

Sécurité chimique et terrorisme : cas de l'identification des substances chimiques impliquées dans la conception des engins explosifs improvisés au Burkina Faso

Prosper T. KINDA^{1,2,3*}, Noufou SALOU¹,
Adama OUEDRAOGO¹, Moctar ZEBE¹,
David ZONGO¹, Kiswendsida TIENDREBEOGO¹,
Samson GUENNE², Abdoulaye DJANDE³,
Martin KIENDREBEOGO².

Résumé

L'identification des substances chimiques, notamment celles impliquées dans les actes de terrorisme est une étape importante pour un contrôle efficace de l'usage de ces produits sur le territoire national. Basée sur l'analyse des échantillons collectés sur des scènes de crime et des saisies lors des investigations, cette étude avait pour objectif d'identifier les substances ayant des propriétés explosives présentes dans lesdits échantillons. Des résidus de charges explosives ont été collectés et soumis à deux méthodes d'évaluation : une analyse préliminaire par détection colorimétrique et une analyse d'identification par spectrométrie Raman. Les résultats des analyses effectuées montrent la présence de plusieurs substances explosives dont le nitrate d'ammonium identifié comme composant majoritaire dans la plupart des échantillons. Ainsi, sur 43 échantillons évalués, 48,83% contiennent du nitrate d'ammonium et 09,30% contiennent du pentaerythritol tetranitrate (PETN). D'autres composants tels que l'azoture de plomb, le 3-nitrophénylhydrazine, le nitrite de sodium, le nitrate d'argent, du (par)périodate de sodium ont également été identifiés. Ces composés chimiques sont connus et peuvent être obtenus à partir de produits accessibles sur le marché local, d'où la nécessité d'un contrôle efficace de l'exploitation de ces produits dans le contexte sécuritaire actuel. La présente étude montre l'importance de la recherche criminalistique dans l'identification, le contrôle et la traçabilité des substances chimiques impliquées dans la conception des engins explosifs improvisés au Burkina Faso.

¹ Laboratoire de Police Technique et Scientifique, Direction General de la Police Nationale, 01 BP 22 Ouagadougou 01, Burkina Faso

² Laboratoire de Biochimie et Chimie Appliquées, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

³ Laboratoire de Chimie Moléculaire et des Matériaux (LC2M), Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

*Auteur correspondant : Prosper T. KINDA, pros.kind@hotmai.fr.

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v44i2.2129>

Mots clés : Criminalistique, identification chimique, substances explosives, Burkina Faso.

Chemical security and terrorism: case of the identification of chemical substances involved in the design of improvised explosive devices in Burkina Faso

Abstract

The chemical substances identification, particularly those involved in acts of terrorism, is an important step for effective control of the use of these products on the territory. Based on the analysis of samples collected from crime scenes and seizures during investigations, this study aimed to identify substances with explosive properties in each samples. Explosive charge residues were collected and subjected to two evaluation methods: a preliminary analysis by colorimetric detection and an identification analysis by Raman spectrometry.

The results of the analyzes carried out show several explosive substances, including ammonium nitrate identified as the majority component in most of the samples. Thus, out of 43 samples evaluated, 48.83% contain ammonium nitrate and 09.30% contain pentaerythritol tetranitrate (PETN). Other components such as lead azide, 3-nitrophenylhydrazine, sodium nitrite, silver nitrate, sodium (par)periodate have also been identified. These chemical compounds are known and can be obtained from products available on the local market, hence the need for effective control of these products use, in the current security context. This study shows the forensic research importance in the identification, control and traceability of chemical substances involved in the design of improvised explosive devices in Burkina Faso.

Keywords: forensics, chemical identification, explosive substances, Burkina Faso.

Introduction

Les substances chimiques sont pour la plupart à usage multiples pour divers besoins de l'homme, notamment dans les domaines de l'industrie, de l'agriculture et de la recherche. Ces substances en plus de leur usage civil et légitime, sont parfois utilisées à des fins malveillantes (OIAC, 2021).

