

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

IDENTIFICATION DU PROFIL DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILES
PROVENANT D'OSSEMENTS HUMAINS ET ÉVALUATION DE LEUR PERTINENCE
POUR L'ENTRAÎNEMENT DES CHIENS DÉTECTEURS DE CADAVRES

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN CHIMIE EXTENSIONNÉE

DE L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PAR

FRÉDÉRIQUE OUIMET

AVRIL 2024

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

J'aimerais tout d'abord remercier ma directrice de recherche, Professeure Shari L. Forbes, de m'avoir donné l'opportunité et le financement, afin de pouvoir travailler sur un projet de recherche aussi intéressant que celui-ci. Ce projet m'a permis d'explorer plusieurs domaines de la taphonomie forensique, tout en me faisant vivre des expériences fantastiques et en mettant sur ma route en me permettant de rencontrer des personnes formidables. Merci d'avoir pris le temps de me guider, de m'aider à me dépasser tout au long de cette recherche et de m'avoir fait confiance pour réaliser ce projet. J'en suis extrêmement reconnaissante.

Merci à Clifford Samson, maître-chien de l'unité canine de la police provinciale d'Ontario (OPP), ainsi qu'aux autres maîtres-chiens, et leur chien, ayant participé aux entraînements analysés pour mon projet. Merci d'avoir partagé votre passion, vos anecdotes et vos connaissances dans le domaine de la détection.

J'aimerais prendre le temps de remercier tous les donateurs étudiés dans le cadre de ce projet pour leur généreuse contribution, sans qui ce projet n'aurait pas été possible. Merci aux personnes ayant fait le choix de donner leur corps au site de REST[ES], via le programme de don de corps du laboratoire d'anatomie de l'UQTR pour l'avancement de la science. Merci aux personnes amputées qui ont fait le choix de donner une petite partie d'elles pour contribuer au développement du domaine de la détection de restes humains. Nous sommes tous très reconnaissants de votre geste.

À Dr Darshil Patel et Dr Rushali Dargan, merci de m'avoir guidée et encouragée tout au long de mon projet et d'avoir pris le temps de m'apprendre tout ce dont vous savez au sujet de notre « delicate darling » (TD-GC×GC-TOF-MS) et de tous les autres sujets touchant notre domaine de recherche. Vous m'avez appris à être curieuse, rigoureuse et à réfléchir durant ma recherche ; de magnifiques qualités qui vont me permettre d'aller loin. Merci mille fois. Je voudrais aussi remercier Dr Agathe Ribéreau-Gayon d'avoir pris le temps de réfléchir avec moi pour l'établissement de ce projet et d'avoir été une grande aide pour tout ce qui a trait à l'écriture de mon mémoire, des résumés et des présentations. À Marissa Tsonakis, ma belle amie, merci d'avoir été présente tout au long de mon projet. Je n'aurais pas pu demander une meilleure partenaire de

recherche, de voyage et de fan-club de l'OPP. Merci aussi à tous mes autres collègues de laboratoire et amis - Karelle Séguin, Jerika Ho, Gabrielle Harvey, Sophie Morel, Pierre-Louis Arcand et Emily Pecsí - pour l'aide et le soutien moral. Finalement, j'aimerais prendre le temps de remercier tout le personnel de l'Université du Québec à Trois-Rivières, les professeurs et plus spécialement nos techniciens de laboratoire, Amy Gignac, Francis Lafontaine et Samuel Daviault, pour toute l'aide que vous m'avez apportée.

Un énorme merci à ma famille et à tous mes amis pour les encouragements que vous m'avez apporté tout au long de ma Maîtrise. À ma mère et Stéphane, merci d'avoir partagé mon enthousiasme à l'idée de faire ce projet, d'avoir cru en moi et de m'avoir aidée à remettre mes idées en ordre lorsque c'était nécessaire. À mon amie Karelle, merci de m'avoir aidée et soutenue dans les moments les plus heureux, mais aussi les plus difficiles, d'avoir pris le temps de m'écouter et me conseiller quand j'en avais le plus besoin. Je serai à jamais reconnaissante de t'avoir rencontrée.

DÉDICACE

À ma mère qui m'a appris qu'avec beaucoup de détermination et de passion, tout est possible

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE.....	iv
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS & SYMBOLES.....	xii
RÉSUMÉ.....	xiv
ABSTRACT	xv
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
1.1 Processus de décomposition biochimique.....	2
1.1.1 Décomposition des tissus mous	4
1.1.1.1 Protéines	4
1.1.1.2 Glucides	4
1.1.1.3 Lipides	5
1.1.2 Décomposition des tissus durs	6
1.2 Facteurs influençant la décomposition.....	8
1.2.1 Facteurs extrinsèques	9
1.2.2 Facteurs intrinsèques.....	11
1.3 Composés organiques volatils (COVs)	12
1.3.1 Profilage des composés organiques volatils.....	12
1.3.1.1 Profilage des composés organiques volatils des tissus mous.....	13
1.3.1.2 Profilage des composés organiques volatils des tissus durs	14
1.4 Détection des composés organiques volatils.....	15
1.4.1 Détection chimique des COVs par instruments analytique	15
1.4.1.1 Méthode d'échantillonnage des COVs	15
1.4.1.2 Méthode d'introduction de l'échantillon	16
1.4.1.3 Méthode de séparation des COVs.....	17
1.4.1.4 Méthode d'analyse des COVs.....	18
1.4.2 Détection biologique des COVs par l'odorat des chiens	19
1.4.2.1 Méthodes d'entraînement des chiens	20
1.5 Objectifs du mémoire.....	22
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	25
2.1 Échantillons.....	25
2.1.1 Donneurs de REST[ES].....	25
2.1.2 Outils d'entraînement de l'OPP	27
2.2 Échantillonnage des COVs	29

2.3	Analyse des COVs	31
2.4	Analyse statistique	32
2.5	Entraînement des chiens.....	33
CHAPITRE 3 PROFIL DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DES OSSEMENTS DE REST[ES]]		37
3.1	Profil des COVs des ossements de REST[ES].....	37
3.1.1	Abondances des classes chimiques selon le nombre de COVs.....	38
3.1.2	Abondance des classes chimiques selon l'aire sous la courbe normalisée des COVs	38
3.2	Variations entre les donneurs et les types d'ossements.....	40
3.2.1	Variations entre les donneurs.....	40
3.2.2	Variations entre les ossements	41
3.3	Persistence des COVs dans le temps.....	45
3.4	Discussion	46
3.5	Conclusion	52
CHAPITRE 4 PROFIL DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DES OUTILS D'ENTRAÎNEMENT UTILISÉS PAR L'OPP.....		53
4.1	Profil des COVs des outils d'entraînement de l'OPP	53
4.1.1	Distribution des classes chimiques selon le nombre de COVs	54
4.1.2	Distribution des classes chimiques selon l'aire sous la courbe normalisée des COVs	54
4.2	Variations entre les outils d'entraînement.....	56
4.3	Persistence des COVs dans le temps.....	59
4.4	Discussion	61
4.5	Conclusion	65
CHAPITRE 5 COMPARAISON DES PROFILS DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DES OSSEMENTS DE REST[ES] ET DES OUTILS D'ENTRAÎNEMENT DE L'OPP.....		66
5.1	Comparaison des profils des COVs des abondances des classes et de leur concentration relative.....	66
5.1.1	Comparaison de la distribution des classes chimiques selon le nombre de COVs	66
5.1.2	Comparaison de la concentration relative des classes chimiques des COVs.....	69
5.2	Discussion	72
5.3	Conclusion	74
CHAPITRE 6 PERFORMANCE DES CHIENS DÉTECTEURS DE CADAVRES DE L'OPP		75
6.1	Capacité de détection des chiens avec les ossements de REST[ES].....	75
6.2	Capacité de détection des chiens avec les outils d'entraînement de l'OPP.....	76
6.3	Discussion	77
6.4	Conclusion	80
CHAPITRE 7 CONCLUSION.....		81

7.1	Résumé des résultats de recherches	81
7.2	Futurs travaux	83
	ANNEXE A ACCORDS ÉTHIQUES POUR L'ÉTUDE PRÉSENTÉE.....	85
	ANNEXE B PHOTOGRAPHIES DES DIFFÉRENTS ÉCHANTILLONS ANALYSÉS.....	87
	ANNEXE C LISTE COMPLÈTE DES COVS PROVENANT DES OSSEMENTS HUMAINS DE REST[ES].....	91
	ANNEXE D LISTE COMPLÈTE DES COVS PROVENANT DES OUTILS D'ENTRAÎNEMENT DE L'UNITÉ CANINE DE L'OPP.....	100
	BIBLIOGRAPHIE	121

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Représentation d'un chromatogramme à une dimension (A) et d'un chromatogramme à deux dimensions (B) qui démontre la différence de séparation entre les deux instruments (Figure tirée de (Winnike et al., 2015)).	19
Figure 2.1 : Photographies des quatre types d'ossement du donneur 1 ayant été échantillonnés (A : clavicule droite ; B : première côte droite ; C : humérus droit ; D : trois dernières vertèbres lombaires).	26
Figure 2.2 : Photographies de différents outils d'entraînements osseux de l'unité canine de la police provinciale d'Ontario. (A : outils osseux ayant une apparence sèche, ainsi qu'aucun tissu ; B : outils osseux ayant une apparence humide et huileuse ; C : outils osseux ayant beaucoup de tissus organiques autour des os).	28
Figure 2.3 : Représentation des étapes de l'analyse des données effectuée à l'aide du logiciel R. (Figure adaptée de Dargan (2022)).	33
Figure 2.4: Photos des différentes zones d'entraînement intérieur des chiens. (A : boîtes ; B : carrousel ; C : cache dans les murs ; D : appartement de Kevin).(Dargan, 2022).	35
Figure 3.1 : Distribution des différentes classes chimiques en pourcentage en fonction du nombre de composés organiques volatils détectés chez les trois donneurs de REST[ES] entre juin 2022 et novembre 2023.	38
Figure 3.2 : Moyenne des concentrations relatives médianes des classes chimiques chez les trois donneurs de REST[ES] entre juin 2022 et novembre 2022.	39
Figure 3.3 : Nombre de composés organiques volatils selon leurs classes chimiques détecté chez les trois donneurs provenant de REST[ES].	40
Figure 3.4 : Concentration relative moyenne des classes chimiques des composés organiques volatils présents chez les trois donneurs provenant de REST[ES].	41
Figure 3.5 : Total de composés organiques volatils détecté dans chaque ossement des trois donneurs de REST[ES], ainsi que leur moyenne.	42
Figure 3.6 : Distribution (%) des classes chimiques selon le nombre de composés organiques pour les quatre types d'ossement chez les trois donneurs de REST[ES].	43
Figure 3.7 : Concentration relative totale des COVs des différents ossements provenant des trois donneurs de REST[ES] et leur concentration relative moyenne respective.	44
Figure 3.8 : Distribution (%) des classes chimiques selon la concentration relative des composés organiques volatils détectés dans les quatre types d'ossements des trois donneurs de REST[ES].	45

Figure 3.9 : Variation du nombre de composés organiques volatils chez les trois donneurs de juin 2022 à novembre 2022.	46
Figure 3.10 : Variation de la concentration relative des composés organiques volatils présente chez les trois donneurs de juin 2022 à novembre 2022.	46
Figure 4.1 : Distribution des différentes classes chimiques en pourcentage en fonction du nombre de COVs détectés dans tous les outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP analysé entre juin 2022 et novembre 2022.	54
Figure 4.2 : Distribution de la moyenne des concentrations relatives médianes des classes chimiques pour tous les outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP analysé entre juin 2022 et novembre 2022.	55
Figure 4.3 : Total de COVs détectés dans les outils d’entraînement, provenant d’amputations de 2017, 2019 et 2020, de l’unité canine de l’OPP.	56
Figure 4.4 : Pourcentage de distribution des COVs, selon leur classe chimique, retrouvés dans les outils d’entraînement provenant d’amputations de 2017, 2019 et 2020 de l’unité canine de l’OPP.	57
Figure 4.5 : Concentration relative des COVs détectés dans les outils d’entraînement, provenant d’amputations de 2017, 2019 et 2020, de l’unité canine de l’OPP.	58
Figure 4.6 : Pourcentage de distribution des concentrations relatives des classes chimiques des composés organiques volatils identifiés dans les différents outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP.	59
Figure 4.7 : Variation du nombre de COVs présent chez les outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP du mois de février à octobre 2022.	60
Figure 4.8 : Variation de la concentration relative des COVs présents chez les outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP du mois de février à octobre 2022.	61
Figure 5.1 : Comparaison du nombre de COVs par classe chimique pour les ossements humains provenant de REST[ES] et les outils d’entraînement de l’OPP.	68
Figure 5.2 : Comparaison du nombre de COVs présents pour les quatre types d’ossements des trois donneurs provenant de REST[ES] et les outils d’entraînement de l’OPP échantillonnés en octobre 2022.	69
Figure 5.3 : Comparaison de la concentration relative normalisée moyenne des classes chimiques des COVs provenant des ossements humains de REST[ES] et des outils d’entraînement de l’OPP.	71
Figure 5.4 : Comparaison de la concentration relative médiane des composés organiques volatils détectés dans les quatre types d’ossements des trois donneurs provenant de REST[ES] et les outils d’entraînement de l’OPP échantillonnés en octobre 2022.	72

Figure 6.1 : Taux de réponse des chiens détecteurs de cadavres de l'OPP pour les différents types d'ossements du Donneur 1 de REST[ES] pour les mois d'octobre 2022 et mai 2023.76

Figure 6.2 : Taux de réponse des chiens détecteurs de cadavres de l'OPP pour les différents types d'outils d'entraînement de l'OPP (provenant d'amputations de 2017, 2019 et 2020) pour les mois de février 2022 et mai 2022.....77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Les facteurs intrinsèques et extrinsèques affectant la décomposition humaine (d'après (Campobasso et al., 2001; Cockle, 2013; Cockle, & Bell, 2016; Dargan, 2022; Haglund, & Sorg, 1997; Rattenbury, 2018; Schotsmans et al., 2017; Schotsmans et al., 2020; Zhou, & Byard, 2011)).	8
Tableau 2.1 : Données concernant les différents donneurs utilisés lors de l'étude.	25
Tableau 2.2 : Liste des outils d'entraînement ayant été échantillonnés aux mois de février, mai et octobre 2022.	29
Tableau 2.3 : Paramètres choisis pour la collecte des composés organiques volatils des ossements de RESTES et des outils d'entraînement de l'unité canine de l'OPP.	30
Tableau 2.4 : Liste des différents entraînements ayant été réalisés, ainsi que le nombre de chiens ayant participé à ceux-ci.	34
Tableau 2.5 : Réponses possibles lors des entraînements des chiens.	35
Tableau 5.1 : Résumé des classes chimiques de la plus abondante à la moins abondante, selon leur nombre de COVs par classe, pour les ossements humains de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'OPP.	67
Tableau 5.2 : Liste des classes chimiques des ossements de REST[ES] et des outils d'entraînement de l'OPP, classés de la plus abondante à la moins abondante selon leur concentration relative moyenne.	70

LISTE DES ABRÉVIATIONS & SYMBOLES

ADN	Acide désoxyribonucléique
ARN	Acide ribonucléique
ATP	Adénosine-triphosphate
CDB	Clavicule droite
CDD	Chiens détecteurs de cadavres
COVs	Composés organiques volatils
D1	Donneur 1
D2	Donneur 2
D3	Donneur 3
F	Femme
GC	<i>Gas chromatography</i> (Chromatographie gazeuse)
GC×GC	<i>Two-dimensional gas chromatography</i> (Chromatographie gazeuse à deux dimensions)
GC×GC-TOF-MS	<i>Two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry</i> (Chromatographie gazeuse à deux dimensions couplées à la spectrométrie de masse à temps de vol)
GC-MS	<i>Gas chromatography-mass spectrometry</i> (Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse)
GPR	<i>Ground-penetrating radar</i> (Radar à pénétration de sol)
HDB	Humérus droit
EI	Impact électronique

IMC	Indice de Masse Corporelle
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
M	Mâle
m/z	<i>Mass/charge ratio</i> (ratio Masse/Charge)
MS	<i>Mass spectrometry</i> (Spectrométrie de masses)
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
ODORS	<i>OPP Decomposing Odor Research Site</i>
OPP	<i>Ontario Provincial Police</i> (Police Provinciale d'Ontario)
RDB	Côte droite
REST[ES]	Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales]
SCELERA	Sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie
SPIPB	Société du Parc Industriel et Portuaire de Bécancour
SPME	<i>Solid phase microextraction</i> (Microextraction en phase solide)
TD	<i>Thermal Desorption</i>
TD-GC×GC-TOF-MS	<i>Thermal Desorption-Two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry</i> (Désorption thermique - Chromatographie gazeuse à deux dimensions couplées à la spectrométrie de masse à temps de vol)
TOF	<i>Time-of-flight</i> (Temps-de-vol)
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières
VLB	Vertèbre lombaire

RÉSUMÉ

Les chiens sont utilisés par les services policiers pour la détection de restes humains lors de catastrophes naturelles ou de disparitions. L'odorat puissant des chiens leur permet de détecter les odeurs, constituées de composés organiques volatils (COVs), provenant des restes humains. Toutefois, pour détecter efficacement des restes humains, les chiens doivent être régulièrement exposés à un profil d'odeur similaire à celui des restes humains par le biais d'outils d'entraînements. L'unité canine de la police provinciale d'Ontario (OPP) entraîne régulièrement ses chiens à l'aide d'outils d'entraînement provenant de membres amputés de patients diabétiques. La majorité des outils d'entraînement ont été validés dans une étude précédente, à l'exception des outils d'entraînement osseux pour lesquels une validation est nécessaire. Actuellement, les connaissances sur les COVs provenant d'os secs sont limitées.

Afin de combler cette lacune, cette étude vise à caractériser le profil des COVs émis par des ossements secs provenant d'un site extérieur de décomposition (REST[ES]) ainsi que celui des COVs provenant des outils d'entraînement osseux utilisés par l'OPP. Ces deux types de profils des COVs seront ensuite comparés et testés lors d'entraînements avec les chiens afin d'évaluer leur capacité à les détecter. Pour caractériser le profil des COVs, ces derniers ont été collectés à l'aide de tubes adsorbants. Ces tubes ont ensuite été désorbés thermiquement et analysés par chromatographie gazeuse à deux dimensions couplée à un spectromètre de masse à temps de vol (TD-GC×GC-TOF-MS) afin d'obtenir une liste des COVs émis.

Cette étude a permis de démontrer que les ossements provenant de REST[ES] dégagent encore quelques COVs, malgré la faible quantité de tissus mous restant sur les os. En revanche, les outils d'entraînement osseux utilisés par l'OPP ont dégagé près de trois fois plus de COVs que les ossements de REST[ES]. La distribution des classes chimiques des COVs dégagés est similaire entre les outils d'entraînement et les ossements de REST[ES]. Cette différence a été observée lors des entraînements des chiens, montrant une plus grande difficulté à détecter les ossements secs par rapport aux outils d'entraînement. Toutefois, malgré la faible quantité d'odeur dégagée, il a été démontré que les chiens sont capables de détecter des restes humains squelettiques. Ainsi, il serait pertinent d'optimiser les méthodes d'entraînement pour la détection des restes squelettiques dans le futur.

Mots clés : Composés organiques volatils (COVs), chromatographie gazeuse à deux dimensions couplée à un spectromètre de masse à temps de vol (GC×GC-TOF-MS), chiens détecteurs de cadavres (CDD), outils d'entraînement, ossements humains

ABSTRACT

Dogs are utilized by police forces to detect human remains in the case of natural disasters or disappearances. The potent olfactory sense of dogs allows them to detect odors, comprising volatile organic compounds (VOCs), emanating from human remains. However, for effective detection of human remains, dogs must regularly encounter an odor profile similar to human remains through training aids.

The Ontario Provincial Police (OPP) canine unit regularly trains their dogs using training aids obtained from the amputated limbs of diabetic patients. The majority of these training aids have been validated in a prior study, except for bone training aids, which have not been validated. However, current knowledge of VOCs emitted from dry bones is limited. To address this knowledge gap, this study aims to characterize the VOC profile of dry bones from an outdoor decomposition site (REST), as well as the VOC profile of OPP bone training aids. These two types of VOC profiles can then be compared and tested in training sessions with police dogs to assess their ability to detect the odour.

To determine the VOC profile, VOCs were collected using sorbent tubes. These tubes were then thermally desorbed and analyzed using comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to time-of-flight mass spectrometry (TD-GC×GC-TOF-MS) to obtain a list of all detected VOCs. The study found that the bones from REST still emitted some VOCs, despite the small amount of remaining soft tissue. Conversely, bone training aids released nearly three times as many VOCs as dry bones from REST. The distribution of chemical classes of released VOCs was similar between training aids and dry bones. However, the major difference was in the abundance of VOCs released per sample. This disparity was observed during dog training. The dogs exhibited greater difficulty in detecting dry bones compared to the training aids. However, despite the minimal scent emitted, the dogs were able to detect skeletal human remains. Optimization of training methods for the detection of skeletal remains would therefore be relevant.

Keywords : Volatile organic compounds (VOCs), Thermal desorption-Two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry (GC×GC-TOF-MS), cadaver dogs, training aids, human bone

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

La détection de restes humains, lors de disparitions ou de catastrophes naturelles, est un processus méticuleux qui peut impliquer plusieurs disciplines dans le domaine de la science forensique (Killam, 2004; Schotsmans et al., 2017). Plusieurs méthodes de détection de restes humains sont actuellement utilisées telles que la prospection pédestre, le sondage, l'utilisation d'instruments de détection (pénétrromètre, radar à pénétration de sol (GPR) ou imagerie à scanner infrarouge) et l'arpentage magnétique ou de résistivité (Killam, 2004; Okunuga, 2016). Toutefois, la méthode la plus utilisée à ce jour est celle des chiens détecteurs. En effet, les chiens possèdent un sens de l'odorat très puissant qui leur permet de détecter non seulement des restes humains complets, partiels et à différents stades de décomposition, mais également des odeurs résiduelles sur le sol et les surfaces diverses, et ce, longtemps après le retrait des restes humains (p. ex. en cas de déplacement du cadavre) (Dargan, 2020). L'odeur détectée par les chiens est ainsi au centre de plusieurs études dans le domaine de la taphonomie forensique (Martin, & Verheggen, 2018; Verheggen et al., 2017). Cette discipline étudie les processus qui influencent la préservation du corps après la mort (processus *post mortem*), mais aussi l'étude des circonstances entourant la mort de l'individu (Charlier, 2012; Dent et al., 2003; Goff, 2009; Janaway et al., 2009; Vass, 2001). La taphonomie forensique comprend plusieurs disciplines, notamment l'archéologie, l'anthropologie, la paléontologie, la biologie et la chimie (Houck, 2017; Rattenbury, 2018; Schotsmans et al., 2017; Wescott, 2018; Williams et al., 2019). Les différentes études réalisées sur les odeurs de la décomposition ont pour objectif d'établir chimiquement le profil de l'odeur qui permet, par la suite, d'optimiser les outils d'entraînement des chiens à la détection de restes humains (Martin, & Verheggen, 2018; Verheggen et al., 2017). Toutefois, afin d'établir le profil de l'odeur de la décomposition, il est important de comprendre l'ensemble des processus biochimiques, chimiques et physiques se produisant aux différents stades de décomposition. En effet, ces différents processus ont un impact direct au niveau de la composition de l'odeur dégagée de restes humains (Carter et al., 2006; Charlier, 2012; Dent et al., 2003; Goff, 2009; Janaway et al., 2009; Vass, 2001).

1.1 Processus de décomposition biochimique

Dans la littérature, le processus de décomposition d'un corps humain peut être divisé selon plusieurs grandes phases qui diffèrent selon le domaine d'étude considéré. En entomologie, par exemple, la décomposition est séparée en cinq stades (« Frais », « Gonflé », « Actif », « Avancé » et « Sec »). Cette séparation a été établie en fonction des changements externes observables sur le corps lors de la décomposition. En thanatologie forensique, la décomposition est séparée en fonction des changements microscopiques et macroscopiques (Forbes, 2008). La décomposition correspond à un ensemble de processus chimiques, biochimiques et physiques complexes qui commencent quelques minutes après la mort d'un individu et se termine lorsque le corps est réduit à l'état d'ossements secs (Vass, 2001). Au début du processus de décomposition, certains changements post mortem sont observables, tels que le *livor mortis*, le *rigor mortis* et l'*algor mortis* (Forbes, 2008; Hau et al., 2014; Pope, 2010). Le *livor mortis* consiste en une décoloration de la peau due à l'arrêt de la circulation sanguine et à la diminution de l'oxygène dans le corps. Le sang a alors tendance à s'accumuler, par gravité, vers le sol (Hau et al., 2014). Le phénomène de *rigor mortis*, correspond à un raidissement des muscles après une modification chimique dans la structure musculaire due au déclin de l'adénosine-triphosphate (ATP) dans le corps (Clark et al., 1997). Finalement, l'*algor mortis* correspond au refroidissement post mortem du corps lié à l'arrêt de la régulation thermique du corps qui, progressivement, atteint la température ambiante (Rattenbury, 2018).

Au même moment, débute l'autolyse, suivie de la putréfaction, deux processus très importants lors de la décomposition (Dent et al., 2003; Janaway et al., 2009). L'autolyse est un processus d'autodestruction des cellules dues aux enzymes de digestion du corps. Après le décès d'un individu, l'apport continu d'oxygène cesse, ce qui crée un environnement anaérobie (sans oxygène) et une augmentation de dioxyde de carbone. Ce phénomène entraîne une diminution du pH dans le corps, menant à la rupture des membranes cellulaires. Le contenu cellulaire, incluant les enzymes digestives, est alors libéré dans le système entraînant la dénaturation des autres membranes cellulaires et molécules et, de ce fait, la digestion des constituants majeurs du corps (lipides, glucides, protéines). Après quelques jours *post mortem*, certains changements macroscopiques, dus à l'autolyse, sont observables sur le corps, tels que le « skin slippage » (desquamation) et le « marbling » (marbrure veineuse) (Gill-King, 1997; Hau et al., 2014).

L'environnement anaérobique du corps en décomposition favorise la croissance de microorganismes, tels que des bactéries (p. ex. *Bacteriodes*, *Clostridia* & *Streptococci*), des champignons et des protozoaires (Carter, & Tibbett, 2008). Les microorganismes prolifèrent ensuite dans de nombreuses régions du système conduisant à la dégradation des tissus organiques en gaz, en liquide ou en molécules simples (Rattenbury, 2018; Schotsmans et al., 2017). Les lipides, les glucides et les protéines présents dans les tissus organiques sont convertis en différents types de composés organiques ou de gaz, tels que des acides, des cétones et des aldéhydes. (Dent et al., 2003). Ce phénomène de prolifération bactérienne correspond à la putréfaction. La putréfaction cause le gonflement de l'abdomen et des membres ainsi que l'apparition d'une coloration verdâtre sur le corps, qui s'accompagne d'une intensification de l'odeur de décomposition (Carter, & Tibbett, 2008; Goff, 2009; Hau et al., 2014; Statheropoulos et al., 2011). La putréfaction est une conséquence du processus d'autolyse, cependant, les deux phénomènes peuvent être concomitants dans le corps, le processus de décomposition n'étant pas homogène dans toutes les zones du corps (Carter et al., 2006; Clark et al., 1997; Forbes, 2008; Hau et al., 2014; Vass, 2001).

À l'issue de la putréfaction, le corps entame généralement une phase de liquéfaction qui est engendrée par les enzymes digestives et l'activité entomologique (Carter, & Tibbett, 2008; Carter et al., 2006; Hau et al., 2014; Pope, 2010). De ce fait, plus la décomposition est avancée, plus la quantité de bactéries est élevée, menant ainsi à la liquéfaction d'une plus grande quantité de tissus mous. L'augmentation de la pression interne peut mener à l'expulsion des tissus liquéfiés par les orifices naturels (cavités orales, nasales et oculaires, parties génitales) ou par des ruptures *ante mortem* ou *post mortem* de la peau (p. ex. plaies). Les tissus liquéfiés sont composés généralement d'eau, de protéines, de lipides, de glucides et de minéraux ainsi que de leurs produits de dégradation (Forbes, 2008; Forbes et al., 2017; Hau et al., 2014; Rattenbury, 2018).

La liquéfaction et la dégradation des tissus mous conduisent à l'exposition des os sous-jacents. L'exposition des os peut être considérée comme totale ou partielle (seule une partie des os est exposée). Plus le processus de décomposition avance, plus il dépend de l'activité biologique. Les ligaments et les tendons vont graduellement se décomposer, ce qui va engendrer la désarticulation des os qui ne sont plus maintenus en connexion anatomique. À terme, les os eux-mêmes vont se dégrader avec le temps par plusieurs processus décrits dans la section 1.1.3. (Dent et al., 2003; Forbes, 2008; Forbes et al., 2017; Hau et al., 2014; Rattenbury, 2018).

1.1.1 Décomposition des tissus mous

Le corps humain est majoritairement composé d'eau (61 %), de protéines (17 %), de lipides (17 %), de glucides (1 %) et de minéraux (4 %) (Pocock et al., 2013). Lors du processus d'autolyse, ces différentes molécules sont dégradées en sous-produits caractéristiques de la décomposition humaine.

1.1.1.1 Protéines

Durant le processus de décomposition, les protéines sont dégradées en plusieurs sous-produits par les protéases, des enzymes ayant la capacité de briser les liaisons peptidiques (protéolyse) (Dent et al., 2003; Gill-King, 1997; Janaway et al., 2009). Le phénomène de protéolyse va mener à la formation de peptones, de polypeptides et de protéoses et éventuellement d'acides aminés. Selon la composition des acides aminés, celles-ci vont passer par le processus de désulfuration, de décarboxylation ou de désamination. Des sous-produits sont aussi formés, notamment des amines biogènes, et différents gaz (gaz carbonique, sulfure d'hydrogène, ammoniac et méthane) (Forbes, 2008). La dégradation des protéines peut se produire à plusieurs moments lors du processus de décomposition et à différents rythmes selon les tissus corporels. En effet, la vitesse varie en fonction de l'humidité, de la température et de l'activité bactérienne (Stejskal, 2013; Vass, 2001).

1.1.1.2 Glucides

Les glucides peuvent être séparés en quatre groupes majeurs, soit les monosaccharides, les disaccharides, les oligosaccharides et les polysaccharides. Lors du processus de décomposition, les disaccharides, les oligosaccharides, mais plus particulièrement, les polysaccharides, sont dégradés en monosaccharide grâce à l'activité de plusieurs microorganismes (champignons et bactéries). Les monosaccharides peuvent être complètement oxydés ou partiellement oxydés, ce qui va mener à plusieurs types de produits. Les champignons vont partiellement oxyder les monosaccharides en acides organiques. Certaines bactéries peuvent oxyder, partiellement ou complètement, les monosaccharides en fonction de la présence/absence d'oxygène dans le milieu. En milieu anaérobique, les bactéries vont les oxyder partiellement et complètement les oxyder en milieu aérobique. Lors d'une oxydation partielle, ceux-ci sont dégradés en acides organiques et en alcools. Lors d'une oxydation complète, les monosaccharides vont être dégradés en eau et en gaz (CO₂) (Dent et al., 2003; Gill-King, 1997; Janaway et al., 2009). D'autres produits (méthane et hydrogène)

peuvent provenir de la fermentation des glucides par les bactéries ou peuvent être issus de la réduction des glucides. La dégradation des glucides se produit généralement au début du processus de décomposition, les glucides étant une source importante d'énergie pour les microorganismes (Dent et al., 2003).

Les acides ribonucléiques (ARN) et les acides désoxyribonucléiques (ADN) sont des acides nucléiques contenant des molécules de sucres. Les nucléases présentes dans l'environnement vont attaquer l'ARN et l'ADN pour former des nucléotides et des nucléosides. Les sucres présents dans ces derniers vont, par la suite, suivre le même chemin de dégradation que celui des glucides (Dent et al., 2003; Forbes, 2008; Gill-King, 1997).

1.1.1.3 Lipides

Les tissus adipeux sont présents en grande quantité dans le corps et sont composés majoritairement de lipides (80 %), d'eau (15 %) et de protéines (5 %) (Pocock et al., 2013). Les lipides correspondent généralement à des triglycérides, soit un glycérol attaché à trois molécules d'acides gras. Les acides gras attachés les plus fréquents sont les acides oléiques, linoléiques, palmitoléiques et palmitiques (Pocock et al., 2013).

Dans le cas d'un corps en décomposition, les lipides sont hydrolysés, par des enzymes bactériennes ou des lipases intrinsèques, en un mélange d'acides gras saturés et insaturés. Ceux-ci sont hydrogénés ou oxydés selon les conditions environnementales (Dent et al., 2003). Lors d'une hydrogénation des acides gras, les acides oléiques, linoléiques et palmitoléiques sont hydrogénés respectivement en acide stéarique, oléique et palmitique. La quantité d'acide gras saturé va augmenter tandis que la quantité d'acides gras insaturés va diminuer. S'il y a une grande quantité d'acide gras saturé dans le milieu aérobique, ceux-ci seront oxydés par les champignons et les bactéries en aldéhydes et en cétones (Carter et al., 2006; Gill-King, 1997). Ceci est dû au fait que les lipides passent par une hydrolyse plus intense en présence d'eau, ainsi qu'une activité enzymatique importante. Ces processus vont continuer jusqu'à ce que tous les lipides soient dégradés en acides gras. De plus, il peut y avoir formation d'adipocire (ou « saponification ») si les conditions environnementales *ad hoc* sont réunies (milieu anaérobique, températures élevées, un pH légèrement alcalin et un taux d'humidité élevé). Les acides gras non dégradés seront retrouvés

sous forme de sels d'acides gras en s'associant aux ions potassium (K^+) ou sodium (Na^+) (Forbes, 2008; Gill-King, 1997).

1.1.2 Décomposition des tissus durs

Les tissus durs (ossements) sont composés de matière inorganique et organique, ce qui les rend très résistants. La matière inorganique est constituée de minéraux, tels que le phosphate (50 %), le calcium (35 %) et le carbonate (6 à 7 %), ainsi que des traces de citrate, nitrate, sodium, magnésium, fluorure et de strontium. Ces minéraux créent un cristal appelé hydroxyapatite recouvert d'une couche de molécules d'eau (Currey, 2006; Garnero et al., 2003; Zipkin, 1970). L'hydroxyapatite se lie à la matière organique et crée un lien minéraux-protéines qui solidifie la structure osseuse et favorise sa préservation. La matière organique, quant à elle, permet le soutien des os (Collins et al., 2002; Dent et al., 2003). Celle-ci est faite de collagène osseux (90 à 95 %) et d'autres protéines, telles que l'ostéonectine, l'ostéocalcine, l'ostéopontine, les protéoglycanes et les glycosaminoglycanes qui se retrouvent dans la matrice intracellulaire de l'os. L'ostéonectine va permettre la connexion entre les minéraux et le collagène et l'ostéopontine va permettre la connexion entre les minéraux des os et les cellules (Currey, 2006; Haglund, 2001; Zipkin, 1970). Les os sont vascularisés, renfermant en leur intérieur la moelle osseuse (Florencio-Silva et al., 2015; Peci et al., 2022). L'abondance de vaisseaux sanguins et de moelle osseuse va varier selon le type d'ossement. Par exemple, les os longs ont davantage de moelle osseuse que les côtes (Keough, & Lorke, 2021; Suchacki et al., 2016).

Lorsque les restes humains sont au stade squelettique, le processus de décomposition des ossements, appelé diagenèse, est de plus en plus dépendant de l'activité bactérienne. La phase organique de l'os, le collagène, se dégrade par l'action des collagénases, des enzymes qui hydrolysent les liaisons peptidiques du collagène. L'hydrolyse mène à la rupture du lien minéraux-protéines en peptides. Les peptides vont à leur tour se dégrader en acides aminés de bases et vont être emportés par les eaux environnantes. En plus du collagénase, il a été avancé que la bactérie *Clostridium spp.* peut avoir un impact sur la dégradation du collagène. Celle-ci agit à un pH de 7 à 8 (Collins et al., 2002; Hedges, 2002; Karr, & Outram, 2015). Étant donné que la dégradation du collagène cause la rupture du lien minéraux-protéines, les minéraux des os sont plus vulnérables à la dissolution par processus d'altération chimique. Les ions de calcium sont remplacés à un pH acide par des protons

et les ions de calcium sont entraînés dans le sol (Collins et al., 2002; Hedges, 2002; Nicholson, 1996). Outre le retrait des protéines et des minéraux dans les os, il se produit une substitution, une infiltration et une adsorption de différents ions qui affaiblissent les liens protéine-minéraux restants. Ceci va laisser les ossements plus susceptibles aux facteurs environnementaux. Il peut aussi y avoir des traces d'éléments non primaires accumulés dans les ossements aux courants par le biais de la consommation de nourriture et d'eau. Ces éléments (strontium, fluor et différents métaux) sont libérés dans l'environnement lors du processus de décomposition (Boaks et al., 2014; Collins et al., 2002; Dent et al., 2003; Nicholson, 1996).

L'élimination de la matière organique et inorganique par les processus d'altérations biologiques et chimiques cause l'affaiblissement de la structure osseuse. Leur force et dureté vont donc réduire jusqu'à leur désintégration (Forbes, 2008). Il y a, cependant, d'autres facteurs (abiotiques et biotiques) qui vont jouer un rôle dans la dégradation et la destruction des os (Collins et al., 2002; Piepenbrink, 1986). Les facteurs abiotiques incluent l'eau, la température et le type de sol. L'eau, par exemple, entraîne la matière organique dans le sol ou dans les cours d'eau. En ce qui a trait au sol, lorsque celui-ci est acide, le processus de décomposition des os est plus rapide, puisque la matière inorganique présente dans les os va se dissoudre. D'autre part, un milieu neutre ou alcalin permet une meilleure préservation des os (Dent et al., 2003). La faune et la flore sont les facteurs biotiques ayant un grand impact dans la décomposition. Les différentes espèces animales (carnivores, herbivores et omnivores) vont causer des bris physiques et laisser des traces sur les ossements. Les animaux les plus gros peuvent endommager complètement des os en les fracturant en plusieurs morceaux. Les animaux plus petits comme les rongeurs, quant à eux, peuvent laisser des traces de rongement. De plus, les bactéries et champignons vont infiltrer la structure osseuse, créant des dommages similaires à ceux réalisés par les différentes espèces animales. L'activité entomologique va aussi causer la perte d'intégrité de la structure osseuse, incluant la membrane fibro-élastique (periosteume), ainsi que la structure osseuse trabéculaire (Klafehn, 2021). Finalement, les racines des plantes ont un impact sur la destruction des os. Elles peuvent s'infiltrer à l'intérieur et fracturer les os en plusieurs morceaux ou causer des trous pouvant être confondus pour des blessures *ante mortem* (Karr, & Outram, 2015; Kasem et al., 2011).

Il est aussi à noter que le processus de diagenèse n'affectera pas tous les ossements du corps de la même manière. Par exemple, les os compacts (os longs et crâne) ont une grande densité osseuse,

puisque'ils sont densément minéralisés et ont une faible porosité. Ceux-ci sont donc moins affectés par les processus de diagenèse, comparativement aux os spongieux (vertèbres, côtes) qui sont plus poreux et donc plus propices aux processus de diagenèse (Collins et al., 2002; Cox, & Mays, 2000; Currey, 2006; Gowland, & Thompson, 2022; Hedges, 2002; Piepenbrink, 1986).

1.2 Facteurs influençant la décomposition

Certains facteurs affectant la décomposition humaine ont été mentionnés précédemment. Cette section va aborder plus précisément leur impact. Les facteurs sont généralement séparés en deux catégories distinctes : les facteurs intrinsèques et les facteurs extrinsèques. Les facteurs intrinsèques correspondent à des facteurs provenant de la personne même, par exemple l'âge au moment du décès, le sexe, la composition corporelle ou la cause de la mort. Les facteurs extrinsèques, quant à eux, sont des facteurs provenant de l'environnement où se décompose le corps. Ceci inclut, entre autres, la température, l'activité biologique et la pratique culturelle (Cockle, 2013). Le Tableau 1.1 liste les différents facteurs pouvant affecter la décomposition. Ces facteurs peuvent permettre l'accélération de la décomposition des tissus, ou, au contraire, de leur ralentissement. Certains facteurs ont un plus grand impact au niveau des tissus mous et d'autres davantage au niveau de la dégradation des ossements. Une combinaison de ces facteurs peut aussi apporter un impact plus important sur le processus (Campobasso et al., 2001; Cockle, 2013; Cockle, & Bell, 2016; Zhou, & Byard, 2011).

Tableau 1.1 : Les facteurs intrinsèques et extrinsèques affectant la décomposition humaine (d'après (Campobasso et al., 2001; Cockle, 2013; Cockle, & Bell, 2016; Dargan, 2022; Haglund, & Sorg, 1997; Rattenbury, 2018; Schotsmans et al., 2017; Schotsmans et al., 2020; Zhou, & Byard, 2011)).

Facteurs affectant la décomposition	
Facteurs intrinsèques	Facteurs extrinsèques
<ul style="list-style-type: none"> - Âge - Sexe - Composition corporelle - Présence de blessures et/ou de plaies - Cause du décès - Présence de maladies - Prise de médicaments et/ou de drogues 	<ul style="list-style-type: none"> - Température - Précipitation et humidité - Ensoleillement - Taux d'oxygène - Caractéristiques du sol (pH) - Flore - Faune : animaux nécrophages et insectes - Vêtements / couvertures - Pratiques culturelles

1.2.1 Facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques sont de deux natures : abiotiques et biotiques. Les facteurs abiotiques correspondent à des facteurs non vivants provenant du milieu physique et chimique. La température, le pH, la disponibilité de l'eau et le niveau d'oxygène sont les quatre principaux facteurs abiotiques. Le reste des facteurs, tels que le type de sol, les vêtements, les pratiques culturelles et l'ensoleillement vont influencer ceux-ci. Généralement, ces facteurs vont avoir un impact au niveau du processus de dégradation des molécules par les enzymes, le cycle de vie des microorganismes et arthropodes et la préservation des tissus (Carter, & Tibbett, 2008).

Pour commencer, la température va jouer un rôle au niveau des nombreuses réactions chimiques se produisant lors de la décomposition. À température élevée, l'activité biologique (bactérienne, entomologique) s'intensifie, ce qui entraîne l'accélération de la vitesse des réactions chimiques. L'activité biologique est, cependant à son point culminant, lorsque la température et les conditions environnementales sont optimales pour leur croissance, tout comme les arthropodes nécrophages. À l'inverse, à basse température, l'activité bactérienne et enzymatique, ainsi que les diverses réactions biochimiques vont diminuer causant un ralentissement du processus de décomposition. Une diminution de l'activité entomologique et des charognards est observable. Il est à noter que la température lors du processus de décomposition n'est généralement pas constante pour différentes raisons (localisation, type de dépôt, saison, etc.) (Campobasso et al., 2001; Cockle, 2013; Gill-King, 1997; Horenstein et al., 2010).

L'eau se retrouve sous plusieurs formes incluant l'humidité, les précipitations et les milieux aquatiques. L'eau va affecter les concentrations chimiques à l'intérieur et à l'extérieur des cellules, ainsi qu'agir comme un solvant pour les molécules polaires biologiques et non biologiques présentes dans le système. Tout dépendant de la quantité d'eau présente dans l'environnement, celle-ci va influencer l'activité bactérienne. Si le milieu a la teneur en eau optimale pour les différents microorganismes, il y aura prolifération. Sinon, il y aura un retardement. De plus en combinant d'autres facteurs à l'eau, il peut y avoir un grand retardement au niveau de la décomposition. Par exemple, lorsque l'environnement aride et très sec, il y aura un phénomène de dessiccation. Lorsque l'environnement est humide et est très riche en microorganismes, il y aura

formation d'adipocire (Carter, & Tibbett, 2008; Carter et al., 2006; Cockle, & Bell, 2016; Kasem et al., 2011; Zhou, & Byard, 2011).

Tout comme la température, le pH joue un rôle au niveau des différentes réactions chimiques. Celui-ci va être grandement influencé par la teneur en eau, mais aussi par le processus de décomposition qui va libérer des produits de dégradation qui affectent le pH. Un sol ayant un pH acide va promouvoir la croissance de champignons et de plantes près des restes humains. Ceci va avoir un impact au niveau de la vitesse de décomposition, ainsi que sur la conservation des restes (Carter, & Tibbett, 2008; Cockle, 2013; Cockle, & Bell, 2016; Javan et al., 2018; Pope, 2010; Schotsmans et al., 2017).

La décomposition est initiée par le manque d'oxygène après la mort, ainsi que l'initiation des activités bactériennes (autolyse et putréfaction). Par la suite, lors du processus de décomposition, la présence d'oxygène permet l'augmentation de la vitesse de décomposition. De ce fait, lorsqu'un corps est, par exemple, enterré, dans l'eau ou en haute altitude, la diminution de l'oxygène cause le retardement des réactions d'oxydation se produisant dans le système (Cockle, 2013; Cockle, & Bell, 2016).

