € : 1) la fabrication, sans autorisation, d'un engin explosif ou incendiaire ou d'un produit explosif, quelle que soit sa composition ; 2) la fabrication de tout autre élément ou substance destinés à entrer dans la composition d'un produit explosif. Les peines sont portées à dix ans d'emprisonnement et à 500 000 € d'amende lorsque l'infraction est commise en bande organisée. La peine privative de liberté encourue par l'auteur ou le complice des infractions prévues au présent article est réduite de moitié, si ayant averti l'autorité administrative ou judiciaire, il a permis de faire cesser les agissements incriminés et d'identifier, le cas échéant, les autres auteurs ou complices. Le projet de loi présenté en juillet 2014 vise à renforcer l'arsenal juridique français dans la lutte contre les actes de terrorisme, par le renforcement du code pénal prenant en compte l'interdiction de diffusion de procédés permettant la fabrication d'engins explosifs et la notion d'entreprise terroriste individuelle.

les recettes sont diffusées sur les sites Internet, est l'imagination des auteurs qui en subissent parfois les conséquences, en cas d'accidents dangereux voire mortels.

Certains des explosifs artisanaux peuvent également être très sensibles à un choc ou à une variation de température : par exemple, placer au réfrigérateur la préparation et l'en sortir pourrait initier l'explosion.

Par ailleurs, de la verrerie de laboratoire, dont certains récipients contiennent des préparations non identifiables, est également retrouvée sur les lieux. L'ensemble de ces éléments permet d'établir que

nous sommes en présence d'un laboratoire d'explosifs que l'on peut qualifier d'artisanal ou de « fait-maison » (home made). Dans la cuisine et la salle de bains, on retrouve des récipients et des produits de toutes natures (**Figure 11**) : des moules à gâteaux remplis avec des poudres de couleur orangée, d'autres avec de la poudre brunâtre, des boîtes de poudres chocolatées qui contiennent une poudre blanche, des sacs blancs remplis de petits granules blancs sans aucune mention, ou encore, dans des petits ramequins placés dans le réfrigérateur, de la poudre blanche légèrement cristallisée, ainsi que des blocs informes d'une



Figure 11

Des produits (poudre blanche, orange...) et récipients (moules à gâteaux, sacs plastique...) retrouvés sur le lieu de l'explosion témoignent de la présence d'un laboratoire improvisé.

matière souple légèrement élastique dont l'aspect évoque des galettes alimentaires.

#### 4.4. Analyse sur le terrain en vue de l'identification des substances trouvées

Le risque explosif des substances chimiques étant suspecté, il est nécessaire d'identifier la nature des produits qui ont été trouvés sur les lieux par les démineurs et établir leurs éventuelles caractéristiques pyrotechniques (sensibilité,...) afin de décider des suites des opérations à mener : notamment la manipulation des produits et la poursuite des opérations de perquisition pour les services de police dans un environnement qui doit avoir été sécurisé.

L'assistance technique du laboratoire mobile est donc demandée. Par mesure sécuritaire, les démineurs effectuent des prélèvements de quantités infimes des produits, qui sont transmis au fur et à mesure au laboratoire mobile. Ce dernier est positionné en base arrière, dans la rue, prend en charge les prélèvements et effectue en premier lieu une levée de doute quant au danger présenté par les produits (émissions de radiations, de vapeurs toxiques,...) puis poursuit les analyses en vue d'identification. En fonction du danger présenté par le produit, les intervenants restent équipés des EPI (Equipements de Protection Individuels) adaptés ; ainsi, en cas d'émanations toxiques avérées, le produit est manipulé sous hotte exclusivement et les intervenants s'équipent d'un

masque de protection respiratoire filtrant

L'identification des substances se fait selon un protocole d'analyse qui est fonction de la matrice présentée par le produit. Les techniques appliquées sont rapides, non destructrices, et ne nécessitent que de faibles quantités d'échantillon. Dans le cas présent, nous sommes essentiellement en présence de produits solides ou de poudres. Les analyses font alors appel aux méthodes d'infrarouge par transformée de Fourier<sup>5</sup> (IRTF), de la spectrophotométrie Raman<sup>6</sup>, et pour l'aspect minéral, de la fluorescence X<sup>7</sup> de terrain (**Figure 12**) est mise en oeuvre.

De manière générale, l'analyse chimique est basée sur un principe général commun : une action (excitation par de la lumière, par un bombardement de photons ou de particules,...) est exercée sur la matière qui est constituée d'atomes organisés en molé-

5. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est une technique utilisée pour obtenir le spectre d'absorption, d'émission, la photoconductivité ou la diffusion Raman dans l'infrarouge d'un échantillon solide, liquide ou gazeux.

