



UNIL | Université de Lausanne

Unicentre

CH-1015 Lausanne

<http://serval.unil.ch>

Year : 2021

Faire le pont entre les sciences forensiques et la gestion : indice synthétique d'analyse préacquisition "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE) pour les laboratoires de développement des traces.

Alexandre Beaudoin

Alexandre Beaudoin, 2021, Faire le pont entre les sciences forensiques et la gestion : indice synthétique d'analyse préacquisition "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE) pour les laboratoires de développement des traces.

Originally published at : Thesis, University of Lausanne

Posted at the University of Lausanne Open Archive <http://serval.unil.ch>
Document URN :

Droits d'auteur

L'Université de Lausanne attire expressément l'attention des utilisateurs sur le fait que tous les documents publiés dans l'Archive SERVAL sont protégés par le droit d'auteur, conformément à la loi fédérale sur le droit d'auteur et les droits voisins (LDA). A ce titre, il est indispensable d'obtenir le consentement préalable de l'auteur et/ou de l'éditeur avant toute utilisation d'une oeuvre ou d'une partie d'une oeuvre ne relevant pas d'une utilisation à des fins personnelles au sens de la LDA (art. 19, al. 1 lettre a). A défaut, tout contrevenant s'expose aux sanctions prévues par cette loi. Nous déclinons toute responsabilité en la matière.

Copyright

The University of Lausanne expressly draws the attention of users to the fact that all documents published in the SERVAL Archive are protected by copyright in accordance with federal law on copyright and similar rights (LDA). Accordingly it is indispensable to obtain prior consent from the author and/or publisher before any use of a work or part of a work for purposes other than personal use within the meaning of LDA (art. 19, para. 1 letter a). Failure to do so will expose offenders to the sanctions laid down by this law. We accept no liability in this respect.



UNIL | Université de Lausanne

FACULTÉ DE DROIT, DES SCIENCES CRIMINELLES ET
D'ADMINISTRATION PUBLIQUE

ÉCOLE DES SCIENCES CRIMINELLES

Faire le pont entre les
sciences forensiques et la
gestion : indice synthétique
d'analyse préacquisition
"Forensic Assessment of
Technologies Effectiveness"
(ForATE) pour les
laboratoires de
développement des traces.

THÈSE DE DOCTORAT

présentée à la

Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration
publique
de l'Université de Lausanne

pour l'obtention du grade de

Docteur en Science forensique

par

Alexandre BEAUDOIN

Directeur de thèse
Prof Christophe CHAMPOD

[Jury]

Prof Céline Weyermann [Présidente]

Prof Olivier RIBAUX
Prof Frank CRISPINO
Prof Della WILKINSON

LAUSANNE
2021



UNIL | Université de Lausanne
Ecole des sciences criminelles
bâtiment Batochime
CH-1015 Lausanne

IMPRIMATUR

A l'issue de la soutenance de thèse, le Jury autorise l'impression de la thèse de M. Alexandre Beaudoin, candidat au doctorat en science forensique, intitulée

« Faire le pont entre les sciences forensiques et la gestion : indice synthétique d'analyse préacquisition "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE) pour les laboratoires de développement des traces »

La Présidente du Jury



Prof. Céline Weyermann

Lausanne, le 30 août 2021

Résumé

Cette thèse entre dans le cadre du programme de doctorat en science forensique de l'Université de Lausanne et porte sur l'élaboration d'un indice d'aide à la décision pour les responsables de l'identification forensique qui prend en compte divers facteurs clés.

Le foisonnement technologique et scientifique du domaine forensique place le gestionnaire moderne dans une posture difficile. En effet, la conjoncture économique récessionniste qui frappe l'économie mondiale (Maher, Hoang, & Hindery, 2020) n'épargne pas les institutions forensiques; le gestionnaire doit s'assurer d'investir dans des techniques et technologies qui sauront produire le meilleur retour sur investissement possible. Pour supporter ces gestionnaires, il faut trouver un moyen d'assister la prise de décision tout en tenant compte des différents facteurs incontournables dont l'importance est en constante compétition pour le décideur.

Cette thèse propose une approche d'évaluation des différentes techniques forensiques par l'utilisation d'un indice composite permettant de faciliter la prise de décision par les gestionnaires et responsables de laboratoires forensiques de développement des traces dans la conjoncture économique actuelle.

Cette étude s'appuie sur plusieurs données quantitatives et qualitatives : 1) un sondage électronique sur l'importance des différents facteurs clés lors de la prise d'une décision d'acquisition (n=126); 2) un sondage électronique sur l'appréciation des techniques actuellement en usage (n=126).

L'analyse des données collectées a permis l'élaboration d'un indice synthétique d'analyse préacquisition, le "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE), qui permet de faire le pont entre les sciences forensiques et la gestion.

Deux variantes furent produites, l'une pour les techniques chimiques et l'autre pour les sources lumineuses utilisées en forensique. Deux applications de calcul automatisées des ForATE-Tech Chem et ForATE-Light Source sont disponibles gratuitement pour les utilisateurs (<http://alexandre.beaud0in.net/ForATE.htm>). La robustesse du modèle général a pu être expérimentée avec des études pseudo-opérationnelles impliquant des techniques forensiques présentement en usage sur le terrain. La polyvalence de l'indice permettra son adaptation à d'autres domaines des sciences forensiques. Il s'agit d'une excellente façon de traduire plusieurs faits scientifiques en un langage de gestion claire et intelligible. Cet indice s'inscrit également dans l'orientation de la gestion du risque de l'accréditation ISO 17025 :2017.

Mots-clés : forensique; ForATE; choix technologique; évaluation; technologie; gestion; décision; gestionnaire; efficience; risque; indice; FORESIGHT; ISO17025

Abstract

This thesis is part of the doctoral program in forensic science from the University of Lausanne and relates to the development of a decision support index for forensic identification managers which takes into account various key factors.

The technological and scientific profusion in the forensic field places the modern manager in a difficult position. Indeed, the recessionary economic situation which strikes the world economy (Maher, Hoang, & Hindery, 2020) did not spare forensic institutions; the manager must ensure that he invests in techniques and technology that will produce the best possible return on investment. To support those managers, it is necessary to find a way to assist decision-making while taking into account the various essential factors whose importance is in constant competition for the decision maker.

This thesis proposes an assessment approach of the various forensic techniques by the use of a composite index making it possible to facilitate the decision-making of fingerprint development laboratory managers in current economic conditions.

This study is based on several quantitative and qualitative data: 1) an electronic survey on the importance of the different key factors when making an acquisition decision (n = 126); 2) an electronic survey on the appreciation of the techniques currently in use (n = 126).

The analysis of the collected data has enabled the development of a synthetic pre-acquisition analysis index, the "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE), which makes it possible to bridge the gap between forensic science and management. Two variants were produced, one for chemical techniques and the other for forensic light sources. Two automated applications

to calculate ForATE-Tech Chem and ForATE-Light Source are available for free for the users (http://alexandre.beaudoin.net/ForATE_eng.htm). The robustness of the general model have been experimented with pseudo-operational studies involving forensic techniques currently in use in the field. The versatility of the index will allow adaptation to other areas of forensic science. This is a great way to translate multiple scientific facts into clear, understandable management language. This index also fall under the risk management orientation of the ISO 17025 :2017 accreditation.

Keywords : forensic; ForATE; technological choice; assessment; technology; management; decision; manager; efficiency; risk; index; FORESIGHT; ISO17025

Table des matières

Résumé	ii
Abstract	iv
Table des matières	vi
Liste des tableaux	ix
Liste des équations	x
Liste des figures	xi
Liste des sigles et des abréviations.....	xii
Remerciements.....	xv
1 Introduction.....	1
2 Prémisses de l'évaluation des technologies d'identification forensique	6
2.1 Technologies et sciences dans la police scientifique.....	6
2.2 Un aperçu opérationnel d'un besoin criant	8
2.2.1 Canada	9
2.2.2 États-Unis.....	12
2.2.3 Constat suite à ce coup de sonde.....	14
2.3 Question de recherche	15
2.4 Pourquoi l'aide à la décision pour les gestionnaires forensiques?	16
2.4.1 Contexte de la thèse.....	18
2.4.2 Besoin managérial	22
2.5 La statistique descriptive, un outil simple de mesure de performance	24
2.6 La science de l'aide décisionnelle à la rescousse	37
2.7 Pertinence de la recherche.....	42
3 Méthodologie	46
3.1 Stratégie de recherche	46
3.2 Population à l'étude	47
3.2.1 Critères d'échantillonnage	47
3.2.2 Échantillonnage	47
3.3 Collecte des données et définitions des variables	48

3.4	Analyse des données	49
3.5	Considérations éthiques.....	50
3.6	Limites anticipées de l'étude.....	51
3.7	Limites du retour au sondage opérationnel.....	51
3.8	Schéma global de la recherche.....	53
4	Définition des facteurs de l'indice.....	55
4.1	Développement de l'indice – Techniques chimiques forensiques.....	55
4.1.1	Indice d'efficacité.....	62
4.1.2	Indice de risque	67
4.1.3	Indice de simplicité (Complexité)	73
4.1.4	Indice de temps	76
4.2	Développement de l'indice – Sources lumineuses forensiques.....	79
4.2.1	Indice d'efficacité.....	79
4.2.2	Indice de risque	80
4.2.3	Indice de simplicité (Complexité)	87
4.2.4	Indice de temps	89
4.3	Indice synthétique "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE)	92
5	Détermination des Coefficients (poids) des critères de l'indice.....	95
6	Application pratique de l'indice ForATE	99
6.1	1,2-Indanedione/Chlorure de zinc versus 1,8-Diazafluoren-9-one	99
6.2	Oil Red O versus Révélateur Physique.....	104
6.3	1,2-Indanedione/Chlorure de zinc versus Ninhydrine	111
7	Discussion et mise en perspective.....	121
7.1	Sensibilité de l'indice ForATE.....	121
7.2	Robustesse des poids des critères.....	123
7.3	Guide d'implantation.....	126
7.3.1	Généralités	126
7.3.2	Spécifications pour l'indice d'efficacité.....	129
7.3.3	Spécification pour l'indice de risque pour la santé	131
7.4	Possibilité d'analyse coûts-efficacités avec le ForATE.....	133
7.4.1	IND/Zn vs DFO	134
7.4.2	ORO vs PD.....	137

7.4.3	IND/Zn vs Nin.....	139
7.5	ForATE face aux autres initiatives	143
7.5.1	FORESIGHT.....	143
7.5.2	Technology Readiness Level (TRL).....	144
7.5.3	ISO17025:2017	146
7.6	Adaptation du modèle aux autres spécialités forensiques	147
8	Conclusion	151
9	Bibliographie.....	154
	Annexe 1 : Grilles de sondage	171
	Annexe 2 : Modèle de lettre de recrutement sondage électronique	211
	Annexe 3 : Modèle de lettre de recrutement participation phase2 sur une période 1 an	214
	Annexe 4 : Formulaire de consentement	216
	Annexe 5 : Résultats du sondage électronique concernant l'évaluation du temps et de la simplicité de différentes techniques forensiques de développement des traces digitales	224
	Annexe 6 : Sondage opérationnel - Traitement en laboratoire pour le développement des traces.....	226

Liste des tableaux

Tableau 1: Niveau de danger suivant l'échelle des Phrases R (Persoons, et al., 2005).....	35
Tableau 2: Échelle d'évaluation du danger	68
Tableau 3: Échelle de simplicité d'utilisation - Techniques forensiques	74
Tableau 4: Échelle de simplicité de préparation - Techniques forensiques.....	74
Tableau 5: Échelle de temps de traitement - Techniques forensiques	77
Tableau 6: Échelle de temps de préparation - Techniques forensiques	77
Tableau 7: Classifications des lasers selon la norme internationale	82
Tableau 8: Classifications de ses autres lumières selon la norme internationale.....	84
Tableau 9: Échelle de simplicité d'utilisation - Lumières forensiques.....	87
Tableau 10: Échelle de simplicité de préparation de l'environnement - Lumières forensiques...	87
Tableau 11: Échelle de temps de traitement - Lumières forensiques.....	90
Tableau 12: Échelle de temps de préparation/attente - Lumières forensiques	90
Tableau 13: Recette et phrases de risque pour l'IND/Zn	101
Tableau 14: Recette et phrases de risque pour le DFO.....	102
Tableau 15: Recette et phrases de risque pour l'ORO	107
Tableau 16: Recette et phrases de risque pour le PD	108
Tableau 17: Résultats bruts de l'étude pseudo-opérationnelle IND/Zn - Nin.....	113
Tableau 18: Recette et phrases de risque pour l'IND/Zn	116
Tableau 19: Recette et phrases de risque pour la Nin	117
Tableau 20: Recette et coûts pour l'IND/Zn.....	135
Tableau 21: Recette et coûts pour le DFO.....	136
Tableau 22: Recette et coûts pour la Ninhydrine.....	141
Tableau 23: Évaluation des techniques de développement des traces par les experts (n=126)	224
Tableau 24: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein des 4 agences canadiennes participantes.....	226
Tableau 25: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein de l'agence américaine participante	227
Tableau 26: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein des 5 agences nord-américaines participantes	228

Liste des équations

Équation 1: Calcul de r	30
Équation 2: Poids moyen de la grandeur de l'effet.....	31
Équation 3: L'intervalle de crédibilité.....	31
Équation 4: L'erreur de variance de l'échantillon	32
Équation 5: Calcul de la variance de la grandeur de l'effet de la population	32
Équation 6: L'intervalle de confiance à 95%	32
Équation 7: Indice composite de risque pour la santé (Persoons, et al., 2005).....	34
Équation 8: Indice de danger (Persoons, et al., 2005)	34
Équation 9: Indice d'exposition (Persoons, et al., 2005).....	34
Équation 10: Indice de protection (Persoons, et al., 2005).....	34
Équation 11: Carré de la matrice M	40
Équation 12: Vecteur « propre » (eigenvector) de la matrice.....	41
Équation 13: Indice individuel d'efficacité η - Techniques forensiques.....	65
Équation 14: Taux d'efficacité relative $\% \eta$ - Techniques forensiques.....	65
Équation 15: Indice de danger - Techniques forensiques	70
Équation 16: Indice d'exposition - Techniques forensiques.....	70
Équation 17: Indice de protection - Techniques forensiques.....	71
Équation 18: Indice de risque IRtech de la technique.....	72
Équation 19: Indice de simplicité d'utilisation - Techniques forensiques.....	75
Équation 20: Indice de simplicité de préparation - Techniques forensiques.....	75
Équation 21: Indice de simplicité général - Techniques forensiques	76
Équation 22: Indice de temps de traitement - Techniques forensiques	78
Équation 23: Indice de temps de préparation - Techniques forensiques	78
Équation 24: Indice de temps général - Techniques forensiques	79
Équation 25: Indice individuel d'efficacité η - Lumières forensiques.....	80
Équation 26: Taux d'efficacité relative $\% \eta$ - Lumières forensiques	80
Équation 27: Indice de danger pour les lasers - Lumières forensiques.....	84
Équation 28: Indice de danger pour les autres lumières - Lumières forensiques.....	85
Équation 29: Indice d'exposition - Lumières forensiques	85
Équation 30: Indice de protection - Lumières forensiques	85
Équation 31: Indice de risque IRLum - Lumières forensiques.....	86
Équation 32: Indice de simplicité d'utilisation - Lumières forensiques.....	88
Équation 33: Indice de simplicité de préparation de l'environnement - Lumières forensiques... 88	
Équation 34 : Indice de simplicité général - Lumières forensiques.....	89
Équation 35: Indice de temps de traitement - Lumières forensiques.....	91
Équation 36: Indice de temps de préparation/attente - Lumières forensiques	91
Équation 37: Indice de temps général - Lumières forensiques	91
Équation 38: Indice synthétique ForATE (IForATE)	92
Équation 39: Indice synthétique final ForATE (IForATE)	97

Liste des figures

Figure 1: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein des quatre agences canadiennes participantes.....	10
Figure 2: Distribution du nombre de traces trouvées par traitement au sein des quatre agences canadiennes participantes.....	11
Figure 3: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein de l'agence américaine participante	12
Figure 4: Distribution du nombre de traces trouvées par traitement au sein de l'agence américaine participante	13
Figure 5: Distribution du nombre de traces de qualité 3 & 4 développées par technique lors de l'étude pseudo-opérationnelle IND/Zn - DFO	100
Figure 6: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude pseudo-opérationnelle IND/Zn - DFO.....	103
Figure 7: Distribution du nombre de traces de qualité 2 développées par technique lors de l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 0 et 14 jours de vieillissement	105
Figure 8: Distribution du nombre de traces de qualité 2 développées par technique lors de l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 15 et 30 jours de vieillissement	106
Figure 9: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 0 et 14 jours de vieillissement.....	109
Figure 10: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 15 et 30 jours de vieillissement.....	110
Figure 11: Distribution du nombre de traces de qualité 3 & 4 développées par donneurs lors de l'étude de preuve de concept IND/Zn - Nin.....	115
Figure 12: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude preuve de concept IND/Zn - Nin.....	118

Liste des sigles et des abréviations

ξ = Vecteur propre (eigenvector)

α = Coefficient (poids) des critères de l'indice

η = Efficacité

$\% \eta$ = Taux d'efficacité relative

σ = Écart-type de la population

μ = Moyenne de la population

σ^2/μ = Coefficient de dispersion de la population

φ = Simplicité

φY = Simplicité d'utilisation

$\varphi \varpi$ = Simplicité de préparation

τ = Temps

$\tau \theta$ = Temps de traitement

$\tau \varpi$ = Temps de préparation

Σ = Somme

ForATE = Forensic Assessment of Technologies Effectiveness

AHP = Processus de hiérarchie analytique (Analytic Hierarchy Process)

AB = Amido black (Noir de naphthalène)

BPMSG = Business Performance Management Singapore

BY40 = Brilliant Yellow 40

CA = Cyanoacrylate

DFO = 1,8-Diazafluoren-9-one

FLS = Forensic light source

IND/Zn = 1,2-Indanedione/Chlorure de zinc

Me = Médiane de la distribution

Mini-PTA = Le mini-PTA (Police Technology Assessment) est un outil facilitant l'adaptation de l'évaluation des technologies aux réalités régionales.

Mo = Mode de la distribution

Nin = Ninhydrine

ORO = Oil Red O

PD = Révélateur Physique

R6G = Rhodamine 6G

SPR = Small Particle Reagent

TRL = Technology Readiness Level

TTST = Traces trouvées suivant un traitement

VMD = Vacuum Metal Deposition

Dédicace

Je dédie cette thèse à ma mère Nicole MORISSETTE BEAUDOIN, une femme exceptionnelle, et à mon père Jean BEAUDOIN, qui n'aura pas eu la chance de voir l'aboutissement de cette recherche, perdant son combat contre le cancer au tout début de ma démarche. Je réalise maintenant les sacrifices de mes parents au profit de mon éducation qui m'aura porté jusqu'à cette réalisation.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué directement ou indirectement à la réalisation de ma thèse de doctorat.

À ma femme Amélie, qui a su me soutenir, m'encourager dans ma démarche et qui a su maintenir l'équilibre de notre famille malgré mes obligations académiques s'ajoutant la plupart du temps à celle d'un travail exigeant.

À mes enfants Thalie, Elric, Marek et Liam qui ont parfois subi mon indisponibilité ou mes réponses distraites alors que je me concentrais sur mon cursus.

À mes collègues gestionnaires, ma garde rapprochée et mes supérieurs (ils se reconnaissent) qui ont su m'apporter leurs réflexions, leurs conseils et partager leur expérience; me permettant de développer ce projet avec une vision terrain et un souci d'applicabilité.

À messieurs les Professeurs Christophe CHAMPOD, Olivier RIBAUX, Frank CRISPINO et mesdames les professeures Céline WEYERMANN et Della WILKINSON, pour leurs critiques constructives, leurs soutiens constants et leurs supports indéfectibles. Un merci spécial à Madame Anne MARVILLE TROTTMANN, de l'École des sciences criminelles de l'UNIL, qui a su m'apporter un soutien incontournable et essentiel dans mes péripéties administratives intercontinentales québécoises.

J'espère n'avoir oublié personne dans l'enthousiasme de ses remerciements et m'excuse d'avance pour les omissions involontaires que j'aurai pu faire...

« Parfois notre lumière s'éteint, puis elle est rallumée par un autre être humain. Chacun de nous doit de sincères remerciements à ceux qui ont ravivé leur flamme. »

- Albert Schweitzer

« Un gestionnaire rationnel évaluera la valeur potentielle d'information d'une trace et ne la traitera que si elle est supérieure ou égale au coût du traitement. »

- Traduction libre de (Gittelsohn, Bozza, Biedermann, & Taroni, 2013)

1 Introduction

Dans un monde où la technologie et la science occupent toujours une place de plus en plus prépondérante, la plupart des disciplines et corps d'emploi se modernisent à grands coûts afin de suivre cette ruée vers la technicisation. Le milieu de l'identification forensique n'est pas différent des autres dans ce domaine. Ainsi, les autorités judiciaires ont pris conscience des avantages que procuraient la science et la technologie ainsi que leurs capacités d'assistance dans les domaines de l'application de la loi, la prise de décision, l'enquête, l'identification, la modernisation et la gestion de l'organisation (Soullière, 1999). De nos jours, les activités du monde interlope sont de plus en plus tributaires de technologies sophistiquées et le système judiciaire doit s'adapter à cette escalade. Le public s'attend également à avoir un laboratoire de sciences forensiques ayant un rôle plus marqué dans la société, basé sur une technologie impressionnante et d'une science à toute épreuve qui règle toutes les problématiques (LeBoeuf, 2000), à l'image de la célèbre série télévisée CSI, augmentant d'autant plus les attentes.

Dans la gestion de l'acquisition de moyens scientifiques et technologiques des organismes et ministères étatiques, nous rencontrons une dualité des discours, ayant d'un côté, les médias et la télévision qui font sans cesse l'éloge des technologies et de la science, les désignant souvent comme le remède à tous les maux, et de l'autre, la réalité du contrôle gouvernemental des coûts reliés à l'acquisition de technologies efficaces et abordables. Les laboratoires forensiques sont subventionnés par l'état et font face aux mêmes contraintes budgétaires que les autres ministères. La récession cause une réduction marquée des revenus gouvernementaux qui occasionne des coupures dans toutes les organisations publiques, incluant les laboratoires forensiques (Newman, Dawley, & Speaker, 2011) (Maher, Hoang, & Hindery, 2020). Ces ressources limitées finissent par invariablement occasionner des délais dans les traitements des preuves forensiques (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011). Aujourd'hui,

c'est le principe de la « fiscalité responsable » qui influence la gestion du monde gouvernemental. C'est pourquoi les laboratoires forensiques ont commencé à assimiler ces techniques de gestion autrefois exclusives au secteur privé. Le contrôle des coûts, l'efficacité et la décentralisation de la gestion doivent être mis en valeur pour faire face aux compressions sans cesse croissantes dans le secteur public. Les laboratoires forensiques ne sont pas épargnés, et c'est pourquoi ils présentent une image d'une organisation de professionnels présentant des plans d'affaires, des stratégies de marketing, des mandats et qui met l'accent sur la gestion du crime, le service à la clientèle et la mesure de la performance (Chan, 2001). Ainsi, il devient de la plus grande importance pour les gestionnaires des laboratoires de maximiser l'efficacité et l'efficience d'acquisition des technologies et des moyens scientifiques afin d'en retirer le maximum de bénéfices pour un minimum de dépenses. Est-il possible d'appliquer ces principes d'analyse coût-bénéfice au domaine des sciences forensiques? Y aurait-il un moyen d'orienter les différents laboratoires de sciences forensiques sur leur investissement en technologie et produits chimiques, et leur permettre certaines rationalisations? A contrario, Roman (2013) considère que la vision simpliste de l'analyse coût-bénéfice, permettant de faire plus avec moins, limite la portée des résultats pouvant être obtenus grâce à cet outil de gestion.

Ce projet de thèse doctorale vise à faire le pont entre les sciences forensiques et la gestion par l'élaboration d'un indice synthétique d'analyse préacquisition "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE) pour les laboratoires de développement des traces digitales¹. Suite à l'appréciation des observations de la « U.S. 1967 Crime Commission », qui clamait que le « *crime laboratory has been the oldest and the strongest link between science and technology and criminal justice* » (Saeskate, 1998), on convient que la corrélation unissant les enquêtes criminelles et la technicisation de la détection des traces digitales offre un écrin parfait à l'utilisation de différents outils de gestion dans

¹ Le terme « traces digitales » sera utilisé dans le texte afin d'en faciliter la lecture, mais inclus les traces papillaires dans leur ensemble.

l'analyse des moyens techniques et scientifiques utilisés sur le terrain. Le caractère indispensable de l'identification forensique pour les enquêtes criminelles, ne serait-ce que par l'importance considérable que revêtent les preuves physiques dans le système judiciaire (Saeskate, 1998), devient un facteur supplémentaire appuyant l'importance d'une gestion efficace de ce secteur d'activité. En effet, des études du Royaume-Uni nous précisent que 7,4 crimes additionnels peuvent être prévenus par l'établissement d'un lien entre deux crimes par du matériel forensique (Roman, et al., 2008) et que les preuves forensiques les plus fréquemment récupérées, soumises et examinées dans les laboratoires demeurent les traces digitales, les armes à feu et les spécimens biologiques (Peterson, Sommers, Baskin, & Johnson, 2010). Parmi la pléthore de ressources forensiques, une empreinte digitale ou un profil génétique complet sont des outils d'une puissance incomparable qui, contrairement aux autres méthodes, peuvent fournir une preuve quasi concluante pour relier un individu à une scène ou deux scènes ensemble (Tilley & Townsley, 2009).

En ajoutant que le lien entre une identification grâce à du matériel forensique et son utilisation pour poursuivre un individu est d'environ 70-80% (Roux, Julian, Kelty, & Ribaux, 2014), on comprend pourquoi ce volet d'individualisation forensique est si important. Ces constatations nous montrent l'importance de l'identification dans le domaine forensique. Cependant, afin de maximiser l'efficacité des laboratoires, encore faut-il que ces derniers soient gérés de façon à assurer un maximum de retour sur investissement dans le contexte économique actuel. Cette thèse vise donc le développement d'un indice composite sur les technologies de développement des traces digitales permettant aux gestionnaires, même les plus néophytes en science, de tenir compte d'un assortiment d'informations scientifiques et managériales pertinent, le tout dans un format intelligible et éloquent, afin de prendre des décisions éclairées sur le choix des meilleures technologies à adopter pour le laboratoire d'identification forensique. Par extension, l'indice composite devra demeurer suffisamment général afin de pouvoir l'appliquer à d'autres domaines des sciences forensiques; les traces

digitales demeurant l'outil primaire de développement de l'indice avant d'en faire une méthode potentiellement généralisable par la suite.

Pour ce faire, les membres de différents laboratoires de développement des traces digitales du Canada, des États-Unis et du Royaume-Uni ont été sondés au moyen d'un sondage électronique qui avait pour but, en premier lieu, d'établir l'importance des différents critères d'un tel indice composite. Par la suite, il fut possible pour les sujets sondés de participer plus activement à l'étude en remplissant une grille de données (dans une mouture similaire à la grille LabRAT du projet FORESIGHT (Houck M. , Speaker, Fleming, & Riley, 2012)) concernant leurs résultats opérationnels obtenus sur une année d'opération dans leurs laboratoires respectifs afin que les données puissent être colligées et analysées. Ces nouvelles données permettront d'établir un portrait ponctuel de l'utilisation des méthodes de développement des traces digitales dans les régions visées.

Dans cette thèse, nous explorerons dans le Chapitre 2 les prémises de l'évaluation des technologies. Le Chapitre 3 traitera de la méthodologie adoptée pour cette étude. La définition des facteurs des indices pour les techniques chimiques, les sources lumineuses forensiques et l'indice composite ForATE sera explorée en profondeur au sein du Chapitre 4, suivi de la détermination des coefficients relatifs au Chapitre 5. Par la suite, nous nous permettrons d'appliquer notre indice d'évaluation sur différentes techniques connues du domaine forensique lors du Chapitre 6. Nous terminerons avec le Chapitre 7 dans lequel nous vous entretiendrons sur une mise en perspective et une discussion de la sensibilité de l'indice ForATE, la robustesse des poids relatifs, les possibilités d'analyses coûts-efficacités avec l'indice et la place de l'indice ForATE face au projet FORESIGHT, l'utilisation des TRL et l'accréditation ISO 17025 :2017. Nous terminerons le tout avec des suggestions d'adaptation potentielle du modèle ForATE aux autres spécialités forensiques.

2 Prémises de l'évaluation des technologies d'identification forensique

2.1 Technologies et sciences dans la police scientifique

« *La technologie change vite... en fait, souvent plus vite que la police...* »
(Rodriguez, 1995)

À partir des années 1920, la police commença à s'affranchir des influences politiques qui pouvaient altérer ou teinter son discours d'objectivité et de justice, de façon à préserver la pérennité de la gouvernance des lois et des règlements internes sur ces pratiques et procédures (Chan, 2001) (Manning, 2006) (Saeskate, 1998). Elle s'est ainsi isolée des autres agences gouvernementales pendant que l'aspect de l'application de la loi devenait sa clef de voûte (Manning, 2006).

Les sciences forensiques évoluaient déjà depuis près d'une soixantaine d'années, que ce soit avec les découvertes de Herschel (1880) ou l'appui des pères fondateurs des disciplines reliées aux empreintes digitales et à l'identification (Alphonse Bertillon 1853-1914; Hans Gustav Adolf Gross 1847-1915; Rodolphe Archibald Reiss 1875-1929; ou Edmond Locard 1877-1966). Déjà, en 1910, le Dr Locard fondait le premier laboratoire de sciences forensiques au monde à Lyon, en France (Beaudoin F. , 2012); le Dr Reiss fondait pour sa part, en 1909, l'Institut de police scientifique (l'ancêtre de l'École des sciences criminelles) à l'Université de Lausanne, en Suisse (Beaudoin F. , 2013); et le Dr Wilfrid Derome fondait, en 1914, le premier laboratoire en sciences forensiques en Amérique, à Montréal, au Canada (sur lequel M. J. Edgar Hoover prit exemple, avec deux visites du laboratoire à Montréal, pour fonder celui du FBI quelques années plus tard) (Beaudoin F. , 2011). Mais cette progression de l'importance indicielle des traces matérielles demeura, pour la police, lente et dispersée. Il fallut attendre plusieurs années avant que le milieu réalise la contribution majeure des sciences forensiques à la résolution des crimes par l'analyse scientifique des preuves

physiques; aidant à l'élimination plus rapide de la suspicion envers les innocents et la condamnation des coupables (Tilley & Townsley, 2009) (Ribaux, Margot, Julian, & Kelty, 2013) (Julian, et al., 2011). Il fallut attendre les années 1960-70 avant que la police prenne pleinement conscience des avantages que procurait la technologie ainsi que sa capacité d'assistance dans les domaines de l'application de la loi, la prise de décision, l'enquête, l'identification, la modernisation et la gestion de l'organisation (Soullière, 1999). Cette technologie peut être définie comme une variété de méthodes, techniques et équipements scientifiques et technologiques en usage dans un domaine technique particulier; la police scientifique dans le cas qui nous préoccupe. Mais le changement est induit lentement dans la police (Manning, 1992). C'est notamment Horst Herold, ex-président du Bundeskriminalamt allemand (BKA), qui développa en 1970 une vision et une philosophie policière fondée sur la technologie. Il donna ainsi la priorité aux preuves obtenues scientifiquement dans les affaires criminelles par opposition aux habitudes du temps, qui favorisaient les témoignages (Herold, 1986). Herold voulait rendre le BKA (l'équivalent allemand du FBI américain) comme étant la référence mondiale en science et technologie (Nogala, 1993).

C'est à partir de cette philosophie technologiste que la technicisation forensique fit ses premiers pas. La progression technologique de la police et des laboratoires de développement des traces digitales est maintenant en plein essor (Casey, Ribaux, & Roux, 2018), et il devient de plus en plus difficile de faire des choix parmi la vaste gamme de produits et techniques offerts.

Il existe également une fragmentation dans la communauté des sciences forensiques en ce qui a trait au niveau des ressources financières et humaines pouvant être investies dans la recherche et le développement. Certains corps de police et laboratoires souffrent souvent de ressources limitées dans ce département, ce qui résulte souvent en l'absence ou en un manque d'experts ayant les capacités et/ou le temps d'évaluer convenablement les technologies et techniques scientifiques avant l'achat et l'implantation. Malheureusement, ce manque se solde habituellement par l'acquisition de technologies incompatibles

avec les autres corps policiers et l'implantation de techniques à la mode dont les preuves n'ont pas encore été faites, sous les conseils souvent mal avisés de vendeurs avides de commissions (Brady, 1996) (Rodriguez, 1995). Il y a eu beaucoup d'argent investi par la police et les laboratoires forensiques dans l'acquisition de nouvelles technologies dans le passé, mais malheureusement, le taux d'échec et l'insatisfaction n'ont eu d'égal que les coûts énormes gaspillés dans ce gouffre sans fond (Foster, 2005) (Bureau du vérificateur général du Canada, 2004). La tendance demeure trop souvent axée sur l'achat compulsif pour régler des crises contemporaines au lieu de prévoir les besoins à long terme (Rodriguez, 1995).

L'initiative FORESIGHT propose une auto-évaluation des laboratoires forensiques orientée affaire afin de déterminer sa valeur stratégique en fonction des bénéfices et des coûts (Houck, Riley, Speaker, & Witt, 2009). FORESIGHT demeure, encore aujourd'hui, un outil diagnostique très puissant pour les gestionnaires de laboratoires forensiques (Houck & Speaker, 2020). Ultimement, un gestionnaire pourrait prétendre à auto évaluer son laboratoire à l'aide de FORESIGHT dans le but de contrôler les dépenses en regard des ressources. Cependant, serait-il en mesure de faire un choix éclairé sur les technologies à éliminer ou à acquérir dans le but d'assainir son budget tout en maintenant l'établissement des meilleures pratiques pour les laboratoires forensiques (Daéid, 2013)? Serait-il possible de développer une méthode d'évaluation des technologies qui permettrait de plus efficacement comparer et sélectionner les techniques de développement des traces digitales? Est-ce qu'une telle méthode permettrait de pallier à certaines lacunes de manière plus efficace?

2.2 Un aperçu opérationnel d'un besoin criant

Dans le but d'obtenir une petite photographie de la situation du développement des traces digitales au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni, un coup de

sonde fut effectuée auprès de différents participants de ces pays dans cette recherche, qui nécessitait la transmission d'une année complète de résultats de traitement et d'analyse des traces digitales en laboratoire (anonymisé). La participation à cette phase du projet de recherche était faite sur une base volontaire. Cette dernière phase nécessitait beaucoup d'investissement de temps pour les participants. Ceci explique probablement pourquoi la réponse fut très faible, malgré les multiples tentatives du chercheur d'accroître le nombre de participants. Plusieurs se sont engagés à fournir les données, pour ensuite se retirer du processus, alors que d'autres n'ont simplement jamais répondu aux demandes du chercheur. Au final, l'échantillonnage est très faible, avec 4 participants canadiens, aucun du Royaume-Uni et un américain. Il nous est tout de même possible de brosser un portrait de la situation, tout en gardant à l'esprit la faiblesse de la représentation et de la validité statistique de la démonstration. Dans tous les cas, cet aperçu de la situation nous permet de faire un constat intéressant en termes d'évaluation et de sélection des techniques.

2.2.1 Canada

Pour le Canada, nous avons reçu 4 formulaires d'agences policières présentant des volumes de traitement bien différents. Au total, les 4 agences ont traité plus de 2000 dossiers en laboratoire, dont 15800 pièces à conviction sur une période d'un an. Dans les figures ci-dessous, on retrouve les données sur les différents traitements utilisés, les données brutes étant disponibles en Annexe 6.

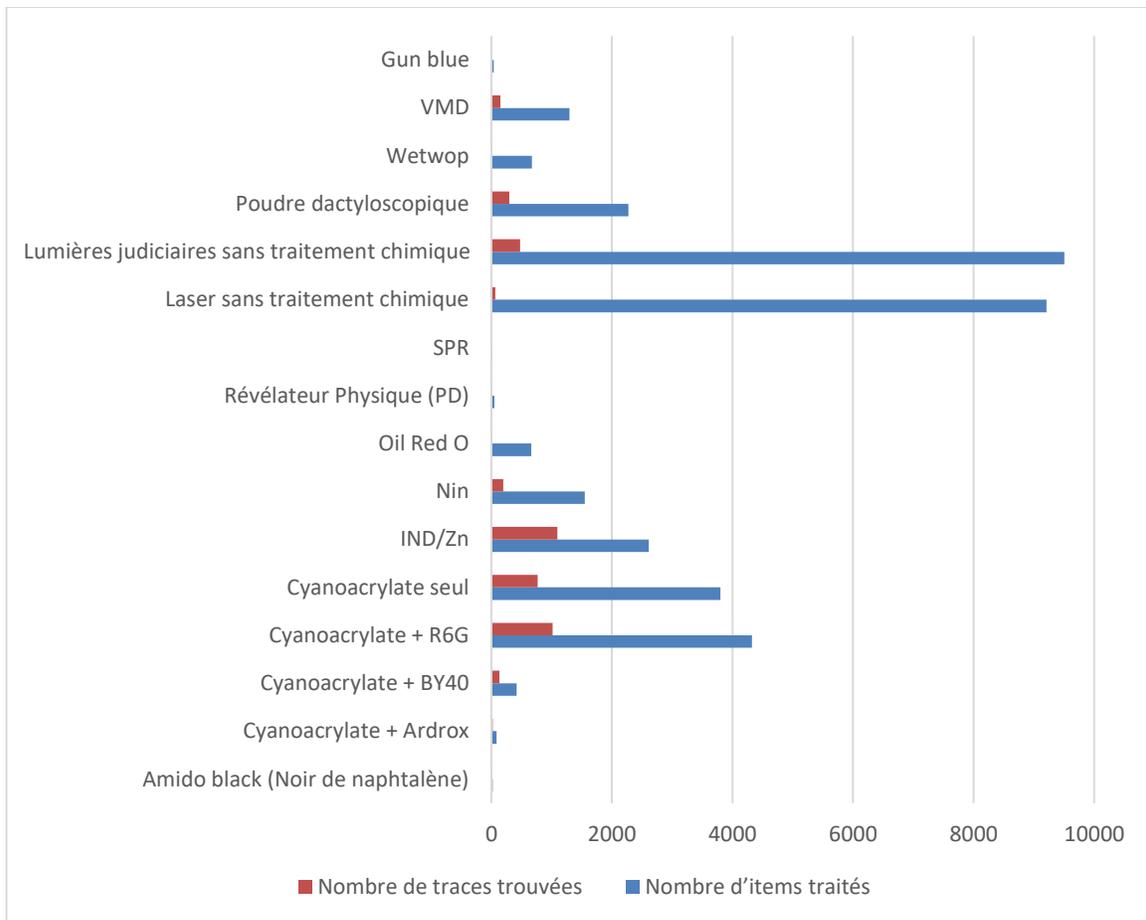


Figure 1: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein des quatre agences canadiennes participantes

Comme certains traitements sont subséquents et complémentaires, le nombre de traitements est près du double du nombre d'items traités au total. On remarque que le cyanoacrylate coloré à la Rhodamine 6G (23% de « Traces Trouvées Suivant un Traitement » (TTST) par item traité), l'IND/Zn (42% de TTST par item traité) et le Cyanoacrylate seulement (20% de TTST par item traité) sont les trois techniques chimiques qui développeront le plus de traces pour nos participants canadiens (pour plus d'information sur ces méthodes, voir (Champod, Lennard, Stoilovic, & Margot, 2016) et (Bandey H. L., 2014)).

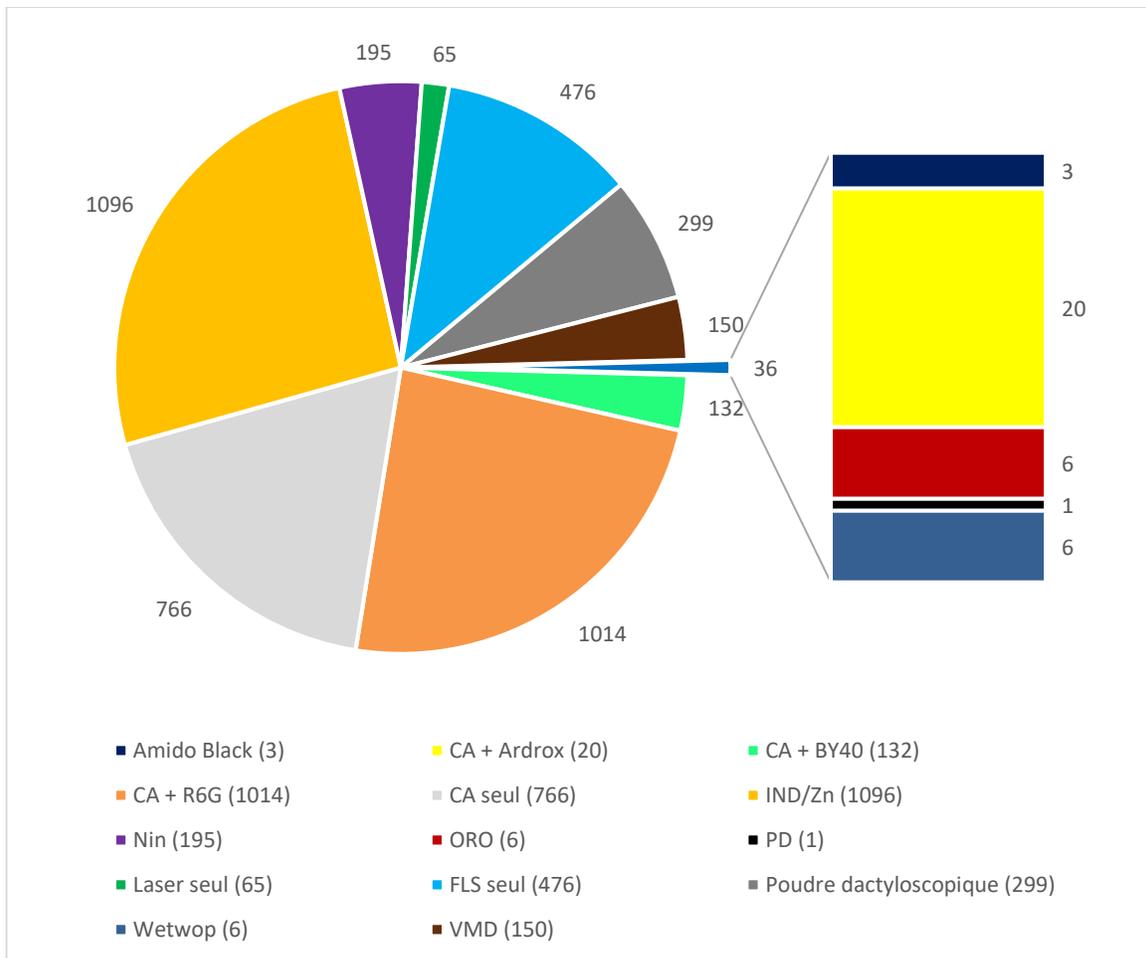


Figure 2: Distribution du nombre de traces trouvées par traitement au sein des quatre agences canadiennes participantes

Le taux de TTST par item de l'IND/Zn est de loin le plus important, avec 42%. En général, on peut dire que les agences participantes canadiennes présentent un taux de TTST pour développer des traces en laboratoire par item de 27%.

