

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

LE PROFILAGE CHIMIQUE DE PARFUMS CONTREFAITS : UNE
ÉVALUATION DES RÉSEAUX DE PRODUCTIONS À TRAVERS
DIFFÉRENTES MARQUES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN CHIMIE EXTENSIONNÉE DE
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PAR
PIER-LOUIS DUMONT

NOVEMBRE 2023

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

REMERCIEMENTS

Ce projet de maîtrise a été une série de questionnement du début à la fin. Ce sont les gens rencontrés, tout au long de la réalisation du projet, qui m'auront permis de mettre un sens à ces questions, que ce soit sur les données récoltées, comment présenter les résultats obtenus ou tout simplement en prenant le temps de m'écouter.

Ainsi, j'aimerais débuter en remerciant deux personnes n'ayant jamais arrêté de me venir en aide et m'ayant guidé à travers ce trajet non linéaire qu'est la recherche, soit mon directeur de recherche, Maxime Bérubé, et ma superviseure au Laboratoire des Sciences Judiciaires et de Médecine Légale, Caroline Mireault. Ces deux mentors m'ont beaucoup appris pendant ces deux années sur ce qu'est le renseignement forensique et son implication. Ils m'ont toujours encouragé dans mes idées et ont su apporter un regard critique sur le projet à chaque grande étape. Ils m'ont également encouragé à me surpasser à travers les différentes présentations du projet et ont toujours été présents pour donner leur avis.

J'aimerais remercier les professeurs Frank Crispino et Cyril Muehlethaler pour leurs suggestions dans l'interprétation et l'analyse des données récoltées. Sans leur soutien, le projet aurait pris une tout autre allure. J'aimerais également remercier Vincent Mousseau, candidat au doctorat en Criminologie à l'école de Criminologie de l'Université de Montréal, pour son écoute et son partage d'idées concernant les différentes approches pour l'analyse des données et sur l'implication de la criminologie dans le projet.

J'aimerais remercier Marc-André Morel, chimiste dans la section d'Incendie-Explosion du Laboratoire de Sciences Judiciaires et de Médecine Légale, pour son implication dans le développement de la méthode d'analyse chimique et son soutien tout au long de l'acquisition des données chimiques. Je remercie également Jean Brazeau, directeur du département de Criminalistique au Laboratoire de Sciences Judiciaires et de Médecine Légale, pour avoir permis le développement de ce projet. Je remercie les équipes d'Incendie-Explosion, de Chimie et de Renseignement Criminalistique pour tous les rires partagés ensemble et leur soutien dans la réalisation de ce projet.

Je remercie les enquêteurs des deux services de police ayant permis la réalisation de ce projet. Sans leur approbation, le projet n'aurait jamais vu le jour.

Je remercie mes amis pour leur soutien moral dans la réalisation de ce projet et leur compréhension lorsque j'avais des empêchements, que ce soient des dates limites ou pour la préparation pour des évènements, ayant pour conséquence d'avoir raté plusieurs sorties.

Finalement, j'aimerais remercier ma famille pour leur soutien et pour m'avoir écouté de nombreuses fois parler de contrefaçon sans perdre leur sang-froid et de m'entendre parler de la trace, fondement de la science forensique. J'aimerais remercier particulièrement mon petit frère, Émile Dumont, pour son aide dans l'amélioration du visuel de mes présentations tout au long de la maîtrise.

DÉDICACE

À mon frère, Xavier Dumont, décédé en janvier 2020 au début de la pandémie. Il vivait de ses passions, ce qui m'a inspiré tout au long de la réalisation de ce projet.

AVANT-PROPOS

Le projet de recherche présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le domaine du renseignement forensique, s'inscrivant lui-même dans un domaine plus large, soit la science forensique. Bien que le projet soit fortement exploratoire, la compréhension de la recherche et de ses implications demande une bonne connaissance des notions de chimie analytique, de statistiques, de science forensique et de criminologie. Les analyses utilisées, soit l'acquisition des données, demandent une bonne compréhension sur la chimie des parfums et de l'appareillage utilisé. Les observations réalisées avec les analyses statistiques permettent de développer des connaissances sur le phénomène en considérant des concepts de la criminologie. L'intérêt de ce type de projet est d'adopter, éventuellement, une approche plus proactive dans la lutte contre ce phénomène que ce qui est réalisé traditionnellement dans le domaine de la science forensique. Le projet s'inscrit dans un univers multidisciplinaire alliant des concepts de sciences pures et de sciences sociales. Je souhaite que le lecteur trouve un plaisir à s'instruire sur le phénomène de la contrefaçon et sur les applications de la méthode présentée dans les prochaines sections qui pourrait être utilisée dans de futures études.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE	iv
AVANT-PROPOS.....	v
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xv
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS	xvi
RÉSUMÉ	xvii
ABSTRACT	xix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 CADRE CONCEPTUEL	4
1.1 Le phénomène de la contrefaçon	4
1.1.1 Définition du terme « contrefaçon »	4
1.1.2 Un aperçu général du phénomène de la contrefaçon.....	6
1.1.3 Dynamisme du commerce de la contrefaçon	10
1.1.4 Quelle est la situation pour les parfums contrefaits?.....	13
1.2 Le renseignement forensique et la science forensique	13
1.2.1 Le renseignement : un concept fondamental.....	13
1.2.2 Le renseignement forensique	17
1.2.3 La science forensique.....	21
1.2.3.1 L'apport des critiques sur l'évolution de cette science	21
1.2.3.2 La trace : qu'est-ce qu'elle représente?	22
1.3 Le parfum : sa conception, les analyses chimiques et son application dans les sciences forensiques	24
1.3.1 Qu'est-ce qu'un parfum?	24
1.3.2 La chimie analytique pour la caractérisation des parfums	30
1.3.2.1 Préparation des échantillons préalables aux analyses de parfums.....	30
1.3.2.2 Les méthodes de séparations et d'analyses	31
1.3.3 Le parfum en science forensique	32
1.4 Considération du cadre conceptuel dans le sujet d'étude	34
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE ET CADRE THÉORIQUE.....	38
2.1 L'échantillonnage	38
2.1.1 Théorie	38

2.1.2 Échantillonnage des parfums étudiés.....	40
2.2 Méthode analytique en chimie	42
2.2.1 Théorie de la chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (quadripôle).....	43
2.2.1.1 La chromatographie en phase gazeuse	43
2.2.1.2 Spectrométrie de masse : le quadripôle.....	44
2.2.2 Méthode analytique utilisée.....	50
2.3 Analyse par statistiques multivariées	53
2.3.1 Théorie de l'analyse en composantes principales	54
2.3.2 Manipulations	56
CHAPITRE 3 Résultats	58
3.1 Analyses chimiques	58
3.1.1 Choix du solvant.....	60
3.1.2 Choix du facteur de dilution	63
3.1.3 Choix du standard interne	64
3.1.4 Analyses par GC-MS.....	65
3.1.4.1 Précision des analyses	66
3.2 Analyses par PCA.....	67
3.2.1 Évaluation du prétraitement des données	68
3.2.1.1 Exemple de l'évaluation des prétraitements des données	69
3.2.1.2 Effet des différents prétraitements avec les données de la marque M3.....	75
3.2.2 Exemple de résultats des analyses par PCA des parfums contrefaits et authentiques pour la marque M9.....	78
3.2.3 Exemple de résultats des analyses par PCA des parfums contrefaits seulement pour la marque M1.....	80
3.2.3.1 Détermination du nombre de PC à utiliser pour les analyses par PCA.....	81
3.2.3.2 Diminution du nombre de variables dans l'analyse par PCA.....	89
3.2.3.3 Résultats de l'analyse par PCA.....	92
3.2.4 Évaluation de la précision des analyses par PCA	100
CHAPITRE 4 Discussion	102
4.1 Retour sur les résultats du développement de la séquence analytique.....	102
4.1.1 Paramètres de l'analyse chimique	102
4.1.2 Paramètres d'analyse en composantes principales.....	103
4.1.3 Prétraitements des données.....	104
4.1.4 Choix du nombre de composantes principales.....	104
4.1.5 Détermination des variables discriminantes	106
4.2 Précision des mesures.....	107
4.2.1 Coefficient de variation lors des analyses chimiques	107
4.2.2 Test de reproductibilité de la méthode analytique	107
4.3 Analyse en composantes principales	108
4.3.1 Premier niveau d'analyse : comparaison entre parfums contrefaits et authentiques.....	108

4.3.2 Deuxième niveau d'analyse : développement des profils chimiques.....	109
4.4 Interprétation des résultats	110
4.5 Regards critiques sur l'étude.....	113
4.5.1 L'impact du nombre de parfums sur l'interprétation	114
4.5.2 Réflexions par rapport à l'identification des variables lors des analyses chimiques.....	114
4.5.3 Réflexions par rapport à l'utilisation de réplicas	115
4.5.4 Réflexions par rapport à la trace chimique.....	115
4.5.5 Réflexions par rapport aux analyses par composantes principales (PCA)	116
4.5.6 Le manque de données circonstancielles	116
4.5.7 Perspectives	117
4.6 Résumé de l'approche analytique.....	118
CONCLUSION	120
RÉFÉRENCES	123
ANNEXE A Résultats pour les analyses par PCA des parfums contrefaits et authentiques	132
ANNEXE B Analyses en composantes principales pour chacune des marques à l'étude.....	135
ANNEXE C Profils chimiques par regroupements de parfums pour chaque marque à l'étude	140

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Triangle des inférences (Crispino, 2008)	17
Figure 1.2 : Principe général du renseignement forensique (Dégardin, 2013)	19
Figure 1.3 : Voies de synthèse générales pour les différents métabolites secondaires d'intérêt pour le milieu de la parfumerie (Sell p.261, 2019).	25
Figure 1.4 : Liste de molécules odorante ayant un fort potentiel allergène (Chisvert, 2007).	29
Figure 2.1: Représentation de l'ionisation par impact électronique (Wolstenholme et al p.227, 2019). ..	45
Figure 2.2 : Représentation d'un quadripôle (Wolstenholme et al p.237, 2019).	46
Figure 2.3: Exemple de spectre de masse pour le butanone. Le ratio m/z de 72 correspond à la molécule initiale et la bande au m/z de 43 représente le fragment le plus stable, soit CO^+CH_3 . (Wolstenholme et al p. 228, 2019).....	48
Figure 2.4: Représentation visuelle du spectre de masse correspondant à une molécule ayant élué à un certain temps de rétention (Wolstenholme et al p. 245, 2019).....	49
Figure 2.5: Chromatogramme du dichlorométhane (blanc) ayant un temps de rétention de 1,819 minutes.	53
Figure 2.7 : Représentation d'une section de la matrice d'objet. La première colonne représente les objets de l'étude. La première ligne représente les variables à l'étude, dont les deux premières étant des variables catégoriques et les autres des variables numériques utilisant les aires normalisées de chacun des pics. L'absence de composé est indiquée par une valeur de 0 dans la case appropriée.	56
Figure 3.1 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant le dichlorométhane comme solvant.....	60
Figure 3.2 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant l'acétonitrile comme solvant.....	60
Figure 3.3 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant l'hexane comme solvant.....	61
Figure 3.4 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant le tétrachloroéthylène comme solvant.....	61
Figure 3.5 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant l'iso octane comme solvant.	62
Figure 3.6 : Chromatogramme d'une solution de 100 ppm de naphtalène-d8 dans du dichlorométhane.	64
Figure 3.7 : Chromatogramme d'une solution de 50 ppm de toluène-d8 dans du dichlorométhane.....	64

Figure 3.8: Exemple de chromatogramme entre un parfum contrefait, P134, en haut, et son parfum authentique correspondant, R002, en bas.....	66
Figure 3.9: Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M9(bleu), un parfum de la marque M3(rouge) et un parfum de la marque M11(vert) ont été utilisés dans cette évaluation.....	68
Figure 3.10 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M4(bleu, rouge et vert), un parfum de la marque M5(bleu ciel) et un parfum de la marque M8(brun) ont été utilisés dans cette évaluation.	71
Figure 3.11 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M5(bleu et rouge), un parfum de la marque M3(vert) et un parfum de la marque M2(bleu ciel) ont été utilisés dans cette évaluation.	72
Figure 3.12 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M10(bleu), un parfum de la marque M7(rouge) et un parfum de la marque M4(vert) ont été utilisés dans cette évaluation.	73
Figure 3.13 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M3(bleu, rouge et vert), un parfum de la marque M9(bleu ciel) et un parfum de la marque M13(brun) ont été utilisés dans cette évaluation.	74
Figure 3.14 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données, pour les parfums authentiques et contrefaits de la marque M3, suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas).....	76
Figure 3.15 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données, pour les parfums contrefaits seulement de la marque M3, suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas).....	77
Figure 3.16 : Analyse en composantes principales pour la marque M9. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.....	79
Figure 3.17 : Exemple de la représentation de la dispersion des variables (rouge) et des entités (bleu) étudiées de la marque M9 dans un même graphique (Bi-plot). Les parfums authentiques et contrefaits (bleu) ne sont pas différenciés dans ce graphique.	79
Figure 3.18 : Variance expliquée pour la marque M1 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	81

Figure 3.19 : Variance expliquée pour la marque M3 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	82
Figure 3.20 : Variance expliquée pour la marque M4 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	83
Figure 3.21 : Variance expliquée pour la marque M7 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	83
Figure 3.22 : Variance expliquée pour la marque M8 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	84
Figure 3.23 : Variance expliquée pour la marque M9 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	86
Figure 3.24 : Variance expliquée pour la marque M10 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	86
Figure 3.25 : Variance expliquée pour la marque M13 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.	87
Figure 3.26 : Représentation de la diminution de variables (Loadings) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M1. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.....	89
Figure 3.27 : Représentation de la diminution de variables (Loadings) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M4. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.....	90
Figure 3.28 : Représentation de la diminution de variables (Variables) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M5. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.....	91
Figure 3.29 : Représentation de la diminution de variables (Variables) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M12. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.....	92
Figure 3.30 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M1. En bleu, Pf1; en rouge, Pf2; en vert, Pf3.	93

Figure 3.31 : Exemple de la représentation de la dispersion des variables (rouge) et des entités (bleu) étudiées de la marque M1 dans un même graphique (Bi-plot). Les parfums contrefaits (bleu) ne sont pas différenciés dans ce graphique.....	93
Figure 3.32 : Exemple de représentation, pour la marque M4, de la dispersion des variables (rouge) et des entités (bleu) étudiées dans un même graphique (Bi-plot) selon les paires de composantes principales utilisées. Les parfums contrefaits (bleu) ne sont pas différenciés dans ces graphiques.....	95
Figure 3.33 : Exemple de processus utilisé pour l'analyse des marques utilisant plus de trois composantes principales. Ici, l'exemple est selon la marque M9 et la première composante principale. Les rectangles vert et rouge représentent les objets partageant une même discrimination, dans le graphique des Scores, et les variables permettant leur discrimination, dans le graphique des Loadings.	96
Figure 3.34: Évaluation de la précision de l'entièreté de la méthode d'analyse.	100
Figure 4.1 : Analyse en composantes principales pour la marque M3. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.....	132
Figure 4.2 : Analyse en composantes principales pour la marque M10. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.....	133
Figure 4.3 : Analyse en composantes principales pour la marque M11. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.....	133
Figure 4.4 : Analyse en composantes principales pour la marque M13. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.....	134
Figure 4.5 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M2. En bleu, Pf4; en rouge, Pf5; en vert, Pf6; en bleu ciel, Pf7.....	135
Figure 4.6 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M3. En bleu, Pf8; en rouge, Pf9; en vert, Pf10; en bleu ciel, Pf11; en brun, Pf12..	136
Figure 4.7 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M4. En bleu, Pf14; en rouge, Pf15; en vert, Pf16; en bleu ciel, Pf17.Figure 4.8 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M5. En bleu, Pf18; en rouge, Pf19; en vert, Pf20.	136
Figure 4.9 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M6. En bleu, Pf21; en rouge, Pf22; en vert, Pf23.	137
Figure 4.10 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M7. En bleu, Pf24; en rouge, Pf25.	138
Figure 4.11 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M8. En bleu, Pf26.....	138

Figure 4.12 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M11. En bleu, Pf37; en rouge, Pf38; en vert, Pf39; en bleu ciel, Pf40..... 139

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Classification des différents parfums retrouvées sur le marché en fonction de leur composition en fragrance (Chisvert, 2018)	27
Tableau 1.2 : Comparaison entre différents profils chimiques développés.	35
Tableau 2.1 : Classification des parfums disponibles pour l'étude.	41
Tableau 2.2: Séquence typique lors des injections.	52
Tableau 3.1 : Détermination du solvant et du facteur de dilution pour l'étude.....	59
Tableau 3.2 : Évaluation de la précision de la méthode analytique.	67
Tableau 3.3 : Composés permettant de discriminer les parfums contrefaits des parfums authentiques..	80
Tableau 3.4 : Nombre de composantes principales utilisées pour les analyses suivantes selon la marque de parfum étudié.....	88
Tableau 3.5: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M9.	97
Tableau 3.6 : Tableau résumé des regroupements de parfums contrefaits partageant un même profil chimique.	99
Tableau 4.1 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M1.....	140
Tableau 4.2: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M2.	140
Tableau 4.3 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M3.....	140
Tableau 4.4 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M4.....	141
Tableau 4.5: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M5.	141
Tableau 4.6 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M6.....	141
Tableau 4.7: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M7.	142
Tableau 4.8: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M10.	142
Tableau 4.9 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M11.....	142

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ACN	Acétonitrile
ASTM	« <i>American Society for Testing and Materials</i> »
CBP	Customs Border and Protection
DCM	Dichlorométhane
GC-MS	Chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse
GCxGC-TOF-MS	Chromatographie gazeuse, en deux dimensions, couplée à un analyseur de temps de vol et un détecteur en spectrométrie de masse
GRC	Gendarmerie Royale Canadienne
HEX	Hexane
HS	Espace de tête
ILP	« <i>Intelligence-led Policing</i> »
IOCT	Iso-octane
PC	Composante principale
PCA	Analyse en composantes principales
PFTBA	Perfluorotributylamine
SPME	Micro-extraction sur phase solide
TCE	Tétrachloroéthylène

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

°C	Degré Celsius
m/z	Rapport masse sur charge
mL	Millilitre (unité de volume)
RPM	Rotation par minute
u.a.	Unité arbitraire

RÉSUMÉ

Depuis les dernières décennies, de vieux phénomènes criminels évoluent rapidement avec l'introduction des nouvelles technologies de communication, tel que celui de la contrefaçon (Kennedy, 2020). Ce phénomène est maintenant considéré comme une industrie avec la capacité à reproduire toutes sortes de produits, tels que la nourriture, les médicaments et les produits de cosmétiques. Cette industrie est principalement dirigée par des organisations criminelles, notamment puisque les lois entourant ce type de criminalité restent vagues et par la facilité d'atteindre le consommateur, pour lui vendre les produits frauduleux, par Internet, tout en conservant son anonymat (Roudault, 2011; Hyeans, 2011; Kennedy, 2020). L'évolution de ce phénomène est perçue à travers les pertes économiques mondiales, des enjeux sociaux et des problèmes de santé majeurs (Hyeans, 2011; Frontier Economics, 2016). Ce dernier aspect est le plus préoccupant, puisque le consommateur est de plus en plus à risque de se procurer un produit contrefait de nos jours et de s'exposer à des composés toxiques, puisqu'il y a un manque de régulation derrière la production des contrefaçons. Malgré cela, la littérature expose à quel point la société perçoit mal le danger derrière l'achat de produit contrefait et le manque de moyens à la disposition des autorités pour combattre efficacement ce phénomène (Mavlanova, 2010; Thaichon, 2016).

Alors, afin de développer des connaissances sur les dynamiques existantes derrière la production des produits contrefaçons et éventuellement exposer des réseaux de production, la composition chimique de 156 parfums contrefaçons, obtenus à travers deux saisies policières, et 22 parfums authentiques a été étudiée. À travers l'ensemble de ces parfums, un total de 29 marques représentées par 65 différents modèles de parfums sont identifiées. Les données chimiques ont été obtenues par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS). Ces données ont été étudiées par analyse en composantes principales (PCA). L'analyse en composantes principales a été réalisée séparément pour chacune des marques de parfums étudiés. Ces différentes analyses ont été réalisées en premier lieu en considérant les parfums contrefaçons et authentiques afin d'évaluer les différences entre ces deux catégories de parfums. Ensuite, les analyses ont été réalisées sur les parfums contrefaçons seulement afin de classifier les groupes de parfums contrefaçons en fonction de leur profil chimique, soit les molécules permettant de discriminer chacun des groupes de parfums observés.

Les résultats obtenus permettent d'observer que les parfums contrefaçons partagent des similarités au niveau de leur composition chimique et que chaque modèle de parfums a une composition chimique qui

lui est propre. Les parfums contrefaits, peu importe la marque ou le modèle, sont produits avec la même composition de solvant, soit un mélange de méthanol et de dipropylène glycol, ce qui n'est pas observé dans les produits authentiques. La similarité entre les parfums contrefaits suggère qu'ils partagent une source de production commune. La méthode d'analyse, développée à travers ce projet, pourrait être appliquée afin d'identifier les composantes discriminantes et d'identifier les liens existants entre des objets d'origine similaire.

Mots clés : Renseignement Forensique, Science Forensique, Criminologie, Contrefaçon, Parfums, Chimie analytique, Science des données, GC-MS

ABSTRACT

Over the past decades, with the introduction of new communication technologies, criminal phenomena have rapidly evolved such as counterfeiting (Kennedy, 2020). This phenomenon is now considered an industry with the ability to replicate all kinds of products, including food, medications, and cosmetics. This industry is mainly driven by criminal organizations, partly due to the vague laws surrounding this type of crime and the ease of reaching consumers, selling fraudulent products to them online while maintaining their anonymity (Roudault, 2011; Hyeans, 2011; Kennedy, 2020). The evolution of this phenomenon is reflected in global economic losses, social issues, and major health problems (Hyeans, 2011; Frontier Economics, 2016). The latter aspect is the most concerning as consumers are increasingly at risk of acquiring counterfeit products nowadays and being exposed to potentially toxic compounds due to the lack of regulation in the production of counterfeits. However, the literature highlights how society misunderstands the danger behind purchasing counterfeit products and the lack of resources available to authorities to effectively combat this phenomenon (Mavlanova, 2010; Thaichon, 2016).

To develop knowledge about the existing dynamics behind the production of counterfeit products and potentially expose production networks, the chemical composition of 156 counterfeit perfumes obtained through two police seizures, as well as 22 authentic perfumes, was studied. Across these perfumes, a total of 29 brands represented by 65 different perfume models were identified. The profiles of volatiles chemicals were obtained by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS) analysis. These data were processed using the principal component analysis (PCA). PCA was performed separately for each perfume's brand at disposition. These analyses were initially performed considering both counterfeit and authentic perfumes to evaluate the differences between these two categories. Subsequently, the analyses were conducted solely on the counterfeit perfumes to classify groups of counterfeit perfumes based on their chemical profiles, specifically the molecules that discriminate each observed group of perfumes.

The results reveal that counterfeit perfumes share similarities in their chemical composition and that each perfume model has its own distinct chemical composition. Also, it has been observed that counterfeit perfumes, regardless of the brand or model, are produced using the same solvent composition, a mixture of methanol and dipropylene glycol, which is not observed in authentic products. The similarity between counterfeit perfumes suggests that they share a common production source. The analysis methodology

developed in this project could be applied to identify discriminant components and identify links between objects of similar origin.

Keywords: Forensic Intelligence, Forensic Science, Criminology, Counterfeit, Perfums, Analytical Chemistry, Data Science, GC-MS

INTRODUCTION

La contrefaçon est présente depuis l'époque des Romains où la première forme d'objet contrefait était une forme de monnaie (Latif, 2018). Ce phénomène a rapidement évolué ces dernières années avec l'introduction de technologie d'information et de communication (Roudault, 2011; Hyeans 2011). Les rapports gouvernementaux indiquent que les faussaires sont capables de reproduire une grande diversité de produits avec des capacités de productions telle une industrie (INTA, 2017; Frontier Economics, 2016; OECD, 2019; OECD, 2021). Il y a peu de moyens à la disposition des forces de l'ordre pour lutter contre ce phénomène, ce qui entraîne le milieu policier à délaisser la lutte contre cette industrie (Kennedy, 2019). Ce qui a pour conséquence de laisser les entreprises privées seules face à la lutte contre ce phénomène. Également, les victimes de ces objets frauduleux ont peu de recours précis pour réparer les dommages, qu'ils soient financiers, moraux ou au niveau de leur santé.

Des organismes internationaux tentent d'estimer le profit généré par cette industrie (Frontier Economics, 2016). Frontier Economics, en se basant sur les rapports émis précédemment, tentent de prédire, à partir des anciennes données ainsi que celles nouvellement perçues par les douanes américaines et européennes, l'impact de la criminalité financière du commerce de la contrefaçon, qu'il soit fait en ligne ou physiquement, sur le commerce légitime, par la perte d'emploi ou la perte de revenue pour les gouvernements et les entreprises, ou pour prédire l'amplification des profits du commerce de la contrefaçon. Ainsi, dans cette étude, les profits estimés pour 2022 étaient de 2,8 billions, considérant toutes formes de contrefaçons et de piratage. Cependant, cette estimation se base sur les données douanières de différents pays. Ces données ne sont pas exactes pour deux raisons majoritairement. Premièrement, ces données rendent compte de ce qui a été saisi seulement, pas de ce qui est entré dans ces pays. Deuxièmement, ces statistiques ne permettent pas de voir quels sont les pays dans lesquels les objets frauduleux ont voyagé (Hyeans, 2011; Roudault, 2011). Plus récemment, les saisies douanières sont majoritairement des petits colis, avec des valeurs de moins de 800\$, représentant les achats faits par Internet (CBP, 2022). Il est alors inquiétant de réaliser qu'il n'existe pas de moyens concrets pour évaluer l'ampleur du phénomène qui est pourtant en pleine expansion. En plus, les moyens disponibles s'intéressent principalement à interrompre les activités des faussaires sans comprendre leur fonctionnement. Cependant, comment peut-on entreprendre la lutte efficacement s'il n'est pas possible, ou qu'il n'est pas considéré important par les forces de l'ordre, d'évaluer et de comprendre l'organisation derrière les étapes de la production du produit frauduleux? C'est par la compréhension de la criminalité

qu'il sera possible d'adopter une démarche plus proactive contre cette forme de criminalité, soit en prédisant ses actions ou en limitant sa portée (voir section 1.2).

C'est pourquoi plusieurs études tentent de développer des moyens pour mieux comprendre le fonctionnement du phénomène de la contrefaçon, notamment par le biais de la science forensique. Cependant, plusieurs de ces études se concentrent à distinguer le vrai produit du faux. Certaines études, en appliquant les concepts du renseignement forensique, s'intéressent au développement de connaissances par rapport au phénomène (Dégardin, 2013; Baechler, 2015; Mireault, 2018; Hochholdinger, 2019). Ces études s'intéressent à développer des connaissances sur différentes formes de contrefaçon afin d'élaborer des recommandations pour lutter plus efficacement contre ce phénomène. Ces études se penchent sur les aspects discriminants d'une contrefaçon et à quelle fréquence ceux-ci se manifestent pour développer des liens entre objets, en fonction des caractéristiques discriminantes, et entre les saisies derrières ces contrefaçons. Ces caractéristiques peuvent s'intéresser à une vaste catégorie d'observation, mais ce sont principalement les caractéristiques visuelles et chimiques qui sont généralement étudiées. Jusqu'à présent, ces études se sont penchées sur la contrefaçon de médicament (Dégardin, 2013), les faux documents (Baechler, 2015; Mireault, 2018) et les montres contrefaites (Hochholdinger, 2019). Ces types de contrefaçons présentent chacune leurs particularités et leurs propres défis pour le développement de méthodes de profilage visuel et chimique.

Cependant, aucune étude ne s'est encore intéressée aux parfums contrefaits en considérant les concepts du renseignement forensique. Les études sur ce type de contrefaçon s'intéressent principalement à développer des méthodes pour distinguer les produits contrefaits de ceux authentiques (Tobolnika, 2013; Gomes, 2015; Gomes, 2016; Teodoro, 2017). D'où éventuellement l'intérêt à développer une méthodologie pour évaluer la similitude des caractéristiques discriminantes présente dans les parfums contrefaits afin de développer des connaissances au niveau de la production de ces objets. Ainsi, la question de recherche principale de cette étude est la suivante :

Existe-t-il des similitudes dans la composition chimique des parfums contrefaits afin d'évaluer la présence de liens entre les parfums contrefaits de même marque et, éventuellement, de marque différente?

Afin de parvenir à répondre à cette question, le projet de recherche vise, en premier lieu, à développer une méthode d'analyse chimique pour analyser les parfums, adapter pour le contexte opérationnel du Laboratoire de Sciences Judiciaires et de Médecine Légale, étant donné la complexité de la chimie derrière

la production d'un parfum. En deuxième lieu, l'étude de la composition chimique de parfums contrefaçons sera réalisée afin de développer des connaissances sur la contrefaçon de parfums.

Afin de parvenir à remplir ces objectifs, une méthode en chromatographie gazeuse couplée à un spectre de masse (GC-MS) est développée afin d'évaluer la composition chimique des parfums étudiés. Celle-ci est alors étudiée par analyse en statistiques multivariées afin de déterminer les composés les plus discriminants dans les parfums contrefaçons à travers la variance des composantes principales développée à partir de l'apport de chacune de ces variables sur le modèle. Ces ensembles de molécules discriminantes seront considérés comme les profils chimiques des parfums contrefaçons. La similitude dans les profils chimiques développés sera évaluée afin d'étudier les liens existants dans la production des parfums de différentes marques.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre met en place les connaissances sur le milieu de la contrefaçon et son ampleur. Après quoi les aspects fondamentaux de la science forensique et du renseignement forensique y sont discutés afin de mettre en place les concepts importants derrière l'étude, soit la trace et ses caractéristiques qui lui sont inhérentes. Le lecteur est introduit sur le milieu de la parfumerie en expliquant brièvement le développement de parfums, comment la chimie analytique est impliquée et les études sur la contrefaçon de parfums sont présentés. Ce chapitre se conclut avec un résumé des concepts abordés tout au long du chapitre et indique comment ceux-ci s'imbriquent dans la présente étude. Le chapitre 2 met en place les théories des manipulations réalisées, soit l'échantillonnage, les analyses par GC-MS et sur les analyses en composantes principales. Les manipulations réalisées tout au long de l'étude y sont listées. Dans le troisième chapitre, les résultats sont énumérés et les observations derrière les analyses y sont énoncées. Les choix réalisés derrière les analyses en composantes principales sont également listés. Dans le quatrième chapitre, la pertinence des résultats est discutée. Les observations derrière les analyses statistiques sont discutées plus en détail et leurs implications y sont élaborées. Le chapitre se conclut avec un regard critique sur l'étude avec des pistes de réflexion pour les études futures.

CHAPITRE 1

CADRE CONCEPTUEL

Dans ce chapitre, le contexte autour de l'étude est exploré plus en détail. En premier lieu, une définition de ce qu'est la « contrefaçon » est introduite afin que le lecteur ait à l'esprit sa définition lors de la lecture de ce mémoire. Ensuite, le contexte entourant ce phénomène est décrit afin que le lecteur ait un aperçu de l'ampleur du phénomène. Le phénomène de la contrefaçon est envisagé selon la science forensique et, plus spécifiquement, le renseignement forensique. Les études réalisées dans le domaine sont brièvement décrites afin d'introduire le lecteur sur les différents aspects abordés dans ce mémoire. Finalement, le parfum, objet d'étude, est décrit selon sa conception dans la littérature. Les études de contrôles qualités et en science forensique sont introduites pour appuyer les concepts théoriques d'analyse choisis dans cette étude.

1.1 Le phénomène de la contrefaçon

1.1.1 Définition du terme « contrefaçon »

Définir ce qu'est une contrefaçon n'est pas une simple tâche. Celle qui est souvent répétée est celle d'une reproduction d'un objet de façon à être le plus similaire possible au produit authentique. Cependant, à travers la littérature, cette première définition devient vite désuète puisqu'elle ne tient pas compte de plusieurs aspects. Avant d'entamer des explications sur la problématique en soi, il est alors nécessaire de débuter sur des bases solides concernant ce que représente une contrefaçon. Afin de débuter cette discussion, voici les définitions décrites par le Larousse (2022) :

1. « *Usurpation du droit de propriété littéraire, artistique, commerciale ou industrielle d'un autre.* »
2. « *Action d'imiter frauduleusement un objet ayant un caractère public (monnaie, billet de banque...).* »
3. « *Œuvre, objet qui est l'imitation ou la reproduction frauduleuse d'un autre. »*

Il est alors possible de constater que la contrefaçon est perçue différemment à travers ces différentes définitions. Toutefois, malgré qu'il existe différentes catégories de contrefaçon, la définition d'une contrefaçon ne peut pas être divisée telle que présentée dans le Larousse.

Peu importe sa définition, la contrefaçon représente une reproduction d'un produit authentique (Hyeans, 2011; Roudaut, 2011). Cette contrefaçon peut être une imitation, c'est-à-dire un produit similaire à celui authentique, ou une reproduction ayant plusieurs différences avec le produit authentique. Dans la littérature, il sera souvent question de contrefaçon dite « trompeuse » (« *deceptive* ») ou « non-trompeuse » (« *non-deceptive* ») (Wilson et al, 2014; Islam et al, 2021). Ainsi, le caractère trompeur sert pour frauder le consommateur non averti, tandis que les contrefaçons « non-trompeuses » seront principalement achetées par des consommateurs de contrefaçon. Ce dernier type de contrefaçon n'est pas nécessairement produit pour ne pas ressembler au produit authentique; le faussaire pourrait faire de la promotion sur son objet et le définir clairement comme une contrefaçon (La Rosa, 2019). Mais encore, le fait d'être reproduit, de telle sorte à être similaire ou pas, ne permet pas de l'attribuer comme une contrefaçon. En effet, le produit doit être conçu sans l'accord de l'entreprise. Ainsi, un produit ayant été conçu sous l'inspiration d'un produit appartenant à une entreprise et que celle-ci a donné son accord, il ne s'agira pas d'une contrefaçon.

Il est alors important d'aborder l'aspect de la marque qui est présenté dans la première définition du Larousse à travers le concept de la propriété intellectuelle. Cet aspect de la contrefaçon permet d'aborder le caractère frauduleux (Roudaut, 2011). En effet, reprendre l'image d'une marque ayant une notoriété, selon la perception du public, sans l'autorisation de l'entreprise pour vendre un objet quelconque représente, en premier lieu, une violation du droit à la propriété intellectuelle (Chaudhry et al, 2012; Girardet, 2011). En effet, l'utilisation non autorisée d'une marque et de ses bénéfices, plus précisément de sa notoriété aux yeux du public (Radon, 2012), engendre un préjudice pour la compagnie. Cette notoriété a été acquise au fil des années et l'entreprise peut avoir dépensé beaucoup afin de conserver cette image (Chaudhry, 2013). En plus de ce préjudice, le faussaire vend un produit qui est souvent une reproduction de piètre qualité afin de le vendre au consommateur. Cependant, ce produit, aux yeux de l'entreprise, a pris des années pour être conçu et pour être produit. C'est certainement le cas des médicaments, où généralement un brevet est déposé pour la conception au moment des premiers résultats et à une durée de 15 ans pour rentabiliser les dépenses (Dégardin, 2013). De plus, la fausse représentation d'une marque pour influencer l'achat d'un consommateur est considérée comme de la fraude (Peugeot, 2011). Le consommateur croit faire un coup d'argent et acheter un produit représentant

une certaine notoriété et un certain style de vie (Radon, 2012; Mavlanova, 2010), sans se rendre compte qu'il est trompé.

De plus, la définition d'une contrefaçon telle que décrite par la loi canadienne (Code Criminel. L.R.C. ch C-46 art. 406, 407, 408) la représente comme étant une fraude et une violation du droit à la propriété intellectuelle. Cependant, les peines lui étant associées sont distinctes en deux sections. Le caractère frauduleux impose une peine monétaire au faussaire tandis que la violation du droit intellectuel impose la destruction des biens et des instruments ayant été utilisés pour la production. Des peines d'emprisonnements peuvent être encourues également, soit un maximum de 5 ans peu importe si le faussaire est en possession en vue de trafic, est en possession de matériel en vue de la production ou produit l'objet contrefait.

La dualité du concept que représente la contrefaçon est ainsi plus précise. La contrefaçon peut alors être abordée comme étant une reproduction, dans son intégralité ou pas, d'un objet en utilisant l'image d'une marque, et sa notoriété, afin de tromper le consommateur, et ce sans l'accord de l'entreprise derrière la marque reproduite. Pour ce mémoire, cette définition de la contrefaçon sera conservée.

1.1.2 Un aperçu général du phénomène de la contrefaçon

En s'intéressant au phénomène en général, la littérature le dépeint comme étant d'envergure mondiale et en continue expansion (Kenedy, 2020; OECD, 2021; INTA, 2017; Frontier Economics, 2016). Une industrie qui était essentiellement restreinte à la vente dans les commerces clandestins, dans les ruelles par exemple, s'est vue complètement changée avec l'introduction de la mondialisation, aperçue à travers les nouvelles technologies de communications (Kennedy, 2020; Jhin, 2006; Dolan, 2004). L'introduction de celles-ci a permis aux faussaires d'atteindre les consommateurs sans devoir nécessairement se déplacer physiquement. Cela aura eu pour conséquence d'augmenter la quantité de contrefaçon sur le marché mondial et d'augmenter la probabilité d'exposer le consommateur à ces objets frauduleux. Un rapport de Frontier Economics (2016) prévoyait qu'en 2022 l'industrie de la contrefaçon allait atteindre des ventes de l'ordre de 980 milliards et détournerait un autre 980 milliards de l'économie licite, résultant en un profit de l'ordre de 1,9 trillion. Ces profits générés entraîneront des répercussions sur l'ensemble de notre société. En effet, les fonds détournés de l'économie licite impliquent des mises à pied (Roudaut 2011), redirigeant ces employés vers d'autres milieux et créant ainsi une perte de main-d'œuvre dans ces domaines. Également, la vente de la contrefaçon, particulièrement pour les faux médicaments, implique

également des pertes énormes en recherche et développement (Dégardin, 2013). Cela aura pour conséquence de diminuer l'intérêt dans certaines entreprises pour l'innovation, voyant ses nouveaux produits se faire reproduire avant même leur apparition dans le marché (Ponsolle des Portes, 2011; Peugeot, 2011). Il est également décrit dans la littérature que l'industrie de la contrefaçon serait plus lucrative que les stupéfiants dus aux peines maximales, n'étant pas aussi punitives pour la vente ou la production de contrefaçons que celles pour les stupéfiants, et parce que l'anonymisation des individus sur les plateformes de ventes en ligne est plus facile et permet d'établir le contact avec le consommateur plus rapidement que sur des réseaux cachés, tel que le Dark Web (Kennedy, 2020; Hyeans, 2011, Roudaut, 2011; OECD, 2021). De plus, l'argent obtenu par la vente de contrefaçon permettrait de financer les différentes activités des groupes criminels (Fucini, 2011). Quelques exemples sont listés dans la littérature, tels que le trafic d'êtres humains, le trafic d'armes à feu et le financement d'activité terroriste (Hyeans, 2011; Fucini, 2011). En plus de ces problèmes, il y a également un problème important relié au milieu de la santé. En effet, plusieurs types de contrefaçons vont avoir des effets toxiques, voire mortels, sur la santé des consommateurs (Dégardin, 2013; Hochholdinger, 2019). Pour citer quelques exemples de catégorie de produits de ces produits contrefaçons ayant des effets sur la santé : médicaments, cosmétiques, nourriture, etc. Les problèmes reliés à la santé ne se limitent pas aux effets de toxicité, mais également aux conséquences physiques. Les pièces mécaniques contrefaites sont plus susceptibles à se briser, dû aux manques de normes dans la production de la contrefaçon qui est inhérente à ces objets en général (Roudaut, 2011).

Dans un autre ordre d'idée, la contrefaçon est perçue différemment par le public selon le type d'objet contrefait (Bian, 2009; Islam, 2017). En effet, les produits contrefaçons pour la santé ou les produits de bien-être, principalement les médicaments, seront moins achetés par les consommateurs de contrefaçons que des produits de luxe (Bian, 2009). Également, l'étude économique de Frontier Economics a également étudié la question concernant la proportion de gens qui seraient prêts à payer le plein prix pour un objet si la contrefaçon n'était plus disponible (Frontier Economics, 2016). Seulement 50% de la population, et ce pour tous les types de produits de luxe confondus, est prêt à acheter l'objet authentique si le produit contrefait n'était plus disponible. Ce qui laisse croire que l'autre moitié ne recherche que des produits contrefaçons afin de réaliser un coup d'argent (Radon, 2012), peu importe les conséquences reliées à l'utilisation de ces objets. Le consommateur a, en général, une tendance à diminuer la dangerosité des produits de luxe (Radon, 2012). Ce qui est en accord avec Thaichon (2016) où les gens interrogés ne voient

pas de conséquences à l'achat de contrefaçon et préfèrent même l'achat en ligne de contrefaçon pour éviter la police.

En dehors des conséquences sur la société, l'ampleur de l'industrie de la contrefaçon est difficilement estimable. Comme mentionné plutôt, les études économiques sont des estimations basées sur des données douanières. Les douanes sont les premiers acteurs pour détecter la contrefaçon qui est importé dans un pays. Toutefois, elles ne sont pas outillées pour détecter tous les différents types de contrefaçons (U.S. Customs Border and Protection, 2021) et elles ne peuvent pas empêcher la production de contrefaçons au sein du pays. Plusieurs rapports douaniers font état de l'ampleur de la contrefaçon et de son évolution (Vidon, 2011). En effet, plusieurs études dans le milieu professionnel illustrent l'incapacité de détecter la contrefaçon de façon systématique due à la quantité d'importation (U.S. Customs Border and Protection, 2021). De plus, les faussaires emploient des stratégies pour soit passer inaperçus ou pour contourner les lois des douanes. Un exemple de stratégie est présenté dans le documentaire Underworld Inc. de National Geographic, dans lequel les faussaires envoient des composantes d'objets, sans image de marque, pour les assembler et apposer la marque une fois rendue à la destination.

De plus, en fonction des saisies réalisées à travers les douanes, il est possible d'étudier la provenance et les valeurs des objets frauduleux. Le rapport de 2021 du U.S. Customs Border and Protection, intitulé Intellectual Property Rights Seizure Statistics, fait état de la situation aux États-Unis concernant les saisies douanières. La valeur totale des saisies a atteint 3,3 trillions, une augmentation de 152% par rapport à l'année dernière. Il est également intéressant de voir que les moyens pour transiger la contrefaçon ont évolué. En effet, le rapport fait une mention pour les achats réalisés par le « e-commerce », représentant les achats réalisés en ligne. Depuis les dernières années, le commerce en ligne a vu une forte croissance, notamment due au contexte entourant le COVID-19 (U.S. Customs Border and Protection, 2021), et représente 58 billions U.S. au Canada (ecommerceDB, 2021) et 222,5 trillions aux États-Unis (U.S. Customs Border and Protection, 2021). Il y est également inscrit la citation suivante : « The overwhelming volume of small packages also makes CBP's ability to identify and interdict high risk packages difficult. » (U.S. Customs Border and Protection, 2021). Les faussaires n'ont plus à envoyer leurs produits sur le terrain pour effectuer la vente. Cette étape peut, de nos jours, se faire de l'endroit même où la production est réalisée. D'où l'intérêt de s'intéresser à la provenance des contrefaçons. Le rapport mentionne que les saisies proviennent majoritairement de Chine (33%), Hong Kong (18%), Turquie (11%), Philippines (6%), Colombie (6%) et autres (27%) (U.S. Customs Border and Protection, 2021). Ainsi, le lecteur peut être tenté

d'inférer sur la source principale de contrefaçon. Cependant, la littérature fait part de l'incertitude de ces données, puisque le pays de provenance n'indique pas si la contrefaçon a transigé à travers différents pays avant d'arriver à sa destination (Vidon, 2011). Également, plusieurs auteurs mentionnent que les douanes sont sujettes à des biais cognitifs, impliquant que les saisies provenant de certains pays sont sujettes à des fouilles systématiques (Vidon, 2011; Roudaut, 2011). Cela a pour conséquence d'augmenter la quantité de contrefaçon saisie et fausse les statistiques sur les pays moins détectés. Toutefois, il est important de mentionner que la Chine reste un acteur important dans la production et la vente de contrefaçon (Chow, 2020). Son implication est illustrée dans plusieurs documentaires (Morgan, 2015; La Rosa, 2019) et discutée dans plusieurs études (Chow, 2020; Vidon, 2011; Tang, 2014). Son économie est propice au développement de la contrefaçon : la pauvreté omniprésente et l'absence de loi ont été des catalyseurs pour l'instauration de l'industrie de la contrefaçon dans ce pays (Vidon, 2011). De nos jours, le gouvernement chinois a augmenté les sanctions par rapport à la production et la vente de contrefaçon limitant le champ d'action des groupes criminelles (Vidon, 2011). Que ce soit en Chine ou dans les autres pays, les sanctions pénales devraient être revisitées. Cet aspect a également été discuté dans le documentaire d'Enquête (Labro, 2023) à travers lequel la contrefaçon d'huile d'olive extra-vierge est présentée comme un fléau en Italie. Les lois entourant la contrefaçon dans ce pays ne sont pas adaptées pour la réalité et plusieurs acteurs de la justice tentent de faire corriger la situation.

L'industrie de la contrefaçon s'est aussi beaucoup diversifiée avec le temps. La littérature est remplie d'exemple de contrefaçons (Roudaut, 2011; Dégardin, 2013; Hochholdinger, 2019) et certains ont même paru dans les médias canadiens (Ferah, 2022; Reuters, 2008), voici quelques exemples : médicaments contrefaçons, nourriture, cosmétiques, pièces de voiture, pièces d'avion, etc. Étant donné le caractère fortement dangereux de la contrefaçon de médicament, plusieurs études ont été réalisées pour comprendre l'envergure et encadrer le phénomène, notamment l'étude de Dégardin (2013) portant sur le profilage chimique et physique de médicaments. Cette contrefaçon est préoccupante, non seulement dû au caractère frauduleux, mais également à son impact direct sur la santé du consommateur. La contrefaçon est essentiellement produite selon différentes méthodes : avec le même principe actif, mais avec une concentration moins élevée; sans principes actifs; ou avec un principe actif différent. Cette dernière méthode est privilégiée par les faussaires et a déjà été retrouvée dans une saisie de la Gendarmerie royale du Canada et présentée dans les médias canadiens (Ferah, 2022; Renaud, 2021). Le principe actif des faux médicaments avait été remplacé par de la méthamphétamine. Ce qui renforce l'importance de mieux encadrer la contrefaçon. Dans une autre optique, en plus des cas illustrés dans la

littérature ou dans les médias, les douanes font état des saisies réalisées selon les types d'objets contrefaits. Le rapport du CBP (2021) mentionne également, étant donné la situation actuelle de la pandémie, que l'importance de certains médicaments ou des vaccins a augmenté aux yeux de la population dus aux pénuries.

En dehors des médicaments contrefaits, plusieurs autres objets sont également prisés par les faussaires (U.S. Customs Border and Protection, 2021). Il est alors possible de voir qu'une majorité des saisies sont des produits de luxe et, plus précisément, de la mode. Il y a par la suite les objets électroniques, majoritairement des téléphones et des « *air pods* ». Il y a par la suite les produits de consommation et les médicaments contrefaits. Toutefois, les statistiques présentées à la figure 2 proviennent des données douanières. Il est important de considérer les incertitudes derrière ces données et se rappeler que ce sont des statistiques sur ce qui a été détecté. Il est alors compliqué d'avoir un aperçu précis sur ce phénomène.

Il est alors intéressant d'aborder cette problématique en considérant qu'en réalité, l'ampleur du phénomène est probablement sous-estimée. L'évaluation de la présence de faussaires ou de réseaux de faussaires est alors complexe. Ce qui résulte à explorer la pertinence des capacités de diverses méthodes dans cette évaluation, tel que le renseignement forensique.

1.1.3 Dynamisme du commerce de la contrefaçon

Jusqu'à ce jour, la lutte contre le phénomène de la contrefaçon se fait de façon isolée à travers différentes sphères de notre société. En effet, les entreprises privées ont recours à des firmes d'enquêteurs pour investiguer sur la provenance des contrefaçons, ce qui est bien illustré dans le documentaire *Broken* (La Rosa, 2019). Afin de pouvoir mieux comprendre, quantifier et suivre l'évolution du phénomène de la contrefaçon, le milieu académique propose différentes méthodes. Plusieurs de ces moyens sont de l'ordre économique en achetant les commerces, en ne faisant rien ou en éduquant les différents partis impliqués sur les enjeux de ce phénomène (Chaudhry et al p.154, 2009). Mais encore, un des moyens proposés est l'utilisation de l'image, ou plus précisément la notoriété, de la marque en définissant des objets qui pourrait être uniquement vendus sur les plateformes en ligne (Kennedy, 2019). Ce faisant, la présence de certains objets dans des marchés physiques, ou l'inverse sur les plateformes de ventes en ligne permettraient de détecter aisément une certaine quantité de contrefaçon. Un second moyen serait de traquer l'objet produit à partir de marqueur, par exemple des codes QR, avec une authentification par l'utilisation de nouvelles technologies, tel que les blockchains (Toyoda, 2017). Il y a également des suivis

par l'utilisation de traçage par RFID avec un marquage réceptif aux radiofréquences ou l'imprégnation d'ADN dans les textiles pour permettre de mieux identifier les produits authentiques (Chaudhry et al p.155, 2009). Cependant, ces méthodes de traçage ne permettent pas de détecter le piratage, ce pour quoi Chaudhry (2009) suggère que les gestionnaires développent des plans de gestions rigoureux pour la lutte contre le phénomène. Une méthode proposée dans la littérature serait pour les entreprises d'entreprendre un dialogue avec les gouvernements afin de mettre une pression sur les lois par rapport au droit à la propriété intellectuelle et limiter la production de la contrefaçon (Chow, 2020). Étant donné l'augmentation des ventes en ligne, des auteurs proposent également des moyens de détecter, voire de prédire, les plateformes de ventes en ligne vendant de la contrefaçon en étudiant la présence d'indicateurs de confiance (Wilson, 2014). Finalement, il y a l'importance du pouvoir d'achat des consommateurs, par sa sensibilisation au phénomène, étant probablement le meilleur moyen de lutter contre l'industrie de la contrefaçon (Hyeans, 2011; Morgan, 2015). D'où l'apparition, en 2009, de campagnes de sensibilisation, en Europe, pour avertir le public du danger de la contrefaçon (Ponsolle des Portes, 2011). Ce type de campagnes en Amérique du Nord auront débuté il y a quelques années, apparaissant à travers le projet des douanes aux États-Unis intitulé « *The Truth behind counterfeits* » (U.S. Customs Border and Protection, 2021). Le FBI a même publié un court article pour détecter la contrefaçon en ligne à travers différentes caractéristiques (FBI, 2014), notamment la présence d'important rabais.