6. La spectroscopie Raman est une méthode non destructive d'observation et de caractérisation de la composition moléculaire et de la structure externe d'un matériau, qui exploite le phénomène physique selon lequel un milieu modifie légèrement la fréquence de la lumière y circulant.

7. La fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire non destructive de l'échantillon, utilisée pour l'analyse de la composition chimique des matériaux minéraux.





Figure 12

Une partie des équipements analytiques du laboratoire mobile.  
Source : Préfecture de Police.

cules et va induire une réaction au sein de la matière : vibration, rotation, excitation, ionisation, diffusion, coupure, qui est accompagnée de phénomènes (émission de photons, d'électrons), qui sont capturés par les détecteurs internes des analyseurs.

Quelques-uns des principes utilisés sont schématisés sur la **Figure 13**. Ainsi, l'énergie infrarouge est absorbée par la molécule et provoque des vibrations, ou dans le cas de la spectrométrie Raman, les photons incidents induisent une diffusion (**Figures 13A** et **13B**). Dans le cas de la fluorescence X, les photons incidents conduisent à l'éjection de l'un des électrons des couches internes de l'atome dont la lacune est comblée par une réorganisation du nuage électronique et est accompagnée d'une émission de photons qui conduisent à l'élaboration d'un spectre énergétique spécifique (**Figure 13C**).

Les rayonnements émis par la matière sont détectés et

permettent l'obtention de spectres caractéristiques des molécules et des atomes présents. Ces spectres, qui sont l'empreinte identitaire de la matière analysée et des molécules qui la composent, sont comparés aux références des bibliothèques de spectres de référence intégrés dans chacun des appareils (actuellement de 21 000 références pour l'IRTF et de 8 000 pour le Raman). Il s'agit de bibliothèques évolutives qui peuvent être enrichies par les utilisateurs.

Cependant, le travail de l'identification ne se limite pas à une simple comparaison par la machine avec des spectres références ; l'expert chimiste doit déjouer certaines difficultés qui apparaissent lors de l'interprétation de spectres complexes (**Figure 14**) :

- des produits différents peuvent présenter des spectres quasiment semblables ;
- certains produits ne sont pas référencés dans les banques de données ;

Figure 13

Principe de fonctionnement des techniques d'IRTF (A), de Raman (B) et SFX (C).

