

**PROJET
UNDER THE
DOME**

SOMMAIRE

INTRODUCTION

p.3

1. Généralités concernant le CO2

p.4

2. CO2 et santé

p.5

3. Normes de CO2

p.6

4. Etude « Under the dome »

p.8

5. Résultats de l'étude

p.13

6. Limites de l'étude

7. Discussion

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

La participation humaine au réchauffement climatique, se traduit par une élévation de la production de dioxyde de carbone (CO₂), qui est le principal gaz à effet de serre, et constitue avec l'accroissement de la population mondiale une préoccupation majeure ayant conduit à un projet mondial de réduction de 75% des émissions de CO₂ à l'horizon 2050.

Ces objectifs ambitieux sont planifiés par les CO_Nférences des Parties (COP) en lien le Groupe Intergouvernemental d'experts sur les Changements climatiques (GIEC) et la think tank « The Shift project » (1).

Les effets du CO₂ sur la santé ont conduit à l'élaboration de normes en entreprise (NF EN 13779), devant conduire à certaines mesures : détection du CO₂, aération des pièces (2)...

Dans le contexte de pandémie de SARS Cov-2, une étude (3) a montré une relation entre taux de CO₂ et risque de contamination Covid par aérosols, et il a alors été proposé un algorithme pour évaluer le risque.

Des valeurs de CO₂ cible ont été proposées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), un groupe d'enseignants-chercheurs (projet CO₂) ainsi que le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) et commencent à être intégrées au protocole sanitaire (4, 5, 6, 7).

Concernant l'influence potentielle du port prolongé de masque sur le taux de CO₂ ambiant, seule étude expérimentale menée par Otmar Geiss sur lui-même (8), a montré des variations significatives du taux de CO₂ dans le masque, à des niveaux non létaux, mais potentiellement symptomatiques.

Le projet « Under the dome » a pour but de rechercher si le port du masque a une influence significative sur le taux de CO₂ ambiant (inspiré) et sur les paramètres mesurés à l'oxymètre.

Les résultats confirment que le masque se comporte comme un « piège à CO₂ », d'autant plus qu'il est étanche, et porté longtemps, ou si la personne a fait un effort physique (notamment parler+++).

Il nous semble donc important d'intégrer ces résultats dans une démarche bénéfice/risque, pour adapter le protocole sanitaire en conséquence.

1. Généralités concernant le CO2

L'air inspiré (air ambiant), soit 6-10litres/min au repos est composé :

-d'azote (N2): 78, 5%

-d'oxygène (O2): 21%

-de vapeur d'eau (H2O): 0,5% environ

-de dioxyde de carbone : 0,04%= 415 particules par million (ppm)

-de gaz rares (argon, néon, hélium...), microparticules, polluants...

L'air expiré (6-10litres/min au repos) est composé :

-d'azote : 78,5%

-d'oxygène : 16%

-de dioxyde de carbone : 4% (3-7%), soit 40000ppm environ

-de vapeur d'eau : 1% environ

Le CO2 et l'eau sont produits par la respiration (mécanisme aérobie), avec l'oxydation de substrats permettant la libération d'énergie, qui sera nécessaire à la phosphorylation (P) de l'Adénosine diphosphate (ADP) en Adénosine triphosphate (ATP) :

Substrats + O2 → CO2 + H2O + énergie

ADP + P + énergie → ATP

Par ailleurs, on produit à l'effort de l'acide (H+), qui est tamponné par des bicarbonates (HCO3-), et, se transforme en CO2 et en H2O grâce à l'anhydrase carbonique (tampon métabolique) :

HCO3- + H+ → CO2 + H2O

Plus l'effort augmente, et plus l'expiration de CO2 (VCO2) est importante, nécessitant une augmentation du volume expiré (VE), jusqu'à épuisement (100-150 litres/min, parfois 250 litres/min chez l'athlète). (9)

Le CO2 est transporté sous forme dissoute dans le plasma (7%), ou sous forme de carboxyhémoglobine (23%) après conversion en HCO3- (70%). Le CO2 est rejeté dans l'air, et l'eau sous forme de vapeur d'eau et sueur.

Le CO2 et l'eau, indispensables à la vie, permettent alors la photosynthèse :

6CO2 + 6H2O → C6H12O6 (glucose) + 6O2 (qui est alors inspiré...)