2.2.2 États-Unis

Pour les États-Unis, nous avons reçu 1 formulaire d'une agence policière présentant un très grand volume de traitement. Au total, l'agence a traité plus de 640 dossiers en laboratoire, dont 35800 pièces à conviction sur une période d'un an. Dans les figures ci-dessous, on retrouve les données sur les différents traitements utilisés, les données brutes étant disponibles en Annexe 6.

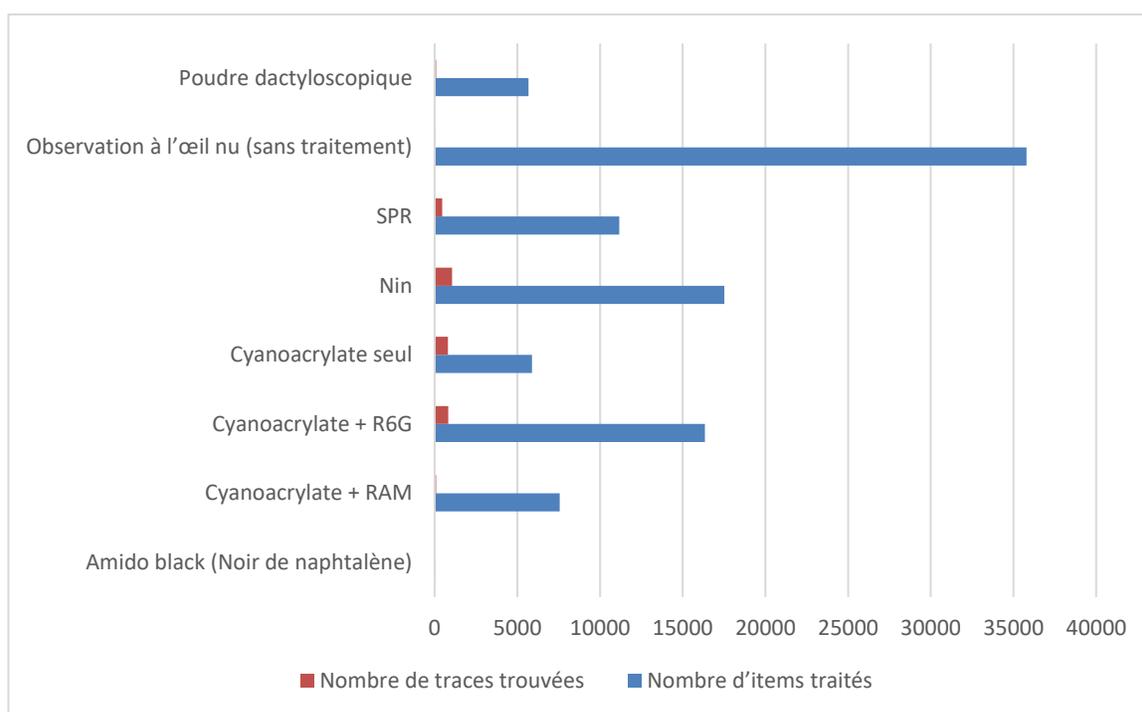


Figure 3: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein de l'agence américaine participante

Comme certains traitements sont subséquents et complémentaires, le nombre de traitements est près du triple du nombre d'items traités au total. On remarque que le cyanoacrylate coloré à la Rhodamine 6G (5% de TTST par item traité), la ninhydrine (6% de TTST par item traité) et le Cyanoacrylate seulement (14% de TTST par item traité) sont les trois techniques chimiques qui développent le plus de traces pour notre participant américain.

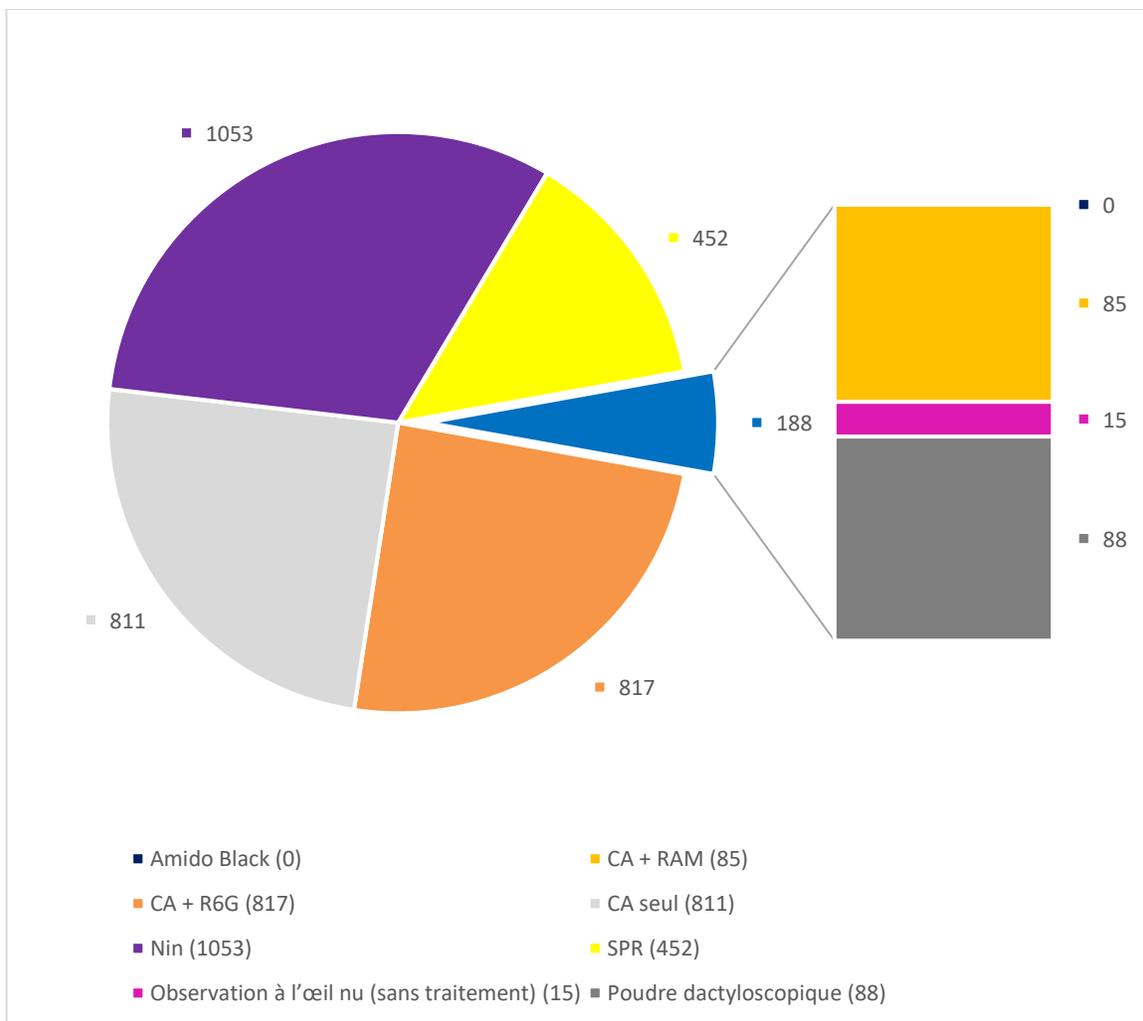


Figure 4: Distribution du nombre de traces trouvées par traitement au sein de l'agence américaine participante

L'agence américaine aurait peut-être intérêt à essayer l'implantation, au sein de ses protocoles de développement, de l'IND/Zn, qui offre aux Canadiens un taux de TTST impressionnant de 42%. En général, on peut dire que l'agence participante présente un taux de TTST pour développer des traces en laboratoire par item de 9%.

2.2.3 Constat suite à ce coup de sonde

Bien que l'échantillon soit bien mince, on peut remarquer une certaine différence entre les traitements favorisés par nos agences participantes aux États-Unis versus au Canada. Les participants canadiens semblent utiliser une plus grande variété de techniques spécifiques pour développer des traces, pour un plus petit nombre d'items, avec une moyenne de 8 items par dossier. L'agence américaine, par contre, a orienté sa sélection de traitement sur le volume, avec un éventail plus restreint de techniques, et une moyenne de 56 items par dossier.

L'agence des États-Unis présente un recul de 16% sur le nombre de traces trouvées par items traités par rapport aux Canadiens. Cependant, elle traite un volume deux fois plus important d'items annuellement que les participants canadiens, ce qui doit avoir un impact direct sur les ressources et le temps nécessaire pour faire les traitements.

Il est étonnant de voir de telles différences, considérant que ces deux pays partagent plusieurs similitudes, comme des services policiers fortement orientés vers la technologie, des budgets d'exploitation financés par les gouvernements, l'accès facile à de la formation et à des données scientifiques probantes, le partage d'une langue commune (majoritairement) pour échanger sur les meilleures pratiques, etc. Ultimement, pourrait-on prétendre que les agences canadiennes utilisent trop de techniques différentes, éparpillant ses efforts et ses investissements sur des techniques niches? Ou serait-ce l'agence américaine qui limite ses expertises à des méthodes dont l'acceptabilité historique est rassurante, passant à côté d'opportunités d'optimiser ses façons de faire et ses résultats? La non-utilisation de l'IND/Zn dans cette agence américaine (42% de TTST) est-elle suffisante pour poser ce genre d'affirmation? Est-ce normal de voir une différence

aussi marquée entre les agences des deux pays en termes de traces trouvées suivant un traitement (Canada : 27%; États-Unis : 9%; différence de 18%)?

Peut-être que ces questions peuvent toutes être résolues par l'utilisation d'une méthode standardisée d'évaluation des techniques et technologies forensiques. Une telle méthode permettrait d'optimiser les façons de faire, d'orienter les gestionnaires sur les investissements à faire en priorité, selon les ressources disponibles, le tout transcendant les frontières des pays.

2.3 Question de recherche

Les décisions concernant les investissements budgétaires dans les laboratoires sont très complexes. Les gestionnaires ne sont pas toujours à l'aise avec le langage scientifique ou les principes de gestion et la communication d'informations pertinentes n'est pas toujours facile. L'objectif principal de ce travail est le développement d'un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de laboratoires forensiques de développement des traces, afin de faire le pont entre les sciences forensiques et la gestion via un indice synthétique d'analyse préacquisition que nous appellerons "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE).

Cet indice composite sera développé afin de devenir un outil novateur d'évaluation des technologies de développement des traces digitales pour les gestionnaires, avant acquisition, et ultimement, de manière plus large, des technologies de sciences forensiques. Un sondage en ligne permettra de déterminer la valeur de chaque critère de l'indice ForATE et les résultats seront appariés au modèle théorique proposé afin de déterminer les valeurs des techniques les plus utilisées sur le terrain. Nous pourrions répondre aux questions de recherche qui sont :

- L'indice composite théorique ForATE permettrait-il d'assister les gestionnaires dans la sélection des techniques de développement des traces digitales?
- Comment cet indice composite théorique réagit-il lorsque testé avec des méthodes solidement implantées au sein de la communauté forensique?
- Un indice composite comme le ForATE permettrait-il de favoriser une évaluation uniforme permettant une adoption des techniques et technologies forensiques?

Ce faisant, il sera possible de faire une application pratique de l'indice composite ForATE et de formuler une appréciation des techniques en usage pour le développement des traces digitales suivant les résultats, pour ainsi paver la voie à des recherches subséquentes sur l'assistance à la prise de décision des gestionnaires en termes de techniques et technologies forensiques et scientifiques. Le coup de sonde opérationnel parmi les laboratoires volontaires permettra, de son côté, d'obtenir une image à l'instant T des pratiques sur le terrain.

2.4 Pourquoi l'aide à la décision pour les gestionnaires forensiques?

Depuis toujours, les gestionnaires cherchent à pouvoir allouer efficacement les ressources afin d'atteindre leur objectif de gestion (Daéid, 2013). Comme les ressources disponibles pour répondre à la demande de services forensiques de haute qualité sont clairement insuffisantes, du moins en Amérique du Nord, on pousse toujours plus loin le besoin de gérer la performance (faire plus avec moins) (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011). Le but ultime demeure toujours l'accroissement de l'efficacité au plus bas coût possible. Mais le vrai impact du travail forensique demeure inconnu par la communauté forensique (Roux, Julian, Kelty, & Ribaux, 2014) pendant que cette science multidisciplinaire est de plus en

plus prisée par la police et le système judiciaire. Il devient donc urgent d'obtenir des données empiriques sur l'efficacité de la science forensique dans l'enquête criminelle (Julian, et al., 2011), sachant que le coût moyen pour obtenir de la preuve supplémentaire, selon Gittelsohn et al, est d'environ 3000\$US (Gittelsohn, Bozza, Biedermann, & Taroni, 2013). McCartney en rajoute, en spécifiant qu'un homicide coûte, au bas mot, 15000£ par jour d'enquête à Londres. Sachant cela, la découverte rapide d'une empreinte ou d'un profil ADN pertinent raccourcit non seulement le temps d'enquête, mais diminue également les frais encourus (McCartney, 2006). Le défi pour les gestionnaires forensiques demeure de s'assurer de maintenir un équilibre dans ses budgets tout en d'offrant des résultats qui rencontrent les attentes du système judiciaire et des partenaires (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011). Plusieurs projets de recherche ont été mis sur pieds dans les dernières années afin de soutenir les gestionnaires dans cette activité.

Parmi ceux-ci, le projet PATHFINDER a essayé, dans les années 2000, de mesurer et documenter les relations entre la collection, l'utilisation du matériel forensique et son impact sur la détection des infractions (Burrows & Tarling, 2004). Cependant, l'étude a souffert de difficultés au niveau de la définition, souvent floue, que ce qui est attendu du système de justice par la société, s'étant limitée au taux de résolution des crimes sans tenir compte de plusieurs facteurs comme : le nombre de crimes évités, le nombre de victimes en moins, les coûts pour la société, etc. Il demeure difficile de cerner entièrement l'impact de la détection sur l'ensemble du système judiciaire.

Le FORESIGHT project (toujours en cours) propose, de son côté, une auto-évaluation orientée « affaire » pour les laboratoires afin d'évaluer le retour sur investissement par l'analyse coût-bénéfice, comme outil de prise de décision pour les gestionnaires (Houck, Riley, Speaker, & Witt, 2009) (Julian, et al., 2011). Le but, dans ce cas, étant de définir spécifiquement des balises afin d'éviter que les gestionnaires tiennent compte de mesures non significatives dans leur prise de décision, détruisant alors la valeur stratégique de l'évaluation des coûts et des

bénéfices (Houck, Riley, Speaker, & Witt, 2009). La valeur stratégique de l'information (coûts et bénéfices) permet une prise de décision opérationnelle ou opérative, mais n'a pas de valeur opérationnelle en soi. Les valeurs du coût et des bénéfices ne sont pas des résultats liés directement aux opérations, mais des valeurs nominales stratégiques permettant aux gestionnaires de prendre des décisions d'affaires éclairées (bien qu'imparfaites) qui auront des impacts opérationnels selon les choix effectués. Le but étant toujours d'en faire plus avec moins, ce qui constitue une stratégie de contrôle des coûts pour un maximum de bénéfices. Cependant, le projet prône une analyse spécifiquement basée sur le rendement, qu'on définit comme la capacité de produire le résultat attendu suivant l'investissement consenti, et les bénéfices. En effet, dans ce cas, on vise l'analyse des techniques et technologies dans lesquelles l'organisation a déjà investi du capital. L'objectif ultime des indicateurs de coût-bénéfice de FORESIGHT sera donc d'assister le gestionnaire à déterminer s'il a fait un bon investissement et s'il est souhaitable de poursuivre son utilisation ou non... On remarque donc que le rendement est fréquemment utilisé afin de mesurer les performances, étant beaucoup plus facile à quantifier, évaluer et mesurer que l'efficacité, qui consiste en la capacité à atteindre les résultats souhaités (Houck, Speaker, Fleming, & Riley, 2012). La différence entre les deux tient au fait que le rendement consiste en la capacité de produire les résultats attendus selon un rapport entre l'investissement et les bénéfices. (exemple : bénéfice en \$/investissement en \$). L'efficacité, quant à elle, consiste en la capacité à atteindre les résultats attendus (exemple : nombre de traces obtenues). Mais déterminer les métriques indicatrices de performance demeure un défi pour le gestionnaire de laboratoire (Newman, Dawley, & Speaker, 2011).

2.4.1 Contexte de la thèse

Pour établir le contexte qui a mené à cette thèse, il est important de comprendre le parcours ayant mené l'auteur de ce manuscrit à cette étude alliant sciences

forensiques et gestion. Ayant débuté en tant que spécialiste en développement des traces au laboratoire de la Sûreté du Québec en 2000, le principal intéressé a poursuivi sa formation académique tout en demeurant à l'emploi de son organisation, obtenant son diplôme de Master en Health technology assessment and management auprès de l'Université de Montréal en 2010, et poursuivant avec des études doctorales avec l'Université de Lausanne. Durant cette période, il passera au poste de chef scientifique en criminalistique après 3 ans, pour atteindre des positions de gestion comme responsable de la Division de l'identification des criminels et chef du Service de la criminalistique, avant d'occuper son emploi actuel de Directeur général adjoint à la sécurité de l'État pour le Ministère de la Sécurité publique du Québec. En plus de sa vaste expérience de plus de 20 ans en science forensique, son implication engagée en tant que président de la Canadian Identification Society, président fondateur de l'Association Québécoise de Criminalistique, membre de l'International Fingerprint Research Group et président de l'International Association for Identification lui auront permis d'établir un réseau international imposant, et également de maintenir sa formation continue, notamment en élargissant son horizon pour le domaine de la gestion et les disciplines situées dans les zones frontières qui renferment un potentiel d'innovation vaste et inexploité.

C'est dans ce contexte que l'idée d'établir un pont entre les sciences forensiques et la gestion est née. Ayant vécu les aléas liés au rôle de conseiller scientifique des gestionnaires, pour ensuite vivre l'expérience du décideur, son expérience lui aura fait prendre conscience de l'importance de la simplification, voire la vulgarisation de l'information scientifique au profit de la gestion. Dans une très grande majorité, les gestionnaires ont peu ou pas de connaissance en science... et s'ils sont des scientifiques, possèdent des lacunes au niveau de la gestion.

On remarque que le souci d'assistance aux gestionnaires forensiques dans leur prise de décision est une préoccupation majeure dans le milieu forensique (Houck & Speaker, 2020). Ce souci est d'autant plus justifié que, dans les milieux scientifiques, on néglige grandement l'importance de l'éducation managériale sous

prétexte que les habiletés de gestion seront développées avec l'expérience du candidat. Cela a pour effet une dévaluation inconsciente du candidat envers les habiletés de gestion par rapport à ses compétences scientifiques ou forensiques (Houck, Riley, Speaker, & Witt, 2009). Beckman décrit la situation en ces termes :

« The world of science offers a perplexing career track: Scientist spend nearly a decade learning how to do great, clean experiments, interpret data accurately, and think creatively and independently. Then they land a professorship and are faced with the responsibility of overseeing their own laboratory. All of sudden they are thrust into a new type of job which they've never been trained: management. And like any business, a laboratory can flourish or flounder by the quality of that management. » (Beckman, 2003)

Dans le rôle du scientifique/conseiller, la volonté demeure l'utilisation des meilleures méthodes, technologies, techniques pour obtenir les résultats recherchés. Les données scientifiques revêtent une importance capitale, mais les notions budgétaires sont souvent escamotées au profit de l'efficacité scientifique. L'application de la science forensique nécessite une gestion au cas par cas du scientifique, ce qui le place parfois en opposition directe au besoin managérial de prise de décision... L'attention du scientifique sera d'abord et avant tout portée sur la capacité à accroître son efficacité en lien avec les cas de figure rencontrés, et il demeurera difficile pour lui de faire un choix organisationnel nécessitant une vision tenant compte des réalités du flux managérial sans sentiment de perte, lorsque les différentes technologies disponibles offrent chacune un avantage unique pour sa gestion des cas opérationnels.

De son côté, le gestionnaire, à défaut d'une formation forte en sciences forensiques, doit prendre des décisions d'investissement en fonction de budgets définis, et les réalités scientifiques, bien qu'essentielles, demeurent des intrants dont l'importance est souvent mal comprise, à défaut d'en saisir les impacts (Crispino, et al., 2021) (Mousseau, Baechler, & Crispino, 2019). En effet, en tant que gestionnaire, on considère le traitement en fonction du volume des flux, la standardisation des méthodes, le rendement en lien avec les investissements déjà

octroyés (projet FORESIGHT), les opportunités d'optimisation et d'acquisition de nouvelles technologies et la perception du rôle de son organisation au sein de cet écosystème au service de la justice.

L'auteur de cette thèse aurait aimé avoir sous la main un moyen de simplifier les options scientifiques pour ses gestionnaires, afin de favoriser une prise de décision éclairée, avant investissement (contrairement à FORESIGHT), tenant compte de plusieurs facteurs, comme le ForATE compte le faire. Pouvoir éviter de faire de mauvais investissements avant le fait demeurera toujours souhaitable pour le gestionnaire.

Ses apprentissages en science et en gestion ont été, pour l'auteur, un avantage marqué dans son rôle de gestionnaire au sein du Service de la criminalistique. Il était à même d'appréhender autant les informations scientifiques, que les réalités et contraintes managériales, dans ses prises de décision.

Ayant pu expérimenter lui-même les deux côtés de la situation, il devenait tout naturel de tenter de développer un tel outil, dans une optique stratégique et opérative, dans le but de soutenir les gestionnaires et les scientifiques à collaborer ensemble, favorisant une maximisation des investissements réfléchis, basés sur un argumentaire scientifico-managérial. Évidemment, la construction de cet indice demeure fortement influencée par la réalité du modèle anglo-saxon de son organisation d'origine, mais la flexibilité de l'indice proposé permettra potentiellement une adaptation douce aux autres réalités du domaine. Le développement de cet outil se veut un soutien, autant pour les successeurs gestionnaires de l'auteur, qui pourraient être moins versés dans les sciences, que pour ses collègues scientifiques qui peinent parfois à vulgariser cette information névralgique afin de permettre à leur gestionnaire des investissements à haut rendement pour leur organisation.

2.4.2 Besoin managérial

La dualité des réalités scientifiques et managériales des positions de gestion en sciences forensiques justifie le besoin impératif de soutenir les gestionnaires forensiques dans leur prise de décisions, considérant l'importance que la société apporte aux nouvelles technologies, ainsi qu'au temps et aux coûts qu'il faut investir pour leur implantation, afin que la meilleure décision stratégique soit prise (Julian, et al., 2011). De façon générale, les investissements gouvernementaux tendent vers la recherche du plus grand nombre d'analyses possible pour un coût donné, alors qu'il devrait être basé sur une maximisation de l'efficacité et du rendement (Julian, et al., 2011). Pour favoriser cette maximisation, on doit obtenir des données sur le taux de succès des méthodes et les facteurs recherchés qui permettront d'accroître la capacité des gestionnaires à prendre des décisions éclairées sur la priorisation des spécimens, les méthodes à employer et le développement futur du laboratoire. La connaissance du taux de succès des méthodes devrait être considérée comme essentielle pour accroître l'efficacité et l'efficience de la gestion d'un laboratoire forensique (van Oorschot, 2012).

Le gestionnaire devra donc surveiller le rendement, les coûts et la qualité des services offerts en utilisant des analyses coûts-bénéfices ou coûts-efficacités pour aider la prise de décision et la résolution de problème (Daéid, 2013). Ainsi, le gestionnaire sera en mesure de déterminer la technique (ou technologie) lui offrant le plus grand bénéfice (avantage) pour résoudre les crimes (ou pour obtenir des résultats forensiques), et détiendra un savoir lui permettant de supporter la mise en place de certaines pratiques ou la réduction (ou élimination) d'autres tout en appuyant les enquêteurs criminels dans leur évaluation du coût d'opportunité pour chaque demande forensique (Wilson, McClure, & Weisburd, 2010). Au final, le gestionnaire devra impérativement centraliser ses efforts sur la qualité (précision de la technique, sensibilité de détection, limitation des biais, acceptabilité sociale, etc.), les coûts et les délais afin de vendre un produit qui, en fin de compte, est

« acheté » par les enquêteurs purement sur un « potentiel », sans garantie de satisfaire d'une quelconque manière les besoins du consommateur (enquêteur) (Houck, Speaker, Fleming, & Riley, 2012).

Il est connu que les gestionnaires rencontrent des problèmes récurrents comme le manque de précision des méthodes utilisées, le backlog et le manque de ressources. (Peterson & Leggett, 2007) Devant cette réalité, l'absence d'outil d'aide à la gestion efficace portera certains gestionnaires à vouloir accroître l'efficacité des analyses en accordant plus de ressources (temps et argent) à certains cas particuliers pour obtenir une augmentation artificielle de la qualité. Cependant, cet investissement en qualité se fera au détriment des dossiers en attentes et occasionnera une réduction de l'efficacité globale par l'augmentation des délais d'attente (backlog) (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011). Le gestionnaire rationnel devra donc évaluer la valeur potentielle d'une trace selon sa valeur d'inclusion-exclusion, sa pertinence, etc. (Gittelsohn, Bozza, Biedermann, & Taroni, 2013); tout en tenant compte d'autres facteurs afin de déterminer les méthodes à appliquer de façon routinière au laboratoire, et celle à conserver pour les cas d'espèce.

Comme l'évaluation de tous les paramètres permettant une prise de décision éclairée consomme beaucoup de ressources (Ribaux, et al., 2010), l'appui d'un outil d'aide à la décision permettra de faciliter la tâche du gestionnaire et de raccourcir les délais engendrés par l'analyse prédécisionnelle. Pour créer un tel outil, il sera nécessaire de faire appel à des méthodes et techniques simples et efficaces de mesure de la performance, comme on en retrouve au sein de la statistique descriptive.

2.5 La statistique descriptive, un outil simple de mesure de performance

La statistique descriptive est un ensemble de méthodes permettant de décrire et caractériser une situation de façon générale, suivant l'étude d'un échantillon de la population (Sède-Marceau, 2010). Il s'agit donc d'un outil puissant d'analyse. Parmi la multitude de méthodes et techniques statistiques existantes, nous nous concentrerons sur quelques-unes qui s'appliquent bien à notre projet de recherche, et qui ont également été choisies pour leur simplicité, permettant une applicabilité terrain plus facile.

Tout d'abord, lorsqu'on analyse les sciences qui présentent plusieurs analogies avec les sciences forensiques, on remarque rapidement un rapprochement assez naturel avec le système de la santé. Le milieu de la santé, tout comme les laboratoires forensiques, rencontre le même genre de problème lorsqu'on analyse leur situation par des méthodes reliant la performance d'une organisation à son succès (Speaker, 2009). De son côté, le système de la santé évalue depuis longtemps les différents tests diagnostiques proposés par la recherche avant de les introduire dans la pratique courante. De façon générale, les spécialistes de la santé évaluent les différents tests suivant des analyses d'efficacité comparant l'efficacité théorique tout en tenant compte des ressources nécessaires à l'obtention de l'effet souhaité. Le but ultime demeurant toujours de répondre aux exigences dans un contexte de rareté des ressources (Champagne, Contandriopoulos, Brousselle, Harty, & Denis, 2011) (Mushlin, Ruchlin, & Callahan, 2001). Pour ce faire, comme l'utilisation d'une technique n'est jamais neutre, le milieu de la santé mise beaucoup sur des analyses statistiques de la performance tout en tenant compte des coûts associés à l'opération (Van den Bruel, Cleemput, Aertgeerts, Ramaekers, & Buntinx, 2007) par l'utilisation des analyses coût-bénéfice où les coûts et les bénéfices sont exprimés en terme monétaire. Les conséquences des tests sont exprimées, selon le cas, sous forme

d'unité physique ou naturelle (par exemple : années de vie sauvées, maladies évitées) ou en valeur ajustée pour la qualité de vie (QALY)) (Champagne, Contandriopoulos, Brousselle, Harty, & Denis, 2011, pp. 49-70) (Champagne, Brousselle, Contandriopoulos, & Harty, 2011, pp. 173-198) (Brousselle, Lachaine, & Contandriopoulos, 2011). La méthode semble intéressante pour les méthodes utilisées dans l'identification forensique, mais l'est-elle vraiment?

L'analyse coût-bénéfice consiste en une comparaison de bénéfices incrémentaux sur les coûts incrémentaux (elle évalue des coûts seulement, il n'y a donc aucun besoin d'une technique alternative de comparaison) (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011). Dans l'absolu, cette analyse peut devenir problématique pour un domaine comme la science forensique (Roman J. , 2013), mais pousse également le domaine vers une amélioration de l'efficacité (capacité de produire des résultats). Dans le domaine public, on ne peut pas faire des profits comme dans le secteur privé, puisque les ressources sont limitées et finies (temps, argent, personnel). L'argent est donc un intrant pour le gouvernement qui doit être utilisé avec un retour sur investissement maximum pour limiter la baisse de qualité et les délais (Daéid, 2013). En effet, au public, l'argent est un intrant fini, d'une valeur X (on gère ici des dépenses, point...). Il n'y a aucune façon (ou très peu) d'accroître artificiellement la production opérationnelle avec des crédits additionnels. Dans le privé, l'argent investi peut aussi être fixé à X\$ au départ, mais les profits (si profit il y a) ont un impact sur l'ensemble... Il y a une balance entre investissement et dépense de manière à générer plus de profit. Parfois, l'investissement d'une partie des profits du privé aura pour effet de permettre d'honorer un plus gros contrat qui, de son côté, générera encore plus de profits. Donc on pourra insuffler artificiellement des ressources supplémentaires dans les opérations, qui reviendront ensuite sous forme de profits amplifier, comme un placement à la bourse. Ce genre d'action n'est pas possible au public, où on devra plutôt tirer le meilleur parti de l'actif qui nous est consenti. En économie, le prix d'un service est normalement déterminé par le marché de l'offre et de la demande. Ainsi, pour le milieu de la santé, le fournisseur de services fait une transaction avec le patient dans un contexte de consentement, où la maladie n'est pas un acteur proprement

dit de la situation. On peut donc se servir librement de méthodes économiques pour évaluer une prestation de service spécifique, comme l'analyse coût-bénéfice. Mais y a-t-il un marché pour le crime? Dans le cadre normal de la criminalité, un criminel se rendra coupable d'un crime que la victime subira, sans être consentante. Il devient donc ardu d'évaluer tous les bénéfices d'un service, sans compter les bénéfices non calculables. Dans la police, les bénéfices sont multifacettes, incluant des bénéfices sociaux, la réduction du crime, la diminution de la récidive, baisse de la gravité des infractions, etc. En effet, les gestionnaires qui ont recours à l'analyse coût-bénéfice souhaitent savoir si un investissement donnera de bons résultats, mais aussi si les ressources investies seront éventuellement ressenties dans un budget futur. C'est de là que provient le principal problème de l'analyse coût-bénéfice dans les sciences forensiques. Les bénéfices non calculables consistent également en la capacité d'une méthode X de faciliter la capture d'un criminel qui aura pour bénéfice d'empêcher l'avènement d'un autre crime et d'une autre victime. En plus d'être difficilement calculable, on sait que les gestionnaires ne sont pas de grands adeptes de ce genre de bénéfices hypothétiques (Roman J. , 2013). Au final, une analyse coût-bénéfice d'une science forensique devrait être complètement déterminée par son contexte, et celui-ci varie beaucoup trop pour que ce soit valide. Il n'y a aucun moyen sûr d'évaluer, pour un corps policier, la proportion d'argent adéquatement approprié aux sciences forensiques (Tilley & Ford, 1996). C'est pourquoi les principes d'analyses du type coût-bénéfice du milieu de la santé n'ont pas été retenus dans la présente recherche.

Une nouvelle quête a donc été entreprise pour trouver un moyen d'analyser globalement les techniques de développement des traces digitales, mesurant la performance en se basant sur les résultats plutôt que sur les moyens et les processus (Daéid, 2013) (Tilley & Townsley, 2009), suivant les réalités des sciences forensiques.

Le Baseball Majeur nous offre un exemple d'utilisation d'une méthode d'analyse d'indicateurs de performance basée sur les résultats : le sabermetric a

révolutionné ce sport en permettant aux A's d'Oakland d'obtenir d'excellents résultats en limitant les dépenses (King & Maguire, 2009). Suivant cette analogie, le principe de l'indice synthétique a donc été investigué. « Un indice synthétique mesure la variation de la valeur d'une grandeur complexe définie comme l'agrégation d'un ensemble de grandeurs élémentaires [...] » (Sède-Marceau, 2010). En fait, l'indice composite consiste en un résumé d'informations plus complexes dont chacun des indices élémentaires est modulé suivant un coefficient de pondération. La somme des coefficients des indices individuels atteint toujours une valeur de 1.

Il est impératif, pour la détermination du poids relatif des différents facteurs agrégés dans l'indice, d'obtenir l'avis du plus d'experts possible afin de tenir compte des multiples points de vue et d'accroître la robustesse du cadre conceptuel de l'indicateur (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008). La difficulté demeurera, par contre, la prise en compte de tous ces avis afin d'en venir à un consensus relatif au poids à attribuer à chaque facteur. Nous verrons ultérieurement comment la science de l'aide décisionnelle pourra nous aider à ce niveau.

Les indices composites facilitent la communication et sont la clé de voûte de plusieurs méthodes d'aide à la décision (Grand, 2006) (Jaulent, 2007). Ils sont devenus très populaires dans les domaines économiques, sociaux et politiques pour mesurer des phénomènes multidimensionnels (Mazziotta & Pareto, 2016). Il est possible, au sein d'un indice synthétique, d'agréger autant des indices individuels quantitatifs que qualitatifs (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008). La grande difficulté demeure la sélection et l'agrégation d'indices individuels porteurs de sens et facilement interprétables. Il faut également être en mesure de déterminer suffisamment, mais pas trop, d'indicateurs individuels afin de s'assurer que leur impact ne soit pas atomisé dans le nombre (Jaulent, 2007). Ainsi, on fait un indice composite avec des indices élémentaires comme on fait une muraille avec des pierres; mais une accumulation d'indices élémentaires aux poids négligeables ne forme pas plus un indice

composite qu'un tas de pierres n'est une muraille. Il faut consciencieusement sélectionner les indices élémentaires pour l'indice composite souhaité qui auront une valeur intrinsèque et porteuse de sens pour les gestionnaires, car l'indice composite sera évalué selon la pertinence de ses constituants. Les indices composites présentent plusieurs avantages (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008) :

- Permet de résumer une réalité complexe et multidimensionnelle afin de supporter la prise de décision
- Est plus facile à interpréter que la somme des indices qu'il recèle
- Permet de conserver toute l'information pertinente des indicateurs le composant, tout en réduisant le nombre de variables à analyser pour le décideur
- Concentre l'information d'une manière intelligible
- Permet à l'utilisateur la comparaison efficace de dimensions complexes

Il existe également certains dangers à l'utilisation de l'indice composite (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008) :

- La construction d'un indice robuste est impérative. En effet, l'indice doit pouvoir demeurer stable et ne pas être perturbé par de légères modifications des données. La robustesse de l'indice créé sera d'ailleurs démontrée ultérieurement dans ce document. Une mauvaise construction ou une interprétation erronée aura pour effet l'envoi d'un message trompeur au décideur.
- La construction de l'indice doit demeurer un exercice transparent afin de bien comprendre chacun des constituants. La transparence permettra de déceler plus facilement les défaillances majeures et mineures de certaines dimensions de l'indice et facilitera les ajustements.

Parmi les indices élémentaires choisis, on retrouvera des résultats d'indice primaires (raison d'être du test – par exemple, le nombre de traces développées) et secondaires (non basé directement sur le but – par exemple, provoque du backlog, difficile à maîtriser, impact sur la santé, etc.). La mesure des résultats secondaires peut présenter un degré d'utilité et d'importance insoupçonné, que ce soit parce qu'il représente un intérêt intrinsèque, ou parce qu'il présente un effet modérateur appréciable du résultat primaire visé (exemple : le risque pour la santé de l'utilisateur) (King & Maguire, 2009). Parmi les indicateurs individuels incontournables pour l'évaluation des techniques de développement des traces digitales, il y a entre autres l'efficacité (primaire) et les risques pour la santé (secondaire). Voyons les exemples d'indices pertinents que la littérature nous suggère.

En termes d'efficacité, il s'agit de déterminer les meilleures sources d'information à ce sujet ainsi que la meilleure façon d'agréger les données ensemble. On propose dans la littérature scientifique l'évaluation de l'efficacité par le calcul de la grandeur d'un effet réel d'une intervention (Field A. , 1999). On y suggère l'utilisation d'une étude locale en laboratoire ou d'une méta-analyse via une recherche rigoureuse de la littérature reliée au sujet de l'étude. Field nous propose l'utilisation du calcul de la grandeur de l'effet à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson r à cause de sa polyvalence (Field A. , 1999). La grandeur d'effet correspond à la « mesure de la magnitude de l'effet observé » (Field & Wright, 2006). En codant les x de la corrélation de Pearson avec des 1 et des 0, on obtient une corrélation bisérielle qui variera entre 0 (pas d'effet) et plus ou moins 1 (effet parfait). Dans la suite du texte, nous identifierons ce calcul comme l'effet r de Field.

Le calcul de r nous donnera alors la grandeur de l'effet observé.

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2} \cdot \sqrt{S_y^2}}$$

Où

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$S_{xy} = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot (n - 1)}$$

$$x = 1 \text{ ou } 0$$

Le x est la variable que nous fixons délibérément en lui donnant la valeur de 1 s'il y a eu application de la technique, ou 0 s'il n'y a eu aucune intervention.

y = Variable dépendante de x , dont la valeur fluctue, exemple, le nombre de traces développées suivant l'application de la technique ($x = 1$) ou non ($x = 0$).

Équation 1: Calcul de l'effet r de Field

(Scherrer, 1984)

Dans le cas de l'utilisation d'une méta-analyse, les articles sélectionnés doivent être filtrés au moyen de critères d'inclusion et d'exclusion. On éliminera, par exemple, les études ayant une méthodologie déficiente et on choisira des critères en accord avec les pratiques du milieu pour éviter d'induire un biais subjectif à l'analyse. (Field A. , 1999) À l'aide des études sélectionnées pour la méta-analyse, on calculera la grandeur de l'effet recherché.

Si une méta-analyse est effectuée, il faudra calculer le r pour chacune des études conservées. On estime ensuite la grandeur de l'effet de la population de la méta-analyse (vrai effet) en combinant les grandeurs d'effet des articles sélectionnés. Pour obtenir une grandeur d'effet réaliste pour une méta-analyse, il est important d'évaluer la grandeur de l'effet avec un modèle aléatoire, comme la méthode de Hunter & Schmidt, qui est une des plus simples, mais qui est aussi suffisamment précise (Field A. , 1999).

On calculera donc la grandeur de l'effet de la population de la méta-analyse suivant les équations de Hunter & Schmidt suivante :

Le poids moyen de la grandeur de l'effet :

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i r_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Équation 2: Poids moyen de la grandeur de l'effet

Où r_i correspond au r individuel de chacune des k études sélectionnées dans la méta-analyse.

L'intervalle de crédibilité se calcule comme suit :

$$\hat{\sigma}_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot (r_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Équation 3: L'intervalle de crédibilité

Et l'erreur de variance de l'échantillon :

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{(1 - \bar{r}^2)^2}{\bar{N} - 1}$$

Équation 4: L'erreur de variance de l'échantillon

Où \bar{N} est la population totale de l'ensemble des études sélectionnées dans la méta-analyse.

Avec lesquels on calcule une estimation de la variance de la grandeur de l'effet de la population :

$$\hat{\sigma}_p^2 = \hat{\sigma}_r^2 - \hat{\sigma}_e^2$$

Équation 5: Calcul de la variance de la grandeur de l'effet de la population

À partir de l'estimation de la variance de la grandeur d'effet de la population, nous pouvons obtenir l'intervalle de confiance à 95% :

$$CI_{max} = \bar{r} + 1,96 \sqrt{\hat{\sigma}_p^2}$$

$$CI_{min} = \bar{r} - 1,96 \sqrt{\hat{\sigma}_p^2}$$

Équation 6: L'intervalle de confiance à 95%

Il s'agit d'une analyse efficace et plutôt simple de maximiser l'appréciation de la puissance d'une intervention. Les biais dont il faut tenir compte dans une méta-analyse sont les biais de publication, la surestimation de la grandeur de l'effet moyen, la sous-représentation de la réalité régionale et les artéfacts. Le biais de population implique que les auteurs publient normalement seulement les études significatives. Ceci implique qu'une certaine littérature grise peut être absente de la méta-analyse. Les artéfacts, de leur côté, consistent aux imprécisions dans la qualité et la précision des mesures des variables des recherches utilisées pour la méta-analyse (Field A. , 1999) (Julian, et al., 2011).

