

La criminalistique nucléaire à l'appui des enquêtes



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

COLLECTION SÉCURITÉ NUCLÉAIRE DE L'AIEA

Les questions de sécurité nucléaire liées à la prévention, la détection et l'intervention en cas d'actes criminels ou d'actes non autorisés délibérés, mettant en jeu ou visant des matières nucléaires, d'autres matières radioactives, des installations associées ou des activités associées, sont traitées dans la **collection Sécurité nucléaire de l'AIEA**. Ces publications sont conformes aux instruments internationaux relatifs à la sécurité nucléaire, notamment à la Convention sur la protection physique des matières nucléaires telle qu'amendée, à la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, aux résolutions 1373 et 1540 du Conseil de sécurité des Nations Unies et au Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives, et elles les complètent.

CATÉGORIES DANS LA COLLECTION SÉCURITÉ NUCLÉAIRE DE L'AIEA

Les publications de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA se répartissent entre les catégories suivantes :

- Les **Fondements de la sécurité nucléaire**, qui portent sur les objectifs et les éléments essentiels d'un régime national de sécurité nucléaire. Ils servent de base à l'élaboration des recommandations en matière de sécurité nucléaire.
- Les **Recommandations en matière de sécurité nucléaire**, qui prévoient des mesures que les États devraient prendre pour établir et maintenir un régime national de sécurité nucléaire efficace conforme aux Fondements de la sécurité nucléaire.
- Les **Guides d'application**, qui fournissent des orientations sur les moyens dont disposent les États Membres pour appliquer les mesures prévues dans les Recommandations en matière de sécurité nucléaire. A ce titre, ils s'intéressent à la mise en application des recommandations relatives à de grands domaines de la sécurité nucléaire.
- Les **Orientations techniques**, qui fournissent des orientations sur des sujets techniques particuliers et complètent les orientations figurant dans les Guides d'application. Elles exposent de manière détaillée comment mettre en œuvre les mesures nécessaires.

RÉDACTION ET EXAMEN

Le Secrétariat de l'AIEA, des experts d'États Membres (qui aident le Secrétariat à rédiger les publications) et le Comité des orientations sur la sécurité nucléaire (NSGC), qui examine et approuve les projets de publications, participent à l'élaboration et à l'examen des publications de la collection Sécurité nucléaire. Selon qu'il convient, des réunions techniques à participation non limitée sont organisées pendant la rédaction afin que des spécialistes d'États Membres et d'organisations internationales concernées puissent examiner le projet de texte et en discuter. En outre, pour faire en sorte que ces projets soient examinés de façon approfondie et largement acceptés au niveau international, le Secrétariat les soumet à tous les États Membres, qui disposent de 120 jours pour les examiner officiellement.

Pour chaque publication, le Secrétariat prépare, et le NSGC approuve, à des étapes successives du processus de préparation et d'examen, ce qui suit :

- un aperçu et un plan de travail décrivant la publication nouvelle ou révisée prévue, son objectif prévu, sa portée et son contenu ;
- un projet de publication à soumettre aux États Membres pour observations pendant la période de consultation de 120 jours ;
- un projet de publication définitif prenant en compte les observations faites par les États Membres.

Le processus d'élaboration et d'examen des publications de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA tient compte des considérations de confidentialité et du fait que la sécurité nucléaire est indissociable des problèmes généraux et particuliers concernant la sécurité nationale.

La prise en compte, dans le contenu technique des publications, des normes de sûreté et des activités de garanties de l'AIEA se rapportant à la sécurité constitue une préoccupation sous-jacente. En particulier, les publications de la collection Sécurité nucléaire qui traitent de domaines dans lesquels il existe des interfaces avec la sûreté, appelées documents d'interface, sont examinées à chaque étape susmentionnée par les Comités des normes de sûreté nucléaire compétents et par le NSGC.

LA CRIMINALISTIQUE
NUCLÉAIRE À L'APPUI DES
ENQUÊTES

Les États ci-après sont Membres de l'Agence internationale de l'énergie atomique :

AFGHANISTAN	GABON	PAPOUASIE-NOUVELLE-GUINÉE
AFRIQUE DU SUD	GÉORGIE	PARAGUAY
ALBANIE	GHANA	PAYS-BAS
ALGÉRIE	GRÈCE	PÉROU
ALLEMAGNE	GRENADE	PHILIPPINES
ANGOLA	GUATEMALA	POLOGNE
ANTIGUA-ET-BARBUDA	GUYANA	PORTUGAL
ARABIE SAOUDITE	HAÏTI	QATAR
ARGENTINE	HONDURAS	RÉPUBLIQUE ARABE
ARMÉNIE	HONGRIE	SYRIENNE
AUSTRALIE	ÎLES MARSHALL	RÉPUBLIQUE
AUTRICHE	INDE	CENTRAFRICAINE
AZERBAÏDJAN	INDONÉSIE	RÉPUBLIQUE DE MOLDOVA
BAHAMAS	IRAN, RÉP. ISLAMIQUE D'	RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE
BAHREÏN	IRAQ	DU CONGO
BANGLADESH	IRLANDE	RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE
BARBADE	ISLANDE	POPULAIRE LAO
BÉLARUS	ISRAËL	RÉPUBLIQUE DOMINICAINE
BELGIQUE	ITALIE	RÉPUBLIQUE TCHÈQUE
BELIZE	JAMAÏQUE	RÉPUBLIQUE-UNIE
BÉNIN	JAPON	DE TANZANIE
BOLIVIE, ÉTAT	JORDANIE	ROUMANIE
PLURINATIONAL DE	KAZAKHSTAN	ROYAUME-UNI
BOSNIE-HERZÉGOVINE	KENYA	DE GRANDE-BRETAGNE
BOTSWANA	KIRGHIZISTAN	ET D'IRLANDE DU NORD
BRÉSIL	KOWËIT	RWANDA
BRUNÉI DARUSSALAM	LESOTHO	SAINTE-LUCIE
BULGARIE	LETTONIE	SAINT-MARIN
BURKINA FASO	LIBAN	SAINT-SIÈGE
BURUNDI	LIBÉRIA	SAINT-VINCENT-ET-LES-
CAMBODGE	LIBYE	GRENADINES
CAMEROUN	LIECHTENSTEIN	SAMOA
CANADA	LITUANIE	SÉNÉGAL
CHILI	LUXEMBOURG	SERBIE
CHINE	MACÉDOINE DU NORD	SEYCHELLES
CHYPRE	MADAGASCAR	SIERRA LEONE
COLOMBIE	MALAISIE	SINGAPOUR
COMORES	MALAWI	SLOVAQUIE
CONGO	MALI	SLOVÉNIE
CORÉE, RÉPUBLIQUE DE	MALTE	SOUDAN
COSTA RICA	MAROC	SRI LANKA
CÔTE D'IVOIRE	MAURICE	SUÈDE
CROATIE	MAURITANIE	SUISSE
CUBA	MEXIQUE	TADJIKISTAN
DANEMARK	MONACO	TCHAD
DJIBOUTI	MONGOLIE	THAÏLANDE
DOMINIQUE	MONTÉNÉGRO	TOGO
ÉGYPTÉ	MOZAMBIQUE	TRINITÉ-ET-TOBAGO
EL SALVADOR	MYANMAR	TUNISIE
ÉMIRATS ARABES UNIS	NAMIBIE	TURKMÉNISTAN
ÉQUATEUR	NÉPAL	TURQUIE
ÉRYTHRÉE	NICARAGUA	UKRAÏNE
ESPAGNE	NIGER	URUGUAY
ESTONIE	NIGERIA	VANUATU
ESWATINI	NORVÈGE	VENEZUELA,
ÉTATS-UNIS	NOUVELLE-ZÉLANDE	RÉP. BOLIVARIENNE DU
D'AMÉRIQUE	OMAN	VIET NAM
ÉTHIOPIE	OUGANDA	YÉMEN
FÉDÉRATION DE RUSSIE	OUZBÉKISTAN	ZAMBIE
FIDJI	PAKISTAN	ZIMBABWE
FINLANDE	PALAOS	
FRANCE	PANAMA	

Le Statut de l'Agence a été approuvé le 23 octobre 1956 par la Conférence sur le Statut de l'AIEA, tenue au Siège de l'Organisation des Nations Unies, à New York ; il est entré en vigueur le 29 juillet 1957. L'Agence a son Siège à Vienne. Son principal objectif est « de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier ».

COLLECTION SÉCURITÉ NUCLÉAIRE DE L'AIEA N° 2-G
(Rev.1)

LA CRIMINALISTIQUE
NUCLÉAIRE À L'APPUI DES
ENQUÊTES

GUIDE D'APPLICATION

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
VIENNE, 2022

DROIT D'AUTEUR

Toutes les publications scientifiques et techniques de l'AIEA sont protégées par les dispositions de la Convention universelle sur le droit d'auteur adoptée en 1952 (Berne) et révisée en 1972 (Paris). Depuis, l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (Genève) a étendu le droit d'auteur à la propriété intellectuelle sous forme électronique et virtuelle. La reproduction totale ou partielle des textes contenus dans les publications de l'AIEA sous forme imprimée ou électronique est soumise à autorisation préalable et habituellement au versement de redevances. Les propositions de reproduction et de traduction à des fins non commerciales sont les bienvenues et examinées au cas par cas. Les demandes doivent être adressées à la Section d'édition de l'AIEA :

Unité de la promotion et de la vente
Section d'édition
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne
B.P. 100
1400 Vienne (Autriche)
Télécopie : +43 1 26007 22529
Téléphone : +43 1 2600 22417
Courriel : sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/fr/publications>

© AIEA, 2022

Imprimé par l'AIEA en Autriche
Février 2022
STI/PUB/1687

**LA CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE À L'APPUI DES
ENQUÊTES**

AIEA, VIENNE, 2022
STI/PUB/1687

ISBN 978-92-0-215521-3 (paperback: alk. paper) | 978-92-0-
215821-4 (pdf)
ISSN 2520-6931

AVANT-PROPOS

Aux termes de son Statut, l'AIEA a pour principal objectif « de hâter et d'accroître la contribution de l'énergie atomique à la paix, la santé et la prospérité dans le monde entier ». Ses travaux consistent, d'une part, à prévenir la prolifération des armes nucléaires et, d'autre part, à veiller à ce que la technologie nucléaire puisse être employée à des fins pacifiques dans des domaines tels que la santé ou l'agriculture. Il est essentiel que l'ensemble des matières nucléaires et des autres matières radioactives, comme des installations qui les abritent, soient gérées de manière sûre et protégées comme il se doit contre les agissements criminels et les actes non autorisés commis de façon délibérée.

Si la sécurité nucléaire relève de la responsabilité individuelle des États, il est vital que ceux-ci travaillent dans le cadre d'une coopération internationale pour mettre en place et maintenir des régimes efficaces de sécurité nucléaire. Le rôle central que joue l'AIEA en favorisant cette coopération et en prêtant assistance aux États est largement reconnu. Il se justifie par le nombre de ses États Membres, le mandat qui lui a été confié, les compétences spécifiques qu'elle détient et la longue expérience qu'elle a acquise en fournissant une assistance technique et des conseils spécialisés et pratiques aux États.

En 2006, l'AIEA a lancé sa collection Sécurité nucléaire dans le but d'aider les États à mettre en place des régimes nationaux de sécurité nucléaire efficaces. Les publications de cette collection renforcent les instruments juridiques internationaux relatifs à la sécurité nucléaire que sont la Convention sur la protection physique des matières nucléaires telle qu'amendée, la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, les résolutions 1373 et 1540 du Conseil de sécurité des Nations Unies et le Code de conduite sur la sûreté et la sécurité des sources radioactives.

Les orientations sont élaborées avec la participation active d'experts d'États Membres de l'AIEA, de sorte qu'elles sont l'expression d'un consensus sur les bonnes pratiques en matière de sécurité nucléaire. Le Comité des orientations sur la sécurité nucléaire de l'AIEA, créé en mars 2012 et constitué de représentants des États Membres, examine et approuve les projets de publications de la collection Sécurité nucléaire lors de leur élaboration.

L'AIEA continuera à travailler avec ses États Membres afin de veiller à ce que les applications pacifiques de la technologie nucléaire contribuent à la santé, au bien-être et à la prospérité des populations dans le monde entier.

NOTE DE L'ÉDITEUR

Les États ne sont pas tenus d'appliquer les orientations publiées dans la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA, mais elles peuvent les aider à s'acquitter de leurs obligations en vertu d'instruments juridiques internationaux et à assumer leurs responsabilités en matière de sécurité nucléaire au sein de l'État. Les orientations énoncées au conditionnel ont pour but de présenter des bonnes pratiques internationales et de manifester un consensus international selon lequel il est nécessaire pour les États de prendre les mesures recommandées ou des mesures équivalentes.

Les termes relatifs à la sécurité ont le sens donné dans la publication où ils figurent, ou dans les orientations de niveau supérieur que la publication soutient. Autrement, les termes ont le sens qui leur est communément donné.

Un appendice est réputé faire partie intégrante de la publication. Les informations données dans un appendice ont le même statut que le corps du texte. Les annexes ont pour objet de donner des exemples concrets ou des précisions ou explications. Elles ne sont pas considérées comme faisant partie intégrante du texte principal.

Bien que l'exactitude des informations contenues dans la présente publication ait fait l'objet d'un soin particulier, ni l'AIEA ni ses États Membres n'assument une quelconque responsabilité pour les conséquences éventuelles de leur utilisation.

L'emploi d'appellations particulières pour désigner des pays ou des territoires n'implique de la part de l'éditeur, l'AIEA, aucune prise de position quant au statut juridique de ces pays ou territoires, ou de leurs autorités et institutions, ni quant au tracé de leurs frontières.

La mention de noms de sociétés ou de produits particuliers (qu'ils soient ou non signalés comme marques déposées) n'implique aucune intention d'empiéter sur des droits de propriété et ne doit pas être considérée non plus comme valant approbation ou recommandation de la part de l'AIEA.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
	Généralités (1.1–1.4)	1
	Objet (1.5).....	2
	Contenu (1.6–1.8).....	3
	Structure (1.9).....	4
2.	RÔLE DE LA CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE DANS UNE INFRASTRUCTURE NATIONALE DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE (2.1–2.3).....	5
	La criminalistique nucléaire, une mesure préventive (2.4, 2.5)	6
	Plan d'action type pour la criminalistique nucléaire (2.6–2.8).....	7
	Cadre national pour la mise en place de moyens de criminalistique nucléaire (2.9–2.13).....	8
	Criminalistique nucléaire et instruments juridiques internationaux et nationaux (2.14–2.16)	10
3.	ÉLABORATION DU PLAN D'EXAMEN CRIMINALISTIQUE ET DU PLAN D'ANALYSES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE CORRESPONDANT (3.1–3.4)	11
	Élaboration d'un plan d'analyses de criminalistique nucléaire (3.5–3.7).....	12
	Sous-échantillonnage (3.8, 3.9)	15
	Distribution des éléments de preuve (3.10, 3.11)	16
4.	EXAMEN CRIMINALISTIQUE D'ÉLÉMENTS DE PREUVE CONTAMINÉS PAR DES RADIONUCLÉIDES (4.1, 4.2)	16
	Éléments de preuve contaminés (4.3–4.6)	17
	Manipulation des éléments de preuve contaminés par des radionucléides (4.7–4.13)	18
5.	ANALYSES EN LABORATOIRE DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE (5.1).....	21

Caractérisation (5.2)	21
Laboratoire de criminalistique nucléaire agréé (5.3–5.6).	22
Outils d’analyse (5.7–5.10)	23
Ordre adopté pour les techniques et les méthodes (5.11, 5.12)	24
Analyse des échantillons (5.13–5.21).	25
6. INTERPRÉTATION DES DONNÉES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE (6.1)	29
Méthodes d’interprétation (6.2–6.6).	30
Création d’une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire (6.7–6.9)	31
Connaissance des processus du cycle du combustible nucléaire et des procédés de fabrication des sources radioactives (6.10–6.15) . .	32
Processus déductif et itératif (6.16, 6.17)	34
7. CONCLUSIONS DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE (7.1) .	35
Confiance dans les conclusions (7.2–7.4).	36
Communication des conclusions (7.5–7.8).	36
Analyse du retour d’expérience (7.9, 7.10)	38
8. COOPÉRATION ET ASSISTANCE INTERNATIONALES (8.1)	38
Coopération internationale (8.2–8.6)	38
Assistance en criminalistique nucléaire pendant l’enquête relative à un événement de sécurité nucléaire (8.7–8.10)	40
9. CRÉATION DE CAPACITÉS EN CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE (9.1, 9.2).	42
Sensibilisation (9.3)	42
Formation (9.4, 9.5)	43
Exercices (9.6, 9.7)	43
Formation théorique et développement des compétences (9.8)	44
Recherche-développement (9.9, 9.10)	45
RÉFÉRENCES	47
ANNEXE I: BRANCHES DE LA CRIMINALISTIQUE	51

ANNEXE II:	TECHNIQUES DE CARACTÉRISATION	58
ANNEXE III:	EXEMPLES DE FORMATION THÉORIQUE ET PRATIQUE, D'EXERCICES ET D'ACTIVITÉS DE RECHERCHE- DÉVELOPPEMENT	66
GLOSSAIRE		69

1. INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

1.1. La criminalistique consiste à examiner des objets, du matériel biologique, des comportements et des documents dans le cadre du droit international ou du droit interne. L'objectif de cette discipline est de mettre en évidence des liens entre des personnes, des lieux, des objets et des événements. La criminalistique nucléaire est une branche de la criminalistique. Elle consiste à examiner les matières nucléaires et autres matières radioactives, ou les éléments de preuve contaminés par des radionucléides dans le cadre de procédures judiciaires qui sont menées en application du droit interne ou du droit international et concernent la sécurité nucléaire. L'objectif de l'analyse des matières nucléaires et autres matières radioactives est de déterminer la nature de ces matières et quand, comment, où et à quelles fins elles ont été fabriquées. Un examen de criminalistique nucléaire doit se dérouler dans le respect des règles de sécurité et de sûreté afin de protéger le public, l'environnement et les éléments de preuve [1].

1.2. Au milieu des années 1990, le nombre de déclarations faisant état de matières nucléaires et autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire, notion qui est définie dans les Normes fondamentales de sûreté [1], a augmenté, ce qui a été considéré comme un signe du développement du trafic illicite de ces matières. La communauté internationale a jugé que la croissance de ce trafic constituait une menace importante pour la sécurité. Afin de pouvoir enquêter sur les affaires de trafic de matières nucléaires et autres matières radioactives, les autorités nationales ont exigé d'obtenir des informations sur les matières, sur leur mode, leur date et leur lieu de fabrication, et sur leur évolution ultérieure. Ces exigences ont conduit à faire de la criminalistique nucléaire un élément essentiel d'une infrastructure de sécurité nucléaire [2].

1.3. L'utilisation des matières nucléaires et autres matières radioactives étant répandue et importante, tous les États devraient connaître la contribution de la criminalistique nucléaire à la sécurité nucléaire. La criminalistique nucléaire, assurée par l'État, peut faciliter les enquêtes qui sont menées sur les événements de sécurité nucléaire et contribuer à détecter et à corriger les failles de l'infrastructure de sécurité nucléaire d'un État. La criminalistique nucléaire constitue une mesure préventive efficace, car elle facilite la détection des failles de sécurité matérielle et les poursuites pénales correspondantes.

1.4. Compte tenu de l'intérêt de la criminalistique nucléaire pour la mise en place des infrastructures nationales de sécurité nucléaire, l'AIEA a initialement publié des orientations techniques sur ce sujet en 2006 dans la publication n° 2 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA, intitulée « Nuclear Forensics Support »¹, en s'appuyant sur une conception générale de la conduite d'un examen de criminalistique nucléaire qui a été développée par le Groupe de travail technique international sur la criminalistique nucléaire [3]. Depuis lors, la criminalistique nucléaire a évolué. Des examens de criminalistique nucléaire ont été menés avec succès dans plusieurs affaires déclarées de trafic illicite d'uranium hautement enrichi et de plutonium, ainsi qu'à la suite d'événements mettant en jeu des matières nucléaires et d'autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire. Des techniques similaires à celles qui sont employées en criminalistique nucléaire ont été appliquées pour lutter contre le terrorisme nucléaire et assurer le respect de plusieurs instruments juridiques internationaux, telle la Convention sur la protection physique des matières nucléaires [4]. Compte tenu de ces évolutions, les Orientations techniques intitulées « Nuclear Forensics Support » ont été mises à jour pour former l'ossature du présent Guide d'application.