Étonnamment, les moyens proposés jusqu'à présent n'impliquent pas les forces de l'ordre directement, étant les premiers acteurs appliquant les lois. En effet, la littérature est riche sur l'absence de moyens concrets entrepris par le milieu policier pour lutter contre ce phénomène (Kennedy, 2019) ou tout simplement l'absence d'intérêt de la part de ce milieu de s'impliquer dans la lutte contre ce type de criminalité (Roudaut, 2011; Kennedy, 2019). Il y a un certain désintérêt du milieu policier à la lutte contre ce phénomène, notamment puisqu'il n'y a pas de coupable tangible une fois que la victime porte plainte (Morgan, 2015). Également, les saisies réalisées par les corps policiers sont généralement de petites envergures pour ce type de criminalité. Étant donné les coûts et les procédures derrière l'administration en justice pour ce type de dossier, la contrefaçon est généralement peu considérée par le milieu policier (Roudaut, 2011; Kennedy, 2019). Également, par rapport aux victimes, ce délaissage fait en sorte qu'elles sont laissées à eux même étant donné que le milieu policier ne sait pas comment réparer les torts causés par ce type de criminalité. Une autre lacune est le manque de service centralisé pour lutter plus efficacement contre ce phénomène, faisant en sorte que les entreprises privées ont recours à des firmes d'enquêteurs privés (Roudaut, 2011; La Rosa, 2019). L'aspect international de ce phénomène fait

en sorte que les postes de police ne croient pas avoir d'impact sur les activités derrière celui-ci (Kennedy, 2019; Nasheri, 2005; Wall, 2005). Cependant, tel qu'il sera abordé lors de la définition du renseignement, la police locale pourrait être le premier maillon pour interrompre les activités. Il est toutefois important de mentionner que le milieu policier prend plus au sérieux de nos jours les enquêtes sur les fraudes présentes sur internet (Bossler, 2012).

Ce qui amène à discuter de la situation au Canada. Le phénomène ne l'épargne pas (Breitkreuz, 2007). Plusieurs organismes sont présents pour venir en aide aux victimes et tentent d'informer la population sur les dangers de la contrefaçon, notamment le Réseau Anti-Contrefaçon Canadien ou le Centre antifraude du Canada. Il est toutefois surprenant de voir que leurs actions sont principalement portées vers le soutien aux entreprises. Cependant, les enquêtes sont prises plus au sérieux. En effet, depuis les dernières années, la GRC, en collaboration avec des corps policiers internationaux tels qu'Interpol, a réalisé différentes saisies importantes dans des entrepôts au Canada. Notamment, une saisie de comprimés de Xanax contrefaits, réalisés à Longueuil (Renaud, 2021), et une arrestation concernant un individu, nommé le « Le Roi du Xanax », vendant des comprimés de Xanax contrefaits par le biais du Dark Web aux États-Unis (Ferah, 2022). Considérant le caractère frauduleux de ces objets, l'intérêt grandissant pour les enquêtes sur les différentes formes de fraudes en ligne et les impacts que ces objets auront sur la santé du consommateur, il est alors primordial de se réintéresser à la lutte contre l'industrie de la contrefaçon, et de manière à ce que l'ensemble des corps policiers puissent être impliqués (Kennedy, 2019).

En tenant compte des opérations derrière le phénomène de la contrefaçon, soit qu'ils sont réalisés principalement en dehors des regards, il est possible de concevoir que l'étude des réseaux derrière celles-ci n'est pas facilement réalisable. Les études réalisées sur le phénomène sont des estimations puisqu'il est difficile d'évaluer l'ampleur des activités (Fontier Economics, 2016).

Toutefois, il est possible de prévoir qu'elles sont les étapes derrière ces opérations (Hochholdinger, 2019). En effet, la première étape est la production de l'objet contrefait. Le faussaire utilisera des matières premières pour concevoir le produit ou ses différentes composantes, par exemple pour un parfum il y aurait la bouteille, la composition du parfum, la boîte, etc. Ensuite, une fois la production réalisée, les différentes composantes sont envoyées vers des sites d'assemblages pour obtenir le produit, si ce n'est pas déjà fait, dans une deuxième étape où le produit transige entre différents intermédiaires, d'où l'étape de la distribution. Ces composantes peuvent ainsi voyager par les différents moyens de transport (train,

avion, bateau, etc.) (La Rosa, 2019). Ultimement, ces composantes arriveront aux sites d'assemblages où les produits finaux seront expédiés aux revendeurs. Cependant, il faut tenir compte des stratégies employées par ceux-ci, puisque les plateformes numériques sont plus fréquemment utilisées par les faussaires pour la vente (Chaudhry, 2008).

Ainsi, chaque étape pourrait éventuellement être étudiée pour évaluer la dynamique des opérations. Cependant, tel qu'il sera discuté dans la prochaine section, l'objet d'étude qui permet éventuellement d'évaluer les opérations des faussaires est la trace. Plus spécifiquement, l'étude de la trace chimique des parfums contrefaits permet d'évaluer la similarité existante dans les moyens de production des faussaires. Ainsi, ces similarités suggèreront une source de production commune à travers les parfums partageant cette similarité.

1.1.4 Quelle est la situation pour les parfums contrefaits?

Lorsqu'il est question de parfums, ceux-ci sont généralement compris dans la catégorie plus large que sont les cosmétiques. Le parfum est un produit de luxe, donc l'achat de ce type de produit est intéressant pour le consommateur afin d'améliorer son image. Le parfum contrefait est souvent acheté par Internet, sur des plateformes de ventes en ligne (FBI, 2014; OECD p.39-47, 2019, Sachs, 2019). Ainsi, il n'est pas acheté délibérément dans des lieux physiques (Heinonen et al, 2012; Sullivan et al, 2017). Il ne fait pas partie des produits les plus perçus par les douanes (U.S. Customs Border and Protection, 2021), mais, considérant l'augmentation des ventes sur Internet et la présence de ces objets contrefaits sur les plateformes de ventes en ligne, sa présence peut être éventuellement inquiétante. En effet, tel qu'il sera abordé dans la section 1.3, la présence de composé allergène ou potentiellement mortel est observée dans ces produits. Étant un objet de consommation, le consommateur est incité à faire un coup d'argent à l'achat de ces produits qui sont généralement affichés avec des prix avec de grands rabais (FBI, 2014).

1.2 Le renseignement forensique et la science forensique

1.2.1 Le renseignement : un concept fondamental

Tout d'abord, une simple question doit être abordée : qu'est-ce que le renseignement? Dans le domaine de la criminologie, le renseignement est ce qui est développé suite à l'analyse d'une collecte d'information pouvant provenir de plusieurs sources (Brodeur p.264, 2008). Ainsi, la collecte est tout autant importante que l'analyse. Toutefois, la différence entre une information, également perçue comme une donnée, et le renseignement est due au caractère intrinsèque de l'information par rapport aux propriétés relationnelles

que repose le renseignement (Brodeur, p.267, 2008). L'information est alors les données brutes et c'est l'analyse, ou l'interprétation des liens existants entre les données, qui permet de développer le renseignement. La terminologie du renseignement vient des inférences développées à partir des observations réalisées. Au niveau sémantique, le renseignement est également différent du savoir. En effet, le savoir démontre une connaissance véridique alors que le renseignement ne l'est pas assurément. Le développement de renseignement se fait par la validation des analyses réalisées pour atteindre le plus près possible ce savoir (Brodeur p.266-267, 2008).

Le renseignement se distingue également au niveau de l'acceptabilité à la cour. Le renseignement n'a pas le fardeau de la preuve, il peut y avoir un certain degré d'incertitude derrière la vraisemblance des analyses (Brodeur p.268, 2008). Ce cycle repose sur la combinaison de l'acquisition, de la vérification, de la classification et de l'analyse de données (Cusson p.47, 2008). L'objectif du renseignement est d'utiliser ces informations dans le but de la prévention ou de l'encadrement de la criminalité dans le but de planifier, le plus précisément possible, les opérations à travers la prise de décision (Cusson p.47, 2008; Lemieux p.293-294, 2008). Le renseignement développé doit pouvoir permettre la détection, le développement de connaissance, la prévention, l'orientation ou l'évaluation des actions criminelles (Lemieux p.295, 2008; Cusson, Dupont, & Lemieux, 2008; Ratcliffe, 2010). Une fois que la pertinence du renseignement a été validée, il est alors partagé aux différents partenaires. Ce renseignement est ainsi élaboré pour répondre aux questions spécifiques d'une problématique, soit : qui, quoi, où, quand, comment, pourquoi, avec qui/quoi (Delémont et al., 2013; Roux et al, 2022). L'analyse des données est la section la plus importante, puisque le renseignement qui est développé dépend entièrement sur les observations réalisées suite à l'analyse. De plus, la gestion de la quantité massive de données est un enjeu actuel. L'analyse doit alors reposer sur des moyens fiables et efficaces et doit pouvoir être validée.

Il faut également définir les différents types de renseignement, soit le renseignement criminel et celui de sécurité. Le renseignement criminel appuie les opérations policières alors que le renseignement de sécurité s'intéresse aux enjeux de sécurité nationale qui auront un impact sur la population de l'agence concernée (Leman-Langlois et Lemieux p.335, 2008). Ces deux niveaux de renseignements sont également divisés en trois catégories : opérationnel, tactique et stratégique (Lemieux p.290, 2008). Le renseignement opérationnel sert pour les opérations spécifiques et a informé les patrouilleurs, le renseignement tactique sert à superviser les opérations sur le terrain et informer les décideurs pour le déploiement des effectifs et le renseignement stratégique s'intéresse à la prévention de la criminalité (Brodeur p.271-272, 2008). Il

est toutefois important de mentionner que ces catégories s'entrent croisent dans certains cas. Par exemple, le renseignement tactique pourrait éventuellement servir pour informer les décideurs au niveau stratégique (Brodeur p.272, 2008). Également, la distinction entre le renseignement criminel et celui de sécurité peut s'entre croiser. Certaines formes de criminalité doivent intéresser les corps policiers au niveau provincial, voir fédéral, alors qu'ils ont des impacts au niveau mondial (Leman-Langlois et Lemieux p.350, 2008).

Ainsi, le renseignement doit pouvoir guider les opérations afin de diminuer ou prévenir les différentes formes de criminalité. Il s'inscrit dans le mouvement policier dans lequel le milieu est guidé par le renseignement afin d'effectuer une action de répression de la criminalité ou de la prévenir, soit l'*Intelligence-Led Policing* (ILP). Ce mouvement policier est né suite au désir du milieu judiciaire à vouloir améliorer ses pratiques suite à l'évolution rapide de la société et de la criminalité (Ratcliffe p.2, 2016). Le milieu étant, et est encore, très réactif au crime, n'envisageant pas la prévention. Étant donné la diversification et l'augmentation de la criminalité, la réactivité du milieu policier a été perçue comme inefficace dans le monde actuel et que le modèle policier devait être repensé. Avec l'arrivée des modèles prédictifs par l'utilisation de prédictions statistiques, l'idée de la prévention a grandement pris de l'importance dans le milieu policier (Ratcliffe p.3, 2016). Ainsi, les données policières ont gagné en importance, d'où éventuellement la terminologie « Data-driven policing ». Le mouvement du ILP qui, au départ, était une approche opérationnelle visant à utiliser le renseignement pour des fins tactiques a évolué avec le temps pour être incluses dans la prise de décision. Ce mouvement a également gagné en importance suite aux attentats de 11 septembre 2001, où des recommandations suggéraient le partage d'information (Ratcliffe p.4, 2016). Nonobstant de vieilles mentalités, ce mouvement sert alors pour promouvoir une meilleure distribution des ressources, une meilleure définition des priorités et un appui dans la décision pour la réduction de la criminalité (Ratcliffe p.5, 2016). Ainsi, l'analyse et le renseignement font du ILP un mouvement centré sur la réduction des différentes formes de criminalités en mettant en priorité celles formant des crimes sériels. L'ILP s'intéresse de près aux données pour l'identification de patrons de criminalités. Pour le milieu opérationnel, Ratcliffe (2010) indique alors que l'analyste en renseignement doit interpréter le milieu criminel pour influencer les décideurs qui auront la responsabilité d'agir pour impacter le milieu criminel, d'où le modèle des trois « i » (Interprétation, Influence, Impact). L'étape d'interprétation est relative aux données afin de leur attribuer une signification, l'influence est par la dissémination de l'information pour aider les décideurs et l'impact est d'évaluer les résultats de ce que l'information et de l'action prise par les décideurs a sur la criminalité (Ratcliffe, 2010). Ratcliffe développe

également le modèle des 4 « P » (*Prevention, Proactivity, Predictivity, Pattern*), où l'objectif premier, pour l'ILP, est la prévention, qui requiert de la proactivité de la part du milieu policier, qui nécessite une approche plus prédictive de la criminalité qui elle-même nécessite l'identification des patrons derrières cette criminalité. Somme toute, Ratcliffe (2010) énonce une définition de l'ILP:

« La police fondée sur le renseignement est un modèle d'entreprise et une philosophie de gestion dans lesquels l'analyse des données et les renseignements sur la criminalité sont au cœur d'un cadre décisionnel objectif qui facilite la réduction, la perturbation et la prévention de la criminalité et des problèmes par le biais d'une gestion stratégique et de stratégies de répression efficaces qui ciblent les délinquants prolifiques et les auteurs d'infractions graves. »¹

Ainsi, l'ILP utilise le renseignement pour non seulement informer le milieu policier, mais également pour appuyer les décideurs dans la gestion de la criminalité et du déploiement de ressource.

¹ Traduction libre de Ratcliffe (2010)

1.2.2 Le renseignement forensique

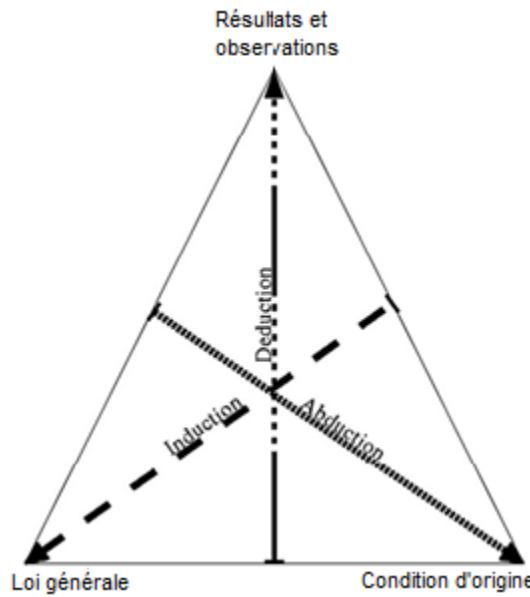


Figure 1.1 : Triangle des inférences (Crispino, 2008).

Le renseignement forensique est à l'intersection entre la criminologie, en utilisant les concepts du renseignement, et la science forensique, dont ces concepts sont abordés dans la prochaine section, (Mousseau, 2022) et s'intéresse aux méthodes de pensées, inférences (Crispino, 2008), permettant de développer de l'information précise. Le renseignement forensique considère la trace matérielle comme son objet d'étude de laquelle son étude permet de tirer avantage de l'aspect objectif des sciences pures et permettant de mesurer, conservé et comparé les données entre elles de manière systématique (Delémont et al., 2013). Il est alors possible d'inférer de ces résultats et de développer de nouvelles informations sur une problématique criminelle de manière précise. Les méthodes d'inférences sont couramment utilisées pour comprendre les dynamiques existantes de problème criminel récurrent. Essentiellement, le renseignement forensique repose sur l'abduction (Crispino, 2008). L'abduction étant la capacité, à partir d'observations réalisées sur les expérimentations (résultats d'analyse) et de règles générales, par exemple le postulat de Locard, de postuler sur les conditions d'origines de l'étude, soit, dans le cas du renseignement forensique, la production de la trace matérielle (Crispino, 2008).

Le renseignement forensique est essentiellement le développement de connaissances sur la criminalité à partir de l'étude de la trace, puisque cette dernière est apposée par le criminel et représente l'action

entreprise par celui-ci (Ribaux et al p.300, 2008). Ce domaine d'étude, décrit par Baechler (2015) est la somme des postulats d'Edmond Locard, où la criminalité génère des traces matérielles (Locard, 1920), de Pierre Margot, où la trace perçue permet d'inférer sur l'action criminelle (Margot, 2014), de la répétition criminelle, où la criminalité est généralement reproduite de manière similaire à travers le temps pour une même source (Clarke & Eck, 2005; Ratcliffe, 2016, 2009; Ribaux p.314, 2008), et de l'hypothèse de Cleland, où l'existence d'un lien invraisemblable entre deux objets indique qu'ils proviennent d'une source commune (Cleland, 2013).

Considérant la somme de ces hypothèses, Baechler (p.48, 2015) décrit ainsi le potentiel du renseignement forensique comme étant « l'observation d'une similarité entre les caractéristiques des traces permet de faire l'hypothèse d'une relation entre les causes respectives de ces traces. Dès lors que la similarité est improbable, la relation entre les causes peut être considérée comme une communauté ou une unité de source/d'activité criminelle. ». Ainsi, le potentiel qu'offre la trace pour étudier différents liens et leurs natures peut contribuer à la sécurité.

Ainsi, considérant que le renseignement forensique est, en reprenant les concepts du renseignement, une étude relationnelle entre les traces observées provenant d'objets à l'étude. Cependant, deux concepts fondamentaux restent à être définis, soit le terme « profil », puisque ce sont des profils chimiques qui sont développés afin d'évaluer la similarité existante entre les parfums contrefaits, et le terme « lien », puisque c'est ce qui permet d'appliquer de manière déterministe un niveau de similarité acceptable signifiant qu'ils partagent une composition commune. Le lien signifiera alors qu'ils proviennent fort probablement d'une source de production commune. Tout d'abord, le terme « profil », en reprenant la définition du Larousse, est défini tel que : « Ensemble de caractéristiques qui définissent fondamentalement un type de chose ; configuration de quelque chose à un moment donné ». Il est alors possible de comprendre que les « profils chimiques » qui sont développés correspondent à un ensemble de caractéristiques désirées que sont alors les traces chimiques de l'objet. De plus, en regardant les molécules les plus discriminantes, donc les caractéristiques discriminantes, la différenciation entre les objets de l'étude est maximisée. Alors, lorsque deux objets partagent le même profil chimique, soit les mêmes caractéristiques discriminantes, ces objets sont considérés comme une communauté provenant fort probablement d'une même source de production. Ces objets partageront un « lien ». Le terme lien est alors une connexion entre les entités de la communauté observée. L'étude des liens est un domaine à part entière s'intéressant aux relations

existantes entre les entités d'un réseau (Olson, 2019). Cette application ne sera pas élaborée dans ce mémoire, mais pourrait être un atout pour les futures études.

À travers les opérations dans ce domaine, quelques étapes, notamment appelées veille opérationnelle, peuvent être entreprises afin d'assurer un contrôle dans le temps de l'évolution de la criminalité étudiée (Ribaux et al p.312, 2008; Dégardin, 2013) :

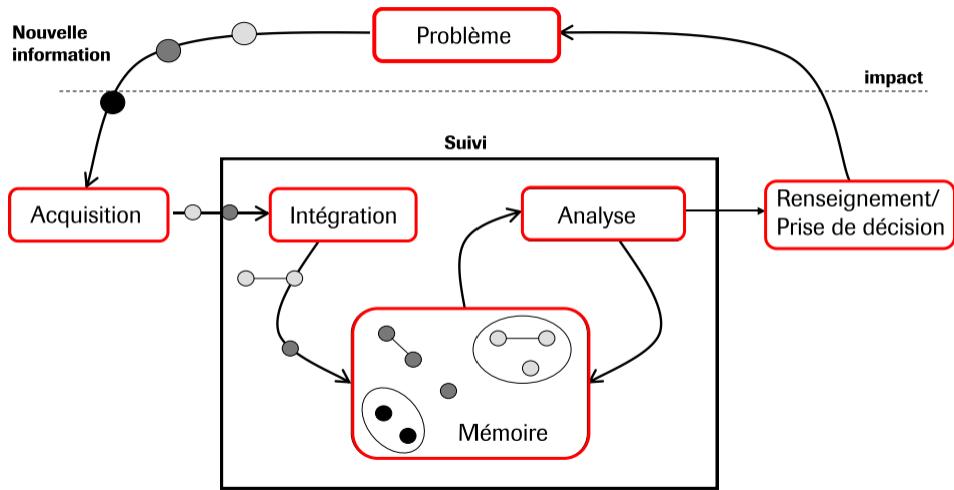


Figure 1.2 : Principe général du renseignement forensique (Dégardin, 2013)

Le renseignement forensique est en soi cyclique (voir Figure 1.2) selon le flux des données (Baechler, 2015). La première étape est la reconnaissance du phénomène criminelle. Ensuite vient l'acquisition des données brutes qui sont conservées dans des bases de données. Ces bases de données sont nommées mémoires pour garder un œil sur l'évolution des traces observées au fur et à mesure que les cycles se suivent. Ces données sont ensuite analysées pour extraire l'information pertinente à la question initiale. Ensuite, l'interprétation de ces résultats permettra d'émettre des recommandations visant à réduire le champ d'action possible des criminels. Finalement, ces derniers s'adapteront aux actions entreprises par les forces de l'ordre et l'évolution de leur mode opératoire sera observée à travers la continuité des cycles de renseignement.

La capacité à produire de l'information susceptible d'être utilisée pour des applications par les forces de l'ordre dans le renseignement forensique débute en récoltant des données représentées par des traces

matérielles. Par exemple, Simon Baechler conceptualise les faux documents comme étant un ensemble de traces matérielles sujettes à être exploitable pour l'analyse (Baechler, 2015). Cette analyse permet alors de, premièrement, détecter des liens entre entités à partir de similarité observée au niveau des données recueillies. Ces liens, dans le cadre de la thèse de Simon Baechler, sont exprimés en fonction de scores eux-mêmes déterminés à partir de distance ou corrélation entre les similitudes existantes de deux objets étudiés (Baechler, 2015). Ainsi, ces deux objets seront liés puisqu'ils partagent un nombre significatif de caractéristiques en commun. Cependant, ce lien est assujetti aux erreurs de type I (faux positifs) ou II (vrais négatifs), permettant d'envisager l'incertitude existante à travers celui-ci puisqu'il représentera une source, ou production, commune (Baechler, 2015). D'où l'intérêt d'identifier, éventuellement, des barèmes permettant de confirmer la présence de liens. Lorsque deux ou plusieurs objets partagent des liens entre eux, le terme utilisé est le groupe. Ainsi, les différents groupes permettent d'apercevoir des patrons dans les données, plus précisément des répétitions à travers les données.

Plusieurs études sur le renseignement forensique ont déjà été réalisées sur différentes formes de criminalité et d'objets. Par exemple, les stupéfiants (Guéniat, 2003; Esseiva, 2005; Zingg, 2005), les faux documents (Baechler, 2015; Mireault, 2018), les médicaments contrefaits (Dégardin, 2013) et les montres contrefaites (Hochholdinger, 2019). Ces études, malgré les différentes méthodes d'analyses utilisées et les différents objets d'étude, reposent essentiellement sur un même principe, soit :

- La trace matérielle étudiée est représentative des choix entrepris par le criminel.

Le profilage des caractéristiques discriminantes pour l'étude des objets est le moyen utilisé pour évaluer si deux objets sont liés par leur similarité. Par exemple, dans le cas des stupéfiants, la présence de mêmes impuretés à travers deux comprimés suggère que les moyens entrepris pour produire ces comprimés utilisent la même procédure, ou la même recette, de production. Jumelé à des similarités au niveau des observations physiques, tel que la forme du comprimé, son poids, le logo de la presse, etc., permettent d'inférer qu'ils proviennent fort probablement d'une même source de production.

L'étude de Dégardin (2013) inclue également d'autres aspects intéressant par rapport à la sélection des spécimens à l'étude. En effet, par exemple, le nombre de saisies étudiées est représentatif de la population retrouvée au niveau mondial. Étant donné l'ampleur de ces études, les saisies accessibles sont d'envergure mondiale. Cependant, tel que dans l'étude de Dégardin (2013), elle étudie 35 saisies ayant chacune un certain nombre de comprimés de médicaments contrefaits. Puisque ces saisies proviennent de différents

pays et de différentes sources (saisies policières, voyageurs ayant été fraudées pendant un séjour à l'extérieur, etc.), l'étude de celles-ci permet d'évaluer le profil chimique suggéré. Ainsi, ce profil chimique, s'il est observé dans plusieurs pays, sera représentatif de ce qui est disponible sur le marché mondial. D'autres études, tel que celle de Gaucher (2015) peuvent alors utiliser ces résultats sur un plus grand nombre de saisies pour évaluer plus précisément l'ampleur du problème. Par la suite, la temporalité des saisies étudiées est représentative de l'évolution du type de criminalité étudié dans le temps. Éventuellement, les saisies étudiées, en plus de provenir de différent pays, peuvent avoir été réalisées à différentes années. Ainsi, les différents profils observés dans les saisies peuvent être constants dans une période de temps et avoir changé suite à un changement dans la loi, par exemple, afin de diminuer les possibilités que ces objets soient repérables. Il pourrait alors être intéressant de s'intéresser à ces mêmes aspects pour la contrefaçon de parfums.

1.2.3 La science forensique

1.2.3.1 L'apport des critiques sur l'évolution de cette science

Le renseignement forensique a gagné en intérêt ces dernières années, notamment puisque le milieu académique tente de reconstruire cette science depuis que de nombreuses critiques, au début du 21^e siècle, ont été adressées à la science forensique. Ces critiques ont débuté à la suite de différents procès où la science forensique a mal informé la justice (Crispino et al, 2012). Les tribunaux ont alors ordonné aux scientifiques de corriger ce manque de rigueur derrière leur pratique par l'entremise de différents comités ayant pour but d'identifier plus clairement les lacunes et d'émettre des moyens pour les corriger. C'est ainsi que le NAS Report (2009), *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*, a été développée aux États-Unis. À travers ce rapport, une liste de lacunes a été mise de l'avant et des moyens ont été avancés pour les combler, principalement par la validation des méthodes scientifiques et l'accréditation des laboratoires judiciaires dans des normes (Crispino et al, 2012). Ainsi, plusieurs chercheurs du milieu académique se sont questionnés pour répondre aux problèmes identifiés dans ce rapport. Cela aura amené le milieu académique à questionner les fondements mêmes de cette science, par l'étude de différents concepts qui lui sont propres principalement entrevues par la compréhension de l'objet d'étude de cette science, soit la trace (Crispino et al, 2012; Roux et al, 2022). Le milieu académique a ainsi constaté que le rapport n'entrevoit pas tous les aspects derrière cette trace et les limites qui lui sont inhérentes. De plus, le manque de suivi entre la scène de crime et les analyses en laboratoires sont alarmantes. Les prélèvements sont considérés comme étant l'activité la plus intellectuelle, puisque le forensien est continuellement en train de générer des hypothèses, de les tester et de les mettre à jour

en fonction des informations soulevées par son investigation des lieux (Crispino et al, 2012). De plus, l'accréditation des laboratoires par des normes complexifie énormément les examens étant donné que chaque cas est unique (Margot, 2011b). En effet, la science forensique s'intéresse à l'individualité tandis que les sciences pures s'intéressent aux généralités (Crispino et al, 2019). Il y a alors une différence fondamentale entre les autres domaines de sciences pures et la science forensique. Les normes de productions, malgré qu'elles permettent d'établir certains critères pour garder une approche plus rigoureuse, ne semblent pas être adaptées pour la science forensique. Une des conséquences importantes du rapport NAS est la perception que la science forensique est une application des sciences pures dans un contexte judiciaire, ce qui a mené plusieurs programmes à inclure des formations en science forensique alors que les concepts fondamentaux ne sont pas abordés (Roux et al, 2012). Cela est également aperçu dans les articles scientifiques (Weyermann et al, 2023) où le terme forensique est fortement utilisé, alors que l'article aborde seulement le développement d'une méthode d'analyse et n'inclut pas les concepts plus fondamentaux de la science forensique. Considérant l'ensemble de ces critiques, plusieurs chercheurs se sont regroupés pour redresser l'image de la science forensique par la déclaration de Sydney (Roux et al, 2022). Cette déclaration remet en valeur les concepts fondamentaux derrière la science forensique, indique que les analyses en laboratoires ne sont pas indissociables des prélèvements faits sur une scène de crime, rappelle que l'incertitude est inhérente à la trace et valorise l'utilisation de la trace dans un sens plus large que l'aspect juridique, le tout à travers l'adoption de sept énoncés fondamentaux (Roux et al, 2022).

1.2.3.2 La trace : qu'est-ce qu'elle représente?

Considérant les critiques énoncées dans la précédente section, il est alors pertinent de définir ce qu'est la trace. De plus, dans le cadre de ce mémoire, il est question du développement d'une méthodologie impliquant les sciences pures, plus précisément la chimie, pour évaluer la présence de liens entre différentes saisies policières de parfums contrefaits. Les aspects théoriques précis du projet de recherche est détaillé dans le prochain chapitre, mais, avant de l'aborder, il est important d'introduire un concept à la base du projet : la trace. Ce concept est fondamental pour la science forensique. Le terme « trace » peut avoir deux définitions bien distinctes selon l'interlocuteur, soit :

1. Un composé ayant une faible concentration ou étant présent en faible quantité.

2. Une marque² ou un indice laissé en arrière faisant état des évènements passés.

La définition abordée dans ce mémoire fait appel à la seconde définition, à travers laquelle la trace représente le vestige d'une action passée (Margot, 2011). L'action peut se manifester sous différentes formes, impliquant la recherche de différents types d'informations. Par exemple, lorsqu'un individu prend un objet dans ses mains, les traces digitales représenteront cette action. La présence de cette trace indique alors le choix entrepris par l'individu à faire cette action. Ce concept de la trace ne fait pas intervenir les quantités (Margot, 2011), puisque la composition chimique de produit criminalisé peut être étudiée selon la matrice de l'objet, comme les excipients dans les médicaments contrefaçons (Dégardin, 2013), ou les impuretés, représentative des moyens de production dans le cadre des stupéfiants synthétiques (Esseiva, 2007).

Plus précisément dans le cadre de cette recherche, la présence de traces chimiques, c'est-à-dire la nature des molécules présentes, ou absentes, et éventuellement leurs concentrations, permet d'étudier la composition chimique de produits rencontrer dans le milieu judiciaire. Cette composition chimique est alors représentative des vestiges de la production effectuée, soit des choix entrepris par le faussaire afin de développer son produit. La présence de composition chimique commune à travers différentes saisies policières permet d'évaluer l'étendue du marché du faussaire. L'étude de ce type de trace peut alors informer les autorités sur les moyens entrepris par les criminelles pour développer leur produit et permet de comprendre les liens existants entre différentes saisies policières (Esseiva, 2007; Dégardin, 2013; Hochholdinger, 2019).

Il est également important de mentionner que ce type d'étude comporte des limites inhérentes à la trace. En premier lieu, la recherche pour la trace d'intérêt peut être assujettie à un concept clé, soit la qualité de la trace qui est elle-même gouvernée par deux concepts: la contamination et la pollution (Margot, 2011). La contamination est la présence de traces secondaires camouflant la trace d'intérêts initiale (Margot, 2011). Cette contamination peut éventuellement être évaluée en fonction du délai entre l'analyse chimique et le moment de production de l'objet étudié. Cependant, étant donné que ce moment de production est inconnu, l'analyse chimique de produit criminalisé ne permet pas de révéler certains composés discriminants en fonction de la dégradation ayant pu avoir lieu. Le deuxième concept, la

² À ne pas confondre avec le terme « marque » employé précédemment, dans la section sur la contrefaçon, qui désigne une image ou un logo d'une compagnie.

pollution, représente l'augmentation de la complexité des analyses en fonction des traces ajoutées appartenant aux acteurs ayant prélevé la trace ou l'analysant (Margot, 2011). Ainsi, c'est à celui qui manipule ou qui prépare un spécimen pour une analyse chimique de prendre en note toute altération afin d'éviter des pistes de réflexion erronées lors de l'étape d'interprétation.

Ayant conscience de ce qu'est une trace, des enjeux lui appartenant et de la signification qu'elle représente, il devient alors intéressant de s'intéresser à son étude pour comprendre des phénomènes. En effet, le concept de la trace en science forensique remonte à Edmond Locard ayant émis le postulat suivant :

*« La vérité est que **nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser des marques multiples de son passage** [...]. Les indices dont je veux montrer ici l'emploi de deux ordres : Tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux les marques de son passage, tantôt, par une action inverse, il a emporté sur son corps ou sur ses vêtements les indices de son séjour ou de son geste. »* (Locard p.139, 1920)

Ce postulat est souvent réduit à « Tout contact laisse une trace », excluant un apport important abordé dans le postulat étant le caractère criminologique de la trace où la trace est représentatrice de l'intensité et de l'action criminelle. Ce concept réduit est de nos jours à la base de la majorité des laboratoires judiciaires (Roux et al, 2012). Pourtant, l'étude de la trace pourrait éventuellement servir à développer des connaissances plus approfondies sur différentes formes de criminalités et de développer des recommandations pour prévenir la criminalité (Ribaux et al p.303, 2008). Ainsi, l'étude de la trace peut contribuer à l'évolution du champ de la sécurité, de l'investigation et le renseignement, et plus particulièrement le renseignement forensique.

1.3 Le parfum : sa conception, les analyses chimiques et son application dans les sciences forensiques

1.3.1 Qu'est-ce qu'un parfum?

L'objet de cette recherche est le parfum contrefait. Cependant, afin de comprendre les choix de méthodes analytiques et les résultats, le contexte entourant le parfum et sa chimie doivent être pris en compte. Ainsi, il est pertinent de se questionner sur la composition chimique d'un parfum et sa formulation. À ce sujet, la littérature est unanime (van Asten, 2002; Sell p.187, 2019; Chisvert, 2018) : un parfum est une solution complexe contenant différentes concentrations de fragrances ou de molécules. Les parfums possèdent en général plus d'une centaine de composés. La fragrance peut être considérée comme un extrait, d'une fleur

ou d'un fruit par exemple, représentant une dizaine de molécules permettant d'obtenir une odeur unique (Sell p.188-189, 2019).

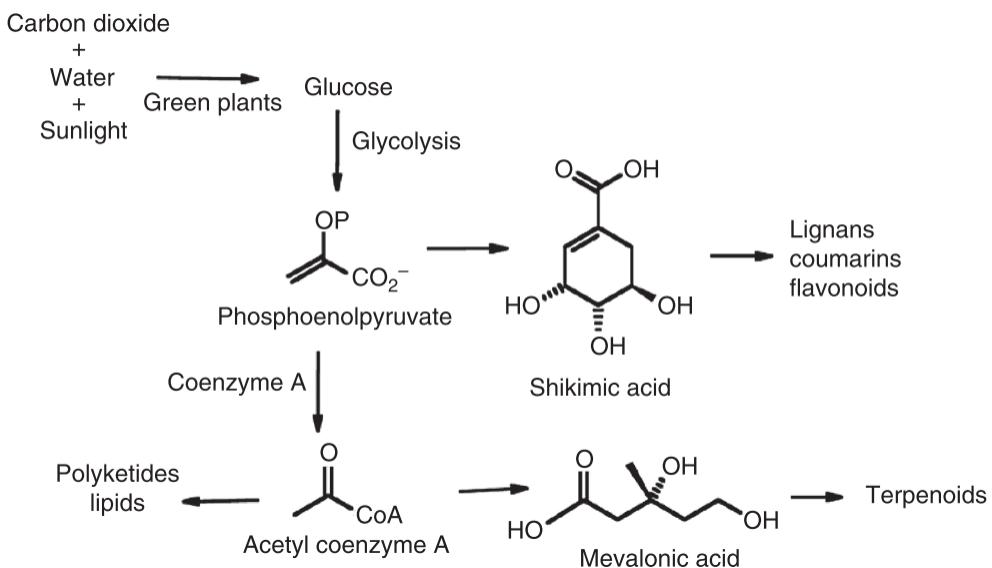


Figure 1.3 : Voies de synthèse générales pour les différents métabolites secondaires d'intérêt pour le milieu de la parfumerie (Sell p.261, 2019).

Les fragrances sont produites naturellement par les plantes. Les composés odorants sont produits pour différentes raisons dans le règne végétal, mais ce sont des métabolites secondaires généralement conçus pour des raisons de survie, soit pour la sécurité (poison) ou pour assurer leur reproduction en attirant des polliniseurs qui épandent leurs pollens (Sell p.257, 2019). Les métabolites d'intérêt pour le milieu de la parfumerie proviennent de trois voies de synthèses principales (voir Figure 1.3). Les grandes familles de composés, soit les lipides polycétides, les terpénoïdes et les composés à base d'acide shikimique. Ces métabolites secondaires auront des fonctions chimiques variantes selon leur environnement et leur génome. Les voies de synthèse font intervenir une quantité importante de réactions chimiques pour obtenir la molécule d'intérêt. Cependant, le mélange de chacun des intermédiaires avec le produit final permet de faire place à un premier ingrédient d'intérêt pour le milieu de la parfumerie, soit : la fragrance. Pour le milieu de la parfumerie, le défi réside ainsi dans l'extraction de ces fragrances. Différents moyens d'exactions sont exploités dans l'industrie (Chisverst, 2018), soit : l'hydrodistillation, l'extraction liquide, l'extraction par Soxhlet, l'extraction avec liquide supercritique, la macération (extraction physique) et l'expression (extraction physique). Le type d'extraction peut ainsi affecter la qualité de la fragrance.

obtenue puisque les composés obtenus sont potentiellement sujets à des réactions d'oxydations, souvent observées lorsque des températures élevées sont utilisées, dégradant ainsi les molécules odorantes et parfois laissant place à des molécules malodorantes (Chisvert, 2018; Sell p.188-189, 2019).

Jusqu'à présent, un total de 12 catégories de fragrances sont retrouvées sur le marché (Sell p.188-189, 2019). Ces catégories sont généralement classifiées en fonction de leur volatilité ou plus conventionnellement selon leur note. Il y a trois classifications de notes, soit : les notes de têtes, les notes de cœur et les notes de fin. Les notes de têtes représentent les fragrances ayant des volatilités élevées, s'évaporant en près de quelques minutes; les notes de coeurs sont les fragrances ayant des volatilités moyennes, s'évaporant sur une période de près de 6 à 8 heures et les notes de fin sont les fragrances ayant les volatilités les plus faibles, s'évaporant sur une durée de quelques jours (Sell p.188-189, 2019).

L'intégration de ces différentes fragrances, afin de produire un parfum, est généralement développée de telle sorte à respecter un certain ratio entre les différentes notes (Sell p.189, 2019). Les notes de têtes représentent entre 15-25% de la totalité des fragrances, les notes de cœur 30-40% et les notes de fin 45-55%.

Cependant, les fragrances sont, de nos jours, moins utilisées dans la fabrication d'un parfum. Les fragrances naturelles sont couramment sujettes à des controverses puisqu'elles provoquent, dans une majorité du temps, des réactions allergiques chez le consommateur. « De plus, l'utilisation de certaines fragrances soulève des questions éthiques, puisque certaines fragrances végétales proviennent d'espèces en voie d'extinction et l'extraction de fragrances animales faisant état d'un certain niveau de violence (Chisvert, 2018; Sell p.283, 2019). Dans les années 1900, avec l'introduction de la chimie moderne et des aspects éthiques soulevés dans l'extraction des fragrances animales, essentiellement le musc, l'industrie de la synthèse de molécules odorantes a rapidement évolué (Chisvert, 2018; Sell p.283, 2019). Les molécules désirées, normalement d'origine naturelle, ont suscité rapidement l'intérêt du milieu de la chimie organique. Cependant, l'odeur provenant de fragrances naturelles vient du mélange de plusieurs molécules, ce qui est difficilement reproductible à l'époque. Ainsi, la conception de parfums a énormément changé avec l'insertion de molécules synthétiques, remplaçant des fragrances naturelles. La chimie organique moderne a également permis l'introduction de nouvelles molécules odorantes permettant de nouvelles formulations de parfums, telle que les molécules ayant des fonctions chimiques d'aldéhydes.

Tableau 1.1 : Classification des différents parfums retrouvées sur le marché en fonction de leur composition en fragrance (Chisvert, 2018)

TYPE DE PARFUMS	CONTENU EN FRAGRANCE (%)
EAU DE COLOGNE POUR BÉBÉ	1 à 2
COLOGNE	2 à 3
EAU DE COLOGNE	3 à 4
EAU FRAICHE	4 à 5
EAU DE TOILETTE	5 à 8
EAU DE PARFUM	8 à 12
PARFUM	12 à 18

Le type de fragrance utilisée, afin d'obtenir un mélange d'odeurs désirées, est une part importante dans la conception du parfum. Cependant, la concentration de celles-ci joue un rôle autant important. La concentration influence la persistance de la fragrance ainsi que la force de l'odeur perçue par le système olfactif de l'être humain (Chisvert, 2018; Sell p.193, 2019). L'industrie de la parfumerie a ainsi produit des classes de parfums à travers lesquelles la qualité de ceux-ci est perçue (voir Tableau 1.1). Ces catégories représentent les différentes concentrations de fragrances retrouvées dans les produits commercialement accessibles. Elles sont également relatives à la qualité du parfum.

Étonnamment, malgré l'aspect chimique indéniable que représente la conception d'un parfum, celle-ci est considérée comme une forme d'art (Sell p.187, 2019). La conception d'un parfum est souvent comparée à la création d'une symphonie, d'où le terme de notes utilisées dans la catégorisation de la volatilité des fragrances (Sell p.188, 2019). L'agencement des fragrances et des molécules doit créer une harmonie afin d'obtenir une bonne odeur qui se distinguerait des odeurs quotidiennes. Le parfumeur, celui dont la tâche est de concevoir le parfum à travers l'ajustement de concentration des différentes fragrances, doit réussir à mélanger une solution harmonieuse permettant de plaire au consommateur. Cependant, le métier de parfumeur a beaucoup évolué à travers le temps. Ainsi, le parfumeur moderne ne s'intéresse plus seulement au type de fragrance et aux concentrations, mais également à de multiples considérations. Ainsi, dans la conception d'un nouveau parfum, le parfumeur moderne doit considérer les potentiels effets

allergènes, l'environnement, des propriétés antimicrobiennes et les propriétés physicochimiques propres aux parfums qui sont de plus en plus considérés, soit : la persistance/ténacité, la limite de détection, l'impact, la radiance (ou « bloom »), l'intensité et le caractère. Ces paramètres de performances permettent ainsi d'évaluer la qualité d'un nouveau parfum (Sell p.191-195, 2019). La combinaison de ces facteurs avec les analyses chimiques est un domaine à part entière, soit le relations structure-activité (*structure-activity relationships* ou SARs). C'est ainsi que les propriétés physico-chimiques permettent de prédire ou d'établir les propriétés odorantes des molécules utilisées.

INCI name [CAS number]	Structure	INCI name [CAS number]	Structure
Amyl cinnamal [122-40-7]		Eugenol [97-53-0]	
Amylcinnamyl alcohol [101-85-9]		Farnesol [106-28-5]	
Anise alcohol [105-13-5]		Geraniol [106-24-1]	
Benzyl alcohol [100-51-6]		Hexyl cinnamal [101-86-0]	
Benzyl benzoate [120-51-4]		Hydroxycitronellal [107-75-5]	
Benzyl cinnamate [103-41-3]		Hydroxyisohexyl 3-cyclohexene carboxaldehyde [31906-04-4]	
Benzyl salicylate [118-58-1]		Isoeugenol [97-54-1]	
Butylphenyl methylpropional [80-54-6]		Alpha-isomethyl ionone [127-51-5]	
Cinnamal [104-55-2]		Limonene [5989-27-5]	
Cinnamyl alcohol [104-54-1]		Linalool [78-70-6]	
Citral [5392-40-5]		Methyl 2-octynoate [111-12-6]	
Citronellol [106-22-9]		Evernia prunastri extract [90028-68-5]	(Oakmoss extract)
Coumarin [91-64-5]		Evernia furfuracea extract [90028-67-4]	(Treemoss extract)

Figure 1.4 : Liste de molécules odorante ayant un fort potentiel allergène (Chisvert, 2007).

Cependant, considérant l'ensemble des caractéristiques des parfums, ce qui est le plus préoccupant pour les autorités et pour l'industrie de la parfumerie est les composés allergènes (voir Figure 1.4). Leurs détections et leurs quantifications sont sujet de nombreuses études (Aghoutane et al, 2023; Kumar et al, 2021; Tobolnika et al, 2017; Rey et al, 2015; Desmedt et al, 2014; López-Nogueroles et al, 2013;

Debonneville et al, 2004). Déterminés par l’Union Européenne dans la directive 2003/15/EC, 26 composés sont établis comme étant des allergènes potentiels (Chisvert, 2018; European Parliament and of the Council, 2003; European Parliament and of the Council, 2009). La directive établit que ces composés ne devraient pas se retrouver sur la peau dans des concentrations supérieures à 0,01% après lavage (Chisvert, 2018). Ces allergènes peuvent provoquer plusieurs effets négatifs lorsqu’en contact avec la peau (Chisvert, 2018; Sell p.322, 2019), tels que de la sensibilité cutanée, des éruptions cutanées, des migraines, etc. En plus de ces 26 composés, la liste contient plus de 1000 molécules étant bannies de la production de cosmétiques par l’Union Européenne puisqu’ils sont réputés pour être allergènes ou pour être des composés carcinogènes, dont plus de 50 de ces composés sont interdits d’utilisation dans la confection des parfums (Chisvert, 2018; European Parliament and of the Council Annexe II, III, 2009). Cependant, en général, l’industrie de la parfumerie n’est pas intéressée à devoir avertir le consommateur de la présence de composés potentiellement allergène. Il est alors courant dans l’industrie d’éviter l’utilisation de ces différentes molécules dans la formulation des parfums. Cependant, dans l’industrie de la contrefaçon, par l’absence de ces régulations, il est attendu d’en retrouver tel qu’observé dans l’étude de Tobolnika (2017) où la comparaison entre des parfums authentiques et contrefaçons ont mis en évidence ces composés.

Somme toute, il est possible d’apercevoir que la conception d’un parfum n’est pas une simple tâche. Le parfumeur doit tenir compte des propriétés physico-chimiques, de la toxicité des molécules et de déterminer l’agencement des fragrances afin d’obtenir un produit désirable chez les consommateurs. Dans ce processus, le rôle de la chimie analytique est principalement dans le contrôle qualité par des méthodes de « fingerprinting » développées par Chien (1985).

1.3.2 La chimie analytique pour la caractérisation des parfums

L’étude des parfums en chimie analytique est un domaine très vaste. La complexité de la composition chimique des parfums a fait en sorte que plusieurs chercheurs et entreprises se sont questionnés sur les capacités en chimie pour caractériser, pour quantifier et pour reproduire ces parfums. Dans cette section, les différentes méthodes d’extractions, de séparations et d’analyses observées dans la littérature sont énoncées, mais la théorie derrière la méthode choisie sera décrite dans le prochain chapitre.

1.3.2.1 Préparation des échantillons préalables aux analyses de parfums

Outre les méthodes d’analyses et de séparation, l’étape de l’échantillonnage est largement discutée dans la littérature. Plus conventionnellement, l’analyse directe de parfums n’est pas recommandée due à la

présence d'eau, ce qui peut endommager le chromatographe en phase gazeuse, et les concentrations trop élevées de certains analytes peuvent saturer les détecteurs. Ainsi, Rastiogi (Rastiogi, 1995) suggère la dilution de parfums dans son étude et permet d'obtenir une méthode analytique avec des coefficients de variations acceptables. Également, puisque les parfums sont composés majoritairement de molécules volatiles, plusieurs études utilisent la méthode d'espace de tête (*head-space*, HS). Cela permet de diminuer la complexité de l'analyse en injectant seulement les composés volatils et diminue ainsi les effets de matrices qui pourraient être observés. En combinaison avec la méthode HS, l'utilisation de support adsorbant comme le Tenax, la bandelette de charbon activé ou des fibres de micro-extraction en phase solide (SPME) sont également des moyens utilisés dans l'analyse des parfums (Biniecka, 2011; Chisvert, 2007). Ces méthodes d'extraction utilisent la polarité des différentes molécules pour les capturer en surface sur le support absorbant. La thermodésorption permet de désorber les analytes qui retournent alors en phase gazeuse. Par la suite, les vapeurs formées sont injectées dans un chromatographe à phase gazeuse pour analyse.

1.3.2.2 Les méthodes de séparations et d'analyses

Conventionnellement, la caractérisation des parfums se fait par chromatographie gazeuse (GC). L'aspect volatile des molécules ou du moins de la majorité de la composition du parfum fait en sorte que cette méthode est adéquate pour la séparation des molécules en combinaison avec différents détecteurs (Chisvert, 2007). Ceux-ci sont principalement par ionisation à la flamme (FID) ou par spectrométrie de masse (MS) (Chisvert, 2007). Le détecteur en spectrométrie de masse est celui le plus utilisé, notamment pour sa capacité d'utiliser différents modes d'analyse, par exemple en précisant un ion désiré (mode *Single Ion Monitoring* ou SIM) pour améliorer les limites de détections de molécules précises (Begnaud, 2016). Les colonnes utilisées sont généralement des colonnes capillaires avec une phase stationnaire en PDMS, polydiméthylesiloxane étant une surface apolaire, permettant une séparation selon la volatilité des composés, ou en PEG, polyéthylène glycol étant une surface moyennement polaire, permettant une séparation selon la polarité des composés (Begnaud, 2016).

Cependant, avec les avancées technologiques, d'autres méthodes de séparation sont maintenant privilégiées. C'est le cas des méthodes en GCxGC, ou chromatographies gazeuses en deux dimensions, où l'échantillon passe dans une première colonne et ensuite se rend à une deuxième colonne pour finalement être détecté (Biniecka, 2011; Wolstenholme et al, 2019). Cela permet une meilleure séparation des composés. Dans le cas des parfums, ou même des fragrances, cela permet d'éviter la coélution des

différents composés, phénomène qui est souvent rencontré lors des analyses en GC-MS dans les analyses des parfums (Begnaud, 2016; Wolstenholme et al, 2019).

Bien que la spectrométrie de masse soit privilégiée, plusieurs détecteurs de cette catégorie sont disponibles. Celui conventionnellement utilisé est le quadripôle permettant une détection adéquate des composés, mais avec un manque de précision sur les masses détectées (Biniecka, 2011). Ainsi, il est suggéré d'utiliser des détecteurs à temps de vol (*Time-of-Flight*, TOF) permettant d'établir des patrons de fragmentations précis et permettant l'identification d'isomères (Biniecka, 2011).