Les facteurs biotiques, quant à eux, correspondent aux différents microorganismes, arthropodes et charognards qui vont avoir un impact sur la décomposition. Il a été mentionné plus tôt que lors du processus de décomposition, des bactéries aérobies vont consommer l'oxygène présent dans les tissus et lorsqu'il y aura un manque d'oxygène, ce sont les bactéries anaérobies qui vont débiter leur croissance. Toutes ces bactéries causent le gonflement du corps par le biais de la production de gaz. Les gaz vont s'échapper par les orifices naturels et des ruptures sur différentes parties du corps seront produites. Les gaz libérés attirent les arthropodes, ainsi que les charognards qui sont de grands contributeurs à la réduction de tissus mous (Cockle, 2013; Cockle, & Bell, 2016; Horenstein et al., 2010; Javan et al., 2018). Lorsque les arthropodes, plus précisément les diptères, sont attirés par les gaz, ceux-ci vont pondre leurs œufs sur les orifices naturels du corps. Les œufs se développent en larves et celles-ci vont consommer les tissus mous (Campobasso et al., 2001; Horenstein et al., 2010). Les charognards vont également consommer des tissus mous, ce qui peut potentiellement entraîner la désarticulation et la dispersion des restes. Les plus gros charognards,

tels que les ours et les loups, sont capables d'endommager voire de fracturer les ossements (Carter et al., 2006; Rattenbury, 2018; Schotsmans et al., 2017).

1.2.2 Facteurs intrinsèques

Il existe une corrélation entre les facteurs intrinsèques, l'âge, la densité et la masse osseuse. En effet, les jeunes enfants et les personnes âgées ont une masse et/ou une densité osseuse plus faible que les adultes moyens sains. Une densité ou une masse osseuse faible a pour conséquence une dégradation plus rapide et peut même mener à une minéralisation complète de l'os (Schotsmans et al., 2017). Pour ce qui est de la composition corporelle, il a été observé qu'une personne plus petite aura tendance à se décomposer plus rapidement qu'une personne plus grande (Schotsmans et al., 2020). De même, une personne ayant un pourcentage de gras plus élevé aura tendance à se décomposer moins rapidement qu'une personne avec un pourcentage inférieur, puisque les lipides ont tendance à empêcher la dissipation de la chaleur, qui est un facteur important lors de la décomposition (Zhou, & Byard, 2011). Toutefois, ceux ayant un pourcentage de gras plus élevé vont avoir tendance à commencer leur processus de décomposition plus rapidement (Zhou, & Byard, 2011). La cause du décès va aussi avoir un impact important sur la décomposition. Par exemple, s'il y a la présence de plaies ou de blessures, cela peut avoir un effet attracteur supérieur sur les insectes. De plus, les insectes pondent généralement leurs œufs dans les orifices naturels (organes génitaux, bouche, nez, yeux, oreilles). La présence d'une plaie ou d'une blessure peut constituer un « orifice » supplémentaire attractif pour la ponte (Hau et al., 2014). S'il y a la présence de drogues, de médicaments ou de traitements dans le système de l'individu, il se peut qu'ils aient un impact positif ou négatif sur l'activité entomologique. Ceux décédés d'une maladie infectieuse peuvent connaître une décomposition plus rapide en raison de la présence de différents types de bactéries virulentes dans le système lors de la mort qui ne sont généralement pas présentes lorsque les tissus sont sains (Daneshkhah et al., 2020; Murray, & Coleman, 2019). Aussi, les personnes atteintes de maladies métaboliques osseuses peuvent voir une augmentation de la vitesse de décomposition de leurs ossements, puisque ces maladies peuvent avoir un impact sur la formation, le remodelage et la minéralisation des ossements (Pinhasi, & Mays, 2008).

1.3 Composés organiques volatils (COVs)

L'ensemble des gaz, provenant des réactions chimiques, des microorganismes et de la dégradation de macromolécules en molécules plus simples et volatiles, forment un profil d'odeur spécifique à la décomposition (Forbes, 2008; Statheropoulos et al., 2004; Vass, 2001, 2012). Cette odeur va particulièrement attirer la faune, ainsi que différents arthropodes qui vont avoir un impact important au niveau de la consommation des tissus (Campobasso et al., 2001; Horenstein et al., 2010). Lors de l'arrivée des arthropodes, il va cependant y avoir une modification au niveau du profil des odeurs (Forbes et al., 2014a; Martin et al., 2019). En effet, lorsque les diptères pondent leur œuf sur le corps et que ceux-ci se développent en larves, il peut y avoir une émanation de gaz supplémentaires. Ceci s'explique par le fait que les larves se nourrissent des tissus et que leur consommation mène à un dégagement de gaz (p. ex. l'ammoniac) (Campobasso et al., 2001; Martin et al., 2019).

Les odeurs de décomposition trouvent plusieurs applications, notamment en science forensiques et en écologie. Dans le domaine de la forensique, l'entomologie et la détection des restes humains sont deux applications où la détermination des composés organiques volatils (COVs) est importante. En entomologie forensique, certaines études ont été réalisées, afin de déterminer l'influence des COVs sur l'arrivée des arthropodes (Dawson et al., 2020; Dekeirsschieter et al., 2009; Horenstein et al., 2010). Pour ce qui est de la recherche et la détection de restes humains, la détermination des différents COVs provenant du processus de décomposition permet d'entraîner les chiens à localiser les restes humains en optimisant leurs outils d'entraînement. La localisation de restes humains peut avoir un énorme impact lors d'une enquête et permet d'obtenir de nombreuses informations au sujet du contexte entourant la mort de l'individu. Le principe d'entraînement des chiens détecteurs de cadavres sera expliqué dans les prochaines sections (Section 1.4.2).

1.3.1 Profilage des composés organiques volatils

Plusieurs études ont été réalisées, afin d'établir les COVs spécifiques à la décomposition humaine. Le sang, les tissus mous, les fluides de décomposition, les sols se trouvant près des tombes sont des exemples d'échantillons où les COVs ont été étudiés, mais aussi des analogues d'humains comme les carcasses de porcs qui correspondent à l'analogue le plus près de l'humain pour les études de décomposition (Cappas et al., 2022; Deo et al., 2020; Dick, & Scott, 1992; Furton et al.,

2015; Gunther Brown, 2012; Lavigne, 2018; Stefanuto et al., 2015). Les analogues sont utilisés lorsque l'accès à des donneurs humains est impossible. De ce fait, le profil des COVs provenant de restes de porcs a été largement caractérisé (Cablak et al., 2012; Dekeirsschieter et al., 2009; Gunther Brown, 2012; Horenstein et al., 2010; Statheropoulos et al., 2011). Il a été, cependant, possible d'observer certaines différences au niveau de la décomposition et des COVs dégagés entre les humains et les porcs (Cablak et al., 2012; Dekeirsschieter et al., 2009; Gunther Brown, 2012; Knobel et al., 2018; Stadler et al., 2013). C'est pour cette raison qu'il est préférable d'étudier la décomposition humaine.

1.3.1.1 Profilage des composés organiques volatils des tissus mous

La caractérisation des COVs provenant des tissus en décomposition humains ou d'analogues a grandement été étudiée (Dubois et al., 2017; Eckenrode, 2009; Focant et al., 2013; Statheropoulos et al., 2007; Statheropoulos et al., 2011; Statheropoulos et al., 2006; Statheropoulos et al., 2004; Stefanuto et al., 2014). Verhedden et al. (Verheggen et al., 2017) ont réalisé une revue de littérature donnant une vue d'ensemble des études sur les COVs de tissus en décomposition (Verheggen et al., 2017). Il y est mentionné d'une trentaine d'études en lien avec l'odeur de décomposition d'humains et d'animaux, ainsi que les différentes méthodes analytiques utilisées, afin de collecter et analyser ses odeurs. D'autre part, Martin et Verheggen (Martin, & Verheggen, 2018) ont fait part, dans une autre revue de littérature, de 12 études sur les composés organiques volatils provenant de restes humains. Cet article incluait une liste de composés organiques volatils provenant de restes humains ayant été identifiés. Un total de 211 COVs ont été identifiés. Cependant, certains COVs ne sont présents que dans un ou deux des 12 articles mentionnés dans la revue. Selon Martin et Verheggen, cette grande hétérogénéité dans les COVs supporte l'idée qu'il est extrêmement difficile d'identifier des marqueurs chimiques de décomposition humaine (Rosier et al., 2015). Il est donc nécessaire de continuer les recherches dans le domaine des odeurs de décomposition, afin d'augmenter l'exactitude des différents composés identifiés (Martin, & Verheggen, 2018). Finalement, Dargan (2022) a réalisé une étude où celle-ci a analysé le profil de COVs de huit donneurs humains en décomposition au REST[ES] sur une période d'un an. Dans cette étude, 1412 composés organiques volatils ont été identifiés. Une grande majorité des COVs identifiés se retrouvent dans les études passées réalisées sur le profil des COVs lié à la décomposition humaine. Une variabilité entre le profil de COVs des donneurs a toutefois été

observée et pourrait être due aux différentes températures auxquelles les COVs ont été collectés. De plus, il a été établi que le profil de COVs varie en fonction des différents stades de décomposition. Durant le stade gonflé et actif, une plus grande variation des profils est observée comparativement aux stades frais et avancés. En effet, une plus grande quantité de COVs a été dégagée durant les stades gonflés et actifs. Le profil des COVs provenant des restes secs et des humains n'a cependant pas été abordé (Dargan, 2022).

1.3.1.2 Profilage des composés organiques volatils des tissus durs

La majorité des études sur les odeurs de corps en décomposition sont réalisées sur les stades frais, gonflé, actif et avancé, alors que très peu de recherches sont menées au sujet du profil de COVs des restes squelettiques et des ossements humains. Ceci peut être expliqué par le fait que les ossements humains peuvent être difficilement accessibles. Une autre explication peut être l'absence de tissus sur les restes humains, ce qui diminue grandement les réactions chimiques ou les activités bactériennes qui sont la cause d'émanation des odeurs (Statheropoulos et al., 2004). Toutefois, dans la littérature, il a été mentionné que les chiens ont la capacité de détecter des restes squelettiques lors de fouille (Glavas, & Pintar, 2019). Ceci signifie que les chiens ont donc la capacité de détecter des odeurs provenant des ossements. Par contre, très peu d'information existe sur ce type de composés organiques volatils. Deux études ((Eckenrode, 2009) et (Vass et al., 2008)) ont été réalisées afin de déterminer les odeurs provenant de restes humains à différents stades de décomposition. Ces études ont échantillonné et analysé, entre autres, les odeurs d'ossements, mais de manière non exhaustive. Hoffman et al. (Eckenrode, 2009) ont identifié les composés organiques volatils provenant de différents échantillons humains : muscle, adipocire, sang et os. Trois os ont été analysés, dont un correspondant à une vertèbre. Ils ont établi des COVs communs aux autres échantillons analysés, tels que plusieurs aldéhydes (Hexanal, Heptanal, Octanal, Nonanal), un alcool (pentan-1-ol), un halogène (Tétrachloroéthylène), des cycles aromatiques (Xylène, 2-pentylfuran) et un composé sulfuré (Disulfure de diméthyle). Une différence entre les trois ossements a été observée au niveau de la distribution des composés organiques volatils présents dans l'air présent au-dessus des restes humains. Cette différence laisse à penser que les différents ossements du corps peuvent avoir un profil de COVs différents (Eckenrode, 2009). Quant à l'étude réalisée par Vass et al. (2008), ceux-ci ont analysé l'odeur de décomposition de restes humains enterrés et ont déterminé les COVs provenant d'un fémur et d'un humérus humain. Ils ont été

capables de détecter 72 composés, dont 12 correspondaient à des marqueurs importants dans le profil de COVs provenant de restes humains enterrés. Ceux-ci ont cependant mentionné seulement les COVs pertinents lorsqu'un corps est enterré (Vass et al., 2008). Dans le cas des deux études, ils ont établi un de profil partiel de COVs. Il est donc pertinent d'établir un profil complet, qui inclut plusieurs donneurs, ainsi que plusieurs types d'ossements sur une période, afin d'obtenir de plus amples informations sur les COVs dégagés. De plus, sachant que les composés organiques volatils varient en fonction des différents stades de décomposition, il est important de déterminer le profil des COVs des ossements humains à différents stades, afin d'optimiser l'entraînement des chiens. Ceci va leur permettre d'améliorer leur capacité de localisation et de détection lors de recherches en nature (Dargan, 2022).

1.4 Détection des composés organiques volatils

Plusieurs méthodes de détection des COVs sont disponibles (Verheggen et al., 2017). Ces méthodes permettent de détecter les molécules composant les odeurs ou bien de détecter la source de ces odeurs. Dans le domaine chimique, les instruments analytiques sont grandement utilisés, afin d'établir les différents composés organiques volatils d'une odeur (Perrault et al., 2015). Au niveau biologique, les chiens sont utilisés pour détecter la source des odeurs ou même les résidus de ceux-ci (Browne et al., 2006).

1.4.1 Détection chimique des COVs par instrument analytique

La matrice la plus utilisée pour l'analyse des composés organiques volatils propre à la décomposition est l'air se trouvant près des tissus en question qui est créé au-dessus d'un échantillon. Cet air est appelé l'espace de tête. Pour ce faire, il est donc nécessaire de prélever l'espace de tête des tissus en décomposition. Après la collecte de l'espace de tête, il devient possible de séparer et d'analyser l'échantillon afin de déterminer quels types de composés y sont dégagés.

1.4.1.1 Méthode d'échantillonnage des COVs

Deux méthodes d'échantillonnage sont généralement utilisées dans la littérature, soit avec la micro-extraction sur phase solide (SPME) ou à l'aide des tubes contenant des adsorbants (Verheggen et al., 2017). La méthode de SPME consiste en la capture passive des composés organiques volatils sur une fibre de silice recouverte d'une phase stationnaire liquide ou solide. Dans cette méthode,

la matrice à échantillonner doit être de petite taille, puisque l'échantillonnage est effectué dans un vial (Dubois et al., 2018; Forbes, 2021; Pawliszyn et al., 1997; Snow et al., 2010; Spietelun et al., 2010). Toutefois, dans le domaine des odeurs de décomposition, les matrices en décomposition sont généralement de très grandes tailles (corps entiers ou partiels). La méthode de SPME est donc rarement utilisée dans ce domaine (Verheggen et al., 2017).

Pour ce qui est des tubes d'adsorbants, ceux-ci peuvent être utilisés sur une plus grande matrice. Le principe consiste à créer un espace de tête en installant un caisson au-dessus de l'échantillon pour permettre d'accumuler l'air et les odeurs. Le tube d'adsorbant est, ensuite, connecté à une ouverture sur le dessus du caisson, afin de collecter l'espace de tête. L'espace de tête peut être collecté de manière dynamique ou passive. Lorsque les COVs sont collectés de manière dynamique, une pompe est utilisée pour capter l'air dans le tube (Dekeirsschieter et al., 2012; Forbes, & Perrault, 2014; Forbes et al., 2014a; Knobel et al., 2018; Perrault et al., 2015; Stadler et al., 2013). Pour la collecte passive, aucune pompe n'est utilisée. Dans les tubes, il peut y avoir une combinaison d'adsorbant qui permet de capter une plus grande variété de composés organiques volatils (Forbes, 2021). L'une des combinaisons d'adsorbant, utilisé pour ce type d'étude, est le Tenax TA et le Carbograph 5TD (Verheggen et al., 2017). Le Tenax TA permet de capter les molécules constituées de 6 à 30 carbones de types aromatiques, semi-volatiles, non polaires et polaires. Le Carbograph 5DT, quant à lui, capte les molécules de 3 à 8 carbones (Dargan, 2022).

1.4.1.2 Méthode d'introduction de l'échantillon

Après avoir collecté les COVs, une désorption thermique des tubes d'adsorbant doit être réalisée. Les tubes contenant les composés organiques volatils sont chauffés au travers d'un flux de gaz vecteur inerte qui permettra de les transporter. Ceux-ci seront concentrés sur une « cold trap » et désorbés à nouveau sous haute température (300 °C) (Poole, 2021). L'utilisation d'une « cold trap » permet de réduire les contaminants, la perte d'analytes et la réduction du temps d'analyse, tout en augmentant la sensibilité (Stefanuto et al., 2017). Après la désorption, les échantillons sont injectés dans la colonne d'un instrument de chromatographie à phase gazeuse (GC) pour la séparation des COVs, suivie de l'analyse en spectrométrie de masse (MS).

1.4.1.3 Méthode de séparation des COVs

Le GC est l'instrument utilisé dans la littérature pour la séparation des composés organiques volatils (Dubois et al., 2018; Statheropoulos et al., 2004; Stefanuto et al., 2014; Vass et al., 2008). Le principe de la chromatographie gazeuse consiste en la séparation d'analytes basés sur l'affinité de l'échantillon pour la phase stationnaire greffée à l'intérieur d'une colonne, ainsi que des propriétés physiques, telles que le point d'ébullition des différents composés. L'échantillon est introduit dans la colonne, puis est entraîné par la phase mobile qui est un gaz inerte (hélium, azote ou hydrogène) qui circule constamment dans la colonne. Lorsque l'échantillon est liquide, il est nécessaire de vaporiser celui-ci. Lorsque l'échantillon est gazeux, l'introduction dans la colonne se réalise directement. Les analytes seront séparés, puis transportés au détecteur qui va permettre de générer des signaux propres à l'échantillon (Grob, & Barry, 2004; McNair et al., 2019; Poole, 2021). Dans le domaine de la forensique, ce sont les colonnes capillaires tapissées de polymères ou d'une phase stationnaire liquide visqueuse qui sont fréquemment utilisés. Celle-ci permet la diminution de la résistance d'écoulement de la phase mobile dans la colonne, ainsi que la séparation rapide et efficace des COVs (Verheggen et al., 2017). Selon l'affinité des COVs pour la phase stationnaire, un temps de rétention sera établi ce qui va permettre la séparation, ainsi que l'identification des différents composés organiques volatils présents dans l'échantillon. Un chromatogramme va être produit en fonction des différents temps de rétention des composés, ainsi que leur intensité dans l'échantillon (McNair et al., 2019).

La coélution des composés dans l'échantillon représente une limite à la chromatographie gazeuse (Forbes, 2021; McNair et al., 2019). Lorsque deux composés volatils semblables ont une affinité similaire avec la phase stationnaire, ceux-ci peuvent avoir un temps de rétention très similaire. Ceci a pour conséquence que pour un même temps de rétention, il peut y avoir une superposition de pics, donc de deux composés organiques volatils. La chromatographie gazeuse à deux dimensions (GC×GC) permet de réduire la coélution des produits en réalisant une deuxième séparation à l'aide d'une deuxième colonne qui aura une longueur plus petite et une composition de la phase stationnaire différente de la première colonne (Misselwitz, 2017). De plus, il a été démontré que l'utilisation d'un GC×GC améliore la sensibilité et la détectabilité, augmente le nombre de pics pouvant être détectés dans une même fenêtre de rétention (capacité de pics), ainsi qu'une

augmentation de la gamme des concentrations des composés pouvant être détectée par l'instrument (« dynamic compound range ») (Forbes et al., 2014a; Poole, 2021; Winnike et al., 2015).

L'échantillon est introduit dans une première colonne pour réaliser une première séparation. Entre les deux colonnes se trouve un modulateur. Le modulateur permet de contrôler le rythme d'introduction de l'échantillon dans la deuxième colonne. L'échantillon va donc passer par le modulateur qui réintroduira celui-ci dans une deuxième colonne contenant une phase stationnaire de polarité différente à la première (Forbes, 2021). La chromatographie à deux dimensions permet de limiter la coélution des composés, ainsi que d'augmenter la quantité de pics identifiés et permettre une meilleure séparation et résolution (Clases et al., 2021; Dubois et al., 2017; Dubois et al., 2019a; Forbes, 2021; Misselwitz, 2017; Snow et al., 2010; Stadler et al., 2012; Stefanuto et al., 2015).

1.4.1.4 Méthode d'analyse des COVs

Le spectromètre de masse (MS) est un système permettant d'identifier, ainsi que de quantifier les composés présents dans un échantillon. Celui-ci est souvent couplé avec la chromatographie gazeuse (GC). Le spectromètre de masse est composé d'une source d'ionisation, d'un analyseur de masses, d'un détecteur et d'un système d'analyse des données (Gross, 2017; Parkin, & Brailsford, 2021). Après la séparation des composés par la colonne, ceux-ci sont transportés dans la chambre d'ionisation. L'ionisation peut être de type « douce » (p. ex. ionisation chimique) ou de types « dure » (p. ex. ionisation par impact électronique). Lorsqu'une ionisation est douce, le composé est faiblement fragmenté, comparé à l'ionisation dure qui induit une fragmentation du composé plus élevée. L'ionisation par impact électronique (EI) est souvent utilisée, puisqu'elle informe davantage sur la structure de la molécule. L'ionisation par EI consiste en l'impact d'un électron grandement énergétique sur un composé menant à son ionisation, suivie de sa fragmentation (Aschroft, 1997; Awad et al., 2015; Gross, 2017; Klampfl, & Himmelsbach, 2015). Les différents fragments créés sont séparés grâce à l'analyseur de masse, qui fournit la valeur de la masse sur charge de chaque signal dans le spectre de masse avec une précision moindre. Plusieurs types sont disponibles, tels que le quadripôle, la trappe ionique et le temps de vols (TOF). Le TOF mesure le temps de déplacement d'un ion jusqu'au détecteur. Plus un ion est petit, plus sa vitesse de déplacement est élevée. Lorsque le TOF est utilisé, du fait qu'il opère en mode balayage, il est

possible de mesurer les ratios m/z simultanément, ce qui permet un rythme d'acquisition plus rapide. Le détecteur permet de détecter les différents ions provenant de l'analyseur de masse, ainsi que leur abondance (El-Aneed et al., 2009; Parkin, & Brailsford, 2021).

Après la détection des différents m/z , un système de données va intégrer les différents signaux dans un chromatogramme. Une fois que le chromatogramme d'un GC-MS est obtenu, l'axe des « x » du chromatogramme représente le temps de rétention des différents composés et l'axe des « y » représente l'intensité des masses de tous les fragments au temps de rétention (Figure 1.1A). Lorsque le chromatogramme obtenu provient d'un GC×GC-TOF-MS, l'axe des « x » correspond au temps de rétention de la première séparation et l'axe des « y » correspond au temps de rétention de la deuxième séparation. L'intensité des pics est établie grâce à l'intensité de la zone en question en fonction de l'échelle d'intensité pendant que le spectre de masse se retrouve dans une dimension supplémentaire (Figure 1.1B) (Forbes, 2021).

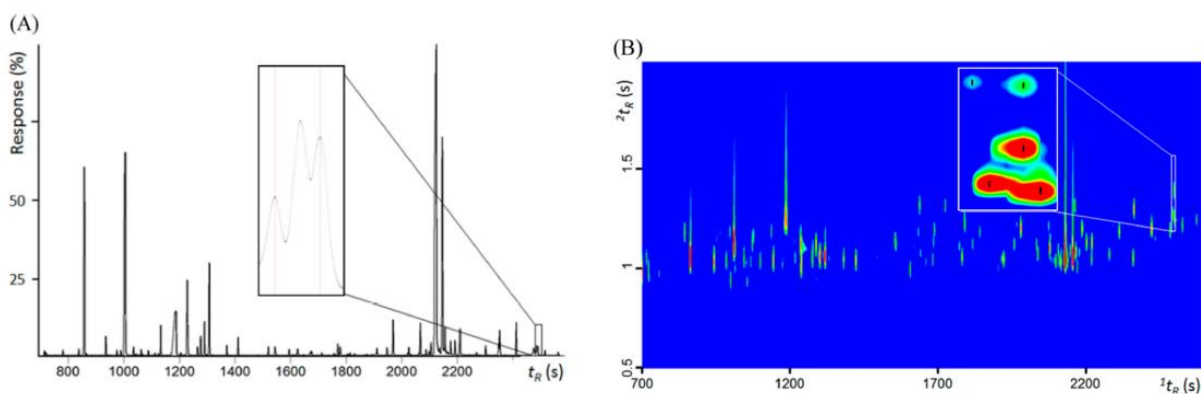


Figure 1.1 : Représentation d'un chromatogramme à une dimension (A) et d'un chromatogramme à deux dimensions (B) qui démontre la différence de séparation entre les deux instruments (Figure tirée de (Winnike et al., 2015)).

1.4.2 Détection biologique des COVs par l'odorat des chiens

Les chiens sont utilisés dans le domaine policier, pour la détection d'odeur depuis la fin des années 1800 et le début des années 1900 dû à leur système olfactif 10 000 à 100 000 fois plus sensible que celui de l'humain (Browne et al., 2006; Jenkins et al., 2018; Osterkamp, 2020; Rebmann et al., 2000; Wewetzer et al., 2016). Les domaines de détection incluent, entre autres, les drogues, les produits explosifs ou chimiques, l'argent illégal, les objets de contrebande, les maladies, les personnes disparues, ainsi que les restes humains. Chaque domaine de détection va

avoir sa propre méthode d'entraînement et va utiliser des outils d'entraînement spécifiques (Glavas, & Pintar, 2019; Jezierski et al., 2016; Lorenzo et al., 2003; Osterkamp, 2020).

1.4.2.1 Méthodes d'entraînement des chiens

L'entraînement des chiens de détection implique la mise en contact du chien avec les odeurs à rechercher à l'aide d'outils d'entraînement dans plusieurs scénarios intérieurs et extérieurs. Les outils d'entraînement correspondent au profil d'odeur à rechercher ou à un profil assez similaire pour que le chien puisse généraliser et détecter la source d'odeur (Jezierski et al., 2016). Par exemple, afin de trouver des ossements humains, le chien doit être en contact avec un outil d'entraînement ayant le même profil olfactif que les ossements humains. Les chiens détecteurs de cadavres vont chercher des corps complets ou partiels en décomposition, des ossements, des tissus, du sang ou des fluides. Les chiens vont alors tenter de capter les odeurs des gaz émis lors du processus de décomposition (Dargan, 2020; Jacobi, 2016). Plusieurs COVs sont constants durant le processus de décomposition, cependant, certains peuvent varier en fonctions des différents stades de décomposition (Dargan, 2022). C'est pour cette raison que le chien doit s'entraîner sur divers types d'outils d'entraînement, afin d'avoir un plus large spectre de détection (Minhinnick, 2016).

Les outils d'entraînement sont séparés en deux catégories, soit les outils d'entraînement naturels ou artificiels. Les outils d'entraînement naturels incluent du sang, des os, des parties de corps et des tissus et fluides corporels à plusieurs stades de décomposition. Les chiens sont alors entraînés à l'aide d'outils provenant de la source directement (Dargan, 2020; Osterkamp, 2020). L'unité canine de la police provinciale d'Ontario a débuté un programme en collaboration avec l'université de Queen, ainsi que l'hôpital général de Kingston, afin d'obtenir des membres amputés donnés volontairement par des patients atteints de diabète. L'unité canine utilise alors ses membres amputés pour l'entraînement des chiens détecteurs de cadavres. Ce programme permet d'avoir le consentement des donneurs au sujet de l'utilisation de leur corps pour la science et ainsi réduire les problèmes éthiques à ce sujet. Une étude a été réalisée par Dargan et al. (2022) afin de déterminer la validité de l'utilisation de ses membres amputés comme outils (Dargan, 2022; Dargan et al., 2022). Celle-ci a établi que le profil chimique de la grande majorité des outils comparés aux restes humains est assez similaire pour leur utilisation comme outils d'entraînement. Peu de services de police ont la possibilité d'utiliser des outils d'entraînement humain dû au problème éthique et à

leur accessibilité. De ce fait, il est possible de transférer l'odeur provenant de la source sur un matériel adsorbant. En mettant le matériau adsorbant en contact (direct, passif, actif) avec la source d'odeur, les molécules peuvent être captées par celui-ci. Ceci permet au chien d'être en contact avec l'odeur, sans avoir à être en contact avec la source directement (Buis, 2016; Forbes et al., 2014b). En ce qui concerne les outils d'entraînement artificiels, ceux-ci tentent de recréer chimiquement le profil olfactif des restes humains en utilisant différentes solutions chimiques composées des COVs les plus couramment retrouvés lors de la décomposition humaine. Cependant, le profil des COVs des outils artificiels est limité par rapport à ceux naturels. Malgré cette limite, ils représentent une option plus accessible pour l'entraînement (Cablak et al., 2012; DeGreeff et al., 2012; Tipple et al., 2014).

Généralement, lors des entraînements, les chiens sont en contact avec plusieurs outils, ainsi que des distracteurs. Les distracteurs correspondent à des odeurs non ciblées qui peuvent causer une confusion du chien lors de la recherche. Les distracteurs peuvent inclure tout objet du quotidien (nourriture pour chien, dentifrice, balle), des restes d'animaux ou même un environnement différent (simulation d'incendie, de tremblement de terre, etc.). Lorsque le chien réagit positivement à l'outil d'entraînement sans avoir réagi aux distracteurs, le maître-chien le récompensera, signalant ainsi son succès dans la détection (Dargan, 2022; Osterkamp, 2020; Rebmann et al., 2000; Stejskal, 2013).

La détection des restes humains est en grand développement et de nombreuses études ont été réalisées en lien avec les profils de COVs provenant des premiers stades de décomposition, mais très peu sur les stades plus avancés (Martin, & Verheggen, 2018; Verheggen et al., 2017). Il a été établi que les COVs avaient des profils différents selon les stades de décomposition, puisque chaque stade aura différents organismes biologiques présents, ainsi que différentes réactions biochimiques et chimiques se produisant. Il y a donc différents types de composés produits et dégagés (Dent et al., 2003; Gill-King, 1997; Martin, & Verheggen, 2018). Il a été observé que la quantité de COVs dégagé lors du processus de décomposition augmente plus le stade de décomposition est avancé et qu'après un certain temps, la quantité va diminuer jusqu'à ce que les odeurs ne soient plus perceptibles pour l'humain (Dargan, 2022; Forbes et al., 2014a; Kasper et al., 2012). Ceci est expliqué par la diminution des tissus organiques sur les restes et, du même fait, la réduction de l'activité biologique et des réactions chimiques qui sont des éléments menant aux

dégagements des odeurs (Forbes et al., 2017). De ce fait, puisque les restes squelettiques et les ossements secs ont très peu de matière organique en processus de décomposition, très peu de COVs y sont dégagés. La faible intensité de COVs dégagés rend la détection difficile pour les chiens lorsque ceux-ci sont déployés pour des recherches, cependant ceux-ci ont toutefois la capacité de les détecter (Dargan, 2020; Glavas, & Pintar, 2019). Pour optimiser l'efficacité de recherche des ossements, il est donc important que les chiens s'entraînent régulièrement avec des outils d'entraînement ayant le même profil d'odeurs que les ossements au niveau de leur composition, mais aussi au niveau de leur intensité. Le manque d'informations au sujet du profil des COVs des ossements a cependant pour conséquence de limiter l'entraînement des chiens à détecter des restes squelettiques (Nawn, 2018).

1.5 Objectifs du mémoire

L'unité canine de la police provinciale d'Ontario (OPP), partenaire de ce travail, a instauré un projet visant à utiliser des membres amputés de patients diabétiques comme outils d'entraînement pour les chiens détecteurs de cadavre (CDD). Dans le cadre de ce mémoire, une étude a été menée avec l'OPP pour caractériser les profils des COVs de ces outils d'entraînement osseux et les comparer à ceux des donneurs provenant du Site de Recherche en Sciences Thanatologiques, Expérimentales et Sociales (REST[ES]). Ce mémoire cherche à répondre à un double objectif :

- 1. Identifier le profil de composés organiques volatils (COVs) provenant d'ossements humains (Chapitre 3)**
- 2. Évaluer la pertinence de ces ossements comme outils d'entraînement pour les chiens détecteurs de cadavres de l'OPP et de manière générale (Chapitre 4 à 6).**

Afin de répondre à ces deux objectifs, quatre techniques seront abordées au cours de ce travail, articulé selon quatre études complémentaires :

Étude 1. Analyser de manière exhaustive et détaillée le profil complet des composés organiques volatils (COVs) émis par quatre types d'ossements provenant de trois donneurs distincts (Chapitre 3). Ces ossements, prélevés au site de Recherches en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]), ont été sélectionnés pour cette étude parce qu'ils ont connu un processus de décomposition comparable à celui observé

dans un contexte forensique réel. L'objectif de cette première étude est de déterminer le profil des COVs spécifiques aux stades avancés de décomposition (corps squelettiques) et de fournir des indications nécessaires pour améliorer la détection forensique.

Étude 2. Analyser et déterminer le profil complet des COVs provenant d'outils d'entraînement utilisés par l'unité canine de l'OPP lors d'entraînements pour la détection de restes squelettiques (Chapitre 4). Les outils d'entraînement consistent en des ossements de membres inférieurs amputés (pieds, chevilles, tibias) provenant de patients diabétiques. L'objectif de cette seconde étude est d'évaluer la similitude des profils de COVs entre ces outils spécifiques et les ossements secs, contribuant ainsi à optimiser les méthodes d'entraînement des chiens.

Étude 3. Comparer de manière détaillée le profil des COVs des ossements provenant des donateurs de REST[ES] à celui des outils d'entraînement utilisés par l'unité canine de l'OPP (Chapitre 5). Cette troisième étude vise à déterminer les similitudes et les différences au niveau chimique entre les outils d'entraînement de l'OPP et les ossements de REST[ES]. Ces données aideront à affiner les techniques d'entraînement en mettant en évidence les éventuelles spécificités des ossements de REST[ES] par rapport aux outils d'entraînement de l'OPP.

Étude 4. Enregistrer les réponses des chiens détecteurs de cadavre de l'OPP lors de séances d'entraînement avec leurs outils d'entraînements habituels (membres amputés), ainsi que des ossements provenant de REST[ES] (Chapitre 6). L'objectif de cette quatrième étude est de valider l'utilisation des outils d'entraînement et de comparer les réponses des chiens en fonction des données chimiques obtenues. Ces évaluations contribueront à ajuster les entraînements canins pour optimiser la détection des restes squelettiques.

Ensemble, ces quatre études permettront d'améliorer les méthodes d'entraînement des restes squelettiques humains dans un futur cas forensique au moyen d'outils d'entraînement avec un profil olfactif le plus fidèle à celui de restes squelettiques. L'étude de Dargan et al. (2022) a montré une légère différence dans le profil des COVs entre les outils d'entraînement et les échantillons de

REST[ES] bien que cette différence n'ait pas d'influence sur la détection des restes humains (Dargan et al., 2022). Une hypothèse de recherche a ainsi été formulée pour ce travail de mémoire :

Les COVs des outils d'entraînement de l'OPP devraient être comparables à ceux des ossements provenant de REST[ES], toutefois, une différence au niveau de l'intensité des COVs pourrait être observée. Le cas échéant, des recommandations de bonne pratique seront proposées (Chapitre 7).

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 Échantillons

2.1.1 Donneurs de REST[ES]

Les ossements humains analysés dans cette étude ont été prélevés sur des donneurs du site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]) de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR). Ce laboratoire à ciel ouvert est situé à Bécancour, dans la région Centre-du-Québec, sur les terrains de la société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB). Celui-ci est situé dans une forêt tempérée, mixte, qui présente un sol limoneux sableux. Le prélèvement ainsi que l'échantillonnage des ossements ont été autorisés par le sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie de l'UQTR (certificat éthique N°CER-09-148-06.05). Le site contient 21 donneurs à l'heure actuelle, dont une majorité des donneurs (19) sont des dépôts de surface et deux font l'objet d'inhumations expérimentales. Pour cette étude, trois donneurs ont été choisis pour l'échantillonnage des COVs. Les détails concernant ces donneurs sont résumés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Données concernant les différents donneurs utilisés lors de l'étude.

Numéro d'identification des donneurs	Date du décès (jj/mm/aaaa)	Sexe	Âge	Tailles (Cm)	Poids (kg)	Date d'arrivée au REST[ES] (jj/mm/aaaa)	Nombre de jours depuis le dépôt
Donneur 1	07/08/2020	M	71	173	70	10/08/2020	854
Donneur 2	27/09/2020	F	69	165	54	28/09/2020	805
Donneur 3	01/11/2020	M	72	180	85,3	02/11/2020	769

Les donneurs ont été choisis en raison de leur décomposition avancée et de la disponibilité des mêmes ossements chez l'ensemble des donneurs, afin de s'assurer un échantillonnage le plus homogène possible. Pour chaque donneur, quatre types d'os ont été prélevés : la clavicule, la première côte, l'humérus et les trois dernières vertèbres lombaires (L3-L5) (Annexe B). Tous les os longs ont été prélevés du côté droit, par convention (Beauthier et al., 2010; Cho et al., 2015; Goto et al., 2015; Keough, & Lorke, 2021). Les ossements choisis étaient secs et ne présentaient

aucun, ou très peu, tissus mous (Figure 2.1). L'échantillonnage des COVs a été répété à cinq reprises, de juin 2022 à novembre 2022. Les ossements ont été prélevés à REST[ES] et transportés au laboratoire de chimie à l'UQTR afin d'échantillonner les COVs. L'échantillonnage au laboratoire a permis de diminuer la présence de COVs n'étant pas lié aux ossements ainsi que de déterminer si certains os seraient plus propices à l'émanation d'odeur et ainsi leur détection par les CDD. Après chaque échantillonnage, les ossements étaient retournés au site REST[ES]. Des photographies des os ont été réalisées tous les deux mois afin de suivre et documenter leur évolution dans le temps.



Figure 2.1 : Photographies des quatre types d'ossement du donneur 1 ayant été échantillonnés (A : clavicule droite ; B : première côte droite ; C : humérus droit ; D : trois dernières vertèbres lombaires).

2.1.2 Outils d'entraînement de l'OPP

Les outils d'entraînement utilisés par l'unité canine de la police provinciale de l'Ontario (OPP) pour l'entraînement des CDD proviennent de membres amputés de personnes atteintes de diabète qui en ont fait don, libre et éclairé, par le biais d'un partenariat entre l'OPP, l'hôpital général de Kingston et le laboratoire d'anatomie de l'Université de Queen. Les patients atteints de diabète se voient ainsi offrir la possibilité de faire incinérer leur membre amputé ou d'en faire don à des fins de recherches médicales et/ou d'entraînement des chiens détecteurs de cadavres. Les membres amputés à l'hôpital général de Kingston sont envoyés au laboratoire d'anatomie de l'Université de Queen qui se charge de les disséquer et de les envoyer à l'unité canine de l'OPP pour l'entraînement de leurs chiens. Les outils d'entraînement sont, ensuite, installés à l'extérieur dans le site de recherche d'odeur de décomposition de l'OPP, *OPP Decomposing Odor Research Site (ODORS)*, afin de permettre leur décomposition. Par la suite, ils sont contenus dans des pots en verre, de type pot mason, et sont entreposés dans une armoire à température ambiante. Les outils d'entraînement proviennent tous d'ossements de pieds et de chevilles de membres amputés (Annexe B). Ils ont été choisis en fonction de ceux ayant été catégorisés par l'unité canine de l'OPP, comme étant des outils osseux (Figure 2.2). Certains des outils avaient une apparence sèche sans tissus organiques autour de l'os (Figure 2.2A). Toutefois, il était possible d'observer que certains outils avaient une apparence humide et huileuse (Figure 2.2B) et d'autres outils avaient encore beaucoup de tissus organiques alentour des os (Figure 2.2C). De plus, les différents outils dégageaient une odeur très puissante lorsque ceux-ci étaient échantillonnés ou lorsqu'ils étaient utilisés lors des entraînements expérimentaux.



Figure 2.2 : Photographies de différents outils d'entraînements osseux de l'unité canine de la police provinciale d'Ontario. (A : outils osseux ayant une apparence sèche, ainsi qu'aucun tissu ; B : outils osseux ayant une apparence humide et huileuse ; C : outils osseux ayant beaucoup de tissus organiques autour des os).

Les informations concernant les 14 échantillons prélevés, ainsi que leurs dates d'échantillonnage sont décrites dans le tableau 2.2. L'échantillonnage des différents outils d'entraînement a été réalisé dans les bureaux de l'unité canine au siège social de la police provinciale d'Ontario à Orillia, Ontario. Les outils d'entraînement ont été échantillonnés en février 2022, mai 2022 et octobre 2022. L'échantillonnage des différents outils a été réalisé en fonction des disponibilités de ceux-ci.

Tableau 2.2 : Liste des outils d'entraînement ayant été échantillonnés aux mois de février, mai et octobre 2022.

Numéro d'identification de l'outil	Année d'amputation	Échantillonnage		
		Février 2022	Mai 2022	Octobre 2022
FB1	2017	x	x	x
FB2	2017	x	x	x
FB3	2017	x		x
FB4	2017	x		x
FB5	2019	x		
FB5.1	2019		x	x
FB5.2	2019		x	x
FB6	2020	x	x	x
FB7	2020	x	x	x
FB8	2020	x	x	x
FB9	2020	x	x	x
FB10	2020	x	x	x
FB11	2019			x
FB12	2020		x	x
FB13	2019			x
FB14	2017			x

La période d'échantillonnage sur une demi-année permet de déterminer les variations, ainsi que l'évolution des différents outils au niveau de leur décomposition, et donc leurs composés organiques volatils.

2.2 Échantillonnage des COVs

La méthode de collecte des composés organiques volatils est la même pour les ossements provenant de REST[ES] et les outils d'entraînement provenant de l'Ontario. Un caisson d'aluminium (38 cm × 38 cm × 38 cm) ayant un port d'attache est installé au-dessus de l'échantillon pendant

15 minutes, afin de permettre l'accumulation des COVs dans l'espace de tête. L'espace de tête est, ensuite, collecté dans un tube contenant deux types d'adsorbants soit le tenax TA et le carbograph 5TD (Markes International LTD.), à l'aide d'une pompe ACTI-VOC (Markes International Ltd.) qui permet de pomper l'air à un faible débit. La quantité d'air collecté dans l'espace de tête est de 500 mL à une vitesse d'échantillonnage de 100 mL/min. Un résumé des différentes méthodes d'échantillonnage est présenté dans le tableau 2.3. Chaque échantillon a été réalisé en triplicatas techniques pour un seul espace de tête (total de 1500 mL d'aire collecté par échantillon) pour y déterminer la précision des différents COVs présents dans l'espace de tête. Des contrôles ont été pris, afin de déterminer la signature de base de l'air et des différents contenants de verre utilisé pour contenir les outils d'entraînement. Après l'échantillonnage, les tubes sont fermés à l'aide d'un bouchon de rangement en laiton, emballés d'un papier d'aluminium et entreposés à 4 °C jusqu'à l'analyse de ceux-ci.

Tableau 2.3 : Paramètres choisis pour la collecte des composés organiques volatils des ossements de RESTES et des outils d'entraînement de l'unité canine de l'OPP.

Paramètres	Méthode originale (Deo et al., 2020; Knobel et al., 2018; Perrault et al., 2014)	Méthode utilisée à l'UQTR (Dargan, 2022)	Méthode actuelle
Grandeur du caisson d'aluminium	-	38 cm x 38 cm x 38 cm	38 cm x 38 cm x 38 cm
Accumulation des odeurs	15 min pour les cadavres	15 min pour les cadavres 10 min pour les outils d'entraînement de l'OPP	15 min pour les cadavres et les outils d'entraînement de l'OPP
Collecte des odeurs	Acti-VOC à 100 mL/min pendant 10 min pour les cadavres	Acti-VOC à 100 mL/min pendant 5 min pour les cadavres et les outils d'entraînement de l'OPP	Acti-VOC à 100 mL/min pendant 5 min pour les cadavres et les outils d'entraînement de l'OPP
Volume d'air collecté	1 L pour les cadavres	500 mL pour les cadavres et les outils d'entraînement de l'OPP	500 mL pour les cadavres et les outils d'entraînement de l'OPP

De plus, quatre mélanges de standards ont été injectés dans des tubes vides (Restek Corporation, Bellefonte, PA, USA). Ces standards ont été utilisés comme indice de rétention. C'est-à-dire qu'ils ont permis de comparer les différents temps de rétention entre les échantillons collectés et ceux des standards et donc établir l'exactitude des temps de rétention.

2.3 Analyse des COVs

Avant l'analyse, 200 µL de standard interne de bromobenzène de concentration de 10 ppm (GC grade, Sigma-Aldrich) dans le méthanol (grade HPLC, Sigma-Aldrich) est ajouté à chaque échantillon à analyser grâce à une seringue électronique eVol® XR (SGE Analytical Science, Weatherill Park BC, NSW, Australia). Le standard interne permet de normaliser les données.

Les COVs provenant des tubes sont, ensuite, désorbés thermiquement grâce au Markes TD 100-xr multi tube autosample (Marke International Ltd.). Chaque tube est chauffé à une température de 300 °C pendant 5 minutes pour libérer les composés captés. Un gaz vecteur inerte va transporter les composés vers le « cold trap » d'usage général qui est à une température de -10 °C. Les composés sont désorbés une deuxième fois à 280 °C pendant 5 min à un flux de 20 ml/min avec un « split » de 50 :1.