OBJET

1.5. La présente publication a pour objet de donner aux décideurs, aux autorités compétentes, aux forces de l'ordre et au personnel technique des orientations sur le rôle que peut jouer la criminalistique nucléaire dans le cadre d'enquêtes sur différents événements de sécurité nucléaire où entrent en jeu des matières nucléaires et d'autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire. Elle vise à décrire le rôle que joue la criminalistique nucléaire dans les enquêtes sur les événements de sécurité nucléaire et à définir un cadre pour la criminalistique nucléaire au sein d'une infrastructure nationale de sécurité nucléaire. La présente publication favorise également la coopération internationale en encourageant les États à solliciter ou à fournir s'il y a lieu une assistance pour le développement de capacités ou pendant une enquête sur un événement de sécurité nucléaire.

¹ AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Nuclear Forensics Support, collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 2, AIEA, Vienne (2006). Le présent Guide d'application remplace les orientations techniques publiées en 2006.

CONTENU

1.6. La présente publication présente les examens de criminalistique nucléaire, le rôle de cette dernière au sein d'une infrastructure nationale de sécurité nucléaire, notamment pour les enquêtes sur les événements de sécurité nucléaire, et les mécanismes de coopération et d'assistance internationales en matière de criminalistique nucléaire. Les aspects essentiels de la création de capacités en criminalistique nucléaire, notamment la sensibilisation, la formation théorique, le développement des compétences et la formation pratique, sont également présentés. D'autre part, la présente publication souligne que les moyens de criminalistique nucléaire ne se limitent pas à des appareils ou à des mesures analytiques. La criminalistique nucléaire suppose la mise en place d'un plan complet par l'État afin de déterminer l'origine et l'histoire des matières nucléaires et des autres matières radioactives pour la répression ou les enquêtes de sécurité nucléaire. Ces enquêtes peuvent notamment porter sur les affaires de trafic illicite ou d'autres découvertes de matières nucléaires ou autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire.

1.7. La présente publication ne donne pas d'orientations détaillées concernant la conception, le matériel ou le personnel des laboratoires où des examens de criminalistique nucléaire peuvent être menés, ni concernant la conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives, la conduite ou la gestion d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire et les examens criminalistiques classiques, même si chacune de ces activités contribue au succès des examens de criminalistique nucléaire. La criminalistique conventionnelle comprend l'examen d'objets, de matériel biologique et de documents qui est mené dans le cadre des disciplines conventionnelles de la criminalistique par les autorités chargées des enquêtes. Les éléments de preuve concernés sont notamment les suivants :

- empreintes digitales ;
- marqueurs génétiques, tels l'ADN nucléaire ou l'ADN mitochondrial ;
- traces de chaussures et de pneus ;
- traces d'outils ;
- explosifs, peintures et autres substances chimiques ;
- pièces métalliques ;
- éléments présents à l'état de traces, comme les fibres, les cheveux ou le pollen.

1.8. La présente publication vient appuyer les Recommandations de sécurité nucléaire sur les matières nucléaires et autres matières radioactives non soumises

à un contrôle réglementaire [5], parues en 2011, et d'autres publications de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA viennent la compléter :

- « Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material » (Lutte contre le trafic illicite des matières nucléaires et autres matières radioactives) [6] ;
- Recommandations de sécurité nucléaire sur la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (INFCIRC/225/Révision 5) [7] ;
- Identification des sources et des dispositifs radioactifs [8] ;
- « Radiological Crime Scene Management » (Conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives) [9].

STRUCTURE

1.9. Après la présente introduction, la section 2 illustre le plan d'action type pour la criminalistique nucléaire et signale les points que tous les États doivent prendre en compte lorsqu'ils mettent en place des moyens de criminalistique nucléaire. La section 3 porte sur l'élaboration de deux documents importants, le plan d'examen criminalistique et le plan d'analyses de criminalistique nucléaire. La section 4 présente plusieurs techniques qui sont utilisées pour effectuer des examens de criminalistique nucléaire sur des éléments de preuve contaminés par des radionucléides. La section 5 est consacrée aux prescriptions qui concernent les laboratoires de criminalistique nucléaire officiels et aux différents types d'analyses de criminalistique nucléaire. La section 6 donne un aperçu des méthodes et des procédures qui sont appliquées pour interpréter les données de criminalistique nucléaire et la section 7 porte sur la confiance dans les résultats d'analyse et sur la communication de ces résultats. La section 8 est consacrée à la coopération internationale dans le domaine de la criminalistique nucléaire et aux points à prendre en compte lorsqu'une demande d'assistance est formulée dans ce cadre. La section 9 présente les activités de création de capacités nationales qui devraient être menées pour mettre en place et maintenir des moyens de criminalistique nucléaire. Trois annexes donnent respectivement des informations plus détaillées sur les techniques de caractérisation, sur d'autres branches de la criminalistique et sur des exemples d'activités de création de capacités qui existent au niveau international. Les annexes sont suivies d'un glossaire, dans lequel les définitions ont été harmonisées avec d'autres publications de l'AIEA et des Nations Unies.

2. RÔLE DE LA CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE DANS UNE INFRASTRUCTURE NATIONALE DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

2.1. Les matières nucléaires et autres matières radioactives sont présentes tout au long du cycle du combustible nucléaire et sont couramment utilisées dans d'autres secteurs, dans la recherche, pour les analyses médicales et biologiques et pour d'autres applications techniques et scientifiques. Les États doivent mettre en place une infrastructure de sécurité nucléaire pour protéger ces matières. Cette infrastructure doit notamment intégrer des mesures destinées à prévenir et détecter les événements de sécurité nucléaire et à y faire face. Les États devraient être prêts à réagir adéquatement s'il apparaît que des matières nucléaires et autres matières radioactives ne sont pas soumises à un contrôle réglementaire, notamment en ayant recours à la criminalistique nucléaire à l'appui des enquêtes. Le tableau 1 donne quelques exemples de matières nucléaires et d'autres matières radioactives.

TABLEAU 1. EXEMPLES DE TYPES DE MATIÈRES
NUCLÉAIRES ET D'AUTRES MATIÈRES RADIOACTIVES

Type de matière	Exemples	
Matières nucléaires	Pu ^{233}U	^{235}U ^{238}U
Radionucléides à usage médical	^{14}C ^{57}Co ^{67}Ga ^{123}I	^{125}I ^{131}I $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^{201}Tl
Radionucléides à usage industriel	^{241}Am ^{133}Ba ^{109}Cd ^{252}Cf	^{60}Co ^{137}Cs ^{192}Ir ^{90}Sr

2.2. La Base de données de l'AIEA sur les incidents et les cas de trafic (ITDB)² contient des informations, communiquées volontairement, sur la possession non autorisée, le vol ou la perte de matières nucléaires et autres matières radioactives et sur d'autres activités où ce type de matières entre en jeu. De janvier 1993 à décembre 2013, 2 477 incidents confirmés ont été notifiés à l'ITDB. Sur ce nombre, 424 concernaient la possession non autorisée et les activités criminelles correspondantes (dont 16 de l'uranium hautement enrichi ou du plutonium), 664 concernaient la perte ou le vol de matières nucléaires et autres matières radioactives et, dans 1 337 affaires, d'autres activités non autorisées et d'autres événements ont été signalés. Un incident peut rentrer dans plusieurs de ces catégories, par exemple un vol, suivi d'une tentative de vente d'une source radioactive. La somme du nombre d'incidents pour l'ensemble des groupes peut donc ne pas être égale au nombre total d'incidents. Dans 69 cas, les informations communiquées étaient insuffisantes pour déterminer dans quelle catégorie classer l'incident.

2.3. Le nombre d'affaires signalées montre que, même si des infrastructures nationales de sécurité nucléaire existent, il y a toujours des incidents où entrent en jeu des matières nucléaires et autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire – qu'ils résultent d'un acte involontaire, par exemple une perte, ou d'un acte intentionnel délictueux comme le vol. Compte tenu de ces informations, les États doivent mettre en place les moyens nécessaires pour prévenir et détecter les événements qui mettent en jeu des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives et qui ont des conséquences pour la sécurité nucléaire, et faire face à ce type d'événements. Ces derniers sont appelés événements de sécurité nucléaire [5]. L'examen de criminalistique nucléaire peut être une composante importante d'une intervention en cas d'événement de sécurité nucléaire.

LA CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE, UNE MESURE PRÉVENTIVE

2.4. Les enseignements qui sont tirés d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire peuvent être pris en compte pour les mesures de sécurité nucléaire, ce qui permet de les améliorer et de contribuer à la prévention des futurs événements de sécurité nucléaire. Les résultats d'un examen de criminalistique nucléaire peuvent par exemple montrer que les matières concernées ont été prises dans une installation ou sur un site où le niveau de sécurité était auparavant considéré comme

² Voir <https://www.iaea.org/fr/ressources/bases-de-donnees/base-de-donnees-sur-les-incidentes-et-les-cas-de-traffic-itdb>.

suffisant. Ils peuvent faire apparaître des failles dans la comptabilité des matières ou les systèmes de sécurité nucléaire au niveau de l'installation ou de l'État.

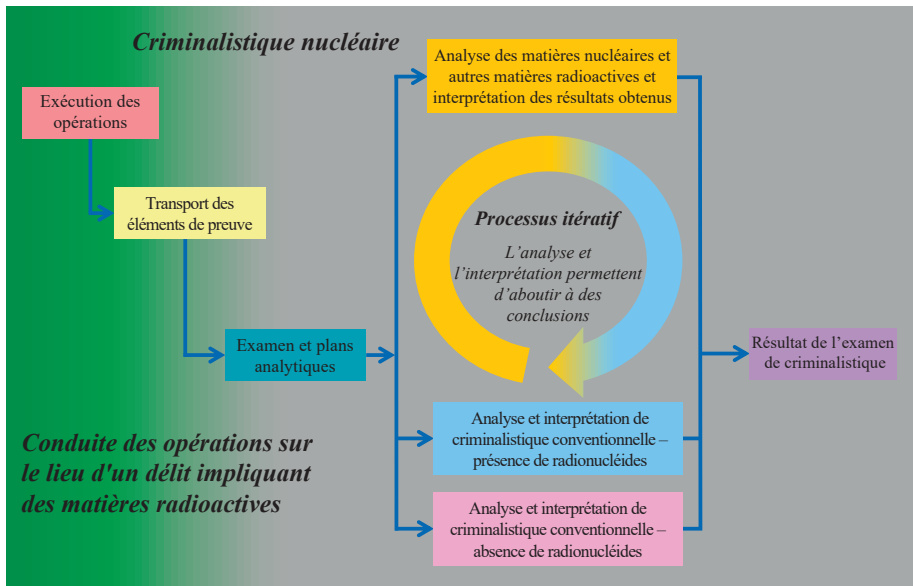
2.5. Le fait de savoir qu'un État dispose de moyens de criminalistique nucléaire peut également dissuader des individus ou des groupes qui auraient l'intention de détourner des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives ou de se livrer au trafic illicite de telles matières [4]. L'effet dissuasif de la criminalistique nucléaire dépend du fait qu'elle est mise en œuvre de manière sérieuse et qu'elle a joué un rôle positif dans des enquêtes et des poursuites judiciaires ultérieures fructueuses qui sont fondées sur les résultats obtenus.

PLAN D'ACTION TYPE POUR LA CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

2.6. Le plan d'action type pour la criminalistique nucléaire qui est représenté à la figure 1 donne des orientations générales concernant la conduite des examens de criminalistique nucléaire et des activités connexes qui devraient être menées dans le cadre des enquêtes qui sont ouvertes à la suite d'événements de sécurité nucléaire. Il porte sur les actions engagées par les autorités qui demandent un examen de criminalistique nucléaire et par les laboratoires qui peuvent être sollicités pour procéder à une analyse et interpréter les résultats.

2.7. L'examen de criminalistique nucléaire est effectué pour répondre à des questions essentielles qui sont posées par l'autorité chargée de l'enquête et qui peuvent concerner l'utilisation prévue, l'histoire et l'origine des matières nucléaires ou autres matières radioactives qui sont en cause dans un événement de sécurité nucléaire faisant l'objet d'une enquête. Ces questions dépendent de la nature de l'événement de sécurité nucléaire concerné et des éventuelles poursuites judiciaires qui pourraient être engagées à la suite de l'enquête.

2.8. L'analyse et l'interprétation des données de criminalistique nucléaire peuvent permettre de tirer des conclusions concernant les matières qui entrent en jeu dans un événement de sécurité nucléaire. Si l'on y ajoute d'autres aspects de l'enquête, notamment les résultats obtenus grâce à la criminalistique conventionnelle, des conclusions peuvent être tirées quant aux liens entre les matières et les personnes, les lieux, les événements et les processus de production. Les États devraient être conscients que, même si le recours à la criminalistique nucléaire peut être irrégulier, cette discipline peut jouer un rôle important dans les enquêtes relatives aux événements de sécurité nucléaire.



Note : Le dégradé d'arrière-plan montre le passage de la conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives à l'examen de criminalistique nucléaire.

FIG. 1. Plan d'action type pour la criminalistique nucléaire : Un processus qui facilite les enquêtes sur les événements de sécurité nucléaire.

CADRE NATIONAL POUR LA MISE EN PLACE DE MOYENS DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

2.9. Tous les États devraient disposer d'un plan national d'intervention en cas d'événement de sécurité nucléaire afin que les interventions soient adaptées et coordonnées. Comme la criminalistique nucléaire peut jouer un rôle essentiel dans les enquêtes relatives aux événements de sécurité nucléaire, le plan d'action type pour la criminalistique nucléaire (voir Fig. 1) devrait autant que possible être intégré dans le plan national d'intervention.

2.10. Les États devraient veiller à ce que les attributions relatives à la criminalistique nucléaire en cas d'événement de sécurité nucléaire soient clairement définies et à ce que les compétences, les procédures et les appareils correspondants existent. Ils devraient également prévoir l'entreposage des matières nucléaires et autres matières radioactives saisies de manière sûre et sécurisée et disposer des moyens nécessaires pour transporter de manière sûre et sécurisée ces matières du lieu où un événement de sécurité nucléaire s'est produit jusqu'à un

site d'entreposage des éléments de preuve. Ce site peut être un laboratoire capable de caractériser les matières prélevées ou peut être un lieu où les matières saisies sont temporairement conservées jusqu'à ce qu'elles soient acheminées jusqu'à un laboratoire de criminalistique nucléaire agréé pour analyse.

2.11. Pour mettre en place des moyens de criminalistique nucléaire dans un État, il faudrait commencer par recenser les moyens existants, notamment les installations déjà présentes et les compétences utiles qui sont déjà mises à profit à d'autres fins, et créer des mécanismes pour qu'elles soient utilisées au cours des enquêtes. Des moyens appropriés peuvent par exemple exister dans des instituts de radioprotection, dans des départements universitaires de radiochimie ou de physique nucléaire, dans des laboratoires de contrôle radiologique de l'environnement, dans des laboratoires chargés de contrôler la qualité des installations du cycle du combustible nucléaire ou dans des établissements chargés de la sécurité ou de la défense. Certains États peuvent être capables d'exploiter l'expérience acquise ou l'infrastructure mise en place pour contrôler le respect de traités internationaux, notamment le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires [10], la Convention sur la protection physique des matières nucléaires [4] et l'amendement à celle-ci, adopté en 2005 [11] (qui n'est pas encore entré en vigueur).

2.12. Lorsque cela est possible, un État peut également créer une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire, qui est placée sous son contrôle et permet de déterminer de manière fiable si des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire qui sont découvertes concordent avec les matières produites, utilisées ou entreposées dans l'État concerné. Pour une présentation plus détaillée de la création d'une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire, voir les paragraphes 6.7 à 6.9.

2.13. La coopération internationale permet aux États de demander, de recevoir et de fournir une assistance en criminalistique nucléaire pour contribuer à créer des capacités ou dans le cadre d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire. Les outils d'analyse spéciaux qui permettent de caractériser les matières nucléaires et les autres matières radioactives n'existent que dans quelques laboratoires du monde et peuvent n'être nécessaires que pour enquêter sur un petit nombre d'événements de sécurité nucléaire. Les États qui ne disposent pas des moyens permettant d'effectuer une caractérisation complète de matières nucléaires, d'autres matières radioactives ou d'éléments de preuve contaminés par des radionucléides peuvent décider de conclure des accords ou des arrangements bilatéraux ou multilatéraux avec des laboratoires pour disposer de moyens de criminalistique nucléaire supplémentaires ou pour faciliter l'assistance si nécessaire (voir par. 8.7 à 8.10).

CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE ET INSTRUMENTS JURIDIQUES INTERNATIONAUX ET NATIONAUX

2.14. La responsabilité en matière de sécurité nucléaire et donc de criminalistique nucléaire incombe entièrement à chaque État. Il n'existe aujourd'hui aucun instrument juridique international qui porte sur tous les aspects d'une infrastructure de sécurité nucléaire. Juridiquement, la sécurité nucléaire repose sur un ensemble d'instruments juridiques internationaux contraignants, par exemple des conventions et des traités (qui lient les États parties) et des résolutions du Conseil de sécurité de l'ONU (qui lient les États membres de l'ONU), notamment ceux qui sont visés dans les références [4] et [10] à [20], ainsi que sur des principes reconnus qui ont été élaborés pour promouvoir une utilisation sûre et sécurisée des techniques nucléaires. Ces instruments juridiques internationaux ont instauré des obligations qui imposent notamment aux États de créer des infractions pour certains actes intentionnels qui donnent lieu à une utilisation abusive de matières nucléaires et d'autres matières radioactives et de mettre en place des mécanismes pour pouvoir demander, recevoir et fournir une assistance. Ils contiennent également des dispositions sur le retour de ces matières dans des circonstances bien définies et dans certaines conditions. Les instruments juridiques bilatéraux et multilatéraux permettent une coopération et un échange d'informations et de moyens, et contribuent à renforcer la sécurité internationale.

2.15. La criminalistique nucléaire contribue à la mise en œuvre des mesures requises par :

- a) le cadre juridique international relatif à la sécurité nucléaire et la manière dont il régit les relations entre États, surtout la coopération et l'assistance pour les enquêtes sur les événements de sécurité nucléaire qui ont des conséquences transfrontières ;
- b) le cadre juridique national relatif à la sécurité nucléaire, en particulier à l'appui des démarches juridiques qui sont menées par un État concernant un événement de sécurité nucléaire, y compris les éventuelles poursuites pénales.

2.16. Les États devraient veiller à ce qu'un cadre juridique et réglementaire complet soit établi et respecté pour appuyer les autorités compétentes et leur donner des pouvoirs. Les responsabilités à définir et à assumer concernent la réglementation, les douanes et la protection des frontières, le transport des matières, le contrôle et l'application de la loi, ainsi que les poursuites en cas d'infractions présumées où entrent en jeu des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives et les décisions de justice correspondantes.

3. ÉLABORATION DU PLAN D'EXAMEN CRIMINALISTIQUE ET DU PLAN D'ANALYSES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE CORRESPONDANT

3.1. Pour les besoins d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire, une fois qu'une première évaluation a été effectuée sur place, y compris une catégorisation des matières nucléaires ou autres matières radioactives, un plan d'examen criminalistique devrait être établi par l'autorité chargée de l'enquête, en concertation avec les laboratoires de criminalistique compétents, notamment les laboratoires de criminalistique nucléaire agréés. Une catégorisation est effectuée pour recenser les répercussions en matière de sécurité nucléaire et les risques que les matières saisies font courir aux premiers intervenants, aux forces de l'ordre et au public. Le plan d'examen criminalistique devrait définir les critères à respecter dans le cadre des examens qui doivent être menés pour étayer d'éventuelles poursuites pénales. Il devrait également tenir compte des obligations de conservation des échantillons qui peuvent être imposées par la justice si les résultats de l'enquête sont utilisés dans le cadre d'une procédure judiciaire.

3.2. L'un des problèmes que l'on rencontre lorsque l'on mène des examens de criminalistique est de décider dans quel ordre ces examens doivent être effectués. Les examens de criminalistique conventionnelle et de criminalistique nucléaire devraient être menés dans un ordre tel que les informations cruciales soient obtenues sans retard inutile et que la quantité et la qualité des données obtenues grâce aux échantillons soient conformes à la demande de la principale autorité chargée de l'enquête. La présence de radionucléides rend le problème plus complexe, car elle peut limiter les types d'examens qui peuvent être effectués et les lieux où les examens peuvent se dérouler. L'ordre des examens devrait figurer dans le plan d'examen criminalistique.

