



HAL
open science

Evolution des émissions expiratoires bucco-nasales

Louise Cottier, Salsabil Dannane, Christophe Dumouchel, Marie-Charlotte Renoult

► **To cite this version:**

Louise Cottier, Salsabil Dannane, Christophe Dumouchel, Marie-Charlotte Renoult. Evolution des émissions expiratoires bucco-nasales. Congrès Français sur les Aérosols, Jan 2021, Virtuel, France. hal-03121043

HAL Id: hal-03121043

<https://hal.science/hal-03121043>

Submitted on 26 Jan 2021

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.

EVOLUTION DES EMISSIONS EXPIRATOIRES BUCCO-NASALES

L. Cottier, S. Dannane, C. Dumouchel et M.C Renoult *

Normandie Univ, UNIROUEN, CNRS, CORIA, 76800 Rouen France

*Courriel de l'orateur : renoulm@coria.fr

RESUME

Une étude bibliographique a été réalisée sur les émissions expiratoires bucco-nasales. Cette étude présente les différents paramètres physiques à prendre en compte ainsi que leurs influences sur l'évolution de ces émissions expiratoires. Les mécanismes de transport et d'atomisation sont décrits à partir de travaux expérimentaux et numériques rapportés dans la littérature. Ces mécanismes font apparaître deux catégories d'objets : de très fines particules appelées aérosols et de plus grosses gouttes dont la taille varie entre quelques dizaines et quelques centaines de microns. Ces objets sont en quantité variable et se propagent différemment selon certains paramètres portant sur le mode d'expiration considéré, le sujet expirant et l'environnement.

MOTS-CLÉS : gouttes, aérosols, salive, Covid-19

ABSTRACT

A bibliographic review on human muco-salivary ejecta is presented. This review presents the various physical parameters that must be accounted for as well as their influence on the evolution of these ejecta. The atomization and transport mechanisms are described from experimental and numerical investigations of the literature. These mechanisms reveal two object categories: very small particles named aerosols, and coarser droplets whose size varies from a few tens and a few hundreds of micrometers. These objects are of various amount and propagate differently according to parameters related to the expiration mode, the volunteer and the environment.

KEYWORDS: droplets, aerosols, saliva, Covid-19

1. INTRODUCTION

La situation créée par la pandémie de Covid-19 a suscité un besoin de mieux comprendre la propagation des émissions expiratoires bucco-nasales pour prévenir de manière plus efficace les risques de transmission des agents pathogènes par voie aérienne. Par le passé, les mesures préventives reposaient essentiellement sur le modèle historique de Wells (1934). Celui-ci est basé sur une classification dichotomique des gouttes émises lors d'événements expiratoires et l'hypothèse de gouttes isolées aux trajectoires quasi indépendantes évoluant dans l'air, considéré inerte. Récemment, un modèle plus réaliste a été proposé par Bourouiba (2020), qui consiste à représenter les émissions expiratoires par un nuage humide chaud turbulent dans lequel est pris au piège une phase liquide et une phase gazeuse issues des voies bucco-nasales et respiratoires. Il est à noter que certaines gouttes, non visibles à l'œil nu, peuvent être considérées comme de très fines particules (de taille inférieure au micron) qui suivent le mouvement de la phase gazeuse. Ces particules résiduelles sont désignées par le terme d'aérosols. Suivant les modes d'expiration, les mécanismes physiques qui entrent en jeu après l'expiration ne sont pas les mêmes. Les caractéristiques finales telles que la distribution de taille des gouttes, leur quantité, leur distance de propagation ainsi que leur durée de vie sont de ce fait différentes. Ces caractéristiques dépendent aussi des conditions thermodynamiques et de vitesse du milieu environnant.

2. EMISSIONS EXPIRATOIRES

2.1. Modes d'expiration

Il est possible de distinguer les modes d'expiration selon les conditions de leur occurrence. Dans des conditions standards, on retrouve la respiration et la parole. Dans des conditions plus extrêmes, notamment liées à des mécanismes de protection ou de réflexe, on retrouve la toux et l'éternuement. Ces deux derniers seraient les principaux vecteurs de transmission des agents pathogènes par voie aérienne. Cependant, la simple respiration et la prise de parole peuvent également jouer un rôle non négligeable. Comme il a été montré récemment par Asadi *et al* (2019), certains individus peuvent émettre plus de particules que d'autres lorsqu'ils parlent. Cette observation de « super-émission » pourrait expliquer le phénomène de « super-

propagation », c'est-à-dire la propagation par ces sujets infectés vers un nombre particulièrement élevé d'individus.