Après la désorption thermique, les composés sont séparés grâce à de la chromatographie gazeuse à deux dimensions couplées à un spectre de masse à temps de vol. L'instrument, connecté à l'aide d'une ligne de transfert, est le Pegasus® BT GC×GC-TOF-MS (LECO, Mississauga, Ontario, Canada). La première colonne est une colonne capillaire RXI-624Sil MS (Restek Corporation) de 30 m de longueur, avec un diamètre interne de 250 µm et une épaisseur de 1,4 µm. La deuxième colonne est une colonne capillaire Stabilwax® (Restek Corporation) de 2 m de longueur, avec un diamètre interne de 250 µm et une épaisseur de 0,25 µm. Le gaz vecteur utilisé pour le fonctionnement de l'instrument est de l'hélium à pureté élevée (high purity, Praxair Canada Inc., Trois-Rivières, Québec, Canada), à une pression constante de 17,8 psi. Pour la première colonne, le four était à une température de 35 °C et a été maintenue pendant 7 minutes, suivi d'une augmentation de 4 °C/min jusqu'à l'atteinte de 230 °C et cette température était maintenue pendant 1 minute supplémentaire. Ensuite, la température de compensation du modulateur était de 5 °C et celle de la deuxième colonne était de 15 °C. Pour ce qui est du système de modulation, celui-ci avait une durée totale de 4 secondes avec 1,2 seconde de jets chauds. La ligne de transfert entre le

GCxGC et le MS était maintenue à une température de 250 °C. Le MS avait un délai d'acquisition de 430 secondes et une vitesse d'acquisition de 250 spectres/seconde, afin de capter un intervalle de 29 m/z à 450 m/z. La température de la source d'ionisation était de 250 °C avec une énergie d'ionisation de 70 eV. Le filament était activé 430 secondes après le début de la détection. Les paramètres ont été choisis en fonction des conditions optimales à l'instrument et aux types d'échantillons analysés.

Après les analyses, les tubes sont reconditionnés pendant 30 min à 330 °C, afin d'éliminer tous composés restants dans ceux-ci.

2.4 Analyse statistique

Le logiciel ChromaTOF® (version 5.51.6.0 ; LECO) a été utilisé, pour réaliser l'analyse de données. Afin d'établir la liste des différents composés, les chromatogrammes ont été passés dans la bibliothèque de référence des spectres de masse du « National Institute of Standards and Technology (NIST 17) » à un ratio, signal sur bruit, de 100 (S/N) et un seuil de correspondance de spectre de masse de 70%. Des mélanges de standards internes et de standards d'alcalins ont été utilisés en tant que références, afin d'obtenir des correspondances avec les échantillons et de faciliter la comparaison entre les échantillons.

Afin de réaliser des analyses supplémentaires sur les données, le script, sur mesure, de programmation sur R, provenant de Dargan (2022) a été utilisé (Dargan, 2022). Celui-ci a été adapté pour la présente étude et les échantillons. Les codes de programmation peuvent être obtenus à ce lien : https://github.com/wesleyburr/GCxGC_Amputated_Limbs/. Ces codes permettent de combiner les échantillons et les analyser, par la suite, en fonction des contrôles pris au courant de l'étude. La figure 2.3, provenant de l'étude de R. Dargan (Dargan, 2022), présente les étapes impliquées dans l'analyse de donnée sur R.

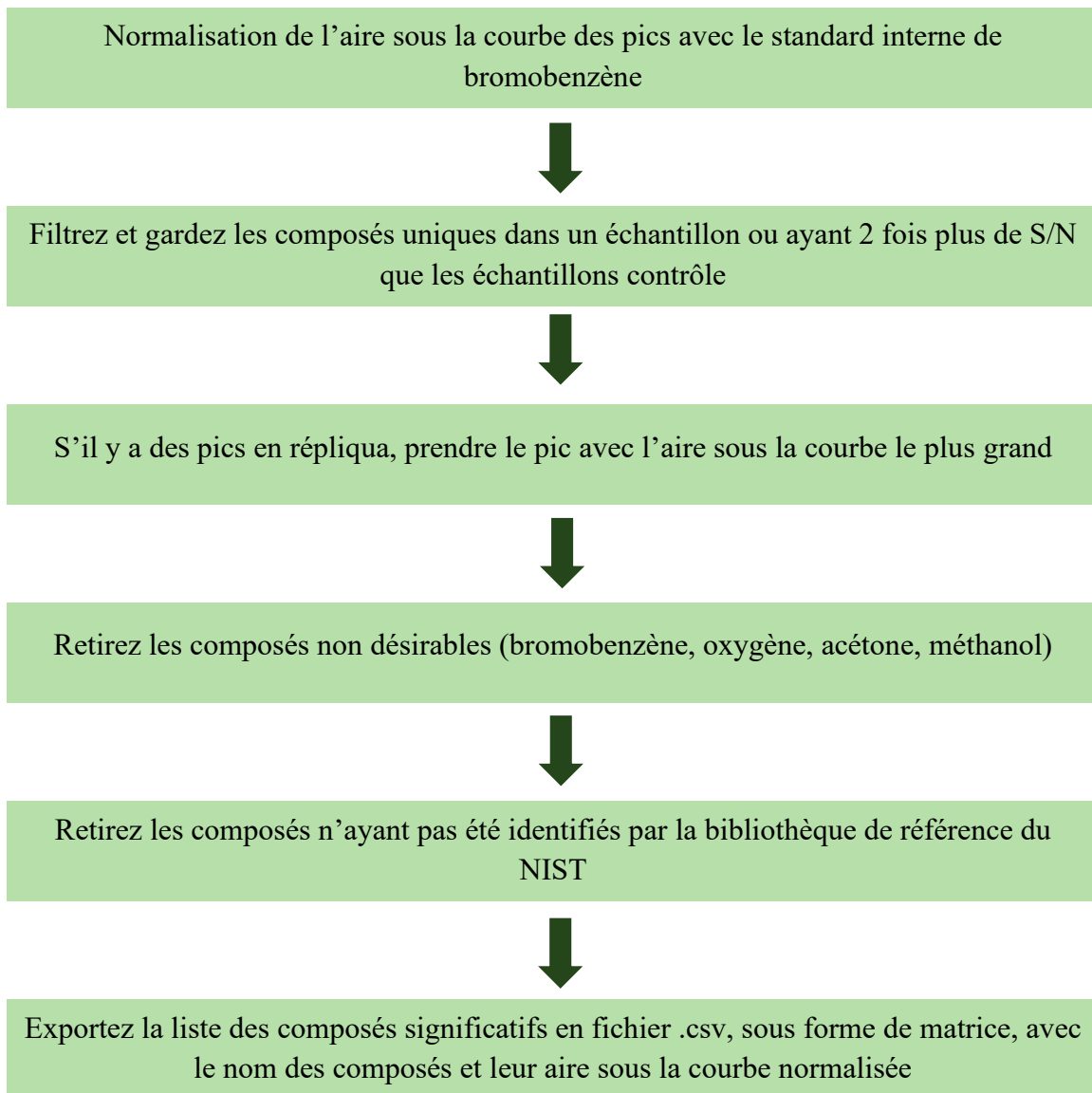


Figure 2.3 : Représentation des étapes de l'analyse des données effectuée à l'aide du logiciel R. (Figure adaptée de Dargan (2022)).

Par la suite, les données obtenues sous forme de matrice sont analysées à l'aide du logiciel Microsoft® Excel® 2019 MSO (vs. 16.0.1) afin de visualiser les différents résultats, ainsi que de voir les différentes tendances dans les échantillons ayant été analysés.

2.5 Entraînement des chiens

Quatre entraînements expérimentaux avec les chiens de l'unité canine de la police d'Ontario ont été réalisés (février, mai et octobre 2022 et mai 2023). Un certificat d'éthique animal a été obtenu, afin d'autoriser les entraînements réalisés (certificat éthique animal N°2022-S.F.3.). Plusieurs

types d'entraînements ont été réalisés avec une dizaine de chiens. Le tableau 2.4 liste le nombre de chiens ayant participé aux différents entraînements, ainsi que le type d'entraînement réalisé.

Tableau 2.4 : Liste des différents entraînements ayant été réalisés, ainsi que le nombre de chiens ayant participé à ceux-ci.

Entraînements	Nombres de chiens participants	Types d'entraînement			
		Outils d'entraînement	Ossements	Intérieur	Extérieur
Février 2022	3	X		X	
Mai 2022	6	X		X	
Octobre 2022	11		X	X	X
Mai 2023	15		X		X

Des entraînements intérieurs et extérieurs se sont déroulés, afin d'avoir des entraînements dans différents milieux et donc avec des odeurs destructrices différentes. Pour ce qui est des entraînements intérieurs, quatre types d'entraînement ont été réalisés. Les chiens avaient pour objectif de localiser l'outil d'entraînement sans alerter aux différents distracteurs présents dans la pièce. Le premier consiste en une salle comportant de 3 à 5 boîtes à l'intérieur. Dans les boîtes se trouvaient différents distracteurs et un outil d'entraînement de type osseux (Figure 2.4A). Par la suite, un autre entraînement impliquait l'utilisation d'un carrousel (Figure 2.4B) et des récipients. Chaque récipient contenait un distracteur ou un outil d'entraînement. Le prochain entraînement était une salle avec des caches dans les murs. Dans l'une des caches se trouvait un outil (Figure 2.4C). Finalement, un autre type d'entraînement était de cacher un outil d'entraînement dans l'une des différentes salles de simulation (« appartement de Kevin », « salle de casier », « sous-sol ») (Figure 2.4D). Les entraînements extérieurs, quant à eux, consistaient encore à cacher un outil d'entraînement dans différents milieux (ouvert et fermé) pour ensuite faire une recherche en nature avec le chien et son maître. Les entraînements extérieurs en milieu ouvert se situent dans une cour de bâtiment ou un champ, ce qui limite les obstacles et les distractions. Quant aux entraînements extérieurs en milieu fermé, ceux-ci se situent dans une forêt près de l'unité canine. La présence d'obstacles (forêt) et de distracteurs (matières organiques diverses en décomposition) est plus fréquente, comparativement aux entraînements en milieu ouvert.

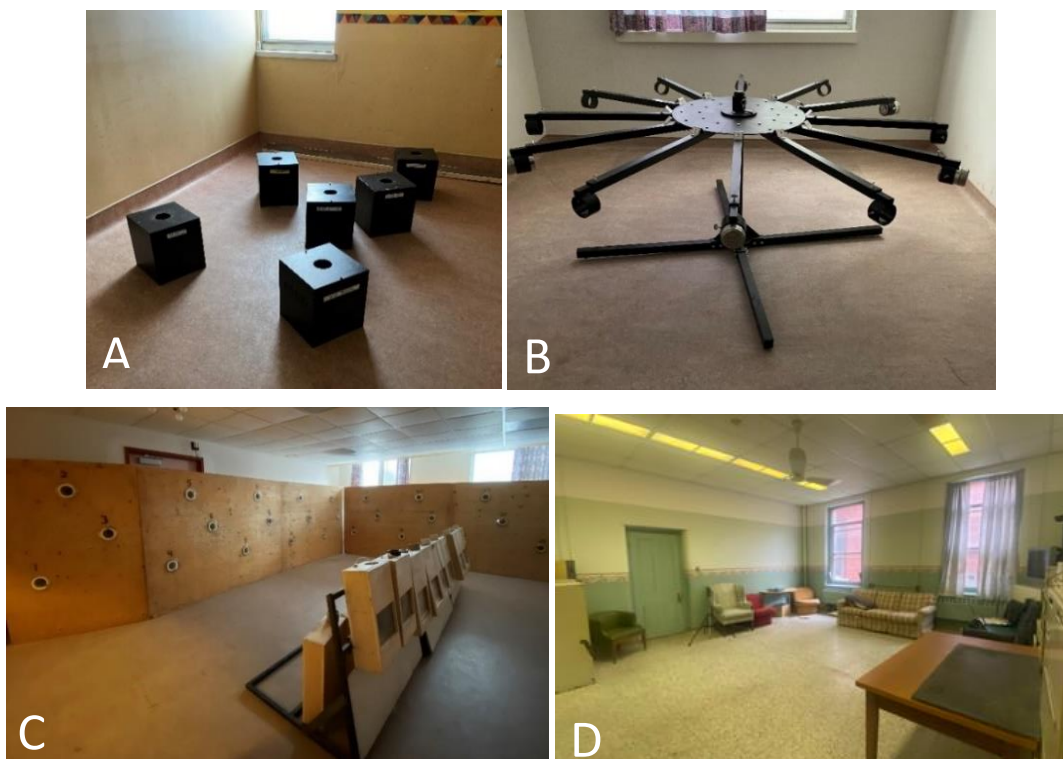


Figure 2.4: Photos des différentes zones d'entraînement intérieur des chiens. (A : boîtes ; B : carrousel ; C : cache dans les murs ; D : appartement de Kevin).(Dargan, 2022).

La collecte des données de ces entraînements consistait à noter si le chien alertait ou non ou s'il montrait un intérêt pour l'outil d'entraînement (Tableau 2.5). Ces observations ont été compilées et traitées en fonction de la première réponse des chiens pour chaque entraînement utilisé comme indicateur de leur capacité à détecter des restes humains squelettiques.

Tableau 2.5 : Réponses possibles lors des entraînements des chiens.

Réponse	Description
Vrai Positif	Le chien a réagi au bon endroit
Vrai Négatif	Le chien n'a pas réagi, mais ne devait pas réagir
Faux Positif	Le chien a réagi, mais pas aux bons endroits
Faux Négatif	Le chien n'a pas réagi quand il aurait dû
Intérêt	Le chien a eu un intérêt, mais n'a pas réagi

Avec les différentes réponses obtenues, le taux de détection, le taux d'intérêt et le taux de fausses réponses ont été calculés en fonction des formules suivantes :

$$\text{Taux de Détection (\%)} = \frac{\text{Nombre total de vrai positif + vrai négatif}}{\text{Nombre total de résultats vrais possibles}} \times 100$$

$$\text{Taux d'intérêt(\%)} = \frac{\text{Nombre total de réponse d'intérêt}}{\text{Nombre total de résultats possibles}} \times 100$$

$$\text{Taux de fausse réponse (\%)} = \frac{\text{Nombre total de faux positif + faux négatif}}{\text{Nombre total de résultats faux possibles}} \times 100$$

CHAPITRE 3

PROFIL DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DES OSSEMENTS DE REST[ES]

Ce chapitre vise à déterminer le profil des composés organiques volatils d'ossements (clavicule, côte, humérus et vertèbres) prélevés sur trois donneurs issus du site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]). La persistance des COVs dans le temps, ainsi que leurs variations entre les donneurs et les types d'ossements seront abordés afin de déterminer l'impact de ces facteurs sur le profil des COVs. Cela permettra, dans un premier temps, de combler les lacunes dans la littérature concernant les COVs provenant des tissus durs. De plus, le profil de COVs obtenu sera utilisé pour comparaison avec celui d'outils d'entraînement osseux utilisé par l'OPP.

Au total, 312 composés organiques volatils ont été détectés chez les ossements entre le mois de juin 2022 et novembre 2022, grâce au GC×GC-TOF-MS. Les composés ont été classés en fonction de leur groupement fonctionnel prioritaire, conformément aux normes de nomenclature de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC). Après avoir déterminé quel groupement fonctionnel était prioritaire, les composés ont été catégorisés dans l'une des classes chimiques suivantes: acide, alcool, aldéhyde, cétone, composé aliphatique cyclique, composé aliphatique linéaire, composé aromatique, composé azoté, composé halogéné, composé sulfuré, ester et éther. Toutes ces classes chimiques ont été identifiées dans la littérature comme étant présentes au cours du processus de décomposition (Eckenrode, 2009; Knobel et al., 2018; Statheropoulos et al., 2011; Statheropoulos et al., 2004; Vass, 2012; Vass et al., 2008).

3.1 Profil des COVs des ossements de REST[ES]

Le profil des composés a été établi par la distribution des différentes classes chimiques selon le nombre de composés organiques différents détectés dans les échantillons (Figure 3.1) et par la distribution des classes chimiques selon la moyenne des concentrations relatives médianes des COVs détectés (Figure 3.2).

3.1.1 Abondances des classes chimiques selon le nombre de COVs

La figure 3.1 montre que les composés aliphatiques linéaires correspondent à la classe chimique contenant le plus grand nombre de composés organiques volatils ($n=70$; 22%), suivi des composés aromatiques ($n=60$; 19%), des composés azotés ($n=43$; 14%), des esters ($n=42$; 14%), des alcools ($n=27$; 9%), des composés aliphatiques cycliques ($n=23$; 7%), des cétones ($n=20$; 6%), des aldéhydes ($n=10$; 3%), des éthers ($n=6$; 2%), des composés halogénés ($n=5$; 2%), des composés sulfurés ($n=3$; 1%) et des acides ($n=3$; 1%), ou n représente le nombre de composés organiques volatils détectés.

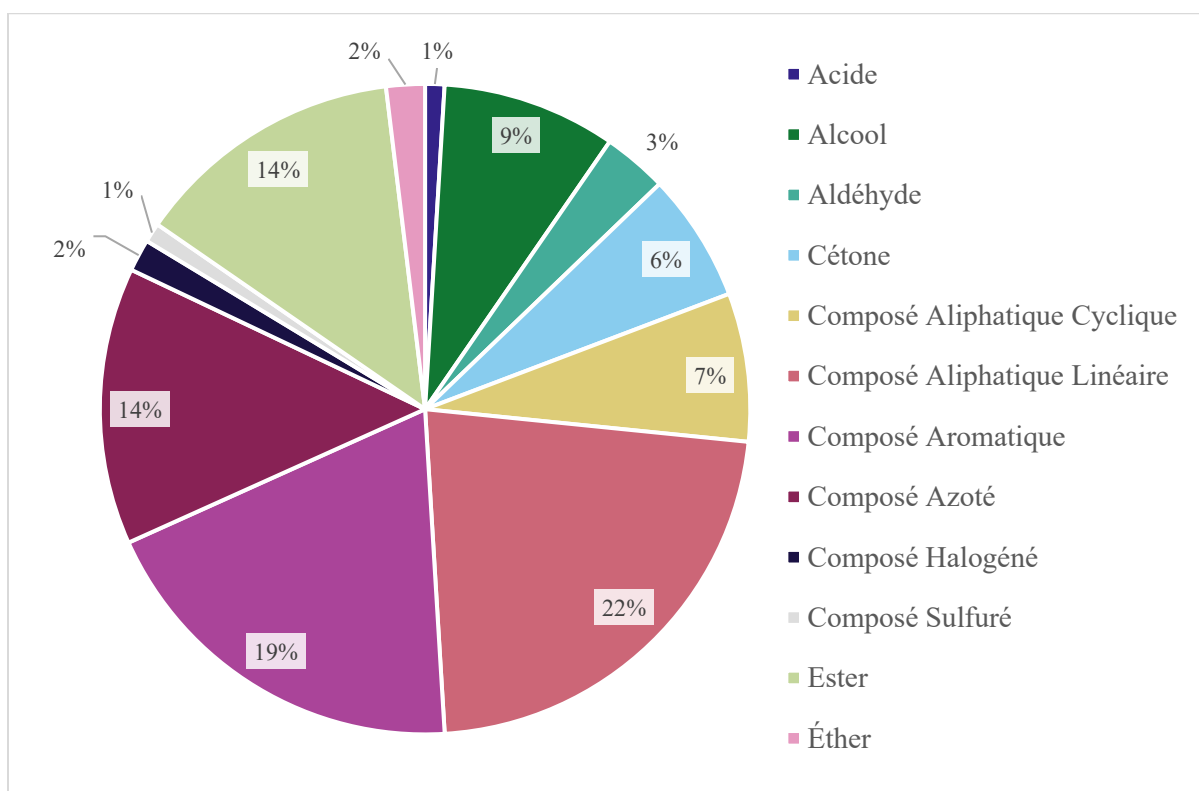


Figure 3.1 : Distribution des différentes classes chimiques en pourcentage en fonction du nombre de composés organiques volatils détectés chez les trois donneurs de REST[ES] entre juin 2022 et novembre 2023.

3.1.2 Abondance des classes chimiques selon l'aire sous la courbe normalisée des COVs

Les composés organiques volatils détectés dans les échantillons ont été normalisés grâce à un standard interne de bromobenzène. Cette méthode correspond à une approche semi-quantitative permettant d'évaluer l'abondance des composés organiques volatils en fonction de leur aire sous la courbe. Ainsi, l'aire sous la courbe normalisée est proportionnelle à la concentration relative du

composé. La concentration obtenue n'est donc pas la concentration réelle des composés, mais plutôt une concentration relative spécifique à cette étude. Par conséquent, dans le cadre de cette étude, le terme « concentration relative » sera utilisé pour représenter l'aire sous la courbe normalisée des COVs. La médiane des valeurs de l'aire sous la courbe pour chaque composé a été réalisée afin d'obtenir une valeur centrale. L'utilisation de la médiane permet d'obtenir une valeur centrale qui a le même objectif que la moyenne, tout en étant moins influencée par les valeurs aberrantes. Puisque la méthode est semi-quantitative, des valeurs aberrantes peuvent être rencontrées.

La figure 3.2 représente la distribution des classes chimiques selon la moyenne des concentrations relatives médianes des COVs détectés dans les échantillons. Les aldéhydes, les composés azotés et les composés halogénés sont les classes chimiques présentant les concentrations relatives moyennes les plus élevées, suivies par les composés aliphatiques cycliques, les alcools, les composés aliphatiques linéaires, les esters, les composés aromatiques, les acides, les éthers, les composés sulfurés et enfin les cétones.

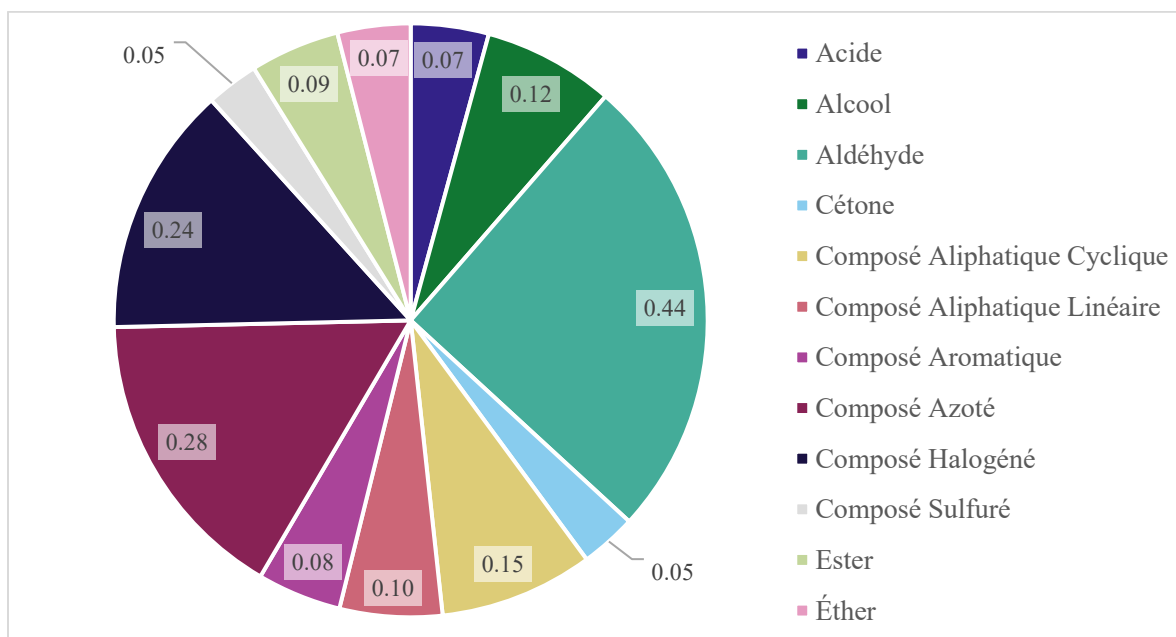


Figure 3.2 : Moyenne des concentrations relatives médianes des classes chimiques chez les trois donneurs de REST[ES] entre juin 2022 et novembre 2022.

3.2 Variations entre les donneurs et les types d'ossements

Quatre types d'ossements ont été échantillonnés sur trois donneurs de REST[ES]. Les trois donneurs sont décédés naturellement à 71, 69 et 72 ans, respectivement. La description des donneurs (sexe, grandeur, poids) se retrouve dans le tableau 2.1 du Chapitre 2. En raison des différences biologiques entre les donneurs (facteurs intrinsèques), il est possible qu'une certaine variation dans les profils des COVs soit observable.

3.2.1 Variations entre les donneurs

La figure 3.3 présente le nombre de composés organiques volatils présents dans les classes chimiques pour les trois donneurs. L'ordre d'abondance des classes avait une tendance similaire entre les trois donneurs. Seule une légère variation du nombre de COVs est observable. Les composés aliphatiques linéaires, les composés aromatiques ainsi que les composés azotés correspondent aux classes les plus abondantes pour les trois donneurs. Les composés halogénés, les composés sulfurés et les acides sont, quant à eux, les classes les moins abondantes.

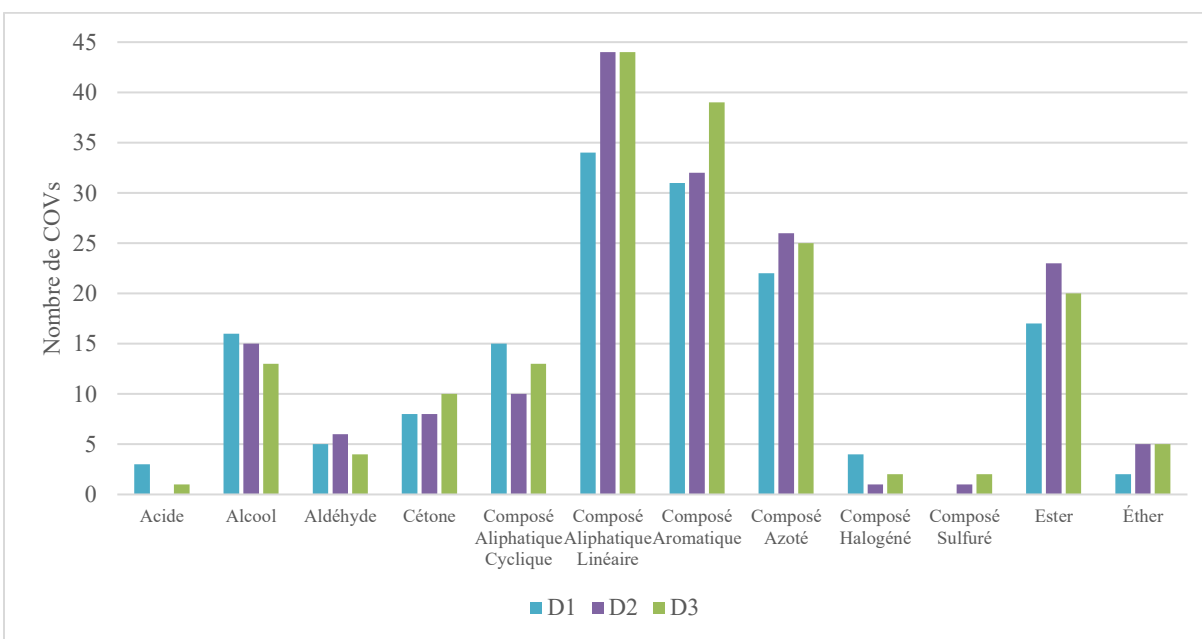


Figure 3.3 : Nombre de composés organiques volatils selon leurs classes chimiques détecté chez les trois donneurs provenant de REST[ES].

Il est à noter que la distribution des classes chimiques peut changer entre le nombre de composés organiques volatils détecté et leur concentration relative. La figure 3.4 représente la concentration

relative moyenne des différentes classes chimiques ayant été calculées en fonction de l'aire sous la courbe normalisée. La médiane de l'aire sous la courbe des composés a été utilisée pour calculer la valeur centrale des classes chimiques, contribuant ainsi à réduire l'impact des valeurs aberrantes. Tout comme la figure 3.3, la concentration relative des classes présente une tendance similaire entre les trois donneurs, à quelques exceptions près. Par exemple, les composés halogénés ont une plus grande variation entre les donneurs. La concentration relative moyenne est plus élevée pour le Donneur 3 et Donneur 2 que le Donneur 1. Les aldéhydes représentent la classe chimique avec la concentration relative moyenne la plus élevée chez les trois donneurs. Les composés sulfurés et les acides, quant à eux, présentent les concentrations relatives les plus basses.

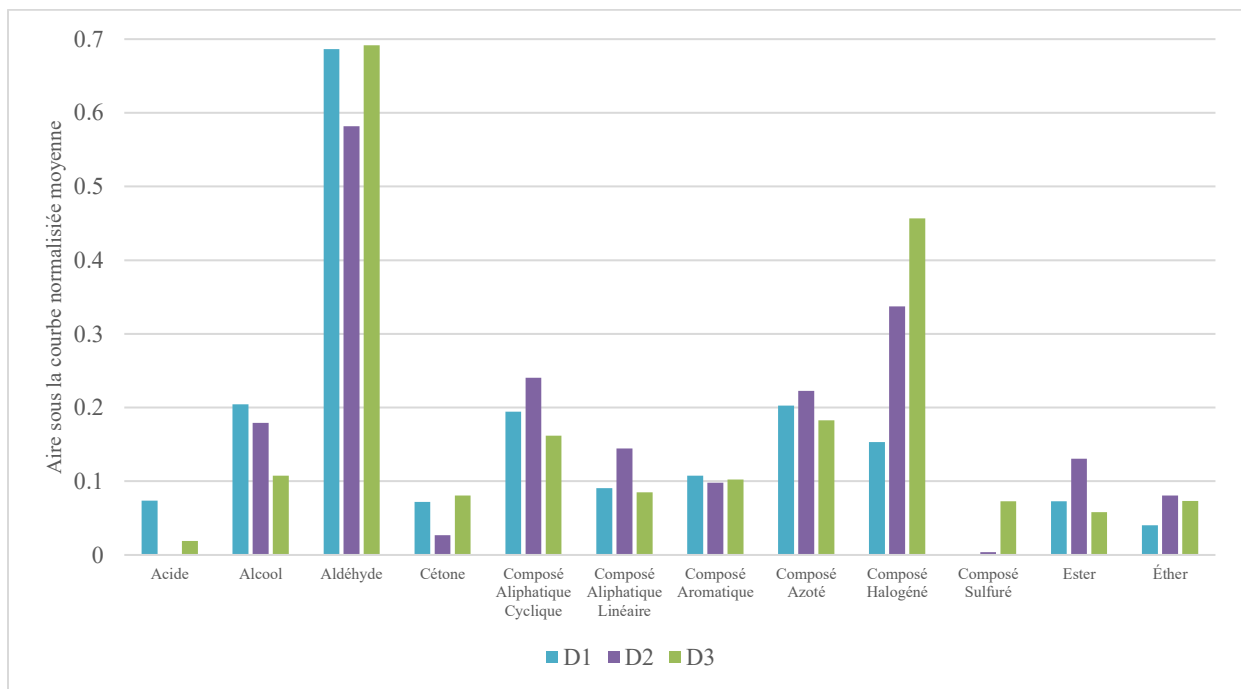


Figure 3.4 : Concentration relative moyenne des classes chimiques des composés organiques volatils présents chez les trois donneurs provenant de REST[ES].

3.2.2 Variations entre les ossements

La figure 3.5 compare le nombre total de composés organiques pour chaque os des trois donneurs, ainsi que la moyenne de COVs détectés pour chaque os. L'humérus présente la plus grande quantité moyenne de COVs (n=90), suivi par les vertèbres (n=76), la côte (n=71) et la clavicule (n=66), où n correspond au nombre moyen de COVs. Des différences entre les donneurs sont également observables. La clavicule du Donneur 2 contient presque deux fois moins de COVs que celles des

donneurs 1 et 3. Pour les côtes, la quantité totale de COVs chez le Donneur 1 est supérieure à celle des donneurs 2 et 3, qui présentent des quantités très similaires. En revanche, pour l’humérus, le Donneur 1 a une quantité inférieure à celle des donneurs 2 et 3. Finalement, les vertèbres du Donneur 3 contiennent un nombre de COVs supérieur parmi les trois donneurs étudiés.

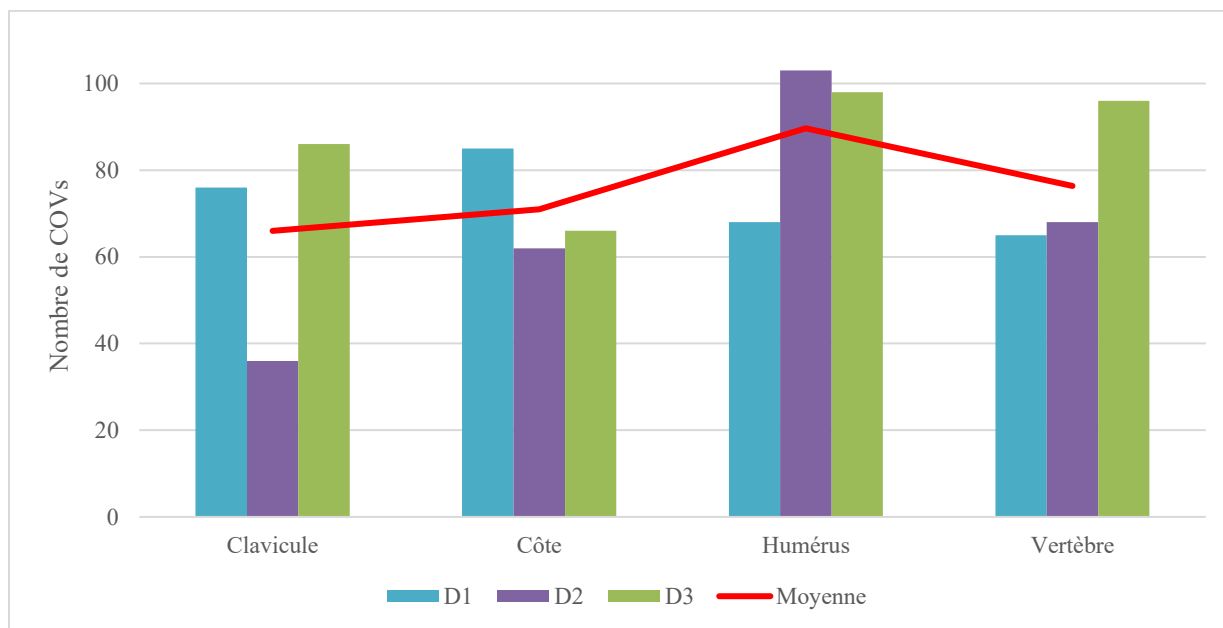


Figure 3.5 : Total de composés organiques volatils détecté dans chaque ossement des trois donneurs de REST[ES], ainsi que leur moyenne.

La figure 3.6 représente la distribution des classes chimiques (%) selon le nombre de COVs dégagés pour chaque os des trois différents donneurs. La distribution générale entre les classes chimiques est similaire entre les ossements des trois donneurs. Les aliphatiques linéaires, les composés aromatiques et les composés azotés représentent les classes ayant un pourcentage de distribution plus élevé pour tous les ossements, comme il a été observé à la figure 3.3. Les acides et les composés sulfurés sont les classes les moins abondantes. Les acides ont été détectés seulement dans la côte et l’humérus du Donneur 1 et dans la clavicule et la côte du Donneur 3. Aucun composé sulfuré n’a été détecté chez le Donneur 1, ainsi que chez le Donneur 2 à l’exception de la côte de celui-ci.

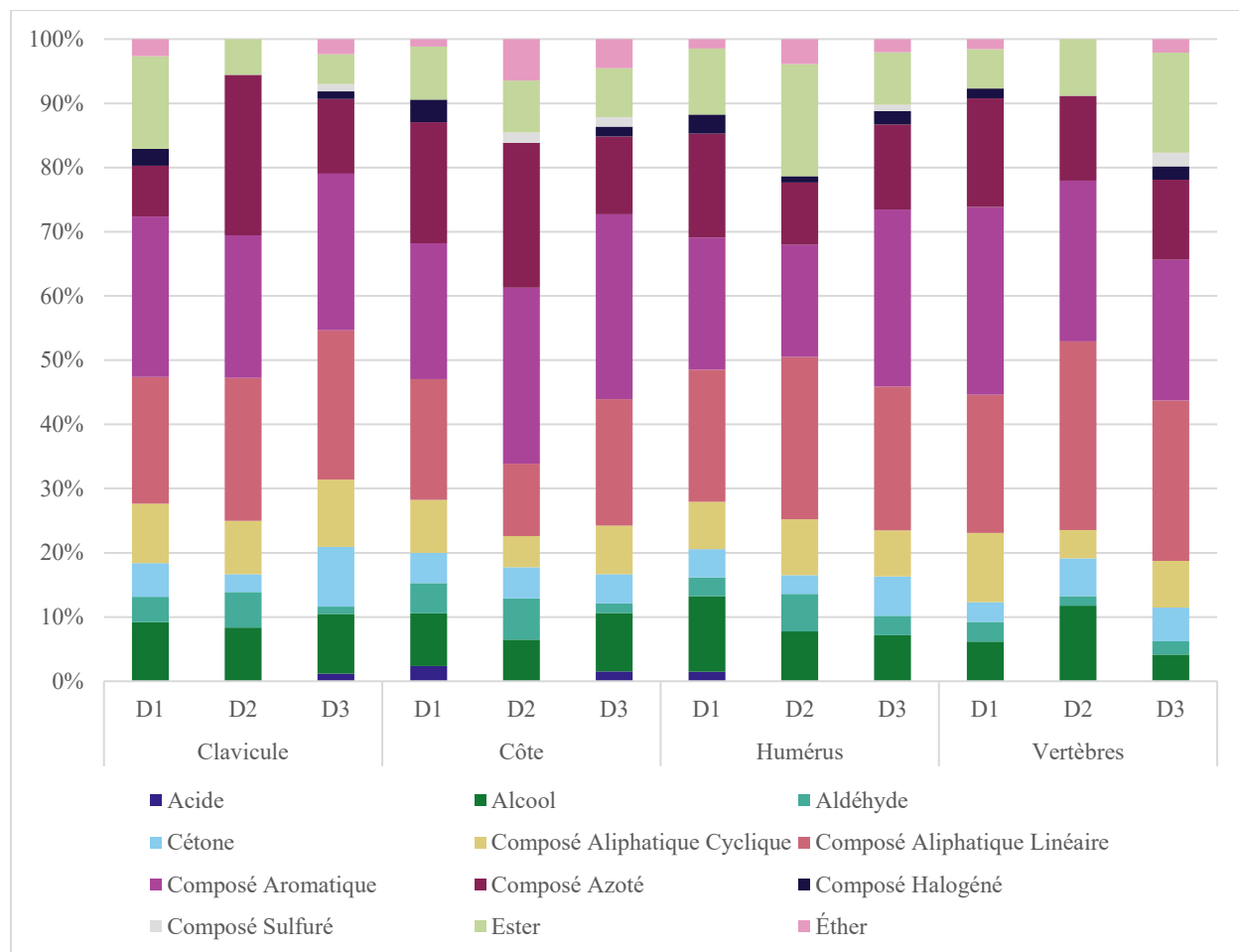


Figure 3.6 : Distribution (%) des classes chimiques selon le nombre de composés organiques pour les quatre types d'ossement chez les trois donneurs de REST[ES].

La concentration relative totale pour chaque os a été déterminée chez les trois donneurs à l'aide de l'aire sous la courbe des composés qui est proportionnelle à la concentration moyenne (Figure 3.7). Tout comme observé dans la figure 3.5, les humérus, suivis des vertèbres, présentent une concentration relative moyenne supérieure à celle des clavicules et des côtes. Des variations entre les donneurs sont également observées (variations interindividuelles). La clavicule du Donneur 1 a une concentration relative supérieure à celles des deux autres donneurs. Le Donneur 1 présente une concentration relative plus élevée pour la côte et les vertèbres que les deux autres donneurs, qui ont une concentration relative plus similaire l'une à l'autre. Finalement, l'humérus du Donneur 2 a émis une concentration relative de COVs plus élevée que les donneurs 1 et 3.

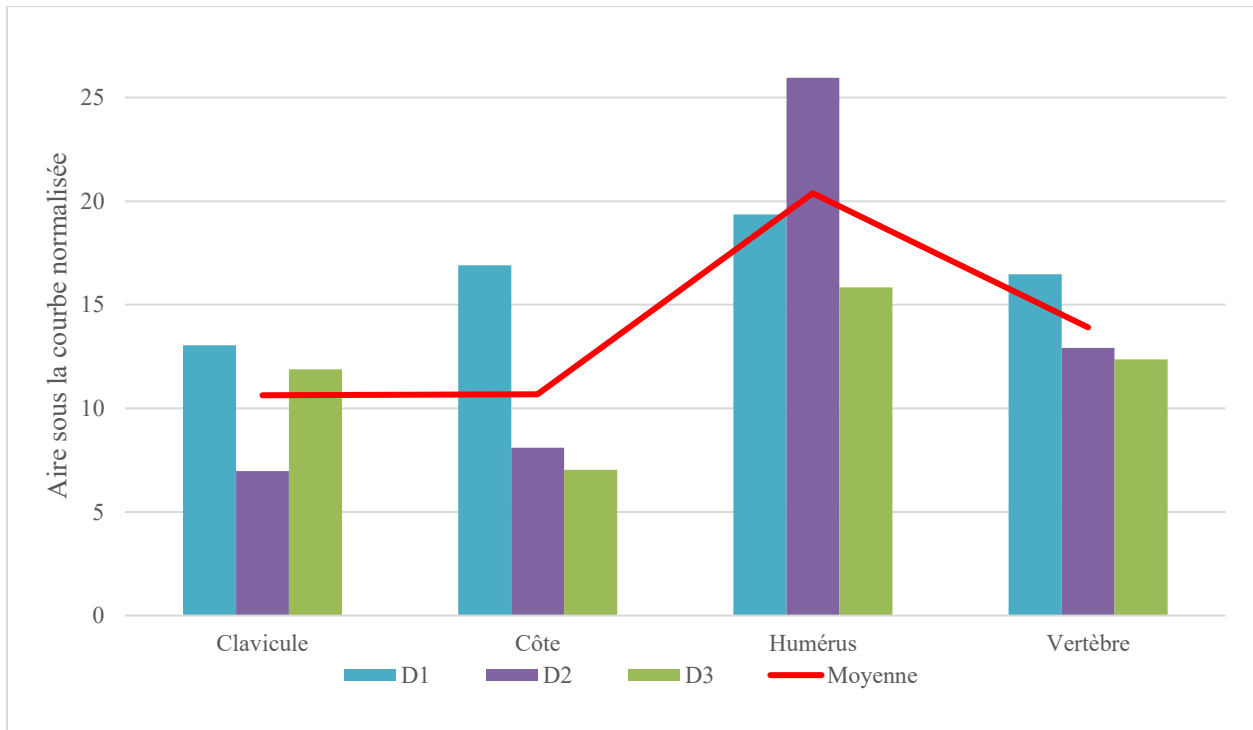


Figure 3.7 : Concentration relative totale des COVs des différents ossements provenant des trois donneurs de REST[ES] et leur concentration relative moyenne respective.

Comparativement à la figure 3.6, le pourcentage de distribution de la concentration relative totale des différentes classes chimiques est très variable entre les clavicules, les côtes, les humérus et les vertèbres, ainsi qu'entre les donneurs (Figure 3.8). Les composés azotés, ainsi que les aldéhydes, correspondent aux classes avec les concentrations totales les plus grandes dans la majorité des ossements.

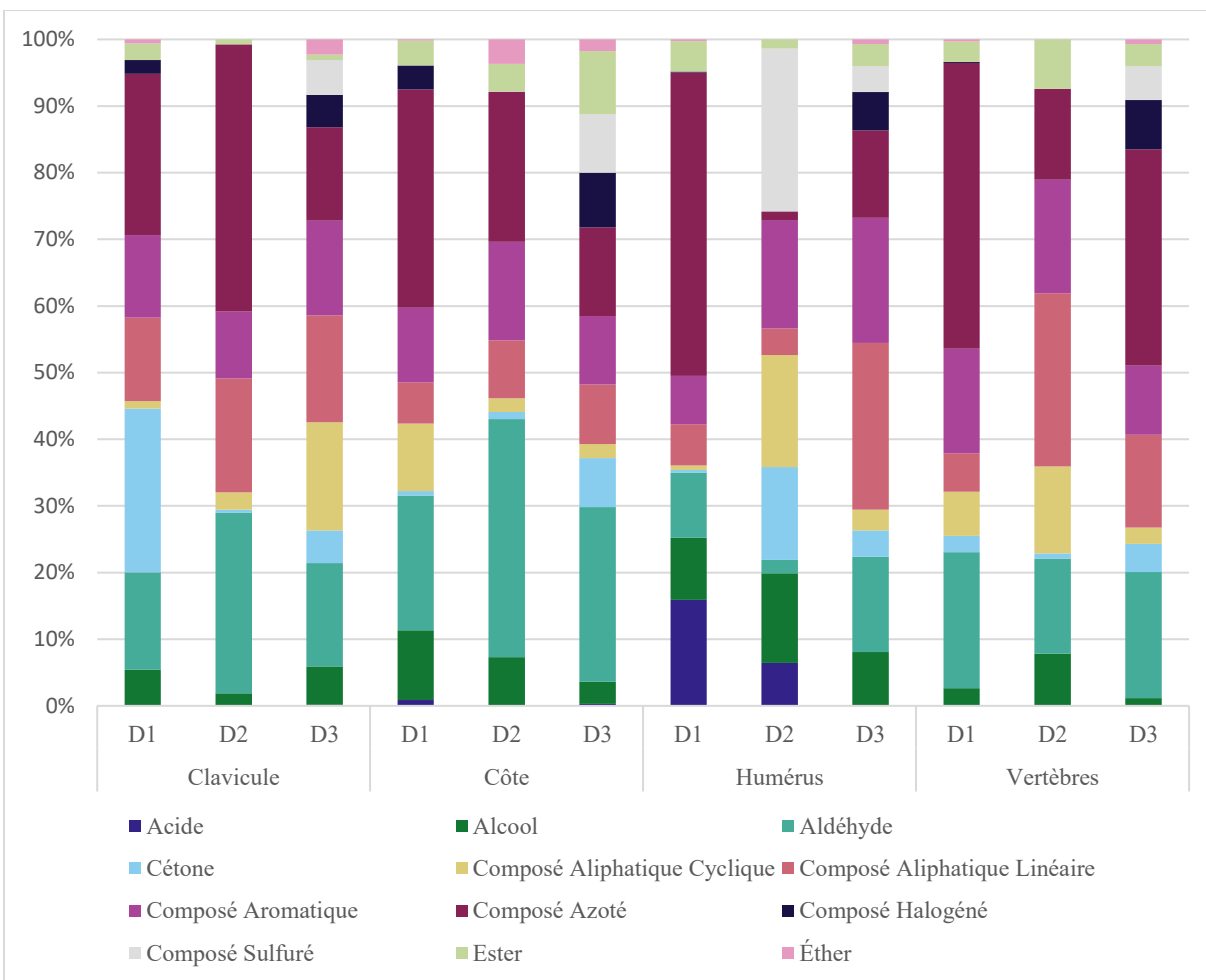


Figure 3.8 : Distribution (%) des classes chimiques selon la concentration relative des composés organiques volatils détectés dans les quatre types d'ossements des trois donneurs de REST[ES].