3.3. Le plan d'examen criminalistique devrait tenir compte des besoins de l'enquête, de l'intérêt supposé des résultats escomptés pour l'enquête, des pertes connues ou supposées des caractéristiques essentielles au fil du temps si les examens sont retardés et des procédures applicables à l'échelle nationale pour la conduite des examens en criminalistique conventionnelle et en criminalistique nucléaire. Il faudrait généralement donner la priorité aux examens dont les résultats permettent d'identifier précisément une personne (comme l'analyse de l'ADN ou l'examen des empreintes digitales) sur ceux dont les résultats ne permettront probablement que de connaître un groupe ou une classe (traces de chaussures ou

de pneus, par exemple, ou présence d'un type particulier d'explosif). La présence d'autres informations et renseignements concernant l'enquête peut rendre plus intéressants les résultats relatifs à une caractéristique de classe, surtout lorsqu'il est indispensable de réduire le nombre de possibilités pour circonscrire l'enquête.

3.4. À l'appui du plan d'examen criminalistique, chaque laboratoire de criminalistique concerné devrait établir un plan d'analyses en concertation avec la principale autorité chargée de l'enquête. Cette concertation est importante pour que les exigences essentielles du plan d'examen soient prises en compte lorsque chaque laboratoire de criminalistique élabore son plan d'examen.

ÉLABORATION D'UN PLAN D'ANALYSES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

3.5. Il faudrait élaborer un plan d'analyses de criminalistique nucléaire pour définir précisément les types d'analyses qui seront effectués afin de répondre aux besoins de l'enquête, l'ordre des analyses qui portent sur des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives, ainsi que les éléments de preuve qui sont contaminés par des radionucléides. La caractérisation constitue un des éléments essentiels d'un plan d'analyses de criminalistique nucléaire. Elle est effectuée pour déterminer la nature des matières radioactives et des éléments de preuve connexes (concernant les outils d'analyse et les méthodes et techniques de laboratoire applicables à la caractérisation, voir respectivement les paragraphes 5.7 à 5.10 et 5.13 à 5.21). Le ou les laboratoires de criminalistique nucléaire agréés devraient établir le plan d'analyses de criminalistique nucléaire à l'aide des éléments communiqués par l'autorité chargée de l'enquête, laquelle donne son accord en définitive, de telle sorte que ce plan réponde aux besoins du plan d'examen criminalistique et de l'enquête. Le plan d'analyses de criminalistique nucléaire devrait être souple et adaptable afin que, à mesure que de nouvelles informations sont obtenues grâce à l'enquête ou à l'analyse d'échantillons, les exigences relatives à l'examen de criminalistique puissent être revues. Il peut être modifié au besoin après qu'une consultation appropriée a eu lieu et que les documents nécessaires ont été établis.

Types d'échantillons et d'analyse

3.6. Les types d'échantillons et d'analyse qui sont nécessaires pour répondre aux questions posées par l'autorité chargée de l'enquête devraient être pris en compte lors de l'élaboration du plan d'analyses de criminalistique nucléaire. Le tableau 2 donne des exemples des types d'échantillons qui peuvent être prélevés pendant une enquête sur un événement de sécurité nucléaire, leur éventuel intérêt

sur le plan criminalistique et les conditions d'examen de ces échantillons. Compte tenu de la diversité des types d'échantillons et des conditions particulières qu'ils exigent, il peut être impossible d'analyser tous les échantillons au même endroit (par exemple dans une partie d'une installation ou d'un laboratoire), et il faudrait tenir compte de ce point lors de l'élaboration du plan d'analyses de criminalistique nucléaire. S'il est par exemple nécessaire d'analyser des radionucléides à l'état de traces, les mesures ne seront pas effectuées à côté ou à proximité d'appareils de laboratoire qui servent pour l'analyse globale de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives.

Considérations relatives aux examens en laboratoire

3.7. Le laboratoire qui procède à une analyse de criminalistique nucléaire devrait intervenir en appliquant un plan d'assurance de la qualité, dans lequel figurent la chaîne de responsabilité correspondant à l'échantillon, les procédures d'analyse validées, le nom des membres du personnel ayant des compétences avérées, une description des procédures, les fiches de résultats types et les modalités de gestion des dossiers. Les procédures relatives à l'analyse de criminalistique nucléaire devraient prévoir des déclarations relatives au contrôle de la contamination ou de la contamination croisée qui concernent expressément la contamination par des radionucléides. Lorsqu'il élabore un plan d'analyses de criminalistique nucléaire, le laboratoire devrait déterminer les procédures à suivre et la quantité de matières nécessaires pour chaque analyse, ainsi que les écarts prévus par rapport aux procédures écrites. Ce plan devrait également porter sur les relations nécessaires avec les analyses de criminalistique conventionnelle, en précisant par exemple si le laboratoire de criminalistique nucléaire participera au recueil des éléments de preuve classique ou à la décontamination radioactive de matières avant qu'elles ne soient examinées par un laboratoire de criminalistique conventionnelle (voir section 4). En outre, la valeur probante des résultats d'un examen de criminalistique nucléaire, même lorsque les analyses sont effectuées conformément aux protocoles et aux normes applicables, peut être gravement compromise si l'on n'utilise pas les paramètres ou si l'on ne procède pas aux examens prévus dans le plan d'examen criminalistique. Des spécialistes de l'application des lois devraient donc clairement préciser quelles sont les méthodes et les normes qui peuvent être appliquées pour une exploitation ultérieure dans un tribunal, ainsi que les conséquences possibles de tout écart par rapport au plan d'analyses de criminalistique nucléaire.

TABLEAU 2. TYPES D'ÉCHANTILLONS QUI PEUVENT FIGURER DANS UN PLAN D'ANALYSES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

Type d'échantillon	Intérêt éventuel sur le plan criminalistique	Conditions requises pour l'examen
Matières nucléaires et autres matières radioactives en vrac	Déterminer si la possession est autorisée	Moyens et infrastructure nécessaires pour manipuler et caractériser des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives en vrac
	Déterminer l'origine possible des matières	
	Connaître l'histoire des matières Établir des liens entre des affaires lorsque les mêmes matières sont découvertes	Compétences techniques concernant le cycle du combustible nucléaire pour pouvoir interpréter les résultats
Objets contaminés par des radionucléides	Déterminer les lieux où des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives ont été manipulées ou traitées	Expérience concernant l'analyse de traces de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives et connaissance des limites possibles de ce type d'échantillons et des résultats correspondants (influence du rayonnement de fond, par exemple)
	Identifier les matières nucléaires ou autres matières radioactives supplémentaires qui ont pu être manipulées auparavant dans un lieu où des matières en vrac ont été découvertes	Aptitude à isoler et à analyser les petits échantillons
	Établir un lien entre les personnes impliquées ou soupçonnées et les matières	Compétences concernant l'analyse et l'interprétation des données de criminalistique conventionnelle
Échantillons biologiques (urine, sang, cheveux et tissus, par exemple)	Déterminer quelles personnes ont manipulé des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives	Expérience dans le domaine des analyses biologiques ou de la dosimétrie sanguine Compétence dans le domaine de la radioprotection ou de la radiobiologie pour pouvoir interpréter les résultats
	Déterminer quelles personnes ont reçu une dose externe	

TABLEAU 2. TYPES D'ÉCHANTILLONS QUI PEUVENT FIGURER DANS UN PLAN D'ANALYSES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE (suite)

Type d'échantillon	Intérêt éventuel sur le plan criminalistique	Conditions requises pour l'examen
	Établir un lien entre des personnes et des événements où entrent en jeu des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives	
Échantillons de l'environnement ou échantillons géologiques qui ont un rapport avec des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives	Déterminer les itinéraires ou les voies par lesquels les matières nucléaires ou les autres matières radioactives ont pu être acheminées	Compétences dans le domaine des analyses environnementales (c'est-à-dire des minéraux, des poussières et des pollens) et de l'interprétation des données géologiques et géochimiques

SOUS-ÉCHANTILLONNAGE

3.8. Pour les échantillons de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives en vrac, le poids de l'échantillon entier peut être plus élevé que celui qui figure dans le plan d'analyses. La masse ou l'activité qui peuvent être reçues et analysées dans un laboratoire peuvent également être limitées pour des questions techniques ou réglementaires. Il peut donc être nécessaire de séparer les matières – procédé appelé sous-échantillonnage – avant de les envoyer au laboratoire d'analyse. Les échantillons pouvant être hétérogènes, des protocoles de sous-échantillonnage spéciaux devraient être appliqués afin que les sous-échantillons soient véritablement représentatifs des matières en vrac. Les limites que peuvent présenter ces méthodes devraient figurer dans le plan d'analyses.

3.9. Pour obtenir un échantillon représentatif, il faudrait employer des techniques qui réduisent au minimum le risque que les résultats soient faussés par l'hétérogénéité des éléments de preuve. Dans des cas extrêmes, la nécessité de disposer d'échantillons représentatifs peut imposer d'analyser individuellement des particules, mais une analyse globale est le plus souvent suffisante. Lorsque la quantité de matières disponibles est limitée, le sous-échantillonnage peut être inutile ou difficile à effectuer. En pareil cas, le plan d'analyses de criminalistique

nucléaire devrait définir les priorités pour la répartition des matières. Si l'on ne dispose que de petites quantités de matières, il importe que toutes les analyses non destructives soient effectuées avant les analyses qui provoquent une consommation de matières ou qui peuvent modifier les caractéristiques de l'échantillon. En outre, pour les petits échantillons, les techniques d'analyse de traces ou de microanalyse peuvent être plus appropriées que les techniques qui sont optimisées pour les gros échantillons. Le sous-échantillonnage peut provoquer une contamination ou altérer les éléments de preuve, et les précautions nécessaires devraient être prises.

DISTRIBUTION DES ÉLÉMENTS DE PREUVE

3.10. Une fois que le plan d'examen criminalistique et le plan d'analyses de criminalistique nucléaire ont été établis et que les sous-échantillonnages nécessaires ont été effectués, les éléments de preuve devraient être distribués aux laboratoires qui sont chargés des analyses.

3.11. Les échantillons criminalistiques devraient être transportés jusqu'aux laboratoires par des méthodes qui permettent d'assurer la continuité de la chaîne de responsabilité (comme l'utilisation de scellés ou d'étiquettes). Afin de réduire au minimum le risque que des éléments de preuve soient involontairement modifiés pendant leur transport, il faudrait prendre en compte les effets possibles des conditions de transport (c'est-à-dire la température, l'humidité et les vibrations) et éventuellement y remédier. Le transport des matières nucléaires et autres matières radioactives devrait être soigneusement organisé et il faudrait qu'il y ait des personnes compétentes dans le domaine du transport de matières dangereuses, surtout de matières radioactives. En outre, il faudrait que les communications entre l'expéditeur et le destinataire soient fiables et régulières afin que les procédures requises pour l'envoi d'échantillons nucléaires ou d'autres échantillons radioactifs soient respectées.

4. EXAMEN CRIMINALISTIQUE D'ÉLÉMENTS DE PREUVE CONTAMINÉS PAR DES RADIONUCLÉIDES

4.1. L'examen des objets et des documents qui est effectué dans le cadre des disciplines conventionnelles de la criminalistique est courant pour les enquêtes qui sont menées par les autorités compétentes. Ces disciplines comprennent l'étude des empreintes digitales, des marqueurs génétiques (c'est-à-dire l'ADN

nucléaire et l'ADN mitochondrial), des traces de chaussures et de pneus, des traces d'outils, des résidus d'explosifs, des éléments balistiques, des peintures et autres substances chimiques, des pièces métalliques, des documents et des éléments présents à l'état de traces (c'est-à-dire les fibres, les cheveux et le pollen), ainsi que la médecine légale. On trouvera de plus amples informations sur ces disciplines dans l'annexe I.

4.2. Les examens de criminalistique conventionnelle et de criminalistique nucléaire devraient se compléter. Dans les deux cas, on peut obtenir des résultats qui contribuent à déterminer s'il existe des liens entre des personnes, des lieux, des événements et des processus, et si ces liens font apparaître une perte du contrôle réglementaire. Ces résultats peuvent être particulièrement utiles lorsqu'ils permettent d'établir de tels liens ou de laisser de côté certaines matières nucléaires ou autres matières radioactives. La possibilité que des matières radioactives soient présentes comme contaminants ou dans des objets pose un problème particulier pour les examens qui sont menés en criminalistique conventionnelle.

ÉLÉMENTS DE PREUVE CONTAMINÉS

4.3. Les éléments de preuve qui entrent en jeu dans un événement de sécurité nucléaire devraient être examinés pour déterminer s'ils sont contaminés par des radionucléides. Ceux dans lesquels aucun radionucléide n'a été détecté peuvent être soumis directement à un examen de criminalistique une fois qu'ils ont été expédiés par l'autorité compétente, car ils ne présentent aucun risque radiologique pour les personnes qui les manipulent.

4.4. Des considérations particulières devraient s'appliquer lorsque l'on sait ou l'on soupçonne que des éléments de preuve sont contaminés par des radionucléides. L'expression « éléments de preuve contaminés » n'a pas le même sens pour un expert en criminalistique conventionnelle et pour un expert en criminalistique nucléaire et mérite qu'on s'y attarde.

4.5. En criminalistique générale, des éléments de preuve sont « contaminés » par suite du transfert direct ou indirect de substances étrangères dans un échantillon criminalistique ou sur le lieu d'un délit. On parle alors également de « contamination croisée ». Les éléments de preuve qui sont contaminés par des substances étrangères (ils sont donc altérés) présentent un intérêt limité pour une enquête et devraient être étudiés avec prudence.

4.6. En criminalistique nucléaire, des éléments de preuve sont dits « contaminés » si des radionucléides sont présents sur ou dans les objets. Tel est le sens retenu dans la présente publication, où l'expression « éléments de preuve contaminés par des radionucléides » est employée pour éviter toute confusion. La contamination d'éléments de preuve par des radionucléides peut influencer sur la manière dont ces éléments devraient être examinés et sur les délais nécessaires. Une contamination croisée par des radionucléides peut modifier la signature des radionucléides, que l'examen de criminalistique a pour but de déterminer. En criminalistique nucléaire, l'examen d'« éléments de preuve contaminés par des radionucléides » fait donc l'objet d'une organisation et de procédures particulières.

MANIPULATION DES ÉLÉMENTS DE PREUVE CONTAMINÉS PAR DES RADIONUCLÉIDES

4.7. Lorsque des examens de criminalistique conventionnelle sont menés sur des éléments de preuve contaminés par des radionucléides, deux méthodes peuvent être employées. La première consiste à retirer les radionucléides des éléments de preuve ou à les en séparer avant d'effectuer les examens. Cette méthode est souvent appelée « décontamination des éléments de preuve ». La deuxième méthode consiste à examiner directement les éléments de preuve alors qu'ils sont encore contaminés par des radionucléides. Ces deux méthodes peuvent imposer d'obtenir l'avis de nombreux services, dont certains ne font pas partie des forces de l'ordre. Une consultation approfondie entre les experts concernés peut donc être nécessaire pour le plan d'examen criminalistique et avant que les éléments de preuve contaminés par des radionucléides ne soient manipulés. Chacune des deux méthodes présente des avantages et des inconvénients, qui devraient être soupesés pendant l'enquête et qui sont décrits aux paragraphes 4.8 à 4.13.

Décontamination des éléments de preuve qui sont contaminés par des radionucléides

4.8. Les radionucléides peuvent être retirés des éléments de preuve par un procédé physique ou chimique dans le cadre de la décontamination. Différentes techniques existent et le choix de la meilleure méthode dépend notamment de la forme des éléments de preuve, de la forme des radionucléides présents, du type d'examen à effectuer et des pratiques imposées par des considérations nationales

ou locales. En criminalistique conventionnelle, la décontamination des éléments de preuve avant examen présente plusieurs avantages :

- a) Elle peut ultérieurement permettre à l'analyste de s'approcher davantage des éléments de preuve, car le risque d'exposition aux rayonnements a été réduit au minimum.
- b) Les éléments de preuve qui ont été décontaminés peuvent être examinés de la même manière que les éléments de preuve qui n'ont pas été contaminés par des radionucléides, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de former et, s'il y a lieu, d'habiliter des personnes pour la manipulation de radionucléides.
- c) Il est inutile de mettre en place une infrastructure spéciale pour pouvoir examiner les éléments de preuve.

4.9. En criminalistique conventionnelle, la décontamination des éléments de preuve avant examen présente toutefois quelques inconvénients :

- a) Les radionucléides qui ont contaminé les éléments de preuve peuvent être eux-mêmes des éléments de preuve.
- b) Il faut généralement beaucoup de temps et de nombreux spécialistes pour retirer les radionucléides.
- c) Les éléments de preuve peuvent être modifiés d'une manière qui peut fausser tous les résultats ou modifier la propriété qui fait l'objet d'un examen.
- d) Il n'est souvent pas possible de retirer tous les radionucléides, et les éléments de preuve peuvent subir des effets radiologiques ou les analystes peuvent être exposés par inadvertance si l'on ne voit pas qu'un retrait est incomplet. Le strict respect du mode opératoire prévu pour vérifier que les éléments de preuve ont été décontaminés diminue le risque d'effets imprévus.
- e) Il faudra probablement gérer les déchets qui sont produits lors du retrait des radionucléides sans porter atteinte à l'environnement.

4.10. Des travaux de recherche concernant les effets de différentes techniques de décontamination sur certains types d'examen ont été menés [21]. Ils ont permis de tirer des conclusions sur les circonstances dans lesquelles il est judicieux de chercher à décontaminer certains types d'éléments de preuve. Il faudrait se servir de ces conclusions et d'autres travaux de recherche afin d'élaborer des protocoles pour la manipulation des éléments de preuve contaminés par des radionucléides. Il faudrait aussi étudier ces protocoles avant de procéder à un examen dans le cadre d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire.

Examen d'éléments de preuve contaminés par des radionucléides

4.11. L'examen d'éléments de preuve contaminés par des radionucléides peut être effectué sans décontamination. Cette méthode présente notamment les avantages suivants :

- a) réduire au minimum la perte ou la dégradation possible des propriétés importantes pour l'examen qui peuvent avoir été provoquées par le procédé employé pour décontaminer les éléments de preuve ;
- b) pertinence de l'examen, qui peut commencer dès la réception des éléments de preuve (dans l'hypothèse où le personnel qualifié et le matériel et les appareils nécessaires sont disponibles et qu'un plan d'analyses a été élaboré).

4.12. L'examen direct d'éléments de preuve contaminés par des radionucléides présente toutefois certains inconvénients :

- a) exposition du personnel aux rayonnements, qui peut être réduite par des mesures de sûreté radiologique appropriées tenant compte des normes internationales de sûreté [1], mais qui ne peut probablement pas être complètement supprimée ;
- b) nécessité de disposer d'installations spéciales où du matériel et des appareils spécifiques peuvent être utilisés, et de personnel formé aux examens de criminalistique conventionnelle sur des éléments de preuve contaminés par des radionucléides ;
- c) nécessité de vérifier que les techniques de criminalistique conventionnelle peuvent être appliquées à des éléments de preuve contaminés par des radionucléides dans des installations différentes de celles qui sont habituellement utilisées pour les examens de criminalistique ;
- d) risque qu'une radioexposition prolongée dégrade la qualité des éléments de preuve ou influe sur elle du point de vue criminalistique. Des travaux de recherche ont été engagés pour déterminer si ce type d'exposition avait des effets et, dans l'affirmative, si ces effets pouvaient être atténués [22]. Des actions en ce sens devraient être menées avant que l'enquête ne commence.

Détermination de la bonne démarche concernant la décontamination

4.13. La question de savoir s'il faut chercher à décontaminer les éléments de preuve ou s'il faut procéder à des examens sur ceux-ci alors qu'ils sont encore contaminés

par des radionucléides devrait être traitée dans le plan d'examen criminalistique et la décision correspondante dépend notamment des facteurs suivants :

- a) nature des éléments de preuve, du contaminant et des examens à effectuer ;
- b) disponibilité des ressources utiles pour la conduite des examens ;
- c) informations obtenues jusqu'à présent par des techniques d'enquête et de renseignement, et grâce aux examens connexes qui ont été effectués ;
- d) Politiques et procédures d'intervention en cas d'événement de sécurité nucléaire.

5. ANALYSES EN LABORATOIRE DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

5.1. En fonction de la catégorisation effectuée et des critères fixés dans le plan d'examen criminalistique, une caractérisation des matières nucléaires ou autres matières radioactives peut être nécessaire. Cette caractérisation devrait être faite dans un laboratoire de criminalistique nucléaire agréé. Avant de commencer une analyse, le laboratoire devrait élaborer un plan d'analyses de criminalistique nucléaire, qui sera approuvé par l'autorité chargée de l'enquête. Ce plan est présenté dans la section 3.