2.2. Composition

Les émissions expiratoires comprennent une phase liquide et une phase gazeuse. La phase liquide est un mélange de salive et de mucus. La fraction relative de ces deux constituants dépend d'où ces liquides proviennent dans l'organisme. Comme rapporté dans Scharfman *et al* (2016), ces fluides sont constitués d'eau à environ 97%, de sels, d'acides gras et de protéines. Ces derniers agents, de par leur nature macromoléculaire, confèrent à la phase liquide des propriétés viscoélastiques.

2.3. Conditions d'éjections

Les différents modes d'expirations cités auparavant peuvent être caractérisés par les paramètres d'éjection suivants : les quantités de gaz et de liquide éjectées, la vitesse/le débit d'éjection du système multiphasique, les caractéristiques morphologiques de la phase liquide indiquant son niveau d'atomisation, et la composition de la phase liquide. La température des émissions expiratoires bucco-nasales n'est pas rapportée dans les études expérimentales consultées. Celle-ci est prise égale à la température de la bouche du sujet dans les études numériques (32°C dans Zhu *et al* (2006) et 34°C dans Dbouk et Drikakis (2020)).

Lors d'une toux et d'un éternuement, le débit d'éjection est bien plus important. Au vu des résultats expérimentaux obtenus par Zhu *et al* (2006) sur la toux et par Scharfman *et al* (2016) sur l'éternuement, le nombre de Reynolds caractéristique de ces types d'expiration est supérieur à 10^4 , indiquant un régime turbulent.

Alors que dans le cas de la respiration normale et de la prise de parole, l'atomisation de la phase liquide a essentiellement déjà eu lieu à la sortie de la bouche, ce n'est pas tout à fait le cas lors de la toux, et encore moins lors de l'éternuement.

Les autres paramètres d'éjection, tels que la quantité de fluide éjectée ou la composition de la phase liquide semblent varier d'un individu à l'autre au travers de ses caractéristiques physiologiques (sexe, âge, indice corporel, capacité pulmonaire, état de santé général, etc) comme l'indiquent les travaux de Zussman *et al* (2007). Dans les conditions extrêmes amenant à l'éternuement ou la toux, il semblerait que ces paramètres dépendent également de la répétabilité de l'événement. En ce qui concerne la parole, les travaux d'Asadi *et al* (2019) montrent que le taux d'émission de particules augmente avec le niveau d'intensité sonore de la voix, indépendamment de la langue parlée (anglais, espagnol, chinois ou arabe).

3. MECANISMES DE TRANSPORT ET D'ATOMISATION

3.1. Eternuement

La visualisation du processus d'éternuement par imagerie rapide par Scharfman *et al* (2016) met en évidence différentes étapes de fragmentation de la phase liquide, dont la morphologie s'apparente à celle d'une nappe perturbée à la sortie de la bouche, puis à des réseaux de ligaments, et enfin à des gouttes. La nature viscoélastique de la phase liquide retarde de façon considérable ces étapes de fragmentation successives, augmentant ainsi la distance de propagation de celle-ci. Ce retard est observé en particulier lors de l'atomisation secondaire, au travers de la formation de structures dites de « perles sur ficelles ». Cette configuration favorise par ailleurs le phénomène de coalescence, et influe ainsi sur la distribution finale de taille de gouttes.

3.2. Toux

Comme évoqué précédemment, la toux conduit à une phase liquide sous une forme déjà atomisée à la sortie de la bouche, i.e. essentiellement sous la forme de gouttes, contrairement à l'éternuement. Les caractéristiques du transport des gouttes émises lors d'une toux par un sujet ont été étudiées par Zhu *et al* (2006). Dans leurs travaux, les auteurs ont réalisé une expérience consistant à utiliser la farine comme traceur de la toux afin de visualiser la dispersion des émissions expiratoires pendant cet événement. À l'aide d'une caméra, le mouvement de la farine, placée initialement dans la bouche, est filmé pendant une toux. Il a été observé que la farine se déplace rapidement à proximité de la bouche, puis s'éloigne de manière plus lente tout en se dispersant. Ces observations coïncident avec les résultats numériques obtenus par Dbouk et

Drikakis (2020) qui mettent en évidence l'élongation, la dispersion, et la rotation du nuage d'émissions créé lors de la toux. Les auteurs relient la cinématique de ce nuage à son niveau de turbulence, à l'évaporation d'une partie de la phase liquide, ainsi qu'au cisaillement et à la gravité auxquels il est sujet.