Au niveau des risques pour la santé comme indice individuel, la littérature nous suggère un indice composite très bien ficelé qui fut mis à l'essai au sein du CHU de Grenoble (Gautret de la Moricière, 2006) (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005). Il existe aussi les indices de risques chimiques des groupes comme Rhodia, la méthode INRS ou celle de l'Union des industries chimiques (UIC), mais, selon Persoons et al, ces dernières ne tiennent pas compte de la spécificité du traitement d'échantillons impliquant de multiples expositions à de faibles quantités (comme on en retrouve en sciences forensiques). De plus, les effets toxiques et les conséquences de l'exposition sont largement sous-estimés (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005). L'indice d'évaluation des risques chimiques du CHU de Grenoble propose l'identification et la centralisation des dangers grâce aux phrases de risques (phrase R)² qu'on retrouvait obligatoirement (à l'époque pour l'Europe) dans les fiches de données de sécurité (MSDS) des produits. Ces MSDS sont une obligation réglementaire dont le contenu est de la responsabilité des fabricants ou du vendeur, donc normalement disponible pour les utilisateurs. L'indice consiste en une procédure d'évaluation tenant compte du danger des produits, de l'exposition du personnel ainsi que de l'indice de protection lors de la manipulation. Il s'agit d'une alternative tenant compte de l'utilisation de petites quantités de produits chimiques, tels que rencontrés dans les laboratoires de développement des traces digitales, le tout basé sur une méthode semi-quantitative qui permet une hiérarchie plus précise des risques et limite les coûts en capital humain et financier.

² Les phrases R sont d'anciens avertissements standardisés sur les risques encourus par l'utilisateur qu'on retrouvait sur les étiquettes des produits chimiques et leurs fiches signalétiques. Elles ont, depuis 2015, été remplacées par les phrases H.

L'équation de l'indice composite se lit comme suit :

$$I_R = I_D \cdot I_E \cdot I_P$$

Équation 7: Indice composite de risque pour la santé (Persoons, et al., 2005)

Où

L'indice de danger se calcule comme suit :

$$I_D = 10^{(\text{Niveau de danger})}$$

Équation 8: Indice de danger (Persoons, et al., 2005)

L'indice d'exposition se calcule comme suit :

$$I_E = 0,1 \cdot \text{Niveau de fréquence} \cdot \text{Niveau de quantité}$$

Si $I_E = 0,9$, on le considère alors comme $I_E = 1$

Équation 9: Indice d'exposition (Persoons, et al., 2005)

Et l'indice de protection se calcule comme suit :

$$I_P = 10^{-(\text{Niveau protection}-1)}$$

Équation 10: Indice de protection (Persoons, et al., 2005)

Le niveau de danger est évalué suivant l'échelle des Phrases R (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) suivante et varie entre 1 et 3 :

Tableau 1: Niveau de danger suivant l'échelle des Phrases R (Persoons, et al., 2005)

Type	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Local			
«Respiratoire		R34, R37	R35
«Cutanée	R38, R66	R34	R35
«Oculaire	R36	R34	R35, R41
Systémique non CMR			
«Respiratoire	R20, R67	R23, R29, R31	R26, R32, R33, R39, R42, R48
«Cutanée	R21	R24, R43	R27, R33, R39, R48
«Oculaire	R22, R65	R25	R28, R33, R39, R48
CMR			
«Cancérogène		R40	R45, R49
«Mutagène		R68	R46
«Reprotoxique		R62, R63, R64	R60, R61

Non inclus dans l'échelle : R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R30, R44, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59

Notez que les dangers physico-chimiques ne sont pas évalués dans cette méthode. Ensuite, l'indice d'exposition est évalué suivant le niveau de fréquence et de quantité. L'indice varie donc entre 0,1 (très faible) et 1 (maximum). Voici les paramètres pour cet indice (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) :

Fréquence :

- Moins d'une fois par semaine = niveau 1
- Une ou plusieurs fois par semaine = niveau 2
- Une ou plusieurs fois par jour = niveau 3

Quantité :

- Moins de 10 mL ou 10 g = niveau 1
- Entre 10 et 100 mL ou 10 et 100 g = niveau 2
- Plus de 100 mL ou 100 g = niveau 3

En termes de protection, voici les paramètres d'évaluation :

Protection respiratoire :

- Climatisation ou ventilation générale = niveau 1
- Hotte non conforme aux normes = niveau 2
- Hotte conforme mal utilisée = niveau 2
- Aspiration à la source = niveau 2
- Hotte conforme bien utilisée = niveau 3

Protection cutanée :

- Pas de gants = niveau 1
- Crème barrière ou gants mal adaptés = niveau 2
- Gants adaptés = niveau 3

Protection oculaire :

- Pas de protection = niveau 1
- Vitre de hotte baissée = niveau 2
- Lunettes de sécurité ou écran facial = niveau 3

Suivant le calcul de l'Indice de Risque, on pourra déterminer le niveau de risque acceptable (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) :

Risque acceptable = $I_R < 4$

Risque intermédiaire = $4 \leq I_R \leq 40$

Risque inacceptable = $I_R \geq 40$

Pour un indice de risque qui variera entre 0,001 (risque minimum) et 1000 (risque maximum). Il s'agit d'un indice qui pourrait être des plus intéressants pour notre indice composite sur les techniques de développement des traces digitales.

En définitive, il sera important de déterminer chacun des indices individuels que devrait contenir l'indice composite final. Une autre étape difficile sera la valorisation de chacun des indices individuels. Comment faire pour déterminer la valeur de chaque indice dans l'ensemble?

2.6 La science de l'aide décisionnelle à la rescousse

Faire un choix peut souvent s'avérer difficile. Dès qu'on atteint un seuil de 2 personnes décisionnelles et 3 possibilités de choix, il devient impossible mathématiquement de faire un choix rationnel qui correspondra aux préférences de chacun. C'est ce qu'on appelle le théorème d'impossibilité d'Arrow (1951). Il n'existe, en effet, aucune façon d'effectuer un choix qui sera universel (en accord avec les préférences de tous), non dictatorial et unanime. Pour les choix non binaires, il y aura toujours des situations problématiques dans la prise de décision, ne serait-ce qu'en tenant compte de l'optimum de Pareto³.

³ Optimum de Pareto : Il est impossible de satisfaire un individu sans provoquer de l'insatisfaction à un second individu.

C'est les sciences de l'aide décisionnelle qui nous donneront la solution à la valorisation des indices individuels suivant la consultation des experts tout en contournant le paradoxe d'Arrow. En effet, il existe des méthodes d'aide à la prise de décision qui permettent de valoriser certaines options hiérarchisées à l'aide du processus de hiérarchie analytique (AHP=Analytic Hierarchy Process).

L'AHP a été développé par Saaty afin de faciliter la prise de décision par la comparaison des critères de décision par paires (Saaty T. , 1990). La comparaison par paire permet de résoudre en partie les problèmes d'irrationalité des décisions (Yannou & Limagem, 2002). Il s'agit d'une technique largement utilisée (Khaira & Dwivedi, 2018) (Goepel, 2018) dans différentes disciplines, comme en décision stratégique (Bhushan & Kanwal, 2004), en informatique (Ndruru & Riandari, 2019), en gestion des crises environnementales (Dey, 2003), en enseignement de l'ingénierie (Drake, 1998), en mathématique (Saaty T. L., 2010), en biostatistique (Saaty T. L., 2005), en évaluation des impacts environnementaux (Ramanathan, 2001) (Thanki, Govindan, & Thakkar, 2016), en économie de production (Ghodsypour & O'Brien, 1998), en gestion de projet (Kamal, 2001), en intelligence artificielle (Ly, Lai, Hsu, & Shih, 2018) (Ren, Xu, & Wang, 2019) (Lima, Gorski, Loures, Portela Santos, & Deschamps, 2019), etc. Elle est d'ailleurs proposée dans le guide des indices composites pour attribuer un poids relatif aux différents facteurs (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008). Cette méthode présente plusieurs avantages comme cité par Nardo et al. (2008) :

- Permet l'utilisation de données qualitatives et quantitatives
- Grande transparence de la construction de l'indice composite
- Le poids relatif établi est basé sur l'opinion d'experts, et non sur des manipulations techniques et mathématiques
- L'opinion des experts accroît la légitimité de l'indice composite
- L'exercice donne une mesure de l'inconsistance des réponses des participants

En contrepartie, il faut garder à l'esprit que cette méthode requiert un grand nombre de comparaisons par paire et que les résultats dépendent grandement des évaluateurs choisis et de la méthodologie appliquée. Pour éviter ce dernier biais au niveau des experts, la sélection des répondants au sondage utilisera la méthode de l'échantillon par filière⁴, permettant une variabilité de l'échantillon et une diversification des points de vue.

L'AHP est une méthode simple qui permet de pondérer les différents critères de prise de décision entre eux pour atteindre une valeur de 1 (100%). Le principe demeure de comparer successivement l'importance relative de deux éléments par paire jusqu'à la comparaison de tous les éléments ensemble. Avec cette méthode, on peut comparer autant des critères quantitatifs que qualitatifs à l'aide du jugement informé pour déterminer le poids de chacun et définir les priorités. Pour faire la comparaison, on utilise une échelle ayant une amplitude d'importance entre égale jusqu'à extrêmement plus (exemple : importance égale, modérément plus élevée, fortement plus élevée, très fortement plus élevée, extrêmement plus élevée) qu'on fera correspondre à un jugement numérique (1, 3, 5, 7, 9). Ce processus de jugement permet d'évaluer séparément chaque propriété essentielle afin de prendre une décision rationnelle. L'échelle numérique utilisée est réciproque, ce qui signifie que si on évalue x par rapport à y , et qu'on juge que x est fortement plus important que y (valeur de 5), la comparaison de y avec x donnera automatiquement la valeur réciproque, soit $1/5$ (Saaty T. , 1990). Par exemple, on détermine que A est modérément plus important que C (3), que B est un peu plus important que A (2) et que B est presque fortement plus important que C (4).

⁴ Référencement des premiers participants afin d'atteindre la population ciblée par contacts successifs

Toutes les valeurs sont entrées dans un tableau qu'on convertira en matrice comme celle-ci :

Critères	A	B	C
A	1	1/2	3
B	2	1	4
C	1/3	1/4	1

$$M = \begin{bmatrix} 1/1 & 1/2 & 3/1 \\ 2/1 & 1/1 & 4/1 \\ 1/3 & 1/4 & 1/1 \end{bmatrix}$$

On convertira ensuite les fractions de la matrice M en chiffres à 4 décimales :

$$M = \begin{bmatrix} 1,0000 & 0,5000 & 3,0000 \\ 2,0000 & 1,0000 & 4,0000 \\ 0,3333 & 0,2500 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

On fera alors le carré de la matrice M :

$$\begin{bmatrix} 1,0000 & 0,5000 & 3,0000 \\ 2,0000 & 1,0000 & 4,0000 \\ 0,3333 & 0,2500 & 1,0000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1,0000 & 0,5000 & 3,0000 \\ 2,0000 & 1,0000 & 4,0000 \\ 0,3333 & 0,2500 & 1,0000 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 3,0000 & 1,7500 & 8,0000 \\ 5,3332 & 3,0000 & 14,0000 \\ 1,1666 & 0,6667 & 3,0000 \end{bmatrix}$$

Équation 11: Carré de la matrice M

On calcul ensuite le vecteur « propre » (eigenvector) de la matrice résultante (somme des lignes et normalisation des valeurs) :

$$\xi = \begin{bmatrix} 0,3194 \\ 0,5595 \\ 0,1211 \end{bmatrix}$$

Équation 12: Vecteur « propre » (eigenvector) de la matrice

On effectue une itération du processus jusqu'à ce qu'on n'observe plus de différence (à 4 décimales) entre les deux vecteurs propres consécutifs :

$$\begin{bmatrix} 3,0000 & 1,7500 & 8,0000 \\ 5,3332 & 3,0000 & 14,0000 \\ 1,1666 & 0,6667 & 3,0000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 3,0000 & 1,7500 & 8,0000 \\ 5,3332 & 3,0000 & 14,0000 \\ 1,1666 & 0,6667 & 3,0000 \end{bmatrix}$$

$$\xi = \begin{bmatrix} 0,3196 \\ 0,5584 \\ 0,1220 \end{bmatrix}$$

Et ainsi de suite. Lorsque la différence de vecteurs propres (à 4 décimales) est nulle, nous obtenons les valeurs relatives de chaque critère :

$$\begin{aligned} A &= 0,3196 = 2e \text{ plus important} = \text{valeur de } 31,96\% \\ B &= 0,5584 = \text{plus important} = \text{valeur de } 55,84\% \\ C &= 0,1220 = 3e \text{ plus important} = \text{valeur de } 12,20\% \end{aligned}$$

S'il y a des sous-critères (exemple, le critère A est subdivisé en deux critères), on répète la même opération. Avec A, on cherche alors le poids de chaque sous-critère pour obtenir 100% de A (1,0000), soit 1,0000 de 0,3196.

L'AHP génère donc une échelle de ratios relatifs qui sert à valoriser les différents critères sélectionnés. Cette méthode nous permettra de valoriser chacun des indices individuels de l'indice composite. Si les calculs de AHP semblent trop complexes, il est possible d'utiliser des outils spécifiques comme celui de Goepel sur le site du Business Performance Management Singapore (BPMSG, 2019)

(Goepel, Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS), 2018).

2.7 Pertinence de la recherche

Cette recherche propose donc l'élaboration d'une méthode d'analyse des différentes techniques par un indice composite permettant aux gestionnaires d'y voir plus clair dans la sélection des techniques qu'il souhaite implanter dans son laboratoire de développement.

La recherche ambitionne de mettre au point un outil novateur pour la planification stratégique des organisations de sciences forensiques, héritier logique et complémentaire aux efforts de rationalisation et d'analyse budgétaire des laboratoires comme le projet FORESIGHT (Houck, Riley, Speaker, & Witt, 2009) (Houck, Speaker, Fleming, & Riley, 2012) (Speaker, 2009). Un indice d'aide à la décision pour les responsables de l'identification forensique qui prend en compte divers facteurs clés. Le but ultime est d'obtenir un indice pour rapprocher la science forensique et la gestion.

L'objectif de ce nouvel outil est de comparer les technologies de manière plus objective, en tenant compte de plusieurs facteurs. Nous ne voulons pas éliminer à tout prix les technologies avec un rendement moins élevé, mais plutôt les utiliser dans des contextes maximisant leur efficacité et leur utilité (utilisation comme technique de niche au lieu d'un protocole de routine par exemple). L'objectif final est d'aider les gestionnaires à comparer les technologies en vue de leur acquisition en tenant compte de critères stables et vérifiables, exportables dans tous les pays, tout en pondérant les alternatives, l'incertitude, les conséquences à haut risque, etc.

Dans le domaine de la gestion de portefeuille, il est d'usage de tirer profit des différents indices boursiers disponibles, afin de mesurer la valeur du marché

boursier, décrire le marché et comparer le retour sur investissement pour les investisseurs et les gestionnaires. La mise en place d'un indice ForATE permettra de mesurer la valeur d'une technologie forensique, de décrire une technologie et comparer différentes technologies forensiques entre elles afin d'assister les gestionnaires forensiques et les chercheurs dans leurs investissements.

Cette recherche a également pour effet de paver la voie à des recherches subséquentes sur l'évaluation des technologies et méthodes scientifiques optimales adaptées à la réalité de la desserte en sciences forensiques. Ultiment, elle vise à éclairer les communautés forensiques et policières afin qu'elles évitent d'appuyer leurs stratégies d'investissement dans les technologies et méthodes scientifiques de développement des traces digitales seulement sur des chefs de police motivés par la technologie, des spécialistes passionnés ou des budgets spéciaux relevant d'événements extraordinaires (LeBoeuf, 2000) (Conseil de surveillance des activités de la Sûreté du Québec, 2005) (Bureau du vérificateur général du Canada, 2004).

L'indice pourra potentiellement être généralisé à l'évaluation de technologies et techniques d'autres domaines des sciences forensiques, comme l'identification par ADN, la chimie judiciaire, etc. L'avantage majeur de ces nouvelles connaissances, pour les laboratoires forensiques, est la possibilité de combler les carences potentielles de leurs organisations respectives ainsi que de maximiser leur efficacité de fonctionnement.

Ce projet met en jeu plusieurs domaines. Le domaine de la santé a été sondé et plusieurs pistes d'évaluation y furent colligées étant donné l'avancement très poussé des méthodes de l'évaluation des technologies et des traitements, le tout dans le but d'établir certaines balises dans l'analyse des interventions du milieu forensique (Champagne, Contandriopoulos, Brousselle, Harty, & Denis, 2011), (Champagne, Brousselle, Contandriopoulos, & Harty, 2011), (Brousselle, Lachaine, & Contandriopoulos, 2011), (Drummond, O'Brien, Stoddart, & Torrance, 1998), (Fletcher, Fletcher, & Wagner, 1982), (Valenstein, 1990), (Van den Bruel, Cleemput, Aertgeerts, Ramaekers, & Buntinx, 2007), (Mushlin, Ruchlin, &

Callahan, 2001), (Gelijns & Rosenberg, 1994) (Johri & Lehoux, 2003). Cependant, il faudra être prudent dans les comparaisons entre le système de la santé et l'identification forensique. Par exemple, les principes qui s'appliquent à l'évaluation coût-bénéfice des transactions de soins de santé ne sont pas directement applicables aux interventions criminelles (Roman J. , 2013). Ainsi, l'évaluation des méthodes de développement des traces digitales exploitera des forces multidisciplinaires, incluant, sans s'y restreindre, la santé, la grandeur de l'effet (Field A. , 1999) (Field & Wright, 2006), la statistique descriptive (Grand, 2006) (Scherrer, 1984) (Sède-Marceau, 2010) (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008), l'évaluation du risque (Gautret de la Moricière, 2006) (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) (Jaulent, 2007) (Vincent, Bonthoux, Mallet, Iparraguirre, & Rio, 2005) et l'aide décisionnelle (Saaty T. , 1990) (Miller, 1956) (Yannou & Limagem, 2002) (Arrow, 1951).

3 Méthodologie

3.1 Stratégie de recherche

L'analyse des processus dynamiques que sont les traitements pour le développement des traces digitales nécessite l'utilisation de plusieurs stratégies de recherche afin d'en cerner toutes les nuances. Ainsi, la première phase de recherche a investigué à l'aide d'un sondage en ligne les préférences et les pratiques des sujets grâce à un questionnaire semi-structuré. En effet, cette méthodologie a permis l'analyse des actions ainsi que des décisions d'un point de vue qualitatif et nous a permis également de faire une hiérarchisation des critères décisionnels importants à la sélection des méthodes de développement. L'utilisation de la comparaison par paire lors du sondage a facilité la compréhension de cette prise de décision complexe en tenant compte des interrelations des différentes données par une évaluation homogène des différents critères envisagés (Saaty T. , 1990) (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008). Le sondage en ligne a permis d'obtenir l'avis d'un très grand nombre de représentants de la population totale visée. Ces derniers ont couvert les différents paliers nécessaires à une évaluation efficace des façons de faire et ont été sélectionnés suivant l'utilisation de la méthode de « l'échantillon par filière » qui utilise le référencement des premiers participants afin d'atteindre la population ciblée par contacts successifs (Pires, 1997). Les premiers participants ont été approchés via différentes avenues (International Association for Identification, Canadian Identification Society, Association Québécoise de Criminalistique, International Fingerprint Research Group, contacts LinkedIn du chercheur principal, etc.). Les références subséquentes ont été demandées au répondant à la fin du sondage.

Suite à la participation au sondage initiale, les sujets ont eu l'opportunité de poursuivre leur collaboration au projet via un sondage que nous vous avons précédemment présenté en ouverture de ce document, pour asseoir le contexte

de cette recherche. Ainsi, suivant leur acceptation, il leur avait été demandé de remplir une grille de collection de données (apparenté à la grille LabRAT de FORESIGHT) de développement des traces digitales (grille d'expertise) de leur laboratoire sur une période d'un an.

3.2 Population à l'étude

3.2.1 Critères d'échantillonnage

La population cible du projet de recherche est définie par les critères suivants :

- A. Membre policier ou civil d'organisations proposant un service de développement des traces digitales pour l'application de la justice au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni : Il est important que les participants soient tous des membres actuels de ces organisations puisque nous recherchons le profil présent de ces services.
- B. Membre du Service de développement des traces digitales des organisations précédemment citées : Le développement des traces digitales est notre secteur d'activité ciblé.

3.2.2 Échantillonnage

Les individus sont choisis sur la base de leur volonté à participer à la recherche. Le chercheur a d'abord utilisé son réseau de contacts au sein de ces organisations pour trouver les premiers participants volontaires de l'étude (contacts directs, LinkedIn, etc.). Il y a également eu une approche des membres de différentes associations par le biais de leurs journaux (Identification Canada, IAI Newsletter, Journal de la criminalistique). Le recrutement a ensuite été fait selon la méthode dite de « l'échantillon par filière » qui permet le référencement d'autres candidats

par les participants. Cette stratégie non randomisée a permis d'atteindre des spécialistes ayant des points de vue diversifiés sur le sujet.

3.3 Collecte des données et définitions des variables

La collecte des données se compose d'un sondage en ligne avec des sujets répondants aux critères de sélection; et d'une analyse de données obtenues via la grille d'expertise sur une période d'un an. L'Annexe 1 comprend la grille de sondage qui fut utilisée. Le sondage a porté sur 5 grands thèmes comportant diverses questions ouvertes ou gradées suivant des échelles relatives qualitatives. Les thèmes sont : 1) des questions générales (de façon à situer le participant); 2) des questions sur les méthodes de développement utilisées dans l'organisation du participant; 3) des questions sur les critères de sélection des méthodes de développement suivant des comparaisons par paire; 4) des questions sur la simplicité d'utilisation et de préparation de chacune des méthodes utilisées; 5) des questions sur le temps associé au traitement et à la préparation de chacune des méthodes utilisées. Évidemment, si le participant utilisait des solutions préparées dans le commerce pour certaines méthodes de développement, la simplicité et le temps de préparation n'ont pas été évalués pour ces méthodes spécifiques.

Les participants ont été sélectionnés sur la base de leur appartenance aux critères d'inclusion. Un échantillonnage de type « par filière » a également été utilisé avec les participants volontaires du sondage en ligne afin d'assurer une diversification interne de notre échantillon. La lettre de recrutement se retrouve en Annexe 2. Pour ce qui est de la sélection des participants, un courriel contenant toutes les informations nécessaires sur le projet a été envoyé.

Suite à la complétion du sondage en ligne, suivant l'acceptation, les participants intéressés à poursuivre le projet de recherche ont été recontactés afin de leur donner les consignes de la collecte des données de traitement requis pour la recherche dans la grille d'expertise. La lettre explicative se retrouve en Annexe 3.

Les participants ont alors été contactés par courriel ou téléphone afin qu'ils nous fassent parvenir par courrier les documents nécessaires à la collecte de données. Les données ont ensuite été colligées au sein d'un tableur.

Ensuite, le chercheur principal a fait une récupération des recettes des différentes techniques de développement investiguées afin de pouvoir en faire l'analyse. Le manuel du Centre for Applied Science and Technology (CAST) (Kent, 1998) ainsi que sa nouvelle version électronique (maintenant sous le Defense Science and Technology Laboratory (DSTL) (Bandey H. L., 2014) et le Manuel de technique en identité judiciaire (McMullen, Beaudoin, & Bellemarre, 2020) ont été utilisés comme base à ce niveau. Les fiches de santé et sécurité (MSDS) de chacun des produits chimiques utilisés ont également été récupérées afin d'en extraire les codes de risque H et EUH associées.

3.4 Analyse des données

Les données recueillies lors du sondage et la récupération des données opérationnelles ont été analysées suivant 3 étapes spécifiques.

1. Tout d'abord, les données du sondage ont été analysées afin d'en calculer les valeurs ciblées dans l'étude.
2. Les valeurs résultantes ont été implantées au sein du modèle d'analyse théorique de l'indice ForATE. L'indice ForATE de quelques techniques en usage dans le milieu a été calculé en conséquence afin de tester l'indice en situation réelle.
3. Par la suite, les données récoltées lors de la récupération des données opérationnelles ont été colligées et analysées afin de broser un aperçu de la situation qui prévaut sur le terrain. Bien que cette collecte soit intervenue en deuxième lieu, nous avons exploité ces résultats en introduction à cette recherche.

3.5 Considérations éthiques

Dans le cadre de ce projet de recherche, les individus ont été sélectionnés sur la base de leur volonté à participer à la recherche.

Sachant le caractère parfois sensible des informations et des renseignements pouvant être soumis lors de la participation au sondage de l'étude portant sur les données opérationnelles, les précisions relatives à la confidentialité ont été très explicitement présentées aux participants en accord avec les lois sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels. Toutes les grilles de données ainsi que les informations personnelles de nature privilégiées ont été traitées de manière confidentielle. Ces informations ont été discutées à l'intérieur de l'équipe de recherche, mais jamais divulguées à un tiers. Le nom des participants n'apparaîtra jamais sur aucun document circulant à l'extérieur des bureaux de recherche. Les transcriptions ne contiendront aucun nom et la banque de données contenant toutes les informations sera conservée dans un ordinateur doté d'un mot de passe, dans un bureau fermé à clé de l'équipe de recherche. La base de données sera détruite avant 2027.

Aucune pression n'a été mise sur les participants et ces derniers ont été libres d'accepter ou de refuser de participer au projet de recherche. Ils ont eu la possibilité de se retirer de l'étude en tout temps, sans avoir à donner de raisons.

Le formulaire de consentement est à l'Annexe 5

Nonobstant le fait que le participant a dû remplir la grille de données d'expertise requise, la sujétion à cette recherche ne comporte aucun risque ni inconfort.

3.6 Limites anticipées de l'étude

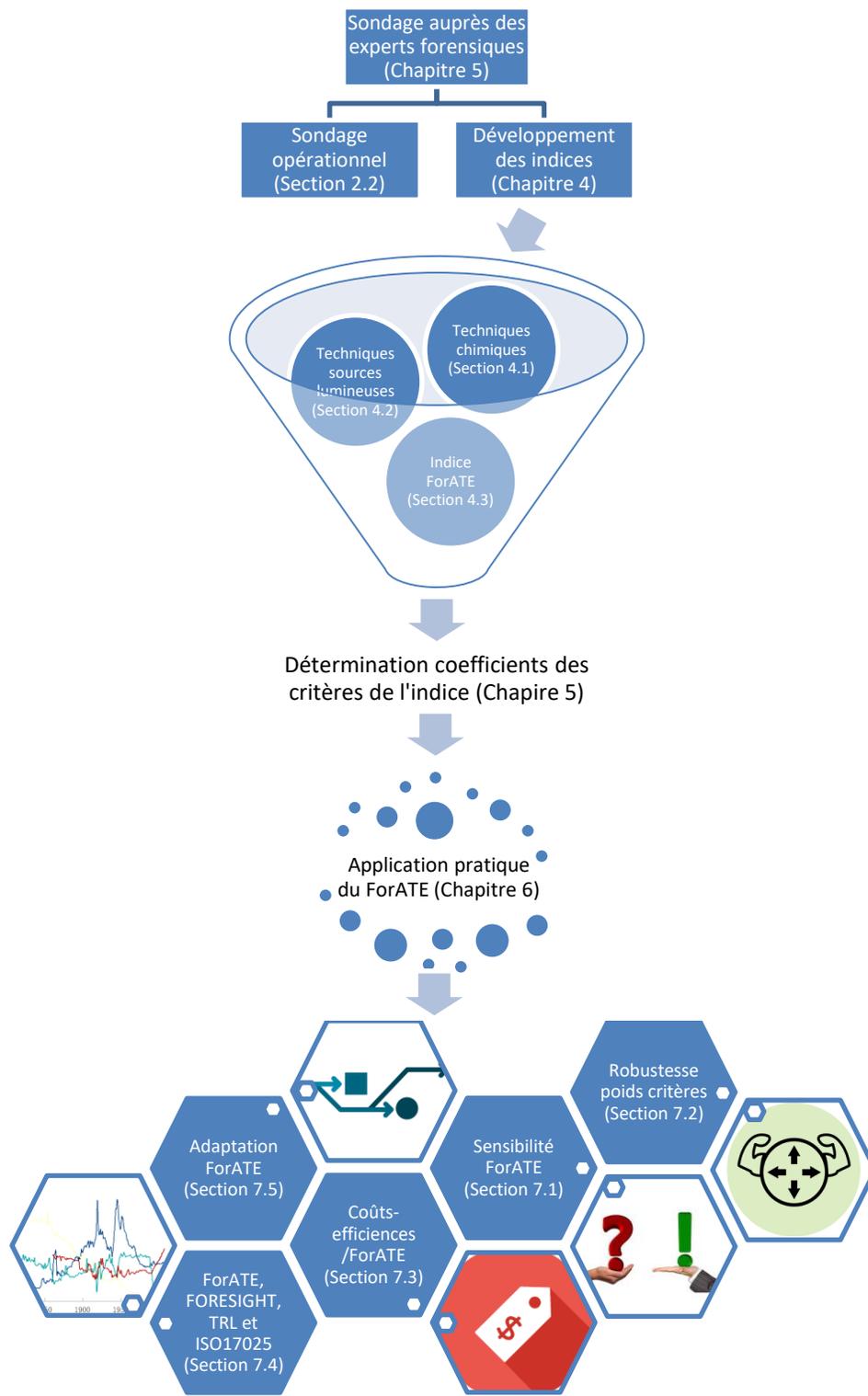
L'indice ForATE n'est pas un moyen parfait d'évaluer une technologie forensique, mais plutôt un moyen standardisé et global de comprendre les impacts calculables des technologies afin de faciliter une évaluation équitable dans le cadre d'un bon processus de gestion et d'acquisition. Tout comme l'échelle de classement pour l'évaluation des traces digitales CAST (Bandey & Gibson, 2006) n'est pas un moyen parfait d'évaluer les traces, mais plutôt un bon moyen de standardiser l'évaluation. L'indice ForATE pourrait servir de base à une analyse coûts-bénéfices, en utilisant l'indice ForATE et le coût local d'une technologie pour se faire une idée des gains de l'organisation par dollars investis. Comme avec un indice boursier, nous ne pouvons pas prendre une décision basée uniquement sur ces indices, mais ceux-ci aideront les gestionnaires à cibler des investissements plus sûrs et sécurisés. L'objectif d'un tel indice n'est pas non plus de désigner des « gagnants » et des « perdants », mais plutôt d'aider les gestionnaires à mieux comprendre l'état de la technologie forensique pour leur laboratoire et à trouver des moyens concrets d'améliorer leur situation et de gérer les acquisitions à cet égard.

3.7 Limites du retour au sondage opérationnel

Quant au sondage opérationnel des traitements de développement des traces digitales, la faible participation des organisations forensiques rend l'interprétation des données faible statistiquement. En effet, aucune organisation du Royaume-Uni n'a souhaité participer à l'étude, alors que seulement quatre du Canada et une des États-Unis ont retourné les formulaires. Les données recueillies permettent tout de même de brosser un aperçu intéressant, considérant la grande quantité d'items traités par les organisations participantes, mais toutes corrélations ou généralisations géographiques seront à proscrire, étant donné la faible robustesse de représentativité. Il ne sera possible que de porter des jugements sur le taux de

développement des traces par items traités en laboratoire, de par la grande quantité de données disponibles à ce sujet pour les agences participantes.

3.8 Schéma global de la recherche



4 Définition des facteurs de l'indice

Dans le cadre de cette recherche, il est rapidement devenu évident qu'il serait souhaitable, dans le domaine de l'identification forensique, d'établir une version de l'indice pour les techniques chimiques ainsi qu'une alternative nous permettant d'évaluer les lumières forensiques. En effet, même si l'idée originale d'un indice était reliée aux techniques chimiques, l'utilisation de sources lumineuses, la variété d'appareils disponibles et la vaste gamme de prix font de ces technologies forensiques une catégorie névralgique dont l'évaluation simplifiera grandement l'analyse des gestionnaires. Ainsi, nous retrouverons tout d'abord le développement de l'indice pour les techniques chimiques forensiques (Section 4.1) suivi de celui pour les Sources lumineuses forensiques (Section 4.2).

4.1 Développement de l'indice – Techniques chimiques forensiques

Grâce aux connaissances acquises, nous sommes en mesure de proposer un modèle théorique d'analyse qui nous permettra d'établir un indice composite qui rendra compte des valeurs relatives de chacun des indices individuels grâce à la méthode AHP. C'est donc par rapport à ce modèle théorique de l'indice composite, que nous appellerons « Forensic Assessment of Technology Effectiveness » ou « ForATE », que seront analysées les informations colligées chez les différentes entités participantes afin d'en faire un outil d'évaluation des techniques de développement des traces digitales, au départ, et ultimement un outil d'évaluation des techniques et technologies des sciences forensiques.

Dans le cadre de l'élaboration d'un indice composite valable et robuste, il faut déterminer quels seront les critères (indices individuels) les plus appropriés pour obtenir un coefficient d'évaluation fort et significatif. Parmi les critères d'importance, l'efficacité et le risque ont d'ores et déjà été relevés. Comme nous

le précise Saaty (1990), il est important, lors de la sélection des critères de décision (nos indices individuels dans le cas actuel), de sélectionner suffisamment de critères pour représenter adéquatement le problème, tout en évitant d'en sélectionner trop, car cela aurait pour effet de diminuer l'impact réel de chaque critère, faisant perdre de la sensibilité à l'indice composite. Ainsi, la sélection doit favoriser les critères présentant le plus de sens et le plus de valeur à une prise de décision, nous permettant de tenir compte de l'interrelation des données dans le problème. En gestion, la performance consiste en l'appréciation des résultats obtenus pour une activité donnée, mesurée à l'aide d'indicateurs (Gouvernement du Québec, 2021). On favorisera donc un mélange holistique de mesures de performance afin qu'aucune mesure ou groupe de mesures ne domine le processus d'évaluation (Daéid, 2013).

Lorsqu'on s'attarde sur les indicateurs de performance proposés dans la littérature, on retrouve fréquemment les points suivants, que ce soit pour une expertise forensique touchant l'ADN ou les traces digitales (King & Maguire, 2009) (Tilley & Ford, 1996) (Roman, et al., 2008) (Tilley & Townsley, 2009) (Rossy, Ioset, Dessimoz, & Ribaux, 2013) (Speaker, 2009) (Houck, Speaker, Fleming, & Riley, 2012) :

- Temps (Rapidité d'analyse, backlog associé, etc.)
- Résultats (Précision/sensibilité de la méthode, efficacité, etc.)
- Risques (dangerosité)
- Complexité (de préparation, d'application, courbe d'apprentissage, etc.)
- Coûts
- Impacts (judiciaire, organisationnels, sur les résultats au niveau de l'enquête ou du jugement, etc.)

Lors de la sélection d'une technique, un gestionnaire regardera l'efficacité (obtention de résultats) et la dangerosité (risques pour la santé) de la technique, nous l'avons déjà établi. Ensuite, le temps requis par son personnel sera aussi considéré (préparation, application du traitement, provoque ou non des backlog),

ainsi que la simplicité de la technique (utilisation et préparation). Pour le temps, il est évident qu'il s'agit d'un critère d'importance, puisque le gestionnaire doit tenir compte du temps homme pour gérer ses ressources convenablement. Il s'agit également d'un facteur important pour la réduction du temps d'enquête (Roux, Julian, Kelty, & Ribaux, 2014) et la diminution des coûts globaux des enquêtes (McCartney, 2006). Au final, le temps ainsi économisé par une technique forensique qui oriente efficacement et rapidement la police permet l'élimination des suspects d'une enquête en temps opportun, ainsi qu'une concentration des ressources sur les pistes toujours valides (Roux, Julian, Kelty, & Ribaux, 2014).

Pour la simplicité (complexité), cela peut sembler trivial; mais plus une technique est complexe, plus la courbe d'apprentissage pour l'appliquer efficacement sera grande, et plus les ressources budgétaires du gestionnaire devront être investies dans des formations de haut niveau. De plus, il ne faut pas perdre de vue que les techniques de développement des traces digitales ne sont pas toujours appliquées par des ressources ayant une formation scientifique très poussée. La simplicité devient donc, pour le gestionnaire, un critère important pour assurer le succès du développement récurrent et efficace des traces digitales (recherche de régularité). Ainsi, la combinaison des indices de complexité et d'efficacité permet également une mesure indirecte de la possibilité d'erreur humaine. Au final, nous avons deux nouveaux critères à évaluer.

Qu'en est-il des impacts organisationnels, judiciaires et monétaires? Pour l'impact organisationnel, il s'agit d'un indice difficile à définir, et très dépendant de chaque organisation. L'impact organisationnel peut être associé à l'impact social (Interorganizational Committee on Guidelines and Principles for Social Impact Assessment, 1994). En effet, les impacts sociaux traitent des conséquences des actions sur la façon de vivre et la construction sociale de la réalité des populations affectées. Ces constructions sociales sont caractéristiques des groupes sociaux, que ce soit une organisation qui tente d'implanter le changement ou les communautés qui en seront affectées (Interorganizational Committee on Guidelines and Principles for Social Impact Assessment, 1994). Ces impacts

doivent évalués ou estimés d'avance, les conséquences sociales qui devraient suivre l'implantation d'actions spécifiques. Les impacts doivent être, au final, désirables ou indésirables au niveau social. Le but ultime de l'utilisation de cet impact demeure d'informer le gestionnaire des conséquences probables de sa décision afin de limiter les dommages collatéraux aux groupes sociaux. Cependant, l'impact social est très difficile à circonscrire. En effet, la sévérité et l'intensité de l'impact sont très variables; un impact peut avoir un effet mineur sur une population dans un endroit précis, et s'avérer avoir un impact majeur sur une autre population dans un autre contexte sociopolitique, puisque les gens de milieux sociaux différents interprètent les changements de façons différentes, et réagissent différemment (Interorganizational Committee on Guidelines and Principles for Social Impact Assessment, 1994). Comme l'environnement social (donc organisationnel) réagit en anticipation du changement selon sa construction sociale de la réalité, il peut aussi s'adapter aux nouvelles situations en étant impliqué dans le processus décisionnel, de près ou de loin, selon le principe du mini-PTA, afin de réduire l'impact du changement et en faciliter l'implantation (Beaudoin A. , 2009). L'impact organisationnel est donc également en fonction de l'habileté du gestionnaire à devenir un vecteur de changement positif dans son organisation. Devant ces faits, il devient évident que l'intégration d'un indice sur les impacts organisationnels pourrait complètement déstabiliser l'indice ForATE et en diminuer considérable la robustesse. Finalement, comme l'indice ForATE vise ultimement l'évaluation des différentes techniques et méthodes des sciences forensiques en général, dans tous contextes sociopolitiques, le retrait des impacts sociaux (et organisationnels), demeure judicieux, ne serait-ce que dans l'optique des différentes constructions sociales de la réalité qui coexistent entre les différents laboratoires de sciences forensiques (exemple : groupe social policier versus groupe social scientifique). Il est donc important d'en faire fit dans l'élaboration d'un indice universel. L'utilisation des impacts organisationnels devrait donc être pratiquée par le gestionnaire décisionnel, dans son milieu social et spécifique, et associé à l'indice ForATE dans le processus de prise de décision, ultimement en lien avec une politique de mini-PTA établie (Beaudoin A. , 2009).

Du côté judiciaire, certains chercheurs suggèrent que le meilleur indicateur d'influence pour les sciences forensiques pourrait être la corrélation entre les résultats forensiques et ceux de la police et la justice criminelle (Julian, et al., 2011). Cependant, il serait inapproprié de définir les impacts judiciaires (étude de la fréquence de suspect poursuivi, proportion d'accusés coupables ou innocents... calculer sur les résultats forensiques positifs, négatifs, ou inconcluants (Julian, et al., 2011)) comme des résultats directs des expertises forensiques, puisque, comme le précise Roux et al. (2014) ces dernières doivent transmettre aux tribunaux et à la police de l'information impartiale pour le juge. Les sciences forensiques en général, comme la spécialisation des traces digitales, offrent une contribution difficile à évaluer par l'application d'un protocole expérimental valide, ayant des impacts sur un grand nombre de dimensions qui dépendent du contexte de la réponse judiciaire et de l'activité de la police (Roux, Julian, Kelty, & Ribaux, 2014) (Ribaux, Margot, Julian, & Kelty, 2013). Cependant, Ribaux et al. (2013) précise qu'on peut obtenir de l'information pertinente par l'analyse de données moins complexes, comme la qualité des traces, la quantité, la capacité à permettre des liens entre les crimes, à supporter l'analyse des crimes, etc. Cependant, le groupe conclut que l'évaluation nécessaire pour répondre à ces questions moins complexes n'en est qu'à ses balbutiements. Roux et al (2014) définissent la réponse judiciaire comme une activité qui « n'est pas linéaire ni continue, mais peut être vue comme une succession de phases avec différents buts, des raisonnements distincts, et des façons distinctes d'utiliser l'information ». Suivant cette logique, comment pourrait-on utiliser un indice aussi peu représentatif des multiples facettes et variations situationnelles qui influencent les résultats forensiques? Peut-on vraiment tenir compte de la conclusion judiciaire d'un dossier ayant profité des résultats forensiques pour en évaluer la méthode de détection, sachant que les preuves forensiques elles-mêmes ont un effet sur la décision du procureur de poursuivre ou d'offrir un règlement en dehors du tribunal (Peterson, Sommers, Baskin, & Johnson, 2010)? La valeur est une notion qui varie suivant un jugement normatif, d'une personne (rôle, temps, cas) à l'autre. De plus,

comment pourrait-on quantifier la valeur de l'acquittement d'un suspect innocent (Tilley & Ford, 1996)?