CARACTÉRISATION

5.2. L'objectif de la caractérisation est de déterminer les caractéristiques physiques, la composition chimique et élémentaire et la composition isotopique des matières nucléaires ou autres matières radioactives grâce à une série d'analyses pertinentes, et peut également être de déterminer quels sont les principaux constituants, les constituants secondaires et les constituants en trace si nécessaire. La caractérisation ne comprend généralement pas d'analyses de criminalistique conventionnelle ni d'étapes d'interprétation, comme la modélisation des processus qui se déroulent dans un réacteur nucléaire et qui pourraient avoir un lien avec l'origine des matières, ou la recherche des origines possibles. Elle prend donc moins de temps qu'une interprétation complète.

LABORATOIRE DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE AGRÉÉ

5.3. Un laboratoire de criminalistique nucléaire agréé est un laboratoire que l'État a jugé capable de recevoir ou d'analyser des échantillons de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives à l'appui des examens de criminalistique nucléaire. Il incombe à chaque État de définir les critères et le processus de décision, puis d'agréer un laboratoire de criminalistique nucléaire. Une fois que l'autorité chargée de l'enquête a jugé qu'un examen de criminalistique nucléaire était nécessaire, les éléments de preuve devraient être envoyés à un laboratoire agréé qui dispose des moyens requis pour recevoir les échantillons (matières nucléaires ou autres matières radioactives, éléments de preuve contaminés par des radionucléides ou mélange des deux) et les analyser par les différentes techniques d'analyse nécessaires. Les échanges entre l'autorité chargée de l'enquête et le laboratoire devraient commencer le plus tôt possible pendant l'intervention qui fait suite à un événement de sécurité nucléaire afin que les conditions et les moyens imposés au laboratoire puissent être communiqués et que la réception et l'analyse des échantillons puissent être planifiées et préparées grâce à l'élaboration du plan d'examen criminalistique et du plan d'analyses de criminalistique nucléaire. Pour le transport d'éléments de preuve jusqu'à un laboratoire de criminalistique nucléaire agréé et leur réception, il faudrait accorder une attention particulière à la manipulation des échantillons, et notamment veiller à ce que des dispositions appropriées soient prises pour la chaîne de responsabilité relative à la manipulation des échantillons (voir par. 3.11).

5.4. Les moyens disponibles dans les laboratoires de criminalistique nucléaire agréés varient probablement d'un État à l'autre. Certains États peuvent ne pas avoir leur propre laboratoire de criminalistique nucléaire agréé et faire appel à l'assistance bilatérale ou multilatérale pour la caractérisation. D'autres peuvent avoir agréé des laboratoires pour certains aspects de la caractérisation ou certains types de matières, des plans ayant été élaborés à des fins d'assistance pour des techniques spéciales. Seuls quelques pays au monde disposent de laboratoires où tous les outils et techniques d'analyse de criminalistique nucléaire qui peuvent être nécessaires sont disponibles. Chaque État devrait bien connaître ses propres moyens et devrait s'assurer qu'il est prêt à toute éventualité, et notamment qu'il existe des mécanismes permettant de demander, de recevoir et de fournir (selon le cas) une assistance pour effectuer une analyse de criminalistique nucléaire à l'appui d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire.

5.5. Chaque État devrait vérifier que les laboratoires de criminalistique nucléaire agréés sont capables de procéder à un examen de criminalistique nucléaire et disposent de méthodes d'analyse validées, de personnel ayant des

compétences avérées et de procédures écrites. L'accréditation du laboratoire par rapport à une norme de qualité internationalement reconnue (comme la norme ISO 9001:2008 [23], la norme ISO 14001:2004 [24], la norme ISO/IEC 17025:2005 [25] ou la norme OHSAS 18001:2007 [26]) présente un intérêt. En outre, le laboratoire de criminalistique nucléaire agréé devrait disposer de l'autorisation requise pour recevoir des matières nucléaires et d'autres matières radioactives, et devrait si possible être capable de manipuler de grandes quantités de matières (en masse et en activité) si nécessaire, tout en restant capable d'analyser des constituants présents à l'état de traces. Il peut posséder des boîtes à gants ou, pour les cas où il s'attend à recevoir des échantillons hautement radioactifs, des cellules chaudes. Le laboratoire de criminalistique nucléaire agréé devrait également disposer d'équipements de laboratoire et de procédures de travail appropriées afin de réduire au minimum le risque de contamination entre échantillons.

5.6. Le laboratoire de criminalistique nucléaire agréé devrait appliquer les mesures de protection physique appropriées et, si nécessaire, des procédures pour la comptabilité et le contrôle des matières nucléaires. Il devrait aussi respecter toutes les règles à suivre pour les installations où sont entreposées et manipulées des matières radioactives [1] et, si nécessaire, les règles qui s'appliquent au stockage et à la manipulation des matières dangereuses. Le laboratoire devrait avoir mis en place des mesures de sécurité appropriées pour garantir l'intégrité de la chaîne de responsabilité et protéger les informations sensibles qui sont communiquées dans le cadre de l'examen de criminalistique nucléaire.

OUTILS D'ANALYSE

5.7. L'expert en criminalistique nucléaire dispose d'une vaste panoplie d'outils pour mesurer les propriétés des matières nucléaires et des autres matières radioactives. Une description de nombreuses techniques d'analyse qui sont utilisées à des fins de caractérisation figure dans l'annexe II. Ces outils et techniques se rangent en trois grandes catégories : l'imagerie, l'analyse globale et la microanalyse.

5.8. Les outils d'imagerie permettent de voir des images ou des cartes de la surface des matières qui sont obtenues avec un fort grossissement et donnent des informations sur l'hétérogénéité et la microstructure de l'échantillon. Il importe de déterminer le degré d'hétérogénéité de l'échantillon. Si les matières sont hétérogènes, une analyse globale ne donnera pas de résultats représentatifs de ceux qui seraient obtenus avec des échantillons plus petits. L'imagerie peut

également faire apparaître des caractéristiques spatiales et des caractéristiques de la microstructure (comme la texture ou le grain), qui peuvent donner des informations sur le procédé thermodynamique ou mécanique employé pour former les matières.

5.9. Les outils d'analyse globale portent sur un échantillon entier ou une partie de celui-ci et visent à déterminer les caractéristiques moyennes des matières. La caractérisation des matières nucléaires et autres matières radioactives peut comprendre des mesures des caractéristiques physiques, de la composition chimique et élémentaire et de la composition isotopique (voir par. 5.13 à 5.20). Si l'analyse globale est réalisée pour donner des informations sur les constituants présents à l'état de traces dans les matériels, il faut avoir suffisamment de matières pour pouvoir effectuer des mesures exactes et précises. La présence ou l'absence de constituants à l'état de traces et les concentrations correspondantes donnent souvent des informations importantes sur le procédé de fabrication.

5.10. Si l'analyse d'images confirme que l'échantillon est hétérogène, des outils de microanalyse qui permettent de déterminer la composition chimique de très petits échantillons (d'une taille généralement inférieure à 1 mg) et de les analyser quantitativement peuvent caractériser les différents constituants des matières. Ces outils permettent également d'effectuer des mesures sur les surfaces, de sorte qu'il est possible d'identifier les contaminants de surface présents à l'état de traces ou de déterminer la composition des couches minces ou de l'enduit, ce qui permet parfois d'obtenir des informations importantes pour l'interprétation.

ORDRE ADOPTÉ POUR LES TECHNIQUES ET LES MÉTHODES

5.11. Une grande partie des techniques qui sont utilisées pour analyser les matières nucléaires et les autres matières radioactives sont destructives (c'est-à-dire que l'échantillon est consommé pendant la préparation et l'analyse). Le choix et l'ordre des techniques d'analyse sont donc essentiels et devraient être présentés en détail dans le plan d'analyses de criminalistique nucléaire. L'ordre des techniques d'analyse devrait être établi en fonction des questions auxquelles l'autorité chargée de l'enquête doit répondre selon le plan d'examen criminalistique, compte tenu de la masse d'échantillon disponible pour l'analyse, des informations déjà obtenues et des signatures possibles (physique, chimique, élémentaire et isotopique) qui permettraient de valider une interprétation précise.

5.12. Le Groupe de travail technique international sur la criminalistique nucléaire (ITWG) – une association de spécialistes de cette discipline – a élaboré

des recommandations sur l'ordre des techniques qui permet de disposer des informations les plus intéressantes le plus tôt possible au cours de l'analyse. Ces recommandations reposent sur des avis d'experts et sur l'expérience acquise grâce à trois campagnes d'analyse conjointes qui ont été menées par des laboratoires membres de l'ITWG : ces campagnes sont décrites dans l'annexe III. Le tableau 3 présente l'ordre recommandé par l'ITWG pour les analyses. Les techniques sont classées selon qu'elles peuvent être appliquées 24 heures, 1 semaine ou 2 mois après l'arrivée de l'échantillon dans le laboratoire de criminalistique nucléaire agréé (pour une description des techniques fréquemment utilisées, voir l'annexe II). Certaines techniques peuvent également être employées ultérieurement pour obtenir des résultats d'analyse plus précis grâce à un allongement de la durée de mesure. De telles durées d'analyse des matériaux peuvent également influencer sur la fréquence attendue de communication des résultats, qui correspond aux durées d'analyse de 24 heures, 1 semaine et 2 mois, en fonction de la situation. La durée de la caractérisation dépend de la charge de travail du laboratoire, de la nature de l'échantillon et des besoins de l'enquête, qui sont énumérés dans le plan d'examen criminalistique, l'objectif étant que l'examen soit achevé deux mois après réception de l'échantillon.

ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

5.13. Une fois que les échantillons ont été reçus par le laboratoire de criminalistique nucléaire, les matières devraient d'abord être analysées par spectrométrie gamma à haute résolution dans des conditions contrôlées. L'analyse peut confirmer ou modifier les résultats de l'analyse effectuée sur le lieu du délit, et peut aussi donner de nouvelles informations, comme la quantité totale de matières nucléaires ou autres matières radioactives présentes.

5.14. La caractérisation des matières nucléaires et autres matières radioactives peut comprendre des mesures des caractéristiques physiques, de la composition chimique et élémentaire et de la composition isotopique, mesures qui sont présentées dans les paragraphes 5.15 à 5.21 et qui sont récapitulées dans le tableau 3.

Mesures physiques

5.15. La première étape de la caractérisation d'un échantillon consiste généralement à contrôler visuellement les matières, opération au cours de laquelle on peut photographier ou consigner des inscriptions particulières (numéro de série ou logo de la marque, par exemple), ainsi que la couleur, la taille et la forme. Pour les objets solides en vrac, le poids, la densité, l'activité et les caractéristiques

essentielles de la microstructure (diamètre des grains, texture et inclusions, selon le cas), accompagnés des résultats du contrôle visuel, peuvent donner suffisamment d'informations à l'échelle macroscopique pour pouvoir identifier l'échantillon. Ainsi, les dimensions exactes et la forme des pastilles de combustible neuves qui sont destinées aux réacteurs nucléaires permettent souvent de savoir qui les a fabriquées. De même, la taille, l'activité et le mode d'encapsulation d'une source radioactive scellée donnent souvent des informations sur son fabricant.

TABLEAU 3. MÉTHODES ET TECHNIQUES DE LABORATOIRES, ACCOMPAGNÉES DES DÉLAIS HABITUELLEMENT NÉCESSAIRES POUR ACHEVER LES ANALYSES

Technique/méthode	Appliquée en		
	24 heures	1 semaine	2 mois
Radiométrie	Débit de dose (α , β , γ , neutrons)		
	Contamination superficielle Radiographie		
Caractérisation physique	Contrôle visuel	Microstructure, morphologie et autres caractéristiques physiques	Nanostructure, morphologie et autres caractéristiques physiques
	Photographie		
	Détermination du poids		
	Détermination des dimensions	MEB/spectroscopie des rayons X	MET
	Microscopie optique Densité	Diffraction des rayons X	
Analyse isotopique	SGHR	TIMS	SIMS
		ICP-MS	Techniques de mesure de la radioactivité

TABLEAU 3. MÉTHODES ET TECHNIQUES DE LABORATOIRES, ACCOMPAGNÉES DES DÉLAIS HABITUELLEMENT NÉCESSAIRES POUR ACHEVER LES ANALYSES (suite)

Technique/méthode	Appliquée en		
	24 heures	1 semaine	2 mois
Radiochronométrie	SGHR (pour le plutonium)	TIMS ICP-MS	SGHR (pour l'uranium) Spectrométrie alpha
Composition chimique ou élémentaire	Fluorescence X	ICP-MS Analyse chimique Spectroscopie IRTF MEB/ spectrométrie X IDMS	CPG/SM
Criminalistique conventionnelle	Recueil d'éléments de preuve utilisés dans le cadre de la criminalistique conventionnelle		Analyse d'éléments de preuve utilisés dans le cadre de la criminalistique conventionnelle et interprétation des résultats obtenus

Note : CPG/SM : chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse ; ICP-MS : spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif ; IDMS : spectrométrie de masse à dilution isotopique ; IRTF : infrarouge à transformée de Fourier ; MEB : microscopie électronique à balayage ; MET : microscopie électronique à transmission ; SGHR : spectrométrie gamma à haute résolution ; SIMS : spectrométrie de masse des ions secondaires ; TIMS : spectrométrie de masse à thermo-ionisation.

5.16. À l'échelle microscopique, les caractéristiques de la microstructure permettent de comparer plus précisément les matières. Ainsi, la distribution et la structure granulométriques des pastilles d'oxyde d'uranium peuvent donner des informations sur la manière dont elles ont été fabriquées. Dans le cas des

échantillons en poudre ou prélevés par frottis, la forme des particules peut présenter des caractéristiques distinctives qui résultent du processus de production.

Mesures de la composition chimique et élémentaire

5.17. La forme des matières nucléaires (par exemple métaux, oxydes ou produits intermédiaires comme le diuranate d'ammonium) ou d'autres matières radioactives est un indicateur important qui peut donner des informations sur la manière dont les matières ont été fabriquées et sur l'utilisation initialement prévue. Dans le cas d'un produit intermédiaire contenant de l'uranium, le composé peut donner une indication sur le processus utilisé pour fabriquer les matières et permettre ainsi de réduire la liste des sites de production possibles.

5.18. En dehors des matières nucléaires ou autres matières radioactives concernées, de nombreux autres éléments peuvent être présents dans les matières examinées, parfois à des concentrations supérieures à celles de tous les radionucléides. Ces éléments peuvent avoir été ajoutés volontairement pour que les matières présentent certaines propriétés (comme l'erbium et le gadolinium pour contrôler la réactivité du combustible nucléaire). Des impuretés chimiques peuvent également être présentes à cause d'éléments résiduels provenant des matières d'alimentation initiales ou de résidus de substances chimiques ajoutées au cours du processus de production (résidus d'acides, par exemple), et par suite de la corrosion ou de l'abrasion des cuves et de la tuyauterie. Si ces éléments sont présents à l'état de traces, ils sont appelés impuretés et la variété et la concentration de ces éléments peuvent être très caractéristiques de processus, de matières premières ou d'installations particulières. La mesure de la concentration de ces éléments peut donc être importante pour un examen, car elle peut donner des informations non seulement sur l'utilisation licite prévue, mais aussi sur les matières brutes et sur le type de site de production.

Mesures isotopiques

5.19. Les mesures isotopiques servent à déterminer la teneur isotopique des éléments présents dans les matières nucléaires ou les autres matières radioactives. La teneur isotopique donne des informations sur l'histoire des matières et sur leur utilisation prévue. Elle permet par exemple de savoir si la composition isotopique de matières nucléaires est naturelle ou si ces matières ont été retraitées ou enrichies en isotopes fissiles, ou de penser qu'elles ont probablement été utilisées comme combustible nucléaire ou éventuellement dans un dispositif nucléaire explosif. En dehors des principaux isotopes fissiles (^{239}Pu et ^{235}U), la concentration relative des isotopes mineurs du plutonium et de l'uranium (^{240}Pu , ^{238}Pu et ^{236}U , par

exemple) peut faire apparaître une irradiation à laquelle les matières nucléaires ont antérieurement été soumises.

5.20. La radiochronométrie consiste à utiliser des mesures isotopiques pour déterminer la durée qui s'est écoulée depuis la dernière fois où les matières nucléaires ou autres matières radioactives ont été épurées chimiquement (c'est-à-dire le moment où les descendants radioactifs ont été séparés des radionucléides précurseurs). La concentration des produits de désintégration radioactive du plutonium et de l'uranium, appelés produits de filiation (^{241}Am et ^{230}Th , par exemple) peut être mesurée et comparée à la concentration du père nucléaire pour déterminer l'âge des matières nucléaires séparées. La radiochronométrie est également utilisable pour les sources de radio-isotopes, par exemple celles qui contiennent du césium 137, lequel se désintègre en baryum 137, nucléide stable.

5.21. En dehors de la composition isotopique des éléments fissiles et de leurs produits de filiation, la présence et la composition isotopique d'autres éléments peuvent donner des informations sur l'origine d'un échantillon, compte tenu des variations isotopiques naturelles observées dans les différentes régions du monde. Les rapports entre concentrations d'isotopes d'un élément dans un échantillon peuvent donner une indication sur le processus employé ou sur le lieu de production (dans le cas du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, par exemple) ou sur les matières d'alimentation (dans le cas des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, par exemple).

6. INTERPRÉTATION DES DONNÉES DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

6.1. Une fois les analyses terminées, il peut être nécessaire de faire appel à des compétences supplémentaires pour interpréter les résultats et formuler des conclusions de criminalistique nucléaire conformément au plan d'examen criminalistique. Dans ce cas, il faut parfois rechercher des compétences en dehors du laboratoire qui a effectué les mesures. L'interprétation des données de criminalistique nucléaire consiste à comparer et à associer les caractéristiques d'un échantillon et les informations relatives aux types de matières et à l'origine et au mode de production des matières nucléaires et autres matières radioactives, ou les informations sur d'autres affaires dans lesquelles des matières similaires entraient en jeu. L'interprétation des données de criminalistique nucléaire donne le contexte et les explications des résultats d'analyse et sert de référence pour les conclusions de criminalistique nucléaire.

MÉTHODES D'INTERPRÉTATION

6.2. Les signatures de criminalistique nucléaire sont un ensemble de caractéristiques d'un certain échantillon de matières nucléaires ou autres matières radioactives qui peuvent permettre de déterminer si l'échantillon en question pourrait ou non provenir de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives utilisées, produites ou entreposées dans l'État. Elles peuvent contribuer à savoir par quels procédés les matières ont été fabriquées et quelle est leur histoire ultérieure.

6.3. Des signatures de référence pour des processus et des installations de l'ensemble du cycle du combustible nucléaire, qui serviront à interpréter les résultats d'analyse des échantillons, sont établies à l'aide de méthodes empiriques (grâce à de précédents résultats d'analyses de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives) et de modèles élaborés à partir des réactions chimiques et physiques qui se produisent au cours des processus du cycle du combustible nucléaire. La connaissance des sciences analytiques peut guider le choix des méthodes appropriées pour la vérification de la présence ou de l'absence de telle ou telle signature de criminalistique nucléaire.

6.4. L'interprétation des données de criminalistique nucléaire comprend une comparaison entre les résultats des analyses de l'échantillon concerné et des informations sur les caractéristiques correspondantes de matières existantes ou connues. Une seule signature de matières (une seule mesure isotopique, par exemple) n'est généralement pas suffisante pour identifier un échantillon uniquement à l'aide de classes connues de matières similaires. Contrairement à ce que l'on observe pour un examen des empreintes digitales, par exemple, il peut être impossible, en l'absence d'archives, de s'appuyer uniquement sur la comparaison entre une analyse de l'échantillon en question et une analyse d'échantillons existants ou connus. En revanche, plusieurs signatures utilisées conjointement, par exemple des mesures isotopiques, des impuretés et la microstructure, peuvent renforcer la certitude que les données obtenues pour un échantillon particulier correspondent à une classe connue de matières similaires. À l'aide de plusieurs signatures, il est également possible de procéder à une exclusion – conclusion selon laquelle un échantillon particulier n'appartient pas à des classes connues de matières – ce qui peut aussi être utile pour l'interprétation des données de criminalistique nucléaire.