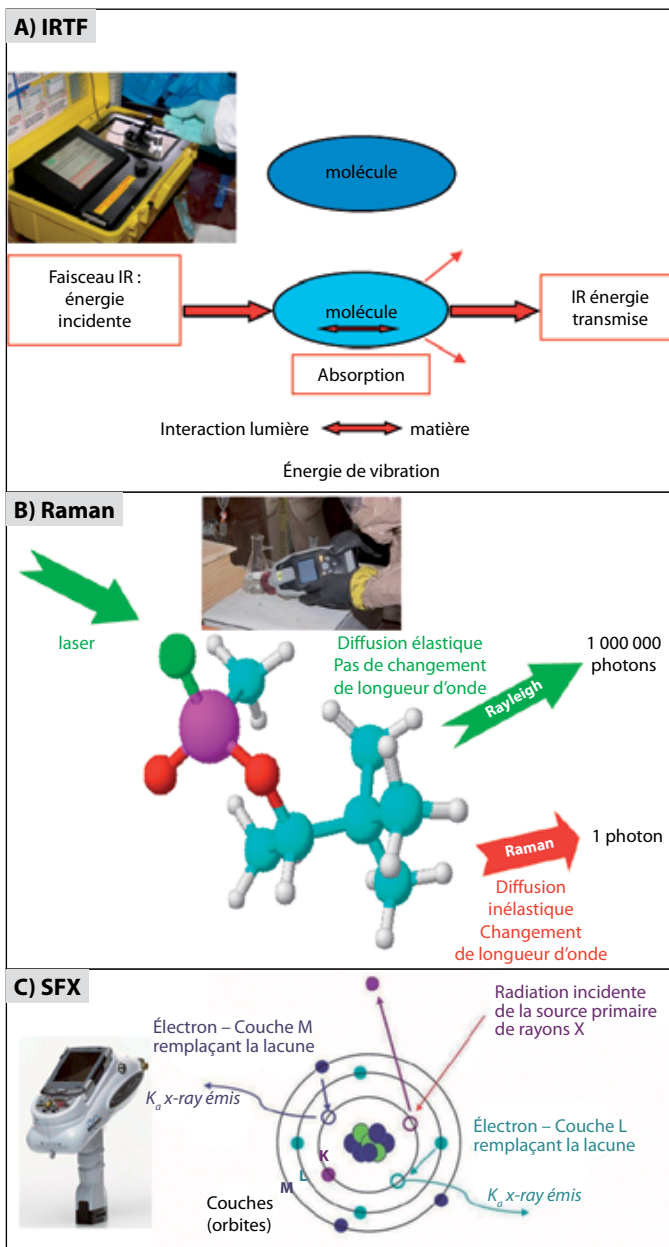


Figure 14

L'analyse sur le terrain pose parfois des difficultés aux chimistes.

Source : Préfecture de Police.

– certains mélanges peuvent conduire à des spectres très complexes difficiles à analyser ;

– des problèmes inhérents à la matrice peuvent apparaître selon la technique. Ainsi, un produit de couleur sombre va induire des phénomènes de fluorescence qui empêche de procéder à une analyse par spectrométrie Raman.

Afin d'illustrer cette méthodologie, deux exemples d'identification réalisée sur le terrain,

dans le cadre de notre cas d'illustration, sont présentés.

#### 4.5. Exemple de l'analyse de la poudre « brune » sur le terrain

Prenons comme premier exemple une poudre brune retrouvée dans un plat de cuisson en terre cuite (*Figure 15*). Cette poudre présente un aspect très hétérogène ; à l'œil nu, la présence conjointe de particules de couleur blanche et de particules de couleur jaune est observée. Au premier abord, cette poudre présente un aspect évoquant celui du sucre cassonade.

La première difficulté présentée pour une analyse terrain est la nature hétérogène de la poudre car les analyses sont effectuées de manière moyennée sur une fraction de l'échantillon.

En premier lieu, l'analyse élémentaire effectuée par spectrométrie fluorescence X à dispersion d'énergie met en évidence la présence massive des éléments chlore et sodium. Il s'agit d'éléments légers dans une matrice organique et donc d'un contexte défavorable pour une analyse réalisée par SFX. En effet, la technique présente une sensibilité médiocre aux éléments légers qui peuvent néanmoins être détectés si présents en quantités importantes.

L'analyse réalisée par spectrométrie Raman permet une comparaison avec le spectre d'un chlorate de sodium. Les pics majeurs du spectre de l'échantillon correspondent au spectre référence mais le spectre acquis est très « bruité ».

L'analyse réalisée par IRTF sur une fraction moyenne de l'échantillon conduit à l'obtention d'un spectre (*Figure 15A*) qui présente un premier massif de pics autour de  $1\,000\text{ cm}^{-1}$ , un second autour de  $1\,500\text{ cm}^{-1}$  et un dernier autour de  $3\,000\text{--}3\,500\text{ cm}^{-1}$ . Une comparaison du spectre acquis (en rouge) avec les spectres de référence de la bibliothèque conduit à une première proposition d'un spectre de lessive (en bleu), qui présente des similitudes avec notre acquisition mais n'est pas complètement superposable.

Notre « sucre cassonade » ne présente ni l'aspect, ni l'odeur d'un produit lessiviel ; la proposition analytique s'en trouve d'autant moins crédible.

Afin de poursuivre les analyses, un tri manuel est réalisé sur le mélange hétérogène en constituant deux fractions : l'une composée de particules de couleur jaune et l'autre de particules de couleur blanche. Ces deux fractions sont analysées par spectrométrie IRTF (*Figures 15B* et *15C*, respectivement). Les spectres acquis (en rouge) montrent une parfaite cohérence avec les spectres de référence d'un chlorate de soude (massif à  $1\,000\text{ cm}^{-1}$ ) pour les particules jaunes et avec la référence sucre (massifs à  $150$  et  $3\,000\text{--}3\,500\text{ cm}^{-1}$ ) pour les particules de couleur blanche.

