



**HAL**  
open science

# Chiens de détection olfactive de la COVID-19 : élaboration et traitement d'une enquête pré-déploiement auprès du grand public

Florine Hache

► **To cite this version:**

Florine Hache. Chiens de détection olfactive de la COVID-19 : élaboration et traitement d'une enquête pré-déploiement auprès du grand public. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03833185

**HAL Id: dumas-03833185**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03833185v1>**

Submitted on 28 Oct 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année 2022

**CHIENS DE DÉTECTION OLFACTIVE DE LA COVID-19 :  
ÉLABORATION ET TRAITEMENT D'UNE ENQUÊTE PRÉ-  
DÉPLOIEMENT AUPRÈS DU GRAND PUBLIC**

**THÈSE**

pour obtenir le diplôme d'État de

**DOCTEUR VÉTÉRINAIRE**

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 14 juin 2022

par

**Florine, Hélène HACHE**

sous la direction de

**Dominique GRANDJEAN**

**JURY**

<b>Présidente du jury :</b>	<b>Mme Sophie LE PODER</b>	Professeur à l'EnvA
<b>Directeur de thèse :</b>	<b>M. Dominique GRANDJEAN</b>	Professeur à l'EnvA
<b>Examineur :</b>	<b>M. Loïc DESQUILBET</b>	Professeur à l'EnvA



**Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire**



Version du 8 février 2022

**Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR**

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Maître de conférences HDR	DPASP
M	Blot	Stephane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Fédérighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédictte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guénec	Christelle	Maître de conférences HDR	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
M	Perrot	Sébastien	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

**Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV**

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Benchekroun	Ghita	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	Francois	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Constant	Fabienne	Maître de conférences	DPASP
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
Mme	Decambroun	Adeline	Maître de conférences	DEPEC
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences associé	DPASP
M	Desbois	Christophe	Maître de conférences	DEPEC
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
M	Mauffré	Vincent	Maître de conférences	DPASP
Mme	Mimet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
Mme	Mespouilhès-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Ravary-Plumioën	Bérangère	Maître de conférences	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP



# Remerciements

**À la présidente du Jury de cette thèse,**

**Mme Sophie Le Poder,**

**Professeure à l'ENVA,**

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,

Qu'elle trouve ici l'expression de mes remerciements et hommages respectueux.

**À M Dominique Grandjean,**

**Professeur à l'ENVA,**

Qui m'a fait l'honneur d'accepter d'encadrer et de diriger cette thèse,

Qu'il trouve ici l'expression de ma plus sincère gratitude.

**À M Loïc Desquilbet,**

**Professeur à l'ENVA,**

Qui a accepté d'être le membre examinateur de cette thèse,

Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance

**À toutes les personnes ayant participé à cette enquête,**

Sans qui cette thèse n'aurait pas pu exister,

Qu'elles trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements

**À ma famille et mes amis,**

Pour votre amour et votre soutien en toutes circonstances, merci pour tout



# Table des matières

---

Liste des figures .....	5
Liste des tableaux .....	7
Liste des abréviations .....	9
Introduction .....	11
<b>Première partie : étude bibliographique .....</b>	<b>13</b>
1. Volatilomes et composés organiques volatils de l'être humain .....	13
1.1. Méthodes d'identification et de quantification .....	13
1.1.1. GC-MS .....	13
1.1.1. HSSE .....	13
1.1.2. SPME .....	14
1.1.3. SIFT-MS .....	14
1.1.4. Autres méthodes .....	14
1.2. Diversité des composés organiques volatils .....	15
1.2.1. VOCs contenus dans l'air exhalé .....	15
1.2.2. VOCs contenus dans la sueur axillaire et la peau .....	15
1.2.3. VOCs contenus dans les fluides biologiques .....	15
1.2.4. Ensemble des VOCs produits par le corps humain .....	16
1.3. Domaines d'application .....	16
1.3.1. Les VOCs comme marqueurs de maladies infectieuses .....	17
1.3.1.1. Maladies bactériennes .....	17
1.3.1.2. Maladies virales .....	17
1.3.2. Les VOCs comme marqueurs de cancers .....	18
1.3.2.1. Cancer du poumon .....	18
1.3.2.2. Cancer du sein .....	19
1.3.2.3. Carcinome ovarien .....	19
1.3.2.4. Cancer colorectal .....	19
1.3.2.5. Cancers œsophagiens et gastriques .....	19
1.3.2.6. Autres cancers .....	20
1.3.3. Les VOCs comme marqueurs d'autres maladies systémiques .....	21
1.3.3.1. Maladies respiratoires .....	21
1.3.3.1.1. Fibrose kystique .....	21
1.3.3.1.2. Maladie pulmonaire obstructive chronique .....	21
1.3.3.1.3. Asthme .....	21
1.3.3.2. Maladies gastrointestinales .....	22
1.3.3.3. Hyperlipémie .....	22
1.3.3.4. Maladies neurodégénératives .....	22
1.3.4. Les VOCs comme marqueurs d'humains disparus .....	23
2. La détection olfactive canine au service de l'Homme, en dehors de la COVID-19 .....	24
2.1. Généralités .....	24
2.1.1. L'olfaction canine en chiffres .....	24
2.1.2. Détection olfactive canine dans le règne animal et végétal .....	24
2.2. La détection olfactive canine hors milieu médical .....	25
2.2.1. Détection d'explosifs .....	25
2.2.1.1. Identification des odeurs .....	25
2.2.1.2. Présence d'odeurs parasites .....	25
2.2.1.3. Développement de pseudo-explosifs .....	26
2.2.2. Détection de stupéfiants .....	26
2.2.2.1. Performances de la détection olfactive canine .....	26
2.2.2.2. Présence d'odeurs parasites .....	26
2.2.2.3. Développement de pseudo-stupéfiants .....	27
2.2.3. Détection de restes humains .....	27
2.2.3.1. Détection de restes humains dispersés .....	27
2.2.3.2. Détection d'échantillons de sang .....	28
2.2.3.3. Aides d'entraînement à la détection de restes humains .....	28
2.3. La détection olfactive canine au sein du milieu médical .....	28
2.3.1. Détection de cancers .....	28
2.3.1.1. Cancers du poumon et du sein .....	28



2.3.1.2. Cancer colorectal.....	29
2.3.1.3. Cancer de la prostate .....	30
2.3.1.4. Cancer de la vessie .....	30
2.3.1.5. Carcinome ovarien .....	30
2.3.1.6. Autres cancers.....	31
2.3.1.7. Détection croisée des cancers .....	31
2.3.2. Détection de maladies infectieuses .....	31
2.3.2.1. Infections à Clostridium difficile .....	32
2.3.2.2. Infection du tractus urinaire .....	32
2.3.2.3. Malaria .....	32
2.3.3. Détection de l'hypoglycémie.....	32
2.3.4. Détection de l'épilepsie.....	33
3. La détection olfactive canine dans le cadre de la COVID-19.....	34
3.1. Le concept « One Health » appliqué à la crise sanitaire mondiale .....	34
3.2. Actualités autour du dépistage de la COVID-19 .....	35
3.2.1. Difficultés rencontrées .....	35
3.2.2. Tests de dépistage disponibles pour le grand public .....	35
3.2.3. Manque de performances des tests antigéniques et autotests.....	36
3.2.4. Risques liés à l'écouvillonnage nasopharyngé .....	36
3.3. Marqueurs olfactifs du SARS-CoV-2.....	36
3.3.1. Détermination des VOCs du SARS-CoV-2 .....	36
3.3.2. Détection du SARS-CoV-2 par des nez électroniques.....	36
3.4. Etudes réalisées autour de la détection olfactive canine du SARS-CoV-2.....	37
3.4.1. Finlande.....	37
3.4.2. Colombie .....	37
3.4.3. Allemagne.....	38
3.4.4. France.....	38
3.4.5. Angleterre .....	39
3.4.6. Iran.....	39
3.4.7. États-Unis .....	39
3.4.8. Thaïlande.....	40
3.4.9. EAU .....	40
3.4.10. Liban .....	40
3.4.11. Italie .....	40
3.4.12. Belgique.....	40
3.4.13. République tchèque.....	40
3.4.14. Brésil.....	41
3.4.15. Australie.....	41
3.5. Projets de détection olfactive de la COVID-19 par des chiens de travail.....	41
3.5.1. Aéroport de Dubaï, EAU.....	41
3.5.2. Aéroport d'Helsinki-Vantaa, Finlande.....	42
3.5.3. Aéroport de Miami, Floride .....	42
3.5.4. Comté de Bristol, Massachussetts .....	42
3.5.5. Projet Nosaïs-Covid-19, France .....	42
3.5.6. Programme Cynocov, France .....	42
3.5.7. Projet Covidog, France.....	43
3.5.8. Projet de la VCH, Canada .....	43
3.5.9. Département de défense des États-Unis .....	43
<b>Deuxième partie : étude expérimentale.....</b>	<b>45</b>
1. Introduction .....	45
2. Objectifs de l'étude .....	45
3. Matériels et méthodes .....	46
3.1. Population d'étude .....	46
3.2. Présentation du questionnaire .....	46
3.3. Diffusion du questionnaire .....	47
3.4. Récolte et analyse des données .....	47
4. Résultats.....	47
4.1. Identification des répondants .....	49
4.2. Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective .....	51
4.2.1. Exposition à la COVID-19 .....	51

4.2.2. Connaissance de la détection olfactive canine .....	51
4.2.3. Positionnement vis-à-vis de l'utilisation de chiens de détection olfactive pour le dépistage de la COVID-19 .....	51
4.2.4. Situations souhaitées pour le déploiement des chiens de détection olfactive de la COVID-19.....	52
4.3. Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle individuelle .....	54
4.3.1. Acceptation individuelle du dépistage canin.....	54
4.3.2. Raisons de refus du dépistage canin .....	54
4.3.3. Acceptation du dépistage canin par le biais d'échantillons de sueur .....	54
4.3.4. Acceptation du dépistage canin par reniflement direct .....	55
4.3.5. Acceptation du dépistage canin par reniflement direct avec contact .....	55
4.3.6. Volonté d'aider à l'entraînement des chiens de détection olfactive .....	55
4.4. Niveau de confiance envers les tests de dépistage de la COVID-19 .....	58
4.4.1. Test olfactif canin.....	58
4.4.2. Test PCR .....	58
4.4.3. Test antigénique .....	58
4.4.4. Autotest.....	59
4.4.5. Synthèse.....	59
4.5. Préférences en matière de dépistage de la COVID-19.....	61
4.5.1. Préférences en termes d'échantillon à fournir.....	61
4.5.2. Préférences en termes de test de dépistage de la COVID-19 .....	61
4.6. Place du chien dans la détection des maladies humaines.....	63
4.6.1. Evaluation du plaisir des chiens de détection olfactive .....	63
4.6.2. Volonté d'implication bénévole par les propriétaires de chiens .....	63
4.6.3. Place du chien dans le dépistage précoce de maladies humaines .....	63
4.7. Commentaires libres.....	66
4.7.1. Commentaires totaux .....	66
4.7.2. Commentaires positifs et/ou en faveur de cette méthode.....	66
4.7.3. Commentaires sceptiques et/ou incertains quant à leur avis.....	66
4.7.4. Commentaires en faveur de cette méthode à condition que le bien-être animal soit respecté .....	67
4.7.5. Commentaires négatifs et/ou en défaveur de cette méthode .....	67
5. Discussion .....	69
5.1. Limites de l'étude.....	69
5.1.1. Biais d'échantillonnage et défaut de représentativité des échantillons .....	69
5.1.2. Biais de mesure .....	70
5.1.3. Autres limites .....	70
5.1.3.1. Diffusion des questionnaires .....	70
5.1.3.2. Inégalité de représentation des continents et pays .....	70
5.1.3.3. Absence d'enquête pilote .....	71
5.1.3.4. Perte d'informations.....	71
5.2. Forces de l'étude .....	71
5.3. Réponse aux objectifs .....	72
5.3.1. Evaluer les connaissances du grand public concernant la détection olfactive canine de la COVID-19 .....	72
5.3.2. Appréhender l'intérêt de la population mondiale pour cette nouvelle méthode de dépistage .....	73
5.3.3. Quantifier la population susceptible de recourir à cette méthode de dépistage .....	74
5.3.4. Evaluer la confiance accordée par le grand public aux différents tests de dépistage de la COVID-19 .....	75
5.3.5. Déterminer les modalités de test préférées par le grand public.....	76
5.3.6. Recueillir l'avis du grand public concernant la place du chien dans le dépistage des maladies humaines .....	76
5.3.7. Recueillir des avis libres du grand public afin d'identifier les freins à l'utilisation de cette méthode de dépistage et de pouvoir y répondre de manière ciblée .....	77
<b>Conclusion .....</b>	<b>79</b>
<b>Liste des références bibliographiques.....</b>	<b>81</b>
<b>Annexe 1 : Présentation du questionnaire .....</b>	<b>93</b>



# Liste des figures

---

**Figure 1** : Diagramme circulaire représentant la répartition des répondants au questionnaire destiné aux pays anglophones selon leurs origines ..... 48

**Figure 2** : Diagramme circulaire représentant la répartition des répondants au questionnaire destiné aux pays hispanophones selon leurs origines ..... 48



# Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1</b> : Présentation des résultats des questions 1 à 5 = section « Identification des répondants » .....	50
<b>Tableau 2</b> : Présentation des résultats des questions 6 à 9 = section « Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective » .....	53
<b>Tableau 3</b> : Présentation des résultats des questions 10 à 15 = section « Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle individuelle » .....	57
<b>Tableau 4</b> : Présentation des résultats des questions 16 à 19 = section « Niveau de confiance envers les tests pour le dépistage de la COVID-19 » .....	60
<b>Tableau 5</b> : Présentation des résultats des questions 20 et 21 = section « Préférences en matière de dépistage de la COVID-19 » .....	62
<b>Tableau 6</b> : Présentation des résultats des questions 22 à 24 = section « Place du chien dans la détection des maladies humaines » .....	65
<b>Tableau 7</b> : Présentation des résultats de la question 25 = Commentaires libres .....	68
<b>Tableau 8</b> : Nombre de contaminations et nombre de décès dus au SARS-CoV-2 depuis 2020 au sein de l'Europe, de l'Afrique, de l'Inde et de l'Océanie rapportés au nombre d'habitants de ces régions .....	71
<b>Tableau 9</b> : Présentation de la sensibilité et de la spécificité des quatre tests de dépistage de la COVID-19 étudiés dans la section 4 du questionnaire .....	75



# Liste des abréviations

---

**AP-HP** = Assistance publique - Hôpitaux de Paris

**ARS** = Agence régionale de la santé

**BVD** = Diarrhée virale des bovins

**COVID-19** = Coronavirus Disease 2019 = Maladie à coronavirus 2019

**EAU** = Émirats arabes unis

**FAIMS** = Field asymmetric ion mobility spectroscopy = mobilité ionique à haut champs asymétrique

**GC-MS** = Gas chromatography - mass spectrometry = couplage Chromatographie en phase gazeuse - spectrométrie de masse

**HSSE** = Headspace Sorptive Extraction = Extraction par sorption dans l'espace de tête

**HS-SPME** = Headspace solid-phase microextraction = microextraction sur phase solide par espace de tête

**LAMP** = Loop-Mediated Isothermal Amplification = amplification isothermique à médiation par boucle

**OIE** = Organisation mondiale de la santé animale

**OMS** = Organisation mondiale de la santé

**PCR** = Polymerase chain reaction = réaction de polymérisation en chaîne

**RT-LAMP** = Reverse transcriptase - Loop-Mediated Isothermal Amplification = transcription inverse - amplification isothermique à médiation par boucle

**RT-PCR** = Reverse transcriptase - polymerase chain reaction = transcription inverse - réaction de polymérisation en chaîne

**SARS-CoV-2** = Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 = Coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère

**SIFT-MS** = Selected ion flow tube mass spectrometry = spectrométrie de masse par flux d'ions sélectionnés

**SPME** = Solid phase microextraction = microextraction en phase solide

**TNT** = Trinitrotoluène

**VCH** = Vancouver coastal health = santé côtière de Vancouver

**VOC** = Volatile organic compound = Composé organique volatil

**VPN** = Valeur prédictive négative

**VPP** = Valeur prédictive positive





# Introduction

---

La COVID-19 préoccupe l'ensemble des pays du Globe depuis plus de deux ans. Chaque jour, des centaines de milliers de personnes se contaminent, rendant le dépistage de cette maladie virale indispensable. Ce dernier est rendu possible grâce à l'utilisation de plusieurs tests, notamment le test par RT-PCR, le test antigénique et l'autotest. Ces derniers, obligatoires dans de nombreuses situations, ne sont pourtant pas sans failles, rendant le développement d'une nouvelle méthode de dépistage de la COVID-19 une préoccupation pertinente.

Le développement et la mise en œuvre d'une nouvelle méthode de détection du SARS-CoV-2 nécessite l'approbation du grand public avant de recevoir l'autorisation de déploiement de la part du gouvernement. À ce jour, aucune enquête ayant pour objectif de recueillir l'avis du grand public à propos de la détection olfactive canine de la COVID-19 n'a été entreprise. De manière plus large, aucune enquête ne s'attarde sur le positionnement du grand public vis-à-vis de la détection olfactive canine au service de l'Homme.

Ce manuscrit présente dans un premier temps une synthèse bibliographique des connaissances autour de la détection olfactive canine, et plus particulièrement lorsqu'elle a pour objet le SARS-CoV-2, et dans un second temps un travail personnel dont le but est de faire un état des lieux du positionnement du grand public à travers le monde vis-à-vis de la détection olfactive canine de la COVID-19 à l'aide d'une enquête par questionnaire.



# Première partie : étude bibliographique

---

## 1. Volatilomes et composés organiques volatils de l'être humain

Les composés organiques volatils sont des substances présentes sous forme gazeuse dans notre environnement, et relâchées par divers organismes. Le volatilome est constitué de l'ensemble des composés volatils organiques ou inorganiques provenant d'un organisme, d'un super-organisme ou d'un écosystème. Les volatilomes et VOCs constituent donc une famille de produits très large.

L'étude des composés organiques volatils est un domaine de recherche trouvant ses racines dans l'antiquité. Antoine Lavoisier a découvert le dioxyde de carbone dans l'air exhalé entre 1777 et 1783 ; Wilhelm Petters a découvert l'acétone dans l'air exhalé en 1857 et Johannes Müller a mis au point les premières mesures quantitatives de l'acétone en 1898. Depuis, de nombreuses recherches ont été effectuées dans le but de développer les connaissances autour de ce domaine scientifique.

### 1.1. Méthodes d'identification et de quantification

Plusieurs méthodes d'identification et de quantification des VOCs ont été mises au point ces dernières années. Une première notion importante à cerner est celle de l'espace de tête. L'espace de tête correspond au volume de gaz compris entre un produit et les limites physiques de son conditionnement. C'est par exemple l'espace présent dans un yaourt, entre le produit et l'opercule, ou dans une bouteille de vin, entre le liquide et le bouchon.

#### 1.1.1. GC-MS

La première méthode à avoir été développée est la GC-MS, dans les années 1950. Elle est aujourd'hui entièrement maîtrisée. Cette méthode a pour objectif d'identifier ou de quantifier les espèces chimiques volatiles présentes dans un gaz. La chromatographie en phase gazeuse sépare les composés présents dans l'échantillon tandis que la spectrométrie de masse détecte et identifie les composés, en fonction de leur rapport de masse sur charge. (Analytice, 2020).

Les méthodes d'échantillonnage des composés présentés à l'analyse par GC-MS importent dans les résultats de l'analyse. En effet, une étude de 2017 proposait deux méthodes d'échantillonnage appliquées aux VOCs de la peau humaine : la première utilisait un sachet de film cellulosique et la seconde utilisait un sachet rempli de charbon actif (Grabowska-Polanowska *et al.*, 2017). La première méthode a permis d'identifier plus de composés que la deuxième méthode, avec respectivement 52 composés contre 30 composés.

#### 1.1.1. HSSE

Ensuite, la méthode par HSSE a été développée dans les années 1970. Son objectif était d'identifier les composés odorants présents dans l'espace de tête de divers produits. Un composé chimique, le polydiméthylsiloxane, est appliqué sur un barreau magnétique et déposé dans l'espace de tête de l'échantillon à analyser. Les molécules adsorbées sont ensuite thermiquement désorbées puis analysées (Tienpont *et al.*, 2000).

### **1.1.2. SPME**

Au début des années 1990, la méthode de SPME a vu le jour. Cette méthode, facile à mettre en œuvre, permet une extraction et une concentration de composés volatils présents en faible quantité dans un gaz. Une fibre de silice recouverte d'une fine épaisseur d'adsorbant est exposée dans l'espace de tête de l'échantillon à analyser. Les VOCs libérés par l'échantillon vont s'adsorber puis sont thermiquement désorbés et injectés dans la chambre d'ionisation du spectromètre de masse (Zhang et Pawliszyn, 1993). La méthode HS-SPME est une application de la méthode de SPME à l'espace de tête d'un produit. Cette dernière permet une augmentation de la sensibilité de la méthode et une augmentation du nombre de composés extraits (Psillakis, 2017).

### **1.1.3. SIFT-MS**

Au cours des années 1990, une seconde méthode a vu le jour : la SIFT-MS. Cette méthode permet l'analyse en temps réel, quantitative et simultanée de VOCs et de gaz inorganiques présents seulement à l'état de traces dans un échantillon gazeux. Un ion réactif de choix est sélectionné et injecté dans un tube à flux, dans le but d'ioniser les composés réactifs de l'échantillon. Les ions produits sont redirigés vers un filtre et leur concentration est calculée par un logiciel (Syft Technologies, s. d.).

Une étude de 2021 proposait un protocole standardisé pour l'analyse des VOCs de l'air expiré à l'aide de la méthode SIFT-MS (Belluomo *et al.*, 2021). D'après cette méthode, 50 échantillons d'air expiré humain pouvaient être analysés en moins de trois heures. Les avantages de cette technique étaient mis à profit, à savoir les résultats en temps réel ainsi que la quantification directe des composés sans nécessiter des courbes d'étalonnage.

### **1.1.4. Autres méthodes**

D'autres méthodes continuent de voir le jour, au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle. Une étude de 2018 s'est penchée sur l'élaboration d'un analyseur de volatilome portatif, basé sur des nanofibres élastiquement déformables, dans le but de détecter des biomarqueurs intéressants dans l'air exhalé (Yucel *et al.*, 2018). Les résultats étaient plutôt encourageants et pourraient permettre une analyse rapide des volatilomes chez des individus à risque de certaines maladies.

Une autre étude de la même année proposait quant à elle une méthode d'identification de VOCs provenant de l'air exhalé à l'aide d'un réseau de capteurs formés par des nanotubes de carbone chimirésistifs fonctionnalisés avec des liquides ioniques (Park *et al.*, 2018).

En 2020, une étude faisait le point sur une méthode ultrasensible et reproductible de détection en temps réel des VOCs émis par le corps humain (Gao *et al.*, 2020). Cette méthode repose sur l'utilisation d'un réseau de nanofils de silicium fonctionnalisés avec des protéines de liaison odorantes.

Une étude de 2021 proposait une nouvelle méthode de détection des VOCs dans l'air expiré, consistant en l'utilisation d'un réseau flexible de capteurs virtuels composés d'une couche de détection de MXènes et d'électrodes interdigitées de graphène (Li *et al.*, 2021). Une empreinte digitale unique a pu être décrite pour chaque VOC, avec une précision de 89 %.

De nombreuses méthodes sont ainsi disponibles pour l'identification et la quantification des VOCs chez l'Homme.

## **1.2. Diversité des composés organiques volatils**

Les VOCs sont extrêmement diversifiés chez l'être humain. De multiples études ont visé à identifier et quantifier les différents types de VOCs relâchés par le corps humain.

### **1.2.1. VOCs contenus dans l'air exhalé**

Les premières études ont vu le jour dans les années 1990 et ont porté sur les composés volatils contenus dans l'air expiré. Dans une étude de 1997, la GC-MS est décrite comme une méthode acceptable aux yeux des patients, simple à l'utilisation, hautement sensible et exempt de contaminations chimiques (Phillips, 1997). Au cours de cette étude, 1 259 VOCs ont été identifiés, dont 461 semblaient appartenir à l'air expiré des sujets sains.

Une étude de 1999 a étudié les variations des VOCs dans l'air exhalé de 50 personnes, à l'aide de la GC-MS (Phillips *et al.*, 1999). En moyenne, un échantillon d'air exhalé contenait 204 VOCs. Un total de 3 481 VOCs ont été observés dont 1 753 avec un gradient alvéolaire positif, donc plus présents dans le souffle que dans l'air extérieur, et 1 728 avec un gradient alvéolaire négatif. Vingt-sept VOCs étaient présents chez l'ensemble des sujets.

### **1.2.2. VOCs contenus dans la sueur axillaire et la peau**

Ensuite, des études se sont portées sur les VOCs émis par la sueur axillaire et par la peau humaine. Une étude de 2005 a évalué les VOCs présents dans des échantillons de sueur axillaire à l'aide de la méthode SPME et GC-MS (Curran *et al.*, 2005). Les résultats ont montré la présence de composés variés, incluant des acides gras organiques, des cétones, des aldéhydes, des esters et des alcools. L'analyse qualitative des similarités et différences dans les VOCs présents chez les sujets hommes et femmes a permis d'affirmer que les individus pouvaient être différenciés par l'analyse de leurs VOCs.

L'objectif d'une étude de 2008 était de recenser l'ensemble des VOCs présents sur la peau du haut du dos et de l'avant-bras et d'évaluer leur variation quantitative chez 25 sujets sains (Gallagher *et al.*, 2008). Près de 100 composés ont été identifiés, dont certains variaient avec l'âge. Dans la plupart des cas, les profils de VOCs du dos et du bras étaient similaires chez un même individu.

Une étude de la même année a cherché à déterminer si les profils de VOCs provenant de cultures de fibroblastes humains étaient affectés par le type de culture (Acevedo *et al.*, 2007). Les résultats ont montré de grosses différences entre les cellules de peau ayant grandi dans une culture classique monocouche et celles ayant grandi dans une matrice permettant une immobilisation 3D. Les profils de VOCs peuvent donc donner des informations sur l'état physiologique des cellules de peau.

En 2014, une étude a identifié et quantifié les VOCs émis par la peau humaine, à l'aide de la méthode SPME et GC-MS (Mochalski *et al.*, 2014). Au total, 64 composés ont été identifiés chez les 31 volontaires. Les familles prédominantes étaient les aldéhydes et les hydrocarbures. Trente-trois VOCs étaient présents en grande quantité, avec un taux d'incidence de plus de 80 %.

### **1.2.3. VOCs contenus dans les fluides biologiques**

L'émission de VOCs par différents fluides biologiques humains a également été étudiée. La salive humaine contient de nombreux VOCs, ainsi que des peptides et des protéines. Une étude de 2010 présentait une méthode d'analyse haut-débit qui permet de cribler l'ensemble des VOCs présents dans la salive (Soini *et al.*, 2010). La méthode utilisée était le HSSE suivi du GC-MS. Cette méthode a fourni une excellente reproductibilité pour de nombreux composés organiques comme des alcools,

des aldéhydes, des cétones, des acides carboxyliques, des esters, des amines, des lactones et des hydrocarbures.

Une autre étude de 2010 exposait un dépistage qualitatif des VOCs présents dans le sang humain, à l'aide de la méthode SPME et GC-MS (Gottzein *et al.*, 2010). Dans le but d'obtenir une sensibilité maximale, les variables influençant le processus SPME ont été optimisées à l'aide d'études préliminaires.

Une étude de 2011 proposait une méthode capable d'échantillonner, identifier et différencier les VOCs présents dans des éléments biologiques variés : sang, air expiré, cellules buccales et urine (Kusano *et al.*, 2011). Les VOCs ont été collectés grâce aux méthodes de SPME puis GC-MS puis classés selon des méthodes qualitatives et semi-quantitatives. L'extraction des VOCs du sang, de l'air expiré et des cellules buccales prenait en moyenne 18 à 21h, avec une limite de détection de 5 à 15 ng, tandis que celle de l'urine prenait moins d'une heure, avec une limite de détection de 10 à 40 ng.

Une étude de 2012 a même montré que les lymphocytes-B humains produisaient des VOCs spécifiques par le biais de l'action d'allèles du gène « antigène leucocytaire humain », agissant ainsi comme une carte d'identité d'odeur cellulaire (Aksenov *et al.*, 2012). Les cellules de l'immunité du corps humain sont donc en partie responsables du profil d'odeur unique de chaque individu.

#### **1.2.4. Ensemble des VOCs produits par le corps humain**

Enfin, certaines études ont eu pour objectif de recenser l'ensemble des VOCs produits par le corps humain et de les classer selon leur provenance. Une étude de 2014 a recensé l'ensemble des VOCs du corps humain sain (de Lacy Costello *et al.*, 2014). Ce dernier en compterait 1 840 dont 872 émanant de la respiration, 359 de la salive, 154 du sang, 256 du lait, 532 des sécrétions cutanées, 279 de l'urine et 381 des fèces. Ces VOCs ont été classés dans la mesure du possible selon une convention permettant de les comparer selon leurs classes chimiques et leurs fonctionnalités. Certaines différences ont été notées entre les différentes classes de VOCs. Par exemple, les VOCs provenant des urines étaient déficitaires en esters tandis que ceux provenant des fèces en contenaient un grand nombre. Le recensement de ces VOCs n'était pas exhaustif et avait pour but d'après l'auteur de pousser à la recherche d'autres VOCs et notamment de ceux émanés lors de maladies.

Une étude de 2021 faisait le point sur l'ensemble des VOCs identifiés chez les humains sains (Drabińska *et al.*, 2021). En comparaison avec l'étude de 2014, 900 VOC supplémentaires ont été identifiés et ceux présents dans le sperme ont été ajoutés. Le nombre de VOCs classés par origine serait de 379 dans le sang, 1 488 dans l'air expiré, 443 dans les fèces, 290 dans le lait, 549 dans la salive, 196 dans le sperme, 623 sur la peau et 444 dans l'urine.

Les VOCs présents chez l'être humain sont donc extrêmement nombreux et diversifiés.

### **1.3. Domaines d'application**

Des centaines de VOCs sont produits par le corps humain, et sont en général le reflet de l'état métabolique d'un individu. Contracter une maladie infectieuse ou métabolique se traduit donc souvent par un changement de la signature olfactive corporelle. Les récents progrès en techniques d'analyses permettent d'identifier rapidement des VOCs présents dans différents tissus humains, comme le sang, l'urine, l'air expiré et la peau par exemple.

### 1.3.1. Les VOCs comme marqueurs de maladies infectieuses

Les principales maladies infectieuses rencontrées chez l'Homme peuvent être classées en deux catégories : les maladies virales et les maladies bactériennes. Plusieurs études ont donc eu pour objectif de déterminer s'il était possible d'identifier la présence d'une bactérie ou d'un virus au sein d'un organisme, à partir des VOCs relâchés par ce dernier.

#### 1.3.1.1. Maladies bactériennes

Les premières études ont porté sur des maladies bactériennes. Une étude de 2011 avait pour objectif d'étudier la détection de la bactérie *Helicobacter pylori* à partir d'échantillons d'air expiré (Ulanowska *et al.*, 2011). Les méthodes de SPME et GC-MS ont été utilisées pour identifier et isoler les VOCs présents dans les échantillons. Trois composés, l'isobutane, le 2-butanone et l'éthyle acétate, ont été retrouvés chez les patients porteurs de la bactérie alors qu'ils n'ont pas été retrouvés chez les patients sains. L'analyse des VOCs exhalés permet donc d'identifier la présence d'une hélicobactériose chez un individu malade.

Une étude de la même année avait pour objectif de déterminer s'il était possible de mettre en œuvre une méthode de détection de la tuberculose, non invasive et utilisable sur le terrain (Banday *et al.*, 2011). Les VOCs de personnes atteintes de tuberculose et ceux de personnes saines ont été analysés, à partir d'échantillons d'urine, avec la méthode GC-MS. Les résultats ont révélé une augmentation de la quantité d'ortho-xylène et d'acétate d'isopropyle ainsi qu'une diminution de la quantité de pentan-3-ol, de 2-méthylstyrène et de cymol chez les patients atteints de tuberculose en comparaison avec les patients sains. L'analyse des VOCs excrétés dans l'urine permet donc d'identifier la présence de tuberculose chez un individu malade.

Une étude de 2016 avait pour objectif de déterminer s'il était possible de discriminer, parmi des enfants atteints de fibrose kystique, ceux étant infectés par la bactérie *Staphylococcus aureus* de ceux non infectés, à partir de la signature olfactive d'échantillons d'air expiré (Neerincx *et al.*, 2016). Les VOCs ont été collectés par GC-MS. Les profils de VOCs ont pu discriminer les patients infectés des non infectés avec une sensibilité de 100 % et une spécificité de 80 %. Les neuf composés les plus importants pour cette discrimination ont été identifiés. Les surinfections bactériennes lors de maladies respiratoires sont donc identifiables via l'analyse de VOCs exhalés.

L'étude du microbiote intestinal comme marqueur précoce du sepsis des nouveau-nés prématurés est un outil en pratique peu utilisé car coûteux et avec une logistique difficile. Une étude de 2017 a souhaité étudier le diagnostic précoce du sepsis des nouveau-nés à l'aide de VOCs retrouvés dans les selles (Berkhout *et al.*, 2017). Les profils de VOCs des nouveau-nés atteints de sepsis ont pu être discriminés de ceux sains, jusqu'à trois jours avant l'apparition de la maladie. L'analyse de certains VOCs permet donc de dépister précocement le sepsis des nouveau-nés.

#### 1.3.1.2. Maladies virales

Ensuite, des études visant à identifier des maladies virales ont vu le jour. Une étude de 2014 a examiné les VOCs directement produits à l'échelle des cellules lymphoblastiques de type B lors d'une infection par trois types d'Influenza virus : H9N2 aviaire, H6N2 aviaire, H1N1 humain (Aksenov *et al.*, 2014). Les VOCs produits en réponse à l'infection étaient uniques pour chaque sous-type de virus tandis que de nombreux VOCs non spécifiques étaient produits lors de l'infection par les trois souches de virus. La libération de VOCs après l'infection variait et dépendait en outre du temps écoulé depuis l'infection. Parmi les VOCs émis, une production d'esters et de composés oxygénés était particulièrement importante, et pouvait résulter du stress oxydatif augmenté lors de l'infection. Ces composés pourraient ainsi être considérés comme des biomarqueurs de l'infection par le virus de la grippe A.



Une étude de la même année a montré que les VOCs exhalés par des patients atteints d'un rhinovirus humain étaient différents de ceux exhalés par des patients sains (Schivo *et al.*, 2014). Ces VOCs seraient produits par les cellules épithéliales respiratoires, première rangée de cellules en contact avec l'agent pathogène lors d'infection respiratoire. L'infection par un rhinovirus est donc identifiable par l'analyse de VOCs exhalés.

En 2015, une étude a analysé les VOCs produits par cinq types de rhinovirus (Influenza A, Influenza B, Adénovirus, Virus respiratoire syncytial et virus parainfluenza 1), par trois bactéries (*Moraxella catarrhalis*, *Haemophilus influenzae* et *Legionella pneumophila*) et par des colonies isolées de *Mycoplasma pneumoniae* (Abd El Qader *et al.*, 2015). Les résultats ont montré l'implication de VOCs induits par l'inflammation. Les composés heptane et méthylcyclohexane ont été identifiés comme des VOCs associés à une infection bactérienne. Deux composés ont été identifiés comme bons prédicteurs de l'origine de l'infection : l'hexan-1-ol serait associé à une infection virale tandis que le 1-heptadécène serait à relier à des infections bactériennes. La nature des VOCs peut donc être prédictive de la nature de l'infection, virale ou bactérienne.

L'analyse des VOCs relâchés par un organisme atteint d'une maladie infectieuse permet donc d'identifier cette dernière, qu'elle soit virale ou bactérienne, et parfois plus précocement qu'avec les méthodes classiques de dépistage.