Depuis près d'une décennie le phénomène du terrorisme endeuille plusieurs familles civiles entraînant un grand nombre de personnes déplacées internes au Burkina Faso. Ce fléau qui se manifeste par des attaques armées contre les forces de défense et de sécurité et les populations civiles, a comme point saillant l'utilisation des engins explosifs improvisés (EEI). Ainsi, les attaques à base d'EEI ont doublé entre 2021 et 2022 avec plus de 215 incidents enregistrés en 2022, faisant au moins 456 victimes (UNMAS, 2022). Ces engins qui sont en

majorité de fabrication artisanale, constituent l'une des principales menaces pour les forces de défense et de sécurité.

Cependant, ces engins conçus à base de substances chimiques explosives, ne représentent qu'un pan de l'iceberg de la menace chimique. De ce constat, il ressort avec pertinence la problématique de l'identification et du contrôle de l'exploitation de ces substances.

A ce jour, il existe peu de données sur l'identification des substances chimiques utilisées à des fins malveillantes au Burkina Faso. La présente étude, a donc été réalisée pour combler ce gap.

Elle a pour but non seulement de contribuer à une meilleure connaissance des substances explosives fréquemment utilisées sur le territoire national, mais aussi de susciter une prise en compte de l'identification chimique dans le processus de contrôle de ces produits.

Matériels et méthodes

2.1. Collecte et préparation des échantillons

Les échantillons sont constitués de résidus de charges explosives, de détonateurs et de cordons détonants collectés sur des scènes d'explosion ou des saisies effectués lors des enquêtes de police dans plusieurs régions du Burkina Faso. Une quantité de chaque échantillon est prélevée, conditionnée et conservée au laboratoire à température ambiante jusqu'à l'utilisation.

La procédure d'analyse utilisée est celle préconisée pour identifier les explosifs militaires et non militaires (miniers, pyrotechniques) (Baran, 1990 ; ENFSI, 2015). Les échantillons ont d'abord été soumis à une analyse préliminaire par détection colorimétrique puis à une analyse d'identification par spectrométrie Raman (Bartick *et al.*, 2002).

2.2. Détection par colorimétrie

La présence éventuelle de substance explosive dans les échantillons a été évaluée en utilisant les kits de détection **DropEx+** et **IDenta**. Ils fournissent de manière rapide des informations sur le type de substance présente dans l'échantillon examiné. Basée essentiellement sur les réactions de Griess, ces kits permettent de mettre en évidence les composés nitrés, les chlorates, les bromates et les peroxydes, utilisés comme matières explosives aussi bien dans les engins explosifs à usage militaire, minier et les mélanges pyrotechniques (Gaiffe, 2018).

2.2.1. Test avec le Kit DropEx+

Il est composé de six réactifs et permet la détection des groupes de substances explosives couramment rencontrées, notamment les polynitro-aromatiques, les nitramines et esters de nitrate, les sels de nitrate, les chlorates, les bromates et les peroxydes.

Pour le test, une petite quantité de l'échantillon utilisée sous forme de traces est soumise après frottement sur le papier test, aux différents réactifs du kit. Les tests ont été répétés en trois (03) essais pour chaque échantillon.

2.2.1. Test avec le Kit IDenta

Composé de tests individuels pour chaque famille de substances, le kit IDenta permet la détection des composants comme les nitrates, les nitrites, les chlorates, les bromates, les perchlorates... Ces tests, contenant trois réactifs chacun, évaluent la présence d'une des substances explosives en donnant une coloration spécifique après la réaction.

Pour l'évaluation, une quantité nécessaire de l'échantillon est prélevée avec l'échantillonneur du kit et soumise à la réaction après éclatement successif des ampoules contenant les réactifs. Chaque échantillon a été évalué avec tous les tests du kit et chaque test a été répété en trois (03) essais.

2.3. Identification par spectrométrie

Le spectromètre Raman FirstDefender a été réalisé pour l'évaluation. Elle avait pour objectif d'identifier les composants explosifs les plus connus, la majorité ayant leur spectre de référence enregistrée dans la bibliothèque de l'appareil. La procédure consiste à une lecture directe de l'échantillon sans traitement préalable (Bartko et Ronningen, 2020).