La poudre brune découverte dans le plat à four en terre cuite serait donc un mélange constitué de chlorate de sodium et de sucre. Ce mélange constitue effectivement un mélange explosif artisanal peu sensible. Le risque explosif a donc pu être rapidement

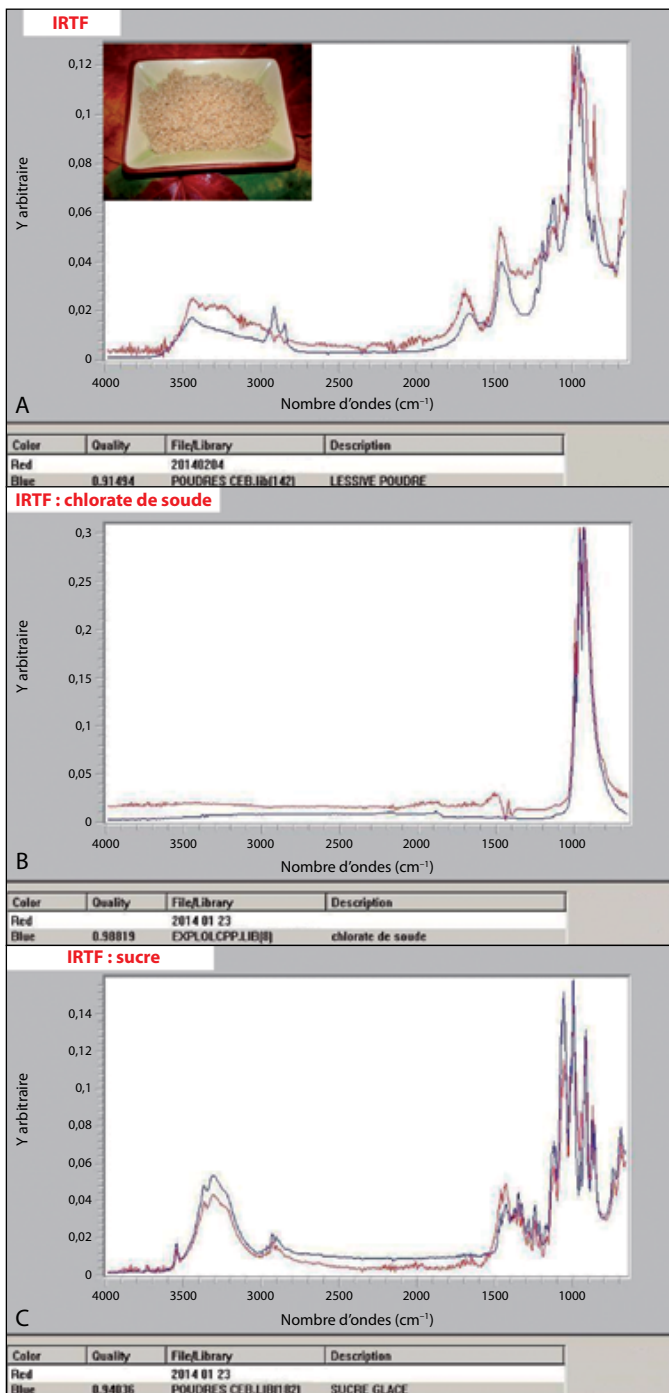


Figure 15

Résultats des analyses spectrométriques du mélange de la poudre brune : A) spectre de fluorescence X ; B) spectre Raman ; C) spectre IRFT de la poudre brune.

confirmé et évalué sur le terrain, le produit peut donc être manipulé sans danger.

#### 4.6. Les analyses en laboratoire vont apporter des compléments pour les enquêtes de police

Un prélèvement de la poudre est conditionné dans un tube en matière plastique et ramené au LCPP pour affiner les résultats obtenus sur le terrain par les moyens analytiques d'expertise. Il s'agit de confirmer la composition des éléments majeurs et de procéder à la recherche de composés mineurs ou traces qui peuvent présenter un intérêt particulier pour l'enquête judiciaire car ils permettent d'établir la « signature » d'un explosif ou d'un mélange (rapprochement d'affaires).