3.3 Persistance des COVs dans le temps

Le total de composés organiques détectés chez les trois donneurs pour chaque mois d'échantillonnage a été calculé, afin d'observer l'évolution des COVs. La même démarche a été appliquée pour la concentration relative. La figure 3.9 représente le nombre total de composés organiques volatils détectés pour chaque donneur, de juin 2022 à novembre 2022. Il est possible d'observer une tendance générale descendante pour les trois donneurs. La quantité totale de composés organiques volatils lors du premier mois d'échantillonnage est supérieure à celle du mois de novembre 2022.

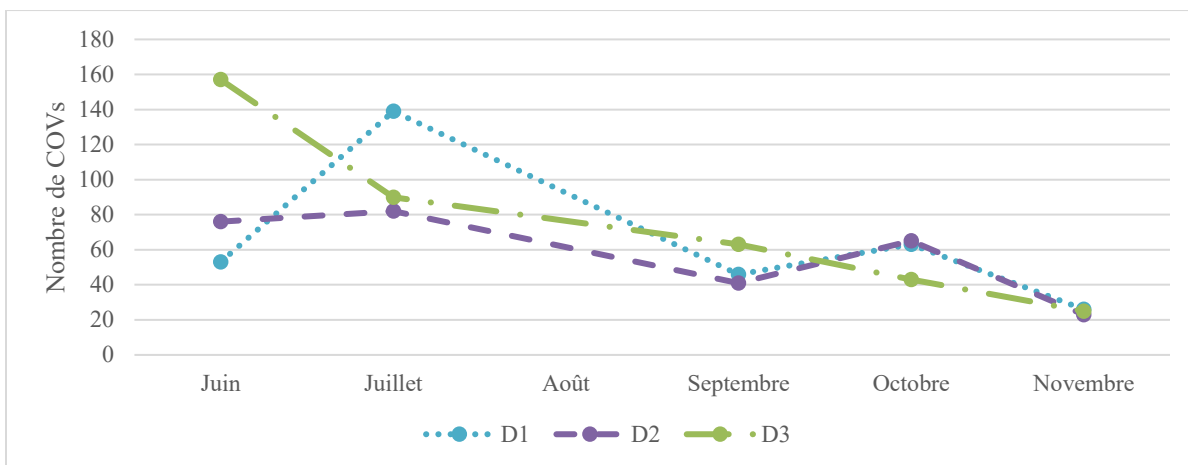


Figure 3.9 : Variation du nombre de composés organiques volatils chez les trois donneurs de juin 2022 à novembre 2022.

Le même phénomène est observé avec la concentration relative totale des COVs. La figure 3.10 représente la concentration relative totale des trois donneurs du mois de juin 2022 à novembre 2022. Pour les trois donneurs, une tendance descendante de la concentration relative des composés est observée entre le premier mois d'échantillonnage et le dernier mois.

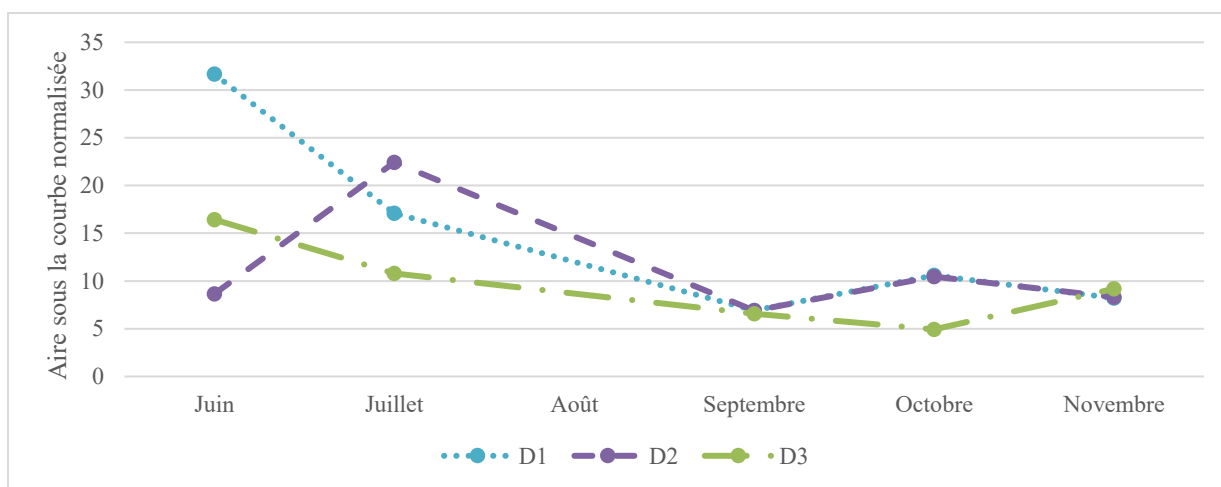


Figure 3.10 : Variation de la concentration relative des composés organiques volatils présente chez les trois donneurs de juin 2022 à novembre 2022.

3.4 Discussion

Le Chapitre 3 avait pour objectif de déterminer le profil de COVs provenant d'ossements humains de REST[ES]. Cette caractérisation des profils de COVs des restes humains squelettiques vise à combler les lacunes dans la littérature concernant les COVs émis par les tissus durs, et permettre

de déterminer les outils d'entraînement appropriés pour entraîner les chiens à la détection de restes squelettiques. Dans la littérature, de nombreuses études ont été réalisées sur les profils de COVs des tissus mous en décomposition, mais très peu sur les COVs dégagés par les tissus durs, en particulier les os (Eckenrode, 2009; Vass et al., 2008). La caractérisation des composés organiques volatils provenant des tissus durs a une importance particulière pour sélectionner les outils d'entraînement qui permettront d'entraîner efficacement les chiens pour la détection des restes squelettiques. Le profil des composés des ossements a été établi, et les différents composés ont été classés en fonction de leurs classes chimiques prioritaires. Toutefois, il est important de noter que la classification des composés peut varier en fonction des auteurs et des recherches (Dargan, 2022).

Parmi les 312 COVs émis par les os de cette étude, les composés aliphatiques linéaires, ainsi que les composés aromatiques sont ceux ayant un total de composés plus élevé. Cependant, les aldéhydes représentent la classe chimique ayant la concentration relative moyenne la plus élevée, suivis des composés azotés et des composés halogénés. Il est intéressant de noter que la classe des aldéhydes est celle ayant moins de COVs, mais celle ayant une concentration relative supérieure à la moyenne. Cela indique que, bien que les aldéhydes émis par les ossements soient peu nombreux au sein de leur classe, leur concentration relative est élevée. À l'inverse, seuls quelques composés sulfurés sont dégagés, avec une concentration relative très faible.

Il est difficile de comparer les distributions des classes chimiques des COVs dégagés des ossements de cette étude avec les autres études menées au REST[ES] (Dargan, 2022; Patel, 2022), puisque ces dernières ont analysé des donneurs complets à l'extérieur, lorsqu'ils étaient aux premiers stades de décomposition. Ceci peut considérablement influencer la distribution des COVs susceptibles d'être émis, rendant ainsi la comparaison entre ces études plus complexes. Toutefois, il est possible d'affirmer que les COVs détectés lors de cette présente étude proviennent majoritairement des produits de dégradation de la matière organique et inorganique lors du processus de décomposition et de diagenèse (Dent et al., 2003; Eckenrode, 2009; Hedges, 2002; Vass, 2012; Vass et al., 2008). Certains COVs détectés peuvent toutefois provenir de l'environnement, par exemple, de résidus de sols sur les ossements. De ce fait, les composés aliphatiques linéaires et les aldéhydes détectés dans les ossements de REST[ES] en plus grande quantité et en plus grandes concentrations relatives peuvent provenir des produits de dégradation des lipides (Stefanuto et al., 2017; Vass et al., 2008). Il est possible que des traces de tissus adipeux se trouvent encore à l'intérieur ou à l'extérieur des

os. Les aldéhydes peuvent être des produits de l'oxydation des acides gras insaturés (Dekeirsschieter et al., 2012; Eckenrode, 2009; Paczkowski, & Schütz, 2011; Stadler et al., 2013; Statheropoulos et al., 2011). Étant donné leur concentration relative élevée, il est porté à croire que des résidus de lipides sont encore présents sur les ossements humains, provenant potentiellement de la moelle osseuse. Les esters observés en plus grand nombre peuvent aussi venir de la dégradation des lipides résiduels (Martin, & Verheggen, 2018; Statheropoulos et al., 2011; Stefanuto et al., 2017). Ensuite, les composés aromatiques détectés en grande quantité peuvent provenir des produits de dégradation des acides aminés provenant de protéines (Stefanuto et al., 2017). Les collagénases vont dégrader les protéines du collagène en acides aminés, lesquels seront décarboxylés en COVs aromatiques (Boaks et al., 2014; Dent et al., 2003; Hedges, 2002; Kasem et al., 2011). Les composés azotés, ayant aussi un grand nombre de COVs ainsi qu'une concentration relative plus élevée que la moyenne, peuvent être des produits de dégradation de protéines. Les composés azotés seront produits lors de la désamination des acides aminés (Dent et al., 2003; Statheropoulos et al., 2004; Stefanuto et al., 2017). Il est aussi possible que les composés azotés proviennent de produit de dégradation de l'ADN (Focant et al., 2013; Stefanuto et al., 2017). Finalement, quelques composés halogénés (composés chlorés, fluorés et iodés) ont été détectés à des concentrations relatives plus élevées que la moyenne. Très peu d'informations concernant leur provenance exacte sont disponibles dans les recherches sur la décomposition. Certaines hypothèses peuvent toutefois être émises. Premièrement, il est possible que les composés halogénés détectés proviennent du sol (Fuge, 1988). Il a été observé la présence de différents halogènes dans le sol lors d'analyse (Pereira et al., 2016). Des traces de terres sur les ossements pourraient causer un dégagement de ses composés. Par la suite, des traces de certains halogènes peuvent s'être accumulées dans les os du corps par le biais de la nutrition. Le chlore, le fluor et l'iode sont tous des halogènes pouvant se trouver dans l'eau et dans la nourriture (Fuge, 1988; Mello et al., 2013). Ainsi, lors du processus de diagenèse, les composés halogénés accumulés peuvent être libérés. Finalement, certaines parties du corps sont susceptibles d'avoir une concentration d'halogène. Le chlore est un constituant important du sang (Ashley et al., 1996), les composés fluorés peuvent se trouver dans la structure de l'apatite des os (Currey, 2006; Glock et al., 1941) et les composés iodés, quant à eux, sont fréquemment retrouvés près des glandes thyroïdes (Ahad, & Ganie, 2010). Il peut donc y avoir des traces de ces halogènes sur les os. Ainsi, lors du processus de diagenèse, ces halogènes peuvent être émis. Une concentration relative supérieure à la moyenne d'halogènes a,

toutefois, rarement été observée dans les études de décomposition, à l'exception d'une étude réalisée sur des analogues humains (cochons) (Knobel et al., 2018) et celle réalisée pour la validation des outils d'entraînement (Dargan, 2022).

Les différents donneurs ont été comparés, ainsi que les différents types d'ossements, afin de déterminer s'il y avait une variation dans le profil général des COVs. Une tendance similaire a été observée entre les donneurs concernant la distribution des différentes classes chimiques selon le nombre total de COVs (Figure 3.3), ainsi que la concentration relative moyenne des composés (Figure 3.4). Toutefois, des variations dans le profil étaient observables. Les trois donneurs sont arrivés au REST[ES] à différents moments. Les trois donneurs sont arrivés au REST[ES] à un intervalle d'un peu plus que 50 jours. Le donneur 3 est donc le plus récent des trois donneurs, suivi du Donneur 2 et du Donneur 1. Il est donc normal d'observer un plus grand nombre de COVs chez le Donneur 3 (178 COVs) que le Donneur 2 (171 COVs) et le Donneur 1 (157 COVs). Chaque donneur a pu être exposé différemment aux facteurs environnementaux (p. ex., température, précipitation, ensoleillement, activités entomologiques). Par exemple, le Donneur 1 a été déposé en début d'été et les Donneurs 2 et 3 ont été déposés en automne. Le Donneur 1 a donc été exposé à des températures plus élevées, ainsi qu'une activité entomologique plus importante que les Donneurs 2 et 3. Un autre exemple serait la disposition des donneurs. Les Donneurs 1 et 2 étaient généralement exposés faiblement au soleil, à l'inverse du Donneur 3 qui était constamment au soleil, puisqu'aucun arbre ne bloquait le soleil. De plus, puisque très peu d'arbres bloquaient le Donneur 3, il est possible que les précipitations aient eu un plus grand impact sur celui-ci que les donneurs 1 et 2. Ces différents facteurs extrinsèques ont donc un impact sur les processus biochimiques de décomposition des tissus organiques (Zhou, & Byard, 2011). Ceci a pu affecter l'émission des COVs pour chaque donneur et produire la variation du profil observable. En plus des facteurs extrinsèques, les variations observées entre le profil des COVs des donneurs peuvent aussi être expliquées par différents facteurs propres à chaque donneur (facteurs intrinsèques). L'âge, la composition corporelle, la présence de maladies, la prise de traitement médicamenteux ou la consommation de drogue, par exemple, pourraient potentiellement affecter les produits de décomposition des ossements, notamment les types de composés organiques volatils produits et donc une variation dans le profil est possible (Campobasso et al., 2001; Cockle, 2013; Collins et al., 2002; Janaway et al., 2009; Kasem et al., 2011; Piepenbrink, 1986; Zhou, & Byard, 2011). Pour

commencer, lorsqu'une personne est plus âgée, ses os auront une densité osseuse plus faible qu'un adulte moyen. Les os seront donc plus sensibles au processus de diagenèse (Florencio-Silva et al., 2015; Nandiraju, & Ahmed, 2019; Watson, & Adams, 2018). La grandeur et la composition corporelles des donneurs vont jouer un rôle en ce qui a trait aux types et à la quantité de produit de décomposition. Une personne plus grande aura donc des os plus longs et une quantité de matières organiques plus élevées. Les tissus organiques à décomposer seront donc plus élevés et une plus grande quantité de COVs sera émise. Ensuite, selon la composition corporelle, la quantité de produits de décomposition va varier. Par exemple, une personne ayant un pourcentage de gras plus élevé aura une plus grande quantité de produit de dégradation de lipides (Zhou, & Byard, 2011). Finalement, la prise de traitement médicamenteux, la présence de maladie ou la consommation de drogue peuvent avoir un impact sur la santé des os en interférant avec l'apport de nutriments essentiels aux os ou en augmentant l'activité de l'unité multicellulaire de base des os. Ceci entraînera donc une mauvaise qualité du squelette (Nandiraju, & Ahmed, 2019). Il est donc possible qu'une différence dans la composition osseuse des donneurs affecte les produits de diagenèse, causant ainsi une différence de profil de COVs entre les donneurs. Les variations observées dans le profil de COVs chez les donneurs peuvent donc être en raison de différents facteurs extrinsèques et intrinsèques.

Une variation de profil est également observable entre les types d'ossements. Les humérus, suivis des vertèbres, représentent les ossements ayant une moyenne de composés plus élevée, ainsi qu'une concentration relative supérieure. Ensuite viennent les clavicules et les côtes qui ont un nombre et une concentration relative de COVs inférieure, mais très similaire entre eux. La différence entre les os peut être expliquée par les différentes compositions osseuses pouvant réagir différemment lors du processus de diagenèse (Cox, & Mays, 2000; Gowland, & Thompson, 2022; Hedges, 2002). Premièrement, les humérus et les vertèbres sont plus vascularisés et contiennent plus de moelle osseuse que dans les clavicules et les côtes (Coard, 1999; Florencio-Silva et al., 2015). Il se pourrait donc que des traces de tissus organiques soient encore présentes sur les humérus et les vertèbres, ce qui expliquerait la différence de quantité de COVs dégagés de ceux-ci que chez les clavicules et les côtes. De plus, les os sont généralement composés d'os compact sur la surface et d'os poreux à l'intérieur (Florencio-Silva et al., 2015; Watson, & Adams, 2018). Une porosité élevée des os permet une plus grande circulation de l'eau, des microorganismes et des ions dissous, au

travers de ceux-ci, causant leur dégradation (Kendall et al., 2017). Les microorganismes peuvent, se coloniser, par la suite, à l'intérieur des os et dégrader la matière organique restante en produits de décomposition (Emmons et al., 2022; Emmons et al., 2020). Le processus de diagenèse aura donc un plus grand impact sur les os fortement poreux (os spongieux) que les os faiblement poreux (os compact) (Karr, & Outram, 2015; Kendall et al., 2017). Étant donné que les humérus et les vertèbres sont plus vascularisés que les clavicules et les côtes, la présence de pores est plus importante chez ceux-ci et sera donc affectée de manière plus importante par le processus de diagenèse. Les vertèbres et les humérus auront une grande activité de microorganismes qui causera la dégradation du collagène et des tissus mous internes restants causant l'émanation de COVs. La différence au niveau des profils peut donc être due au fait que les différents os seront à différent stade du processus de diagenèse. Dans les études réalisées par Hoffman et al. (Eckenrode, 2009) et par Vass et al. (Vass et al., 2008), il a aussi été observé que les profils variaient entre les différents types d'ossements échantillonnés (Eckenrode, 2009; Vass et al., 2008). Il serait pertinent de vérifier le profil d'autres ossements, afin de voir si une variation de COVs serait aussi observable.

Finalement, la variation des composés organiques volatils dans le temps permet de déterminer s'ils ont connu une évolution. Il a été possible d'observer une baisse dans le nombre de composés, ainsi que dans la concentration relative au cours des 5 mois d'échantillonnages. Entre chaque session d'échantillonnage des ossements, ceux-ci étaient replacés dans l'enceinte du site REST[ES], en sorte qu'ils étaient constamment en contact avec des facteurs extrinsèques (ex. météorologiques) nécessaires au processus taphonomique. La température, les précipitations, ainsi que l'activité entomologique ont tendance à dégrader la matière organique résiduelle sur les ossements (Dent et al., 2003; Gowland, & Thompson, 2022; Hedges, 2002; Vass, 2001). Étant donné que la décomposition de matières organiques est une des sources du dégagement d'odeur, la réduction de la quantité de matières organiques amènera une diminution des composés organiques volatils dégagés par les ossements. Ceci corrobore donc la diminution du nombre de COVs détectés dans cette étude, ainsi que la diminution de la concentration relative normalisée durant les cinq mois d'échantillonnage. Il est aussi possible que la diminution des COVs soit en raison de l'avancement dans les saisons et donc la baisse de température. Les ossements ont été échantillonnés de septembre à novembre, correspondant à des périodes plus froides de l'année. Dans l'étude de Dargan et al.(2022), il a été établi qu'une diminution des COVs était observable lorsque les

températures étaient plus basses (Dargan, 2022). Une réduction de la température aura pour conséquence une diminution d'activités environnementales (microorganismes, insectes), ainsi qu'une diminution des réactions biochimiques nécessitant des températures plus élevées. La diminution du dégagement de COVs des ossements pourrait donc être en raison des températures plus basses.

3.5 Conclusion

En conclusion, il a été possible de détecter 312 composés organiques volatils provenant des produits de dégradation de la matière organique et inorganique lors du processus de décomposition des trois donneurs inclus dans l'étude. Les COVs ont été classés selon leur classe chimique prioritaire. Les classes des composés aliphatiques linéaires et des composés aromatiques sont celles ayant le plus grand nombre de COVs. Les aldéhydes, les composés azotés et les composés halogénés correspondent aux classes ayant la concentration relative moyenne la plus élevée. Les composés sulfurés constituent, à l'inverse, la classe ayant le moins de COVs ainsi que la plus faible concentration relative en moyenne. Une faible variation entre les donneurs a été observée qui peut être expliquée par différents facteurs intrinsèques liés aux donneurs eux-mêmes. De plus, une tendance très similaire a été observée entre le profil des COVs des donneurs et des ossements. De faibles variations sont toutefois notables, potentiellement attribuables à la composition biologique des os ainsi qu'aux facteurs intrinsèques et extrinsèques. Finalement, il a été possible de déterminer qu'une diminution des COVs s'est produite au cours des cinq mois d'échantillonnage. À ce jour, très peu d'études sont disponibles dans la littérature scientifique sur la caractérisation des COVs émis par les ossements humains. Les résultats de cette étude représentent donc une contribution notable dans le domaine de la détection de restes humains squelettiques. Ces résultats pourront effectivement permettre de développer des outils d'entraînement avec un profil de COVs se rapprochant le plus possible de celui de restes humains squelettique. De plus, ces résultats pourraient contribuer à mieux comprendre la capacité de détection des chiens lors d'entraînements avec différents ossements humains (Chapitre 6).

CHAPITRE 4

PROFIL DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DES OUTILS D'ENTRAÎNEMENT UTILISÉS PAR L'OPP

Ce chapitre a pour objectif de déterminer le profil complet des COVs provenant d'outils d'entraînement utilisés par l'unité canine de la police provinciale de l'Ontario (OPP) lors de ses entraînements. Les outils d'entraînement consistent en des ossements de membres inférieurs (pieds, cheville, tibia) sur lesquels des tissus mous étaient présents. Les questions de la variation du profil entre les différents outils d'entraînement et de la persistance dans le temps des COVs seront aussi abordées dans ce chapitre afin de déterminer l'impact de différents facteurs sur le profil des COVs. Le profil de COVs obtenu des outils d'entraînement va, ensuite, pouvoir être utilisé à des fins de comparaison à celui des ossements de REST[ES] (Chapitre 3), afin de déterminer leur variation (Chapitre 5).

Parmi les 15 outils d'entraînement de l'OPP analysés, 855 COVs ont été détectés pour les mois de février 2022, mai 2022 et octobre 2022. Les composés dégagés des outils d'entraînement ont été classés dans l'une des douze classes chimiques, identifiées au chapitre 3, en fonction de leur groupement fonctionnel prioritaire selon les normes de nomenclature de l'IUPAC. Ces douze classes ont été identifiées dans la littérature comme étant des classes de COVs présent lors du processus de décomposition (Eckenrode, 2009; Knobel et al., 2018; Statheropoulos et al., 2011; Statheropoulos et al., 2004; Vass, 2012; Vass et al., 2008).

4.1 Profil des COVs des outils d'entraînement de l'OPP

Le profil des composés a été établi par la distribution des différentes classes chimiques selon le nombre de composés organiques différents détectés dans les échantillons (Figure 4.1) et par la distribution des classes chimiques selon la moyenne des concentrations relatives médianes des COVs détectés (Figure 4.2).

4.1.1 Distribution des classes chimiques selon le nombre de COVs

La figure 4.1 représente la distribution des classes chimiques selon le nombre de composés organiques volatils détectés dans les différents outils d'entraînement analysés en avril, mai et octobre 2022. Les esters (n=131 ; 15%), les composés aromatiques (n=120 ; 14%), ainsi que les composés aliphatiques linéaires (n= 119 ;14 %) sont les classes chimiques ayant le plus grand nombre de composés détectés dans les outils d'entraînement. Ensuite, on retrouve les composés aliphatiques cycliques (n=97 ; 11 %), les alcools (n=95 ; 11 %), les composés azotés (n=95 ; 11 %), les cétones (n=79 ; 9 %), les composés sulfurés (n=32 ; 4 %), les acides (n=29 ; 4%), les aldéhydes (n=26 ; 3 %), les composés halogénés (n=17 ; 2 %) et les éthers (n=15 ; 2 %), où *n* représente le nombre de COVs détectés.

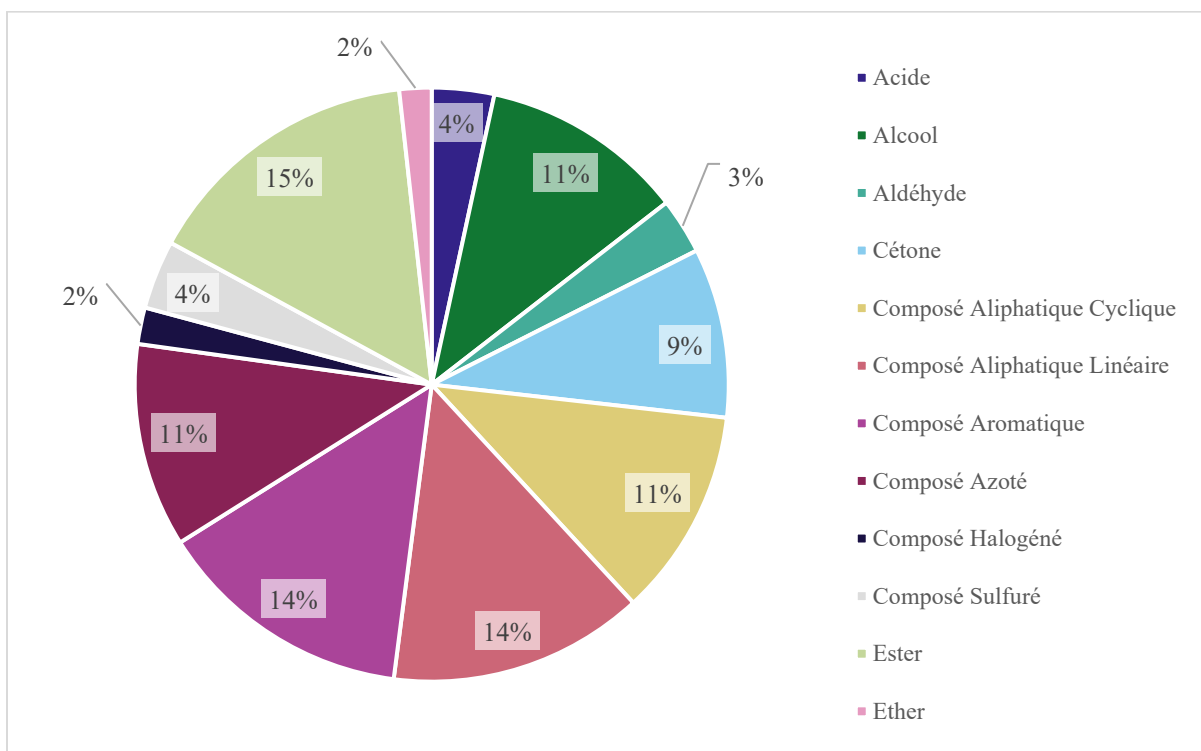


Figure 4.1 : Distribution des différentes classes chimiques en pourcentage en fonction du nombre de COVs détectés dans tous les outils d'entraînement de l'unité canine de l'OPP analysé entre juin 2022 et novembre 2022.

4.1.2 Distribution des classes chimiques selon l'aire sous la courbe normalisée des COVs

Les composés organiques volatils détectés dans les échantillons ont été normalisés grâce à un standard interne de bromobenzène, une approche semi-quantitative permettant d'établir la

concentration relative des classes chimiques. L'aire sous la courbe sera donc proportionnelle à la concentration du composé. La médiane des différentes aires sous la courbe pour les composés a été utilisée pour chaque composé, afin d'y avoir une concentration relative centrale. L'utilisation de la médiane permet d'avoir une valeur centrale, qui aura le même objectif que la moyenne, mais qui sera moins affectée par les valeurs aberrantes. En raison du fait que la méthode est semi-quantitative, la présence de valeur aberrante peut être importante. La figure 4.2 correspond donc à la distribution des classes chimiques selon la moyenne des concentrations relatives médianes des composés organiques volatils détectés dans les outils d'entraînements utilisés par l'unité canine de la police provinciale d'Ontario. Les classes chimiques ayant une concentration relative moyenne plus élevée sont respectivement les acides, les composés azotés, les alcools et les composés aliphatiques cycliques. Ensuite viennent les composés aromatiques, les cétones, les composés aliphatiques linéaires, les éthers, les esters, les composés halogénés, les aldéhydes et les composés sulfurés.

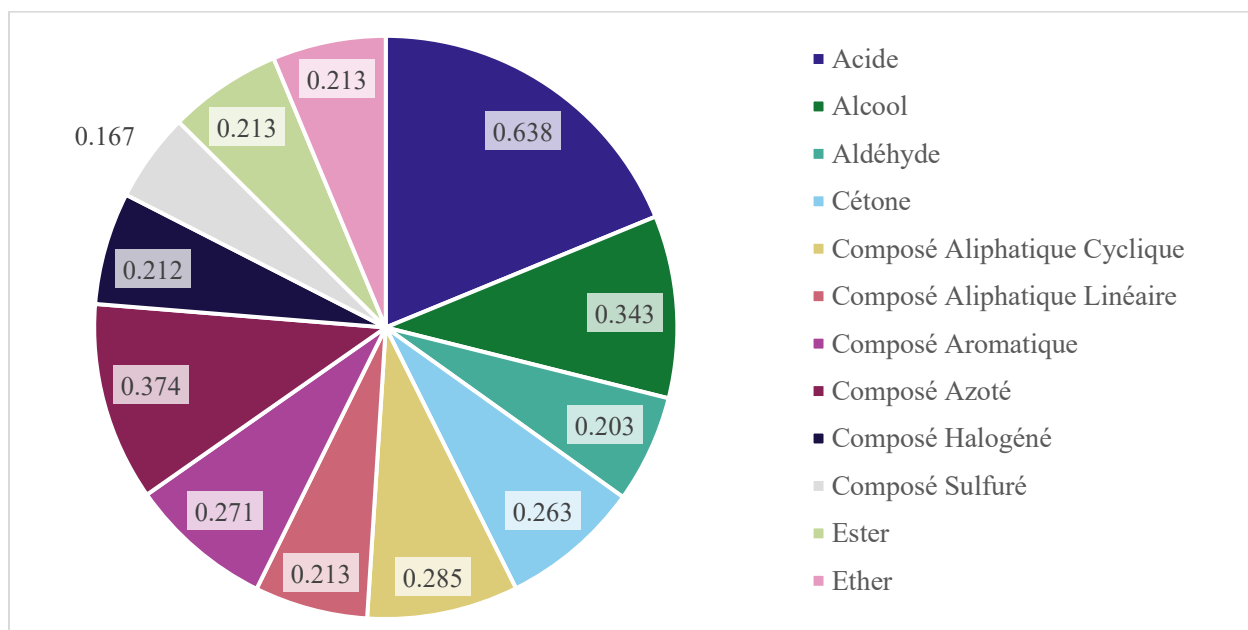


Figure 4.2 : Distribution de la moyenne des concentrations relatives médianes des classes chimiques pour tous les outils d'entraînement de l'unité canine de l'OPP analysé entre juin 2022 et novembre 2022.

4.2 Variations entre les outils d'entraînement

Les outils d'entraînement proviennent de dons de membres amputés de personnes atteintes de diabète. Parmi les quinze outils d'entraînement analysés, certains proviennent d'amputations réalisées en 2017, 2019 et 2020. La figure 4.3 représente le total de COVs détectés pour chaque outil d'entraînement. Les outils de 2019 ont, en moyenne, moins de COVs que ceux de 2017 et 2020. FB6 (2020) et FB2 (2017) sont ceux ayant un plus grand nombre de COVs et FB12 (2020) est celui avec le moins de composés. Les autres outils vont avoir un nombre de COVs variant entre environ 100 et 250 COVs.

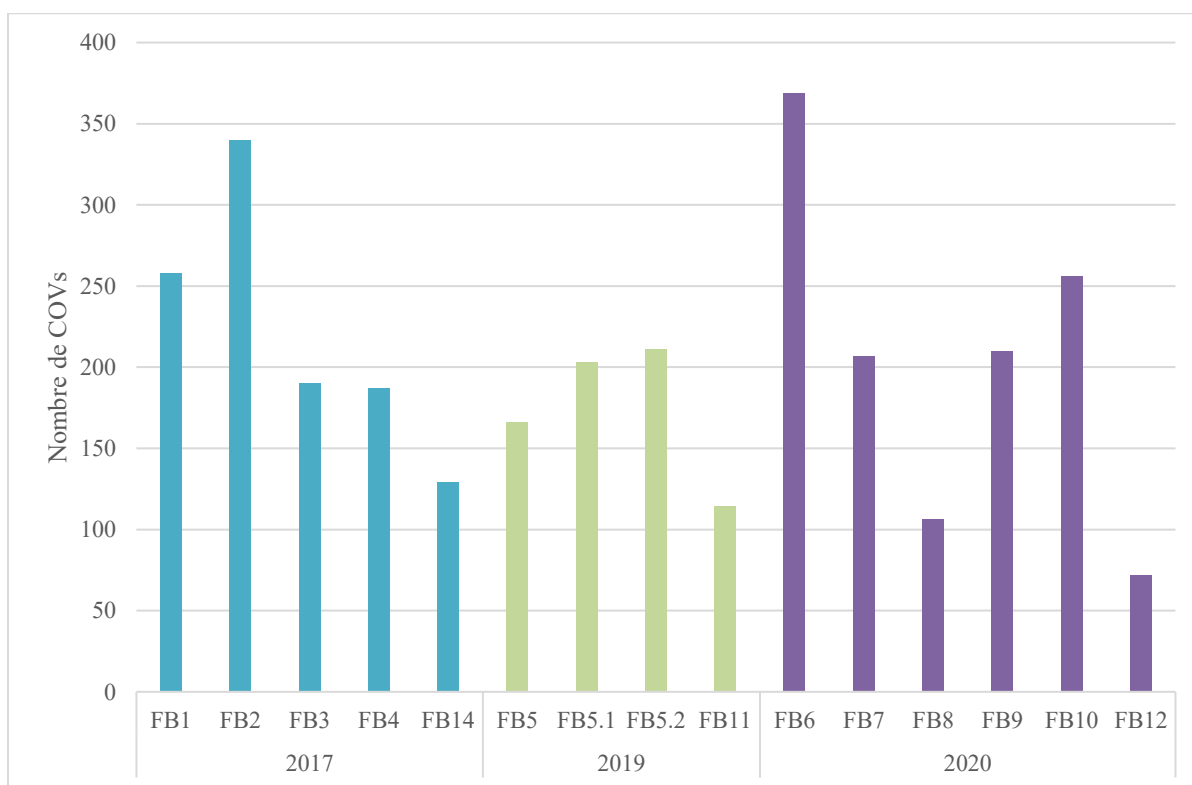


Figure 4.3 : Total de COVs détectés dans les outils d'entraînement, provenant d'amputations de 2017, 2019 et 2020, de l'unité canine de l'OPP.

La figure 4.4 présente le pourcentage de distribution des classes chimiques des outils d'entraînement de 2017, 2019 et 2022. Les différentes classes chimiques ont une distribution ayant une tendance similaire entre les outils d'entraînement, à l'exception de FB5, qui présente une distribution d'esters supérieure à celles des autres outils.

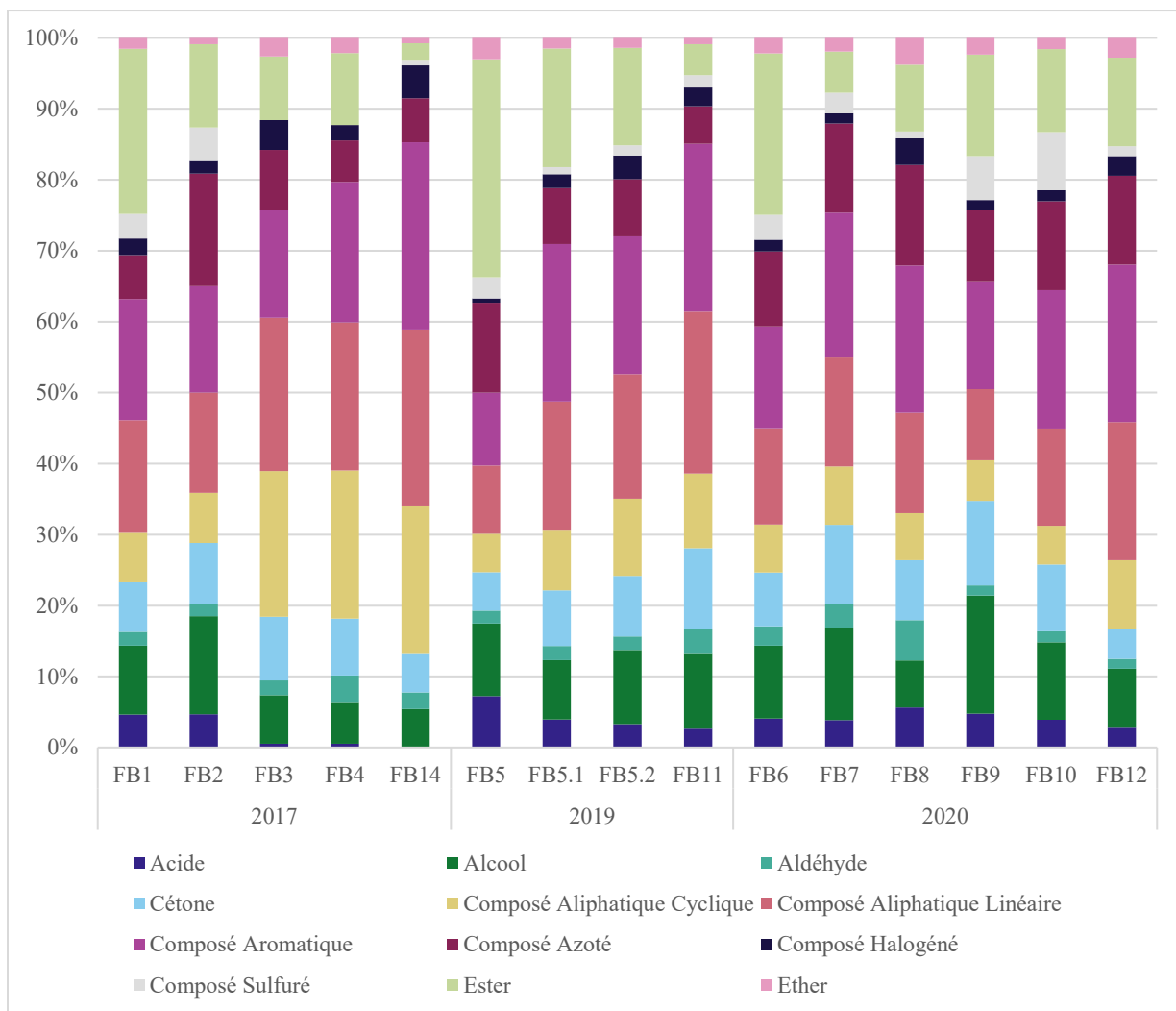


Figure 4.4 : Pourcentage de distribution des COVs, selon leur classe chimique, retrouvés dans les outils d'entraînement provenant d'amputations de 2017, 2019 et 2020 de l'unité canine de l'OPP.

La concentration relative des outils n'est pas nécessairement proportionnelle au nombre de COVs total. La figure 4.5 représente donc la concentration relative moyenne des quinze outils d'entraînement de 2017, 2019 et 2020. Tout comme la figure 4.3, les outils d'entraînement de 2019 ont en moyenne une concentration relative inférieure à ceux de 2017 et 2020. L'outil FB6 (2020) est celui ayant la concentration relative moyenne la plus élevée, suivis de FB2 (2017), FB10 (2020) et FB1 (2017). Les autres outils vont avoir une concentration relative allant d'environ 40 à 70, à l'exception de FB12 ($n=22,3$) et FB8 ($n=37,29$), où n correspond à la concentration relative moyenne. Ces trois outils sont ceux ayant la concentration relative la plus basse.

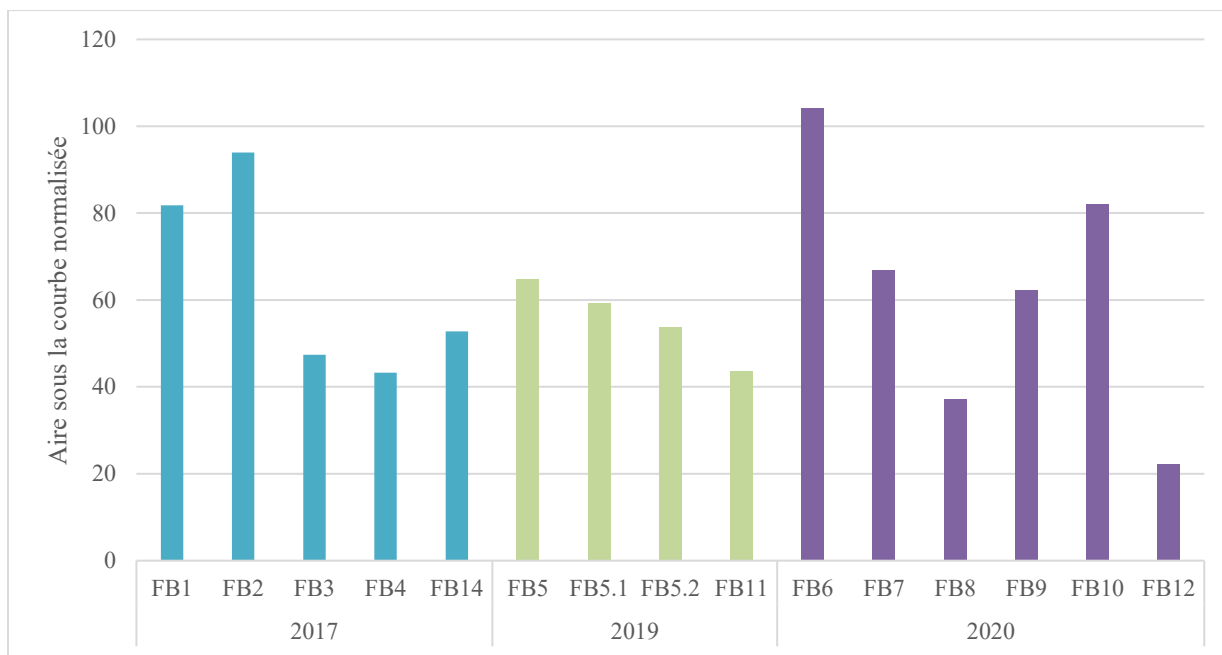


Figure 4.5 : Concentration relative des COVs détectés dans les outils d’entraînement, provenant d’amputations de 2017, 2019 et 2020, de l’unité canine de l’OPP.

L’analyse du pourcentage de distribution des concentrations relatives des classes chimiques pour chaque outil (Figure 4.6) montre une grande variation au sein des classes chimiques. La distribution varie entre les outils d’une même année, ainsi qu’entre les autres années.

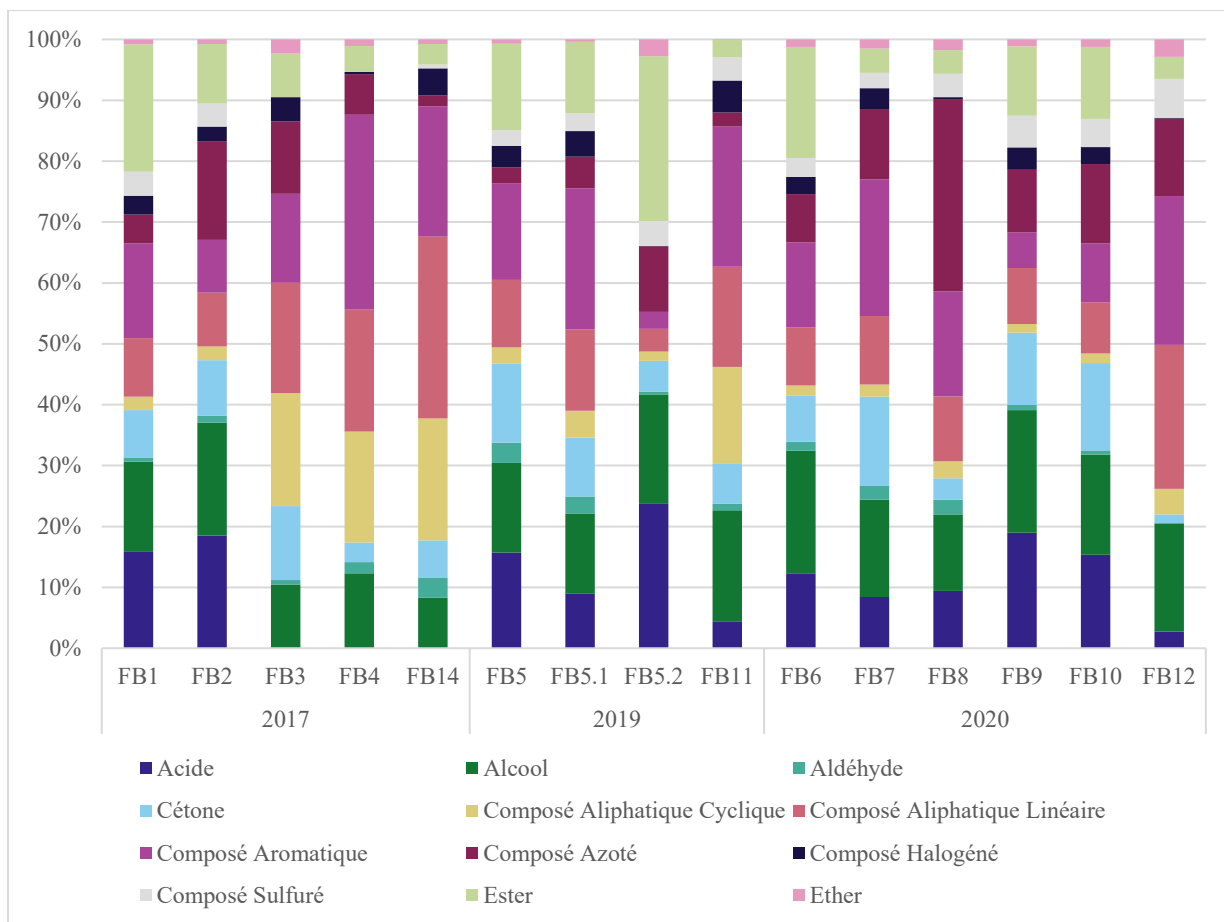


Figure 4.6 : Pourcentage de distribution des concentrations relatives des classes chimiques des composés organiques volatils identifiés dans les différents outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP.