### **1.3.2. Les VOCs comme marqueurs de cancers**

Les cancers sont un fléau qu'il est souvent difficile de diagnostiquer précocement, aboutissant de fait à une réduction drastique de l'espérance de vie des personnes atteintes. De récentes études ont montré qu'il était possible de diagnostiquer la présence de certains types de cancers, à l'aide de l'analyse des VOCs libérés par les cellules cancéreuses. L'identification des VOCs caractéristiques de chaque cancer pourrait permettre un diagnostic précoce de ces derniers et ainsi la mise en place rapide de mesures thérapeutiques.

#### *1.3.2.1. Cancer du poumon*

L'un des cancers les plus étudiés est le cancer du poumon. Plusieurs études ont été publiées ces dernières années concernant la signature olfactive de ce cancer. En 2009, une étude avait pour objectif de confirmer l'existence de VOCs spécifiques relâchés par les cellules cancéreuses du poumon (Sponring *et al.*, 2009). Deux VOCs ont été identifiés comme plus abondamment relâchés par les cellules cancéreuses que par les cellules saines, tandis qu'il en était l'inverse pour cinq autres VOCs.

L'année suivante, une étude a identifié entre 68 et 114 VOCs dans des échantillons d'air exhalé de patients atteints de cancer du poumon et de patients sains (Song *et al.*, 2010). Deux VOCs (butan-2-ol et 3-hydroxy-butan-1-ol) ont été retrouvés avec des concentrations supérieures chez les patients atteints de ce cancer. Les concentrations de VOCs ne permettaient cependant pas de distinguer un état d'avancement précoce ou tardif du cancer.

Ensuite, une étude de 2012 avait pour objectif d'étudier les VOCs émis par les cellules cancéreuses du poumon dans l'air expiré (Wang *et al.*, 2012). Le but était de discriminer les patients sains des patients atteints d'un cancer du poumon. Les résultats ont révélé une sensibilité de détection autour de 96 % et une spécificité autour de 97 %. L'analyse des VOCs exhalés dans le but d'identifier le cancer du poumon était donc une méthode très fiable d'après cette étude.

Enfin, une étude de 2014 a montré que quatre VOCs étaient présents en plus grande quantité dans l'air expiré de patients atteints de cancer du poumon que dans celui de patients sains ou atteints de nodules pulmonaires bénins (Fu *et al.*, 2014). De plus, la concentration d'un VOC en particulier (le butan-2-one) était plus élevée chez les patients atteints d'un cancer de stade II à IV

que chez ceux de stade I. Cette étude présente ainsi une avancée vis-à-vis de l'étude de 2010, qui n'avait pas identifié de VOC discriminant le stade d'avancement du cancer.

#### 1.3.2.2. Cancer du sein

Un autre cancer très étudié est le cancer du sein. Trois études ont été réalisées depuis 2012, dans le but d'identifier la signature olfactive de ce cancer. La première étude avait pour objectif de vérifier l'existence de VOCs spécifiques dans l'air exhalé de patients atteints de cancer du sein (Mangler *et al.*, 2012). Les résultats ont montré que les profils de VOCs différaient fortement entre les deux groupes. Cinq VOCs ont été identifiés comme discriminants, dont quatre étaient plus élevés chez les patients sains et un l'était chez les patients malades.

Une étude de 2017 avait pour objectif de définir le profil olfactif des cellules cancéreuses du sein (Silva *et al.*, 2017). Le profil olfactif de VOCs a été dressé. Six VOCs ont exclusivement été retrouvés dans l'espace de tête des cellules cancéreuses.

Un an plus tard, une étude avait pour objectif de déterminer la signature olfactive des VOCs présents dans des échantillons d'urine de patients atteints de cancer du sein (Taunk *et al.*, 2018, p.). Quatorze VOCs ont été identifiés comme entrant en jeu dans la discrimination des patients malades et des patients sains, soit neuf de plus en comparaison avec l'étude de 2012.

#### 1.3.2.3. Carcinome ovarien

En 2010 et 2015, deux études ont eu pour objectif d'analyser le profil de VOCs du carcinome ovarien. La première avait pour objectif de tester la détection par des nez électroniques de différents VOCs émis par des carcinomes ovariens et par des tissus sains (Horvath *et al.*, 2010). Les résultats ont montré une sensibilité globale de 84 % et une spécificité globale de 87 %. Cette étude suggère que les VOCs émis par les carcinomes ovariens pourraient être utilisés pour le diagnostic précoce de la maladie.

La seconde étude avait pour objectif de proposer une nouvelle méthode de détection du carcinome ovarien, à partir des VOCs de l'air expiré des patients atteints (Kahn *et al.*, 2015). Les résultats étaient plutôt encourageants puisque cette méthode permettait de distinguer des patients sains de patients souffrant de carcinome ovarien avec une précision de 82 %.

#### 1.3.2.4. Cancer colorectal

La signature olfactive du cancer colorectal a également été étudiée. Une étude de 2014 avait pour objectif de déterminer s'il était possible de diagnostiquer le cancer colorectal à partir d'analyse d'urine par FAIMS (Arasaradnam *et al.*, 2014). Les résultats ont montré une sensibilité et spécificité de détection de respectivement 88 et 60 %. La sensibilité était correcte mais la spécificité était plutôt basse, des améliorations sont donc à réaliser dans ce domaine.

Une étude de 2020 avait pour objectif d'évaluer la possibilité d'utiliser les VOCs exhalés comme biomarqueurs diagnostics pour le cancer colorectal et ses lésions précurseurs (van Keulen *et al.*, 2020). Les résultats ont révélé une sensibilité de 95 % et une spécificité de 64 % pour la détection du cancer colorectal, et une sensibilité de 79 % et une spécificité de 59 % pour la détection d'adénomes avancés. Les sensibilités et spécificités n'étaient pas très satisfaisantes, montrant que le cancer colorectal est sûrement difficile à diagnostiquer par son profil olfactif.

#### 1.3.2.5. Cancers œsophagiens et gastriques

La signature olfactive de cancers œsophagiens et gastriques a été étudiée au cours de deux études, en 2015 et en 2018. L'étude de 2015 avait pour objectif de déterminer si l'analyse d'échantillons

d'air expiré par SIFT-MS pouvait discriminer les patients sains des patients atteints d'adénocarcinomes œsophagiens et gastriques (Kumar *et al.*, 2015). Des échantillons provenant de patients atteints de ces cancers ont été comparés avec des échantillons provenant de patients sains ou atteints par des maladies gastrointestinales bénignes du haut appareil digestif. Les résultats ont montré que les profils d'air exhalé pouvaient distinguer les patients cancéreux des patients non cancéreux.

L'étude de 2018 avait pour objectif de comparer des échantillons d'air expiré de patients atteints de cancer de l'estomac et de patients sains, dans le but d'identifier précisément les VOCs responsables de la signature olfactive du cancer de l'estomac (Mochalski *et al.*, 2018). Trente-deux VOCs ont été identifiés, dont quatre étaient davantage présents chez les sujets cancéreux, trois l'étaient chez les sujets sains, trois étaient associés à la présence de *Helicobacter pylori* et quatre étaient associés à la consommation de tabac.

#### 1.3.2.6. Autres cancers

Ensuite, plusieurs études isolées ont été conduites dans le but d'étudier les signatures olfactives d'autres types de cancers. Une étude de 2013 avait pour objectif d'identifier l'ensemble des VOCs responsables de l'odeur du mélanome en comparaison avec des mélanocytes sains (Kwak *et al.*, 2013). Plusieurs composés différaient entre les cellules cancéreuses et les cellules saines. Par exemple, l'alcool isoamylique était présent en quantité plus importante dans les mélanomes tandis que l'acide isovalérique était au contraire moins présent. Il a également été objectivé que le mélanome produisait du sulfure de diméthyle alors que le mélanocyte sain n'en produisait pas.

La même année, une étude avait pour objectif d'identifier et de quantifier les VOCs libérés et métabolisés par les cellules des carcinomes hépatocellulaires (Mochalski *et al.*, 2013). Les résultats ont montré que neuf VOCs étaient métabolisés par les cellules tandis que 12 autres étaient relâchés.

En 2016, une étude avait pour objectif de déterminer s'il était possible d'établir un profil de VOCs des carcinomes rénaux à partir d'échantillons d'urine dans un but de diagnostic simplifié (Wang *et al.*, 2016). Onze VOCs ont été retrouvés en quantité plus élevée chez les patients atteints de carcinome rénal en comparaison avec les patients sains, tandis que trois VOCs étaient au contraire présents en quantité abaissée.

Une étude de 2018 avait pour objectif d'identifier les VOCs émis dans l'urine de patients atteints de carcinome épidermoïde de la tête et du cou (Opitz et Herbarth, 2018). Quarante-et-un VOCs ont été identifiés, dont 25 étaient augmentés et 10 étaient diminués en comparaison avec les sujets sains. Le groupe chimique des aldéhydes saturés non ramifiés jouait un rôle important dans la discrimination des patients malades et des patients sains.

La même année, une étude avait pour objectif d'identifier le profil de VOCs de cellules cancéreuses de la vessie dans le but de déterminer s'il pouvait être différencié de celui de cellules saines de la vessie (Rodrigues *et al.*, 2018). Les résultats ont montré qu'il existait des différences dans les profils de VOCs permettant de discriminer les cellules cancéreuses et les cellules saines. Les différences dans les profils de VOCs permettaient également de différencier le stade de la tumeur.

Enfin, une étude de 2019 avait pour objectif de déterminer si l'analyse des VOCs présents dans des échantillons d'urine permettait de différencier des patients sains de patients atteints de cancer de la prostate (Gao *et al.*, 2019). Les résultats ont conduit à l'élaboration d'un modèle de diagnostic comprenant 11 VOCs.

L'ensemble de ces travaux de recherche montre la diversité et la complexité des profils olfactifs associés à chaque type de cancer. L'identification de VOCs spécifiques de chaque maladie est la clé d'une détection précoce de cette dernière.

### **1.3.3. Les VOCs comme marqueurs d'autres maladies systémiques**

#### *1.3.3.1. Maladies respiratoires*

Les maladies respiratoires sont extrêmement répandues à travers le monde, et généralement responsables de conséquences gravissimes sur la santé. Ces dernières années, plusieurs études ont œuvré pour la mise en évidence de nouvelles méthodes diagnostiques de ces maladies. Les signatures olfactives de plusieurs maladies respiratoires ont donc été étudiées.

##### *1.3.3.1.1. Fibrose kystique*

Une étude de 2006 avait pour objectif de déterminer les profils de VOCs présents dans l'air exhalé de patients atteints de fibrose kystique (Barker *et al.*, 2006). Les résultats ont révélé que le pentane était présent en plus grande quantité chez les patients malades que chez les patients sains, tandis qu'il s'agissait de l'inverse concernant le diméthylsulfure.

En 2017, une étude a été réalisée avec les mêmes objectifs que ceux de l'étude de 2006 (Yamada *et al.*, 2017). Quatre-vingt-cinq VOCs communs ont été retrouvés chez les patients malades et chez les patients sains. Les cinq VOCs les plus représentés chez les patients malades ont été identifiés. Parmi ces VOCs, il a été établi que les valeurs du p-cymène étaient associées aux paramètres cliniques de la maladie. Les résultats sont donc en constante évolution et nécessitent des recherches régulières afin d'actualiser les données.

##### *1.3.3.1.2. Maladie pulmonaire obstructive chronique*

La maladie pulmonaire obstructive chronique est cliniquement exprimée par de la dyspnée et une augmentation de la fréquence respiratoire notamment. Une étude de 2015 a montré que la spectrométrie de mobilité ionique était capable de distinguer les VOCs exhalés par les patients atteints de maladie pulmonaire obstructive chronique de ceux de patients sains (Besa *et al.*, 2015). Deux sous-groupes ont de plus été identifiés, selon l'empreinte de souffle des VOCs. Davantage d'études sont cependant nécessaires afin de caractériser avec plus de précision ces sous-groupes et d'identifier les substances sous-jacentes de ces VOCs.

##### *1.3.3.1.3. Asthme*

L'asthme est une maladie répandue et très handicapante. Une étude de 2013 avait pour objectif d'étudier l'existence de marqueurs de l'asthme infantile présents dans l'air expiré des enfants atteints de la maladie (Gahleitner *et al.*, 2013). Huit composés ont été identifiés comme étant présents en quantité plus importante chez les enfants asthmatiques que chez les enfants sains.

La même année, une étude avait pour objectif de déterminer si l'analyse du profil des VOCs chez les enfants asthmatiques pouvait prédire une aggravation de la maladie (Robroeks *et al.*, 2013). Les résultats ont montré que l'analyse du profil des VOCs était un outil permettant de prédire l'aggravation de la maladie.

En 2019, une étude avait pour objectif de déterminer si les VOCs mesurés dans des échantillons d'air expiré pouvaient servir d'outil diagnostique à l'asthme infantile (Cavaleiro Rufo *et al.*, 2019). Les résultats ont révélé une discrimination efficace entre les patients sains, les patients atteints d'asthme et ceux atteints d'asthme persistant et nécessitant une corticothérapie. Cette

méthode semblerait moins spécifique que la spirométrie avec bronchodilatation mais serait plus précise et plus sensible.

Une étude de 2020 avait pour objectif de déterminer s'il était possible, avec l'aide d'un nez artificiel, d'identifier les patients atteints d'asthme non contrôlé à partir des VOCs exhalés (Farraia *et al.*, 2020). Les résultats ont montré qu'il était possible de discriminer les patients atteints d'asthme contrôlé de ceux atteints d'asthme avec des symptômes non contrôlés.

#### 1.3.3.2. *Maladies gastrointestinales*

Les maladies gastrointestinales sont un autre groupe de maladies répandues et handicapantes au quotidien. Ces dernières peuvent se présenter sous forme aiguë ou chronique. Une étude de 2007 avait pour objectif d'identifier les VOCs émis par les fèces de patients atteints de maladies gastrointestinales en comparaison avec ceux émis par les fèces de patients sains (Garner *et al.*, 2007). Les VOCs ont été collectés par SPME et analysés par GC-MS. Deux-cents-quatre-vingt-dix-sept VOCs ont été recensés. Quarante-quatre VOCs étaient partagés par 80 % des sujets. Les profils de VOCs des patients malades étaient tous différents de ceux des patients sains. D'après cette étude, il est ainsi possible de discriminer par l'odeur les patients atteints de maladie gastrointestinale des patients sains.

Les nez électroniques sont capables de reconnaître l'empreinte aromatique composée de l'assemblage des VOCs d'un échantillon. Une étude de 2011 avait pour objectif de comparer l'efficacité de détection des nez électroniques avec celle de la spectrométrie de masse dans le cas de maladies gastrointestinales (Arasaradnam *et al.*, 2011). Les premiers résultats ont montré que les nez électroniques étaient capables de distinguer, à partir d'échantillons d'urine, les patients sains de ceux atteints de maladies intestinales ou de diabète, avec 97 % de réussite. Les nez électroniques sont donc capables de détecter les VOCs produits par la fermentation des bactéries, qui diffèrent selon l'état de santé de l'individu.

En 2016, une étude avait pour objectif de déterminer si l'analyse par FAIMS des VOCs exhalés pouvait permettre de distinguer les patients sains de ceux atteints de maladie inflammatoire chronique de l'intestin (Arasaradnam *et al.*, 2016). Les résultats ont montré que cette méthode permettait de distinguer les patients sains des patients malades avec une sensibilité de 74 % et une spécificité de 75 % mais également de distinguer les sous-types de la maladie (maladie de Crohn et rectocolite hémorragique) avec une sensibilité et une spécificité de 67 %. Les sensibilités et spécificités ne sont pour le moment pas très satisfaisantes mais les résultats sont prometteurs et nécessitent davantage de recherches dans le domaine.

#### 1.3.3.3. *Hyperlipémie*

L'hyperlipémie est une maladie de plus en plus répandue, et facteur de risque d'athérome vasculaire. Elle se développe dans la plupart des cas silencieusement, et rend ainsi son diagnostic précoce difficile. Une étude de 2001 avait pour objectif de présenter deux VOCs importants pour la médecine humaine : l'isoprène et l'ortho-toluidine (Rieder *et al.*, 2001). D'après une étude de cas, il a été rapporté que la baisse du niveau d'isoprène dans l'air exhalé lors de traitements hypolipémiants était corrélée à la baisse de concentration sanguine de cholestérol et LDL. Quant à lui, l'ortho-toluidine était présent en plus grande quantité chez les patients atteints de différentes tumeurs que chez les patients sains du même âge. Les réactions inflammatoires ne semblaient pas interférer dans l'émission de l'ortho-toluidine.

#### 1.3.3.4. *Maladies neurodégénératives*

La signature olfactive de deux maladies neurodégénératives répandues ont également été étudiées ces dernières années. La maladie d'Alzheimer est en général détectée tardivement, au moment de

l'apparition de symptômes graves. Une étude de 2015 a souhaité déterminer s'il était possible de diagnostiquer la maladie d'Alzheimer précocement, c'est-à-dire plusieurs années avant l'apparition des symptômes, sur la base des VOCs émis dans l'air expiré du patient malade (Mazzatenta *et al.*, 2015). Les résultats ont montré que des différences significatives étaient visibles au sein des paramètres de la respiration. Tout d'abord, la fréquence respiratoire était plus élevée chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer que chez les patients sains. Ensuite, la nature et la quantité des VOCs présents dans l'air expiré des patients malades différaient de celles des patients sains. L'empreinte olfactive de la maladie a en outre été décrite dans cette étude.

La seconde maladie neurodégénérative étudiée est la maladie de Parkinson. Récemment, une odeur caractéristique émanant de la peau des patients atteints de la maladie de Parkinson a été identifiée. Une étude de 2021 a souhaité étudier la possibilité de diagnostiquer la maladie de Parkinson à l'aide des VOCs émis par la peau des patients malades (Sinclair *et al.*, 2021). Les résultats ont montré une classification correcte des patients atteints de Parkinson dans 84 % des cas.

### **1.3.4. Les VOCs comme marqueurs d'humains disparus**

Le réchauffement climatique et la menace terroriste croissante sont à l'origine de l'augmentation de l'incidence des catastrophes de masse. Retrouver les corps, vivants ou décédés, est une urgence lors de ces situations. Quelques études ont été conduites dans le but d'identifier la signature olfactive d'humains disparus.

En 2005, deux cadavres humains ont été retrouvés en Grèce, dont la cause du décès restait inconnue (Statheropoulos *et al.*, 2005a). Les VOCs émanant de ces cadavres ont été déterminés à l'aide de désorption thermique ainsi que de GC-MS. Plus de 80 composés ont été identifiés et quantifiés. Les différences qualitatives et quantitatives parmi les VOCs et le CO<sub>2</sub> émis par les deux cadavres indiquaient un niveau de décomposition différent. L'analyse des VOCs et du CO<sub>2</sub> émis par les cadavres permet donc de replacer dans le temps la date approximative du décès.

La même année, une étude avait pour objectif d'étudier la possibilité d'utiliser les VOCs de l'air expiré, du sang et de l'urine pour détecter précocement les personnes piégées lors des tremblements de terre (Statheropoulos *et al.*, 2005b). Les échantillons ont été récoltés par désorption thermique et GC-MS pour l'air expiré et par SPME et GC-MS pour le sang et l'urine. L'acétone était le seul composé commun aux trois types d'échantillons. L'isoprène était présent dans l'air expiré et dans le sang. L'acétone et l'isoprène étaient les deux constituants majeurs des VOCs de l'air expiré. Des cétones variées ont été identifiées dans les échantillons d'urine.

Une étude de 2009 avait pour objectif d'identifier précisément les VOCs libérés par les cadavres à l'aide de SPME et GC-MS (Hoffman *et al.*, 2009). L'espace de tête contenait de nombreuses classes de VOCs, dont des alcools, des aldéhydes, des halogénés, des hydrocarbonés, des cétones et des sulfides. L'analyse des données a démontré que les VOCs associés à la décomposition humaine partageaient des similarités entre les différentes parties du corps et les différents tissus.

Une étude comparative de 2012 a souhaité étudier les différences existant entre les VOCs émis par les cadavres humains et ceux émis par les cadavres d'animaux (Cablk *et al.*, 2012). Les VOCs ont été extraits par SPME et GC-MS des muscles, os, graisse et peau de porcs, bovins et poulets et d'échantillons humains. Même s'il existait des VOCs communs entre les animaux et l'Homme, la signature olfactive était toujours différente entre chaque animal et l'échantillon humain. L'animal partageant le plus de VOCs communs avec l'Homme était le poulet.

Une étude de 2021 avait pour objectif d'étudier le processus de décomposition d'un corps humain ainsi que les VOCs libérés au cours de deux simulations d'effondrement de bâtiment,

comprenant chacun six humains ayant donné leur corps à la science (Ueland *et al.*, 2021). Les VOCs libérés par les restes humains ont été analysés durant un mois. Selon la localisation des cadavres, la vitesse de décomposition était différente, ainsi que leurs VOCs. Quinze jours après le début de l'expérience, le profil des VOCs avait changé, révélant un changement dans le processus de décomposition. Les VOCs sont donc en constante évolution lors du processus de décomposition et sont associés à un stade de décomposition précis.

Ces études montrent ainsi que les corps humains disparus émettent des VOCs spécifiques de l'état du corps. L'identification précise de ces VOCs permettrait ainsi la datation du décès et l'estimation de la vitesse de décomposition du cadavre.

Les volatiles et VOCs relâchés par le corps humain sont d'une diversité impressionnante. De nombreuses techniques ont été développées dans le but d'identifier et de quantifier ces derniers. L'application de la découverte de ces VOCs en santé humaine est une avancée prometteuse et une voie qu'il est nécessaire de continuer à explorer.

## **2. La détection olfactive canine au service de l'Homme, en dehors de la COVID-19**

### **2.1. Généralités**

#### **2.1.1. L'olfaction canine en chiffres**

La famille des gènes codant pour les récepteurs olfactifs constitue l'une des plus larges familles de gènes chez les mammifères, avec environ 900 gènes et pseudogènes chez l'Homme (Glusman *et al.*, 2001) contre plus de 1 000 chez le chien (Quignon *et al.*, 2005).

Les facultés olfactives des chiens sont impressionnantes, puisqu'ils sont capables de détecter plus de 100 000 odeurs différentes. Elles sont en partie dues aux nombreuses mutations touchant ces gènes, leur allouant ainsi un polymorphisme important et permettant l'évolution du répertoire olfactif et la reconnaissance de davantage d'odeurs (Robin *et al.*, 2009).

Les capacités olfactives des chiens sont également dues à la surface très étendue de leur muqueuse olfactive, de l'ordre de 200 cm<sup>2</sup> (Craven, 2008), contre 2 à 10 cm<sup>2</sup> chez l'Homme en comparaison (Keyhani *et al.*, 1997). Les cellules sensorielles réceptrices sont ainsi beaucoup plus nombreuses chez les chiens que chez l'Homme, avec respectivement 100 à 200 millions de cellules contre 5 millions seulement.

#### **2.1.2. Détection olfactive canine dans le règne animal et végétal**

La détection olfactive canine dans le règne animal et végétal a fait l'objet de premières études au vingtième siècle. Il a été démontré que les chiens étaient capables de mettre leur sens pointu de l'olfaction au service de la détection de maladies végétales et animales.

Au sein du règne végétal, les chiens sont capables de détecter le charançon rouge des palmiers (Suma *et al.*, 2013), le chancre asiatique des agrumes (Gottwald *et al.*, 2020a) ainsi qu'une bactérie phytopathogène des agrumes (Gottwald *et al.*, 2020b).

Au sein du règne animal, les chiens sont capables d'identifier certains types d'insectes, notamment leurs œufs sur différents supports (Wallner et Ellis, 1976), la localisation de nids de

bourdons dans le but d'estimer la taille de leur population (Waters *et al.*, 2011) et l'infestation d'un lieu par des punaises de lit (Pfiester *et al.*, 2008). Les chiens sont également capables de détecter des maladies animales, comme l'identification de nématodoses dans des selles de moutons infestées (Richards *et al.*, 2008), la présence du virus de la BVD chez les bovins (Angle *et al.*, 2015), et le moment de l'œstrus chez les vaches laitières hautes productrices (Fischer-Tenhagen *et al.*, 2013).

Les capacités olfactives des chiens ne se cantonnent cependant pas à la détection de maladies animales et végétales. Leur domaine d'action est bien plus développé.

## **2.2. La détection olfactive canine hors milieu médical**

La détection d'explosifs, de stupéfiants et de restes humains représente une partie importante de l'activité des chiens de travail des forces de l'ordre.

### **2.2.1. Détection d'explosifs**

#### *2.2.1.1. Identification des odeurs*

Malgré le développement de capteurs instrumentaux pour la détection des explosifs, les chiens de détection olfactive restent l'un des domaines de recherche les plus prometteurs. L'identification des odeurs présentes dans les explosifs est un point indispensable pour orienter correctement l'entraînement des chiens. Une étude de 2005 avait pour objectif de présenter les odeurs chimiques dominantes retrouvées dans les explosifs (Harper *et al.*, 2005). Les résultats montraient que le TNT et les explosifs coulés-fondus partageaient une signature olfactive commune tout comme les explosifs plastifiés tels que le C-4 et le Detasheet. À l'inverse, les poudres sans fumées ne partageaient aucune signature olfactive commune.

D'après une étude de 2001, la micro-extraction en phase solide du C-4 révélait la présence de deux odeurs chimiques volatiles dans l'espace de tête, à savoir le 2-ethyl-1-hexanol et le cyclohexanone (Furton et Myers, 2001). La comparaison des avantages de la méthode de détection instrumentale et de ceux des chiens de détection olfactive a conduit les auteurs à conclure que la détection canine restait la méthode la plus rapide, polyvalente et fiable en temps réel tandis que la détection instrumentale souffrait d'un échantillonnage insuffisamment efficace, de problèmes de sélectivité en présence d'autres odeurs chimiques et d'une mobilité limitée.

#### *2.2.1.2. Présence d'odeurs parasites*

Le désir croissant de voir les chiens de détection olfactive devenir le gold standard de la détection des explosifs dans de nombreuses situations amène à appréhender l'entraînement de ces chiens de manière similaire à la conception de capteurs scientifiques. Cependant, les chiens restent des êtres vivants et non des machines, et leur odorat peut être perturbé par des odeurs parasites présentes dans l'environnement de travail.

Un article de 2014 avait pour objectif de déterminer les composés chimiques responsables de la signature olfactive du C-4 (W. Kranz *et al.*, 2014, p. 4). L'étude a finalement permis de montrer que le composé 2-ethyl-1-hexanol, connu comme signature olfactive du C-4, était également présent dans les explosifs plastiques mais aussi dans les matériaux type PVC, rubans électriques et cartes de crédit. De nombreux facteurs de confusion peuvent ainsi perturber la détection olfactive canine.



Afin de contrer ce problème, il serait judicieux de pouvoir analyser les éventuelles odeurs perturbatrices présentes dans l'environnement. Une étude de 2017 avait pour objectif d'évaluer l'aide apportée par l'analyse de vapeur par spectrométrie de masse de neuf explosifs dans la détection olfactive canine (Ong *et al.*, 2017). Il a ainsi été montré que cet instrument permettait d'identifier les contaminations croisées du matériel d'entraînement, et permettait donc d'anticiper et d'éviter les erreurs de détection.

### *2.2.1.3. Développement de pseudo-explosifs*

L'entraînement des chiens à la détection des explosifs se fait traditionnellement à l'aide d'authentiques explosifs. Cependant, les difficultés et risques inhérents à la manipulation de ce type de matériel ont amené au développement de pseudo-explosifs, capables d'imiter la signature olfactive des explosifs tout en restant inertes. Un chien entraîné à détecter un pseudo-explosif devrait ainsi être capable de détecter un explosif réel. Inversement, un chien entraîné à la détection d'un explosif réel devrait être capable de détecter de la même manière un pseudo-explosif.

Une étude de 2014 avait pour objectif de vérifier ces hypothèses, à partir de trois explosifs : une poudre sans fumée, le TNT et le C-4 (W. D. Kranz *et al.*, 2014). Les résultats étaient plutôt décevants puisque les chiens entraînés à la détection de pseudo-explosifs ne se sont révélés capables de détecter que ces derniers. Il en est de même pour les chiens entraînés à la détection d'authentiques explosifs. La signature olfactive des explosifs semble donc unique et difficile à reproduire sous forme de pseudo-explosifs.

### **2.2.2. Détection de stupéfiants**

L'usage croissant de substances illicites à travers le monde ces dernières années a entraîné le développement de méthodes de détection rapides et puissantes. Les chiens semblent être des armes de détection efficaces. Plusieurs études ont donc été menées ces dernières années autour de la détection olfactive canine de stupéfiants.

#### *2.2.2.1. Performances de la détection olfactive canine*

Un article de 2018 fait le point sur l'utilisation des chiens pour la détection olfactive de stupéfiants en Colombie (Villareal *et al.*, 2018). D'après cette étude, ces chiens de détection de drogues auraient découvert 16 % des explosifs, mines et munitions saisies par la police en 2016 ainsi que 19 % des substances illicites telles que la cocaïne, la marijuana, l'héroïne, la pâte de coca et les drogues de synthèse.

Les chiens de détection olfactive sont un outil très efficace mais les résultats de détection peuvent cependant varier entre plusieurs individus. Une étude de 2014 montre que les résultats de la détection de substances illicites par des chiens entraînés dépendent de plusieurs facteurs, dont notamment le type de drogue, la race du chien et l'expérience du chien avec le site de recherche (Jezierski *et al.*, 2014). Il fallait en moyenne un peu plus d'une minute pour que les chiens trouvent la drogue cachée. Le taux de réussite était proche de 88 % et le taux d'échec d'environ 5 %. Les 7 % restants couvraient les cas de non découverte de l'échantillon de drogue au bout de 10 minutes.

#### *2.2.2.2. Présence d'odeurs parasites*

L'une des difficultés principales dans la détection olfactive canine est la présence d'odeurs parasites, induisant en erreur l'olfaction des chiens. La signature chimique de la cocaïne, le méthyl benzoate, est un composé produit en grande quantité par la fleur de muflier. Une étude de 2015 avait pour objectif de déterminer si des chiens entraînés à la détection de cocaïne étaient capables de différencier la cocaïne des fleurs de muflier (Cerreta et Furton, 2015). Les résultats ont montré que

des chiens entraînés sont en effet capables de cette distinction. La présence de fleur de muflier ne semble ainsi pas représenter un facteur de confusion dans la détection de la cocaïne.

### *2.2.2.3. Développement de pseudo-stupéfiants*

Dans un but économique et sécuritaire, il serait intéressant que les chiens puissent s'entraîner à détecter des stupéfiants à l'aide de pseudo-stupéfiants. L'objectif d'une étude de 2015 était de comparer l'odeur des VOCs émis par les substances illicites que sont la marijuana, la cocaïne et l'héroïne, de ceux émis par leurs substituts (Rice et Koziel, 2015a). La difficulté résidait majoritairement dans le fait que la valeur d'activité olfactive d'un composé n'était apparemment pas liée à sa concentration. Les drogues différaient ainsi de leurs substituts par la proportion d'odeurs actives qu'elles contenaient. Tout comme pour les explosifs, il semble à l'heure actuelle compliqué d'entraîner les chiens avec des pseudo-stupéfiants.

Une étude de la même année suggérait de s'intéresser à des composés présents en faible concentration dans la marijuana, qui auraient un impact plus puissant sur la signature olfactive de la drogue (Rice et Koziel, 2015b). Une autre étude de 2015 classait les composés olfactifs présents dans la marijuana, la cocaïne et l'héroïne selon leur concentration et selon la puissance de leur odeur (Rice et Koziel, 2015c). Il apparaissait que les composés présents en plus petite quantité étaient ceux dont la signature olfactive était la plus puissante.

### **2.2.3. Détection de restes humains**

Les chiens peuvent être entraînés dans le but de retrouver des personnes perdues ou disparues ainsi que des victimes de catastrophes naturelles. Une autre sous-spécialité est la recherche de cadavres ou de restes humains enterrés ou cachés. Lors d'un incendie survenu au Texas en septembre 2011, des chiens de recherche de cadavres ont fouillé plus de 6 300 hectares dans le but de retrouver des restes humains dispersés et ensevelis (Migala et Brown, 2012). Plusieurs études ont été réalisées ces dernières années dans le but d'étudier la détection olfactive canine de restes humains.

#### *2.2.3.1. Détection de restes humains dispersés*

Certaines études ont basé leur expérimentation sur la détection de restes humains en globalité. Une étude de 1999 a montré que le taux de réussite à retrouver des restes humains dispersés variait entre 57 et 100 % selon les chiens (Komar, 1999).

En 2003, des chercheurs ont réalisé des essais sur terrain de récupération par des chiens entraînés de restes humains enterrés volontairement (Lasseter *et al.*, 2003). Les résultats ont montré que les chiens étaient capables de retrouver des restes humains à différents stades de décomposition et à différentes profondeurs.

En 2008, une étude avait pour objectif d'évaluer la fiabilité, la précision et la spécificité de l'olfaction de trois chiens entraînés à la détection de cadavres dans l'intervalle post-mortem précoce (Oesterhelweg *et al.*, 2008). Les résultats étaient très prometteurs puisqu'ils affichaient une sensibilité comprise entre 75 et 100 %, une spécificité comprise entre 91 et 100 %, une valeur prédictive positive comprise entre 90 et 100 %, une valeur prédictive négative comprise entre 90 et 100 % et une précision comprise entre 92 et 100 %.

Une étude de 2017 en Nouvelle Écosse a souhaité évaluer la capacité de chiens entraînés à détecter la présence de restes humains, dans différentes conditions (Dilkie et Veniot, 2017). Les échantillons de restes humains étaient disposés dans des boîtes olfactives ou directement sur le terrain et différenciés selon leur méthode de dissimulation : à la surface, sous l'eau, enterrés ou suspendus. Parmi les 266 sessions d'entraînement, un taux de réussite de 94 % a été observé.

### 2.2.3.2. Détection d'échantillons de sang

D'autres études se sont concentrées sur la détection d'échantillons de sang. En 2014, une étude a montré que des chiens correctement entraînés étaient capables de détecter la présence de sang en décomposition à des concentrations très faibles (Riezzo *et al.*, 2014). Ils étaient également capables de distinguer l'odeur de la cible même lorsque des odeurs parasites étaient présentes en quantités beaucoup plus importantes.

De même, une étude de 2019 avait pour objectif de déterminer s'il était possible pour des chiens entraînés de retrouver la localisation exacte d'échantillons sanguins provenant de cadavres humains (Rendine *et al.*, 2019). Les performances canines ont révélé une valeur prédictive positive proche de 100 % pour les deux chiens. Le sang en décomposition pourrait ainsi être une source de VOCs et une cible intéressante pour les chiens détecteurs de cadavres.

### 2.2.3.3. Aides d'entraînement à la détection de restes humains

La détection olfactive canine de restes humains est affectée par de nombreux paramètres, comme l'entraînement, la familiarisation avec l'odeur à chercher et les conditions environnementales. Une étude de 2012 avait ainsi pour objectif d'élaborer des aides d'entraînement adaptées à la recherche de restes humains (DeGreeff *et al.*, 2012). L'étude proposait une méthode de détection sans contact d'odeurs concentrées sur des matériaux absorbants. Les résultats ont montré un taux de réussite proche de 90 %.

## 2.3. La détection olfactive canine au sein du milieu médical

Ces dernières décennies, de nombreuses études autour de la détection olfactive ont été entreprises, à l'aide d'humains, d'animaux, mais aussi de nez électroniques. La faculté de l'humain à détecter des maladies par l'olfaction est cependant très limitée et n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études. À l'inverse, la détection olfactive à l'aide d'animaux a été très étudiée et révèle souvent une précision identique voire même supérieure aux méthodes standard de diagnostic. Des études utilisant des nez électroniques pour la détection de pathologies pulmonaires et de cancers ont également révélé des résultats très prometteurs avec une grande sensibilité et spécificité (Bijland *et al.*, 2013).