2. CO2 et santé

Le CO2, plus lourd que l'O2 (masse molaire : 44 vs 32 pour l'O2) entre en compétition (et gagne) avec l'O2 au niveau de l'hémoglobine (Hb), ce qui peut entraîner à partir d'un certain niveau une baisse du taux d'oxygène (PO2) appelée hypoxie, puis plus tardivement une hypoxémie (baisse de la PaO2) et une hypercapnie (augmentation de la PaCO2).

Lors d'un effort, la production de CO2 s'accompagne de production d'eau (tampon bicarbonate), ce qui entraîne une sudation et la production de vapeur d'eau. La déshydratation occasionnée par les pertes hydriques diminue le remplissage cardiaque (précharge), ce qui diminue le travail du cœur et donc le volume d'éjection systolique (VES). Pour maintenir le débit cardiaque (Q), il faut que la fréquence cardiaque (FC) s'accélère :

$$Q = FC \times VES$$

La fréquence cardiaque augmente par plusieurs mécanismes :

- déshydratation
- augmentation du taux de CO2 (avec ou sans hypercapnie)
- hypoxie (avec ou sans hypoxémie)
- stress (claustrophobie, gêne respiratoire)
- modification du pH : acidose métabolique ou alcalose respiratoire

Plusieurs symptômes peuvent être déclenchés par l'augmentation du taux de CO2 ambiant (10, 11) :

-1000ppm : bâillements, fatigue, diminution des performances démontrée par expériences de Berkeley en 2012 (12), puis de Harvard en 2015 (13)

L'expérience de Berkeley consistait d'étudier les prises de décisions de 6 groupes de 4 personnes, dans 3 salles (2h30 par salle, puis pause d'1h) avec des taux de CO2 différents : 600ppm, 1000ppm et 2500ppm (situation qui peut se rencontrer dans une salle de classe pleine mal ventilée).

La performance a été évaluée par le Strategic Management Simulation (SMS), qui est un test comportant 9 critères. 6 critères étaient significativement diminués à 1000ppm, 7 critères étaient plus nettement diminués à 2500ppm.

L'expérience de Harvard avait pour but de créer un effet de serre, variable au cours de la semaine, en augmentant le taux de CO2 et de particules volatiles (VOC), et a confirmé l'imputabilité du taux de CO2 dès 945ppm et des VOC dès 0,45mg/m3 dans l'atteinte des fonctions cognitives (évaluées par le SMS).

-2000 à 4000ppm : accélération du rythme cardiaque, maux de tête

-**10000ppm** : accélération de la respiration, léger effet sur métabolisme chimique (acidose respiratoire) après plusieurs 30 minutes d'exposition

-30000ppm : effet faiblement narcotique, respiration plus profonde, réduction de la capacité d'audition

-**100000ppm** : risque vital

Par ailleurs, une étude du Colorado a montré chez les patients atteints de Covid que le taux de CO₂ augmentait le risque de contamination (3).

Une formule a même été proposée pour calculer ce risque de façon linéaire :

Toute augmentation de 1ppm au-dessus du taux de CO₂ atmosphérique pendant une heure engendre un risque de contamination de 0,01%.

1415ppm : 10%, 2415ppm : 20%...

3. Normes de CO2

Le taux de CO2 ambiant est mesuré à l'aide de détecteurs non-dispersive infrarouge (NDIR), à détection infrarouge. Ces derniers sont étalonnés pour obtenir une mesure fiable.

Les normes NF EN 13779 sont définies par le rapport de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES) en 2012 (2).

A noter qu'au niveau international, la limite d'exposition dans un bureau ou dans les bâtiments scolaires est située entre 1000 et 1500ppm.

Les normes ANSES intègrent le taux de CO2 dans la pièce pour le taux de CO2 dans les bureaux ou bâtiments scolaires.

Dans une usine (factories de 3 huit), la limite est fixée à 5000ppm.

Les taux de CO2 sont mesurés à l'aide de détecteur, dont la limite de mesure est variable (le plus souvent : 5000ppm ou 10000ppm).

Cf. tableau récapitulatif plus bas.

Des mesures d'aération régulières sont conseillées pour réduire le taux de CO2 ambiant.