4.3 Persistance des COVs dans le temps

Cinq outils d’entraînement ont été choisis, afin d’observer l’évolution dans le temps des différents COVs entre le mois d’avril 2022, mai 2022 et octobre 2022. Les outils FB1, FB2, FB6, LB7 et FB10 ont été choisis, puisqu’ils ont été échantillonnés à trois moments différents. Pour chaque échantillonnage, le nombre total de composés organiques détectés par outil d’entraînement a été déterminé. La figure 4.7 représente l’évolution générale du nombre de COVs détectés par outil. Pour les cinq outils, il est possible d’observer une augmentation du nombre de COVs détectés entre le premier mois d’échantillonnage et le troisième moment d’échantillonnage.

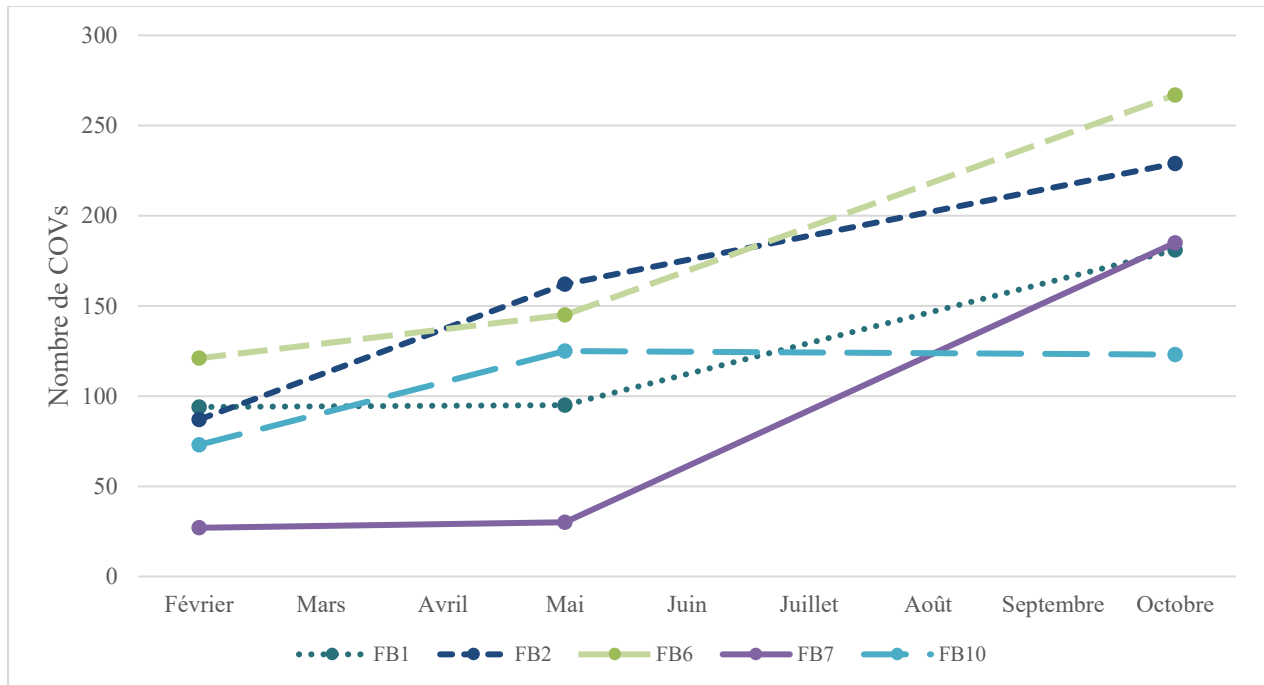


Figure 4.7 : Variation du nombre de COVs présent chez les outils d'entraînement de l'unité canine de l'OPP du mois de février à octobre 2022.

Le même phénomène est observé avec la concentration relative. La figure 4.8 représente la tendance générale de la concentration relative normalisée des COVs détectés dans les outils FB1, FB2, FB6, FB7 et FB10 de février à octobre 2022. Tous les outils vont avoir une augmentation de leur concentration relative des COVs dans le temps, à l'exception de l'outil FB10 qui a une légère diminution au niveau de la concentration moyenne entre le premier mois et le dernier mois.

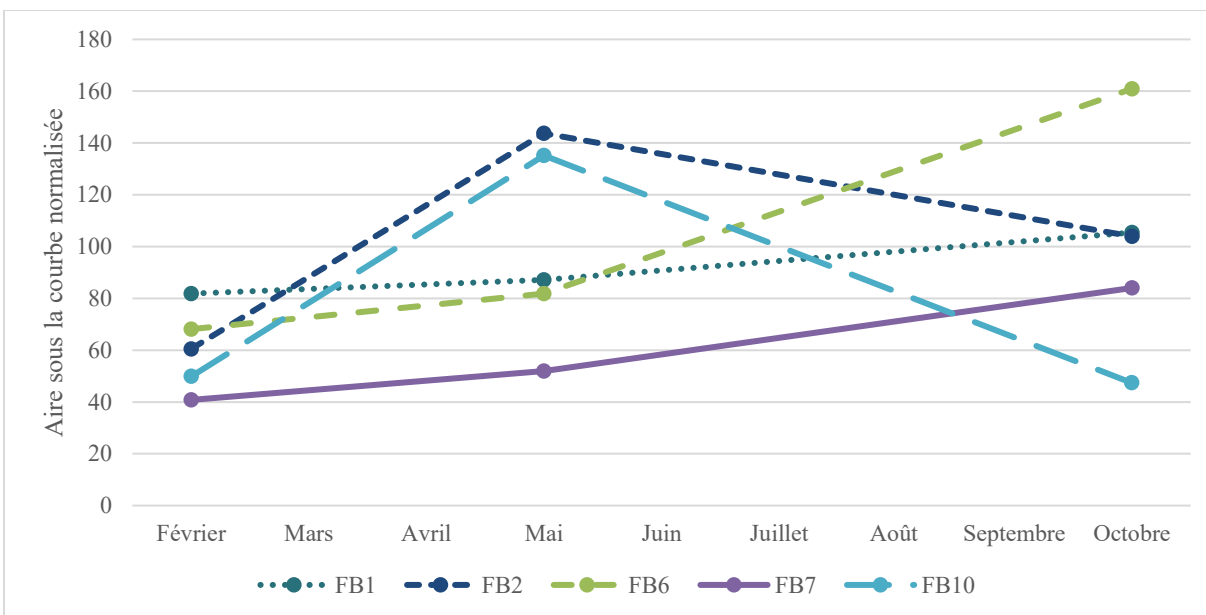


Figure 4.8 : Variation de la concentration relative des COVs présents chez les outils d’entraînement de l’unité canine de l’OPP du mois de février à octobre 2022.

4.4 Discussion

Afin d’entraîner les chiens à détecter des restes squelettiques humains, ceux-ci doivent s’entraîner régulièrement à l’aide d’outils, naturels ou artificiels, les plus similaires possibles de ceux qu’ils seraient amenés à rechercher en contexte forensique réel.

Les outils naturels sont plus difficiles d’accès pour les brigades canines pour plusieurs aspects éthiques (Dargan et al., 2022; DeGreeff et al., 2012; Stadler et al., 2012; Tipple et al., 2014). Pour pallier ces difficultés, l’unité canine de l’OPP a mis en place un protocole afin d’utiliser des membres amputés provenant de patients hospitalisés atteints de diabète. Une étude par Dargan et al. (2022) a permis de valider l’utilisation de la plupart des outils de l’OPP actuellement utilisés pour l’entraînement des chiens (Dargan et al., 2022). Les outils osseux n’ont cependant pas été complètement validés. De ce fait, les différents outils utilisés par l’OPP et considérés osseux ont été échantillonnés et analysés par TD-GC×GC-TOF-MS, afin d’obtenir le profil des odeurs. Ce profil est, ensuite, comparé à celui des ossements secs tempérés. Le profil général des COVs a été déterminé ainsi que sa variation selon les différents outils d’entraînement et l’évolution des COVs dans le temps.

Tout d'abord, le profil général de tous les composés détectés dans les 15 outils d'entraînement a été déterminé. Un total de 855 composés a été détecté. Les composés ont été classés selon leurs classes chimiques prioritaires, selon l'IUPAC. La même limitation qu'au Chapitre 3 est observable. En effet, selon les auteurs et les recherches, il y a une possibilité que des composés soient classés différemment.

Il a été établi que les classes chimiques ayant le plus grand nombre de COVs dans les outils d'entraînement étaient les esters, les composés aromatiques et les composés aliphatiques linéaires et ceux ayant le moins de composés étaient les aldéhydes, les composés halogénés et les éthers. Les acides, les composés azotés et les alcools sont les classes ayant une concentration relative moyenne plus élevée. Les éthers, les composés halogénés, les aldéhydes et les composés sulfurés sont ceux ayant une concentration relative plus basse. Toutes les classes de composés observés sont établies comme étant des classes de composés présents dans la littérature (Eckenrode, 2009; Knobel et al., 2018; Martin, & Verheggen, 2018; Statheropoulos et al., 2007; Statheropoulos et al., 2011; Statheropoulos et al., 2004; Vass, 2012; Vass et al., 2008; Verheggen et al., 2017). Dans l'étude de Dargan et al (2022) quelques outils d'entraînement osseux avaient aussi été analysés. L'ordre d'abondance des différentes classes chimiques obtenue dans cette présente étude était très similaire à celle obtenue dans cette étude (Dargan et al., 2022). Dans les deux cas, les esters, les composés aromatiques, les composés aliphatiques ainsi que les alcools sont les classes ayant le plus grand nombre de COVs. À l'inverse, les éthers, les acides et les aldéhydes correspondent aussi aux classes chimiques les moins abondantes. Une certaine tendance entre les COVs des différents outils d'entraînement osseux est donc observable. Toutefois, un plus grand nombre de COVs avait été détecté chez les outils d'entraînement osseux de l'étude de Dargan, signifiant ainsi la probabilité d'une plus grande quantité de tissus mous présents sur ceux-ci.

Les différents composés détectés en plus grande abondance, en quantité et en concentration relatives, tels que les esters, les composés aromatiques, les acides, les composés aliphatiques, les alcools et les composés azotés peuvent provenir de la dégradation de glucides, de lipides, d'acide nucléique et d'acides aminés provenant des tissus organiques restant sur les outils (Dekeirsschieter et al., 2012; Eckenrode, 2009; Paczkowski, & Schütz, 2011; Stadler et al., 2013; Statheropoulos et al., 2011). Les outils présentaient encore beaucoup de tissus mous en raison de leur méthode de collecte et d'entreposage des outils d'entraînement. En effet, les outils sont, tout d'abord, disséqués

au laboratoire d'anatomie de l'Université de Queen. Dans le cas des outils réalisés à l'aide de tibia ou de fibula, les os sont coupés, laissant ainsi l'intérieur des os exposés. Les plus petits os du pied sont laissés intacts. Après, les membres amputés sont installés au site ODORS, afin de permettre la décomposition des tissus mous. Ils sont, ensuite, entreposés dans des contenants de verre, fermés hermétiquement, créant un environnement anaérobique. Les tissus organiques vont tout de même continuer à se décomposer et les odeurs vont s'accumuler dans le contenant. En raison du milieu anaérobique créé dans le contenant de verre, le processus de décomposition va être différent qu'en milieu aérobie. Différents microorganismes anaérobiques se développeront dans le milieu et vont donc réaliser de la fermentation menant à une production des gaz (Cappas et al., 2022; Damann et al., 2015; Javan et al., 2018). De plus, sous des conditions anaérobiques, différentes réactions chimiques vont être favorisées. Par exemple, lors de la dégradation des glucides, en milieu aérobie il y aura production, entre autres, de méthane, d'hydrogène ou de sulfure d'hydrogène. Toutefois, en milieu anaérobique, les acides organiques et les alcools seront davantage favorisés (Dent et al., 2003). Le milieu anaérobique peut donc créer une variation dans les COVs. De plus, lors de leur entreposage, certains des outils présentaient encore beaucoup de matières organiques, bien qu'ils soient majoritairement osseux. Le processus de décomposition de ses tissus est aussi ralenti, puisqu'ils ne sont plus en contact avec des facteurs extrinsèques environnementaux (Cockle, & Bell, 2016). Le dégagement de COVs est donc plus important dû à la présence des tissus mous.

Les outils analysés proviennent d'amputations datant de 2017, 2019 et 2020. Aucune tendance n'a été observée entre les outils permettant de différencier les différentes années d'amputation. En moyenne, le nombre de COVs détectés varie entre 100 et 250, à l'exception de FB6 et FB2 qui en comptent plus de 300 et FB12 qui en a moins de 100. La distribution des classes chimiques selon le nombre de COVs a toutefois un pourcentage similaire entre la grande majorité des outils, mais aucune différence majeure qui permettraient de différencier les trois années d'amputation. Les outils osseux proviennent tous de membres inférieurs amputés incluant le tibia, le péroné et divers os du pied. La ressemblance dans la distribution des classes peut donc venir du fait que les outils proviennent tous des mêmes types d'ossements et, donc, aura des COVs similaires. De plus, en raison de la similarité dans la méthode de collecte et d'entreposage des outils, les conditions auxquelles les outils ont été exposés sont très similaires entre eux. Le processus de décomposition

est très similaire, de même que le dégagement de COVs. Le même principe est observé avec la concentration relative moyenne des COVs. Celle-ci varie entre les outils d'une même année, ainsi qu'entre les autres années. Comparée à la figure 4.4, la distribution des classes chimiques selon la concentration relative moyenne des composés varie grandement entre les différents outils. La différence peut être due à la quantité de tissus mous encore présents sur les différents outils. Par exemple, les outils FB14 (2017) et FB11 (2019) sont ceux ayant la plus grande concentration relative moyenne, ainsi que ceux ayant le plus de tissus mous sur les os. À l'inverse de FB11 (2020) qui représente celui avec la plus faible concentration, mais avec moins de tissus mous. De ce fait, aucune tendance n'a été observée permettant de différencier les outils provenant d'amputations réalisées à différentes années. La différence entre les outils peut toutefois être en raison de la quantité de tissus mous présents sur les os qui impactera la concentration relative des COVs émis.

Finalement, cinq outils (FB1, FB2, FB6, FB7 et FB10) ont été utilisés, afin de voir l'évolution des COVs (nombre total et concentration relative) entre avril 2022 et octobre 2022. Les outils ont été choisis en fonction de leur disponibilité pour les trois mois d'échantillonnage. Cependant, il aurait été pertinent de voir la variation des COVs pour tous les outils. Une augmentation générale dans le nombre de COVs détectés et de la concentration relative pour chaque outil entre février 2022 et octobre 2022 a été observée, à l'exception de FB10 qui a une légère diminution au niveau de la concentration relative. Il a été établi qu'une augmentation de COVs dans le temps était observable dans les premiers stades de décomposition lorsqu'il y avait une plus grande quantité de tissus organiques en décomposition (Cappas et al., 2022; Dargan, 2022; Stadler et al., 2013). Les outils osseux avaient, pour certains, des tissus mous restants, ainsi qu'un aspect humide (jaunâtre). L'aspect humide correspond à la matière organique de l'os encore présent sur ceux-ci. En effet, l'os a encore un taux élevé d'humidité et de collagène lui donnant cette apparence (Kemp, 2016). Ceci implique donc que certains des outils échantillonnés étaient encore frais, bien qu'ils soient osseux. Ils vont donc dégager une plus grande quantité de COVs (Carter, & Tibbett, 2008; Gill-King, 1997; Janaway et al., 2009; Kasper et al., 2012; Vass, 2001). Il serait donc pertinent de laisser les outils à l'extérieur, au site ODORS, afin de réduire la quantité de tissus mous encore présents sur les os et ainsi obtenir des outils d'entraînement osseux secs.

4.5 Conclusion

Cette étude a permis de caractériser le profil général des 15 outils d'entraînement osseux utilisés par les brigades cynophiles de l'OPP. Un grand nombre de COVs a été détecté et classé dans différentes classes chimiques selon le nombre de composés organiques ainsi que leur concentration relative. Les esters, les composés aromatiques et les composés aliphatiques linéaires présentent le plus grand nombre de COVs. Les acides, les composés azotés et les alcools sont quant à eux les classes ayant une concentration relative plus élevée. Bien que les différents outils d'entraînement étudiés proviennent d'amputations de différents donneurs, sur trois années différentes, aucune tendance entre les années n'a été observée. Finalement, une augmentation des composés organiques volatils au cours des échantillonnages a été notée pour la majorité des outils utilisés dans l'étude, notamment en raison de leurs conditions d'entreposages. La caractérisation des COVs provenant de ces outils d'entraînement va permettre, par la suite, de réaliser une comparaison avec les COVs provenant d'ossements humains de REST[ES] dans la mesure où les ossements de REST[ES] sont plus proches d'ossements qui seraient recherchés dans un cas forensique réel. Cette comparaison entre les profils sera abordée au Chapitre 5.

CHAPITRE 5

COMPARAISON DES PROFILS DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS DES OSSEMENTS DE REST[ES] ET DES OUTILS D'ENTRAÎNEMENT DE L'OPP

Ce chapitre a pour objectif de comparer le profil des COVS des ossements provenant des donneurs de REST[ES] (Chapitre 3) à ceux des outils d'entraînement utilisés par l'unité canine de l'OPP (Chapitre 4). Cette approche permettra d'évaluer, de manière théorique, la pertinence des différents outils d'entraînement pour détecter des restes humains squelettiques et, potentiellement, d'en valider l'utilisation par les services de police.

5.1 Comparaison des profils des COVs des abondances des classes et de leur concentration relative

Pour les ossements humains de REST[ES], un total de 312 COVs ont été détectés en comparaison aux outils d'entraînement qui, eux, présentaient un total de 855 COVs. Les ossements et les outils présentaient 211 COVs similaires.

5.1.1 Comparaison de la distribution des classes chimiques selon le nombre de COVs

En observant l'ordre d'abondance des classes chimiques pour les ossements et les outils d'entraînement (Tableau 5.1), l'on observe que les classes ont un ordre d'abondance relativement similaire. Les composés les plus abondants pour les ossements de REST[ES] sont aussi les classes les plus abondantes chez les outils d'entraînement de l'OPP, à l'exception des composés azotés qui sont un peu moins abondants chez les outils d'entraînement. Les composés azotés correspondent à la troisième classe la plus abondante chez les ossements de REST[ES], mais les sixième plus abondants chez les outils d'entraînement de l'OPP. Pour les autres composés (composés aliphatiques linéaires, composés aromatiques, composés azotés et esters) les plus abondants, seule une faible variation dans l'ordre des classes est observée. La même tendance est observée avec les composés les moins abondants. Les acides, les éthers, les aldéhydes, les composés halogénés, ainsi que les composés sulfurés représentent les classes les moins abondantes parmi les deux types d'échantillons. Les restes des classes chimiques (alcool, cétone et composés aliphatiques cycliques) sont aussi relativement similaires.

Tableau 5.1 : Résumé des classes chimiques de la plus abondante à la moins abondante, selon leur nombre de COVs par classe, pour les ossements humains de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'OPP.

Classes chimiques des ossements de REST[ES]	Classes chimiques des outils d'entraînement de l'OPP
Composé aliphatique linéaire	Ester
Composé aromatique	Composé aromatique
Composé azoté	Composé aliphatique linéaire
Ester	Composé aliphatique cyclique
Alcool	Alcool
Composé aliphatique cyclique	Composé azoté
Cétone	Cétone
Aldéhyde	Composé sulfuré
Éther	Acide
Composé halogéné	Aldéhyde
Acide	Composé halogéné
Composé sulfuré	Éther

Dans la figure 5.1, il est possible de voir une tendance similaire dans la distribution des classes entre les ossements humains de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'OPP. Malgré tout, cette figure montre également que le nombre total de COVs par classes chimiques présente de grandes variations entre les deux types d'échantillons. Par exemple, les composés aromatiques, soit la deuxième classe la plus abondante pour les deux types d'échantillons, ont un total de 60 composés organiques volatils pour les ossements et 120 composés pour les outils d'entraînement, représentant ainsi deux fois plus de COVs pour les outils d'entraînement. Cette différence est aussi observée pour les autres classes allant de deux à dix fois plus de composés organiques volatils chez les ossements.

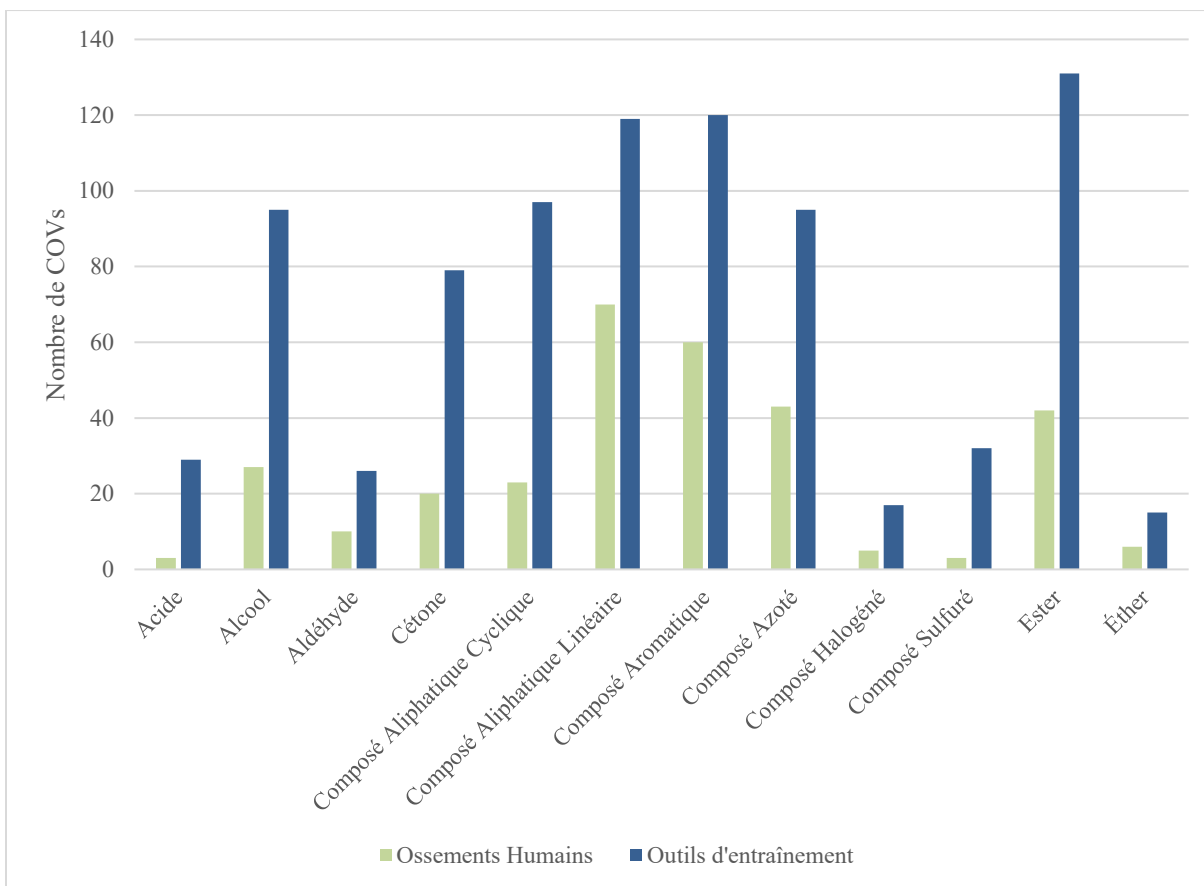


Figure 5.1 : Comparaison du nombre de COVs par classe chimique pour les ossements humains provenant de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'OPP.

En comparant le nombre de COVs détectés pour chaque ossement et outil d'entraînement échantillonné au mois d'octobre 2022 (Figure 5.2), il est possible de voir une très grande différence dans le total de COVs. On remarque que moins de 50 COVs ont été détectés par ossements pour chaque donneur contre plus de 50 pour les outils d'entraînement. De ce fait, malgré la similitude dans l'ordre d'abondance des classes chimiques, une grande différence est observée dans le nombre total de COV pour l'ensemble des ossements échantillonnés comparés aux outils d'entraînement, de même que le nombre total de COVs par ossements et par outils.

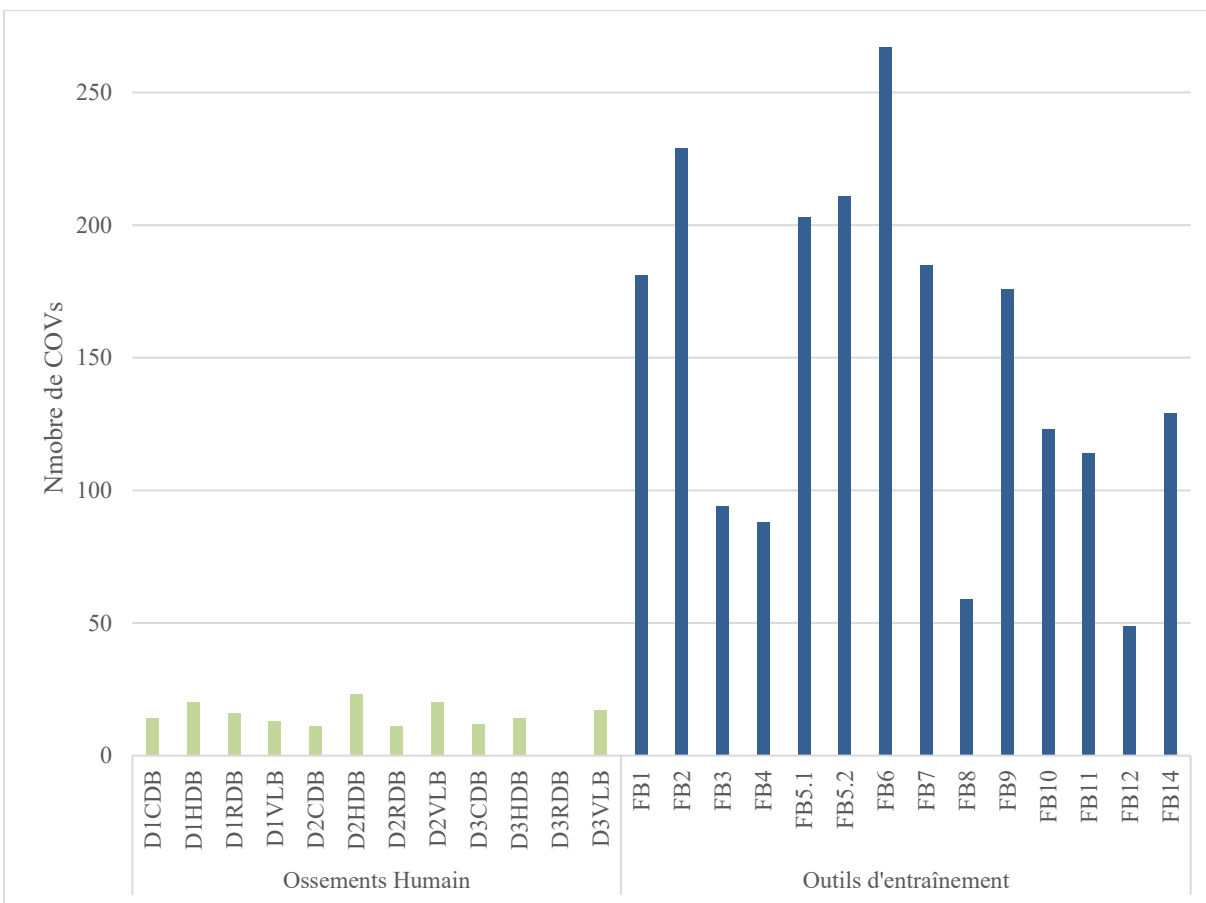


Figure 5.2 : Comparaison du nombre de COVs présents pour les quatre types d’ossements des trois donneurs provenant de REST[ES] et les outils d’entraînement de l’OPP échantillonnés en octobre 2022.

5.1.2 Comparaison de la concentration relative des classes chimiques des COVs

Pour ce qui est de la concentration relative moyenne des différentes classes chimiques, l’ordre d’abondance entre les deux types d’échantillons varie davantage que le nombre de composés (Tableau 5.1). Le tableau 5.2 liste les classes chimiques par ordre de grandeur, de concentration relative la plus élevée à la moins élevée. Les composés sulfurés représentent la classe chimique avec les concentrations relatives les plus faibles pour les ossements et les outils d’entraînement. Le reste des classes présentent un ordre d’abondance variable. Toutefois, les plus grandes variantes correspondent aux aldéhydes, aux composés halogénés et aux acides. Les aldéhydes et les composés halogénés sont les classes ayant les concentrations relatives moyennes les plus élevées chez les ossements humains, mais les plus faibles pour les outils d’entraînement. L’inverse est observé pour les acides. Ceux-ci sont les composés ayant la concentration relative moyenne la plus élevée pour les outils d’entraînement, mais la plus basse pour les ossements humains.

Tableau 5.2 : Liste des classes chimiques des ossements de REST[ES] et des outils d'entraînement de l'OPP, classés de la plus abondante à la moins abondante selon leur concentration relative moyenne.

Classes chimiques des ossements de REST[ES]	Classes chimiques des outils d'entraînement de l'OPP
Aldéhyde	Acide
Composé azoté	Composé azoté
Composé halogéné	Alcool
Composé aliphatique cyclique	Composé aliphatique cyclique
Alcool	Composé aromatique
Composé aliphatique linéaire	Cétone
Ester	Composé aliphatique linéaire
Composé aromatique	Éther
Acide	Ester
Éther	Composé halogéné
Cétone	Aldéhyde
Composé sulfuré	Composé sulfuré

La concentration relative moyenne des classes chimiques en fonction de l'aire sous la courbe médiane des différents COVs détectés est supérieure pour les outils d'entraînement, à l'exception des aldéhydes et les composés halogénés (Figure 5.3). La concentration relative des aldéhydes pour les ossements est presque deux fois plus élevée que pour les outils d'entraînement. Pour les composés halogénés, la concentration relative moyenne est légèrement plus élevée pour les ossements. La concentration relative moyenne du reste des classes chimiques est inférieure pour les ossements par rapport à celle des outils d'entraînement.

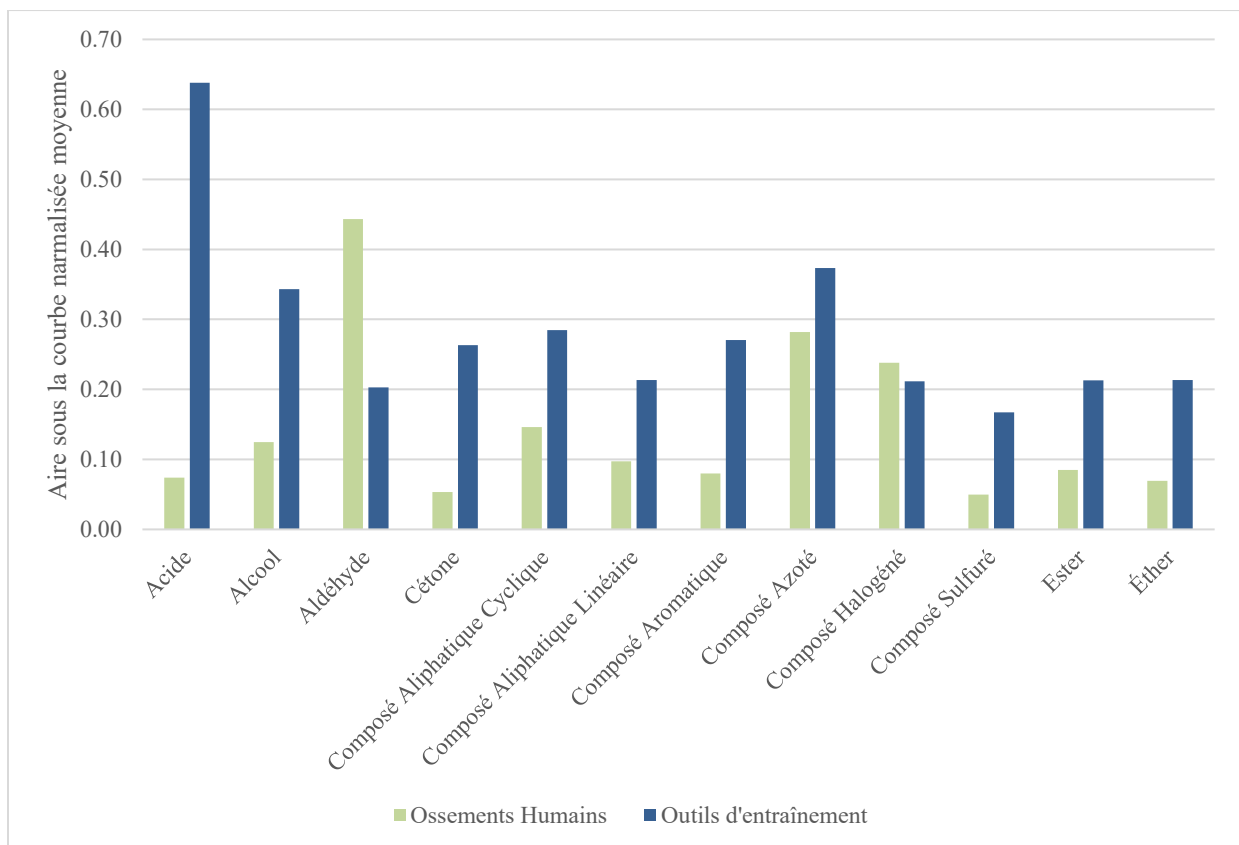


Figure 5.3 : Comparaison de la concentration relative normalisée moyenne des classes chimiques des COVs provenant des ossements humains de REST[ES] et des outils d'entraînement de l'OPP.

En comparant les concentrations relatives spécifiques aux quatre types d'ossements des trois donneurs de REST[ES] aux outils d'entraînement de l'OPP échantillonnés, en octobre 2022 (Figure 5.4), il est possible de constater que les concentrations relatives des outils sont nettement supérieures à celles des ossements. Les vertèbres du Donneur 2 présentent la plus grande concentration relative, cependant les 11 autres ossements échantillonnés présentent des concentrations relatives inférieures à 3,5. Pour les outils d'entraînement, les concentrations relatives sont toutes supérieures à 15. Cependant, les outils FB3, FB4, FB12 et AB8 sont ceux ayant une concentration relative inférieure aux autres outils. L'outil d'entraînement FB6 présente la concentration la plus élevée de tous les outils.

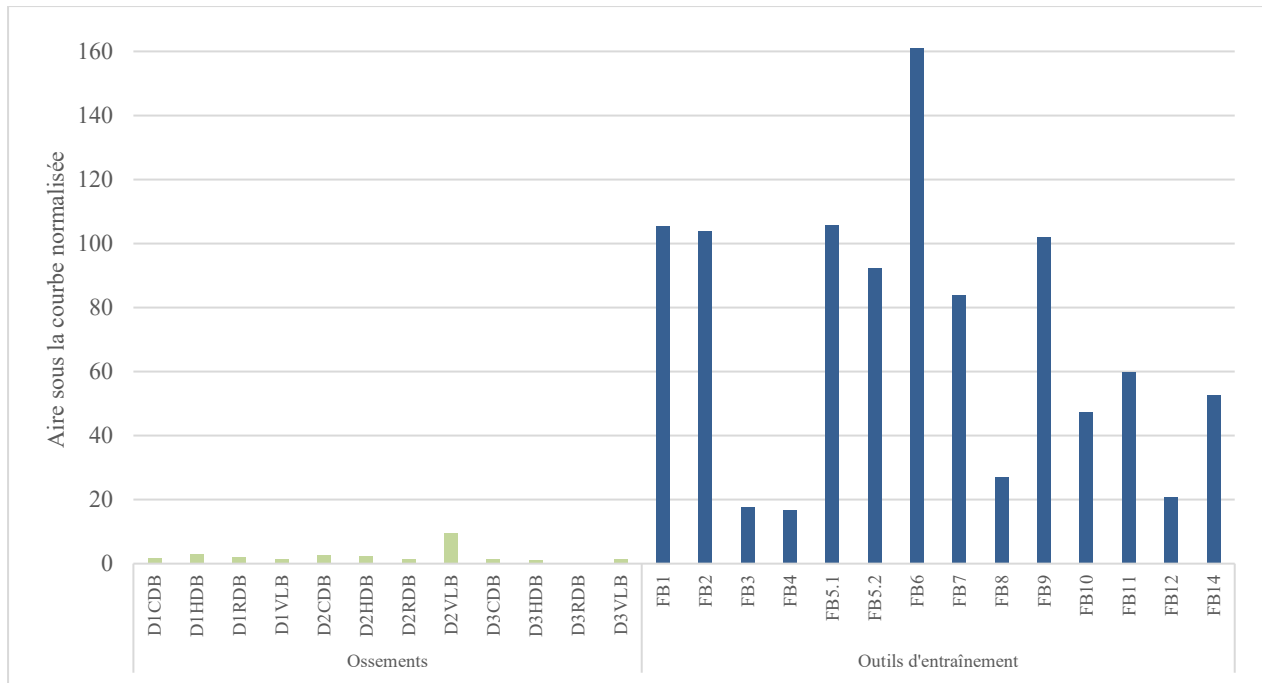


Figure 5.4 : Comparaison de la concentration relative médiane des composés organiques volatils détectés dans les quatre types d'ossements des trois donneurs provenant de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'OPP échantillonnés en octobre 2022.

5.2 Discussion

L'objectif du Chapitre 5 est de déterminer si les outils utilisés par l'OPP pour entraîner les chiens à détecter des restes squelettiques présentent un profil olfactif similaire à celui des os provenant de donneurs de REST[ES].

La plus grande différence détectée entre les ossements de REST[ES] et les outils d'entraînement analysés réside dans l'intensité des composés organiques volatils dégagés et non leur type. En effet, 211 COVs étaient similaires entre les ossements et les outils, soit plus de 65 % des COVs détectés dans les ossements humains. La distribution des différentes classes chimiques était majoritairement similaire entre les deux types d'échantillons. Toutefois, le nombre de composés organiques dégagés, ainsi que leur concentration relative étaient grandement supérieures pour les outils d'entraînement que pour les ossements. Les différences observées dans la distribution des classes chimiques, ainsi que l'abondance des COVs, peuvent s'expliquer par l'avancement du processus de décomposition chez les deux types d'échantillons. De plus dans l'étude de Dargan (2022), des variations dans le profil des COVs entre les donneurs de REST[ES] et les outils d'entraînement

avaient aussi été observées. Il a été mentionné que l'une des causes possibles de cette variation était les méthodes d'entreposage des outils d'entraînement.

De prime abord, les ossements de REST[ES] étaient considérés comme des os secs, c'est-à-dire qu'ils ne présentaient que très peu de tissus mous (matières organiques). Contrairement aux ossements de REST[ES], les outils d'entraînement, eux, étaient considérés comme des ossements frais, puisqu'il y avait encore beaucoup de matières organiques, notamment du collagène, de la moelle épinière et d'autres types de tissus mous. Ceci peut être expliqué par le fait que les ossements étaient en permanence à l'extérieur, dans un milieu aérobique, tandis que les outils d'entraînement étaient entreposés dans différents contenants de verre fermés hermétiquement, dans un milieu anaérobique. La variation dans le profil des COVs peut donc être expliquée par le fait que les produits de décomposition en milieu aérobiques et anaérobiques seront différents (Dent et al., 2003). De plus, étant donné que les ossements étaient constamment à l'extérieur, ceux-ci étaient exposés aux différents facteurs extrinsèques (température, la précipitation, l'oxygène, l'activité des différents organismes) responsables du processus de décomposition (Carter et al., 2006; Clark et al., 1997; Dent et al., 2003; Dubois et al., 2019b; Hau et al., 2014; Statheropoulos et al., 2007; Zhou, & Byard, 2011). Le processus de dégradation des tissus mous restant sur les ossements pouvait ainsi continuer que le processus de diagenèse. Cette diminution constante de tissus mous permet de réduire les différents processus biochimiques et chimiques et, de ce fait, entraîner la réduction des produits de décomposition, notamment des composés organiques volatils (Carter, & Tibbett, 2008; Focant et al., 2013; Forbes, 2008; Forbes et al., 2017; Stefanuto et al., 2017; Stejskal, 2013). Contrairement aux ossements, les outils d'entraînement n'étaient pas laissés à l'extérieur en permanence. Beaucoup de matière organique était encore présente sur les outils d'entraînement, puisqu'ils ne pouvaient pas être affectés par les mêmes facteurs extrinsèques que les ossements. De plus, le processus de diagenèse ne sera pas favorisé, puisque les outils ne sont pas en contact avec les précipitations ou les différents microbiomes impliqués dans le processus de diagenèse. Il est donc possible d'observer une variation dans le processus de décomposition, puisque ces facteurs ont un impact profond sur la décomposition des tissus mous et durs (Forbes et al., 2014b; Kasper et al., 2012). Les tissus mous se décomposeront donc plus lentement et, de ce fait, lors de l'échantillonnage, de nombreux composés organiques volatils ont pu être émis.

Les facteurs intrinsèques correspondent à un autre aspect pouvant expliquer la différence dans le profil des COVs. L'un des facteurs pouvant avoir le plus grand impact sur le dégagement des COVs est en lien avec le diabète. En effet, les outils proviennent de membres inférieurs amputés de patient atteint de diabète. Un patient diabétique est amputé en raison d'une infection bactérienne (Daneshkhah et al., 2020; Murray, & Coleman, 2019). Ses bactéries seront donc encore présentes dans les tissus après l'amputation et lors de leur utilisation comme outils d'entraînement. Chaque type de bactérie (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli* et *Streptococcus pyogenes*) va se développer dans les tissus organiques et ainsi produire des COVs propres à leur famille (Daneshkhah et al., 2020). Ces bactéries représentent donc une source supplémentaire de COVs. Toutefois, certains COVs identifiés comme étant des biomarqueurs potentiels de diabète se retrouvent aussi dans le profil de COVs de la décomposition humaine (Daneshkhah et al., 2020; Dargan et al., 2022). De plus, la densité osseuse d'une personne atteinte de diabète sera réduite (Murray, & Coleman, 2019). Il est donc possible que les ossements soient plus affectés par les différents processus de décomposition. La différence au niveau des profils des COVs des ossements de REST[ES] et des outils d'entraînement de l'OPP peut potentiellement avoir un impact sur la capacité de détection des chiens lors de la recherche de restes humains squelettiques.

5.3 Conclusion

Ce chapitre a permis d'établir qu'une grande partie des COVs détectés dans les ossements de REST[ES] se retrouvaient dans les outils d'entraînement, outre un ordre de classe chimique similaire. Toutefois, le nombre de COVs total émis par les outils d'entraînement ainsi que leurs concentrations relatives sont grandement supérieures aux ossements de REST[ES]. Il a été déterminé que la différence entre les deux types d'échantillons est liée à la manière dont ils ont été entreposés. Les outils d'entraînement étaient stockés dans des contenants en verre, tandis que les restes humains de REST[ES] étaient exposés à l'air libre, se rapprochant ainsi davantage d'un scénario forensique réel. En effet, les tissus mous résiduels sur les outils d'entraînement sont sujets à une décomposition qui diffère de celle en milieu extérieur. Ainsi, ils libèrent davantage de COVs, potentiellement détectables. L'influence de cette variation dans le profil de COVs sur la détection des restes squelettique par les chiens de cadavres sera étudiée au chapitre suivant (Chapitre 6).

CHAPITRE 6

PERFORMANCE DES CHIENS DÉTECTEURS DE CADAVRES DE L'OPP

Des entraînements ont été réalisés avec les ossements humains provenant de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'unité canine de l'OPP. Cela a permis d'observer la capacité de détection des chiens et ainsi voir l'influence des différences observées au niveau du profil de COVs des échantillons sur leur capacité de détection (Chapitre 5). Le taux de détection, le taux d'intérêt, ainsi que le taux de fausse réponse ont été calculés en fonction des entraînements réalisés avec chaque type d'ossement de REST[ES] et d'outil d'entraînement de l'OPP pour d'obtenir le taux de réponse.