Très peu d'études s'intéressent au potentiel d'autres méthodes analytiques. Essentiellement, la méthode par chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse est la seule autre méthode suggérée. En effet, cette méthode permet l'analyse de molécules peu et non volatile dans la composition des parfums (Kempíńska-Kupczyk, 2019). Elle permet également d'étudier les fragrances se dégradant dans les hautes températures utilisées dans les analyses. L'étude de Kempíńska-Kupczyk (2019) illustre les résultats pouvant être obtenus. En combinaison avec des méthodes d'extraction, tel que sur phase solide (SPE), cette méthode pourrait avoir un fort potentiel.

Différentes méthodes d'analyses sont également proposées dans la littérature afin de corroborer les analyses chimiques plus traditionnelles (Biniecka, 2011). L'une d'entre elles étant l'analyse de ratio isotopique par spectrométrie de masse (IRMS) (Bicchi, 2006; Biniecka, 2011). Cette méthode est couramment utilisée afin de caractériser les fragrances et de déterminer, à partir d'un ratio entre la concentration en carbone 12 et la concentration en carbone 13 de la molécule d'intérêt. Cela permet d'étudier la provenance des fragrances en considérant la prémissse que la biosynthèse de ces métabolites secondaires se fait à partir de nutriments dans un certain sol et que celui-ci est composée de molécules ayant une quantité fixe de carbone 12 et 13 dans leurs compositions chimiques. Il y a également des appareils, tel que le « e-nose » ou le nez électronique, employant des méthodes par statistiques multivariées pour évaluer la composition des parfums (Biniecka, 2011).

1.3.3 Le parfum en science forensique

Le milieu de la parfumerie est de plus en plus prisé par les consommateurs (Sell p.355, 2019). Cela fait en sorte que le parfum et l'utilisation d'odeurs sont omniprésents dans nos vies (Chisvert, 2018). Ainsi, cela permet de s'y intéresser dans le milieu judiciaire afin d'améliorer les performances d'individualisation et

corroborer les observations réalisées à travers l'étude d'autres traces. C'est le cas de l'étude de Simona Gherghel qui a réalisé une thèse doctorale sur le sujet (Gherghel, 2016; Gherghel, 2018; Gherghel, 2019; Gherghel, 2020). L'étude est réalisée sur l'évaluation de la persistance de la trace de parfum et les dynamiques de transfert entre différents textiles. Cependant, bien que ce soit la seule étude de ce type, les conclusions de cette étude restent limitées dues à la complexité de l'odeur humaine. L'étude des odeurs humaines est en soi un autre domaine d'étude tel qu'entrevu dans l'étude doctoral de Vincent Cuzuel (Cuzuel, 2017). À travers son étude, il étudie différentes possibilités d'extraction de l'odeur humaine dans le but d'entraîner plus efficacement les chiens pisteurs.

Plus spécifiquement au sujet d'étude, la littérature fait état de quelques études concernant la contrefaçon de parfums. Cependant, celles-ci sont fortement orientées vers la réponse judiciaire couramment attendue, soit : s'agit-il d'un vrai ou d'un faux? Ainsi, Tobolnika en 2013 introduit une première étude en utilisant un nez électronique pour détecter et classifier les parfums contrefaçons. Par la suite, Gomes introduit une première étude, en 2015, dans laquelle il utilise la spectrophotométrie UV conjointement à des méthodes de statistiques multivariées pour l'analyse des données. En 2016, il publie une deuxième étude en déterminant la présence de contrefaçon par l'analyse de la concentration d'ions et de la concentration en éthanol. Ces études sont réalisées dans le but de développer des méthodes relativement simples pour la détection de contrefaçon de parfums. Correa (2016) propose l'utilisation de la spectrométrie de masse ambiante où il y a peu de prétraitement sur les spécimens qui devraient être faits. Finalement, Teodoro, en 2017, publie son étude en utilisant la méthode de « paper spray mass spectrometry » pour le développement de méthode supervisée dans l'automatisation de la détection de contrefaçon de parfums. Les données sont traitées par PLS-DA et SIMCA, des méthodes d'analyse supervisée utilisées pour prédire des paramètres précisés dans l'entraînement des modèles, afin de générer des modèles performants. Encore plus récemment, Agouthane et al (2023) ont développé une méthode par GC-MS, en combinaison avec un nez électronique et des techniques de chimiométrie, statistiques multivariées, afin de distinguer le parfum contrefait d'un parfum authentique.

Ces études s'intéressent à des aspects précis du parfum, ne s'intéressant pas nécessairement aux éléments les plus discriminants. Par exemple, la méthode développée par Teodoro s'intéresse à certains allergènes. Ces composés peuvent potentiellement se retrouver dans les parfums authentiques avec des concentrations bien précises. Ainsi, il est pertinent de se questionner à savoir si le modèle statistique développée dans la méthode pourrait éventuellement identifier des parfums authentiques comme étant

des parfums contrefaçons. Mais encore, par exemple, l'étude d'Agouthane et al (2023) étudie un faible éventail de parfums contrefaçons. Qu'arriverait-il si le faussaire change son produit? Est-ce que le modèle développé serait encore valide? Et, encore une fois, cette étude développe ses connaissances en exploitant seulement les composés allergéniques. Il y a alors un réel manquement dans la littérature dans la compréhension de la lutte contre ce type de contrefaçon.

Également, étant donné la complexité de la chimie du parfum et de la présence de la contrefaçon de parfums, plusieurs entreprises proposent leurs services pour déterminer la présence de contrefaçon en étudiant leur composition chimique. Par exemple, Analytical SepSolve (2021) propose leurs services par des analyses en GCxGC-TOF-MS, ce qui permettrait de bien séparer chaque composé et de bien les identifier à partir de leur masse. La compagnie Waters (Cabovska, 2015; Cooper et al, 2017) propose des méthodes par chromatographie liquide pour l'étude des parfums contrefaçons. Cependant, tout comme la littérature, ces services ne tiennent pas en compte l'évolution de cette forme de criminalité à travers le temps. Ainsi, leurs modèles statistiques devront être ajustés chaque fois qu'il y aurait un changement dans la formulation des parfums contrefaçons.

1.4 Considération du cadre conceptuel dans le sujet d'étude

Considérant l'ensemble du cadre conceptuel, soit l'ampleur du phénomène de la contrefaçon, la complexité derrière la chimie du parfum, les concepts du renseignement et de la science forensique, l'étude de la présence de liens entre les parfums contrefaçons, à partir de profil chimique commun, est alors pertinente. L'établissement de ses liens s'effectue en répondant à cette question de recherche : existe-t-il des similarités entre la composition chimique des parfums contrefaçons? Cette question permettra de développer des connaissances sur la production des parfums contrefaçons. Les hypothèses de recherches et objectifs de l'étude peuvent ainsi être mis en place. Toutefois, étant donné l'ampleur du phénomène de la contrefaçon, il faut considérer que l'étude peut seulement aborder un minime aspect de celui-ci. De plus, un faible nombre de saisies accessibles permet d'évaluer le phénomène seulement dans la région du Québec. Les contrefaçons étudiées présenteront leurs caractéristiques qui leur sont propres, mais cela n'empêche pas que l'étude de parfums contrefaçons provenant d'autres endroits pourrait éventuellement montrer des résultats différents.

Ainsi, comme abordée dans les études antérieures en renseignement forensique (Esseiva, 2005; Dégardin, 2013; Baechler; 2015; Hochholdinger, 2019), la présence de la trace chimique permet d'établir la première hypothèse de l'étude, soit :

1. La trace chimique représente les méthodes entreprises par les faussaires pour la production des parfums contrefaçts.

Tableau 1.2 : Comparaison entre différents profils chimiques développés.

	STUPÉFIANT	MÉDICAMENTS CONTREFAITS	PARFUMS CONTREFAITS
MATRICE PRINCIPALE	Excipient («filler»)	Excipient	Solvants
PRODUCTION	Principe actif	Principe actif	Fragrances
PRÉPARATION AVANT LA VENTE	-	Capsules	Embouteillage

Pour le contexte de l'étude, la trace chimique est perçue comme un élément faisant partie du profilage chimique. Dans le cadre de l'étude de parfums contrefaçts, il est alors intéressant de faire des parallèles, en considérant la chimie des parfums énoncée plus tôt, avec profils chimiques établis dans les études antérieures (voir Tableau 1.2). Par exemple, dans le profilage chimique des médicaments contrefaçts, celui-ci se distingue en trois grandes catégories, soit : l'excipient, ou « filler », le principe actif et la capsule. L'excipient représente la matrice qui est ajoutée afin de protéger le principe actif lors de l'ingestion du médicament. Le principe actif est la molécule ayant l'effet thérapeutique attendu et la capsule est la barrière physique permettant de contenir le principe actif et l'excipient lors de l'ingestion. Les médicaments contrefaçts et les stupéfiants partagent plusieurs similarités au niveau de leur profilage, puisque ces objets sont similaires au niveau de leur production. C'est l'infraction criminelle derrière ces objets qui diffère. Pour les parfums contrefaçts, le contenu est un mélange complexe de plusieurs extraits ou de molécules dans un assemblage de solvant permettant de conserver une volatilité désirée pouvant atteindre des centaines de composés. Ainsi, son profilage chimique est différent de ce qui a été développé dans les études sur la contrefaçon de médicament et sur les stupéfiants. Considérant l'aspect financier derrière la vente de la contrefaçon, c'est-à-dire que le faussaire veut maximiser ses profits (Roudaut, 2011), il est attendu d'observer une quantité importante de solvants dans les parfums contrefaçts et des

fragrances, c'est-à-dire les molécules d'intérêts, en faible quantité pour imiter l'odeur du parfum original et pour maximiser les profits.

Ces hypothèses de recherche sont similaires à celles développées dans les études antérieures. Pour vérifier ces hypothèses, le projet doit, en premier lieu, aborder la chimie du parfum à travers le premier objectif, soit :

- Développer une méthode analytique pour évaluer la composition chimique des parfums étudiés.

Ce premier objectif, considérant l'appareillage disponible, est de développer une méthode d'analyse chimique pour évaluer la composition chimique des parfums contrefaçons. La méthode développée n'utilisera pas un appareillage complexe pour l'analyse, considérant les limites opérationnelles des laboratoires judiciaires, mais devra tout de même permettre de répondre aux prochains objectifs. La complexité de la chimie des parfums laisse présager que l'utilisation d'une méthode n'utilisant pas de séparation en deux dimensions (GCxGC) risque de provoquer de la coélution puisque les molécules ayant des volatilités similaires risquent fortement d'éluer simultanément. La pertinence de la méthode développée sera évaluée en fonction de la précision des mesures.

Par la suite, le deuxième objectif doit permettre une analyse des données obtenues par le premier objectif, plus précisément :

- Développer une méthode analytique pour la comparaison systématique des parfums de l'étude.

Cet objectif est nécessaire pour mieux observer les similitudes entre les parfums contrefaçons. Cette étape est réalisée avec des méthodes par statistiques multivariées, tel que réalisé dans l'étude de Dégardin (2013) ou de Hochholdinger (2019). Ces analyses devront être optimisées afin de démontrer la pertinence des modèles développés.

Le troisième objectif est d'établir les groupes de parfums partageant les mêmes molécules discriminantes pour chaque groupe de parfums qui seront observés. Plus précisément :

- Établit la nature des profils chimiques propres aux groupes de parfums et, simultanément, la construction d'une base de données pour la veille opérationnelle sur les profils chimiques des parfums contrefaçons.

Éventuellement, des similarités seront observées à travers l'établissement des différents profils. Ainsi, ces parfums, tels qu'abordés plus tôt, formeront des groupes ou clusters partageant ainsi un profil chimique similaire. Ce qui permet d'aborder la deuxième hypothèse de l'étude :

2. Les parfums ayant une composition chimique similaire proviennent d'une même unité de production.

Cette unité de production peut être un individu ou un groupe d'individus partageant une même recette. Ceci n'implique pas que ces individus se situent dans un même lieu physique. L'établissement des profils chimiques permet ainsi d'observer le regroupement de parfums contrefaçons, lorsque ceux-ci partagent un même profil chimique, et ainsi permet d'introduire le quatrième objectif :

- Évaluer la similarité entre les parfums contrefaçons en fonction de leur composition chimique.

Ainsi, l'étude des profils chimiques établis permettra d'inférer sur les liens existants entre les parfums contrefaçons, sur l'état des connaissances des faussaires pour la production de parfums contrefaçons et sur les moyens de production des faussaires.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE ET CADRE THÉORIQUE

Dans ce chapitre, les méthodes d'analyses choisies sont détaillées. La première section aborde l'échantillonnage des parfums et les observations relatives aux parfums à l'étude. Dans la deuxième section, la méthode analytique en chimie est détaillée et la théorie y est expliquée. Finalement, la dernière section de ce chapitre aborde l'analyse en statistiques multivariées utilisée, soit l'analyse en composantes principales. La théorie derrière cette analyse statistique y est expliquée sommairement.

2.1 L'échantillonnage

À travers cette section, la théorie derrière l'échantillonnage est abordée. Par la suite, les observations relatives aux parfums disponibles pour l'étude sont mentionnées pour définir l'échantillonnage de ces parfums. L'objectif n'est pas d'évaluer quelle méthode d'échantillonnage serait la plus adaptée pour la présente recherche, mais d'introduire le lecteur aux différentes méthodes d'échantillonnage utilisées dans le milieu judiciaire sur de grandes saisies.

2.1.1 Théorie

Le principe fondamental de l'échantillonnage est que la composition d'un échantillon est représentative de l'ensemble du prélèvement. Ici, il faut préciser que dans le cadre d'études en science forensique, il s'agit plus précisément de spécimen que d'échantillon, puisque l'objet d'étude n'a pas été choisi statistiquement et est produit dans des conditions non contrôlées (Margot, 2014). Ainsi, dans le cadre de saisies policières importantes, comme dans le cas des saisies de stupéfiants, le choix d'analyser une proportion de la saisie entière permettrait d'évaluer l'ensemble de la saisie. Ces considérations sont appliquées afin de diminuer le temps d'analyse et la diminution des coûts (UNODC, 2009).

Le choix d'une méthode d'échantillonnage est une question que l'analyste doit répondre avant d'entamer les analyses. Cependant, aucune méthode optimale n'existe (UNODC, 2009). En fait, afin de choisir la méthode optimale, celle-ci doit être relativement simple à être appliquée et doit minimiser les biais d'échantillonnage, c'est-à-dire que l'échantillonnage doit être le plus possible être représentative de la population. Deux principes doivent être respectés afin d'avoir une méthode d'échantillonnage acceptable (UNODC, 2009) :

- « Les propriétés des spécimens sont une réflexion des propriétés de la population où les spécimens ont été pris.
- Chaque spécimen de la population a une chance égale d'être échantillonné. »

Plusieurs méthodes ont été développées pour définir une méthode systématique d'échantillonnage. Les plus simples sont des traitements mathématiques sur la population ayant « N » individus. Voici une liste proposée par l'ONUDC où « n » est le nombre de spécimens échantillonné :

- $n = N$
- $n = xN$ (*x est une fraction*)
- $n = \sqrt{N}$
- $n = 20 + 0,1(N - 20)$
- n=1

Ces méthodes ont chacune leurs forces et faiblesses. En général, ces méthodes ont tendance à surestimer le nombre de spécimens devant être échantillonné, mais sont simples à être appliquées en pratique. La méthode la plus acceptée de celles-ci est la racine carrée, puisqu'elle permet d'avoir un nombre réaliste de spécimens lors de l'échantillonnage. Il est également possible d'attribuer une méthode si la population varie entre deux limites, par exemple :

« Si je dépasse X spécimens dans ma population, alors la méthode x est choisie. S'il y a moins que Y échantillons, la méthode y est choisie. Si la population est entre X et Y, alors la méthode z est choisie. »

Il existe également des méthodes plus rigoureuses, minimisant les risques de biais. Ces méthodes utilisent des concepts de probabilités pour établir le nombre de spécimens devant être analysé. Ces méthodes ne sont pas discutées dans ce mémoire. De plus, peu importe la méthode employée, l'analyste doit établir selon ses observations si l'échantillonnage est bien représentatif de la population qu'il étudie. En plus d'une représentativité statistique de la population d'étude, le choix de la méthode d'échantillonnage dépend de plusieurs facteurs externes tels que les coûts, la demande juridique, etc. Il revient à l'analyste de faire le choix le plus judicieux possible (UNODC, 2009).

2.1.2 Échantillonnage des parfums étudiés

Dans cette section, la population de l'étude de parfums contrefaits et authentiques est décrite ainsi que le choix d'échantillonnage. Afin de préciser le vocabulaire utilisé, lorsque le terme « marque » est utilisé, cela représente la compagnie derrière le parfum et lorsque le terme « modèle » est utilisé, cela représente le parfum de la compagnie. Par exemple, pour le parfum Coco Mademoiselle de Chanel, la marque est Chanel et le modèle est Coco Mademoiselle. Également, le terme « parfum » utilisé dans le texte n'est pas représentatif de la quantité de fragrances retrouvée dans les spécimens. Il est utilisé afin de simplifier le texte. Afin d'éviter tout conflit d'intérêts, les marques et les modèles des parfums à l'étude ont été anonymisés.

Tableau 2.1 : Classification des parfums disponibles pour l'étude.

Marques	Modèles	Spécimens	Parfums authentiques	Marques	Modèles	Spécimens	Parfums authentiques	Marques	Modèles	Spécimens	Parfums authentiques
M1	Pf1	P061- P066, P080	-	M7	Pf24	P001, P002, L001	-	M14	Pf46	L003	-
	Pf2	P067- P070	-		Pf25	P016-P024	-	M15	Pf47	P010	-
	Pf3	P071- P079	-		M8	Pf26	P027-P033	-	Pf48	P012	-
M2	Pf4	P003, P004, P005	-	M9	Pf27	-	R005	M16	Pf49	P015	-
	Pf5	P059, P060	-		Pf28	P112	R004	Pf50	P034	-	-
	Pf6	P081, P082	-		Pf29	P114	-	M17	Pf51	P025, P026	-
	Pf7	P130	-		Pf30.1	P119, P122- P125, L002	R001	M18	Pf52	P035	-
M3	Pf8	P095	R017	M10	Pf30.2	P115	R006	M19	Pf53	P039	-
	Pf9	P096, P097	-		Pf31	P116, P117, L004	R003	M20	Pf54	P040- P042	-
	Pf10	P098, P099	R012		Pf32	P118	R007		Pf55	P044	-
M4	Pf11	P100, P101	R018	M11	Pf33	P111, P113, P134- P151, L005	R002	M21	Pf56	P043	-
	Pf12	P102	R016		Pf34	P103	R010	M22	Pf57	P045	-
	Pf13	-	R019		Pf35	P104, P105, P108-P110	R008, R009		Pf58	P046	-
M5	Pf14	P013, P014	-	M12	Pf36	P106, P107	R011	M23	Pf59	P049	-
	Pf15	P127	-		Pf37	P006, P007	-	M24	Pf60	P050	-
	Pf16	P129	-		Pf38	P083, P084	R020	M25	Pf61	P051	-
	Pf17	P131, P132	-		Pf39	P085-P087	R022	M26	Pf62	P053	-
M6	Pf18	P036- P038	-	M13	Pf40	P133	R021	M27	Pf63	P120	-
	Pf19	P047, P048	-		Pf41	P054-P058	-	M28	Pf64	P121, P126	-
	Pf20	P052	-		Pf42	P091, P092	R014, R015	M29	Pf65	P128	-
M6	Pf21	P008, P009, P089, P090	-	M13	Pf43	P093	-				
	Pf22	P011	-		Pf44	P094	-				
	Pf23	P088	-		Pf45	-	R013				

Dans le tableau 2.1, la première colonne, soit la marque, représente la compagnie derrière le parfum. La deuxième colonne représente le modèle du parfum. Par exemple, pour la marque Chanel, différents modèles de parfums seraient Coco Mademoiselle, Chance, No 5, etc. La troisième colonne représente la distribution des parfums provenant des saisies policières à l'étude. La quatrième colonne représente les parfums authentiques, c'est-à-dire des parfums qui proviennent de source sûre, qui ont été analysés à travers l'étude. Ces quatre colonnes sont reproduites trois fois dans le tableau pour couvrir l'ensemble des parfums à l'étude.

Ainsi, 156 parfums contrefaits, soit P001 à P151 pour une première saisie et L001 à L005 pour la deuxième saisie, ont été étudiés pour ce projet de recherche. Le tableau 2.1 montre la dispersion des parfums provenant des deux saisies policières. La quantité de parfums par marques, et plus spécifiquement par modèle, n'est pas significative pour une majorité des parfums. C'est le cas des marques M13 à M29 où il y a très peu de spécimens par modèles.

Les parfums des marques M1 à M12 ont été les spécimens d'étude pour la suite du projet de recherche. Cependant, il est important de mentionner quels sont les parfums de ces marques qui ont fait l'objet des analyses et les impacts sur les analyses statistiques. Comme décrit dans la section précédente, plusieurs méthodes d'échantillonnages sont proposées. Considérant la distribution des parfums dans différents modèles de différentes marques, il est pertinent de regarder chacun de ces groupes de parfums et de considérer le choix du nombre de spécimens par modèle de parfums, représentant le plus classe la plus contraignante dans les parfums. À l'exception du modèle Pf33 de la marque M9, ayant à lui seul 21 spécimens, il y a au plus 8 parfums par modèle. Ainsi, l'ensemble de ces modèles de parfums sont analysés. Pour la marque M9, afin d'avoir une étendue significative pour l'étude, ils sont tous analysés.

Idéalement, pour l'ensemble des modèles de parfums, il aurait été souhaitable d'avoir un nombre élevé de spécimens, comme observé pour le modèle Pf33 de la marque M9, afin d'avoir un échantillonnage de spécimens représentant les mêmes caractéristiques comme attendu. Étant donné le faible nombre de spécimens par modèle, l'analyse statistique a été réalisée par marque au lieu d'être par modèle.

2.2 Méthode analytique en chimie

La méthode analytique utilisée dans ce mémoire est la chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse, plus précisément le quadripôle. À travers les prochaines sections, un survol des

principes théoriques importants derrière la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse sont décrits. Ensuite, les manipulations réalisées, afin d'obtenir les données chimiques, sont énumérées.

2.2.1 Théorie de la chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (quadripôle)

Les analyses par GC sont conventionnellement utilisées pour la caractérisation de parfums (Chisvert, 2018; Sell p.127, 2019). Les appareils et les méthodes se sont améliorés avec le temps, tel qu'abordé dans le chapitre précédent, mais encore de nos jours le GC est couramment utilisé notamment dû à ses nombreux avantages (McNair p.9, 2019), soit : son coût d'utilisation très faible, analyses rapides, précises et sensibles, méthode non destructive, petit volume d'échantillon requis pour les analyses et la simplicité d'utilisation. De plus, son couplage à un détecteur en spectrométrie de masse permet une analyse robuste ayant la capacité d'identifier avec confiance les molécules éluées à travers la méthode en GC.

2.2.1.1 La chromatographie en phase gazeuse

En chromatographie gazeuse, l'objet étudié doit être vaporisé avant l'injection. Pour y parvenir, la température d'injection est ajustée pour assurer la vaporisation des composés présents. Cette température est indépendante de la température utilisée lors de la séparation qui influence la rétention sur la phase stationnaire des composés. Ces deux températures doivent être contrôlées de telle sorte qu'il y ait peu de changement afin d'éviter d'influencer la volatilité des composés pendant les analyses.

En plus de la volatilité des analytes, une multitude de phénomènes physicochimiques ont lieu pendant la séparation chromatographique. La colonne, appelée phase stationnaire, permet la séparation des composés en les retenant par différentes forces selon la nature de la colonne, soit majoritairement des forces de Van der Waals et des interactions de polarité (Wolstenholme et al p. 303, 2019). L'épaisseur de la phase stationnaire ont également des effets importants sur la séparation. Généralement, une colonne ayant une composition chimique légèrement polaire est préférable dans l'analyse des parfums (Begnaud, 2016).

La phase mobile limite les interactions avec la phase stationnaire et fait avancer les composés vers le détecteur. La nature de la phase mobile a peu d'influence sur la séparation. Cependant, pour des raisons de sécurité et afin d'éviter des réactions d'interférences, l'hélium est souvent privilégié, particulièrement pour les analyses avec un spectromètre de masse afin de ne pas endommager la source prématûrement.

La résultante de ces analyses est le chromatogramme. Ce type de graphique représente l'élution d'un composé, perçu par un détecteur, à la suite de sa séparation de la matrice initiale. L'axe des ordonnées représente l'intensité du signal perçu, qui est directement proportionnelle à la concentration des composés (Wolstenholme et al p. 300-305, 2019), et l'axe des abscisses est le temps d'analyse requis pour que le composé soit détecté, mieux connu sous le terme « temps de rétention ».

2.2.1.2 Spectrométrie de masse : le quadripôle

L'étape ultime des composés, à la suite de leur élution, est l'arrivée au détecteur. Pour les méthodes chromatographiques, il y en a plusieurs commercialement disponibles, mais certains détecteurs sont plus souvent utilisés dans le milieu académique et le milieu professionnel. En effet, les détecteurs d'ionisation par flammes et ceux à capture d'électrons sont régulièrement utilisés. Cependant, le signal généré par ces détecteurs ne permet pas d'avoir d'information sur la nature des composés. Ce qui souligne la puissance des analyses avec un détecteur par spectrométrie de masse. La spectrométrie de masse est un détecteur permettant de déterminer la masse d'une molécule chargée soit positivement ou négativement. Le spectre obtenu à la fin de leur analyse est un graphique où l'axe des ordonnées est une intensité de signal, représentative de la quantité d'ions détectés, et l'axe des abscisses est la masse de l'ion divisé par sa charge, noté « m/z » dans la littérature où m est la masse et z la charge de l'ion. Ces mesures varient en précision selon le type d'appareil utilisé et permettent de déterminer la présence d'isotopes. Les spectromètres de masse peuvent être du type temps de vol, trappe ionique, Orbitrappe et le quadripôle. Chacun de ces spectromètres de masse a leur particularité et nécessite une réflexion lorsque l'appareil doit être choisi. Cependant, étant donné la nature opérationnelle de la recherche, cette section se concentrera sur le quadripôle avec un intérêt lorsqu'il est couplé à un chromatographe en phase gazeuse.

La première étape, à la suite de la séparation chromatographique, est l'ionisation des molécules. Différentes méthodes sont disponibles, mais deux méthodes d'ionisations sont privilégiées lors d'un couplage avec un chromatographe en phase gazeuse. En effet, les ionisations par impact électronique et d'ionisation chimique sont celles privilégiées (Wolstenholme et al, 2019; Engewald p.310, 2014). Le

principe d'ionisation chimique est similaire à celui de l'impact électronique, à l'exception qu'un gaz intermédiaire est ionisé au lieu d'ioniser la molécule d'intérêt directement. L'impact entre le gaz intermédiaire ionisé et la molécule d'intérêt permet d'extraire un électron de celle-ci. Ce type d'ionisation est dite plus douce, puisque la molécule se fragmentera avec une énergie plus faible. L'ionisation par impact électronique est celle régulièrement privilégiée dû à la quantité d'étude avec cette méthode d'ionisation, à sa robustesse et la reproductibilité des spectres de masse (Wolstenholme et al p.226-227, 2019).

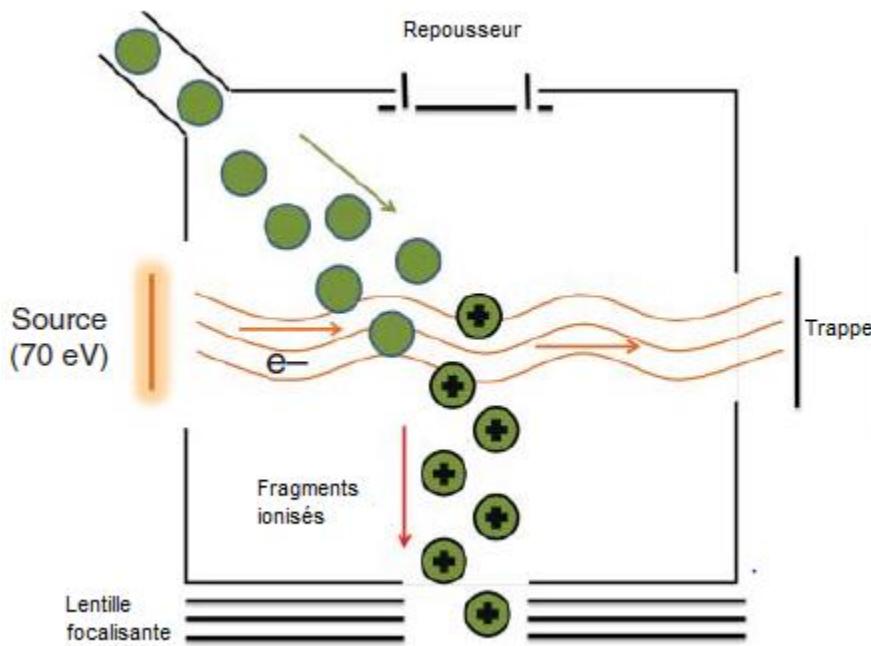
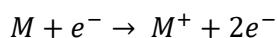


Figure 2.1: Représentation de l'ionisation par impact électronique (Wolstenholme et al p.227, 2019).

L'ionisation par impact électronique fait intervenir différents paramètres. En regardant de près la Figure 2.1, l'entrée des molécules, représentées par les cercles verts, se fait suite à la séparation chromatographique. Une différence de potentiel est appliquée sur un filament. Ce faisant, des électrons, e^- sur le schéma, sont extraits du filament et attiré vers une trappe à électrons. Ces électrons auront une énergie de 70 eV. Lorsque les électrons entrent en contact avec les molécules, M , la réaction suivante est attendue :



L'énergie des électrons est suffisamment élevée pour assurer un bon rendement de cette réaction (McNair p.172, 2019). Ce type d'ionisation est considérée comme une ionisation « dure », puisque l'énergie transférée permet de fragmenter la molécule en plusieurs fragments chargés positivement, et ce de façon reproductible (Wolstenholme et al p.227, 2019). Une fois les fragments obtenus, représentés par les cercles verts avec des +, ceux-ci sont orientés par le repousseur, qui est fortement chargé positivement, vers un système de lentille. La force de cette répulsion peut être contrôlée pour ne pas trop accélérer les ions dans l'analyseur. Les ions passent à travers le système de lentille assurant leur parcours vers l'analyseur. L'ionisation se fait sous vide et avec des températures élevées afin d'assurer que les molécules soient en phase gazeuse. Le vide, plus précisément une pression de l'ordre de 10^{-6} Pa, est atteint en utilisant deux systèmes de pompes, soit une première mécanique, permettant d'atteindre une pression de l'ordre de 10-1Pa, et une deuxième turbomoléculaire permettant d'atteindre la pression requise (Wolstenholme et al p. 223-224, 2019). Les faibles pressions permettent de favoriser la volatilité des composés pour qu'un maximum de composé soit ionisé.

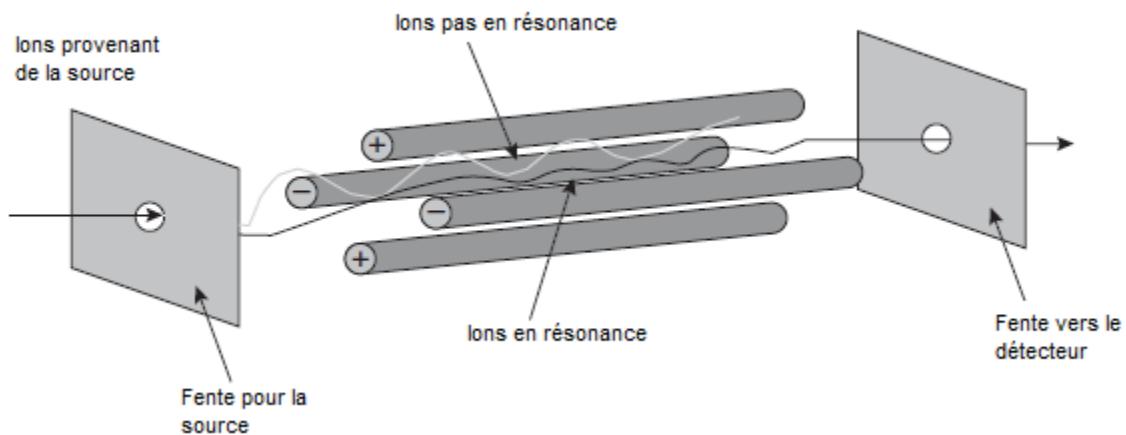


Figure 2.2 : Représentation d'un quadripôle (Wolstenholme et al p.237, 2019).

Une fois que les molécules sont ionisées, elles sont amenées vers l'analyseur. L'analyseur utilisé dans cette recherche est le quadripôle. Considérant l'aspect opérationnel de la recherche, ce type d'analyseur est idéal dû à sa robustesse dans les analyses et son faible coût (Wolstenholme et al p.236-237, 2019; Engewald p.322, 2014). Le fonctionnement de cet analyseur repose sur l'application de voltage entre deux pairs de tiges de métal. Une radiofréquence (RF) ainsi qu'un courant direct (DC) sont appliqués aux pairs de tiges métalliques (Stuart p.131, 2013). Ces paramètres auront les mêmes valeurs pour les deux pairs de

tiges métalliques, mais auront des polarités inverses. Ces paramètres formeront un champ électrique à 180° des tiges métalliques. Ces champs magnétiques sont représentés par des fonctions sinusoïdales. Les maximums des champs électriques, lorsqu'ils sont en phase pour les deux pairs de tiges métalliques, permettront de conserver des ions de ratio m/z précis (McNair p.163, 2014). Les autres ions, n'étant pas en phase avec les maximums des champs électriques, seront éjectés de la trajectoire. À travers l'analyse, différents ratios RF sur DC sont appliqués, faisant varier les champs électriques et permet ainsi de capter plusieurs ions de différents m/z . Différents modes d'analyse peuvent être utilisés, soit le mode « total ion chromatogramme » (TIC) ou le mode « single ion monitoring » (SIM). Ces modes représentent le choix d'analyser une étendue de masses choisie préalablement, mode TIC, et le choix d'analyser un seul ion au choix, mode SIM.

Une fois les ions d'intérêts sélectionnés par l'analyseur, ceux-ci atteignent un détecteur d'ions. Ce dernier, lorsqu'il est percuté par les fragments, éjectera des électrons provenant de l'impact de ceux-ci. Les électrons suivront une cascade permettant de les amplifier. Finalement, les électrons seront captés et transformés en signal électrique afin de pouvoir les analyser sur ordinateur.

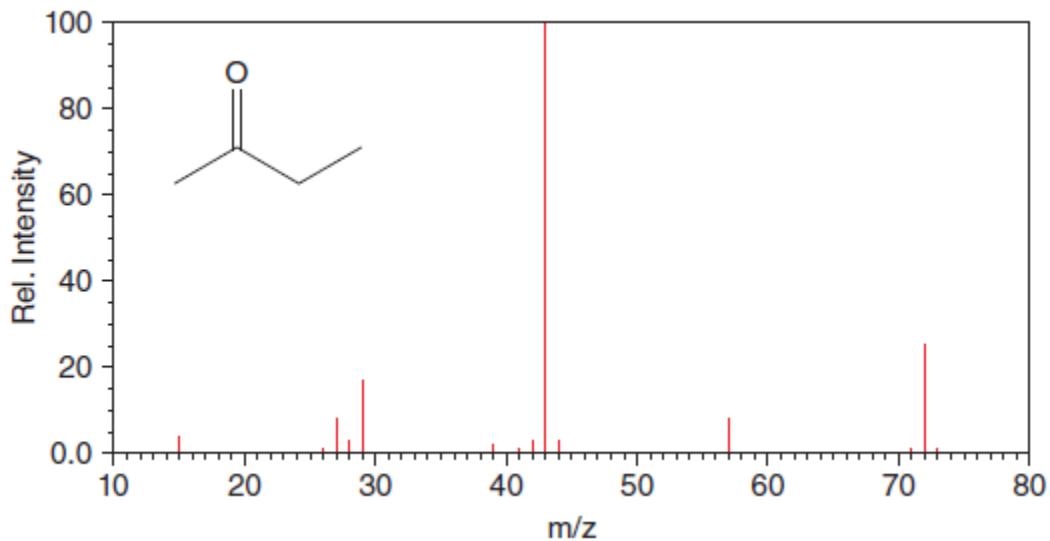


Figure 2.3: Exemple de spectre de masse pour le butanone. Le ratio m/z de 72 correspond à la molécule initiale et la bande au m/z de 43 représente le fragment le plus stable, soit CO^+CH_3 . (Wolstenholme et al p. 228, 2019).

Ultimement, le spectre de masse obtenu permet d'étudier l'ensemble des fragments obtenus à la suite de son ionisation. Un exemple est montré à la Figure 2.3 pour le butanone. Ce type de graphique permet ainsi d'observer une intensité de signal en fonction des m/z analysés. Les bandes obtenues représentent les fragments obtenus à la suite de la dégradation de la molécule par l'énergie de l'ionisation. Ces fragmentations sont spécifiques pour chaque molécule, souvent référencé tel qu'une « empreinte digitale » de la molécule d'intérêt. Des bandes supplémentaires de faibles intensités sont également visibles, ceux-ci représentant les isotopes naturels de la molécule. Cependant, ce concept ne sera pas élaboré dans ce mémoire.

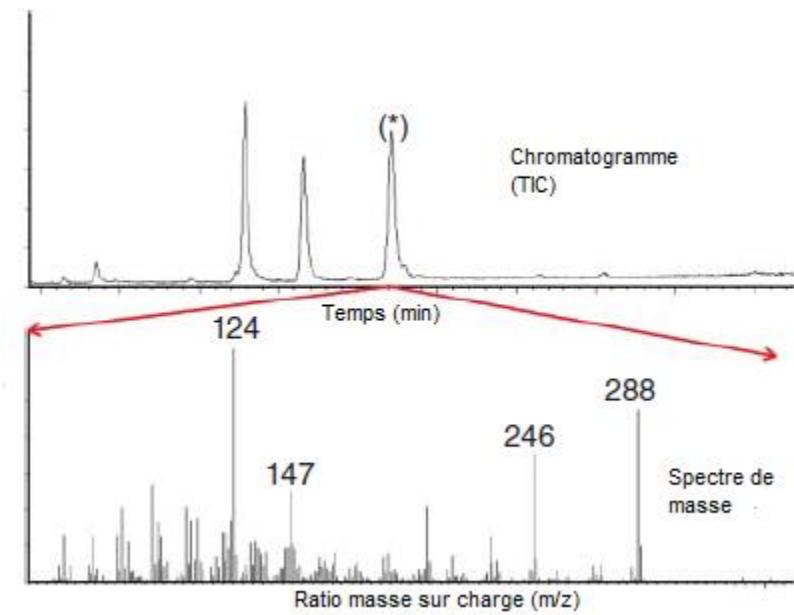


Figure 2.4: Représentation visuelle du spectre de masse correspondant à une molécule ayant élué à un certain temps de rétention (Wolstenholme et al p. 245, 2019).

Une fois les ions convertis en signal électrique, celui-ci est perçu par un logiciel de traitement de données permettant de visualiser les chromatogrammes et les spectres de masses des différents composés ayant élué dans la méthode de séparation chromatographique. Pour une chromatographie gazeuse avec une méthode d'ionisation par impact électronique, des bases de données sont disponibles pour identifier les molécules, permettant une première identification de celles-ci. Cependant, il est favorable d'injecter un standard de la molécule pour confirmer avec certitude la présence d'une molécule avec la méthode analytique utilisée.

Une dernière considération doit être mise en contexte. Prenons l'exemple suivant : une fois que deux analyses chromatographiques sont terminées, supposons qu'une molécule est identifiée, à l'aide de son spectre de masse et des librairies spectrales disponibles, dans chacune de ces analyses. Dans un premier temps, cette molécule, se retrouvant dans les deux analyses, a un même temps de rétention, mais pas un même spectre de masse. Dans ce cas, il n'y a pas d'ambiguïté, ce ne sont pas les mêmes molécules. Dans un deuxième temps, les molécules ont des temps de rétention légèrement différents avec un spectre de masse identique. Ici, une limite doit être émise par l'analyste afin de catégoriser ces molécules comme étant identique ou pas (Sauzier, 2021). Dans un troisième temps, si la molécule a un temps de rétention

différent, mais un même spectre de masse dans les deux analyses, ces molécules sont considérées comme différentes.

2.2.2 Méthode analytique utilisée

Étant donné les limites opérationnelles du laboratoire, l'injection ne peut pas être faite avec une méthode d'espace de tête, dans laquelle l'injection aurait été l'analyse de la fraction volatile. Ainsi, il n'aurait pas été nécessaire de prélever les parfums, puisque la vaporisation aurait pu être faite directement dans les vials prévus pour les méthodes d'espace de tête. Ainsi, en se basant sur l'étude de Rastiogi (1995), les parfums ont été dilués avant l'injection, envisageant une précision acceptable lors des analyses chimiques. Le solvant de dilution choisi a été déterminé expérimentalement (voir section des résultats).

Afin de prélever les spécimens, la méthode utilisée consiste à vaporiser le parfum dans une éprouvette pour ensuite prélever le liquide, le plus rapidement possible afin d'éviter la perte de fraction volatile, et le conserver dans un vial ambré avant les analyses. Les vials sont conservés dans un réfrigérateur, ayant une température de 3°C à 4°C, pour la suite des manipulations.

Pour les manipulations, les solvants utilisés sont le dichlorométhane (anhydre, ≥99,8% pur, Sigma-Aldrich #270997), l'acétonitrile (grade HPLC, ≥99,9% pur, Sigma-Aldrich #34851), l'hexane (anhydre, ≥95% pur, Sigma-Aldrich #296090), le tétrachloroéthylène (anhydre, ≥99% pur, Sigma-Aldrich #371696) et l'isooctane (grade GC-ECD, Supelco #1.15440). Les standards internes testés sont le toluène-d8 (Sigma-Aldrich #151998) et le naphthalène-d8 (99% pur, Sigma-Aldrich #176044). Le sulfate de magnésium (anhydre, Fischer Chemical #M65500) est utilisé dans la préparation des échantillons et des blancs pour les analyses en GC-MS.

Ensuite, une solution de standard interne, contenant 1000 ppm toluène-d8, est préparée. La dilution des parfums a ensuite été préparée. Ainsi, une solution comportant 1350 µL de dichlorométhane, 75 µL du parfum et 75 µL de la solution de standard interne est préparée pour chaque parfum à l'étude. La solution résultante dilue le parfum d'un facteur de 20 fois et contient le standard interne avec une concentration de 50 ppm. Ainsi, il n'y a pas de risque de saturer le détecteur et la présence du standard interne permettent de corriger les fluctuations de signal par la normalisation des aires lors du traitement de données.

Une fois les solutions préparées, celles-ci ont toutes été traitées au sulfate de magnésium, permettant d'extraire l'eau qui pourrait être potentiellement présente dans les parfums contrefaits. Une fois l'ajout de sulfate de magnésium effectué, les solutions sont mises aux vortex pendant 30 secondes. Ensuite, elles sont centrifugées à environ 3000 rpm, afin de faire sédimenter le sulfate de magnésium. Le surnageant est alors extrait de la solution résultante et conservé dans un vial ambré de GC-MS, prêt pour l'injection. Il est important de préciser que ces solutions sont préparées le jour même de leur injection.

Afin d'assurer le bon fonctionnement de l'appareil, principalement le spectromètre de masse, celui-ci est réglé, le terme courant est « tune », avec une molécule précise. Dans le cas présent, la molécule PFTBA est injectée directement dans le spectromètre de masse. Ainsi, puisque ses fragments sont connus, l'analyse des ratios m/z est réglée en fonction. L'énergie d'ionisation, le voltage du repousseur, la quantité d'azote, d'eau et d'oxygène, la pression du vide utilisée, l'étendue à mi-hauteur des pics ainsi que l'amplification des électrons sont des paramètres devant respecter les critères ISO du laboratoire. L'ensemble de cette évaluation préliminaire aux injections est conservé afin d'assurer la traçabilité du fonctionnement de l'appareil.

Les solutions sont alors injectées. L'analyse chimique des solutions de parfums dilués a été réalisée avec un chromatographe en phase gazeuse (Agilent, modèle 7890B) muni d'un injecteur automatique (Agilent, modèle 7693) utilisant une colonne DB-5MS (Agilent, dimension : 30m x 0,25mm x 0,25 μ m) et de l'hélium comme gaz vecteur (débit : 1,0mL/min). La température initiale est 40°C, conservée pour quatre minutes, et est élevée à 260°C, avec un gradient de 5°C/min. La température est maintenue à 260°C pendant une minute et est finalement élevée à 280°C, avec un gradient de 5°C/min. L'injection est réalisée en mode split avec un ratio de 20 :1 à 280°C. L'analyseur est un spectromètre de masse, de type quadripôle (Agilent, modèle 5977B), avec un domaine de masse de 25 à 400 m/z , une température à la source d'ionisation de 230°C et une température de transfert à 280°C. Cette méthode a été validée au laboratoire pour les analyses de composés volatils rencontrés lors des expertises en incendie, respectant les normes ISO 17025. À la suite des résultats obtenus dans le cadre des résultats préliminaires, la méthode a été considérée adéquate considérant les méthodes utilisées dans la littérature (Gherghel, 2018; Rastiogi, 1995) et les résultats préliminaires. Il faut toutefois considérer qu'il est possible que certaines molécules, provenant des parfums, puissent être dégradées à la suite de l'injection puisqu'elles ne sont pas thermiquement stables. Cependant, cet aspect ne devrait pas avoir d'impact dans les analyses subséquentes.

Pour l'injection, la séquence typique utilisée est mentionnée dans le tableau 2.2 :

Tableau 2.2: Séquence typique lors des injections.

Numéro d'injection	Vial
1	Éther d'éthyle
2	Standard ASTM
3	Blanc DCM
4	Éther d'éthyle
5	Pxyz
.	.
.	.
.	.
n	Éther d'éthyle
n+1	Blanc DCM
n+2	Standard ASTM
n+3	Éther d'éthyle

Les injections d'éther d'éthyle sont utilisées pour nettoyer la colonne avant et après l'injection. Ces injections permettent également d'évaluer s'il y a présence de « carry-over », où des composés provenant des injections précédentes sont conservés dans les injections subséquentes. Ensuite, l'injection du standard ASTM, un standard produit par le « *American Society for Testing and Materials* » et est utilisé dans les injections de routines. Ce standard est injecté en début et en fin d'analyse. Cela permet d'identifier les anomalies pouvant avoir lieu lors de l'analyse de la séquence, par exemple des composés non détectés ou une fluctuation anormale du signal. Dans le cas de problème d'injection, la séquence est réinjectée afin d'assurer que les données soient les plus exactes possibles.

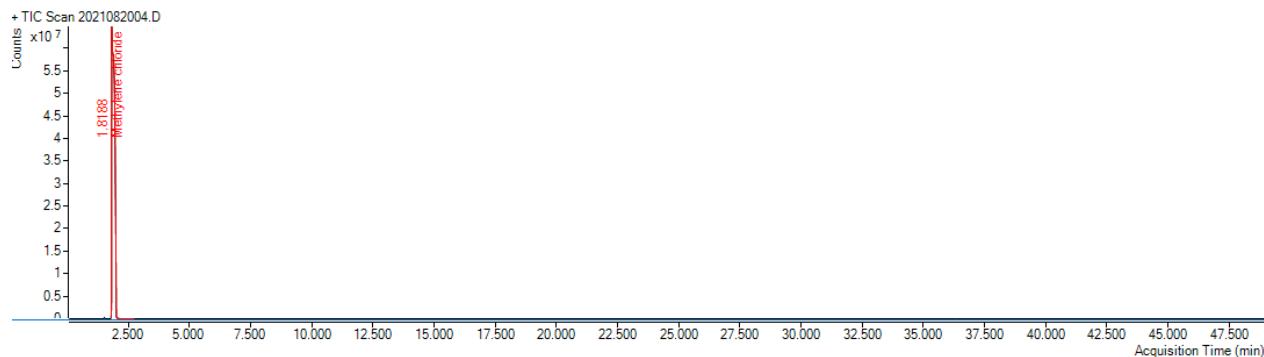


Figure 2.5: Chromatogramme du dichlorométhane (blanc) ayant un temps de rétention de 1,819 minutes.

Un blanc est également injecté en début et en fin de séquence. Ce blanc est produit avec le solvant utilisé, soit le dichlorométhane, avec les mêmes manipulations que les solutions de parfums préparées pour l'injection, soit le traitement au sulfate de magnésium, le vortex pendant 30 secondes, centrifugé à 3000 rpm et le surnageant extrait. Les molécules de cette injection ne sont pas considérées lors des analyses statistiques. Un exemple de chromatogramme est montré à la Figure 2.5, indiquant que le solvant est de bonne qualité avec peu d'impuretés. Finalement, les solutions de parfums sont injectées en milieu de séquence. Dans le cadre des manipulations, la séquence d'injection ne dépasse pas 30 solutions de parfums. Cette limite est un bon compromis afin d'avoir une bonne efficacité lors de la préparation des solutions en début de journée et une injection n'ayant pas de « carry-over ».

Une fois l'analyse chimique terminée, les données sont traitées avec le logiciel Masshunter Unknown Analysis v10.2 avec la librairie NIST 20 afin d'identifier les différents composés. L'identification des composés a été réalisée en mode TIC en considérant une intensité minimale de 10^4 . Cette limite a été déterminée à partir de la ligne de base des analyses des chromatogrammes. Les temps de rétention, les aires des pics ainsi que la nature des composés, celle-ci étant confirmée manuellement à partir des spectres de masse, sont conservés dans une base de données. Ces données seront utilisées pour les analyses par statistiques multivariées.

2.3 Analyse par statistiques multivariées

Dans le cadre de cette étude, la discrimination de parfums dans différents groupes partageant des similarités au niveau de leurs compositions chimiques se fait à partir de la chimiométrie, un domaine de l'analyse par statistiques multivariées consacré à l'étude de la variance dans un jeu de données obtenu

par des analyses en chimie. Plus précisément, la méthode de l'analyse en composantes principales (PCA) est celle utilisée dans cette recherche. Cette section est divisée en deux sous-sections, soit la théorie de ce type d'analyse et, ensuite, les manipulations réalisées pour développer les résultats.

2.3.1 Théorie de l'analyse en composantes principales

Cette section ne prétend pas expliquer les mathématiques derrière le développement des algorithmes et des analyses lors de l'application de l'analyse en composantes principales. À travers cette section, le lecteur est introduit aux concepts généraux de l'analyse en composantes principales.