Pour limiter le risque de contamination Covid par aérosols, une limite de 800ppm (6-7), avec une tolérance jusqu'à 1000ppm a été proposée.

Il est même conseillé de diminuer le seuil à 600ppm dans les salles de pause ou de restauration, où le personnel n'est pas masqué.

En cas d'impossibilité d'atteindre le seuil fixé en CO2 ambiant, l'utilisation de purificateurs d'air a été proposée.

valeurs de classement de la qualité de l'air intérieur – Mise en perspective à titre indicatif de : Concentrations de CO ₂ dans l'air intérieur, valeurs associées à des effets sur la santé dans la littérature scientifique, et valeurs limites d'exposition professionnelle	
Mise en perspectives avec :	
les concentrations de CO ₂ ou <i>différentiels de concentrations de CO₂ entre l'air intérieur et l'air extérieur</i> issues des études épidémiologiques ou toxicologiques	les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)
Différentiel de concentrations de CO₂ de l'air intérieur et de l'air extérieur utilisé pour le classement de la qualité de l'air intérieur selon la norme NF EN 13179	
<i>d</i> [CO ₂] ≤ 400 ppm Qualité de l'air intérieur excellente	
<i>d</i> [CO ₂] entre 400 et 600 ppm Qualité de l'air intérieur moyenne	[CO ₂] ≥ 850 ppm ou <i>d</i> [CO ₂] ≥ 450 ppm Plage correspondant en moyenne sur une journée de travail à une augmentation de symptômes du SBS dans des bureaux.
<i>d</i> [CO ₂] entre 600 et 1000 ppm Qualité de l'air intérieur modérée	[CO ₂] ≥ 1000 ppm ou <i>d</i> [CO ₂] ≥ 600 ppm* Plage correspondant à : - une augmentation de symptômes de l'asthme chez l'enfant, en moyenne sur une journée d'école - une altération suspectée de la performance psychomotrice due au CO ₂ seul chez l'adulte, en moyenne sur quelques heures (une seule étude).
<i>d</i> [CO ₂] > 1000 ppm Qualité de l'air intérieur basse	[CO ₂] égale à 5000 ppm Concentration moyenne sur 8 heures (VLEP 8h) utilisée comme valeur limite d'exposition professionnelle en France et à l'étranger [CO ₂] égale à 10000 ppm Concentration correspondant sur au moins 30 minutes à l'apparition d'acidose respiratoire due au CO ₂ seul (un des premiers effets critiques) chez l'adulte sain avec une charge physique modérée [CO ₂] comprise entre 10000 et 30000 ppm Intervalle des concentrations court terme (VLCT ou VLE) utilisées comme valeurs limites d'exposition professionnelle à l'étranger (aucune valeur pour la France)

*Différentiel entre CO₂ de l'air intérieur et de l'air extérieur calculé à partir d'un niveau intérieur ≥ 1000 ppm et d'un niveau extérieur pris par défaut de 400 ppm

4. Etude « Under the dome »

Objectif : étudier le retentissement du port de masque sur le taux de CO2 inspiré (ambiant) dans une population portant le masque de manière prolongée

Il est certain que les masques occasionnent une gêne respiratoire chez tout le monde, plus marquée à l'effort ou en parlant.

Cette gêne est encore plus importante avec les masques FFP2 que les soignants baissent régulièrement pour récupérer leur souffle, ou boire.

Des youtubers ont mis en évidence une augmentation du taux de CO2 (10) dans le masque, en mettant le capteur à proximité de la bouche, et en expirant devant le capteur, ce qui explique des résultats de CO2 élevés.

D'autre part, des articles démentaient la possibilité d'une intoxication au CO2, car les molécules de CO2 et d'O2 passent à travers le masque (11).

Là aussi, l'argument n'est pas vraiment scientifique, car on n'inspire pas qu'une seule molécule d'O2, et on n'expire pas une molécule de CO2.

On inspire 6-10l/min environ d'air au repos, soit environ 1,5 d'O2/min, et on expire autant d'air, ce qui représente environ 300-400ml de CO2/min.

Il n'y a pas eu de variation significative **globale** de la SpO2 et la capnie (14) pour une **population d'individus sains**, et il y a eu un déni médiatique de potentiels effets ventilatoires délétères des masques (15,16).