6.1 Capacité de détection des chiens avec les ossements de REST[ES]

Deux entraînements ont été réalisés (octobre 2022 et mai 2023) avec les ossements provenant du Donneur 1 de REST[ES]. Seuls les ossements du Donneur 1 ont été mis en contact avec les chiens en raison de leur disponibilité. La figure 6.1 représente le taux de réponse des différents chiens présents lors des entraînements. En octobre 2022, trois ossements (clavicule, côte et vertèbre) ont suscité un taux de fausses réponses lors de l'entraînement réalisé à l'intérieur, cependant, certains chiens ont montré un intérêt pour la côte bien qu'ils n'aient pas indiqué une réaction positive à celle-ci. Lors de l'entraînement extérieur réalisé à l'extérieur du quartier général de l'OPP en octobre 2022, un taux de détection de 100 % a été obtenu pour chaque ossement. Lors des entraînements de mai 2023, le premier entraînement extérieur réalisé avec l'humérus du Donneur 1 a suscité un taux de fausses réponses de plus de 60 % et 6 % de signes d'intérêt des chiens. Le deuxième entraînement extérieur avec l'humérus du Donneur 1 a cependant un taux de détection de 100 %. Lors des sessions d'entraînement, il a été observé que les chiens ayant détecté positivement les ossements prenaient un certain temps afin d'indiquer leur réponse finale.

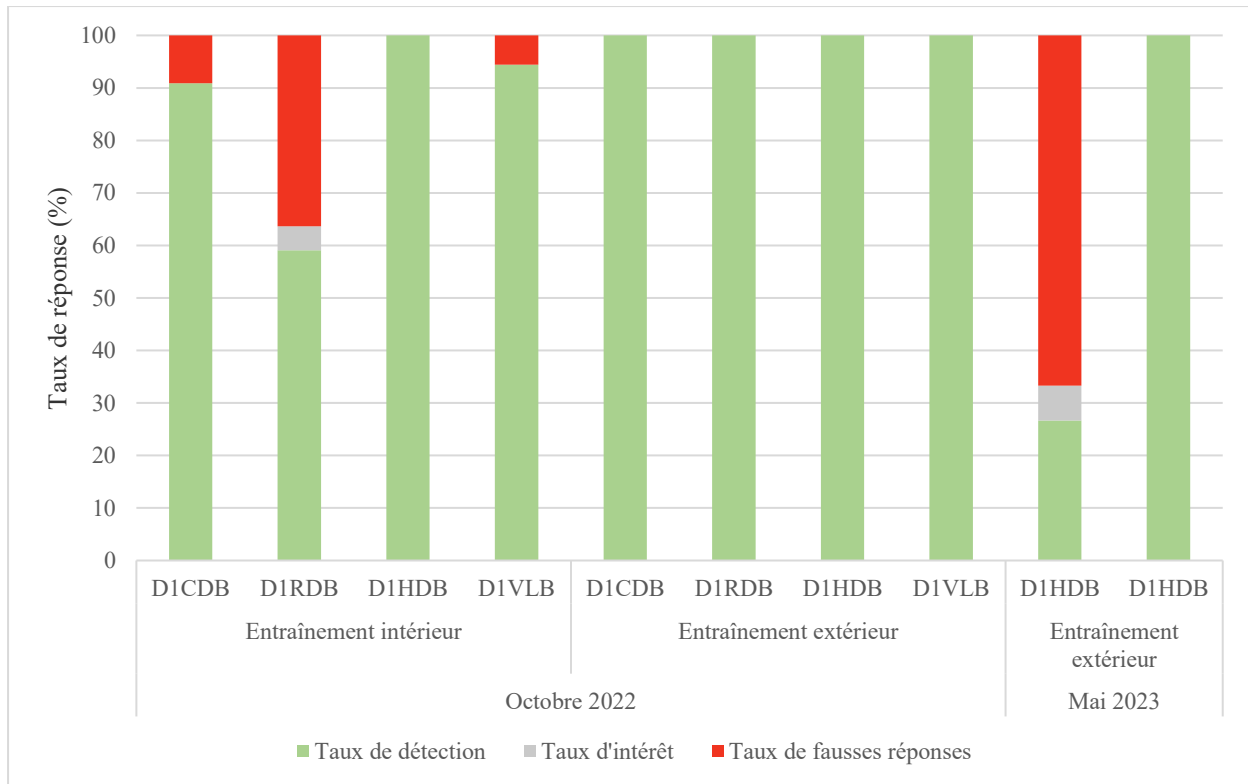


Figure 6.1 : Taux de réponse des chiens détecteurs de cadavres de l’OPP pour les différents types d’ossements du Donneur 1 de REST[ES] pour les mois d’octobre 2022 et mai 2023.

6.2 Capacité de détection des chiens avec les outils d’entraînement de l’OPP

Deux sessions d’entraînement avec les outils ont été réalisées en février 2022 et mai 2022. La figure 6.2 représente le taux de réponse des chiens pour les outils d’entraînement de 2017, 2019 et 2022 pour les mois de février 2022 et mai 2022. Pour toutes les sessions d’entraînement, un taux de détection de 100 % a été observé. Toutes les réactions des chiens étaient rapides et aucune hésitation n’a été notée.

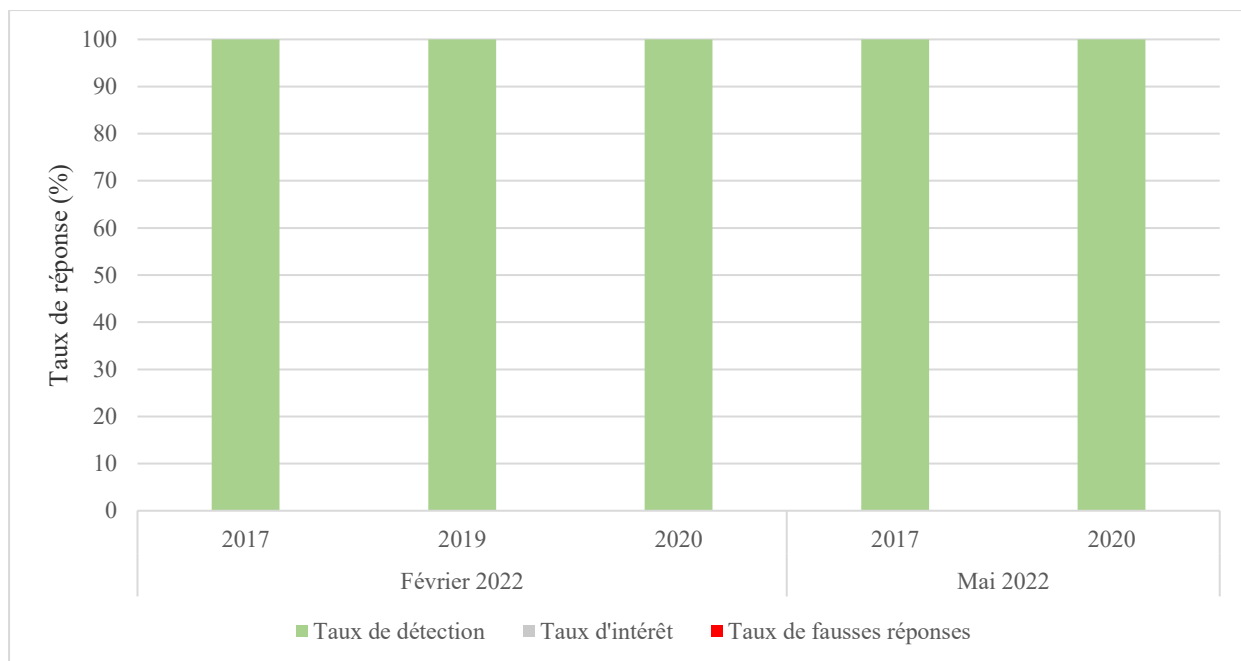


Figure 6.2 : Taux de réponse des chiens détecteurs de cadavres de l'OPP pour les différents types d'outils d'entraînement de l'OPP (provenant d'amputations de 2017, 2019 et 2020) pour les mois de février 2022 et mai 2022.

6.3 Discussion

Il a été établi dans les chapitres précédents qu'il existait une variation de profil de COVs, entre les ossements de REST[ES] et les outils d'entraînement osseux utilisés par l'OPP, concernant la quantité et la concentration des COVs. Près de trois fois plus de composés organiques volatils étaient émis par les outils d'entraînement (855 COVs) comparé aux ossements humains (312 COVs) et 211 composés étaient similaires entre les ossements et les outils. La concentration relative était supérieure pour les outils d'entraînement à celle des ossements. L'étude de Dargan (Dargan, 2022) a démontré que malgré la variation entre les profils des outils d'entraînement et des restes humains de REST[ES], la capacité des chiens à détecter des restes humains n'en est pas affectée, puisque le taux de détection des chiens était de 98,4 % (Dargan et al., 2022). Toutefois, dans cette étude, selon les taux de réponse des ossements comparés à ceux des outils d'entraînement, les chiens ont manifesté davantage de difficultés à détecter les ossements humains que les outils. De plus, malgré les réponses positives pour les entraînements effectués avec les ossements, le temps de réponse des chiens était plus lent lors de recherches d'ossements provenant de REST[ES] par rapport aux recherches avec les outils d'entraînement. Étant donné que la variation dans le profil des COVs a un faible impact sur la détection des restes humains, la difficulté

de détection identifiée chez les chiens peut être due, non à la différence du type de composé organique dégagé, mais à leur intensité (nombre de COVs total et concentration relative). Les ossements de REST[ES] échantillonnés pour cette étude étaient très secs, puisque ceux-ci étaient constamment à l'extérieur et en contact avec des facteurs météorologiques (p. ex. température, précipitation, humidité, etc.) et environnementaux (p. ex. insectes et charognards) au contraire des outils d'entraînement qui ne l'étaient pas. De nombreux tissus mous étaient donc encore présents sur les outils. Ensuite, les ossements humains de REST[ES], à l'inverse des outils d'entraînement, étaient tous en entier et non sectionnés. Certains outils d'entraînement, provenant de tibia ou de fibula, ont été sectionnés en raison de l'amputation. La matière organique se trouvant au centre des os est ainsi exposée, constituant donc à une source supplémentaire de dégagement COVs pour les chiens. Finalement, les outils étaient entreposés dans des contenants de verres fermés hermétiquement, créant donc un milieu anaérobique pour la décomposition des tissus organiques restants. Cela a pour conséquence de modifier le type de microorganisme et les réactions chimiques, augmentant ainsi l'intensité de COVs émis. Lors de l'entraînement intérieur d'octobre 2022, la côte, suivi de la clavicule, représente les ossements ayant été les moins bien détectés par les chiens. Il a été établi dans le chapitre 3 que ses deux os sont ceux ayant dégagé le moins de COVs et ayant une concentration relative plus basse. Lors des entraînements avec les ossements de REST[ES], les chiens n'étaient pas exposés à des odeurs aussi puissantes que lors des entraînements avec les outils d'entraînement. Ceci a pu avoir pour conséquence une diminution dans leur capacité de détection, puisque pour qu'un chien puisse détecter efficacement des restes squelettiques, ceux-ci doivent s'entraîner avec des outils ayant un profil d'odeur similaire (type et intensité des COVs). Il serait donc intéressant d'observer l'impact d'entraînements réguliers avec des ossements très secs, similaires à ceux de REST[ES], sur une plus longue période.

Toutefois, plusieurs facteurs ont pu avoir un impact sur leur capacité de détection, notamment le niveau d'énergie des chiens ou leur temps d'expérience dans le domaine de détection de restes humains. Un chien fatigué ou un chien ayant moins d'expérience dans le domaine de détection de restes humains peut avoir une plus grande difficulté à détecter des restes humains dégageant moins d'odeurs (Osterkamp, 2020). De plus, il a été établi, dans la littérature, que plusieurs facteurs peuvent influencer le mouvement de l'air, et donc des odeurs, provenant de restes squelettiques, tels que la température, l'humidité et le vent. Plus spécifiquement, la température influence la

montée - ou non - de l'odeur. L'humidité, quant à elle, a un effet sur la dispersion de l'odeur et le vent cause son déplacement (Browne et al., 2006; Domínguez del Valle et al., 2020; Jones et al., 2004; Mesloh, & Wolf, 2014; Osterkamp, 2020; Polgár et al., 2016; Rebmann et al., 2000; Sorg et al., 1998). Tous ces facteurs ont pu avoir un impact sur la capacité de détection des chiens dans cette étude. En effet, étant donnée la faible concentration de COVs dégagés des ossements de REST[ES], lors de leurs dispersions et déplacements, les COVs ne seront plus concentrés à un seul endroit. Ceci peut causer une réduction supplémentaire de la concentration des odeurs et peut rendre difficile la localisation de la position exacte des ossements. Il se pourrait donc que ces facteurs aient joué un rôle important sur le premier entraînement extérieur réalisé en mai 2023 avec l'humérus, puisque plus de la moitié des chiens ont présenté de fausses réponses. Toutefois, lors du deuxième entraînement extérieur réalisé en mai 2023, ainsi que l'entraînement extérieur d'octobre 2022, un taux de détection de 100 % a été observé, ce qui signifie que les chiens ont la capacité de détecter les ossements.

L'environnement de recherche joue également un rôle sur le mouvement de l'air. La présence de végétation (p. ex. d'arbres) ou de bâtiments peut agir comme un obstacle pour les odeurs en bloquant le mouvement de l'air (Browne et al., 2006; Domínguez del Valle et al., 2020; Jones et al., 2004; Mesloh, & Wolf, 2014; Osterkamp, 2020; Polgár et al., 2016; Rebmann et al., 2000; Sorg et al., 1998). Dans cette étude, les entraînements extérieurs réalisés avec les chiens détecteurs de cadavre variaient entre un milieu fermé (forêt) et ouvert (champ, cour de bâtiment). Lors des entraînements en milieu fermé, la présence d'arbres, de végétations et de distracteurs (matières organiques en décomposition) était plus fréquente qu'en milieu ouvert. Il a donc pu être plus difficile pour les chiens de détecter l'emplacement exact des restes humains recherchés, puisque le mouvement et la composition de l'air ont pu être influencés par ces facteurs. Toutefois, lors des entraînements en milieu ouvert, la présence de bâtiment peut aussi jouer un rôle sur la capacité de détection en bloquant la trajectoire de l'air qui peut causer une fausse réponse chez les chiens. Chaque milieu a donc pu avoir un impact différent sur les réponses des chiens. Ces mêmes facteurs peuvent aussi s'appliquer lors de recherches intérieures. La température et l'humidité des pièces, la présence de courant d'air et le milieu de recherche (présence d'obstacles) jouent un rôle dans le déplacement de l'odeur et peuvent donc affecter la recherche des restes. Dans cette étude, chaque ossement de REST[ES] et outil d'entraînement étaient installés afin qu'ils ne soient pas à la vue

des maîtres-chiens. La présence d'obstacle entre les chiens et les ossements ou les outils d'entraînement peut avoir pour conséquence de bloquer le mouvement des COVs dans l'air. Puisque les outils d'entraînement dégagent une quantité et une concentration de COVs élevées, les chiens ne rencontraient aucune difficulté à les détecter lorsqu'ils étaient dissimulés. Au contraire des outils d'entraînement, les chiens ont eu une plus grande difficulté à détecter les ossements. Cette difficulté peut être due à un faible dégagement de COVs, ainsi que de la présence d'obstacles entre le chien et les ossements. Malgré cela, ces résultats montrent que les chiens sont bel et bien capables de détecter des ossements dégagant une quantité moindre de COVs. Des efforts supplémentaires pourront être réalisés afin d'optimiser les outils d'entraînements osseux.

6.4 Conclusion

Un pourcentage de détection de 100 % a été identifié pour les entraînements réalisés avec les outils d'entraînement traditionnels de l'OPP. Toutefois, un pourcentage de détection inférieur a été observé avec les ossements humains de REST[ES]. La difficulté de détection des restes squelettiques peut être due, non à la variation du type de COVs entre les ossements et les outils, mais à l'intensité des odeurs puisque lors de certains entraînements intérieurs et extérieurs, des chiens ont réagi positivement aux ossements. En effet, puisque les chiens sont entraînés plus fréquemment avec des outils très odorants (tissus mous), ils peuvent éprouver davantage de difficulté à détecter des restes humains squelettiques, moins odorants. De plus, le peu de COVs émis par les ossements peut être grandement affecté par les facteurs influençant le mouvement de l'air, causant une dispersion des COVs et rendant ainsi la recherche d'ossements plus difficile pour les chiens. Malgré tout, ces résultats montrent que les chiens sont capables de détecter des ossements squelettiques dégagant une faible quantité d'odeurs. Des efforts supplémentaires pourront être déployés dans le futur afin d'optimiser la détection des restes humains squelettiques. Par ailleurs, il pourrait être pertinent d'entraîner davantage les chiens sur une période plus longue en utilisant des outils d'entraînement très peu odorants, afin d'améliorer leur capacité de détection et ainsi faciliter la recherche de reste squelettique en contexte forensique réel.

CHAPITRE 7

CONCLUSION

7.1 Résumé des résultats de recherches

Les restes squelettiques, pauvres en tissus organiques, présentent peu de microorganismes et de processus biochimiques limitant la formation de produits de décomposition, y compris les composés organiques volatils (COVs). Les chiens détecteurs de cadavres rencontrent ainsi des difficultés à détecter les restes squelettiques en raison de leur faible émission d'odeurs potentiellement perceptibles par les chiens. Afin d'optimiser la détection des ossements par les chiens, il est essentiel de les entraîner avec des outils partageant un profil olfactif similaire (types de composés dégagés, concentration, etc.). L'unité canine de l'OPP a établi un projet afin d'utiliser des membres amputés de personnes atteintes de diabète pour les utiliser comme outils d'entraînement pour leurs chiens détecteurs de cadavres. Cette étude a été menée avec l'OPP pour caractériser les profils des COVs de ces outils d'entraînement et les comparer à ceux des donneurs provenant du site de Recherche en Sciences Thanatologiques, Expérimentales et Sociales (REST[ES]). Ce mémoire cherchait, dans un premier temps, à identifier le profil de COVs provenant d'ossements humains. Dans un second temps, ce mémoire avait pour objectif d'évaluer la pertinence de ces ossements comme outils d'entraînement pour les chiens détecteurs de cadavres de l'OPP et de manière générale. Pour répondre à ces objectifs, cette recherche a été séparée en quatre études.

L'objectif de cette première étude (Chapitre 3) était de caractériser le profil de COVs des ossements humains provenant de REST[ES], considérés comme proches de restes squelettiques qui seraient retrouvés en contexte forensique réel. Il a été possible d'identifier et de classer un total de 312 COVs. Il a été établi que ces composés provenaient majoritairement de la dégradation des tissus organiques et inorganiques résiduels sur les ossements. Une tendance similaire entre les classes chimiques a été observée chez les donneurs et les ossements. De légères variations étaient, toutefois, observables au niveau des ossements ; les humérus et les vertèbres présentaient un nombre et une concentration de COVs supérieurs à ceux des clavicules et des côtes. Les différences au niveau des profils COVs peuvent être expliquées par la composition biologique des os qui varie selon le type d'os ainsi que les différents facteurs (intrinsèques et extrinsèques) qui ont influencé

l'état de dégradation ou, au contraire, de préservation des os. Finalement, une diminution du nombre et de la concentration des COVs a été observée sur la période d'échantillonnage, ce qui peut s'expliquer par la dégradation de la quantité de tissus organiques et inorganiques résiduels sur les ossements.

L'objectif de la deuxième étude (Chapitre 4) consistait à caractériser le profil des COVs émis par les outils d'entraînement osseux utilisés par l'unité canine de l'OPP. Les outils d'entraînement sélectionnés pour cette étude étaient ceux se rapprochant davantage du stade de décomposition le plus avancé. Un total de 855 COVs ont été identifiés et classés en fonction de leur groupement fonctionnel prioritaire. Ces composés provenaient principalement de produits de dégradation des tissus organiques présents sur les outils d'entraînement osseux. Le nombre et la concentration relative des COVs variaient selon chaque outil d'entraînement. Malgré la similitude dans la distribution des classes en fonction du nombre de COVs, une grande variation a été observée au niveau de la concentration relative moyenne. Finalement, une augmentation globale du nombre et de la concentration relative de COVs a été constatée pour les outils d'entraînement. Ces résultats pouvaient s'expliquer par la présence de tissus mous sur les outils d'entraînement de l'OPP, ainsi que par leur méthode de stockage, qui a pu entraîner un dégagement plus important de COVs.

La troisième étude (Chapitre 5) visait à comparer le profil de COVs des ossements de REST[ES] avec celui des outils d'entraînement osseux de l'OPP. Cette comparaison a mis en évidence des variations significatives dans leurs profils chimiques. La comparaison du profil de COVs a révélé l'existence de 211 composés similaires. L'ordre d'abondance des classes chimiques selon le nombre de COVs et leur concentration relative moyenne était similaire dans l'ensemble. Toutefois, la quantité totale et la concentration relative des COVs étaient nettement plus élevées dans les outils d'entraînement par rapport aux ossements humains. Cette disparité était principalement due à la présence abondante de tissus mous résiduels sur les outils d'entraînement, bien que ces derniers soient globalement à l'état osseux.

Le quatrième et dernier objectif de cette étude (Chapitre 6) était d'analyser les réponses des chiens détecteurs de cadavres lors d'entraînement avec les ossements de REST[ES] et les outils d'entraînement de l'OPP. Ces entraînements avaient pour but d'évaluer si les variations observées entre les profils chimiques d'ossements de REST[ES] et des outils d'entraînement avaient une

grande influence sur la capacité de détection des chiens. Au cours des entraînements, les chiens ont présenté un taux de détection des outils de 100 % dans un délai rapide. Toutefois, le taux de détection pour les ossements était inférieur et le temps nécessaire à leur détection plus long que pour les outils d'entraînement.

Ces études ont permis de déterminer que les chiens possèdent la capacité de détecter des ossements humains bien que cette tâche soit plus complexe pour eux lorsqu'il s'agit d'ossements secs auxquels ils n'avaient pas été exposés auparavant. En effet, les chiens s'entraînaient généralement avec des outils osseux qui émettent une quantité plus importante plus de COVs que des ossements secs. Il serait donc pertinent de développer des stratégies visant à améliorer les outils d'entraînement osseux des chiens détecteurs de cadavres afin d'optimiser leurs performances dans la perspective de futures enquêtes criminelles impliquant la recherche de restes humains squelettiques.

7.2 Futurs travaux

Ce travail de mémoire a permis d'identifier une différence dans les profils COVs selon les différents types d'ossements analysés. Des analyses complémentaires pourraient être réalisées avec d'autres types d'ossements (p. ex. os du crâne, os coxal) ainsi qu'avec un squelette entier afin d'évaluer si d'autres variations dans le profil des COVs seraient observables. En effet, puisque les chiens doivent s'entraîner régulièrement avec des outils ayant un profil d'odeur similaire à ce qu'ils recherchent en contexte forensique, une différence dans le profil d'odeur entre les ossements utilisés comme outils d'entraînement pourrait influencer la capacité des chiens à les localiser efficacement s'ils sont entraînés uniquement avec un seul type d'ossement.

Une grande différence au niveau des outils d'entraînement a été observée par rapport aux ossements issus du site de REST[ES] en raison de la présence de tissus mous résiduels sur les outils. Il pourrait ainsi être pertinent d'installer les outils d'entraînement sur le site ODORS, en Ontario, afin de les soumettre à des conditions comparables aux ossements de REST[ES] et ainsi déterminer dans quelle mesure le profil de COVs des outils serait comparable à celui des ossements de REST[ES]. Enfin, étant donné que l'entreposage des outils d'entraînement de l'OPP a pu influencer les profils COVs des outils d'entraînement, une étude plus approfondie sur les conditions optimales

d'entreposage serait intéressante à mener afin de mieux comprendre leur impact précis sur le profil des COVs.

ANNEXE A

ACCORDS ÉTHIQUES POUR L'ÉTUDE PRÉSENTÉE

UQTR



Université du Québec
à Trois-Rivières

SOUS-COMITÉ D'ÉTHIQUE DU LABORATOIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE EN ANATOMIE

CERTIFICATION

Le sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie, mandaté à cette fin par le comité d'éthique de la recherche institutionnel, certifie avoir étudié le protocole de recherche :

Titre du projet : Établissement du profil des composés organiques volatils provenant des ossements humains et leur utilisation dans l'entraînement des chiens détecteurs de cadavre

Chercheur : **Frédérique Ouimet**, Étudiante à la maîtrise en chimie (3411), Département de chimie, biochimie et physique, Université du Québec à Trois-Rivières, Frederique.ouimet@uqtr.ca

Co-chercheurs : **Shari Forbes**, directrice de maîtrise, Chaire de recherche Canada 150 en thanatologie forensique, Laboratoire de recherche en criminalistique (LRC), Centre international de criminologie comparée (CICC), Professeure, Département de chimie, biochimie et physique, Université du Québec à Trois-Rivières, shari.forbes@uqtr.ca
Agathe Ribereau-Gayon, co-directrice, Chercheur Post-Doctorat au département de chimie, biochimie et physique, Université du Québec à Trois-Rivières, Agathe.Ribereau-Gayon@uqtr.ca

Chercheur du : Gilles Bronchti, directeur du département d'anatomie, Université du Québec à
dép. d'anatomie Trois-Rivières, Gilles.Bronchti@uqtr.ca

et a convenu que la proposition de cette recherche avec des êtres humains est conforme aux normes éthiques.

PÉRIODE DE VALIDITÉ DU PRÉSENT CERTIFICAT

Début de la certification : 3 mars 2022

Fin de la certification : 4 mars 2023

COMPOSITION DU COMITÉ

Le sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie (SCELERA) est composé des personnes suivantes, mandatées par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières (CER-09-148-06.05) :

- Une technicienne responsable du laboratoire d'anatomie humaine;
- Deux professeurs du département d'anatomie;
- Un professeur externe;
- Deux membres externes.

SIGNATURES

L'Université du Québec à Trois-Rivières confirme, par la présente, que le sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie a déclaré la recherche, ci-dessus mentionnée, entièrement conforme aux normes d'éthiques.

Johanne Pellerin, présidente du comité

Stéphane Sobczak, secrétaire du comité

Certificat émis le 10 mars 2022
SCELERA 22-01



Université du Québec
à Trois-Rivières

Décanat de la recherche et de la création

Le 29 septembre 2022

Madame Shari Forbes
Professeure
Département de chimie, biochimie et physique

Madame,

J'accuse réception des documents corrigés nécessaires à la réalisation de votre protocole de recherche intitulé **Établissement du profil des composés organiques volatils provenant des ossements humains et leur utilisation dans l'entraînement des chiens détecteurs de cadavres** (2022-S.F.3) en date du 28 septembre 2022.

Vous trouverez ci-joint votre certificat portant le numéro **2022-S.F.3**. Sa période de validité s'étend du 29 septembre 2022 au 29 septembre 2023.

Veuillez agréer, Madame, mes salutations distinguées.

LA COORDONNATRICE DU COMITÉ DE BONS SOINS AUX ANIMAUX

SOPHIE PARENT
Conseillère en développement de la recherche
Décanat de la recherche et de la création

SP/na













p. j. Certificat de bons soins aux animaux

c.c. Mme Frédérique Ouimet, étudiante











ANNEXE B

PHOTOGRAPHIES DES DIFFÉRENTS ÉCHANTILLONS ANALYSÉS







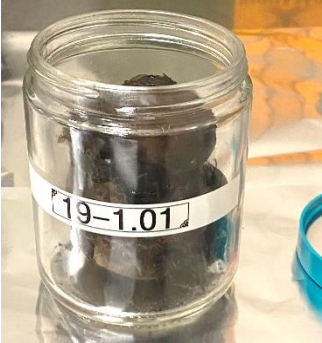

Photographie des quatre types d'ossements des donneurs 1, 2 et 3 provenant de REST[ES], en novembre 2022.

	Donneur 1	Donneur 2	Donneur 3
Clavicule droite (CDB)			
Première côte droite (RDB)			
Humérus droit (HDB)			
Vertèbres lombaires (VLB)			



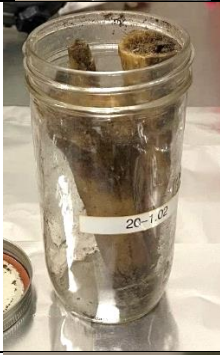





Photographies des outils d'entraînement de l'unité canine de la police provinciale d'Ontario (OPP)

		2017	
FB1			
FB2			
FB3			
FB4			
FB14			

2019

<p>FB5.1</p>		
<p>FB5.2</p>		
<p>FB11</p>		
<p>FB13</p>		

2020

<p>FB6</p>	 A clear plastic jar with a white label that reads "20-1.01". The jar is filled with a dark, moist, brownish substance, possibly a biological specimen.	 A top-down view of the jar containing the specimen, showing its irregular, somewhat chunky shape.
<p>FB7</p>	 A clear plastic jar with a white label that reads "20-1.02". It contains a dark, moist specimen.	 A top-down view of the jar showing the specimen's texture and color.
<p>FB8</p>	 A clear plastic jar with a white label that reads "20-1.03". It contains a dark, moist specimen.	 A top-down view of the jar showing the specimen.
<p>FB9</p>	 A clear plastic jar with a white label that reads "20-2.01" and "Jar #1". It contains a dark, moist specimen.	 A top-down view of the jar showing the specimen.
<p>FB12</p>	 A top-down view of a jar containing several dark, irregularly shaped specimens.	 A clear plastic jar with a white label that reads "20-1.04". It contains a dark, moist specimen.

ANNEXE C

LISTE COMPLÈTE DES COVS PROVENANT DES OSSEMENTS HUMAINS DE REST[ES]

- 312 composés organiques volatils totaux ont été identifiés dans les ossements humains de REST[ES]
- La liste de composés va du composé le plus fréquent dans les différents ossements aux moins fréquents.
- Les 211 composés organiques volatils se retrouvant chez les outils d'entraînement ont été identifiés en vert.
- Les noms des composés sont en anglais, et leur nomenclature est conforme à celle anglophone.

No	Classe chimique	Composés	Fréquence (%)
1	Composé Aromatique	Styrene	26,67
2	Aldéhyde	Formaldehyde	25,00
3	Ester	2-Trifluoroacetoxyptadecane	21,67
4	Composé Azoté	4-Cyanocyclohexene	21,67
5	Composé Aromatique	Benzene, 1,3-dimethyl-	21,67
6	Cétone	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	20,00
7	Cétone	2-Butanone, 3-methyl-	18,33
8	Composé Aromatique	Furan, 2-pentyl-	18,33
9	Composé Aliphatique Linéaire	Octane	18,33
10	Éther	1,3-Dioxolane, 2-methyl-	16,67
11	Composé Aromatique	Benzene, (1-propylnonyl)-	16,67
12	Alcool	Benzyl alcohol	16,67
13	Composé Azoté	1-Octadecanamine, N-methyl-	15,00
14	Composé Azoté	2,6-Lutidine	15,00
15	Alcool	Ethanol, 2,2-dichloro-	15,00
16	Composé Azoté	Urea, tetramethyl-	15,00
17	Composé Aromatique	1,1'-Biphenyl, 2,2',5,5'-tetramethyl-	13,33
18	Composé Azoté	1H-Pyrazolo[3,4-d]pyrimidin-4-amine	13,33
19	Composé Aromatique	Benzene, 1,2-difluoro-4-(trifluoromethyl)-	13,33
20	Composé Aromatique	Benzene, chloro-	13,33
21	Composé Aromatique	Benzene, decyl-	13,33
22	Composé Aliphatique Linéaire	Cetene	13,33
23	Composé Azoté	Methenamine	13,33
24	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 3,3-dimethyl-	13,33

25	Composé aliphatique cyclique	Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7,7-trimethyl-	13,33
26	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 3-methyl-	13,33
27	Composé Aromatique	1,2,3-Trifluoro-4-trifluoromethylbenzene	11,67
28	Composé Azoté	1-Octanamine, N-methyl-	11,67
29	Composé Aliphatique Linéaire	1-Octene	11,67
30	Alcool	2-Amino-1,3-propanediol	11,67
31	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	11,67
32	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	11,67
33	Composé Aliphatique Cyclique	Camphene	11,67
34	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	11,67
35	Composé Azoté	Cycluron	11,67
36	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2-methyl-	11,67
37	Composé Aliphatique Linéaire	Nonadecane	11,67
38	Composé Aromatique	Tetrahydrofuran	11,67
39	Composé Aliphatique Linéaire	1-Heptene	10,00
40	Composé Aromatique	1H-Indene, 2,3-dihydro-5-methyl-	10,00
41	Cétone	2-Pentanone	10,00
42	Composé Aromatique	Benzene, (1-butylheptyl)-	10,00
43	Composé Aromatique	Benzene, (1-butyloctyl)-	10,00
44	Composé Aromatique	benzene, 1,1'-(1-methylethylidene)bis[4-methyl-	10,00
45	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,3,5-tetrafluoro-	10,00
46	Ester	Butanoic acid, methyl ester	10,00
47	Ester	Dibutyl phthalate	10,00
48	Composé Aliphatique Linéaire	Heptacosane	10,00
49	Aldéhyde	Hexanal, 2-ethyl-	10,00
50	Composé Aromatique	Naphthalene, 2-methyl-	10,00
51	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethyl-	10,00
52	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 3-methyl-	10,00
53	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 2,3-dimethyl-	10,00
54	Ester	Pentanoic acid, 2,2,4-trimethyl-3-hydroxy-, isobutyl ester	10,00
55	Éther	1,2,4,5-Tetroxane, 3,3,6,6-tetramethyl-	8,33
56	Éther	1,4-Dioxane	8,33
57	Composé Azoté	1H-Pyrrole, 3-methyl-	8,33
58	Alcool	2,4-Di-tert-butylphenol	8,33
59	Composé Azoté	Acetonitrile	8,33
60	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	8,33
61	Composé Halogéné	Butane, 1,1,3,4-tetrachloro-1,2,2,3,4,4-hexafluoro-	8,33
62	Composé Aromatique	Desmethyldoxepin	8,33
63	Ester	3-Aminoisobutyric acid, N-methyl-, methyl ester	8,33
64	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane	8,33

65	Composé Azoté	Ethane, nitro-	8,33
66	Ester	Glycine, N-(dithiocarboxy)-N-methyl-	8,33
67	Composé Aliphatique Cyclique	Isopropylcyclobutane	8,33
68	Alcool	Levomenthol	8,33
69	Composé Azoté	N-Dodecylmethylamine	8,33
70	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 3-ethyl-	8,33
71	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	8,33
72	Composé Azoté	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl-	8,33
73	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 2,6-dimethyl-	8,33
74	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 2-methyl-	8,33
75	Composé Azoté	Acetonitrile, hydroxy-	6,67
76	Composé Aromatique	Benzene, (1-methyldecyl)-	6,67
77	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylpropyl)-	6,67
78	Composé Aromatique	Benzene, propyl-	6,67
79	Composé Aliphatique Cyclique	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-	6,67
80	Composé Aromatique	Biphenyl	6,67
81	Composé Halogéné	Carbon Tetrachloride	6,67
82	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexane	6,67
83	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexane, 1,1,3-trimethyl-	6,67
84	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexane, methyl-	6,67
85	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexene, 1-methyl-	6,67
86	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclopentane, 1,3-dimethyl-, cis-	6,67
87	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2-methyl-	6,67
88	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	6,67
89	Composé Aliphatique Linéaire	Dotriacontane	6,67
90	Aldéhyde	Hexanal	6,67
91	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2-methyl-	6,67
92	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 3-methyl-	6,67
93	Composé Sulfuré	Methanesulfonyl chloride	6,67
94	Alcool	Methyl Alcohol	6,67
95	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 3-methyl-	6,67
96	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 4-ethyl-	6,67
97	Composé Aromatique	p-Cymene	6,67
98	Composé Aliphatique Linéaire	Tetradecane	6,67
99	Composé Aromatique	Toluene	6,67
100	Composé Halogéné	Trichloromethane	6,67
101	Éther	1,4-Dioxin, 2,3-dihydro-	5,00
102	Composé Aliphatique Cyclique	1,7-Dimethyl-4-(1-methylethyl)cyclodecane	5,00
103	Composé Azoté	1-Methyldodecylamine	5,00
104	Aldéhyde	1-Phenanthrenecarboxaldehyde, 1,2,3,4,4a,9,10,10a-octahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethyl)-, 1 α ,4 α ,10 α β -	5,00

105	Cétone	2-Heptanone	5,00
106	Cétone	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-	5,00
107	Ester	2-Propenoic acid, 2-methyl-, octyl ester	5,00
108	Ester	3-Trifluoroacetyldodecane	5,00
109	Composé Azoté	Acetic acid, hydrazide	5,00
110	Acide	Acetic acid, hydroxy-	5,00
111	Composé Aromatique	Benzene, (1-ethyldecyl)-	5,00
112	Composé Aromatique	Benzene, (1-pentylheptyl)-	5,00
113	Composé Aromatique	Benzene, (1-pentyl-octyl)-	5,00
114	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	5,00
115	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	5,00
116	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	5,00
117	Alcool	Benzenemethanol, α,α -dimethyl-	5,00
118	Ester	Carbonic acid, dimethyl ester	5,00
119	Alcool	Cyclobutanol	5,00
120	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexane, propyl-	5,00
121	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclopentane, ethyl-	5,00
122	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 4-ethyl-	5,00
123	Ester	Diethyl Phthalate	5,00
124	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl-	5,00
125	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 3-ethyl-2-methyl-	5,00
126	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 3,4-bis(1,1-dimethylethyl)-2,2,5,5-tetramethyl-	5,00
127	Composé Aromatique	alpha-Methylstyrene	5,00
128	Ester	Methyl propionate	5,00
129	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-	5,00
130	Composé Azoté	Octodrine	5,00
131	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 2,2,4-trimethyl-	5,00
132	Alcool	Phenol, 4-[2-(methylamino)ethyl]-	5,00
133	Alcool	Phenylephrine	5,00
134	Ester	Phthalic anhydride	5,00
135	Composé Azoté	Thiourea	5,00
136	Composé Aliphatique Linéaire	Tridecane	5,00
137	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 4,7-dimethyl-	5,00
138	Cétone	1(2H)-Naphthalenone, 3,4-dihydro-3,3,6,8-tetramethyl-	3,33
139	Composé Aromatique	1,2,3-Trifluorobenzene	3,33
140	Alcool	1-Dodecanol	3,33
141	Composé Aliphatique Linéaire	1-Pentadecene, 2-methyl-	3,33
142	Ester	2(3H)-Furanone, 5-hexyldihydro-	3,33
143	Ester	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	3,33
144	Composé Aromatique	2,4-Dimethylfuran	3,33
145	Alcool	2-Chloroethanol	3,33
146	Alcool	2-Methyl-6-(p-tolyl)hept-2-en-4-ol	3,33

147	Ester	2-Propenoic acid, 2-methyl-, oxiranylmethyl ester	3,33
148	Composé Aliphatique Cyclique	3-Carene	3,33
149	Ester	3-Methylcyclopentyl acetate	3,33
150	Ester	4,7-Methano-1H-inden-6-ol, 3a,4,5,6,7,7a-hexahydro-, acetate	3,33
151	Composé Aliphatique Linéaire	5-Ethyldecane	3,33
152	Composé Azoté	6-Thiopyrazolo[3,4-d]pyrimidin-4,6(5H,7H)-dione-3-carboxamide	3,33
153	Alcool	7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl-	3,33
154	Composé Aliphatique Linéaire	7-Tetradecene	3,33
155	Composé Aromatique	Acenaphthene	3,33
156	Composé Azoté	Acetamide, 2,2,2-trifluoro-	3,33
157	Composé Aromatique	Benzene, (1-butylnonyl)-	3,33
158	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylethyl)-	3,33
159	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylundecyl)-	3,33
160	Composé Aromatique	Benzene, 1-chloro-4-(trifluoromethyl)-	3,33
161	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylpropyl)-	3,33
162	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-propyl-	3,33
163	Composé Aromatique	Benzene, pentyl-	3,33
164	Composé Azoté	Benzeneethanamine, 3-fluoro- β ,5-dihydroxy-N-methyl-	3,33
165	Composé Azoté	Benzeneethanamine, 4-fluoro- β ,3-dihydroxy-N-methyl-	3,33
166	Composé Aliphatique Linéaire	Butane, 2,2,3,3-tetramethyl-	3,33
167	Ester	Butyrolactone	3,33
168	Composé Azoté	Carbohydrazide	3,33
169	Cétone	Cyclohexanone	3,33
170	Composé Azoté	Cyclohexylamine	3,33
171	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclopentane, 1-pentyl-2-propyl-	3,33
172	Cétone	Cyclopentanone	3,33
173	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2,6,7-trimethyl-	3,33
174	Composé Aliphatique Cyclique	Dicyclopentadiene	3,33
175	Composé Azoté	Diphenylamine	3,33
176	Composé Halogéné	Dodecane, 1-iodo-	3,33
177	Composé Aromatique	Furan, 2,5-dimethyl-	3,33
178	Alcool	Heptacosan-9-ol	3,33
179	Composé Aliphatique Linéaire	Heptadecane, 2,6,10,15-tetramethyl-	3,33
180	Composé Aliphatique Cyclique	Heptylcyclohexane	3,33
181	Composé Aliphatique Cyclique	α -Pinene	3,33
182	Composé Aromatique	Indan, 1-methyl-	3,33
183	Ester	l-Leucine, n-butoxycarbonyl-N-methyl-, undecyl ester	3,33
184	Composé Aromatique	Mesitylene	3,33
185	Composé Azoté	Methyl isocyanide	3,33

186	Ester	N-Cbz-glycylglycine p-nitrophenyl ester	3,33
187	Composé Aliphatique Linéaire	Octadecane, 6-methyl-	3,33
188	Éther	Octane, 1,1'-oxybis-	3,33
189	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2,2,6-trimethyl-	3,33
190	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2,6-dimethyl-	3,33
191	Composé Aliphatique Linéaire	Pentadecane	3,33
192	Alcool	Phenol, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)-	3,33
193	Alcool	Propofol	3,33
194	Alcool	trans-3-Caren-2-ol	3,33
195	Ester	Tridecanoic acid, methyl ester	3,33
196	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 3,8-dimethyl-	3,33
197	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 5-methyl-	3,33
198	Composé Azoté	Urea	3,33
199	Composé Azoté	(+)-N-Benzyl-alpha-methyl-N-nitrosobenzylamine	1,67
200	Composé Aromatique	9-[2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]-3-methyl-3,4-dihydro-2H-benzo[b][1,4,5]oxathiazepine 1,1-dioxide	1,67
201	Composé Aromatique	1,2,4-Trifluorobenzene	1,67
202	Ester	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	1,67
203	Ester	1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-ethylhexyl ester	1,67
204	Ester	1,2-Benzenediol, o-(4-methoxybenzoyl)-o'-(2,2,3,3,4,4,4-heptafluorobutyl)-	1,67
205	Composé Aromatique	1,3,5-Trifluorobenzene	1,67
206	Composé Aliphatique Linéaire	1,4-Heptadiene	1,67
207	Composé Aliphatique Cyclique	1,4-Methanobenzocyclodecene, 1,2,3,4,4a,5,8,9,12,12a-decahydro-	1,67
208	Composé Azoté	1-Hexadecanamine, N-methyl-	1,67
209	Composé Aliphatique Linéaire	1-Hexene, 3,5,5-trimethyl-	1,67
210	Composé Aromatique	1H-Indene, 2,3-dihydro-4-methyl-	1,67
211	Composé Azoté	1H-Pyrazole, 4,5-dihydro-5-propyl-	1,67
212	Alcool	1-Octanol, 2-butyl-	1,67
213	Alcool	1-Pentanol, 2-ethyl-4-methyl-	1,67
214	Ester	1-Propen-2-ol, acetate	1,67
215	Ester	2(3H)-Furanone, 5-heptyldihydro-	1,67
216	Ester	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-	1,67
217	Ester	2(3H)-Furanone, dihydro-5-propyl-	1,67
218	Composé Aliphatique Linéaire	2,3-Dimethyl-3-heptene	1,67
219	Aldéhyde	2,5-Difluorobenzaldehyde	1,67
220	Composé Aromatique	2,6-Diisopropyl-naphthalene	1,67
221	Cétone	2,6-Di-tert-butyl-4-hydroxy-4-methylcyclohexa-2,5-dien-1-one	1,67

222	Composé Azoté	2-Heptanamine, 5-methyl-	1,67
223	Composé Azoté	2-Hexanamine, 4-methyl-	1,67
224	Cétone	2-Hexanone	1,67
225	Cétone	2-Nonanone	1,67
226	Cétone	2-Octanone	1,67
227	Alcool	2-Propanol, 1-methoxy-	1,67
228	Ester	2-Propenoic acid, 2-propenyl ester	1,67
229	Cétone	2-Tetradecanone	1,67
230	Composé Aromatique	3,3'-Bifuran, 2,2',3,3'-tetrahydro-	1,67
231	Composé Aliphatique Linéaire	3,5-Dimethyl-3-heptene	1,67
232	Composé Aliphatique Linéaire	3-Decene, 2,2-dimethyl-	1,67
233	Cétone	3-Hexanone, 2,5-dimethyl-4-nitro-	1,67
234	Composé Azoté	3-Methyl-1,2-diazirine	1,67
235	Composé Aromatique	3-Methyl-2-(2-methyl-2-butenyl)-furan	1,67
236	Composé Aromatique	4b,8-Dimethyl-2-isopropylphenanthrene, 4b,5,6,7,8,8a,9,10-octahydro-	1,67
237	Cétone	4-Heptanone, 2,6-dimethyl-	1,67
238	Composé Aliphatique Linéaire	4-Nonene	1,67
239	Cétone	4-Piperidinone, 2,2,6,6-tetramethyl-	1,67
240	Composé Aliphatique Linéaire	4-Tetradecene	1,67
241	Composé Aliphatique Linéaire	4-Undecene, 3-methyl-	1,67
242	Cétone	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-	1,67
243	Ester	5-Oxotetrahydrofuran-2-carboxylic acid, ethyl ester	1,67
244	Composé Aliphatique Linéaire	7-Tetradecyne	1,67
245	Composé Aliphatique Linéaire	8-Hexadecyne	1,67
246	Acide	Acetic acid	1,67
247	Acide	Allantoic acid	1,67
248	Composé Azoté	Aziridine, 2,2,3,3-tetramethyl-	1,67
249	Aldéhyde	Benzaldehyde	1,67
250	Composé Aromatique	Benzene, 1,2-difluoro-	1,67
251	Composé Aromatique	Benzene, 1,3,5-tri-tert-butyl-	1,67
252	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-butyl	1,67
253	Composé Aromatique	Benzene, pentafluoro-	1,67
254	Composé Azoté	Benzeneethanamine, N-methyl-	1,67
255	Ester	Benzoic acid, 2-ethylhexyl ester	1,67
256	Ester	Benzoic acid, methyl ester	1,67
257	Cétone	Benzophenone	1,67
258	Composé Aliphatique Cyclique	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	1,67
259	Composé Aliphatique Cyclique	Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 3,6,6-trimethyl-	1,67
260	Cétone	Bicyclo[3.1.1]heptan-2-one, 6,6-dimethyl-	1,67

261	Ester	Carbamic acid, N-[1,1-bis(trifluoromethyl)ethyl]-, 4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenyl ester	1,67
262	Cétone	Carvone	1,67
263	Composé Azoté	Cyanic acid, 2-methylpropyl ester	1,67
264	Composé Aliphatique Cyclique	Cyclohexane, ethyl-	1,67
265	Composé Azoté	Cyclohexane, isothiocyanato-	1,67
266	Alcool	Cyclohexanol, 4-(1,1-dimethylethyl)-	1,67
267	Aldéhyde	Decanal	1,67
268	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2,6,8-trimethyl-	1,67
269	Composé Aromatique	Dibenzofuran	1,67
270	Ester	Diethyl azodicarboxylate	1,67
271	Composé Sulfuré	Diphenyl sulfide	1,67
272	Composé Sulfuré	Disulfide, dimethyl	1,67
273	Composé Azoté	7-Azatriptophan	1,67
274	Alcool	Phenylephrine	1,67
275	Alcool	Ethanol, 2-fluoro-	1,67
276	Composé Azoté	Formamide, N,N-dibutyl-	1,67
277	Composé Aliphatique Linéaire	Heptadecane	1,67
278	Aldéhyde	Heptanal	1,67
279	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,3-dimethyl-	1,67
280	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,4-dimethyl-	1,67
281	Aldéhyde	Hexadecanal	1,67
282	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,2,4-trimethyl-	1,67
283	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,4-dimethyl-	1,67
284	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,5-dimethyl-	1,67
285	Alcool	Hexestrol, O-trifluoroacetyl-	1,67
286	Ester	Homosalate	1,67
287	Ester	γ -Dodecalactone	1,67
288	Alcool	Isoborneol	1,67
289	Ester	Isopropyl acetate	1,67
290	Ester	Isopropyl myristate	1,67
291	Composé Aliphatique Cyclique	Limonene	1,67
292	Composé Azoté	n-Hexylmethylamine	1,67
293	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane	1,67
294	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 4-methyl-	1,67
295	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2,4,6-trimethyl-	1,67
296	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2-methyl-	1,67
297	Ester	Oxalic acid, isobutyl propyl ester	1,67
298	Éther	Oxirane, 2-ethyl-2-methyl-	1,67
299	Ester	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	1,67
300	Aldéhyde	Pentanal	1,67
301	Alcool	Phenol, 4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)-	1,67
302	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	1,67

303	Composé Azoté	Pyridine, 2,4-dimethyl-	1,67
304	Composé Aliphatique Linéaire	Tetracosane	1,67
305	Composé Azoté	Thiourea, tetramethyl-	1,67
306	Composé Aliphatique Linéaire	trans- β -Ocimene	1,67
307	Composé Halogéné	Trichloroethylene	1,67
308	Composé Aliphatique Linéaire	Tridecane, 3-methyl-	1,67
309	Composé Azoté	Tuaminoheptane	1,67
310	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane	1,67
311	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 2,5-dimethyl-	1,67
312	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 4-methyl-	1,67

ANNEXE D

LISTE COMPLÈTE DES COVS PROVENANT DES OUTILS D'ENTRAÎNEMENT DE L'UNITÉ CANINE DE L'OPP

- 855 composés organiques volatils totaux ont été identifiés dans les outils d'entraînement
- La liste de composés va du composé le plus fréquent aux moins fréquents.
- Les 211 composés organiques volatils se retrouvant chez les ossements de REST[ES] ont été identifiés en bleu.
- Les noms des composés sont en anglais, et leur nomenclature est conforme à celle anglophone.