Pour le test, un prélèvement brut de chaque échantillon est introduit dans un flacon de lecture et directement soumis à l'analyse spectrométrique. Le test a été répété en trois (03) essais pour chaque échantillon.

Résultats

3.1. Analyse colorimétrique

L'analyse avec le Kit DropEx a révélé dans la majorité des échantillons la présence de nitroesters, de sels de nitrate et de chlorates ou bromates (figure 1).

L'analyse avec le kit IDenta a mis en évidence la présence de nitrates (notamment du nitrate d'ammonium), de nitrométhane, de chlorates ou bromates (figure 2).

A l'issus de l'évaluation colorimétrique avec les deux kits sur l'ensemble des échantillons, les principales substances chimiques mises en évidence sont des dérivés de nitrate révélés dans 72,09% des échantillons et spécifiquement le nitrate d'ammonium détecté dans 53,48% (tableau I).

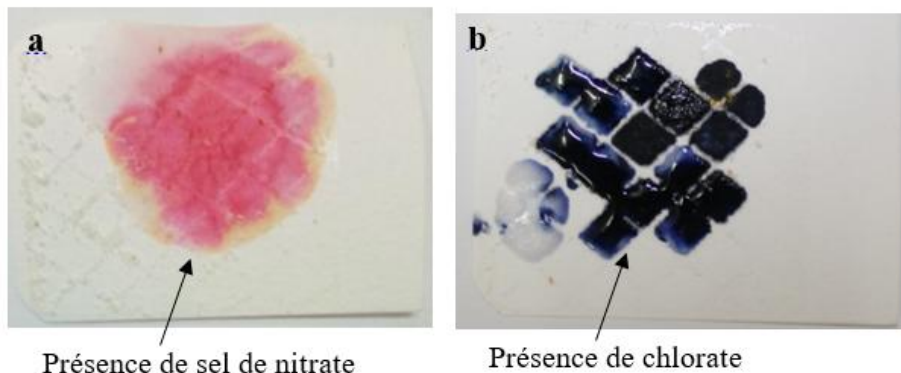


Figure 1 : Révélation de la présence de sels de nitrate (a) et de chlorates (b) avec DropEx