L'analyse en composantes principales est la méthode non supervisée la plus utilisée pour explorer un jeu de données (Varmuza p. 73, 2009; Sauzier, 2021; Miller et al p.224-227, 2010; Lee, 2021). La méthode consiste à l'utilisation de trois différentes matrices : la matrice d'objets, la matrice des variables et celle résultante de l'analyse, la matrice des scores (Varmuza p. 76, 2009).

La matrice d'objets correspond à une matrice comprenant, dans la première colonne, une liste complète des objets faisant partie du modèle développé et les caractéristiques ou composantes étudiées pour chacun des objets de l'étude, ceux-ci listés selon les lignes correspondantes pour chaque objet. Généralement, la matrice est présentée tel qu'ayant « m » colonnes, faisant référence aux « m » caractéristiques à l'étude, et « n » lignes, faisant référence aux « n » objets de l'étude. Les caractéristiques sont propres à chaque objet et celles-ci confèrent aux objets de l'étude la variance qui est explorée dans l'analyse.

Ensuite, la matrice des variables est développée par un algorithme. La matrice des variables est un ensemble de vecteurs, orthogonaux les uns par rapport aux autres, développée afin que la variance pour la matrice des scores soit maximale. Pour plus d'information sur le développement mathématique derrière l'algorithme, le lecteur est incité à lire Varmuza (2009) p. 83-85 et Jolliffe (2016). La matrice des variables a « n » lignes, correspondant au même nombre d'objets qu'utilisé dans la matrice des objets, et « k » colonnes correspondant au nombre de composantes principales désirées.

Le résultat de la multiplication des deux matrices énoncées donne la matrice des scores (Lee, 2021). Cette matrice a les mêmes dimensions que la matrice des variables. Chaque colonne correspond à une composante principale. Ainsi, une diminution du nombre de dimensions est obtenue et la variance du jeu

de donnée initiale est conservée (Kumar, 2018). Le nombre maximal de composantes principales est limité selon le nombre d'objets à l'étude. Généralement, les dernières composantes principales ne sont pas utilisées puisqu'elles représentent la variance observée par le bruit de fond des analyses et n'apportent pas d'information à l'étude. C'est pourquoi la matrice des scores comprend également l'addition d'une matrice d'erreurs, résultant de la non-utilisation des dernières composantes principales. Cependant, cette matrice a peu d'influence sur la variance expliquée et est souvent exclue des analyses.

Le choix du nombre de composantes principal est subjectif à l'analyste (Varmuza p.77-78, 2009). En général, il est de mise d'utiliser des composantes principales pour atteindre au minimum 80% de la variance totale et, idéalement, au-dessus de 90%. Également, l'utilisation de méthodes de validation croisée est disponible pour évaluer la pertinence des différentes composantes principales. Plusieurs méthodes sont disponibles et reposent essentiellement sur un même principe : un jeu de données qui est utilisé pour évaluer les composantes principales. Idéalement, un jeu de données extérieures à celui utilisé pour le développement du modèle PCA est utilisé pour l'évaluation. Cependant, dans le cas où ce n'est pas possible, il est possible d'utiliser des agencements aléatoires d'objets dans l'étude pour évaluer la pertinence des modèles. Dans ce type de méthode, deux grandes catégories sont disponibles : une dite aléatoire et l'autre appelé « full ». La méthode de validation croisée aléatoire utilise une sélection d'objets, réalisée de façon aléatoire, pour un nombre fixe d'objets. Au contraire, la méthode de « full » validation croisée utilise l'ensemble des objets pour évaluer, un objet à la fois, la pertinence de chacune des composantes principales. La grande différence entre ces deux méthodes est essentiellement le temps d'analyse et la qualité de l'évaluation. La méthode de « full » validation croisée permet d'évaluer avec confiance la pertinence des composantes principales, mais, selon le jeu de données analysé, peut prendre un certain temps d'analyse pour être complété.

En dernier lieu, afin d'évaluer la précision des analyses, les « outliers » sont identifiés par différentes méthodes mathématiques. Ceux-ci correspondent aux objets ayant des caractéristiques tellement différentes par rapport aux autres objets de l'étude qu'ils sont mis à l'écart. Le choix de les retirer de l'étude revient à l'analyste puisque ces objets influencent grandement la variance expliquée pour chaque composante principale utilisée.

2.3.2 Manipulations

Il est important de bien définir les données utilisées dans ces analyses. Voici une partie de la matrice d'objet développée :

	Présence méthanol?	Présence éthanol?	2,35	2,37	2,38	3,01	3,68	4,03	4,27	4,77
P001	1	0	0	0	0	0	0	0	0,120462	0
P002	1	0	0,074235	0	0	0	0	0	0,376115	0
P003	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P004	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P005	1	0	0,099348	0	0	0	0	0	0	0
P006	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P007	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P008	1	0	0,136785	0	0	0	0	0	0	0
P009	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P010	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P011	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P012	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P013	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P014	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P015	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 2.6 : Représentation d'une section de la matrice d'objet. La première colonne représente les objets de l'étude. La première ligne représente les variables à l'étude, dont les deux premières étant des variables catégoriques et les autres des variables numériques utilisant les aires normalisées de chacun des pics. L'absence de composé est indiquée par une valeur de 0 dans la case appropriée.

La première colonne représente les objets d'étude, soit l'ensemble des parfums provenant des deux saisies policières (n=156) et les parfums authentiques (n=22). La première ligne correspond à l'ensemble des molécules déterminées par spectrométrie de masse présent dans les parfums à l'étude, représentés par leur temps de rétention. L'identifiant est le temps de rétention, puisque les molécules n'ont pas été identifiées officiellement (Begnaud, 2016). Plus précisément, la librairie NIST 2.0L permet d'attribuer un match entre un composé et la comparaison des spectres de masse. Cependant, l'achat de standard pour chacune de ces molécules aurait été nécessaire pour identifier formellement ces molécules. C'est pourquoi entre autres que les compagnies de parfumeries ont généralement leur propre librairie maison de spectres de masse (Sell p.127, 2019). Ensuite, les deux colonnes suivant la première représentent la présence du solvant identifié dans les parfums, soit le méthanol ou l'éthanol. Puisque la question ici est plus

précisément sur la présence ou l'absence, 1 correspond comme étant présent et 0 correspond comme étant absent. Ensuite, pour les 918 autres molécules, la valeur de l'aire normalisée est mise lorsque la molécule est présente dans un parfum. Par exemple, la molécule avec un temps de rétention de 2,35 minutes a été détectée dans le parfum P002. L'aire sous le pic de ce composé, normalisé avec l'aire du pic de standard interne, est alors mise dans la case correspondante (voir Figure 2.6). Lorsque le composé n'est pas présent dans un parfum, la valeur de 0 est attribuée, ce qui représente également l'absence de cette caractéristique de l'objet d'étude. Donc, la matrice d'objet est composée de 178 lignes et de 920 colonnes, où la première colonne représente les objets de l'étude.

Finalement, la matrice d'objet développée a été insérée dans le logiciel Unscrambler (version 10.5.1) où les analyses en composantes principales ont été réalisées. Cependant, une racine carrée a été appliquée avant les analyses statistiques afin d'homogénéiser la variance observée dans la composition chimique des parfums. Les analyses ont été réalisées séparément pour chaque marque étudiée. Le nombre de composantes principales (PC) utilisées a été déterminé en fonction de :

- La variance expliquée pour chaque composante principale devant être supérieure à 5%;
- La variance expliquée totale, soit la somme de la variance expliquée pour chaque composante principale étudiée, atteignant au minimum une valeur de 90%;
- La « full validation croisée » permettant de valider les deux premiers critères. Si la validation croisée atteint un plateau de variance expliquée avant d'atteindre une valeur de 90%, le modèle le plus simple, c'est-à-dire celui avec le moins de PC, est choisi.

Une fois que le nombre de PC est déterminé, les variables, ou « variables », les plus discriminantes sont conservées dans une base de données pour chaque groupe de parfums observé. Ces variables sont observées lorsqu'elles permettent de distinguer un groupe de parfums des autres parfums à l'étude. Les analyses sont réalisées séparément pour chaque marque de parfums et à deux niveaux d'analyse, soit :

1. Avec les parfums contrefaits et les parfums authentiques.
2. Avec les parfums contrefaits seulement.

Ces deux niveaux d'analyse permettent d'identifier (1) les composés communs dans les parfums contrefaits et (2) les composés permettant de discriminer des groupes de parfums contrefaits à partir de leur composition chimique.

CHAPITRE 3

Résultats

Dans ce chapitre, les résultats des différentes analyses sont présentés. En premier lieu, les paramètres optimaux pour les analyses chimiques sont introduits afin d'expliquer les choix listés dans la section précédente. Ensuite, les principaux résultats de l'analyse chimique sont présentés. Finalement, les analyses statistiques multivariées, par PCA, sont illustrées sous différentes catégories.

La première catégorie d'analyses inclut tous les parfums contrefaçons et tous ceux authentiques afin d'évaluer la présence de contrefaçon dans les parfums provenant des saisies policières. Par la suite, la deuxième catégorie d'analyse est présentée, soit l'analyse par PCA des parfums contrefaçons seulement. Cette catégorie d'analyse permet d'établir les profils chimiques en fonction des marques. Afin d'obtenir les résultats les plus pertinents, des paramètres sont étudiés pour l'optimisation des analyses par PCA et sont développés dans cette section. Ceux-ci permettent de simplifier les analyses par PCA. En tout dernier de cette section, une évaluation de la précision de la méthode est introduite.

3.1 Analyses chimiques

Les premiers paramètres à avoir été optimisés sont le solvant de dilution et le facteur de dilution. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous, représentant le nombre de composés détectés selon les paramètres d'analyse, et des exemples de chromatogrammes pour le parfum P018, avec le facteur de dilution de 20 fois et les différents solvants étudiés, sont présentés aux

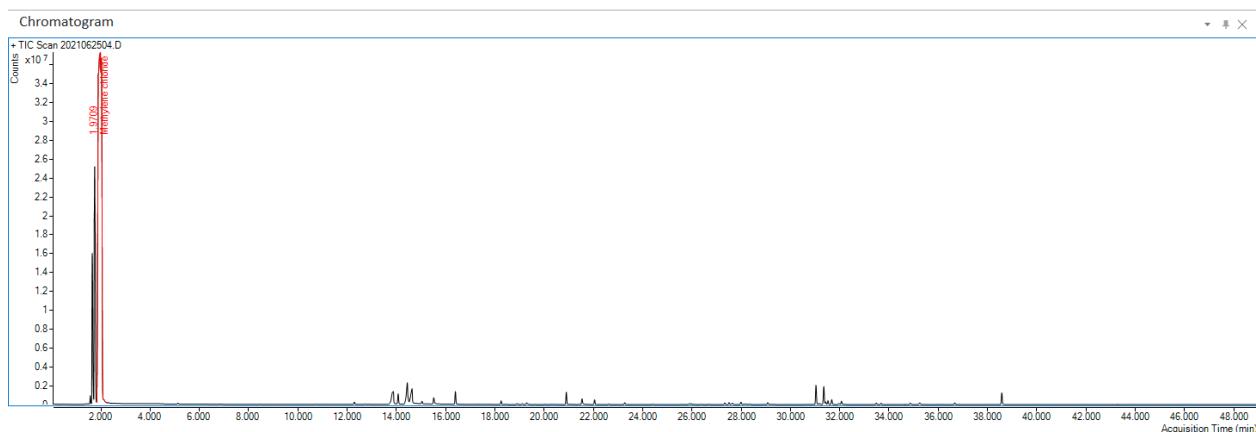


Figure 3.1 à 3.5. Pour le traitement statistique des données, un maximum de composés est désiré afin d'obtenir le plus d'information possible. Il faut prendre en compte qu'un blanc a été analysé pour chaque solvant afin de ne pas inclure les composés provenant de ceux-ci dans les analyses. Ainsi, ces composés

ne sont pas considérés dans les analyses subséquentes et sont retirés de la base de données contenant l'information chimique des molécules identifiées pour chacun des chromatogrammes.

Tableau 3.1 : Détermination du solvant et du facteur de dilution pour l'étude.

Solvant	Facteur de dilution	P018	P027	R013	R017	Moyenne
DCM	20	90	79	59	75	76
	50	67	58	32	56	53
	100	58	40	22	41	40
ACN	20	81	65	57	80	71
	50	56	51	4	54	41
	100	45	28	26	39	35
HEX	20	57	97	72	53	70
	50	49	36	20	34	35
	100	28	75	14	42	40
TCE	20	130	54	47	45	69
	50	102	43	28	2	44
	100	51	13	17	2	21
IOCT	20	22	35	48	85	48
	50	22	25	34	70	38
	100	23	24	30	56	33

Le Tableau 3.1 représente le nombre de composés identifiés pour les cinq solvants utilisés, les trois dilutions réalisées pour chaque parfum testé. Par exemple, pour le parfum P018 avec le DCM comme solvant et un facteur de dilution de 20, un total de 90 composés a été identifié. Les deux optimisations, soit le solvant et le facteur de dilution, ont été réalisées simultanément, mais sont expliquées séparément dans les sections suivantes. Pour réaliser les optimisations de ces paramètres, deux parfums contrefaits et deux parfums authentiques ont été sélectionnés au hasard et le protocole décrit plus tôt a été suivi.

3.1.1 Choix du solvant

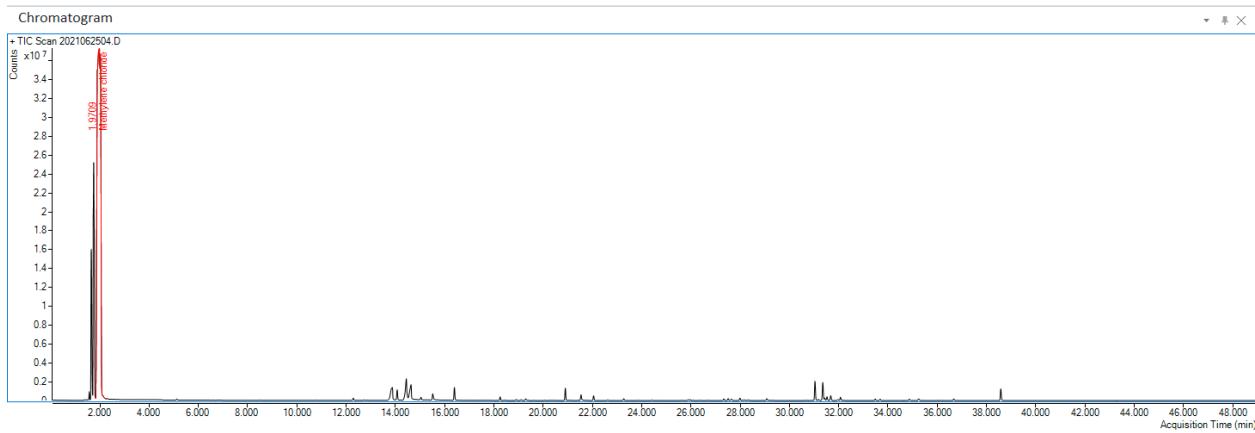


Figure 3.1 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant le dichlorométhane comme solvant.

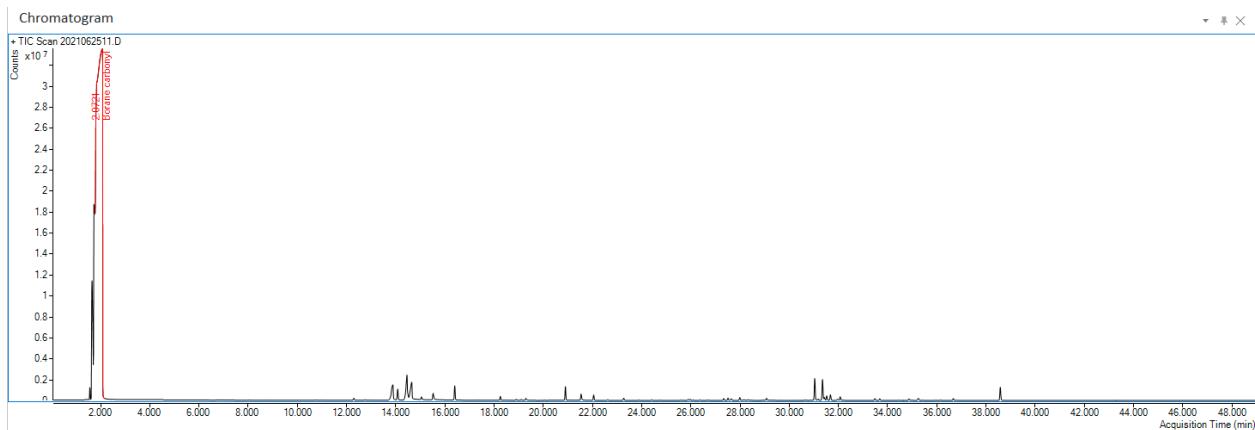


Figure 3.2 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant l'acétonitrile comme solvant.

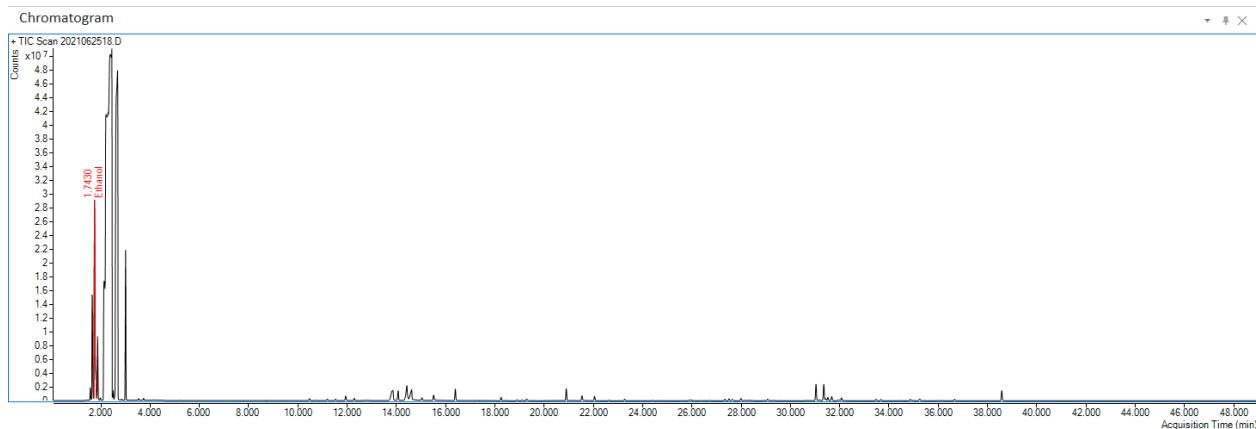


Figure 3.3 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant l'hexane comme solvant.

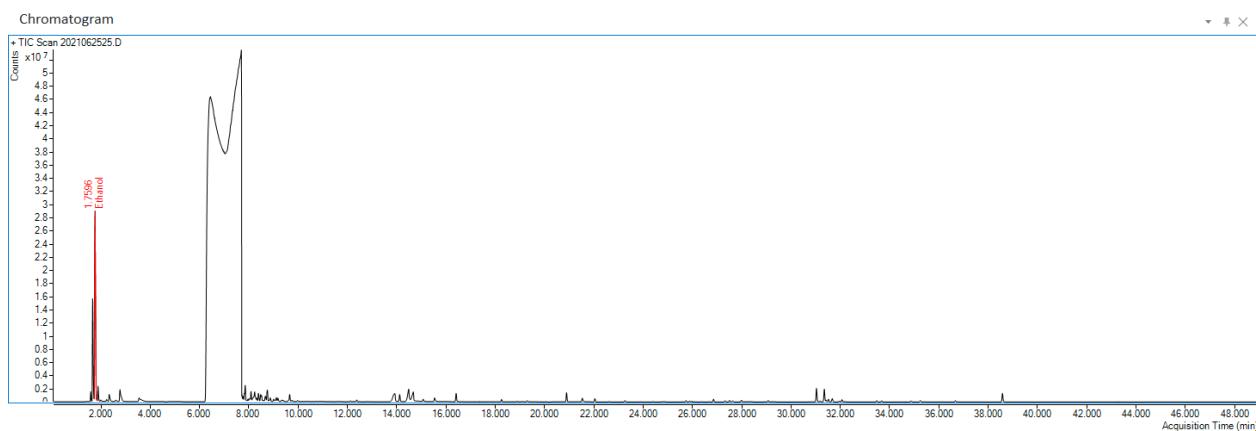


Figure 3.4 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant le tétrachloroéthylène comme solvant.

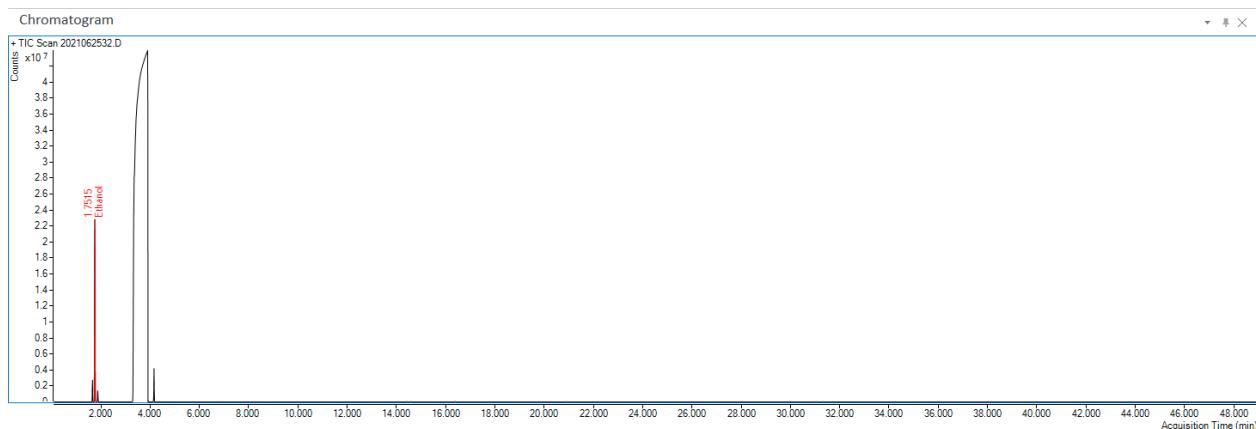


Figure 3.5 : Chromatogrammes du parfum P018 avec un facteur de dilution de 20 fois en utilisant l'iso octane comme solvant.

Afin d'illustrer les propos, le facteur de dilution de 20 fois est utilisé dans cette section. Le choix du solvant, tel que décrit plus tôt, est défini selon le nombre maximal de composés détectés. Celui-ci varie selon la solubilité des composés, présents dans les parfums analysés, dans les solvants choisis. Ainsi, il est possible d'apercevoir que le TCE et IOCT sont les deux solvants ayant les résultats les plus faibles selon leur moyenne, ayant respectivement 69 et 48 composés identifiés pour le facteur de dilution de 20 fois. Le TCE semble être une bonne option avec le parfum P018, mais il y a des problèmes dans l'analyse par la suite avec ce solvant. En effet, étant donné que les masses correspondantes aux solvants ne sont pas enlevés lors de l'analyse par spectrométrie de masse, ceux-ci sont conservés dans les chromatogrammes. De plus, étant donné leur forte concentration, les solvants possèdent généralement une plage de temps de rétention élevée, soit de près d'une minute en général. Le TCE a une plage de temps de rétention de près de 2 minutes et plusieurs composés supplémentaires contaminent le parfum dû à la dégradation de la molécule (voir Figure 3.4). L'IOCT, solvant apolaire, a permis d'identifier jusqu'à 85 composés, en fonction des paramètres d'analyses chromatographiques énoncées précédemment, pour le parfum R017, et en moyenne 48 composés ont été identifiés. Les résultats attendus pour ce solvant sont différents de HEX, qui est pourtant une molécule relativement similaire. Ce dernier a permis d'obtenir de bons résultats pour l'ensemble des parfums avec une moyenne de 70 composés identifiés. L'ACN a permis d'obtenir des résultats similaires avec une moyenne de 71 composés identifiés. Toutefois, c'est le DCM qui a permis d'obtenir les résultats les plus adaptés pour la suite des analyses avec une moyenne de 76 composés identifiés avec un minimum d'interférence.

3.1.2 Choix du facteur de dilution

Une fois le solvant choisi, le facteur de dilution doit être déterminé. La sélection du facteur de dilution s'est effectuée non seulement avec la quantité de composés identifiés, mais également en considérant la saturation du détecteur de ces différents composés. Dans le cadre des tests réalisés, aucun composé n'a atteint la saturation du détecteur. En effet, le solvant de dilution, le dichlorométhane, et le solvant des parfums, soit l'éthanol ou le méthanol, sont les seules molécules atteignant la saturation (voir Figure 3.1). Le nombre de composés identifiés est ainsi le seul critère d'analyse. Pour le dichlorométhane, le facteur de dilution de 20x est celui ayant permis d'identifier un maximum de composé. Les facteurs de dilutions de 50x et de 100x ne permettent pas d'obtenir la même quantité de molécules identifiées et sont alors écartés.

3.1.3 Choix du standard interne

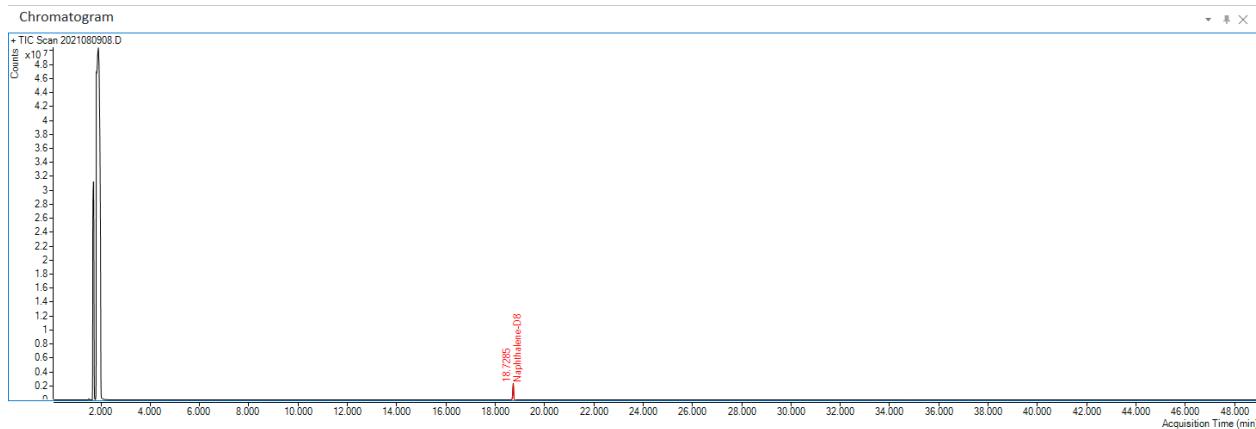


Figure 3.6 : Chromatogramme d'une solution de 100 ppm de naphtalène-d8 dans du dichlorométhane.

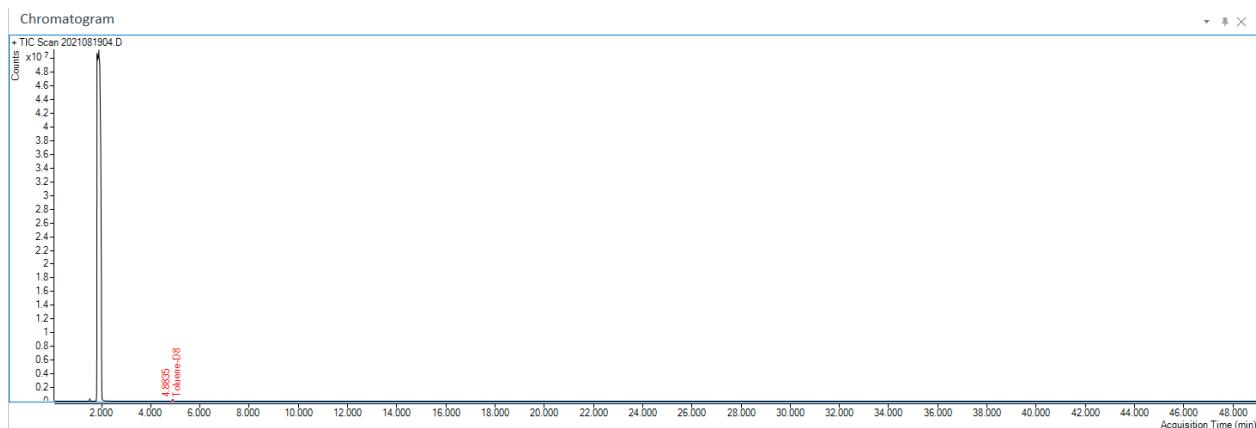


Figure 3.7 : Chromatogramme d'une solution de 50 ppm de toluène-d8 dans du dichlorométhane.

Une fois le solvant et le facteur de dilution déterminés, l'ajout d'un standard interne a été étudié afin de diminuer les fluctuations dans le signal mesuré par le détecteur pour les différents composés dans les analyses chimiques. Bien que les analyses subséquentes soient qualitatives, les aires sont utilisées puisqu'elles représentent la concentration des molécules présentes dans les parfums étudiés. Le choix du standard interne a été réalisé en fonction de deux critères : aucune co-élution avec les autres composés et aucune présence du composé dans les parfums provenant des saisies policières. La co-élution aurait eu pour effet de complexifier les analyses en utilisant un mode SIM dans les analyses pour l'ensemble des composés identifiés dans les parfums étudiés. Afin d'être en accord avec le deuxième critère, le choix d'une molécule deutérée a été considéré comme une solution idéale, considérant que le détecteur est un spectromètre de masse. Ainsi, le toluène-d8 et le naphtalène-d8 ont été étudiés. Ces molécules sont

similaires avec les standards internes utilisés dans la littérature (Desmedt et al, 2014; López-Nogueroles et al, 2013; Debonneville et al, 2004). Toutefois, le napthalène-d8 a un temps de rétention élevé, soit 18,7 minutes, permettant éventuellement d'observer des co-élutions avec les composés des parfums. Le toluène-d8, au contraire, a un temps de rétention idéal de 4,9 minutes. Ce temps de rétention est entre celui des solvants, ces derniers ayant des temps de rétention entre 1,5 minute et 2,5 minutes, et les molécules des parfums, ayant des temps de rétention de 10 minutes et plus. Le toluène a donc été choisi pour les analyses suivantes. La concentration du standard interne a été évaluée afin d'avoir une aire similaire aux composés dans les parfums et facilement détectable. La concentration de 50 ppm a été définie comme étant adéquate pour les analyses suivantes.

3.1.4 Analyses par GC-MS

Une fois les différents paramètres optimisés, en utilisant la méthode décrite dans le chapitre précédent, l'ensemble des parfums, soit les 156 provenant des saisies policières et les 22 authentiques, ont été analysés par GC-MS. Avant de débuter les analyses par PCA, les données chimiques ont été explorées afin de visualiser les résultats attendus. Ainsi, plusieurs différences ont été observées entre les parfums contrefaits et authentiques, soit : la présence de méthanol comme solvant de base pour les parfums contrefaits, contrairement à ceux authentiques étant composé d'éthanol, et la concentration des différents composés dans les parfums contrefaits est toujours plus faible que celle observée pour les composés dans les parfums authentiques. Un exemple des résultats obtenus est présenté à la Figure 3.8 pour un parfum contrefait, P134, et le parfum authentique correspondant, R002.

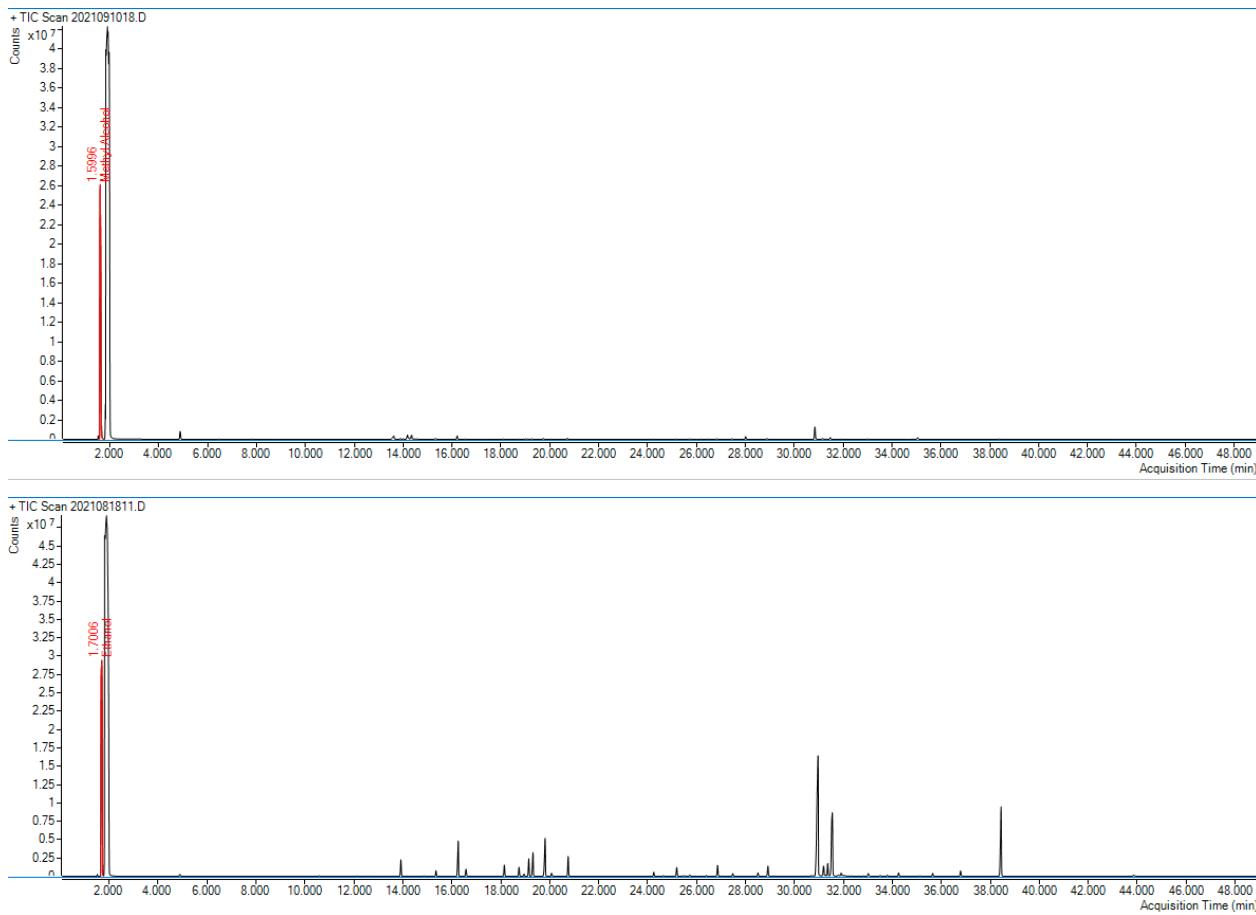


Figure 3.8: Exemple de chromatogramme entre un parfum contrefait, P134, en haut, et son parfum authentique correspondant, R002, en bas.

À travers l'ensemble des parfums analysés, 920 molécules différentes ont été identifiées à partir de leurs spectres de masse. Ces molécules vont servir de caractéristiques pour la suite de l'étude.

3.1.4.1 Précision des analyses

Avant de procéder aux analyses par PCA, la précision des analyses a été étudiée à travers le standard interne, le toluène-d8, ayant une concentration identique à travers l'ensemble des parfums analysés. La précision a été évaluée en fonction de l'intravariabilité des aires du standard interne à travers les parfums analysés dans une même séquence. Les coefficients de variation varient entre 9% et 10%, à l'exception de la dernière séquence étant à 17%. Un aspect crucial de cette étape est la préparation d'un volume adéquat de la solution de 50 ppm du standard interne au départ des manipulations afin de diminuer la variation dans les analyses. Lors de la dernière analyse, une nouvelle solution de standard interne a dû être préparée, ce qui a entraîné une variation dans les résultats analysés puisque les deux solutions mères préparées

n'ont pas nécessairement exactement la même concentration. Malgré tout, considérant un éventuel contexte opérationnel, la solution de standard interne devra être reproduite régulièrement et cela entraînerait des variations attendues dans l'analyse. Ce faisant, un coefficient de variation de 17% est acceptable et entre dans les limites pour des critères de validation de méthode analytique de l'UNODC (2009), soit en bas de 20%. De plus, Begnaud (2016) suggère que l'équation d'Horwitz, utilisé pour déterminer le seuil acceptable pour les coefficients de variations pour la répétabilité et la reproductibilité, n'est pas adéquate pour l'étude des fragrances. À de faibles concentrations, comme observées sur les composés des parfums contrefaits, des coefficients de variation élevés peuvent être tolérés (Begnaud p.8, 2016).

Tableau 3.2 : Évaluation de la précision de la méthode analytique.

Séquence d'analyse	Parfums analysés	Coefficient de Variation (%)
1	P001-P005; R001-R005	9
2	P006-P015; R006-R015	9
3	P016-P055; R016-R022; L001-L005	10
4	P056-P075	9
5	P076-P105	4
6	P106-P130	10
7	P131-P151	17

3.2 Analyses par PCA

Dans cette section, les résultats sont présentés sous deux grandes sections, soit : l'analyse conjointe de parfums contrefaits et authentiques, afin de s'assurer que les parfums des saisies policières aient les mêmes caractéristiques générales qui indiquent éventuellement la présence de contrefaçon, et, en deuxième lieu, les analyses avec les parfums contrefaits uniquement afin d'élaborer les profils chimiques des marques analysées. Avant d'explorer ces derniers résultats, des étapes préparatoires ont été réalisées afin de s'assurer que les données chimiques représentent bien ce qui est observé et afin d'alléger le jeu de données appartenant aux profils chimiques.

3.2.1 Évaluation du prétraitement des données

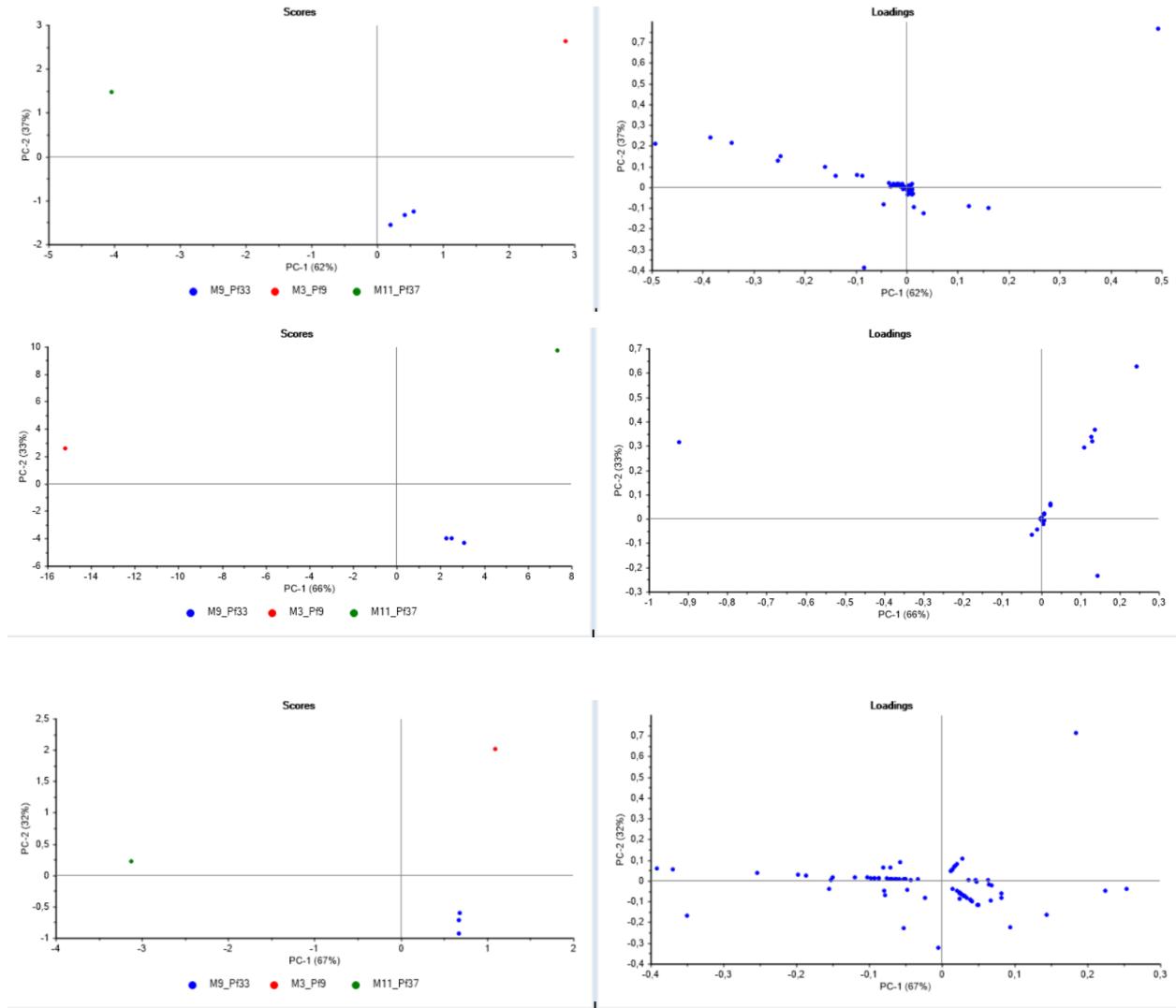


Figure 3.9: Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M9(bleu), un parfum de la marque M3(rouge) et un parfum de la marque M11(vert) ont été utilisés dans cette évaluation.

La première étape préparatoire à l'analyse des données chimiques, étant les aires normalisées par le standard interne pour chaque composé identifié dans chacun des parfums, est le prétraitement des données afin d'homogénéiser la variance dans les variables étudiées. Dans le cadre des analyses chromatographiques, il y a peu de prétraitement disponible. Essentiellement, les données peuvent soit être laissées telles quelles, être mises au carré ou une racine carrée peut être appliquée. Un exemple de ce type de prétraitement peut être aperçu dans l'étude de Gueissaz (2013), dans laquelle l'auteure étudie la trace de pneumatique et applique une double racine carrée pour maximiser l'homogénéisation de la

variance observée dans ses variables obtenue par pyrolyse GC-MS. Ainsi, afin d'explorer le type de prétraitement améliorant les analyses, deux catégories d'évaluations ont été réalisées :

1. Une analyse avec un échantillonnage de 5 spécimens, dont 3 de ces spécimens proviennent de la même marque, mais pas nécessairement du même modèle de parfum et deux autres spécimens provenant de marques différentes.
2. Une analyse avec l'ensemble des parfums, contrefaits et authentiques, de la marque M3 ainsi qu'une analyse avec les parfums contrefaits de cette même marque.

3.2.1.1 Exemple de l'évaluation des prétraitements des données

L'exemple illustré à la Figure 3.9 utilise cinq différents spécimens, sélectionnés au hasard, dont trois appartenant à la marque M9 sous le modèle de parfum Pf33, un spécimen de la marque M3 sous le modèle de parfum Pf9 et un spécimen de la marque M11 sous le modèle de parfum Pf37. L'image est divisée en trois, selon les différents prétraitements: sans prétraitement (haut de l'image), les données au carré (milieu de l'image) et les données avec une racine carrée appliquée sur celles-ci (bas de l'image). Il est important de mentionner que les résultats illustrés utilisent seulement les deux premières composantes principales pour l'ensemble des tests réalisés afin d'évaluer si le prétraitement permet de simplifier le jeu de données en améliorant la variance expliquée des premières composantes principales.

Dans l'exemple ci-dessus, afin d'évaluer la pertinence du prétraitement, différents aspects sont évalués : la variance expliquée des deux premières composantes principales, la graduation des axes pour les scores et les variables, la dispersion des entités dans les scores et la dispersion des variables dans les variables. En premier lieu, l'exemple sans prétraitement permet d'observer une bonne séparation entre les spécimens des différentes marques et un rapprochement entre les parfums de même marque, soit M9. Les axes varient entre -5 à 3 pour PC1 et -2 à 3 pour PC2. La variance expliquée pour ces deux composantes principales représente 99% de la variance dans les données. Pour les variables, il y a peu de dispersions observées dans les variables utilisées. Il y a donc très peu de variables influençant la variance expliquée. Il est important de se rappeler que les variables seront utilisées dans l'établissement des profils chimiques, ainsi plus les variables sont dispersées plus il y aura d'information ultérieurement pour les profils.

Ensuite, l'exemple avec les données au carré influence légèrement les résultats. En effet, la variance expliquée est la même, soit 99%. Cependant, la graduation des axes pour les scores est plus élevée, variant

entre -16 à 8 pour PC1 et -6 à 10 pour PC2. Il y a alors une meilleure discrimination des spécimens avec ce prétraitement. Cependant, l'information des données chimiques est perdue puisque la majorité des variables a un poids statistique près de 0. Également, les variables, ayant un apport dans la variance expliquée lorsqu'aucun prétraitement n'est appliqué, ont un apport plus important dans la variance expliquée que lorsque les données sont mises au carré.

Finalement, les résultats, lorsqu'une racine carrée est appliquée, sont présentés dans le bas de l'image. La variance expliquée demeure 99%, mais les graduations des axes ont diminué par rapport à l'analyse sans prétraitement. L'allure générale du graphique est la même que les deux autres analyses réalisées. Il est toutefois intéressant de noter que les spécimens de la marque M9 sont tous alignés par rapport à PC1, indiquant que la première composante principale ne permet pas de distinguer ces spécimens entre eux. La grande différence avec ce prétraitement est observée dans les variables. La dispersion des variables, en utilisant le prétraitement de racine carrée, indique que les données apportent, en majorité, un poids statistique équivalent dans la variance expliquée, ce qui signifie qu'il y a très peu de variables, même en homogénéisant la variance, qui influence la PCA (Varmuza p.80-82, 2009). Toutefois, il y a une amélioration de l'apport de l'information chimique disponible pour l'étude puisqu'il y a plus de molécules permettant de mieux évaluer la discrimination des objets.

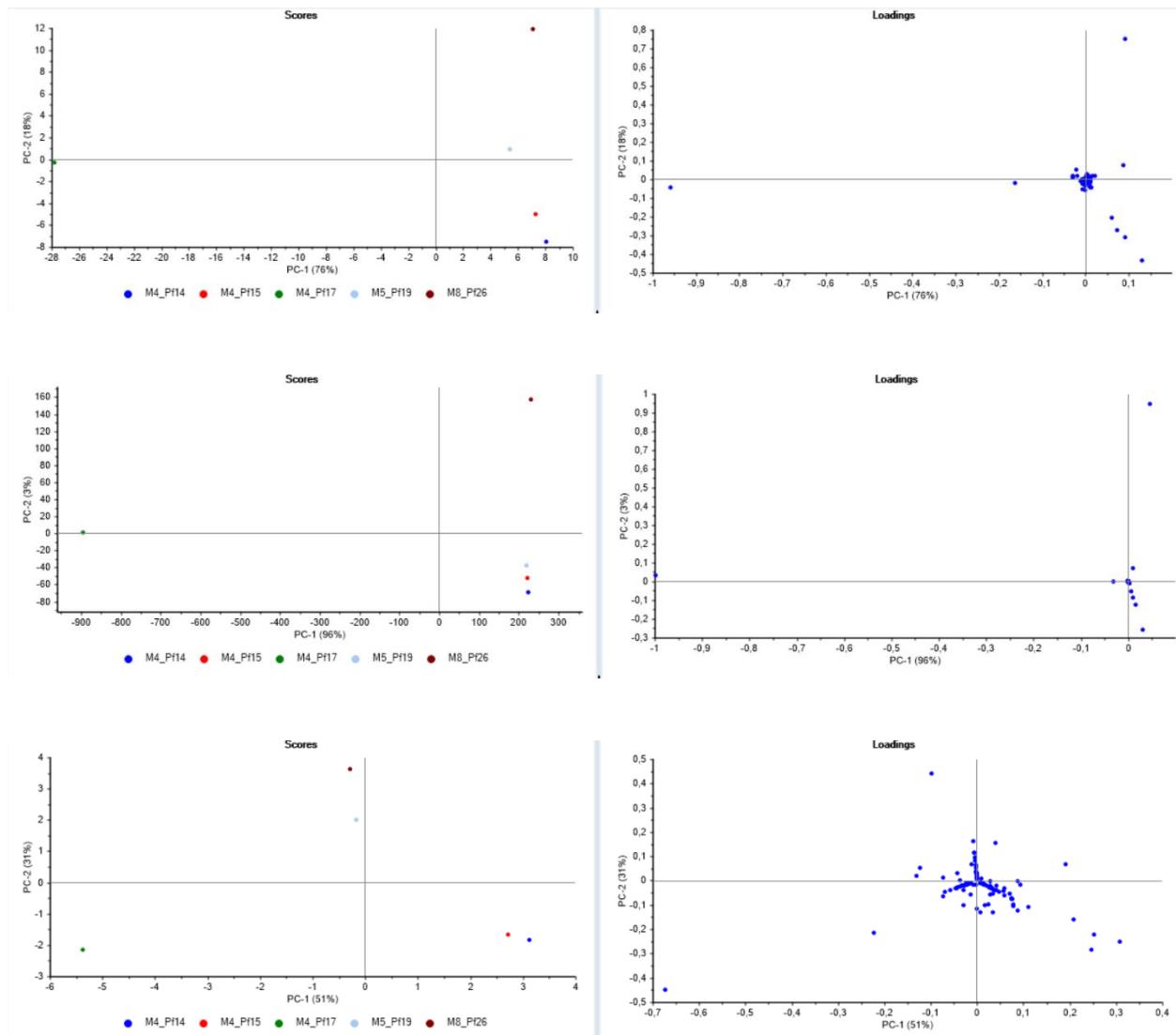


Figure 3.10 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M4(bleu, rouge et vert), un parfum de la marque M5(bleu ciel) et un parfum de la marque M8(brun) ont été utilisés dans cette évaluation.