6.5. Parmi les moyens qui peuvent faciliter la comparaison avec les informations sur les classes connues de matières, on peut citer la bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire ou les bases de données connexes qui contiennent des informations sur les matières nucléaires et les autres matières radioactives utilisées,

produites ou entreposées dans l'État, auxquelles s'ajoute une compétence dans le domaine pour faciliter l'interprétation. Les échantillons archivés peuvent être réanalysés à des fins de comparaison.

6.6. À titre d'exemple, le tableau 4 contient une liste d'informations qui peuvent être nécessaires pour répondre à des questions sur un échantillon de plutonium, ainsi que les signatures utilisées pour obtenir ces informations.

CRÉATION D'UNE BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

6.7. Une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire peut être utilisée pour l'interprétation des données de criminalistique nucléaire. Une bibliothèque et des bases de données de référence peuvent améliorer la capacité d'un État à déterminer si des matières non soumises à un contrôle réglementaire qui sont découvertes concordent avec les matières nucléaires et autres matières radioactives produites, utilisées ou entreposées dans l'État concerné [5]. Une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire est une structure administrative de centralisation d'informations sur les matières nucléaires et autres matières radioactives produites, utilisées ou entreposées dans un État ; ces informations peuvent avoir des origines diverses et variées. Une bibliothèque peut faciliter les comparaisons entre les caractéristiques mesurées de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives (caractéristiques physiques, composition chimique et élémentaire et composition isotopique, par exemple) et les signatures de classes de matières connues.

TABLEAU 4. EXEMPLES DE SIGNATURES DE RADIONUCLÉIDES PERTINENTES POUR LE PLUTONIUM

Informations requises	Signature
Date du traitement chimique	Concentration des produits de filiation
Techniques de traitement chimique	Éléments résiduels (rapport U/Pu)
Utilisation comme source d'énergie de désintégration	Activité des isotopes du plutonium (^{238}Pu)
Spectre neutronique et taux de combustion du combustible dans le réacteur	Rapport entre les isotopes du plutonium ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$, par exemple)

6.8. Lorsqu'une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire existe à cette fin, elle doit être créée, gérée et contrôlée par l'État, et être adaptée à la taille et à la complexité des matières nucléaires et des autres matières radioactives détenues par l'État.

6.9. Afin de faciliter les comparaisons, il faudrait créer la bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire en adoptant un cadre d'organisation théorique commun lorsque cela est possible.

CONNAISSANCE DES PROCESSUS DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE ET DES PROCÉDÉS DE FABRICATION DES SOURCES RADIOACTIVES

6.10. Les caractéristiques qui apparaissent dans les signatures de criminalistique nucléaire sont transmises aux matières nucléaires et aux autres matières radioactives à différentes étapes de leur histoire, notamment pendant leur fabrication. Pour l'interprétation des données de criminalistique nucléaire, il est indispensable de comprendre comment ces signatures sont créées, persistent et sont modifiées au cours des processus de production des matières. La connaissance des processus du cycle du combustible nucléaire et des procédés de fabrication des sources radioactives est donc essentielle pour pouvoir interpréter correctement les mesures faites en laboratoire. Elle s'acquiert auprès de spécialistes du domaine, qui travaillent généralement dans des entités internationales, nationales ou non gouvernementales de différentes natures.

6.11. La modélisation ou la simulation des processus du cycle du combustible nucléaire ou des processus de production des matières permet de prévoir comment les matières nucléaires et les autres matières radioactives acquièrent leur signature au cours de leur fabrication. La modélisation peut aussi permettre de mieux comprendre les phénomènes qui créent ou modifient des signatures et ceux qui leur permettent de persister. Les connaissances acquises grâce à la modélisation des processus contribuent à mettre en perspective les mesures ultérieures en laboratoire et peuvent également contribuer à découvrir de nouvelles signatures.

6.12. La comparaison entre les résultats de la caractérisation des matières et plusieurs signatures de processus (mesures isotopiques, impuretés et caractéristiques de la microstructure, par exemple) permet de savoir comment les matières ont pu être fabriquées et quelle était l'utilisation initialement prévue. Elle permet également d'exclure des processus de production et des utilisations

prévues si aucun lien ne peut être établi entre les résultats de la caractérisation et des ensembles particuliers de signatures.

Matières archivées

6.13. Les analyses comparatives de matières nucléaires et d'autres matières radioactives archivées, notamment des matières saisies, peuvent fortement alimenter la confiance dans les conclusions de criminalistique nucléaire. Ces analyses permettent aux experts en criminalistique nucléaire d'établir des liens entre les matières et les procédés employés au cours de leur production ou de leur fabrication. À mesure que de nouvelles signatures sont découvertes grâce à de nouvelles méthodes d'analyse, il devient de plus en plus important que les données archivées soient accompagnées de matières archivées. En fonction de la période des radionucléides qui sont présents dans des matières particulières et qui ont une certaine importance, les matières archivées peuvent être réanalysées à l'aide de nouvelles méthodes d'analyse et les résultats obtenus peuvent être examinés pour contrôler la présence ou l'absence des signatures qui ont été découvertes récemment. Les archives d'échantillons qui sont conservées par les exploitants, les producteurs, les organismes de réglementation, les laboratoires de l'environnement et d'autres organismes peuvent contenir des échantillons déjà analysés de matières comme du combustible, des échantillons de contrôle de la qualité ou des sources radioactives industrielles.

Publications

6.14. Une grande partie des processus nucléaires fondamentaux sont décrits dans des manuels, des rapports et des articles de revue. Ainsi, le site web de l'AIEA consacré aux informations dans le domaine nucléaire donne accès à plusieurs bases de données où sont recensées les informations publiques concernant les installations nucléaires du monde entier³.

Documents confidentiels

6.15. Les informations exclusives ou confidentielles ne figurent jamais dans des publications. Des entreprises peuvent souhaiter communiquer des informations exclusives aux autorités compétentes après exécution d'un accord de confidentialité. Les instituts nucléaires, les ministères concernés et les laboratoires nationaux doivent pouvoir consulter les documents confidentiels qui

³ Voir <http://nucleus.iaea.org>.

sont conservés dans le pays, mais il est peu probable qu'ils soient autorisés à examiner les documents confidentiels d'autres États.

PROCESSUS DÉDUCTIF ET ITÉRATIF

6.16. L'analyse et l'interprétation des données de criminalistique nucléaire passent par un processus déductif et itératif qui est représenté à la figure 2. La mise en œuvre du plan d'analyses permet d'obtenir des résultats qui peuvent être comparés aux informations relatives à des matières existantes ou connues, et ces comparaisons débouchent sur une interprétation, qui met en perspective les résultats d'analyse. La comparaison entre les résultats d'analyse et les informations relatives aux matières connues est un processus itératif, car chaque nouvelle comparaison peut donner de nouvelles informations pouvant conduire à des analyses et à des comparaisons supplémentaires, qui peuvent elles-mêmes permettre de découvrir des signatures supplémentaires qui contribueront à identifier les matières avec plus de précision. Ce processus peut aussi être déductif, car il peut être utilisé pour exclure progressivement certains processus, lieux ou autres provenances des sources possibles des matières. Ainsi, la comparaison entre les résultats d'analyses de matières nucléaires saisies et des informations sur des processus de production connus permet de déterminer quels processus de production ont probablement été utilisés pour fabriquer les matières saisies et quels processus n'ont pu être utilisés. Des comparaisons supplémentaires avec d'autres processus de production ou résultats d'analyses permettent de réduire la liste des processus de production possibles pour la fabrication des matières saisies.

6.17. À mesure que les analyses sont reçues et interprétées, elles peuvent donner des informations que les forces de l'ordre peuvent exploiter pour les besoins de l'enquête. Il peut arriver qu'un examen de criminalistique nucléaire ne permette pas de déterminer avec certitude comment des matières nucléaires ont été fabriquées ni d'où elles peuvent provenir, mais permette quand même d'exclure des processus qui ne concordent pas avec les éléments de preuve relatifs à la manière dont les matières ont été produites. Ces deux actions – ouvrir des pistes pour l'enquête et exclure certains scénarios – servent à circonscrire l'enquête. Enfin, les résultats de l'enquête qui est menée par les forces de l'ordre peuvent contribuer à découvrir des éléments de preuve qui pourraient permettre de faire le lien entre les matières nucléaires ou les autres matières radioactives et des personnes, des lieux, des dates, des événements et des processus de production jugés notables.

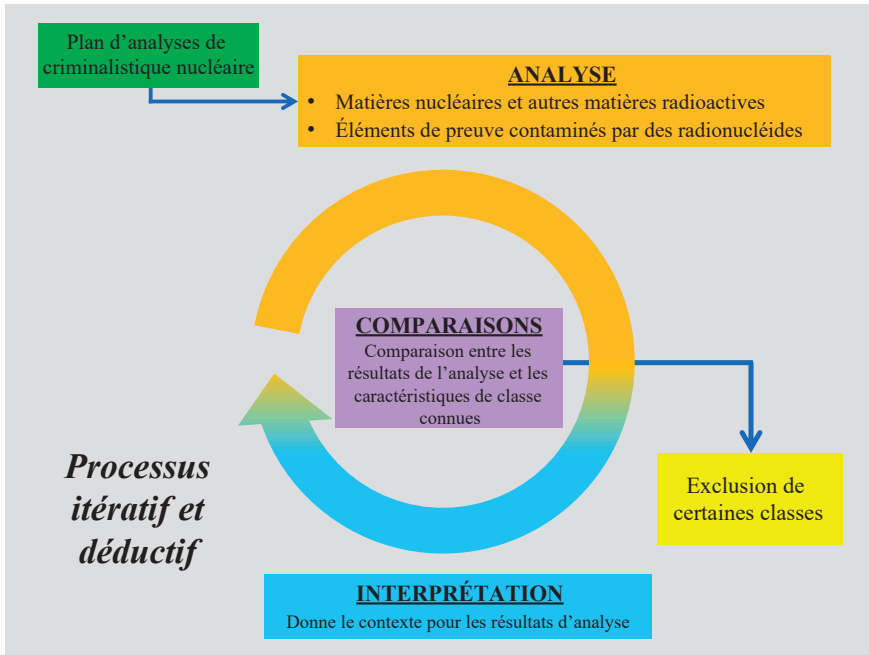


FIG. 2. Analyse, comparaison et interprétation des données de criminalistique nucléaire : un processus itératif et déductif qui donne le contexte pour les résultats d'analyse.

7. CONCLUSIONS DE CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

7.1. Les conclusions de criminalistique nucléaire résultent de l'analyse et de l'interprétation des données de criminalistique nucléaire. Elles peuvent faciliter les enquêtes des forces de l'ordre, les enquêtes administratives des organismes de réglementation et les processus de décision, et aider d'autres parties prenantes à améliorer la sécurité nucléaire et à prévenir les futurs événements de sécurité nucléaire. Les questions essentielles qui sont posées dans tous les cas de figure sont généralement les mêmes :

- Quels sont les types de matières concernés ?
- Quelle est l'origine possible des matières ?
- Quelles sont les méthodes de production probables ?

CONFIANCE DANS LES CONCLUSIONS

7.2. En général, la confiance dans les résultats d'analyse dépend de trois facteurs : i) des méthodes validées ; ii) des matières de référence certifiées ; iii) des compétences avérées. L'application de méthodes validées permet de garantir que l'analyse convient pour les matières et de mesurer la concentration du ou des analytes concernés. L'utilisation de matières de référence certifiées permet de garantir que les mesures sont comparées à des valeurs connues et certifiées. Les méthodes validées et les matières de référence certifiées donnent confiance dans les conclusions, car elles constituent un indicateur de la fiabilité des procédures par lesquelles les conclusions ont été établies. Le recours à des compétences avérées donne confiance dans la ou les personnes qui effectuent les analyses.

7.3. La confiance dans l'interprétation dépend de la présentation des incertitudes relatives aux résultats des différentes mesures, aux résultats des comparaisons itératives entre les résultats d'analyse et les informations disponibles sur les classes, et à la prise en considération des autres interprétations possibles des résultats de ces comparaisons. Ces trois facteurs réunis permettent de défendre une interprétation et le niveau de confiance correspondant grâce à une bonne compréhension de leurs fondements.

7.4. Il est indispensable que les analyses et les interprétations des données de criminalistique nucléaire soient défendables, car les conclusions de criminalistique nucléaire peuvent être reprises dans le cadre d'une procédure judiciaire ou pour détecter des failles en matière de sécurité nucléaire. Le strict respect des procédures relatives à la chaîne de responsabilité tout au long de l'enquête et l'application des procédures d'assurance de la qualité et de contrôle de la qualité dans les laboratoires contribuent à donner confiance dans les résultats d'analyse. En outre, un plan d'analyses qui prévoit plusieurs résultats pour converger vers des conclusions particulières (comme l'appartenance à certaines classes de matières ou l'exclusion de ces classes) renforce la confiance dans les conclusions.

COMMUNICATION DES CONCLUSIONS

7.5. Toutes les conclusions de criminalistique nucléaire devraient être communiquées sous forme de rapport écrit dans les meilleurs délais. Ces rapports peuvent être présentés sous forme de rapport scientifique ou il peut être nécessaire qu'ils suivent un modèle imposé par l'autorité nationale ou par le principal service chargé de l'enquête. Il faut déterminer quelles sont les informations sensibles qui figurent dans ces rapports et les protéger en conséquence.

7.6. Le niveau de confiance qui s'attache aux résultats et à leur interprétation devrait être clairement mentionné, conformément aux critères qui sont fixés dans le plan d'examen criminalistique. Afin de faire progresser l'enquête, les conclusions de criminalistique nucléaire seront complétées par des conclusions et des informations obtenues grâce à d'autres disciplines, notamment d'autres branches de la criminalistique, et par des informations communiquées par des autorités, par exemple les services de sécurité nationaux. Les résultats de l'analyse de criminalistique nucléaire et le niveau de confiance qui s'attache aux conclusions qui ont été tirées devraient être présentés de manière à répondre aux besoins de l'enquête.

7.7. En cas d'événement de sécurité nucléaire, pendant lequel le temps est compté, il peut être nécessaire d'obtenir de premières informations fiables le plus rapidement possible. Des conclusions de criminalistique nucléaire seront demandées par les enquêteurs, les décideurs et d'autres responsables bien avant qu'une analyse et une interprétation complètes des mesures ne soient effectuées. Dans l'idéal, il faudrait adopter une méthode qui permet de présenter clairement les niveaux de confiance qui s'attachent aux données figurant dans les rapports préliminaires. Pour répondre aux demandes d'information qui ont été faites par les enquêteurs et les décideurs, il faudrait rédiger une synthèse des conclusions préliminaires de criminalistique nucléaire, où figurent les principales conclusions, les hypothèses fondamentales, les niveaux de confiance qui s'attachent à ces conclusions et les autres explications qui restent crédibles au vu des informations disponibles jusqu'alors.

7.8. Afin de faciliter la gestion des attentes relatives à la communication des résultats, le plan d'examen criminalistique devrait préciser les modalités et les délais de communication des conclusions. Des rapports sur l'état d'avancement et les conclusions des examens de criminalistique nucléaire peuvent être établis périodiquement pendant et après l'événement de sécurité nucléaire. Ces rapports peuvent être rédigés au bout de 24 heures, 1 semaine et 2 mois, durées généralement nécessaires pour achever les analyses, comme le montre le tableau 3. Une fois l'examen terminé, il faudrait également établir un rapport final. Celui-ci devrait mentionner toutes les données et les autres informations qui ont été utilisées pour l'évaluation et devrait décrire les hypothèses qui ont été faites et le raisonnement qui a permis d'aboutir aux conclusions présentées. Toutes les données ou informations qui ne concordent pas avec les conclusions, ainsi que le raisonnement qui a conduit à exclure ou à écarter ces informations, ou à donner plus d'importance à d'autres informations, devraient figurer dans le rapport.

ANALYSE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

7.9. Une fois l'examen de criminalistique nucléaire terminé et toutes les procédures judiciaires concernées achevées, il peut être utile d'analyser le retour d'expérience afin de déterminer quelles analyses et procédures menées pendant l'enquête ont répondu aux attentes et lesquelles ont été en deçà des attentes. L'analyse du retour d'expérience ne consiste pas à s'intéresser exclusivement aux problèmes rencontrés, mais vise aussi à comprendre ce qui a contribué au succès des actions qui ont répondu aux attentes ou les ont dépassées. Elle permet de tirer les leçons de l'expérience et de faire évoluer les procédures qui sont appliquées pour organiser et effectuer des examens de criminalistique nucléaire par la suite.

7.10. Comme il faut que les analyses de criminalistique nucléaire s'améliorent d'une manière générale, les spécialistes de cette discipline sont encouragés à communiquer à leurs homologues d'autres pays les enseignements qui ont été tirés d'événements de sécurité nucléaire réels ou de la conduite d'exercices, lorsque les règles de confidentialité le permettent.

8. COOPÉRATION ET ASSISTANCE INTERNATIONALES

8.1. La coopération et l'assistance internationales peuvent jouer un rôle utile avant, pendant et après un événement de sécurité nucléaire. Dans le domaine de la criminalistique nucléaire, elles comprennent des activités de sensibilisation, de recherche-développement, d'assistance internationale et de création de capacités.

COOPÉRATION INTERNATIONALE

8.2. Plusieurs organisations, initiatives et groupes internationaux s'efforcent de mieux faire comprendre l'importance de la criminalistique nucléaire et apportent sur demande un appui sous diverses formes dans ce domaine. L'Initiative mondiale de lutte contre le terrorisme nucléaire, INTERPOL et le Groupe de travail technique international sur la criminalistique nucléaire (ITWG) proposent des formations, des lignes directrices et une assistance sous différentes formes. Dans le domaine de la criminalistique nucléaire, les États peuvent choisir de coopérer de manière bilatérale ou multilatérale. En outre, certains États ont adopté

des programmes nationaux qui permettent de fournir un appui à des partenaires internationaux.

Initiative mondiale de lutte contre le terrorisme nucléaire

8.3. L'Initiative mondiale de lutte contre le terrorisme nucléaire est un partenariat volontaire entre États qui vise à renforcer les capacités mondiales à prévenir, détecter et combattre la menace commune que représente le terrorisme nucléaire. Le Groupe de travail sur la criminalistique nucléaire qui a été créé par l'Initiative aide aujourd'hui les dirigeants politiques des États partenaires à créer des capacités nationales dans le domaine de la criminalistique nucléaire en élaborant des outils destinés à mieux faire connaître cette discipline, à faciliter les relations intergouvernementales, à mener des exercices conjoints et à promouvoir les meilleures pratiques pour la criminalistique nucléaire [27].

Agence internationale de l'énergie atomique

8.4. L'AIEA aide les États dans leurs démarches visant à créer et gérer une infrastructure de sécurité nucléaire efficace, y compris des moyens de criminalistique nucléaire. Pour ce faire, elle publie des orientations internationales dans la collection Sécurité nucléaire, dont le présent ouvrage consacré à l'application du plan d'action type fait partie, et adopte des mesures pour aider sur demande les États à mettre en œuvre ces orientations. Les autres mesures consistent notamment à assurer des formations sur la sensibilisation à la criminalistique nucléaire, la conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives et les méthodes de criminalistique nucléaire, et à gérer des projets de recherche coordonnée [28].

INTERPOL

8.5. INTERPOL est une organisation internationale qui aide les services de police nationaux à prévenir et à combattre la criminalité, y compris le terrorisme radiologique et nucléaire. Sa principale activité consiste à faciliter les échanges d'informations, notamment celles qui concernent les enquêtes, entre des pays du monde entier. En outre, INTERPOL effectue des analyses criminelles, propose des formations (sur la conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives, par exemple) et peut apporter un appui opérationnel pendant un événement de sécurité nucléaire.

Groupe de travail technique international sur la criminalistique nucléaire

8.6. L'ITWG est un groupe de travail informel composé de scientifiques nucléaires, de membres des forces de l'ordre, de premiers intervenants et de spécialistes de la réglementation nucléaire qui sont tous des spécialistes de la criminalistique nucléaire [29]. Il a pour objet de faire progresser la criminalistique nucléaire en mettant au point des solutions techniques efficaces et en donnant des conseils aux autorités nationales et internationales sur la meilleure manière de combattre les actes non autorisés criminels et délibérés où entrent en jeu des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives. L'ITWG élabore des orientations techniques, organise des exercices collaboratifs d'analyse de matières et des exercices sur table et contribue à faire connaître la criminalistique nucléaire dans le monde entier. De plus amples informations sur ce groupe figurent sur le site web de l'ITWG⁴.