NO	Classe chimique	Composés	Fréquence (%)
1	Alcool	1-Propanol, 2-methyl-	75,76
2	Composé Sulfuré	Disulfide, dimethyl	69,70
3	Alcool	1-Butanol, 3-methyl-	63,64
4	Composé Azoté	2,6-Lutidine	63,64
5	Alcool	2-Pentanol	63,64
6	Alcool	1-Butanol, 2-methyl-	60,61
7	Acide	Propanoic acid, 2-methyl-	60,61
8	Composé Sulfuré	Dimethyl trisulfide	57,58
9	Composé Azoté	Pyridine, 2,4-dimethyl-	57,58
10	Alcool	2-Hexanol	54,55
11	Cétone	2-Pentanone, 3-methyl-	54,55
12	Alcool	1-Pentanol	51,52
13	Alcool	2-Butanol	51,52
14	Ester	Isopropyl acetate	51,52
15	Acide	Propanoic acid	51,52
16	Composé Azoté	Pyridine, 2-methyl-	51,52
17	Composé Azoté	2-n-Butyl furan	48,48
18	Composé Azoté	4-Cyanocyclohexene	48,48
19	Aldéhyde	Butanal, 3-methyl-	48,48
20	Acide	Butanoic acid	48,48
21	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,5-dimethyl-	48,48
22	Alcool	1-Hexanol	45,45
23	Alcool	1-Pentanol, 4-methyl-	45,45
24	Acide	Butanoic acid, 2-methyl-	45,45
25	Ester	Butanoic acid, 2-methyl-, 1-methylethyl ester	45,45
26	Ester	Butanoic acid, butyl ester	45,45
27	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1-ethyl-3-methyl-, trans-	45,45

28	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, ethyl-	45,45
29	Cétone	Cyclopentanone, 2-methyl-	45,45
30	Composé Aliphatique Linéaire	Nonadecane	45,45
31	Ester	n-Propyl acetate	45,45
32	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 2,3,4-trimethyl-	45,45
33	Acide	Pentanoic acid	45,45
34	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, 1-methylethyl ester	45,45
35	Cétone	2-Hexanone, 5-methyl-	42,42
36	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	42,42
37	Acide	Butanoic acid, 3-methyl-	42,42
38	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,4-dimethyl-	42,42
39	Composé Aromatique	Indan, 1-methyl-	42,42
40	Composé Aromatique	Indane	42,42
41	Ester	Isopropyl butyrate	42,42
42	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-	42,42
43	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 2,3,3-trimethyl-	42,42
44	Ester	Propanoic acid, 1-methylethyl ester	42,42
45	Ether	1,2,4,5-Tetroxane, 3,3,6,6-tetramethyl-	39,39
46	Composé Aromatique	1H-Indene, 2,3-dihydro-4-methyl-	39,39
47	Cétone	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-	39,39
48	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, ethyl-	39,39
49	Composé Halogéné	Ethane, hexachloro-	39,39
50	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 3,4-dimethyl-	39,39
51	Ester	Methanesulfonic anhydride	39,39
52	Composé Aromatique	o-Xylene	39,39
53	Ether	Propane, 2,2-dimethoxy-	39,39
54	Composé Aromatique	3-Methyl-2-(2-methyl-2-butenyl)-furan	36,36
55	Cétone	3-Octanone	36,36
56	Acide	3-Pentenoic acid, 4-methyl-	36,36
57	Ester	Acetic acid, butyl ester	36,36
58	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-butyl	36,36
59	Cétone	Benzophenone	36,36
60	Composé Azoté	Butanenitrile, 3-methyl-	36,36
61	Composé Sulfuré	Dimethyl sulfone	36,36
62	Composé Aromatique	Furan, 2-pentyl-	36,36
63	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,3-dimethyl-	36,36
64	Composé Azoté	Hexanenitrile	36,36
65	Ester	Methyl isobutyrate	36,36
66	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-2-methyl-	36,36
67	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	36,36
68	Ester	Propanoic acid, ethyl ester	36,36
69	Ester	sec-Butyl acetate	36,36
70	Ester	Thiocyanic acid, methyl ester	36,36

71	Composé Aliphatique Linéaire	Tridecane	36,36
72	Composé Aliphatique Linéaire	2-Hexene, 3-methyl-	33,33
73	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylpropyl)-	33,33
74	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-propyl-	33,33
75	Composé Halogéné	Butane, 1,2,4-trichloro-heptafluoro-	33,33
76	Composé Azoté	Butanenitrile, 2-methyl-	33,33
77	Ester	Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	33,33
78	Ester	Butanoic acid, 3-methyl-, 1-methylethyl ester	33,33
79	Ester	Butanoic acid, ethyl ester	33,33
80	Ester	Butanoic acid, methyl ester	33,33
81	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-	33,33
82	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, propyl-	33,33
83	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2-methyl-	33,33
84	Composé Aliphatique Linéaire	Eicosane	33,33
85	Composé Azoté	Isobutyronitrile	33,33
86	Composé Aromatique	Naphthalene, 2-methyl-	33,33
87	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 3,3-dimethyl-	33,33
88	Acide	Propanedioic acid	33,33
89	Ester	Propanoic acid, propyl ester	33,33
90	Composé Azoté	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl-	33,33
91	Alcool	2,4-Di-tert-butylphenol	30,30
92	Cétone	2-Butanone, 3-methyl-	30,30
93	Cétone	2-Pentanone, 4-hydroxy-4-methyl-	30,30
94	Composé Aromatique	Benzene, 1,3,5-tri-tert-butyl-	30,30
95	Composé Halogéné	Butane, 1,1,3,4-tetrachloro-1,2,2,3,4,4-hexafluoro-	30,30
96	Ester	Butanoic acid, 2-methylpropyl ester	30,30
97	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentene, 1-methyl-	30,30
98	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane	30,30
99	Alcool	Ethanol, 2-butoxy-	30,30
100	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,5-dimethyl-	30,30
101	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-6-methyl-	30,30
102	Aldéhyde	Nonanal	30,30
103	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 3-methyl-	30,30
104	Composé Azoté	Pyrazine	30,30
105	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 2,6-dimethyl-	30,30
106	Composé Aromatique	1H-Indene, 2,3-dihydro-1,6-dimethyl-	27,27
107	Ester	2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro-	27,27
108	Composé Aliphatique Linéaire	2-Heptene	27,27
109	Alcool	2-Pentanol, 4-methyl-	27,27
110	Cétone	3-Hexanone	27,27
111	Alcool	7-Octen-2-ol, 2,6-dimethyl-	27,27
112	Composé Aromatique	Benzene, (1-butyloctyl)-	27,27

113	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-2,4,5-trimethyl-	27,27
114	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-3-propyl-	27,27
115	Ester	Butanoic acid, 3-methyl-, ethyl ester	27,27
116	Ester	Butanoic acid, propyl ester	27,27
117	Ester	Butyl 2-methylbutanoate	27,27
118	Composé Aliphatique cyclique	Camphene	27,27
119	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1,3-dimethyl-, cis-	27,27
120	Composé Sulfuré	Disulfide, methyl (methylthio)methyl	27,27
121	Composé Aromatique	Furan, 2-hexyl-	27,27
122	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,6-dimethyl-	27,27
123	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,3,5-trimethyl-	27,27
124	Ester	Hexanoic acid, 1-methylethyl ester	27,27
125	Composé Aliphatique cyclique	Isopropylcyclobutane	27,27
126	Cétone	Methyl Isobutyl Ketone	27,27
127	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 4-methyl-	27,27
128	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 2,3-dimethyl-	27,27
129	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, propyl ester	27,27
130	Composé Azoté	Pyrazine, methyl-	27,27
131	Composé Azoté	Pyridine	27,27
132	Composé Aromatique	Styrene	27,27
133	Composé Azoté	Thiourea	27,27
134	Alcool	1-Heptanol	24,24
135	Composé Sulfuré	2,4-Dithiapentane	24,24
136	Cétone	2-Decanone	24,24
137	Alcool	2-Nonanol	24,24
138	Cétone	2-Nonanone	24,24
139	Cétone	2-Octanone	24,24
140	Ester	3-Methylheptyl acetate	24,24
141	Composé Aromatique	4-Methylthiazole	24,24
142	Composé Aromatique	Benzene, (1-ethyldecyl)-	24,24
143	Composé Aromatique	Benzene, (1-pentylheptyl)-	24,24
144	Composé Aromatique	Benzene, (2-methylpropyl)-	24,24
145	Composé Aromatique	Benzene, 1,3-diethyl-	24,24
146	Composé Aromatique	Benzene, decyl-	24,24
147	Ester	Butanoic acid, 3-methyl-, butyl ester	24,24
148	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1-methyl-2-propyl-	24,24
149	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentene, 1,2,3-trimethyl-	24,24
150	Composé Aromatique	Furan, 2-ethyl-	24,24
151	Composé Aromatique	Furan, 3-(4-methyl-3-pentenyl)-	24,24
152	Composé Aliphatique Linéaire	Heptacosane	24,24
153	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl-	24,24
154	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,2,4-trimethyl-	24,24
155	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,2,5-trimethyl-	24,24

156	Ester	Hexanoic acid, ethyl ester	24,24
157	Composé Aromatique	Isothiazole, 3-methyl-	24,24
158	Composé Halogéné	Methane, bromodichloro-	24,24
159	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 3,5-dimethyl-	24,24
160	Ester	Pentanoic acid, ethyl ester	24,24
161	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, butyl ester	24,24
162	Composé Sulfuré	Thiophene, 2-methyl-	24,24
163	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane	24,24
164	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 2-methyl-	24,24
165	Composé Aromatique	1H-Indene, 2,3-dihydro-4,7-dimethyl-	21,21
166	Composé Azoté	1H-Pyrrole, 3-methyl-	21,21
167	Ester	2(3H)-Furanone, dihydro-5-methyl-	21,21
168	Ester	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-	21,21
169	Aldéhyde	2-Ethylacrolein	21,21
170	Composé Azoté	2-Hexanamine, 4-methyl-	21,21
171	Alcool	3-Octanol	21,21
172	Alcool	3-Pentanol	21,21
173	Cétone	3-Pentanone	21,21
174	Ester	Ammonium acetate	21,21
175	Composé Aromatique	Anisole	21,21
176	Composé Aromatique	Benzene, (1-butylheptyl)-	21,21
177	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylpropyl)-	21,21
178	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-2,4-dimethyl-	21,21
179	Composé Aromatique	Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl-	21,21
180	Composé Azoté	Butanenitrile	21,21
181	Ester	Butanoic acid, 3-methyl-, propyl ester	21,21
182	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,3-dimethyl-, cis-	21,21
183	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 3-methyl-	21,21
184	Ester	3-Aminoisobutyric acid, N-methyl-, methyl ester	21,21
185	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	21,21
186	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 2,7,10-trimethyl-	21,21
187	Composé Aromatique	Furan, 2,5-dimethyl-	21,21
188	Acide	Hexanoic acid, 2-methyl-	21,21
189	Composé Azoté	Methenamine	21,21
190	Ester	n-Butyric acid 2-ethylhexyl ester	21,21
191	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 2-methyl-	21,21
192	Ether	Octane, 1,1'-oxybis-	21,21
193	Alcool	p-Cresol	21,21
194	Composé Aromatique	p-Cymene	21,21
195	Ester	Pentanoic acid, 4-methyl-, ethyl ester	21,21
196	Alcool	Phenol, p-tert-butyl-	21,21
197	Alcool	Phenylephrine	21,21

198	Aldéhyde	Propanal	21,21
199	Composé Sulfuré	Propane, 1-(methylthio)-	21,21
200	Ester	Propanoic acid, butyl ester	21,21
201	Composé Azoté	Pyrazine, trimethyl-	21,21
202	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 4-methyl-	21,21
203	Composé Aromatique	1,1'-Biphenyl, 2,2',5,5'-tetramethyl-	18,18
204	Ether	1,4-Dioxane	18,18
205	Composé Aliphatique cyclique	1-Ethylcyclopentene	18,18
206	Composé Aliphatique Linéaire	2,4-Dimethyl-1-heptene	18,18
207	Cétone	2-Butanone	18,18
208	Composé Aromatique	2-Ethyl-2,3-dihydro-1H-indene	18,18
209	Alcool	2-Octanol	18,18
210	Cétone	3-Ethylcyclopentanone	18,18
211	Composé Aliphatique Linéaire	5-Undecene	18,18
212	Composé Azoté	Acetic acid, hydrazide	18,18
213	Cétone	Acetophenone	18,18
214	Composé Aromatique	Benzene, (1-propylonyl)-	18,18
215	Composé Aromatique	Benzene, 1,3-diethyl-5-methyl-	18,18
216	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	18,18
217	Alcool	Benzenemethanol, α -methyl-	18,18
218	Ester	Benzoic acid, 2-ethylhexyl ester	18,18
219	Ester	Butanoic acid, 1-methylbutyl ester	18,18
220	Ester	Butanoic acid, 2-methyl-, 2-methylpropyl ester	18,18
221	Ester	Butanoic acid, 2-methyl-, propyl ester	18,18
222	Ester	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	18,18
223	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1,2,4-trimethyl-	18,18
224	Cétone	Cyclopentanone, 3-methyl-	18,18
225	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2,6,7-trimethyl-	18,18
226	Ester	Glycine, N-(dithiocarboxy)-N-methyl-	18,18
227	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,4-dimethyl-	18,18
228	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 3,3-dimethyl-	18,18
229	Alcool	Methyl Alcohol	18,18
230	Composé Sulfuré	Methyl ethyl disulfide	18,18
231	Composé Aromatique	Naphthalene, 2-methoxy-	18,18
232	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2,6-dimethyl-	18,18
233	Ester	Pentanoic acid, 2,2,4-trimethyl-3-hydroxy-, isobutyl ester	18,18
234	Alcool	Phenol, 4-[2-(methylamino)ethyl]-	18,18
235	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	18,18
236	Composé Azoté	Pyrazine, 2,3-dimethyl-	18,18
237	Composé Azoté	Pyridine, 2,4,6-trimethyl-	18,18
238	Composé Halogéné	Tetrachloroethylene	18,18
239	Ether	Tetrahydrofuran	18,18

240	Composé Sulfuré	Thiophene, 2-pentyl-	18,18
241	Composé Azoté	1-Heptanamine	15,15
242	Composé Aliphatique Linéaire	1-Heptene	15,15
243	Alcool	1-Octanol, 2-butyl-	15,15
244	Alcool	1-Octen-3-ol	15,15
245	Alcool	1-Penten-3-ol	15,15
246	Composé Aliphatique Linéaire	1-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	15,15
247	Aldéhyde	2-Butenal, 2-methyl-	15,15
248	Cétone	2-Heptanone, 6-methyl-	15,15
249	Composé Aliphatique Linéaire	2-Octene	15,15
250	Alcool	2-Pentanol, 3-methyl-	15,15
251	Alcool	2-Propanol, 1-methoxy-	15,15
252	Cétone	2-Undecanone	15,15
253	Composé Aliphatique Linéaire	3-Heptene	15,15
254	Cétone	3-Octen-2-one	15,15
255	Composé Aromatique	Benzene, (1-ethylnonyl)-	15,15
256	Composé Aromatique	Benzene, (1-methyldecyl)-	15,15
257	Composé Aromatique	Benzene, 1-methoxy-4-methyl-	15,15
258	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-2-propyl-	15,15
259	Composé Aromatique	Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl-	15,15
260	Composé Aromatique	Benzene, n-butyl-	15,15
261	Composé Aromatique	Benzene, pentyl-	15,15
262	Composé Aromatique	Benzene, propyl-	15,15
263	Aldéhyde	Butanal, 2-methyl-	15,15
264	Ester	Butanoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester	15,15
265	Composé Aliphatique cyclique	Cyclobutane, (1-methylethylidene)-	15,15
266	Alcool	Cyclobutanol	15,15
267	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	15,15
268	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexene	15,15
269	Composé Azoté	Diazene, dimethyl-	15,15
270	Ester	Dibutyl phthalate	15,15
271	Composé Aromatique	Furan, tetrahydro-2-methyl-	15,15
272	Composé Azoté	Heptanonitrile	15,15
273	Composé Aliphatique cyclique	α -Pinene	15,15
274	Ester	Isobutyl isovalerate	15,15
275	Composé Azoté	Methyl isocyanide	15,15
276	Composé Sulfuré	Methyl isopropyl disulphide	15,15
277	Ester	Methyl propionate	15,15
278	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, 2-methylpropyl ester	15,15
279	Composé Sulfuré	Methyl methanethiosulphonate	15,15
280	Composé Aliphatique Linéaire	Tetracosane	15,15
281	Composé Aromatique	Thiazole	15,15
282	Composé Azoté	Urea, tetramethyl-	15,15

283	Ester	1-Butanol, 3-methyl-, acetate	12,12
284	Ester	1-Butanol, 3-methyl-, propanoate	12,12
285	Composé Azoté	1H-Pyrrole, 2-methyl-	12,12
286	Ester	2(3H)-Furanone, 5-hexyldihydro-	12,12
287	Composé Azoté	2-Butanamine, 3,3-dimethyl-	12,12
288	Alcool	2-Heptanol, 6-methyl-	12,12
289	Composé Aliphatique cyclique	3,5-Dimethylcyclopentene	12,12
290	Cétone	3-Decanone	12,12
291	Alcool	3-Penten-2-ol	12,12
292	Alcool	5-Hepten-2-ol, 6-methyl-	12,12
293	Composé Azoté	Acetamide, 2,2,2-trifluoro-	12,12
294	Composé Azoté	Acetonitrile	12,12
295	Composé Aromatique	Benzene	12,12
296	Composé Aromatique	Benzene, (1-butylnonyl)-	12,12
297	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylethyl)-	12,12
298	Composé Aromatique	Benzene, 1,2-difluoro-	12,12
299	Composé Aromatique	Benzene, 1,3-difluoro-	12,12
300	Composé Sulfuré	Benzyl methyl sulfide	12,12
301	Composé Aliphatique Cyclique	Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	12,12
302	Composé Aliphatique Cyclique	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-	12,12
303	Ester	Butyrolactone	12,12
304	Composé Azoté	Caprolactam	12,12
305	Ester	Carbonic acid, dimethyl ester	12,12
306	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2-diethyl-, cis-	12,12
307	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1-methyl-2-propyl-	12,12
308	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, methyl-	12,12
309	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexene, 1-methyl-	12,12
310	Composé Azoté	Cycluron	12,12
311	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 5-methyl-	12,12
312	Composé Aromatique	Dibenzofuran	12,12
313	Ester	Dimethyl phthalate	12,12
314	Composé Sulfuré	Dimethyl Sulfoxide	12,12
315	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 4,6-dimethyl-	12,12
316	Composé Halogéné	Ethane, 1,2-dichloro-	12,12
317	Ester	Formic acid, heptyl ester	12,12
318	Ester	Formic acid, pentyl ester	12,12
319	Composé Aromatique	Furan, 2-propyl-	12,12
320	Ester	Hexanoic acid, pentyl ester	12,12
321	Ester	Isopropyl myristate	12,12
322	Composé Azoté	l-Alanine ethylamide	12,12
323	Alcool	Levomenthol	12,12
324	Composé Aromatique	Mesitylene	12,12

325	Composé Azoté	Methylamine, N,N-dimethyl-	12,12
326	Composé Azoté	N,N,O-Triacetylhydroxylamine	12,12
327	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-2,6-dimethyl-	12,12
328	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 3-methyl-	12,12
329	Composé Aliphatique cyclique	Pentalene, octahydro-2-methyl-	12,12
330	Aldéhyde	Pentanal	12,12
331	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 2,2,4-trimethyl-	12,12
332	Acide	Pentanoic acid, 3-methyl-	12,12
333	Acide	Pentanoic acid, 4-methyl-	12,12
334	Ester	Pentanoic acid, 4-methyl-, methyl ester	12,12
335	Ester	Propanoic acid, 2-methylpropyl ester	12,12
336	Composé Azoté	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	12,12
337	Composé Azoté	Pyridine, 2-ethyl-	12,12
338	Composé Aliphatique Linéaire	Tetradecane	12,12
339	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 2,2-dimethyl-	12,12
340	Acide	Undecanoic acid	12,12
341	Composé Aliphatique cyclique	1-Ethyl-4-methylcyclohexane	9,09
342	Composé Aliphatique cyclique	1H-Indene, octahydro-	9,09
343	Alcool	1-Octanol	9,09
344	Ester	2(3H)-Furanone, dihydro-5-propyl-	9,09
345	Ether	2,3-Dehydro-1,8-cineole	9,09
346	Cétone	2,6-Di-tert-butyl-4-hydroxy-4-methylcyclohexa-2,5-dien-1-one	9,09
347	Cétone	2-Cyclopenten-1-one	9,09
348	Alcool	2-Heptanol	9,09
349	Cétone	2-Heptanone, 4,6-dimethyl-	9,09
350	Cétone	2-Heptanone, 7,7,7-trichloro-	9,09
351	Cétone	2-Hexanone, 4-methyl-	9,09
352	Cétone	2H-Pyran-2-one, tetrahydro-	9,09
353	Cétone	2-Pentanone	9,09
354	Cétone	2-Piperidinone	9,09
355	Cétone	3-Heptanone	9,09
356	Alcool	3-Hexanol	9,09
357	Cétone	3-Hexanone, 4-methyl-	9,09
358	Cétone	3-Hexen-2-one	9,09
359	Cétone	4-Heptanone	9,09
360	Ester	4-Methylpentyl 4-methylpentanoate	9,09
361	Ester	Acetic acid, hexyl ester	9,09
362	Cétone	Acetone	9,09
363	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylnonyl)-	9,09
364	Composé Aromatique	Benzene, (1-propyloctyl)-	9,09
365	Composé Aromatique	Benzene, 1-chloro-4-(trifluoromethyl)-	9,09
366	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	9,09

367	Alcool	Benzenemethanol, α,α -dimethyl-	9,09
368	Composé Azoté	Benzonitrile	9,09
369	Ester	Bis-(ethoxycarbonyl)methoxymethoxyiminomethane	9,09
370	Ether	Butane, 1-methoxy-3-methyl-	9,09
371	Ester	Butanoic acid, 1-methylpropyl ester	9,09
372	Acide	Butanoic acid, 4-chloro-	9,09
373	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,1,3-trimethyl-	9,09
374	Composé Azoté	Cyclohexane, isocyanato-	9,09
375	Composé Azoté	Cyclohexane, isothiocyanato-	9,09
376	Cétone	Cyclohexanone, 2-methyl-	9,09
377	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1,2-dimethyl-, trans-	9,09
378	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1,3-dimethyl-	9,09
379	Alcool	Cyclopentanol	9,09
380	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentene, 3-ethyl-	9,09
381	Composé Aromatique	Desmethyldoxepin	9,09
382	Ester	Diethyl Phthalate	9,09
383	Composé Azoté	Diethyltoluamide	9,09
384	Composé Sulfuré	Disulfide, methyl propyl	9,09
385	Acide	Alanyl leucine	9,09
386	Acide	Alanyl-l-alanine	9,09
387	Aldéhyde	Dodecanal	9,09
388	Composé Halogéné	Dodecane, 1-iodo-	9,09
389	Composé Aromatique	Furan, 2,3-dihydro-5-methyl-	9,09
390	Composé Aliphatique Linéaire	Hexadecane	9,09
391	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 3-methyl-	9,09
392	Acide	Hexanoic acid	9,09
393	Ester	Hexanoic acid, 2-methylpropyl ester	9,09
394	Ester	Hexanoic acid, methyl ester	9,09
395	Ester	Hexanoic acid, propyl ester	9,09
396	Ester	Linalyl acetate	9,09
397	Composé Aliphatique cyclique	Longifolene	9,09
398	Ester	Methyl thiolacetate	9,09
399	Composé Azoté	n-Hexylmethylamine	9,09
400	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 2,6-dimethyl-	9,09
401	Composé Aliphatique Linéaire	Octane	9,09
402	Composé Halogéné	Octane, 1-chloro-	9,09
403	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2,2,6-trimethyl-	9,09
404	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2-methyl-	9,09
405	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 4-ethyl-	9,09
406	Acide	Octanoic acid	9,09
407	Composé Aliphatique cyclique	Pentalene, octahydro-	9,09
408	Composé Azoté	Pentanenitrile	9,09

409	Ester	Pentanoic acid, 1-methylethyl ester	9,09
410	Ester	Pentanoic acid, 2-methylpropyl ester	9,09
411	Ester	Pentanoic acid, pentyl ester	9,09
412	Alcool	Phenylethyl Alcohol	9,09
413	Ester	Phenylmaleic anhydride	9,09
414	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, 3-methylbutyl ester	9,09
415	Ester	Propanoic acid, pentyl ester	9,09
416	Composé Azoté	Pyrazine, 2,6-dimethyl-	9,09
417	Composé Azoté	Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	9,09
418	Composé Azoté	Pyrazine, tetramethyl-	9,09
419	Composé Azoté	Pyridine, 5-ethenyl-2-methyl-	9,09
420	Cétone	Spiro[3.6]deca-5,7-dien-1-one,5,9,9-trimethyl	9,09
421	Composé Sulfuré	Thiophene, 3-methyl-	9,09
422	Composé Aliphatique cyclique	trans-1,3-Diethylcyclopentane	9,09
423	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 3-methyl-	9,09
424	Alcool	(R)-(-)-3-Methyl-2-butanol	6,06
425	Composé Azoté	(S)-(+)-1-Cyclohexylethylamine	6,06
426	Composé Sulfuré	1,2,4-Trithiolane	6,06
427	Composé Aromatique	1,3,5-Trifluorobenzene	6,06
428	Ether	1,4-Dioxin, 2,3-dihydro-	6,06
429	Alcool	1-Butanol	6,06
430	Alcool	1-Butanol, 2,3-dimethyl-	6,06
431	Alcool	1-Dodecanol	6,06
432	Alcool	1-Hexanol, 2-ethyl-	6,06
433	Composé Aromatique	1H-Indene, 1-ethylidene-	6,06
434	Composé Aliphatique cyclique	1H-Indene, octahydro-, cis-	6,06
435	Composé Aliphatique cyclique	1H-Indene, octahydro-, trans-	6,06
436	Composé Aliphatique cyclique	1H-Indene, octahydro-5-methyl-	6,06
437	Composé Azoté	1H-Pyrrole, 1-methyl-	6,06
438	Composé Halogéné	1-Iodo-2-methylundecane	6,06
439	Composé Aromatique	1-Methyldecahydronaphthalene	6,06
440	Composé Aliphatique Linéaire	1-Nonene	6,06
441	Composé Aliphatique Linéaire	1-Octene	6,06
442	Alcool	1-Pentanol, 2-ethyl-4-methyl-	6,06
443	Alcool	1-Propanol, 2-amino-, (±)-	6,06
444	Ester	2(3H)-Furanone, 5-ethyl-dihydro-5-methyl-	6,06
445	Ether	2,2-Dimethoxybutane	6,06
446	Alcool	2,4-Dimethyl-4-penten-2-ol	6,06
447	Composé Aliphatique cyclique	2,6-Dimethylbicyclo[3.2.1]octane	6,06
448	Alcool	2-Amino-1,3-propanediol	6,06
449	Cétone	2-Butanone, 3,3-dimethyl-	6,06
450	Composé Azoté	2-Butynedinitrile	6,06
451	Composé Aliphatique Linéaire	2-Octene, 4-ethyl-	6,06

452	Alcool	2-Propanol, 1-butoxy-	6,06
453	Composé Aromatique	3,4-dimethylfuran	6,06
454	Cétone	3,4-Hexanedione, 2,2,5-trimethyl-	6,06
455	Cétone	3-Hexanone, 2-methyl-	6,06
456	Alcool	3-Octanol, 3,7-dimethyl-	6,06
457	Composé Aliphatique Linéaire	4-Dodecene	6,06
458	Cétone	4-Nonanone	6,06
459	Cétone	6-Methyl-3,5-heptadiene-2-one	6,06
460	Composé Azoté	6-Thiopyrazolo[3,4-d]pyrimidin-4,6(5H,7H)-dione-3-carboxamide	6,06
461	Ester	Acetic acid, anhydride with formic acid	6,06
462	Cétone	Acetoin	6,06
463	Composé Azoté	Acetonitrile, hydroxy-	6,06
464	Composé Aromatique	Benzene, (1-butylhexyl)-	6,06
465	Composé Aromatique	Benzene, (1-pentylhexyl)-	6,06
466	Composé Aromatique	Benzene, (1-pentyl-octyl)-	6,06
467	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl-	6,06
468	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,3-trimethyl-	6,06
469	Composé Aromatique	Benzene, 1,3-dimethyl-	6,06
470	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-3,5-dimethyl-	6,06
471	Composé Aromatique	Benzene, 4-ethenyl-1,2-dimethyl-	6,06
472	Composé Aromatique	Benzene, tert-butyl-	6,06
473	Aldéhyde	Benzeneacetaldehyde	6,06
474	Ester	Benzoic acid, 4-ethoxy-, ethyl ester	6,06
475	Composé Aromatique	Benzothiazole	6,06
476	Alcool	Benzyl alcohol	6,06
477	Ester	Butanoic acid, 2-methyl-, 3-methylbutyl ester	6,06
478	Ester	Butanoic acid, 3-methyl-, 2-methylbutyl ester	6,06
479	Ester	Butanoic acid, 3-methyl-, 3-methylbutyl ester	6,06
480	Ester	Carbamic acid, N-[1,1-bis(trifluoromethyl)ethyl]-, 4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenyl ester	6,06
481	Composé Sulfuré	Carbonyl sulfide	6,06
482	Alcool	cis-3-Methylcyclohexanol	6,06
483	Composé Aliphatique cyclique	cis-Decalin, 2-syn-methyl-	6,06
484	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, (1-methylpropyl)-	6,06
485	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2,4-trimethyl-, (1 α ,2 β ,4 β)-	6,06
486	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,3-dimethyl-, trans-	6,06
487	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,4-dimethyl-	6,06
488	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1-ethyl-2-methyl-	6,06
489	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1-ethyl-4-methyl-, cis-	6,06
490	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, butyl-	6,06
491	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, methylene-	6,06
492	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, pentyl-	6,06

493	Alcool	Cyclohexanol, 2-methyl-, cis-	6,06
494	Cétone	Cyclohexanone, 4-ethyl-	6,06
495	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexene, 4-(1,1-dimethylethyl)-	6,06
496	Composé Azoté	Cyclohexylamine	6,06
497	Composé Aliphatique cyclique	Cyclooctane, 1,4-dimethyl-, trans-	6,06
498	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1,2-dimethyl-3-(1-methylethyl)-	6,06
499	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1-ethyl-2-methyl-, cis-	6,06
500	Cétone	Cyclopentanone, 2-ethyl-	6,06
501	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentene, 4,4-dimethyl-	6,06
502	Aldéhyde	Decanal	6,06
503	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2,9-dimethyl-	6,06
504	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 3,7-dimethyl-	6,06
505	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 4-methyl-	6,06
506	Composé Aliphatique cyclique	Dicyclopentadiene	6,06
507	Ester	Dinocap	6,06
508	Composé Aromatique	Diphenyl ether	6,06
509	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	6,06
510	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 2-methyl-	6,06
511	Composé Azoté	Ethane, nitro-	6,06
512	Alcool	Ethanol, 2,2-dichloro-	6,06
513	Ester	Ethyl Acetate	6,06
514	Ether	Eucalyptol	6,06
515	Cétone	Fenchone	6,06
516	Aldéhyde	Formaldehyde	6,06
517	Ester	Formic acid, octyl ester	6,06
518	Ester	Formic acid, propyl ester	6,06
519	Composé Aromatique	Furan, 2,3,5-trimethyl-	6,06
520	Composé Aromatique	Furan, 2-ethyl-5-methyl-	6,06
521	Aldéhyde	Furfural	6,06
522	Composé Aliphatique Linéaire	Heptadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	6,06
523	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,3-dimethyl-	6,06
524	Composé Sulfuré	Hexane, 1-(methylthio)-	6,06
525	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,2-dimethyl-	6,06
526	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 3,4-bis(1,1-dimethylethyl)-2,2,5,5-tetramethyl-	6,06
527	Cétone	α -Isomethyl ionone	6,06
528	Composé Aromatique	α -Methylstyrene	6,06
529	Composé Azoté	Indole	6,06
530	Composé Aromatique	Isothiazole	6,06
531	Ester	l-Leucine, n-butoxycarbonyl-N-methyl-, undecyl ester	6,06
532	Ester	Methanesulfonic acid, methyl ester	6,06
533	Composé Aliphatique Cyclique	Naphthalene, decahydro-, trans-	6,06
534	Composé Azoté	N-Dodecylmethylamine	6,06

535	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 3,7-dimethyl-	6,06
536	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 5-methyl-	6,06
537	Aldéhyde	Octanal	6,06
538	Composé Aliphatique Linéaire	Pentadecane	6,06
539	Composé Halogéné	Pentane, 1-chloro-	6,06
540	Composé Halogéné	Pentane, 1-iodo-	6,06
541	Ester	Pentanoic acid, 2-ethylhexyl ester	6,06
542	Alcool	Phenol, 2-(1,1-dimethylethyl)-	6,06
543	Composé Aromatique	Phenylethyne	6,06
544	Composé Sulfuré	Propane, 2-(methylthio)-	6,06
545	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester	6,06
546	Composé Azoté	Pyrimidine, 4-methyl-	6,06
547	Composé Azoté	Quinoline, 2,4-dimethyl-	6,06
548	Cétone	Thujone	6,06
549	Composé Aromatique	Toluene	6,06
550	Composé Aliphatique Linéaire	Tridecane, 3-methyl-	6,06
551	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 4,7-dimethyl-	6,06
552	Alcool	(7a-Isopropenyl-4,5-dimethyloctahydroinden-4-yl)methanol	3,03
553	Cétone	(R)-(+)-3-Methylcyclopentanone	3,03
554	Composé Aromatique	(R)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]-3-methyl-3,4-dihydro-2H-benzo[b][1,4,5]oxathiazepine 1,1-dioxide	3,03
555	Composé Aromatique	(S)-9-[(S)-2-(Hydroxymethyl)pyrrolidin-1-yl]-3-methyl-3,4-dihydro-2H-benzo[b][1,4,5]oxathiazepine 1,1-dioxide	3,03
556	Composé Aliphatique Linéaire	(Z)-3-Heptene	3,03
557	Composé Aromatique	1,1'-Biphenyl, 4-methyl-	3,03
558	Composé Aliphatique Cyclique	1,2,4-Metheno-1H-cyclobuta[cd]pentalene, octahydro-	3,03
559	Composé Aromatique	1,2,5-Thiadiazole, 3-methyl-	3,03
560	Acide	1,2-Benzenedicarboxylic acid	3,03
561	Composé Aromatique	1,2-Benzisothiazole	3,03
562	Alcool	1,2-Ethanediol, 1,2-diphenyl-, [R-(R*,R*)]-	3,03
563	Ether	1,3,6-Trioxocane	3,03
564	Composé Azoté	1,3-Diazine	3,03
565	Ether	1,3-Dioxolane, 2,2-dimethyl-	3,03
566	Composé Aliphatique Linéaire	1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-	3,03
567	Composé Sulfuré	1,3-Oxathiane	3,03
568	Composé Aliphatique Linéaire	1,3-Pentadiene, 2,3-dimethyl-	3,03
569	Composé Aliphatique cyclique	1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-	3,03
570	Composé Aliphatique Linéaire	1,4-Heptadiene	3,03
571	Composé Aliphatique cyclique	1,7-Dimethyl-4-(1-methylethyl)cyclodecane	3,03
572	Composé Azoté	1-[6,8-Dichloro-2-phenyl-4-quinolyl]hexahydro-3H-oxazolo[3,4-a]pyridine	3,03

573	Acide	12-Methylaminolauric acid	3,03
574	Ether	1-Butanol, 2-methyl-, acetate	3,03
575	Composé Aliphatique Linéaire	1-Docosene	3,03
576	Composé Aliphatique cyclique	1-Ethyl-3-methylcyclohexane (c,t)	3,03
577	Alcool	1-Hepten-3-ol	3,03
578	Cétone	1-Hepten-3-one	3,03
579	Alcool	1-Hexadecanol	3,03
580	Composé Aliphatique Linéaire	1-Hexene, 3,3-dimethyl-	3,03
581	Composé Aromatique	1H-Indene, 2,3-dihydro-5-methyl-	3,03
582	Composé Azoté	1-Methyldodecylamine	3,03
583	Cétone	1-Octen-3-one	3,03
584	Composé Aliphatique Linéaire	1-Octene, 3,7-dimethyl-	3,03
585	Alcool	1-Pentanol, 2-methyl-	3,03
586	Cétone	1-Penten-3-one	3,03
587	Composé Aliphatique Linéaire	1-Pentene, 2,4-dimethyl-	3,03
588	Alcool	1-Propanol, 2-(2-hydroxypropoxy)-	3,03
589	Alcool	1-Propanol, 2,2'-oxybis-	3,03
590	Cétone	1-Propanone, 1-(2-furanyl)-	3,03
591	Cétone	1-Propanone, 1-(5-methyl-2-furanyl)-	3,03
592	Composé Aliphatique Linéaire	1-Tetradecene	3,03
593	Ester	2(3H)-Furanone, 5-butyldihydro-	3,03
594	Ester	2(3H)-Furanone, 5-ethyldihydro-3-methyl-	3,03
595	Ester	2(3H)-Furanone, dihydro-4,5-dimethyl-	3,03
596	Ester	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	3,03
597	Composé Azoté	2,3,5-Trimethyl-6-ethylpyrazine	3,03
598	Alcool	2,3-Butanediol, [S-(R*,R*)]-	3,03
599	Composé Aliphatique Linéaire	2,3-Dimethyl-1-hexene	3,03
600	Cétone	2,3-Hexanedione	3,03
601	Cétone	2,3-Pentanedione	3,03
602	Composé Aromatique	2,4-Dimethylfuran	3,03
603	Cétone	2-Butylcyclopentanone	3,03
604	Alcool	2-Chloroethanol	3,03
605	Composé Halogéné	2-Cyano-2-O-fluorosulfatofluoropropane	3,03
606	Cétone	2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	3,03
607	Cétone	2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	3,03
608	Alcool	2-Dodecanol	3,03
609	Ester	2-Ethylhexyl 2-ethylhexanoate	3,03
610	Aldéhyde	2-Ethyl-trans-2-butenal	3,03
611	Cétone	2-Heptanone, 3-methyl-	3,03
612	Cétone	2-Hepten-4-one, 2-methyl-	3,03
613	Aldéhyde	2-Heptenal	3,03
614	Aldéhyde	2-Heptenal, 2-methyl-	3,03

615	Alcool	2-Hexanol, 5-methyl-	3,03
616	Cétone	2-Hexanone	3,03
617	Cétone	2-Hexanone, 3,4-dimethyl-	3,03
618	Cétone	2-Hexanone, 3-methyl-	3,03
619	Composé Azoté	2-Isopropylpyrazine	3,03
620	Alcool	2-Methyl-1-hexanol	3,03
621	Alcool	2-Methyl-6-(p-tolyl)hept-2-en-4-ol	3,03
622	Composé Azoté	2-n-Heptylfuran	3,03
623	Alcool	2-Nitro-2-methyl-1,3-propanediol	3,03
624	Alcool	2-Pentanol, 2-methyl-	3,03
625	Ester	2-Pentanol, acetate	3,03
626	Cétone	2-Pentanone, 5-hydroxy-	3,03
627	Alcool	2-Penten-1-ol	3,03
628	Composé Azoté	2-Propanamine, N,N'-methanetetraylbis-	3,03
629	Acide	2-Propenoic acid, 2-methyl-	3,03
630	Composé Azoté	2-Pyrazoline, 1-isobutyl-3-methyl-	3,03
631	Ester	2-Thiophenecarboxylic acid, 4-nitrophenyl ester	3,03
632	Composé Sulfuré	2-Undecanethiol, 2-methyl-	3,03
633	Acide	3-(6-Methylpyridin-2-yl)prop-2-enoic acid	3,03
634	Alcool	3,5-Dithiahexanol 5,5-dioxide	3,03
635	Alcool	3-Buten-1-ol, 3-methyl-	3,03
636	Alcool	3-Buten-2-ol, 2-methyl-	3,03
637	Composé Aliphatique Linéaire	3-Decene, 2,2-dimethyl-	3,03
638	Alcool	3-Ethoxy-2-bromo-1-propanol	3,03
639	Composé Aliphatique Linéaire	3-Ethyl-3-methylheptane	3,03
640	Aldéhyde	3-Furaldehyde	3,03
641	Alcool	3-Hexanol, 5-methyl-	3,03
642	Composé Azoté	3-Methoxyamphetamine	3,03
643	Ester	3-Methoxybenzoic acid, 2,4,6-trichlorophenyl ester	3,03
644	Ester	3-Methylcyclopentyl acetate	3,03
645	Cétone	3-Pentanone, 2,2,4,4-tetramethyl-	3,03
646	Cétone	3-Penten-2-one	3,03
647	Cétone	3-Penten-2-one, 4-methyl-	3,03
648	Cétone	4,4-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	3,03
649	Composé Aromatique	4b,8-Dimethyl-2-isopropylphenanthrene, 4b,5,6,7,8,8a,9,10-octahydro-	3,03
650	Alcool	4-Heptanol	3,03
651	Cétone	4-Heptanone, 3-methyl-	3,03
652	Alcool	4-Hexyn-3-ol	3,03
653	Alcool	4-Methyl-2-hexanol	3,03
654	Composé Aliphatique Linéaire	4-Nonene	3,03
655	Aldéhyde	4-Oxohex-2-enal	3,03
656	Cétone	4-Penten-2-one, 4-methyl-	3,03