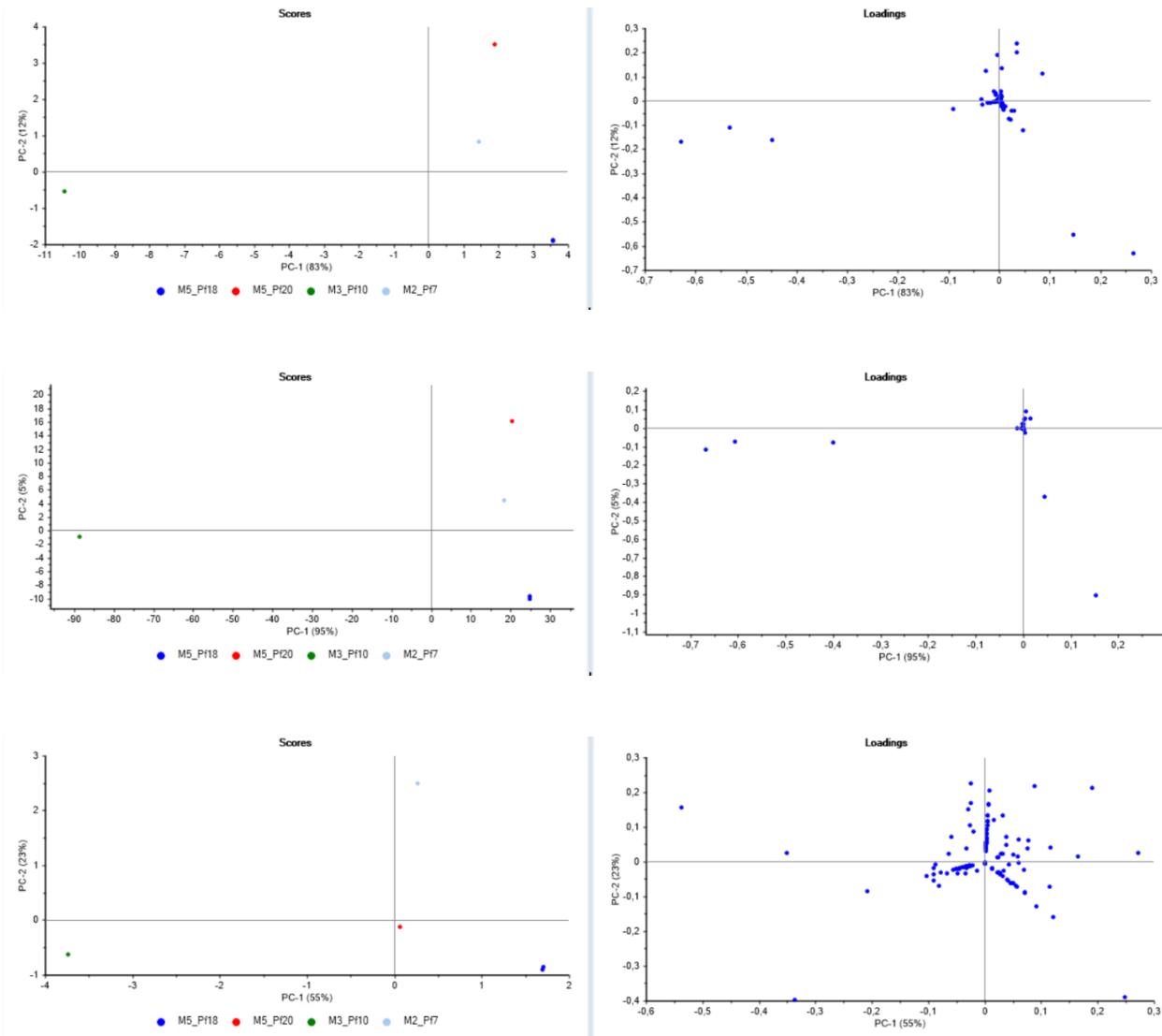


Figure 3.11 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M5(bleu et rouge), un

parfum de la marque M3(vert) et un parfum de la marque M2(bleu ciel) ont été utilisés dans cette évaluation.

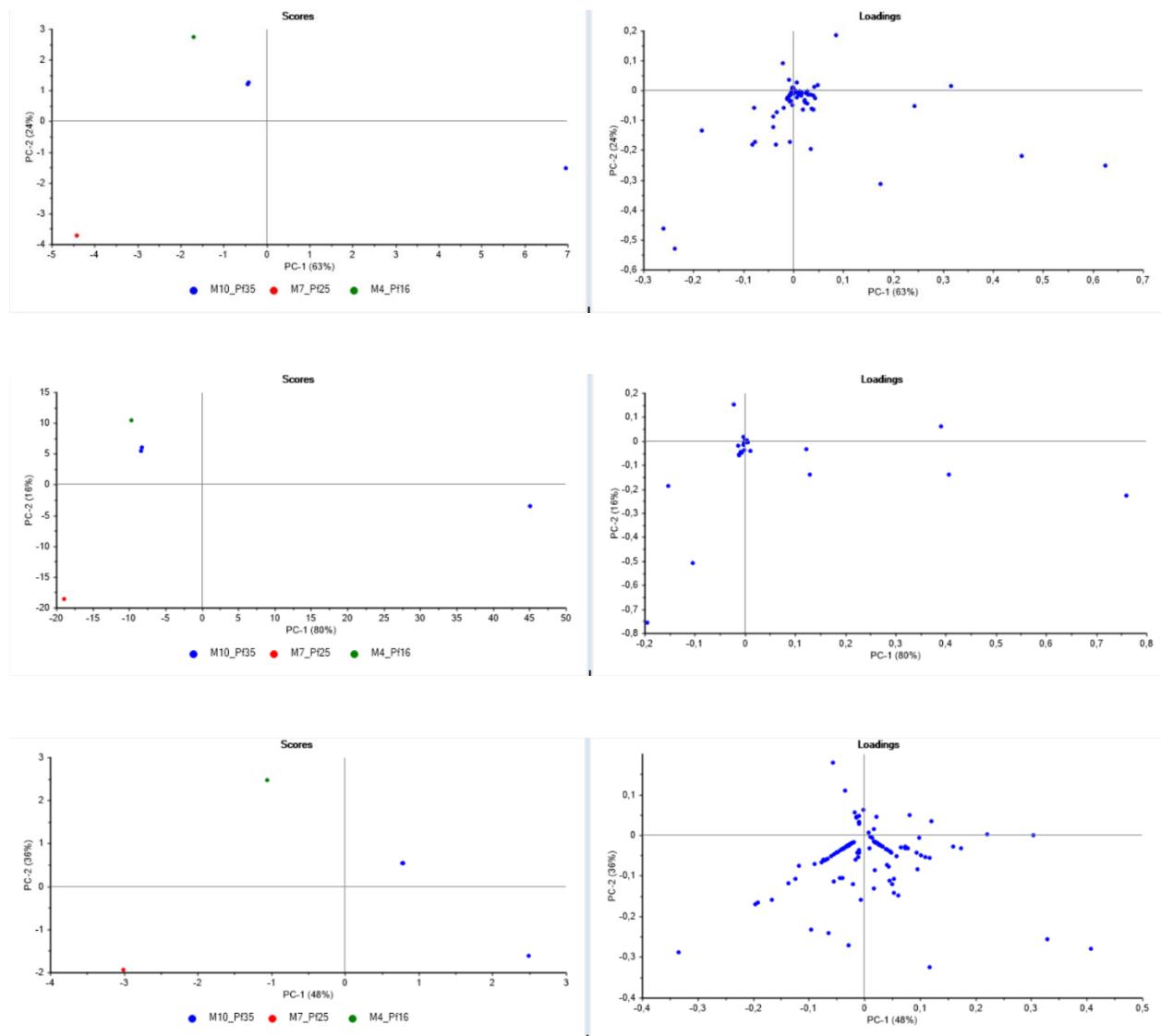


Figure 3.12 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M10(bleu), un parfum de la marque M7(rouge) et un parfum de la marque M4(vert) ont été utilisés dans cette évaluation.

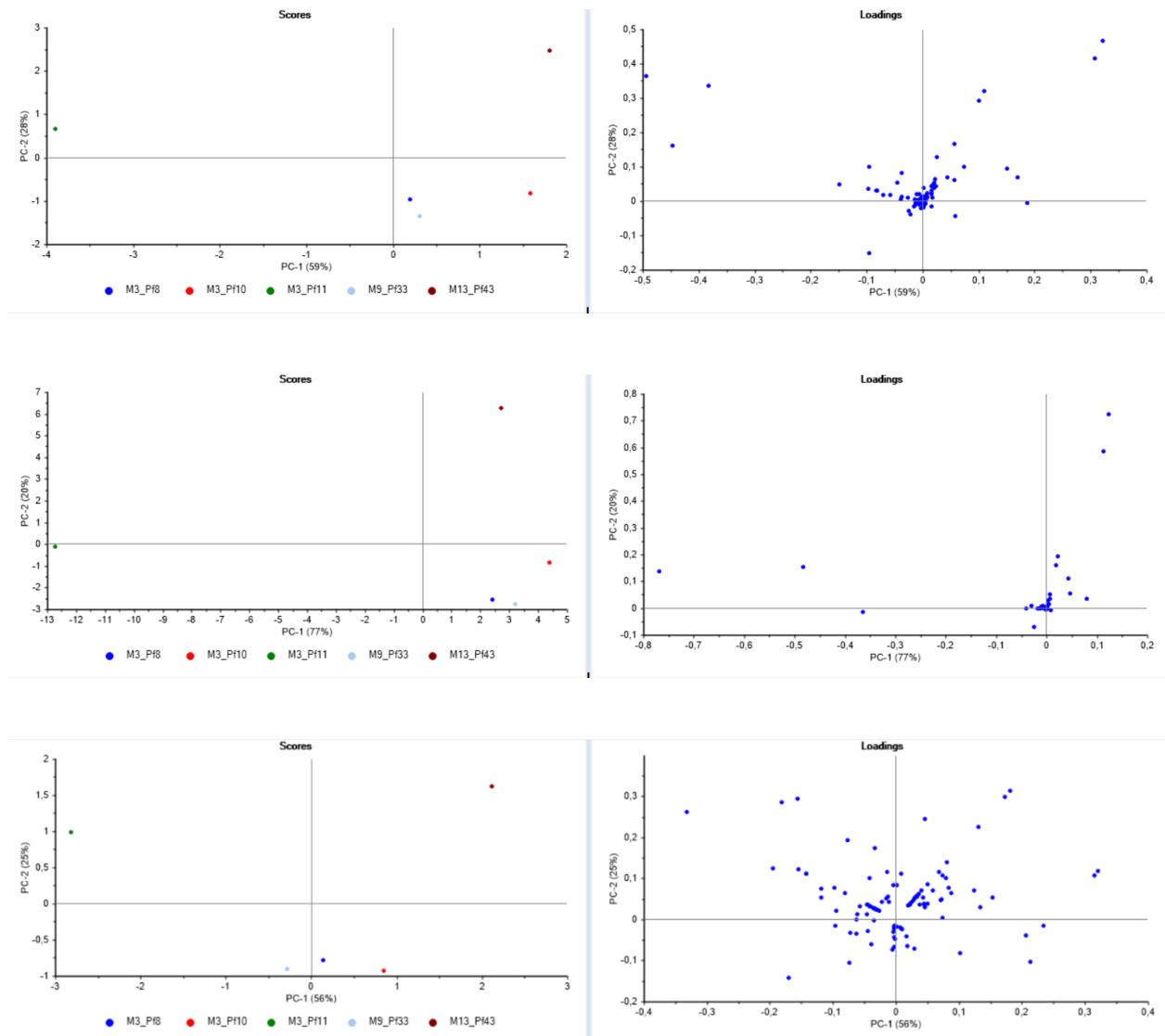


Figure 3.13 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas). Trois parfums provenant de la marque M3(bleu, rouge et vert), un parfum de la marque M9(bleu ciel) et un parfum de la marque M13(brun) ont été utilisés dans cette évaluation.

Plusieurs autres évaluations ont été réalisées dans la même optique que l'exemple présenté ci-dessus (voir les Figure 3.10 à Figure 3.13). Essentiellement, les observations réalisées dans l'exemple illustré à la Figure 3.13 sont similaires à ce qui peut être observé dans les différents tests réalisés : les graduations sont plus élevées lorsque les données sont mises au carré et plus faible lorsque la racine carrée leur est appliquée et la dispersion des variables est plus importante pour le prétraitements avec la racine carrée. Cependant,

la variance expliquée varie grandement selon le type de prétraitement utilisé. En effet, de manière générale, la variance expliquée des deux premières composantes principales augmente avec les données au carré, indiquant que l'analyse est fortement simplifiée avec ce prétraitement avec la première composante principale expliquant 95% de la variance expliquée, et diminue avec un prétraitement de racine carrée où la première composante principale a une variance expliquée de 55%.

3.2.1.2 Effet des différents prétraitements avec les données de la marque M3.

Par la suite, afin d'évaluer la pertinence du prétraitement des données, celle-ci a été évaluée avec les données de la marque M3. En premier lieu, à la Figure 3.14, les prétraitements ont été appliqués sur l'ensemble des parfums contrefaits et authentiques de la marque étudiée. En second lieu, à la Figure 3.15, les prétraitements ont été appliqués sur les parfums contrefaits seulement, en excluant les parfums authentiques de l'analyse.

Afin de répondre à l'éventuelle question si les parfums provenant des saisies policières sont réellement contrefaits ou pas, seulement deux composantes principales sont nécessaires dans cet exemple puisqu'il y a déjà une séparation entre ces deux catégories d'entités. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'en inclure davantage malgré que la variance expliquée totale n'est pas de 90%. En évaluant les mêmes aspects décrits plutôt, il est possible d'observer les mêmes résultats obtenus dans les évaluations précédentes : une graduation des axes plus élevée pour le prétraitement au carré, une meilleure dispersion des variables dans l'analyse des variables lorsque le prétraitement de la racine carrée est utilisé et une diminution de la variance expliquée par composante principale en utilisant le prétraitement de la racine carrée. De plus, il est possible d'observer, dans le dernier graphique au bas de la figure 3.13, que l'utilisation du prétraitement de la racine carrée permet de mieux séparer les parfums contrefaits et authentiques.

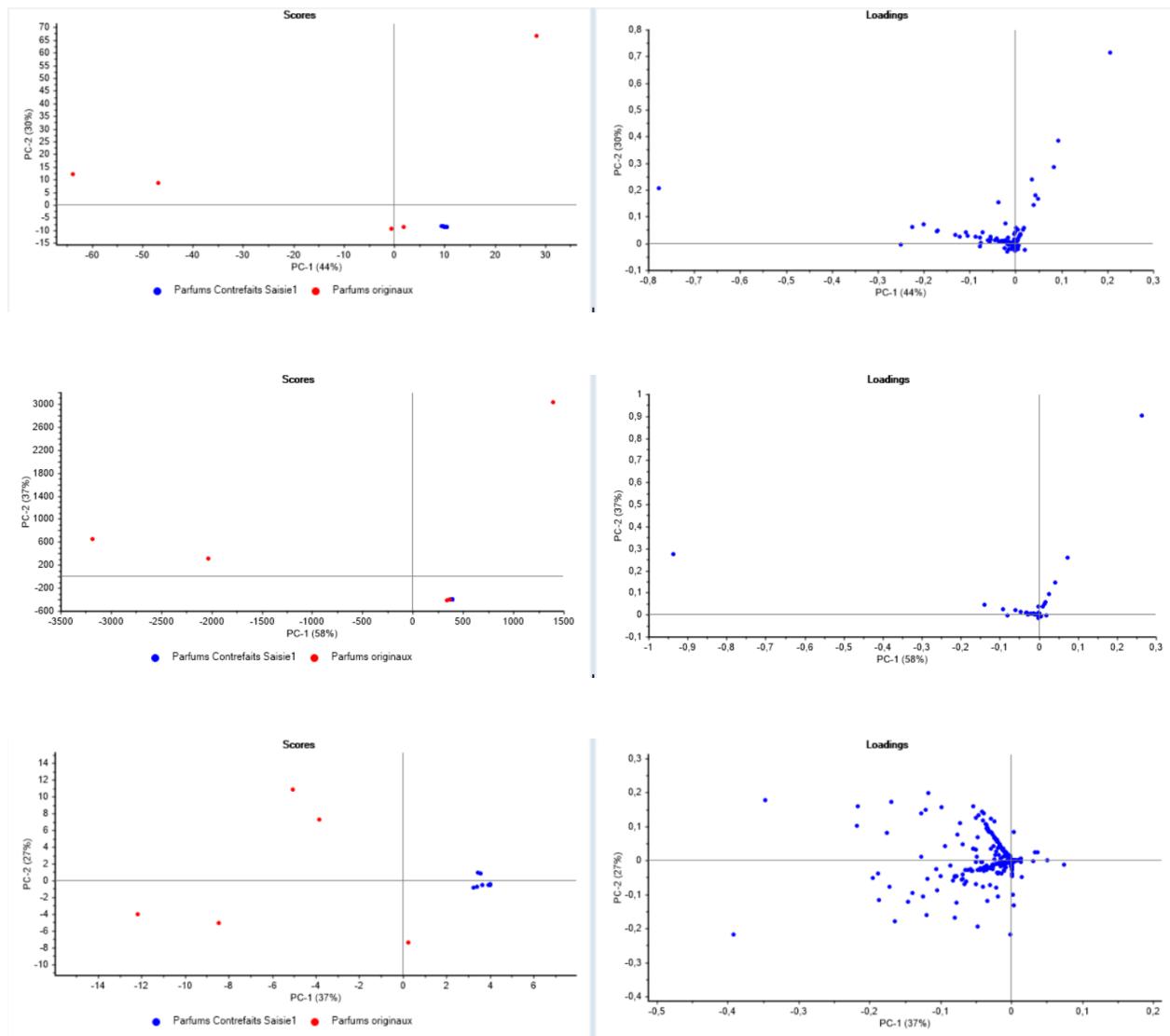


Figure 3.14 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données, pour les parfums authentiques et contrefaits de la marque M3, suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas).

Ensuite, l'analyse des parfums contrefaits seulement permet de corroborer les observations réalisées préalablement. Ainsi, malgré que les composantes principales n'aient pas une variance expliquée aussi élevée que dans les autres méthodes de prétraitements, le prétraitements de la racine carrée permet de mieux remplir les critères attendus. De plus, l'information chimique disponible dans les variables permet éventuellement une meilleure étude des profils chimiques observés, puisque certaines variables n'étant pas très discriminante, sans utiliser de prétraitements, auront un plus grand effet dans la discrimination

des différents profils chimiques. Ainsi, le prétraitement de la racine carrée sera utilisé pour les prochaines analyses et le choix est expliqué plus en détail dans le chapitre 4.

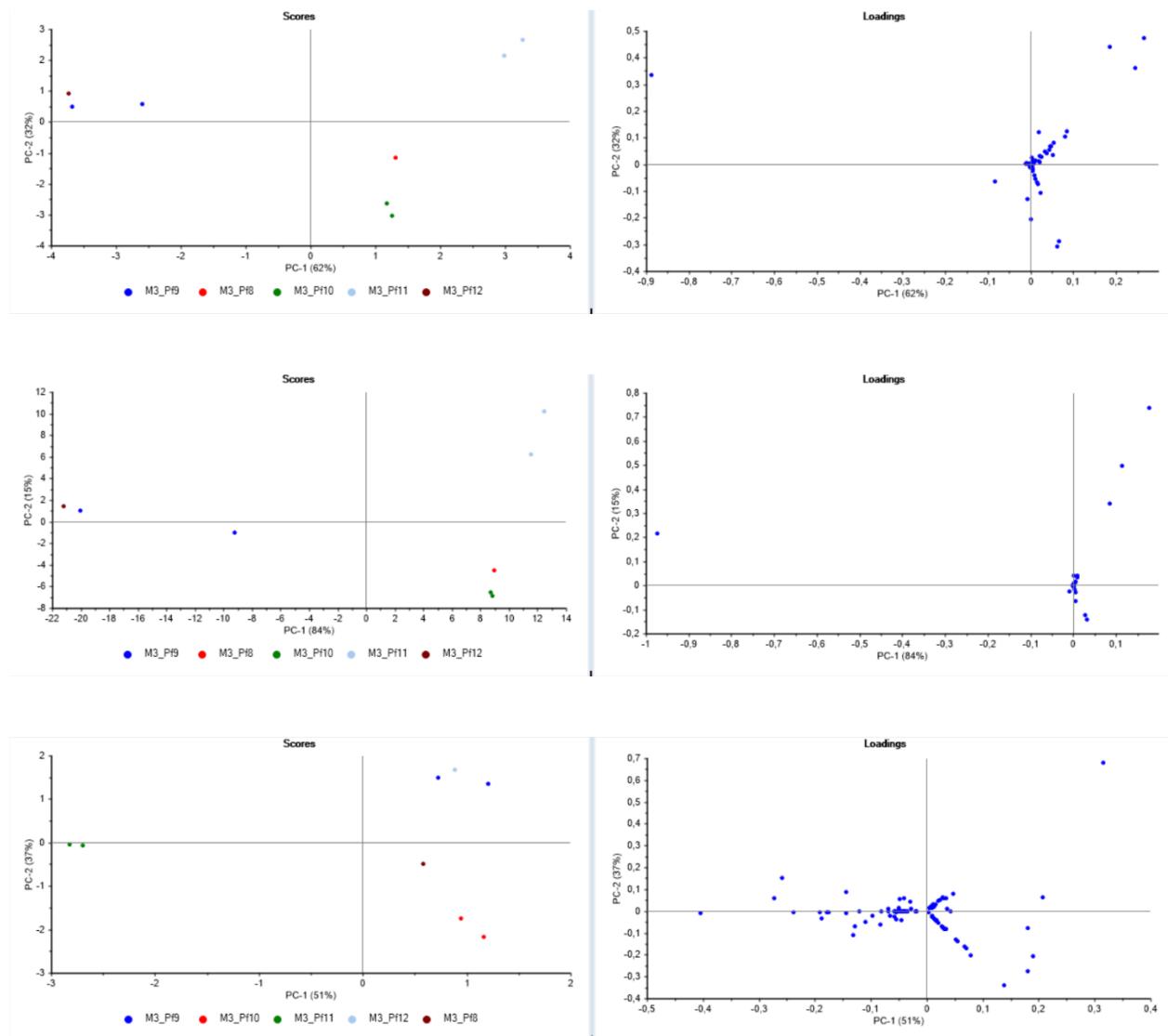


Figure 3.15 : Évaluation des méthodes de prétraitements de données, pour les parfums contrefaits seulement de la marque M3, suivantes : sans prétraitements (haut), au carré (milieu) et à la racine carrée (bas).

3.2.2 Exemple de résultats des analyses par PCA des parfums contrefaçons et authentiques pour la marque M9.

Une fois les paramètres d'analyses établis, une première série d'analyses statistiques est réalisée avec les parfums provenant des saisies policières et ceux authentiques afin de confirmer la présence de contrefaçon. Afin d'illustrer l'ensemble des analyses réalisées à ce niveau, ce pour les cinq marques ayant des parfums authentiques (voir Tableau 2.1), la marque M9 est utilisée. Il faut bien comprendre que le nombre de composantes principales utilisé dans ces analyses sert uniquement à répondre à la question suivante : est-ce que l'objet étudié est une contrefaçon? Ainsi, il n'est pas nécessaire d'utiliser des composantes principales jusqu'à atteindre une variance expliquée de 90%. Par exemple, pour la marque M9, en utilisant seulement les deux premières composantes principales, représentant 63% de la variance expliquée, il y a une bonne séparation entre les parfums contrefaçons, en bleus, et authentiques, en rouge. L'exemple choisi montre bien l'importance de ce type d'analyse, puisqu'il y a une entité en bleu, représentant le parfum P115 (voir Tableau 2.1), en proximité avec les parfums authentiques. En effet, ce parfum correspond parfaitement au parfum authentique de même modèle (voir Tableau 2.1), à quelques composés près.

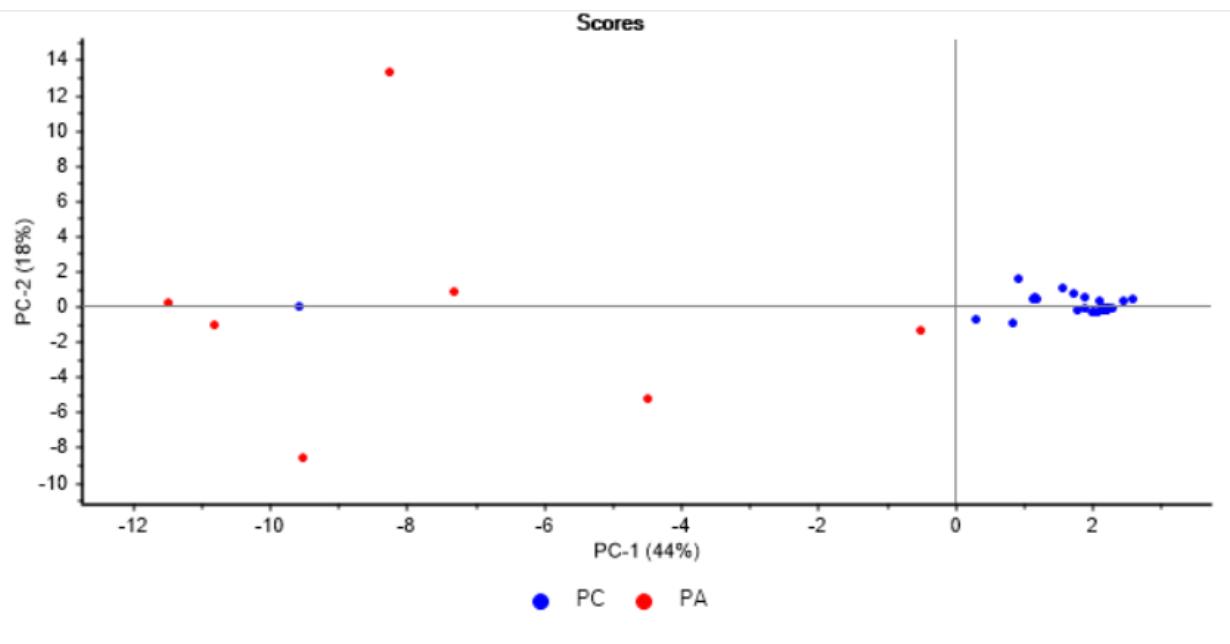


Figure 3.16 : Analyse en composantes principales pour la marque M9. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.

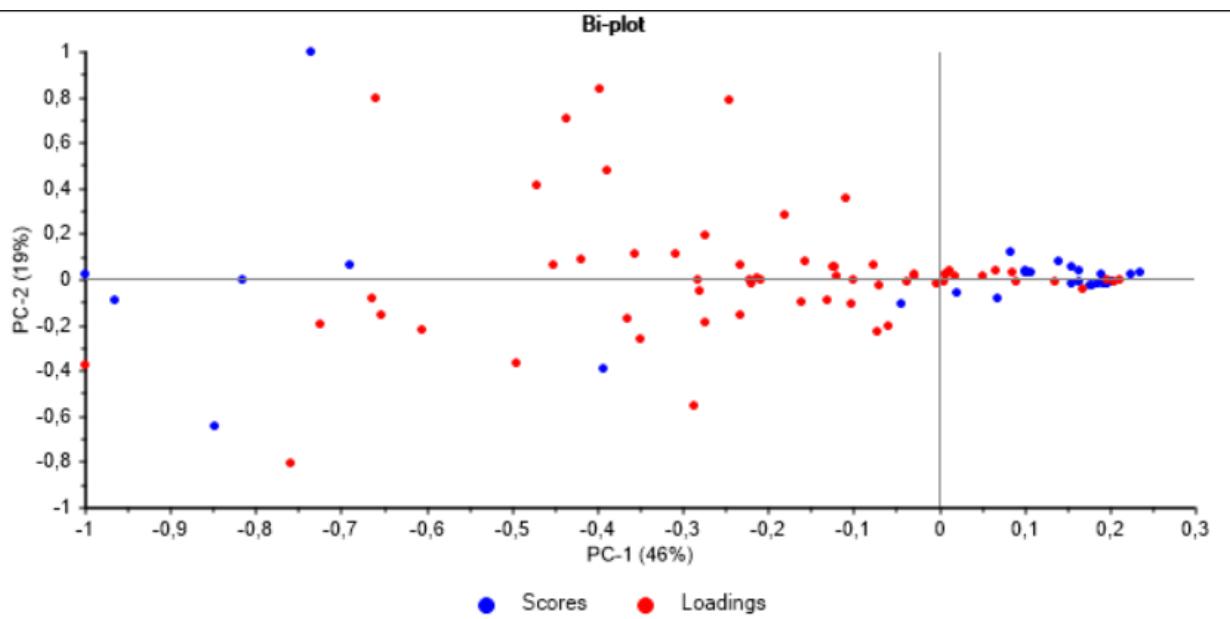


Figure 3.17 : Exemple de la représentation de la dispersion des variables (rouge) et des entités (bleu) étudiées de la marque M9 dans un même graphique (Bi-plot). Les parfums authentiques et contrefaits (bleu) ne sont pas différenciés dans ce graphique.

Ce niveau d'analyse n'a pas été réalisé pour l'ensemble des parfums et des marques, puisque l'idée était d'apercevoir la différence existante entre les parfums contrefaits et authentiques afin d'établir des généralités. Les variables étudiées permettent d'expliquer la dispersion des parfums authentiques. Cependant, dans le cas des parfums contrefaits, ils sont caractérisés par les mêmes variables (voir Figure 3.17). Également, ce qui permet de regrouper les parfums contrefaits ensemble, observé également dans l'analyse exploratoire, est la concentration beaucoup plus faible, voire l'absence, des composés présents dans les parfums authentiques.

Tableau 3.3 : Composés permettant de discriminer les parfums contrefaits des parfums authentiques.

M3	M9	M13	M10	M11
Présence méthanol?	Présence méthanol?	Présence méthanol?	14,32	Présence méthanol?
29,42PHT	13,67	14,21	27,2	14,21
	14,21	29,42PHT	31	
	14,32		33	
	28,03LIL		34,83ETH	

Ces observations sont également visibles pour les autres marques étudiées à ce niveau d'analyse. Il est possible d'extraire une liste de composés qui caractérise le regroupement des parfums contrefaits observés à ce niveau d'analyse (voir Tableau 3.3). Ces observations sont discutées dans le prochain chapitre.

3.2.3 Exemple de résultats des analyses par PCA des parfums contrefaits seulement pour la marque M1.

Le deuxième niveau d'analyse est réalisé avec les parfums contrefaits seulement. Afin d'illustrer les résultats obtenus, bien que ceux-ci sont très différents selon la marque étudiée, la marque M1 est utilisée.

3.2.3.1 Détermination du nombre de PC à utiliser pour les analyses par PCA.

La première étape avant de débuter l'analyse est de choisir le nombre de composantes principales permettant d'évaluer un bon niveau de variance dans les données tout en conservant une analyse simple, tel que décrit précédemment. Pour la marque M1, tel qu'illustré dans la Figure 3.18 en analysant la ligne bleu, représentant la validation du modèle, il est simple de déterminer qu'en utilisant deux composantes principales, la variance expliquée est près de 95% et il n'est pas nécessaire d'ajouter d'autres composantes principales. C'est également le cas pour la marque M2. Le choix d'utiliser deux composantes principales est corroboré avec l'étape de la validation croisée, en rouge, où le plateau de la variance expliquée est atteint à deux composantes principales. La validation croisée représente la validation du modèle développée en excluant un objet à la fois et en vérifiant si, en la réintégrant, il y a des variations importantes dans l'analyse.

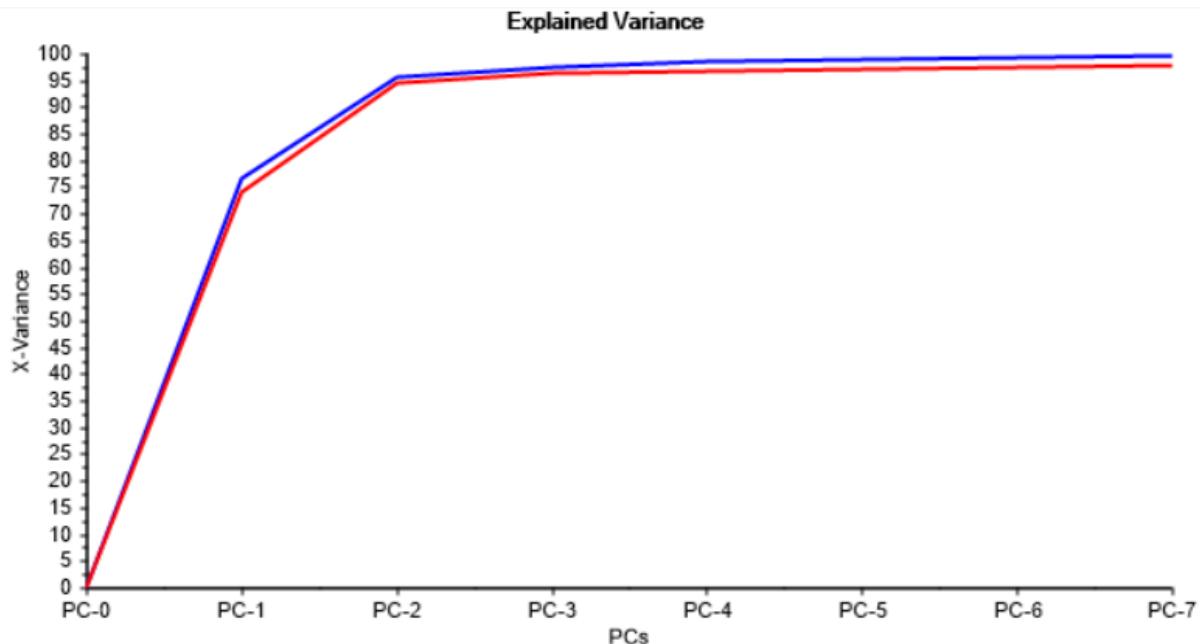


Figure 3.18 : Variance expliquée pour la marque M1 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée

de

ce

dernier.

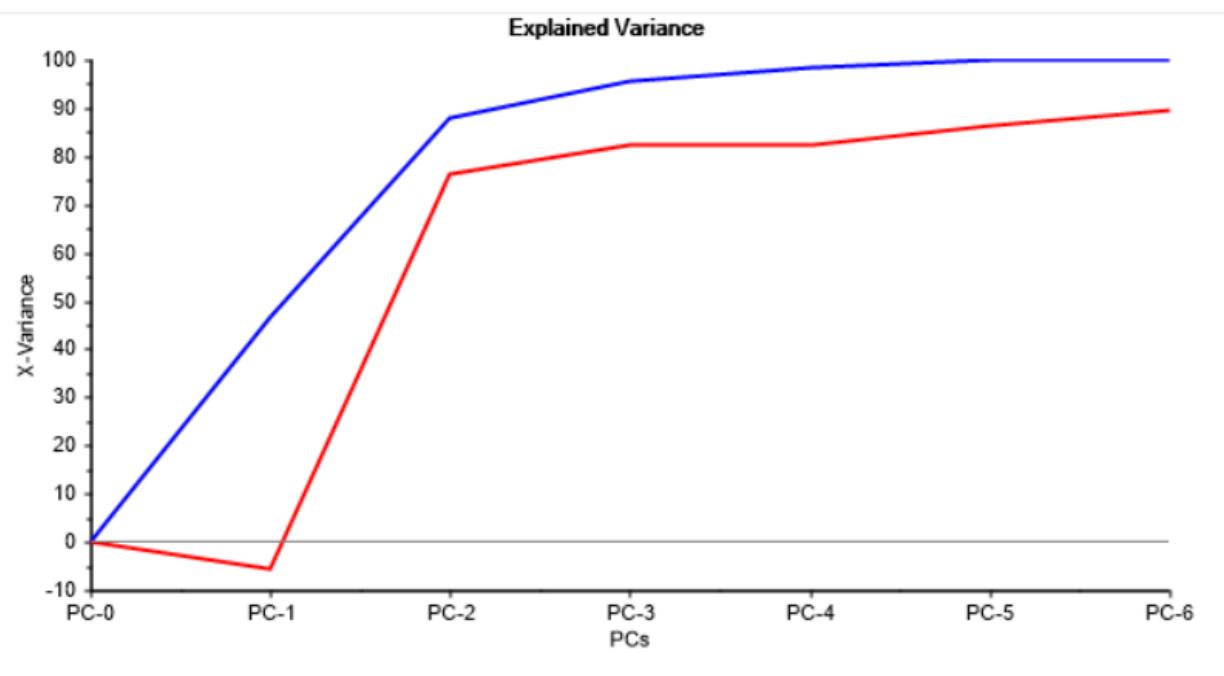


Figure 3.19 : Variance expliquée pour la marque M3 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

Cependant, les autres marques ont un niveau de complexité plus élevée. En effet, le nombre de composantes principales, pour atteindre un minimum de variance expliquée de 90% doit être au minimum de 3, pour les marques M3 à M8, M11 à M13. Cependant, le choix du nombre de composantes principales va également varier en fonction de la validation croisée, permettant de confirmer les composantes principales ayant le plus d'impact pour les analyses. Par exemple pour la M3, que deux composantes principales sont utilisées (voir Figure 3.19). La variance expliquée est alors inférieure à 90%, mais le nombre de composantes principales, c'est-à-dire le nombre de dimensions utilisées pour les analyses, est le plus faible possible pour conserver un modèle d'analyse le plus simple possible afin d'éviter des erreurs potentielles. C'est le cas pour la marque M12 également, malgré que celle-ci ait un nombre de spécimens beaucoup plus faible limitant les analyses possibles.

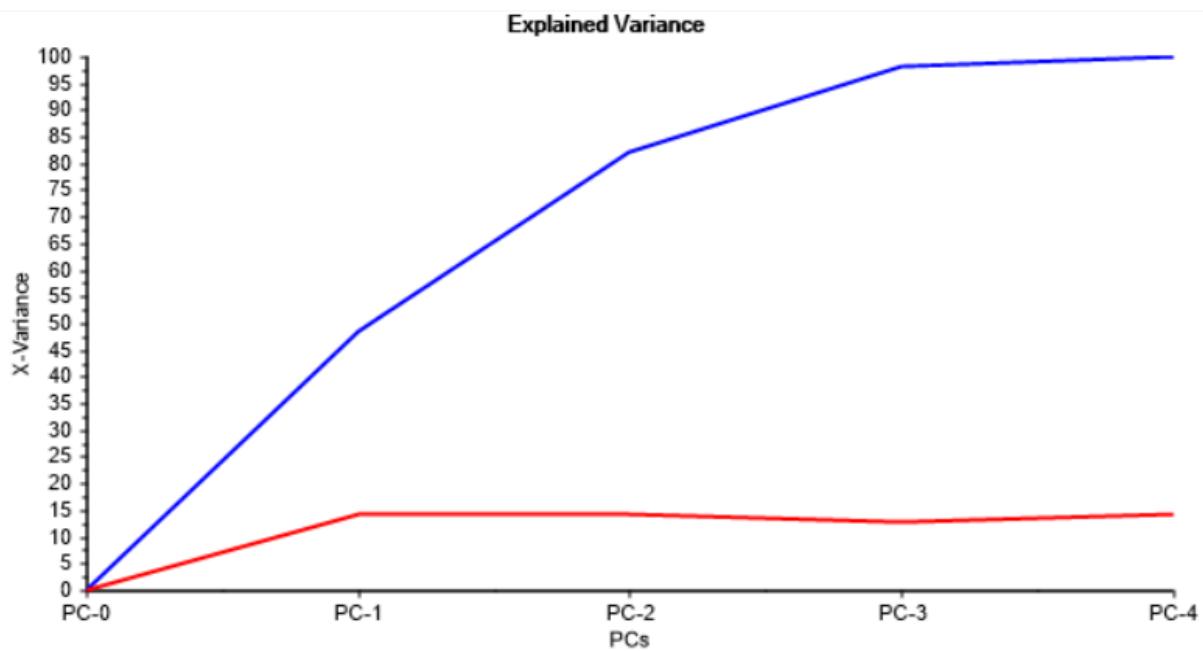


Figure 3.20 : Variance expliquée pour la marque M4 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

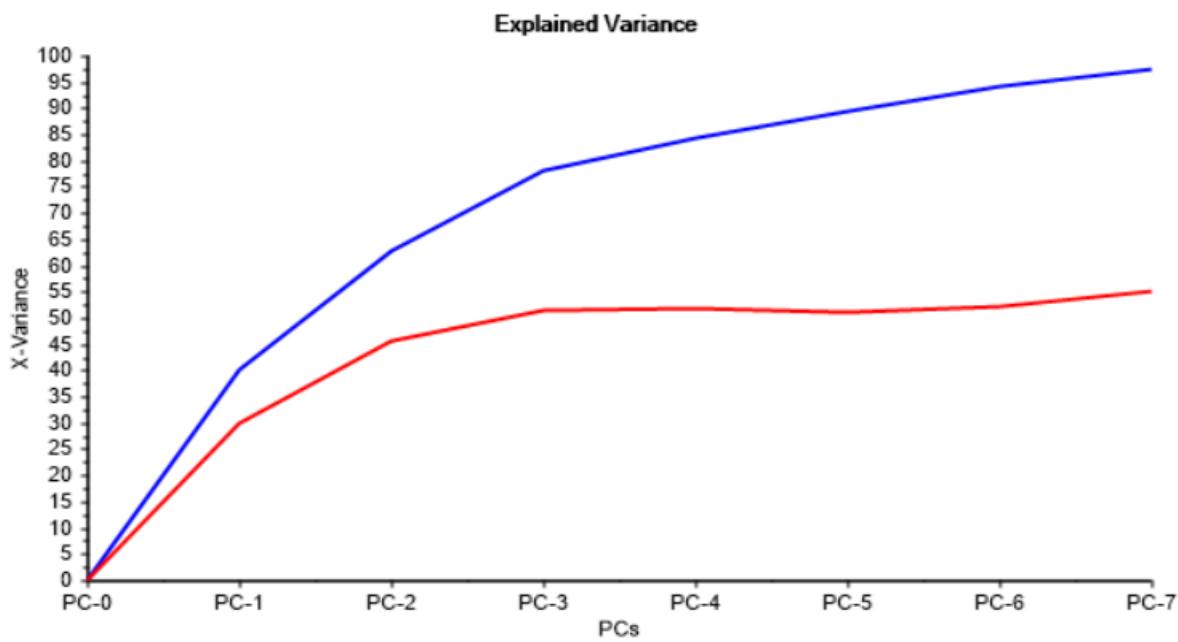


Figure 3.21 : Variance expliquée pour la marque M7 en fonction du nombre de composantes principales.

La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

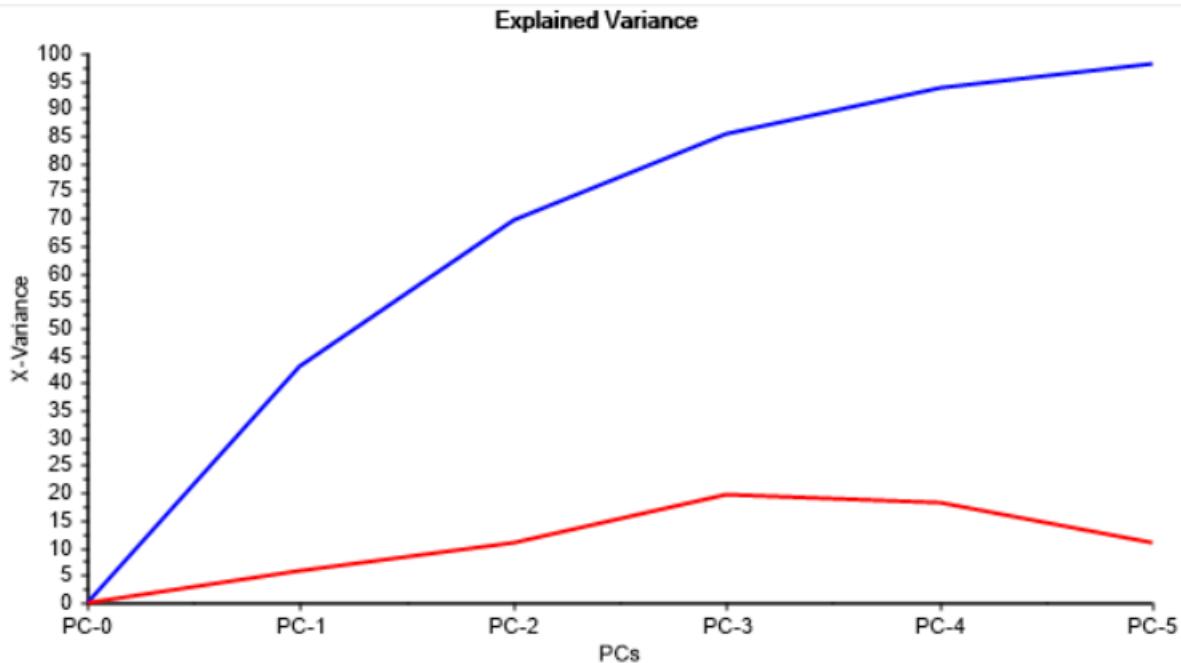


Figure 3.22 : Variance expliquée pour la marque M8 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

Les marques M4 à M8 ainsi que les marques M11 et M13 sont donc présentés en trois dimensions. À travers ces marques, trois cas sont présents dans le choix du nombre de composantes principales :

1. La validation croisée atteint un plateau de variance expliquée à la PC1, malgré que celle-ci ne représente pas une variance près de 90% (M4, M5, M6).
2. La validation croisée atteint un plateau de variance expliquée à la PC3, malgré que la variance expliquée n'atteigne pas 90% (M7).
3. La validation croisée atteint un plateau de variance expliquée à la PC3 et la variance expliquée est près de 90% (M8 et M11).

Ainsi, dans le premier cas, les marques M4, M5 et M6 (voir Figure 3.20), en accord avec la validation croisée, seulement la PC1 est utile dans l'analyse. Cependant, afin de conserver un niveau acceptable de variance

expliquée, généralement supérieure à 90%, trois composantes principales peuvent être utilisées tout en conservant un modèle relativement simple à interpréter. Dans le même ordre d'idée, pour la marque M7, Figure 3.21, le plateau de variance expliquée avec la validation croisée est atteint en utilisant trois composantes principales. Cependant, la variance expliquée du modèle n'atteint pas 90% comme prévu. Afin de conserver un modèle simple, avec une variance expliquée près de 80%, trois composantes principales sont utilisées pour la suite des analyses. Dans le cas observé pour les marques M8 et M11, Figure 3.22, le cas idéal, un plateau de variance expliquée, pour la validation croisée, est atteint à trois composantes principales et la variance expliquée en utilisant ce nombre de composantes principales dans le modèle s'approche de 90%.

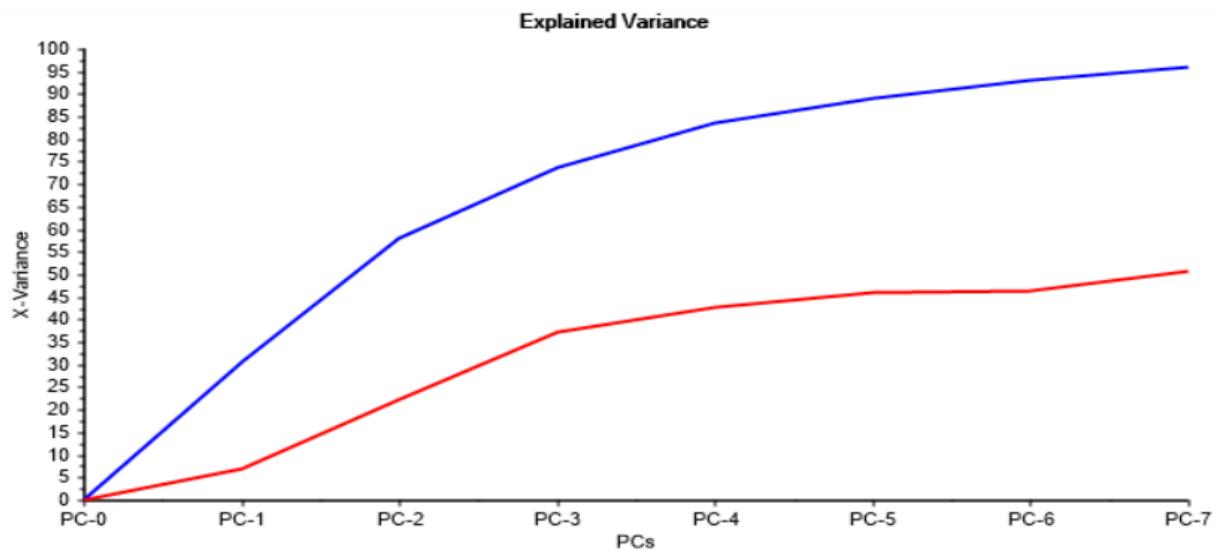


Figure 3.23 : Variance expliquée pour la marque M9 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

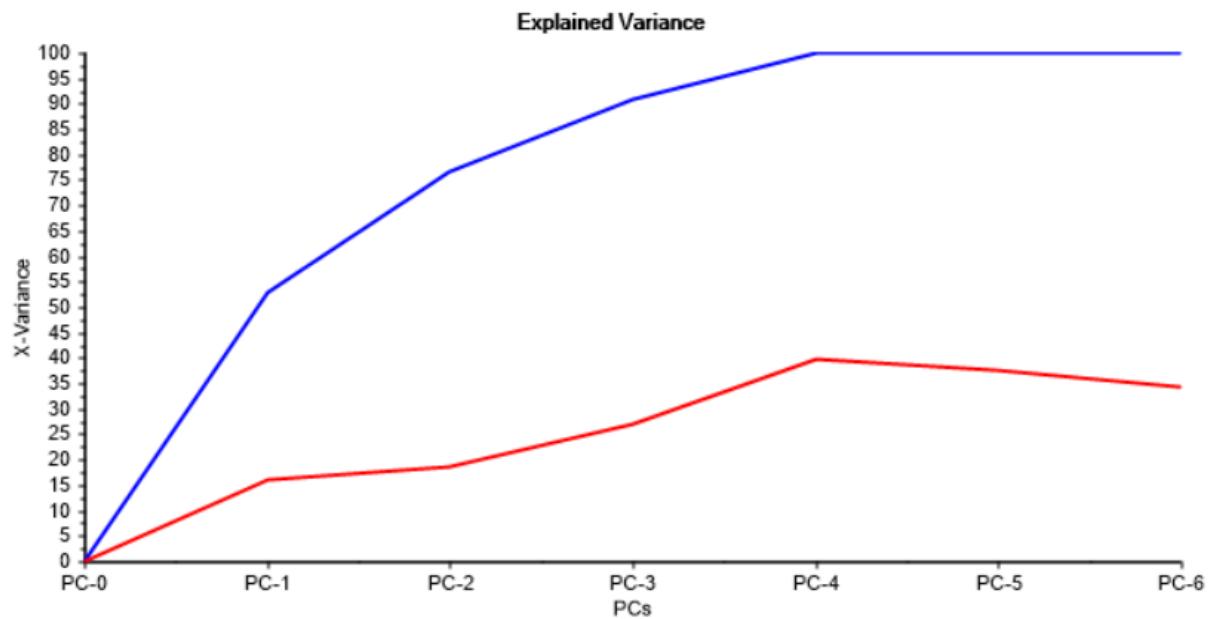


Figure 3.24 : Variance expliquée pour la marque M10 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

Finalement, les marques M9 et M10 sont éventuellement problématiques (voir les Figure 3.23 et Figure 3.24). En effet, en débutant avec la marque M9, la validation croisée atteint un plateau seulement vers la cinquième composante principale. De plus, la variance expliquée attendue, étant un minimum de 90%, pour le modèle de cette marque est également atteinte à cinq composantes principales. Ce faisant, cinq composantes principales ont été analysées dans les prochaines analyses pour cette marque. La marque M10, moins problématique, a un plateau de variance expliquée dans sa validation croisée à quatre composantes principales et a une variance expliquée idéale dans le modèle en utilisant ce nombre de composantes principales. Ainsi, quatre composantes principales sont utilisées dans les analyses de cette marque. Ces deux dernières marques analysées utilisent donc un nombre de composantes principales supérieures à trois, impliquant des stratégies d'analyses qui seront détaillées dans les prochaines sections.