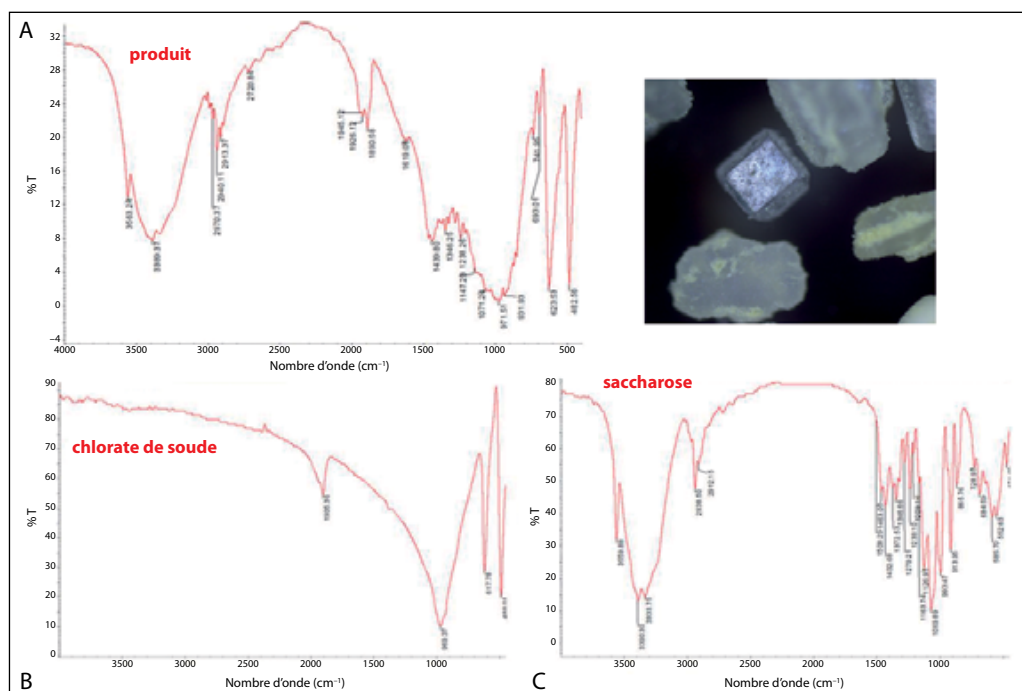
L'observation au microscope (**Figure 16B**) montre effectivement la présence de deux types de cristaux différents dans la poudre. L'analyse par micro-spectrométrie ITRF permet une analyse spécifique d'un cristal choisi et l'obtention de spectres plus propres : pour le mélange brut (**Figure 16A**), le chlorate (**Figure 16C**) et le saccharose (sucre) (**Figure 16D**).

Une analyse réalisée par Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS) sur un extrait préparé à partir de la poudre permet d'établir l'absence de tout composé organique volatil dans le mélange.

La poudre est donc constituée d'un mélange de chlorates de sodium, de sucre de table et contient une faible quantité de carbonates.

**Figure 16**

Analyses ITRF : A) de la poudre ; B) du chlorate de soude ; C) du saccharose. Photo : observation microscopique ( $\times 100$  réflexion) de la poudre.



#### 4.7. Analyse de la « galette » prélevée sur le terrain

Lors des opérations de reconnaissance, les démineurs ont retrouvé une sorte de « galette » constituée d'une matière souple et élastique. Une fraction est prélevée sur ce bloc par découpe à l'aide d'un outil en bois.

L'analyse par SFX effectuée sur la galette conduit à l'obtention d'un spectre qui présente une importante ligne de base mais ne permet pas d'identifier la présence de composés élémentaires car il s'agirait d'une matière de nature organique et non minérale. La technique de SFX portable dispersif d'énergie ne permet pas d'identifier la présence d'hydrogène, de carbone et

d'oxygène qui constituent les composés organiques.

En revanche, les analyses effectuées par spectrométrie infrarouge IRTF (**Figure 17A**) et par spectrométrie Raman (**Figure 17B**) confirment toutes deux que la galette renferme du TATP (peroxyde d'acétone) en grandes quantités. Le TATP est un explosif primaire, très puissant relativement facile à élaborer avec des produits du commerce. Sur les spectres, bien que la présence d'autres substances ait été constatée, l'identification par les seules méthodes de terrain ne peut être réalisée. Toutefois, l'objectif d'identifier sur le terrain le danger présenté par les produits (ici explosif) est atteint, il conditionne les conditions de manipulation du produit. Seule l'analyse a permis d'identifier la présence de TATP dans cette forme non conventionnelle et transformée. En effet, le TATP est une poudre de couleur blanche cristalline à l'odeur âcre, alors que la galette présente un aspect jaune clair et une consistance qui lui a été conférée par l'ajout d'une substance qui permet de diminuer la sensibilité du TATP sans en modifier la puissance. Sous cette forme, il est plus difficile à amorcer, ce qui réduit les risques lors de sa manipulation.