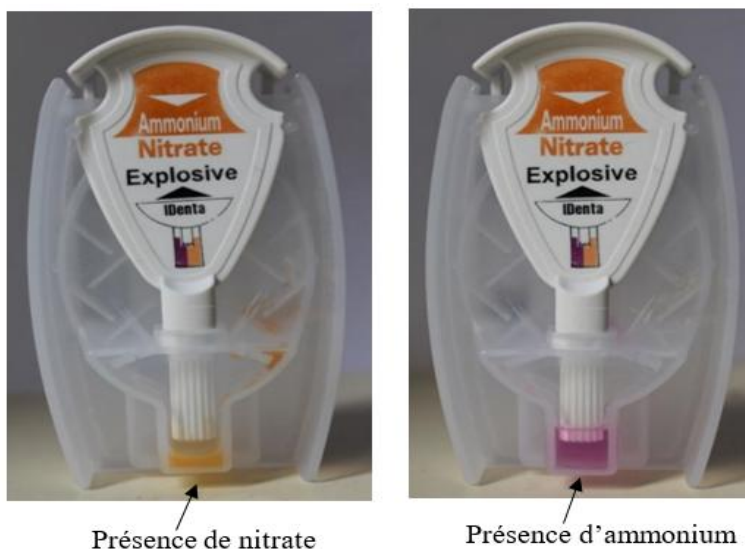


Figure 2 : Révélation de la présence de nitrate d'ammonium avec le Kit IDenta

Tableau I : Composés mises en évidence par les tests colorimétriques

N° Echantillon	Test DropEx+			Test IDenta			
	Nitroester/ Nitramine	Sel de nitrate	Chlorate/ Bromate	Nitrate	Nitrate d'ammonium	Chlorate/ Bromate	Nitrométhane
1	-	+	-	+	+	-	-
2	-	-	+	-	-	+	-
3	-	+	-	+	+	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	-	+	+	+	+	+	-
6	-	+	-	+	+	-	-
7	+	-	-	-	-	-	+
8	-	+	-	+	-	-	-
9	-	+	-	+	+	-	-
10	-	+	-	+	+	-	-
11	-	-	+	-	-	+	-
12	+	-	-	-	-	-	-
13	-	+	-	+	-	-	-
14	-	+	-	+	+	-	-
15	-	-	-	+	-	-	-
16	-	+	-	+	+	-	-
17	-	-	+	-	-	+	-
18	-	+	-	+	+	-	-
19	-	+	+	+	+	+	-
20	-	+	+	+	+	-	-
21	-	+	-	-	-	-	+
22	-	+	-	+	+	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-
24	-	+	+	+	+	+	-
25	+	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	+	-	-	-
27	+	-	-	+	+	-	-
28	-	+	-	+	+	-	-
29	-	+	-	+	+	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	+	+	-	-
32	-	+	-	+	+	-	-
33	-	+	-	+	+	-	-
34	-	+	-	+	+	-	-
35	-	+	-	+	+	-	-
36	-	-	+	-	-	+	-
37	-	+	-	-	-	-	-
38	-	+	+	+	+	+	-
39	-	+	-	+	+	-	-
40	-	+	-	+	+	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-
43	-	+	-	+	+	-	-
Résultats positifs	4	27	9	29	23	8	2

Test positif (+), Test négatif (-)

3.2. Analyse spectrométrique

L'analyse spectrométrique des échantillons a permis d'identifier le nitrate d'ammonium (CAS: 6484-52-2) comme substance chimique explosive présente dans la majorité des prélèvements (figure 3). Il a été identifié dans 48,83% des échantillons analysés, suivi du pentaerythritol tetranitrate (CAS : 78-11-5), identifié dans 09,30% des échantillons (figure 4). Plusieurs autres composés individuels ou en mélange ont été identifiés comme substances explosives ou précurseurs dans divers échantillons (figures 4 à 8). Il s'agit entre autre, de l'azoture de plomb (CAS : 13424-46-9), du 3-nitrophenylhydrazine hydrochloride (CAS : 636-95-3), du nitrite de sodium (CAS : 7632-00-0), nitrate d'argent (CAS : 7761-88-8), du (para)périodate de sodium (CAS : 13940-38-0).

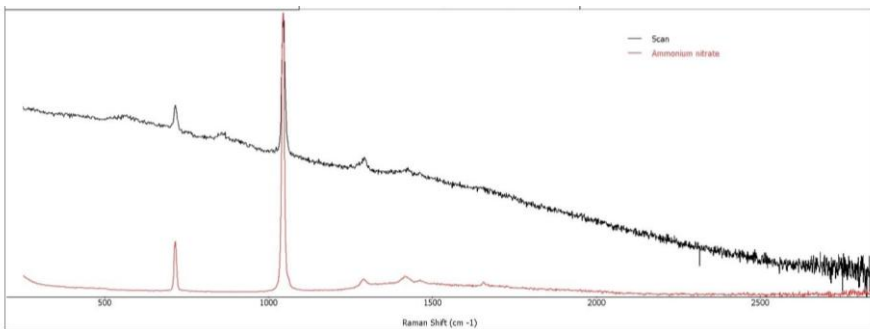


Figure 3 : Spectre du Nitrate d'ammonium

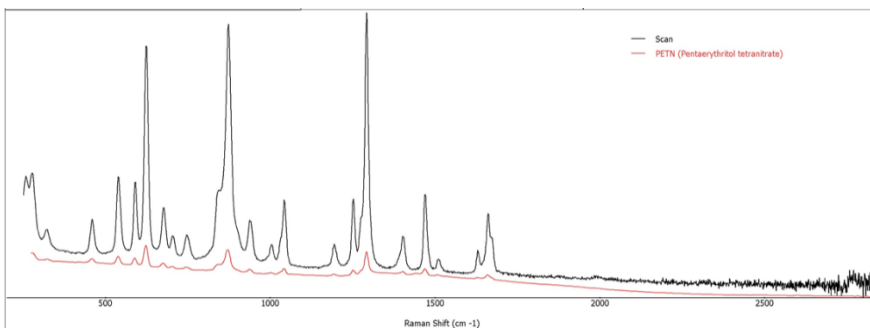


Figure 4 : Spectre de Pentaerythritol tetranitrate (PETN)