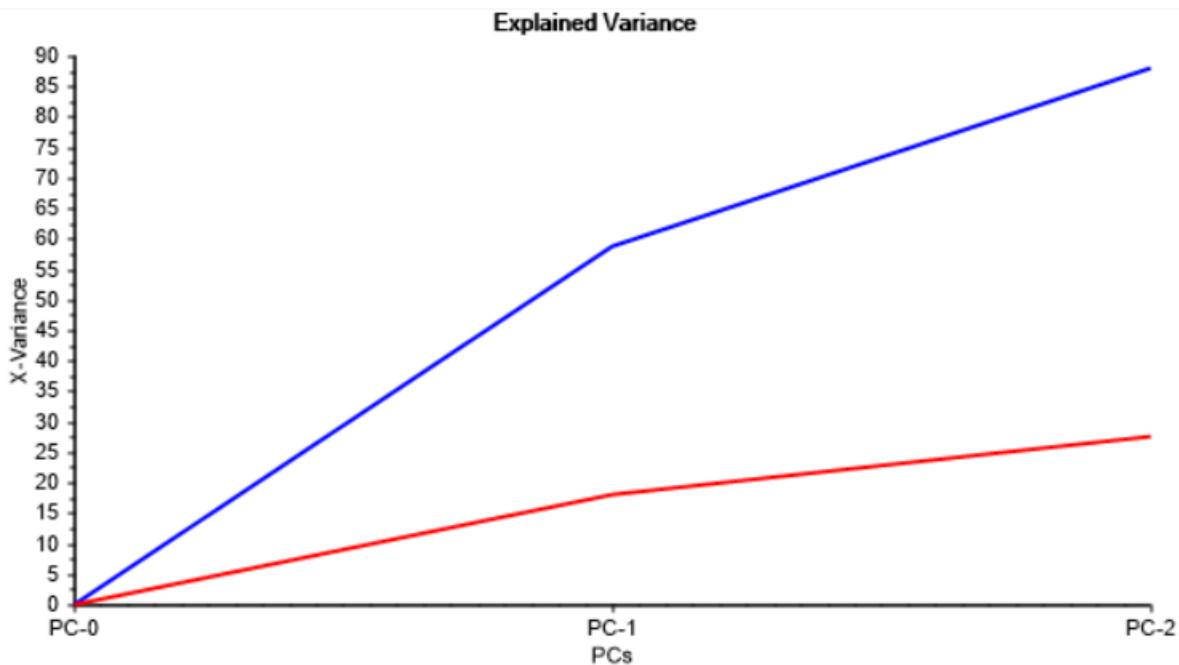


Figure 3.25 : Variance expliquée pour la marque M13 en fonction du nombre de composantes principales. La ligne bleu représente la variance expliquée du modèle et la ligne rouge représente la validation croisée de ce dernier.

Ultimement, la variance expliquée de la marque M13 est présentée sous la Figure 3.25. Cet exemple est utilisé pour illustrer ce que le manque de données produit : un modèle n'ayant pas de sens au niveau statistique. Ainsi, cette marque n'est pas analysée pour développer un profil chimique, tout comme pour

les autres marques n'ayant pas un nombre significatif de spécimens. Un tableau résumé du nombre de composantes principales par marques est présenté ci-dessous (voir Tableau 3.4).

Tableau 3.4 : Nombre de composantes principales utilisées pour les analyses suivantes selon la marque de parfum étudié.

Marques	Nombre de PC	Marques	Nombre de PC
M1	2	M16	NA
M2	2	M17	NA
M3	2	M18	NA
M4	3	M19	NA
M5	3	M20	NA
M6	3	M21	NA
M7	3	M22	NA
M8	3	M23	NA
M9	5	M24	NA
M10	4	M25	NA
M11	3	M26	NA
M12	NA	M27	NA
M13	NA	M28	NA
M14	NA	M29	NA
M15	NA		

3.2.3.2 Diminution du nombre de variables dans l'analyse par PCA

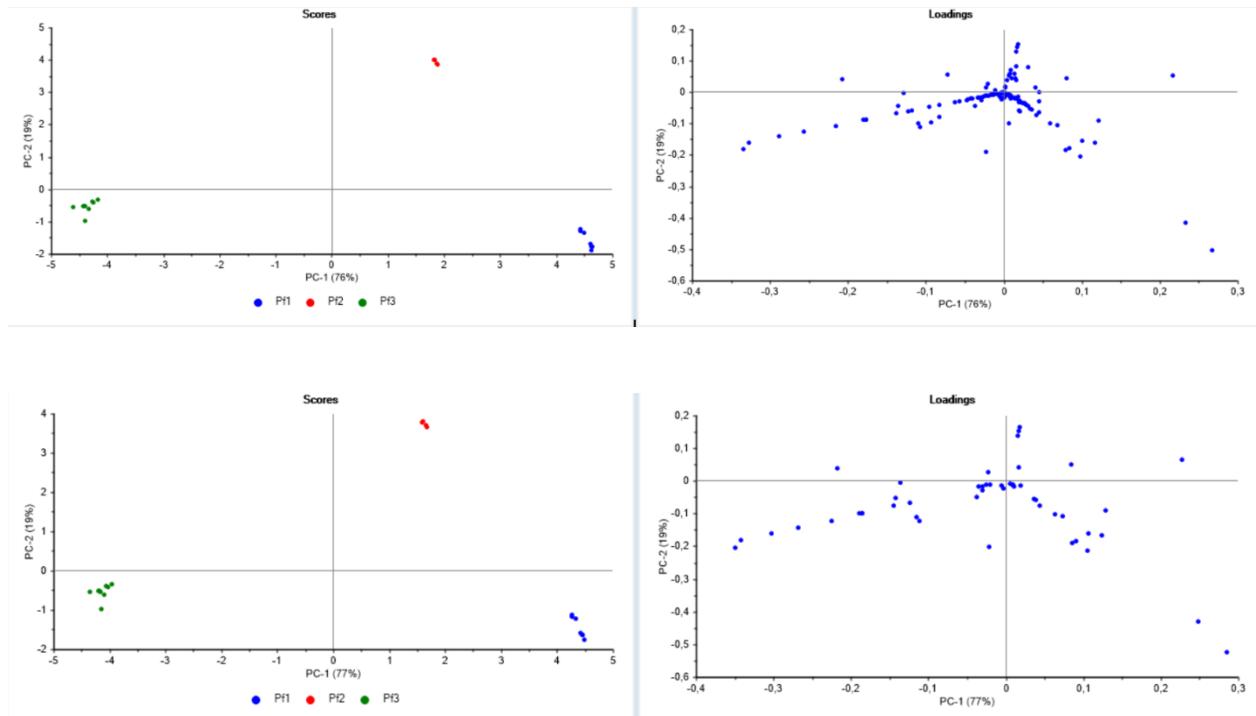


Figure 3.26 : Représentation de la diminution de variables (Loadings) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M1. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.

Lorsque le nombre de PC optimal a été déterminé pour les analyses, un nettoyage des données a été réalisé. Celui-ci permet de simplifier le jeu de données étudié en éliminant les variables ayant le moins d'impact sur les analyses, c'est-à-dire que les variables étant au centre de l'analyse en composantes principales peuvent être enlevées et cela aura peu, voir pas, d'impact sur les analyses subséquentes. Dans l'exemple ci-dessus, pour la marque M1, il est possible d'observer les variables à la droite de l'image avant et après le nettoyage. Le graphique de gauche demeure intact tout en simplifiant la quantité de variables utilisées pour le modèle. Cette simplification va permettre de préciser les profils chimiques et simplifier l'ajout de spécimen dans le modèle pour des analyses futures.

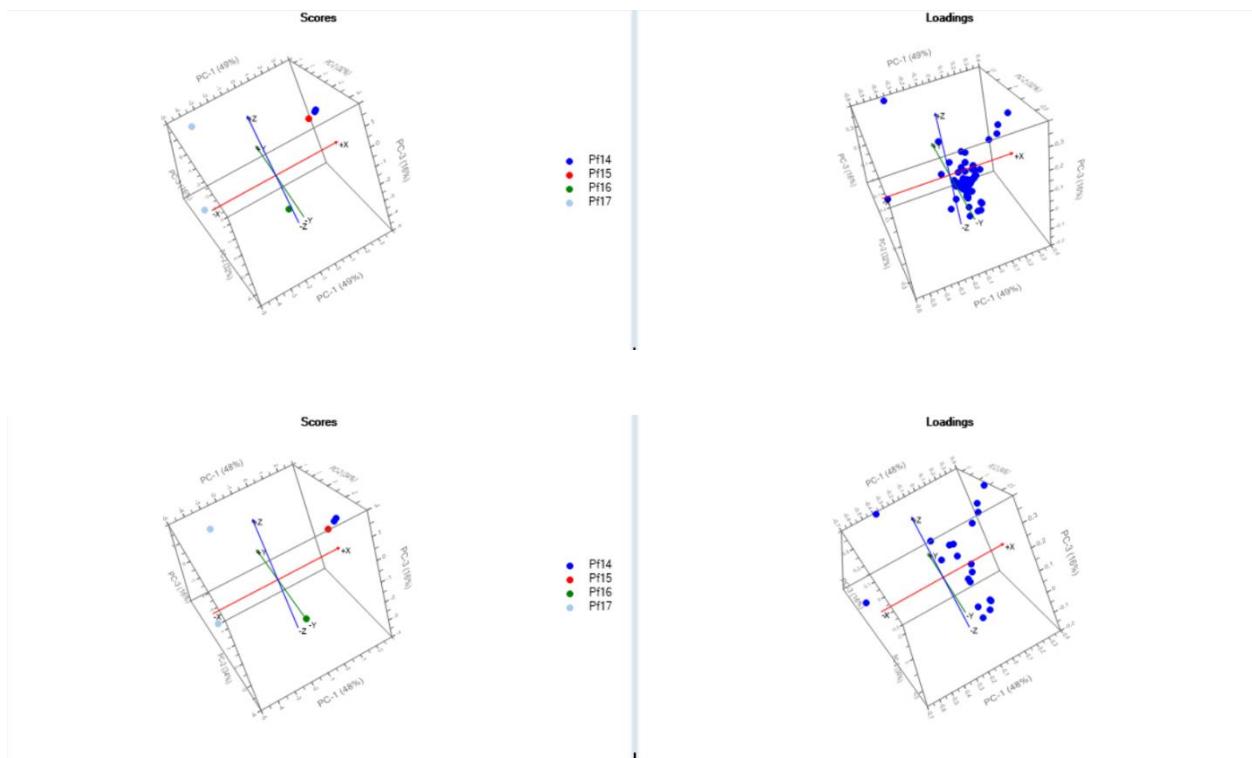


Figure 3.27 : Représentation de la diminution de variables (Loadings) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M4. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.

Dans l'exemple ci-dessus, les variables conservées ont été déterminées en fonction des deux composantes principales. Dans les cas où il y a plus de deux composantes principales, c'est-à-dire dans les analyses pour les marques M4 à M11, il est important de considérer chacun de ces PC afin de bien évaluer la pertinence d'une variable (voir Figure 3.27). En effet, une variable pourrait éventuellement être discriminante dans la troisième PC, mais ne l'est pas nécessairement dans les deux premières. Ainsi, il est crucial de considérer la dispersion des variables dans le graphique des variables en considérant les trois composantes principales, tel que déterminé précédemment.

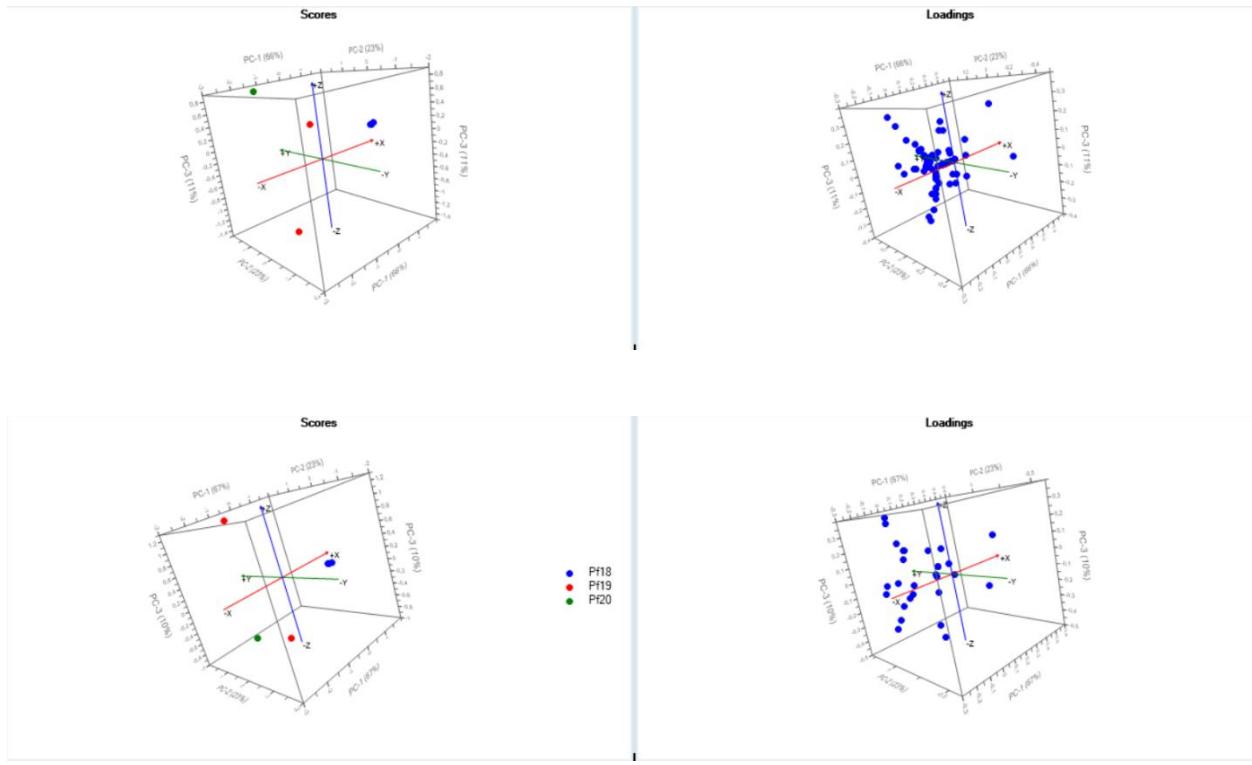


Figure 3.28 : Représentation de la diminution de variables (Variables) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M5. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.

Dans certains cas, après le nettoyage des données, le graphique est inversé (voir Figure 3.28). Cependant, cela n'a pas d'impact sur l'attribution des groupes de parfums ayant les mêmes profils chimiques. La simplification du modèle est alors conservée malgré les changements dans le graphique.

Les marques M9 et M10, comme décrit plus tôt, sont plus complexes à analyser puisque l'analyse doit comporter plus de trois composantes principales. Dans le cas de ces marques, la stratégie utilisée pour évaluer la pertinence des variables est l'analyse d'une composante à la fois. Ainsi, pour chaque PC utilisé pour ces marques, les variables les plus discriminantes sont conservées pour les analyses. Ainsi, les variables permettront de mieux évaluer les profils chimiques en fonction des différentes composantes principales utilisées.

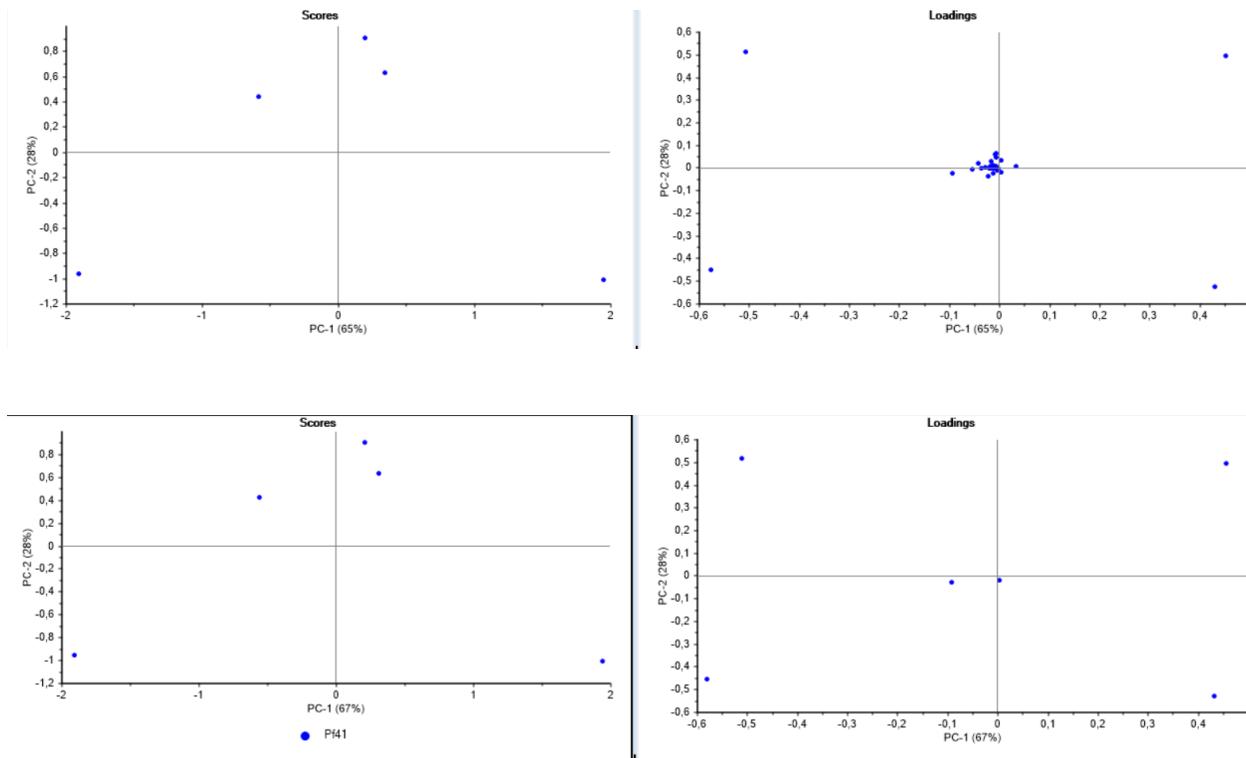


Figure 3.29 : Représentation de la diminution de variables (Variables) sur la distribution des entités étudiées dans l'analyse en composantes principales (Scores) pour les parfums contrefaits de la marque M12. Les graphiques du haut n'ont pas été modifiés par la diminution de variables.

La marque M12 est présentée sous la Figure 3.29, représentant la marque M13 également, où il est possible d'évaluer la pertinence de l'étude des parfums lui étant associée. En effet, la graduation de l'axe de la PC2 est très faible, indiquant une faible séparation entre les parfums dans cet axe. De plus, un seul modèle de parfum est étudié dans ces marques. Cela peut influencer les résultats puisque, à première vue, les parfums semblent être dispersés dans l'espace de l'analyse. Cependant, dans l'éventualité où il y aurait un deuxième modèle, il serait probable que ces parfums se regroupent ensemble sous un même profil chimique. Ainsi, ces marques sont écartées pour la suite des analyses.

3.2.3.3 Résultats de l'analyse par PCA

Une fois les paramètres optimisés pour les analyses en composantes principales, les données peuvent alors être utilisées pour établir les groupes de parfums partageant les mêmes profils chimiques.

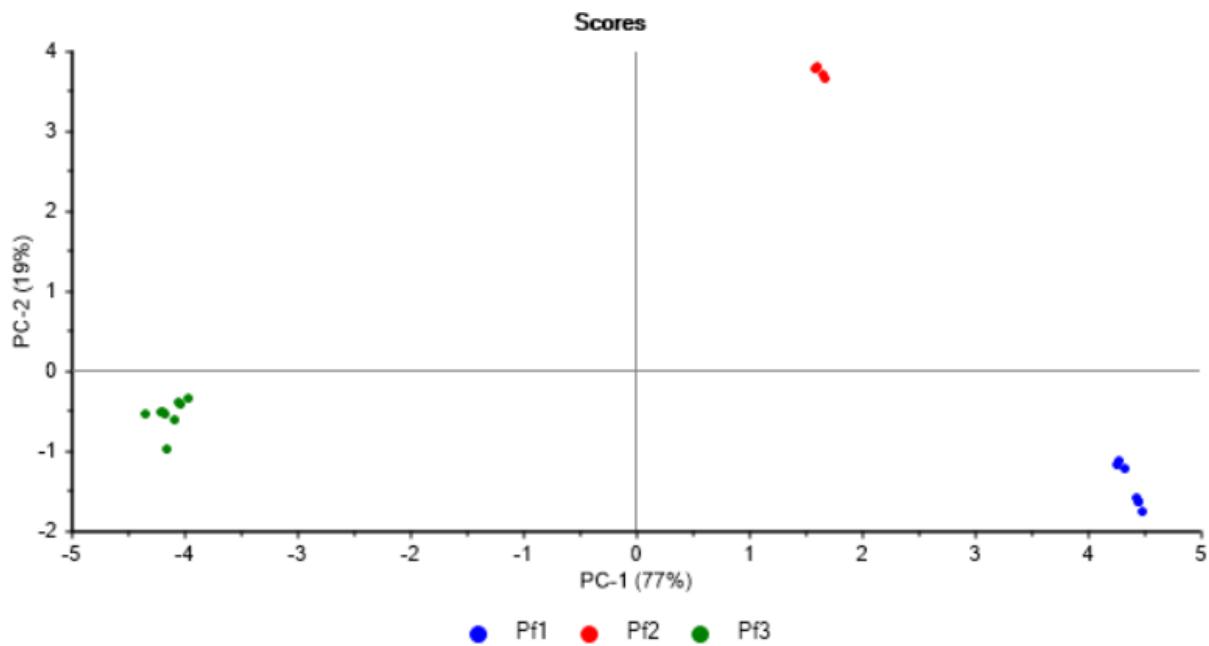


Figure 3.30 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l’analyse en composantes principales pour la marque M1. En bleu, Pf1; en rouge, Pf2; en vert, Pf3.

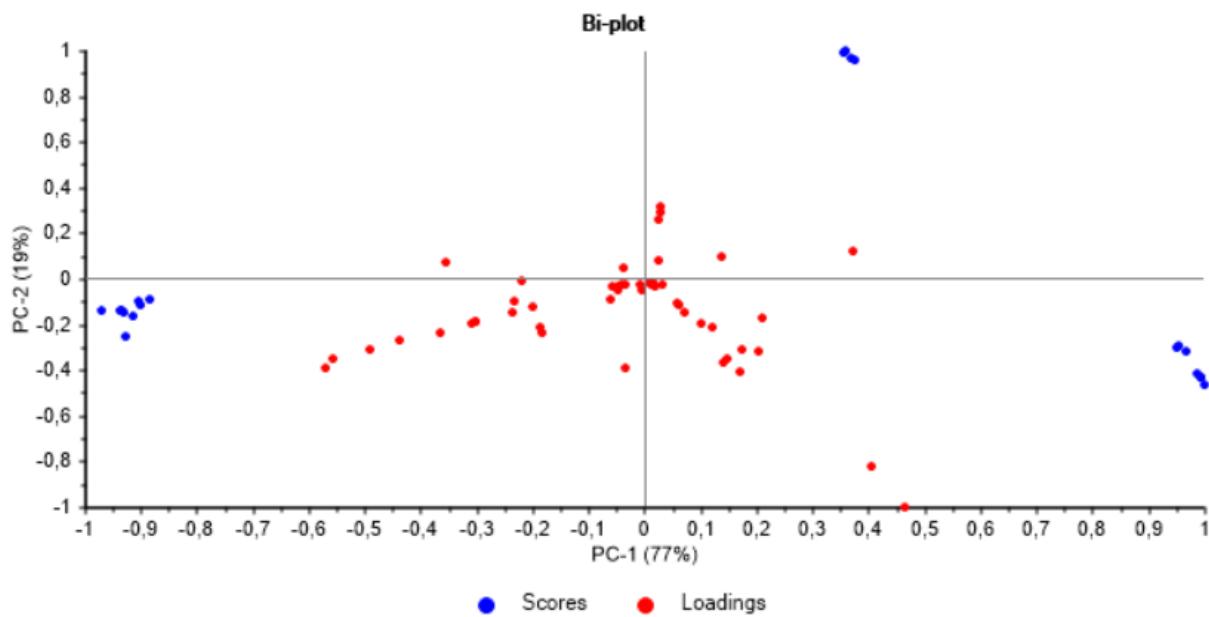


Figure 3.31 : Exemple de la représentation de la dispersion des variables (rouge) et des entités (bleu) étudiées de la marque M1 dans un même graphique (Bi-plot). Les parfums contrefaits (bleu) ne sont pas différenciés dans ce graphique.

Une fois les paramètres d'analyse établis, l'analyse par PCA peut alors être réalisée. Il est alors possible d'établir les groupes de parfums, voir la Figure 3.30, et les variables permettant de les discriminer. L'ensemble de ces variables discriminantes, pour un groupe de parfums donné, représenteront un profil chimique. Ainsi, l'exemple présenté ci-dessous, pour la marque M1, permet d'identifier avec simplicité les différents groupes de parfums contrefaits appartenant à la marque étudiée. Dans ce cas-ci, les parfums de mêmes modèles sont regroupés ensemble et ceux de différents modèles sont discriminés les uns par rapport aux autres. Avec le graphique des variables, tel qu'illustré sur la Figure 3.31, il est ainsi possible d'attribuer les variables permettant d'observer cette discrimination entre les trois différents groupes de parfums contrefaits.

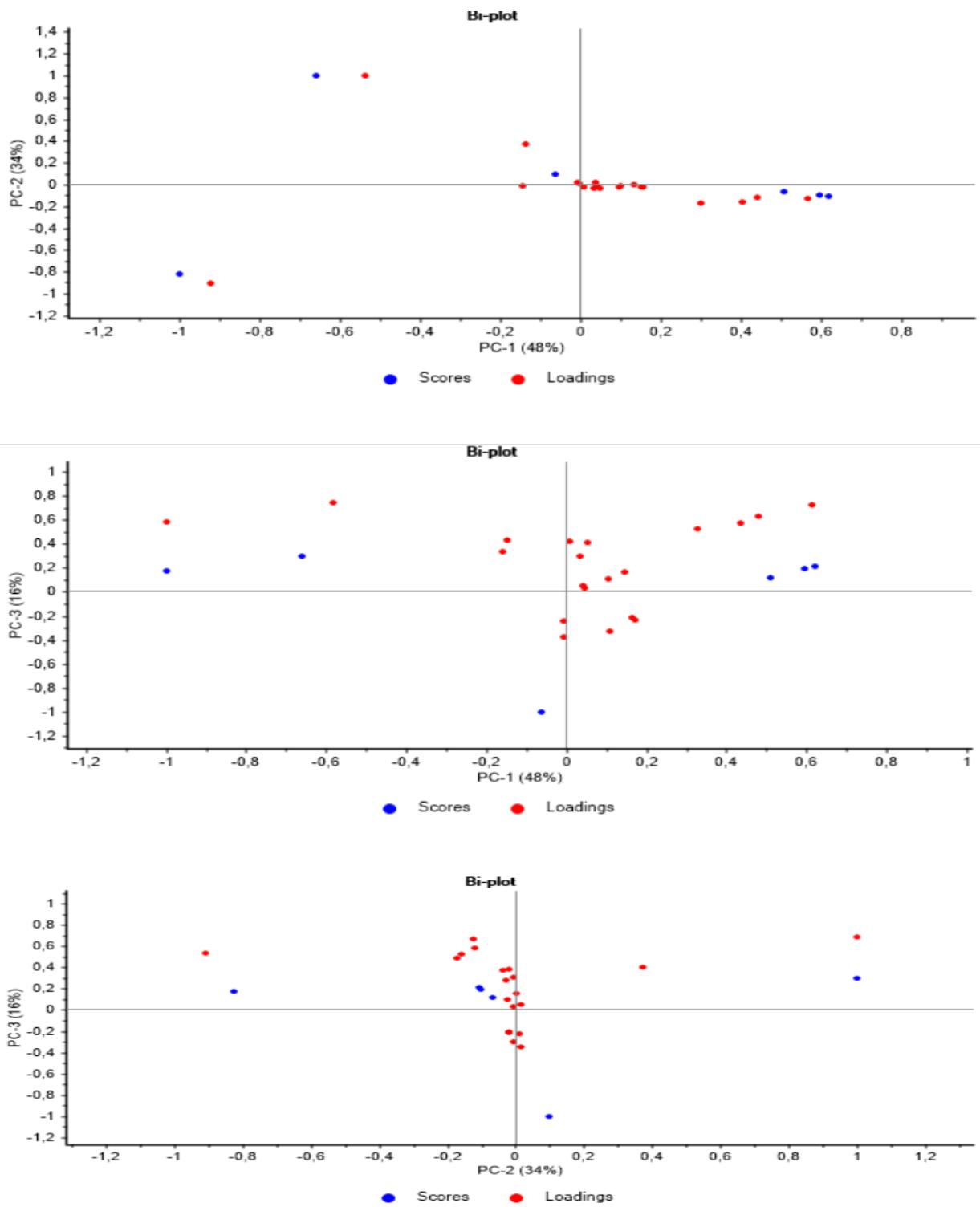


Figure 3.32 : Exemple de représentation, pour la marque M4, de la dispersion des variables (rouge) et des entités (bleu) étudiées dans un même graphique (Bi-plot) selon les paires de composantes principales utilisées. Les parfums contrefaits (bleu) ne sont pas différenciés dans ces graphiques.

Cette étape est réalisée pour l'ensemble des marques de parfums ayant un nombre significatif de parfums pour développer des profils chimiques ayant un poids statistique. Dans le cadre des analyses pour les marques M4 à M8 et pour la marque M11, les profils chimiques ont été déterminés en utilisant des analyses en trois dimensions. Pour les analyses, que ce soit en 2D ou 3D, les variables étant dans la même orientation, donc dans le même quadrant, que les entités étudiées dans le graphique des scores sont discriminantes et représentent le profil chimique du groupe de parfums observé, comme illustré sur la Figure 3.31. La même démarche peut être appliquée pour les parfums des autres marques étudiées. En utilisant trois composantes principales, ce type de graphique, le Bi-plot, doit être visualisé en fonction des paires de composantes principales désirées, soit 1-2, 1-3 et 2-3 (voir Figure 3.32). Il est principalement utilisé pour confirmer les profils chimiques obtenus en comparant les graphiques des variables et des scores, en utilisant trois composantes principales chacune, selon l'emplacement des entités et des variables dans l'espace de l'analyse en composantes principales.

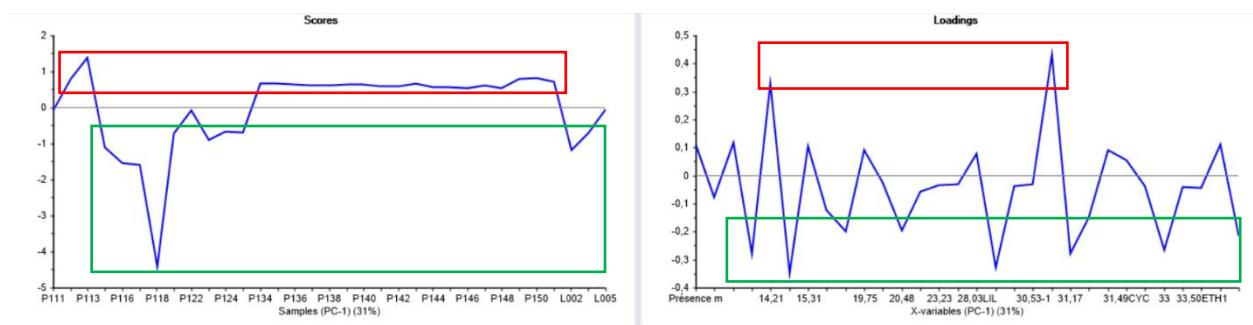


Figure 3.33 : Exemple de processus utilisé pour l'analyse des marques utilisant plus de trois composantes principales. Ici, l'exemple est selon la marque M9 et la première composante principale. Les rectangles vert et rouge représentent les objets partageant une même discrimination, dans le graphique des Scores, et les variables permettant leur discrimination, dans le graphique des Loadings.

Pour les marques M9 et M10, comme observé dans l'identification des variables discriminantes, les profils chimiques sont établis en fonction des composantes principales analysées une à la fois. Ainsi, tel qu'illustrer à la Figure 3.33, pour la marque M9, les entités étant dans la même orientation, et de la même intensité dans la graduation de la PC1, sont considérés comme étant un groupe de parfums. Les variables dans cette même orientation permettent alors de les discriminer des autres parfums et forment le profil chimique. Cette étape est répétée pour chaque composante principale utilisée. Dans l'exemple, l'encadré en rouge représente un potentiel groupe de parfums ayant un profil chimique similaire, selon la PC1, et

pareillement pour l'encadré vert. Leur profil chimique correspondant est l'ensemble des composés présents dans les encadrés correspondant dans le graphique des variables.

Tableau 3.5: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M9.

Molécule discriminante	M9								
	P134-P151, L005	P111	P112	P113	L002	L004	P119, P122- P125	P114, P116, P117	P118
Présence éthanol?	-	PC5	PC5	PC5	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
Présence méthanol?	PC5	-	PC5	-	-	-	PC5	PC5	PC5
13,6	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
13,67	-	-	PC2	PC2	-	-	-	-	PC2
14,01EUC	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
14,15PROP	-	PC3	-	PC5	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
14,21	PC1	PC1	PC1	PC1	-	-	PC5	PC4	PC3
15,18	-	-	PC2	PC2	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
15,31	PC4	PC4	-	-	PC4	PC4	PC4	-	PC4
15,37	-	PC3	PC4	PC4	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
15,56OCT	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
16,22	-	PC5	-	PC5	PC5	PC5	-	-	-
19,15	PC5	-	PC5	-	-	-	PC5	PC5	PC5
19,75	PC5	-	PC5	-	-	-	PC5	PC5	PC5
20,48	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
21,87	-	PC5	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
26,7	-	PC5	-	PC5	PC5	PC5	-	-	-
28,03LIL	-	PC5	-	PC5	PC5	PC5	-	-	-
29,42PHT	-	-	PC4	PC4	PC1	PC1	-	PC1	PC1
30,18OCT	-	PC3	-	-	PC3	-	PC3	-	-
30,37CED	-	PC3	-	-	PC3	-	PC3	-	-
30,9	PC1	PC1	PC1	PC1	-	-	-	30,9	PC2
31	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
31,17	-	-	PC2	PC2	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
31,24AMB	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
31,34AMB	PC5	-	PC5	-	PC1	-	PC1	PC1	PC1
31,34DIM	-	PC5	-	PC5	-	-	-	-	-
31,49CYC	-	PC5	PC4	PC4	-	-	-	PC4	-
31,49PAT	PC4	-	-	-	PC4	PC4	-	-	PC3
31,49BIC	-	-	-	-	-	-	PC3	-	-
31,77	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1

31,88AMB	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
33	-	-	-	-	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1
33,49	-	PC5	-	PC5	PC5	PC5	-	-	-
33,50ETH1	-	PC3	-	-	-	-	PC3	-	-
35,07	-	PC3	-	-	PC3	-	PC3	-	-
38,39	PC5	-	PC2	PC2	PC1	PC1	PC1	PC1	PC1

Note : La première ligne correspond aux molécules identifiées permettant de discriminer les groupes de parfums. Lorsque la molécule permet de discriminer les groupes de parfums, la première composante principale où la molécule est identifiée est inscrite. Ainsi, pour la molécule 14,21 et les parfums P134-P151 et L005, c'est la première composante principale qui les discrimine avec cette variable des autres parfums.

En ajoutant des composantes principales, une à la fois, la discrimination des parfums est de plus en plus importante et les profils chimiques obtenus sont de plus en plus discriminants. Il est important de considérer la discrimination observée dans la première composante principale comme étant plus importante, étant donné que sa variance expliquée est plus élevée que la discrimination observée dans la PC2 et ainsi de suite jusqu'à atteindre les composantes principales plus élevées. Ainsi, dans le cas où des parfums sont regroupés ensemble dans une composante principale, mais qu'ils sont préalablement séparés dans une composante principale ayant une variance expliquée plus élevée, ils ne seront pas considérés comme étant un groupe de parfums. La discrimination des premières composantes principales prévaut à celle observée dans les composantes principales suivantes. La même stratégie d'analyse est appliquée pour la marque M10 en utilisant cette fois-ci quatre composantes principales.

Tableau 3.6 : Tableau résumé des regroupements de parfums contrefaits partageant un même profil chimique.

Marques	#Groupe	Parfums	Marques	#Groupe	Parfums
M1	G1	P061- P066, P080	M7	G1	P001-P002
	G2	P067-P070		G2	L001
	G3	P071-P079		G3	P016-P020
	G1	P003-P005		G4	P021-P024
M2	G2	P081- P082, P130	M7	G1	P134- P151, L005
	G3	P059-P060		G2	P111
	G1	P100-P101		G3	P112
	G2	P097, P102		G4	P113
M3	G3	P095, P096	M9	G5	L002
	G4	P098, P099		G6	L004
	G1	P132		G7	P119, P122-P125
	G2	P131		G8	P114, P116, P117
M4	G3	P129		G9	P118
	G4	P013, P014, P127		G1	P106
	G1	P047	M10	G2	P107
	G2	P048		G3	P108-P110
M5	G3	P052		G4	P103
	G4	P036-P038		G5	P104-P105
	G1	P011		G1	P085-P087
	G2	P009		G2	P133
M6	G3	P089	M11	G3	P006
	G4	P008, P088, P090		G4	P083, P084
				G5	P007

Les profils chimiques obtenus pour chaque marque étudiée sont présentés à l'annexe C. Les identifiants sont les temps de rétentions obtenus pour identifier les différentes molécules discriminantes observées pour chaque groupe de parfums. Ces résultats sont discutés dans le prochain chapitre.

3.2.4 Évaluation de la précision des analyses par PCA

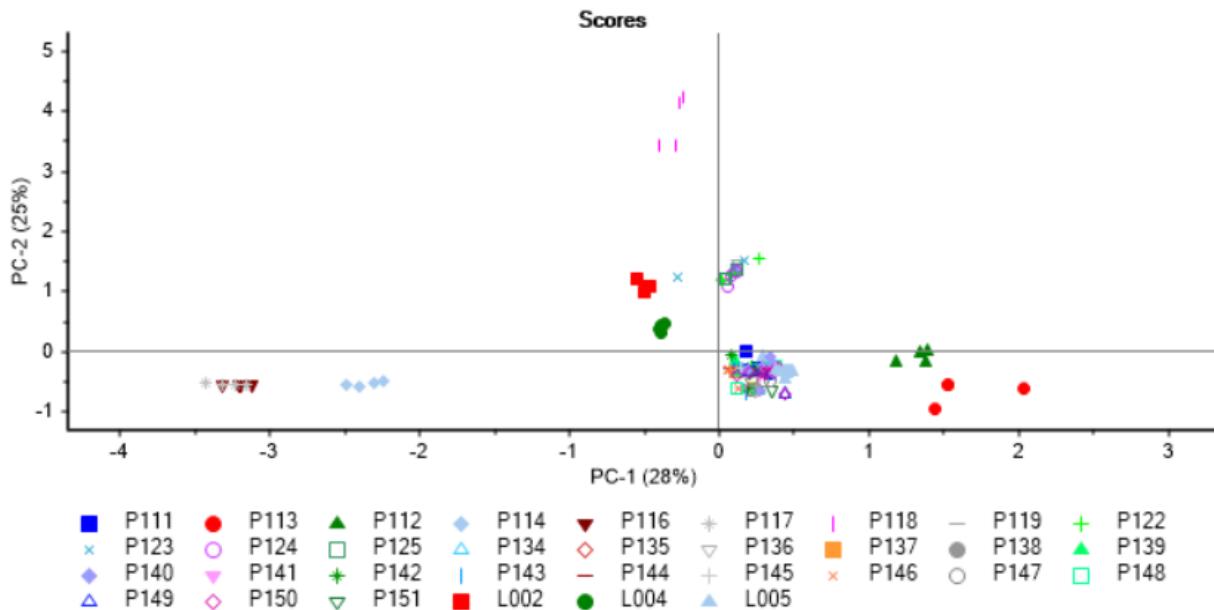


Figure 3.34: Évaluation de la précision de l'entièreté de la méthode d'analyse.

Afin de s'assurer, de la pertinence des résultats, la précision de l'ensemble des analyses, chimique et statistique, a été évaluée. Ainsi, après un an d'entreposage, un triplicata de chaque parfum de la marque M9 a été analysé, avec la méthode par GC-MS utilisée précédemment, et traité, avec les variables identifiées dans les profils chimiques de ces groupes de parfums, avec une analyse en composantes principales. Idéalement, les critères de validation de robustesse et de répétabilité auraient pu être définis plus rigoureusement au début de l'étude. Toutefois, à partir de cette évaluation, il est possible de s'assurer des points suivants:

- Les groupes de parfums observés initialement sont les mêmes.
- Les entités appartenant au même parfum sont regroupées ensemble, peu importe le moment de l'analyse, dans l'espace de l'analyse en composantes principales.

Ainsi, la proximité des entités dans l'analyse en composantes principales permet d'apprécier la similarité existante dans la composition chimique des parfums. Les résultats obtenus sont discutés plus en détail dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 4

Discussion

Dans ce chapitre, les premières sections mettent en place la pertinence des choix réalisées tout au long des analyses chimiques et des analyses statistiques. La précision des analyses chimiques et de la méthode analytique y est discutée. Ensuite, les observations réalisées sur le premier niveau d'analyse en composantes principales, plus précisément la comparaison entre les parfums contrefaits et authentiques, sont reprises afin de développer les généralités pour déterminer la présence des produits contrefaits. Les observations réalisées avec le deuxième niveau d'analyse sont ensuite discutées. Finalement, le chapitre se conclut avec une perspective sur les résultats obtenus pour chacune des marques de parfums, où les observations réalisées permettent d'inférer sur la production des parfums contrefaits à l'étude, ainsi qu'une discussion sur les limites de l'étude.

4.1 Retour sur les résultats du développement de la séquence analytique

4.1.1 Paramètres de l'analyse chimique

Étant donné que les parfums avaient fait l'objet d'une demande d'expertise par le milieu policier, afin d'établir s'il s'agissait véritablement de parfums contrefaits, auparavant, la méthode analytique du GC-MS avait déjà été testée et avait permis d'obtenir de bons résultats, soit une quantité acceptable de molécules.

Cependant, étant donné la nature毒ique du solvant utilisé, soit le CS_2 , un nouveau solvant était désiré pour améliorer les opérations, d'où l'intérêt de s'intéresser à un nouveau solvant pour la dilution des parfums. Ce solvant, en plus de diminuer sa toxicité, ne devait pas être présent dans les parfums provenant des saisies policières. À partir des tests préliminaires, le méthanol et l'éthanol ne pouvaient pas être utilisés. Le choix du solvant s'est arrêté sur le dichlorométhane qui permet d'analyser un plus grand nombre de molécules présentes dans les parfums. En effet, les résultats obtenus suggèrent que la détection de ces molécules dépend de leur solubilité.

Simultanément au choix du solvant, le facteur de dilution était analysé. La dilution n'est pas idéale pour l'analyse des parfums, puisque l'injection dans l'appareil n'exclut pas les molécules étant peu solubles. Cependant, étant donné la nature opérationnelle du projet de recherche, où les analyses ont été réalisées dans un laboratoire judiciaire n'ayant pas l'équipement pour développer une méthode en espace de tête, la préparation des spécimens s'est inspirée de l'article de Rastogi (1995). Ce dernier dilue les parfums

avant leur analyse et obtient de bons coefficients de variation, plus précisément en bas de 5% pour les différents composés de l'étude, indiquant que la méthode est précise. Mais encore, un concept couramment utilisé en science forensique est la pollution de la trace étudiée (Margot, 2014). Plus précisément dans le cadre de ce projet de recherche, la trace correspond à l'ensemble des composés présent dans les parfums à l'étude ainsi que leur concentration. La pollution représente la diminution de la qualité de la trace par les actions entreprises par l'individu prélevant ou analysant cette trace (Margot, 2014). La pollution doit être comprise par l'analyste et doit être le plus possible évitée afin de diminuer la complexité de l'interprétation des résultats. Ainsi, la dilution du parfum est une forme de pollution de la trace à l'étude, puisque différentes molécules sont ajoutées aux parfums volontairement. Le solvant de dilution devait alors ajouter un minimum de composés, évitant ainsi des possibilités de coélutions afin d'éviter l'attribution de fausses associations lors des analyses statistiques. Le solvant devait alors être de grade supérieur afin d'éviter ces pollutions, dans ce cas-ci le grade LC-MS du dichlorométhane utilisé, pur à plus de 99%, était idéal.

Le choix du standard interne a été le toluène-d8 puisqu'il élue à un temps de rétention ne permettant pas de coélution avec aucune autre molécule des parfums et parce qu'il est deutéré huit fois. Ce dernier aspect permet de bien l'identifier dans les analyses par spectrométrie de masse. De plus, cette molécule n'est pas présente dans les parfums contrefaits, ce qui permet d'éviter de polluer les parfums en augmentant la concentration d'une molécule ayant pour conséquence de la rendre plus discriminante dans les analyses statistiques.

4.1.2 Paramètres d'analyse en composantes principales

Dans cette section, les différents choix derrière les analyses en composantes principales sont expliqués. Les analyses ont été réalisées en tenant compte de la nature des composés, par leur temps de rétention et les spectres de masse leur étant associés, et les aires sous les pics qui ont été normalisées avec celle du standard interne. Le terme « concentration » est utilisé pour simplifier les propos tenus et parce que l'aire sous les pics est proportionnelle à la concentration des composés. L'utilisation de ces deux facteurs, soit la concentration et la nature des composés pour chaque parfum, permet d'obtenir une méthode discriminante par rapport aux observations qui sont réalisées dans l'étude. Les similarités observées, en comparant les compositions chimiques de chaque parfum, sont intéressantes puisque non seulement les mêmes composés peuvent se retrouver dans un groupe de parfums, mais également ces composés auront des concentrations similaires. Ce concept sera repris à la fin de ce chapitre.

4.1.3 Prétraitements des données

Les valeurs d'aires normalisées pour chaque composé de chacun des parfums varient. Celles-ci ont majoritairement des valeurs entre 0 et 1. Cependant, principalement dans la composition des parfums authentiques, les valeurs pouvaient être plus élevées que ce qui était observé pour le standard interne. Ces variables, sans prétraitements, auraient provoqué une augmentation de la variance observée dans les analyses principales. Généralement, pour les données d'analyses chromatographiques, il y a peu de prétraitements possibles. Il y a toutefois deux catégories de prétraitements possibles, soit d'appliquer un exposant ou une racine sur les données. L'exposant a pour effet d'exacerber la variance des variables permettant déjà une discrimination tandis que la variance des autres variables est diminuée. Au contraire, la racine permet de diminuer la variance des variables permettant une discrimination trop élevée et d'augmenter la variance des variables ne permettant pas de bien observer la discrimination. Ces prétraitements permettent respectivement de mieux définir les variables critiques ou d'homogénéiser la variance des variables. Dans l'objectif du projet de recherche, il est pertinent d'évaluer l'influence sur la variance de la composition chimique avec une plus grande quantité de composés, d'où l'intérêt pour le prétraitements de la racine carrée. La Figure 3.9 à la Figure 3.15 le montre bien, la comparaison entre les graphiques de variables pour un prétraitements par exposant au carré et un prétraitements par racine carrée comparée au graphique sans prétraitements indique que plus de variables peuvent être étudiées en utilisant la racine carrée. Ce prétraitements permet d'homogénéiser la variance des variables et permet de mieux explorer les variables en évitant d'avoir des variables avec une variance trop élevée comme ce qui est observé dans les prétraitements en appliquant un exposant carré aux données.

4.1.4 Choix du nombre de composantes principales

À travers le développement des différents modèles d'analyse en composantes principales, une des questions importantes à étudier est le nombre de composantes principales utiliser pour répondre à la question de recherche. Dans le cadre du projet, en considérant les deux niveaux d'analyses et les marques de parfums pouvant être analysées pour chacun de ces niveaux, un total de 16 modèles a été développé. Cependant, le premier niveau d'analyse et le second ne permettent pas de répondre à la même question. Le premier niveau permet de répondre à la fameuse question : sommes-nous en présence d'un produit contrefait ou pas? Ce faisant, la quantité de composantes principales n'a pas besoin d'être élevée, tant qu'il y a une bonne séparation entre les parfums authentiques et ceux contrefaits. Avec deux composantes principales, il est possible de bien séparer ces deux catégories de parfums. Les points bleus, parfums contrefaits, sont bien séparés des points rouges, parfums authentiques, dans les cinq modèles développés

pour ce niveau d'analyse, tel qu'il est possible d'observer à la Figure 3.16. À cette figure, il est possible d'apercevoir qu'un des parfums provenant d'une des deux saisies policières est similaire aux parfums contrefaçons, puisque la proximité des objets dans ce type d'analyse indique qu'ils partagent des variables similaires. Cela suggère qu'il y aurait un parfum authentique, P115, parmi les parfums des saisies policières ou que ce parfum est une contrefaçon étant reproduite le plus fidèlement possible à son parfum authentique (voir Tableau 2.1). Cette observation démontre alors l'importance de ce niveau d'analyse et permet d'exclure ce parfum pour le deuxième niveau d'analyse, puisque la variance lui étant associée risque d'augmenter la complexité du deuxième niveau.