#### 4.8. Analyse de la « galette » au laboratoire d'expertise

Afin répondre aux besoins de l'enquête, les analyses sont poursuivies et complétées en laboratoire sur la matière. Une première analyse réalisée par IRTF sur la matière brute permet de confirmer la présence

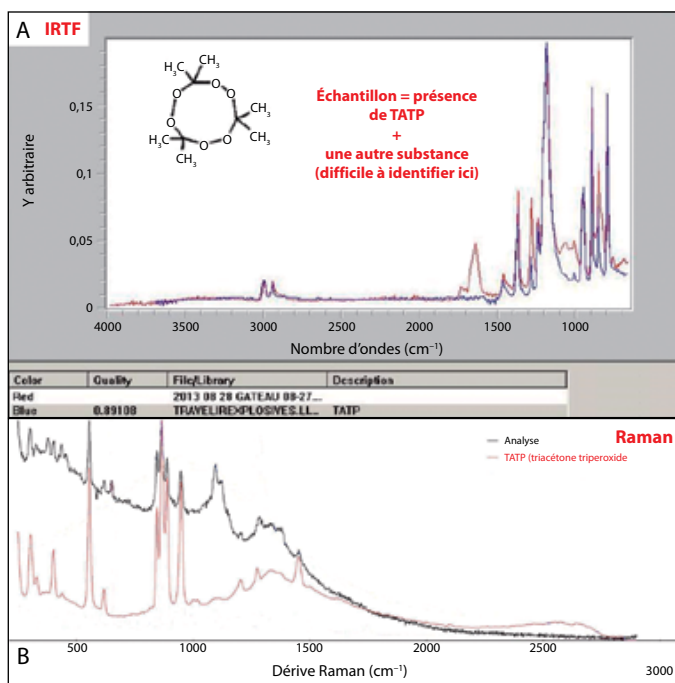


Figure 17

Analyse sur le terrain de la galette : A) spectre IRTF et B) spectre Raman.





Figure 19

Prélèvements des diverses poudres suspectes.

issues du laboratoire mobile, une orientation est donnée à ces produits pour leur élimination en l'état et/ou neutralisation sur site, et pour certains, une étude ultérieure complétée au laboratoire d'expertise est requise.

#### 4.10. Suite de l'intervention et de l'enquête : sécurisation, prélèvements conservatoires

Ces explosifs artisanaux (TATP et HMTD), sensibles et puissants, sont présents parmi les produits retrouvés ; leur état est inconnu et il convient dans ces conditions de les neutraliser avant tout déplacement.

Ces types d'explosifs seront donc neutralisés sur le site par les démineurs par solubilisation dans un solvant adapté afin de permettre le transport jusqu'à un site permettant sa destruction (Figure 20). Une faible quantité est solubilisée et conservée pour poursuivre les analyses en laboratoire. Les produits chimiques non sensibles seront évacués de manière classique et des prélèvements conservatoires constitués sur chacun.



Figure 20

La fin de l'intervention : A) démineur du LCPD en tenue lourde EOD ; B) TATP en cours de neutralisation ; C) neutralisation du TATP sur site par solubilisation ; D) évacuation des produits chimiques après constitution de prélèvements conservatoires de l'ensemble des substances.



## Les avantages d'un laboratoire mobile sur le terrain

Dans les exemples présentés, les analyses effectuées sur le terrain ont permis d'établir rapidement la nature chimique des substances découvertes et leur dangerosité éventuelle, permettant de prendre les décisions appropriées pour la sécurité de l'ensemble des intervenants présents sur le site et d'orienter les suites de l'enquête.

La fiabilité des résultats obtenus sur le terrain par le laboratoire mobile de la Préfecture de Police est assurée par l'expertise apportée par les intervenants chimistes qualifiés qui procèdent aux interprétations.

Fiabilité et rapidité sont donc les avantages apportés par l'action du laboratoire mobile sur le terrain qui est adossé aux laboratoires d'analyse.

Toutefois, malgré ses avantages reconnus qui en font un acteur incontournable en cas d'incident ou de malveillance à caractère chimique, le laboratoire mobile ne peut venir, à lui seul, se substituer totalement aux laboratoires d'analyses. En effet, ces derniers apportent une confirmation aux premières analyses de terrain, et les complètent par des capacités analytiques additionnelles qui permettent d'approfondir le processus d'identification.

Par ailleurs, dans le quotidien, les risques rencontrés se multiplient et les besoins d'analyse se diversifient, avec un besoin de plus en plus affirmé d'obtenir une réponse rapide et précise. Afin d'y répondre, le laboratoire central a mis en place une stratégie de maintien des compétences d'analyse par l'acquisition de nouveaux matériels, un enrichissement des bibliothèques de référence et une adaptation des processus de laboratoire aux contraintes des appareils de terrain en développant notamment de nouvelles méthodes, ceci afin de répondre aux besoins émergents.