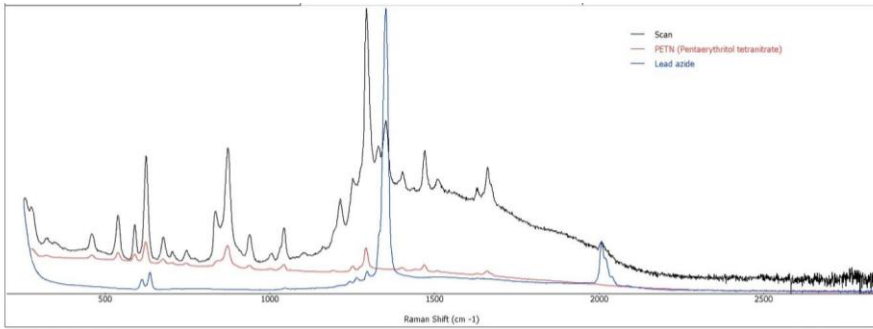


Figure 5: Spectre d'un mélange de PETN 82% et azoture de plomb 3%

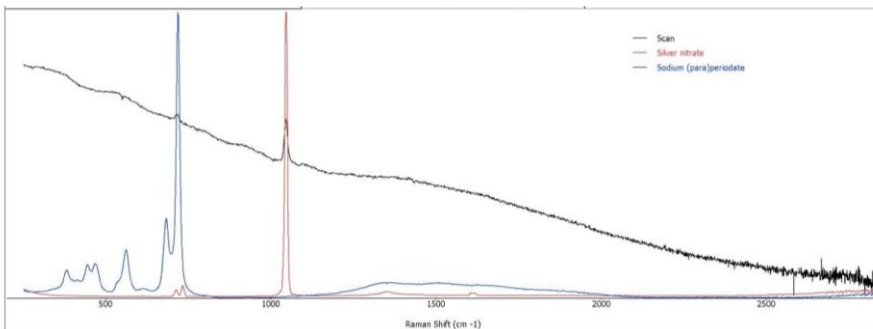


Figure 6: Spectre d'un mélange de Nitre d'argent 86% et (para)périodate de sodium 3%)