4. CARACTÉRISTIQUES FINALES

4.1. Distribution de taille des gouttes

Comme énoncé dans Xie *et al* (2009), la distribution de taille des gouttes issues des émissions expiratoires bucco-nasales influence le type de micro-organismes pouvant être véhiculés ainsi que leur capacité à être aéroportés. Le travail expérimental de ces auteurs combine deux techniques expérimentales permettant la mesure des grosses gouttes par impaction et des petites par prélèvement. Les aérosols considérés sont produits par la parole ou par la toux, par sept sujets sains (3 hommes, 4 femmes). Outre la taille des gouttes, le travail expérimental estime le nombre et la masse totale des aérosols salivaires. Les distributions de taille moyennes des gouttes produites par la parole ou la toux montrent des caractéristiques très voisines avec un intervalle de taille compris entre quelques dizaines et quelques centaines de micron.

Toutefois, on note une vive disparité des résultats en fonction des sujets en ce qui concerne à la fois le nombre des gouttes émises, leur taille et donc le poids qu'elles représentent. Cette grande variabilité est également rapportée par les expériences d'Asadi *et al* (2019) qui se concentrent sur la mesure de taille des petites gouttes uniquement avec un APS (Aerodynamic Particle Sizer). Les nombreuses contradictions entre les résultats de la littérature peuvent également s'expliquer par la multiplicité des méthodes de mesure. Xie *et al* (2009) soulignent la nécessité d'utiliser une méthode de mesure couvrant l'intégralité de la plage de taille de gouttes émises, et par ailleurs de connaître la distribution de taille des gouttes au sortir de la bouche et appliquent à cet égard un modèle estimant le volume de liquide perdu par évaporation entre l'émission buccale et la position de la mesure.

4.2. Distance de propagation et durée de vie des gouttes et des aérosols

Comme exposé par Bourouiba (2020), la création d'un nuage multiphasique turbulent lors de l'expiration d'un sujet permet aux émissions de s'étendre sur plusieurs mètres. Les gouttes évoluant dans ce nuage ne sont pas immédiatement exposées au milieu ambiant, dont l'humidité et la température sont généralement moindres. L'éventuelle évaporation de ces gouttes est alors retardée, et leur distance de propagation augmentée.

Dans le travail expérimental de Zhu *et al* (2006), la farine utilisée comme traceur de la toux s'est propagée à plus de 2 m du sujet. Les auteurs supposent alors que les particules plus petites que celle de la farine pourraient se propager sur une distance plus importante encore. Dans des conditions d'expiration plus extrêmes comme celles de l'éternuement, la distance de propagation des émissions peut atteindre 7 m selon les visualisations réalisées par Bourouiba (2020).

Enfin, selon Bourouiba (2020), le fait que des particules du virus SARS-Cov-2 aient pu être repérées dans des systèmes de ventilation d'infrastructures hospitalières révèle une importante durée de vie des aérosols, estimée à des heures.

5. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT

Dbouk et Drikakis (2020) ont effectué des simulations numériques de toux d'un sujet en utilisant un modèle tridimensionnel prenant en compte notamment la vitesse du milieu environnant, l'humidité, et la température. La considération d'un vent unidirectionnel dirigé dans le sens de la toux accélère le processus d'évaporation de la phase liquide, augmente les vitesses de propagation des gouttes ainsi que leurs interactions, et influe également sur la cinématique du nuage d'émissions expiratoires. Parmi les conséquences, on note une réduction globale du diamètre des gouttes et une propagation plus lointaine du nuage d'émissions avec l'augmentation d'intensité d'un tel vent.

Zhu *et al* (2006) ont étudié l'influence d'un flux d'air issu d'un climatiseur sur les caractéristiques de transport d'une toux dans une salle contenant deux sujets, l'un toussant de manière consécutive, l'autre inhalant de manière continue, ainsi qu'un climatiseur, à l'aide d'un modèle de simulation numérique directe. Les résultats ont montré que la position du climatiseur influe de manière significative sur l'orientation du nuage d'émissions et sur la dispersion des gouttes suivant leur taille.