Comment mesurer le taux de CO2 dans le masque? :

Expériences préliminaires avant la mise en place du protocole

La 1^{ère} technique fut celle de l'apnée, avec un détecteur PTH 5 non muni de capteur, introduit sous le masque après une inspiration, pour mesurer l'augmentation du taux de CO2 (à différencier de la capnie=CO2 sanguin).

Malgré le temps de mesure et la latence du capteur (avec un temps d'apnée estimé autour de 10 secondes), des mesures réalisées chez une infirmière après le travail : 1233ppm (638ppm de CO2 ambiant), et un enfant en sortant du travail : 1603ppm (491ppm de CO2 ambiant).

Technique complexe (nécessité de pencher la tête tout en tenant le masque) permettant d'évaluer un taux de CO2 résiduel au bout de 10 secondes, sous-estimant très largement le taux de CO2 moyen (le taux de CO2 décroît très rapidement en apnée).

3 expériences réalisées:

- mesure du CO₂ dans un masque neuf ou dans un T-shirt rendu le plus étanche possible (en maintenant le col et le bas du T-shirt collés contre la peau): pas de variation significative du taux de CO₂ mesuré.
- Mesure dans un sac plastique transparent fermé : augmentation lente du taux de CO₂, d'environ 100ppm en 30 secondes
- Respiration dans le T-shirt (bien plus supportable que le FFP2 hospitalier), en plaçant le capteur au niveau du nombril, et en maintenant le haut du T-shirt sur le nez (tel le haut d'un masque en tissu qui serait étanche). La valeur limite du capteur (5000ppm ou 10000ppm) est très rapidement atteinte (en – de 30 secondes).

Par la suite, des détecteurs munis de capteur (KKmoon, Temtop), préalablement étalonnés, ont été introduits sur le côté du masque, avec le capteur vers le haut dans un angle du masque, pour réaliser des mesures en ventilation, tout en évitant au maximum de respirer dans l'axe du capteur (shoot expiratoire de CO₂ à faussant la mesure).

Les mesures avec le Temtop sont réalisées avec pré-chauffage (3 minutes), et donnent des chiffres > ceux du KKmoon (environ 10-15% plus élevées).

Des mesures ont été réalisées sans masque en mettant le capteur à l'endroit voulu pour la mesure.

En ventilation buccale normale (la respiration nasale ferait augmenter le CO₂ en raison de sa proximité du nez), le CO₂ augmentait d'environ 200 à 300 ppm au bout de 30 secondes par rapport au CO₂ ambiant.

En respirant dans l'axe à lèvres pincées, le CO₂ augmentait de 50 à 100 ppm environ au bout de 30 secondes.

En respirant à lèvres pincées vers la direction opposée au capteur, l'augmentation du taux de CO₂ au bout de 30 secondes était <20ppm en moyenne (méthode testée sur 3 personnes saines).

La mesure du CO₂ a alors été réalisée 4 à 5 secondes après la dernière expiration normale (selon la fréquence respiratoire, calculée sur les 30 secondes précédant la mesure 4-5 secondes), suivie d'une expiration à lèvres pincées le temps de la mesure (15-20 secondes).

Cette méthode de mesure a alors été adoptée pour réaliser une étude observationnelle du taux de CO₂ dans le masque (cf photos), avec les détecteurs KKmoon, en arrondissant à la centaine de ppm inférieure.

Ex : 2682ppm, arrondie à 2600ppm.

Protocole « Under the dome »

Elle est réalisée dans des établissements volontaires, souhaitant apprendre les effets du CO₂ sur la santé, les normes, et l'intégration de ce nouveau paramètre dans le quotidien (santé au travail, protocole sanitaire Covid).

Des mesures sont alors réalisées sur des personnes volontaires (pour comprendre certains symptômes ou par simple curiosité).

Un binôme médecin et technicien permet de mesurer le taux de CO₂, tout en y associant l'oxymétrie, et la mesure de paramètres cliniques.

Le taux de CO₂, la température et le taux d'humidité sont mesurés dans l'air ambiant puis dans le masque.

La saturation en oxygène (SpO₂), évaluant la pression artérielle en oxygène (PaO₂), et la fréquence cardiaque sont mesurées dans le masque, puis après 5 minutes de retrait du masque.