### 2.3.1. Détection de cancers

Le diagnostic précoce et un traitement adapté sont indispensables pour réduire le taux de mortalité des personnes atteintes de cancer. Le manque de symptômes précurseurs dans la plupart des formes de cancer amène à investiguer de nouvelles méthodes de détection précoce. L'une des méthodes les plus prometteuses est l'analyse des VOCs, retrouvés dans l'haleine ou dans divers fluides biologiques. De nombreuses études ont été réalisées, *in vivo*, *ex vivo*, ou *in vitro*, et ont montré que les cellules cancéreuses étaient capables d'émettre des VOCs spécifiques selon les cancers.

#### 2.3.1.1. Cancers du poumon et du sein

Les cancers du poumon et du sein sont les principales causes de décès par cancer dans le monde. Plusieurs études ont donc visé à étudier la détection olfactive canine de ces deux types de cancers.

Une étude de 2006 a montré que la détection olfactive canine du cancer du poumon avait une sensibilité et une spécificité de 99 % en comparaison avec le diagnostic conventionnel par biopsie (McCulloch *et al.*, 2006). La détection du cancer du sein avait, elle, une sensibilité de 88 %

et une spécificité de 98 %. Les sensibilités et spécificités étaient étonnamment similaires entre les 4 stades d'avancement des cancers.

En 2012, une étude a cherché à déterminer s'il existait un VOC présent dans l'air exhalé de patients atteints de cancer du poumon détectable par des chiens renifleurs (Ehmann *et al.*, 2012). Les résultats ont montré une sensibilité de détection olfactive du cancer du poumon de 71 % et une spécificité de 93 %. La détection du cancer n'était pas influencée ou confondue avec une maladie pulmonaire obstructive chronique, du tabagisme ou des odeurs de nourriture. Deux drogues ont cependant été identifiées comme des potentiels biais de confusion.

Deux ans plus tard, une étude avait pour objectif de déterminer la précision de détection du cancer du poumon par des chiens entraînés à la détection olfactive (Rudnicka *et al.*, 2014). Les résultats ont révélé une sensibilité de 86 % et une spécificité de 72 %.

Une étude de 2016 avait pour objectif de reproduire une situation de type dépistage afin d'évaluer la capacité des chiens à détecter le cancer du poumon par l'olfaction (Hackner *et al.*, 2016). Les résultats de l'étude ont montré une valeur prédictive positive de 31 % et une valeur prédictive négative de 84 %, relativement basses en comparaison avec les études précédentes.

L'objectif d'une étude de 2019 était d'objectiver la capacité de chiens entraînés à identifier le cancer du poumon chez des patients avec un nodule pulmonaire solitaire malin, à partir d'échantillons d'air exhalé (Guirao *et al.*, 2019). Les résultats ont démontré une sensibilité et une valeur prédictive positive de 97 %, ainsi qu'une spécificité et une valeur prédictive négative de 99 %. Les chiens étaient donc capables d'identifier avec précision l'origine maligne des nodules pulmonaires solitaires.

La même année, une étude a souhaité comparer l'efficacité des chiens de détection olfactive et des nez artificiels dans la détection du cancer du poumon (Biehl *et al.*, 2019). Il a été remarqué que l'utilisation de chiens de détection entraînés était bénéfique comparée à l'utilisation de chiens non entraînés. Globalement, les chiens ont donné des résultats avec 83 % de spécificité et 56 % de sensibilité contre respectivement 97 % et 89 à 100 % pour les nez artificiels. La précision des résultats chez les chiens de détection olfactive dépendait de leur entraînement et du matériel contenant les échantillons d'air expiré. Le tissu polaire semblait être un bon matériel pour supporter les échantillons. Les chiens de détection olfactive n'atteignaient donc pas les résultats des machines mais les essais étaient tout de même encourageants.

La dernière étude en date a été publiée en 2022 et a montré, à l'aide d'une étude en double aveugle, une précision de détection du cancer du poumon par deux chiens comprise entre 68 et 83 % (Riedlova *et al.*, 2022).

### 2.3.1.2. Cancer colorectal

Le cancer colorectal est le 3<sup>e</sup> cancer le plus fréquent, or il n'existe aucune méthode de dépistage précoce sensible et non invasive. Une étude de 2011 a étudié la détection olfactive du cancer colorectal par les chiens, à partir d'échantillons d'haleine et de selles (Sonoda *et al.*, 2011). La détection du cancer colorectal à partir d'échantillons d'haleine avait une sensibilité de 91 % et une spécificité de 99 % par rapport à la colonoscopie. La détection du cancer colorectal à partir d'échantillons de selles avait une sensibilité de 97 % et une spécificité de 99 %. La précision de la détection olfactive canine était plus élevée pour des stades de cancer précoces. Les odeurs détectées n'ont pas été confondues avec un tabagisme intercurrent, une maladie colorectale bénigne, une maladie inflammatoire, ou encore la présence d'hémoglobine ou de transferrine.

Une étude de 2017 avait pour objectif de déterminer si des chiens entraînés étaient capables de détecter le cancer colorectal à partir d'échantillons d'odeur corporelle (Sarkis *et al.*, 2017). Les

résultats ont montré une sensibilité de 100 % et une spécificité de 88 % par rapport à la colonoscopie. La détection n'a pas été influencée par la présence de maladies inflammatoires ou de dysplasie de bas grade.

#### 2.3.1.3. Cancer de la prostate

Le cancer de la prostate touche de nombreux hommes à travers le monde. Quatre études ont eu pour objectif de déterminer l'efficacité de la détection du cancer de la prostate par des chiens de détection olfactive à partir d'échantillons d'urine.

Une étude de 2011 a montré qu'un chien a été entraîné à reconnaître l'urine de patients atteints de cancer de la prostate et a donné de très bons résultats avec une sensibilité et spécificité de 91 % (Cornu *et al.*, 2011).

En 2014, les résultats n'ont pas été aussi prometteurs puisque seulement deux chiens sur les dix ont réussi à réaliser l'épreuve en entier et leurs sensibilités et spécificités étaient en outre mauvaises face à de nouveaux échantillons d'odeur (Elliker *et al.*, 2014). Cette étude met en lumière la capacité des chiens à mémoriser un large panel d'odeurs sans pour autant les généraliser à une odeur commune spécifique d'une maladie.

En 2015, les résultats d'une étude ont révélé une sensibilité de 99 à 100 % et une spécificité de 98 à 99 % selon les chiens (Taverna *et al.*, 2015). L'analyse des faux positifs n'a pas été concluante.

La dernière étude a été menée en 2022 et a révélé des précisions de détection des cellules cancéreuses de la prostate par deux chiens comprises entre 84 et 98 % (Jeong *et al.*, 2022).

#### 2.3.1.4. Cancer de la vessie

La détection olfactive d'autres types de cancers a été étudiée ces dernières années. Par exemple, en 2004 une étude avait pour objectif de déterminer si des chiens étaient capables de détecter le cancer de la vessie à partir de l'odeur d'échantillons d'urine (Willis *et al.*, 2004). Les résultats ont montré que les chiens étaient capables de détecter le cancer de la vessie avec un taux de réussite de 41 %, supérieur à celui attendu par le hasard seul.

Une étude de 2010 avait pour objectif de déterminer la précision de la détection du cancer de la vessie par des chiens à l'aide de tests en double-aveugle (Willis *et al.*, 2010). Les résultats ont montré une sensibilité de 64 % et une spécificité variant de 56 % à 92 % selon l'âge des patients et la présence ou non de pathologies urinaires non cancéreuses. En effet, l'analyse des Odds ratio a montré que la performance des chiens diminuait lorsque le nombre d'anomalies révélées par la bandelette urinaire augmentait. Les capacités olfactives des chiens étaient donc perturbées par la présence d'anomalies urinaires concomitantes.

#### 2.3.1.5. Carcinome ovarien

Une étude de 2008 avait pour objectif de déterminer s'il était possible pour des chiens entraînés de détecter un carcinome ovarien sur la base d'une odeur spécifique de la maladie (Horvath *et al.*, 2008). Des tests en double aveugle ont révélé une sensibilité égale à 100 % et une spécificité environ égale à 98 %. De plus, l'odeur du carcinome ovarien semblait différer de celle d'autres affections gynécologiques comme les carcinomes du col de l'utérus, de l'endomètre ou de la vulve.

Une étude de 2013 avait pour objectif d'évaluer la capacité de chiens à détecter la présence d'un cancer ovarien à partir de l'odeur d'échantillons sanguins, suite à la mise en place de traitements comme la chimiothérapie ou la chirurgie (Horvath *et al.*, 2013). Les résultats ont laissé

à penser que la détection olfactive canine donnait une bonne évaluation du pronostic des patients puisque les chiens étaient capables de détecter précocement des rechutes de ce cancer.

#### *2.3.1.6. Autres cancers*

Une étude de 2017 avait pour objectif de déterminer si les chiens étaient capables de détecter le cancer du col de l'utérus à l'aide de biopsies mais également à l'aide de matériel plus accessible tel qu'un frottis du col de l'utérus et des protections hygiéniques (Guerrero-Flores *et al.*, 2017). Les résultats ont révélé une sensibilité et une spécificité toutes deux supérieures à 90 %.

Une étude de la même année avait pour objectif de déterminer la précision de la détection du cancer hépatocellulaire par des chiens sur la base d'échantillons d'expiration (Kitiyakara *et al.*, 2017). Les résultats ont révélé une sensibilité de 78 %, supérieure à la valeur attendue si les résultats étaient dus au hasard uniquement.

En 2013 et 2019, deux rapports de cas ont été publiés, concernant la détection du mélanome par des chiens. Deux chiens de compagnie ont su détecter la présence chez leurs maîtres d'un mélanome malin avant que ce dernier ne soit symptomatique. Dans le premier cas, le chien léchait la zone avec insistance pendant plusieurs jours jusqu'à alerter son maître (Campbell *et al.*, 2013). Dans le second cas, le chien tentait d'arracher et de mordre la masse présente dans le bas du dos de sa maîtresse (Srivastava *et al.*, 2019).

#### *2.3.1.7. Détection croisée des cancers*

Il serait intéressant de savoir si les chiens entraînés à la détection d'un certain type de cancer pourraient être capables de détecter d'autres types de cancers. En 2015, une étude avait pour objectif de déterminer la capacité de chiens à distinguer des cellules du cancer du sein de cellules bénignes ainsi que leur capacité à détecter des cellules malignes de mélanomes et de carcinomes pulmonaires auxquelles ils n'avaient jamais été exposés auparavant (Yoel *et al.*, 2015). Les résultats de détection olfactive des deux chiens de l'étude ont révélé des sensibilités, spécificités et valeurs prédictives positives et négatives de 100 %. Ces résultats semblent attester que les cellules cancéreuses ont un schéma d'odeur particulier, qui est commun à plusieurs types de cancers.

Une étude de 2018 a souhaité étudier la capacité de chiens entraînés à la détection du cancer du sein à partir de déchets métaboliques à détecter le cancer colorectal et vice versa (Seo *et al.*, 2018). La précision des résultats de détection des deux cancers par les chiens était de 90 %, avec une sensibilité et une spécificité dépassant 90 %. Il a ainsi été vérifié que l'olfaction canine est capable de discriminer l'odeur de déchets métaboliques de cellules cancéreuses de celle de cellules bénignes. De plus, les odeurs des déchets métaboliques produits par les cellules du cancer du sein et du cancer colorectal n'étaient pas significativement différentes. Il existe donc une odeur spécifique commune au cancer du sein et au cancer colorectal *in vitro*. Il serait intéressant de mener cette même étude *in vivo* ainsi que de se demander quels cancers ont une odeur commune.

La détection olfactive canine des cancers chez l'Homme est un outil diagnostique prometteur. Les principaux avantages de cette méthode sont le développement d'une nouvelle forme de dépistage du cancer, non invasive, relativement peu coûteuse, dont la récolte, le stockage des échantillons et l'interprétation des résultats sont simples. Les inconvénients de cette méthode sont principalement que les composés chimiques odorants spécifiques de chaque cancer ne sont pas toujours identifiés.

#### **2.3.2. Détection de maladies infectieuses**

La détection olfactive canine des maladies infectieuses humaines est un domaine encore peu développé. Plusieurs chercheurs ont cependant étudié ce nouvel outil de diagnostic.

### 2.3.2.1. Infections à *Clostridium difficile*

La détection rapide des infections à *Clostridium difficile* est primordiale pour limiter sa transmission. Une étude de 2012 avait pour objectif de déterminer s'il était possible d'utiliser des chiens de détection olfactive comme outils de détection de la bactérie *Clostridium difficile* (Bomers *et al.*, 2012). Les résultats ont révélé une sensibilité et une spécificité de 100 % lors de détection par le biais d'échantillons de selles. Lors des rondes de détection à l'hôpital auprès de patients malades, la sensibilité était de 83 % et la spécificité était de 98 %.

Les résultats d'une étude de 2014 ont révélé une sensibilité de 86 % et une spécificité de 97 %, proches des résultats de l'étude de 2012 (Bomers *et al.*, 2014).

En 2019, la détection olfactive canine de la bactérie *Clostridium difficile* à partir d'échantillons de selles a révélé une sensibilité comprise entre 78 et 93 % et une spécificité proche de 85 % (Taylor *et al.*, 2018). Ces valeurs sont moins satisfaisantes que celles obtenues lors des précédentes études.

### 2.3.2.2. Infection du tractus urinaire

L'infection du tractus urinaire est une affection fréquente chez l'Homme. Une étude de 2016 avait pour objectif de déterminer la précision de détection d'une infection du tractus urinaire par des chiens entraînés à partir d'échantillons d'urine fraîche (Maurer *et al.*, 2016). Les résultats ont révélé une sensibilité globale proche de 100 % et une spécificité globale proche de 90 %.

En 2017, une étude avait pour objectif de déterminer s'il était possible d'entraîner des chiens à la détection d'infection urinaire par la bactérie *Escherichia coli* chez des enfants (Koskinen *et al.*, 2017). Les résultats ont révélé un taux de réussite d'environ 89 %. La détection de la bactériurie par des chiens de détection olfactive semble ainsi être une méthode précise et fiable.

### 2.3.2.3. Malaria

Une étude de 2019 avait pour objectif de déterminer si des chiens entraînés étaient capables de détecter la malaria chez des patients asymptomatiques, à l'aide de chaussettes portées par ces derniers (Guest *et al.*, 2019). Les résultats ont révélé que les chiens étaient capables de différencier des patients sains de patients atteints de Malaria avec une sensibilité variant de 70 à 73 % et une spécificité comprise entre 90 et 91 %.

## 2.3.3. Détection de l'hypoglycémie

L'hypoglycémie est une complication pouvant mettre en jeu la vie des patients diabétiques. Les symptômes se déclarent lorsque la glycémie passe en dessous d'un certain seuil (3.5 mmol/L). De nombreux patients déplorent le manque de symptômes précurseurs de cette complication. Les méthodes de suivi du niveau de glucose dans le sang jouent donc un rôle essentiel dans la gestion du diabète et notamment dans l'alerte lors de crises d'hypoglycémie. Récemment, l'aptitude des chiens à détecter les crises d'hypoglycémie a été rapportée. On peut prendre pour exemple, le cas d'une crise d'hypoglycémie chez un patient non diabétique détecté par son chien de compagnie, non entraîné pourtant à cette fonction (O'Connor *et al.*, 2008).

De plus en plus de patients diabétiques font appel à des chiens d'alerte glycémique pour détecter les crises d'hypoglycémie, malgré le coût important qu'ils représentent. Des témoignages de propriétaires de chiens d'alerte glycémique et de leurs entraîneurs rapportent que la précision de ces chiens s'apparente à celle des technologies classiques de suivi de la glycémie et apportent même d'autres avantages concernant le contrôle de la glycémie et la qualité de vie. (Petry *et al.*, 2015)

Plusieurs études ont eu pour objectif d'analyser les capacités des chiens à détecter des crises d'hypoglycémie chez des patients diabétiques. Une étude réalisée en 2013 avait pour objectif de tester deux chiens d'alerte glycémique dans deux essais contrôlés (Cattet *et al.*, 2013). Les sensibilités et spécificités obtenues étaient respectivement de 100 % et 88 % pour le chien avec la meilleure performance et de 22 % et 71 % pour le chien avec la moins bonne performance.

En 2019, une étude avait pour but d'objectiver la fiabilité d'un large nombre de chiens entraînés à la détection de crises d'hypoglycémie et d'hyperglycémie et de recenser les facteurs associés aux variations observées dans leurs performances (Rooney *et al.*, 2019). Tous épisodes confondus, la sensibilité de la performance des chiens s'élevait à 70 %. Les variables associées avec la performance des chiens étaient majoritairement les caractéristiques individuelles du chien, la constitution du foyer et l'âge de la personne malade aidée. Les performances des chiens ne sont donc pas seulement dues à la manière dont ils ont été entraînés mais dépendent également de l'environnement de travail de ces derniers.

Une étude réalisée en 2020 avait pour but de déterminer si deux chiens étaient capables de détecter un état d'hypoglycémie de patients diabétiques de type I à partir d'échantillons d'haleine et d'ensuite transposer ces résultats à d'autres échantillons d'haleines provenant d'autres personnes diabétiques (Reeve *et al.*, 2020). Les résultats n'ont malheureusement pas été concluants puisque seul un chien sur les deux était capable de transposer la détection de l'odeur d'hypoglycémie aux échantillons de la même personne tandis qu'aucun des deux chiens n'a été capable de transposer la détection de l'odeur aux échantillons d'un individu différent. Certains chiens peuvent donc être entraînés pour la détection de l'hypoglycémie à partir d'échantillons d'haleine mais la détection ne peut pas être transposée à de nouveaux échantillons provenant d'autres personnes.

#### **2.3.4. Détection de l'épilepsie**

L'épilepsie est une lourde maladie, d'autant plus difficile à vivre lorsque celle-ci est réfractaire aux traitements médicaux. L'imprévisibilité des crises d'épilepsie est une réelle menace de la qualité de vie des personnes atteintes de cette maladie. Depuis ces dernières années, une attention croissante est apportée aux comportements des chiens face aux crises d'épilepsie. L'odorat exceptionnel des chiens et leur capacité à discriminer différentes odeurs corporelles humaines ne fait aucun doute. Lors d'épilepsie, certains chiens sont capables d'alerter en amont de la crise, sans pour autant que l'on connaisse réellement l'élément déclencheur du comportement d'alerte chez le chien.

Une étude rétrospective de 2008 avait pour objectif de recenser les méthodes d'entraînement des chiens d'alerte pour l'épilepsie, leurs comportements lors d'alerte de crise d'épilepsie, l'effet sur la fréquence des crises et la précision du diagnostic d'épilepsie (Kirton *et al.*, 2008). D'après cette étude, les comportements des chiens de détection de l'épilepsie étaient fiables dans seulement 27 % des cas. Cependant, tous les participants à l'étude ont rapporté une amélioration de leur qualité de vie depuis l'acquisition de leur chien d'alerte. Le comportement d'alerte était spontané chez 59 % des chiens.

L'objectif des études suivantes était de déterminer s'il existait une odeur spécifique de la crise d'épilepsie et de l'identifier si tel était le cas. Une étude de 2017 a étudié à l'aide de spectrométrie de masse l'odeur des mains, de la salive et des échantillons d'haleine de patients épileptiques, d'une part lors de crise d'épilepsie et d'autre part en dehors des crises d'épilepsie afin d'objectiver s'il existait une différence entre ces prélèvements (Davis, 2017). Les mêmes prélèvements ont également été comparés entre des patients sains et des patients épileptiques. La comparaison de ces VOCs a montré qu'ils pouvaient être utilisés comme biomarqueurs. Ces résultats ont été confirmés par des essais concluants avec des chiens de détection.



L'objectif d'une étude de 2021 était de déterminer si le VOC discriminé comme étant spécifique d'une crise d'épilepsie pouvait être détecté par une unité de surveillance de l'épilepsie, s'il était présent même lors de crises non épileptiques et si son émission précédait la crise électroclinique (Maa *et al.*, 2021). Les résultats de l'étude ont montré qu'il y avait 94 % de probabilité pour que les chiens distinguent correctement des échantillons de sueur de patients en crise ou hors crise d'épilepsie. Les crises non épileptiques n'étaient pas associées à l'odeur spécifique de la crise épileptique. La détection canine des crises d'épilepsie précédait la crise clinique dans 82 % des cas. Enfin, la durée moyenne d'avertissement avant une crise d'épilepsie était de 68,2 minutes.

Les chiens de détection olfactive sont capables d'identifier les profils olfactifs de certaines maladies, comme les cancers, les diabètes ou encore certains micro-organismes pathogènes. La détection olfactive biomédicale a de nombreuses qualités, comme une grande sensibilité et spécificité, la sûreté et une rentabilité relative. Cependant, cette méthode possède également des challenges variés, comme l'efficacité clinique et la standardisation de la technologie. Des objectifs réalistes doivent donc être fixés, prenant en compte ce dont les chiens sont capables ou non et une approche collaborative entre les cliniciens et les animaliers est indispensable (Reeve et Koivusalo, 2018).

### **3. La détection olfactive canine dans le cadre de la COVID-19**

#### **3.1. Le concept « One Health » appliqué à la crise sanitaire mondiale**

Le 28 mars 2020, un communiqué de presse a été rédigé par l'Académie vétérinaire de France, afin d'encourager les autorités sanitaires à impliquer davantage les vétérinaires dans la crise mondiale de la COVID-19 (Académie vétérinaire de France, 2020). En effet, les laboratoires vétérinaires ont les capacités de fabriquer en grande quantité des réactifs capables de détecter des coronaviruses et sont également capables d'effectuer un nombre important d'analyses. L'Académie vétérinaire de France invite à davantage considérer le concept « One Health - Une seule santé » dont la médecine vétérinaire fait partie intégrante. Le concept « One Health » prône une approche pluridisciplinaire et globale des enjeux sanitaires, étant donnés les liens étroits existant entre la santé humaine, animale et l'état écologique global. (ANSES, 2020)

Le 30 mars 2020 est publié un communiqué de presse de l'Académie nationale de médecine, en réponse au communiqué de l'Académie vétérinaire de France publié deux jours plus tôt (Académie nationale de médecine, 2020a, p. 19). L'Académie nationale de médecine soutient la position de l'Académie vétérinaire de France et invite à mettre en pratique le concept « One Health », prôné par l'OMS et l'OIE. L'Académie nationale de médecine recommande aux autorités sanitaires de France de délivrer aux laboratoires vétérinaires une autorisation exceptionnelle de participer au diagnostic de la COVID-19 chez l'Homme.

Le 2 avril 2020, c'est au tour de l'Académie nationale de pharmacie de publier un communiqué de presse pour exprimer son soutien aux positions prises par l'Académie nationale de médecine et l'Académie vétérinaire de France (Académie nationale de pharmacie, 2020). L'académie nationale de pharmacie appelle à s'appuyer sur l'expertise des laboratoires vétérinaires en matière de dépistage des coronaviruses et des zoonoses en général. Le concept « One Health » est, une fois de plus, mis en avant dans ce communiqué.

Ces communiqués montrent bien que les vétérinaires ont une place légitime dans la lutte contre la pandémie actuelle.

## **3.2. Actualités autour du dépistage de la COVID-19**

### **3.2.1. Difficultés rencontrées**

L'Académie nationale de médecine et l'Académie nationale de pharmacie ont publié le 3 août 2020 un communiqué déplorant les difficultés s'opposant à un dépistage rapide et précoce de la COVID-19 chez des patients symptomatiques ou non (Académie nationale de médecine, 2020b). Les raisons principales expliquant ces difficultés sont un manque de moyens généralisé, tant au niveau des prélèvements (locaux, matériel, personnel habilité) qu'au niveau de la réalisation des tests RT-PCR (automates, réactifs, techniciens). L'Académie nationale de médecine appelle à la mise en place d'un circuit de diagnostic court et efficace de 24h maximum, au recrutement d'équipes mobiles de dépistage et à la formation de davantage de laboratoires à la réalisation des tests RT-PCR.

Le 28 août 2020, un communiqué a été rédigé conjointement par l'Académie nationale de médecine et l'Académie vétérinaire de France pour encourager la mise en œuvre d'une détection simple et rapide de la COVID-19, en utilisant les facultés olfactives de chiens entraînés (Académie nationale de médecine et Académie vétérinaire de France, 2020). Cette méthode de détection permettrait une réduction considérable des délais de dépistage, encore très longs, notamment chez les cas suspects et les cas contacts. Le communiqué encourage à compléter les recherches autour de cette méthode de dépistage prometteuse afin d'établir des règles claires encadrant son utilisation.

Le 9 octobre 2020, les difficultés liées aux dépistages chronophages et coûteux de la COVID-19 sont toujours présentes, puisqu'un communiqué est de nouveau publié, en accord entre l'Académie nationale de médecine et l'Académie nationale de pharmacie, pour tenter de trouver des solutions alternatives (Académie nationale de médecine et Académie nationale de pharmacie, 2020). Une simplification des prélèvements, un test antigénique et la réalisation d'une PCR par méthode LAMP sont des solutions évoquées.

### **3.2.2. Tests de dépistage disponibles pour le grand public**

En février 2021, l'Académie nationale de Médecine fait le point sur les différents tests de dépistage de la COVID-19 disponibles pour le grand public (Académie nationale de médecine, 2021a).

Le test RT-PCR est le test de référence permettant la détection du génome viral dans les prélèvements nasopharyngés ou salivaires. Les résultats sont cependant disponibles assez tardivement, dans les 24h suivant le prélèvement.

Le test RT-LAMP est également utilisable sur des prélèvements nasopharyngés et salivaires mais possède des performances analytiques inférieures à celles de la RT-PCR. De plus, sa capacité à détecter des variants n'ayant été étudiée, ce test reste peu utilisé.

Le test antigénique est capable de détecter la présence du virus dans des prélèvements nasopharyngés et est réalisable rapidement dans de nombreuses pharmacies. Les résultats sont en outre disponibles très rapidement, en une trentaine de minutes. Ils sont cependant moins sensibles et moins spécifiques que les tests RT-PCR.

Les tests sérologiques détectent la présence d'anticorps dirigés contre le SARS-CoV-2 à partir de prélèvements sanguins. Ils ne permettent pas de savoir si l'individu est porteur du virus au moment du test mais si l'individu a déjà été en contact avec ce dernier et ainsi de connaître son statut immunologique.

Les autotests sont des tests antigéniques réalisables par chaque individu de plus de quinze ans, par auto-prélèvement nasal. Leurs performances sont cependant très discutées.

### **3.2.3. Manque de performances des tests antigéniques et autotests**

L'Académie nationale de Médecine a d'ailleurs publié un communiqué deux mois plus tard (Académie nationale de médecine, 2021b), déplorant le manque de performances des autotests. Ces derniers sont en effet peu sensibles chez les asymptomatiques et donc à l'origine de nombreux faux négatifs. En outre, de nombreuses difficultés inhérentes à l'auto-prélèvement et à l'autodiagnostic sont rencontrées, comme une manipulation défectueuse et une interprétation erronée des résultats. Les tests antigéniques dans leur ensemble sont également critiquables, puisqu'ils sont à l'origine de nombreux faux positifs. Un diagnostic positif par test antigénique doit donc toujours être confirmé par RT-PCR.

### **3.2.4. Risques liés à l'écouvillonnage nasopharyngé**

En avril 2021, un communiqué de l'Académie nationale de Médecine a été publié dans le but d'alerter à propos des risques grandissants de la pratique de l'écouvillonnage nasopharyngé, notamment de manière répétée (Académie nationale de médecine, 2021c). Au-delà des complications bénignes, telles que le désagrément, la douleur et les saignements, des lésions plus sérieuses sont découvertes, comme des lésions de l'étage antérieur de la base du crâne associées à un risque accru de méningites.

La réalisation de tests par écouvillonnage nasopharyngé est ainsi une procédure encore imparfaite, difficile à mettre en œuvre pour une détection de masse à grande échelle, non sans risques et qui plus est, coûteuse. Recourir à une forme de test différente est ainsi plus que jamais nécessaire.

## **3.3. Marqueurs olfactifs du SARS-CoV-2**

### **3.3.1. Détermination des VOCs du SARS-CoV-2**

Plusieurs études se sont succédées, dans le but de déterminer les marqueurs olfactifs de la COVID-19. En janvier 2021, une étude avait pour objectif de déterminer les VOCs exhalés par des patients atteints de COVID-19, sous respiration artificielle en réanimation (Grassin-Delyle *et al.*, 2021). Les résultats ont révélé une discrimination entre les patients positifs et négatifs à la COVID-19 avec une haute précision de l'ordre de 93 %, une sensibilité de 90 % et une spécificité de 94 %. Les quatre composés les plus représentés étaient le méthylpent-2-ène, le 2,4-octadiène, le 1-chloroheptane et le nonanal.

En mai 2021, une étude avait pour but de déterminer si le profil olfactif de l'air expiré par des enfants atteints de la COVID-19 était différent de celui d'enfants sains (Berna *et al.*, 2021). Les résultats ont en effet montré que sur les 84 VOCs recueillis, six en particulier étaient présents en quantité anormale, dont notamment des aldéhydes, également augmentés chez les adultes atteints de la COVID-19.

### **3.3.2. Détection du SARS-CoV-2 par des nez électroniques**

En décembre 2020, une étude a été menée dans le but de déterminer s'il était possible de détecter la COVID-19 à partir d'échantillons d'air exhalé, par un nez électronique (Wintjens *et al.*, 2021). Les résultats ont révélé une sensibilité de 86 % et une valeur prédictive négative de 96 %. Le nez électronique était donc capable de discriminer les patients atteints de la COVID-19 des patients sains avec une haute précision.

Une étude de juin 2021 vient appuyer l'étude réalisée quelques mois plus tôt à propos de la détection de la COVID-19 par des nez électroniques (Snitz *et al.*, 2021). Cette étude présentait une preuve de concept de dépistage de la COVID-19 à grande échelle, à l'aide de nez électroniques.

En août 2021, une étude a montré une fois de plus que les nez électroniques étaient capables de discriminer les patients atteints de la COVID-19 de ceux ne l'étant pas, avec une sensibilité de 100 % et une spécificité proche de 98 % (Rodríguez-Aguilar *et al.*, 2021). Les résultats sont très prometteurs.

En 2022, une nouvelle étude avait pour objectif de déterminer s'il était possible de discriminer des patients sains de patients atteints par le SARS-CoV-2 à base d'échantillons d'urine (Boeselt *et al.*, 2022). Les résultats étaient très satisfaisants puisque la sensibilité s'élevait à 92 %, la spécificité à 89 % et la valeur prédictive positive à 90 %.

L'ensemble de ces études montre bien la volonté et la nécessité de développer une méthode de dépistage rapide, simple et fiable à grande échelle. Au vu des résultats avancés précédemment, il est intéressant de s'interroger sur la capacité de chiens entraînés à détecter la COVID-19.

### **3.4. Etudes réalisées autour de la détection olfactive canine du SARS-CoV-2**

De nombreux pays à travers le monde ont œuvré, depuis le début de la pandémie, pour développer de nouvelles méthodes de dépistage de la COVID-19, plus simples et efficaces que la détection par RT-PCR sur écouvillonnage nasopharyngé. Une méthode a particulièrement attiré l'attention de chercheurs de nombreux pays, celle de la détection olfactive par des chiens de travail.

#### **3.4.1. Finlande**

Le premier pays à avoir publié les résultats d'une étude concernant la détection olfactive du SARS-CoV-2 par des chiens entraînés est la Finlande, via l'Université d'Helsinki, en mai 2020 (Welle DW, 2020, p. 19). L'étude a porté sur la distinction de patients atteints de COVID-19 et de patients sains, par le biais d'échantillons d'urine. Les résultats ont révélé une détection presque aussi fiable que celle conférée par les tests PCR, en seulement quelques semaines d'entraînement.

#### **3.4.2. Colombie**

En juin 2020, c'est au tour de la Colombie de publier un article faisant le point sur la détection olfactive canine du SARS-CoV-2 à partir de sécrétions respiratoires de patients infectés (Vesga *et al.*, 2020). Les résultats sont plutôt encourageants puisqu'ils ont mis en avant une sensibilité à 89 %, une spécificité à 97 %, une VPP à 74 %, une VPN à 99 % et une précision globale à 97 %.

Un peu moins d'un an plus tard, une étude de grande envergure a été conduite en Colombie, avec pour objectif de comparer le dépistage de la COVID-19 par RT-PCR sur prélèvement nasopharyngé et par olfaction canine (Vesga *et al.*, 2021). Des chiens ont alors été entraînés à détecter la présence du SARS-CoV-2 dans des échantillons de sécrétions respiratoires et de salive, puis par reniflement direct d'une personne. Les résultats de la détection de la COVID-19 par reniflement direct sont très encourageants puisque la précision était de 95 %, la sensibilité de 96 %, la spécificité de 95 %, la VPP de 70 % et la VPN de plus de 99 %. Cependant, une étude menée sur le terrain, consistant à renifler des personnes sortant du métro de Medellín, a montré des résultats bien moins satisfaisants, avec notamment de nombreux faux positifs. La VPN était de 99 % tandis que la VPP était de 28 % seulement. Ces résultats montrent que l'entraînement des chiens en

conditions réelles nécessite de tenir compte d'odeurs parasites non présentes en conditions de laboratoire.

### **3.4.3. Allemagne**

En juillet 2020, une publication allemande expose les résultats d'une étude visant à déterminer la capacité de chiens entraînés à détecter le SARS-CoV-2 à partir d'échantillons de salive et de sécrétions trachéobronchiques de patients infectés (Jendry *et al.*, 2020). Les résultats montraient une sensibilité de 83 %, une spécificité de 96 % et un taux de détection moyen de 94 %.

Une seconde étude allemande a été conduite un an plus tard, dans le but de déterminer les performances de détection olfactive de la COVID-19 par des chiens de travail, à partir d'échantillons de nature différente : la salive, l'urine et la sueur (Jendry *et al.*, 2021). Les sensibilités et spécificités de détection du SARS-CoV-2 étaient respectivement de 95 et 98 % pour l'urine, 91 et 94 % pour la sueur, et 82 et 96 % pour la salive. Ces résultats montrent que l'odeur de la COVID-19 est excrétée par différents fluides corporels, indépendamment des symptômes de la personne malade. De plus, les trois fluides testés dans cette étude semblent être adaptés pour la détection olfactive de la COVID-19.

### **3.4.4. France**

En décembre 2020, une étude française avait pour objectif de déterminer si des chiens de détection olfactive étaient capables de dépister des personnes atteintes de COVID-19 à partir d'échantillons de sueur axillaire (Grandjean *et al.*, 2020). Cette preuve de concept a révélé des résultats intéressants, avec un taux de réussite entre 76 et 100 % selon les chiens, mais nécessite d'être confirmée par des études de validation.

Un mois plus tard est menée une étude ayant pour objectif de valider la précédente preuve de concept (Grandjean *et al.*, 2021). Les résultats ont rapporté une sensibilité comprise entre 71 et plus de 90 %, avec plus de deux tiers des chiens au-dessus de 90 %.

En mai 2021, un communiqué de presse a été publié par l'AP-HP pour révéler les résultats de l'étude Salicov, menée durant les mois de mars et avril 2021 (Assistance publique des hôpitaux de Paris, 2021). Cette étude, menée par l'équipe française Nosaïs, sous tutelle du ministère de l'Agriculture et avec le soutien de l'ARS Île de France, avait pour objectif de comparer le dépistage de la COVID-19 par RT-PCR sur prélèvement nasopharyngé et par olfaction canine. Cette étude a été menée à grande échelle, puisque 335 personnes se sont faites tester volontairement dans des centres de dépistage à Paris. Pour le test canin, des échantillons de sueur axillaire étaient recueillis sur des compresses. La détection olfactive canine était sensible à 97 % (atteignant 100 % chez les asymptomatiques) et spécifique à 91 % (atteignant 94 % chez les asymptomatiques), confirmant la capacité des chiens à détecter le SARS-CoV-2 (Grandjean *et al.*, 2022a).

Le mois suivant, une nouvelle étude, randomisée en double aveugle, a été conduite en France, dans le but de déterminer les sensibilités et spécificités individuelles de chiens entraînés à détecter la présence du SARS-CoV-2 dans des échantillons de sueur axillaire (Grandjean *et al.*, 2022b). Les sensibilités étaient comprises entre 87 et 94 % et les spécificités entre 78 et 92 %. Les VPN étaient proches de celle calculée pour un outil de détection « presque parfait ».