ASSISTANCE EN CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE PENDANT L'ENQUÊTE RELATIVE À UN ÉVÉNEMENT DE SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

8.7. Des organisations internationales ou des accords et des mécanismes bilatéraux ou multilatéraux peuvent faciliter l'assistance qui est apportée pendant l'enquête relative à un événement de sécurité nucléaire. L'assistance peut prendre la forme d'un appui pour le recueil des éléments de preuve, d'une optimisation des méthodes d'analyse, de la conduite d'analyses de criminalistique nucléaire, d'un renforcement de la confiance dans les résultats d'analyse, de la collecte de données pour faciliter l'interprétation des données de criminalistique nucléaire ou de la communication d'informations sur demande.

8.8. Lorsqu'elle rédige une demande d'assistance, la partie requérante devrait prendre en compte les points suivants (qui ne sont pas classés par ordre de priorité) :

- a) La demande fait-elle suite à un événement particulier au cours duquel des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives qui ne sont pas soumises à un contrôle réglementaire ont été découvertes, ou s'inscrit-elle dans une stratégie visant à se préparer à ce type d'événement [30, 31] ?
- b) Doit-elle être considérée comme une question sensible et les informations sensibles doivent-elles donc être protégées ?

⁴ Voir <http://www.nf-itwg.org>.

- c) L'État requérant autorisera-t-il la partie qui fournit l'assistance à communiquer les résultats à des tiers ou à d'autres entités qui n'apportent pas directement une assistance et, dans l'affirmative, à quelles conditions et comment ces résultats doivent-ils être communiqués ?
- d) Est-il demandé à la partie qui fournit l'assistance de collecter, de coliser et de transporter les matières nucléaires ou les autres matières radioactives depuis le territoire de la partie requérante jusqu'à une installation située sur le territoire de la partie qui fournit l'assistance en tenant compte de la sûreté, en respectant les prescriptions applicables au transport et en effectuant les déclarations relatives à l'importation et à l'exportation de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives ?
- e) La partie qui fournit l'assistance doit-elle assurer la continuité de la chaîne de responsabilité et respecter d'autres règles qui concernent la manipulation d'éléments de preuve et qui sont en vigueur dans le système juridique de la partie requérante ?
- f) La demande doit-elle être approuvée au niveau ministériel dans l'État requérant ou dans les États qui fournissent l'assistance et, dans l'affirmative, comment les approbations seront-elles obtenues ?
- g) La partie qui fournit l'assistance peut-elle s'attendre à être remboursée des frais engagés pour honorer la demande ou devra-t-elle les prendre à sa charge ?
- h) Peut-il être nécessaire que des spécialistes venus de l'État qui fournit l'assistance témoignent et, dans l'affirmative, de quelle manière peuvent-ils le faire (directement, par écrit ou par télécommunication, par exemple) ?
- i) Est-il envisagé que les matières nucléaires et les autres matières radioactives reviennent dans l'État requérant ? Sur ce point, la partie requérante et la partie qui fournit l'assistance devraient être conscientes des obligations qui découlent des instruments juridiques internationaux portant sur les matières nucléaires et les autres matières radioactives, comme celles qui figurent dans la Convention sur la protection physique des matières nucléaires [4], dans la Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire [12], dans les accords de garanties et dans la réglementation relative au contrôle des exportations.

8.9. Pour faciliter les demandes d'assistance, il est possible de rédiger une description des tâches ou un document similaire, qui fera l'objet d'un accord entre la partie requérante et la ou les parties qui fournissent l'assistance. Il pourrait répondre aux questions posées plus haut si nécessaire et définir les attentes concernant les délais et les moyens de communication des rapports, la rédaction d'un plan d'analyses (si la nature de la demande l'exige), les modes de communication des résultats et les analyses à effectuer. Il peut être judicieux

d'adopter une méthode moins structurée lorsqu'il n'est pas nécessaire d'effectuer des analyses en laboratoire, par exemple lorsqu'il est demandé de mettre en commun les meilleures pratiques dans le domaine de la criminalistique nucléaire, d'apporter une expertise concernant le déroulement d'exercices portant sur la criminalistique nucléaire ou de fournir une aide pour des projets de renforcement des capacités nationales en criminalistique nucléaire.

8.10. Comme ces accords touchent à de nombreuses questions complexes, il est souhaitable que chaque État fasse figurer dans son plan national d'intervention les dispositions qui pourraient être nécessaires lors d'un événement de sécurité nucléaire réel et qui concernent la fourniture ou la demande d'une assistance internationale.

9. CRÉATION DE CAPACITÉS EN CRIMINALISTIQUE NUCLÉAIRE

9.1. La création et le maintien de capacités de criminalistique nucléaire incombent à l'État. Des aspects comme l'infrastructure, le cadre législatif et réglementaire, les activités, les ressources humaines et le matériel et les connaissances spécialisés sont essentiels pour que les capacités de criminalistique nucléaire soient utiles.

9.2. Des stratégies relatives à la création, au test et au maintien de capacités de criminalistique nucléaire sont indispensables pour pouvoir intervenir adéquatement en cas d'événement de sécurité nucléaire. Il s'agit notamment de mieux faire connaître la criminalistique nucléaire aux parties prenantes à tous les niveaux, de former convenablement le personnel actuel et futur, d'organiser des exercices d'intervention, de concevoir des programmes de recherche-développement, de gérer efficacement les connaissances pour anticiper les futurs besoins et d'assurer un enseignement efficace en sciences nucléaires afin de créer et de maintenir des capacités (pour des exemples précis, voir l'annexe III).

SENSIBILISATION

9.3. La sensibilisation au rôle que joue la criminalistique nucléaire dans l'infrastructure de sécurité nucléaire d'un État constitue un aspect essentiel de la

création de capacités nationales en criminalistique nucléaire. Mieux faire connaître cette discipline à toutes les parties prenantes d'un pays peut contribuer à :

- mieux faire comprendre la criminalistique nucléaire aux personnes qui contribuent à mettre en place des moyens de criminalistique nucléaire ;
- clarifier les rôles et les responsabilités ;
- mieux faire connaître les applications de la criminalistique nucléaire pour les enquêtes menées par les forces de l'ordre et pour les évaluations de la vulnérabilité en matière de sécurité nucléaire ;
- encourager l'usage d'une terminologie commune dans différents organismes et dans différentes disciplines.

FORMATION

9.4. Les États sont tenus de veiller à ce que du personnel bien formé maintienne leur infrastructure nationale de sécurité nucléaire. La formation technique et la mise en valeur des ressources humaines devraient aborder les aspects complexes de la criminalistique nucléaire, qui font partie des mesures préventives et constituent un moyen d'intervention. La formation est une composante fondamentale d'un programme durable de criminalistique nucléaire, car elle donne des informations essentielles sur les besoins des enquêtes relatives aux événements de sécurité nucléaire, sur les méthodes recommandées pour l'analyse et l'interprétation et sur le rôle que joue la criminalistique nucléaire dans l'infrastructure de sécurité nucléaire d'un État. Un appui pour la formation peut être fourni dans le cadre de partenariats internationaux relatifs à la criminalistique nucléaire.

9.5. La formation devrait être adaptée aux objectifs pédagogiques nécessaires. Ainsi, il importe que les spécialistes de la criminalistique nucléaire suivent une formation qui leur permette de communiquer efficacement des résultats scientifiques aux fonctionnaires de police et aux décideurs pendant un événement de sécurité nucléaire. L'AIEA a préparé un cours d'initiation et a mis en place une formation consacrée aux méthodes d'analyses particulières qui sont employées dans les laboratoires de criminalistique nucléaire.

EXERCICES

9.6. L'efficacité des moyens de criminalistique nucléaire dépend de la collaboration entre les organismes scientifiques et techniques, les forces de l'ordre et d'autres entités publiques à l'échelle nationale et internationale. L'élaboration

de procédures et de mécanismes communs et collaboratifs est indispensable pour l'amélioration continue des moyens de criminalistique nucléaire. L'organisation, l'exécution et l'évaluation d'exercices portant sur la criminalistique nucléaire jouent un rôle essentiel dans le renforcement de ces moyens.

9.7. Les exercices qui portent sur la criminalistique nucléaire permettent aux États d'évaluer la qualité des interventions qui font suite à un événement de sécurité nucléaire et d'avoir confiance à ce sujet en permettant aux décideurs et au personnel de jouer leur rôle dans une situation de danger réaliste et maîtrisée avant qu'un événement ne se produise. Souvent, ils reposent sur un scénario ou sont de nature analytique. Grâce aux exercices, les parties prenantes peuvent évaluer leurs capacités et leur efficacité dans des conditions réalistes, tout en examinant les rôles, les responsabilités et les mécanismes utilisés pour échanger des informations. Les exercices permettent d'améliorer les plans d'intervention et de reprise, ainsi que la coordination entre les différentes parties prenantes. Les résultats des exercices et les conclusions qui sont tirées devraient servir à définir des actions correctives, à optimiser les techniques et à apporter de nouvelles idées pour améliorer l'ensemble de l'intervention. De plus, en communiquant les conclusions à des partenaires de confiance, les États peuvent renforcer leur capacité collective à lutter contre les nouvelles menaces.

FORMATION THÉORIQUE ET DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES

9.8. La formation théorique et le développement des compétences sont incontournables pour que les moyens de criminalistique nucléaire soient efficaces et durables. Un État devrait disposer de personnel technique qui possède des compétences dans les branches des sciences nucléaires et de la géochimie qui intéressent le plus la criminalistique nucléaire. Pour qu'il y ait suffisamment de spécialistes de la criminalistique nucléaire, il est indispensable de former la prochaine génération de scientifiques en créant un cursus universitaire de la licence aux études postdoctorales dans des domaines comme la radiochimie, le génie atomique, la physique nucléaire, la géochimie isotopique, la science des matériaux ou la chimie analytique. Les mesures concrètes à prendre peuvent notamment être les suivantes :

- a) encourager la collaboration et les échanges entre les universitaires, les scientifiques et les décideurs du pays, y compris les étudiants, les experts techniques qui travaillent dans les laboratoires publics et les fonctionnaires ;

- b) fournir des moyens, par exemple des bourses universitaires ou des bourses de stage, à des personnes qui font des études dans les disciplines énumérées en premier, deuxième ou troisième cycle universitaire, y compris des possibilités de recherche appliquée dans des laboratoires ;
- c) fournir une assistance à des universités pour faciliter l'élaboration de programmes de formation qui concernent la criminalistique nucléaire, notamment en favorisant l'interdisciplinarité (par exemple en faisant collaborer les départements de chimie et de physique pour qu'ils proposent une formation commune en criminalistique nucléaire) ;
- d) faciliter le recueil et le transfert des connaissances techniques uniques que possèdent les experts actuels en leur confiant l'encadrement d'experts en criminalistique nucléaire plus jeunes.

RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

9.9. La criminalistique nucléaire est une branche de la criminalistique qui évolue. La recherche-développement est essentielle pour susciter la confiance dans les conclusions de criminalistique nucléaire et déterminer si les signatures de criminalistique nucléaire permettent de connaître avec certitude l'origine et l'histoire des matières. La recherche devrait notamment porter sur des thèmes comme l'amélioration des procédures et des techniques d'analyse qui sont appliquées pour classer et caractériser les matières nucléaires et les autres matières radioactives, la détection de signatures de criminalistique nucléaire qui devraient figurer dans une bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire et la compréhension de la manière dont les signatures sont créées, persistent et sont modifiées tout au long du cycle du combustible nucléaire, et dont elles peuvent être mesurées avec précision [28].

9.10. Le lancement de travaux de recherche-développement qui enrichissent la science de l'analyse des matières nucléaires et des autres matières radioactives peut renforcer les capacités nationales de criminalistique nucléaire. En outre, l'examen par des pairs qui est effectué dans le cadre de la démarche scientifique favorise l'acceptation des techniques utilisées pour les analyses et l'interprétation, ainsi que la confiance dans ces techniques. Acceptés par la communauté scientifique, ces outils peuvent être utilisés dans le cadre d'un examen de criminalistique nucléaire réel.

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, COMMISSION EUROPÉENNE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINE DE LA SANTÉ, PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, Radioprotection et sûreté des sources de rayonnements : Normes fondamentales internationales de sûreté, collection Normes de sûreté de l'AIEA n° GSR Part 3, AIEA, Vienne (2016).
- [2] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Établissement de l'infrastructure de sécurité nucléaire pour un programme électronucléaire, collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 19, AIEA, Vienne (2018).
- [3] KRISTO, M.J., SMITH, D.K., NIEMEYER, S., DUDDER, G.B., Model Action Plan for Nuclear Forensics and Nuclear Attribution, Rep. UCRL-TR-202675, Lawrence Livermore Natl Lab., Livermore, CA (2004).
- [4] Convention sur la protection physique des matières nucléaires (INFCIRC/274/Rev.1), AIEA, Vienne (1980).
- [5] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, INSTITUT INTERRÉGIONAL DE RECHERCHE DES NATIONS UNIES SUR LA CRIMINALITÉ ET LA JUSTICE, OFFICE DES NATIONS UNIES CONTRE LA DROGUE ET LE CRIME, OFFICE EUROPÉEN DE POLICE, ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE, ORGANISATION INTERNATIONALE DE POLICE CRIMINELLE-INTERPOL, ORGANISATION MONDIALE DES DOUANES, Recommandations de sécurité nucléaire sur les matières nucléaires et autres matières radioactives non soumises à un contrôle réglementaire, n° 15 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA, AIEA, Vienne (2011).
- [6] EUROPEAN POLICE OFFICE, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL POLICE ORGANIZATION, WORLD CUSTOMS ORGANIZATION, Combating Illicit Trafficking in Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA Nuclear Security Series No. 6, IAEA, Vienna (2007).
- [7] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Recommandations de sécurité nucléaire sur la protection physique des matières nucléaires et des installations nucléaires (INFCIRC/225/Révision 5), collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 13, AIEA, Vienne (2011).
- [8] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE, Identification des sources et dispositifs radioactifs, Orientations techniques, collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 5, AIEA, Vienne (2007).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL CRIMINAL POLICE ORGANIZATION-INTERPOL, UNITED NATIONS INTERREGIONAL CRIME AND JUSTICE RESEARCH INSTITUTE, Radiological Crime Scene Management, IAEA Nuclear Security Series No. 22-G, IAEA, Vienna (2014).

- [10] Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires, INFCIRC/140, AIEA, Vienne (1970).
- [11] Amendement de la Convention sur la protection physique des matières nucléaires, document GOV/INF/2005/10-GC(49)/INF/6, AIEA, Vienne (2005).
- [12] Convention internationale pour la répression des actes de terrorisme nucléaire, A/59/766, ONU, New York (2005).
- [13] Convention internationale pour la répression des attentats terroristes à l'explosif, A/52/653, ONU, New York (1997).
- [14] Convention internationale pour la répression du financement du terrorisme, A/RES/54/109, ONU, New York (1999).
- [15] Protocole de 2005 à la Convention pour la répression d'actes illicites contre la sécurité de la navigation maritime, Organisation maritime internationale, Londres (2005).
- [16] Protocole de 2005 au Protocole pour la répression d'actes illicites contre la sécurité des platesformes fixes situées sur le plateau continental, Organisation maritime internationale, Londres (2005).
- [17] Convention sur la répression des actes illicites dirigés contre l'aviation civile internationale (convention de Beijing), document 9960 de l'Organisation de l'aviation civile internationale, Beijing (2010).
- [18] Protocol Supplementary to the Convention for the Suppression of Unlawful Seizure of Aircraft, International Civil Aviation Organization, Beijing (2010).
- [19] Résolution S/RES/1373 (2001) du Conseil de sécurité de l'ONU, ONU, New York (2001).
- [20] Résolution S/RES/1540 (2004) du Conseil de sécurité de l'ONU, ONU, New York (2004).
- [21] PARKINSON, A., COLELLA, M., EVANS, T., The development and evaluation of radiological decontamination procedures for documents, document inks, and latent fingermarks on porous surfaces, *J. Forensic Sci.* 55 (2010) 728-734.
- [22] COLELLA, M., PARKINSON, A., EVANS, T., LENNARD, C., ROUX C., The recovery of latent fingermarks from evidence exposed to ionizing radiation, *J. Forensic Sci.* 54 (2009) 583-590.
- [23] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems: Requirements, ISO 9001:2008, ISO, Geneva (2008).
- [24] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Environmental Management Systems: Requirements with Guidance for Use, ISO 14001:2004, ISO, Geneva (2004).
- [25] COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE, ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais, ISO/IEC 17025:2005, ISO, Genève (2005).
- [26] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Occupational Health and Safety Management Systems: Requirements, OHSAS 18001:2007, BSI, London (2007).
- [27] HILL, D., "Emerging themes from the Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism Nuclear Forensics Working Group", Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Proc. Int. Conf. SF2002, IAEA, Vienna (2007).

- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).
- [29] GARRETT, B., MAYER K., THOMPSON, P., BÍRÓ, T., LASOU, G., “The Nuclear Forensics International Technical Working Group (ITWG): An Overview”, Nuclear Security: Enhancing Global Efforts (Proc. Int. Conf. SF2002, IAEA, Vienna (2007).
- [30] AGENCE DE L’OCDE POUR L’ÉNERGIE NUCLÉAIRE, AGENCE INTERNATIONALE DE L’ÉNERGIE ATOMIQUE, BUREAU DES NATIONS UNIES POUR LA COORDINATION DE L’ASSISTANCE HUMANITAIRE, COMMISSION PRÉPARATOIRE DE L’ORGANISATION DU TRAITÉ D’INTERDICTION COMPLÈTE DES ESSAIS NUCLÉAIRES, INTERPOL, ORGANISATION DE L’AVIATION CIVILE INTERNATIONALE, ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L’ALIMENTATION ET L’AGRICULTURE, ORGANISATION INTERNATIONALE DU TRAVAIL, ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE, ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, ORGANISATION PANAMÉRICAINE DE LA SANTÉ, PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L’ENVIRONNEMENT, Préparation et conduite des interventions en cas de situation d’urgence nucléaire ou radiologique, n° GSR Part 7 de la collection Normes de sûreté de l’AIEA, AIEA, Vienne (2017).
- [31] AGENCE INTERNATIONALE DE L’ÉNERGIE ATOMIQUE, Gestion des déchets radioactifs avant stockage définitif, n° GSR Part 5 de la collection Normes de sûreté de l’AIEA, AIEA, Vienne (2009).

Annexe I

BRANCHES DE LA CRIMINALISTIQUE

I-1. La présente annexe décrit certaines des principales branches de la criminalistique, surtout celles qui sont susceptibles de donner des informations utiles dans le cadre d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire.

I-2. La majorité de ces disciplines font partie de la criminalistique depuis longtemps ; elles sont donc appelées « disciplines conventionnelles de la criminalistique ». On reconnaît l'intérêt des données sous forme binaire (« éléments de preuve numériques ») pour les enquêtes depuis des dizaines d'années, mais l'augmentation du nombre et des types d'appareils qui permettent de recueillir de tels éléments de preuve a accru leur importance pour les enquêtes. Comme les outils et les techniques d'analyse des éléments de preuve numériques et d'interprétation des résultats continuent d'évoluer et jouent un rôle important dans les examens de criminalistique, ils sont présentés ultérieurement dans une section consacrée à cette discipline en plein essor.

DISCIPLINES CONVENTIONNELLES DE LA CRIMINALISTIQUE

Analyse des prélèvements biologiques

I-3. Les échantillons d'origine biologique qui peuvent être recueillis à titre d'éléments de preuve sur place ou sur une personne, dans un lieu ou sur un objet qui présentent un intérêt pour une enquête relative à un événement de sécurité nucléaire comprennent le sang, le sperme et la salive. Les prélèvements biologiques humains qui contiennent de l'ADN nucléaire peuvent être particulièrement utiles, car il est possible d'associer les résultats de test à une personne avec une fiabilité suffisante pour la justice pénale (les résultats de test permettent une individualisation).

I-4. L'ADN mitochondrial, hérité de la mère, est identique dans une même lignée féminine (par exemple pour les enfants, la mère et la grand-mère maternelle). L'analyse de ce type d'ADN est donc moins utile pour l'individualisation, mais peut contribuer à circonscrire l'enquête. En outre, de l'ADN mitochondrial peut être extrait d'échantillons biologiques où la concentration d'ADN nucléaire est trop faible pour qu'une analyse pertinente puisse être effectuée. Ces échantillons comprennent les cheveux tombés naturellement, les fragments de cheveux,

les os et les dents – qui peuvent être recueillis sur le lieu d'un événement de sécurité nucléaire.