L'âge, le sexe, la profession, le type de masque, la durée de port, la réalisation d'une éventuelle activité physique, ainsi les symptômes ressentis sous masque sont colligés dans un tableau Excell (cf ci-dessous)

Des détecteurs de marque KKmoon, avec capteur sont utilisés pour l'étude, Pour des raisons d'hygiène, les mesures sur des personnes différentes ont été réalisées après décontamination par lingette antiseptique, en ne dépassant pas 2 mesures consécutives par appareil.

5. Résultats de l'étude

6. Limites de l'étude

6.1. Limites liées à la technique

La mesure du CO₂ ambiant (inspiré) est habituellement réalisée pour vérifier si les locaux sont suffisamment ventilés, alors qu'en pratique pneumologique ou en réanimation, on étudie plutôt le CO₂ expiré, avec l'EtCO₂, la Pet CO₂, ou sanguin (capnie).

Il n'a pu être réalisé une mesure systématique de la capnie (accès difficile à la gazométrie) ou une étude du CO₂ expiré (capnographie très coûteux).

La qualité des appareils utilisés est satisfaisante (catégorie B, normes CE), mais inférieure à des appareils professionnels bien plus coûteux.

Concernant la technique de mesure, le but aurait été de mesurer le taux de CO₂ juste avant une inspiration, mais la latence des capteurs (10 secondes environ) ne permet pas une telle mesure.

L'apnée entraîne une diminution rapide du taux de CO₂ mesuré, ce qui sous-estime nettement le taux de CO₂ ambiant.

Le but est d'essayer de stabiliser le taux de CO₂ au bout de 4-5 secondes (en fonction de la fréquence respiratoire, soit 12-15/min).

La mesure avec le capteur dans un angle supérieur inséré 4 à 5 secondes après une fin d'expiration, en pinçant le nez, tout en expirant doucement à lèvres pincées vers l'autre côté permet de maintenir un taux de CO₂ stable pendant la mesure, car le « shoot expiratoire » de CO₂ est alors faible, et équilibrant globalement avec la dispersion du CO₂, avec une discrète augmentation du taux de CO₂ (20 ppm), qui a été corrigée en arrondissant à la centaine inférieure : évaluation, et non mesure précise du taux de CO₂.

Par ailleurs, la pression atmosphérique a été estimée à 1 atmosphère, soit 1013hPa, pour chaque patient.

La fréquence respiratoire n'était pas notée pour chaque patient.

Le détecteur ne permettait pas de mesurer un taux de CO₂ supérieur à 10000ppm (il affichait alors la valeur de 10000ppm).

Pour des raisons d'hygiène, il a fallu utiliser un détecteur de CO₂ par personne en établissement scolaire ou hospitalier, ou en entreprise.

Pour l'oxymètre, la SpO₂ peut être diminuée en cas de vasoconstriction.

Pour éviter cela, les mesures ont été réalisées en intérieur, ou en extérieur lorsque la T° était > 15°C, et vérifiées sur un doigt controlatéral avec un autre oxymètre (professionnel de marque Spengler) si mesure < 94%.

6.2. Utilisation des mesures en pratique

Comme il est précisé plus haut, le taux de CO₂ ambiant est utilisé en entreprise (pour optimiser l'aération des locaux), et a également été adapté à l'épidémie de Covid, mais il n'est pas utilisé en pratique clinique.

Il existe une méconnaissance des effets du CO₂ sur la santé, et des normes de CO₂, tant dans la population générale que dans la population médicale. Il y a donc eu besoin dans chaque établissement d'une mise à niveau, avec une présentation concernant le CO₂ (Powerpoint ou tableau selon les moyens du bord).

La SpO₂, lorsqu'elle était basse, n'a pu être confirmée par une gazométrie sanguine (problème de faisabilité et d'acceptation).

7. DISCUSSION

Le coronavirus se propage (17) :

- par gouttelettes de salive (parole, chant, toux, éternuement)
- par aérosols
- par manuportage
- dans les conduits d'aération et eaux usées (aucune contamination décrite)

Il existe un clivage entre les partisans d'une contamination essentiellement par aérosols, théorie soutenue entre autres par le professeur Antoine Flahault, membre de la Task force suisse (18), et les partisans d'une contamination essentiellement par manuportage, théorie soutenue entre autres par le Professeur Didier Pittet (19), infectiologue suisse et inventeur de la formule de gel hydroalcoolique.