657	Aldéhyde	4-Pentenal, 2-methyl-	3,03
658	Composé Aromatique	5,6,7,8,9,10-Hexahydrobenzocyclooctene	3,03
659	Cétone	5-Decanone	3,03
660	Cétone	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	3,03
661	Cétone	6-Methyl-bicyclo[4.2.0]octan-7-one	3,03
662	Ester	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	3,03
663	Ester	(±)-β,β-Dimethyl-γ-(hydroxy-methyl)-γ-butyrolactone	3,03
664	Composé Azoté	Acetamide, 2,2-dichloro-	3,03
665	Acide	Acetic acid	3,03
666	Ester	Acetic acid, hydroxy-, ethyl ester	3,03
667	Ester	Acetic acid, methoxy-, anhydride	3,03
668	Ester	Acetic acid, phenylmethyl ester	3,03
669	Ester	Acetic anhydride	3,03
670	Composé Aliphatique cyclique	Adamantane	3,03
671	Acide	Alanine	3,03
672	Acide	Allantoic acid	3,03
673	Alcool	Amylene hydrate	3,03
674	Composé Azoté	Aniline	3,03
675	Aldéhyde	Benzaldehyde	3,03
676	Composé Azoté	Benzenamine, 2-(2,4,5-trichlorophenylsulfonylamino)-5-methyl-	3,03
677	Composé Aromatique	Benzene, (1-methylundecyl)-	3,03
678	Composé Aromatique	Benzene, (2-methyl-2-propenyl)-	3,03
679	Composé Aromatique	Benzene, 1,1'-(1,2-cyclobutanediyl)bis-, cis-	3,03
680	Composé Aromatique	Benzene, 1,2,3,5-tetrafluoro-	3,03
681	Composé Aromatique	Benzene, 1,2-diethyl-	3,03
682	Composé Aromatique	Benzene, 1,4-dichloro-	3,03
683	Composé Aromatique	Benzene, 1,4-diethyl-	3,03
684	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	3,03
685	Composé Aromatique	Benzene, 1-ethynyl-4-methyl-	3,03
686	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	3,03
687	Composé Aromatique	Benzene, 1-methyl-4-(2-methylpropyl)-	3,03
688	Composé Aromatique	Benzene, 3-cyclohexen-1-yl-	3,03
689	Composé Aromatique	Benzene, fluoro-	3,03
690	Composé Azoté	Benzenethanamine, 2-fluoro-β, 3-dihydroxy-N-methyl-	3,03
691	Alcool	Benzenemethanol, α,α,4-trimethyl-	3,03
692	Ester	Benzoic acid, methyl ester	3,03
693	Composé Aliphatique cyclique	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1R)-	3,03
694	Composé Aliphatique cyclique	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	3,03
695	Composé Halogéné	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2-chloro-2,3,3-trimethyl-	3,03

696	Composé Aliphatique cyclique	Bicyclo[2.2.1]heptane, 2-ethyl-	3,03
697	Composé Aliphatique cyclique	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	3,03
698	Aldéhyde	Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-carboxaldehyde, 6,6-dimethyl-	3,03
699	Composé Aliphatique cyclique	Bicyclo[3.1.1]heptan-3-ol, 6,6-dimethyl-2-methylene-, [1S-(1 α ,3 α ,5 α)]-	3,03
700	Composé Aliphatique Linéaire	Butane, 2,2,3,3-tetramethyl-	3,03
701	Ester	Butanoic acid, 1-methylhexyl ester	3,03
702	Ester	Butanoic acid, 2-methylbutyl ester	3,03
703	Ester	Butanoic acid, heptyl ester	3,03
704	Ester	Butanoic acid, pentyl ester	3,03
705	Ester	Butyl benzoate	3,03
706	Composé Azoté	Carbohydrazide	3,03
707	Composé Sulfuré	Carbon disulfide	3,03
708	Composé Sulfuré	Chloromethylmethyl sulfide	3,03
709	Composé Aliphatique cyclique	cis-1-Ethyl-3-methyl-cyclohexane	3,03
710	Composé Aliphatique cyclique	Cyclobuta[1,2:3,4]dicyclopentene, 1,3a,3b,4,6a,6b-hexahydro-	3,03
711	Composé Aliphatique cyclique	Cyclodocosane, ethyl-	3,03
712	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, (1-methylethyl)-	3,03
713	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, [6-cyclopentyl-3-(3-cyclopentylpropyl)hexyl]-	3,03
714	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2,3-trimethyl-	3,03
715	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2,3-trimethyl-, (1 α ,2 β ,3 α)-	3,03
716	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2-dimethyl- (cis/trans)	3,03
717	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,2-dimethyl-, cis-	3,03
718	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,3-dimethyl-	3,03
719	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1,4-dimethyl-, cis-	3,03
720	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1-ethyl-1-methyl-	3,03
721	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 1-ethyl-2,3-dimethyl-	3,03
722	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 2,4-diethyl-1-methyl-	3,03
723	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 2-propenyl-	3,03
724	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexane, 3-ethyl-5-methyl-1-propyl-	3,03
725	Alcool	Cyclohexanol	3,03
726	Cétone	Cyclohexanone, 3-methyl-	3,03
727	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexene, 3-methyl-	3,03
728	Composé Aliphatique cyclique	Cyclohexene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	3,03
729	Composé Aliphatique cyclique	Cyclooctane, ethyl-	3,03
730	Composé Aliphatique cyclique	Cyclooctane, methyl-	3,03
731	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1,2,4-trimethyl-, (1 α ,2 α ,4 β)-	3,03
732	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	3,03
733	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, 2-isopropyl-1,3-dimethyl-	3,03
734	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopentane, butyl-	3,03

735	Cétone	Cyclopentanone, 3-butyl-	3,03
736	Composé Aliphatique cyclique	Cyclopropane, 1,2-dimethyl-3-pentyl-, (1 α ,2 α ,3 α)-	3,03
737	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2,5,9-trimethyl-	3,03
738	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 2,6,8-trimethyl-	3,03
739	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 3,6-dimethyl-	3,03
740	Composé Aliphatique Linéaire	Decane, 3,8-dimethyl-	3,03
741	Ester	Diethyl azodicarboxylate	3,03
742	Composé Sulfuré	Dimethyl sulfide	3,03
743	Composé Azoté	Dimethylamine	3,03
744	Composé Sulfuré	Disulfide, isopentyl methyl	3,03
745	Alcool	Phenylephrine	3,03
746	Composé Aliphatique Linéaire	Dodecane, 6-methyl-	3,03
747	Alcool	Erythro-2-methyl-3,4-dibromo-2-butanol	3,03
748	Composé Halogéné	Ethane, 1,1,1-trifluoro-	3,03
749	Composé Azoté	Ethanediamide	3,03
750	Alcool	Ethanol	3,03
751	Alcool	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	3,03
752	Alcool	Ethanol, 2-(methylthio)-	3,03
753	Alcool	Ethanol, 2-fluoro-	3,03
754	Cétone	Ethanone, 1-(1-methylcyclohexyl)-	3,03
755	Cétone	Ethanone, 1,1'-(1,4-phenylene)bis-	3,03
756	Composé Sulfuré	Ethyl methanesulfinate	3,03
757	Acide	Formic acid	3,03
758	Ester	Formic acid, 2-methylpropyl ester	3,03
759	Ester	Formic acid, hexyl ester	3,03
760	Ether	Furan, 2-(dichloromethyl)-tetrahydro-	3,03
761	Composé Aromatique	Furan, 2,3-dihydro-	3,03
762	Aldéhyde	Glycolaldehyde dimer	3,03
763	Alcool	Heptacosan-9-ol	3,03
764	Composé Aliphatique Linéaire	Heptadecane	3,03
765	Composé Aliphatique Linéaire	Heptadecane, 2,6,10,15-tetramethyl-	3,03
766	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane	3,03
767	Composé Sulfuré	Heptane, 1-(methylthio)-	3,03
768	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 2,4,6-trimethyl-	3,03
769	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 3,5-dimethyl-	3,03
770	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 3-ethyl-2-methyl-	3,03
771	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 3-ethyl-5-methyl-	3,03
772	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 3-methyl-	3,03
773	Composé Aliphatique Linéaire	Heptane, 4-methyl-	3,03
774	Composé Aliphatique cyclique	Heptylcyclohexane	3,03
775	Aldéhyde	Hexadecanal	3,03
776	Ester	Hexadecanoic acid, 1,1-dimethylethyl ester	3,03

777	Aldéhyde	Hexanal	3,03
778	Composé Halogéné	Hexane, 1-chloro-	3,03
779	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,2,4-trimethyl-	3,03
780	Composé Aliphatique Linéaire	Hexane, 2,4,4-trimethyl-	3,03
781	Composé Azoté	Hexane, 2-nitro-	3,03
782	Ester	Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	3,03
783	Ester	Hexanoic acid, butyl ester	3,03
784	Ester	Homosalate	3,03
785	Composé Azoté	Hydrazinecarboxamide	3,03
786	Composé Azoté	Hydrogen isocyanate	3,03
787	Composé Aliphatique cyclique	β -Pinene	3,03
788	Composé Aromatique	Indene	3,03
789	Alcool	Isopropyl Alcohol	3,03
790	Composé Aliphatique cyclique	Limonene	3,03
791	Composé Azoté	Methane, isothiocyanato-	3,03
792	Ester	Methanesulfonic acid, ethyl ester	3,03
793	Composé Sulfuré	Methyl n-butyl disulfide	3,03
794	Composé Sulfuré	Methyl sec-butyl disulphide	3,03
795	Composé Azoté	N,N-Dimethylacetamide	3,03
796	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-5,6-dimethyl-	3,03
797	Composé Aromatique	Naphthalene, 1,7-dimethyl-	3,03
798	Composé Aromatique	Naphthalene, 2,7-dimethyl-	3,03
799	Composé Aromatique	Naphtho[2,1-b]furan	3,03
800	Acide	n-Decanoic acid	3,03
801	Composé Azoté	N- α ,N- ω -Di-cbz-L-arginine	3,03
802	Composé Azoté	Nitrous oxide	3,03
803	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane	3,03
804	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethyl-	3,03
805	Composé Aliphatique Linéaire	Nonane, 2,5-dimethyl-	3,03
806	Acide	Nonanoic acid	3,03
807	Composé Aliphatique Linéaire	Octadecane, 6-methyl-	3,03
808	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 2,5-dimethyl-	3,03
809	Composé Aliphatique Linéaire	Octane, 3-ethyl-	3,03
810	Composé Azoté	Octodrine	3,03
811	Ester	ortho tert-Butyl cyclohexyl acetate	3,03
812	Composé Azoté	o-Toluylamide, N-(2-phenylethyl)-N-propyl-	3,03
813	Ether	Oxepine, 2,7-dimethyl-	3,03
814	Composé Aromatique	p-Aminotoluene	3,03
815	Ester	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	3,03
816	Composé Aliphatique cyclique	Pentalene, octahydro-, cis-	3,03
817	Composé Aliphatique Linéaire	Pentane, 3-ethyl-	3,03
818	Acide	Pentanoic acid, 2-methyl-	3,03
819	Ester	Pentanoic acid, 4-methyl-, pentyl ester	3,03

820	Ester	Pentanoic acid, butyl ester	3,03
821	Alcool	Phenol	3,03
822	Alcool	Phenol, 2,4,6-tri-tert-butyl-	3,03
823	Alcool	Phenol, 4-ethyl-	3,03
824	Ester	Phthalic anhydride	3,03
825	Cétone	Pinocarvone	3,03
826	Composé Halogéné	Propane, 1,3-dichloro-	3,03
827	Composé Halogéné	Propane, 2-iodo-	3,03
828	Composé Azoté	Propanedinitrile, cyclohexyl(2-methylcyclohexyl)-	3,03
829	Acide	Propanedioic acid, propyl-	3,03
830	Ester	Propanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester	3,03
831	Composé Aliphatique Linéaire	Propene	3,03
832	Composé Azoté	Pyrazine, 2-methoxy-3-(1-methylethyl)-	3,03
833	Composé Azoté	Pyrazine, 2-methoxy-3-(2-methylpropyl)-	3,03
834	Composé Azoté	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	3,03
835	Composé Azoté	Pyridine, 2,3,4,5-tetrahydro-	3,03
836	Composé Azoté	Pyridine, 2-ethyl-4,6-dimethyl-	3,03
837	Composé Azoté	Pyridine, 2-propyl-	3,03
838	Composé Azoté	Pyridine, 3,4-dimethyl-	3,03
839	Composé Azoté	Pyridine, 3-ethyl-	3,03
840	Composé Azoté	Pyridine, 3-methyl-	3,03
841	Composé Aliphatique Linéaire	Supraene	3,03
842	Composé Azoté	Tetrafluoroisophthalonitrile	3,03
843	Composé Aromatique	Thiazole, 2,4-dimethyl-	3,03
844	Composé Sulfuré	Thiophene, 2-ethyl-	3,03
845	Composé Sulfuré	Thiophene, 2-ethyl-5-propyl-	3,03
846	Composé Aliphatique cyclique	trans-1,2-Diethyl cyclopentane	3,03
847	Alcool	trans-3-Caren-2-ol	3,03
848	Composé Aliphatique cyclique	Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7,7-trimethyl-	3,03
849	Aldéhyde	Tridecanal	3,03
850	Composé Sulfuré	Trisulfide, methyl propyl	3,03
851	Aldéhyde	Undecanal	3,03
852	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 3,8-dimethyl-	3,03
853	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 3-methylene-	3,03
854	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 5-methyl-	3,03
855	Composé Aliphatique Linéaire	Undecane, 6-methyl-	3,03

BIBLIOGRAPHIE

- Ahad, F., & Ganie, S. A. (2010). Iodine, Iodine metabolism and Iodine deficiency disorders revisited. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, *14*(1), 13-17.
- Aschroft, A. E. (1997). *Ionization Methods in Organic Mass Spectrometry*. The Royal Society of Chemistry.
- Ashley, D. L., Bonin, M. A., Cardinali, F. L., McCraw, J. M., & Wooten, J. V. (1996). Measurement of Volatile Organic Compounds in Human Blood. *Environmental Health Perspectives*, *10*, 871-877.
- Awad, H., Khamis, M. M., & El-Aneed, A. (2015). Mass Spectrometry, Review of the Basics: Ionization. *Applied Spectroscopy Reviews*, *50*, 158-175.
- Beauthier, V., Sanghavi, S., Roulot, E., & Hardy, P. (2010). Humeral head osteonecrosis following arthroscopic rotator cuff repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, *18*(10). <https://doi.org/10.1007/s00167-009-1016-5>
- Boaks, A., Siwek, D., & Mortazavi, F. (2014). The temporal degradation of bone collagen: A histochemical approach. *Forensic Science International*, *240*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.04.008>
- Browne, C., Stafford, K., & Fordham, R. (2006). the use of scent-detection dogs. *Irish Veterinary* *59*(2).
- Buis, R. C. (2016). *The validation of human decomposition fluid as a cadaver-detection dog training aid* [University of Technology]. Sydney.
- Cablk, M. E., Szelagowski, E. E., & Sagebiel, J. C. (2012). Characterization of the volatile organic compounds present in the headspace of decomposing animal remains, and compared with human remains. *Forensic Science International*. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.02.007>
- Campobasso, C. P., Di Vella, G., & Introna, F. (2001). Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Science International*, *18*(27).
- Cappas, V. M., Davenport, E. R., & Sykes, D. G. (2022). The Microbiome and Volatile Organic Compounds Reflect the State of Decomposition in an Indoor Environment. <https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2022.05.18.492585>

- Carter, D. O., & Tibbett, M. (2008). Cadaver Decomposition and Soil: Processes. In *Soil Analysis in Forensic Science* (pp. 29-51). Taylor & Francis Group.
- Carter, D. O., Yellowlees, D., & Tibbette, M. (2006). Cadaver Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *Naturwissenschaften*, 94. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0159-1>
- Charlier, C. (2012). Vers une meilleure caractérisation des étapes de décomposition cadavérique. *CHU de Liège*, 11.
- Cho, H. I. K., Cho, H. L., Hwang, T. H., Wang, T. H., & Cho, H. (2015). Rapidly progressive osteonecrosis of the humeral head after arthroscopic bankart and rotator cuff repair in a 66-year old woman: a case report. *Clinics in Shoulder and Elbow*, 18, 167-171. <https://doi.org/https://doi.org/10.5397/cise.2015.18.3.167>
- Clark, M. A., Worrell, M. B., & Pless, J. E. (1997). Postmortem Changes in Soft tissues. In *Forensic Taphonomy: The postmortem fate of human remains* (pp. 151-164).
- Clases, D., Ueland, M., Gonzalez de Vega, R., Doble, P., & Profrock, D. (2021). Quantitative speciation of volatile sulphur compounds from human cadavers by GC-ICP-MS. *Talanta* 221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121424>
- Coard, R. (1999). One Bone, Two Bones, Wet Bones, Dry Bones: Transport Potentials Under Experimental Conditions. *Journal of Archaeological Science*, 26, 1369–1375.
- Cockle, D. L. (2013). *Human Decomposition and the Factors that Affect it: A Retrospective Study of Death Scenes in Canada* [Simon Fraser].
- Cockle, D. L., & Bell, L. S. (2016). The environmental variables that impact human decomposition in terrestrially exposed contexts within Canada. *Science & Justice*. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2016.11.001>
- Collins, M. J., Nielsen-Marsh, C. M., Hiller, J., Smith, C. I., Roberts, J. P., Prigodich, R. V., Wess, T. J., CSAPÒ, J., Millard, A. R., & Turner-Walker, G. (2002). The survival of Organic Matter in Bone: A review. *Archaeometry*, 44(3).
- Cox, M., & Mays, S. (2000). The Chemical Degradation of Bone. In C. U. Press (Ed.), *Human Osteology : In Archaeology and Forensic Science*.
- Currey, J. D. (2006). The Structure of Bone Tissue. In P. U. Press (Ed.), *Bones : Structures and Mechanics*.

- Damann, F. E., Williams, D. E., & Layton, A. C. (2015). Potential Use of Bacterial Community Succession in Decaying Human Bone for Estimating Postmortem Interval. *Journal of Forensic Sciences*, 60(4). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12744>
- Daneshkhah, A., Siegela, A. P., & Agarwala, M. (2020). Volatile organic compounds: Potential biomarkers for improved diagnosis and monitoring of diabetic wounds. In *Wound Healing, Tissue Repair, and Regeneration in Diabetes* (pp. 491-512). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816413-6.00023-X>
- Dargan, R. (2020). Cadaver-detection dogs: A review of their capabilities and the volatile organic compound profile of their associated training aids. *Wires Forensic Science* 3(6). <https://doi.org/10.1002/wfs2.1409>
- Dargan, R. (2022). *Comparing the decomposition odour between cadavers and human remains used as a cadaver detection dog training aids* [Université du Québec à Trois-Rivières].
- Dargan, R., Samson, C., Burr, W. S., Daoust, B., & Forbes, S. L. (2022). Validating the Use of Amputated Limbs Used as Cadaver Detection Dog Training Aids. *Frontiers in Analytical Science*. <https://doi.org/10.3389/frans.2022.934639>
- Dawson, B. M., Barton, P. S., & Wallman, J. F. (2020). Contrasting insect activity and decomposition of pigs and humans in an Australian environment: A preliminary study. *Forensic Science International*, 316. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110515>
- DeGreeff, L. E., Weakley-Jones, B., & Furton, K. G. (2012). Creation of training aids for human remains detection canines utilizing a non-contact, dynamic airflow volatile concentration technique. *Forensic Science International*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.09.023>
- Dekeirsschieter, J., Stefanuto, P.-H., Brasseur, C., Haubruge, E., & Focant, J.-F. (2012). Enhanced Characterization of the Smell of Death by Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography Time-of-Flight Mass Spectrometry (GCxGC-TOFMS). *PLOS ONE*, 7(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039005>
- Dekeirsschieter, J., Verheggen, F. J., Gohy, M., Hubrecht, F., Bourguignon, L., Lognay, G., & Haubruge, E. (2009). Cadaveric volatile organic compounds released by decaying pig carcasses (*Sus domesticus* L.) in different biotopes. *Forensic Science International*. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.03.034>
- Dent, B. B., Forbes, S. L., & Stuart, B. H. (2003). Review of human decomposition processes in soil. *Environmental Geology*, 46, 576–585. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0913-z>

- Deo, A., Forbes, S. L., Stuart, B. H., & Ueland, M. (2020). Profiling the seasonal variability of decomposition odour from human remains in a temperate Australian environment. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 52(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00450618.2019.1637938>
- Dick, I. P., & Scott, R. C. (1992). Pig Ear Skin as an In-vitro Model for Human Skin Permeability. *J Pharm Pharmacol*, 44, 640-645.
- Domínguez del Valle, J., Cervantes Peralta, F., & Jaquero Arjona, M. I. (2020). Factors affecting carcass detection at wind farms using dogs and human searchers. *Journal of Applied Ecology*, 57, 1926–1935. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13714>
- Dubois, L. M., Perrault, K. A., Stefanuto, P.-H., Koschinski, S., Edwards, M., McGregor, L., & Focant, J.-F. (2017). Thermal desorption comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled to variable-energy electron ionization time-of-flight mass spectrometry for monitoring subtle changes in volatile organic compound profiles of human blood. *Journal of Chromatography A*, 1501. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2017.04.026>
- Dubois, L. M., Stefanuto, P.-H., Heudt, L., Focant, J.-F., & Perrault, K. A. (2018). Characterizing decomposition odor from soil and adipocere samples at a death scene using HS-SPME-GCGC-HRTOFMS. *Forensic Chemistry Volume* 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2018.01.001>
- Dubois, L. M., Stefanuto, P. H., Perrault, K. A., Delporte, G., Delvenne, P., & Focant, J.-F. (2019a). Comprehensive Approach for Monitoring Human Tissue Degradation. *Chromatographia*, 82, 857-871.
- Dubois, L. M., Stefanuto, P. H., Perrault, K. A., Delporte, G., Delvenne, P., & Focant, J. F. (2019b). Comprehensive Approach for Monitoring Human Tissue Degradation. *Chromatographia*, 82, 857-871. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10337-019-03710-3>
- Eckenrode, B. A. (2009). Characterization of the volatile organic compounds present in the headspace of decomposing human remains. *Forensic Science International*. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.12.022>
- El-Aneed, A., Cohen, A., & Banoub, J. (2009). Mass Spectrometry, Review of the Basics: Electrospray, MALDI, and Commonly Used Mass Analyzers. *Applied Spectroscopy Reviews*, 44, 210-230. <https://doi.org/10.1080/05704920902717872>
- Emmons, A. L., Mundorff, A. Z., Hoeland, K. M., Davoren, J., Keenan, S. W., Carter, D. O., Campagna, S. R., & DeBruyn, J. M. (2022). Postmortem Skeletal Microbial Community Composition and Function in Buried Human Remains. *American Society for Microbiology*, 7(2).

- Emmons, A. L., Mundorff, A. Z., Keenan, S. W., Davoren, J., Andronowski, J., Carter, D. O., & DeBruyn, J. M. (2020). Characterizing the postmortem human bone microbiome from surface-decomposed remains. *PLOS ONE*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218636>
- Florencio-Silva, R., Rodrigues da Silva Sasso, G., Sasso-Cerri, E., Jesus Simões, M., & Sérgio Cerri, P. (2015). Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2015/421746>
- Focant, J.-F., Stefanuto, P. H., Brasseur, C., Dekeirsschieter, J., Haubruge, E., Schotsmans, E., Wilson, A., Stadler, S., & Forbes, S. L. (2013). Forensic Cadaveric decomposition profiling by GCxGC-TOFMS analysis of VOCs.
- Forbes, S. L. (2008). Decomposition Chemistry in a Burial Environment. In *Soil Analysis in Forensic Taphonomy* (pp. 203-223). Taylor & Francis Group.
- Forbes, S. L. (2021). Gas Chromatography. In *Analytical Techniques in Forensic Science* (pp. 327-364). John Wiley & Sons Ltd.
- Forbes, S. L., & Perrault, K. A. (2014). Decomposition Odour Profiling in the Air and Soil Surrounding Vertebrate Carrion. *PLOS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095107>
- Forbes, S. L., Perrault, K. A., & Comstock, J. L. (2017). Microscopic Post-Mortem Changes: the Chemistry of Decomposition. In *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the dead and the Depositional Environment* (pp. 26-38). John Wiley.
- Forbes, S. L., Perrault, K. A., Stefanuto, P.-H., Nizio, K. D., & Focant, J.-F. (2014a). Comparison of the Decomposition VOC Profile during Winter and Summer in a Moist, Mid-Latitude (Cfb) Climate. *PLOS ONE*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113681>
- Forbes, S. L., Rust, L., Trebilcock, K., Perrault, K. A., & McGrath, L. T. (2014b). Effect of age and storage conditions on the volatile organic compound profile of blood. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s12024-014-9610-3>
- Fuge, R. (1988). Sources of halogens in the environment, influences on human and animal health. *Environmental Geochemistry and Health*, 10(2), 51-61.
- Furton, K. G., Caraballo, N. I., Cerreta, M. M., & Holness, H. K. (2015). Advances in the use of odour as forensic evidence through optimizing and standardizing instruments and canines. *Philosophical Transactions B* 370. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0262>

- Garnero, P., Ferreras, M., Karsdal, M., Nicamhlaibh, R., Risteli, J., Borel, O., Qvist, P., Delmas, P. D., Foged, N. T., & Delaisse, J. M. (2003). The Type I Collagen Fragments ICTP and CTX Reveal Distinct Enzymatic Pathways of Bone Collagen Degradation. *Journal of Bone and Mineral Research*, 5.
- Gill-King, H. (1997). Chemical and Ultrastructural Aspects of Decomposition. In.
- Glavas, V., & Pintar, A. (2019). Human Remains Detection Dogs as a New Prospecting Method in Archaeology. *Journal of Archeological Method and Theory* 26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10816-018-9406-y>
- Glock, G. E., Lowater, F., & Murray, M. M. (1941). The Retention and Elimination of Fluorine in Bones. *Biochem J.*, 1235-1239. <https://doi.org/10.1042/bj0351235>.
- Goff, L. M. (2009). Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and Applied Acarology* <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9284-9>
- Goto, M., Gotoh, M., Mitsui, Y., Okawa, T., Higuchi, F., & Nagata, K. (2015). Rapid collapse of the humeral head after arthroscopic rotator cuff repair. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23, 514-516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00167-013-2790-7>
- Gowland, R., & Thompson, T. (2022). Forensic Archeology and Anthropology. In *Introduction to Forensic Science*: Durham University.
- Grob, R. L., & Barry, E. F. (2004). *Modern Practice of Gas Chromatography*. Wiley.
- Gross, J. H. (2017). *Mass Spectrometry*. Springer.
- Gunther Brown, A. (2012). *The study of volatile organic compounds associated with decomposition of pig tissue as a model for human decomposition* [Boston University School of Medicine].
- Haglund, W. D. (2001). Archaeology and Forensic Death Investigations. *Historical Archeology*, 35(1), 26-34.
- Haglund, W. D., & Sorg, M. H. (1997). *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains*. CRC Press.
- Hau, T. C., Hazfalinda Hamzah, N., Lian, H. H., & Hamzah, S. A. A. (2014). Decomposition Process and Post Mortem Changes: Review. *Sains Malaysiana*, 43(12).
- Hedges, R. E. M. (2002). Bone Diagenesis: An overview of processes. In U. o. Oxford (Ed.). Great Britain.

- Horenstein, B. M., Linhares, X. A., Rosso De Ferradas, B., & Gracia, D. (2010). Decomposition and dipteran succession in pig carrion in central Argentina: ecological aspects and their importance in forensic science. *Medical and Veterinary Entomology* 24(16-25).
- Houck, M. M. (2017). Taphonomy. In *Forensic Anthropology* (pp. 31-76). Elsevier Science & Technology.
- Jacobi, K. P. (2016). Cadaver Detection in Forensic Anthropology and Criminology: An Overview with Personal Notes. In J. E. Tadeusz Jezierski, L. E. Papet (Ed.), *Canine Olfaction Science and Law: Advances in Forensic Science, Medicine, Conservation, and Environmental Remediation* (pp. 245-258).
- Janaway, R. C., Percival, S. L., & Wilson, A. S. (2009). Decomposition of Human Remains. In Springer (Ed.), *Microbiology and Aging* (pp. 313 - 334). https://doi.org/10.1007/978-1-59745-327-1_14
- Javan, G. T., Finley, S. J., Tuomisto, S., Hall, A., Benbow, E. M., & Mills, D. (2018). An interdisciplinary review of the thanatomicrobiome in human decomposition [Review]. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12024-018-0061-0>
- Jenkins, E. K., DeChant, M. T., & Perr, E. B. (2018). When the Nose Doesn't Know: Canine Olfactory Function Associated with Health, Management, and Potential Links to Microbiota. *Frontiers in Veterinary Science*, 5(56). <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00056>
- Jezierski, T., Ensminger, J., & Papet, L. E. (2016). *Canine Olfaction Science and Law: Advances in Forensic Science, Medicine, Conservation, and Environmental Remediation*. Taylor & Francis Group.
- Jones, K. E., Dashfield, K., Downend, A. B., & Otto, C. M. (2004). Search-and-rescue dogs: an overview for veterinarians. *Disaster Medicine*, 225.
- Karr, L. P., & Outram, A. K. (2015). Bone Degradation and Environment: Understanding, Assessing and Conducting Archaeological Experiments Using Modern Animal Bones. *International Journal of Osteoarchaeology* 25. <https://doi.org/10.1002/oa.2275>
- Kasem, M. A., Russo, R. E., & Harith, M. A. (2011). Influence of biological degradation and environmental effects on the interpretation of archeological bone samples with laser-induced breakdown spectroscopy. *The Royal Society of Chemistry*, 26. <https://doi.org/10.1039/c1ja10057b>

- Kasper, J., Mumm, R., & Ruther, J. (2012). The composition of carcass volatile profiles in relation to storage time and climate conditions. *Forensic Science International*, 223. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.08.001>
- Kemp, W. L. (2016). Postmortem Change and its Effect on Evaluation of Fractures. *Academic Forensic Pathology International*. <https://doi.org/https://doi.org/10.23907/2016.004>
- Kendall, C., Høier Eriksen, A. M., Kontopoulos, I., Collins, M. J., & Turner-Walker, G. (2017). Diagenesis of archaeological bone and tooth. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.11.041>
- Keough, N., & Lorke, D. E. (2021). The humeral head: A review of the blood supply and possible link to osteonecrosis following rotator cuff repair. *Journal of Anatomy*, 239, 973–982. <https://doi.org/10.1111/joa.13496>
- Killam, E. (2004). *The detection of human remains*.
- Klafehn, E. L. (2021). *A Preliminary Investigation into the Effects of Lucilia sericata (Meigen) Blow Fly Larval Feeding on Sharp Force Trauma (SFT) Wound Patterns in Decomposing Bones of Sus scrofa domesticus* City University of New York].
- Klampfl, C. W., & Himmelsbach, M. (2015). Direct ionization methods in mass spectrometry: An overview. *Analytica Chimica Acta*, 890, 44-59. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2015.07.012>
- Knobel, Z., Ueland, M., Nizio, K. D., Patel, D., & Forbes, S. L. (2018). A comparison of human and pig decomposition rates and odour profiles in an Australian environment. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 51(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1439100>
- Lavigne, S. (2018). *Comparison of volatile organic compound profiles of various sources of decomposition* Boston University School of Medicine]. Boston.
- Lorenzo, N., Wan, T., Harper, R. J., Hsu, Y.-L., Chow, M., Rose, S., & Furton, K. G. (2003). Laboratory and field experiments used to identify *Canis lupus var. familiaris* active odor signature chemicals from drugs, explosives, and humans. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 376. <https://doi.org/10.1007/s00216-003-2018-7>
- Martin, C., Vanderplanck, M., Boullis, A., Francis, F., Haubruge, E., & Verheggen, F. (2019). Impact of necrophagous insects on the emission of volatile organic compounds released during the decaying process. *Entomologia Generalis*, 39(1), 19-31. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2019/0663>

- Martin, C., & Verheggen, F. (2018). Odour Profile of Human corpses: A Review. *Forensic Chemistry*, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2018.07.002>
- McNair, H. M., Miller, J. M., & Snow, N. H. (2019). Analytical Gas Chromatography. In *Basic Gas Chromatography*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119450795>
- Mello, P. A., Barin, J. S., Duarte, F. A., Bizzi, C. A., Diehl, L. O., Muller, E. I., & Flores, E. M. M. (2013). Analytical methods for the determination of halogens in bioanalytical sciences: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 405, 7615–7642. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00216-013-7077-9>
- Mesloh, C., & Wolf, R. A. (2014). Scent as Forensic Evidence and its Relationship to the Law Enforcement Canine. *Journal of Forensic Identification*.
- Minhinnick, S. (2016). Statistical Reliability Confounders and Improvement in Advanced Dog Training: Patterns, Routines, Targets, Alerts, Distractors, Reinforcement, and Other Issues. In J. E. Tadeusz Jezierski, L. E. Papet (Ed.), *Canine Olfaction Science and Law: Advances in Forensic Science, Medicine, Conservation, and Environmental Remediation* (pp. 197-216).
- Misselwitz, M. (2017). Research Hype to Practical Analysis: Benefits of Comprehensive TwoDimensional Gas Chromatography (GCxGC) for a Routine Laboratory.
- Murray, C. E., & Coleman, C. M. (2019). Impact of Diabetes Mellitus on Bone Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 20. <https://doi.org/10.3390/ijms20194873>
- Nandiraju, I., & Ahmed, D. (2019). Human skeletal physiology and factors affecting its modeling and remodeling. *Fertility and Sterility* 112(5), 775-781. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.10.005>
- Nawn, K. (2018). *Sniffing out decomposition: investigating the reliability of human remains detection dogs* [Humboldt State University].
- Nicholson, R. A. (1996). Bone Degradation, Burial Medium and Species Representation: Debunking the Myths, an Experiment-based Approach. *Journal of Archeological Science*, 23, 513-533.
- Okunuga, O. O. (2016). *Analysis of Volatile Organic Compounds produced during the decomposition of human analogues* [University of Leicester].
- Osterkamp, T. (2020). *Detector Dogs and Scent Movement How Weather, Terrain, and Vegetation Influence Search Strategies*. Taylor & Francis.

- Paczkowski, S., & Schütz, S. (2011). Post-mortem volatiles of vertebrate tissue. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *91*, 917-935.
- Parkin, M. C., & Brailsford, A. (2021). Mass Spectrometry. In *Analytical Techniques in Forensic Science* (pp. 219-261).
- Patel, D. (2022). *Identifying the transition from ante-mortem odour to post-mortem odour* [Université du Québec à Trois-Rivières].
- Pawliszyn, J., Pawliszyn, B., & Pawliszyn, M. (1997). Solid Phase Microextraction (SMPE). *The Chemical Educator* *2*(4). <https://doi.org/10.1007/s00897970137a>
- Peci, F., Dekker, L., Pagliaro, A., Van Boxtel, R., Nierkens, S., & Belderbos, M. (2022). The cellular composition and function of the bone marrow niche after allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Springer Nature*, *57*, 1357–1364. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41409-022-01728-0>
- Pereira, L. S. F., Pedrotti, M. F., Enders, M. S. P., Albers, C. N., Pereira, J. S. F., & Flores, E. M. M. (2016). Multitechnique Determination of Halogens in Soil after Selective Volatilization Using Microwave-Induced Combustion. *Analytical Chemistry*, *89*(1), 980-987. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04300>
- Perrault, K. A., Nizio, K. D., & Forbes, S. L. (2015). A Comparison of One-Dimensional and Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography for Decomposition Odour Profiling Using Inter-Year Replicate Field Trials. *Chromatographia* *78*, 1057-1070. <https://doi.org/10.1007/s10337-015-2916-9>
- Perrault, K. A., Stefanuto, P.-H., Stuart, B. H., Rai, T., Focant, J.-F., & Forbes, S. L. (2014). Reducing variation in decomposition odour profiling using comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Journal of Separation Science*, *38*(1).
- Piepenbrink, H. (1986). Two Examples of Biogenous Dead Bone Decomposition and their Consequences for Taphonomic Interpretation. *Journal of Archeological Science*, *13*, 417-430.
- Pinhasi, R., & Mays, S. (2008). *Advances in Human Palaeopathology* (S. M. Ron Pinhasi, Ed.).
- Pocock, G., Richards, C. D., & Richards, D. A. (2013). The Chemical constitution of the Body. In *Human Physiology* (pp. 27-43). Oxford University Press.
- Polgár, Z., Kinnunen, M., Újváry, D., Miklósi, Á., & Gácsi, M. (2016). A Test of Canine Olfactory Capacity: Comparing Various Dog Breeds and Wolves in a Natural Detection Task. *PLOS ONE*, *11*(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154087>

- Poole, C. (2021). *Gas Chromatography*. Elsevier.
- Pope, M. A. (2010). *Differential Decomposition Patterns Of Human Remains In Variable Environments Of The Midwest* [University of South Florida].
- Rattenbury, A. E. (2018). Forensic Taphonomy. In *Forensic Ecogenomics* (pp. 37 - 59). ELSEVIER. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809360-3.00002-3>
- Rebmann, A. J., David, E., Sorg, M. H., & Koenig, M. (2000). *Cadaver Dog Handbook: Forensic training and tactics for the recovery of human remain*. CRC Press.
- Rosier, E., Loix, S., Develter, W., Van de Voorde, W., Tytgat, J., & Cuypers, E. (2015). The Search for a Volatile Human Specific Marker in the Decomposition Process. *PLOS ONE*, *10*(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137341>
- Schotsmans, E. M. J., Márquez-Grant, N., & Forbes, S. L. (2017). *Taphonomy of Human Remains*.
- Schotsmans, E. M. J., Van de Voorde, W., & Forbes, S. L. (2020). TSD estimation in the advanced stages of decomposition. In *Estimation of the Time since Death*. Elsevier.
- Snow, N. H., Sinex, J., & Danser, M. (2010). Multiple Dimensions of Separations: SMP with GCxGC and GCxGC-TOF-MS. *LCGC North America* *28*.
- Sorg, M. H., David, E., & Rebman, A. J. (1998). Cadaver Dogs, Taphonomy, and Postmortem Interval in the Northeast. In K. J. Reichs (Ed.), *Forensic Osteology : Advances in the identification of Human Remains*. Charles C Thomas.
- Spietelun, A., Pilarczyk, M., Kloskowski, A., & Namies'nik, J. (2010). Current trends in solid-phase microextraction (SPME) fibre coatings. *The Royal Society of Chemistry*, *39*. <https://doi.org/10.1039/c003335a>
- Stadler, S., Stefanuto, P.-H., Brokl, M., Forbes, S. L., & Focant, J.-F. (2013). Characterization of Volatile Organic Compounds from Human Analogue Decomposition Using Thermal Desorption Coupled to Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography-Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, *85*, 998-1005. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1021/ac302614y>
- Stadler, S., Stefanuto, P.-H., Byer, J. D., Brokl, M., Forbes, S. L., & Focant, J.-F. (2012). Analysis of synthetic canine training aids by comprehensive two-dimensional gas chromatography–time of flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.001>

- Statheropoulos, M., Agapiou, A., Spiliopoulou, C., Pallis, G. C., & Sianos, E. (2007). Environmental aspects of VOCs evolved in the early stages of human decomposition. *Science of the total environment* 385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.003>
- Statheropoulos, M., Agapiou, A., Zorba, E., Mikedi, K., Karma, S., Pallis, G. C., Eliopoulos, C., & Spiliopoulou, C. (2011). Combined chemical and optical methods for monitoring the early decay stages of surrogate human models. *Forensic Science International*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.02.023>
- Statheropoulos, M., Mikedi, K., Agapiou, A., Georgiadou, A., & Karma, S. (2006). Discriminant Analysis of Volatile Organic Compounds data related to a new location method of entrapped people in collapsed buildings of an earthquake. *Analytica Chimica Acta*, 566. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.03.023>
- Statheropoulos, M., Spiliopoulou, C., & Agapiou, A. (2004). A study of volatile organic compounds evolved from the decaying human body. *Foresic Science International* <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.08.015>
- Stefanuto, P.-H., LeBlanc, H. N., Perrault, K. A., Forbes, S. L., Stadler, S., Focant, J.-F., & Pesesse, R. (2015). GC×GC–TOFMS and supervised multivariate approaches to study human cadaveric decomposition olfactive signatures. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8683-5>
- Stefanuto, P.-H., Perrault, K. A., Stadler, S., Pesesse, R., Brokl, M., Forbes, S. L., & Focant, J.-F. (2014). Reading Cadaveric Decomposition Chemistry with a New Pair of Glasses. *ChemPlusChem* 79. <https://doi.org/10.1002/cplu.201402003>
- Stefanuto, P.-H., Rosier, E., Tytgat, J., Focant, J.-F., & Cuypers, E. (2017). Profiling Volatile Organic Compounds of Decomposition. In N. M.-G. Eline M.J. Schotsmans, Shari L. Forbes (Ed.), *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment* (pp. 39 - 52). John Wiley & Sons Ltd.
- Stejskal, S. M. (2013). *Death, Decomposition, and Detector Dogs : From Science to Scene*. Taylor & Francis Group.
- Suchacki, K. J., Cawthorn, W. P., & Rosen, C. J. (2016). Bone marrow adipose tissue: formation, function and regulation. *Current Opinion in Pharmacology*, 28, 50-56. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.coph.2016.03.001>
- Tipple, C. A., Caldwell, P. T., Kile, B. M., Beussman, D. J., Rushing, B., Mitchell, N. J., Whitchurch, C. J., Grime, M., Stockham, R., & Eckenrode, B. A. (2014). Comprehensive characterization of commercially available canine training aids. *Forensic Science International*, 242. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.06.033>

- Vass, A. A. (2001). Beyond the Grave - Understanding human decomposition. *Microbiology Today* Volume 28.
- Vass, A. A. (2012). Odor Mortis. *Forensic Science International*, 222. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.06.006>
- Vass, A. A., Smith, R. R., Thompson, C. V., Burnett, M. N., Dulgerian, N., & Eckenrode, B. A. (2008). Odor Analysis of Decomposing Buried Human Remains. *Journal of Forensic Sciences*, 53(2). <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00680.x>
- Verheggen, F., Perrault, K. A., Caparros Megido, R., Dubois, L. M., Francis, F., Haubruge, E., Forbes, S. L., & Focant, J.-F. S., Pierre-Hugues. (2017). The Odor of Death: An Overview of Current Knowledge on Characterization and Applications. *BioScience* 67(7), 600 - 613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/biosci/bix046>
- Watson, E. C., & Adams, R. H. (2018). Biology of Bone: The Vasculature of the Skeletal System. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a031559>
- Wescott, D. J. (2018). Recent advances in forensic anthropology: decomposition research. *Forensic Sciences Research* 3(4). <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1488571>
- Wewetzer, K., Omar, M., Kammeyer, P., & Brandes, G. (2016). Wiring of the Olfactory System and the Functional Role of Neurons and Glia during Lifelong Turnover. In J. E. Tadeusz Jezierski, L. E. Papet (Ed.), *Canine Olfaction Science and Law: Advances in Forensic Science, Medicine, Conservation, and Environmental Remediation* (pp. 17-30).
- Williams, A., Rogers, C. J., & Cassella, J. P. (2019). Why does the UK need a Human Taphonomy Facility? *Forensic Science International*, 296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.01.010>
- Winnike, J. H., Wei, X., Knagge, K. J., Colman, S. D., Gregory, S. G., & Zhang, X. (2015). Comparison of GC-MS and GCxGC-MS in the Analysis of Human Serum Samples for Biomarker Discovery. *Journal of Proteome Research*, 14(4), 1810-1817. <https://doi.org/10.1021/pr5011923>.
- Zhou, C., & Byard, R. W. (2011). Factors and processes causing accelerated decomposition in human cadavers - An overview. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 18, 6-9. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2010.10.003>
- Zipkin, I. (1970). The inorganic composition of bones and teeth. In H. Schraer (Ed.), *Biological Calcification: Cellular and Molecular Aspects* (pp. 69 - 103).