Le choix du nombre de composantes principales pour le deuxième niveau repose également sur la réponse à une question de recherche, soit : est-ce que les parfums contrefaçons partagent des similitudes dans leur composition chimique? Cependant, étant donné le sens large de cette question, des paramètres précis ont été établis pour éviter d'utiliser des composantes principales contribuant faiblement à la compréhension de l'analyse. De façon générale, le nombre de composantes principales doit permettre d'atteindre une variance expliquée totale de 90% et plus, ce qui est suggéré dans la littérature (Varmuza p.77, 2009). Chaque composante principale devrait avoir une variance expliquée d'au moins 5%, puisque celles ayant des variances plus faibles ne contribuent pas significativement au modèle et complexifient l'interprétation par la suite (Esseiva, 2005). Afin de voir rapidement le nombre de PC devant être utilisé, des graphiques, tels qu'illustrés sur les Figure 3.18 à la Figure 3.25, permettent de bien visualiser l'augmentation de la variance expliquée totale avec l'augmentation du nombre de composantes principales. Cela permet de déterminer qu'en général, 2 à 3 composantes principales sont nécessaires pour atteindre 90% de variance expliquée totale (voir Tableau 3.4). Cependant, pour les marques 9 et 10, un nombre plus important doit être utilisé pour atteindre 90% de variance expliquée totale. Un nombre de composantes principales élevé complexifie beaucoup l'interprétation des résultats. C'est pourquoi la validation croisée, tracé rouge dans les Figure 3.18 à la Figure 3.25, est principalement utilisée dans ces cas. Cette validation croisée est obtenue en enlevant un objet à la fois, ensuite le modèle est reconstruit. Une fois que le modèle mathématique est développé, l'objet retirer est réinséré dans le modèle. La différence entre le modèle initial et celui développée par la validation permet d'évaluer la pertinence pour cet objet. En répétant le processus, le modèle en entier est évalué. La validation croisée permet ainsi de valider la variance expliquée du modèle et permet d'évaluer la pertinence des composantes principales du modèle. Ainsi, pour les modèles des marques 9 et 10, la variance expliquée totale indiquerait d'utiliser au minimum six composantes principales pour la marque 9 et cinq composantes principales pour la marque 10. Cependant,

la validation croisée indique que les dernières composantes de ces modèles ne sont pas significatives (voir tracé rouge, Figure 3.23 et Figure 3.24). Dans le cas de la marque 9, la validation croisée indique qu'il n'y a pas de différence significative entre la cinquième et la sixième composante principale. Ainsi, pour cette marque, seulement cinq composantes principales sont utilisées. Pour la marque 10, la validation croisée indique qu'il y a une baisse de variance expliquée en utilisant la cinquième composante principale. Ceci indique qu'en utilisant plus de quatre composantes principales la pertinence du modèle mathématique diminue. Ainsi, un maximum de quatre composantes principales est utilisé pour cette marque. Ces deux marques sont problématiques, puisque l'étude de leurs variables est complexifiée puisqu'il y a plus de trois composantes principales, donc plus de trois dimensions, qui sont analysées. Il y a alors différentes stratégies qui sont utilisées pour l'analyse des variables de ces deux marques.

4.1.5 Détermination des variables discriminantes

Les identifiants des variables sont les temps de rétentions et correspondent aux différentes molécules rencontrées dans les analyses des parfums, celles-ci représentant différents spectres de masse. Lorsque deux molécules différentes ont un même temps de rétention, mais ont des spectres de masse différents, une abréviation du composé, généralement les trois premières lettres du nom du composé, est ajoutée à l'identifiant. Il est important de préciser que, dans le cas de co-élution, les composés étant superposés dans un même parfum sont considérés comme étant une molécule différente puisque le spectre de masse correspond au pic sera différent. Il est également pertinent de mentionner que les noms des molécules ne sont pas divulgués dans ce mémoire. L'identification des molécules n'est pas officielle puisqu'aucun standard n'a été analysé et l'identification avec la base de données NIST 20.0L n'a pas tout le temps un bon taux de correspondance. La nature des molécules établies dans les profils est toutefois discutée dans les prochaines sections.

Les analyses en composantes principales permettent d'explorer les variables les plus significatives dans la variance expliquée pour chaque composante principale. Celles ayant le moins d'impact sur la variance du modèle peuvent alors être enlevées afin de simplifier ce dernier. Cette étape a été réalisée pour chaque modèle de façon à conserver la distribution des objets dans l'espace de l'analyse en composantes principales (voir Figure 3.26 à Figure 3.29). La simplification des modèles est réalisée afin de s'assurer de conserver les données les plus discriminantes seulement. Celles-ci serviront pour l'établissement des profils chimiques.

4.2 Précision des mesures

Afin de s'assurer de la pertinence des observations, deux évaluations ont été réalisées afin d'évaluer la précision de la méthode analytique complète. La première est par le coefficient de variation du standard interne, indiquant ainsi s'il y a des variations dans les analyses chimiques et si la préparation des spécimens est réalisée précisément pour chaque injection. La deuxième mesure est un test, dans l'analyse en composantes principales, avec un ajout d'un triplica pour chacun des spécimens à l'étude pour la marque M9.

4.2.1 Coefficient de variation lors des analyses chimiques

Les coefficients de variations sont listés sur le Tableau 3.2. Ces coefficients ont été calculés avec l'aire du standard interne en fonction des séquences d'injection. Les coefficients varient entre 6% et 10% pour la majorité des injections, ce qui indique une bonne précision dans les manipulations pour la préparation et l'injection dans l'appareil. Toutefois, la dernière injection est légèrement problématique, considérant que le coefficient de variation est de 17%. Cette variation peut être due à l'utilisation de deux solutions mères différentes lors de la préparation des spécimens de cette séquence d'injection. Toutefois, les coefficients de variation acceptés en général par la communauté scientifique sont de $\leq 20\%$ (UNODC, 2009). De plus, ces critères sont spécifiés pour les concentrations déterminées par étalonnage, il est alors acceptable d'avoir des coefficients légèrement plus élevés en utilisant directement les aires des pics. Les variations pouvant être observées pour les autres composés seront corrigées par la normalisation de leurs aires avec celle du standard interne. Une attention particulière a été portée sur les spécimens analysés lors de cette séquence dans l'analyse en composantes principales afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de résultats aberrants. Étant donné que la majorité de ce qui a été injecté est de la marque M9 et du modèle Pf33 (voir Tableau 2.1), et que ceux-ci partagent un même profil chimique (voir Tableau 3.5), cela suggère que la variation dans les analyses chimiques a peu d'influence dans l'interprétation une fois que les aires ont été normalisées et prétraitées.

4.2.2 Test de reproductibilité de la méthode analytique

Une fois les observations réalisées, la précision de la méthode analytique complète a été évaluée en ajoutant à l'analyse en composantes principales de la marque M9, pour les parfums contrefaits seulement, un triplica pour chaque spécimen. L'objectif derrière cette analyse est d'évaluer la proximité entre les objets étudiés au début de l'étude et les triplicas des analyses réalisées sur les mêmes spécimens une année après. Plus précisément, chaque parfum a été conservé dans un vial ambré de GC-MS pendant un

an dans un réfrigérateur pour ensuite être préparé suivant les mêmes étapes, cette fois-ci en triplica, pour l'injection dans l'appareil. Les données ont été recueillies et ont été ajoutées à l'analyse en composantes principales (voir Figure 3.34). Ainsi, on peut apercevoir que les regroupements de parfums correspondent ensemble, puisque les spécimens préparés sont regroupés ensemble selon les modèles de parfums. Ce qui suggère que la méthode analytique, peu importe si l'injection avait été réalisée dans un intervalle d'une année, reste stable et indiquerait des résultats similaires. Cela suggère également que l'utilisation des aires normalisées est adéquate et confirme l'observation réalisée pour le coefficient de variation de la dernière injection. Il est important de mentionner que seulement deux composantes principales sont utilisées ici puisque le but est de visualiser si les parfums sont près dans l'espace de l'analyse en composantes principales. L'augmentation du nombre de composantes principales maximisera la discrimination des groupes que l'on observe déjà.

4.3 Analyse en composantes principales

4.3.1 Premier niveau d'analyse : comparaison entre parfums contrefaits et authentiques

L'intérêt de réaliser cette étape est de s'assurer qu'il y a des différences entre les parfums provenant des saisies policières et ceux authentiques et de les identifier. Comme mentionné plus tôt, cinq marques ont été étudiées à ce niveau d'analyse afin de développer des généralités sur l'ensemble des marques étudiées. Ainsi, la composition des parfums contrefaits et des parfums authentiques a été étudiée, séparément pour chaque marque, par analyse en composantes principales. Un exemple de résultat est montré à la Figure 3.16. Ainsi, il est possible d'apercevoir une bonne distinction entre les parfums contrefaits (points bleus) et ceux authentiques (points rouges).

Cependant, une observation importante réalisée à ce niveau d'analyse est la proximité des parfums contrefaits, cela pour chacune des marques étudiées à ce niveau. Cela signifie que les parfums contrefaits partagent des aspects communs dans leur composition chimique, peu importe le modèle de parfums étudié. Les variables communes dans les parfums contrefaits correspondent aux points observés dans le graphique des « variables » étant dans la même orientation que les objets par rapport aux axes du graphique des « scores ». Le graphique « bi-plot » (voir Figure 3.17) permet de mieux visualiser le concept, où les objets sont en bleu et les variables en rouge. Ainsi, il est possible d'identifier les variables les plus discriminantes pour les parfums contrefaits. Ces variables sont listées dans le Tableau 3.3. Il est possible d'apercevoir des composés se répétant à travers les marques, par exemple le méthanol et les identifiants 13,67, 14,21 et 29,42PHT. Les variables 13,67 et 14,21 ont été identifiées par la librairie NIST 2.0L comme

étant du dipropylène glycol. En examinant de près les données obtenues, cette molécule est également absente de la composition chimique des parfums authentiques. La présence de deux temps de rétention, avec un écart relativement important, pour une même molécule pourrait signifier l'utilisation de différents isomères de la part des faussaires. L'identifiant 29,42PHT correspond au diéthyle phtalate, représentant une famille de composés suspectés d'être toxique (Chisvert p.250, 2007). Cependant, ce composé est également présent dans certaines marques, comme la marque M10 ayant dans la composition chimique des parfums authentiques étudiés cette molécule. La dernière molécule d'intérêt dans la composition chimique des parfums contrefaits est le méthanol. Ce solvant avait été remarqué dans une majorité des analyses et est réputé pour être toxique lorsqu'inhalé. Les analyses en composantes principales montrent bien comment ce composé est discriminant pour les parfums contrefaits. Cependant, cette variable n'est pas identifiée dans la marque M10. Cela peut être dû aux faits que cette variable a été insérée dans les analyses comme étant une variable catégorique (présent/absent), d'où le nom de la variable « Présence de méthanol? ». Ainsi, cette variable peut avoir une explication de la variance observée plus faible par rapport aux autres étant donné que les autres variables sont numériques.

4.3.2 Deuxième niveau d'analyse : développement des profils chimiques

Les profils chimiques pour chaque marque de parfums ont été développés séparément et permettent de classifier les regroupements de parfums en fonction de ces profils (voir

Tableau 3.6). L'identification des variables a été réalisée de la même façon que celle décrite pour l'identification dans le premier niveau d'analyse, excepté pour les marques M9 et M10. Les variables pertinentes ont été identifiées individuellement par composante principale. L'identification des variables pour la marque M10, ainsi que la définition des groupes de parfums contrefaits, n'a pas été problématique

puisque les groupes se répetaient lors de l'analyse de chaque composante principale. L'analyse de la marque M9 s'est beaucoup compliquée, notamment par l'utilisation de cinq composantes principales (voir

Tableau 3.5). Un code de couleur a été utilisé pour déterminer quelles composantes principales ont permis de détecter en premier les variables discriminant les groupes identifiés. Par exemple, le premier groupe de parfums identifiés, P134-P151 et L005, a été discriminé des autres parfums plus précisément avec des variables identifiées à la cinquième composante principale. Il y a également la variable 14,21 qui permet de discriminer ce groupe de parfums par rapport aux autres par l'analyse de la première composante principale. Toutefois, il est possible d'apercevoir que cette variable est également discriminante chez d'autres groupes de parfums et, au contraire, ne l'est pas dans d'autres groupes. Ceux-ci, n'étant pas discriminés par la variable 14,21 avec la première composante principale, sont toutefois discriminés à partir d'autres variables. En répétant ces observations, il est possible d'apercevoir qu'il y a deux groupes importants de parfums contrefaits, puisqu'ils partagent un nombre élevé de variables discriminantes entre eux. C'est en augmentant le nombre de composantes principales que la discrimination a lieu entre ces deux groupes principaux de parfums contrefaits. Cela laisse croire que les critères de discrimination sont peut-être trop sévères, bien que ceux-ci ont été établis en fonction d'études antérieures (Esseiva, 2005) afin d'éviter une discrimination sur la base de variables expliquant une faible variance, celles-ci pouvant être représentatives de contamination ou de pollution de la trace chimique étudiée. Cet aspect sera repris à la section 4.5.

La comparaison entre les groupes de parfums obtenus pour les différents profils chimiques (voir

Tableau 3.6) et les parfums selon leurs modèles, comme décrits dans le Tableau 2.1, permet d'observer que, malgré quelques exceptions, les groupes de parfums, discriminés par leurs profils chimiques, représentent les modèles de parfums à l'étude. Un exemple de cette observation est illustré à la Figure

3.30, où il est possible d'apercevoir que les groupes de parfums contrefaits correspondent aux modèles de la marque M1.

4.4 Interprétation des résultats

Ainsi, à partir des résultats obtenus et des observations réalisées, il est alors pertinent de se questionner sur ce qu'ils signifient. Les questions qui, quoi, où, quand, comment, pourquoi et avec qui/quoi peuvent être répondues. Ces questions représentent le cadre pour l'interprétation et doivent être prises en compte pour la compréhension des résultats.

Le premier aspect important de l'étude, malgré qu'il soit largement couvert dans la littérature, est l'identification des objets contrefaits. Le premier niveau d'analyse en composantes principales permet de visualiser les différences de la variance de la composition chimique des parfums qui proviennent des saisies et celle de la composition chimique des parfums authentiques. La première observation réalisée est la dispersion des points rouges, représentant les parfums authentiques. Cette dispersion suggère que chaque modèle de parfum étudié a sa propre composition chimique. Essentiellement, ce résultat suggère que chaque parfum authentique analysé a une composition chimique qui le rend unique, ce qui est attendu puisque ces parfums doivent se distinguer les uns des autres afin d'attirer un grand éventail de consommateurs. Ensuite, la deuxième observation qui est réalisée est la proximité des parfums provenant des saisies policières dans l'analyse en composantes principales. Cette observation indique que les parfums contrefaits, séparément pour chaque marque, ont une composition chimique commune, peu importe le modèle. En comparant les molécules discriminantes déterminées séparément pour chaque marque, il est possible de remarquer que des variables se répètent entre les différentes marques étudiées. Les variables 13,67, 14,21, 14,32 sont différents énantiomères du dipropylène glycol. Bien que l'identification de la nature ne soit pas officielle, c'est-à-dire que des standards sont analysés avec la même méthode et confirmés avec la librairie, cela indique qu'il y aurait probablement une étape de production commune entre chaque parfum contrefait. Cependant, il faut prendre en compte, en comparant la nature des molécules discriminantes entre chacune des marques étudiées, que la concentration n'est pas considérée. Il est possible que le dipropylène glycol soit présent en différente quantité à travers les différentes marques. Cet aspect est repris dans la section 4.5.

Le deuxième niveau d'analyse, en comparant la composition chimique des parfums contrefaits les uns par rapport aux autres séparément pour chaque marque, a permis de réaliser des observations importantes.

L'observation principale étant la présence de regroupement de parfums contrefaits, partageant un même profil chimique, représentant les modèles de parfums à l'étude. Cela signifie que les spécimens de mêmes modèles de parfums ont une composition chimique similaire non seulement selon la nature des composés, mais également en considérant la concentration de ceux-ci. La discrimination des groupes est alors significative, puisqu'elle est réalisée avec l'étude de deux facteurs. Ainsi, la majorité des regroupements de parfums contrefaits observée indique qu'ils partagent des similarités. Ces similarités suggèrent que les parfums contrefaits sont produits par une source commune. Cette observation est réalisée séparément pour chacune des marques étudiées. Cependant, en comparant les différents profils chimiques obtenus, les mêmes molécules se répètent régulièrement. Cela suggère que les mêmes molécules sont présentes à travers les différents modèles des différentes marques à l'étude. Il est alors probable que les parfums contrefaits des différentes marques partagent également une même source de production. Cependant, cette comparaison, entre les observations réalisées au premier niveau d'analyse et celles du deuxième niveau d'analyse, ne peut tenir compte des concentrations. La comparaison entre les profils chimiques tient compte des identifiants, mais le poids statistique pourrait varier si l'on développait un modèle contenant tous les parfums ensemble, qu'ils soient contrefaits ou authentiques. Alors, ce qui est discriminant au sein d'une même marque pourrait ne plus l'être si les parfums étaient comparés entre eux peu importe leur marque. Ainsi, il serait pertinent d'établir une méthode d'analyse en considérant l'ensemble des parfums pour établir plus précisément la similarité entre les parfums contrefaits provenant de différentes marques. Cet aspect est repris plus en détail à la section 4.5.

Globalement, une observation importante réalisée à travers les résultats est l'organisation de la production des parfums contrefaits et les connaissances de l'industrie de parfum chez les faussaires. En effet, la présence de molécules propres à cette industrie dans la composition chimique des parfums contrefaits suggère une certaine connaissance du milieu de la parfumerie. Des molécules telles que l'éthylène brassylate, le linalool, le limonène, le benzoate de benzyl, le géranol et le coumarin sont couramment rencontrés dans la composition chimique des parfums contrefaits. Ces molécules étaient courantes dans l'industrie de la parfumerie (Chisvert, 2007). Cependant, étant donné leur caractère allergène, elles sont moins utilisées, voire exclues, de la composition chimique des parfums authentiques afin de respecter la directive 2003/15/EC. La présence de ces molécules dans les parfums contrefaits corrobore ce qui est décrit dans la littérature, puisque la majorité de ces composés font partie des molécules hautement suspectées d'être allergènes (voir Figure 1.4).

L'organisation est également perceptible en intégrant les observations du premier niveau d'analyse à celles du deuxième niveau d'analyse. En effet, l'observation importante du premier niveau suggère que les parfums contrefaits partagent des similarités entre eux, peu importe le modèle de parfums pour chacune des marques. Ces similarités correspondent majoritairement aux différents solvants utilisés. Le deuxième niveau suggère que les parfums contrefaits sont discriminés selon les différents modèles de parfums. Ce qui indiquerait une composition unique de fragrances et de solvants pour chaque modèle. Ainsi, la production des parfums contrefaits serait réalisée de façon organisée, en débutant avec le mélange des solvants, que ce soit le méthanol ou l'éthanol puisque les deux solvants ont été aperçus dans les parfums contrefaits, et les fragrances sont ajoutées par la suite afin de rendre unique le parfum désiré.

Une dernière observation importante de l'étude est la capacité de lier les deux saisies policières à travers la composition chimique des parfums contrefaits. En effet, en regardant de près les regroupements de parfums pour la marque M9, le premier groupe partageant un même profil chimique est composé des parfums P134-P151 et L005 (voir Tableau 3.5). Ces parfums correspondent en fonction de leur modèle de parfums également, donc l'approvisionnement des parfums pourrait provenir d'une même source pour ce modèle de parfum. En regardant de près les parfums L004 et L002 du même tableau et en les comparant aux profils chimiques des modèles de parfums correspondants, les variables les discriminant les uns par rapport aux autres proviennent majoritairement de variables de la cinquième composante principale. Il est alors pertinent de se demander si la variance étudiée par cette composante principale est utile ou pas, si le modèle PCA à développer est adéquat ou si les parfums provenant des deux saisies policières partagent un niveau de similarité, mais aurait des variabilités dans leur composition chimique. Cette variabilité pourrait provenir de plusieurs différentes possibilités. Plusieurs de ces aspects seront repris dans la section 4.5, mais il est probable également que la source commune soit une recette partagée dans un réseau de production. Ainsi, chaque faussaire aurait son mode opératoire pour développer son produit, mais la procédure serait la même pour tous. Cette possibilité pourrait également expliquer les différences observées dans la composition chimique de parfums de même modèle dans la première saisie policière.

Également, l'étude devient particulièrement intéressante en considérant les données circonstancielles des saisies policières qui ont été transmises à la fin de l'étude afin d'éviter d'être influencées par des biais de confirmation. Pour débuter, ces saisies policières ont été réalisées en 2020 dans deux régions distinctes. Ces saisies ont eu lieu à la suite d'enquêtes par rapport aux fraudes ayant lieu sur Internet. Les saisies ont été réalisées après avoir pris contact avec les vendeurs pour acheter des produits. Les rencontres ont eu

lieu à différents endroits, mais les vendeurs avaient toujours un inventaire important de produits contrefaçons dans son véhicule. La première saisie ($n=151$) est la combinaison de trois perquisitions ayant eu lieu la même journée. La deuxième saisie ($n=5$) est une seule perquisition. L'échantillonnage de cette deuxième saisie correspond à une proportion de la saisie entière. Les parfums contrefaçons ont été envoyés au Laboratoire de Sciences Judiciaires et de Médecine Légale pour expertise afin de déterminer s'il s'agit de vrai produit ou de faux. Pour la première saisie, le nombre de parfums saisis est adéquat, mais, pour la deuxième saisie, le milieu policier a considéré que l'établissement de la présence de contrefaçon en étudiant cinq parfums était suffisant pour le dossier, d'où le petit nombre de spécimens. Considérant ces informations circonstancielles et de la présence de similarité entre les différents parfums contrefaçons, qu'ils proviennent de la même saisie ou pas, suggère que les vendeurs se sont approvisionnés probablement à un même endroit ou d'un même distributeur. En effet, il est fort probable qu'il y ait une étape intermédiaire entre la production des parfums et la vente de ceux-ci. Ceci renforce l'idée de l'organisation derrière le commerce de la contrefaçon.

4.5 Regards critiques sur l'étude

Ultimement, l'étude apporte des résultats probables et semble indiquer que la production de la contrefaçon est réalisée de façon organisée. Cependant, l'étude comporte plusieurs limites, ce qui empêche le développement de connaissances plus approfondies et le niveau de confiance sur ceux-ci. À travers cette section, plusieurs de ces limites sont adressées et des pistes de réflexion sont émises pour le futur de l'étude.

4.5.1 L'impact du nombre de parfums sur l'interprétation

Tout d'abord, l'aspect le plus limitant de l'étude est le nombre de saisies policières et le nombre de spécimens. En effet, l'étude est effectuée sur deux saisies policières distinctes. L'inclusion d'un plus grand nombre de saisies pourrait permettre d'avoir un aperçu plus précis sur le phénomène de la contrefaçon. En ce moment, bien que les résultats soient encourageants, l'interprétation réalisée pourrait rapidement évoluer en incluant plus de saisies et des saisies provenant de différente provenance. Ainsi, les conclusions de cette recherche pourraient être plus précises quant à l'évaluation de différente méthode de production. Le deuxième aspect, soit l'augmentation du nombre de spécimens à l'étude, pourrait également contribuer au développement de connaissances plus significatives. En effet, les observations réalisées suggèrent qu'il y aurait une similarité de la composition chimique dans les différents modèles pour une marque précisée et que ces modèles auraient tous une composition chimique qui leur est propre. Cette

interprétation est réalisée à partir des regroupements de parfums partageant le même profil chimique. Cependant, lorsque le regroupement est composé d'un seul parfum, cette conclusion pourrait être inadéquate. Il serait alors pertinent d'augmenter le nombre de spécimens, par modèles, afin de les étudier tous individuellement avant d'étudier les aspects communs entre les parfums de différents modèles d'une même marque. C'est ce qui est également entrepris dans l'étude de Dégardin (2013), où elle étudie la présence de profil chimique à travers 35 saisies policières ayant eu lieu pour un seul type de médicament. Le fait d'étudier une seule marque à la fois est également un des critères pour l'échantillonnage, puisqu'il est souhaité que l'on recherche à avoir un ensemble de spécimens représentatifs de la population accessible. Ainsi, les analyses statistiques devraient être réalisées dans le même sens afin d'avoir un aperçu plus précis sur la variance observée pour une classe d'objets précisée, tel que les modèles de parfums. Cependant, le marché de la contrefaçon n'est pas sujet à des contrôles et les saisies policières sont réalisées sporadiquement (Hyeans, 2011; Roudault, 2011). Il y a alors une étape de sensibilisation sur cet enjeu qui devrait être réalisée auprès des corps policiers municipaux afin d'avoir une meilleure compréhension du phénomène de la contrefaçon.

4.5.2 Réflexions par rapport à l'identification des variables lors des analyses chimiques

Afin de développer les analyses en composantes principales, la présence de chaque composé pour chaque parfum étudié devait être réalisée afin d'obtenir la matrice d'objet. Cependant, puisque l'identification des composés n'est pas la même d'un parfum à un autre, peu d'attention a été portée par rapport à la nature des composés. C'est pourquoi les identifiants sont les temps de rétentions et auraient pu être changés pour des numéros de composé. Cependant, la détection de ces composés a été faite manuellement, un composé à la fois. Cette étape a été longue et aurait pu être simplifiée. Pour les études futures, il serait pertinent de développer une librairie maison des composés en plus de les identifier par la librairie NIST. Leur nature exacte pourrait être étudiée par la suite avec l'analyse de standards. Le développement de librairie maison pourrait alors simplifier la détection de nouveaux composés et il serait possible d'y ajouter de nouveaux composés.

4.5.3 Réflexions par rapport à l'utilisation de réplicas

Étant donné la nature exploratoire de l'étude, les spécimens ont été analysés une seule fois. Cependant, tel qu'illustré à la Figure 3.34, l'utilisation de réplicas permet de mieux discriminer les différents groupes de parfums. La présence de réplicas, provenant de différents parfums, s'entrecoupant dans l'analyse en composantes principales, suggère que ces parfums partagent le même profil chimique. Ainsi, la

discrimination des groupes de parfums est plus évidente. De plus, l'utilisation de réplicas permettraient d'étudier l'intravariabilité de la composition chimique des parfums individuellement.

4.5.4 Réflexions par rapport à la trace chimique

Également, un aspect important à considérer est la qualité de la trace chimique (Margot, 2014). Ici, les parfums contrefaits ont été produits à des moments qui nous sont inconnus. De plus, le temps entre la production et la distribution aux revendeurs, ainsi que le temps entre la distribution et le moment des saisies policières, est inconnu. Leur composition chimique peut avoir varié dans le temps, dû aux dégradations des différents composés lors de l'entreposage. Cela peut influencer les profils chimiques détectés et ainsi faire varier l'interprétation des résultats.

De plus, comme expliquée dans le premier niveau d'analyse, la première question devant être répondu est par rapport à la présence de contrefaçon de parfums dans les saisies policières. Pour y arriver, les parfums authentiques et contrefaits sont analysés. Cependant, le faible nombre de parfums authentiques étudiés peut éventuellement être problématique. En effet, l'intravariabilité au sein même de la composition chimique des parfums authentiques n'est pas connue. Ainsi, à travers l'étude réalisée, la variabilité de la concentration et celle de la nature des composés présents dans chaque modèle de parfums authentiques étudiés sont des facteurs inconnus. Cependant, il est vrai que la présence de certaines molécules, par exemple le méthanol, est hautement discriminante pour l'établissement de contrefaçon. Cependant, étant donné que le méthanol soit sujet à saturer le détecteur, il a été décidé de le considérer comme une variable catégorique. Ainsi, avoir une méthode complémentaire pour la concentration en méthanol et en éthanol pourrait être pertinente. Également, si l'on considère augmenter le nombre de spécimens à l'étude, il serait pertinent de réaliser une étude plus exhaustive sur la composition chimique de chaque modèle de chaque parfum à l'étude, mais cela n'a pas été possible considérant les coûts associés à l'achat de chacun de ces parfums.

4.5.5 Réflexions par rapport aux analyses par composantes principales (PCA)

Mais encore, un aspect à considérer est la méthode d'analyse statistique utilisée, soit l'analyse en composantes principales. Ce type d'analyse permet d'évaluer la discrimination d'entités en maximisant la variance dans les analyses. Donc, les différences sont maximisées afin de déterminer quelles variables permettent de discriminer les entités lors de l'analyse (Varmuza, p.73, 2009). Cependant, dans la présente étude, les parfums contrefaits ont plusieurs aspects en communs et ne sont pas bien représentés par ce

type d'analyse. Sparrow (1991) avait soulevé ce point en analyse criminelle où le profilage n'est pas le seul moyen de développer des connaissances sur un milieu et dont il serait intéressant d'approcher ces problématiques en regardant également les aspects communs partagés entre les individus, d'où l'intérêt des analyses de réseaux en criminologie. Il pourrait alors être pertinent de développer cette méthode d'analyse dans le cadre de comparaison d'entités, telle que les parfums contrefaits de cette étude. L'étude de réseau a également été étudiée pour les stupéfiants (Corazza, 2012). L'inclusion des traces matérielles influence les liens observés entre les individus. Gaucher (2014) a également étudié l'analyse de réseau pour plus de 300 saisies policières sur des médicaments contrefaits. Il est alors évident que ce type d'analyse est pertinent pour des études en renseignement forensique.

4.5.6 Le manque de données circonstancielles

Un dernier aspect limitant de l'étude est la faible quantité de données circonstancielles partagées par les corps policiers. Puisque les parfums contrefaits font l'objet d'une expertise, le cas qui a été transmis n'est pas exhaustif sur ce type d'information. Pourtant, l'étude du mode opératoire, du lieu de vente et du moment de la vente peut être étudiée pour étendre nos connaissances sur la vente de ces objets frauduleux. La comparaison entre ces données et les conclusions de ce projet de recherche permettrait d'avoir un regard nouveau sur les enquêtes (Dégardin, 2013). Les données manquantes sont principalement par rapport aux caractéristiques des comptes, perçus sur les plateformes de ventes en ligne, que le milieu policier a détectés.

4.5.7 Perspectives

L'étude offre une multitude d'options pouvant être explorées. Plusieurs études réalisées dans l'optique du renseignement forensique ne se limitent pas au profilage chimique. Par exemple, l'étude de Dégardin (2013) étudie le profilage chimique et le profilage de caractéristiques visuelles. La combinaison de ces deux analyses permet d'avoir une meilleure compréhension du dynamisme derrière la production, puisque les étapes ne sont pas nécessairement faites au même endroit. Plus précisément, les profils chimiques permettent de spécifier un regroupement d'objets, cela ne signifie pas que les profils visuels permettront d'identifier les mêmes regroupements (Dégardin, 2013). Il y a alors un fractionnement des opérations, ce qui pourrait être intéressant d'être étudié à travers les produits contrefaits, autre que les médicaments. De plus, puisque la vente de ces objets se fait majoritairement sur Internet et les plateformes de ventes en ligne, ne serait-il pas pertinent de développer des connaissances plus exactes et significatives sur les

comptes derrières la vente de ces produits contrefaits afin d'évaluer la présence, ainsi que la pertinence, de liens entre ces comptes et les profils chimiques et visuels des objets vendus?

Plus précisément par rapport au présent projet, il pourrait être intéressant de développer une méthode analytique en chimie, plus adaptée pour les parfums. Par exemple, en termes de rapidité opérationnelle, l'utilisation de méthode d'espace de tête, lors de l'injection des spécimens dans l'appareil, pourrait grandement diminuer les étapes de préparations. Il y a également d'autres analyses qui pourraient être réalisées pour améliorer nos connaissances sur la contrefaçon de parfum. En effet, la méthode d'IRMS est intéressante pour développer des connaissances sur la provenance des molécules, étant donné que les rapports isotopiques obtenus par ce type d'analyse sont spécifiques au lieu géographique où la plante provient. Il pourrait alors être possible de déterminer si les molécules proviennent de sources synthétiques ou naturelles et si cette provenance est la même que celle utilisée que dans les parfums authentiques.

Finalement, un aspect à considérer pour le futur de l'étude est l'utilisation de méthodes de scores pour l'établissement des regroupements d'objets. Pour la présente recherche, les groupes ont été déterminés heuristiquement. Cependant, il pourrait être plus adéquat pour certains modèles, comme pour la marque M9, d'utiliser des mesures de distances en établissant un seuil critique pour la définition des regroupements. De plus, l'utilisation de ces métriques de distances avec l'utilisation de réplicas permettraient de définir l'intravariabilité d'un même spécimen, l'intravariabilité entre spécimens de même marque et de même modèle et l'intervariabilité entre les spécimens de différentes marques et de différents modèles. Il est également important de rappeler que l'intervariabilité et l'intravariabilité décrites pour les différents spécimens sont sujettes à varier en fonction des similitudes, ou des dissimilarités, observées.

Finalement, il y a également la possibilité d'utiliser d'autres méthodes d'analyse de données qui pourraient être appliquées. Une méthode, discutée plus tôt, est l'analyse de réseau afin de mieux visualiser les liens existants entre les entités. Cependant, il serait également pertinent de visualiser les regroupements de parfums obtenus par d'autres analyses statistiques, par exemple le regroupement hiérarchique. Cette méthode d'analyse permet d'évaluer les objets les plus similaires, à partir de mesures de distances, et de les regroupés en groupe de deux. Ce groupe est alors comparé à l'objet le plus similaire et forment ainsi le deuxième groupe et ainsi de suite. Ainsi, en déterminant un seuil critique pour la discrimination des groupes, il est possible d'apercevoir rapidement des différences entre le regroupement d'objets. Par la

suite, il est possible de comparer ces regroupements à ceux observer dans les analyses en composantes principales. Cependant, cette méthode est une méthode non supervisée, où l'on ne spécifie pas la classe de l'objet initialement. Il pourrait alors être intéressant de développer des modèles mathématiques en utilisant des méthodes supervisées, telles que les analyses de kNN (« k Nearest Neighborhood ») et de PLS-DA (« Partial Least Square Discriminant Analysis ») et de faire ces mêmes étapes de comparaison entre la classification déterminée par les algorithmes et ceux déterminés par les analyses non supervisées.

4.6 Résumé de l'approche analytique

Les premières sections de ce chapitre mettent en place la pertinence des analyses chimiques et statistiques. La précision des analyses est adéquate et suggère que l'ensemble des analyses réalisées, une fois les données normalisées par l'aire du standard interne et prétraitées avec une racine carrée, ont été stables tout au long du projet de recherche. Les choix derrière l'analyse en composantes principales (nombre de composante principale, établissement des profils chimiques, diminution du nombre de variables par modèle, etc.) se sont appuyés sur la littérature (Varmuza, 2009). Les observations réalisées derrière ces analyses statistiques suggèrent des résultats fort intéressants, où les parfums contrefaits partagent des similarités en fonction des modèles de parfums. Toutefois, il faut considérer l'ensemble des limites qui délimitent l'envergure de l'interprétation des résultats obtenus. Plusieurs de ces limites peuvent être adressées en augmentant le nombre de saisies policières et le nombre de spécimens par modèle.

La méthode analytique est également intéressante dans le concept du renseignement forensique. Comme proposé par Baechler et al (2015b), une méthode développée pour le renseignement doit répondre à plusieurs critères. Non seulement la méthode doit tenir compte des caractéristiques intrinsèques d'une méthode rigoureuse (spécificité, sélectivité, sensibilité, etc.) et des caractéristiques extrinsèques, soit l'aspect opérationnel de la méthode (coût faible, peu de ressources nécessaires, etc.). Ainsi, la méthode proposée est simple au niveau des manipulations, employant un GC-MS étant courant dans les laboratoires de chimie, n'est pas dispendieuse, la méthode requiert peu de matériel, et permet d'obtenir des résultats adéquats. De plus, l'interprétation des résultats s'intègre bien dans les concepts plus larges du renseignement criminel. En effet, d'un point de vue opérationnel, pouvoir observer que les deux saisies policières partagent des similarités au niveau de la composition chimique pourrait inciter les enquêteurs à rechercher pour une source de distribution commune entre les deux vendeurs, par exemple. En intégrant ces informations, l'impact de ce type d'information pourrait éventuellement influencer, au niveau tactique, le déploiement de ressource pour mieux encadrer la présence de contrefaçon. Il faudrait toutefois

développer davantage le projet pour que celui-ci soit plus considéré par les décideurs. Cependant, l'aspect de la prévention, soit au niveau stratégique, devrait considérer plus d'analyse que seulement celle de la trace chimique.

Cependant, les observations et l'interprétation des résultats, soit l'évaluation des similarités et l'établissement des groupes de parfums contrefaçons, auraient pu aussi être menées avec une approche alternative utilisant des métriques de distances et de score permettant de minimiser le plus possible des erreurs de type I (vrai négatif) et des erreurs de type II (faux positif). Simon et al (2015b) suggère également l'utilisation de deux approches pour l'établissement des liens unissant deux entités. La première approche est déterministe, où les liens sont développés plus qualitativement pour appuyer les opérations concrètement. Cette approche a été utilisée pour la présente étude. Cependant, en considérant les observations réalisées à la suite de l'analyse de réseau sur la composition chimique des parfums de l'étude (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), il est possible d'apercevoir que les liens ne sont pas aussi clairement définis, puisque la force de ceux-ci varie également. Ainsi, la deuxième approche, soit l'approche probabiliste en utilisant le rapport de vraisemblance («LR ou *Likelyhood Ratio*») comme métrique de score, pourrait fournir des informations plus pertinentes au niveau de la compréhension des liens au détriment de l'applicabilité opérationnelle. Les liens pourraient alors être établis en fonction d'une probabilité de l'observer. Toutefois, une question plus fondamentale demeure avec cette approche, où éventuellement le nombre de liens observé serait élevé. En effet, la pertinence de ces liens, ou plus précisément la force de ceux-ci, devrait être établi pour informer le milieu policier avec le contenu le plus pertinent possible. Afin de conclure cette discussion, la question suivante est lancée pour des pistes de réflexion futures, soit : comment quantifier la force des liens entre entités en considérant une approche bayésienne? Une telle question devrait être adressée afin de définir avec précision le renseignement forensique le plus pertinent possible qui devrait être transmise au milieu policier.

CONCLUSION

En considérant l'expansion constante du phénomène de la contrefaçon, de sa diversité de produit, de la facilité grandissante pour s'en procurer et des dangers lui étant associés, il est pertinent de développer des moyens pour lutter plus activement contre cette forme de criminalité. Les moyens proposés jusqu'à présent sont majoritairement réactifs et n'impliquent pas les forces de l'ordre. Plus spécifiquement au parfum contrefait, les études ne s'intéressent qu'à certains aspects et n'envisagent pas l'évolution de ces

produits. Ainsi, considérant leurs modèles, qu'arriverait-il si la formulation des parfums contrefaits évoluait? Il y a alors des lacunes et ces études sont toujours réactives dans la lutte. Ainsi, il est pertinent de développer des connaissances sur les moyens entrepris par les faussaires pour la production de leurs produits. Plus spécifiquement, à travers les concepts du renseignement et du renseignement forensique, il faut se questionner sur les relations existantes entre les traces chimiques observées dans les parfums contrefaits de l'étude. Ainsi, comme abordée par Baechler (2015), l'observation de similarités improbables, soient la présence de même composé avec des concentrations similaires, entre deux entités est représentatif du lien qui les unis. Ainsi, le projet de recherche a été orienté vers le développement du profilage chimique, soit la détermination des molécules discriminantes, pour les parfums contrefaits à l'étude.

Le premier objectif, étant de développer une méthode analytique afin d'évaluer la composition chimique des parfums étudiés, a été atteint en utilisant une méthode validée, par GC-MS, pour les expertises en Incendie. Les résultats obtenus pour la précision de la méthode suggèrent que la méthode est précise avec des coefficients de variation acceptable. De plus, la quantité de molécules détectées, soit un total de 920, a permis d'avoir un nombre suffisant de caractéristiques pour comparer les parfums contrefaits entre eux.

Le deuxième objectif était de développer une méthode analytique pour la comparaison systématique des parfums de l'étude. Pour y parvenir, les données recueillies ont été analysées par analyse en composantes principales (PCA), la méthode non supervisée de choix pour l'exploration des variables dans un jeu de données. Le développement des modèles a été optimisé avec un prétraitement des données et une sélection des composantes principales pour maximiser la variance totale expliquée tout en diminuant la complexité des modèles.

Le troisième objectif, soit d'établir la nature des profils chimiques de chaque parfum contrefait de l'étude, a été rempli séparément pour chacune des marques. Les mêmes profils chimiques sont partagés à travers les parfums de mêmes modèles. Il a également été observé que les parfums contrefaits partagent également un certain niveau de similarité, puisque ces parfums étaient majoritairement regroupés ensemble lorsqu'ils sont comparés aux parfums authentiques, peu importe le modèle de parfums à l'étude.

Le dernier objectif, soit d'évaluer la similarité entre les parfums contrefaits en fonction de leur composition chimique, est alors également atteint. Les similarités observées entre les parfums contrefaits de même marque et de mêmes modèles, ce à travers l'ensemble des marques ayant pu être étudiées, suggèrent

que ceux-ci aient été produits par une même source. En se rappelant qu'une même source ne signifie pas un même faussaire, mais peut désigner un groupe de faussaires utilisant une même recette de production. L'étude devrait s'intéresser à différente méthode d'analyse de données pour évaluer la similarité intermarque, puisque les résultats obtenus sont seulement applicables aux parfums de même marque.

Cependant, le nombre limité de saisies policières et de spécimens limitent grandement l'interprétation possible des résultats. De plus, une fois que les groupes de parfums contrefaits ont été identifiés, comment évaluer les similitudes entre ces parfums? Comment évaluer, précisément, les similitudes entre les parfums contrefaits, peu importe leurs marques et leurs modèles? S'ils partagent une même recette de production, la composition chimique des parfums contrefaits pourrait être similaire selon la concentration et éventuellement selon la nature de certains composés. D'où éventuellement l'application de méthode d'analyse telle que l'analyse de réseau pour évaluer à quel point les parfums sont similaire.

Mais encore, étant donné que les informations préalables sur ces objets frauduleux sont inconnues, il est important de mettre l'emphase que le renseignement forensique permet d'évaluer et de développer des connaissances applicables pour les opérations. Il y a une certaine incertitude qui est acceptée, puisque l'objectif n'est pas de pouvoir accuser des individus au niveau pénal, mais plutôt d'indiquer des pistes que les enquêteurs n'auraient pas envisagées autrement. Ainsi, la méthode proposée et les résultats obtenus suggèrent que les individus se sont procuré ces parfums contrefaits d'un même distributeur, ce qui pourrait permettre aux enquêteurs d'envisager de nouvelles pistes et potentiellement de nouvelles cibles si les informations d'enquête peuvent être partagées à travers les divers corps policiers.

Afin d'explorer davantage le dynamisme de la contrefaçon, il pourrait être intéressant de combiner le profilage chimique à d'autres types de traces, tels que les observations visuelles, le profilage chimique des bouteilles, du plastique, de la boîte de carton, etc., et des informations pouvant être recueillies sur les plateformes de ventes en ligne. Cela permettrait éventuellement de détecter plus rapidement les faussaires sur ces plateformes en identifiant les caractéristiques discriminantes de leur compte et d'évaluer l'ampleur des réseaux si les profils sont similaires entre plusieurs comptes.

RÉFÉRENCES

- Aghoutane, Y., Brebu, M., Moufid, M., Ionescu, R., Bouchikhi, B., & El Bari, N. (2023). Detection of Counterfeit Perfumes by Using GC-MS Technique and Electronic Nose System Combined with Chemometric Tools. *Micromachines*, 14(3), p.524. DOI : 10.3390/mi14030524
- Analytical Sepsolve (2021). Evaluating the authenticity of brand perfumes. Whiter Paper. https://www.srainstruments.it/wp-content/uploads/2021/08/Perfume-GCxGC_TOF_MS_TI_.pdf
- Baechler, S. (2015). Des faux documents d'identité au renseignement forensique : Développement d'une approche systématique et transversale du traitement de la donnée forensique à des fins de renseignement criminel. [thèse de doctorat, Université de Lausanne]. University of Lausanne Open Archive. https://www.unil.ch/files/live/sites/esc/files/Fichiers%202015/These_Baechler-1.pdf
- Bartsch, J. U., E.; Salthammer, T. (2015). Analysis of odour compounds from scented consumer products using gas chromatography–mass spectrometry and gas chromatographyolfactometry. *Analytica Chimica Acta*, 906, p.98-106. DOI: 10.1016/j.aca.2015.11.031
- Begnaud, F.; Chaintreau, A. (2016). Good quantification practices of flavours and fragrances by mass spectrometry. *Philosophical Transactions A*, 374, p.1-14. DOI: 10.1098/rsta.2015.0365
- Bian, X.; Luiz, M. (2009). An investigation of determinants of counterfeit purchase consideration. *Journal of Business Research*, 62, p.368-378. DOI: 10.1016/j.jbusres.2008.05.012
- Bicchi, C. R., P.; Cordero, C. (2006). Separation science in perfume analysis. *Analytical bioanalysis chemistry*, 384, p.53-56. DOI: 10.1007/s00216-005-0071-0
- Biniecka, M. C., S. (2011). Analytical methods for the quantification of volatile aromatic compounds. *Trends in Analytical Chemistry*, 30(11), p.1756-1770. DOI: 10.1016/j.trac.2011.06.015
- Bossler, A.M.; Holt, T.J. (2012). Patrol officers' perceived role in responding to cybercrime. *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*, 35(1), p.165-181. DOI: 10.1108/13639511211215504.
- Breitkreuz, G. (2007). Les produits contrefaçons au Canada: Une menace pour la sécurité publique. Chambre des communes du Canada. <https://www.noscommunes.ca/Content/Committee/391/SECU/Reports/RP2985081/securp10/securp10-f.pdf>
- Brodeur, J.-P. (2008). Chapitre 18 : Le renseignement I : Concepts et Distinctions préliminaires. Dans : Cusson, M., Dupont, B., & Lemieux F., *Traité de sécurité intérieure* (1ère éd, Ser. Collection sciences forensiques, p.263-277). Presses polytechniques et universitaires romandes
- Cabovska, B. (2015). Application of Multivariate Analysis and LCMS for the Detection of Counterfeit Cosmetics. Waters, Waters Corporation.
- Carlin, M.; Dean, J. R. (2013). *Forensic applications of gas chromatography* (Ser. Analytical concepts in forensic chemistry). CRC Press.
- Champagner Katz, C. (2011). *La mode cible privilégiée de la contrefaçon*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.54-62.

- Chaudhry, P.; Zimmerman, A. (2009). Managerial Counterattack: Traditional and Novel Anti-counterfeiting Strategies. Dans: The Economics of Counterfeit Trade. Verlag, Berlin, Springer. p.153-165. DOI: 10.1007/978-3-540-77835-6_11
- Chaudhry, P.; Zimmerman, A. (2008). Internet Piracy: The Virtual Marketplace for Counterfeit Goods. Dans: The Economics of Counterfeit Trade. Verlag, Berlin, Springer, p.137-152. DOI: 10.1007/978-3-540-77835-6_10
- Chaudhry, P.; Zimmerman, A. (2013). Protecting Your Intellectual Property Rights: Understanding the Role of Management Governments, Consumers and Pirates. Springer. DOI: 10.1007/978-1-4614-5568-4
- Chien, M. (1985). Analysis of Complex Mixtures by Gas Chromatography/Mass Spectrometry Using a Pattern Recognition Method. *Analytical Chemistry*, 57, p.348-352.
- Chisvert, A.; López-Nogueroles, M.; Salvador, A. (2019). Perfumes. *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition), p.158-163. DOI: 10.1016/B978-0-12-409547-2.14037-5
- Chow, D.C.K. (2020). Alibaba, Amazon, and Counterfeiting in the Age of the Internet. *Northwestern Journal of International Law & Business*, 40(2), p.157-202. <https://scholarlycommons.law.northwestern.edu/njilb/vol40/iss2/1>
- Clarke, R.V.; Eck, J.E. (2005). Crime Analysis for Problem Solvers in 60 Small Steps. U.S. Department of Justice, Office of Community Oriented Policing Services. <https://popcenter.asu.edu/sites/default/files/library/reading/PDFs/60Steps.pdf>
- Cleland, C. E. (2013). Common cause explanation and the search for a smoking gun. *The Geological Society of America : Special Paper*. 502(1), p.1-9. DOI: 10.1130/2013.2502(01)
- Contrefaçon (s.d.). Dans *Dictionnaire Larousse en ligne*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/contrefa%C3%A7on/18780>
- Cooper, J. J., M.; Dubant, S. (2017). Fast Analysis of Cosmetic Allergens Using UltraPerformance Convergence Chromatography (UPC2) with MS Detection. Waters. U.S.A., Water Corporation.
- Corazza, D. & Esseiva, P. (2012). The contribution of the physical evidence in the investigation Criminal: Assessment of the contribution links from the chemical profiling of drugs by social network analysis, 66, p.341-363.
- Correa, D. N. S., J.M.; Eberlin, L.S.; Eberlin, M.N.; Teunissen, S.F. (2016). Forensic Chemistry and Ambient Mass Spectrometry: A Perfect Couple Destined for a Happy Marriage? *Analytical Chemistry*, 88, p.2515-2526. DOI: 10.1021/acs.analchem.5b02397
- Crispino, F. (2008). Nature and place of crime scene management within forensic sciences. *Science and Justice*, 48, p.24-28. DOI: 10.1016/j.scijus.2007.09.009
- Crispino, F.; Roux, C.; Delémont, O.; Ribaux, O. (2019). Is the (traditional) Galilean science paradigm well suited to forensic science?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, p.1-9. DOI: 10.1002/wfs.2.1349.
- Cusson, M. (2008). Chapitre premier : De l'action de sécurité. Dans : Cusson, M., Dupont, B., & Lemieux F., *Traité de sécurité intérieure* (1ère éd, Ser. Collection sciences forensiques, p.43-57). Presses polytechniques et universitaires romandes

Cuzuel, V. (2017). Développement d'une stratégie de caractérisation chimique de la signature odorante d'individus par l'analyse chimiométrique de données issues de méthodes séparatives multidimensionnelles. [thèse de doctorat, Université de Pierre et Marie Curie]. HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-01680821>

Debonneville, C.; Chaintreau, A. (2004). Quantitation of suspected allergens in fragrances : Part II. Evaluation of comprehensive gas chromatography-conventional mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1027, p.109-115. DOI: 10.1016/j.chroma.2003.08.080

Dégardin, K. (2013). *Analyse de contrefaçons de médicaments et renseignement forensique* [thèse de doctorat, Université de Lausanne]. University of Lausanne Open Archive. https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_C3EA5DBEB7EA.P001/REF

Desmedt, B.; Canfyn, M.; Pype, M.; Baudewyns, S.; Hanot, V.; Courseselle, P.; De Beer, J.O.; Rogiers, V.; De Paepe, K.; Deconinck, E. (2014). HS-GC-MS method for the analysis of fragrance allergens in complex cosmetic matrices, *Talanta*, 131, p.444– 451. DOI: 10.1016/j.talanta.2014.08.006.