Le résultat d'une expertise forensique, comme la détection de traces digitales, donne une information qui pourra, ultimement, identifier un suspect ou faire un lien entre des crimes. Cependant, le contexte (contact légitime, transfert secondaire, contamination, incertitude de l'identification, erreur cléricale) jouera un rôle majeur sur l'impact qu'aura cette information dans le système judiciaire. L'exploitation des résultats forensiques demeure grandement reliée à l'enquête et l'enquêteur (Roux, Julian, Kelty, & Ribaux, 2014). Ce que les résultats forensiques offrent, c'est une perspective sur la criminalité, ce qui donne du renseignement, qui, suivant l'analyse, permet de développer une stratégie pour la réduire (McCartney, 2006). Mais l'ADN, pour prendre cet exemple, ou les empreintes, n'aura jamais aucun impact direct sur le taux de criminalité. Une méthode peut accroître le taux de détection, mais c'est vraiment l'amélioration des ressources policières qui compte pour la réduction du taux de criminalité, pas le taux de détection (McCartney, 2006). L'établissement de liens entre les crimes a un impact direct et majeur sur le développement du policing (McCartney, 2006), mais le moyen de détection en soi (technique ou technologie) n'a pas d'impact direct sur la création de liens et d'intelligence. Le seul point ayant une influence indirecte sur les liens entre les crimes demeure l'efficacité d'une technique de détection. Plus la technique est efficace (indice d'efficacité), plus elle trouvera de traces et plus la possibilité d'établir des liens s'accroîtra.

Cet impact judiciaire est donc tributaire du système judiciaire local et des individus qui auront accès aux résultats forensiques. Peterson et al. (2010) spécifiait dans leur article que « Les preuves forensiques peuvent affecter la décision de présenter un cas à la Cour, mais ce n'est pas uniforme à travers tous les crimes et tous les types de preuves; l'effet de la preuve varie selon l'offense criminelle, la variété de preuve forensique, le niveau de décision criminel et d'autres caractéristiques du dossier. » Cette variabilité et l'inconstance régionale et individuelle expliquent la décision de ne pas intégrer l'impact judiciaire à l'indice

composite développé dans le cadre de cette recherche. Les impacts organisationnels et judiciaires pourront très bien être envisagés par le gestionnaire localement, tout en jugeant les techniques suivant leurs indices ForATE. L'indice n'est pas l'indicateur ultime du décisionnaire, mais un composant qui s'intégrera dans des considérations plus larges.

Enfin, pour ce qui est de l'impact monétaire, ce dernier demeure un indice bien volatil et est géopolitiquement dépendant (coûts différents dans chaque pays); les avancées technologiques et la disponibilité faisant aussi croître et décroître les prix avec le temps (Wilson, McClure, & Weisburd, 2010). On évite donc d'insérer les coûts dans l'indice composite de peur de le rendre instable. Encore une fois, le coût pourra être évalué localement par le gestionnaire, à un moment temporel donné, suivant sa situation particulière. Il sera ainsi possible, tout en demeurant prudent avec cet outil, d'utiliser une forme primitive de l'analyse coûts-efficacités (comparaison de méthodes alternatives pour atteindre des résultats similaires, mais non identiques par le ratio de bénéfices perçus sur le coût) (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011) en choisissant la technique présentant le plus de bénéfice (bénéfice défini par le ForATE) pour l'argent investi selon les prix locaux en vigueur au moment de l'analyse.

Le milieu policier est assailli d'une multitude d'offres portant sur des technologies toutes plus impressionnantes les unes que les autres. L'indice ForATE facilitera la comparaison directe entre les différentes méthodes de développement des traces digitales et permettra au gestionnaire d'y voir plus clair avant de faire des investissements. L'indice pourra alors être impliqué dans une analyse plus globale tenant compte de la situation particulière locale, en créant un outil flexible et dynamique qui permet l'intégration ultérieure du caractère géopolitique (impacts organisationnels, légaux et monétaires) unique et l'utilisation des ressources locales.

Le développement de cet indice amène un concept de capacité de recherche multiforme basé sur l'échange d'informations. Il promeut un type d'activité-conseil et non la recherche scientifique ordinaire. (Smits, Leyten, & Den Hertog, 1995). Le

résultat de l'indice combiné aux discussions locales et à l'évaluation des paramètres technologiques, organisationnels et économiques permet la remise d'un rapport favorisant la prise de décision éclairée (Vestergaard, et al., 2005) du supérieur hiérarchique.

Au final, seuls quatre critères jugés spécifiques et pertinents tirés de la littérature seront utilisés dans l'élaboration de l'indice synthétique ForATE: l'efficacité, le risque, le temps et la simplicité.

4.1.1 Indice d'efficacité

L'efficacité de la technique a précédemment été identifiée comme un critère essentiel à un bon indice composite. Une réflexion a été entreprise quant à l'intégration de données de l'efficacité venant de l'utilisation opérationnelle et pseudo-opérationnelle des techniques. Afin d'efficacement évaluer le retour sur investissement, l'évaluation des résultats finaux et recherchés doivent être définis d'une façon à pouvoir comparer convenablement les résultats, d'une technique à l'autre (Speaker, 2009). Pour ce faire, l'indice mesuré doit représenter l'uniformité et la reproductibilité des résultats (fiabilité) et l'adéquation parfaite avec le phénomène examiné (validité) (Tilley & Ford, 1996). Mais comme le fait remarquer Fletcher et al, « Même le test le plus performant ne permettra pas une interprétation valable si les conditions d'application ne sont pas clairement définies » (Fletcher, Fletcher, & Wagner, 1982). En effet, le fait de ne pas obtenir de résultats en science forensique est tributaire d'une multitude de facteurs qui sont influencés par le type de spécimen, son historique, le substrat sur lequel il se trouve ainsi que les méthodes utilisées pour le traiter, le récupérer et l'interpréter (van Oorschot, 2012). Ainsi, tout comme dans le milieu de la santé, on favorisera une évaluation de l'efficacité sous des conditions d'expérimentation contrôlées, afin de minimiser les impacts des paramètres extérieurs à l'intervention à l'étude

sur l'effet du traitement (Champagne, Brousselle, Contandriopoulos, & Harty, 2011).

Pour ce qui est du type d'étude sur lesquels baser l'évaluation de l'efficacité, le domaine médical favorise grandement l'utilisation d'études randomisées contrôlées (comparaison avec un « gold-standard ») au détriment de l'observation pour établir des inférences causales fortes sur l'efficacité d'une intervention (Smith & Pell, 2003). Mais peut-on vraiment appliquer ce raisonnement à toutes les situations? Comme Smith et Pell le faisaient remarquer, il serait intéressant de connaître l'intérêt des plus fervents partisans de l'utilisation exclusive des études randomisées contrôlées (la simple observation n'étant pas valable) à participer à un tel modèle d'étude sur le parachute (puisque cette technologie ne se base que sur l'observation, sans gold-standard) en sautant eux-mêmes de l'avion (la condition avec ou sans parachute étant établie, évidemment, aléatoirement et à l'aveugle...) (Smith & Pell, 2003)

Dans notre cadre, l'efficacité pseudo-opérationnelle sera privilégiée pour calculer cet indice, que nous nommerons indice d'efficacité, afin de pouvoir tenir compte des résultats attendus d'un échantillon dans un contexte d'étude dont la déposition de trace est connue et contrôlée, comme dans les études suivantes : (Bandey & Gibson, 2006), (Sears, 2017), (Rawji & Beaudoin, 2006). La méta-analyse demeurera une approche valable lorsqu'il sera impossible de faire une étude de validation pseudo-opérationnelle (Phase 3) locale (International Fingerprint Research Group, 2014) (coût initial de tests prohibitif ou autre), mais l'utilisateur de cette méthode devra favoriser l'inclusion d'études (de type différent) basée sur leur qualité méthodologique et certains critères d'inclusion et d'exclusion stricts. En effet, la méta-analyse, bien que puissante et accessible via la littérature, demeure une représentation générique de l'effet d'une technique, qui ne tient pas compte de la réalité locale du gestionnaire qui prendra la décision (par exemple, l'humidité relative de la ville a-t-elle un effet sur les résultats? Le laboratoire est-il installé dans un environnement contrôlé?, etc.), et présente une potentielle

instabilité en lien avec plusieurs biais (publication, surestimation, artéfacts, etc.) (Field A. , 1999) (Julian, et al., 2011).

L'étude pseudo-opérationnelle deviendra également une excellente opportunité de tester la technique dans l'environnement où elle sera appliquée, tout en permettant d'avoir un aperçu rapide de sa complexité et du temps qu'il faudra y investir.

Par contre, cela ne doit pas mettre en péril l'évaluation opérationnelle qui devrait toujours être faite avant l'implantation d'une nouvelle technique au sein d'un laboratoire de développement des traces digitales (International Fingerprint Research Group, 2014).

L'effet r de Field sera utilisé pour déterminer la grandeur de l'effet du traitement sur la révélation de traces digitales. On utilisera la grandeur de l'effet pour évaluer l'efficacité parce qu'une comparaison entre techniques pourrait grandement biaiser l'analyse. En effet, puisqu'il n'existe pas de méthode standard parfaite (Gold Standard - puisque nous n'avons aucune technique de détection absolue permettant la comparaison), l'utilisation d'un standard imparfait de comparaison avec une nouvelle méthode introduirait un biais dans l'évaluation des deux techniques. La sensibilité et la spécificité de la nouvelle technique seraient sous-estimées, pouvant même être considérablement plus basses que ses vraies valeurs (Van den Bruel, Cleemput, Aertgeerts, Ramaekers, & Buntinx, 2007). Le calcul de l'effet r de Field sera effectué pour chaque technique selon l'équation 1. Lorsqu'une méta-analyse devient nécessaire, le \bar{r} sera calculé selon l'équation 2.

L'utilisation de la grandeur de l'effet r de Field est une méthode d'évaluation de l'efficacité des traitements et/ou des évènements majoritairement utilisés en psychologie qui permet généralement de calculer l'effet vrai qu'un évènement ou qu'une intervention médicale aura sur une maladie par exemple. Le résultat de l'effet r de Field variera entre 0 (aucun effet) et 1 (un effet parfait). Le x est la variable qui décrit l'application d'une intervention ou non (dans notre cas, 1 si on applique la technique de développement, ou 0 si on n'applique aucune technique...). On utilise 1 ou 0, car nous ne voulons pas ici comparer directement

l'effet de la technique par rapport à une autre technique, mais plutôt déterminer si la technique évaluée à un effet désiré ou non. Dans le cas du y , c'est le nombre, dans notre cas, de traces développées par traitement (exemple, on fait 5 déplétions de traces digitales sur une surface... on traite à la Ninhydrine; on obtient 4 traces: la valeur de y est 4) . Évidemment, s'il n'y a pas eu de traitement ($x=0$), il n'y aura pas de trace développée ($y=0$).

Le r (étude pseudo-opérationnelle) ou le \bar{r} (méta-analyse lorsqu'incontournable) sera alors intégré à la formulation de l'indice individuel d'efficacité η :

$$I_{\eta} = 10^{3((\% \eta + r)/2)}$$

Équation 13: Indice individuel d'efficacité η - Techniques forensiques

Où le taux d'efficacité relative $\% \eta$ correspond à l'équation suivante dans laquelle :

$$\% \eta = \frac{\text{nb traces digitales trouvées}}{\text{nb traces digitales attendues}}$$

Équation 14: Taux d'efficacité relative $\% \eta$ - Techniques forensiques

Nous avons ajouté le taux d'efficacité relative à cette formule, déterminé selon les résultats de l'étude pseudo-opérationnelle ou des sources de la méta-analyse, afin de tenir compte du nombre de traces digitales attendu (taux de détection). En effet, puisque l'effet vrai ne tient compte que de l'effet du traitement sur le développement comparativement à l'absence de traitement, le taux d'efficacité relative devenait essentiel afin de nuancer l'indice suivant les résultats empiriques de l'étude pseudo-opérationnelle (voir l'équation 14).

Il fallait tenir compte du cas de figure suivant:

- Traitement à l'IND/Zn par déplétion de 4 traces déposées... On obtient 4 traces développées dans l'étude pseudo-opérationnelle. Le r aura donc un y de 4.

- Traitement à la Nin par déplétion de 6 traces déposées... On obtient 4 traces développées dans l'étude pseudo-opérationnelle. Le r aura aussi un y de 4.

Comme on ne compare pas une technique par rapport à l'autre, ce genre de résultats est très possible, car les deux études en exemple sont indépendantes, et potentiellement faites à des moments différents dans le temps... En ajoutant le taux d'efficacité relative, on s'assure qu'on tient compte des événements attendus par rapport aux résultats obtenus. Idéalement, un chercheur voudrait préférentiellement utiliser le même nombre de déplétions pour tester toutes ces techniques, mais comme ces études sont indépendantes, il est possible de rencontrer ce genre de résultats... Cela nous permet également de tenir compte des études qui pourraient provenir de méta-analyses (même si on ne le recommande pas). Cela permet ainsi de tenir compte de la variation et des effets attendus.

L'indice d'efficacité doit être évalué suivant une fonction exponentielle et non selon une fonction géométrique, tout comme les indices de risque (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005). L'évaluation selon une fonction puissance permet de représenter la prédominance de l'obtention de résultats dans l'expression de cet indice, puisque cet élément est crucial à l'utilité d'une technique de développement des traces digitales. Elle permet également d'atteindre une représentation entre 1 et 1000, tout comme les autres indices, afin d'équilibrer les valeurs et donner une force réelle aux poids attribués par l'AHP. Afin de respecter cette règle, la formule de l'indice d'efficacité suit une fonction exponentielle. On obtient donc un indice I_{η} qui variera entre 1 (efficacité nulle) et 1000 (efficacité parfaite).

L'objectif de cet indice demeure une quantification relative des techniques. Lors de l'utilisation de la technique, on utilisera la valeur du test obtenu, ainsi qu'une donnée théorique représentant l'hypothèse d'utilisation nulle (qu'arriverait-il si je ne faisais pas de test... $x=0$ et $y=0$, donc pas de résultat). Le but ultime demeure d'obtenir une objectivisation des données, positionnant, par cette règle décisionnelle systématique, chaque technique évaluée sur la même ligne de

départ, un peu comme lorsqu'on fait un test par chromatographie sur couche mince (CCM)... Tous les constituants testés par CCM partent de la même ligne de départ, puisqu'on ne veut pas caractériser ou disséquer les constituants (même chose pour les techniques), mais bien obtenir une valeur objective qui nous permettra de les comparer ultérieurement sur une base commune.

4.1.2 Indice de risque

L'indice de risque proposé par Persoons et al (2005) donnait une piste de réflexion intéressante pour cette recherche. Cependant, l'utilisation des Phrases de risque R dans le processus, et l'absence d'évaluation des risques physico-chimiques posait problème. En effet, l'entrée en vigueur du Système général harmonisé (SGH), ou Globally harmonised system of classification and labelling of chemicals (GHS) en anglais, a fait disparaître les fameuses Phrases R au profit des Codes de danger H et des Informations additionnelles EUH dans les MSDS. Le SGH est déjà en vigueur et obligatoire dans plusieurs pays (exemple : Canada, Chine, Corée, Brésil, Union Européenne, États-Unis, Japon, etc.) (European Commission; Enterprise and industry, 2012) (Chemical inspection & regulation service, 2013) (United States Department of Labor, 2010) (Gouvernement du Canada, 2015). Il fallait donc adapter l'approche de Persoons et al. Il s'agissait d'un excellent moyen d'y intégrer également les risques physico-chimiques des Codes H et EUH. Une nouvelle échelle d'évaluation du danger fut donc élaborée à partir de la littérature (Gautret de la Moricière, 2006) (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) et ajustée aux nouvelles valeurs H et EUH (Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne, 2008).

Tableau 2: Échelle d'évaluation du danger

	1	2	3
Toxicité locale	EUH066, H315, H319	EUH071, H335	H314, H318
Toxicité systémique non CMR	H302, H304, H312, H332, H336	EUH029, EUH031, H301, H311, H317, H331, H371	EUH032, EUH070, H300, H310, H330, H334, H370, H372, H373
Toxicité systémique Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique (CMR)		H341, H351, H361, H361d, H361f, H361fd, H362	H340, H350, H350i, H360, H360D, H360Df, H360F, H360Fd, H360FD
Inflammabilité	H204, H226, H228, H252	EUH018, H225, H251, H261	H220, H221, H222, H223, H224, H242, H250, H260
Stabilité	EUH044, H205	EUH006, H201, H203, H240, H241	EUH001, H200, H202
Incompatibilité	EUH014, EUH019, H270, H272	H271	

Non inclus dans l'échelle

H280 : Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur

H281 : Contient un gaz réfrigéré; peut causer des brûlures ou blessures cryogéniques

H290 : Peut être corrosif pour les métaux

H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques

H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets à long terme

H413 : Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour les organismes aquatiques

EUH059 : Dangereux pour la couche d'ozone

EUH201 : Contient du plomb. Ne pas utiliser sur les objets susceptibles d'être mâcher ou sucés par des enfants.

EUH201A : Attention! Contient du plomb.

EUH202 : Cyanoacrylate. Danger. Colle à la peau et aux yeux en quelques secondes. À conserver hors de portée des enfants.

EUH203 : Contient du Chrome (VI). Peut déclencher une réaction allergique

EUH204 : Contient des isocyanates. Peut produire une réaction allergique

EUH205 : Contient des composés époxydiques. Peut produire une réaction allergique

EUH206 : Attention! Ne pas utiliser en combinaison avec d'autres produits. Peut libérer des gaz dangereux (chlore)

EUH207 : Attention! Contient du cadmium. Des fumées dangereuses se développent pendant l'utilisation. Voir les informations fournies par le fabricant. Respecter les consignes de sécurité.

EUH208 : Contient du (de la) (nom de la substance sensibilisante). Peut produire une réaction allergique

EUH209 : Peut devenir facilement inflammable en cours d'utilisation

EUH209A : Peut devenir inflammable en cours d'utilisation

EUH210 : Fiche de données de sécurité disponible sur demande

EUH401 : Respectez les instructions d'utilisation afin d'éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement

L'indice de risque utilisera un algorithme similaire à celui publié (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005). On calculera l'indice de risque de chaque produit impliqué dans la technique avec la formule de l'équation 7.

Où

L'indice de danger se calcule comme suit :

$$I_D = 10^{(\text{Niveau de danger maximum atteint})}$$

Équation 15: Indice de danger - Techniques forensiques

L'indice d'exposition se calcule comme suit :

$$I_E = 0,1 \cdot \text{Niveau de fréquence} \cdot \text{Niveau de quantité}$$

Si $I_E = 0,9$, on le considère alors comme $I_E = 1$

Équation 16: Indice d'exposition - Techniques forensiques

Et l'indice de protection se calcule comme suit :

$$I_p = 10^{-(\text{Niveau protection le plus faible atteint}-1)}$$

Équation 17: Indice de protection - Techniques forensiques

On utilisera les paramètres d'évaluation suivants :

Fréquence :

- Moins d'une fois par semaine = niveau 1
- Une ou plusieurs fois par semaine = niveau 2
- Une ou plusieurs fois par jour = niveau 3

Quantité :

- Moins de 10 mL ou 10 g = niveau 1
- Entre 10 et 100 mL ou 10 et 100 g = niveau 2
- Plus de 100 mL ou 100 g = niveau 3

Pour la protection, on choisira le niveau le plus bas atteint pour l'ensemble des trois types de protection.

Protection respiratoire :

- Climatisation ou ventilation générale = niveau 1
- Hotte non conforme aux normes = niveau 2
- Hotte conforme mal utilisée = niveau 2
- Aspiration à la source = niveau 2
- Hotte conforme bien utilisée = niveau 3

Protection cutanée :

- Pas de gants = niveau 1
- Crème barrière ou gants mal adaptés = niveau 2
- Gants adaptés = niveau 3

Protection oculaire :

- Pas de protection = niveau 1
- Vitre de hotte baissée = niveau 2
- Lunettes de sécurité ou écran facial = niveau 3

Par la suite, on utilisera la formule générale suivante pour déterminer l'Indice de risque I_{Rtech} de la technique:

$$I_{Rtech} = \frac{(\sum_{i=1}^k I_{Di} \cdot I_{Ei} \cdot I_{Pi})}{n} + \frac{\sigma^2}{\mu}$$

Équation 18: Indice de risque I_{Rtech} de la technique

Où

I_{Rtech} = Indice de risque de la technique

I_{Di} = Indice de danger de chaque produit chimique impliqué

I_{Ei} = Indice d'exposition de chaque produit chimique impliqué

I_{Pi} = Indice de protection de chaque produit chimique impliqué

n = nombre de produits chimiques impliqués dans la technique

σ = Écart-type I_{Ri} de la population

μ = Moyenne I_{Ri} de la population

σ^2/μ = Coefficient de dispersion I_{Ri} de la population

Nous avons ajouté le coefficient de dispersion (ou ratio de la variance sur la moyenne) à la formule générale de la technique puisqu'il s'agit d'une mesure normalisée de la dispersion des valeurs (Walker J. T., 1999) d'indice de risque de chacun des produits chimiques impliqués dans la technique. On additionne le coefficient dans la formule de façon à tenir compte de la dispersion dans l'échantillon. Ceci permettra une différenciation, par exemple, d'une technique x ayant une moyenne I_R de 11 (avec le produit A à 1, le B à 1 et le C à 31); d'une

autre y avec une moyenne I_R aussi de 11 (avec un produit A à 12 et un produit B à 10). Si on fait le calcul avec le coefficient de variation, on obtient un I_{Rtechx} de 38,27 et un I_{Rtechy} de 11,18; donc x est proportionnellement plus dangereux que y . L'indice de risque I_{Rtech} variera toujours entre 0,001 (risque minimal) et 1000 (risque maximal). Les niveaux de risque pour la santé sont définis comme suit dans la littérature (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) :

- $I_{Rtech} < 4$ = Risque acceptable
- $4 \leq I_{Rtech} \leq 40$ = Risque intermédiaire
- $I_{Rtech} > 40$ = Risque inacceptable

4.1.3 Indice de simplicité (Complexité)

L'indice de simplicité implique d'analyser la simplicité d'utilisation et la simplicité de préparation de la technique. Ainsi, l'indice de simplicité (I_ϕ) sera un indice composite agrégé à partir des indices individuels de simplicité d'utilisation ($I_{\phi\gamma}$) et de préparation ($I_{\phi\omega}$). L'évaluation de la simplicité d'une technique ne devra être faite que pour les techniques utilisées au laboratoire ou sur le terrain par le participant, ou dont l'utilisation a déjà été faite par le participant par le passé (dans le cas d'un changement d'agence, de l'abandon d'une méthode, etc.). L'évaluation ne peut se faire d'une façon quantitative directe. Il faudra déterminer par sondage la simplicité des techniques (autant d'utilisation que de préparation) en utilisant une échelle de variation ordinaire à variables qualitative de la simplicité. Ces échelles devront tenir compte du fait que, en général, les gens ne peuvent gérer une information impliquant simultanément que quelques faits. En effet, selon Miller, lorsqu'on ajoute plus que 7 (plus ou moins deux) alternatives, les gens deviennent confus et ne peuvent gérer l'information convenablement (Miller, 1956). Cependant, trop peu de choix (moins de 5 alternatives) offre des performances discriminatoires plus faibles et diminue significativement la fiabilité (moins valide et moins discriminante) de l'échelle (Cox, 1980) (Preston & Colman,

2000). C'est pourquoi, dans ces échelles, nous ne dépasserons pas sept alternatives différentes et ne descendrons pas sous les cinq alternatives. Voici les échelles qui ont été utilisées lors du sondage des participants:

Tableau 3: Échelle de simplicité d'utilisation - Techniques forensiques

Valeurs	Descriptions
3	Extrêmement facile et simple d'utilisation
2	Très facile et simple d'utilisation
1	Facile et simple d'utilisation
0	Pas difficile à utiliser
-1	Difficile et complexe à utiliser
-2	Très difficile et complexe à utiliser
-3	Extrêmement difficile et complexe à utiliser

Tableau 4: Échelle de simplicité de préparation - Techniques forensiques

Valeurs	Descriptions
3	Extrêmement facile et simple à préparer
2	Très facile et simple à préparer
1	Facile et simple à préparer
0	Pas difficile à préparer
-1	Difficile et complexe à préparer
-2	Très difficile et complexe à préparer
-3	Extrêmement difficile et complexe à préparer

Lors de l'évaluation de la simplicité de préparation, il faudra tenir compte du fait qu'un participant ne prépare peut-être pas lui-même les produits pour appliquer la technique. Ainsi, si le participant achète la technique toute préparée directement

du commerce, ce dernier n'aura pas l'opportunité d'évaluer la simplicité de préparation.

Les deux sous indices de simplicité ont été élaborés suivant une fonction puissance, afin de maintenir des valeurs entre 1 et 1000, comme les autres indices. On calcule l'indice de simplicité d'utilisation ainsi:

$$I_{\varphi\gamma} = 10^{su}$$

Équation 19: Indice de simplicité d'utilisation - Techniques forensiques

Où

su = valeur sur l'échelle de simplicité d'utilisation

On calcule l'indice de simplicité de préparation ainsi:

$$I_{\varphi\omega} = 10^{sp}$$

Équation 20: Indice de simplicité de préparation - Techniques forensiques

Où

sp = valeur sur l'échelle de simplicité de préparation

Les valeurs su et sp des indices seront calculés suite à la synthèse des réponses au sondage. Pour déterminer la valeur de l'ensemble des réponses, on utilisera le mode (Mo) de la distribution. En effet, avec les données qualitatives ordinales comme les échelles de simplicité, le mode est mieux que la médiane, car la médiane sous-entend un certain ordre quantitatif et assume une équirépartition des données sans tenir compte de l'ensemble. La moyenne, pour sa part, est totalement exclue, car elle utilise les valeurs quantitatives prises par une variable et est très fortement influencée par les valeurs extrêmes d'une distribution. Elle représente également très mal une distribution asymétrique et hétérogène. De son côté, le mode constitue la valeur (modalité) qui correspond à la plus haute fréquence, et n'est pas influencé par les valeurs extrêmes. Le mode est un indicateur efficace des distributions hétérogènes (Scherrer, 1984). Advenant une

situation où la distribution observée (simplicité) est bi ou plurimodale, la valeur sera déterminée par la sélection de la médiane (Me) des modes.

On calcule finalement l'indice de simplicité ainsi:

$$I_{\varphi} = (\alpha_{\varphi\gamma} \cdot I_{\varphi\gamma}) + (\alpha_{\varphi\omega} \cdot I_{\varphi\omega})$$

Équation 21: Indice de simplicité général - Techniques forensiques

Où

$\alpha_{\varphi\gamma}$ = poids de l'indice(AHP) de simplicité d'utilisation

$\alpha_{\varphi\omega}$ = poids de l'indice(AHP)de simplicité de préparation

$$\alpha_{\varphi\gamma} + \alpha_{\varphi\omega} = 1$$

Le poids des indices sera calculé suite à l'analyse du processus hiérarchique analytique (AHP) par la comparaison par paires effectuée lors du sondage des participants. La valeur de l'indice de simplicité (I_{φ}) sera comprise entre 0,001 (extrêmement complexe) et 1000 (extrêmement facile et simple).

4.1.4 Indice de temps

L'indice de temps implique d'analyser le temps de traitement et le temps de préparation de la technique. Ainsi, l'indice de temps (I_{τ}) sera un indice composite agrégé à partir des indices individuels de temps de traitement ($I_{\tau\theta}$) et de préparation ($I_{\tau\omega}$). L'évaluation du temps d'une technique ne devra être faite que pour les techniques utilisées au laboratoire ou sur le terrain par le participant, ou dont l'utilisation a déjà été faite par le participant par le passé (dans le cas d'un changement d'agence, de l'abandon d'une méthode, etc.). L'évaluation ne peut se faire d'une façon quantitative directe puisque les variations suivant l'expérience

et la formation varieraient beaucoup trop (configuration du laboratoire, expérience de l'utilisateur, environnement du traitement, etc.). Tout comme pour l'indice de simplicité, le tout sera évalué suivant une appréciation qualitative basée sur le jugement (Cox, 1980) (Miller, 1956) (Preston & Colman, 2000). Il faudra déterminer par sondage le temps des techniques (autant de traitement que de préparation) en utilisant une échelle de variation ordinale à variables qualitative du temps. Cette façon d'évaluer cet indice permet une corrélation plus grande entre les réponses des participants et favorise une classification plus simple des données hétérogènes et asymétriques (offrant moins de poids aux potentielles données extrêmes d'une mesure quantitative, qui nécessiterait l'utilisation d'une moyenne des temps rapportés). Voici les échelles qui ont été utilisées lors du sondage des participants:

Tableau 5: Échelle de temps de traitement - Techniques forensiques

Valeurs	Descriptions
5	Très rapide
4	Rapide
3	Pas vraiment long
2	Long
1	Très long

Tableau 6: Échelle de temps de préparation - Techniques forensiques

Valeurs	Descriptions
5	Très rapide
4	Rapide
3	Pas vraiment long
2	Long
1	Très long

Lors de l'évaluation du temps de préparation, il faudra tenir compte du fait, comme nous l'avons fait précédemment, qu'un participant ne prépare peut-être pas lui-même les produits pour appliquer la technique. Ainsi, si le participant achète la technique toute préparée directement du commerce, ce dernier n'aura pas l'opportunité d'évaluer le temps de préparation.

Les deux sous indices de simplicité ont été élaborés suivant une fonction puissance, afin de maintenir des valeurs entre 1 et 1000, comme les autres indices. On calcule l'indice de temps de traitement ainsi:

$$I_{\tau\theta} = 10^{(tT-2)}$$

Équation 22: Indice de temps de traitement - Techniques forensiques

Où

tT = valeur sur l'échelle du temps de traitement

On calcule l'indice de temps de préparation ainsi:

$$I_{\tau\omega} = 10^{(tP-2)}$$

Équation 23: Indice de temps de préparation - Techniques forensiques

Où

tP = valeur sur l'échelle de temps de préparation

Les valeurs tT et tP des indices seront calculés suite à la synthèse des réponses au sondage. Pour déterminer la valeur de l'ensemble des réponses, on utilisera le mode (Mo) de la distribution. Advenant une situation où la distribution observée (temps) est bi ou plurimodale, la valeur sera déterminée par la sélection de la médiane (Me) des modes.

On calcule finalement l'indice de temps ainsi:

$$I_{\tau} = (\alpha_{\tau\theta} \cdot I_{\tau\theta}) + (\alpha_{\tau\omega} \cdot I_{\tau\omega})$$

Équation 24: Indice de temps général - Techniques forensiques

Où

$\alpha_{\tau\theta}$ = poids de l'indice(AHP) de temps de traitement

$\alpha_{\tau\omega}$ = poids de l'indice(AHP)de temps de préparation

$$\alpha_{\tau\theta} + \alpha_{\tau\omega} = 1$$

Le poids des indices sera calculé suite à l'analyse du processus hiérarchique analytique (AHP) par la comparaison par paires effectuée lors du sondage des participants. La valeur de l'indice de temps (I) sera comprise entre 0,1 (très long) et 1000 (très rapide).

4.2 Développement de l'indice – Sources lumineuses forensiques

Les indicateurs de performance utilisés pour les techniques forensiques furent conservés pour les sources lumineuses. Cependant, l'évaluation des risques pour la santé a dû être repensée pour tenir compte des particularités des effets biologiques des lumières sur la peau et les yeux.

4.2.1 Indice d'efficacité

L'efficacité de la technique demeure un indice composite incontournable pour les lumières forensiques. L'utilisation de l'effet r de Field suggéré par la littérature fut conservée pour déterminer la grandeur de l'effet du traitement sur l'objectif

d'utilisation de la lumière (que ce soit pour trouver des traces digitales, des traces de liquides biologiques ou autre). On utilisera la grandeur de l'effet pour évaluer l'efficacité parce qu'une comparaison entre différentes sources lumineuses pourrait grandement biaiser l'analyse. L'étude pseudo-opérationnelle demeure toujours la méthode recommandée pour les lumières forensiques (Lee & Khoo, 2010) (Dalrymple & Almog, 2012) (Wilkinson & Watkin, 1994), bien que la méta-analyse soit possible. Le calcul de r est effectué suivant l'équation 1. Lorsqu'une méta-analyse est effectuée, pour chaque technique, suivant les données récoltées, un \bar{r} sera calculé avec l'équation 2. Le r (étude pseudo-opérationnelle) ou le \bar{r} (méta-analyse) sera alors intégré à la formulation de l'indice individuel d'efficacité η :

$$I_{\eta} = 10^{3((\% \eta + r)/2)}$$

Équation 25: Indice individuel d'efficacité η - Lumières forensiques

Où le taux d'efficacité relative $\% \eta$ correspond à l'équation suivante dans laquelle :

$$\% \eta = \frac{\text{nb éléments trouvés}}{\text{nb éléments attendues}}$$

Équation 26: Taux d'efficacité relative $\% \eta$ - Lumières forensiques

On obtient donc un indice I_{η} qui variera entre 1 (efficacité nulle) et 1000 (efficacité parfaite).

4.2.2 Indice de risque

L'indice de risque devra être un dérivé de celui qui fut utilisé pour évaluer les risques associés aux matières dangereuses proposé par Persoons et al (2005). Pour évaluer les risques photobiologiques associés aux lumières forensiques, il fallait trouver une norme d'évaluation standardisée et reconnue au niveau mondial. C'est l'International Electrotechnical Commission qui est responsable de produire

les normes internationales relatives aux lumières et lasers. Deux normes furent sélectionnées pour évaluer le niveau de danger que représentaient les lumières forensiques, IEC 60825-1:2014 et IEC 62471:2006. Ces dernières seront donc intégrées à l'indice de danger pour les yeux et la peau (entre autres, les risques de photokératite, conjonctivite, dommages rétiniens, cataracte, brûlure de la cornée, érythème, élastose, etc.).

Au niveau des lasers, c'est la norme internationale IEC 60825-1:2014 Ed.3.0 de l'International Electrotechnical Commission qui exprime le niveau de dangerosité de ces lumières. Les lasers peuvent avoir des effets néfastes sur la peau (épiderme, derme et hypoderme, selon la longueur d'onde) et sur la rétine, la cornée ou le cristallin de l'œil. Voici les classifications des lasers selon la norme internationale.

Tableau 7: Classifications des lasers selon la norme internationale

Classe	Sous-classe	Description
1	1	Lasers sans danger pendant leur utilisation, y compris lors de l'observation directe du faisceau sur une longue période, avec ou sans dispositif optique de grossissement. Comprends également les lasers n'émettant aucun rayonnement potentiellement dangereux (totalement contenu)
	1M	Lasers sans danger pendant leur utilisation, y compris lors de l'observation directe du faisceau sur une longue période à l'œil nu. L'exposition maximale permise peut être dépassée et occasionner des lésions lors de l'observation avec un dispositif optique de grossissement.
	1C	Lasers sans danger pendant leur utilisation et destinés à une application médicale, diagnostic, thérapeutique ou cosmétique sur la peau ou les tissus biologiques internes (exemple : épilation, réduction des rides, détatouage laser, etc.).
2	2	Lasers émettant dans le visible, sans danger lors d'expositions momentanées (protection de l'œil par le réflexe palpébral - réflexe de fermeture de l'œil), avec ou sans dispositif optique de grossissement, mais qui peuvent être dangereux lors de l'observation délibérée du faisceau.
	2M	Lasers émettant dans le visible, sans danger lors d'expositions momentanées (protection de l'œil par le réflexe palpébral - réflexe de fermeture de l'œil), à l'œil nu. L'exposition maximale permise peut être dépassée et occasionner des lésions lors de l'observation avec un

		dispositif optique de grossissement, ou l'observation délibérée du faisceau.
3	3R	Lasers présentant des risques relativement faibles de lésion, mais l'exposition maximale permise peut être dépassé et occasionner des lésions lors de l'observation délibérée du faisceau.
	3B	Lasers présentant des risques de lésion lors d'expositions momentanées, y compris lors d'une exposition de courte durée accidentelle. L'observation des réflexions diffuses est normalement sans danger.
4	4	Lasers présentant des risques de lésion des yeux et de la peau lors d'expositions momentanées, y compris lors d'une exposition de courte durée accidentelle. L'observation des réflexions diffuses est dangereuse, et le laser présente des dangers d'incendie.

(International Electrotechnical Commission, 2014)

Dans le cas des sources lumineuses à radiation optique, incluant les diodes électroluminescentes (DEL), mais excluant les lasers, l'International Electrotechnical Commission a produit la norme IEC 62471:2006 pour déterminer leur dangerosité. Voici les classifications de ses autres lumières selon la norme internationale.

Tableau 8: Classifications de ses autres lumières selon la norme internationale

Classe*	Description
1	Risque faible. Aucun danger photobiologique dans le cadre d'une utilisation normale.
2	Risque modéré. Aucun danger photobiologique lors d'expositions momentanées : protection de l'œil par le réflexe palpébral (réflexe de fermeture de l'œil), inconfort thermique de la peau, etc.
3	Risque élevé. Dangers de lésions photobiologiques lors d'expositions momentanées, y compris lors d'une exposition de courte durée accidentelle.

*Si la lumière est exemptée du classement, elle ne présente aucun danger photobiologique. (International Electrotechnical Commission, 2006)

L'indice de risque utilise un algorithme similaire à la littérature (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005). On calcule l'indice de risque de la lumière évaluée avec la formule de l'équation 7.

Où

L'indice de danger se calcule comme suit pour les lasers :

$$I_D = 10^{(Classe\ IEC\ 60825-1:2014\ de\ 1\ à\ 4)-1}$$

Équation 27: Indice de danger pour les lasers - Lumières forensiques

L'indice de danger se calcule comme suit pour les autres sources lumineuses :

$$I_D = 10^{(\text{Classe IEC 62471:2006 de 1 à 3})}$$

Équation 28: Indice de danger pour les autres lumières - Lumières forensiques

L'indice d'exposition se calcule comme suit :

$$I_E = 0,1 \cdot \text{Niveau de fréquence} \cdot \text{Niveau d'environnement opérationnel}$$

Si $I_E = 0,9$, on le considère alors comme $I_E = 1$

Équation 29: Indice d'exposition - Lumières forensiques

Et l'indice de protection se calcule comme suit :

$$I_P = 10^{-(\text{Niveau protection le plus faible atteint} - 1)}$$

Équation 30: Indice de protection - Lumières forensiques

On utilisera les paramètres d'évaluation suivants :

Fréquence :

- Moins d'une fois par semaine = niveau 1
- Une ou plusieurs fois par semaine = niveau 2
- Une ou plusieurs fois par jour = niveau 3

Environnement opérationnel :

- Environnement contrôlé avec accès restreint = niveau 1
- Environnement contrôlé avec accès non-restreint = niveau 2
- Environnement non contrôlé = niveau 3

Pour la protection, on choisira le niveau le plus bas atteint pour l'ensemble des deux types de protection.

Protection cutanée :

- Pas de gants, sarrau, ou vêtement de protection = niveau 1
- Gants, sarrau ou vêtement de protection non approprié = niveau 2
- Gants, sarrau ou vêtement de protection approprié = niveau 3

Protection oculaire :

- Pas de protection = niveau 1
- Lunettes de protection non appropriées ou filtre-écran = niveau 2
- Lunettes de protection appropriées = niveau 3

Par la suite, on utilisera la formule générale suivante pour déterminer l'Indice de risque I_{Rlum} de la technique:

$$I_{Rlum} = I_D \cdot I_E \cdot I_P$$

Équation 31: Indice de risque IRLum - Lumières forensiques

Où

I_{Rlum} = Indice de risque de la lumière

I_{Di} = Indice de danger de la lumière

I_E = Indice d'exposition de la lumière

I_P = Indice de protection de la lumière

L'indice de risque I_{Rlum} variera toujours entre 0,001 (risque minimal) et 1000 (risque maximal).

4.2.3 Indice de simplicité (Complexité)

L'indice de simplicité implique d'analyser la simplicité d'utilisation et la simplicité de préparation de l'environnement. Ainsi, l'indice de simplicité (I_{ϕ}) sera un indice composite agrégé à partir des indices individuels de simplicité d'utilisation ($I_{\phi\gamma}$) et de préparation ($I_{\phi\omega}$), tout comme avec les techniques forensiques. L'évaluation est faite selon une échelle qualitative:

Tableau 9: Échelle de simplicité d'utilisation - Lumières forensiques

Valeurs	Descriptions
3	Extrêmement facile et simple d'utilisation
2	Très facile et simple d'utilisation
1	Facile et simple d'utilisation
0	Pas difficile à utiliser
-1	Difficile et complexe à utiliser
-2	Très difficile et complexe à utiliser
-3	Extrêmement difficile et complexe à utiliser

Tableau 10: Échelle de simplicité de préparation de l'environnement - Lumières forensiques

Valeurs	Descriptions
3	Extrêmement facile et simple à préparer
2	Très facile et simple à préparer
1	Facile et simple à préparer
0	Pas difficile à préparer
-1	Difficile et complexe à préparer
-2	Très difficile et complexe à préparer
-3	Extrêmement difficile et complexe à préparer

Lors de l'évaluation de la simplicité de préparation de l'environnement, il faudra tenir compte de la complexité relative à couvrir les miroirs, boucher les fenêtres, restreindre l'accès, obscurcir suffisamment, etc.