I-5. Les matières d'origine animale, végétale ou fongique, comme les plumes, les matières végétales (feuilles, pollen, graines ou tiges, par exemple) ou les spores forment une deuxième catégorie d'échantillons d'origine biologique. L'analyse de ces matières peut donner un indice, par exemple sur les zones géographiques où les matières nucléaires ou les autres matières radioactives ont été colisées, entreposées ou transportées.

Analyse des motifs et d'autres traces

I-6. L'analyse des motifs découverts sur les empreintes digitales, les empreintes palmaires et les empreintes plantaires est appelée analyse des crêtes papillaires. Cette technique est utilisée depuis plus d'un siècle pour identifier des individus. L'analyse des crêtes papillaires et l'analyse de l'ADN nucléaire sont les principales branches de la criminalistique dont les résultats permettent une individualisation. L'analyse des crêtes papillaires peut aboutir aux mêmes résultats que l'analyse de l'ADN nucléaire, et devrait être envisagée lors de l'élaboration du plan d'examen criminalistique, surtout si des empreintes digitales, des empreintes palmaires ou des empreintes plantaires peuvent être prélevées sur le lieu où l'événement s'est produit, sur les matières nucléaires ou les autres matières radioactives ou sur le conteneur qui a été utilisé pour entreposer ou transporter les matières. Il existe plusieurs fichiers d'empreintes digitales et d'empreintes palmaires, qui facilitent l'association entre les motifs et un individu et qui peuvent être consultés par les forces de l'ordre, par exemple grâce à des demandes déposées auprès d'INTERPOL. En criminalistique, un fichier est un ensemble de données ou d'informations consultable, généralement mais pas nécessairement sous forme numérique. Le Système intégré et automatisé d'identification des empreintes digitales (IAFIS), utilisé aux États-Unis d'Amérique, en est un exemple.

I-7. En dehors des empreintes digitales, des empreintes palmaires et des empreintes plantaires, d'autres motifs peuvent être découverts sur le lieu d'un délit ou sur d'autres lieux qui intéressent l'enquête. Ces motifs apparaissent lorsqu'un objet comme une chaussure ou un pneu laisse une trace sur une surface. Les autres motifs qui peuvent être analysés sont notamment les marques qui figurent sur les balles et les douilles, les traces d'oreilles, les traces de lèvres, certaines taches de sang, les traces de morsure et les empreintes de gants. Contrairement à l'analyse des crêtes papillaires, l'analyse de ces motifs permet rarement une individualisation. Les résultats obtenus peuvent en revanche permettre d'associer le motif à une classe de personnes ou d'objets — par exemple une marque ou une

taille de chaussures ou de pneus. Ils peuvent fortement contribuer à circonscrire une enquête relative à un événement de sécurité nucléaire.

Analyse des traces d'outils et des éléments balistiques

I-8. L'analyse des traces d'outils et des éléments balistiques consiste à exploiter les traces qui sont laissées lorsqu'un objet dur, par exemple un outil ou le percuteur d'une arme à feu, entre en contact avec un objet relativement mou. Les comparaisons qui portent sur les traces d'outils et les éléments balistiques peuvent être considérées comme une analyse des traces spécialisée. Grâce à l'analyse des traces laissées par un outil ou un percuteur, on peut mettre en évidence certains fabricants ou procédés de fabrication et en exclure d'autres, ce qui permet de circonscrire une enquête. Ces traces peuvent être découvertes sur les matières nucléaires ou les autres matières radioactives elles-mêmes, sur le conteneur qui a été utilisé pour les entreposer ou les transporter, ou sur d'autres objets recueillis sur le lieu du délit ou sur d'autres lieux qui intéressent l'enquête.

Analyse des cheveux

I-9. Les êtres humains et les animaux perdent régulièrement des cheveux. Ceux-ci peuvent être laissés sur le lieu d'un délit ou attrapés par une autre personne à cet endroit ou dans un autre lieu qui intéresse l'enquête. Dans le cadre d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire, il faudrait donc envisager que des cheveux aient pu tomber sur des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives qui ne sont pas soumises à un contrôle réglementaire, ou à proximité de celles-ci. L'analyse microscopique des cheveux est utile pour les caractéristiques de classe plutôt que pour les caractéristiques individuelles. Autrement dit, les résultats permettent d'associer les cheveux à un type d'individu (couleur de cheveux ou teinture utilisée, par exemple) et non à une seule personne. Ils peuvent servir à exclure certaines personnes du groupe des individus auxquels les cheveux pouvaient appartenir, ce qui permet de circonscrire l'enquête.

Analyse des fibres

I-10. L'analyse des fibres par examen microscopique est effectuée depuis longtemps en criminalistique. Les fibres peuvent être constituées de matières synthétiques comme l'acrylique, le nylon ou le polyester, ou de fibres végétales, comme celles qui sont utilisées pour beaucoup de cordes et de ficelles. Les examens correspondants sont similaires à ceux qui sont effectués pour les cheveux et présentent les mêmes limites – à savoir qu'il est possible de déterminer des caractéristiques de classe, mais qu'une individualisation est

impossible. Récemment, des méthodes modernes d'analyse instrumentale, comme la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, ont été appliquées sur des fibres. Elles permettent d'obtenir des informations supplémentaires qui pourraient avoir un intérêt pour les enquêtes. D'une manière générale, les résultats d'une analyse de fibres peuvent confirmer qu'un transfert de fibres a eu lieu lorsqu'un objet est entré en contact avec un autre objet, ce qui permet d'étayer une association entre des personnes, des lieux ou des objets et des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives qui ne sont pas soumises à un contrôle réglementaire.

Examen des documents contestés

I-11. L'examen des documents contestés consiste à comparer et à analyser ces documents et les instruments d'impression et d'écriture correspondants. Les objectifs de ce type d'examen sont notamment les suivants :

- Déterminer si certaines personnes ont écrit le document ;
- Déterminer si le document a été produit par un appareil d'imagerie mécanique ou électronique, par exemple une imprimante, une photocopieuse ou un fax ;
- Déterminer si certaines machines ont été utilisées pour imprimer ou dactylographier le document ;
- Détecter des altérations, des ajouts ou des suppressions ;
- Déchiffrer et restaurer les parties endommagées, supprimées ou obscures du document ;
- Estimer l'âge du document ;
- Détecter et préserver les autres éléments de preuve matériels qui peuvent être présents sur le document, comme les empreintes digitales, les cheveux, les fibres ou d'autres substances biologiques.

I-12. Lors de l'élaboration du plan d'examen criminalistique, il faudrait envisager de procéder à ce type d'examen à chaque fois que des documents recueillis ont un rapport avec des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives qui ne sont pas soumises à un contrôle réglementaire.

Analyse des peintures, des enduits et des autres revêtements

I-13. L'analyse des peintures, des enduits et d'autres polymères peut être utile pour les enquêtes sur les événements de sécurité nucléaire, surtout dans les situations où des conteneurs recueillis ont un rapport avec des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives. Des inscriptions ou d'autres marques peuvent figurer sur ou dans ces conteneurs. Des polymères peuvent également être utilisés

pour ces conteneurs, par exemple pour protéger les matières ou pour former un sceau. L'analyse des constituants des peintures, des enduits et des autres revêtements peut permettre d'obtenir des résultats qui contribuent à déterminer de quelles régions du monde ils proviennent.

Analyse des explosifs

I-14. L'analyse des explosifs porte sur différentes matières. Pour un engin explosif structuré qui n'a pas explosé, l'explosif et les autres parties de l'engin présentent une valeur probante. Si l'engin a explosé, les éléments qui présentent un intérêt sont notamment les suivants : poudres, liquides ou pâtes imbrûlés ou non consommés ; fragments de l'engin, notamment les explosifs non explosés ou imbrûlés ; objets situés à proximité immédiate de l'explosion et pouvant contenir des restes de l'explosif ou des fragments de l'engin. L'interprétation des résultats d'analyse peut orienter l'enquête vers un groupe ou un individu particulier, en fonction de la conception, des pièces utilisées pour la fabrication de l'engin et des documents d'achat de ces pièces. La présence d'explosifs sur le lieu du délit a donc systématiquement une influence sur le plan d'examen criminalistique.

Médecine légale

I-15. Dans le cadre des deux principales branches de cette discipline, la médecine légale du vivant et la thanatologie, les médecins légistes apportent des compétences dans des affaires qui intéressent la criminalistique nucléaire.

I-16. En médecine légale du vivant, des personnes vivantes font l'objet d'un examen clinique en cas de blessures, de brûlures, d'explosions ou de complications qui résultent des effets et des conséquences d'un événement de sécurité nucléaire. L'objectif est de déterminer le type et la nature des blessures (ou des brûlures), de savoir si elles ont été provoquées par une exposition à des matières nucléaires ou à d'autres matières, de déterminer la date des blessures, la durée de traitement et les complications attendues, et de savoir s'il y a une incapacité (temporaire ou permanente).

I-17. La thanatologie consiste à appliquer les connaissances médicales à l'examen des dépouilles. La principale méthode employée à cette fin est l'autopsie. La thanatologie a généralement pour objectif de déterminer la cause et les circonstances du décès, ainsi que la nature et la gravité des blessures, et d'établir l'identité du défunt.

I-18. Dans le cadre de la médecine légale, de nombreuses méthodes de laboratoire peuvent être appliquées, notamment l'examen de l'ADN nucléaire et de l'ADN mitochondrial (voir par. I-4), les méthodes utilisées pour examiner les êtres humains (comme l'imagerie par rayons X, l'imagerie par résonance magnétique ou la scanographie) et les méthodes modernes d'analyse instrumentale (chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse, chromatographie en phase liquide et spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif, par exemple).

I-19. Dans le cas d'une victime d'un événement de sécurité nucléaire, la thanatologie peut être utile pour déterminer si une victime a succombé aux effets d'une radioexposition ou pour une autre cause. Lorsqu'un événement de sécurité nucléaire donne lieu à une dispersion de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives, les conclusions des examens qui sont pratiqués par les médecins légistes peuvent être utiles pour estimer la distance entre l'endroit où chaque victime se trouvait et celui où les matières ont été dispersées.

DISCIPLINE DE CRIMINALISTIQUE EN PLEIN ESSOR

Analyse des éléments de preuve numériques

I-20. L'analyse des éléments de preuve numériques donnés sous forme binaire, le plus souvent – a pris de l'importance à cause de la multiplication des types d'appareils qui enregistrent de telles données et de l'augmentation du nombre d'appareils qui sont utilisés par les particuliers, les entreprises et les organismes publics. Les méthodes de criminalistique peuvent être appliquées pour récupérer des données stockées sur des supports informatiques, dans un système d'exploitation ou dans une application. Des éléments de preuve numériques peuvent notamment être stockés dans les objets suivants :

- ordinateurs de bureau, ordinateurs portables, tablettes électroniques, disques durs, cartes mémoires ou clés USB ;
- téléphones portables ;
- caméras de sécurité et de surveillance, par exemple celles qui sont utilisées par les banques aux distributeurs automatiques, par de nombreuses entreprises, dans certains immeubles d'habitation et dans certaines résidences ;
- caméras de surveillance routière, qui sont utilisées pour détecter les infractions routières ou pour surveiller la circulation ;
- lecteurs multimédias portatifs ;
- appareils photo numériques.

- Les appareils numériques et les systèmes de contrôle qui se trouvent dans une installation peuvent également être utilisés pour obtenir des éléments de preuve numériques. Dans le cadre d'une enquête sur un événement de sécurité nucléaire, ces appareils ou les éléments de preuve qu'ils contiennent peuvent être recueillis à l'endroit où les matières nucléaires ou les autres matières radioactives sont saisies, le long des itinéraires que les matières ont pu emprunter ou sur des personnes qui sont soupçonnées d'être impliquées dans les événements qui ont conduit à la saisie des matières. La présence d'enregistreurs numériques peut permettre de suivre le déplacement de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives dans l'espace et dans le temps.

Annexe II

TECHNIQUES DE CARACTÉRISATION

TECHNIQUES FREQUEMMENT UTILISEES EN ANALYSE DE CRIMINALISTIQUE NUCLEAIRE

II-1. La présente annexe s’inspire du chapitre 21 de la référence [II-1] et décrit certaines des techniques les plus fréquemment utilisées en analyse de criminalistique nucléaire, qui sont citées dans le tableau 3 de la section 5. Cette liste de techniques est représentative, mais pas exhaustive. Pour aller plus loin, on pourra consulter les conclusions d’un projet de recherche coordonnée qui portait sur l’application de la criminalistique nucléaire à la lutte contre le trafic de matières nucléaires et des autres matières radioactives (référence [II-2]).

Techniques de caractérisation physique, notamment le contrôle visuel et la photographie

II-2. Le contrôle visuel d’un échantillon peut donner des informations sur son identité, surtout si un numéro de série ou une autre marque d’identification est présent. Sinon, la taille et la forme peuvent être suffisantes pour identifier certains objets. La mesure des dimensions et du poids de l’échantillon peut servir à calculer sa densité. Pour certains composés chimiques, la couleur des matières peut être un indicateur important. L’utilisation d’une échelle de couleurs étalonnée peut faciliter la consignation de ces mesures.

Microscopie optique

II-3. La microscopie optique est la principale méthode qui est employée pour examiner l’échantillon par grossissement de ce dernier. Le microscope optique utilise des dispositifs optiques de grossissement et des méthodes de réflexion ou de transmission de l’échantillon éclairé pour présenter des images agrandies de ce dernier à l’utilisateur. L’examen des échantillons sous lumière polarisée transmise peut également donner des informations sur la composition et l’homogénéité de l’échantillon. La plupart des microscopes optiques permettent d’agrandir une image jusqu’à 1 000 fois.

Microscopie électronique à balayage et spectroscopie des rayons X

II-4. La microscopie électronique à balayage (MEB) permet de grossir les images jusqu'à 10 000 fois avec un filament classique et jusqu'à 500 000 fois pour les émissions de champ. En MEB, un pinceau d'électrons balaie l'échantillon. L'interaction entre le faisceau d'électrons incident et l'échantillon produit des électrons rétrodiffusés, des électrons secondaires et des rayons X. La mesure du signal produit en fonction de la position du faisceau permet d'afficher une image ou une carte de l'échantillon. Chaque type de signal donne des informations différentes sur l'échantillon. Les électrons secondaires permettent par exemple d'obtenir des données à haute résolution sur la forme de l'échantillon. Une carte de l'intensité relative des électrons rétrodiffusés fait apparaître la répartition spatiale des composants des matières en fonction du numéro atomique moyen de l'échantillon.

II-5. Les rayons X qui sont produits dans le cadre de la microscopie électronique à balayage ou d'une analyse par microsonde électronique permettent de mesurer la composition élémentaire d'un échantillon. Les rayons X peuvent être analysés quantitativement par deux méthodes. Dans la première, un spectromètre à rayons X à dispersion d'énergie utilise un détecteur à semi-conducteur pour mesurer simultanément l'énergie et le débit des rayons X incidents. Dans la deuxième méthode, pour laquelle une microsonde électronique est présente, un spectromètre à rayons X dispersif en longueur d'onde utilise un cristal analyseur pour diffracter séquentiellement certains rayons X dans un compteur proportionnel à gaz. L'analyse par rayons X est limitée à une résolution spatiale d'environ 1 micromètre. La limite de détection de ce type d'analyse s'élève à environ 0,1 % et dépend de l'élément concerné. Associé à un appareil à rayons X à dispersion d'énergie ou dispersif en longueur d'onde, un microscope électronique à balayage peut servir à cartographier la concentration et la répartition des éléments présents dans l'échantillon.

Analyse par fluorescence X

II-6. L'analyse par fluorescence X est utile pour mesurer de manière non destructive la composition élémentaire d'un large éventail d'échantillons. Dans cette technique, un faisceau incident de rayons X excite des rayons X secondaires caractéristiques dans un échantillon solide, rayons qui sont ensuite mesurés dans un compteur à semi-conducteur ou un compteur proportionnel. Pour ce type d'analyse, la limite de détection s'élève à environ 10 parties par million (ppm). Même si l'énergie des rayons X émis est faible, il est possible d'analyser des

éléments légers (comme le bore, le carbone ou l'oxygène) en appliquant des facteurs de correction d'absorption et en utilisant un cristal analyseur.

Diffraction des rayons X

II-7. La diffraction des rayons X est utilisée pour déterminer quelle est la structure chimique des matériaux cristallisés. Le principe est le suivant : un faisceau de rayons X qui interagit avec un réseau cristallin ordonné subit des interférences constructives et des interférences destructives, qui dépendent de la distance interréticulaire, de la longueur d'onde des rayons X et de l'angle d'incidence du faisceau. Si l'on tourne l'échantillon par rapport à une source de rayons X fixe, les interférences changent, ce qui permet de tracer un diffractogramme caractéristique. Celui-ci peut être comparé à un spectre de référence afin de déterminer dans quelle phase cristalline est le matériau. Cette technique ne permet pas d'obtenir de diffractogramme pour des matériaux amorphes (non cristallins).

Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

II-8. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est utilisée pour identifier les composés chimiques. L'échantillon est exposé à une large bande de fréquences infrarouge et l'intensité du rayonnement infrarouge réfléchi ou transmis est mesurée en fonction de la fréquence. Ces mesures permettent d'obtenir un spectre d'absorption infrarouge. L'absorption à certaines fréquences est caractéristique de certaines liaisons. Le spectre infrarouge permet donc de déterminer quels sont les groupes fonctionnels et les liaisons au sein de la molécule. Il existe aussi des bibliothèques de spectres qui facilitent l'identification de composés inconnus ou permettent au moins de déterminer qu'ils font partie de certaines classes de molécules.

Techniques de mesure de la radioactivité

II-9. Chaque isotope radioactif émet des rayonnements de types et d'énergies connus, à un débit connu et déterminé par son activité. Si l'on mesure les rayonnements émis par l'échantillon, il est possible de calculer la concentration de chaque isotope présent. Quatre types de rayonnements peuvent être utilisés pour les mesures : les rayonnements alpha, les rayonnements bêta, les rayonnements gamma et les rayonnements neutroniques. Les propriétés et les méthodes de détection sont différentes pour chacun des types de rayonnements. En criminalistique nucléaire, les deux méthodes les plus importantes sont

la spectrométrie gamma et la spectrométrie alpha, qui sont présentées aux paragraphes II-10 à II-13.

II-10. La spectrométrie gamma est la première technique qui est utilisée lorsque des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives saisies sont initialement classées dans le cadre d'un examen de criminalistique nucléaire, parce que les mesures sont faciles à effectuer et qu'il s'agit d'une technique non destructive, pour laquelle il n'est pas nécessaire de préparer les échantillons. Les rayons gamma (c'est-à-dire des photons dont l'énergie est comprise entre 10 keV et plus de 500 keV) peuvent être mesurés même s'ils sont atténués par des matériaux d'emballage ou de protection, en particulier le plomb. Les mesures de classement initiales sur place sont effectuées à l'aide de spectromètres gamma portatifs, par exemple des scintillateurs portatifs au iodure de sodium ou des détecteurs portables au germanium de haute pureté. En laboratoire, on utilise des appareils de spectrométrie gamma plus complexes, dont la sensibilité et la résolution sont plus grandes. Les rayons gamma dont la concentration est moindre peuvent ainsi être mesurés avec une résolution plus élevée. Les énergies qui sont proches les unes des autres peuvent être distinguées sur le spectre. Des logiciels du commerce sont utilisés pour améliorer la résolution des spectres de faible énergie qui sont enregistrés pour le plutonium et l'uranium et permettent de déterminer la composition isotopique des matières. Il convient toutefois de noter que certains nucléides, comme le plutonium 242 ou l'uranium 236, ne peuvent être détectés par spectrométrie gamma ; dans ce cas, la spectrométrie de masse est utilisée.

II-11. La spectrométrie gamma joue également un rôle essentiel dans l'analyse par activation neutronique, où elle est utilisée pour mesurer la quantité de radionucléides créés par activation d'échantillons dans un réacteur ou un générateur de neutrons.

II-12. La spectrométrie alpha permet de détecter les particules alpha, qui sont des ions He^{2+} dont l'énergie est comprise entre 3 MeV et 8 MeV. Il s'agit d'une technique destructive. Les particules alpha sont facilement arrêtées à cause de leur forte interaction avec la matière. Il est donc nécessaire d'effectuer une préparation radiochimique des échantillons pour pouvoir compter les particules alpha.