En janvier 2022, une étude française menée par l'équipe Nosaïs avait pour objectif de déterminer la capacité de chiens de travail à détecter la présence du SARS-CoV-2 chez les patients atteints de COVID long, c'est-à-dire avec des symptômes prolongés sur plusieurs mois, en moyenne 15 mois dans cette étude (Grandjean *et al.*, 2022c). Les résultats ont montré que les chiens étaient capables de discriminer positivement un peu plus de la moitié des candidats (51 %), suggérant la persistance d'une infection virale chez certains patients atteints de COVID long.

Un mois plus tard, une étude a été publiée par l'Université d'Aix-Marseille et a montré les excellentes capacités d'un chien à détecter, grâce à l'olfaction, des patients atteints par la COVID-19 (Wurtz *et al.*, 2022). La sensibilité s'élevait à 92 % tandis que la spécificité était de 98 %.

Une dernière étude a été publiée au mois de mars 2022, par les hôpitaux universitaires de Paris, en coordination avec l'équipe Nosaïs (Devillier *et al.*, 2022). L'objectif était d'évaluer la précision de détection du SARS-CoV-2 par les chiens sur la base de compresses imbibées de sueur et de masques faciaux. En prenant les compresses comme support de détection, les sensibilité et spécificité étaient respectivement de 90 et 84 % (elles étaient de 86 % en prenant en considération seulement les individus vaccinés). Lors de détection du virus sur la base des masques faciaux, la sensibilité était de 83 % et la spécificité de 89 %.

Au plan développement de terrain, l'équipe Nosaïs collabore au quotidien avec l'association Handi'Chiens.

### **3.4.5. Angleterre**

En décembre 2020, une étude anglaise avait pour objectif de proposer un plan afin de prévenir l'entrée sur le territoire britannique de voyageurs infectés par le SARS-CoV-2 (Jones *et al.*, 2020). La première phase du plan consisterait à prouver que des chiens entraînés sont capables de détecter des odeurs caractéristiques du SARS-CoV-2. La seconde phase aurait pour objectif de démontrer les capacités de ces chiens sur le terrain, en dépistant des personnes infectées. La dernière phase consisterait enfin à déployer des chiens de détection à l'entrée du territoire britannique afin de prévenir l'introduction de personnes infectées.

L'étude anglaise a été réalisée et publiée en mai 2021 (Lindsay, 2021). Les résultats ont révélé que les chiens étaient capables de détecter les échantillons positifs au SARS-CoV-2 avec une sensibilité allant de 82 % à 94 % et une spécificité allant de 76 % à 92 %.

En mars 2022, une étude en double aveugle a été conduite à l'université d'Oxford et a révélé également d'excellents résultats, puisqu'en moyenne, les six chiens de détection olfactive étaient capables de détecter la présence du SARS-CoV-2 sur des échantillons d'odeur corporelle avec une sensibilité comprise entre 82 et 94 % et une spécificité comprise entre 76 et 92 % (Guest *et al.*, 2022).

### **3.4.6. Iran**

Des chercheurs iraniens ont publié une étude en mars 2021, servant de preuve de concept de dépistage du SARS-CoV-2 par des chiens de travail à partir de sécrétions pharyngées (Eskandari *et al.*, 2021). La sensibilité de détection était de 65 % tandis que la spécificité s'élevait à 89 %. Lors de détection du SARS-CoV-2 à partir de vêtements et de masques, les résultats étaient meilleurs puisque la sensibilité s'élevait à 86 %, la spécificité à 93 %, la VPP à 90 % et la VPN à 90 %.

### **3.4.7. États-Unis**

En avril 2021, une preuve de concept a été élaborée par une équipe de chercheurs en Pennsylvanie, afin de déterminer les capacités de chiens de détection olfactive à identifier des échantillons d'urine et de salive de personnes atteintes par le SARS-CoV-2 (Essler *et al.*, 2021). La précision de détection des échantillons positifs au SARS-CoV-2 était proche de 93 %, tous tests confondus et tous chiens confondus.

Deux mois plus tard, des chercheurs de Floride ont souhaité étudier la capacité des chiens de détection olfactive à détecter la présence du SARS-CoV-2 sur des surfaces contaminées par des personnes atteintes de la COVID-19 (Mendel *et al.*, 2021). Des masques de personnes infectées

ont donc été récoltés et présentés pour analyse par les chiens de travail. Les résultats ont révélé une précision supérieure à 90 % pour les quatre chiens, et une VPP comprise entre 73 et 93 %, après un mois d'entraînement seulement.

#### **3.4.8. Thaïlande**

Une étude a été publiée par des chercheurs thaïlandais en avril 2021, dont le but était de déterminer la fiabilité de la détection de la COVID-19 chez des personnes asymptomatiques par des chiens de détection olfactive (Chulalongkorn Veterinary Science, 2021). Les résultats ont révélé une précision de détection environ égale à 95 %, un résultat très encourageant.

#### **3.4.9. EAU**

En juin 2021, une étude a été menée aux EAU dans le but de comparer les sensibilités et spécificités du test considéré comme le gold standard, la RT-PCR sur écouvillon nasopharyngé, et du test olfactif canin, pour la détection du SARS-CoV-2 (Hag-Ali *et al.*, 2021, p. 2). Les résultats ont révélé une sensibilité de 89 % pour le test canin contre 73 % pour la RT-PCR ainsi que des spécificités égales à 99 % dans les deux cas.

#### **3.4.10. Liban**

Au Liban, une étude publiée en juin 2021 est menée dans le but de déterminer si des chiens de travail pourraient être entraînés au dépistage de la COVID-19 et donner des résultats aussi fiables que ceux du test par RT-PCR (Sarkis *et al.*, 2021). Des échantillons de sueur axillaire ont été utilisés comme supports de détection du SARS-CoV-2. Les sensibilités et spécificités étaient respectivement égales à 100 et 99 % chez les patients symptomatiques et à 100 et 93 % chez les patients asymptomatiques.

#### **3.4.11. Italie**

Une étude italienne, publiée au cours du même mois, proposait un protocole d'entraînement de chiens de travail pour la détection du SARS-CoV-2 à partir d'échantillons de sueur axillaire (Angeletti *et al.*, 2021). Le protocole d'entraînement se décomposerait en deux parties, la première consistant en l'habituation aux VOCs émis par le SARS-CoV-2, et la deuxième en la discrimination de cette odeur vis-à-vis d'autres odeurs.

#### **3.4.12. Belgique**

En juillet 2021, une étude à grande échelle a été menée par des chercheurs de Belgique afin de déterminer les capacités de détection olfactive de chiens de travail vis-à-vis du SARS-CoV-2 (Pezavant, 2021). Les résultats se sont révélés très prometteurs, avec une spécificité moyenne de 98 %, une sensibilité moyenne de 81 % et une précision moyenne de 95 %. Afin d'augmenter la sensibilité, le groupe de pilotage recommande de travailler simultanément avec deux chiens.

#### **3.4.13. République tchèque**

En République tchèque, une étude a été publiée le même mois, dans le but de déterminer les capacités de détection olfactive du SARS-CoV-2 par des chiens de travail entraînés, à partir d'échantillons de sueur provenant du torse et d'échantillons d'air exhalé (Vlachová *et al.*, 2021). Les résultats ont montré une sensibilité de 95 % et une spécificité de 94 %.

#### **3.4.14. Brésil**

En octobre 2021, une étude a été publiée par des chercheurs brésiliens, dans le même but que les précédentes études : évaluer les performances de détection olfactive des chiens vis-à-vis de la COVID-19 (Maia *et al.*, 2021). Sur la base d'échantillons de sueur axillaire, les deux chiens entraînés ont su détecter les patients atteints par le SARS-CoV-2 avec une sensibilité de 100 %, une valeur prédictive positive de 98 % et une valeur prédictive négative de 98 %.

#### **3.4.15. Australie**

Une étude a été menée par l'Australie en mars 2022 afin d'évaluer la précision de détection du SARS-CoV-2 par des chiens de détection olfactive, par le biais d'échantillons de sueur axillaire (Chaber *et al.*, 2022). Les résultats sont prometteurs puisque la sensibilité et la spécificité globale s'élevaient respectivement à 95 % et à 97 %.

Ces résultats montrent que le test olfactif canin est fiable et peut-être même plus sensible que le test par PCR, considéré pourtant comme le gold standard dans le dépistage de la COVID-19. Ces données encouragent à mettre en œuvre des projets de détection olfactive de la COVID-19 par des chiens de travail.

### **3.5. Projets de détection olfactive de la COVID-19 par des chiens de travail**

En parallèle des études menées par des chercheurs de nombreux pays à travers le monde, des projets de dépistage olfactif de la COVID-19 par des chiens de travail entraînés ont vu le jour dans de nombreux pays. Certains sont déjà en cours de réalisation, tandis que d'autres restent à l'état de projet à l'heure actuelle.

#### **3.5.1. Aéroport de Dubaï, EAU**

Au cours d'une déclaration au mois de Juillet 2020, le ministre de l'intérieur des EAU a affirmé que les chercheurs des EAU avaient terminé les études sur le terrain avec beaucoup d'avance en comparaison avec d'autres pays, étant pour la plupart encore au stade d'étude de l'applicabilité de cette pratique innovante (Naar, 2020). Le ministre a affirmé que le dépistage olfactif canin était une méthode très efficace pour détecter rapidement les personnes infectées. Il a également ajouté que cette méthode pouvait être une aide précieuse pour protéger des sites clés, sécuriser des événements importants et des aéroports.

Le mois suivant, l'aéroport de Dubaï était le premier à travers le monde à déployer des chiens de travail afin de dépister la COVID-19 sur le terrain (Times of India, 2020). Les autorités sanitaires de Dubaï contrôlaient chaque passager susceptible d'être infecté par le SARS-CoV-2. Un échantillon de sueur axillaire était collecté auprès du passager puis présenté aux chiens dans une pièce isolée, de manière à n'avoir aucun contact direct entre les passagers et les chiens. Le test olfactif canin ne durait généralement pas plus de quelques secondes.

Un an plus tard, les chiens de détection olfactive ne sont plus utilisés dans l'aéroport de Dubaï, mais continuent à être entraînés et sont prêts à être déployés partout où cela sera nécessaire (Ramahi, 2021).



### **3.5.2. Aéroport d'Helsinki-Vantaa, Finlande**

Un mois après l'expérimentation de la détection olfactive canine de la COVID-19 dans l'aéroport de Dubaï, c'est au tour de la Finlande d'expérimenter cette méthode innovante de dépistage, dans l'aéroport d'Helsinki-Vantaa (United Nations Western Europe, 2020, p. 19). Entre les mois de septembre et décembre 2020, environ 100 voyageurs par jour et 2 200 par mois ont été testés volontairement par les chiens de travail. Les échantillons étaient reniflés par les chiens derrière un mur, évitant les contacts directs entre les passagers et les chiens. La détection du virus prenait environ dix secondes, pour une procédure entière durant moins d'une minute.

### **3.5.3. Aéroport de Miami, Floride**

En septembre 2021, c'est au tour de l'aéroport international de Miami d'expérimenter la détection olfactive canine, sous la supervision de l'université internationale de Floride (International Airport Review, 2021).

### **3.5.4. Comté de Bristol, Massachussetts**

Au Massachussetts, dans le comté de Bristol, deux chiens sont utilisés par les forces de police depuis l'été 2021 pour détecter la COVID-19 à partir de masques médicaux contaminés (Kindy, 2021). Les masques sont préalablement exposés aux rayons ultraviolets afin d'inactiver le virus sans en entraver l'odeur, dans le but de garantir une sécurité médicale pour les entraîneurs comme pour les chiens.

Les chiens sont prêts à dépister la COVID-19 à la demande dans différents lieux, comme les écoles, les bâtiments de la ville, les associations, les maisons de retraite et bien d'autres endroits dans le comté de Bristol. En janvier 2022, des chiens de détection olfactive ont d'ailleurs commencé à œuvrer pour la détection d'élèves atteints par la COVID-19 dans des écoles du Massachussetts (CBS Boston, 2022).

### **3.5.5. Projet Nosaïs-Covid-19, France**

Malheureusement, peu nombreux sont les projets de détection olfactive canine de la COVID-19 ayant abouti à l'heure actuelle. De nombreux projets sont en cours dans différents pays, dont notamment la France. Depuis le début de la pandémie, l'équipe « Nosaïs-Covid19 » s'efforce de mener à bien un projet de détection du SARS-CoV-2 par des chiens entraînés (Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, 2021). Ce projet est grandement soutenu par de nombreux partenaires, comme l'hôpital militaire Bégin, l'AP-HP, Handi'Chiens, et bien d'autres encore.

Au cours de l'été 2021, le projet s'internationalise puisque plusieurs pays ont sollicité l'expertise de l'équipe « Nosaïs-Covid19 » afin de développer à grande échelle cette nouvelle méthode de dépistage de la COVID-19. L'Argentine, le Chili, le Brésil, l'Australie et la Belgique ont fait appel à l'équipe française.

### **3.5.6. Programme Cynocov, France**

La formation des chiens à la détection du SARS-CoV-2, nécessitant le recueil d'échantillons de sueur axillaire de patients positifs, rend l'association entre plusieurs acteurs régionaux nécessaire. C'est ainsi qu'est né en janvier 2021 le programme de formation Cynocov, issu d'une collaboration très étroite et rémanente avec le programme Nosaïs, qui regroupe des acteurs de la santé humaine, vétérinaire et des cynophiles, dans le but de former les chiens à la détection de la COVID-19 (Centre hospitalier universitaire Bordeaux, 2021). Le programme Cynocov rappelle une fois de plus la nécessité du concept « One Health » et de l'engagement pluridisciplinaire dans la lutte contre la COVID-19.

### **3.5.7. Projet Covidog, France**

Un autre projet de dépistage olfactif canin de la COVID-19 à grande échelle est mené par une équipe de chercheurs strasbourgeois (Escalon, 2020). Le Projet Covidog, né en juin 2020, a pour objectif de déployer dans un futur proche les chiens de détection olfactive dans des gares, des aéroports, des salles de concert, des stades et bien d'autres lieux. Pour le moment, le projet n'a pas encore débuté.

### **3.5.8. Projet de la VCH, Canada**

Au-delà du Pacifique, d'autres projets de dépistage canin à grande échelle de la COVID-19 voient le jour (Vancouver Coastal Health, 2021, p. 19). Au Canada, la VCH travaille avec des chiens de détection olfactive depuis plus de cinq ans pour le dépistage de *Clostridium difficile*. Leur but est aujourd'hui d'entraîner des chiens à la détection du SARS-CoV-2. Le projet de la VCH est soutenu et financé en partie par les autorités sanitaires du Canada. L'Université de Montréal a par ailleurs le même objectif, celui de former des chiens à la détection olfactive de la COVID-19.

### **3.5.9. Département de défense des États-Unis**

Le département de la défense des États-Unis envisage d'utiliser des chiens de détection olfactive afin d'aider dans la lutte contre la pandémie (U.S. Department of Defense, 2021). Des scientifiques du corps de l'armée américaine sont sur le point de travailler avec l'Université de Pennsylvanie pour continuer les recherches autour de cette innovante méthode de dépistage.



# Deuxième partie : étude expérimentale

---

## 1. Introduction

Le développement d'une nouvelle méthode de dépistage de la COVID-19 est plus que jamais un sujet d'actualité, quand plus de 260 millions de tests antigéniques et RT-PCR ont été validés par un professionnel de santé en France entre mars 2020 et février 2022 (Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques, 2022). La mise en place d'une méthode de détection fiable, répétable, facile à mettre en œuvre, peu coûteuse et de surcroît indolore serait une avancée majeure dans la gestion de la crise sanitaire mondiale qui préoccupe l'ensemble des continents depuis plus de deux ans. Elle serait en outre la parfaite représentation du concept « One Health » prôné par l'OMS et l'OIE, en faisant travailler main dans la main les acteurs de la santé humaine et animale, tout en ayant un impact écologique positif.

L'acceptation par le grand public est indispensable pour espérer mettre en œuvre une méthode de détection inédite, qui fait pourtant déjà ses preuves dans de nombreux domaines (recherche d'explosifs, de drogues, de personnes ensevelies ou disparues mais aussi détection de maladies comme le diabète, l'épilepsie ou certains cancers). Les études concernant la détection olfactive canine de la COVID-19 sont extrêmement récentes mais déjà nombreuses et très prometteuses.

Le recours à une enquête directement auprès du grand public est donc apparu comme une évidence à l'équipe Nosaïs. Cette enquête est inédite non seulement par son sujet mais également par son ampleur, et permet ainsi une comparaison du positionnement du grand public vis-à-vis de la détection olfactive canine de la COVID-19 à travers les continents. Les résultats, s'ils sont favorables à cette méthode de dépistage, pourraient inciter les gouvernements de bon nombre de pays à l'appuyer et à la mettre en place rapidement.

## 2. Objectifs de l'étude

Le but de cette enquête est de faire un état des lieux auprès du grand public à travers le monde sur la détection olfactive canine de la COVID-19.

Les objectifs du questionnaire sont multiples :

- Evaluer les connaissances du grand public concernant la détection olfactive canine de la COVID-19
- Appréhender l'intérêt de la population mondiale pour cette nouvelle méthode de dépistage
- Quantifier la population susceptible de recourir à cette méthode de dépistage
- Evaluer la confiance accordée par le grand public aux différents tests de dépistage de la COVID-19
- Déterminer les modalités de test préférées par le grand public
- Recueillir l'avis du grand public concernant la place du chien dans le dépistage des maladies humaines
- Recueillir des avis libres du grand public afin d'identifier les freins à l'utilisation de cette méthode de dépistage et de pouvoir y répondre de manière ciblée

### **3. Matériels et méthodes**

#### **3.1. Population d'étude**

La population visée par cette enquête était le grand public, au sens le plus large du terme. Aucune sélection n'a donc été réalisée en amont du questionnaire, qui était ouvert au plus grand nombre.

Initialement, le grand public français était la population d'étude mais rapidement, l'ensemble des continents du Globe ont été intégrés à cette enquête.

Les habitants d'Océanie, d'Asie, d'Amérique du Nord, d'Amérique du Sud, d'Europe et d'Afrique étaient ainsi invités à répondre à ce questionnaire à visée mondiale.

#### **3.2. Présentation du questionnaire**

Le questionnaire a été élaboré avec l'équipe Nosaïs au début du mois de juin 2021, sur la plateforme Microsoft forms. Le questionnaire a d'abord été relu dans son intégralité par plusieurs membres de l'équipe Nosaïs puis a été testé par ces mêmes membres. Le temps moyen de réponse des membres de l'équipe a permis de donner au grand public une estimation du temps nécessaire pour remplir le questionnaire. Le temps accordé pour compléter le questionnaire n'était pas limité et était en moyenne de six minutes. Le questionnaire était anonyme.

Le questionnaire a initialement été rédigé en français, puis a ensuite été traduit, avec l'aide de l'OMS, en six autres langues, laissant ainsi place à six questionnaires supplémentaires : anglais (à destination des pays anglophones), espagnol (à destination des pays hispanophones), portugais (à destination des pays lusophones), allemand (à destination de l'Allemagne), chinois (à destination de la Chine) et russe (à destination de la Russie).

Le questionnaire comportait 25 questions. L'ensemble des questions, hormis la dernière dont la réponse était libre, était à choix multiples. La plupart du temps, une seule réponse pouvait être sélectionnée. Lorsque plusieurs réponses pouvaient être sélectionnées, la mention « plusieurs réponses possibles » était indiquée. Pour neuf questions, les répondants devaient sélectionner un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer leur positionnement quant à la question soulevée (degré d'accord, de confiance ou de plaisir supposé d'autant plus important que le nombre sélectionné était faible). Parmi les 25 questions, 21 étaient obligatoires, tandis que quatre ne l'étaient pas (deux invitaient les répondants à préciser leur réponse à la question précédente, une était destinée uniquement aux propriétaires de chiens et la dernière permettait aux répondants de s'exprimer librement quant à ce questionnaire ou à propos de la détection de la COVID-19 par les chiens de manière plus générale).

Le questionnaire était séparé en sept sections, ayant pour objectifs respectifs d'identifier les répondants, d'évaluer l'acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective puis à l'échelle individuelle, d'évaluer le niveau de confiance des répondants envers les tests utilisés pour le dépistage de la COVID-19, de recenser les préférences des répondants en matière de dépistage de la COVID-19, d'évaluer l'avis des répondants quant à la place du chien dans la détection des maladies humaines et enfin de recueillir des commentaires libres laissés par les répondants sur la base du volontariat.

Le questionnaire est présenté à la fin de ce manuscrit, en *Annexe 1*.

### 3.3. Diffusion du questionnaire

Le questionnaire a été diffusé en France au début du mois de juin 2021 et dans les autres pays à la fin du mois de juin 2021.

Le questionnaire a été diffusé uniquement par le biais d'internet, afin d'uniformiser les résultats et de simplifier leur récolte. Il a été diffusé sur certains sites internet, comme la dépêche vétérinaire, la société centrale canine ou encore [peuple-animal.com](http://peuple-animal.com), mais également et largement via les réseaux sociaux classiques comme Facebook® ou Twitter®. À l'échelle mondiale, l'OMS, l'Université de Hanovre (Allemagne) ainsi que le groupe Royal Canin® ont largement participé à la diffusion de ce questionnaire.

Les différents participants étaient également invités à diffuser le lien de l'enquête auprès de leur entourage.

### 3.4. Récolte et analyse des données

Les résultats ont été récoltés six mois après la diffusion des questionnaires, à la fin du mois de décembre 2021, sous format .xls et ont été exportés pour être analysés sur Microsoft Excel™. La totalité des réponses recueillies a été retenue.

Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux reprenant les réponses aux questions section par section et pays par pays (ou groupe de pays par groupe de pays, conformément à la population visée par chaque questionnaire). Le titre de chaque question ainsi que les différentes réponses possibles sont repris de manière explicite dans les tableaux, ainsi que le nombre et le pourcentage de répondants ayant sélectionné chaque option de réponse. Les réponses libres apportées en fin de questionnaire ont été traitées manuellement et classées en quatre catégories, détaillées dans la partie « Résultats ».

## 4. Résultats

L'ensemble des sept questionnaires diffusés ont reçu un total de 14 172 réponses, réparties comme suit :

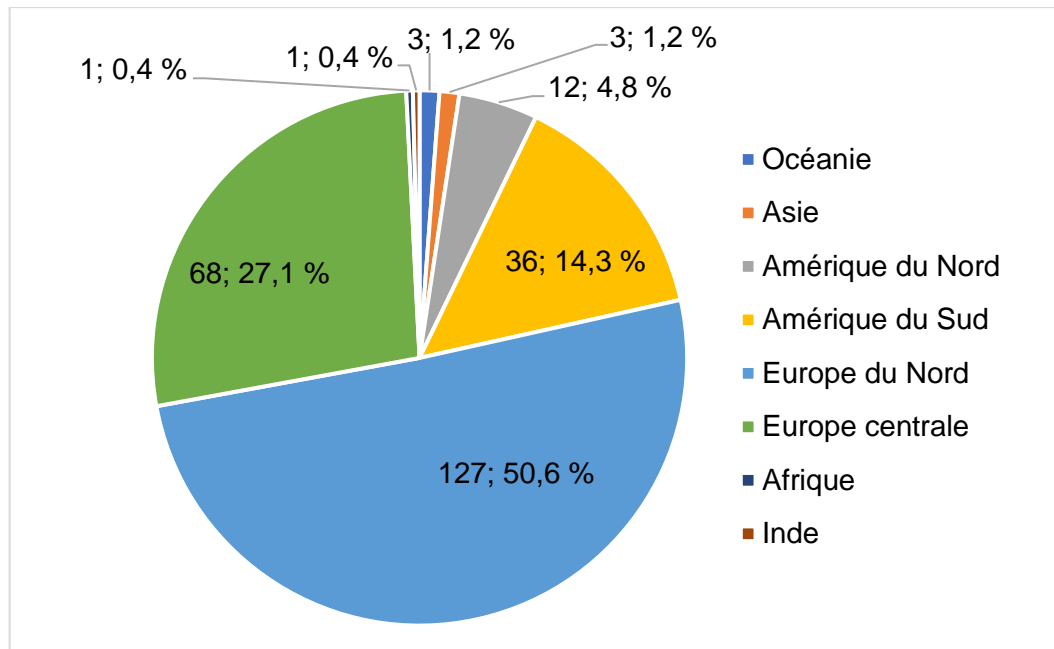
- France : 8 864 réponses
- Chine : 2 249 réponses
- Allemagne : 1 416 réponses
- Russie : 90 réponses
- Pays anglophones : 254 réponses
- Pays hispanophones : 635 réponses
- Pays lusophones : 664 réponses

Le questionnaire à destination des pays anglophones a reçu la participation de répondants provenant d'Océanie, d'Asie, d'Amérique du Nord, d'Amérique du Sud, d'Europe du Nord, d'Europe centrale, d'Afrique et d'Inde. La *figure 1* présente ces résultats.

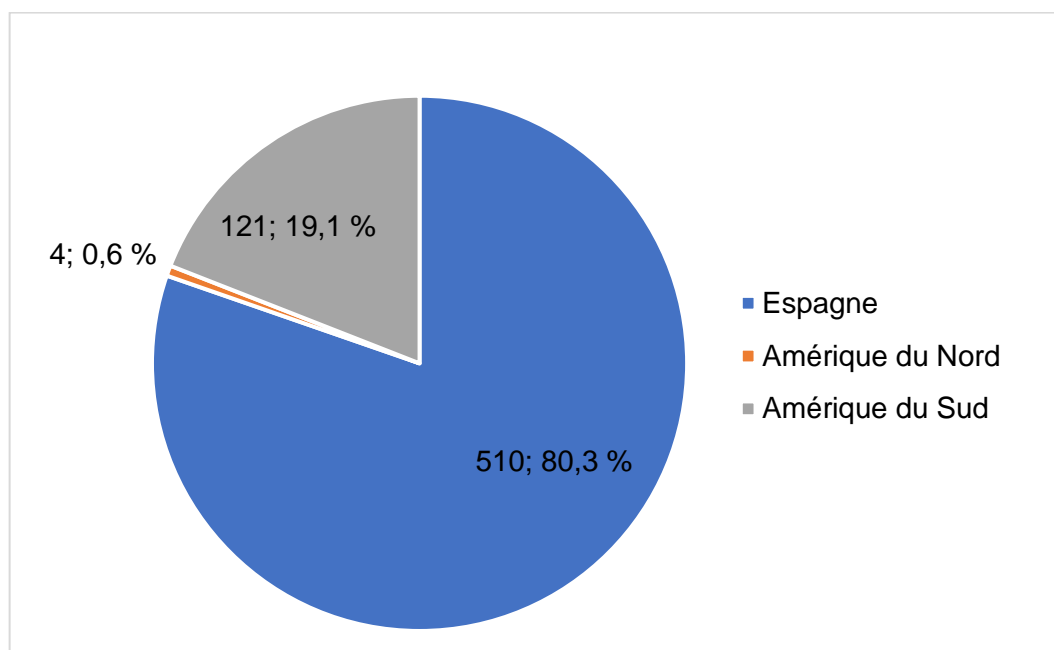
Le questionnaire à destination des pays hispanophones a reçu la participation de répondants provenant d'Espagne, d'Amérique du Nord et d'Amérique du Sud. La *figure 2* présente ces résultats.

Le questionnaire à destination des pays lusophones ne comportait pas d'information quant à l'origine des répondants.

**Figure 1** : Diagramme circulaire représentant la répartition des répondants au questionnaire destiné aux pays anglophones selon leurs origines



**Figure 2** : Diagramme circulaire représentant la répartition des répondants au questionnaire destiné aux pays hispanophones selon leurs origines



#### **4.1. Identification des répondants**

Les cinq premières questions de l'enquête avaient pour objectif d'identifier les répondants, par le genre auquel ils s'identifient, leur âge, la possession d'animaux de compagnie et leur profession. Le *tableau 1* présente ces résultats.

La proportion de femmes ayant répondu à l'enquête était toujours prédominante, comprise entre 59 % et 90 %, hormis pour les répondants chinois, dont la proportion de femmes s'élevait à seulement 40 %. La proportion d'hommes ayant répondu était comprise entre 10 % et 60 %, tous pays confondus. Jusqu'à 1,6 % des répondants ne souhaitaient pas répondre à cette question, tous pays confondus.

Les répondants avaient des animaux de compagnie pour la majorité d'entre eux, avec une proportion comprise entre 58 % pour les répondants chinois et 91 % pour les répondants russes.

La moitié ou moins des répondants travaillaient dans le milieu médical, avec une proportion comprise entre 20 % pour les répondants lusophones et 50 % pour les répondants anglophones.

Moins d'un tiers des répondants travaillaient dans le milieu du chien de travail, avec une proportion comprise entre 6 % pour les répondants chinois et 31 % pour les répondants anglophones.



**Tableau 1** : Présentation des résultats des questions 1 à 5 = section « Identification des répondants ».

Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Nombre de réponses (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
<b>Vous êtes</b>							
Un homme	2 317 (26,1)	1 352 (60,1)	381 (26,9)	9 (10)	45 (17,7)	193 (30,4)	272 (41,0)
Une femme	6 498 (73,3)	894 (39,8)	1 023 (72,2)	81 (90)	205 (80,7)	438 (69,0)	391 (58,9)
Je ne souhaite pas répondre	49 (0,6)	3 (0,1)	12 (0,8)	0 (0)	4 (1,6)	4 (0,6)	1 (0,1)
<b>Vous avez</b>							
20 ans ou moins	225 (2,5)	167 (7,4)	20 (1,4)	4 (4)	7 (2,8)	64 (10,1)	8 (1,2) <sup>1</sup>
21 à 40 ans	3 452 (38,9)	1 517 (67,5)	569 (40,2)	68 (76)	104 (40,9)	329 (51,8)	216 (32,5) <sup>1</sup>
41 à 65 ans	4 503 (50,8)	373 (16,6)	773 (54,6)	18 (20)	112 (44,1)	213 (33,5)	301 (45,3) <sup>1</sup>
Plus de 65 ans	684 (7,7)	192 (8,5)	54 (3,8)	0 (0)	31 (12,2)	29 (4,6)	33 (5,0) <sup>1</sup>
<b>Avez-vous des animaux ?</b>							
Oui	6 966 (78,6)	1 310 (58,2)	1 088 (76,8)	82 (91)	220 (86,6)	515 (81,1)	412 (62,0)
Non	1 898 (21,4)	939 (41,8)	328 (23,2)	8 (9)	34 (13,4)	120 (18,9)	252 (38,0)
<b>Travaillez-vous dans le milieu médical ?</b>							
Oui	2 700 (30,5)	924 (41,1)	384 (27,1)	22 (24)	126 (49,6)	266 (41,9)	136 (20,5)
Non	6 164 (69,5)	1 325 (58,9)	1 032 (72,9)	68 (76)	128 (50,4)	369 (58,1)	528 (79,5)
<b>Travaillez-vous dans le milieu du chien de travail ?</b>							
Oui	1 050 (11,8)	140 (6,2)	201 (14,2)	19 (21)	78 (30,7)	82 (12,9)	43 (6,5)
Non	7 814 (88,2)	2 109 (93,8)	1 215 (85,8)	71 (79)	176 (69,3)	553 (87,1)	621 (93,5)

<sup>1</sup> = 106 personnes (16 %) ont répondu « autre » à cette question

## **4.2. Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective**

Les questions 6 à 9 avaient pour but d'apprécier l'acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective. Le *tableau 2* présente ces résultats.

### **4.2.1. Exposition à la COVID-19**

La première question recensait, parmi les répondants, ceux ayant déjà contracté la COVID-19 depuis le début de la pandémie. Selon les pays, la proportion de répondants ayant déjà contracté la COVID-19 s'élevait de trois pourcents pour les répondants allemands à 34 % pour les répondants russes. En outre, quatre à 20 % des répondants avaient probablement contracté cette maladie sans qu'elle ne soit dépistée par un test. Trente-sept à 85 % des répondants n'avaient jamais contracté la COVID-19 tandis que cinq à 12 % n'en avaient aucune idée.

### **4.2.2. Connaissance de la détection olfactive canine**

La question suivante avait pour objectif d'évaluer la connaissance du dépistage olfactif canin de la COVID-19 par les répondants. Pour la France, l'Allemagne, les pays anglophones, les pays hispanophones et les pays lusophones, plus de la moitié des répondants étaient au courant de l'existence de ce type de dépistage, avec des proportions allant de 55 % pour les pays hispanophones à 80 % ou plus pour l'Allemagne, la France et les pays anglophones.

Pour la Chine et la Russie, ces proportions étaient inférieures, avec respectivement 13 % et 36 % des répondants étant au courant de l'existence de cette nouvelle méthode de dépistage.

### **4.2.3. Positionnement vis-à-vis de l'utilisation de chiens de détection olfactive pour le dépistage de la COVID-19**

La troisième question de cette section avait pour objectif d'évaluer l'opinion des répondants quant à l'utilisation de chiens de détection olfactive pour le dépistage de la COVID-19. Les répondants choisissaient un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer leur degré d'accord quant à cette méthode de dépistage, avec le chiffre « 1 » signifiant qu'ils étaient tout à fait d'accord et le chiffre « 5 » signifiant qu'ils n'étaient vraiment pas d'accord.

Les répondants étaient majoritaires à être tout à fait d'accord avec l'utilisation de chiens pour le dépistage de la COVID-19, dans tous les pays sauf pour la Chine. Les pourcentages allaient de 37 % pour les répondants russes à près de 80 % pour les répondants français et allemands. Pour la Chine, les répondants étaient majoritaires à être plutôt d'accord avec cette méthode de détection, avec une proportion de 34 %, contre seulement 11 % à être totalement d'accord avec cette méthode.

Les répondants n'étant vraiment pas d'accord avec cette méthode de dépistage étaient en proportions très faibles pour la France, l'Allemagne, les pays anglophones et les pays hispanophones, de l'ordre de quatre à 10 %, mais étaient en proportions un peu plus élevées pour la Chine, la Russie et les pays hispanophones, de l'ordre de 15 à 23 %.

La note moyenne attribuée à cette question par les répondants français, allemands et anglophones était d'environ 1,5, signifiant qu'ils étaient plutôt favorables à très favorables au dépistage canin de la COVID-19. La note moyenne attribuée par les répondants hispanophones et lusophones était proche de 2, signifiant qu'ils étaient plutôt favorables à cette méthode. Enfin, les répondants chinois et russes ne savaient plutôt pas se prononcer, avec une note moyenne proche de 3.

#### **4.2.4. Situations souhaitées pour le déploiement des chiens de détection olfactive de la COVID-19**

La dernière question de cette partie consistait à déterminer les situations dans lesquelles les répondants souhaitaient voir déployer les chiens de détection olfactive de la COVID-19. Plusieurs réponses pouvaient être sélectionnées.

Les répondants ayant affirmé ne vouloir voir déployer les chiens dans aucune des situations étaient très peu nombreux pour la France, l'Allemagne, les pays anglophones, les pays hispanophones et les pays lusophones, avec moins de cinq pourcents des répondants concernés. Pour la Russie, le pourcentage de répondants était un peu plus élevé et atteignait les 12 %. Les répondants chinois étaient cependant près de la moitié à ne pas vouloir voir déployer les chiens de détection de la COVID-19. Ils étaient ainsi seulement cinq à 30 % à vouloir voir déployer les chiens de détection dans certaines situations, et notamment auprès du personnel médical, de sécurité civile, de police et de l'armée.

Dans les autres pays, les répondants étaient majoritairement favorables au déploiement des chiens de détection au sein des aéroports, gares, ports (79 à 93 %), événements culturels et/ou festifs (68 à 80 %) et événements sportifs (59 à 80 %). Les situations ayant remporté le moins de votes par ces répondants étaient le lieu de travail (35 à 52 %), l'hôtel (32 à 57 %) et le domicile (17 à 26 %). Des votes intermédiaires ont été remportés par les situations restantes, soit les écoles et universités (46 à 71 %), le personnel médical, de sécurité civile, la police et l'armée (52 à 66 %), les maisons de retraite (45 à 65 %) et les conférences (44 à 74 %).