On calcule l'indice de simplicité d'utilisation ainsi:

$$I_{\varphi Y} = 10^{su}$$

Équation 32: Indice de simplicité d'utilisation - Lumières forensiques

Où

su = valeur sur l'échelle de simplicité d'utilisation

On calcule l'indice de simplicité de préparation de l'environnement ainsi:

$$I_{\varphi \varpi} = 10^{sp}$$

Équation 33: Indice de simplicité de préparation de l'environnement - Lumières forensiques

Où

sp = valeur sur l'échelle de simplicité de préparation de l'environnement

Les valeurs su et sp des indices seront calculés suite à la synthèse des réponses au sondage. Pour déterminer la valeur de l'ensemble des réponses, la même méthode décrite dans la section « Indice de simplicité (Complexité) ».

On calcule finalement l'indice de simplicité ainsi:

$$I_{\varphi} = (\alpha_{\varphi\Upsilon} \cdot I_{\varphi\Upsilon}) + (\alpha_{\varphi\varpi} \cdot I_{\varphi\varpi})$$

Équation 34 : Indice de simplicité général - Lumières forensiques

Où

$\alpha_{\varphi\Upsilon}$ = poids de l'indice(AHP) de simplicité d'utilisation

$\alpha_{\varphi\varpi}$ = poids de l'indice(AHP)de simplicité de préparation de l'environnement

$$\alpha_{\varphi\Upsilon} + \alpha_{\varphi\varpi} = 1$$

Le poids des indices sera calculé suite à l'analyse du processus hiérarchique analytique (AHP) par la comparaison par paires effectuée lors du sondage des participants. La valeur de l'indice de simplicité (I_{ϕ}) sera comprise entre 0,001 (extrêmement complexe) et 1000 (extrêmement facile et simple).

4.2.4 Indice de temps

L'indice de temps implique d'analyser le temps de traitement et le temps de préparation/attente. Ainsi, l'indice de temps (I_t) sera un indice composite agrégé à partir des indices individuels de temps de traitement ($I_{t\Theta}$) et de préparation/attente ($I_{t\varpi}$), tout comme avec les techniques forensiques.

L'évaluation est faite selon une échelle qualitative:

Tableau 11: Échelle de temps de traitement - Lumières forensiques

Valeurs	Descriptions
5	Très rapide
4	Rapide
3	Pas vraiment long
2	Long
1	Très long

Lors de l'évaluation du temps de traitement, il faudra tenir compte des délais d'observation (une lumière plus faible peut allonger le temps d'observation pour détecter des indices) et d'exposition (temps d'exposition nécessaire à la prise de photographie des indices recherchés).

Tableau 12: Échelle de temps de préparation/attente - Lumières forensiques

Valeurs	Descriptions
5	Très rapide
4	Rapide
3	Pas vraiment long
2	Long
1	Très long

Lors de l'évaluation du temps de préparation/attente, il faudra tenir compte des délais d'allumage de l'appareil ainsi que du temps de refroidissement de l'appareil suivant sa fermeture.

On calcule l'indice de temps de traitement ainsi:

$$I_{\tau\theta} = 10^{(tT-2)}$$

Équation 35: Indice de temps de traitement - Lumières forensiques

Où

tT = valeur sur l'échelle du temps de traitement

On calcule l'indice de temps de préparation/attente ainsi:

$$I_{\tau\omega} = 10^{(tP-2)}$$

Équation 36: Indice de temps de préparation/attente - Lumières forensiques

Où

tP = valeur sur l'échelle de temps de préparation

Les valeurs tT et tP des indices seront calculés suite à la synthèse des réponses au sondage. Pour déterminer la valeur de l'ensemble des réponses, on utilisera le mode (Mo) de la distribution. Advenant une situation où la distribution observée (temps) est bi ou plurimodale, la valeur sera déterminée par la sélection de la médiane (Me) des modes.

On calcule finalement l'indice de temps ainsi:

$$I_{\tau} = (\alpha_{\tau\theta} \cdot I_{\tau\theta}) + (\alpha_{\tau\omega} \cdot I_{\tau\omega})$$

Équation 37: Indice de temps général - Lumières forensiques

Où

$\alpha_{\tau\theta}$ = poids de l'indice(AHP) de temps de traitement

$\alpha_{\tau\omega}$ = poids de l'indice(AHP) de temps de préparation/attente

$$\alpha_{\tau\theta} + \alpha_{\tau\omega} = 1$$

Le poids des indices sera calculé suite à l'analyse du processus hiérarchique analytique (AHP) par la comparaison par paires effectuée lors du sondage des participants. La méthodologie a été démontrée dans la section "La science de l'aide décisionnelle à la rescousse". La valeur de l'indice de temps (I_t) sera comprise entre 0,1 (très long) et 1000 (très rapide).

4.3 Indice synthétique "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE)

L'indice synthétique final ForATE (I_{ForATE}) sera calculé comme suit:

$$I_{ForATE} = (\alpha_\eta \cdot I_\eta) - (\alpha_R \cdot I_R) + (\alpha_\phi \cdot I_\phi) + (\alpha_\tau \cdot I_\tau) + (\alpha_R \cdot 1000)$$

Équation 38: Indice synthétique ForATE (IForATE)

Soit:

$$\alpha_\eta + \alpha_R + \alpha_\phi + \alpha_\tau = 1$$

Dans la formule de I_{ForATE} , vous remarquerez que l'indice de risque I_R est soustrait du ForATE. Cette utilisation est toute logique puisque l'indice I_R traduit une augmentation du risque avec l'augmentation de sa valeur. Comme l'augmentation du risque ne correspond pas à un bénéfice, mais bien à une lacune pour un gestionnaire, nous utilisons la soustraction pour marquer l'effet négatif du risque, ce qui implique que plus le risque sera grand, plus l'indice souffrira de ce danger, et vice-versa. Ainsi, un I_R de 1000 (très risqué) aura un impact de -1000 sur l'indice composite, alors qu'un indice de 0,001 (minimum de risque) aura un impact de -0,001; le tout pondéré suivant la valeur obtenue par sondage grâce au calcul du processus de hiérarchie analytique (AHP) expliqué précédemment. De plus, on ajoute à la formule la valeur maximum de I_R ($\alpha_R \cdot 1000$) dans l'indice ForATE, de façon à déplacer la courbe de l'indice vers les positifs. En effet, le fait de soustraire

le risque à l'indice ForATE pourrait provoquer, dans les situations extrêmes, l'obtention de résultats ForATE négatifs. En ajoutant la valeur maximum de I_R ($\alpha_R \cdot 1000$) dans l'indice ForATE, on déplace la courbe vers les positifs, de façon à en faciliter la lecture par les utilisateurs

La valeur de l'indice ForATE (I_{ForATE}) sera faible lorsqu'il tendra vers 0 et forte lorsqu'il tendra vers 1000. Cela implique que plus l'indice ForATE sera élevé, plus les bénéfices de la technique seront grands, et inversement.

5 Détermination des Coefficients (poids) des critères de l'indice

Afin de déterminer le poids des critères de notre indice composite, nous avons fait un sondage électronique, comparant chacun d'eux par paire, les évaluant du plus au moins important (1 = valeur égale; 9 = hautement plus important, tel que défini à la section « Méthodologie ». Le sondage a permis d'obtenir l'avis de 126 experts du domaine (n=126) en provenance du Canada, des États-Unis et du Royaume-Uni.

Suivant le sondage, les experts ont déterminé l'importance des critères selon la matrice ci-dessous :

Critères	Efficacité	Risque santé	Temps	Simplicité
Efficacité	1	7	7	8
Risque santé	1/7	1	9	9
Temps	1/7	1/9	1	1
Simplicité	1/8	1/9	1	1

$$M = \begin{bmatrix} 1/1 & 7/1 & 7/1 & 8/1 \\ 1/7 & 1/1 & 9/1 & 9/1 \\ 1/7 & 1/9 & 1/1 & 1/1 \\ 1/8 & 1/9 & 1/1 & 1/1 \end{bmatrix}$$

On convertit ensuite les fractions de la matrice M en chiffres à 4 décimales pour en faire le carré tel que décrit à l'équation 11. On calcule ensuite le vecteur « propre » (eigenvector) de la matrice résultante et on effectue une itération du processus jusqu'à ce qu'on n'observe plus de différence (à 4 décimales) entre les deux vecteurs propres consécutifs. On obtient alors le vecteur propre suivant après 5 itérations :

$$\xi = \begin{bmatrix} 0,6634 \\ 0,2476 \\ 0,0458 \\ 0,0432 \end{bmatrix}$$

Nous obtenons donc les valeurs relatives de chaque critère :

$$\begin{aligned} \text{Efficacité} &= 0,6634 = \text{plus important} = \text{valeur de } 66,34\% \\ \text{Risque Santé} &= 0,2476 = \text{2e plus important} = \text{valeur de } 24,76\% \\ \text{Temps} &= 0,0458 = \text{3e plus important} = \text{valeur de } 4,58\% \\ \text{Simplicité} &= 0,0432 = \text{4e plus important} = \text{valeur de } 4,32\% \end{aligned}$$

Pour ce qui est de la valeur des sous-critères Temps de préparation/Temps de traitement et Simplicité de préparation/Simplicité de traitement, les experts ont déterminé que les critères étaient d'égale importance dans tous les cas.

$$\begin{aligned} \text{Temps de traitement} &= 0,5000 = \text{valeur de } 50,00\% = 2,29\% \text{ total} \\ \text{Temps de préparation} &= 0,5000 = \text{valeur de } 50,00\% = 2,29\% \text{ total} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Simplicité de traitement} &= 0,5000 = \text{valeur de } 50,00\% = 2,16\% \text{ total} \\ \text{Simplicité de préparation} &= 0,5000 = \text{valeur de } 50,00\% = 2,16\% \text{ total} \end{aligned}$$

On obtient donc un indice synthétique final ForATE (I_{ForATE}) de:

$$I_{ForATE} = (0,6634 \cdot I_{\eta}) - (0,2476 \cdot I_R) + (0,0432 \cdot I_{\varphi}) + (0,0458 \cdot I_{\tau}) + (0,2476 \cdot 1000)$$

Équation 39: Indice synthétique final ForATE (IForATE)

Par la suite, les sondés devaient donner leur opinion concernant différentes techniques forensiques sur le temps et la simplicité de préparation et d'utilisation (voir annexe 5).

6 Application pratique de l'indice ForATE

Quelques applications pratiques de l'indice ForATE furent effectuées pour démontrer son fonctionnement en situation réelle. Dans ce cadre, des études pseudo-opérationnelles furent réalisées afin de comparer les techniques des développements de traces digitales sur les surfaces poreuses.

6.1 1,2-Indanedione/Chlorure de zinc versus 1,8-Diazafluoren-9-one

Pendant plusieurs années, le débat pour déterminer qui de 1,2-Indanedione/Chlorure de zinc (IND/Zn) ou du 1,8-Diazafluoren-9-one (DFO) devait être favorisé sur le terrain, a fait rage (Roux, Jones, Lennard, & Stoilovic, 2000) (Merrick, Gardner, Sears, & Hewlett, 2002) (Wallace-Kunkel, Lennard, Stoilovic, & Roux, 2007) (Lam, et al., 2013) (D'Elia, Materazzi, Iuliano, & Niola, 2015) (Levin-Elad, Liptz, Bar-Or, & Almog, 2017). Aujourd'hui, l'IND/Zn a clairement pris l'avance, considérant que le Defense Science and Technology Laboratory prévoit l'intégrer aux méthodes usuelles de la prochaine édition son Manuel renommé (Bandey H. L., 2014). Il s'agissait donc d'une comparaison très bien choisie pour l'application du ForATE. Pour cette démonstration, les données brutes d'une étude pseudo-opérationnelle effectuée en 2013 dans le laboratoire de la Sûreté du Québec furent utilisées (Li & Beaudoin, 2015). Pas moins de 2016 traces digitales (n=2016) ont été déposées par déplétion de 6 sur quatre substrats poreux différents, conservés pour des intervalles de temps et dans des conditions d'humidité contrôlées. Toutes les traces furent coupées en deux pour permettre un traitement de chacun des côtés par un réactif différent. Les traces développées ont ensuite été évaluées par leur qualité selon l'échelle du CAST (Bandey & Gibson, 2006), de 0 à 4. Les traces ayant obtenu des notes de 3 ou 4 furent considérées comme ayant un potentiel d'analyse suffisant pour une identification. Seules ces dernières traces furent considérées.



Figure 5: Distribution du nombre de traces de qualité 3 & 4 développées par technique lors de l'étude pseudo-opérationnelle IND/Zn - DFO

L'effet r de Field fut calculé pour les deux techniques et intégré à la formulation de l'indice individuel d'efficacité η (voir équation 1).

$$r \text{ de } IND/Zn = \frac{0,5383}{\sqrt{0,1128} \cdot \sqrt{2,6465}} = 0,9854$$

$$\% \eta \text{ de } IND/Zn = \frac{592}{2016} = 0,29$$

$$I_{\eta-IND/Zn} = 10^{3((0,29+0,9854)/2)} = 469$$

Le η calculé pour l'IND/Zn est de 0,29, alors que pour le DFO, il est de 0,21. Ce qui donne un indice d'efficacité de :

- IND/ZN = 469
- DFO = 178

Pour l'indice de risque, l'indice de danger fut calculé selon les phrases de risque des fiches de sécurité des produits de la formulation recommandée par les procédures de la Sûreté du Québec (McMullen, Beaudoin, & Bellemarre, 2020).

Tableau 13: Recette et phrases de risque pour l'IND/Zn

Qté	Nom	Phrases H	danger Niv	Santé Risque
1 g	Chlorure de zinc	H302, H314, H335, H400, H410	3	2
50 ml	Acide acétique glaciale	H226, H332, H314, H318, H402	3	4
1 g	Indanedione	H302, H315, H317, H318, H335	3	2
400 ml	Éthyle acétate	H225, H319, H336, EUH066	2	0,6
4000 ml	HFE 7100	Aucune	0	0,006
	Risque pour la santé global			3,108

Tableau 14: Recette et phrases de risque pour le DFO

Qté	Nom	Phrases H	Niv danger	Risque Santé
2 g	DFO	Aucune	0	0,002
160 ml	Méthanol purifié	H225, H301, H311, H331, H370	3	6
80 ml	Acide acétique glaciale	H226, H332, H314, H318, H402	3	4
3760 ml	HFE 7100	Aucune	0	0,006
	Risque pour la santé global			6,094

Considérant une utilisation dans un laboratoire dans les normes de la Santé/sécurité, l'indice de risque est donc de :

- IND/ZN = 3,108
- DFO = 6,094

Pour le calcul des indices de temps et de simplicité, les réponses données par les experts furent utilisées pour objectiver le processus (voir annexe 5).

Indice de Temps :

- IND/Zn = 20,811
- DFO = 65,811

Indice de simplicité :

- IND/Zn = 10
- DFO = 550

Indice ForATE final (voir équation 38) :

$$ForATE_{IND/Zn} = (0,6634 \cdot 469) - (0,2476 \cdot 3,108) + (0,0432 \cdot 10) + (0,0458 \cdot 20,811) + (0,2476 \cdot 1000)$$

$$ForATE_{IND/Zn} = 559,35$$

- IND/Zn = 559,35
- DFO = 390,95

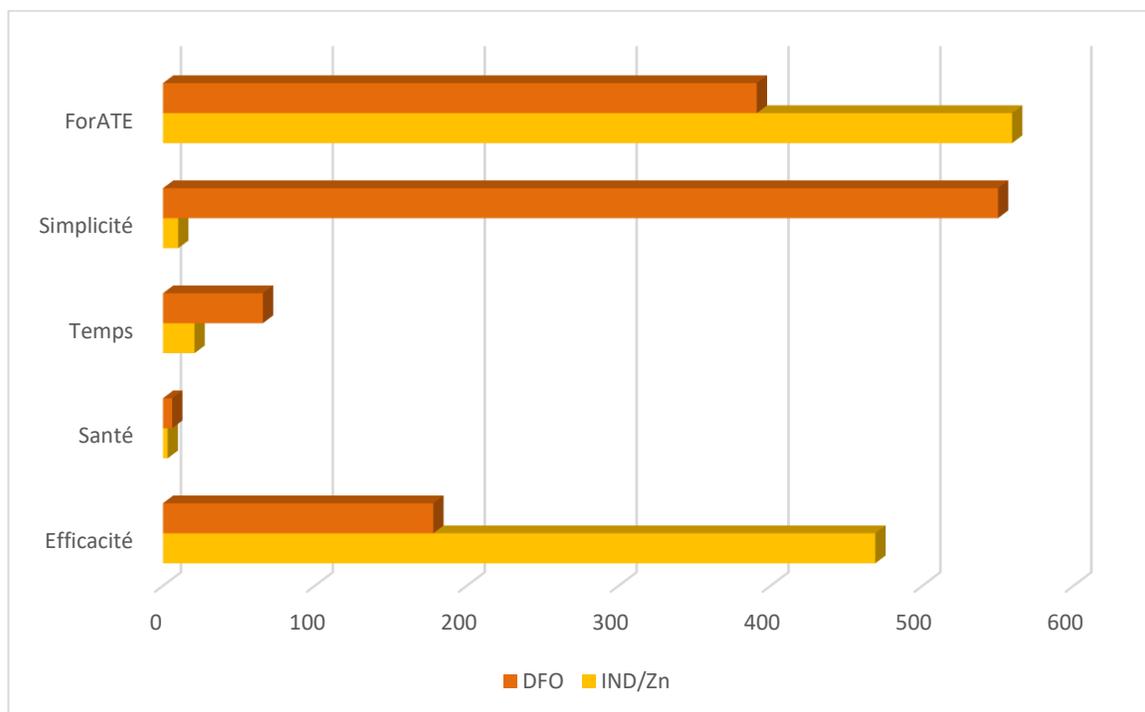


Figure 6: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude pseudo-opérationnelle IND/Zn - DFO

En conclusion, les résultats de l'indice ForATE nous informe, en tant que gestionnaire, que si vous devez faire un choix entre l'IND/Zn et le DFO en termes d'implantation dans votre organisation, suivant l'étude pseudo-opérationnelle faite localement, votre meilleure option serait d'implanter l'IND/Zn. On apprend aussi, par les indices individuels qui composent le ForATE, que les produits contenus dans le DFO sont plus dangereux proportionnellement parlant pour la santé que ceux de l'IND/Zn. Si vous êtes en mesure d'investir dans l'implantation des deux techniques, l'indice ForATE vous informe que les deux méthodes offrent des résultats intéressants. L'IND/Zn présente, pour sa part, un risque pour la santé acceptable, tandis que le DFO présente un faible risque intermédiaire pour vos employés (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005).

6.2 Oil Red O versus Révélateur Physique

Le débat suivant est toujours d'actualité, à savoir s'il est préférable d'utiliser l'Oil Red O (ORO) ou le Révélateur Physique (PD) (Beaudoin A. , 2004) (Rawji & Beaudoin, 2006) (Salama, Aumeer-Donovan, Lennard, & Roux, 2008) (Wood & James, 2009) (Frick, Fritz, Lewis, & Van Bronswijk, 2013) (Honig & Yoak, 2016) (Frick A. , et al., 2017) (Burke, 2020). En termes d'efficacité, il a été démontré que le ORO est supérieur au PD dans les 14 premiers jours suivant la déposition des empreintes, et que le PD reprend l'avantage par la suite. Voyons ce que le ForATE pourra nous dire sur les deux méthodes. Pour cette démonstration, les données brutes d'une étude effectuée en 2005 dans le laboratoire de la Sûreté du Québec (SQ) furent utilisées (Rawji & Beaudoin, 2006). L'étude pseudo-opérationnelle testait les deux méthodes sur une période de 30 jours. Pour les besoins de la démonstration, les données seront divisées en deux : 1) les échantillons vieilliss entre 0 et 14 jours, et 2) les échantillons vieilliss entre 15 et 30 jours. Pour la série 1), 700 traces digitales (n=700) ont été déposées par déplétion de 5, alors que pour la série 2) 185 traces digitales (n=185) ont été déposées par déplétion de 5. Deux substrats poreux différents ont été utilisés (le papier thermique a été

volontairement retiré des données, considérant que le PD n'a jamais été efficace sur cette surface), conservés au sec ou mouillés selon les échantillons. Toutes les traces furent coupées en deux pour permettre un traitement de chacun des côtés par un réactif différent. Les traces développées ont ensuite été évaluées selon une échelle similaire à celle du CAST (Bandey & Gibson, 2006), de 0 à 2 (la note de 0 étant attribuée lorsqu'il n'y avait aucun développement; 1 lorsqu'il y avait de faibles traces, non exploitables; et 2 uniquement aux traces présentant suffisamment de détails pour une comparaison – donc les traces qui auraient eu un résultat de 3 ou 4 sur l'échelle du CAST – cette dernière échelle n'étant pas en utilisation à la SQ à l'époque des tests). Seules les traces ayant obtenu des notes de 2 furent considérées.

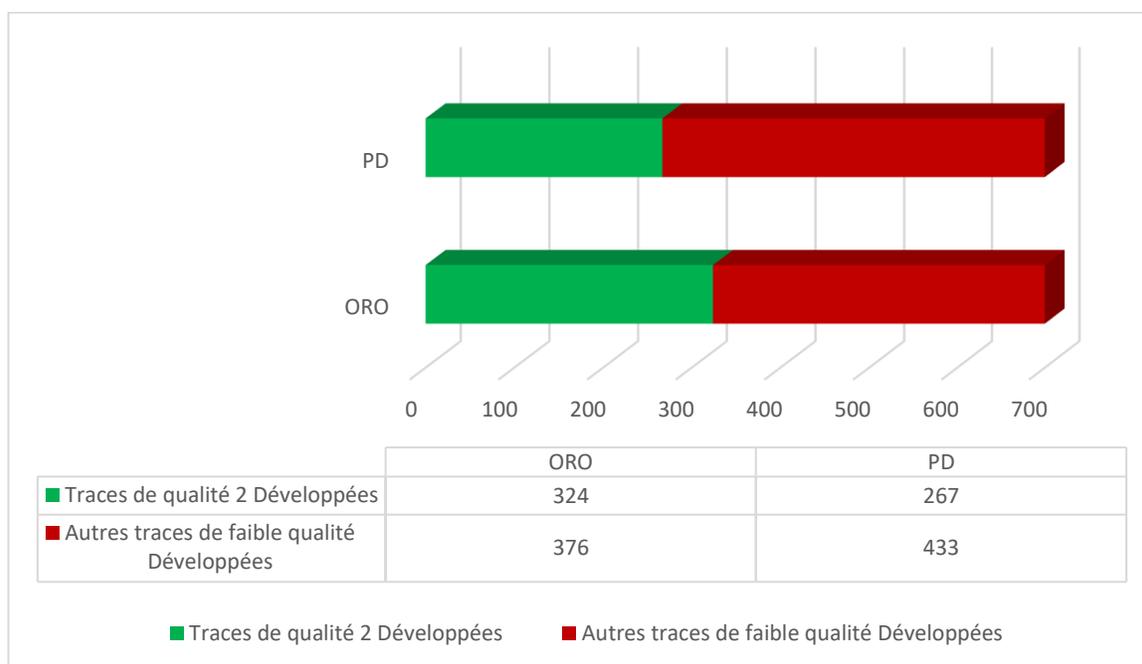


Figure 7: Distribution du nombre de traces de qualité 2 développées par technique lors de l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 0 et 14 jours de vieillissement

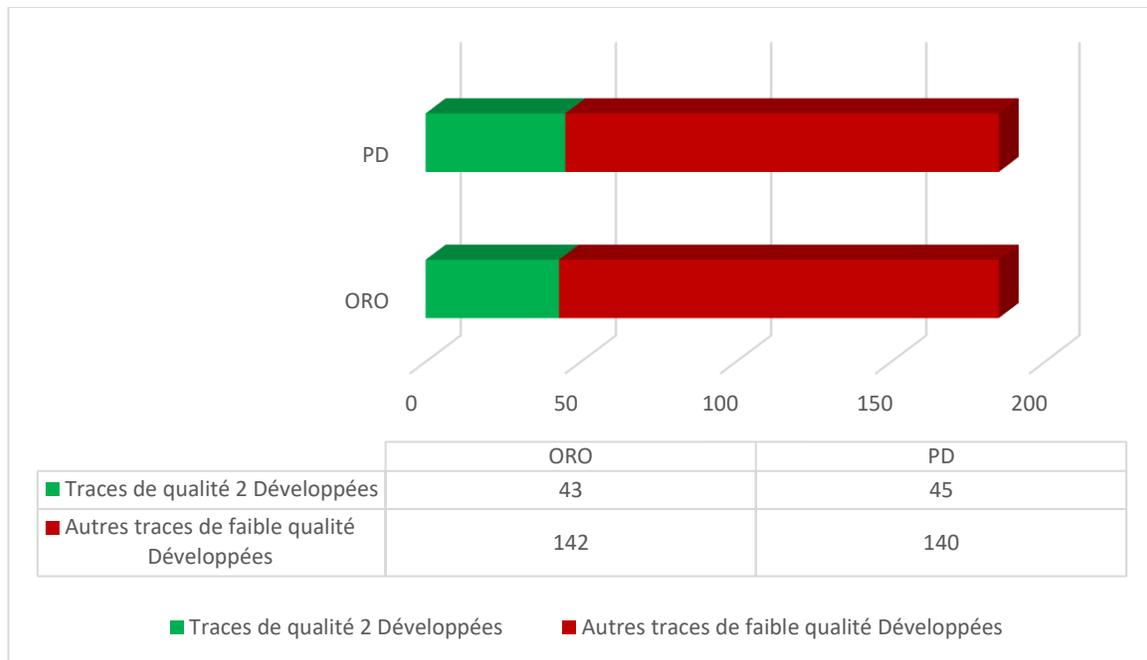


Figure 8: Distribution du nombre de traces de qualité 2 développées par technique lors de l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 15 et 30 jours de vieillissement

L'effet r de Field fut calculé pour les deux techniques et intégré à la formulation de l'indice individuel d'efficacité η (voir équation 1). Ce qui donne les indices d'efficacité de :

0 à 14 jours :

- ORO = 67
- PD = 45

15 à 30 jours :

- ORO = 19
- PD = 22

Ces résultats représentent bien la réalité observée sur le terrain (Rawji & Beaudoin, 2006) (Salama, Aumeer-Donovan, Lennard, & Roux, 2008) (McMullen, Beaudoin, & Bellemarre, 2020).

Pour l'indice de risque, l'indice de danger fut calculé selon les phrases de risque des fiches de sécurité des produits de la formulation recommandée par les procédures de la Sûreté du Québec (McMullen, Beaudoin, & Bellemarre, 2020).

Tableau 15: Recette et phrases de risque pour l'ORO

Qté	Nom	Phrases H	Niv danger	Risque Santé
6,16 g	Oil Red O	Aucune	0	0,001
3080 ml	Méthanol	H225, H301, H311, H331, H370	3	3
36,8 g	Hydroxyde de sodium	H314, H318, H402	3	2
920 ml	Eau distillée	Aucune	0	0,003
	Risque pour la santé global			3,047

Tableau 16: Recette et phrases de risque pour le PD

Qté	Nom	Phrases H	danger Niv	Risque Santé
1000 ml	Acide acétique glaciale	H226, H332, H314, H318, H402	3	3
100 g	Acide maléique	H302, H312, H315, H318, H317, H335, H412	3	2
2,7 g	N-Dodecylamine acétate	H312, H332, H302, H319, H315, H335	2	0,1
4 g	Symperonic N	H413	0	0,001
30 g	Nitrate ferrique	H272, H315, H319, H335	2	0,2
80g	Sulfate ferreux ammoniacal	H315, H319, H335	2	0,2
20 g	Acide citrique	H319	1	0,02
5 g	Nitrate d'argent	H272, H314, H318, H290, H400, H410	3	1
8925 ml	Eau distillée	Aucune	0	0,003
	Risque pour la santé global			2,339

Considérant une utilisation dans un laboratoire dans les normes de la Santé/sécurité, l'indice de risque est donc de :

- ORO = 3,047
- PD = 2,339

Pour le calcul des indices de temps et de simplicité, les réponses données par les experts furent utilisées pour objectiver le processus (voir annexe 5).

Indice de Temps :

- ORO = 6,5811
- PD = 0,1

Indice de simplicité :

- ORO = 55
- PD = 0,1

Indice ForATE de 0 à 14 jours :

- ORO = 293,97
- PD = 276,88

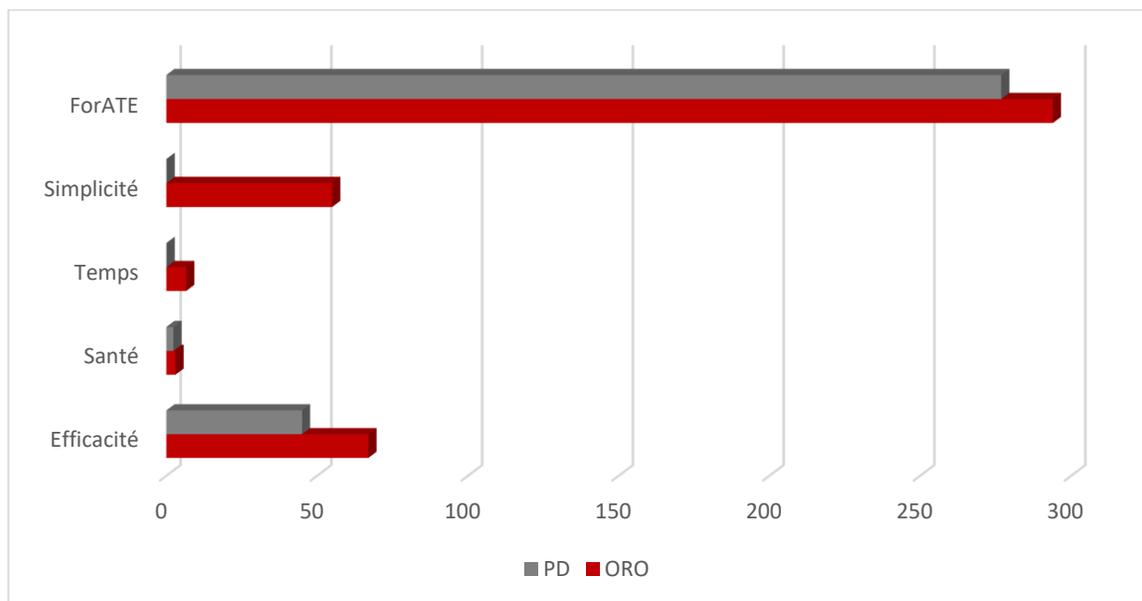


Figure 9: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 0 et 14 jours de vieillissement

Le ORO prend facilement la tête entre 0 et 14 jours de vieillissement, comme attendu.

Indice ForATE de 15 à 30 jours :

- ORO = 262,13
- PD = 261,63

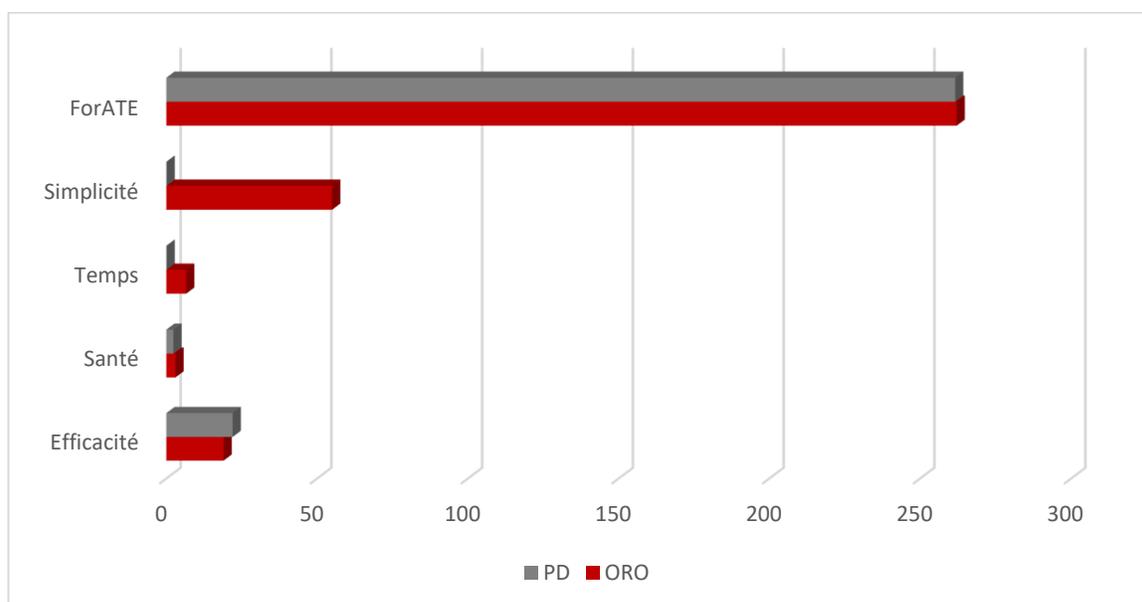


Figure 10: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude pseudo-opérationnelle ORO – PD entre 15 et 30 jours de vieillissement

C'est dans cette situation que nous rencontrons une surprise. Malgré une performance moins grande que le PD, l'ORO passe devant le PD au niveau de l'indice ForATE, de par sa simplicité et sa rapidité de traitement entre 15 et 30 jours de vieillissement.

En conclusion, les résultats de l'indice ForATE nous informe, en tant que gestionnaire, que si vous devez faire un choix entre l'ORO et le PD en termes d'implantation dans votre organisation, suivant l'étude pseudo-opérationnelle faite localement, votre meilleure option serait d'implanter l'ORO entre 0 et 14 jours ainsi qu'entre 15 et 30 jours. On apprend aussi, par les indices individuels qui composent le ForATE, que les produits contenus dans l'ORO sont légèrement plus dangereux pour la santé que ceux du PD, toutes proportions gardées. Si vous êtes en mesure d'investir dans l'implantation des deux techniques, l'indice ForATE vous informe que les deux méthodes offrent une efficacité plutôt faible, l'ORO étant simple et facile d'utilisation tandis que le PD est complexe, mais les deux présentant un risque global pour la santé acceptable pour vos employés (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005).

6.3 1,2-Indanedione/Chlorure de zinc versus Ninhydrine

D'un point de vue purement théorique, nous présenterons ici une confrontation entre le 1,2-Indanedione/Chlorure de zinc (IND/Zn) et le Ninhydrine (Nin), bien qu'il soit clair que les deux méthodes ne sont pas du tout en compétition dans le domaine (Roux, Jones, Lennard, & Stoilovic, 2000), surtout qu'il a été démontré que ces deux méthodes sont plutôt complémentaires au final (Mangle, Xu, & de Puit, 2015). Comment le ForATE réagit-il avec ces deux méthodes? Est-ce qu'une étude de phase 1 (preuve de concept) pour le calcul du ForATE au lieu d'une étude de phase 3 (pseudo-opérationnelle) aurait un impact sur les capacités d'analyse et d'interprétation (International Fingerprint Research Group, 2014)?

Pour les besoins de la cause (pour générer des chiffres d'efficacité contemporains et alimenter cet exercice de comparaison non serré), une courte étude de 26 donneurs, hommes et femmes, âgés de 15 à 60 ans, fut effectuée sur un seul substrat poreux (rappelons que nous sommes ici dans une étude de phase 1 – preuve de concept, et non dans une étude pseudo-opérationnelle) (International

Fingerprint Research Group, 2014). Cette démonstration a été mise en place afin d'étudier les impacts d'un mauvais choix d'étude (preuve de concept au lieu de pseudo-opérationnelle) pour calculer l'indice ForATE et l'utiliser lors d'une analyse coût-efficacité, même en comparant des techniques dans une course dont l'issue est clairement évidente dans le domaine, l'IND/Zn étant plus performant que la Ninhydrine (McMullen, Beaudoin, & Bellemarre, 2020).

Les participants ont déposé 5 traces non chargées en déplétion à deux reprises, par donneur, sur du papier blanc. Au total, 260 traces (n=260) furent récupérées pour l'étude. Toutes les traces furent coupées en deux pour permettre un traitement de chacun des côtés par un réactif différent. Les traces développées ont ensuite été évaluées selon l'échelle du CAST (Bandey & Gibson, 2006), de 0 à 4. Les traces ayant obtenu des notes de 3 ou 4 furent considérées comme ayant un potentiel d'analyse suffisant pour une identification. Seules ces traces furent considérées. Voici les résultats par individu :

Tableau 17: Résultats bruts de l'étude pseudo-opérationnelle IND/Zn - Nin

Donneur	Nb traces de qualité 3 & 4 développées par IND/Zn (2 fois 5 déplétions)	Nb traces de qualité 3 & 4 développées par Nin (2 fois 5 déplétions)
1	7	9
2	10	5
3	10	9
4	6	10
5	8	6
6	8	4
7	1	0
8	7	5
9	7	3
10	4	4
11	10	5
12	6	1
13	3	1
14	4	3
15	10	3
16	5	3

17	10	6
18	9	5
19	10	9
20	7	4
21	0	0
22	9	3
23	9	6
24	9	7
25	10	8
26	6	1



Figure 11: Distribution du nombre de traces de qualité 3 & 4 développées par donneurs lors de l'étude de preuve de concept IND/Zn - Nin

L'effet r de Field fut calculé pour les deux techniques et intégré à la formulation de l'indice individuel d'efficacité η (voir équation 1). Le $\% \eta$ calculé pour l'IND/Zn est de 0,71, alors que pour la Nin, il est de 0,46. Ce qui donne un indice d'efficacité de :

- IND/ZN = 260
- Nin = 72

Pour l'indice de risque, l'indice de danger fut calculé selon les phrases de risque des fiches de sécurité des produits de la formulation recommandée par les procédures de la Sûreté du Québec (McMullen, Beaudoin, & Bellemarre, 2020).

Tableau 18: Recette et phrases de risque pour l'IND/Zn

Qté	Nom	Phrases H	Niv danger	Risque Santé
1 g	Chlorure de zinc	H302, H314, H335, H400, H410	3	2
50 ml	Acide acétique glaciale	H226, H332, H314, H318, H402	3	4
1 g	Indanedione	H302, H315, H317, H318, H335	3	2
400 ml	Éthyle acétate	H225, H319, H336, EUH066	2	0,6
4000 ml	HFE 7100	Aucune	0	0,006
	Risque pour la santé global			3,108

Tableau 19: Recette et phrases de risque pour la Nin

Qté	Nom	Phrases H	danger Niv	Risque Santé
100 g	Ninhydrine	H302, H315, H319, H335	2	0,4
400 ml	Éthanol	H226, H315, H319, H350, H361, H370	3	6
200 ml	Acide acétique glaciale	H226, H332, H314, H318, H402	3	6
4000 ml	HFE 7100	Aucune	0	0,006
	Risque pour la santé global			6,722

Considérant une utilisation dans un laboratoire dans les normes de la Santé/sécurité, l'indice de risque est donc de :

- $IND/ZN = 3,108$
- $Nin = 6,722$

Pour le calcul des indices de temps et de simplicité, les réponses données par les experts furent utilisées pour objectiver le processus (voir annexe 5).

Indice de Temps :

- $IND/Zn = 20,811$
- $Nin = 100$

Indice de simplicité :

- IND/Zn = 10
- Nin = 1000

Indice ForATE :

- IND/Zn = 420,70
- Nin = 341,48

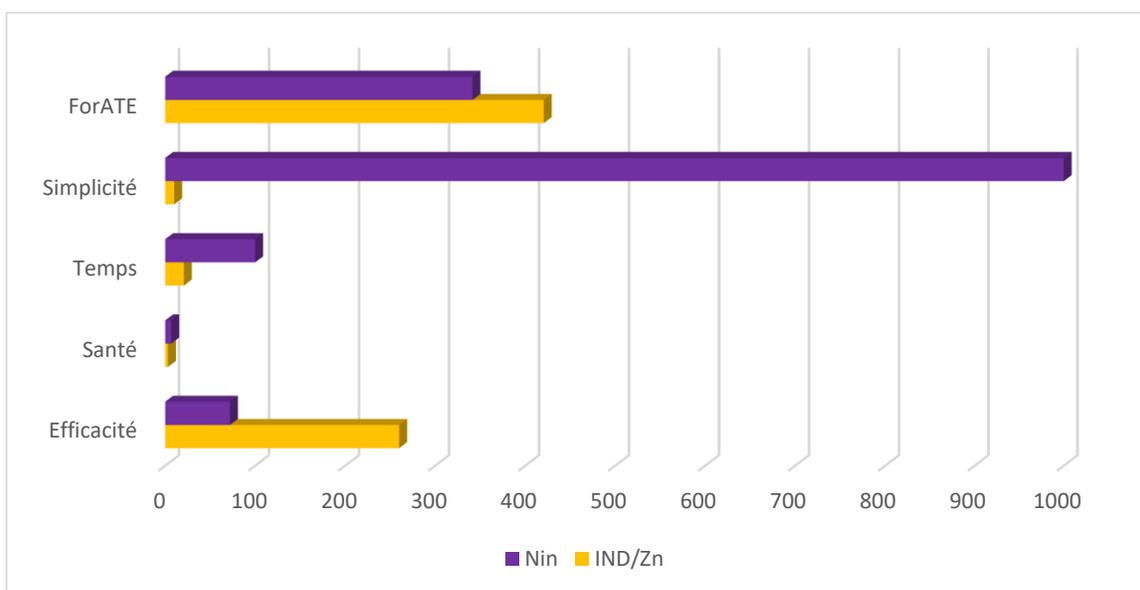


Figure 12: Valeurs des différents indices ainsi que de l'indice final ForATE suivant l'étude preuve de concept IND/Zn - Nin

Les résultats de l'indice ForATE nous informe, en tant que gestionnaire, que si vous devez faire un choix entre l'IND/Zn et la Nin en termes d'implantation dans votre organisation, suivant l'étude preuve de concept faite localement, votre meilleure option serait d'implanter l'IND/Zn. On réalise rapidement qu'il y a une grande différence en termes d'efficacité entre les deux techniques, mais est-ce que cette différence, calculée sur les bases d'une étude de Phase 1, représente vraiment la différence réelle entre les deux techniques? La différence suivant une

étude pseudo-opérationnelle aurait-elle été plus ou moins grande, considérant que la Nin était testée sur le substrat sur lequel il réagit le mieux? Ces questions seront discutées davantage en Section 7.3.3.