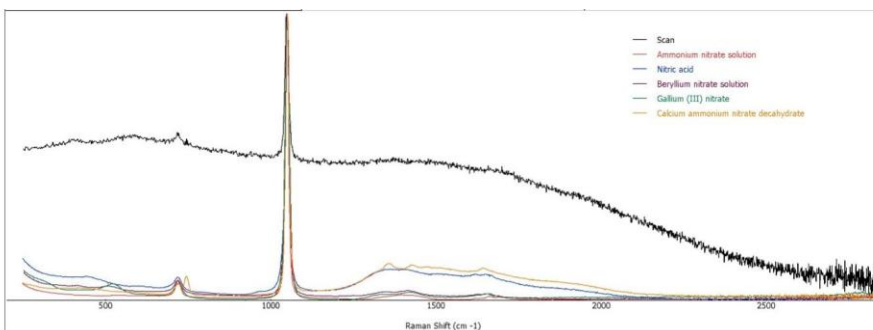


Figure 7 : Spectre correspondant à l'un des composés affichés

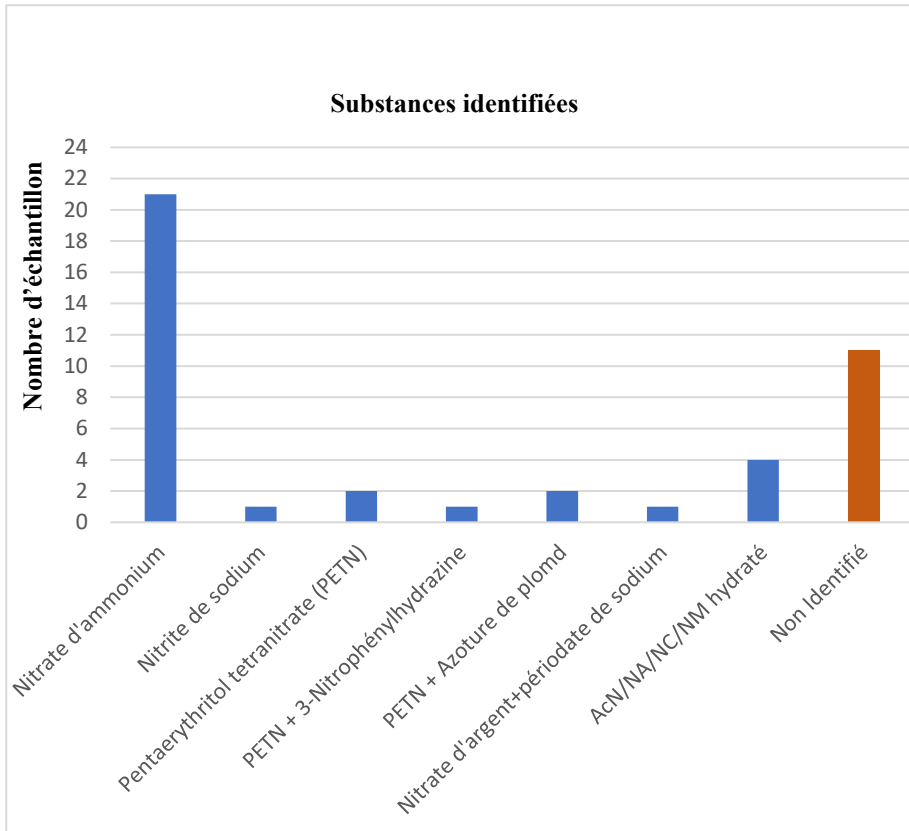


Figure 8 : Composés identifiés en spectrométrie Raman

AcN : Acide nitrique ; NA : Nitrate d'Ammonium ; NC : Nitrate de Calcium ; NM : Nitrate de Manganèse.

4. Discussion

Les nitroesters, les sels de nitrate et les chlorates révélés comme les substances majoritaires dans les échantillons évalués sont en cohérence avec plusieurs études (Klapeck *et al.*, 2020). Ce sont les groupes de composés majeurs classés parmi les substances explosives les plus utilisées surtout dans les explosifs civils (Charrue et Vanlerberghe, 2014).

De l'ensemble des analyses effectuées, le nitrate d'ammonium a été identifié comme le composé chimique explosif présent dans la majorité des échantillons. Le nitrate d'ammonium est un sel oxydant inorganique couramment utilisé dans les engrais et les explosifs pour l'exploitation minière (Diaz et Hahn, 2020). Connus pour sa capacité explosive modérée, sa stabilité relative et surtout sa disponibilité en termes

d'acquisition, le nitrate d'ammonium réuni tous les avantages pour être utilisé par les terroristes, notamment pour la conception des engins explosif improvisés. Ces résultats sont en accord avec les observations faites sur d'autres études, notamment celles effectuées sur des traces recueillies après explosion en Espagne (Zapata et Gracia-Ruiz, 2017) et une enquête sur le trafic des composants d'engins explosifs improvisés et des explosifs commerciaux en Afrique de l'Ouest (Lochhead *et al.*, 2023).

Le pentaerythritol tetranitrate (PETN), nitroester classé parmi les substances explosives primaires, est utilisé dans la conception des détonateurs et cordons détonant commerciaux (Gaiffe, 2018). Ces derniers sont utilisés dans la fabrication des explosifs miniers et facilement accessible sur le marché. L'azoture de plomb, identifié en mélange avec le PETN est une substance explosive très sensible utilisée dans la fabrication des détonateurs commerciaux et militaires, et comme amorce de munition (Mu *et al.* 2022).