6. MESURES DE PREVENTION DE PROPAGATION DU VIRUS PAR VOIES AERIENNES

Compte tenu de la taille du virus SARS-Cov-2 estimée entre 50 et 200 nm Chen *et al* (2020) et des distributions de tailles de gouttes finales mesurées expérimentalement, des agents pathogènes du virus pourraient potentiellement être contenus dans la grande majorité des objets émis par un sujet atteint du virus, quel que soit le mode d'expiration.

Comme le suppose le travail de Zhu *et al* (2006), le masque agit comme un filtre au travers duquel ne passe quasiment que les aérosols. Une de leurs expériences, basée sur l'utilisation d'un masque et sur la pesée de celui-ci à l'aide d'une balance de précision, permet de mesurer la quantité de fluide éjectée en moyenne lors d'une toux. D'après les résultats de cette expérience, le port du masque permettrait alors de ne laisser passer qu'environ 3% de la quantité de liquide émise lors de la toux, ce qui limiterait alors de façon considérable les risques de transmission du virus.

Pour Bourouiba (2020), le masque joue également le rôle d'une barrière physique qui limite la propagation du nuage d'émission en réduisant sa quantité de mouvement à la sortie de la bouche.

Au regard des résultats discutés précédemment, les mesures préventives de distanciation qui imposent au minimum 1 m de séparation entre les individus ne sont pas suffisantes.

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude des émissions bucco-nasales nécessite la compréhension de multiples mécanismes de transport et d'atomisation, ayant un rôle plus ou moins important selon le mode expiratoire considéré. La phase liquide contenue dans ces émissions est composée de salive et de mucus lui conférant des propriétés viscoélastiques dont la prise en considération est nécessaire. La détermination de la distribution de taille de gouttes générées par ces expirations suscite un intérêt majeur pour la prévention de transmission de pathogènes par voies aériennes. Les mesures expérimentales rapportées dans la littérature révèlent la présence dans ces émissions de très fines particules appelées aérosols et de plus grosses gouttes dont la taille varie entre quelques dizaines et quelques centaines de microns. Les quantités émises et leurs tailles dépendent du mode d'expiration, mais aussi des sujets produisant ces émissions. Par ailleurs, une grande disparité est visible dans ces résultats, semblant indiquer des lacunes provenant des méthodes de mesures expérimentales et des moyens statistiques. Les caractéristiques du milieu ambiant ont également une influence sur la propagation des émissions et l'évaporation de la phase liquide. Dans le contexte de pandémie liée au virus SARS-Cov-2, les travaux de recherche expérimentaux et numériques jouent un rôle essentiel dans la détermination de mesures de protection efficaces pour limiter la propagation de la maladie.

Asadi, S., Wexler, A.S., Cappa, C.D., Barreda, S., Bouvier, N.M., and Ristenpart, W.D. (2019) Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness, *Sci. Rep.* 9, 2348.

Bourouiba, L. (2020) Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions, *JAMA Insights* 323, 1837-1838.

Chen, N., Zhou, M., Dong, X., Qu, J., Gong, F., Han, Y., Qiu, Y., Wang, J., Liu, Y., Wei, Y., Xia, J., Yu, T., Zhang, X. and Zhang, L. (2020) Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study, *The Lancet*, 395, 507-513.

Dbouk, T. and Drikakis, D. (2020) On coughing and airborne droplet transmission to humans, *Phys. Fluids* 32, 053310.

Wells, W. F. (1934) On air-borne Infection: Study II. Droplets and droplet nuclei. *Am. J. Epidemiol.* 20, 611-618.

Scharfman, B.E., Techet, A.H., Bush, J.W.M. and Bourouiba, L. (2016) Visualization of sneeze ejecta: Steps of fluid fragmentation leading to respiratory droplets, *Exp Fluids* 57, 24.

Xie, X., Li, Y., Sun, H., and Liu, L. (2009) Exhaled droplets due to talking and coughing, *J. R. Soc. Interface* 6, 703–714.

Zhu, S., Kato, S. and Yang, J.-H. (2006) Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment, *Build. Environ.* 41, 1691–1702.

Zussman, E., Yarin, A.L. and Nagler, R.M. (2007) Age- and Flow-dependency of Salivary Viscoelasticity, *J. Dent. Res.* 86, 281-285.