On apprend aussi, par les indices individuels qui composent le ForATE, que les produits contenus dans la Nin sont légèrement plus dangereux pour la santé que ceux de l'IND/Zn, toutes proportions gardées. Si vous êtes en mesure d'investir dans l'implantation des deux techniques, l'indice ForATE vous informe que les deux méthodes offrent des résultats intéressants, étant simples et faciles d'utilisation. L'IND/Zn présente, pour sa part, un risque pour la santé acceptable, tandis que la Nin présente un faible risque intermédiaire pour vos employés (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005).

7 Discussion et mise en perspective

Ce chapitre nous permettra de mettre l'indice ForATE en perspective, d'en analyser les points forts et les points faibles, de sonder ses limites et son utilisation potentielle sur le terrain.

7.1 Sensibilité de l'indice ForATE

Afin de tester la sensibilité de l'indice ForATE, il faut utiliser une comparaison de techniques ayant des scores ForATE similaires. Pour cet exercice, nous utiliserons l'application pratique de la section 6.2 ci-dessus, évaluant l'ORO et le PD. Comment pourrait-on faire pour que le Révélateur Physique devienne une meilleure alternative que l'ORO entre 0-14 jours et 15-30 jours au niveau du ForATE, sans modifier son efficacité ni les dangers pour la santé?

Commençons par regarder l'impact du temps et de la simplicité. Présentement, le PD a été évalué par les experts comme « 1 Très long » et « -1 Extrêmement complexe et difficile », autant pour la préparation que pour l'application. De son côté, l'ORO a été évalué comme « 3 Pas trop long » et « 2 Très facile et simple ». Si nous changeons cette appréciation, jusqu'à quel point devrions-nous changer ses indices afin que le PD prenne l'avance au niveau du ForATE?

Dans le cas de l'étude pseudo-opérationnelle de 0 à 14 jours, il faudrait vraiment mettre au point une nouvelle façon d'appliquer le PD de façon automatique et contrôlée, qui faciliterait grandement le travail des utilisateurs. Il serait possible de faire ainsi grimper l'indice ForATE du PD de 276,88 à 295,11 (comparativement à 293,97 pour l'ORO), en appréciant la technique comme étant « 4 Rapide » et « 2,5 Vraiment très facile et simple ».

Dans le cas de l'étude de 15 à 30 jours, le faible écart entre les deux méthodes demanderait un ajustement beaucoup plus faible. En effet, si on évalue le PD comme étant « 3 Pas trop long » et « 1 Facile et simple », l'indice ForATE du PD

passer de 261,62 à 262,51 (comparativement à 262,13 pour l'ORO). Et si on poussait l'audace un peu plus loin, que nous gardions l'évaluation du temps et de la simplicité du PD tel quel, mais que nous faisons des modifications aux produits chimiques utilisés? Si nous décidions, par exemple, de retirer les traitements dans les bassins acidifiés, et que nous trouvions une façon de diminuer au minimum la quantité de nitrate d'argent nécessaire (moins de perte) par traitement, nous serions en mesure de réduire d'indice de risque de 2,339 à 0,294, pour un ForATE qui passerait de 261,62 à 262,130 (comparativement à 262,127 pour l'ORO).

Jusqu'à maintenant, nous avons toujours supposé que nous étions dans un laboratoire présentant des protections respiratoires, de la peau et du visage dans les normes de santé-sécurité. Imaginons par contre que nous comparions l'ORO et le PD dans un environnement non sécuritaire, que les traitements se feraient dans un garage, sans les protections adéquates. En recalculant les indices de risque globaux des deux techniques, on obtiendrait 304,69 pour l'ORO et 233,91 pour le PD. Ce changement majeur aurait un impact important sur le ForATE (0-14 jours), faisant pencher la balance vers le PD avec un ForATE de 219,55 contre l'ORO avec un ForATE de 219,28. Pour le 15 à 30 jours, l'impact serait encore plus important (PD : 204,29; ORO : 187,44).

Finalement, si nous décidions plutôt de nous attaquer au ORO et de conserver le PD tel quel... Disons que nous découvrons qu'il faut ajouter 0,05g de plutonium au ORO dans sa recette pour le stabiliser, sans en améliorer les effets. Il faudrait alors rajouter à l'indice de risque un nouveau produit dont la phrase de risque maximum (vous n'en serez pas surpris) est de 3. Notre laboratoire est particulièrement bien conçu pour réduire les risques chimiques, mais pas pour les risques radiologiques. Ainsi, nous aurions une protection respiratoire à peu près nulle, une protection de la peau non adaptée et une protection faciale non adaptée non plus. On obtiendrait alors un indice de dangerosité individuel de 100, qu'on ajoute aux autres produits du ORO, ce qui nous donnerait un indice global de risque de 113,948. L'impact de cet ajout de dangerosité ferait descendre l'indice

ForATE du ORO (0-14 jours) de 293,97 à 266,51 (comparativement à 276,88 pour le PD).

Suivant cet exercice, on remarque que l'efficacité occupe une très grande place dans l'indice ForATE, et que l'impact de la santé-sécurité peut également faire une différence majeure, selon les laboratoires (le tout étant lié aux poids déterminés au Chapitre 5). Pour ce qui est du temps et de la simplicité, ceux-ci apportent les nuances nécessaires à la différenciation des méthodes analysées. Ceci est d'ailleurs très logique. Un gestionnaire n'implantera jamais une méthode si cette dernière n'est pas efficace, quand bien même qu'elle serait bonne pour la santé, extrêmement rapide et super simple, car elle ne permettrait pas d'avoir des résultats... De même, un danger majeur pour la santé influencerait sûrement la décision d'implantation négativement dans l'analyse du gestionnaire. Cet indice permet de différencier et séparer les méthodes qui fonctionnent, en misant majoritairement sur l'efficacité, avec un impact important du niveau de risque pour la santé des utilisateurs, mais en tenant compte du temps nécessaire (tenant compte de la possibilité de backlog) et de la simplicité (courbe d'apprentissage, formation nécessaire, etc.) de celle-ci.

7.2 Robustesse des poids des critères

Dans un indice composite, la robustesse et la représentativité des poids des critères évalués sont très importantes. L'utilisation du processus d'analyse hiérarchique (AHP) est une approche efficace, qui permet de tenir compte de l'opinion des experts du domaine, ce qui donne de la légitimité aux poids calculés. Le mode de calcul des poids relatifs permet également de tenir compte de l'inconstance des réponses des participants (Nardo, Saisana, Tarantola, Hoffman, & Giovannini, 2008). D'ailleurs, la littérature souligne la robustesse de la détermination des poids des critères via l'AHP. En effet, suivant des études du AHP en utilisant une caractérisation stochastique de la comparaison par paires, on remarque que la constance du jugement demeure très robuste, malgré un haut

degré d'imprécision des réponses. Ainsi, il y a peu de différence entre les priorités générées (Hahn, 2003) (Durbach, Lahdelma, & Salminen, 2014).

Dans la présente étude, pas moins de 126 experts de trois pays anglo-saxons ont offert leurs jugements sur le poids relatif de chacun des critères. Est-ce que ça implique que, dans tous les cas, une telle quantité d'experts doivent être consultés? Dans la société en général, mais aussi au sein des communautés d'experts, les valeurs partagées et l'importance de critères spécifiques comme l'efficacité et la santé-sécurité sont majoritairement partagées. Nous n'avons qu'à prendre pour exemple l'adoption mondiale via l'ONU du Système général harmonisé (SGH) (Santé/sécurité) ou l'adoption des méthodes de développement des traces digitales suivant la parution d'articles scientifiques démontrant leur efficacité. Le temps et la simplicité demeurent une appréciation plus générale, mais la plupart des gens s'entendent de façon générale (et leurs poids dans l'indice ForATE sont relativement faibles). Malgré tout, nous pouvons affirmer sans trop nous tromper que les valeurs partagées au sein de groupes d'experts (comme les médecins indépendants sondés dans l'étude en référence) auront tendance à suivre une distribution normale (Ashworth, Williamson, & Montano, 1984). La comparaison par paires demeure un jugement basé sur le sens commun et l'opinion des experts. Plus il y a d'experts qui se prononcent, plus la valeur des poids relatifs est légitimée. Mais il est tout à fait possible de faire une évaluation similaire, avec des résultats équivalents, en utilisant un sous-groupe d'expert. Il est par contre impossible de déterminer exactement un nombre magique d'experts à solliciter. Si nous tenons compte du théorème des limites centrales, considérant que la population d'experts visés suit une courbe normale, nous aurons tendance à essayer d'obtenir l'avis d'au moins 30 experts ($n \geq 30$), ce qui permettra d'obtenir un intervalle de confiance suffisant et une estimation assez exacte de la moyenne et de la déviation des avis des experts de la population totale (Scherrer, 1984). Cette application est généralement appliquée également au niveau de l'analyse financière en termes d'investissement (Ganti, 2019). Le plus important, lorsqu'on

calcule un indice composite, est la transparence avec laquelle on présente le poids des critères. Plus il y a d'experts sollicités, plus les poids seront robustes.

Il aurait d'ailleurs été intéressant, dans le cas qui nous occupe, de pouvoir faire un coup de sonde par ré-échantillonnage des 126 experts s'étant prononcés lors du sondage, afin de tester la robustesse de la population de 30 participants proposés. Malheureusement, la méthode de collection anonymisée utilisée pour la collecte des données ne permet pas de remettre en lien les différentes réponses de chacun des participants. Il s'agit donc d'une limite de l'étude en cours nous empêchant d'effectuer cette validation mathématique.

Un autre questionnement intéressant concerne l'identité des participants en relation avec leur préférence. Il est fort probable que les réponses des policiers, des scientifiques et des gestionnaires soient différentes en ce qui concerne la complexité des techniques; en lien avec leurs connaissances, leur expérience et leur scolarité. En effet, la réalité de chacun a une influence sur leur perception. L'impact de ces différences sur un échantillonnage de 126 personnes est probablement atomisé par le nombre, mais si vous envisagez de faire une consultation auprès de seulement 30 participants, il sera des plus pertinent de s'assurer que les représentants choisis, qui influenceront la robustesse des poids de chacun des critères, représentent la communauté dans laquelle votre laboratoire évolue, l'environnement culturel et la spécialisation des utilisateurs finaux afin que les poids demeurent pertinents. L'application globale de l'avis de chacun (monsieur/madame Tout-le-Monde), sans égard à sa spécialité, son expérience et son appartenance à un groupe de spécialistes du domaine, serait plus qu'imparfaite.

Si vous aviez, par exemple, l'intention de faire un dérivé de l'indice ForATE nécessitant une redéfinition des critères et une calibration de leurs poids respectifs, je suggère d'y aller d'un coup de sonde qui touchera une majorité des membres du laboratoire voulant créer ce nouvel indice (autant des utilisateurs terrain, des chercheurs que des gestionnaires) ainsi que des experts de votre

réseau de contacts, pour un total minimum de 30 opinions, afin de vous donner un aperçu des attentes envers les indices choisis. Idéalement, il serait souhaitable de s'adresser à la communauté scientifique spécialisée dans le domaine en question afin de recueillir le plus d'avis possible sur une période d'un mois par exemple. Heureusement, plusieurs appréciations faites avec le AHP lors de cette étude seront réutilisables et demeurent fortement robustes, avec ses 126 participants. Et maintenant, avec la facilité d'utilisation d'internet, de tels sondages sont faciles à faire et accessibles de partout dans le monde. Vous pouvez ainsi utiliser l'échantillonnage par filière pour rejoindre des spécialistes de partout dans le monde, en commençant par votre réseau de contacts, qui vous suggèrera lui aussi de nouveaux candidats potentiels (Pires, 1997).

Pour calculer vos valeurs, il est suggéré d'utiliser l'outil en ligne de Goepel qui permet un calcul rapide et facile des vecteurs propres (Goepel, Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS), 2018).

7.3 Guide d'implantation

Le mode d'utilisation d'un indice comme le ForATE peut sembler un détail trivial, mais la mauvaise utilisation d'un outil, aussi puissant soit-il, pourrait donner des orientations erronées aux gestionnaires et conduire vers de mauvaises décisions. Voici donc les recommandations pour une utilisation judicieuse de l'indice ForATE dans votre organisation.

7.3.1 Généralités

Tout d'abord, notons que la mise en place et l'utilisation de l'indice ForATE au sein de votre organisation nécessiteront une bonne répartition des responsabilités. En effet, on recommande que l'indice soit un outil de simplification et de synthèse de l'information scientifique venant du terrain vers la gestion. Il pourrait devenir très

contre-productif pour votre organisation si l'outil était utilisé par les gestionnaires, pour imposer une vision basée uniquement sur le budget au détriment du bon sens scientifique. Oui, le résultat du ForATE doit supporter le gestionnaire dans sa décision, et cette décision peut amener le gestionnaire, pour différentes raisons externes à l'indice, à ne pas faire l'investissement, malgré un message favorable. Par contre, il est important qu'un scientifique puisse colliger les données, interpréter les résultats, et utiliser l'indice ForATE pour supporter le gestionnaire. Si la structure de votre organisation vous le permet, nous suggérons l'utilisation du modèle de mini-PTA (Beaudoin A. , 2009) qui mise sur un scientifique en chef qui est en mesure de superviser la collecte, ainsi que supporter et expliquer adéquatement les conclusions qui peuvent être tirées de l'indice ForATE au gestionnaire. Le lien de confiance scientifico-managérial qui se crée avec un tel agencement permet d'établir une synergie favorable à l'optimisation et l'innovation dans les milieux scientifiques (Beaudoin A. , 2009).

De plus, ce modèle permettra de soutenir le gestionnaire moins versé en science sur la pertinence de comparaison des techniques. En effet, « comparaison n'est pas raison »! La comparaison de n'importe quelles techniques ensemble, sans qu'un lien scientifique ne puisse être fait, n'emporte pas nécessairement la conviction. On ne met pas ici en question la comparaison dans son essence, mais uniquement la comparaison excessive ou inopportune. Le gestionnaire n'est pas nécessairement en mesure de faire la distinction entre, par exemple, une méthode de développement des traces pour les surfaces poreuses, et une autre pour les surfaces non-poreuses... La comparaison avec le ForATE de deux techniques ciblant deux types de surface différents a peu de sens, puisque ces dernières ne sont aucunement en compétition. La plus grande valeur du ForATE est atteinte lors de l'évaluation de techniques proches et peut éviter beaucoup de palabres lorsqu'on doit remplacer une ancienne technique par une nouvelle qui est globalement meilleure sur l'ensemble des dimensions mesurées par l'indice. Le scientifique en chef sera en mesure de guider le gestionnaire afin d'éviter les pièges et assurer une utilisation judicieuse de l'indice.

Notons également que l'indice ForATE permet de faire une comparaison des techniques, de point de vue relatif, sans tenir compte des séquences de traitements ou de la particularité de chaque cas d'espèce rencontré sur le terrain... Cette approche est tout à fait logique, considérant que la gestion consiste en traitement de flux, de budgets, etc. L'indice est bâti en fonction d'avoir un sens en termes de gestion. L'apport du scientifique soutenant le gestionnaire est très important pour apporter les nuances nécessaires à l'obtention d'un portrait global complet. Malgré les décisions qui peuvent être prises en fonction du flux de traitement en lien avec les résultats de l'indice ForATE, il est important de noter que l'on peut toujours revenir considérer le cas d'espèce en fonction des circonstances. Ainsi, une méthode mise de côté pour les traitements de routine, suivant une comparaison avec l'indice ForATE, pourrait par contre être conservée pour les cas d'espèce (exemple, pour les crimes majeurs), où l'investissement serait tout à fait justifiable.

À travers le temps, il peut également devenir nécessaire de réviser l'évaluation ForATE d'une technique ou technologie afin de tenir compte de l'évolution de la science ou des technologies du domaine. En effet, comme la science évolue, il est possible que l'évaluation du danger d'une technique puisse changer avec la compréhension des impacts de certains produits sur la santé humaine. Il est également possible que l'avènement de certaines technologies influence l'appréciation que nous pourrions avoir. Imaginons, par exemple, l'arrivée dans le milieu d'une nouvelle loupe technologiquement très avancée qui permettrait, suivant l'échelle d'évaluation du développement du CAST, de rendre exploitable, non seulement les traces présentant des valeurs de 3 et 4, mais aussi les traces de valeur 1 et 2. L'évaluation des techniques précédemment analysées deviendrait alors caduque, et il faudrait revisiter les indices ForATE antérieurs afin de déterminer si l'ajout des traces de valeur 1 et 2 pourrait changer notre perception d'efficacité de chacune.

Finalement, nous recommandons aux gestionnaires de mettre en place un suivi des résultats obtenus avec chacune des techniques implantées au sein de leurs

organisations afin de connaître le taux de succès de développement opérationnel, le type de surface donnant les meilleurs résultats, etc. Bien que totalement optionnelle, cette suggestion vous permettra, sur le moyen/long terme, d'analyser les tendances et de dévoiler des évidences qui pourraient vous permettre d'optimiser les façons de faire de votre organisation. Bien que ce conseil soit complètement indépendant de l'indice dont on parle dans ce manuscrit, les données récoltées seront, pour le gestionnaire, une source intéressante d'information qui complètera à merveille son coffre d'outils lorsque des décisions scientifico-managériales devront être prises.

7.3.2 Spécifications pour l'indice d'efficacité

La clé pour une analyse de l'efficacité vraiment précise est d'analyser exactement ce qu'on souhaite acheter. En effet, si une organisation souhaite mettre en place la technique du Révélateur Physique (PD) dans son laboratoire, et pense utiliser des préparations déjà toutes faites en vente dans le commerce (reconnu comme étant moins efficace, dans le domaine), il est impératif que l'efficacité soit évaluée sur ce produit bien précis... Même chose si l'intention est d'utiliser, par exemple, la recette PD de la Sûreté du Québec (SQ) dans votre laboratoire; vous ne devez pas faire votre étude pseudo-opérationnelle avec la recette des Services secrets américains (USSS) (deux recettes utilisant des produits différents). Cet avertissement peut paraître banal, mais les différences entre un produit pré-mélanger dans le commerce et deux recettes distinctes, peuvent complètement changer l'analyse qu'on pourra en tirer... En résumé, on teste toujours ce qu'on souhaite acheter!

Dans le cadre de l'indice d'efficacité, nous recommandons fortement l'utilisation d'une étude pseudo-opérationnelle de phase 3. Nous vous invitons d'ailleurs à prendre le temps de lire dans son intégralité l'article qui explique en détail les

prérequis recherchés (International Fingerprint Research Group, 2014). Ci-dessous, vous retrouverez un résumé des principaux points à observer.

Lors de la préparation de votre étude pseudo-opérationnelle, vous devez prendre en considération les conditions environnementales dans lesquels vous devrez utiliser la technique, prévoir un vieillissement des traces qui représente votre réalité opérationnelle, et prévoir des conditions de stockage des échantillons (surtout lors du vieillissement) qui est en phase avec les façons de faire de votre organisation pour la préservation des pièces à conviction.

Les substrats choisis pour votre étude sont aussi importants, car le mode de fabrication, la marque, et les particularités post-fabrication peuvent avoir un impact sur les résultats qui seront obtenus (par exemple, d'un pays à l'autre, les méthodes de couchage de papier sont différentes dans le commerce, et celles-ci peuvent avoir un effet sur l'efficacité des techniques). Pour le choix de vos substrats, vous devez vous assurer d'avoir une représentativité du type de substrat généralement rencontré dans votre situation régionale dans vos dossiers opérationnels (International Fingerprint Research Group, 2014).

Pour ce qui est des donneurs, l'IFRG recommande l'utilisation de traces provenant de volontaires représentant la population de votre région. Afin d'avoir un nombre de donneurs statistiquement significatif, l'IFRG recommande un minimum de 20 donneurs de trace pour votre étude. On favorisera, pour la collection des échantillons, des traces naturelles, avec le minimum d'intervention du chercheur (pas de traces chargées en passant le doigt sur le front, pas de lavage des mains avant les tests, etc.). Par contre, il est extrêmement important de savoir exactement combien de traces ont été déposées sur la surface (essentiel pour l'utilisation de l'indice). Ainsi, vous serez en mesure de déterminer le nombre de traces attendues (déposées) et le nombre de traces obtenues (effectivement développées par la technique). Il est suggéré d'opter pour une collection de traces par déplétion (apposition subséquente de traces d'un même doigt sur le substrat), afin de pouvoir bénéficier d'une diminution graduelle de matériel déposé... Cela

permet d'obtenir une évaluation de l'efficacité tenant compte de la sensibilité de la technique suivant la variation de matériel à détecter.

L'évaluation des résultats de développement des traces doit être faite par un expert en identification par empreintes. Ces derniers sont à même de bien évaluer les possibilités d'exploitation des traces dans le cadre d'une identification potentielle. On utilisera une échelle absolue comme celle du CAST (Bandey & Gibson, 2006) pour évaluer chaque emplacement où une trace a été déposée par les volontaires. Dans le cas de l'échelle du CAST, les traces de grade 3 et 4 seront comptabilisées comme étant un développement permettant l'identification (donc positif), les autres, comme un non-développement. Pour chacun des échantillons (selon le donneur, le vieillissement, le substrat), on entrera les données de développement dans l'application de calcul automatisées des ForATE-Tech Chem ou ForATE-Light Source, selon la situation, qui sont disponibles gratuitement pour les utilisateurs (<http://alexandre.beaud0in.net/ForATE.htm>). Notez qu'on ne teste pas ici le traitement par séquence, puisque nous souhaitons obtenir la valeur d'efficacité absolue d'une technique par elle-même. Nous vous recommandons toutefois de tester l'efficacité en séquence des techniques lorsque vous avez pris la décision d'investir dans son acquisition, afin d'optimiser vos Procédures standardisées d'opération.

7.3.3 Spécification pour l'indice de risque pour la santé

L'indice de risque pour la santé est très important. Il s'agit ici d'un indice de précaution, afin de tenir compte de l'impact sur la santé et sécurité de votre personnel, qui est une des ressources les plus importantes d'une organisation. Lors de l'analyse de cet indice, nous vous recommandons de sortir l'ensemble des fiches de sécurité (MSDS) des produits utilisés (ou récupérer la classification selon les normes internationales IEC 60825-1:2014 et IEC 62471:2006 ou IEC 60825-1:2014 Ed.3.0 s'il s'agit d'une lumière forensique). C'est dans ces fiches que vous

trouvez les phrases H (qui sont maintenant obligatoires) vous permettant d'évaluer la dangerosité des produits. Si vos fiches ne contiennent pas les phrases H (ou contiennent les phrases R), c'est qu'elles ne sont pas à jour ni légales... Nous vous recommandons d'en obtenir de nouvelles. Il est également recommandé d'utiliser les fiches de sécurité de vos fournisseurs, afin de vous assurer que vous avez les informations en lien avec le bon produit, et non un produit alternatif au nom similaire dont les conditions de fabrication ne sont pas les mêmes.

Notez bien que si l'indice de risque pour la santé est élevé, il est extrêmement important de voir ce résultat comme une alerte rouge vis-à-vis de la technique évaluée... En effet, si nous nous souvenons de la description que nous avons donnée précédemment, le calcul de l'Indice de Risque doit permettre de déterminer le niveau de risque acceptable (Persoons, Dumas, Stoklov, & Maître, 2005) :

Risque acceptable = $I_R < 4$

Risque intermédiaire = $4 \leq I_R \leq 40$

Risque inacceptable = $I_R \geq 40$

Si le scientifique en chef qui collige l'information réalise que la technique présente un risque inacceptable (au-dessus de 40), il devrait impérativement en discuter avec le gestionnaire. Il s'agit ici d'une alarme qui peut vouloir dire que la technique est trop dangereuse, ou que le laboratoire et les employés ne possèdent pas les équipements de protection adéquats pour utiliser certains produits. D'une façon ou d'une autre, le gestionnaire devra prendre une décision. Autant, une méthode ne donnant pas de résultats, aussi bonne pour la santé soit-elle, n'a pas d'intérêt pour l'organisation; une méthode, aussi bonne soit-elle, qui mettrait les employés en danger de mort poserait un problème éthique majeur qui serait tout aussi néfaste pour l'organisation. L'indice de risque devrait devenir, pour votre organisation, une valeur limite dans votre évaluation des techniques et technologies (cut-off value).

7.4 Possibilité d'analyse coûts-efficacités avec le ForATE

Depuis le début de cette recherche, on vous invite à demeurer prudent avec le principe de l'analyse coûts-bénéfices. Ce genre d'analyse permet normalement d'exprimer les coûts et les bénéfices en termes monétaires, où on évalue la rentabilité d'une intervention en attribuant une valeur financière aux résultats (Champagne, Contandriopoulos, Brousselle, Harty, & Denis, 2011). De notre côté, nous vous présenterons dans cette section, plus spécifiquement l'analyse coûts-efficacités en utilisant les coûts d'une technique (ou technologie) et les résultats du ForATE, dans une tentative d'évaluer l'efficacité de cette dernière par un ratio de bénéfices forensiques perçus sur les coûts (Kobus, Houck, Speaker, Riley, & Witt, 2011). Avec le contexte actuel de rareté des ressources, du besoin de contrôler les dépenses et de la nécessité de rendre des comptes auprès de la population, il demeure très important pour le gestionnaire de pouvoir justifier les décisions d'acquisition, non seulement avec un indice composite, mais aussi en y associant les impacts monétaires associés. Nous regarderons donc les trois études produites à la Section 6 pour établir une analyse coûts-efficacités pour chacune d'entre elles. Pour cette évaluation, nous utiliserons les prix au Canada des différentes méthodes (Latent Forensic Services, 2020).

7.4.1 IND/Zn vs DFO

Dans le cadre de l'étude entre l'IND/Zn et le DFO, nous avons obtenu des indices ForATE de :

- IND/Zn = 559,35
- DFO = 390,95

Au niveau des coûts, nous avons reçu une soumission pour des quantités équivalentes de produits (déjà tout préparé) qui correspond à :

- IND/Zn = 65,59\$ le 100 ml
- DFO = 53,99\$ le 100 ml

Donc :

$$IND = \frac{559,35}{65,59\$} = 8,53/\$$$

$$DFO = \frac{390,95}{53,99\$} = 7,24/\$$$

Ainsi, en calculant le tout, on obtient une efficience par dollars investis est de :

- IND/Zn = 8,53 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml
- DFO = 7,24 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml

Notez que pour simplifier le calcul de ce ratio, le prix de solutions toutes prêtes fut utilisé. Le coût de production de telle solution dans votre propre laboratoire est généralement beaucoup moins élevé. Dans un souci de transparence, voici ce qu'aurait pu donner la même analyse en achetant tous les produits nécessaires individuellement chez Sigma-Aldrich (2021) en dollars canadiens.

Tableau 20: Recette et coûts pour l'IND/Zn

Qté	Nom du produit chimique	Prix chez le fournisseur Sigma-Aldrich au Canada	Coût unitaire	Coût par recette
1 g	Chlorure de zinc	99,20\$ pour 5 g	19,84\$/g	19,84\$
50 ml	Acide acétique glaciale	94,30\$ pour 2500 ml	0,0377\$/ml	1,89\$
1 g	Indanedione	115\$ pour 1 g	115\$/g	115\$
400 ml	Éthyle acétate	134\$ pour 2500 ml	0,0536\$/ml	21,44\$
4000 ml	HFE 7100	325\$ pour 1000 ml	0,325\$/ml	1300\$
4450 ml	Coût de la recette			1458,17\$
100 ml	Coût de l'utilisation de 100 ml			32,77\$

Ensuite, on réduit le coût selon les proportions utilisées (dans notre cas, 100 ml), et on obtient un coût par 100 ml de 32,77\$. Si on compare avec le coût de la solution toute prête vendue par un fournisseur (65,59\$ le 100 ml), il devient évident qu'il est plus payant d'opter pour la conception des recettes chimiques dans votre laboratoire, si possible.

L'analyse coûts-efficience devient donc pour l'IND/Zn de 17,07 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml (au lieu du 8,53 précédemment calculé avec les produits pré-mélangés).

Si on fait le même calcul pour le DFO :

Tableau 21: Recette et coûts pour le DFO

Qté	Nom du produit chimique	Prix chez le fournisseur Sigma-Aldrich au Canada	Coût unitaire	Coût par recette
2 g	DFO	760\$ pour 1 g	760\$/g	1520\$
80 ml	Acide acétique glaciale	94,30\$ pour 2500 ml	0,0377\$/ml	3,02\$
160 ml	Méthanol purifié	192\$ pour 4000 ml	0,048\$/ml	7,68\$
3760 ml	HFE 7100	325\$ pour 1000 ml	0,325\$/ml	1222\$
4000 ml	Coût de la recette			2752,70\$
100 ml	Coût de l'utilisation de 100 ml			68,82\$

Ensuite, on réduit le coût selon les proportions utilisées (dans notre cas, 100 ml), et on obtient un coût par 100 ml de 68,82\$. Si on compare avec le coût de la

solution toute prête vendue par un fournisseur (53,99\$ le 100 ml), il devient évident qu'il est plus payant d'opter pour l'achat de cette solution toute prête dans ce cas précis (peut-être en lien avec le coût très élevé du DFO, occasionné par l'achat en petite quantité disponible chez Sigma-Aldrich).

L'analyse coûts-efficience devient donc pour le DFO de 5,68 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml (au lieu du 7,24 précédemment calculé avec les produits pré-mélangés).

Au final, le calcul des recettes maison accentue l'avance de l'IND/Zn en termes de coûts-efficiences.

Le gestionnaire pourrait donc utiliser ces conclusions pour justifier une décision d'implantation de l'IND/Zn au détriment du DFO, en considérant la réalité des coûts associés aux deux méthodes dans son pays. Cette conclusion vient appuyer la décision de plusieurs laboratoires, et pourrait peut-être influencer l'agence américaine ayant participé au sondage opérationnel de notre étude, surtout considérant l'efficacité présentée dans cette étude.

7.4.2 ORO vs PD

Dans le cadre de l'étude entre l'ORO et le PD, nous avons obtenu des indices ForATE suivant :

Indice ForATE de 0 à 14 jours	Indice ForATE de 15 à 30 jours
- ORO = 293,97	- ORO = 262,13
- PD = 276,88	- PD = 261,63

Au niveau des coûts, nous avons reçu une soumission pour des quantités équivalentes de produits (déjà tout préparé) qui correspond à :

- ORO = 88,74\$ le 1000 ml
- PD = 94,49\$ le 1000 ml

Ainsi, en calculant le tout, on obtient une efficience par dollars investis est de :

- Entre 0 et 14 jours
 - o ORO = 3,31 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 1000 ml
 - o PD = 2,93 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 1000 ml

- Entre 15 et 30 jours
 - o ORO = 2,95 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 1000 ml
 - o PD = 2,77 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 1000 ml

Ceci signifierait, pour le gestionnaire, qu'il en a plus pour son argent avec l'ORO qu'avec le PD dans son pays. Le gestionnaire pourrait donc utiliser cette conclusion pour justifier une décision d'implantation de l'ORO. Cette conclusion pourrait suggérer au laboratoire de l'agence américaine qu'il serait préférable d'implanter l'ORO en comparaison du PD... mais que les deux méthodes présentent un taux de bénéfices forensiques (au sens du ForATE) assez faible par dollars investis. En faisant le lien avec l'analyse coûts-efficience précédente, il

serait préférable d'investir prioritairement dans l'IND/Zn que dans ces deux techniques présentement analysées.

7.4.3 IND/Zn vs Nin

Dans le cadre de l'étude entre l'IND/Zn et le DFO, nous avons obtenu des indices suivants :

Indice ForATE :

- IND/Zn = 420,70
- Nin = 341,48

Précisons qu'il s'agissait d'une étude ayant un design de preuve de concept (Phase 1) (International Fingerprint Research Group, 2014), et qu'on recommande l'utilisation d'études pseudo-opérationnelle de Phase 3 pour le ForATE. Voyons l'impact de cette étude faite selon un design non recommandé. Rapidement, on observe que l'IND/ZN, sans surprise, présente un meilleur ForATE que la Nin.

Au niveau des coûts, nous avons reçu une soumission pour des quantités équivalentes de produits (déjà tout préparé) qui correspond à :

- IND/Zn = 65,59\$ le 100 ml
- Nin = 38,40\$ le 100 ml

Ainsi, en calculant le tout, on obtient une efficience par dollars investis est de :

- IND/Zn = 6,41 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml
- Nin = 8,89 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml

Ceci signifierait, pour le gestionnaire, qu'il en a plus pour son argent avec la Ninhydrine qu'avec l'IND/Zn dans son pays. N'est-ce pas étonnant? Bien qu'une preuve de concept permette de voir clairement qu'une méthode offre une meilleure efficacité que l'autre au premier abord, il n'en demeure pas moins que l'effet calculé par l'indice d'efficacité est sous-évalué, puisque la preuve de concept ne tient pas compte de la variation potentielle des substrats (tests faits sur le substrat de prédilection de la Ninhydrine dans le cas présent), d'un nombre de participants suffisant, etc. La faiblesse du design de l'étude IND/Zn vs Nin produit un ForATE qui n'est pas représentatif de l'effet opérationnel de ces deux méthodes. L'analyse coûts-efficacités nous permet d'observer que l'efficacité de l'IND/Zn a été sous-estimée (lorsqu'on la compare à l'étude pseudo-opérationnelle de la Section 6.1). Cet effet est encore plus clair, lorsqu'on se réfère à l'étude pancanadienne qui comparait le DFO et la Ninhydrine (Wilkinson, Rumsby, Babin, Merritt, & Marsh, 2004). En effet, le DFO seul a permis, selon cet article, de développer plus de deux fois plus de traces que la Ninhydrine seule (augmentation de 105%). Considérant que les résultats obtenus avec la comparaison de l'IND/Zn et le DFO (où l'IND/Zn a présenté une augmentation de développement des traces de 42% par rapport au DFO), il est évident que l'efficacité de l'IND/Zn a été sous-évaluée par l'étude de preuve de concept. Si on prend l'analyse coûts-efficacités de l'étude IND/Zn – DFO (plus robuste, étude pseudo-opérationnelle de phase 3), au niveau du ForATE de l'IND/Zn, et qu'on conserve le ForATE de la Nin dans cette étude dont le substrat favorise son efficacité (papier blanc), pour refaire une comparaison, on remarque alors que l'IND/Zn et la Nin sont maintenant nez à nez.

- IND/Zn = 8,53 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml
- Nin = 8,89 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml

Mais qu'en est-il de l'impact du fournisseur de produit? Dans notre cas, nous avons déjà observé que le fournisseur de produits préparés d'avance (Latent Forensic Services, 2020) présentait un prix plutôt élevé pour l'IND/Zn (peut-être à cause d'une préparation en petite quantité). Si on refait l'exercice en utilisant les recettes faites en laboratoire, localement, l'IND/Zn aurait un coût au 100 ml de 32,77\$. Pour la Ninhydrine, on obtiendrait (Sigma-Aldrich, 2021) :

Tableau 22: Recette et coûts pour la Ninhydrine

Qté	Nom du produit chimique	Prix chez le fournisseur Sigma-Aldrich au Canada	Coût unitaire	Coût par recette
100 g	Ninhydrine	332\$ pour 100 g	3,32\$/g	332\$
200 ml	Acide acétique glaciale	94,30\$ pour 2500 ml	0,0377\$/ml	7,54\$
400 ml	Éthanol	181\$ pour 2500 ml	0,0724\$/ml	28,96\$
4000 ml	HFE 7100	325\$ pour 1000 ml	0,325\$/ml	1300\$
4700 ml	Coût de la recette			1668,50\$
100 ml	Coût de l'utilisation de 100 ml			35,50\$

Le ratio coûts-efficience serait recalculé comme suit.

En utilisant le ForATE sous-estimé de l'IND/Zn (Section 6.3), et les coûts de préparation en laboratoire, localement :

- IND/Zn = 12,84 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml
- Nin = 9,61 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml

En utilisant le ForATE de l'IND/Zn suivant une étude pseudo-opérationnelle (Section 6.1), et les coûts de préparation en laboratoire, localement :

- IND/Zn = 17,07 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml
- Nin = 9,61 ratio de ForATE (bénéfices forensiques perçus) par dollar investi pour 100 ml

Cet exemple démontre bien l'impact des coûts locaux sur une analyse coûts-efficience. Au final, l'application pratique à la Section 6.3 a été faite pour démontrer les dangers de l'utilisation d'un mauvais design d'étude pour palier à une étude pseudo-opérationnelle (International Fingerprint Research Group, 2014), d'une analyse coûts-bénéfices ou coûts-efficience avec le ForATE sans prendre le temps d'analyser la situation et de prendre toutes les précautions nécessaires pour s'approcher le plus possible de la vraie valeur des techniques ou technologies forensiques, ainsi que de ceux de l'analyse coûts-efficience où les prix peuvent avoir un impact majeur sur l'appréciation d'une technique. Et s'il devenait nécessaire d'utiliser, dans certaines circonstances, une méta-analyse pour mesurer l'efficacité, il deviendra impératif d'être très pointilleux dans les critères d'inclusion et d'exclusion des études de la littérature à inclure.

7.5 ForATE face aux autres initiatives

7.5.1 FORESIGHT

Le projet FORESIGHT est une initiative permettant aux laboratoires forensiques participants d'évaluer l'allocation des ressources, l'efficacité et la valeur des services offerts, le tout en ayant la possibilité de comparer les façons de faire dans un effort orienté étalonnage (Houck, Riley, Speaker, & Witt, 2009). Ultimement, le projet souhaite dégager des balises pour aider les gestionnaires à maintenir des stratégies d'évaluation des coûts et de bénéfices optimales (Houck & Speaker, 2020). On y analyse le rendement et les bénéfices, afin d'obtenir des métriques indicatrices de performance, puisque cela demeure une lacune pour la plupart des gestionnaires (Newman, Dawley, & Speaker, 2011) (Daéid, 2013).

Comme vous le voyez, l'initiative FORESIGHT a pour objectif le contrôle des dépenses via des analyses coûts-bénéfices concernant des technologies (techniques) dans lesquels le laboratoire a, pour la plupart du temps, déjà investi. On détermine ensuite si cet investissement a été positif ou négatif (ou si cette situation s'est produite ailleurs), et on détermine si on doit poursuivre son utilisation (de façon routinière ou spécifique) ou si on diminue, pour contrôler les dépenses et optimiser les bénéfices par coûts engendrés. On remarque donc que FORESIGHT n'est clairement pas un rival de l'indice ForATE, mais plutôt que les deux initiatives sont complémentaires! En effet, l'indice ForATE agit en amont, évaluant les technologies (techniques) avant même que ces dernières se retrouvent dans les laboratoires. En combinant la puissance coûts-bénéfices de FORESIGHT et les capacités coûts-éfficacités du ForATE, un laboratoire a toutes les chances de maximiser l'optimisation de ses pratiques et la gestion budgétaire de ses actifs.

7.5.2 Technology Readiness Level (TRL)

Lors de sa sortie en 2014, le *Fingermark Visualisation Manual* (Bandey H. L., 2014) du CAST, maintenant connu sous l'abréviation DSTL (Defense Science and Technology Laboratory), proposait une classification des différentes techniques de développement des traces digitales en utilisant le Technology Readiness Level (TRL). Toutes les techniques décrites dans le manuel étaient classées selon cette échelle TRL.

Qu'est-ce que le TRL? Il s'agit d'une mesure permettant d'évaluer le niveau de « readiness » (degré de préparation au déploiement) d'une technologie avant l'intégration au niveau opérationnel dans le domaine spatial. Le TRL est généralement divisé en 9 catégories distinctes de « readiness », mais le CAST a divisé le sien en 6 catégories, de A à F.

A – Technique standard pour utilisation opérationnelle de routine

B – Technique optionnelle pour utilisation opérationnelle occasionnelle (description d'utilisation détaillée)

C - Technique optionnelle pour utilisation opérationnelle occasionnelle (Description d'utilisation peu détaillée)

D – Technique permettant une action de correction

E – Technique ne présentant aucun bénéfice opérationnel connu

F – Technique qui ne doit pas être utilisée pour des raisons de santé et sécurité

Cette méthode d'évaluation des technologies spatiales est par la suite devenue une norme, l'ISO 16290:2013 *Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment* (Organisation internationale de normalisation, 2013). Il a été ensuite importé au sein des innovations du secteur public en Europe sous un format très similaire au TRL spatial d'origine. Le reproche le plus commun fait à l'utilisation du TRL dans le

secteur public est que, bien que l'échelle TRL soit sophistiquée et concrète, son utilisation dans des champs d'expertise externe au domaine d'origine diminue sa valeur significative d'évaluation (Heder, 2017), et l'état de « readiness » ne correspond pas nécessairement à la pertinence ou à la maturité technologique (Dawson, 2007).

Ainsi, la technique de l'Indanedione (IND, l'IND/Zn n'étant pas considéré) fut classée, en 2014, comme une méthode de Catégorie TRL B. En 2016, le DSTL avait conduit une vaste étude pseudo-opérationnelle avec l'IND, le DFO et la Nin qui donnait des résultats plus que prometteur. Il annonçait d'ailleurs dans son périodique que le DSTL envisageait de faire graduer l'IND de la catégorie TRL B vers la A. Cependant, avant une prononciation officielle de graduation, le DSTL argumentait qu'il était préférable d'attendre les tests opérationnels, puisque ceux-ci donnaient parfois des résultats pouvant être jusqu'à 14% moins efficaces qu'en test opérationnel (Sears, 2017).