Dettmer-Wilde, K.; Engewald. W. (2014). Practical Gas Chromatography : Practical Gas Chromatography (1st ed). Springer Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-54640-2

eCommerceDB (2022). eCommerce market in Canada. <https://ecommerce-db.com/markets/ca/all>

Esseiva, P. (2005). Le profilage de l'héroïne et de la cocaïne. Mise en place d'une systématique permettant une utilisation opérationnelle des liens chimiques [thèse de doctorat, Université de Lausanne]. University of Lausanne Open Archive. https://www.unil.ch/files/live/sites/esc/files/shared/These_Esseiva.pdf

Esseiva, P. et al (2007). Forensic drug Intelligence: An important tool in law enforcement. *Forensic Science International*, 167, p.247–254. DOI : 10.1016/j.forsciint.2006.06.032.

European Parliament and of the Council (2003). DIRECTIVE 2003/15/EC (Europe). https://www.legislation.gov.uk/eudr/2003/15/pdfs/eudr_20030015_adopted_en.pdf

European Parliament and of the Council (2009). Regulation (EC) No 1223/2009 (Europe). <https://lexparency.org/eu/32009R1223/>

European Union Intellectual Property Office (EUIPO) (2019). Qualitative Study on Risks Posed by Counterfeits to Consumers. https://euiipo.europa.eu/tunnel-web/secure/webdav/guest/document_library/observatory/documents/reports/2019_Risks_Posed_by_Counterfeits_to_Consumers_Study/2019_Risks_Posed_by_Counterfeits_to_Consumers_Study.pdf

Federal Bureau of Investigation (FBI) (2014, Janvier). Counterfeit Cosmetics, Fragrances: Hazardous to your health. <https://www.fbi.gov/news/stories/counterfeit-cosmetics-fragrances>.

Ferah, M.; Perron, L.-S. (2022). Le roi du Xanax reste en prison. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/justice-et-faits-divers/2022-11-03/le-roi-du-xanax-reste-en-prison.php>

Frontier Economics (2016). The Economic Impacts of Counterfeiting and Piracy. BASCAP; INTA. p.1-61.

Fucini, L. (2011). *La menace de la contrefaçon en Italie*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.96-99

Gaucher, F. (2014). La contrefaçon de médicaments dans le monde, étude exploratoire [Travail dirigé, Université de Montréal]. Papyrus. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/12695>

Gherghel, S. M., R.M.; Arrebola-Liébanas, J.; Romero-González, R.; Blackman, C.S.; Garrido-Frenich, A.; Parkin, I.P. (2018). Development of a HS-SPME/GC-MS method for the analysis of volatile organic compounds from fabrics for forensic reconstruction applications. *Forensic Science International*, 290, p.207-218. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.07.015

Gherghel, S.; Morgan, R. M.; Arrebola-Liébanas, J. F.; Blackman, C. S.; Parkin, I. P. (2019). Fragrance transfer between fabrics for forensic reconstruction applications. *Science & justice : journal of the Forensic Science Society*, 59(3), p.256–267. DOI: 10.1016/j.scijus.2019.02.002

Gherghel, S.; Morgan, R. M.; Arrebola-Liébanas, J. F.; Blackman, C. S.; Garrido-Frenich, A.; Parkin, I. P. (2020). Persistence of transferred fragrance on fabrics for forensic reconstruction applications. *Science & justice : journal of the Forensic Science Society*, 60(1), p.53–62. DOI: 10.1016/j.scijus.2019.09.002

Gherghel, S.; Morgan, R. M.; Blackman, C. S.; Karu, K.; Parkin, I. P. (2016). Analysis of transferred fragrance and its forensic implications. *Science & justice : journal of the Forensic Science Society*, 56(6), p.413–420. DOI: 10.1016/j.scijus.2016.08.004

Girardet, A. (2011). *Réalités et perspectives du traitement judiciaire de la contrefaçon*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.16-18.

Gomes, C. L.; de Lima, A.C.A.; Cândido, M.C.L. Silva, A.B.R.; Loiola, A.R.; Nascimento, R.F. (2015). Multivariate Analysis of Perfumes by Ultraviolet Spectrophotometry. *Journal of Brazilian Chemistry Society*, 26(8), p.1730-1736. DOI: 10.5935/0103-5053.20150135

Gomes, C.L.; de Lima, A.C.; Loiola, A.R.; da Silva, A.B.; Cândido, M.C.; Nascimento, R.F. (2016). Multivariate Classification of Original and Fake Perfumes by Ion Analysis and Ethanol Content. *Journal of Forensic Science*, 61(4), 1074-1079. DOI: 10.1111/1556-4029.13070.

Govil, P. (2021). Fake It Till You Make It: How the FDA Can Address the Proliferation of Counterfeit Cosmetics [mémoire de maîtrise, University of Pittsburgh]. D-Scholarship. <http://d-scholarship.pitt.edu/40596/1/Praneeta%20Govil%20Masters%20Essay.pdf>

Guarnieri, F., Pryswa, E. (2011). *Cybercriminalité – contrefaçon : les interactions entre "réel et virtuel"*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.77-87.

Guessiaz, L. (2013). Les traces de pneumatiques en sciences forensiques De l'analyse chimique à l'évaluation de la force probante. [thèse de doctorat, Université de Lausanne]. University of Lausanne Open Archive. https://www.unil.ch/files/live/sites/esc/files/shared/These_Gueissaz.pdf

Heinonen, J.A.; Wilson, J.M. (2012) Product counterfeiting at the state level: An empirical examination of Michigan-related incidents. *International Journal of Comparative and Applied Criminal Justice*, 36(4), p.273-290, DOI: 10.1080/01924036.2012.721198.

Hochholdinger, S. (2019). Forensic Intelligence on Illicit Markets : the Physical and Chemical Analysis of Watches and its Contribution to the Fight Against Counterfeiting. [thèse de doctorat, Université de Lausanne]. University of Lausanne Open Archive. https://www.unil.ch/files/live/sites/esc/files/Fichiers%202020/Thesis_HOCHHOLDINGER_Sarah_ebo ok.pdf

Hyeans, A. (2011). *La contrefaçon dans le monde : entre dangers, profits et perspectives*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.36-45.

International Trademark Association (INTA) (2017). Addressing the sale of counterfeits on the Internet. p.1-15.

Islam, T.; Pitafi, A.H.; Akhtar, N.; Xiaobei, L. (2021). Determinants of purchase luxury counterfeit products in social commerce: The mediating role of compulsive internet use. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 62, p.1-14. DOI: 10.1016/j.jretconser.2021.102596.

Jhin, G.Z.; Kato, A. (2006). Price, quality, and reputation: evidence from an online field experiment. *The RAND Journal of Economics*, 37(4), p.983-1005. DOI: 10.1111/j.1756-2171.2006.tb00067.x.

Jollife, I. T. C., J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions A*, 374, p.1-16. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202

Kempinski-Kupczyk, D. K. W., A. (2019). The potential of LC-MS technique in direct analysis of perfume content. *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly*, 150, p.1617-1623. DOI: 10.1007/s00706-019-02468-6

Kennedy, J.P. (2020). Counterfeit Products Online. Dans: Holt, T.; Bossler, A., *The Palgrave Handbook of International Cybercrime and Cyberdeviance*. Palgrave Macmillan. DOI: 10.1007/978-3-319-78440-3_46.

Kennedy, J.P.; Maher, M.R.; Campbell, A.Q. (2019). Citizens' Support for Local Law Enforcement Anti-Counterfeiting Activities. *American Journal of Criminal Justice*, 44, p.914-917. DOI: 10.1007/s12103-019-09487-3

Kennedy, J.P.; Wilson, J.M. (2017). Clicking into harm's way: the decision to purchase regulated goods online. *American Behavioral Scientist*, 61(1), p.1356-1386. DOI: 10.1177/0002764217734264

Kumar, M.; Devi, A.; Sharma, M.; Kaur, P.; Mandal, U. K. (2021). Review on perfume and present status of its associated allergens. *Journal of cosmetic dermatology*, 20(2), p.391-399. DOI: 10.1111/jocd.13507

Kumar, R.; Sharma, V. (2018). Chemometrics in forensic science. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, p.191-201. DOI : 10.1016/j.trac.2018.05.010.

La Rosa, C.C.; Collins, C. (réaliseurs). (2019). *Broken : Épisode 1 - Makeup Mayhem* [film documentaire]. Netflix.

Labro, A. (réaliseurs). (2023). *Enquête - Fraude alimentaire : Un crime organisé* [film documentaire]. Radio-Canada.

Latif, Ö.B.; Yiğit, M.K.; Kirezli, Ö. (2018). A review of counterfeiting research on demand side: Analyzing prior progress and identifying future directions. *The journal of World Intellectual Property*, 21(5-6), p.458-480. DOI: 10.1111/jwip.12115

Lee, L.C.; Jemain, A.A. (2021). On overview of PCA application strategy in processing high dimensionality forensic data. *Microchemical Journal*, 169. DOI: 10.1016/j.microc.2021.106608.

Leman-Langlois, S.; Lemieux, F. (2008). Chapitre 23 : Renseignement de Sécurité et Renseignement Criminel. Dans : Cusson, M., Dupont, B., & Lemieux F., *Traité de sécurité intérieure* (1ère éd, Ser. Collection sciences forensiques, p.335-352). Presses polytechniques et universitaires romandes

Lemieux, F. (2008). Chapitre 20 : Vers un renseignement criminel de qualité. Dans : Cusson, M., Dupont, B., & Lemieux F., *Traité de sécurité intérieure* (1ère éd, Ser. Collection sciences forensiques, p.290-299). Presses polytechniques et universitaires romandes

Locard, E. (1920). *L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques*. Flammarion, Paris.

Loi sur le droit d'auteur (L.R.C. (1985), ch. C-42) (2023). Site Web de la législation (Canada). <https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/C-42/index.html>

López-Nogueroles, M. B., J.L.; Chisvert, A.; Salvador, A. (2013). A rapid and sensitive gas chromatography-mass spectrometry method for the quality control of perfumes: simultaneous determination of phthalates. *Analytical Methods*, 5(2), p.409-415. DOI: 10.1039/C2AY26130H

Margot, P. (2011). Traçologie: la trace, vecteur fondamental de la police scientifique. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, LXVII, p.72-97.

Margot, P. (2011b). Forensic Science on Trial - What Is the Law of the Land? *Australian Journal of Forensic Science*, 43(2), p.89–103. DOI: 10.1080/00450618.2011.555418

Mavlanova, T.; Benbunan-Fich, R. (2010). Counterfeit Products on the Internet: The Role of Seller-Level and Product-Level Information. *International Journal of Electronic Commerce*, 15(2), 79-104. DOI: 10.2307/27919913.

McNair, H. M.; Miller, J. M. (2019). Basic gas chromatography (Second, Ser. Techniques in analytical chemistry). John Wiley & Sons. DOI: 10.1002/9781119450795

Miller, J. N., & Miller, J. C. (2010). *Statistics and chemometrics for analytical chemistry* (6th ed.). Prentice Hall/Pearson.

Mireault, C. (2018). *Le profilage chimique des faux documents : Pertinence de l'intégration au profilage criminalistique?* [mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal]. Archipel. <https://archipel.uqam.ca/11223/>

Morgan, H. (réaliseurs). (2015). Underworld Inc. : Épisode 6 - Fake pharma [film documentaire]. Nat Geo Channel.

Morgan, H. (réaliseurs). (2015). Underworld Inc. : Épisode 5 - Knock-offs [film documentaire]. Nat Geo Channel.

Morse, B. L.; Repsha, C. L. (2021). Pretty Poisonous: How Counterfeit Cosmetics Can Be Toxic to Student Skin. *NASN school nurse (Print)*, 36(1), p.58–61. DOI: 10.1177/1942602X20921524

Mousseau, V.; Bérubé, M.; Dumont, P.-L.; Crispino, F. (2022). Science forensique et criminologie : Vers une co-construction diversifiée des savoirs sur le phénomène criminel et sa régulation. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, vol. LXXVI, no. 3, p. 334–346

Nasher, H. (2005). Addressing the Global Scope of Intellectual Property Crimes and Policy Initiatives. *Trends in Organized Crime*, 8, p.79–108. DOI: 10.1007/s12117-005-1015-y.

National Research Council (2009). Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward (publication no 228091). <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/grants/228091.pdf>

Olson, D.L., Lauhoff, G. (2019). Link Analysis. Dans: Descriptive Data Mining. *Computational Risk Management*. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-13-7181-3_7

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2019). Chapter 1: Counterfeiting – The current landscape. Dans : Trends in Trade in Counterfeit and Pirated Goods. OECD Publishing, p.13-21. DOI: 10.1787/fc8b3ec5-en.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2019). Chapter 2: How to update the picture? Dans : Trends in Trade in Counterfeit and Pirated Goods. OECD Publishing, p.23-26. DOI: 10.1787/abc23980-en

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2019). Chapter 3: Trade in counterfeit goods at first glance. Dans: Trends in Trade in Counterfeit and Pirated Goods. OECD Publishing, p.27-37. DOI: 10.1787/98ff165d-en.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2019). Chapter 4: Trade in fakes – The current picture. Dans: Trends in Trade in Counterfeit and Pirated Goods. OECD Publishing, p.39-47. DOI: 10.1787/36cfc50b-en.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2021). Global Trade in Fakes: A Worrying Threat. OECD Publishing, p.1-93. DOI: 10.1787/74c81154-en.

Peugeot, C. (2011). *Les entreprises face à la contrefaçon*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.75.

Ponsolle Des Portes, E. (2011). *La contrefaçon de produits de luxe*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.46-53.

Profil (s.d.). Dans *Dictionnaire Larousse en ligne*. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/profil/64166>

Radon, A. (2012). Counterfeit Luxury Goods Online: An Investigation of Consumer Perceptions. *International Journal of Marketing Studies*. 4, p.74-79. DOI: 10.5539/ijms.v4n2p74.

Rastogi, S. C. (1995). Analysis of Fragrances in Cosmetics by Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of High Resolution Chromatography*, 18, p.653-658.

Ratcliffe, J. H. (2010). Intelligence-led policing: Anticipating risk and influencing action. *Intelligence*, 1(1), p.1-12.

Ratcliffe, J. H. (2016). Intelligence-led policing (2^e édition). Routledge Press. p.1-192.

Renaud, D. (2021). La GRC saisit des centaines de milliers de médicaments contrefaits. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/justice-et-faits-divers/2021-04-07/la-grc-saisit-des-centaines-de-milliers-de-medicaments-contrefaits.php>

Reuters (2008). Scandale du lait contaminé à la mélamine - Le nombre de nourrissons chinois hospitalisés a doublé. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/monde/206934/scandale-du-lait-contamine-a-la-melamine-le-nombre-de-nourrissons-chinois-hospitalises-a-double>

Rey, A.; Corbi, E.; Pérèz, C.; David, N. (2015). Determination of suspected fragrance allergens extended list by two-dimensional gas chromatography–mass spectrometry in ready-to-inject samples. *Journal of Chromatography A*, 1404, p.95-103. DOI: 10.1016/j.chroma.2015.05.045

Ribaux, O.; Margot, P. (2008). Chapitre 21 : La trace matérielle, vecteur d'information au service du renseignement. Dans : Cusson, M., Dupont, B., & Lemieux F., *Traité de sécurité intérieure* (1^{ère} éd, Ser. Collection sciences forensiques, p.300-321). Presses polytechniques et universitaires romandes

Roudaut, R.R. (2011). *Contrefaçon: un crime invisible*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.25-35.

Roux, C.; Bucht, R.; Crispino, F.; De Forest, P.; Lennard, C.; Margot, P.; Miranda, M. D.; NicDaeid, N.; Ribaux, O.; Ross, A.; Willis, S. (2022). The Sydney declaration - Revisiting the essence of forensic science through its fundamental principles. *Forensic science international*, 332, 111182. DOI : 10.1016/j.forsciint.2022.111182

- Roux, C.; Ribaux, O.; Crispino, F. (2012). From Forensics to Forensic Science. *Current Issues in Criminal Justice*, 24, p.7-24. DOI: 10.1080/10345329.2012.12035941.
- Sachs, R. (2019). 'Fake' Makeup Isn't So Pretty: Revising the Vicarious Liability Standard for Consumers Injured by Counterfeit Cosmetics. *American Intellectual Property Law Association (AIPLA)*, 48(2). DOI: 10.2139/ssrn.3519965.
- Salvador, A., Chisvert, A. (2007). Perfumes in Cosmetics. Dans: Analysis of Cosmetic Products. Analytical Methods, Elsevier B.V, Amsterdam. p.243-275.
- Sauzier, G.; van Bronswijk, W.; & Lewis, S. W. (2021). Chemometrics in forensic science: approaches and applications. *Analyst*, 146(8), p.2415–2448. DOI : 10.1039/d1an00082a
- Sell, C.S. (2019). Fundamentals of fragrance chemistry. Wiley-VCH. <https://www.wiley.com/en-fr/Fundamentals+of+Fragrance+Chemistry-p-9783527819782>
- Stuart, B. (2013). Forensic analytical techniques (First, Ser. Analytical techniques in the sciences). Wiley.
- Sullivan, B.A.; Willson, J.M.; Militz, R.S. (2017). Illicit market for counterfeit products at small businesses in Michigan. *American Behavioral Scientist*, 61(11), p.1289-1312. DOI: 10.1177/000276421773
- Tang, F.; Tian, V.; Zaichkowsky, J. (2014). Understanding counterfeit consumption. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 26, p.4-20. DOI: 10.1108/APJML-11-2012-0121.
- Teodoro, J.A.R.; Pereira, H.V.; Correa, D.N.; de Sena, M.M.; Piccini, E.; Augustin, R. (2017). Forensic discrimination between authentic and counterfeit perfumes using paper spray mass spectrometry and multivariate supervised classification. *Analytical Methods*, 9(34), p.4979-4987. DOI: 10.1039/x0xx00000x.
- Thaichon, P.; Quach, S. (2016). Dark motives-counterfeit purchase framework: Internal and external motives behind counterfeit purchase via digital platforms. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 33, p.82-91. DOI: 10.1016/j.jretconser.2016.08.003
- Tobolkina, E.; Qiao, L.; Xu, G.; Girault, H.H. (2013). Electrostatic-spray ionization mass spectrometry sniffing for perfume fingerprinting. *Rapid Communications Mass Spectrometry*, 27, p.2310-2316. DOI: 10.1002/rcm.6697
- Toyoda, K.; Mathiopoulos, P.T.; Sasase, I.; Ohtsuki, T. (2017). A Novel Blockchain-Based Product Ownership Management System (POMS) for Anti-Counterfeits in the Post Supply Chain. *IEEE Access*, 5, p.17465-17477. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2720760.
- U.S. Customs and Border Protection (CBP) (2021). Intellectual Property Rights: Seizure Statistics, Fiscal Year 2021. Homeland Security. <https://www.cbp.gov/sites/default/files/assets/documents/2022-Sep/202994%20-%20FY%202021%20IPR%20Seizure%20Statistics%20BOOK.5%20-%20FINAL%20%28508%29.pdf>
- U.S. Customs and Border Protection, Office of Trade (2018). Intellectual Property Rights: Fiscal Year 2018 Seizure Statistics. Homeland Security. https://www.cbp.gov/sites/default/files/assets/documents/2019-Aug/IPR_Annual-Report-FY-2018.pdf
- United Nations Office on Drugs and Crime (2009). *Guidance for the Validation of Analytical Methodology and Calibration of Equipment used for Testing of Illicit Drugs in Seized Materials and*

- Biological Specimens* (publication no E.09.XI.16).
https://www.unodc.org/documents/scientific/validation_E.pdf
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) (2009). Guidelines on Representative Drug Sampling (publication no E.09.XI.13).
https://www.unodc.org/documents/scientific/Drug_Sampling.pdf
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) (2014). Focus on: The Illicit Trafficking of Counterfeit Goods and Transnational Organized Crime.
https://www.unodc.org/documents/counterfeit/FocusSheet/Counterfeit_focussheet_EN_HIRES.pdf
- van Asten, A. (2002). The importance of GC and GC-MS in perfume analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 21(9-10), 698-708. DOI: 10.1016/S0165-9936(02)00807-5
- Varmuza, K; Filzmoser, P. (2008). Introduction to Multivariate Analysis in Chemometrics (1^{ère} edition). CRC Press.
- Vidon, P. (2011). *Chine : de leader de la contrefaçon à leader de l'innovation*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.88-95.
- Wall, D.S.; Large, J. (2010). Jailhouse Frocks: Locating the Public Interest in Policing Counterfeit Luxury Fashion Goods. *The British Journal of Criminology*, 50(6), p.1094–1116. DOI: 10.1093/bjc/azq048
- Warusfel, B. (2011). *La contrefaçon entre concurrence et délinquance*. Dans : Institut national des hautes Études de la Sécurité et de la Justice, Cahier de la sécurité: Les dangers de la contrefaçon (n°15). p.9-15.
- Weyermann, C.; Willis, S.; Margot, P.; Roux, C. (2023). Towards more relevance in forensic science research and development. *Forensic Science International*, 348. DOI: 10.1016/j.forsciint.2023.111592.
- Wilson, J.M.; Fenoff, R. (2014). Distinguishing Counterfeit From Authentic Product Retailers in the Virtual Marketplace. *International Journal of Criminal Justice*, 24(1), p.39-58. DOI: 10.1177/1057567714527390.
- Wolstenholme, R.; Jickells, S.; Forbes, S. (2021). *Analytical techniques in forensic science*. John Wiley & Sons, Incorporated.

ANNEXE A

Résultats pour les analyses par PCA des parfums contrefaits et authentiques

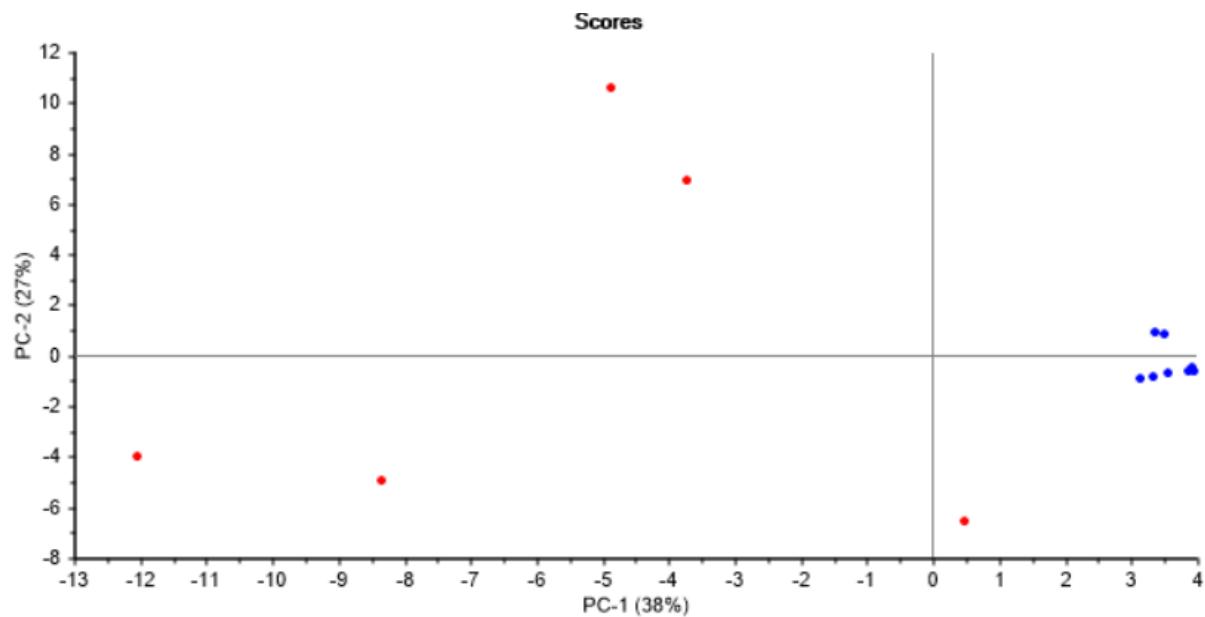


Figure 4.1 : Analyse en composantes principales pour la marque M3. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.

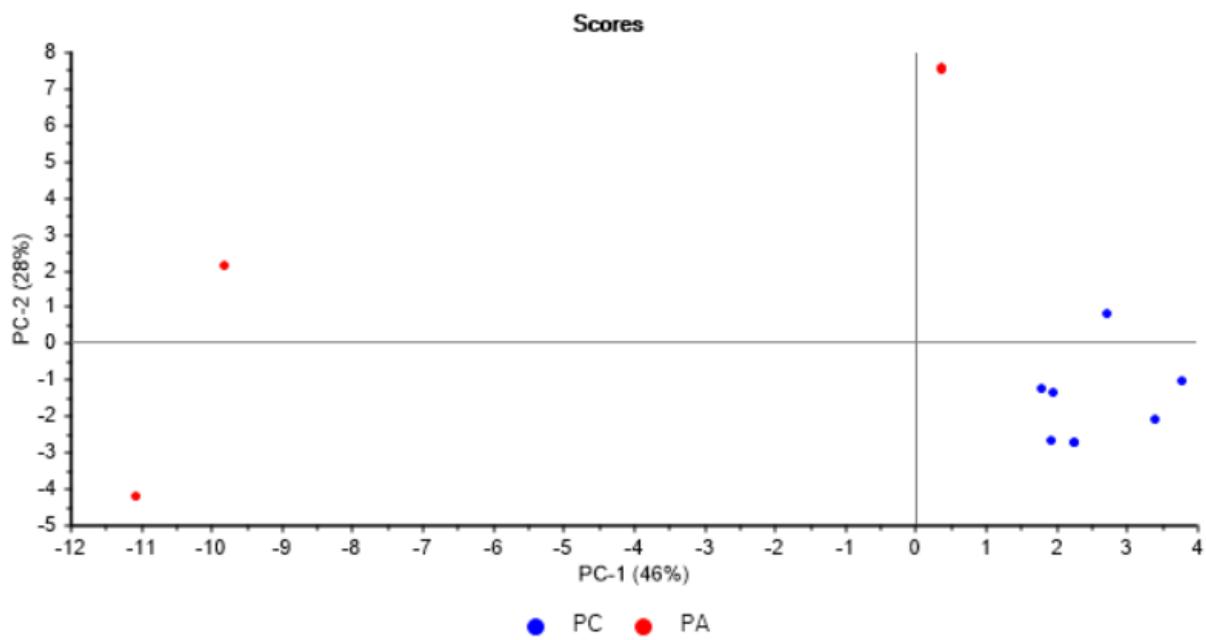


Figure 4.2 : Analyse en composantes principales pour la marque M10. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.

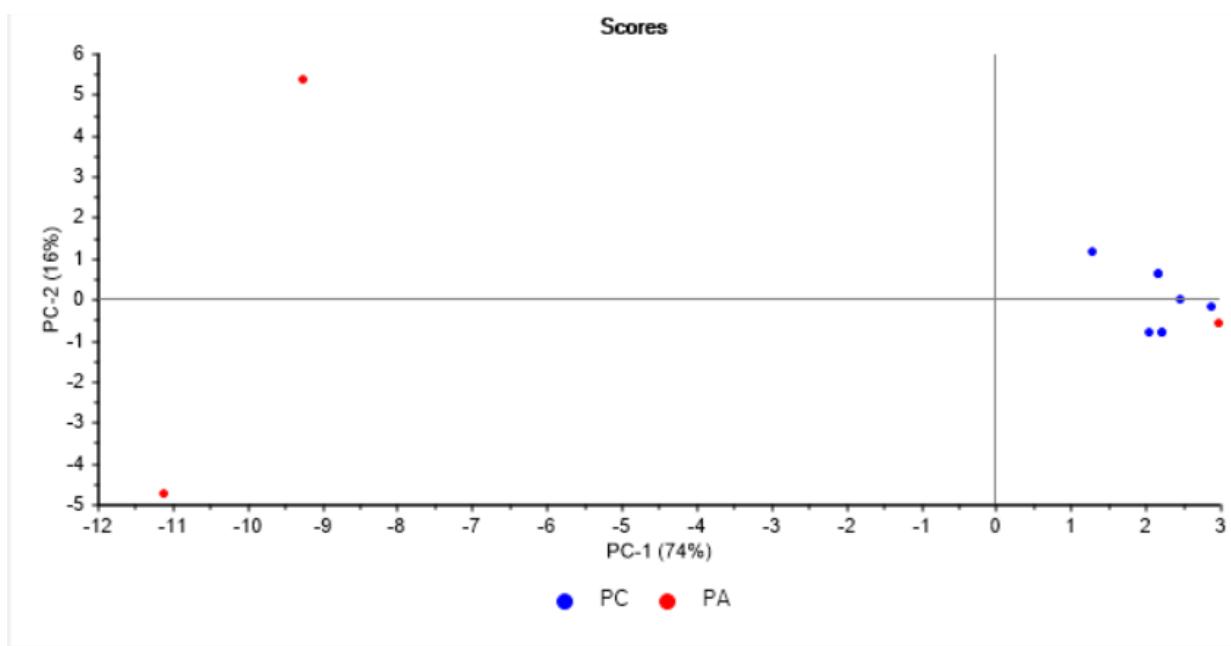


Figure 4.3 : Analyse en composantes principales pour la marque M11. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.

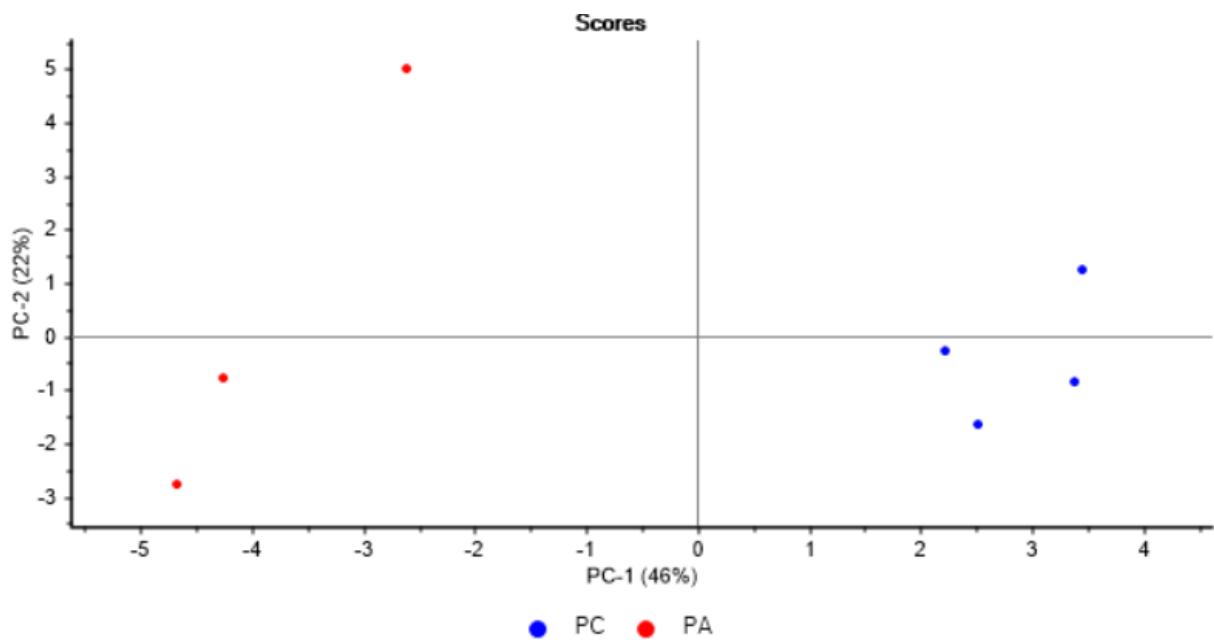


Figure 4.4 : Analyse en composantes principales pour la marque M13. Les parfums authentiques (PA) sont en rouge et les parfums contrefaits (PC) en bleu.

ANNEXE B

Analyses en composantes principales pour chacune des marques à l'étude

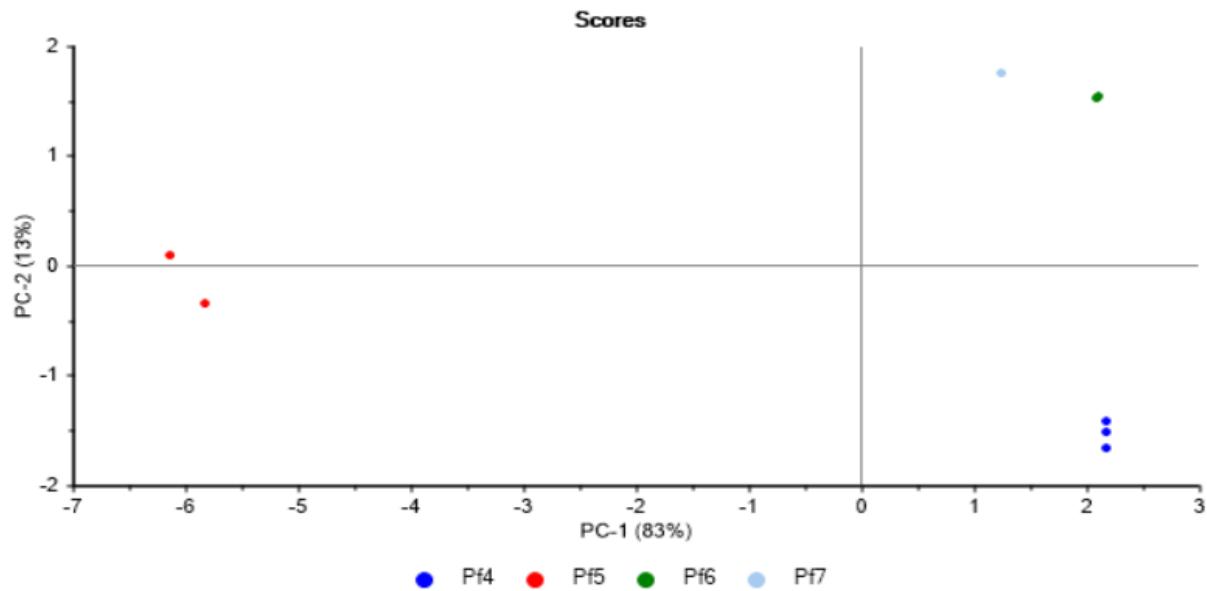


Figure 4.5 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M2. En bleu, Pf4; en rouge, Pf5; en vert, Pf6; en bleu ciel, Pf7.

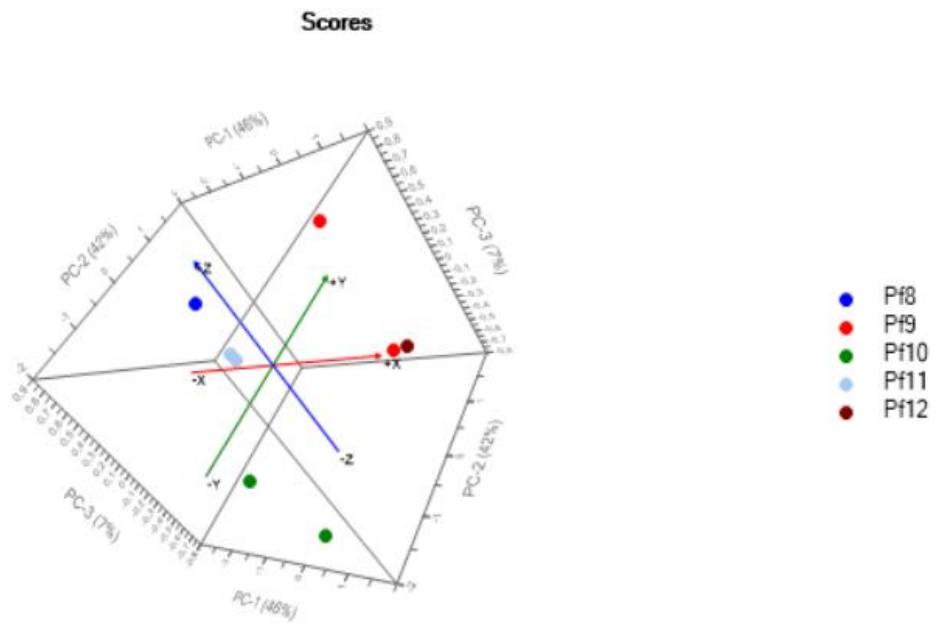


Figure 4.6 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M3. En bleu, Pf8; en rouge, Pf9; en vert, Pf10; en bleu ciel, Pf11; en brun, Pf12.

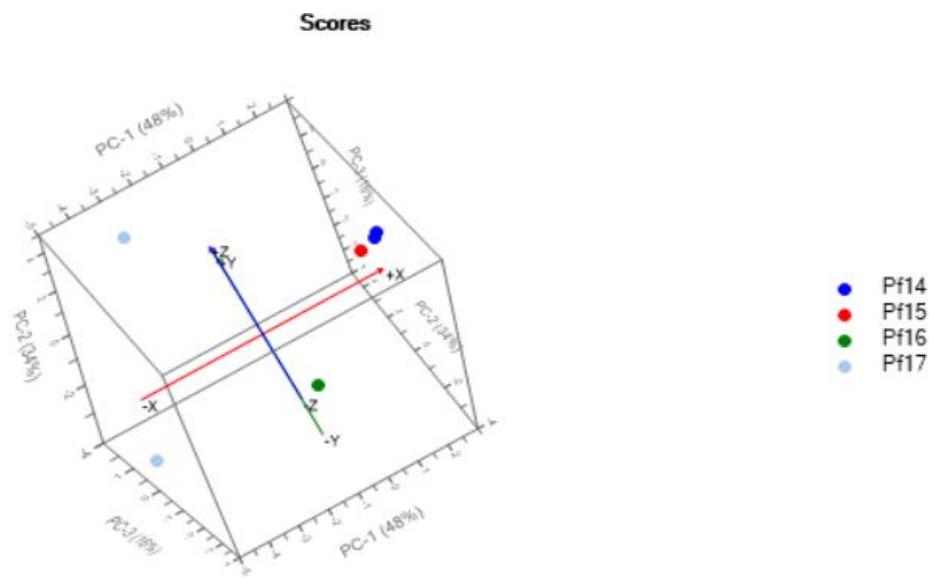


Figure 4.7 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M4. En bleu, Pf14; en rouge, Pf15; en vert, Pf16; en bleu ciel, Pf17.

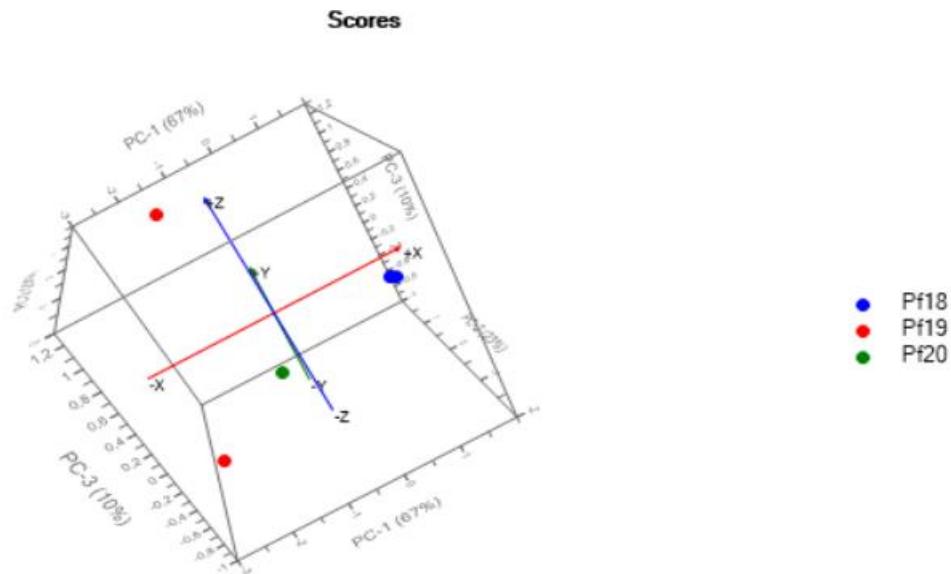


Figure 4.8 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M5. En bleu, Pf18; en rouge, Pf19; en vert, Pf20.

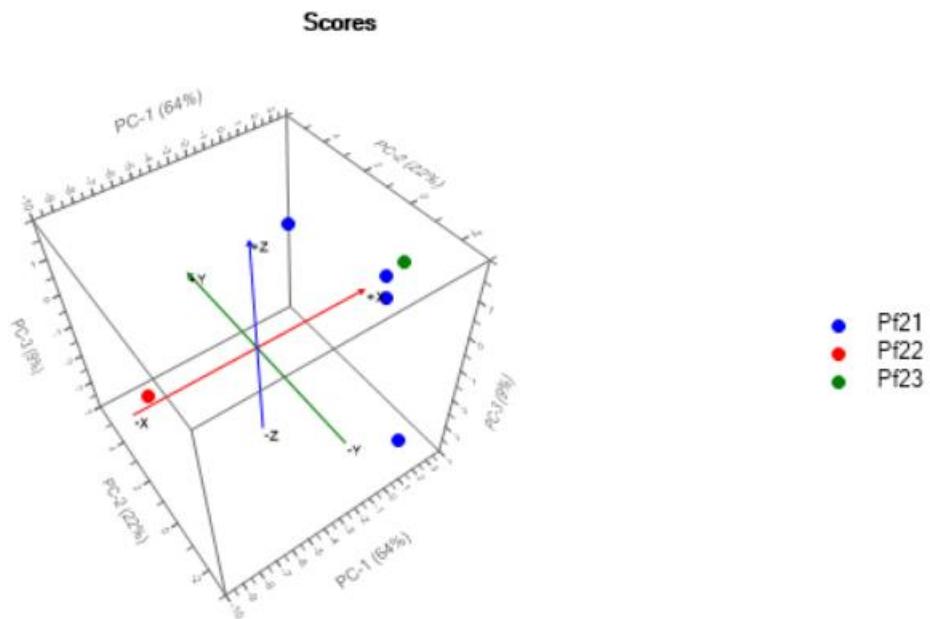


Figure 4.9 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M6. En bleu, Pf21; en rouge, Pf22; en vert, Pf23.

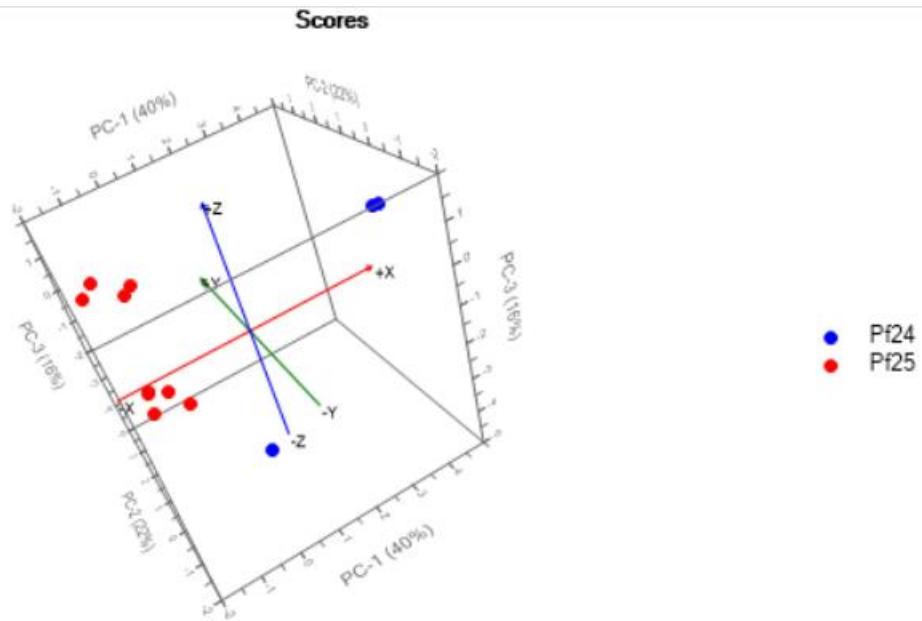


Figure 4.10 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M7. En bleu, Pf24; en rouge, Pf25.

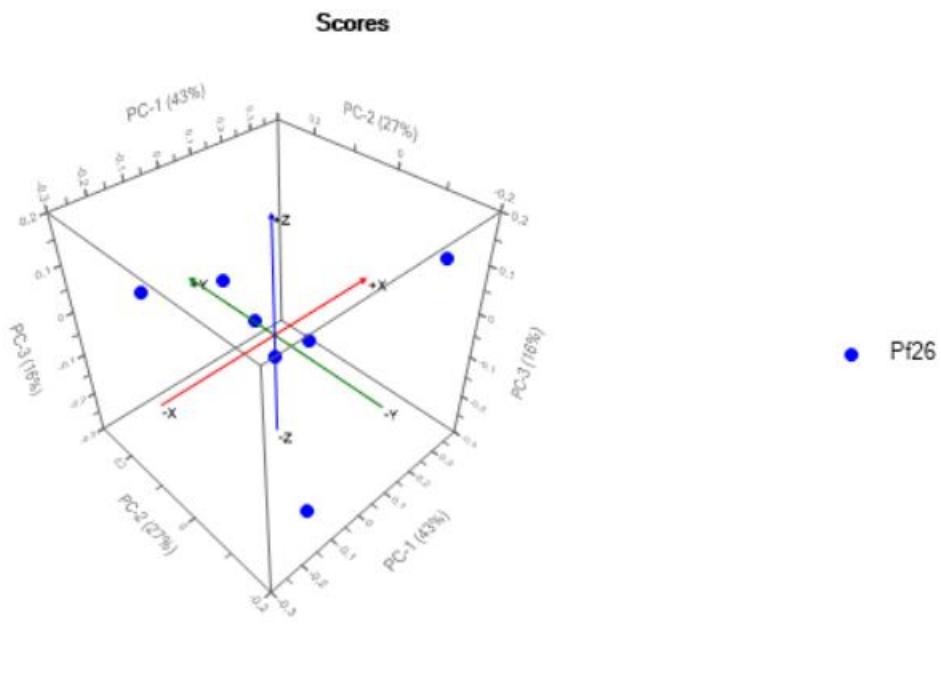


Figure 4.11 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l'analyse en composantes principales pour la marque M8. En bleu, Pf26.

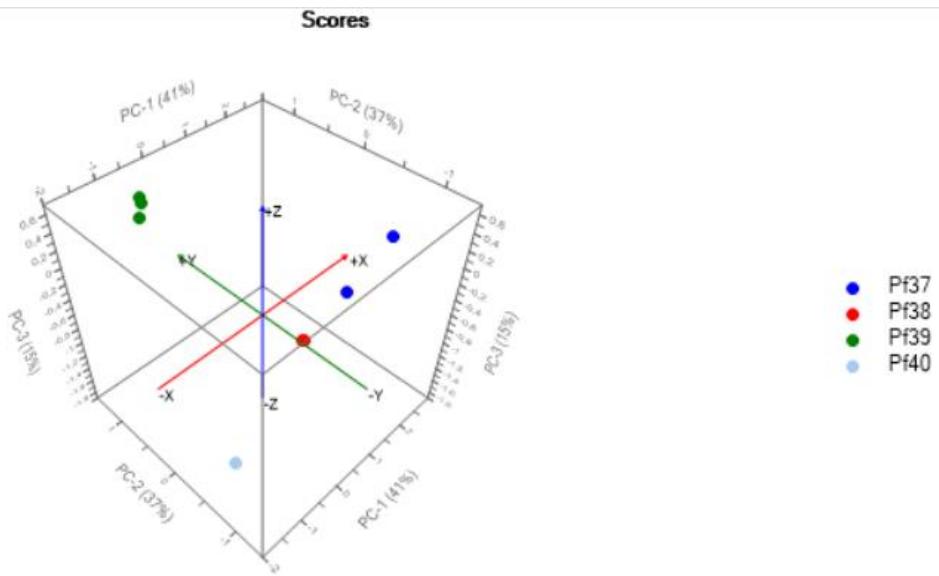


Figure 4.12 : Résultats de la distribution des parfums contrefaits dans l’analyse en composantes principales pour la marque M11. En bleu, Pf37; en rouge, Pf38; en vert, Pf39; en bleu ciel, Pf40.

ANNEXE C

Profils chimiques par regroupements de parfums pour chaque marque à l'étude

Tableau 4.1 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M1.

M1		
P071-P079	P067-P070	P061-P066, P080
Présence méthanol?	14,32	16,56
14,01BENZ	21,81	28,03LIL
14,21	23,05	29,42PHT
19,04	23,98TERT	30,47
26,7	26,84BUT	30,9
33	31,17	31,49CYC
	31,34AMB	34,70ISO
	31,88AMB	35,07

Tableau 4.2: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M2.

M2		
P059, P060	P081, P082, P130	P003, P004, P005
15,37	14,32	Présence méthanol?
25,71COU_94%		14,48
27,33IND		13,67
31,17		14,21
31,34CIS		15,31
33,49NAP		33
35,07		
35,64		

Tableau 4.3 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M3.

M3			
P100, P101	P097, P102	P095, P096	P098, P099
Présence méthanol?	29,42PHT	Présence éthanol?	28,03LIL
13,67		14,32	31,17
14,21		29,42PHT	35,07

14,48
16,56

Tableau 4.4 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M4.

M4			
P132	P131	P129	P013, P014, P127
29,42PHT	29,87	13,67	28,03LIL
		14,15PROP	31,17
		14,32	34,70ISO
		22,07	35,07
		33	

Tableau 4.5: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M5.

M5			
P047	P048	P052	P036-P038
13,72	13,67	30,40-1	30,9
14,32	14,21	35,07	38,39
15,37		35,24ACE	

Tableau 4.6 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M6.

M6			
P011	P009	P089	P008, P088, P090
13,92	29,42PHT	13,67	Présence méthanol?
14,72		14,32	13,72
31,24AMB		15,42	14,21
31,77			31,17
			33
			33,50ETH2
			34,70ISO
			35,07
			35,63ACE3

Tableau 4.7: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M7.

M7			
P001, P002	L001	P016-P020	P021-P024
30,9	33	14,32	14,21
	31,24CYC	15,37	
	35,24ACE	16,22	
		20,74LIN	
		30,9	
		31,17	

Tableau 4.8: Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M10.

M10				
P106	P107	P108-P110	P103	P104, P105
14,21	13,67	13,67	14,01BENZ	14,21
31	14,32	14,21	14,15PROP	30,9
	31,17	14,32	30,9	33
		30,9	33,50ETH2	34,70ISO
		33	35,24ACE	35,07
		34,70ISO		
		35,07		
		38,39		

Tableau 4.9 : Résultats du profilage chimique des parfums de la marque M11.

M11				
P085- P087	P133	P006	P083, P084	P007
14,48	Présence éthanol?	13,67	14,32	Présence éthanol?
26,7	14,32	14,21	16,22	13,67
30,40-1	14,48	14,32	31,17	14,32
33,82ETH	16,22	16,22	30,40-1	14,48
35,07	31,17	31,17	34,70ISO	16,22
35,30ACE	34,70ISO	34,83CYC	35,07	26,7
34,70ISO	38,39	35,07	35,30ACE	31,17
		38,39	38,39	31,34AMB
				38,39