**Tableau 2** : Présentation des résultats des questions 6 à 9 = section « Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective ». Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Nombre de réponses (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
Avez-vous déjà contracté la COVID-19 ?							
Oui	1 015 (11,5)	115 (5,1)	45 (3,2)	31 (34)	17 (6,7)	56 (8,8)	91 (13,7)
Non	6 228 (70,3)	1 888 (83,9)	1 207 (85,2)	33 (37)	193 (76,0)	481 (75,7)	483 (72,7)
Je ne sais pas	1 041 (11,7)	123 (5,5)	108 (7,6)	8 (9)	12 (4,7)	67 (10,6)	65 (9,8)
Probablement mais sans test	580 (6,5)	123 (5,5)	56 (4,0)	18 (20)	32 (12,6)	31 (4,9)	25 (3,8)
Êtes-vous au courant que le chien peut détecter la COVID-19 chez un humain en reniflant une compresse imbibée de sueur ?							
Oui	7 216 (81,4)	302 (13,4)	1 120 (79,1)	32 (36)	220 (86,6)	347 (54,6)	422 (63,6)
Non	1 648 (18,6)	1 947 (86,6)	296 (20,9)	58 (64)	34 (13,4)	288 (45,4)	242 (36,4)
Êtes-vous d'accord pour que les chiens soient utilisés afin de dépister la COVID-19 ? <sup>1</sup>							
1	6 979 (78,7)	249 (11,1)	1 148 (81,1)	33 (37)	179 (70,5)	383 (60,3)	429 (64,6)
2	619 (7,0)	756 (33,6)	134 (9,5)	7 (8)	39 (15,4)	65 (10,2)	69 (10,4)
3	408 (4,6)	610 (27,1)	55 (3,9)	20 (22)	10 (3,9)	58 (9,1)	59 (8,9)
4	209 (2,4)	215 (9,6)	28 (2,0)	9 (10)	12 (4,7)	36 (5,7)	43 (6,5)
5	649 (7,3)	419 (18,6)	51 (3,6)	21 (23)	14 (5,5)	93 (14,6)	64 (9,6)
Moyenne	1,5	2,9	1,4	2,8	1,6	2,0	1,9
Dans quelles situations souhaiteriez-vous voir déployer des chiens de détection olfactive de la COVID-19 ? <sup>2</sup>							
Aucune	309 (3,5)	1 017 (45,2)	52 (3,7)	11 (12)	6 (2,4)	29 (4,6)	28 (4,2)
Aéroport, gare, port	8 114 (91,5)	523 (23,3)	1 261 (89,1)	71 (79)	237 (93,3)	555 (87,4)	603 (90,8)
Ecoles, universités	5 511 (62,2)	471 (20,9)	857 (60,5)	41 (46)	179 (70,5)	384 (60,5)	422 (63,6)
Personnel médical, de sécurité civile, police, armée	4 924 (55,6)	675 (30,0)	760 (53,7)	47 (52)	168 (66,1)	343 (54,0)	389 (58,6)
Maisons de retraite	5 188 (58,5)	161 (7,2)	909 (64,2)	41 (46)	165 (65,0)	375 (59,1)	390 (58,7)
Événements sportifs	6 785 (76,5)	195 (8,7)	1 083 (76,5)	53 (59)	199 (78,3)	434 (68,3)	529 (79,7)
Événements culturels et/ou festifs	7 091 (80,0)	185 (8,2)	1 061 (74,9)	61 (68)	198 (78,0)	439 (69,1)	494 (74,4)
Conférences	4 525 (51,0)	153 (6,8)	636 (44,9)	40 (44)	187 (73,6)	315 (49,6)	348 (52,4)
Lieu de travail	3 273 (36,9)	138 (6,1)	495 (35,0)	26 (29)	133 (52,4)	253 (39,8)	298 (44,9)
Hôtel	2 867 (32,3)	124 (5,5)	564 (39,8)	34 (38)	146 (57,5)	265 (41,7)	278 (41,9)
Domicile	8 864 (100,0)	115 (5,1)	243 (17,2)	16 (18)	67 (26,4)	136 (21,4)	162 (24,4)

<sup>1</sup> Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)

<sup>2</sup> Plusieurs réponses possibles

### **4.3. Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle individuelle**

Les questions 10 à 15 avaient pour but d'apprécier l'acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle individuelle. Le *tableau 3* présente ces résultats.

#### ***4.3.1. Acceptation individuelle du dépistage canin***

La première question visait à recenser la proportion de répondants qui accepteraient de se faire dépister par un chien pour la COVID-19. Pour tous les pays excepté la Chine, plus de 90 % des répondants étaient d'accord pour se faire dépister par un chien de détection olfactive, avec des proportions allant de 91 % pour la Russie à 97 % pour les pays anglophones.

Concernant la Chine, les répondants étaient beaucoup plus frileux à l'idée de se faire dépister COVID-19 par un chien, puisqu'ils n'étaient qu'à peine plus de la moitié à être d'accord avec ce concept. Hormis pour la Chine, les répondants semblaient présenter un très fort taux d'acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens.

#### ***4.3.2. Raisons de refus du dépistage canin***

La question suivante visait à déterminer les raisons de refus de cette méthode de détection de la COVID-19. Les répondants ayant sélectionné « non » à la question précédente étaient donc invités à choisir une ou plusieurs raisons de leur refus, parmi des raisons religieuses, une peur des chiens, des raisons éthiques et une allergie aux chiens.

Pour la Chine, dont les répondants ayant répondu « non » à la question précédente étaient les plus nombreux, les réponses étaient équitablement réparties entre les quatre propositions, avec environ un quart des répondants dans chaque catégorie.

Pour les autres pays, les répondants étaient toujours majoritaires à choisir des raisons éthiques à leur refus, avec des proportions comprises entre 54 et 78 %, et jusqu'à six répondants sur huit pour la Russie. La deuxième catégorie la plus représentée était la peur des chiens, avec un répondant sur huit pour la Russie à 44 % des répondants ayant sélectionné cette réponse, suivie de l'allergie aux chiens, ayant récolté d'aucune réponse sur huit à 18 % des voix. Le motif de refus ayant récolté le moins de votes était les raisons religieuses, avec seulement 2 % des voix à un répondant sur huit pour la Russie.

Les répondants s'étant positionnés contre le dépistage olfactif canin de la COVID-19 l'étaient donc principalement pour des raisons éthiques. La peur des chiens, l'allergie aux chiens et les préceptes religieux étaient minoritaires dans les réponses rapportées.

#### ***4.3.3. Acceptation du dépistage canin par le biais d'échantillons de sueur***

La troisième question visait à mesurer de degré d'accord des répondants quant au dépistage de la COVID-19 par des chiens par le biais d'échantillons de sueur. Les répondants choisissaient un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer leur degré d'accord quant à cette méthode de dépistage, avec le chiffre « 1 » signifiant qu'ils étaient tout à fait d'accord et le chiffre « 5 » signifiant qu'ils n'étaient vraiment pas d'accord.

Dans tous les pays hormis la Chine, les répondants étaient en majorité à avoir répondu être tout à fait d'accord avec cette méthode de détection. Les proportions étaient ainsi comprises entre 51 % pour la Russie et plus de 82 % pour la France et l'Allemagne.

Pour la France, l'Allemagne, les pays anglophones et les pays lusophones, les proportions de répondants ayant choisi un nombre compris entre 2 et 5 étaient toujours minimales, comprises entre un et 10 %. Pour la Russie et les pays hispanophones, la proportion de répondants n'étant vraiment pas d'accord pour se faire dépister COVID-19 par les chiens sur la base d'un échantillon de sueur était plus élevée que dans les pays précédemment cités, avec 16 % pour les pays hispanophones et 29 % pour la Russie.

Concernant la Chine, les répondants n'étaient majoritairement plutôt pas d'accord avec cette méthode de dépistage, avec 32 % des répondants ayant choisi le nombre 4. Les répondants étant tout à fait d'accord avec cette méthode n'étaient qu'en faible proportion, à moins de 10 %, tandis que ceux n'étant vraiment pas d'accord étaient en proportion légèrement plus importante, à 13 %.

Les notes moyennes attribuées à cette question étaient pour la plus basse à 1,3 pour l'Allemagne, dont les répondants étaient donc plutôt d'accord à totalement d'accord avec cette méthode de dépistage et pour la plus élevée à 3,2 pour la Chine, dont les répondants avaient donc du mal à positionner leur avis quant à cette méthode.

En moyenne, pour l'Allemagne, la France, les pays anglophones et les pays lusophones, les répondants étaient plutôt d'accord à totalement d'accord avec cette méthode de dépistage de la COVID-19. Les répondants hispanophones et russes étaient plutôt d'accord avec cette méthode tandis que les répondants chinois restaient plutôt neutre quant à leur avis sur la question.

En moyenne, tous pays confondus, les répondants étaient plutôt d'accord pour se faire dépister COVID-19 par un chien, sur la base d'un échantillon de sueur.

#### ***4.3.4. Acceptation du dépistage canin par reniflement direct***

La quatrième question visait à évaluer la proportion de répondants étant d'accord pour se faire dépister COVID-19 par un chien, par reniflement direct. Les répondants étaient très majoritairement d'accord avec cette idée, puisque dans tous les pays hormis la Chine, plus de 92 % des répondants avaient répondu « oui » à cette question.

Les répondants chinois étaient moins enthousiastes à l'idée de se faire renifler par un chien détecteur de la COVID-19 puisque seulement à peine plus de la moitié des répondants avaient répondu « oui » à cette question.

#### ***4.3.5. Acceptation du dépistage canin par reniflement direct avec contact***

La question suivante était liée à la précédente, puisqu'elle visait à préciser les réponses positives données à cette dernière. Il s'agissait de savoir si les répondants étaient d'accord pour que le chien les touche pendant le dépistage ou si ce dernier devait s'effectuer sans contact direct.

Tous pays confondus, plus de 80 % des répondants n'étaient pas gênés par l'idée d'être touchés par le chien durant le dépistage. Les pourcentages montaient même aux alentours de 95 % pour l'Allemagne et les pays anglophones et hispanophones.

Tous pays confondus, la grande majorité des répondants étant d'accord pour se faire renifler par un chien n'étaient pas gênés par l'idée d'un contact physique avec le chien.

#### ***4.3.6. Volonté d'aider à l'entraînement des chiens de détection olfactive***

La dernière question de cette section visait à évaluer le degré d'accord des répondants à donner un échantillon de sueur axillaire dans le but d'aider à l'entraînement des chiens de détection olfactive

de la COVID-19. Les répondants choisissaient un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer leur degré d'accord avec cette proposition, avec le chiffre « 1 » signifiant qu'ils étaient tout à fait d'accord et le chiffre « 5 » signifiant qu'ils n'étaient vraiment pas d'accord.

Pour tous les pays sauf la Chine, les répondants étaient majoritaires à être tout à fait d'accord avec l'idée de donner un échantillon de sueur pour l'entraînement des chiens de détection de la COVID-19, avec des proportions comprises entre 71 et 80 % pour la France, l'Allemagne, les pays anglophones, hispanophones et lusophones, et 49 % pour la Russie.

Pour la Chine, la majorité des répondants ne savaient pas se positionner sur cette question, avec 46 % des répondants ayant sélectionné le nombre « 3 ». Seulement 16 % des répondants chinois étaient tout à fait d'accord pour donner un échantillon de sueur.

Les proportions de répondants n'étant vraiment pas d'accord pour donner un échantillon de sueur pour aider à l'entraînement des chiens étaient toujours faibles pour la France, la Chine, l'Allemagne, les pays anglophones et lusophones, comprises entre quatre et neuf pourcents. Cette proportion était un peu plus élevée pour les pays hispanophones, avec 14 % des répondants ayant sélectionné le nombre « 5 ». Les répondants Russes étaient les plus nombreux en proportion à n'être vraiment pas d'accord avec cette question, avec 24 % des répondants ayant sélectionné le nombre « 5 ».

Les notes moyennes attribuées à cette question allaient de 1,4 pour les pays anglophones à 2,6 pour la Chine. En moyenne, les répondants français, allemands, anglophones, hispanophones et lusophones étaient plutôt d'accord à totalement d'accord pour donner un échantillon de sueur pour entraîner les chiens détecteurs de la COVID-19. Les répondants chinois et russes étaient quant à eux plutôt d'accord à neutres sur leur positionnement concernant cette question.

En moyenne, tous pays confondus, les répondants étaient plutôt d'accord pour donner un échantillon de sueur pour aider à l'entraînement des chiens de détection de la COVID-19.

**Tableau 3** : Présentation des résultats des questions 10 à 15 = section « Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle individuelle ». Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Nombre de réponses (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
Accepteriez-vous de vous faire dépister par un chien pour la COVID-19 ?							
Oui	8 510 (96,0)	1 217 (54,1)	1 367 (96,5)	82 (91)	246 (96,9)	605 (95,3)	625 (94,1)
Non	354 (4,0)	1 032 (45,9)	49 (3,5)	8 (9)	8 (3,1)	30 (4,7)	39 (5,9)
Si vous avez répondu « non », pourquoi ? <sup>1</sup>							
Précepte religieux	14 (4,0)	259 (25,1)	1 (2)	1 (1/8) <sup>2</sup>	0 (0/8) <sup>2</sup>	1 (4)	1 (3)
Peur des chiens	85 (24,0)	273 (26,5)	10 (20)	1 (1/8) <sup>2</sup>	2 (2/8) <sup>2</sup>	5 (19)	17 (44)
Ethique	253 (71,5)	247 (23,9)	39 (78)	6 (6/8) <sup>2</sup>	5 (5/8) <sup>2</sup>	20 (77)	21 (54)
Allergie aux chiens	19 (5,4)	248 (24,0)	5 (10)	0 (0/8) <sup>2</sup>	1 (1/8) <sup>2</sup>	3 (12)	7 (18)
Seriez-vous d'accord de vous faire dépister COVID-19, sur base d'un échantillon de sueur, par un chien ? <sup>3</sup>							
1	7 306 (82,4)	212 (9,4)	1 230 (86,9)	46 (51)	195 (76,8)	457 (72,0)	485 (73,0)
2	462 (5,2)	413 (18,4)	89 (6,3)	10 (11)	22 (8,7)	35 (5,5)	44 (6,6)
3	256 (2,9)	600 (26,7)	30 (2,1)	4 (4)	17 (6,7)	23 (3,6)	39 (5,9)
4	171 (1,9)	726 (32,3)	12 (0,8)	4 (4)	7 (2,8)	19 (3,0)	27 (4,1)
5	669 (7,5)	298 (13,3)	55 (3,9)	26 (29)	13 (5,1)	101 (15,9)	69 (10,4)
Moyenne	1,5	3,2	1,3	2,5	1,5	1,9	1,7
Seriez-vous d'accord de vous faire dépister COVID-19 par un chien qui vous reniflerait ?							
Oui	8 395 (94,7)	1 208 (53,7)	1 359 (96,0)	84 (93)	247 (97,2)	600 (94,5)	614 (92,5)
Non	469 (5,3)	1 041 (46,3)	57 (4,0)	6 (7)	7 (2,8)	35 (5,5)	50 (7,5)
Si « oui » à la question précédente							
Mais sans qu'il me touche	708 (8,6)	232 (19,2)	69 (5,1)	7 (8)	8 (3,3)	31 (5,2)	97 (15,8)
S'il me touche cela ne me gêne pas	7 555 (91,4)	976 (80,8)	1 288 (94,9)	77 (92)	237 (96,7)	561 (94,8)	516 (84,2)
Seriez-vous d'accord pour donner un échantillon de votre sueur axillaire pour entraîner les chiens détecteurs de la COVID-19 ? <sup>2</sup>							
1	6 903 (77,9)	367 (16,3)	1 094 (77,3)	44 (49)	202 (79,5)	457 (72,0)	474 (71,4)
2	729 (8,2)	615 (27,3)	156 (11,0)	11 (12)	28 (11,0)	40 (6,3)	55 (8,3)
3	401 (4,5)	1 026 (45,6)	75 (5,3)	8 (9)	7 (2,8)	27 (4,3)	47 (7,1)
4	240 (2,7)	125 (5,6)	32 (2,3)	5 (6)	5 (2,0)	20 (3,1)	29 (4,4)
5	591 (6,7)	116 (5,2)	59 (4,2)	22 (24)	12 (4,7)	91 (14,3)	59 (8,9)
Moyenne	1,5	2,6	1,5	2,4	1,4	1,8	1,7

<sup>1</sup> Plusieurs réponses possibles

<sup>2</sup> Pourcentages non utilisables car le nombre de répondants ayant répondu « non » est inférieur à 10

<sup>3</sup> Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)



#### **4.4. Niveau de confiance envers les tests de dépistage de la COVID-19**

Les questions 16 à 19 avaient pour objectif d'évaluer le niveau de confiance des répondants vis-à-vis du test de dépistage de la COVID-19 par les chiens renifleurs et des différents tests pratiqués usuellement depuis le début de la pandémie : le test PCR, le test antigénique et l'autotest. Le *tableau 4* présente ces résultats. Les répondants choisissaient un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer leur degré de confiance envers les tests, avec le chiffre « 1 » signifiant qu'ils avaient entièrement confiance et le chiffre « 5 » signifiant qu'ils n'avaient pas du tout confiance.

##### **4.4.1. Test olfactif canin**

Concernant le test canin, seuls les répondant français étaient plus de la moitié à avoir entièrement confiance en ce test, avec une proportion s'élevant à 53 %. Dans les autres pays, les proportions de répondants ayant totalement confiance en ce test variaient de 11 % pour la Chine à 46 % pour les pays anglophones.

Pour la France, les pays anglophones et les pays lusophones, les répondants étaient majoritaires à avoir totalement confiance en ce test. Dans les autres pays, les personnes ont majoritairement répondu qu'elles avaient plutôt confiance en ce test ou n'arrivaient pas à positionner leur avis, avec des proportions comprises entre 30 et 47 %.

Les proportions de répondants n'ayant pas du tout confiance en ce test étaient toujours faibles, comprises entre deux pourcents pour l'Allemagne et 13 % pour la Russie.

La note moyenne allait de 1,8 pour la France et l'Allemagne, dont les répondants avaient donc plutôt confiance à totalement confiance envers le test de dépistage canin de la COVID-19, à 3,1 pour la Chine et la Russie, dont les répondants étaient donc plutôt indécis quant à leur positionnement.

##### **4.4.2. Test PCR**

Concernant le test PCR, seuls les répondant français et lusophones étaient une majorité à avoir entièrement confiance en ce test, avec une proportion s'élevant de 37 à 41 %. Dans les autres pays, les proportions de répondants ayant totalement confiance en ce test variaient de 14 % pour la Russie à 35 % pour les pays anglophones.

Hormis pour la France et les pays lusophones, les personnes ont majoritairement répondu qu'elles avaient plutôt confiance en ce test ou n'arrivaient pas à positionner leur avis, avec des proportions comprises entre 36 et 47 %.

Les proportions de répondants n'ayant pas du tout confiance en ce test étaient toujours faibles, comprises entre trois pourcents pour les pays anglophones et 15 % pour les pays lusophones.

La note moyenne allait de 2 pour les pays anglophones, dont les répondants avaient donc plutôt confiance envers le test de dépistage PCR de la COVID-19, à 2,9 pour la Russie, dont les répondants étaient donc plutôt indécis quant à leur positionnement.

##### **4.4.3. Test antigénique**

Concernant le test antigénique, les répondants n'étaient jamais majoritaires à avoir totalement confiance en ce test, avec des proportions relativement faibles, comprises entre 13 % pour l'Allemagne et 26 % pour les pays anglophones.

Tous pays confondus, les personnes ont majoritairement répondu qu'elles avaient plutôt confiance en ce test ou n'arrivaient pas à positionner leur avis, avec des proportions comprises entre 28 et 46 %.

Les proportions de répondants n'ayant pas du tout confiance en ce test étaient toujours faibles, comprises entre deux pourcents pour les pays anglophones et 15 % pour les pays lusophones.

La note moyenne allait de 2,2 pour les pays anglophones, dont les répondants avaient donc plutôt confiance envers le test de dépistage antigénique de la COVID-19, à 2,7 pour la Russie et les pays lusophones, dont les répondants avaient donc plutôt confiance ou étaient plutôt indécis quant à leur positionnement.

#### **4.4.4. Autotest**

Concernant l'autotest, les répondants donnaient toujours en majorité la note « 3 », avec des proportions comprises entre 33 % pour la Russie et 47 % pour la Chine, signifiant qu'en général les répondants ne savaient pas positionner leur avis quant à ce test.

La proportion de répondants ayant totalement confiance en ce test était toujours relativement faible, comprise entre trois pourcents pour l'Allemagne et 16 % pour la Chine.

La proportion de répondants n'ayant pas du tout confiance en ce test était globalement plus élevée que pour les tests précédents, comprise entre cinq pourcents pour l'Allemagne et 26 % pour les pays lusophones.

La note moyenne allait de 2,5 pour la Chine, dont les répondants avaient donc plutôt confiance envers l'autotest pour le dépistage de la COVID-19 ou étaient plutôt indécis quant à leur positionnement, à 3,4 pour la France, dont les répondants étaient donc plutôt indécis quant à leur positionnement ou n'avaient plutôt pas confiance envers ce test.

#### **4.4.5. Synthèse**

Globalement, tous tests confondus, la note moyenne la plus basse était de 2,3, pour les pays anglophones, et la note moyenne la plus haute était de 3, pour la Russie. Les répondants des pays anglophones étaient donc ceux ayant le plus confiance envers les tests de dépistage de la COVID-19 de manière générale tandis que les répondants russes étaient ceux ayant le moins confiance envers ces tests.

Globalement, tous pays confondus, les répondants avaient plus confiance envers le test canin, avec une note moyenne de 2, puis envers le test PCR, avec une note moyenne de 2,2, puis envers le test antigénique, avec une note moyenne de 2,6, et enfin envers l'autotest avec une note moyenne de 3,2.

**Tableau 4** : Présentation des résultats des questions 16 à 19 = section « Niveau de confiance envers les tests pour le dépistage de la COVID-19 ». Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Nombre de réponses (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 canin ? <sup>1</sup>							
1	4 696 (53,0)	257 (11,4)	534 (37,7)	6 (7)	116 (45,7)	181 (28,5)	281 (42,3)
2	2 446 (27,6)	465 (20,7)	666 (47,0)	17 (19)	86 (33,9)	192 (30,2)	163 (24,5)
3	1 055 (11,9)	667 (29,7)	167 (11,8)	37 (41)	32 (12,6)	166 (26,1)	142 (21,4)
4	364 (4,1)	604 (26,9)	24 (1,7)	18 (20)	14 (5,5)	50 (7,9)	47 (7,1)
5	303 (3,4)	256 (11,4)	25 (1,8)	12 (13)	6 (2,4)	46 (7,2)	31 (4,7)
Moyenne	1,8	3,1	1,8	3,1	1,9	2,4	2,1
Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 par PCR ? <sup>1</sup>							
1	3 249 (36,7)	348 (15,5)	466 (32,9)	13 (14)	89 (35,0)	214 (33,7)	270 (40,7)
2	2 969 (33,5)	652 (29,0)	568 (40,1)	16 (18)	108 (42,5)	231 (36,4)	171 (25,8)
3	1 610 (18,2)	1 046 (46,5)	224 (15,8)	32 (36)	34 (13,4)	88 (13,9)	71 (10,7)
4	619 (7,0)	110 (4,9)	95 (6,7)	21 (23)	15 (5,9)	58 (9,1)	50 (7,5)
5	417 (4,7)	93 (4,1)	63 (4,4)	8 (9)	8 (3,1)	44 (6,9)	102 (15,4)
Moyenne	2,1	2,5	2,1	2,9	2,0	2,2	2,3
Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 par test antigénique ? <sup>1</sup>							
1	1 394 (15,7)	343 (15,3)	180 (12,7)	17 (19)	66 (26,0)	101 (15,9)	141 (21,2)
2	2 710 (30,6)	661 (29,4)	520 (36,7)	22 (24)	103 (40,6)	190 (29,9)	184 (27,7)
3	3 051 (34,4)	1 030 (45,8)	515 (36,4)	26 (29)	59 (23,2)	226 (35,6)	166 (25,0)
4	1 141 (12,9)	103 (4,6)	143 (10,1)	17 (19)	21 (8,3)	89 (14,0)	74 (11,1)
5	568 (6,4)	112 (5,0)	58 (4,1)	8 (9)	5 (2,0)	29 (4,6)	99 (14,9)
Moyenne	2,6	2,5	2,6	2,7	2,2	2,6	2,7
Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 par autotest ? <sup>1</sup>							
1	414 (4,7)	354 (15,7)	41 (2,9)	7 (8)	20 (7,9)	45 (7,1)	61 (9,2)
2	1 262 (14,2)	655 (29,1)	258 (18,2)	13 (14)	61 (24,0)	89 (14,0)	102 (15,4)
3	3 453 (39,0)	1 047 (46,6)	632 (44,6)	30 (33)	109 (42,9)	262 (41,3)	222 (33,4)
4	2 229 (25,1)	90 (4,0)	340 (24,0)	22 (24)	48 (18,9)	168 (26,5)	110 (16,6)
5	1 506 (17,0)	103 (4,6)	145 (10,2)	18 (20)	16 (6,3)	71 (11,2)	169 (25,5)
Moyenne	3,4	2,5	3,2	3,3	2,9	3,2	3,3

<sup>1</sup> Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré de confiance (1 = j'ai entièrement confiance, 5 = je n'ai pas du tout confiance)

## 4.5. Préférences en matière de dépistage de la COVID-19

Les questions 20 et 21 avaient pour objectif de déterminer les préférences des répondants en termes de test de dépistage de la COVID-19. Le *tableau 5* présente ces résultats.

### 4.5.1. Préférences en termes d'échantillon à fournir

À la question portant sur l'échantillon préféré à donner lors de dépistage de la COVID-19, plusieurs réponses étaient possibles entre sueur des aisselles, urine, masque, t-shirt, salive, sueur du cou, écouvillon nasal et chaussettes. Les réponses obtenues et les proportions associées étaient très différentes selon les pays.

Si l'on raisonne sur l'échantillon ayant recueilli le plus de votes selon chaque pays :

- France : sueur des aisselles avec 69 % de votes
- Chine : t-shirt avec 27 % de votes
- Allemagne : salive avec 30 % de votes
- Russie : masque avec 70 % de votes
- Pays anglophones : sueur des aisselles avec 28 % de votes
- Pays hispanophones : sueur des aisselles avec 35 % de votes
- Pays lusophones : salive avec 70 %

On remarque que la première place revenait trois fois à la sueur des aisselles, deux fois à la salive et une fois au t-shirt et au masque. On remarque également que l'échantillon ayant recueilli le plus de votes n'obtenait pour autant pas toujours la majorité absolue : en effet, les votes majoritaires avoisinaient les 70 % pour la France, la Russie et les pays lusophones alors qu'ils n'étaient qu'autour de 30 % dans les autres pays.

En comparant les votes obtenus pour deux échantillons en particulier, la sueur des aisselles et l'écouvillon nasal, on remarque que les proportions étaient extrêmement différentes selon les pays, puisqu'elles oscillaient, pour la sueur des aisselles, entre 16 % pour les répondants chinois et 69 % pour les répondants français, avec un pourcentage moyen s'élevant à 54 % de votes, tous pays confondus, et pour l'écouvillon nasal, entre trois pourcents pour les répondants hispanophones et 25 % pour les répondants chinois, avec un pourcentage moyen s'élevant à 17 % de votes, tous pays confondus (excepté pour la Russie dont le résultat n'était pas disponible). Tous pays confondus, les répondants préféraient ainsi donner un échantillon de sueur axillaire plutôt qu'un écouvillon nasal.

### 4.5.2. Préférences en termes de test de dépistage de la COVID-19

A la question portant sur le test préféré pour le dépistage de la COVID-19, une seule réponse était possible. On peut remarquer que le test préféré par les répondants était le test de reniflement direct par un chien pour tous les pays sauf la Chine, avec des pourcentages oscillant entre 49 et 79 %.

Le test préféré des répondants chinois était le test PCR avec écouvillon nasal, ayant récolté plus de 60 % des votes, alors qu'il n'en récoltait que trois à 13 % dans les autres pays.

En comparant les votes obtenus pour le test PCR avec écouvillon nasal et le test de reniflement direct par un chien, on remarque que les pourcentages de votants tous pays confondus s'élevaient à 15 % pour le test PCR contre 61 % pour le test de reniflement direct par un chien.

Tous pays confondus, les répondants préféraient ainsi subir un test de reniflement direct par un chien plutôt qu'un test PCR par écouvillonnage nasopharyngé.

**Tableau 5** : Présentation des résultats des questions 20 et 21 = section « Préférences en matière de dépistage de la COVID-19 ». Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Nombre de réponses (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
Quel échantillon préféreriez-vous donner lors d'un test COVID-19 ? <sup>1</sup>							
Sueur des aisselles	6 083 (68,6)	356 (15,8)	380 (26,8)	49 (54)	72 (28,3)	220 (34,6)	432 (65,1)
Urine	2 110 (23,8)	460 (20,5)	24 (1,7)	19 (21)	5 (2,0)	25 (3,9)	261 (39,3)
Masque	5 784 (65,3)	306 (13,6)	246 (17,4)	63 (70)	54 (21,3)	156 (24,6)	418 (63,0)
T-shirt	2 947 (33,2)	606 (26,9)	118 (8,3)	39 (43)	14 (5,5)	14 (2,2)	219 (33,0)
Salive	4 815 (54,3)	141 (6,3)	418 (29,5)	58 (64)	67 (26,4)	144 (22,7)	463 (69,7)
Sueur du cou	3 959 (44,7)	112 (5,0)	95 (6,7)	48 (53)	12 (4,7)	36 (5,7)	337 (50,8)
Écouvillon nasal	1 453 (16,4)	570 (25,3)	76 (5,4)	- <sup>2</sup>	14 (5,5)	18 (2,8)	152 (22,9)
Chaussettes	2 683 (30,3)	104 (4,6)	59 (4,2)	- <sup>2</sup>	16 (6,3)	18 (2,8)	201 (30,3)
À votre arrivée dans un aéroport ou port, quel test COVID-19 préféreriez-vous subir ?							
Test sueur par un chien de détection	1 947 (22,0)	221 (9,8)	270 (19,1)	11 (12)	34 (13,4)	151 (23,8)	244 (36,7)
Test PCR avec écouvillon nasal	258 (2,9)	1 358 (60,4)	92 (6,5)	12 (13)	16 (6,3)	54 (8,5)	60 (9,0)
Test de reniflement direct de ma personne par un chien	6 323 (71,3)	664 (29,5)	1 015 (71,7)	57 (63)	200 (78,7)	404 (63,6)	324 (48,8)
Un autre test rapide	336 (3,8)	6 (0,3)	39 (2,8)	10 (11)	4 (1,6)	26 (4,1)	36 (5,4)

<sup>1</sup> Plusieurs réponses possibles

<sup>2</sup> Absence de données concernant cette information

## **4.6. Place du chien dans la détection des maladies humaines**

Les questions 22 à 24 avaient pour objectif d'évaluer l'avis des répondants concernant la place du chien dans la détection des maladies humaines, de manière générale. Le *tableau 6* présente ces résultats.

### **4.6.1. Evaluation du plaisir des chiens de détection olfactive**

La première question consistait à évaluer le plaisir que pourrait avoir un chien de détection de la COVID-19 dans le travail qui lui est demandé, en choisissant un nombre compris entre 1 et 5, avec le chiffre « 1 » signifiant que le plaisir était très important et le chiffre « 5 » signifiant que le plaisir était nul.

Les répondants pensant que le plaisir ressenti par le chien est très important étaient presque toujours majoritaires. En Allemagne, en Russie, dans les pays anglophones et lusophones, respectivement 87 %, 77 %, 92 % et 80 % des répondants étaient de cet avis. Les pourcentages étaient un peu plus faibles en France et dans les pays hispanophones, avec seulement 43 % et 55 % des répondants pensant que le chien éprouve un plaisir très important.

En Chine cependant, les répondants pensant que le plaisir ressenti par le chien est très important n'étaient que de 21 %, contre une majorité de 34 % ne sachant se prononcer sur cette question en ayant choisi le chiffre 3.

La proportion de répondants pensant que le plaisir éprouvé par les chiens est nul était toujours faible à modérée, comprise entre deux pourcents pour l'Allemagne et 20 % pour la Russie.

Les moyennes des réponses étaient situées entre 1,2 pour l'Allemagne et les pays anglophones et 2,4 pour la Chine. Tous pays confondus, la note moyenne donnée à cette question était de 1,9, signifiant que les répondants pensaient que les chiens de détection éprouvent un plaisir plutôt important dans leur travail.

### **4.6.2. Volonté d'implication bénévole par les propriétaires de chiens**

La question suivante consistait à évaluer la proportion de répondants, parmi ceux possédant un chien, prêts à l'impliquer bénévolement dans la détection olfactive de la COVID-19. Les répondants étaient presque toujours plus de la moitié à vouloir impliquer leur chien, avec une proportion comprise entre 55 % pour les pays anglophones et 72 % pour la Chine.

Concernant la Russie, les répondants n'étaient que 41 % à souhaiter impliquer leur chien. De manière générale, tous pays confondus, les répondants possédant un animal de compagnie étaient motivés à l'impliquer dans la détection de la COVID-19.

### **4.6.3. Place du chien dans le dépistage précoce de maladies humaines**

Enfin, la dernière question de cette section consistait à évaluer l'avis des répondants quant à la place du chien dans les dispositifs de dépistage précoce pour les maladies humaines de manière générale (cancers, maladies dégénératives). Les répondants choisissaient un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer leur degré d'accord quant à cette idée, avec le chiffre « 1 » signifiant qu'ils étaient tout à fait d'accord et le chiffre « 5 » signifiant qu'ils n'étaient vraiment pas d'accord.

Les répondants étant tout à fait d'accord pour donner une place au chien dans les dispositifs de dépistage des maladies humaines étaient presque toujours majoritaires. En France, en Allemagne et au sein des pays anglophones, respectivement 73 %, 69 % et 82 % des répondants

étaient de cet avis. Les pourcentages étaient un peu plus faibles en Russie, au sein des pays hispanophones et des pays lusophones, avec seulement 44 %, 60 % et 64 % des répondants étant tout à fait d'accord pour donner une place au chien dans les dispositifs de dépistage des maladies humaines.

En Chine cependant, les répondants étant tout à fait d'accord pour donner une place au chien dans les dispositifs de dépistage des maladies humaines n'étaient que de huit pourcents, contre une majorité de 44 % ne sachant se prononcer sur cette question en ayant choisi le chiffre « 3 ». En outre, près d'un tiers des répondants chinois n'étaient plutôt pas d'accord avec cette question.

La proportion de répondants n'étant vraiment pas d'accord pour donner une place au chien dans les dispositifs de dépistage des maladies humaines était toujours faible, comprise entre deux pourcents pour l'Allemagne et 16 % pour la Russie.

Les moyennes des réponses étaient situées entre 1,3 pour les pays anglophones et 3,2 pour la Chine. En moyenne, tous pays confondus, les répondants ont donné une note de 1,9, signifiant qu'ils étaient plutôt d'accord avec le fait que le chien puisse avoir sa place dans les dispositifs de dépistage précoce des maladies humaines de manière générale.