Il fallut attendre en 2019 avant de voir la graduation officielle de l'IND prononcée (DSTL, 2019). La question que nous pouvons nous poser est : est-ce que l'adoption de l'IND aurait pu être plus rapide au sein du DSTL si l'indice ForATE avait été utilisé au lieu du TRL, sachant que le TRL fait appel à une évaluation via l'efficacité seulement et une échelle d'appréciation subjective? Si on prend pour exemple le calcul de l'indice ForATE faite sur les données de l'étude pseudo-opérationnelle faite à la Sûreté du Québec (SQ) en 2013 sur l'IND/Zn et le DFO (qui fut à l'origine de l'adoption opérationnelle de l'IND/Zn par la SQ) décrite à la Section 6.1, la réponse est oui. Plusieurs années auraient potentiellement pu ainsi être sauvées (en tenant compte de l'efficacité, la santé-sécurité, le temps et la simplicité du ForATE) et, à la limite, l'IND aurait peut-être été adopté par le DSTL en 2016, permettant le développement, selon leur propre étude, de 1,6 fois plus de traces qu'en conservant le DFO (Sears, 2017).

7.5.3 ISO17025:2017

La nouvelle mouture de la norme ISO 17025:2017 sur les exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais, dans lesquels les laboratoires forensiques se retrouvent, cherchait à intégrer, entre autres, la réflexion basée sur le risque et les opportunités. La nouvelle section 8.5 traite des actions à mettre en œuvre face aux risques et opportunités (Organisation internationale de normalisation, 2017).

Au point 8.5.1, on demande de considérer et d'envisager les risques et les opportunités pour s'assurer que le système de gestion du laboratoire atteigne les résultats attendus. L'évaluation des risques exige également l'analyse des conséquences ou de l'exposition que pourrait provoquer l'avènement d'un tel risque, des impacts qu'il pourrait causer (Habibie & Basuki, 2019). Suivant cette identification, le laboratoire réfléchit sur les opportunités identifiées, les méthodes potentielles pour prévenir ou réduire les impacts et expositions indésirables des risques, le tout avec pour objectif l'amélioration générale de ses façons de faire.

Après que les niveaux de risque et d'opportunité aient été évalués, l'étape suivante prévue au point 8.5.2 est de prendre des mesures afin de minimiser ou éliminer les risques identifiés. Il peut s'agir d'action de correction ou de prévention. Il faut intégrer et implanter ces actions afin de pouvoir tirer profit des opportunités potentielles.

Finalement, le point 8.5.3 traite de la proportionnalité des actions (correctives ou préventives) qui doivent être prises dans le laboratoire (International Organization for Standardization, 2017).

Cette section 8.5 concerne l'ensemble des normes ISO 17025. En rapportant ces consignes au niveau des techniques et technologies, cela implique une capacité de sélectionner, vérifier et valider des méthodes tout en gardant à l'esprit la gestion du risque et des opportunités. C'est ici qu'entre en scène l'indice ForATE. Ce nouvel indice s'inscrit directement dans la lignée de la gestion du risque de la

norme ISO 17025:2017. En effet, chaque technologie ou technique évaluée par l'indice ForATE intègre une analyse du risque pour la santé et une analyse d'opportunité en termes d'efficacité qui permettent à un laboratoire qui l'utilise de rencontrer, pour la sélection et validation des méthodes, les objectifs de la section 8.5. L'indice ForATE utilise une approche de gestion du risque simple et spécifique, qui permet d'identifier le risque (et l'opportunité), d'analyser et de prioriser le risque (et l'opportunité) d'une méthode, de déterminer si ce risque ou cette opportunité est souhaitable ou non, afin d'établir un plan à mettre en œuvre pour l'accepter, l'éviter, l'atténuer ou l'éliminer. L'indice ForATE devient donc un outil que les laboratoires pourraient utiliser au sein de leurs procédures standards pour appuyer l'accréditation à la norme ISO 17025:2017.

7.6 Adaptation du modèle aux autres spécialités forensiques

Cette recherche décrit en détail l'élaboration de l'indice composite d'aide à la décision ForATE, autant pour les techniques chimiques que pour les lumières. Il est possible de se baser sur ces modèles pour construire de nouveaux indices spécifiques aux autres technologies forensiques touchant des domaines différents (par exemple, les systèmes AFIS, les appareils de détection, des techniques pour l'ADN, etc.). Cette recherche aura également permis de développer deux applications de calcul automatisées des ForATE-Tech Chem et ForATE-Light Source qui sont disponibles gratuitement pour les utilisateurs (Beaudoin A. , 2021). La construction de nouveaux indices pourrait nécessiter le recours à de nouveaux poids pour les indices individuels, ainsi que de nouveaux critères.

Prenons l'exemple des systèmes AFIS (Automated Fingerprint Identification Systems). Le marché de cette technologie d'une importance capitale en forensique des traces était d'une valeur estimée de 5,29 milliards de dollars US en 2020 (Grand View Research, 2018). Grand View Research projette une croissance de ce marché d'ici 2025, pouvant atteindre 12,46 milliards de dollars

US. Avec une croissance aussi rapide, l'arrivée des systèmes en infonuagique et les nouvelles tendances biométriques, il deviendra indispensable de développer un indice ForATE spécifique aux AFIS. Pour ce faire, il faudra établir les critères clés d'évaluation de ces systèmes, et leur attribuer des valeurs selon l'appréciation des experts du domaine. Des études comme le Fingerprint Vendor Technology Evaluation (FpVTE) du NIST pourront être considérées pour évaluer l'efficacité via la précision des algorithmes ainsi que la rapidité des systèmes (Watson, et al., 2015). Il faudra fort probablement s'assurer d'intégrer des tests pseudo-opérationnels, sous la forme de « benchmark », afin de tenir compte des particularités locales (comme pour le ForATE des techniques chimiques). Il sera intéressant de voir si le domaine souhaitera intégrer à l'indice composite le profil des vendeurs (ou la réputation), qui a souvent un impact important en termes de référencement entre les corps policiers.

Un autre domaine d'intérêt est celui de la biologie forensique, dans lequel on retrouve les expertises d'ADN. Ces techniques biologiques s'apparentent grandement aux méthodes chimiques, et les critères devraient fort probablement se ressembler. L'efficacité sera invariablement au cœur de ce genre d'indice ForATE ADN, tout comme la santé et sécurité. Le débat au niveau de l'extraction de l'ADN via la méthode « Gold Standard » du phénol:chloroforme versus les méthodes alternatives comme le QIAamp DNA Mini Kit, le Chelex 100 ou d'autres produits, beaucoup moins toxiques, mais parfois moins efficaces, sont un exemple pour lequel un indice ForATE ADN aurait été bénéfique (Walsh, Metzger, & Higuchi, 1991) (Kramvis, Bukofzer, & Kew, 1996) (Köchel, Niederstätter, & Parson, 2005) (Silva, et al., 2014) (Janabi, Kerkhof, McGuinness, Biddle, & McKeever, 2016). Sachant que, de nos jours, mettre intentionnellement la santé des travailleurs en danger au profit de la performance des procédés n'est plus socialement acceptable (d'ailleurs, l'ISO 17025:2017 favorise grandement la diminution du risque à la santé), il est essentiel d'être en mesure d'évaluer quelle sera la valeur limite acceptable entre l'efficacité et le risque. Un indice ForATE ADN permettrait de mesurer le tout pour le bien commun. La simplicité et le temps

seront sûrement des critères importants d'un tel indice, permettant de tenir compte d'éventuels backlog, courbes d'apprentissage, formations avancées, etc.

Au besoin, des outils de calcul spécifique de AHP sont disponibles en ligne pour calculer les poids des nouveaux critères choisis, comme celui du Business Performance Management Singapore (BPMSG, 2019). L'utilisation de tels outils facilitera l'adaptation du ForATE vers de nouvelles applications, passant des ForATE-Tech et ForATE-light, vers éventuellement un ForATE-AFIS ou ADN.

Les résultats présentés dans cette recherche permettent d'ouvrir un nouveau champ de recherche alliant la science forensique et l'aide à la décision. Non seulement il sera potentiellement possible de faire évoluer cet indice vers de nouvelles applications, utilisant la puissance du calcul AHP, mais les processus de décision de gestion, l'analyse des facteurs clés décisionnels, et la recherche sur la quantification de bénéfices marginaux inexploités des technologies forensiques seront des avenues potentielles de recherche dont les retombés pourront influencer fortement la façon dont les gestionnaires de demain dirigeront les installations forensiques, par exemple, en utilisant potentiellement une combinaison de coûts-bénéfices avec FORESIGHT, et de coûts-efficacités avec l'indice ForATE. Ces développements et leurs impacts sur le domaine forensique forgeront la justice de demain, tentant de maximiser à l'extrême les capacités de la science forensique pour soutenir les efforts des systèmes de justices mondiaux. Cette recherche demeure donc un premier pas vers une discipline multidisciplinaire de gestion forensique dont les possibilités de développement et de recherche sont immenses.

8 Conclusion

L'évaluation des technologies forensiques est une étape incontournable avant d'entreprendre des démarches d'acquisition pour un laboratoire forensique. Cette tâche est généralement dévolue aux gestionnaires et scientifiques de l'établissement. Le problème souvent rencontré lors de l'évaluation avant acquisition demeure l'incompatibilité des critères d'analyse utilisés. En effet, le scientifique a tendance à mettre beaucoup d'emphasis sur des faits scientifiques spécifiques qu'il présente au gestionnaire comme des vérités incontournables et prioritaires, alors que le gestionnaire appréhende des réalités de gestion particulières, inconnues des scientifiques, qui le poussent à considérer des critères différents, mais tout aussi importants pour la prise de décision.

Cette recherche aura permis de concevoir un indice composite qui permet aux gestionnaires de tenir compte des réalités scientifiques dans un amalgame permettant d'établir une valeur pour chacune des techniques et technologies disponibles, afin de prendre une décision éclairée sur le meilleur investissement à faire.

L'indice "Forensic Assessment of Technologies Effectiveness" (ForATE) offre la possibilité de faire le pont entre la science forensique et la gestion, afin de favoriser la maximisation des décisions d'acquisition pour les laboratoires et organisations. ForATE permet d'amalgamer plusieurs critères décisionnels, comme l'efficacité, la santé et sécurité, la simplicité et le temps, en un seul indicateur intelligible, permettant au gestionnaire de tenir compte de plusieurs aspects dans sa prise de décision, sans pour autant devoir s'arrêter à soupeser les informations concurrentes, dans un carrefour barycentrique scientifico-managérial.

L'impact de cet indice dans le milieu permettra de faire de comparaisons intéressantes dans les prochaines années. En effet, il sera alors possible, pour toute nouvelle méthode forensique, de faire un comparatif avec les méthodes en usage dans la communauté forensique afin d'en démontrer les bénéfices à l'aide de l'indice ForATE. Ainsi, après les études de phase 1 et 2 (International Fingerprint Research Group, 2014), un groupe de chercheur sera en mesure de faire une étude de phase 3 pour valider une nouvelle méthode et ainsi appuyer leur étude avec l'indice ForATE dans son article scientifique. De leur côté, les compagnies forensiques seront également en mesure d'utiliser l'indice pour appuyer l'impact de leur technologie auprès de leurs clients. Il y aura enfin un indice clair et significatif qui permettra à tous de comparer des pommes avec des pommes. Ultiment, le gestionnaire sera en mesure d'établir un plan clair des investissements à faire, et même de favoriser l'implantation de certaines technologies ou techniques lors de situations particulières (par exemple, les crimes majeurs), sans pour autant les implanter dans la routine de traitement régulière, selon les bénéfices et les investissements qu'il considère pertinents à la situation rencontrée. L'indice ForATE deviendra, de facto, un outil supplémentaire pour les gestionnaires, de pair avec la participation aux projets du type FORESIGHT, pour une saine gestion des laboratoires forensiques. Cela lui permettra alors de se rapprocher de l'aspiration utopique ultime décrite par Gittelsohn et al. :

« Un gestionnaire rationnel évaluera la valeur potentielle d'information d'une trace et ne la traitera que si elle est supérieure ou égale au coût du traitement. »

- Traduction libre (Gittelsohn, Bozza, Biedermann, & Taroni, 2013)

Au final, les laboratoires forensiques seront ultiment en mesure d'ajouter l'indice ForATE à leur arsenal afin d'appuyer leurs efforts d'accréditation selon la norme ISO 17025:2017.

9 Bibliographie

- Anthonioz, A., Aguzzi, A., Girod, A., Egli, N., & Ribaux, O. (2002). Potential use of fingerprints in forensic intelligence: crime scene finding. *Problems of forensic sciences*, 51, 166-170.
- Arrow, K. (1951). *Social choice and individual values*. New York: John Wiley.
- Ashworth, C. D., Williamson, P., & Montano, D. (1984). A scale to measure physician beliefs about psychosocial aspects of patient care. *Social Science & Medicine*, 19(11), 1235-1238.
- Australia New Zealand Policing Advisory Agency; National Institute of Forensic Science. (2012). *End-to-end forensic identification process project: volume crime*. Sydney: ANZPAA Board.
- Bandey, H. L. (Éd.). (2014). *Fingermark Visualisation Manual*. UK: Home Office Centre for Applied Science and Technology.
- Bandey, H. L., & Gibson, A. P. (2006, Février). The Powders process, Study 2. *HOSDB Fingerprint Development and Imaging Newsletter: Special Edition*, pp. 1-13.
- Beaudoin, A. (2004). New Technique for Revealing Latent Fingerprints on Wet, Porous Surfaces: Oil Red O. *Journal of Forensic Identification*, 54(4), 413-421.
- Beaudoin, A. (2009). *Analyse des stratégies d'évaluation des technologies des corps policiers canadiens: le cas de l'identité judiciaire, Thèse de Master*. Montréal: Université de Montréal. Récupéré sur <http://hdl.handle.net/1866/3606>
- Beaudoin, A. (2021). *Indice ForATE*. Consulté le Jan 03, 2021, sur Alexandre Beaudoin: <http://alexandre.beaudoin.net/ForATE.htm>
- Beaudoin, F. (2011). Wilfrid Derome, terreur de la classe criminelle. *Journal de la Criminologistique*, 3(1), 98-100.
- Beaudoin, F. (2012). Sur les traces d'Edmond Locard. *Journal de la Criminologistique*, 2(3), 149-152.

- Beaudoin, F. (2013). Rodolphe Archibald Reiss : la criminalistique avant tout. *Journal de la Criminalistique*, 3(3), 16-19.
- Beckman, M. (2003). *The scientist as manager*. Consulté le Dec 22, 2020, sur The Chronicle of higher education: <https://www.chronicle.com/article/the-scientist-as-manager/>
- Bhushan, N., & Kanwal, K. (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. London: Springer-Verlag.
- BPMSG. (2019). *AHP Online System - AHP-OS: Multi-criteria Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process*. Consulté le Jul 02, 2020, sur <https://bpmsg.com/ahp/>
- Brady, T. (1996). The evolution of police technology. Dans Office of Community Oriented Policing Services (Éd.), *Technology for community policing*. Washington DC: National Institute of Justice.
- Brousselle, A., Lachaine, J., & Contandriopoulos, A.-P. (2011). L'évaluation économique. Dans A. Brousselle, F. Champagne, A.-P. Contandriopoulos, & Z. Harty, *L'évaluation: concepts et méthodes* (éd. 2e, pp. 199-235). Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal.
- Brown, M., & Brudney, J. (2003). Learning Organizations in the Public sector? A study of police agencies employing information and technology to advance knowledge. *Public administration review*, 63(1), 30-43.
- Bureau du vérificateur général du Canada. (2004). Chapitre 3, La sécurité nationale au Canada – l'initiative de 2001 en matière d'antiterrorisme. Dans *Rapport de la Vérificatrice générale du Canada - Mars 2004*. Ottawa: Gouvernement du Canada.
- Burke, E. M. (2020). *Comparison of Oil Red O vs Physical Developer Enhancement of Latent Prints Under Various Environmental Conditions*, *Thèse de Master*. Ann Arbor: ProQuest LLC.
- Burrows, J., & Tarling, R. (2004). Measuring the impact of forensic science in detecting burglary and autocrime offences. *Science and Justice*, 44(4), 217-222.
- Campbell, F. (1997). High-Tech advances being new tools. *Police*, 21(10), 60-63.
- Casey, E., Ribaux, O., & Roux, C. (2018). Digital transformations and the viability of forensic science laboratories: Crisis-opportunity through decentralisation. *Forensic science international*, 289, e24-e25.

- Champagne, F., Brousselle, A., Contandriopoulos, A.-P., & Harty, Z. (2011). L'analyse des effets. Dans A. Brousselle, F. Champagne, A.-P. Contandriopoulos, & Z. Harty, *L'évaluation: concepts et méthodes* (éd. 2e, pp. 173-198). Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal.
- Champagne, F., Contandriopoulos, A.-P., Brousselle, A., Harty, Z., & Denis, J.-L. (2011). L'évaluation dans le domaine de la santé. Dans A. Brousselle, F. Champagne, A.-P. Contandriopoulos, & Z. Harty, *L'évaluation: concepts et méthodes* (éd. 2e, pp. 49-70). Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal.
- Champagne, F., Lemieux-Charles, L., & McGuire, W. (2004). Introduction : Towards a broader understanding of the use of knowledge and evidence in health care. Dans L. Lemieux-Charles, & F. Champagne, *Multidisciplinary perspectives on evidence-based decision-making in health care* (pp. 3-17). Toronto: University of Toronto Press.
- Champod, C. (2017). Forensic Laboratories: Is it All about Survival? *Policing: A Journal of Policy and Practice*, 13(1), 47-54.
- Champod, C., Lennard, C., Stoilovic, M., & Margot, P. (2016). *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions, 2nd Edition*. Boca Raton: CRC press.
- Chan, J. (2001). The technological game: How information technology is transforming police practice. *Criminal Justice*, 1(2), 139-159.
- Chemical inspection & regulation service. (2013). *GHS in China, Korea and Japan*. Consulté le Dec 22, 2020, sur http://www.cirs-reach.com/GHS_in_China_Korea_and_Japan.html
- Conseil de surveillance des activités de la Sûreté du Québec. (2005). *Rapport général de mandat (2001-2005)*. Montréal: Bibliothèque Nationale du Québec.
- Cox, E. P. (1980). The optimal number of response alternatives for a scale: a review. *Journal of Marketing Research*, 17(4), 407-422.
- Crispino, F., Mousseau, V., Baechler, S., Delémont, O., Roux, C., & Ribaux, O. (2021). Forensic science understanding by police managers: New opportunities to re-think its involvement in policing. Dans J. Nolan, F. Crispino, & T. Parsons, *Policing in an Age of Reform - An Agenda for Research and Practice*. (pp. 117-131). London, UK: Palgrave Macmillan.

- D'Elia, V., Materazzi, S., Iuliano, G., & Niola, L. (2015). Evaluation and comparison of 1,2-indanedione and 1,8-diazafluoren-9-one solutions for the enhancement of latent fingerprints on porous surfaces. *Forensic Science International*, 254, 205-214.
- Daéid, N. N. (2013). 17th Interpol international forensic science managers symposium review papers. (pp. 901-910). Lyon: INTERPOL.
- Dalrymple, B., & Almog, J. (2012). Comparison of Latent Print Detection using Semiconductor Laser and LED Light Sources with Three Chemical Reagents. *Journal of Forensic Identification*, 62(1), 14-27.
- Dawson, B. (2007). *The Impact of Technology Insertion on Organisations*. USA: Human Factors Integration Defence Technology Centre.
- Denis, J., Lehoux, P., & Champagne, F. (2004). A Knowledge utilization perspective on fine-tuning dissemination and contextualizing knowledge. Dans L. Lemieux-Charles, & F. Champagne, *Multidisciplinary perspectives on evidence-based decision-making in health care* (pp. 18-40). Toronto: University of Toronto Press.
- Dey, P. K. (2003). Analytic Hierarchy Process analyzes risk of operating cross-country petroleum pipelines in India. *Natural Hazards review*, 4(4), 213-221.
- Drake, P. R. (1998). Using Analytic Hierarchy Process in engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 14(3), 191-196.
- Drummond, M., O'Brien, B., Stoddart, G., & Torrance, G. (1998). *Méthodes d'évaluation économique des programmes de santé* (éd. 2e). Paris: Economica.
- DSTL. (2019). Choosing one amino acid reagent? Choose Indandione! *Fingerprint Visualisation Newsletter*, 15.
- Durbach, I., Lahdelma, R., & Salminen, P. (2014). The analytic hierarchy process with stochastic judgements. *European Journal of Operational Research*, 238(2), 552-559.
- Ehlers, L., Vestergaard, M., Kidholm, K., Bonnevie, B., Pedersen, P., Jørgensen, T., . . . Kjølby, M. (2006). Doing mini-health technology assessments in hospitals: A new concept of decision support in health care? *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 22(3), 295-301.

- European Commission; Enterprise and industry. (2012). *CLP/GHS - Classification, labelling and packaging of substances and mixtures*. Consulté le Dec 22, 2020, sur https://ec.europa.eu/growth/sectors/chemicals/classification-labelling_en
- Field, A. (1999). A bluffer's guide to meta analysis: Correlations. *Newsletter of the Mathematical, Statistical and Computing section of the British Psychological Society*, 7(1), 16-25.
- Field, A., & Wright, D. (2006). A bluffer's guide to effect sizes. *Psy-Pag Quarterly*, 58, 9-23.
- Fletcher, R., Fletcher, S., & Wagner, E. (1982). *Clinical epidemiology; the essentials*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Foster, R. (2005). *Police technology*. UpperSaddle River: Pearson Prentice Hall.
- Frick, A. A., Fritz, P., Lewis, S. W., & Van Bronswijk, W. (2013). Sequencing of a modified oil red O development technique for the detection of latent fingermarks on paper surfaces. *Journal of Forensic Identification*, 63(4), 369-385.
- Frick, A., Fritz, P., van Bronswijk, W., Beaudoin, A., Bleay, S., Lennard, C., & Lewis, S. (2017). Investigations into the Influence of Donor Traits on Performance of Fingermark Development Reagents. Part 2: Oil Red O and PD. *Journal of Forensic Identification*, 67(3), 427-446.
- Ganti, A. (2019, Sep 13). *Central Limit Theorem (CLT)*. Consulté le Dec 25, 2020, sur Investopedia.com: https://www.investopedia.com/terms/c/central_limit_theorem.asp
- Gautret de la Moricière, G. (2006). *Guide du risque chimique: identification, évaluation, maîtrise* (éd. 4e). Paris: Dunod.
- Gelijns, A., & Rosenberg, N. (1994). The dynamics of technological change in medicine. *Health affairs*, 13(3), 28-46.
- Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (1998). A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 199-212.
- Gittelsohn, S., Bozza, S., Biedermann, A., & Taroni, F. (2013). Decision-theoretic reflections on processing a fingermark. *Forensic Science International*, 226, e42-e47.

- Goepel, K. D. (2018). Comparison of Judgment Scales of the Analytical Hierarchy Process - A new approach. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 18(2), 445-463.
- Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469-487.
- Gouvernement du Canada. (2015, Feb 27). *Workplace Hazardous Materials Information System 2015*. Consulté le Dec 22, 2020, sur Canada.ca: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/occupational-health-safety/workplace-hazardous-materials-information-system/whmis-2015.html>
- Gouvernement du Québec. (2021, Mar 20). *Le grand dictionnaire terminologique (GDT)*. Récupéré sur Office québécois de la langue française: <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/>
- Grand View Research. (2018). *Automated Fingerprint Identification System (AFIS) Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component (Hardware, Software, Service), By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2018 - 2025*. San Francisco: Grand View Research.
- Grand, J.-M. (2006). *Le Décideur Chrono*. Rezé: Paulo Ramand Eds.
- Grawitz, D. (2001). Les techniques d'études de collectivités et de groupes. Dans D. Grawitz, *Méthodes des sciences sociales* (pp. 766-799). Paris: Dalloz.
- Greenhalgh, T., Robert, G., MacFarlane, F., Bate, P., & Kyriakidou, O. (2004). Diffusion of innovation in service organizations: Systematic review and recommendations. *Milbank Quarterly*, 82(4), 581-629.
- Habibie, M. H., & Basuki, B. (2019). Risk-based thinking on calibration and testing laboratory: Current challenge in transition period. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 673, 012075. Consulté le Dec 26, 2020, sur <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/673/1/012075/meta>
- Hahn, E. (2003). Decision Making with Uncertain Judgments: A Stochastic Formulation of the Analytic Hierarchy Process. *Decision Sciences*, 34(3), 443-466.

- Heder, M. (2017). From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *The Innovation Journal: The Public Sector Innovation Journal*, 22(2), 1-23.
- Herold, H. (1986). Konstruktive Sicherheit-Eine Gegenthese. Dans *Der Traum der Vernunft. Vom Elend der Aufklärung* (pp. 248-260). Darmstadt/Neuwied: Luchterhand.
- Herschel, W. (1880). Skin furrows of the hand. *Nature*, 23(578), 76.
- Honig, M., & Yoak, J. (2016). Oil Red O: A Comparative Performance Study. *Journal of Forensic Identification*, 66(2), 118-135.
- Houck, M. M., & Speaker, P. (2020). Project FORESIGHT: A ten-year retrospective. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 275-281.
- Houck, M. M., Riley, R. A., Speaker, P. J., & Witt, T. S. (2009). FORESIGHT: A business approach to improving forensic science services. *Forensic Science Policy and Management*, 1, 85-95.
- Houck, M., Speaker, P. J., Fleming, A. S., & Riley, R. A. (2012). The balanced scorecard: sustainable performance assessment for forensic laboratories. *Science and Justice*, 52, 209-216.
- INSEE. (2016, Oct 13). *Indice synthétique*. Consulté le Dec 22, 2020, sur Institut national de la statistique et des études économiques: <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1205>
- International Electrotechnical Commission. (2006). IEC 62471:2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems. 1.0. Genève: International Standard.
- International Electrotechnical Commission. (2014). IEC 60825-1:2014 Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements. 3.0. Genève: International Standard.
- International Fingerprint Research Group. (2014). Guidelines for the assessment of fingerprint detection techniques. *Journal of Forensic Identification*, 64(2), 174-200.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 General Requirements for The Competence of Testing and Calibration Laboratories*. Switzerland: ISO.

- Interorganizational Committee on Guidelines and Principles for Social Impact Assessment. (1994). *Guidelines and Principles for Social Impact Assessment*. USA: US Department of Commerce.
- Janabi, A. H., Kerkhof, L. J., McGuinness, L. R., Biddle, A. S., & McKeever, K. H. (2016). Comparison of a modified phenol/chloroform and commercial-kit methods for extracting DNA from horse fecal material. *Journal of Microbiological Methods*, 129, 14-19.
- Jalut, P. (2007, Feb 13). *Indicateurs composites, un peu de rigueur!* Consulté le Dec 22, 2020, sur Decideo.fr: https://www.decideo.fr/Indicateurs-composites-un-peu-de-rigueur-_a1865.html
- Johri, M., & Lehoux, P. (2003). The great escape? Health technology assessment as a means of cost control. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 19(1), 179-193.
- Julian, R. D., Kelty, S. F., Roux, C., Woodman, P. R., Davey, A., Hayes, R., . . . White, R. (2011). What is the value of forensic science? An overview of the effectiveness of forensic science in the Australian criminal justice system project. *Australian journal of forensic sciences*, 43(4), 217-229.
- Kamal, M. A.-S.-H. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 19-27.
- Kent, T. (Éd.). (1998). *Manual of fingerprint development techniques*. Sandridge, UK: Home Office, Police Scientific Development Branch.
- Khaira, A., & Dwivedi, R. (2018). A State of the Art Review of Analytical Hierarchy Process. *Materials Today: Proceedings*, 5, 4029–4035.
- King, W., & Maguire, E. (2009). Assessing the performance of systems designed to process criminal forensic evidence. *Forensic Science Policy and Management*, 1, 159-170.
- Kobus, H., Houck, M., Speaker, P., Riley, R., & Witt, T. (2011). Managing performance in the forensic sciences: Expectations in light of limited budgets. *Forensic Science Policy and Management*, 2, 36-43.
- Köchli, S., Niederstätter, H., & Parson, W. (2005). DNA Extraction and Quantitation of Forensic Samples Using the Phenol-Chloroform Method and Real-Time PCR. Dans A. Carracedo, *Forensic DNA Typing Protocols. Methods in Molecular Biology* (Vol. 297, pp. 13-29). Totowa: Humana Press.

- Kramvis, A., Bukofzer, S., & Kew, M. (1996). Comparison of hepatitis B virus DNA extractions from serum by the QIAamp blood kit, GeneReleaser, and the phenol-chloroform method. *Journal of Clinical Microbiology*, *34*(11), 2731-2733.
- Lam, R., Wilkinson, D., Collins, K., Duncan, C., Dove, A., Klip, J., . . . Tregonning, S. (2013). Results From a Canadian National Field Trial Comparing 1,8-Diazafluoren-9-One (DFO) and 1,2-Indanedione - Zinc Chloride (IND-ZN). *Identification Canada Journal*, *36*(1), 4-14.
- Latent Forensic Services. (2020, Dec 23). *Chemistry*. Consulté le Dec 23, 2020, sur Latent Forensic Services: <https://www.latentforensics.com/>
- LeBoeuf, M. (2000). *Policing and use of information technology: An assessment*. Ottawa: Collège Canadien de Police, Centre de Recherche.
- Lee, W., & Khoo, B. (2010). Forensic Light Sources for Detection of Biological Evidences in Crime Scene Investigation: A Review. *Malaysian Journal of Forensic Sciences*, *1*, 17-27.
- Levin-Elad, M., Liptz, Y., Bar-Or, K. L., & Almog, J. (2017). 1,2-Indanedione — A winning ticket for developing fingerprints: A validation study. *Forensic Science International*, *271*(1), 8-12.
- Li, G., & Beaudoin, A. (2015). Comparison of the development techniques of latent fingerprints on porous surfaces: 1,8-Diazafluoren-9-one and 1,2-Indanedione-Zinc chloride. *Identification Canada*, *38*(1), 4-18.
- Lima, E., Gorski, E., Loures, E. F., Portela Santos, E. A., & Deschamps, F. (2019). Applying machine learning to AHP multicriteria decision making method to assets prioritization in the context of industrial maintenance 4.0. *IFAC PapersOnLine*, *52*(13), 2152–2157.
- Ly, P. T., Lai, W.-H., Hsu, C.-W., & Shih, F.-Y. (2018). Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*, *136*, 1-13.
- MacDonald, V., & Martin, M. (1986). Le spécialiste et la structure de gestion du personnel au sein des services de police. *Journal du Collège canadien de police*, *10*(3), pp. 204-245.
- Maguire, C., Houck, M. M., Williams, R., & Speaker, P. J. (2012). Efficiency and the cost-effective delivery of forensic science services: insourcing,

- outsourcing and privatization. *Forensic Science Policy and Management*, 3, 62-69.
- Maher, C. S., Hoang, T., & Hindery, A. (2020). Fiscal Responses to COVID -19: Evidence from Local Governments and Nonprofits. *Public Administration Review*, 80(4), 644-650.
- Mangle, M. F., Xu, X., & de Puit, M. (2015). Performance of 1,2-indanedione and the need for sequential treatment of fingerprints. *Science & Justice*, 55(5), 343-346.
- Manning, P. (1992). Technological and material resources issues. Dans L. Hoover, *Police management issues and perspectives* (pp. 251-280). Police Executive Res Forum.
- Manning, P. (2006). Environment, Technology and Organizational change : Notes from the Police World. Dans A. Pattavina, *Technology and organizational change*. Thousand Oaks: Sage.
- Mazziotta, M., & Pareto, A. (2016). On a Generalized Non-compensatory Composite Index for Measuring Socio-economic Phenomena. *Social Indicators Research*, 127, 983-1003.
- McCartney, C. (2006). *Forensic identification and criminal justice: Forensic science, justice and risk*. UK: Willan Publishing.
- McKinlay, J. (1981). From "Promising report" to "Standard procedure": Seven stages in the career of a medical innovation. *Health and society*, 59(3), 374-411.
- McMullen, L., Beaudoin, A., & Bellemarre, J.-F. (2020). *Manuel de technique en identité judiciaire*. Montréal: Sûreté du Québec.
- Merrick, S., Gardner, S. J., Sears, V. G., & Hewlett, D. F. (2002). An operational trial of ozone-friendly DFO and 1,2-indanedione formulations for latent fingerprint detection. *Journal of Forensic Identification*, 52(5), 595-605.
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63, 81-97.
- Morell, J. (2005). Why are there unintended consequences of program action, and what are the implications for doing evaluation? *American journal of evaluation*, 26(4), 444-463.

- Mousseau, V., Baechler, S., & Crispino, F. (2019). Management of crime scene units by Quebec police senior managers: Insight on forensic knowledge and understanding of key stakeholders. *Science & Justice, 59*, 524-532.
- Mowatt, G., Grant, A., Bower, D., Brebner, J., Cairns, J., & McKee, L. (2001). Timing of assessment of fast-changing Health technologies. Dans A. Stevens, K. Abrams, J. Brazier, R. Fitzpatrick, & R. Lilford, *The advanced handbook of methods in evidence based health care* (pp. 471-484). London: SAGE Publications.
- Mushlin, A., Ruchlin, H., & Callahan, M. (2001). Costeffectiveness of diagnostic tests. *The Lancet, 358*, 1353-1355.
- Nardo, M., Saisana, M., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paris: OECD/Joint Research Centre for the European Commission.
- National Academy of Sciences. (2009). *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*. National Research Council, Committee on Identifying the Needs of the Forensic Sciences Community. Washington DC: The National academies Press.
- Ndruru, T., & Riandari, F. (2019). Decision Support System Feasibility Lending At KSU Mitra Karya Cooperative Customer Unit XXVIII with Analytical Hierarchy Process Method. *Journal of Mantik, 3*(3), 119-125.
- Newman, J., Dawley, D., & Speaker, P. J. (2011). Strategic management of forensic laboratory resources: from project FORESIGHT metrics to the development of action plans. *Forensic Science Policy and Management, 2*, 164-174.
- Nogala, D. (1993, août-octobre). Le rôle de la technologie dans la police de demain. *Les cahiers de la sécurité intérieur, 14*, pp. 137-158.
- Organisation internationale de normalisation. (2013). *ISO 16290:2013 Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment*. Genève: ISO.
- Organisation internationale de normalisation. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*. Genève: ISO.

- Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne. (2008). Règlement européen de classification, labelling et packaging. *Journal officiel de l'Union Européenne*, 353, 1352-1355.
- Persoons, R., Dumas, L., Stoklov, M., & Maître, A. (2005). Développement d'une nouvelle méthode d'évaluation des risques chimiques: application dans les laboratoires hospitaliers. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 326-334.
- Peterson, J. L., & Leggett, A. S. (2007). The evolution of forensic science: progress amid the pitfalls. *Stetson law review*, 36, 621-660.
- Peterson, J., Sommers, I., Baskin, D., & Johnson, D. (2010). *The role and impact of forensic evidence in the criminal justice process*. Washington D.C.: United States Department of Justice.
- Pires, A. (1997). Échantillonnage et recherche qualitative: essai théorique et méthodologique. Dans J. Poupart, J. Deslauriers, L. Groulx, A. Laperrière, R. Mayer, & A. Pires, *La recherche qualitative: enjeux épistémologiques et méthodologiques* (pp. 113-169). Boucherville: Gaëtan Morin.
- Pollanen, M., Bowes, M., VanLaerhoven, S., & Wallace, J. (2013). *Forensic Science in Canada: A Report of Multidisciplinary Discussion*. Toronto: University of Toronto's Centre of Forensic Science and Medicine. Consulté le Dec 22, 2020, sur <http://www.crime-scene-investigator.net/forensic-science-in-canada.pdf>
- Preimsberger, D. (1996, October). Cops and Space scientist: New crime-fighting partners. *The police chief*, pp. 108-114.
- Preston, C., & Colman, A. (2000). Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. *Acta Psychologica*, 104, 1-15.
- Ramanathan, R. (2001). A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment. *Journal of Environmental Management*, 63(1), 27-35.
- Rawji, A., & Beaudoin, A. (2006). Oil Red O versus Physical Developer on wet papers: a comparative study. *Journal of Forensic Identification*, 56(1), 33-54.
- Ren, Z., Xu, Z., & Wang, H. (2019). The Strategy Selection Problem on Artificial Intelligence With an Integrated VIKOR and AHP Method Under

- Probabilistic Dual Hesitant Fuzzy Information. *IEEE Access*, 7, 103979-103999.
- Ribaux, O., Baylon, A., Roux, C., Delémont, O., Lock, E., Zingg, C., & Margot, P. (2010). Intelligence-led crime scene processing. Part I: forensic intelligence. *Forensic Science International*, 195(1-3), 10-16.
- Ribaux, O., Margot, P., Julian, R., & Kelty, S. F. (2013). Forensic intelligence. Dans J. A. Siegel, & P. J. Saukko, *Encyclopedia of forensic sciences* (éd. 2e, pp. 298-302). Academic press.
- Rodriguez, M. (1995, April). An overview of law enforcement technology. *The police chief*, pp. 15-29.
- Rogge, N., & Verschelde, M. (2012). *A composite index of citizen satisfaction with local police services*. Belgium: HUB research paper; Economics & Management.
- Roman, J. (2013, September). Cost-benefit analysis of criminal justice reforms. *National Institute of Justice Journal*(272), 30-38.
- Roman, J. K., Reid, S., Reid, J., Chalfin, A., Adams, W., & Knight, C. (2008). *The DNA field experiment: cost-effectiveness analysis of the use of DNA in the investigation of High-Volume crime*. Washington D.C.: Urban Institute Justice Policy Center.
- Rossy, Q., Ioset, S., Dessimoz, D., & Ribaux, O. (2013). Integrating forensic information in a crime intelligence database. *Forensic Science International*, 230(1), 137-146.
- Roux, C., Jones, N., Lennard, C., & Stoilovic, M. (2000). Evaluation of 1,2-Indanedione and 5,6-Dimethoxy-1,2-Indanedione for the Detection of Latent Fingerprints on Porous Surfaces. *Journal of Forensic Sciences*, 45(4), 761-769.
- Roux, C., Julian, R., Kelty, S., & Ribaux, O. (2014). Forensic science effectiveness. Dans G. Bruinsma, & D. Weisburd, *Encyclopedia of criminology and criminal justice* (pp. 1795-1805). New York: Springer Verlag.
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T. L. (2005). Analytic Hierarchy Process. Dans P. Armitage, & T. Colton, *Encyclopedia of Biostatistics* (Vol. 1). Pittsburgh: John Wiley & Sons.

- Saaty, T. L. (2010). *Principia Mathematica Decernendi: Mathematical Principles of decision making*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saeskate. (1998). *The evolution and development of police technology: A technical report*. Washington DC: The national committee on Criminal Justice technology, National Institute of Justice.
- Salama, J., Aumeer-Donovan, S., Lennard, C., & Roux, C. (2008). Evaluation of the Fingerprint Reagent Oil Red O as a Possible Replacement for Physical Developer. *Journal of Forensic Identification*, 58(2), 203-237.
- Scherrer, B. (1984). *Biostatistique*. Montréal: Gaëtan Morin éditeur.
- Sears, V. (2017). In-house studies: Indandione – the new DFO? – update. *Fingerprint Visualisation Newsletter*, 4-5.
- Sède-Marceau, M.-H. (2010). *Introduction à la statistique descriptive*. Besançon: Université de Franche-Comté.
- Sigma-Aldrich. (2021, Mar 20). *Sigma-Aldrich*. Récupéré sur Millipore Sigma: <https://www.sigmaaldrich.com/canada-english.html>
- Silva, M., Medeiros, Z., Soares, C., Silva, E., Miranda-Filho, D., & Melo, F. (2014). A comparison of four DNA extraction protocols for the analysis of urine from patients with visceral leishmaniasis. *Revista da sociedade brasileira de medicina tropical*, 47(2), 193-197.
- Smith, G. C., & Pell, J. P. (2003). Parachute use to prevent death and major trauma related to gravitational challenge: systematic review of randomized controlled trials. *British Medical Journal*, 327, 1459-1461.
- Smits, R., Leyten, J., & Den Hertog, P. (1995). Technology assessment and technology policy in Europe : New concepts, new goals, new infrastructures. *Policy sciences*, 28(3), 271-299.
- Soullière, N. (1999). *Police et technologies: un bilan historique, un regard contemporain*. Ottawa: Collège Canadien de Police, Centre de Recherche.
- Speaker, P. J. (2009). Key performance indicators and managerial analysis for forensic laboratories. *Forensic Science Policy and Management*, 1, 32-42.
- Speaker, P. J. (2009). The decomposition of return on investment for forensic laboratories. *Forensic Science Policy and Management*, 1, 96-102.

- Thanki, S., Govindan, K., & Thakkar, J. (2016). An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. *Journal of cleaner production*, 135, 284-298.
- Tilley, N., & Ford, A. (1996). *Forensic science and crime investigation*. London: Home Office Police Research Group.
- Tilley, N., & Townsley, M. (2009). Forensic science in UK policing: strategies, tactics and effectiveness. Dans J. Fraser, & R. Williams, *The handbook of forensic science* (pp. 359-379). UK: Willan Publishing.
- United States Department of Labor. (2010). *Hazard Communication Standard Final Rule*. Consulté le Dec 22, 2020, sur Occupational Safety & Health Administration: <https://www.osha.gov/dsg/hazcom/HCSFactsheet.html>
- Valenstein, P. (1990). Evaluating diagnostic tests with imperfect standards. *American journal of clinical pathology*, 93(2), 252-258.
- Van den Bruel, A., Cleemput, I., Aertgeerts, B., Ramaekers, D., & Buntinx, F. (2007). The evaluation of diagnostic tests: evidence on technical and diagnostic accuracy, impact on patient outcome and cost-effectiveness is needed. *Journal of clinical epidemiology*, 60, 1116-1122.
- van Oorschot, R. A. (2012). Assessing DNA profiling success rates: need for more and better collection of relevant data. *Forensic Science Policy and Management*, 3, 37-41.
- Vestergaard, M., Ehlers, L., Kidholm, K., Holt, P., Bonnevie, B., Jensen, M., & Jørgensen, T. (2005). *Introduction to mini-HTA – a management and decision support tool for the hospital service*. Copenhagen: National Board of Health - Danish Centre for Evaluation and Health Technology Assessment.
- Vincent, R., Bonthoux, F., Mallet, G., Iparraguirre, J., & Rio, S. (2005, 3e trimestre). Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique: un outil d'aide à la décision. *INRS - Hygiène et sécurité du travail - Cahier de notes documentaires*, 200, pp. 39-62.
- Walker, C., & Stockdale, R. (1999). Forensic evidence. Dans C. Walker, & K. Starmer (Éd.), *Miscarriages of justice*. London: Blackstone.
- Walker, J. T. (1999). *Statistics in criminal justice: Analysis and interpretation*. Burlington: Jones & Bartlett Learning.