II-13. Il importe d'effectuer une analyse radiochimique, suivie d'une spectrométrie alpha, pour mesurer l'activité du ^{238}Pu et du $^{239+240}\text{Pu}$. La séparation radiochimique du plutonium et de l'américium est particulièrement importante, car les particules alpha qui sont émises par l'américium 241 et le plutonium 238 ont une énergie similaire et se chevauchent donc sur le spectre. De même, les énergies alpha du plutonium 239 et du plutonium 240 sont très proches et ne

peuvent être distinguées sur le spectre. C'est donc la somme des deux activités qui est mesurée (c'est-à-dire $^{239+240}\text{Pu}$). Le rapport atomique $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ s'obtient par spectrométrie de masse.

Analyse chimique

II-14. La titrimétrie et la coulométrie à potentiel contrôlé sont des méthodes couramment utilisées pour calculer la concentration en éléments du neptunium, du plutonium, de l'uranium ou d'autres composés importants du combustible nucléaire à des fins de comptabilité ou de vérification. En titrimétrie, une réaction se produit entre l'échantillon et une quantité mesurée avec précision d'un réactif sélectif dont la composition est connue, ce qui conduit à l'achèvement ou à un point final caractéristique d'une réaction stœchiométrique bien connue. La méthode de titrage dépend notamment du mode de détection du point final (titrage potentiométrique ou spectrophotométrique, par exemple). En coulométrie à potentiel contrôlé, l'élément à analyser est oxydé ou réduit sélectivement sur une électrode métallique qui est maintenue à un potentiel donné. Le nombre d'électrons perdus par oxydation ou gagnés par réduction permet de déterminer quelle quantité de l'élément est présente dans l'échantillon.

II-15. Pour ces méthodes, l'incertitude de mesure est inférieure à 0,1 % lorsque l'échantillon pèse quelques centaines de milligrammes. Ces méthodes éprouvées sont régulièrement utilisées dans les laboratoires qui s'occupent du contrôle comptable et des garanties nucléaires. Elles peuvent donc être très efficaces pour caractériser des matières nucléaires, à condition que l'échantillon pèse au moins quelques dixièmes de gramme.

Radiochimie

II-16. Beaucoup d'échantillons sont trop complexes pour que la concentration de tous les radio-isotopes présents puisse être mesurée sans séparation ni purification initiales. Comme les propriétés chimiques des éléments diffèrent, il est possible d'élaborer des méthodes pour séparer des éléments ou des groupes d'éléments afin de pouvoir mesurer la concentration des isotopes présents par des techniques de mesures de la radioactivité ou par spectrométrie de masse. Un étalon isotopique interne appelé traceur permet de calculer la concentration des isotopes dans l'échantillon initial à partir de la concentration mesurée après application de ces méthodes. La séparation et la purification permettent d'accroître la sensibilité et la sélectivité de la technique. La radiochimie joue un rôle particulièrement important lorsqu'il faut déterminer la concentration d'isotopes dont l'activité est faible et pour lesquels la meilleure méthode de

mesure est le comptage des particules alpha ou la spectrométrie de masse. Si une analyse radiochimique est effectuée au préalable, les techniques de mesures de la radioactivité ou la spectrométrie de masse permettent de mesurer des quantités qui ne dépassent pas le femtogramme (10^{-15} g) pour certains isotopes.

Radiographie

II-17. Les techniques de radiographie peuvent être utiles pour connaître la répartition spatiale et l'activité des radionucléides présents dans un échantillon. Ainsi, l'analyse par traces de fission et la mesure des traces alpha permettent de localiser et de quantifier les actinides présents dans un échantillon à l'aide de détecteurs solides de traces nucléaires, et les films ou les dispositifs modernes de transfert de charge permettent de localiser et d'identifier les émetteurs alpha ou bêta.

Spectrométrie de masse

II-18. La spectrométrie de masse est utilisée pour déterminer la composition isotopique des éléments présents dans une certaine matière. Après ajout d'une quantité connue d'un certain isotope, elle permet également d'obtenir une quantification (on parle alors souvent de dosage lorsqu'elle est appliquée aux principaux constituants de l'échantillon) pour ces éléments. Cette technique est appelée spectrométrie de masse à dilution isotopique (IDMS). Les méthodes de spectrométrie de masse peuvent être utilisées pour les isotopes radioactifs et pour les isotopes stables. Dans ces techniques, les atomes et les molécules sont transformés en cations ou en anions. Ces ions sont ensuite séparés en fonction de leur rapport masse/charge, et l'intensité des faisceaux d'ions obtenus est mesurée. La sélectivité des techniques de spectrométrie de masse élémentaire est généralement élevée à cause de l'étape d'analyse des masses, sauf dans des cas particuliers d'interférences isobares. La spectrométrie de masse permet d'effectuer des analyses d'une grande précision et d'une grande exactitude et présente une grande sensibilité en abondance.

Spectrométrie de masse à thermo-ionisation

II-19. En spectrométrie de masse à thermo-ionisation (TIMS), un échantillon est déposé sur un filament métallique, qui est chauffé par le passage d'un courant électrique créé dans un vide poussé. Si l'énergie d'ionisation d'un élément est suffisamment faible par rapport au travail de sortie du filament, une partie des atomes de cet élément sont ionisés par interaction avec la surface du filament à haute température. Les masses sont alors séparées sous vide poussé dans un

spectromètre de masse à l'aide d'un secteur magnétique. La spécificité de la TIMS s'explique par les étapes de séparation chimique et par la température à laquelle l'ionisation s'effectue. Cette technique permet sans difficulté de déterminer la composition isotopique d'échantillons qui pèsent un nanogramme (10^{-9} g) ou un picogramme (10^{-12} g), ainsi que de quelques échantillons qui pèsent des dizaines de femtogrammes (10^{-15} g) à l'aide de techniques de préconcentration particulières. La TIMS permet facilement de mesurer des écarts d'environ 1 ppm entre rapports massiques d'isotopes.

Spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif

II-20. Pour les analyses par spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif (ICP-MS), l'échantillon doit être aspiré sous forme de solution dans une source plasma à couplage inductif, où la température élevée du plasma sépare les atomes présents de l'échantillon et les transforme en ions. En dehors de la mesure de la composition isotopique, l'ICP-MS est utile comme outil d'analyse des éléments et comme méthode pour quantifier avec précision les éléments en trace présents dans un échantillon. La limite de détection est comprise entre 0,1 partie par milliard (ppb) et environ 10 ppb en solution. Il est difficile d'utiliser l'ICP-MS pour des mesures sur des éléments dont le numéro atomique est faible (carbone, oxygène, phosphore, potassium, silicium et soufre, par exemple) à cause du bruit de fond ou du faible rendement d'ionisation.

Spectrométrie de masse des ions secondaires

II-21. La spectrométrie de masse des ions secondaires (SIMS) est utilisée pour l'analyse élémentaire et isotopique des échantillons, notamment des petites particules. Dans cette technique, la surface de l'échantillon est bombardée par un faisceau focalisé d'ions primaires (Cs^+ , Ga^+ ou O_2^+ , par exemple). Cette action provoque la formation d'ions secondaires (caractéristiques de l'échantillon), qui peuvent être analysés dans un spectromètre de masse. En mode « microscope », un faisceau d'ions primaires relativement large bombarde l'échantillon et la position des ions secondaires obtenus est suivie et agrandie dans tout le spectromètre. Un détecteur imageur sensible à la position affiche et enregistre une représentation des isotopes. En mode « microfaisceaux », un faisceau focalisé d'ions primaires balaie l'échantillon de la même manière qu'un microscope électronique. Les ions secondaires qui se forment sont ensuite détectés et associés à la position du faisceau d'ions primaires pour construire une représentation des isotopes. L'ablation de la surface de l'échantillon par le faisceau d'ions focalisé permet d'obtenir un profil de concentration, qui est extrêmement utile pour connaître les gradients de composition ou les altérations de surface.

Chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse

II-22. La chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (CPG/SM) est une technique utile pour détecter et mesurer les constituants organiques présents à l'état de traces (à hauteur de quelques ppm) dans un échantillon global. En CPG/SM, les composés volatils de l'échantillon sont séparés dans le chromatographe en phase gazeuse et identifiés dans le spectromètre de masse. Ce dernier ionise et fait éclater les composés à mesure qu'ils sortent élués de la colonne chromatographique. De nombreuses techniques d'ionisation peuvent être utilisées, mais, pour la CPG/SM, la plus courante est le bombardement électronique. Le spectromètre de masse mesure la quantité d'ions de différentes masses par détection simultanée ou séquentielle, selon le type d'appareil. Le graphique obtenu, qui représente la quantité relative en fonction de leur rapport masse/charge, est appelé « spectre de masse ». Il existe de vastes bibliothèques de spectres de masse qui facilitent l'identification des composés inconnus détectés par CPG/SM.

Microscopie électronique à transmission

II-23. En microscopie électronique à transmission (MET), un faisceau d'électrons de haute énergie traverse un échantillon ultrafin (100 nm d'épaisseur environ). En MET, on peut obtenir de meilleures résolutions qu'en MEB et il est possible de représenter des structures extrêmement fines. Les électrons peuvent subir des effets diffractifs, qui, comme pour la diffraction des rayons X, peuvent servir à déterminer quelles phases cristallines sont présentes dans les matières.

RÉFÉRENCES

- [II-1] KRISTO, M.J., "Nuclear forensics", Handbook of Radioactivity Analysis, 3rd edn (L'ANNUNZIATA, M.F., Ed.), Elsevier, Oxford (2012).
- [II-2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).

Annexe III

EXEMPLES DE FORMATION THÉORIQUE ET PRATIQUE, D'EXERCICES ET D'ACTIVITÉS DE RECHERCHE- DÉVELOPPEMENT

III-1. La présente annexe décrit certaines des activités de création de capacités qui sont mises en œuvre à l'échelle internationale.

FORMATION THÉORIQUE

III-2. En 2010, l'AIEA a créé le Réseau international de formation théorique à la sécurité nucléaire (INSEN) afin que, grâce à la mise en place, à la diffusion et à la défense d'un enseignement d'excellence, les pratiques de sécurité nucléaires soient efficaces. L'INSEN comprend des établissements d'enseignement et des instituts de recherche qui participent ou prévoient de participer à la formation théorique dans le domaine de la sécurité nucléaire. Les membres de l'INSEN collaborent à l'élaboration de manuels, d'outils pédagogiques et de matériel didactique, à la formation continue du personnel enseignant du supérieur, aux échanges universitaires afin de favoriser la communication d'informations, à la recherche-développement afin de renforcer la confiance dans les techniques employées, à l'évaluation des thèses universitaires et aux indicateurs de mesure concernant l'efficacité de la formation théorique à la sécurité nucléaire.

FORMATION PRATIQUE

III-3. L'AIEA a élaboré une série de cours de formation pour répondre aux besoins de différents publics. Ces cours portent sur différents aspects de la criminalistique nucléaire appliquée aux enquêtes sur les événements de sécurité nucléaire, notamment : introduction à la criminalistique nucléaire, méthodes de criminalistique nucléaire et un cours connexe, conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives. On trouvera de plus amples informations sur le catalogue de formation à la sécurité nucléaire de l'AIEA, qui est accessible sur le site web de la Division de la sécurité nucléaire de l'Agence¹.

¹ Voir <https://www.iaea.org/fr/themes/la-surete-et-la-securite-nucleaires>.

III-4. INTERPOL organise également des formations pour des groupes multinationaux interorganismes de membres des forces de l'ordre et de scientifiques concernant les meilleures pratiques pour la conduite des opérations sur le lieu d'un délit impliquant des matières radioactives.

III-5. En outre, des États Membres organisent des cours de formation à l'échelle nationale et internationale.

EXERCICES

III-6. Le Groupe de travail technique international sur la criminalistique nucléaire (ITWG) mène plusieurs exercices qui sont de nature analytique ou reposent sur un scénario, ce qui permet aux laboratoires d'évaluer leurs performances en matière d'analyse et de démontrer leurs compétences. Le groupe de travail de l'ITWG qui est chargé des exercices a joué un rôle essentiel dans l'organisation, la mise en œuvre et la communication des résultats d'exercices collaboratifs concrets – également appelés « examens interlaboratoires » – au cours desquels tous les laboratoires participants reçoivent des échantillons identiques de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives et, dans certains cas, des échantillons non radioactifs, et doivent effectuer des analyses. Les participants procèdent aux analyses et communiquent des conclusions au bout de 24 heures, 1 semaine et 2 mois. Complètement facultative, la participation à ces examens est ouverte à tous les laboratoires, qui déclarent eux-mêmes ce qu'ils peuvent mesurer. Les résultats sont codés afin que les résultats de chaque laboratoire soient anonymes et ne soient connus que du coordonnateur de l'exercice. Les résultats des exercices font apparaître les performances de chaque laboratoire concernant les capacités d'analyse déclarées et permettent de déterminer l'intérêt de différentes méthodes d'analyses appliquées au même échantillon. Des laboratoires de plusieurs pays participent aux examens interlaboratoires, qui concernent diverses matières. Trois exercices collaboratifs concrets ont été organisés par l'ITWG :

- a) Lors de l'exercice 1998-2000, six laboratoires ont analysé de l'oxyde de plutonium.
- b) Lors de l'exercice 2000-2002, dix laboratoires ont analysé de l'oxyde d'uranium hautement enrichi.
- c) Lors de l'exercice 2010, neuf laboratoires ont analysé de l'uranium métal hautement enrichi.

III-7. Le Groupe chargé de la mise en œuvre et de l'évaluation de l'Initiative mondiale de lutte contre le terrorisme nucléaire organise des exercices sur table et des séminaires. Les principaux objectifs des exercices sont les suivants :

- a) élaborer et favoriser une vision commune des moyens et des principes de criminalistique nucléaire ;
- b) faire valoir l'importance de la criminalistique nucléaire aux décideurs ;
- c) étudier les relations entre les différentes parties prenantes de la criminalistique nucléaire (notamment les forces de l'ordre, la justice, les décideurs et les services techniques) ;
- d) étudier les aspects administratifs des échanges d'informations afin de faire progresser les enquêtes relatives aux événements de sécurité nucléaire ;
- e) proposer des partenariats destinés à échanger des informations à l'échelle nationale ou internationale.

RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

III-8. Afin de susciter la confiance dans la criminalistique nucléaire, d'approfondir l'étude des signatures de criminalistique nucléaire, de faciliter la création de bibliothèques nationales de criminalistique nucléaire et de favoriser la collaboration internationale, l'AIEA a lancé les projets de recherche coordonnée (PRC) suivants :

- a) 2008-2011 : application de la criminalistique nucléaire au trafic illicite des matières nucléaires ou autres matières radioactives [III-1].
- b) Depuis 2013 : recherche de signatures de criminalistique nucléaire à fiabilité élevée en vue de la création de bibliothèques nationales de criminalistique nucléaire.

III-9. On trouvera de plus amples informations sur tous les PRC lancés par l'AIEA sur le site web de l'Agence².

RÉFÉRENCE

[III-1]INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of Nuclear Forensics in Combating Illicit Trafficking of Nuclear and Other Radioactive Material, IAEA-TECDOC-1730, IAEA, Vienna (2014).

² Voir <https://www.iaea.org/fr/services/les-activites-de-recherche-coordonnee>.

GLOSSAIRE

analyse globale. Analyse d'un échantillon entier ou d'une partie de celui-ci visant à déterminer les caractéristiques moyennes de la partie analysée.

autorité compétente. Organisme ou établissement public ayant été désigné par un État pour exercer une ou plusieurs fonctions dans le domaine de la sécurité nucléaire. Les autorités compétentes peuvent par exemple englober les organismes de réglementation, les forces de l'ordre, les douanes et la police des frontières, les services de renseignement et de sécurité, et les services de santé.

bibliothèque nationale de criminalistique nucléaire. structure administrative de centralisation d'informations sur les matières nucléaires et autres matières radioactives produites, utilisées ou entreposées dans un État.

caractérisation. Détermination de la nature des matières radioactives et des éléments connexes.

caractéristique de classe. Attribut ou caractéristique commune à tous les membres d'une classe de personnes ou d'objets.

chaîne de responsabilité. Procédures et documents attestant l'intégrité d'une preuve matérielle par un suivi de sa manipulation et de son stockage depuis le point où il a été recueilli jusqu'à son évacuation définitive. La chaîne de responsabilité est également appelée « chaîne de preuves » ou « chaîne de possession ».

criminalistique nucléaire. Branche de la criminalistique qui consiste à examiner des matières nucléaires et autres matières radioactives ou d'autres éléments matériels qui sont contaminés par des radionucléides, dans le cadre d'une procédure judiciaire.

élément en trace. Élément présent dans un échantillon à une concentration inférieure à 1 000 µg/g ou à 0,1 % de la masse de la matrice.

examen. Procédure appliquée pour obtenir des informations à partir d'éléments matériels afin de tirer des conclusions sur la nature de ces éléments ou sur des liens avec ceux-ci.

individualisation. Capacité à associer un résultat ou une série de résultats de criminalistique à une source précise (personne, lieu ou processus de production, par exemple).

interprétation des données de criminalistique nucléaire. établissement de corrélations entre les caractéristiques d'un échantillon et les informations disponibles sur la composition, l'origine et les modes de production des matières nucléaires et autres matières radioactives, ou d'autres affaires dans lesquelles des matières similaires entraînent en jeu.

laboratoire de criminalistique nucléaire agréé. Laboratoire que l'État a jugé capable de recevoir ou d'analyser des échantillons de matières nucléaires ou d'autres matières radioactives à l'appui des examen de criminalistique nucléaire.

lieu d'un délit impliquant des matières radioactives. Lieu où un délit ou un autre acte intentionnel non autorisé mettant en jeu des matières nucléaires ou d'autres matières radioactives a ou aurait été commis.

radiochronométrie. Mesure de la concentration des produits de désintégration radioactive présents dans un échantillon afin de déterminer le temps qui s'est écoulé depuis la dernière fois où un descendant s'est séparé de la matière parente (et donc l'âge des matières contenues dans l'échantillon).

signature. Caractéristique ou ensemble de caractéristiques d'un échantillon qui permettent de le comparer à des matières de référence.



IAEA

Agence internationale de l'énergie atomique

N° 26

OÙ COMMANDER ?

Vous pouvez vous procurer les publications de l'AIEA disponibles à la vente chez nos dépositaires ci-dessous ou dans les grandes librairies.

Les publications non destinées à la vente doivent être commandées directement à l'AIEA. Les coordonnées figurent à la fin de la liste ci-dessous.

AMÉRIQUE DU NORD

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214 (États-Unis d'Amérique)
Téléphone : +1 800 462 6420 • Télécopie : +1 800 338 4550
Courriel : orders@rowman.com • Site web : www.rowman.com/bernan

Renouf Publishing Co. Ltd

22-1010 Polytek Street, Ottawa, ON K1J 9J1 (Canada)
Téléphone : +1 613 745 2665 • Télécopie : +1 613 745 7660
Courriel : order@renoufbooks.com • Site web : www.renoufbooks.com

RESTE DU MONDE

Veillez-vous adresser à votre libraire préféré ou à notre principal distributeur :

Eurospan Group

Gray's Inn House
127 Clerkenwell Road
London EC1R 5DB
(Royaume-Uni)

Commandes commerciales et renseignements :

Téléphone : +44 (0) 176 760 4972 • Télécopie : +44 (0) 176 760 1640
Courriel : eurospan@turpin-distribution.com

Commandes individuelles :

www.eurospanbookstore.com/iaea

Pour plus d'informations :

Téléphone : +44 (0) 207 240 0856 • Télécopie : +44 (0) 207 379 0609
Courriel : info@eurospangroup.com • Site web : www.eurospangroup.com

Les commandes de publications destinées ou non à la vente peuvent être adressées directement à :

Unité de la promotion et de la vente
Agence internationale de l'énergie atomique
Centre international de Vienne, B.P. 100, 1400 Vienne (Autriche)
Téléphone : +43 1 2600 22529 ou 22530 • Télécopie : +43 1 26007 22529
Courriel : sales.publications@iaea.org • Site web : <https://www.iaea.org/fr/publications>

La présente publication est une révision de la publication n° 2 de la collection Sécurité nucléaire de l'AIEA, intitulée « Nuclear Forensics Support », qui est parue en 2006 et a été largement adoptée par les États pour mettre en place des moyens de criminalistique nucléaire. Elle donne des informations actualisées sur les enquêtes relatives aux événements de sécurité nucléaire, sur le fondement juridique de la criminalistique nucléaire, sur l'intégration de la criminalistique nucléaire dans le plan national d'intervention, sur le lancement d'un examen, sur l'existence d'un laboratoire de criminalistique nucléaire qui utilise les moyens nationaux disponibles, et sur l'analyse de criminalistique des matières nucléaires, des autres matières radioactives et des éléments de preuve contaminés par des radionucléides.