**Tableau 6** : Présentation des résultats des questions 22 à 24 = section « Place du chien dans la détection des maladies humaines ». Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Nombre de réponses (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
Comment évaluez-vous le plaisir que peut avoir un chien de détection de la COVID-19 dans le travail qui lui est demandé ? <sup>1</sup>							
1	3 807 (42,9)	478 (21,3)	1 227 (86,7)	68 (76)	234 (92,1)	346 (54,5)	533 (80,3)
2	2 471 (27,9)	720 (32,0)	121 (8,5)	1 (1)	6 (2,4)	104 (16,4)	48 (7,2)
3	1 676 (18,9)	764 (34,0)	29 (2,0)	1 (1)	2 (0,8)	93 (14,6)	20 (3,0)
4	447 (5,0)	152 (6,8)	8 (0,6)	2 (2)	2 (0,8)	30 (4,7)	10 (1,5)
5	463 (5,2)	135 (6,0)	31 (2,2)	18 (20)	10 (3,9)	62 (9,8)	53 (8,0)
Moyenne	2,0	2,4	1,2	1,9	1,2	2,0	1,5
Seriez-vous intéressé à impliquer bénévolement votre chien dans la détection de la COVID-19 ?							
Oui	3 636 (55,9)	789 (72,4)	500 (57,5)	32 (41)	118 (55,4)	283 (57,4)	407 (61,3)
Non	2 873 (44,1)	301 (27,6)	370 (42,5)	46 (59)	95 (44,6)	210 (42,6)	257 (38,7)
Pensez-vous que de manière plus générale (cancers, maladies dégénératives), le chien peut avoir sa place dans les dispositifs de dépistage précoce ? <sup>2</sup>							
1	6 506 (73,4)	174 (7,7)	968 (69,0)	40 (44)	208 (81,9)	381 (60,0)	423 (63,7)
2	1 265 (14,3)	185 (8,2)	313 (22,3)	9 (10)	29 (11,4)	108 (17,0)	93 (14,0)
3	559 (6,3)	998 (44,4)	78 (5,6)	18 (20)	3 (1,2)	68 (10,7)	88 (13,3)
4	214 (2,4)	706 (31,4)	15 (1,1)	9 (10)	5 (2,0)	33 (5,2)	29 (4,4)
5	320 (3,6)	186 (8,3)	29 (2,1)	14 (16)	9 (3,5)	45 (7,1)	31 (4,7)
Moyenne	1,5	3,2	1,4	2,4	1,3	1,8	1,7

<sup>1</sup> Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer le degré de plaisir supposé (1 = Très important, 5 = Nul)

<sup>2</sup> Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)



## **4.7. Commentaires libres**

La dernière question de l'enquête permettait aux répondants de laisser un commentaire libre, concernant la détection de la COVID-19 par les chiens renifleurs. Le *tableau 7* présente ces résultats.

### **4.7.1. Commentaires totaux**

Tous pays confondus, 44 % des répondants avaient laissé un commentaire. Au total, 6 260 commentaires ont donc été analysés. La proportion de répondants ayant laissé un commentaire était fortement variable selon les pays interrogés, allant de huit pourcents pour la Russie à 89 % pour la Chine. Concernant les pays lusophones, 11 % des répondants avaient laissé un commentaire. Pour la France, les pays anglophones et les pays hispanophones, environ 30 % des répondants avaient laissé un commentaire. Les répondants allemands ont été plus de 77 % à laisser un commentaire. Les commentaires ont été lus puis classés en quatre catégories prédominantes :

- Les commentaires positifs et/ou en faveur de cette méthode de dépistage
- Les commentaires en faveur de cette méthode de dépistage à condition que le bien-être animal soit respecté
- Les commentaires septiques et/ou incertains quant à leur avis
- Les commentaires négatifs et/ou en défaveur de cette méthode de dépistage

### **4.7.2. Commentaires positifs et/ou en faveur de cette méthode**

Les commentaires positifs et/ou en faveur de cette méthode de dépistage étaient toujours prédominants (ou égaux en proportion avec les commentaires sceptiques et/ou incertains quant à leur avis dans le cas de la Russie), avec une proportion allant de 43 % en Chine et trois répondants sur sept en Russie à plus de 80 % en France et en Allemagne. Les pays anglophones, hispanophones et lusophones en comptaient une proportion intermédiaire, de 61 à 67 %.

Tous pays confondus, 68 % de commentaires positifs étaient récoltés. Ces commentaires positifs regroupaient, indépendamment des pays interrogés :

- Des personnes très enjouées par cette méthode innovante
- Des personnes souhaitant impliquer leur chien dans la détection olfactive de la COVID-19
- Des commentaires encourageants

### **4.7.3. Commentaires sceptiques et/ou incertains quant à leur avis**

La deuxième catégorie de commentaires la plus importante en proportion regroupait des personnes sceptiques et/ou incertaines quant à leur avis concernant cette méthode de dépistage. Les proportions de commentaires cette catégorie étaient relativement basses pour les répondants français, allemands, anglophones, hispanophones et lusophones, avec des valeurs comprises entre sept et 19 %, mais étaient plus élevées pour les répondants chinois et russes, avec respectivement 32 % de répondants et trois répondants sur sept entrant dans cette catégorie.

Tous pays confondus, 15 % de commentaires sceptiques étaient récoltés. Les commentaires entrant dans cette catégorie provenaient de répondants :

- Manquant de données scientifiques pour se faire un avis sur cette méthode
- Pensant que les résultats manqueront de précision, notamment lors de dépistage dans une foule, et devront toujours être confirmés par un autre test plus « conventionnel »
- Ayant peur de se faire dépister sans consentement

- N'ayant pas trop d'avis sur cette méthode
- Trouvant le concept irréaliste et/ou ayant peur du nombre de chien qu'il faudrait entraîner et/ou doutant des capacités des chiens à réaliser une telle charge de travail
- Ayant peur de la lenteur de mise en place de ce dispositif et de la disparition de la crise entre temps
- Ayant peur que la formation des chiens dépisteur de la COVID-19 se fasse au détriment des chiens d'assistance pour d'autres maladies (aveugle, diabète, épilepsie)

#### ***4.7.4. Commentaires en faveur de cette méthode à condition que le bien-être animal soit respecté***

Une autre catégorie prédominante de commentaires était les commentaires en faveur de cette méthode à condition que le bien-être animal soit respecté. La proportion de répondants s'inquiétant du bien-être des chiens renifleurs s'élevait de 8 % en Allemagne à 19 % au sein des pays hispanophones et lusophones. Les données concernant ce type de réponses n'étaient pas disponibles pour le questionnaire chinois.

Tous pays confondus, 6 % de commentaires en lien avec le bien-être animal étaient récoltés. Les répondants entrant dans cette catégorie de commentaires étaient positifs à cette nouvelle méthode de détection de la COVID-19 à condition :

- Que les chiens renifleurs n'aient aucun risque d'être contaminés par le virus
- Qu'ils soient formés par une éducation positive basée sur la récompense
- Qu'ils aient des temps de pause permettant de respecter leur volonté de travailler

#### ***4.7.5. Commentaires négatifs et/ou en défaveur de cette méthode***

La catégorie de réponses minoritaire concernait les commentaires négatifs et/ou en défaveur de cette méthode de dépistage, retrouvés en proportions basses tous pays confondus, allant d'une proportion nulle pour les répondants lusophones à près de 10 % pour les répondants hispanophones. Seule la Chine se démarquait de ces proportions puisque plus de 25 % des répondants ayant laissé un commentaire avaient laissé un commentaire négatif vis-à-vis de cette méthode.

Tous pays confondus, 10 % de commentaires négatifs étaient récoltés. Les principaux freins rapportés par les personnes opposées à la méthode étaient :

- D'ordre éthique, certains répondants refusant l'exploitation animale et dénonçant une mise en danger des chiens
- D'ordre scientifique, certains répondants n'ayant aucune confiance en cette méthode qu'ils jugent peu crédible
- Dus à une incompréhension de l'intérêt de la mise en œuvre de cette méthode de dépistage (existence d'autres tests efficaces, d'autres maladies jugées prioritaires en termes de moyens à investir dans le dépistage, peur que la pandémie soit terminée avant que cette méthode ne soit mise en place)
- Dus à un sentiment de peur (intrusion dans la vie privée, dépistages de masse infondés, contrôles non consentants, mise en quarantaine, transmission du SARS-CoV-2 aux humains par les chiens)
- Sans raison particulière

**Tableau 7** : Présentation des résultats de la question 25 = Commentaires libres.

Les résultats sont présentés sous la forme suivante : Pour la ligne « commentaires totaux » : Nombre de commentaires (Proportion rapportée au nombre de réponses totales en pourcentage) ; pour les autres lignes : Nombre de commentaires (Proportion rapportée au nombre de commentaires totaux en pourcentage)

	France	Chine	Allemagne	Russie	Pays anglophones	Pays hispanophones	Pays lusophones
Commentaires totaux	2 859 (32,3)	2 000 (88,9)	1 086 (77,4)	7 (8)	70 (27,6)	163 (25,7)	75 (11,3)
Commentaires positifs et/ou en faveur de cette méthode de dépistage	2 308 (80,7)	857 (42,9)	883 (81,3)	3 (3/7) <sup>2</sup>	47 (67)	100 (61,3)	47 (63)
Commentaires en faveur de cette méthode de dépistage à condition que le bien-être animal soit respecté	267 (9,3)	- <sup>1</sup>	83 (7,6)	0 (0/7) <sup>2</sup>	10 (14)	31 (19,0)	14 (19)
Commentaires sceptiques et/ou incertains quant à leur avis	186 (6,5)	638 (31,9)	101 (9,3)	3 (3/7) <sup>2</sup>	9 (13)	17 (10,4)	14 (19)
Commentaires négatifs et/ou en défaveur de cette méthode de dépistage	98 (3,4)	505 (25,3)	19 (1,7)	1 (1/7) <sup>2</sup>	4 (6)	15 (9,2)	0 (0)

<sup>1</sup> Absence de données concernant cette information

<sup>2</sup> Pourcentages non utilisables car le nombre de commentaires est inférieur à 10

## 5. Discussion

### 5.1. Limites de l'étude

L'étude présentée par ce manuscrit est une étude descriptive observationnelle non réalisée par des professionnels du sondage. Elle présente de fait plusieurs limites.

#### 5.1.1. *Biais d'échantillonnage et défaut de représentativité des échantillons*

Le biais d'échantillonnage apparaît lorsque la méthode d'échantillonnage ne permet pas à l'échantillon d'être représentatif de la population cible pour le caractère étudié. Dans le cas de cette enquête, le seul fait d'avoir voulu répondre à ce questionnaire constituait un biais d'échantillonnage. On peut raisonnablement imaginer que les personnes ayant répondu à ce questionnaire étaient plus sensibles à son contenu que les personnes n'ayant pas voulu y répondre.

Le biais d'échantillonnage entraîne, en général, un défaut de représentativité des échantillons. Si l'on analyse la représentativité de l'échantillon constitué par les répondants français vis-à-vis de la population générale française, on peut remarquer que les proportions de genre et d'âge ne sont pas respectées (INSEE, 2022). En effet, la population française compte 48 % d'homme et 52 % de femmes, contre respectivement 26 et 73 % dans ce questionnaire. Concernant la répartition de la population française par âge, environ un quart à un tiers de cette dernière se situe dans les quatre classes d'âge énoncées dans la question 2, tandis que les proportions retrouvées dans le questionnaire varient de deux pourcents à plus de 50 %.

Au vu du sujet de l'enquête, il serait envisageable de penser que le genre et l'âge des répondants n'influent que peu sur les résultats. En effet, on pourrait penser que le fait de posséder un animal de compagnie ou de travailler dans le milieu médical ou du chien de travail puisse davantage influencer sur les résultats, compte-tenu du sujet de l'enquête. On pourrait ainsi discuter de la représentativité de l'échantillon vis-à-vis des critères « possession d'animaux » et « milieu de travail » plutôt que vis-à-vis des critères « genre » et « âge ».

D'après une enquête menée en 2020 (Facco, 2020), environ un français sur deux possède un animal de compagnie. Cette proportion est largement dépassée dans le questionnaire puisque presque 80 % des répondants en possèdent. D'après l'INSEE, en 2019, un peu moins de deux pourcents de la population française travaillent dans le milieu médical (INSEE, 2019), contre 30 % pour les répondants au questionnaire. Aucune ressource ne comptabilise la proportion de français travaillant dans le milieu du chien de travail, mais on peut raisonnablement penser que la proportion est bien inférieure aux 11,8 % observés dans le questionnaire.

Les proportions de répondants français possédant un animal de compagnie, travaillant dans le milieu médical et travaillant dans le milieu du chien de travail dépassant largement celles rencontrées dans la population française en général, l'échantillon ne peut être considéré comme représentatif de cette dernière. Ce même raisonnement peut être utilisé pour expliquer la non représentativité des échantillons des autres questionnaires puisque les proportions retrouvées dans les catégories d'intérêt sont du même ordre que celles retrouvées dans le questionnaire français.

Le biais d'échantillonnage est inhérent à toute enquête mais peut être évité en procédant à un tirage au sort en amont de la diffusion de l'enquête. Il aurait ainsi fallu, dans notre cas, et pour chaque pays, tirer au sort un nombre donné de personnes qui auraient eu le droit de répondre au questionnaire. Pour ce faire, il aurait par exemple fallu tirer un nombre donné de numéros de

téléphone dans l'annuaire et faire remplir les questionnaires par téléphone. Cette méthode semble ainsi bien plus chronophage et difficile à mettre en place.

### **5.1.2. Biais de mesure**

Le biais de mesure apparaît lorsque la méthode de mesure est telle que le caractère étudié sera systématiquement surestimé ou sous-estimé. Dans notre enquête, on peut observer un biais de mesure dans la question 23 du questionnaire à destination des pays lusophones. En effet, cette question a pour but d'évaluer le nombre de répondants prêts à impliquer bénévolement leur chien dans la détection olfactive de la COVID-19, sous-entendant que seuls les propriétaires de chiens peuvent répondre. Or, cette question était obligatoire dans le questionnaire à destination des pays lusophones, biaisant ainsi ses résultats. Notamment, on peut imaginer que la proportion de personnes ayant répondu « non » à cette question a été surestimée.

Les biais, d'échantillonnage et de mesure, sont importants à prendre en compte car ils sont à l'origine de résultats inexacts et ne permettent pas d'inférer les résultats à une population cible.

### **5.1.3. Autres limites**

#### *5.1.3.1. Diffusion des questionnaires*

Les questionnaires ont été diffusés via internet principalement, permettant ainsi de recueillir un grand nombre de réponses en un temps restreint, contrairement à la diffusion par voie postale qui ne permet qu'un faible taux de réponses (Donfack, 2007). Cependant, l'ensemble du grand public n'a pas accès à internet et aux réseaux sociaux et de ce fait, la diffusion des questionnaires ne couvre pas l'ensemble de la population.

En France, le questionnaire a été diffusé sur plusieurs sites vétérinaires ou destinés aux propriétaires d'animaux, sélectionnant ainsi davantage de répondants ayant une affinité pour ces derniers, et ne permettant donc pas une bonne représentativité de l'échantillon.

#### *5.1.3.2. Inégalité de représentation des continents et pays*

Les différents continents et pays ne sont pas représentés de manière égale. En effet, la France et de manière plus générale l'Europe est surreprésentée, tandis que l'Inde, l'Afrique et l'Océanie ne sont que très peu représentés, avec respectivement un, un et trois répondants seulement provenant de ces contrées.

Ces observations peuvent être expliquées d'une part par un défaut de diffusion du questionnaire dans ces régions, dont l'accès à internet n'est pas toujours aussi aisé qu'en Europe. En effet, en 2019, alors que plus de 80 % des européens avaient accès à internet, à peine la moitié des habitants d'Inde et d'Océanie et moins de 30 % des Africains y avaient accès (Statista Infographies, 2019).

D'autre part, si l'on fait le point sur l'incidence du SARS-CoV-2 dans ces régions, on peut remarquer que l'Europe est bien plus touchée que l'Afrique et l'Inde notamment. Le *tableau 8* présente ces résultats. Ces chiffres pourraient expliquer un défaut d'intérêt pour cette enquête dont le sujet ne représente pas un enjeu majeur dans ces contrées.

**Tableau 8** : Nombre de contaminations et nombre de décès dus au SARS-CoV-2 depuis 2020 au sein de l'Europe, de l'Afrique, de l'Inde et de l'Océanie rapportés au nombre d'habitants de ces régions

Région	Nombre d'habitants	Contaminations par le SARS-CoV-2	Décès imputables au SARS-CoV-2	Source
Europe	750 000 000	180 000 000 (24 %)	2 200 000 (0,3 %)	(Reuters, 2022a)
Afrique	1 400 000 000	11 500 000 (0,8 %)	250 000 (0,02 %)	(Reuters, 2022b)
Inde	1 400 000 000	43 000 000 (3 %)	520 000 (0,04 %)	(Reuters, 2022c)
Océanie	44 000 000	5 500 000 (12,5 %)	9 200 (0,02 %)	(Reuters, 2022d)

### 5.1.3.3. Absence d'enquête pilote

Une autre limite présente dans cette étude est l'absence d'étude pilote à laquelle comparer les résultats. Puisqu'aucune autre enquête du même type n'existe actuellement, il était impossible d'émettre des hypothèses quant aux résultats possibles de l'enquête.

### 5.1.3.4. Perte d'informations

Enfin, la dernière limite à noter au sein de cette étude est la perte d'informations dans certains questionnaires.

Premièrement, les résultats du questionnaire chinois ont été directement traités et analysés par une tierce personne, pouvant ainsi poser problème lors de l'analyse des commentaires. Ces derniers ont été triés en quatre catégories : « positifs », « négatifs », « je doute » et « peu importe », différentes des catégories choisies pour les autres questionnaires. Les réponses des catégories « je doute » et « peu importe » ont été assimilées à la catégorie « sceptiques et/ou incertains quant à leur avis » sans certitude sur la similarité de ces catégories. De plus, aucune précision n'est apportée quant à l'importance accordée au bien-être animal par les répondants chinois.

Deuxièmement, au sein du questionnaire destiné aux pays lusophones, la réponse « autre » était disponible pour la question concernant l'âge des participants ; 16 % des répondants ont choisi cette réponse. Dernièrement, au sein du questionnaire russe, les réponses « écouvillon nasal » et « chaussettes » n'apparaissaient pas au sein de la question 20 concernant le type d'échantillon préféré pour la détection du SARS-CoV-2.

## 5.2. Forces de l'étude

Cette enquête est au cœur de l'actualité et inédite. En effet, aucune étude auparavant n'avait eu pour but de recueillir l'avis du grand public concernant la détection olfactive du SARS-CoV-2 par des chiens de travail. De manière plus générale, aucune enquête n'avait eu pour objectif d'aider à la mise en place d'une nouvelle méthode de dépistage de la COVID-19, qui soit aussi fiable que les méthodes de dépistage conventionnelles actuelles tout en étant moins onéreuse et plus écologique.

L'enquête, initialement à l'intention du grand public français, s'est rapidement internationalisée grâce au soutien de l'OMS. Le questionnaire français, initialement conçu par l'équipe Nosais, a été traduit en six langues (anglais, allemand, chinois, espagnol, portugais et russe) dans le but d'être diffusé à travers le monde et de recueillir un maximum de réponses provenant du grand public de tous les continents sans restriction.

L'étude a été réalisée en un temps relativement restreint. En effet, seulement un peu plus d'un an s'est écoulé entre l'élaboration du questionnaire français début juin 2021 et la publication des résultats par le biais de ce manuscrit. Un délai respectable pour une étude de cette envergure.

L'enquête a reçu un très grand nombre de réponses. Effectivement, 14 172 réponses ont été récoltées au total. Le nombre élevé de réponses est garant d'une bonne précision des résultats. Ce taux élevé de participation montre par ailleurs l'intérêt du grand public pour ce sujet brûlant d'actualité et est permis entre autres par la formulation de questions assez simples à comprendre, ainsi à la portée de tous et non des plus instruits uniquement. De surcroît, le questionnaire était rapide à compléter, avec une moyenne de remplissage de six minutes, évitant donc les réponses aléatoires et les abandons en cours de questionnaire.

Les questionnaires diffusés touchent tout un chacun. En effet, ils étaient accessibles au plus grand nombre, sans restriction ou critères d'inclusion dans l'étude. De plus, chaque répondant était libre de s'exprimer à la fin du questionnaire, et l'analyse de l'ensemble des avis laissés permet de viser précisément les inquiétudes des répondants et d'y répondre avec adresse.

Le dernier point fort de cette enquête est qu'elle pourrait inciter le gouvernement français, voire les gouvernements d'autres pays, à appuyer et mettre en place cette nouvelle méthode de dépistage de la COVID-19, au vu de l'engouement du grand public pour cette dernière et des excellents résultats apportés par de nombreuses études à ce sujet.

### **5.3. Réponse aux objectifs**

La nature descriptive de l'enquête ainsi que les biais inhérents à cette dernière n'ont pas permis la réalisation de tests statistiques ou même l'inférence des résultats. Le recours au conditionnel dans cette partie permet de rappeler cette absence de tests statistiques et d'inférence et appelle à la prudence quant à l'utilisation des résultats de cette enquête.

#### ***5.3.1. Evaluer les connaissances du grand public concernant la détection olfactive canine de la COVID-19***

La question 7 évaluait la connaissance des répondants vis-à-vis de la détection olfactive canine de la COVID-19 à partir de compresses imbibées de sueur.

Les proportions de répondants au courant de cette méthode étaient globalement très élevées, notamment pour la France, l'Allemagne et les pays anglophones dont les proportions dépassaient 80 %. Les pays hispanophones et lusophones recensaient également des proportions élevées avec plus de la moitié des répondants étant au courant de cette méthode de dépistage. On aurait pu s'attendre à des proportions bien inférieures, la détection olfactive canine de la COVID-19 n'étant pour le moment pas une méthode de dépistage acceptée par les autorités. En France, les médias ont cependant partagé des informations et mis en avant cette méthode de dépistage via des articles, sur *Ouest France* (Gratian, 2020) ou encore *Les Echos* (Berny, 2020), des diffusions radiophoniques, sur *France Culture* (Schlegel, 2021) ou encore *France Bleu* (Bour, 2021), voire même par le biais de reportages télévisés sur *TF1 info* (TF1 info, 2021) ou encore *France 5* (Lauqué et Isle, 2020). Ces diffusions d'informations pourraient expliquer le taux élevé de répondants français connaissant la détection olfactive de la COVID-19. Une autre hypothèse serait que les proportions élevées de répondants français possédant des animaux de compagnie, travaillant dans le milieu médical et travaillant dans le milieu du chien de travail biaisent les résultats, amenant à surestimer

la proportion de la question 7. Le même raisonnement peut être adopté pour les questionnaires allemand, anglophone, hispanophone et lusophone.

Deux questionnaires se démarquaient cependant des proportions citées ci-dessus, puisque le questionnaire russe révélait que seulement un peu plus d'un tiers des répondants connaissaient cette méthode tandis que les répondants chinois étaient seulement 13 % à connaître cette nouvelle méthode de dépistage. Parmi les répondants russes et chinois, les proportions de ceux possédant des animaux de compagnie, travaillant dans le milieu médical et travaillant dans le milieu du chien de travail étaient du même ordre que celles rencontrées dans les autres pays. On peut donc supposer que la diffusion d'informations par les médias joue un rôle plus important que les critères précédemment cités dans la connaissance du dépistage du SARS-CoV-2 par des chiens de travail. Sachant que les médias russes et chinois ont travaillé à diffuser de fausses informations en Europe au début de la pandémie (Rousset, 2020), on peut supposer que ces mêmes médias ont moins œuvré à parler de cette méthode de dépistage de la COVID-19 innovante et prometteuse que dans les autres pays.

Ces résultats peuvent ainsi nous amener à penser que les grands publics français, allemand, anglophone, hispanophone et lusophone seraient très bien informés quant à la détection de la COVID-19 par des chiens sur la base d'échantillons de sueur, tandis que les grands publics russe et chinois le seraient de manière bien moindre.

### ***5.3.2. Appréhender l'intérêt de la population mondiale pour cette nouvelle méthode de dépistage***

La question 8 avait pour but d'évaluer le degré d'accord exprimé par les répondants quant à l'utilisation de chiens pour le dépistage de la COVID-19. La proportion de répondants tout à fait d'accord avec cette méthode de dépistage était très élevée dans cinq des questionnaires, comprise entre 60 et 70 % pour les pays anglophones, hispanophones et lusophones et autour de 80 % pour la France et l'Allemagne. De nouveau, la Russie et encore davantage la Chine se démarquaient des résultats des autres pays puisque respectivement 37 % et seulement 11 % des répondants étaient tout à fait d'accord avec l'utilisation de chiens pour la détection du SARS-CoV-2. Les répondants chinois étaient majoritaires à être plutôt d'accord avec cette méthode ou à ne pas avoir d'avis à ce propos. Environ un cinquième des répondants russes et chinois n'étaient vraiment pas d'accord avec cette méthode, représentant une proportion non négligeable.

La question 9 avait pour objectif de déterminer les situations dans lesquelles les répondants souhaitaient voir déployés les chiens de détection olfactive de la COVID-19. De manière cohérente avec la question précédente, les répondants russes et chinois étaient les plus nombreux en proportions à ne vouloir voir déployés les chiens de détection dans aucune situation. Quand les répondants des autres questionnaires étaient toujours moins de cinq pourcents à ne vouloir voir déployés les chiens de détection dans aucune situation, les répondants russes étaient eux 12 % et les répondants chinois 45 %. Cette dernière proportion est à souligner, puisqu'elle représente près de la moitié des répondants chinois. Concernant les autres pays, les répondants étaient majoritairement favorables au déploiement des chiens dans des situations regroupant une forte densité de population, comme les événements culturels, festifs et sportifs, et dans des lieux publics impersonnels tels que les aéroports, gares et ports. Les répondants étaient beaucoup moins favorables au déploiement de cette méthode de dépistage dans des lieux plus personnels comme le lieu de travail, l'hôtel ou encore le domicile.



L'opposition manifestée par les répondants russes et chinois face à la détection olfactive de la COVID-19 peut nous amener à émettre plusieurs hypothèses quant à son origine. Premièrement, on pourrait penser à un défaut d'entrain pour la nouveauté, notamment de la part des répondants chinois. Il est en effet connu que la population chinoise apprend dès le plus jeune âge par mimétisme vis-à-vis de son maître, détenant le savoir (Jin et Cortazzi, 2009). On pourrait ainsi se demander si la population chinoise n'attend pas l'approbation de son gouvernement vis-à-vis de la détection olfactive canine pour accepter cette méthode nouvelle et non conventionnelle. On peut également penser à une restriction de liberté des populations, d'agir mais également de penser, de la part des gouvernements russe et chinois (Manevich, 2018). Les hypothèses suivantes seraient un manque de confiance envers la détection olfactive canine ainsi qu'un rejet du chien au sein de la santé humaine. Nous donnerons des pistes de réponse à ces hypothèses dans la suite de la discussion.

Globalement, ces résultats peuvent nous amener à penser que les grands publics français, allemand, anglophone, hispanophone et lusophone présenteraient un intérêt marqué pour la détection olfactive canine de la COVID-19, et souhaiteraient voir cette méthode déployée dans des événements rassemblant un grand nombre de personnes et dans des lieux publics impersonnels. On pourrait en outre penser que les grands publics russe et plus encore chinois seraient beaucoup moins intéressés par cette méthode, voire majoritairement contre son développement.

### **5.3.3. Quantifier la population susceptible de recourir à cette méthode de dépistage**

La question 10 visait à quantifier la population susceptible de recourir au dépistage de la COVID-19 par détection olfactive. Les questions suivantes permettaient d'apporter des précisions aux réponses.

Les proportions de répondants d'accord pour se faire dépister pour la COVID-19 par un chien étaient globalement très élevées. Tous pays confondus, hormis pour la Chine, plus de 90 % des répondants étaient d'accord, avec près de 97 % pour les répondants allemands et anglophones. Les répondants chinois étaient d'accord en proportion bien inférieure, avec tout de même un peu plus de la moitié des répondants acceptant ce dépistage. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus aux questions précédentes. Les résultats des répondants russes sont cependant assez surprenants compte tenu des réticences exprimées lors des précédentes questions. On aurait pu s'attendre à des résultats plus faibles.

La question 11 permettait de préciser les raisons de refus du dépistage par un chien. Parmi les répondants refusant ce dépistage, les raisons éthiques étaient les plus représentées, suivies de la cynophobie puis de raisons religieuses ou d'allergie. L'éthique semble donc être la raison principale au refus du dépistage olfactif canin. Quand plus de 60 % de la population française est opposée à l'utilisation des animaux pour la recherche scientifique (Merceron *et al.*, 2021), il semble indispensable de rassurer la population quant aux conditions de réalisation de ces dépistages et au respect du bien-être animal lors de ces dernières.

D'après les résultats obtenus à la question 12, de manière similaire à ceux obtenus pour la question 10, la grande majorité des répondants était favorable à la détection olfactive canine par reniflement direct de leur personne. En effet, tous pays confondus, hormis pour la Chine une fois de plus, plus de 92 % des répondants étaient en accord avec cette méthode. Les répondants chinois, en accord avec les précédentes données, étaient seulement un peu plus de la moitié à accepter le reniflement direct par un chien. Tous pays confondus, plus de 80 % des répondants, et jusqu'à près de 95 % pour les répondants allemands, anglophones et hispanophones, n'étaient pas gênés par un éventuel contact avec le chien renifleur.

Ces résultats peuvent nous amener à penser que les grands publics à travers le monde, hormis en Chine, seraient en très grande majorité d'accord pour se faire dépister pour la COVID-19 par un chien renifleur, de surcroît par reniflement direct, et dont le contact avec l'animal ne dérangerait que peu. La principale raison de refus de cette méthode semblerait en outre d'ordre éthique.

#### 5.3.4. Evaluer la confiance accordée par le grand public aux différents tests de dépistage de la COVID-19

Les questions 16 à 19 évaluaient la confiance accordée par les répondants à quatre types de tests de dépistage de la COVID-19.

Les répondants français, allemands, anglophones et lusophones avaient confiance de manière décroissante envers le test canin, puis le test PCR, suivi du test antigénique et enfin de l'autotest. Les répondants hispanophones avaient un ressenti proche de cette classification, avec simplement une confiance un peu plus élevée envers le test PCR qu'envers le test canin. Les répondants russes et chinois se démarquaient une fois de plus des autres répondants. En effet, les répondants russes avaient confiance de manière décroissante envers le test antigénique, puis le test PCR, suivi du test canin et enfin de l'autotest. Les répondants chinois avaient quant à eux un niveau de confiance égal envers les trois tests utilisés couramment, dépassant le niveau de confiance accordé au test canin.

Plusieurs études systématiques avec méta analyses ont été examinées afin de comparer les sensibilités et spécificités des quatre tests étudiés, et par voie de conséquence la fiabilité de ces tests. Les résultats sont présentés dans le *tableau 9*. On peut remarquer que le test canin récolte les meilleures sensibilités et spécificités, suivi du test PCR, puis du test antigénique et enfin de l'autotest.

**Tableau 9** : Présentation de la sensibilité et de la spécificité des quatre tests de dépistage de la COVID-19 étudiés dans la section 4 du questionnaire

Type de test	Sensibilité	Spécificité	Source
Détection olfactive canine	88 %	99 %	(Lippi <i>et al.</i> , 2021)
Test RT-PCR	86 %	96 %	(Floriano <i>et al.</i> , 2020)
	84 %	100 %	(Mair <i>et al.</i> , 2021)
Test antigénique	68 %	99 %	(Lee <i>et al.</i> , 2021)
	68 %	99 %	(Khandker <i>et al.</i> , 2021)
Autotest	78 %	99 %	(Stohr <i>et al.</i> , 2021)
	65 % (moyenne) 44 % (asymptomatiques)	100 %	(Jegerlehner <i>et al.</i> , 2021)

On peut remarquer que le ressenti des répondants français, allemands, anglophones et lusophones est en adéquation avec les sensibilités et spécificités des tests retrouvées dans la littérature. A l'opposé, le ressenti des répondants russes et chinois n'est pas du tout accordé aux données de la bibliographie. On peut supposer que les répondants chinois et russes ne sont pas

assez informés quant à la confiance réelle que l'on peut accorder aux tests utilisés couramment. Ce manque de confiance envers la détection olfactive canine de la part des répondants russes et chinois peut en partie expliquer leur manque d'engouement pour cette nouvelle méthode de détection observée un peu plus haut.

Ces résultats peuvent nous amener à penser que les grands publics français, allemands, anglophones et lusophones accorderaient leur confiance aux tests de dépistage de la COVID-19 de manière cohérente avec les données de la littérature quant à leur fiabilité (Test canin suivi du test PCR puis du test antigénique et enfin de l'autotest). A contrario, les grands publics russes et chinois sembleraient plus éloignés de la réalité, avec notamment un manque de confiance notable envers le test canin.

### ***5.3.5. Déterminer les modalités de test préférées par le grand public***

Les questions 20 et 21 permettent de répondre à cet objectif.

A l'exclusion des répondants chinois, la moitié à quatre cinquièmes des répondants des autres pays préféraient pratiquer le test de reniflement direct de leur personne par un chien pour le dépistage de la COVID-19. Les proportions de ces mêmes répondants préférant le dépistage via un test PCR par écouvillonnage nasopharyngé étaient très basses. De manière générale, les répondants préféraient subir le test canin plutôt que le test PCR. Corrélativement à cette observation, les répondants non chinois préféraient donner un échantillon de sueur plutôt qu'un prélèvement nasopharyngé. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette préférence. Premièrement, un test canin moins douloureux, traumatique ou invasif qu'un test PCR. Deuxièmement, une plus grande confiance accordée au test canin, comme vu dans la partie précédente. Notons par cette occasion que les résultats des répondants russes sont assez étonnants, dans le sens qu'ils ne sont pas corrélés avec la confiance accordée aux tests. Les répondants russes préfèrent donc possiblement le test canin au test PCR pour le confort qu'il procure, en dépit du manque de confiance accordé.

Concernant les répondants chinois, ces derniers préféraient subir un test PCR par écouvillonnage nasopharyngé plutôt qu'un test de reniflement par un chien, qu'il soit direct ou via un échantillon de sueur. De manière corrélative, les répondants chinois préféraient donner un écouvillon nasal plutôt qu'un échantillon de sueur. L'aversion pour le test de reniflement direct par un chien aurait pu être éventuellement expliquée par le refus d'un contact avec ce dernier. Cependant, le faible intérêt montré pour le test canin à partir d'un échantillon de sueur laisse à penser que les répondants chinois rejettent le test canin dans son intégralité, au profit du test PCR qu'ils préfèrent. Ces résultats sont cohérents avec le manque de confiance envers le test canin observé dans la partie précédente. Les répondants chinois accordent ainsi possiblement plus d'importance à la rigueur qu'au confort apporté par un test. Cette hypothèse peut être facilement mise en corrélation avec l'éducation stricte reçue par la population chinoise dont nous avons discuté un peu plus haut.

Ces résultats peuvent nous amener à penser que les grands publics à travers le monde, à l'exception du grand public chinois, préféreraient le test de reniflement direct par un chien au test PCR par écouvillonnage nasopharyngé pour le dépistage de la COVID-19.

### ***5.3.6. Recueillir l'avis du grand public concernant la place du chien dans le dépistage des maladies humaines***

Les répondants de tous les pays hormis la Chine se plaçaient en majorité d'accord à tout à fait d'accord avec la place du chien dans des dispositifs de dépistage précoces de maladies humaines. Seuls les répondants chinois se démarquaient des autres, avec une proportion très élevée, près

d'un tiers, se positionnant plutôt contre l'utilisation du chien dans ce type de dépistage. Ce refus d'utilisation du chien dans tout type de dépistage de maladie humaine peut constituer une autre piste d'explication au manque d'intérêt exprimé par les répondants chinois vis-à-vis de la détection olfactive canine de la COVID-19.

Il est alors intéressant de se demander d'où peut venir cette différence de volonté d'implication du chien au service de la santé humaine entre les répondants chinois et les répondants des autres pays. Il convient tout d'abord de rappeler que le chien en tant qu'animal de compagnie est bien moins développé en Chine qu'en France par exemple. En 2018, la Chine comptait 168 millions de chiens de compagnie, pour 1,4 milliards d'habitants (Li, 2021), soit un chien pour 25 habitants. La même année, la France comptait 7 millions de chiens de compagnie pour 67 millions d'habitants, soit un chien pour 10 habitants. En outre, le chien n'est pas majoritairement vu par les chinois comme un animal de compagnie. En effet, l'évocation du chien comme d'un animal de compagnie par un homme politicien chinois lors d'une intervention télévisée en avril 2020 était une première (Li, 2021). De plus, la consommation de viande de chien est toujours autorisée et pratiquée en Chine, contrairement à la France par exemple.