- Wallace-Kunkel, C., Lennard, C., Stoilovic, M., & Roux, C. (2007). Optimisation and evaluation of 1,2-indanedione for use as a fingerprint reagent and its application to real samples. *Forensic Science International*, 168(1), 14-26.
- Walsh, P., Metzger, D., & Higuchi, R. (1991). Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*, 10(4), 506-513.
- Watson, C. I., Fiumara, G. P., Tabassi, E., Cheng, S. L., Flanagan, P. A., & Salamon, W. J. (2015). *Fingerprint Vendor Technology Evaluation*. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg: NIST Interagency/Internal Report (NISTIR).
- Wilkinson, D., & Watkin, J. (1994). Comparison of the Forensic Light Sources: Polilight, Luma Light and Spectrum 9000. *Journal of Forensic Identification*, 44(6), 632-651.
- Wilkinson, D., Rumsby, D., Babin, B., Merritt, M., & Marsh, J. (2004). The Results of a Canadian National Field Trial Comparing 1,8-Diazafluoren-9-one (DFO) with Ninhydrin and the Sequence DFO Followed by Ninhydrin. *Identification Canada Journal*, 27(3), 10-24.
- Wilson, D. B., McClure, D., & Weisburd, D. (2010). Does forensic DNA help to solve crime? The benefit of sophisticated answer to naive questions. *Journal of contemporary criminal justice*, 26(4), 458-469.
- Wood, M. A., & James, T. (2009). ORO. The Physical Developer replacement? *Science & Justice*, 49(4), 272-276.
- Yannou, B., & Limagem, F. (2002). Les méthodes de comparaison par paires, intérêt fondamental, méthodes pratiques, avancées scientifiques, logiciel (Partie 1). *La valeur des produits, procédés et services*, 92, 15-18.
- Zeelenberg, A. (2000). Recherche d'une méthode d'identification par les empreintes digitales. *29ème conférence régionale européenne Interpol*. Reykjavik: Interpol European Expert Group on Fingerprint Identification - IEEGFI.

Annexe 1 : Grilles de sondage

Section 1 – Questions générales :

- - Quel est le nom de votre organisation?
 - Dans quel pays est située votre organisation?
 - Pourriez-vous nous référer des contacts qui pourraient également être intéressés à participer à ce sondage?
 - Suite à ce sondage, seriez-vous intéressé à poursuivre votre participation à cette recherche en remplissant une grille de données sur vos techniques de développement des traces digitales de votre laboratoire sur une période d'un an? Évidemment, seules les techniques utilisées ainsi que le nombre d'empreintes obtenu seront nécessaires à la recherche.
 - Si non: Pourriez-vous nous proposer quelqu'un qui, selon vous, pourrait être intéressé par une telle participation?

Section 2 – Questions sur les méthodes de développement utilisées dans l'organisation :

■

- Veuillez cocher la réponse qui s'applique le mieux à chacune des techniques de développement des traces digitales suivantes :

Méthodes de développement	Utilisée et préparée au laboratoire	Utilisée grâce à une solution du commerce	Non utilisées
Ardrox			
Brillant jaune 40			
Cristal violet			
DFO			
Indanedione			
Indanedione/Zinc			
Nile Red			
Ninhydrine			
Nitrate d'argent			
Oil Red O			
RAM			
RAY			
Révéléateur Physique			
Rhodamine 6G			
RTX			

Small particle reagent			
Vapeurs de cyanoacrylate			
Vapeurs d'iode			
Autres 1 (spécifié)			
Autres 2 (spécifié)			
Autres 3 (spécifié)			

Section 3 – Questions sur les critères de sélection des méthodes de développement :

Dans cette section vous aurez à comparer chacun des critères de sélection d'une méthode de développement des traces digitales. Ainsi, vous devrez nous dire, selon vous, lequel des deux critères comparés est le plus important lors de la sélection d'une méthode de développement. Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle d'importance des critères comme suit:

Échelle d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux critères contribuent également à la sélection
2	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 1 et 3
3	Importance modérément plus grande	Le critère A est modérément plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
4	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 3 et 5
5	Importance fortement plus grande	Le critère A est fortement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
6	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 5 et 7
7	Importance très fortement plus grande	Le critère A est très fortement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B

8	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 7 et 9
9	Importance extrêmement plus grande	Le critère A est extrêmement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B

Voici une définition des critères qui seront comparés:

- Efficacité: efficacité et performance de la méthode à détecter les traces digitales
 - Risque: risque potentiel pour la santé des produits chimiques associé à la méthode
 - Simplicité: simplicité d'utilisation et de préparation de la méthode
 - Temps: temps requis pour préparer et appliquer le traitement
- En vous basant sur l'échelle ci-dessus, lequel des critères suivants est le plus important dans la sélection d'une méthode de développement des traces digitales entre:
- l'efficacité (critère A) et le risque (critère B) (1 à 9)
 - l'efficacité (critère A) et le temps (critère B) (1 à 9)
 - l'efficacité (critère A) et la simplicité (critère B) (1 à 9)
 - la simplicité (critère A) et le temps (critère B) (1 à 9)
 - la simplicité (critère A) et le risque (critère B) (1 à 9)
 - le temps (critère A) et le risque (critère B) (1 à 9)

Dans cette section vous aurez à comparer chacun des critères de sélection d'une méthode de développement des traces digitales. Ainsi, vous devrez nous dire,

selon vous, lequel des deux critères comparés est le plus important lors de la sélection d'une méthode de développement. Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle d'importance des critères comme suit:

Échelle d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux critères contribuent également à la sélection
2	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 1 et 3
3	Importance modérément plus grande	Le critère A est modérément plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
4	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 3 et 5
5	Importance fortement plus grande	Le critère A est fortement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
6	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 5 et 7
7	Importance très fortement plus grande	Le critère A est très fortement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
8	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 7 et 9

9	Importance extrêmement plus grande	Le critère A est extrêmement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
---	--	--

Voici une définition des critères qui seront comparés:

- Simplicité d'utilisation: la simplicité de l'utilisation de la méthode lors d'un traitement, en parlant du traitement lui-même, mais aussi de la préparation de la surface, des manipulations à faire, etc.
- Simplicité de préparation: la simplicité de la préparation des différentes solutions d'une méthode
 - En vous basant sur l'échelle ci-dessus, lequel des critères suivants est le plus important dans la sélection d'une méthode de développement des traces digitales entre:
 - la simplicité d'utilisation (critère A) et la simplicité de préparation (critère B) (1 à 9)

Dans cette section vous aurez à comparer chacun des critères de sélection d'une méthode de développement des traces digitales. Ainsi, vous devrez nous dire, selon vous, lequel des deux critères comparés est le plus important lors de la sélection d'une méthode de développement.

Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle d'importance des critères comme suit:

Échelle d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux critères contribuent également à la sélection
2	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 1 et 3
3	Importance modérément plus grande	Le critère A est modérément plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
4	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 3 et 5
5	Importance fortement plus grande	Le critère A est fortement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
6	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 5 et 7
7	Importance très fortement plus grande	Le critère A est très fortement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B
8	Valeur intermédiaire	Lorsque vous hésitez entre les valeurs 7 et 9
9	Importance extrêmement plus grande	Le critère A est extrêmement plus important dans la sélection d'une méthode que le critère B

Voici une définition des critères qui seront comparés:

- Temps de traitement: le temps requis lors d'un traitement, en parlant du traitement lui-même, mais aussi des temps de réaction, de séchage, des manipulations à faire, etc.
- Temps de préparation: le temps requis pour la préparation des différentes solutions d'une méthode
 - En vous basant sur l'échelle ci-dessus, lequel des critères suivants est le plus important dans la sélection d'une méthode de développement des traces digitales entre:
 - le temps de traitement (critère A) et le temps de préparation (critère B) (1 à 9)

Section 4 – Questions sur la simplicité d'utilisation et de préparation de chacune des méthodes utilisées :

Dans cette section vous aurez à déterminer la simplicité d'utilisation de chacune des méthodes que vous utilisez dans votre laboratoire. Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle de simplicité des méthodes comme suit:

Échelle de simplicité	Définition
3	Extrêmement facile et simple d'utilisation
2	Très facile et simple d'utilisation
1	Facile et simple d'utilisation
0	Pas difficile à utiliser
-1	Difficile et complexe à utiliser
-2	Très difficile et complexe à utiliser
-3	Extrêmement difficile et complexe à utiliser

Voici une définition de la Simplicité d'utilisation: la simplicité de l'utilisation de la méthode lors d'un traitement, en parlant du traitement lui-même, mais aussi de la préparation de la surface, des manipulations à faire, etc.

- Veuillez évaluer la simplicité d'utilisation qui s'applique le mieux à chacune des techniques de développement des traces digitales en tenant compte de l'échelle précédemment présentée:

	3	2	1	0	-1	-2	-3
Ardrox							
Brillant jaune 40							
Cristal violet							
DFO							
Indanedione							
Indanedione/Zinc							
Nile Red							
Ninhydrine							
Nitrate d'argent							
Oil Red O							
RAM							
RAY							
Révéléateur Physique							
Rhodamine 6G							
RTX							
Small particle reagent							
Vapeurs de cyanoacrylate							
Vapeurs d'iode							

Autres 1 (spécifié)							
Autres 2 (spécifié)							
Autres 3 (spécifié)							

Dans cette section vous aurez à déterminer la simplicité de préparation de chacune des méthodes que vous utilisez dans votre laboratoire, si vous préparez ces produits dans le laboratoire et n'utilisez pas de solutions préparées dans le commerce (utilisation d'une condition à l'affichage des techniques dans le sondage). Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle de simplicité des méthodes comme suit:

Échelle de simplicité	Définition
3	Extrêmement facile et simple à préparer
2	Très facile et simple à préparer
1	Facile et simple à préparer
0	Pas difficile à préparer
-1	Difficile et complexe à préparer
-2	Très difficile et complexe à préparer
-3	Extrêmement difficile et complexe à préparer

Voici une définition de la Simplicité de préparation: la simplicité de la préparation des différentes solutions d'une méthode

- o Veuillez évaluer la simplicité de préparation qui s'applique le mieux à chacune des techniques de développement des traces digitales en tenant compte de l'échelle précédemment présentée:

	3	2	1	0	-1	-2	-3
Ardrox							
Brillant jaune 40							
Cristal violet							
DFO							
Indanedione							
Indanedione/Zinc							
Nile Red							
Ninhydrine							
Nitrate d'argent							
Oil Red O							
RAM							
RAY							
Révélateur Physique							
Rhodamine 6G							
RTX							
Small particle reagent							
Vapeurs de cyanoacrylate							
Vapeurs d'iode							
Autres 1 (spécifié)							

Autres 2 (spécifié)							
Autres 3 (spécifié)							

Section 5 – Questions sur le temps associé au traitement et à la préparation de chacune des méthodes utilisées :

Dans cette section vous aurez à déterminer le temps de traitement de chacune des méthodes que vous utilisez dans votre laboratoire. Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle de temps des méthodes comme suit:

Échelle de temps	Définition
5	Très rapide
4	Rapide
3	Pas vraiment long
2	Long
1	Très long

Voici une définition du Temps de traitement: le temps requis lors d'un traitement, en parlant du traitement lui-même, mais aussi des temps de réaction, de séchage, des manipulations à faire, etc.

- Veuillez évaluer le temps de traitement qui s'applique le mieux à chacune des techniques de développement des traces digitales en tenant compte de l'échelle précédemment présentée:

	5	4	3	2	1
Ardrox					
Brillant jaune 40					
Cristal violet					
DFO					
Indanedione					
Indanedione/Zinc					
Nile Red					
Ninhydrine					
Nitrate d'argent					
Oil Red O					
RAM					
RAY					
Révélateur Physique					
Rhodamine 6G					
RTX					
Small particle reagent					
Vapeurs de cyanoacrylate					
Vapeurs d'iode					
Autres 1 (spécifié)					

Autres 2 (spécifié)					
Autres 3 (spécifié)					

Dans cette section vous aurez à déterminer le temps de traitement de préparation de chacune des méthodes que vous utilisez dans votre laboratoire, si vous préparez ces produits dans le laboratoire et n'utilisez pas de solutions préparées dans le commerce (utilisation d'une condition à l'affichage des techniques dans le sondage). Pour ce faire, nous vous demandons de considérer l'échelle de simplicité des méthodes comme suit:

Échelle de temps	Définition
5	Très rapide
4	Rapide
3	Pas vraiment long
2	Long
1	Très long

Voici une définition du Temps de préparation: le temps requis pour la préparation des différentes solutions d'une méthode

- Veuillez évaluer le temps de préparation qui s'applique le mieux à chacune des techniques de développement des traces digitales en tenant compte de l'échelle précédemment présentée:

	5	4	3	2	1
Ardrox					
Brillant jaune 40					
Cristal violet					
DFO					
Indanedione					
Indanedione/Zinc					
Nile Red					
Ninhydrine					
Nitrate d'argent					
Oil Red O					
RAM					
RAY					
Révélateur Physique					
Rhodamine 6G					
RTX					
Small particle reagent					
Vapeurs de cyanoacrylate					
Vapeurs d'iode					
Autres 1 (spécifié)					

Autres 2 (spécifié)					
Autres 3 (spécifié)					

Survey grid

Section 1 – General questions:

- - What is your organization name's?
 - In which country is located your organization?
 - Could you refer us contacts that could be interested in participating in this survey?
 - Following the survey, would you be interested to continue your participation in this research by filling in a grid concerning your fingerprint development techniques used in your laboratory over a period of one year? Obviously, only the techniques used and the number of prints will be needed for the research.
 - If not: Could you suggest us someone who, you think, might be interested in such participation?

Section 2 – Questions about development methods used in the organization:

- Please select the response that best suits each of the following fingerprints development techniques:

Development techniques	Used and prepared in the laboratory	Used with a commercial solution	Unused
Ardrox			
Brilliant yellow 40			
Crystal violet			
DFO			
Indanedione			
Indanedione/Zinc			
Nile Red			
Ninhydrin			
Silver nitrate			
Oil Red O			
RAM			
RAY			
Physical Developer			
Rhodamine 6G			
RTX			

Small particle reagent			
Cyanoacrylate fuming			
Iodine fuming			
Others 1 (specify)			
Others 2 (specify)			
Others 3 (specify)			

Section 3 – Questions about the selection criteria of development methods:

In this section, you will have to compare each of the criteria proposed for selecting a fingermarks development method. So you need to tell us your opinion on which of the two compared criteria is the most important when selecting a development method. To do this, we ask you to consider the criteria importance scale as follows:

Importance scale	Definition	Explanation
1	Equally important	Both criteria equally contribute to the selection
2	Intermediate value	When you hesitate between the values 1 and 3
3	Moderately more important	Criterion A is moderately more important in selecting a method that criterion B
4	Intermediate value	When you hesitate between the values 3 and 5
5	Strongly more important	Criterion A is strongly more important in selecting a method that criterion B
6	Intermediate value	When you hesitate between the values 5 and 7
7	Very strongly more important	Criterion A is very strongly more important in selecting a method that criterion B

8	Intermediate value	When you hesitate between the values 7 and 9
9	Extremely more important	Criterion A is extremely more important in selecting a method that criterion B

Here is a definition of the criteria to be compared:

- Efficiency: efficiency and performance of the method to detect fingerprints
 - Risk: potential health risk of chemicals associated with the method
 - Simplicity: ease of use and preparation of the method
 - Time: time required to prepare and implement the treatment
- Based on the above scale, which of the following is the most important criteria in selecting a method for developing fingerprints:
 - efficiency (criterion A) and risk (criterion B) (1-9)
 - efficiency (criterion A) and time (criterion B) (1-9)
 - efficiency (criterion A) and simplicity (criterion B) (1-9)
 - simplicity (criterion A) and time (criterion B) (1-9)
 - simplicity (criterion A) and risk (criterion B) (1-9)
 - time (criterion A) and risk (criterion B) (1-9)

In this section, you will have to compare each of the criteria proposed for selecting a fingerprints development method. So you need to tell us your opinion on which of the two compared criteria is the most important when selecting a development method. To do this, we ask you to consider the criteria importance scale as follows:

Importance scale	Definition	Explanation
1	Equally important	Both criteria equally contribute to the selection
2	Intermediate value	When you hesitate between the values 1 and 3
3	Moderately more important	Criterion A is moderately more important in selecting a method that criterion B
4	Intermediate value	When you hesitate between the values 3 and 5
5	Strongly more important	Criterion A is strongly more important in selecting a method that criterion B
6	Intermediate value	When you hesitate between the values 5 and 7
7	Very strongly more important	Criterion A is very strongly more important in selecting a method that criterion B
8	Intermediate value	When you hesitate between the values 7 and 9
9	Extremely more important	Criterion A is extremely more important in

		selecting a method that criterion B
--	--	-------------------------------------

Here is a definition of the criteria to be compared:

- Simplicity of use: Ease of use of a method during treatment, referring to the treatment itself but also to the preparation of the surface, the manipulation and so on.
- Simplicity of preparation: : the simplicity of the preparation of the various solutions of a method
 - Based on the above scale, which of the following is the most important criteria in selecting a method for developing fingermarks:
 - simplicity of use (criterion A) and simplicity of preparation (criterion B) (1-9)

In this section, you will have to compare each of the criteria proposed for selecting a fingermarks development method. So you need to tell us your opinion on which of the two compared criteria is the most important when selecting a development method. To do this, we ask you to consider the criteria importance scale as follows:

Importance scale	Definition	Explanation
1	Equally important	Both criteria equally contribute to the selection
2	Intermediate value	When you hesitate between the values 1 and 3
3	Moderately more important	Criterion A is moderately more important in

		selecting a method that criterion B
4	Intermediate value	When you hesitate between the values 3 and 5
5	Strongly more important	Criterion A is strongly more important in selecting a method that criterion B
6	Intermediate value	When you hesitate between the values 5 and 7
7	Very strongly more important	Criterion A is very strongly more important in selecting a method that criterion B
8	Intermediate value	When you hesitate between the values 7 and 9
9	Extremely more important	Criterion A is extremely more important in selecting a method that criterion B

Here is a definition of the criteria to be compared:

- Processing Time: The time required during treatment, referring to the treatment itself but also reaction time, the drying time, the manipulation time and so on.
- Preparation time: the time required for the preparation of different solutions for a method

- Based on the above scale, which of the following is the most important criteria in selecting a method for developing fingerprints:
 - processing time (criterion A) and preparation time (criterion B) (1-9)

Section 4 – Questions about the simplicity of use and preparation of each methods used:

In this section, you will determine the ease of use of each of the methods that you use in your laboratory. To do this, we ask you to consider the simplicity scale as follows:

Simplicity scale	Definition
3	Extremely easy and simple to use
2	Very easy and simple to use
1	Easy and simple to use
0	Not difficult to use
-1	Complex and difficult to use
-2	Very complex and difficult to use
-3	Extremely complex and difficult to use

Here is a Simplicity of use definition: Ease of use of a method during treatment, referring to the treatment itself but also to the preparation of the surface, the manipulation and so on.

- Based on the above scale, please rate the Simplicity of use that best suit each of the following method for developing fingerprints:

	3	2	1	0	-1	-2	-3
Ardrox							
Brilliant yellow 40							
Crystal violet							
DFO							
Indanedione							
Indanedione/Zinc							
Nile Red							
Ninhydrin							
Silver nitrate							
Oil Red O							
RAM							
RAY							
Physical Developer							
Rhodamine 6G							
RTX							
Small particle reagent							
Cyanoacrylate fuming							
Iodine fuming							
Others 1 (Specify)							

Others 2 (Specify)							
Others 3 (Specify)							

In this section, you will determine the ease of preparation of each of the methods that you use in your laboratory, if you prepare these products in the lab and do not use commercially prepared solution. To do this, we ask you to consider the simplicity scale as follows:

Simplicity scale	Definition
3	Extremely easy and simple to prepare
2	Very easy and simple to prepare
1	Easy and simple to prepare
0	Not difficult to prepare
-1	Complex and difficult to prepare
-2	Very complex and difficult to prepare
-3	Extremely complex and difficult to prepare

Here is a Simplicity of preparation definition: the simplicity of the preparation of the various solutions of a method.

- Based on the above scale, please rate the Simplicity of preparation that best suit each of the following method for developing fingerprints:

	3	2	1	0	-1	-2	-3
Ardrox							
Brilliant yellow 40							
Crystal violet							
DFO							
Indanedione							
Indanedione/Zinc							
Nile Red							
Ninhydrin							
Silver nitrate							
Oil Red O							
RAM							
RAY							
Physical Developer							
Rhodamine 6G							
RTX							
Small particle reagent							
Cyanoacrylate fuming							
Iodine fuming							
Others 1 (Specify)							

Others 2 (Specify)							
Others 3 (Specify)							

Section 5 – Questions about the time associated with processing and preparing each methods used:

In this section you will have to determine the processing time of each method that you use in your laboratory. To do this, we ask you to consider the time scale as follows:

Time scale	Definition
5	Very fast
4	Fast
3	Not really time consuming
2	Time consuming
1	Very time consuming

Here is a definition of Processing Time: The time required during treatment, referring to the treatment itself but also reaction time, the drying time, the manipulation time and so on.

- Based on the above scale, please rate the Processing time that best suit each of the following method for developing fingerprints:

	5	4	3	2	1
Ardrox					
Brilliant yellow 40					
Crystal violet					
DFO					
Indanedione					
Indanedione/Zinc					
Nile Red					
Ninhydrin					
Silver nitrate					
Oil Red O					
RAM					
RAY					
Physical Developer					
Rhodamine 6G					
RTX					
Small particle reagent					
Cyanoacrylate fuming					
Iodine fuming					
Others 1 (Specify)					

Others 2 (Specify)					
Others 3 (Specify)					

In this section you will have to determine the preparation time of each method that you use in your laboratory, if you prepare these products in the lab and do not use commercially prepared solution. To do this, we ask you to consider the time scale as follows:

Time scale	Definition
5	Very fast
4	Fast
3	Not really time consuming
2	Time consuming
1	Very time consuming

Here is a definition of Preparation time: the time required for the preparation of different solutions for a method

- Based on the above scale, please rate the Preparation time that best suit each of the following method for developing fingerprints:

	5	4	3	2	1
Ardrox					
Brilliant yellow 40					
Crystal violet					
DFO					
Indanedione					
Indanedione/Zinc					
Nile Red					
Ninhydrin					
Silver nitrate					
Oil Red O					
RAM					
RAY					
Physical Developer					
Rhodamine 6G					
RTX					
Small particle reagent					
Cyanoacrylate fuming					
Iodine fuming					
Others 1 (Specify)					

Others 2 (Specify)					
Others 3 (Specify)					

Annexe 2 : Modèle de lettre de recrutement sondage électronique

Lettre de recrutement

Bonjour Monsieur ou Madame X,

Notre équipe de recherche, basée à l'École de sciences criminelles de l'Université de Lausanne, travaille sur un projet supervisé par le professeur Christophe Champod, vice-directeur de l'Institut de Police Scientifique de l'Université.

Nous sommes intéressés à mieux comprendre la manière dont les techniques de développement des traces digitales sont évaluées et sélectionnées dans les différents laboratoires de développement au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni. Afin de simplifier le processus d'étude, nous avons décidé d'utiliser le sondage électronique comme moyen d'inventorier les méthodes utilisées et connaître l'importance de certains critères de sélection de ces processus. Les participants sont sélectionnés selon leur appartenance à un laboratoire de développement de traces digitales. Suite au sondage, les participants intéressés pourront participer plus activement à la recherche afin d'investiguer les diverses techniques de développement des traces digitales utilisées sur une période d'un an. Évidemment, la participation à cette seconde phase n'est pas obligatoire et vous pouvez répondre au présent sondage électronique sans obligation de votre part.

Nous sommes donc intéressés à connaître votre opinion sur l'évaluation et la sélection des techniques de développement traces digitales ainsi qu'à discuter de vos expériences en lien avec cette activité. Avec votre consentement, nous vous invitons à accéder au sondage électronique d'une durée d'environ 15 minutes où vous seriez invité à nous faire part de vos opinions et à répondre à quelques questions. Voici l'adresse à laquelle vous pouvez accéder au sondage: <http://www.unil.ch/sondageAdresseAVenir/>

Si vous souhaitez obtenir quelques précisions supplémentaires, n'hésitez pas à nous contacter en tout temps au (514) 596-3212 ou à la présente adresse électronique : alexandre.beaudoin@unil.ch

Votre participation est importante, car elle nous permettra de mieux connaître le fonctionnement de l'évaluation et la sélection des techniques de développement de traces digitales et de favoriser l'échange d'information afin que la communauté criminalistique puisse accroître son efficacité dans ce domaine.

Bien à vous,

Recruitment letter

Bonjour Monsieur or Madame X,

Our research team, based at the École des sciences criminelles of the Lausanne University, is working on a project supervised by Professor Christophe Champod, vice-director of the Institut de Police Scientifique of the University.

We are interested to understand how the fingerprint development techniques are evaluated and selected in the different fingerprint identification laboratory in Canada, United States of America and United Kingdoms. To simplify the review process, we decided to use an electronic survey as a means of doing the methods inventory and learn the importance of selection criteria of these processes. Participants are selected based on their affiliation to a forensic identification laboratory. Following the survey, participants interested can participate more actively in the research to investigate the various fingerprint technique on a one year time frame. Of course, the second phase is not mandatory and you can reply to this e-survey with no obligation on your part to move forward with the one year study.

We are interested to know your opinion on the evaluation and selection of fingerprint development technique and to discuss your experiences linked to this activity. With your consent, we invite you to access the online survey of approximately 15 minutes where you will be invited to give us your comments and answer a few questions. Here is the address to which you can access the survey: <http://www.unil.ch/sondageAdresseAVenir/>

If you want to get some additional information, please contact us at any time at (514) 596-3212 or at this e-mail address: alexandre.beaudoin@unil.ch

Your participation is important because it will enable us to better understand the functioning of the fingerprints development technique evaluation and selection and promote the exchange of information so that the forensic identification communities are able to increase efficiency in this area.

Annexe 3 : Modèle de lettre de recrutement participation phase2 sur une période 1 an

Bonjour Monsieur ou Madame X,

Notre équipe de recherche, basée à l'École de sciences criminelles de l'Université de Lausanne, travaille sur un projet supervisé par le professeur Christophe Champod, vice-directeur de l'Institut de Police Scientifique de l'Université.

Nous sommes intéressés à investiguer les diverses techniques de développement des traces digitales utilisées sur une période d'un an dans les différents laboratoires de développement de traces digitales au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni. Les participants sont sélectionnés selon leur appartenance à un laboratoire de développement de traces digitales.

Nous sommes donc intéressés à connaître le taux d'utilisation des techniques ainsi que le nombre de traces développées, le tout anonymement. Ainsi, si vous acceptez de participer, nous vous demanderons de remplir une grille de sur vos expertises en développement de traces digitales sur une période d'un an. Les données seront ensuite colligées au sein d'un tableur. Ces collectes permettront donc d'approfondir la compréhension et l'analyse de la situation actuelle de par leur nature complémentaire. Évidemment, seules les techniques utilisées ainsi que les résultats obtenus seront nécessaires à la recherche.

Si vous souhaitez obtenir quelques précisions supplémentaires, n'hésitez pas à nous contacter en tout temps au (514) 596-3212 ou à la présente adresse électronique : alexandre.beaudoin@unil.ch

Votre participation est importante, car elle nous permettra de mieux connaître le taux d'utilisation et de succès des techniques de développement des traces digitales et de favoriser l'échange d'information afin que la communauté criminalistique puisse accroître son efficacité dans ce domaine.

Recruitment letter

Bonjour Monsieur or Madame X,

Our research team, based at the École des sciences criminelles of the Lausanne University, is working on a project supervised by Professor Christophe Champod, vice-director of the Institut de Police Scientifique of the University.

We are interested to investigate the various fingerprint development techniques used over a period of a year in the different fingerprint identification laboratory in Canada, United States of America and United-Kingdoms. Participants are selected based on their affiliation to a forensic identification laboratory.

We are interested in anonymously knowing your utilization of techniques and the number fingerprint developed. So, if you agree to participate, we will ask you to fill in a grid on fingerprint development on a one-year period. The data will be compiled in a spreadsheet. These collections will therefore deepen the understanding and analysis of the current situation of their complementary nature. Obviously, only the techniques used and the results obtained will be needed for the research.

If you want to get some additional information, please contact us at any time at (514) 596-3212 or at this e-mail address: alexandre.beaudoin@unil.ch

Your participation is important because it will enable us to better understand the operational success rate of the various techniques used and promote the exchange of information so that the forensic identification communities are able to increase efficiency in this area.

Sincerely,

Annexe 4 : Formulaire de consentement

INVESTIGATION DES DIVERSES TECHNIQUES DE DÉVELOPPEMENT DES TRACES DIGITALES UTILISÉES SUR UNE PÉRIODE D'UN AN.

Nous vous invitons à bien lire ce formulaire et à poser des questions avant d'y apposer votre signature.

Chercheur principal : Alexandre Beaudoin, Doctorant

École de sciences criminelles, Institut de Police Scientifique, Université de
Lausanne

Lausanne -Dorigny, Suisse

Tél. : +1 514 596-3212 Fax : +1 514 596-3668

Courriel : alexandre.beaudoin@unil.ch

Superviseur de recherche : Christophe Champod, Professeur

École de sciences criminelles, Institut de Police Scientifique, Université de
Lausanne

Lausanne -Dorigny, Suisse

Tél. : +41 21 692 46 00 Fax : +41 21 692 46 05

Objectif de la recherche : Cette recherche vise à investiguer les diverses techniques de développement des traces digitales utilisées au laboratoire de développement des traces digitales (par exemple: IND, ninhydrine, cyanoacrylate, etc.) sur une période d'un an.

Méthodologie : Pour ce faire, les participants rempliront une grille de données sur les dossiers opérationnels traités au laboratoire pour le développement de traces digitales sur une période d'un an. Les données seront ensuite colligées au sein

d'un tableur. Les données colligées consisteront en 1) les techniques utilisées, et 2) les résultats obtenus avec chacune des techniques.

Évidemment, seules les techniques utilisées ainsi que les résultats obtenus seront nécessaires à la recherche. Les résultats découlant de cette étude permettront de mieux connaître le taux d'utilisation et de succès des techniques de développement des traces digitales et de favoriser l'échange d'information afin que la communauté criminalistique puisse accroître son efficacité dans ce domaine.

Participation : Nous vous invitons à lire attentivement ce document et à nous contacter par téléphone, télécopieur ou courriel afin de confirmer votre intérêt à participer à cette étude. Les participants devront, suivant leur acceptation de participer, remplir une grille de données sur les dossiers opérationnels traités au laboratoire pour le développement des traces digitales sur une période d'un an. La grille devra être envoyée au chercheur par courriel.

Sélection des participants : Les participants sont choisis sur la base de leur affiliation à un laboratoire de développement de traces digitales. Le recrutement sera fait selon la méthode dite de « l'échantillon par filière » qui permet le référencement d'autres candidats par les participants.

Risque et inconfort : Votre participation à cette étude n'impliquera aucun risque ni inconfort, nonobstant le fait que vous devrez remplir la grille de données sur une période d'un an au plus.

Avantages à participer : Votre participation nous permettra de mener à bien cette étude afin de mieux connaître le taux d'utilisation et de succès des techniques de développement des traces digitales. Sur simple demande, nous vous

transmettrons les résultats généraux de cette recherche (sous forme de thèse finale et des articles découlant des résultats), une fois l'étude terminée.

Liberté de participation et liberté de retrait de l'étude : Votre participation à cette étude est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser d'y participer et vous pouvez vous retirer de l'étude en tout temps, sans avoir à donner de raisons.

Confidentialité : En accord avec la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels, toutes les grilles de données ainsi que vos informations personnelles de nature privilégiées seront traitées de manière confidentielle. Ces informations seront discutées à l'intérieur de l'équipe de recherche, mais jamais divulguées à un tiers. Votre nom n'apparaîtra jamais sur aucun document circulant à l'extérieur de nos bureaux. Les transcriptions ne contiendront aucun nom et la banque de données contenant toutes les informations sera conservée dans un ordinateur doté d'un mot de passe, dans un bureau fermé à clé de l'équipe de recherche. La base de données sera détruite avant 2027.

Personnes-ressources : Pour toute question concernant ce projet, vous pouvez contacter directement le chercheur principal : Alexandre Beaudoin, tél. : +1 514 596-3212.

Adhésion au projet et signatures :

J'ai lu et compris le contenu du présent formulaire. Je certifie qu'on me l'a expliqué verbalement à la demande. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant ce projet de recherche et on y a répondu à ma satisfaction. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour réfléchir et prendre ma décision. Je sais que ma participation à ce projet est tout à fait volontaire, que je suis libre d'y participer. Je suis libre de me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte.

Je soussigné(e) accepte de participer à cette étude.

Nom du participant

Signature du participant

Date

Je certifie a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire de consentement; b) lui avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à sa participation au présent projet et que je lui remettrai une copie signée du présent formulaire.

Nom du Chercheur

Signature du chercheur

Date

Informations de type administratif :

L'original du formulaire sera conservé dans les locaux de l'équipe de recherche et une copie signée sera remise au participant.

**INVESTIGATION OF VARIOUS FINGERMARK DEVELOPMENT
TECHNIQUES USED FOR A PERIOD OF ONE YEAR.**

We invite you to read this form and to ask questions before putting your signature.

Principal researcher : Alexandre Beaudoin, PhD Student

École de sciences criminelles, Institut de Police Scientifique, Lausanne
University

Lausanne -Dorigny, Switzerland

Tel. : +1 514 596-3212 Fax : +1 514 596-3668

Email : alexandre.beaudoin@unil.ch

Research Supervisor : Christophe Champod, Professor

École de sciences criminelles, Institut de Police Scientifique, Lausanne
University

Lausanne -Dorigny, Switzerland

Tel. : +41 21 692 46 00 Fax : +41 21 692 46 05

Purpose of research: This research aims to investigate the various fingerprint development techniques used in the laboratory for the development of fingerprints (eg IND, ninhydrin, cyanoacrylate, etc..) over a period of one year.

Methodology: To do this, participants will fill in a grid for operational files processed in the laboratory for fingerprint development over a period of one year. Participants will send the grid to the researcher by email for data collection. The

data will be compiled in a spreadsheet. The data collected consist of 1) the techniques used, and 2) the results obtained with each techniques.

Obviously, only the techniques used and the results obtained will be needed for the research. The results from this study will help to better understand the utilization and success of fingerprint development techniques and promote the exchange of information so that the forensic community may increase its effectiveness in this area.

Participation: We invite you to read this document carefully and contact us by phone, fax or email to confirm your interest in participating in this study.. Participants will, following to their willingness to participate, complete a grid about operational cases handled in the laboratory for fingerprint development over a period of one year. The grid must be sent to the researcher by email.

Selection of participants: Participants are selected on the basis of their affiliation to a fingerprint development laboratory. The recruitment will be done according to the method of "sample by sector" which allows referencing of other candidates by the participants.

Risks and discomfort: Your participation in this study will involve no risk or discomfort, despite the fact that you should fill in a grid on operational cases for a maximum period of one year.

Advantages to participate: Your participation will help us carry out this study to better understand the utilization and success rate of fingerprints development techniques. Upon request, we will send you the overall results of this research

(doctorate thesis and related articles produced with the results), once the study is completed.

Freedom of participation and freedom of withdrawal from the study: Your participation in this study is voluntary. You are therefore free to accept or refuse to participate and you can withdraw from the study at any time without giving reasons.

Privacy: In accordance with the Law on access to documents held by public agencies and the protection of personal information, all operational informations and your personal information of privileged nature will be treated confidentially. This information will be discussed within the research team, but never disclosed to third party. Your name will never appear on any document circulating outside our offices. The transcripts do not contain any name and the database containing all the informations will be stored in a computer with a password, in a locked office of the research team. The database will be destroyed before 2027.

Contacts: For questions about this project, you can contact the Principal Researcher: Alexandre Beaudoin, tel. : +1 514 596-3212.

Adhesion to the project and signatures::

I have read and understood the contents of this form. I certify that it had been explained to me verbally on request. I had the opportunity to ask any questions about this research project and have already been answered to my satisfaction. I certify that they left me time to reflect and take my decision. I know that my participation in this project is voluntary, that I am free to participate. I know that I am free to withdraw at any time without prejudice of any kind.

I, the undersigned, agrees to participate in this study.

Name of the participant's

Signature of the participant's

Date

I certify a) having explain to the participant the terms of this consent form b) having clearly indicated that it remains free at any time to withdraw his participation in this project and that I shall give him a signed copy of this form.

Researcher name

Signature of the researcher

Date

Administrative information's:

The original form will be kept at the offices of the research team and a signed copy will be sent to the participant.

Annexe 5 : Résultats du sondage électronique concernant l'évaluation du temps et de la simplicité de différentes techniques forensiques de développement des traces digitales

Tableau 23: Évaluation des techniques de développement des traces par les experts (n=126)

	Temps		Simplicité	
	Utilisation	Préparation	Utilisation	Préparation
Ardrox	3	4	3	3
BY40	3	3	3	2,5*
Cristal violet	3	3,5*	3	3
DFO	4	3,5*	3	2
IND	4	3	3	2
IND/Zn	3,5*	3	1	1
Nile Red	4	4,5*	2	2
Nin	4	4	3	3
Nitrate d'argent	3	3	0	0
ORO	2,5*	3	1*	2
RAM	5	4	3	3
RAY	5	4	3	3
PD	1	1	-1	-1
R6G	4,5*	4	3	3

RTX	3	4*	3	3
SPR	4	4	3	3
CA	4	4	3	3
Iode	4	4,5*	-1	0,5*
Laser	5	5	3	3
FLS	5	5	3	3

* Médiane du Mode

Annexe 6 : Sondage opérationnel - Traitement en laboratoire pour le développement des traces

Tableau 24: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein des 4 agences canadiennes participantes

Technique de développement	Nombre d'items traités	Nombre de traces trouvées	Pourcentage de traces par item
<i>Amido black (Noir de naphthalène)</i>	22	3	14%
<i>Cyanoacrylate + Ardrex</i>	87	20	23%
<i>Cyanoacrylate + BY40</i>	418	132	32%
<i>Cyanoacrylate + R6G</i>	4322	1014	23%
<i>Cyanoacrylate seul</i>	3799	766	20%
<i>IND/Zn</i>	2609	1096	42%
<i>Nin</i>	1551	195	13%
<i>Oil Red O</i>	661	6	1%
<i>Révéléateur Physique (PD)</i>	49	1	2%
<i>SPR</i>	19	0	0%
<i>Laser sans traitement chimique</i>	9208	65	1%
<i>Lumières judiciaires sans traitement chimique</i>	9504	476	5%
<i>Poudre dactyloscopique</i>	2272	299	13%
<i>Wetwop</i>	672	6	1%
<i>VMD</i>	1296	150	12%
<i>Gun blue</i>	39	0	0%

Tableau 25: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein de l'agence américaine participante

Technique de développement	Nombre d'items traités	Nombre de traces trouvées	Pourcentage de traces par item
<i>Amido black (Noir de naphthalène)</i>	1	0	0%
<i>Cyanoacrylate + RAM</i>	7560	85	1%
<i>Cyanoacrylate + R6G</i>	16342	817	5%
<i>Cyanoacrylate seul</i>	5892	811	14%
<i>Nin</i>	17509	1053	6%
<i>SPR</i>	11173	452	4%
<i>Observation à l'œil nu (sans traitement)</i>	35797	15	0%
<i>Poudre dactyloscopique</i>	5670	88	2%

Tableau 26: Traitements en laboratoire pour le développement des traces au sein des 5 agences nord-américaines participantes

Technique de développement	Nombre d'items traités	Nombre de traces trouvées	Pourcentage de traces par item
<i>Amido black (Noir de naphthalène)</i>	78	3	4%
<i>Cyanoacrylate + Ardrex</i>	87	20	23%
<i>Cyanoacrylate + BY40</i>	418	132	32%
<i>Cyanoacrylate + R6G</i>	20664	1831	9%
<i>Cyanoacrylate + RAM</i>	7560	85	1%
<i>Cyanoacrylate seul</i>	9691	1577	16%
<i>IND/Zn</i>	2609	1096	42%
<i>Nin</i>	19060	1248	7%
<i>Oil Red O</i>	661	6	1%
<i>Révélateur Physique (PD)</i>	49	1	2%
<i>SPR</i>	11192	452	4%
<i>Laser sans traitement chimique</i>	9208	65	1%
<i>Lumières judiciaires sans traitement chimique</i>	9497	464	5%
<i>Observation à l'œil nu (sans traitement)</i>	35804	27	0%
<i>Poudre dactyloscopique</i>	7942	387	5%
<i>Wetwop</i>	672	6	1%
<i>VMD</i>	1296	150	12%
<i>Gun blue</i>	39	0	0%