L'ensemble de ces observations sont similaires à celles d'autres régions impactées par le terrorisme tel qu'en Afghanistan, en Irak, en Syrie, en Lybie et dans les zones attaquées par le groupe Boko haram au Cameroun et au Nigeria (Lochhead *et al.*, 2023 ; INTERPOL, 2023). Cela s'expliquerait par le fait que les techniques de conception des EEI sont importées par les combattants terroristes étrangers venus de ces zones et servant de formateurs, qui ont déjà utilisé ces méthodes moins coûteuses et dont les précurseurs sont facilement accessibles au niveau local.

Conclusion

Cette étude a permis d'identifier plusieurs composés et groupes de composés explosifs bien connus dans la littérature. Il s'agit des sels de nitrate tel que le nitrate d'ammonium, les nitroesters comme le pentaerythritol tetranitrate, et les chlorates. Elle montre l'importance de la recherche criminalistique dans l'identification, le contrôle et la traçabilité des substances chimiques impliquées dans la conception des engins explosifs improvisés au Burkina Faso. Ainsi, ce travail présente un intérêt particulier car au-delà de son application criminalistique, la prise en compte de l'identification chimique pourrait servir à renforcer le dispositif de contrôle sur l'usage malveillant de ces substances.

Références

Baran T., 1990. Identification of explosive materials. *Forensic Science International*, 46 : 139-142.

Bartick E., 2002. Forensic Analysis by Raman Spectroscopy: An Emerging Technology. *Monduzzi Editore S.p.A.-Medimond Inc.* : 45-50.

Bartko A.P. et Ronningen T.J., 2020. Explosives detection using raman spectroscopy. *European patent specification*, : 1-19.

Charrue P. et Vanlerberghe B., 2014. Les nouvelles technologies d'investigation des explosifs. *EDP Sciences* : 222-249.

Diaz D. et Hahn D.W., 2020. Raman spectroscopy for detection of ammonium nitrate as an explosive precursor used in improvised explosive devices. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 233 : 118-204.

ENFSI, 2015. Best pratique manual for the forensic recovery, identification and analysis of explosive traces. ENFSI-BPM-EXP-01, 21p.

Gaiffé G., 2018. Caractérisation globale d'explosifs et de substances connexes (polymères, liants et plastifiants) à l'état de traces sur des prélèvements solides reposant sur la spectrométrie de masse à haute-résolution. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, France. 156p.

INTERPOL, 2023. Analytical report : Illicit flows of explosives in Central Africa. www.interpol.int, 45p.

Klapec D., Czarnopys G. et Pannuto J., 2020. Interpol review of detection and characterisation of explosives and explosives residues 2016-2019. *Forensic Science International : Synergy*, 2 : 670-700.

Lochhead D., Diakité T., Sollazzo R., Sow S., Tayo R.S. et Tettey, L., 2023. Out of Control : The Trafficking of Improvised Explosive Device Components and Commercial Explosives in West Africa. *Small Arms Survey*, Geneva, Switzerland, 120p.

Mu Y., Zhang W., Shen R. et Ye Y., 2022. Observation on Detonation Growth of Lead Azide at Microscale. *Micromachines*, 13(3) 451; doi.org/10.3390/mi13030451.

OIAC, 2021. Directives indicatives pour la sûreté et la sécurité chimique dans les petites et moyennes entreprises afin de promouvoir l'utilisation pacifique de la chimie. Organisation pour l'Interdiction des Armes Chimiques, La Haye, Pays Bas, 59p.

UNMAS, 2022. The Annual Report 2022. Unmas.org, New York, 140p.

Zapata F. et Gracia-Ruiz C., 2017. Analysis of different materials subjected to open-air explosion in search of explosive traces by Raman spectroscopy. *Forensic Science International*, 275 : 57-64.