Les répondants chinois ont donc très certainement moins d'affinités pour les chiens que les répondants des autres pays. Ils ont également certainement moins de confiance envers leurs capacités, n'étant pas habitués à travailler avec eux. Ces faits peuvent expliquer leur rejet envers la détection olfactive canine.

Ces résultats peuvent nous amener à penser que les grands publics à travers le monde, à l'exception du grand public chinois, seraient en grande majorité d'accord avec l'implication du chien dans des dispositifs de dépistage précoce de maladies humaines. Le grand public chinois semblerait beaucoup plus fermé face à cette idée.

### ***5.3.7. Recueillir des avis libres du grand public afin d'identifier les freins à l'utilisation de cette méthode de dépistage et de pouvoir y répondre de manière ciblée***

Le taux de participation à la dernière question était très élevé, puisque près d'un répondant sur deux, tous pays confondus, avait souhaité s'exprimer concernant la détection olfactive canine de la COVID-19. Les répondants chinois étaient ceux ayant laissé le plus de commentaires, puisque près de neuf répondants sur dix s'étaient exprimés à la fin du questionnaire. On peut donc supposer que ces répondants souhaitaient fortement s'exprimer sur cette méthode de détection qui, d'après les différentes parties du questionnaire, semblait déplaire à la majorité d'entre eux. Les répondants russes étaient ceux ayant laissé le moins de commentaires, avec seulement 8 % d'entre eux ayant souhaité donner leur avis. Les proportions de répondants ayant laissé un commentaire dans les autres questionnaires étaient intermédiaires et par conséquent peu discutables.

La forte proportion de commentaires positifs, représentant tout de même près de sept répondants sur dix, tous pays confondus, semble montrer que les répondants ne sont pas seulement en accord avec la détection olfactive canine de la COVID-19 mais veulent exprimer leur engouement et leur soutien vis-à-vis de cette méthode.

Les commentaires négatifs étaient en proportions minoritaires, avec environ un répondant sur dix en ayant laissé un, tous pays confondus. Le contenu de ces commentaires faisait souvent apparaître un avis très tranché sur la détection olfactive canine, avec un refus total du dialogue quant à cette dernière. Il semble en effet compliqué de discuter d'alternatives lorsque le sujet du commentaire porte sur le véganisme et l'exploitation animale ou est simplement composé de critiques dépourvues d'arguments ou de raisons pouvant les expliquer.

Les catégories de répondants sur lesquelles il serait judicieux de s'attarder sont donc les répondants sceptiques et/ou incertains quant à leur avis et les répondants en faveur de la méthode à condition que le bien-être animal soit respecté. En effet, ces répondants pourraient devenir favorables à la méthode à condition d'être rassurés à propos de leurs inquiétudes respectives. De plus, ces deux catégories de répondants représentent au total un peu plus de 20 % de ceux ayant laissé un commentaire. Il pourrait ainsi être pertinent d'analyser les craintes de ces derniers et d'y répondre de manière ciblée.

Les répondants sceptiques et/ou incertains quant à leur avis mettent en avant majoritairement des arguments scientifiques. Il faudrait par conséquent les inviter à consulter la partie bibliographique de ce manuscrit ainsi que le *tableau 9* un peu plus haut afin de répondre à leurs inquiétudes.

Les répondants inquiets vis-à-vis du bien-être animal ont majoritairement peur que les chiens renifleurs puissent être contaminés par le virus et que leur volonté de travailler ne soit pas respectée. Pour répondre à la première inquiétude, il semblerait que des cas de transmission du SARS-CoV-2 entre une personne infectée et des chiens soient rapportés, mais seulement en cas de contact étroit et prolongé entre les deux individus. En outre, il était rare que les chiens infectés par le virus développent des symptômes (AVMA, 2020). Par ailleurs, il n'existe à l'heure actuelle aucune preuve que le chien puisse transmettre le SARS-CoV-2 à l'Homme. Il semblerait même qu'il soit un cul-de-sac épidémiologique, c'est-à-dire qu'il puisse héberger ce virus, sans pouvoir le transmettre à d'autres individus. Dans tous les cas, il semble important de rassurer les répondants en rappelant que les tests de dépistage olfactifs canins seront réalisés avec une distance de sécurité entre l'Homme et le chien afin d'éviter tout risque de contamination. Pour répondre à la deuxième inquiétude mentionnée, il faudrait rassurer les répondants en expliquant que les méthodes de travail utilisées sont basées sur le renforcement positif et non sur des méthodes coercitives qui sont assurément associées avec une diminution du bien-être animal et une augmentation de l'expression de signaux de stress, de peur et d'agression (Guilherme Fernandes *et al.*, 2017). Le renforcement positif est quant à lui associé à une volonté de travailler de la part du chien (Alexander *et al.*, 2011). On peut donc facilement penser que tant que les chiens sont éduqués avec des méthodes positives, ils réaliseront leur travail par volonté et non par obligation.

L'analyse de l'ensemble de ces commentaires peut nous amener à penser que les grands-publics à travers le monde seraient très favorables et enjoués face à la détection olfactive canine de la COVID-19. Les inquiétudes principales des populations sembleraient concerner le bien-être animal des chiens de travail ainsi que la fiabilité de la détection olfactive canine.

# Conclusion

---

Le dépistage de la COVID-19 est rendu possible grâce à l'utilisation de plusieurs tests, notamment le test par RT-PCR, le test antigénique et l'autotest. Ces derniers n'étant pas toujours fiables, il semble intéressant de poursuivre les recherches et de s'ouvrir à de nouvelles pistes de dépistage de la maladie virale préoccupant le Globe depuis plus de deux ans.

Ce manuscrit a permis dans un premier temps de faire un état des lieux des connaissances actuelles autour de la détection olfactive canine au service de l'Homme, notamment dans le milieu médical et plus précisément autour de la détection du SARS-CoV-2. Notre étude à visée mondiale s'est ainsi portée, dans un second temps, sur le positionnement du grand public vis-à-vis de la détection olfactive canine de la COVID-19, à l'aide d'un questionnaire traduit en sept langues et diffusé à travers le monde. Les résultats obtenus ont aidé à répondre aux objectifs fixés mais le manque de représentativité des échantillons n'a pas permis l'inférence des résultats aux grands publics des différents pays questionnés.

Les répondants chinois se placent majoritairement contre la détection olfactive canine de la COVID-19, à laquelle ils n'accordent que très peu de confiance, contrairement au test de dépistage par RT-PCR qu'ils préfèrent. Ils se placent en outre contre l'utilisation du chien dans la détection de maladies humaines de manière générale. Les répondants russes se montrent peu intéressés par le développement de cette méthode de dépistage mais ne sont pas opposés à l'utilisation de celle-ci. Les répondants des autres pays s'accordent sur l'intérêt marqué et la grande confiance qu'ils accordent au dépistage canin. Ils sont, pour la majorité d'entre eux, motivés à utiliser cette méthode innovante, notamment dans des événements rassemblant un grand nombre de personnes et dans des lieux publics impersonnels. Les commentaires laissés par les répondants sont très encourageants, notamment par l'engouement et le soutien manifestés. Ils permettent en outre de cerner les principales préoccupations manifestées par ces derniers, qui sont d'ordre éthique, centrées sur le bien-être des chiens au travail et leur sécurité sanitaire vis-à-vis du virus, et scientifique, centrées sur la fiabilité de cette nouvelle méthode de dépistage. Les résultats pourraient être amenés à évoluer, une fois ces inquiétudes dissipées.

Cette enquête est la première à avoir été menée sur ce sujet, et collecte, par son ampleur, une vaste base de données qui pourraient être utilisables pour de futures enquêtes à destination du grand public à travers le monde. Le positionnement du grand public vis-à-vis de la détection olfactive canine, s'il est étudié par le biais de futures enquêtes, pourra être hypothétisé à partir des résultats de cette étude.

L'objectif ultime de ce manuscrit serait d'inciter le gouvernement français, voire les gouvernements d'autres pays, à autoriser la mise en place de la détection olfactive canine pour la COVID-19, compte tenu des excellents résultats émis par les études présentées dans la partie bibliographique et compte tenu de l'engouement du grand public français vis-à-vis de cette méthode. A défaut, ce manuscrit pourrait permettre une mise en œuvre de la détection olfactive canine pour le dépistage d'autres maladies dans le cas de futures pandémies.



# Liste des références bibliographiques

---

- ABD EL QADER A., LIEBERMAN D., SHEMER AVNI Y., *et al.* (2015) Volatile organic compounds generated by cultures of bacteria and viruses associated with respiratory infections. *Biomed. Chromatogr. BMC* 29(12), 1783-1790
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE (2020a) Prise de position : Pour un renfort vétérinaire au diagnostic du Covid-19. In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/prise-de-position-de-lacademie-pour-un-renfort-veterinaire-au-diagnostic-du-covid-19/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE (2020b) Communiqué : « Covid-19 : dépister plus, dépister mieux ». In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/covid-19-depister-plus-depister-mieux-2/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE (2021a) Communiqué : Covid-19 : à quels tests se fier en 2021 ? In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/covid-19-a-quels-tests-se-fier-en-2021/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE (2021b) Communiqué : Peut-on faire confiance aux auto-tests de dépistage face aux variants du SARS-CoV-2 ? In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/peut-on-faire-confiance-aux-auto-tests-de-depistage-face-aux-variants-du-sars-cov-2/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE (2021c) Communiqué : Les prélèvements nasopharyngés ne sont pas sans risque. In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/les-prelevements-nasopharynges-ne-sont-pas-sans-risque/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE, ACADÉMIE NATIONALE DE PHARMACIE (2020) Communiqué : « Tests Covid-19 : à la recherche d'une stratégie ». In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/communique-de-lacademie-nationale-de-medecine-et-de-lacademie-nationale-de-pharmacie-tests-covid-19-a-la-recherche-dune-strategie/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE, ACADÉMIE VÉTÉRINAIRE DE FRANCE (2020) Communiqué : Test olfactif de dépistage de la Covid-19 utilisant des chiens entraînés. In *academie-medecine.fr*. [<https://www.academie-medecine.fr/test-olfactif-de-depistage-de-la-covid-19-utilisant-des-chiens-entraines/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE NATIONALE DE PHARMACIE (2020) Communiqué : Dépistage COVID-19 : « il faut faciliter un partenariat entre les laboratoires de biologie médicale et les laboratoires vétérinaires ». In *toute-la.veille-acteurs-sante.fr*. [<https://toute-la.veille-acteurs-sante.fr/145436/depistage-covid-19-il-faut-faciliter-un-partenariat-entre-les-laboratoires-de-biologie-medecale-et-les-laboratoires-veterinaires-communique/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACADÉMIE VÉTÉRINAIRE DE FRANCE (2020) Communiqué : Réalisation des tests Covid-19 par les structures vétérinaires. In *academie-veterinaire-defrance.org*. [<https://academie-veterinaire-defrance.org/communiques-de-presse/realisation-des-tests-covid-19-par-les-structures-veterinaires/>] (consulté le 01/01/2022).
- ACEVEDO C.A., SÁNCHEZ E.Y., REYES J.G., YOUNG M.E. (2007) Volatile organic compounds produced by human skin cells. *Biol. Res.* 40(3), 347-355
- AKSENOV A.A., GOJOVA A., ZHAO W., *et al.* (2012) Characterization of volatile organic compounds in human leukocyte antigen heterologous expression systems: a cell's « chemical odor fingerprint ». *Chembiochem Eur. J. Chem. Biol.* 13(7), 1053-1059
- AKSENOV A.A., SANDROCK C.E., ZHAO W., *et al.* (2014) Cellular scent of influenza virus infection. *Chembiochem Eur. J. Chem. Biol.* 15(7), 1040-1048
- ALEXANDER M.B., FRIEND T., HAUG L. (2011) Obedience training effects on search dog performance. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 132(3), 152-159
- ANALYTICE (2020) Laboratoires d'Analyse par GC-MS (Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse). In *analytice.com*. [<https://www.analytice.com/laboratoires-analyse-gc-ms-chromatographie-phase-gazeuse-couplee-spectrometrie-masse/>] (consulté le 01/01/2022).



- ANGELETTI S., TRAVAGLINO F., SPOTO S., *et al.* (2021) COVID-19 sniffer dog experimental training: Which protocol and which implications for reliable identification? *J. Med. Virol.* 93(10), 5924-5930
- ANGLE T.C., PASSLER T., WAGGONER P.L., *et al.* (2015) Real-Time Detection of a Virus Using Detection Dogs. *Front. Vet. Sci.* 2, 79
- ANSES (2020) One Health. [<https://www.anses.fr/fr/content/one-health>] (consulté le 31/03/2022).
- ARASARADNAM R.P., QURAIISHI N., KYROU I., *et al.* (2011) Insights into « fermentonomics »: evaluation of volatile organic compounds (VOCs) in human disease using an electronic « e-nose ». *J. Med. Eng. Technol.* 35(2), 87-91
- ARASARADNAM R.P., MCFARLANE M.J., RYAN-FISHER C., *et al.* (2014) Detection of colorectal cancer (CRC) by urinary volatile organic compound analysis. *PloS One* 9(9), e108750
- ARASARADNAM R.P., MCFARLANE M., DAULTON E., *et al.* (2016) Non-invasive exhaled volatile organic biomarker analysis to detect inflammatory bowel disease (IBD). *Dig. Liver Dis.* 48(2), 148-153
- ASSISTANCE PUBLIQUE DES HÔPITAUX DE PARIS (2021) Communiqué : Une avancée dans la recherche sur le dépistage de la COVID-19 : Dans le cadre de l'étude Salicov AP-HP l'évaluation de la technique de dépistage de la COVID-19 grâce aux capacités olfactives du chien donne des résultats très prometteurs. In *aphp.fr*. [<https://www.aphp.fr/contenu/une-avancee-dans-la-recherche-sur-le-depistage-de-la-covid-19-dans-le-cadre-de-letude>] (consulté le 01/01/2022).
- AVMA (2020) SARS-CoV-2 in animals. In *American Veterinary Medical Association*. [<https://www.avma.org/resources-tools/one-health/covid-19/sars-cov-2-animals-including-pets>] (consulté le 08/04/2022).
- BANDAY K.M., PASIKANTI K.K., CHAN E.C.Y., *et al.* (2011) Use of urine volatile organic compounds to discriminate tuberculosis patients from healthy subjects. *Anal. Chem.* 83(14), 5526-5534
- BARKER M., HENGST M., SCHMID J., *et al.* (2006) Volatile organic compounds in the exhaled breath of young patients with cystic fibrosis. *Eur. Respir. J.* 27(5), 929-936
- BELLUOMO I., BOSHIER P.R., MYRIDAKIS A., *et al.* (2021) Selected ion flow tube mass spectrometry for targeted analysis of volatile organic compounds in human breath. *Nat. Protoc.* 16(7), 3419-3438
- BERKHOUT D.J.C., NIEMARKT H.J., BUIJCK M., *et al.* (2017) Detection of Sepsis in Preterm Infants by Fecal Volatile Organic Compounds Analysis: A Proof of Principle Study. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 65(3), e47-e52
- BERNA A.Z., AKAHO E.H., HARRIS R.M., *et al.* (2021) Reproducible Breath Metabolite Changes in Children with SARS-CoV-2 Infection. *ACS Infect. Dis.* 7(9), 2596-2603
- BERNY L. (2020) Chez les chiens renifleurs du Covid. In *lesechos.fr*. [<https://www.lesechos.fr/weekend/business-story/reportage-chez-les-chiens-renifleurs-du-covid-1262347>] (consulté le 06/04/2022).
- BESA V., TESCHLER H., KURTH I., *et al.* (2015) Exhaled volatile organic compounds discriminate patients with chronic obstructive pulmonary disease from healthy subjects. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 10, 399-406
- BIEHL W., HATTESOHL A., JÖRRES R.A., *et al.* (2019) VOC pattern recognition of lung cancer: a comparative evaluation of different dog- and eNose-based strategies using different sampling materials. *Acta Oncol. Stockh. Swed.* 58(9), 1216-1224
- BIJLAND L.R., BOMERS M.K., SMULDERS Y.M. (2013) Smelling the diagnosis: a review on the use of scent in diagnosing disease. *Neth. J. Med.* 71(6), 300-307
- BOESEL T., TERHORST P., KROENIG J., *et al.* (2022) Pilot Study on Non-Invasive Diagnostics of Volatile Organic Compounds over Urine from COVID-19 Patients. *Arch. Clin. Biomed. Res.* 6(1), 65-73
- BOMERS M.K., VAN AGTMAEL M.A., LUIK H., *et al.* (2012) Using a dog's superior olfactory sensitivity to identify *Clostridium difficile* in stools and patients: proof of principle study. *BMJ* 345, e7396

- BOMERS M.K., VAN AGTMAEL M.A., LUIK H., VANDENBROUCKE-GRAULS C.M.J.E., SMULDERS Y.M. (2014) A detection dog to identify patients with *Clostridium difficile* infection during a hospital outbreak. *J. Infect.* 69(5), 456-461
- BOUR S. (2021) Utiliser des chiens pour dépister le coronavirus : une expérimentation est lancée à Maisons-Alfort. *Fr. Bleu* 18-02-2021
- 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 Sci. Int.* 220(1-3), 118-125
- CAMPBELL L.F., FARMERY L., GEORGE S.M.C., FARRANT P.B.J. (2013) Canine olfactory detection of malignant melanoma. *BMJ Case Rep.* doi.org/10.1136/bcr-2013-008566
- CATTET J., HARDIN D., ANDERSON W., SHRIVANECK Z. (2013) Hypoglycemia Alert Dogs: Innovative Assistance for People with Type 1 Diabetes. 61, 99-100
- CAVALEIRO RUFO J., PACIÊNCIA I., MENDES F.C., *et al.* (2019) Exhaled breath condensate volatilome allows sensitive diagnosis of persistent asthma. *Allergy* 74(3), 527-534
- CBS BOSTON (2022) COVID Detecting Dogs Begin Working In 3 Massachusetts School Districts. [<https://boston.cbslocal.com/2022/01/04/covid-sniffing-k9s-dogs-bristol-county/>] (consulté le 02/04/2022).
- CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE BORDEAUX (2021) Des chiens formés à la détection de la Covid-19 en Nouvelle-Aquitaine. [<https://www.chu-bordeaux.fr/Espace-m%C3%A9dia/Actualit%C3%A9s/Des-chiens-form%C3%A9s-%C3%A0-la-d%C3%A9tection-de-la-Covid-19-en-Nouvelle-Aquitaine/>] (consulté le 01/01/2022).
- CERRETA M.M., FURTON K.G. (2015) An assessment of detection canine alerts using flowers that release methyl benzoate, the cocaine odorant, and an evaluation of their behavior in terms of the VOCs produced. *Forensic Sci. Int.* 251, 107-114
- CHABER A.-L., SUSAN H., BRETT M., *et al.* (2022) Evaluation of canine detection of covid-19 infected individuals under controlled settings. *Transbound. Emerg. Dis.* doi.org/10.1111/tbed.14529
- CHULALONGKORN VETERINARY SCIENCE (2021) Chula Trains Sniffer Dogs to Find People Infected with COVID-19. *In Chulalongkorn University.* [<https://www.chula.ac.th/en/news/45241/>] (consulté le 01/01/2022).
- CORNU J.-N., CANCEL-TASSIN G., ONDET V., GIRARDET C., CUSSENOT O. (2011) Olfactory detection of prostate cancer by dogs sniffing urine: a step forward in early diagnosis. *Eur. Urol.* 59(2), 197-201
- CRAVEN B.A. (2008) A fundamental study of the anatomy, aerodynamics, and transport phenomena of canine olfaction. *Pa. State Univ.* 1(1), 35-40
- CURRAN A.M., RABIN S.I., PRADA P.A., FURTON K.G. (2005) Comparison of the volatile organic compounds present in human odor using SPME-GC/MS. *J. Chem. Ecol.* 31(7), 1607-1619
- DAVIS P. (2017) The Investigation of Human Scent from Epileptic Patients for the Identification of a Biomarker for Epileptic Seizures. *FIU Electron. Theses Diss.* doi.org/10.25148/etd.FIDC004043
- 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 Sci. Int.* 217(1-3), 32-38
- DE LACY COSTELLO B., AMANN A., AL-KATEB H., *et al.* (2014) A review of the volatiles from the healthy human body. *J. Breath Res.* 8(1), 014001
- DEVILLIER P., GALLET C., SALVATOR H., *et al.* (2022) Biomedical detection dogs for the identification of SARS-CoV-2 Infections from axillary sweat and breath samples. *J. Breath Res.* doi.org/10.1088/1752-7163/ac5d8c
- DILKIE N., VENIOT B. (2017) Human Remains Detection: Validity of RCMP Dog Training using Donated Human Remains through the Nova Scotia Medical Examiner Service. *J. Forensic Identif.* 67, 498-518
- DIRECTION DE LA RECHERCHE, DES ÉTUDES, DE L'ÉVALUATION ET DES STATISTIQUES (2022) Communiqué de presse : Semaine du 7 au 13 février 2022 : Nette baisse du nombre de tests Covid-19, les délais de rendus des tests se raccourcissent légèrement. [<https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/delais-covid19-2022-02-17/>] (consulté le 04/04/2022).

- DONFACK F. (2007) Méthodologie de l'enquête par questionnaire. [[https://www.academia.edu/36296265/Formation\\_Evaluation\\_1er\\_2\\_f%C3%A9vrier\\_2007\\_%C3%A0\\_Grisolles\\_M%C3%A9thodologie\\_de\\_l'enqu%C3%AAt\\_e\\_par\\_questionnaire](https://www.academia.edu/36296265/Formation_Evaluation_1er_2_f%C3%A9vrier_2007_%C3%A0_Grisolles_M%C3%A9thodologie_de_l'enqu%C3%AAt_e_par_questionnaire)] (consulté le 01/04/2022).
- DRABIŃSKA N., FLYNN C., RATCLIFFE N., *et al.* (2021) A literature survey of all volatiles from healthy human breath and bodily fluids: the human volatilome. *J. Breath Res.* doi.org/10.1088/1752-7163/abf1d0
- ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT (2021) Chiens de détection de la Covid-19: des partenariats internationaux. [<https://www.vet-alfort.fr/actualites-de-l-ecole/chiens-de-detection-de-la-covid-19-des-partenariats-internationaux>] (consulté le 01/01/2022).
- EHMANN R., BOEDEKER E., FRIEDRICH U., *et al.* (2012) Canine scent detection in the diagnosis of lung cancer: revisiting a puzzling phenomenon. *Eur. Respir. J.* 39(3), 669-676
- ELLIKER K.R., SOMMERVILLE B.A., BROOM D.M., *et al.* (2014) Key considerations for the experimental training and evaluation of cancer odour detection dogs: lessons learnt from a double-blind, controlled trial of prostate cancer detection. *BMC Urol.* 14, 22
- ESCALON (2020) Covid-19: les chiens renifleurs à la rescousse? *In CNRS Le journal.* [<https://lejournal.cnrs.fr/articles/covid-19-les-chiens-renifleurs-a-la-rescousse>] (consulté le 01/01/2022).
- ESKANDARI E., AHMADI MARZALEH M., ROUDGARI H., *et al.* (2021) Sniffer dogs as a screening/diagnostic tool for COVID-19: a proof of concept study. *BMC Infect. Dis.* 21(1), 243
- ESSLER J.L., KANE S.A., NOLAN P., *et al.* (2021) Discrimination of SARS-CoV-2 infected patient samples by detection dogs: A proof of concept study. *PloS One* 16(4), e0250158
- FACCO (2020) La population animale en France : les chiffres - FACCO, bien être animal. *In Facco.* [<https://www.facco.fr/population-animale/>] (consulté le 05/04/2022).
- FARRAIA M., CAVALEIRO RUFO J., PACIÊNCIA I., *et al.* (2020) Human volatilome analysis using eNose to assess uncontrolled asthma in a clinical setting. *Allergy* 75(7), 1630-1639
- FISCHER-TENHAGEN C., TENHAGEN B.-A., HEUWIESER W. (2013) Short communication: Ability of dogs to detect cows in estrus from sniffing saliva samples. *J. Dairy Sci.* 96(2), 1081-1084
- FLORIANO I., SILVINATO A., BERNARDO W.M., REIS J.C., SOLEDADE G. (2020) Accuracy of the Polymerase Chain Reaction (PCR) test in the diagnosis of acute respiratory syndrome due to coronavirus: a systematic review and meta-analysis. *Rev. Assoc. Médica Bras.* 66, 880-888
- FU X.-A., LI M., KNIPP R.J., NANTZ M.H., BOUSAMRA M. (2014) Noninvasive detection of lung cancer using exhaled breath. *Cancer Med.* 3(1), 174-181
- FURTON K.G., MYERS L.J. (2001) The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives. *Talanta* 54(3), 487-500
- GAHLEITNER F., GUALLAR-HOYAS C., BEARDSMORE C.S., PANDYA H.C., THOMAS C.P. (2013) Metabolomics pilot study to identify volatile organic compound markers of childhood asthma in exhaled breath. *Bioanalysis* 5(18), 2239-2247
- GALLAGHER M., WYSOCKI C.J., LEYDEN J.J., *et al.* (2008) Analyses of volatile organic compounds from human skin. *Br. J. Dermatol.* 159(4), 780-791
- GAO Q., SU X., ANNABI M.H., *et al.* (2019) Application of Urinary Volatile Organic Compounds (VOCs) for the Diagnosis of Prostate Cancer. *Clin. Genitourin. Cancer* 17(3), 183-190
- GAO A., WANG Yi, ZHANG D., *et al.* (2020) Highly Sensitive and Selective Detection of Human-Derived Volatile Organic Compounds Based on Odorant Binding Proteins Functionalized Silicon Nanowire Array. *Sens. Actuators B Chem.* 309, 127762
- GARNER C.E., SMITH S., DE LACY COSTELLO B., *et al.* (2007) Volatile organic compounds from feces and their potential for diagnosis of gastrointestinal disease. *FASEB J.* 21(8), 1675-1688
- GLUSMAN G., YANAI I., RUBIN I., LANCET D. (2001) The complete human olfactory subgenome. *Genome Res.* 11(5), 685-702
- GOTTWALD T., POOLE G., TAYLOR E., *et al.* (2020a) Canine Olfactory Detection of a Non-Systemic Phytobacterial Citrus Pathogen of International Quarantine Significance. *Entropy Basel Switz.* 22(11), E1269

- GOTTWALD T., POOLE G., MCCOLLUM T., *et al.* (2020b) Canine olfactory detection of a vectored phyto-bacterial pathogen, *Liberibacter asiaticus*, and integration with disease control. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 117(7), 3492-3501
- GOTTZEIN A.K., MUSSHOF F., MADEA B. (2010) Qualitative screening for volatile organic compounds in human blood using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *J. Mass Spectrom.* 45(4), 391-397
- GRABOWSKA-POLANOWSKA B., MIARKA P., SKOWRON M., *et al.* (2017) Development of sampling method and chromatographic analysis of volatile organic compounds emitted from human skin. *Bioanalysis* 9(19), 1465-1475
- GRANDJEAN D., SARKIS R., LECOQ-JULIEN C., *et al.* (2020) Can the detection dog alert on COVID-19 positive persons by sniffing axillary sweat samples? A proof-of-concept study. *PLoS One* 15(12), e0243122
- GRANDJEAN D., MARZOOQI D.H.A., LECOQ-JULIEN C., *et al.* (2021) Use Of Canine Olfactory Detection For COVID-19 Testing Study On U.A.E. Trained Detection Dog Sensitivity. *bioRxiv* doi.org/10.1101/2021.01.20.427105
- GRANDJEAN D., ELIE C., GALLET C., *et al.* (2022a) Diagnostic Accuracy of Non-Invasive Detection of Sars-Cov-2 Infection by Canine Olfaction. *medRxiv* doi.org/10.1101/2022.03.07.22271219
- GRANDJEAN D., GALLET C., JULIEN C., *et al.* (2022b) Identifying SARS-COV-2 infected patients through canine olfactory detection on axillary sweat samples; study of observed sensitivities and specificities within a group of trained dogs. *PLoS One* 17(2), e0262631
- GRANDJEAN D., SLAMA D., GALLET C., *et al.* (2022c) Screening for SARS-CoV-2 persistence in Long COVID patients using sniffer dogs and scents from axillary sweats samples. *medRxiv* doi.org/10.1101/2022.03.07.22271219
- GRASSIN-DELYLE S., ROQUENCOURT C., MOINE P., *et al.* (2021) Metabolomics of exhaled breath in critically ill COVID-19 patients: A pilot study. *EBioMedicine* 63, 103154
- GRATIAN P. (2020) Voici comment des chiens sont éduqués à détecter le Covid-19. *In Ouest-France.fr*. [<https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/2020-10-13/voici-comment-des-chiens-sont-eduques-a-detecter-le-covid-19-b14238aa-fd10-41bc-bf4e-563234ecf590>] (consulté le 06/04/2022).
- GUERRERO-FLORES H., APRESA-GARCÍA T., GARAY-VILLAR Ó., *et al.* (2017) A non-invasive tool for detecting cervical cancer odor by trained scent dogs. *BMC Cancer* 17(1), 79
- GUEST C., PINDER M., DOGGETT M., *et al.* (2019) Trained dogs identify people with malaria parasites by their odour. *Lancet Infect. Dis.* 19(6), 578-580
- GUEST C., DEWHIRST S.Y., LINDSAY S.W., *et al.* (2022) Using trained dogs and organic semi-conducting sensors to identify asymptomatic and mild SARS-CoV-2 infections: an observational study. *J. Travel Med.* doi.org/10.1093/jtm/taac043
- GUILHERME FERNANDES J., OLSSON I.A.S., VIEIRA DE CASTRO A.C. (2017) Do aversive-based training methods actually compromise dog welfare?: A literature review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 196, 1-12
- GUIRAO A., MOLINS L., RAMÓN I., *et al.* (2019) Trained dogs can identify malignant solitary pulmonary nodules in exhaled gas. *Lung Cancer* 135, 230-233
- HACKNER K., ERRHALT P., MUELLER M.R., *et al.* (2016) Canine scent detection for the diagnosis of lung cancer in a screening-like situation. *J. Breath Res.* 10(4), 046003
- HAG-ALI M., ALSHAMSI A.S., BOEIJEN L., *et al.* (2021) The detection dogs test is more sensitive than real-time PCR in screening for SARS-CoV-2. *Commun. Biol.* 4(1), 686
- HARPER R.J., ALMIRALL J.R., FURTON K.G. (2005) Identification of dominant odor chemicals emanating from explosives for use in developing optimal training aid combinations and mimics for canine detection. *Talanta* 67(2), 313-327
- HOFFMAN E.M., CURRAN A.M., DULGERIAN N., STOCKHAM R.A., ECKENRODE B.A. (2009) Characterization of the volatile organic compounds present in the headspace of decomposing human remains. *Forensic Sci. Int.* 186(1-3), 6-13
- HORVATH G., JÄRVERUD G.A.K., JÄRVERUD S., HORVÁTH I. (2008) Human ovarian carcinomas detected by specific odor. *Integr. Cancer Ther.* 7(2), 76-80
- HORVATH G., CHILO J., LINDBLAD T. (2010) Different volatile signals emitted by human ovarian carcinoma and healthy tissue. *Future Oncol.* 6(6), 1043-1049

- HORVATH G., ANDERSSON H., NEMES S. (2013) Cancer odor in the blood of ovarian cancer patients: a retrospective study of detection by dogs during treatment, 3 and 6 months afterward. *BMC Cancer* 13, 396
- INSEE (2019) Personnels et équipements de santé – Tableaux de l'économie française | Insee. [<https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277748?sommaire=4318291>] (consulté le 05/04/2022).
- INSEE (2022) Population par sexe et groupe d'âges | Insee. [<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2381474>] (consulté le 05/04/2022).
- INTERNATIONAL AIRPORT REVIEW (2021) Miami Airport is first U.S. airport to pilot COVID-19 detector dogs. *In International Airport Review*. [<https://www.internationalairportreview.com/news/163866/mia-partners-fiu-covid-19-k9-pilot-programme/>] (consulté le 02/04/2022).
- JEGERLEHNER S., SUTER-RINIKER F., JENT P., BITTEL P., NAGLER M. (2021) Diagnostic accuracy of a SARS-CoV-2 rapid antigen test in real-life clinical settings. *Int. J. Infect. Dis.* 109, 118-122
- JENDRNY P., SCHULZ C., TWELE F., *et al.* (2020) Scent dog identification of samples from COVID-19 patients - a pilot study. *BMC Infect. Dis.* 20(1), 536
- JENDRNY P., TWELE F., MELLER S., *et al.* (2021) Scent dog identification of SARS-CoV-2 infections in different body fluids. *BMC Infect. Dis.* 21(1), 707
- JEONG S., KIM D., KIM W.-J., KIM G. (2022) Detection of volatile organic compounds from human prostate cancer cell using canine olfaction. *J. Vet. Behav.* 49, 80-84
- JEZIERSKI T., ADAMKIEWICZ E., WALCZAK M., *et al.* (2014) Efficacy of drug detection by fully-trained police dogs varies by breed, training level, type of drug and search environment. *Forensic Sci. Int.* 237, 112-118
- JIN L., CORTAZZI M. (2009) Culture et valeurs dans les classes chinoises. *Rev. Int. Educ. Sèvres* doi.org/10.4000/ries.508
- JONES R.T., GUEST C., LINDSAY S.W., *et al.* (2020) Could bio-detection dogs be used to limit the spread of COVID-19 by travellers? *J. Travel Med.* 27(8), doi.org/10.1093/jtm/taaa131
- KAHN N., LAVIE O., PAZ M., SEGEV Y., HAICK H. (2015) Dynamic Nanoparticle-Based Flexible Sensors: Diagnosis of Ovarian Carcinoma from Exhaled Breath. *Nano Lett.* 15(10), 7023-7028
- KEYHANI K., SCHERER P.W., MOZELL M.M. (1997) A numerical model of nasal odorant transport for the analysis of human olfaction. *J. Theor. Biol.* 186(3), 279-301
- KHANDKER S.S., NIK HASHIM N.H.H., DERIS Z.Z., SHUEB R.H., ISLAM M.A. (2021) Diagnostic Accuracy of Rapid Antigen Test Kits for Detecting SARS-CoV-2: A Systematic Review and Meta-Analysis of 17,171 Suspected COVID-19 Patients. *J. Clin. Med.* 10(16), 3493
- KINDY D. (2021) Massachusetts Becomes First U.S. State to Enlist Covid-Sniffing Canines. *In Smithsonian Magazine*. [<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/massachusetts-becomes-first-us-state-enlist-covid-sniffing-canines-180978236/>] (consulté le 01/01/2022).
- KIRTON A., WINTER A., WIRRELL E., SNEAD O.C. (2008) Seizure response dogs: evaluation of a formal training program. *Epilepsy Behav.* 13(3), 499-504
- KITIYAKARA T., REDMOND S., UNWANATHAM N., *et al.* (2017) The detection of hepatocellular carcinoma (HCC) from patients' breath using canine scent detection: a proof-of-concept study. *J. Breath Res.* 11(4), 046002
- KOMAR D. (1999) The use of cadaver dogs in locating scattered, scavenged human remains: preliminary field test results. *J. Forensic Sci.* 44(2), 405-408
- KOSKINEN A., KOSKINEN H., BÄCK L., SAXEN H., KLOCKARS T. (2017) A detection dog for paediatric urinary tract infection caused by *Escherichia coli*. *Infect. Dis. Lond.* 49(11-12), 874-877
- KRANZ W., KITTS K., STRANGE N., *et al.* (2014) On the smell of Composition C-4. *Forensic Sci. Int.* 236, 157-163
- KRANZ W.D., STRANGE N.A., GOODPASTER J.V. (2014) « Fooling fido »--chemical and behavioral studies of pseudo-explosive canine training aids. *Anal. Bioanal. Chem.* 406(30), 7817-7825

- KUMAR S., HUANG J., ABBASSI-GHADI N., *et al.* (2015) Mass Spectrometric Analysis of Exhaled Breath for the Identification of Volatile Organic Compound Biomarkers in Esophageal and Gastric Adenocarcinoma. *Ann. Surg.* 262(6), 981-990
- KUSANO M., MENDEZ E., FURTON K.G. (2011) Development of headspace SPME method for analysis of volatile organic compounds present in human biological specimens. *Anal. Bioanal. Chem.* 400(7), 1817-1826
- KWAK J., GALLAGHER M., OZDENER M.H., *et al.* (2013) Volatile biomarkers from human melanoma cells. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life. Sci.* 931, 90-96
- LASSETER A.E., JACOBI K.P., FARLEY R., HENSEL L. (2003) Cadaver dog and handler team capabilities in the recovery of buried human remains in the southeastern United States. *J. Forensic Sci.* 48(3), 617-621
- LAUQUÉ M., ISLE T. (2020) La quotidienne Des chiens dressés pour détecter le Covid-19. *In France* 5. [<https://www.france.tv/france-5/la-quotidienne/la-quotidienne-saison-8/2050925-des-chiens-dresses-pour-detecter-le-covid-19.html>] (consulté le 06/04/2022).
- LEE J., SONG J.-U., SHIM S.R. (2021) Comparing the diagnostic accuracy of rapid antigen detection tests to real time polymerase chain reaction in the diagnosis of SARS-CoV-2 infection: A systematic review and meta-analysis. *J. Clin. Virol.* 144, 104985
- LI D., SHAO Y., ZHANG Q., *et al.* (2021) A flexible virtual sensor array based on laser-induced graphene and MXene for detecting volatile organic compounds in human breath. *The Analyst* 146(18), 5704-5713
- LI P.J. (2021) Animal Welfare in China: Culture, Politics and Crisis. Sydney University Press
- LINDSAY S.W. (2021) Using trained dogs and organic semi-conducting sensors to identify asymptomatic and mild SARS-CoV-2 infections. *J. Travel Med.* doi.org/10.1093/jtm/taac043
- LIPPI G., MATTIUZZI C., HENRY B.M. (2021) Are sniffer dogs a reliable approach for diagnosing SARS-CoV-2 infection? *Diagnosis* 8(4), 446-449
- MAA E., ARNOLD J., NINEDORF K., OLSEN H. (2021) Canine detection of volatile organic compounds unique to human epileptic seizure. *Epilepsy Behav.* 115, 107690
- MAIA R. de C.C., ALVES L.C., DA SILVA J.E.S., *et al.* (2021) Canine Olfactory Detection of SARS-COV2-Infected Patients: A One Health Approach. *Front. Public Health* 9, 647903
- MAIR M.D., HUSSAIN M., SIDDIQUI S., *et al.* (2021) A systematic review and meta-analysis comparing the diagnostic accuracy of initial RT-PCR and CT scan in suspected COVID-19 patients. *Br. J. Radiol.* 94(1119), 20201039
- MANEVICH D. (2018) People in less democratic countries are more likely to say China and Russia respect personal freedoms. *In Pew Research Center.* [<https://www.pewresearch.org/fact-tank/2018/03/12/people-in-less-democratic-countries-are-more-likely-to-say-china-and-russia-respect-personal-freedoms/>] (consulté le 06/04/2022).
- MANGLER M., FREITAG C., LANOWSKA M., *et al.* (2012) Volatile organic compounds (VOCs) in exhaled breath of patients with breast cancer in a clinical setting. *Ginekol. Pol.* 83(10), 730-736
- MAURER M., MCCULLOCH M., WILLEY A.M., HIRSCH W., DEWEY D. (2016) Detection of Bacteriuria by Canine Olfaction. *Open Forum Infect. Dis.* 3(2), doi.org/10.1093/ofid/ofw051
- MAZZATENTA A., POKORSKI M., SARTUCCI F., DOMENICI L., DI GIULIO C. (2015) Volatile organic compounds (VOCs) fingerprint of Alzheimer's disease. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 209, 81-84
- MCCULLOCH M., JEZIERSKI T., BROFFMAN M., *et al.* (2006) Diagnostic accuracy of canine scent detection in early- and late-stage lung and breast cancers. *Integr. Cancer Ther.* 5(1), 30-39
- MENDEL J., FRANK K., EDLIN L., *et al.* (2021) Preliminary accuracy of COVID-19 odor detection by canines and HS-SPME-GC-MS using exhaled breath samples. *Forensic Sci. Int. Synergy* 3, 100155
- MERCERON A., MERCIER E., MORIN S., MARMUSE A. (2021) 74% des Français considèrent que le recours aux animaux est nécessaire pour la recherche médicale. *In Ipsos.* [<https://www.ipsos.com/fr-fr/74-des-francais-considerent-que-le-recours-aux-animaux-est-necessaire-pour-la-recherche-medicale>] (consulté le 06/04/2022).

- MIGALA A.F., BROWN S.E. (2012) Use of human remains detection dogs for wide area search after wildfire: a new experience for Texas Task Force 1 Search and Rescue resources. *Wilderness Environ. Med.* 23(4), 337-342
- MOCHALSKI P., SPONRING A., KING J., *et al.* (2013) Release and uptake of volatile organic compounds by human hepatocellular carcinoma cells (HepG2) in vitro. *Cancer Cell Int.* 13(1), 72
- MOCHALSKI P., KING J., UNTERKOFLE K., HINTERHUBER H., AMANN A. (2014) Emission rates of selected volatile organic compounds from skin of healthy volunteers. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life. Sci.* 959, 62-70
- MOCHALSKI P., LEJA M., GASENKO E., *et al.* (2018) Ex vivo emission of volatile organic compounds from gastric cancer and non-cancerous tissue. *J. Breath Res.* 12(4), 046005
- NAAR I. (2020) Coronavirus: UAE uses K9 sniffer dogs to detect COVID-19 patients. *In Al Arabiya English.* [<https://english.alarabiya.net/coronavirus/2020/07/09/Coronavirus-UAE-uses-K9-sniffer-dogs-to-detect-COVID-19-patients>] (consulté le 01/01/2022).
- NEERINCX A.H., GEURTS B.P., VAN LOON J., *et al.* (2016) Detection of Staphylococcus aureus in cystic fibrosis patients using breath VOC profiles. *J. Breath Res.* 10(4), 046014
- O'CONNOR M.B., O'CONNOR C., WALSH C.H. (2008) A dog's detection of low blood sugar: a case report. *Ir. J. Med. Sci.* 177(2), 155-157
- OESTERHELWEG L., KRÖBER S., ROTTMANN K., *et al.* (2008) Cadaver dogs--a study on detection of contaminated carpet squares. *Forensic Sci. Int.* 174(1), 35-39
- ONG T.-H., MENDUM T., GEURTSSEN G., *et al.* (2017) Use of Mass Spectrometric Vapor Analysis To Improve Canine Explosive Detection Efficiency. *Anal. Chem.* 89(12), 6482-6490
- OPITZ P., HERBARTH O. (2018) The volatilome - investigation of volatile organic metabolites (VOM) as potential tumor markers in patients with head and neck squamous cell carcinoma (HNSCC). *J. Otolaryngol. - Head Neck Surg. J. Oto-Rhino-Laryngol. Chir. Cervico-Faciale* 47(1), 42
- PARK C.H., SCHROEDER V., KIM B.J., SWAGER T.M. (2018) Ionic Liquid-Carbon Nanotube Sensor Arrays for Human Breath Related Volatile Organic Compounds. *ACS Sens.* 3(11), 2432-2437
- PETRY N.M., WAGNER J.A., RASH C.J., HOOD K.K. (2015) Perceptions about professionally and non-professionally trained hypoglycemia detection dogs. *Diabetes Res. Clin. Pract.* 109(2), 389-396
- PEZAVANT M. (2021) Le flair des chiens pour détecter l'infection au SARS-CoV-2 chez l'Homme : une méthode au poil en Belgique ? Master en médecine vétérinaire, Université de Liège, Belgique
- PFIESTER M., KOEHLER P.G., PEREIRA R.M. (2008) Ability of bed bug-detecting canines to locate live bed bugs and viable bed bug eggs. *J. Econ. Entomol.* 101(4), 1389-1396
- PHILLIPS M. (1997) Method for the collection and assay of volatile organic compounds in breath. *Anal. Biochem.* 247(2), 272-278
- PHILLIPS M., HERRERA J., KRISHNAN S., *et al.* (1999) Variation in volatile organic compounds in the breath of normal humans. *J. Chromatogr. B. Biomed. Sci. App.* 729(1-2), 75-88
- PSILLAKIS E. (2017) Vacuum-assisted headspace solid-phase microextraction: A tutorial review. *Anal. Chim. Acta* 986, 12-24
- QUIGNON P., GIRAUD M., RIMBAULT M., *et al.* (2005) The dog and rat olfactory receptor repertoires. *Genome Biol.* 6(10), R83
- RAMAHI (2021) Led by the nose: Meet the UAE's COVID-19 sniffer dogs | Reuters. [<https://www.reuters.com/world/middle-east/led-by-nose-meet-uaes-covid-19-sniffer-dogs-2021-09-16/>] (consulté le 01/01/2022).
- REEVE C., CUMMINGS E., MCLAUGHLIN E., SMITH S., GADBOIS S. (2020) An Idiographic Investigation of Diabetic Alert Dogs' Ability to Learn From a Small Sample of Breath Samples From People With Type 1 Diabetes. *Can. J. Diabetes* 44(1), 37-43.e1
- REEVE C., KOIVUSALO M. (2018) Biomedical Scent Detection Dogs: Would They Pass as a Health Technology? *Pet Behav. Sci.* 6, 1-7
- RENDINE M., FIORE C., BERTOZZI G., *et al.* (2019) Decomposing Human Blood: Canine Detection Odor Signature and Volatile Organic Compounds. *J. Forensic Sci.* 64(2), 587-592

- REUTERS (2022a) Europe: Les derniers chiffres, graphiques et cartes sur l'évolution du coronavirus. *In Reuters*. [<https://graphics.reuters.com/world-coronavirus-tracker-and-maps/fr/regions/europe/>] (consulté le 05/04/2022).
- REUTERS (2022b) Afrique: Les derniers chiffres, graphiques et cartes sur l'évolution du coronavirus. *In Reuters*. [<https://graphics.reuters.com/world-coronavirus-tracker-and-maps/fr/regions/africa/>] (consulté le 05/04/2022).
- REUTERS (2022c) Inde: Les derniers chiffres, graphiques et cartes sur l'évolution du coronavirus. *In Reuters*. [<https://graphics.reuters.com/world-coronavirus-tracker-and-maps/fr/countries-and-territories/india/>] (consulté le 05/04/2022).
- REUTERS (2022d) Océanie: Les derniers chiffres, graphiques et cartes sur l'évolution du coronavirus. *In Reuters*. [<https://graphics.reuters.com/world-coronavirus-tracker-and-maps/fr/regions/oceania/>] (consulté le 05/04/2022).
- RICE S., KOZIEL J.A. (2015a) The relationship between chemical concentration and odor activity value explains the inconsistency in making a comprehensive surrogate scent training tool representative of illicit drugs. *Forensic Sci. Int.* 257, 257-270
- RICE S., KOZIEL J.A. (2015b) Characterizing the Smell of Marijuana by Odor Impact of Volatile Compounds: An Application of Simultaneous Chemical and Sensory Analysis. *PloS One* 10(12), e0144160
- RICE S., KOZIEL J.A. (2015c) Odor impact of volatiles emitted from marijuana, cocaine, heroin and their surrogate scents. *Data Brief* 5, 653-706
- RICHARDS K.M., COTTON S.J., SANDEMAN R.M. (2008) The use of detector dogs in the diagnosis of nematode infections in sheep feces. *J. Vet. Behav.* 3(1), 25-31
- RIEDER J., LIRK P., EBENBICHLER C., *et al.* (2001) Analysis of volatile organic compounds: possible applications in metabolic disorders and cancer screening. *Wien. Klin. Wochenschr.* 113(5-6), 181-185
- RIEDLOVA P., TAVANDZIS S., KANA J., *et al.* (2022) Olfactometric diagnosis of lung cancer by canine scent - A double-blinded study. *Complement. Ther. Med.* 64, 102800
- RIEZZO I., NERI M., RENDINE M., *et al.* (2014) Cadaver dogs: unscientific myth or reliable biological devices? *Forensic Sci. Int.* 244, 213-221
- ROBIN S., TACHER S., RIMBAULT M., *et al.* (2009) Genetic diversity of canine olfactory receptors. *BMC Genomics* 10, 21
- ROBROEKS C.M., VAN BERKEL J.J., JÖBSIS Q., *et al.* (2013) Exhaled volatile organic compounds predict exacerbations of childhood asthma in a 1-year prospective study. *Eur. Respir. J.* 42(1), 98-106
- RODRIGUES D., PINTO J., ARAÚJO A.M., *et al.* (2018) Volatile metabolomic signature of bladder cancer cell lines based on gas chromatography-mass spectrometry. *Metabolomics Off. J. Metabolomic Soc.* 14(5), 62
- RODRÍGUEZ-AGUILAR M., DÍAZ DE LEÓN-MARTÍNEZ L., ZAMORA-MENDOZA B.N., *et al.* (2021) Comparative analysis of chemical breath-prints through olfactory technology for the discrimination between SARS-CoV-2 infected patients and controls. *Clin. Chim. Acta Int. J. Clin. Chem.* 519, 126-132
- ROONEY N.J., GUEST C.M., SWANSON L.C.M., MORANT S.V. (2019) How effective are trained dogs at alerting their owners to changes in blood glycaemic levels?: Variations in performance of glycaemia alert dogs. *PloS One* 14(1), e0210092
- ROUSSET A. (2020) Coronavirus : la désinformation russe et chinoise inonde l'Europe. *In Les Echos*. [<https://www.lesechos.fr/tech-medias/medias/coronavirus-la-desinformation-russe-et-chinoise-inonde-leurope-1219524>] (consulté le 06/04/2022).
- RUDNICKA J., WALCZAK M., KOWALKOWSKI T., JEZIERSKI T., BUSZEWSKI B. (2014) Determination of volatile organic compounds as potential markers of lung cancer by gas chromatography-mass spectrometry versus trained dogs. *Sens. Actuators B Chem.* 202, 615-621
- SARKIS R., KHAZEN J., ISSA M., *et al.* (2017) Dépistage du cancer colorectal par détection olfactive canine. *J. Chir. Visc* 154(S1), 22-23



- SARKIS R., LICHAA A., MJAESS G., *et al.* (2021) New method of screening for COVID-19 disease using sniffer dogs and scents from axillary sweat samples. *J. Public Health Oxf.* 44(1), :e36-e41
- SCHIVO M., AKSENOV A.A., LINDERHOLM A.L., *et al.* (2014) Volatile emanations from in vitro airway cells infected with human rhinovirus. *J. Breath Res.* 8(3), 037110
- SCHLEGEL T. (2021) Covid-19 : quand les chiens détectent la maladie aussi bien que les tests PCR. *In France Culture.* [<https://www.franceculture.fr/emissions/le-reportage-de-la-redaction/covid-19-quand-les-chiens-detectent-la-maladie-aussi-bien-que-les-tests-pcr>] (consulté le 06/04/2022).
- SEO I.-S., LEE H.-G., KOO B., *et al.* (2018) Cross detection for odor of metabolic waste between breast and colorectal cancer using canine olfaction. *PLoS One* 13(2), e0192629
- SILVA C.L., PERESTRELO R., SILVA P., TOMÁS H., CÂMARA J.S. (2017) Volatile metabolomic signature of human breast cancer cell lines. *Sci. Rep.* 7, 43969
- SINCLAIR E., WALTON-DOYLE C., SARKAR D., *et al.* (2021) Validating Differential Volatilome Profiles in Parkinson's Disease. *ACS Cent. Sci.* 7(2), 300-306
- SNITZ K., ANDELMAN-GUR M., PINCHOVER L., *et al.* (2021) Proof of concept for real-time detection of SARS CoV-2 infection with an electronic nose. *PLoS One* 16(6), e0252121
- SOINI H.A., KLOUCKOVA I., WIESLER D., *et al.* (2010) Analysis of volatile organic compounds in human saliva by a static sorptive extraction method and gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chem. Ecol.* 36(9), 1035-1042
- SONG G., QIN T., LIU H., *et al.* (2010) Quantitative breath analysis of volatile organic compounds of lung cancer patients. *Lung Cancer* 67(2), 227-231
- SONODA H., KOHNOE S., YAMAZATO T., *et al.* (2011) Colorectal cancer screening with odour material by canine scent detection. *Gut* 60(6), 814-819
- SPONRING A., FILIPIAK W., MIKOVINY T., *et al.* (2009) Release of volatile organic compounds from the lung cancer cell line NCI-H2087 in vitro. *Anticancer Res.* 29(1), 419-426
- SRIVASTAVA R., JOHN J.J., REILLY C., JOHN A.M., RAO B.K. (2019) Sniffing out malignant melanoma: a case of canine olfactory detection. *Cutis* 104(3), E4-E6
- STATHEROPOULOS M., SPILIOPOULOU C., AGAPIOU A. (2005a) A study of volatile organic compounds evolved from the decaying human body. *Forensic Sci. Int.* 153(2-3), 147-155
- STATHEROPOULOS M., SIANOS E., AGAPIOU A., *et al.* (2005b) Preliminary investigation of using volatile organic compounds from human expired air, blood and urine for locating entrapped people in earthquakes. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life. Sci.* 822(1-2), 112-117
- STATISTA INFOGRAPHIES (2019) Infographie: Plus de la moitié de la planète est connectée sur la toile. *In Statista Infographies.* [<https://fr.statista.com/infographie/17328/utilisateurs-internet-dans-le-monde/>] (consulté le 05/04/2022).
- STOHR J.J.J.M., ZWART V.F., GODERSKI G., *et al.* (2021) Self-testing for the detection of SARS-CoV-2 infection with rapid antigen tests for people with suspected COVID-19 in the community. *Clin. Microbiol. Infect.* doi.org/10.1016/j.cmi.2021.07.039
- SUMA P., LA PERGOLA A., LONGO S., SOROKER V. (2013) The use of sniffing dogs for the detection of *Rhynchophorus ferrugineus*. *Phytoparasitica* 42(2), 269-274
- SYFT TECHNOLOGIES (s. d.) SIFT-MS The fastest real-time gas analysis technology. *In Syft Technologies.* [<https://www.syft.com>] (consulté le 01/01/2022).
- TAUNK K., TAWARE R., H. MORE T., *et al.* (2018) A non-invasive approach to explore the discriminatory potential of the urinary volatilome of invasive ductal carcinoma of the breast. *RSC Adv.* 8(44), 25040-25050
- TAVERNA G., TIDU L., GRIZZI F., *et al.* (2015) Olfactory system of highly trained dogs detects prostate cancer in urine samples. *J. Urol.* 193(4), 1382-1387
- TAYLOR M.T., MCCREADY J., BROUKHANSKI G., *et al.* (2018) Using Dog Scent Detection as a Point-of-Care Tool to Identify Toxigenic *Clostridium difficile* in Stool. *Open Forum Infect. Dis.* 5(8), ofy179
- TF1 INFO (2021) Ces chiens sont entraînés pour détecter le Covid-19. *In TF1 INFO.* [<https://www.tf1info.fr/sante/video-ces-chiens-sont-entraines-pour-detecter-le-covid-19-2178377.html>] (consulté le 06/04/2022).

- TIENPONT B., DAVID F., BICCHI C., SANDRA P. (2000) High Capacity Headspace Sorptive Extraction. *J. Microcolumn Sep.* 12, 577-584
- TIMES OF INDIA (2020) Dubai Airport becomes the first to deploy dogs to sniff and detect Coronavirus. *In The Times of India*. [<https://timesofindia.indiatimes.com/travel/travel-news/dubai-airport-becomes-the-first-to-deploy-dogs-to-sniff-and-detect-coronavirus/as77344992.cms>] (consulté le 01/01/2022).
- UELAND M., HARRIS S., FORBES S.L. (2021) Detecting volatile organic compounds to locate human remains in a simulated collapsed building. *Forensic Sci. Int.* 323, 110781
- ULANOWSKA A., KOWALKOWSKI T., HRYNKIEWICZ K., JACKOWSKI M., BUSZEWSKI B. (2011) Determination of volatile organic compounds in human breath for *Helicobacter pylori* detection by SPME-GC/MS. *Biomed. Chromatogr. BMC* 25(3), 391-397
- UNITED NATIONS WESTERN EUROPE (2020) Finland first in Europe to use dogs to detect Covid-19. *In United Nations Western Europe*. [<https://unric.org/en/finland-first-in-europe-to-use-dogs-to-detect-covid-19/>] (consulté le 01/01/2022).
- U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE (2021) Army Study Evaluates Use of Dogs in COVID-19 Detection. *In U.S. Department of Defense*. [<https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/2752729/army-study-evaluates-use-of-dogs-in-covid-19-detection/>] (consulté le 01/01/2022).
- VANCOUVER COASTAL HEALTH (2021) Vancouver Coastal Health's canine scent detection team now detecting COVID-19. [<http://www.vch.ca/about-us/news/news-releases/vancouver-coastal-health%E2%80%99s-canine-scent-detection-team-now-detecting-covid-19>] (consulté le 01/01/2022).
- VAN KEULEN K.E., JANSEN M.E., SCHRAUWEN R.W.M., KOLKMAN J.J., SIERSEMA P.D. (2020) Volatile organic compounds in breath can serve as a non-invasive diagnostic biomarker for the detection of advanced adenomas and colorectal cancer. *Aliment. Pharmacol. Ther.* 51(3), 334-346
- VESGA O., VALENCIA A.F., MIRA A., *et al.* (2020) Dog Savior: Immediate Scent-Detection of SARS-COV-2 by Trained Dogs. *bioRxiv* doi.org/10.1101/2020.06.17.158105
- VESGA O., AGUDELO M., VALENCIA-JARAMILLO A.F., *et al.* (2021) Highly sensitive scent-detection of COVID-19 patients in vivo by trained dogs. *Plos One* doi.org/10.1371/journal.pone.0257474
- VILLAREAL C.F., ROJAS J.U., OCHOA M.X. (2018) Operational impact of canine teams in the fight against drug trafficking in Colombia: review of their contribution, strategies and recent trends. *Rev. Sci. Tech.* 37(1), 189-200
- VLACHOVÁ I.L., HOTOVÝ G., ŠLECHTA I.J., *et al.* (2021) Olfactory detection of human odorant signatures in Covid patients by trained dogs. *medRxiv* doi.org/10.1101/2021.07.12.21258827
- WALLNER W.E., ELLIS T.L. (1976) Olfactory Detection of Gypsy Moth Pheromone and Egg Masses 1 by Domestic Canines 2. *Environ. Entomol.* 5(1), 183-186
- WANG Y., HU Y., WANG D., *et al.* (2012) The analysis of volatile organic compounds biomarkers for lung cancer in exhaled breath, tissues and cell lines. *Cancer Biomark. Sect. Dis. Markers* 11(4), 129-137
- WANG D., WANG C., PI X., *et al.* (2016) Urinary volatile organic compounds as potential biomarkers for renal cell carcinoma. *Biomed. Rep.* 5(1), 68-72
- WATERS J., O'CONNOR S., PARK K.J., GOULSON D. (2011) Testing a detection dog to locate bumblebee colonies and estimate nest density. *Apidologie* 42(2), 200-205
- WELLE DW D. (2020) Dogs can sniff out COVID-19 | DW. *In DW.COM*. [<https://www.dw.com/en/dogs-can-sniff-out-covid-19/a-53582252>] (consulté le 01/01/2022).
- WILLIS C.M., CHURCH S.M., GUEST C.M., *et al.* (2004) Olfactory detection of human bladder cancer by dogs: proof of principle study. *BMJ* 329(7468), 712
- WILLIS C.M., BRITTON L.E., HARRIS R., WALLACE J., GUEST C.M. (2010) Volatile organic compounds as biomarkers of bladder cancer: Sensitivity and specificity using trained sniffer dogs. *Cancer Biomark. Sect. Dis. Markers* 8(3), 145-153
- WINTJENS A.G.W.E., HINTZEN K.F.H., ENGELEN S.M.E., *et al.* (2021) Applying the electronic nose for pre-operative SARS-CoV-2 screening. *Surg. Endosc.* 35(12), 6671-6678

- WURTZ N., LACOSTE A., LA SCOLA B. (2022) Real-time detection of Covid-19 positive persons using sniffer dog. *Infect. Dis. Lond.* 54(5), 384-386
- YAMADA Y.-I., YAMADA G., OTSUKA M., *et al.* (2017) Volatile Organic Compounds in Exhaled Breath of Idiopathic Pulmonary Fibrosis for Discrimination from Healthy Subjects. *Lung* 195(2), 247-254
- YOEL U., GOPAS J., OZER J., PELEG R., SHVARTZMAN P. (2015) Canine Scent Detection of Volatile Elements, Characteristic of Malignant Cells, in Cell Cultures. *Isr. Med. Assoc. J.* 17(9), 567-570
- YUCEL M., AKIN O., CAYOREN M., *et al.* (2018) Hand-Held Volatilome Analyzer Based on Elastically Deformable Nanofibers. *Anal. Chem.* 90(8), 5122-5129
- ZHANG Z., PAWLISZYN J. (1993) Analysis of Organic Compounds in Environmental Samples by Headspace Solid Phase Microextraction. *J. High Resolut. Chromatogr.* 16, 689-692
-

# Annexe 1 : Présentation du questionnaire

---

## **Titre de l'enquête : Enquête Nosaïs Chiens de détection olfactive de la COVID-19**

*Cette enquête a pour objectif de recueillir vos avis quant à l'utilisation de chiens de détection olfactive dans la détection de la COVID-19. Elle est totalement ANONYME et nous vous remercions vivement pour votre participation.*

*Nosaïs est un programme de recherche visant à développer en France le chien de détection médicale, et depuis 15 mois notre équipe de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort travaille avec succès, en collaboration avec les sapeurs-pompiers des Yvelines et de l'Oise, sur la détection olfactive de la COVID-19. Plus de 50 autres pays travaillent avec nous, sous la houlette de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) pour que le chien apporte ses immenses capacités à l'édifice de la lutte contre cette pandémie.*

## **Section 1 : Identification des répondants**

- **Question 1** : Vous êtes
  - Un homme
  - Une femme
  - Je ne souhaite pas répondre
  
- **Question 2** : Vous avez
  - 20 ans ou moins
  - 21 à 40 ans
  - 41 à 65 ans
  - Plus de 65 ans
  
- **Question 3** : Avez-vous des animaux ?
  - Oui
  - Non
  
- **Question 4** : Travaillez-vous dans le milieu médical ?
  - Oui
  - Non
  
- **Question 5** : Travaillez-vous dans le milieu du chien de travail (cynotechnicien police / armée / pompiers / gendarmerie / douanes / administration pénitentiaire / privé / dressage / éducation canine) ?
  - Oui
  - Non

## Section 2 : Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle collective

- **Question 6** : Avez-vous déjà contracté la COVID-19 ?
  - Oui
  - Non
  - Probablement, mais sans test
  - Je ne sais pas
  
- **Question 7** : Êtes-vous au courant que le chien peut détecter la COVID-19 chez un humain en reniflant une compresse imbibée de sa sueur ?
  - Oui
  - Non
  
- **Question 8** : Êtes-vous d'accord pour que les chiens soient utilisés afin de dépister la COVID-19 ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)
  
- **Question 9** : Dans quelles situations souhaiteriez-vous voir déployer des chiens de détection olfactive de la COVID-19 ? (Plusieurs réponses possibles)
  - Aucune
  - Aéroport, gare, port
  - Ecoles, universités
  - Personnel médical, personnel sécurité civile (pompiers, etc.), police, armée
  - Maisons de retraite
  - Événements sportifs
  - Événements culturels et/ou festifs
  - Conférences
  - Lieu de travail
  - Hôtel
  - Domicile

## Section 3 : Acceptation du dépistage de la COVID-19 par les chiens à l'échelle individuelle

- **Question 10** : Accepteriez-vous de vous faire dépister par un chien pour la COVID-19 ?
  - Oui
  - Non
  
- **Question 11** : Si vous avez répondu « non », pourquoi ? (Plusieurs réponses possibles)
  - Précepte religieux
  - Peur des chiens
  - Ethique
  - Allergie aux chiens

- **Question 12** : Seriez-vous d'accord de vous faire dépister COVID-19, sur base d'un échantillon de sueur, par un chien ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)
  
- **Question 13** : Seriez-vous d'accord de vous faire dépister COVID-19 par un chien qui vous reniflerait ?
  - Oui
  - Non
  
- **Question 14** : Si « oui » à la question précédente
  - Mais sans qu'il me touche
  - S'il me touche cela ne me gêne pas
  
- **Question 15** : Seriez-vous d'accord pour donner un échantillon de votre sueur axillaire (sous les bras) pour entraîner les chiens détecteurs de la COVID-19 ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)

#### **Section 4 : Niveau de confiance envers les tests pour le dépistage de la COVID-19**

- **Question 16** : Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 canin ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré de confiance (1 = j'ai entièrement confiance, 5 = je n'ai pas du tout confiance)
  
- **Question 17** : Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 par PCR ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré de confiance (1 = j'ai entièrement confiance, 5 = je n'ai pas du tout confiance)
  
- **Question 18** : Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 par test antigénique ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré de confiance (1 = j'ai entièrement confiance, 5 = je n'ai pas du tout confiance)
  
- **Question 19** : Quel est votre niveau de confiance dans le résultat fourni par un test COVID-19 par autotest ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré de confiance (1 = j'ai entièrement confiance, 5 = je n'ai pas du tout confiance)

## Section 5 : Préférences en matière de test de dépistage de la COVID-19

- **Question 20** : Quel échantillon préféreriez-vous donner lors d'un test COVID-19 ? (Plusieurs réponses possibles)
  - Sueur des aisselles
  - Urine
  - Masque
  - T-shirt
  - Salive
  - Sueur du cou
  - Ecouvillon nasal
  - Chaussettes
  
- **Question 21** : À votre arrivée dans un aéroport ou port, quel test COVID-19 préféreriez-vous subir ?
  - Test sueur par un chien de détection
  - Test PCR avec écouvillon nasal
  - Test de reniflement direct de ma personne par un chien
  - Un autre test rapide

## Section 6 : Place du chien dans la détection des maladies humaines

- **Question 22** : Comment évaluez-vous le plaisir que peut avoir un chien de détection de la COVID-19 dans le travail qui lui est demandé ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer le degré de plaisir supposé (1 = Très important, 5 = Nul)
  
- **Question 23** : Seriez-vous intéressé à impliquer bénévolement votre chien dans la détection de la COVID-19 ?
  - Oui
  - Non
  
- **Question 24** : Pensez-vous que de manière plus générale (cancers, maladies dégénératives), le chien peut avoir sa place dans les dispositifs de dépistage précoce ?
  - Choix d'un nombre compris entre 1 et 5 pour exprimer son degré d'accord (1 = tout à fait d'accord, 5 = vraiment pas d'accord)

## Section 7 : Commentaires libres

- **Question 25** : Commentaires éventuels sur votre ressenti par rapport à l'utilisation des chiens en dépistage olfactif de masse de la COVID-19 ?

# CHIENS DE DÉTECTION OLFACTIVE DE LA COVID-19 : ÉLABORATION ET TRAITEMENT D'UNE ENQUÊTE PRÉ-DÉPLOIEMENT AUPRÈS DU GRAND PUBLIC

---

**AUTEUR :** Florine HACHE

## **RÉSUMÉ :**

Le dépistage de la COVID-19 est plus que jamais un sujet d'actualité quand, chaque jour, des centaines de milliers de nouveaux cas sont détectés à travers le monde. Les tests de dépistage du SARS-CoV-2 sont indispensables et pourtant encore imparfaits.

Ce manuscrit s'articule en deux parties. Premièrement, une partie bibliographique, qui fait le point sur les connaissances actuelles autour de la détection olfactive canine au service de l'Homme et plus particulièrement autour de la détection olfactive canine du SARS-CoV-2. Les résultats observés sont très prometteurs puisque la détection olfactive canine aurait une fiabilité proche de celle du test par RT-PCR. Deuxièmement une partie expérimentale, basée sur une enquête à destination du grand public à travers le Globe.

Aucune enquête visant à évaluer le positionnement du grand public à travers le monde vis-à-vis de la détection olfactive canine de la COVID-19 n'avait encore été entreprise. Un questionnaire a été élaboré par l'équipe française Nosaïs, par la suite traduit en six autres langues et diffusé à travers les continents avec l'aide notable de l'OMS. Même si le manque de représentativité des échantillons n'a pas permis d'avoir recours à l'inférence, quelques grandes tendances ont pu être extraites des résultats des questionnaires. La grande majorité des répondants à travers le monde présente un grand engouement et une totale acceptation de la détection olfactive canine de la COVID-19. Les répondants chinois se placent cependant à l'opposé de ces observations en s'opposant à la mise en place de cette méthode de dépistage. Les répondants russes sont plus mitigés, puisqu'ils ne montrent pas un grand intérêt pour cette méthode, mais ne s'opposent pas pour autant à son utilisation. Les commentaires laissés par les répondants à la fin des questionnaires ont permis de cibler leurs inquiétudes, qui sont majoritairement d'ordre éthique et scientifique.

Les résultats de cette étude pourraient inciter les gouvernements de nombre de pays à autoriser la mise en œuvre de la détection olfactive canine pour le dépistage de la COVID-19 ou d'autres maladies dans le cas de futures pandémies. Les résultats pourraient en outre servir de base pour de futures études sur le positionnement du grand public vis-à-vis de la détection olfactive canine.

**MOTS CLÉS :** ENQUÊTE, GRAND PUBLIC, QUESTIONNAIRE, DÉTECTION OLFACTIVE CANINE, CHIENS DE TRAVAIL, DÉPISTAGE, COVID-19, SARS-COV-2, INNOVATION

## **JURY :**

Présidente : Pr Sophie Le Poder

Directeur de thèse : Pr Dominique Grandjean

Examineur : Pr Loïc Desquilbet



# COVID-19 SCENT DETECTION DOGS: DEVELOPMENT AND TREATMENT OF A PRE-DEPLOYMENT SURVEY AMONG THE GENERAL PUBLIC

---

**AUTHOR:** Florine HACHE

## **SUMMARY:**

COVID-19 screening is more of a hot topic than ever when, every day, hundreds of thousands of new cases are detected around the world. Testing for SARS-CoV-2 is essential and yet still imperfect.

This manuscript is divided into two parts. First, a bibliographic section, which takes stock of current knowledge around canine olfactory detection at the service of Humans and particularly around the canine olfactory detection of SARS-CoV-2. The results observed are very promising since the canine olfactory detection would have reliability close to that of the RT-PCR test. Secondly, an experimental part, based on a survey aimed at the general public across the Globe.

No survey to assess the positioning of the general public around the world about the canine olfactory detection of COVID-19 had yet been undertaken. A questionnaire was developed by the French team Nosaïs, which was subsequently translated into six other languages and disseminated across continents with the notable help of WHO. Although the lack of representativeness of the samples did not allow the use of inference, some major trends could be extracted from the results of the questionnaires. The vast majority of respondents around the world show great enthusiasm and total acceptance of canine olfactory detection of COVID-19. However, Chinese respondents are the opposite of these observations by opposing the implementation of this screening method. Russian respondents are more mixed, since they do not show much interest in this method, but do not oppose its use. The comments left by respondents at the end of the questionnaires helped to target their concerns, which are mostly ethical and scientific.

The results of this study could prompt governments in many countries to allow the implementation of canine olfactory detection for testing for COVID-19 or other diseases in the event of future pandemics. The results could also serve as a basis for future studies on the positioning of the general public vis-à-vis canine olfactory detection.

**KEYWORDS:** SURVEY, GENERAL PUBLIC, QUESTIONNAIRE, CANINE OLFATORY DETECTION, WORKING DOGS, SCREENING, COVID-19, SARS-COV-2, INNOVATION

## **JURY:**

Chairperson: Pr Sophie Le Poder

Thesis Director: Pr Dominique Grandjean

Reviewer: Pr Loïc Desquilbet