Le port du masque (permettant de diminuer les 2 premiers risques de contamination), est recommandé chez les soignants, a été rendu obligatoire en intérieur pour toute la population par décret le 10 juillet 2020, alors que la mortalité attribuée au Covid était faible (25/jour).

Il n'y a pas de consensus chez les soignants concernant le type de masque (chirurgical ou FFP2), comme le signale le HCSP le 17/12/2020 (20).

Un seul essai randomisé danois, mené sur 3030 personnes a été réalisé pour étudier l'efficacité du port de masque tout public pour éviter la Covid. Cet essai n'a pas retrouvé de différence significative ($p=0,38$). (21)

La mesure du CO₂ ambiant, augmentant le risque de contamination (3), est devenue un outil de calcul du risque contamination par aérosols.

L'étude Under the dome montre que les taux de CO₂ atteints sont très loin d'être létaux pour une population saine.

Néanmoins, elle met en évidence une augmentation hautement significative du taux de CO₂ avec le port du masque ($p<0,00000...$), d'autant plus rapide qu'il existe une activité physique, ou que la personne a parlé longtemps.

Les symptômes les plus fréquents sont....

Corrélation avec taux de CO₂... ?

La fréquence cardiaque au repos et après 1 ?, 3 minutes ? 5 minutes ? ...p ?
La SpO2...

Humidité...

Risques possibles (normes ANSES)...

Risque pour enfants...

Risque pour poste à risque (déconcentration)

Risque d'accélération de la fréquence cardiaque

Risque pour insuffisant respiratoire...

Le masque se comporte telle une pièce confinée, un « placard à CO2 ».

Taux dépendants de la durée, de l'activité physique.

Risque théorique lié à l'algorithme de Jimenez ?

CONCLUSION

L'étude du taux de CO₂ ambiant dans le masque associée à l'oxymétrie a pu démontrer que, ces derniers limitent l'expiration de CO₂, notamment à l'effort ou si la personne parle, avec des taux atteints pouvant expliquer certains symptômes comme la fatigue, la déconcentration, les céphalées.

Ces derniers ne sont certes pas vitaux, mais perturbent l'apprentissage, et pourraient augmenter le risque d'accident par manque de vigilance.

Par ailleurs, l'accélération de la fréquence cardiaque pourrait augmenter le risque d'ischémie myocardique, et le port du masque en présence d'une insuffisance respiratoire peut s'avérer dangereux.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Zeynep Kahraman, André-Jean Guérin, Jean-Marc Jancovici.**
The Shift Projet : Décarbonons ! 9 propositions pour que l'Europe change d'ère. Edition Odile Jacob, 2017
2. **Avis de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES),**
rapport d'expertise collective, juillet 2013. Edition scientifique
3. **Zhe Peng, Jose L. Jimenez.** Exhaled CO2 as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor Environments and Activities ;
Environmental Science & Technology letters, 2021
4. **World Health Organization ;** Coronarovirus disease (COVID-19) :
Ventilation and air conditioning. 29 July 2020, Q&A
5. « **Projet CO2** : mesurer le CO2 pour mieux aérer », 25 mars 2021
6. **Avis du Haut Conseil de Santé Publique du 22 novembre 2020,**
relatif à une proposition de protocole sanitaire renforcé pour les commerces dans le contexte de l'épidémie de Covid-19
7. **Avis du Haut Conseil de Santé Publique du 28 avril 2021,** relatif à
l'adaptation des mesures d'aération, de ventilation et de mesure du dioxyde de carbone (CO2) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2
8. **Otmar Geiss ;** Effect of wearing face masks on the carbon dioxide concentration in the breathing zone, Aerosol and air quality research, volume 21, issue 2. Octobre 2021.
9. **Alain Cohen-Solal, François Carré ;** Guide pratique des épreuves d'effort cardiorespiratoire Edition Masson, 2009
10. **Travail et santé : C'est la faute au CO2**
11. **European Industrial Gases Association (EIGA) ;** Dangers physiologiques du dioxyde de carbone

12. **Usha Satish, Mark. J. Mendell, Krisnamurthy Shekhar et al ;**
Is CO2 an Indoor Pollutant ? Direct Effects of Low-to-Moderate Concentrations on Human Decision-making Performance, Environmental Health Perspectives, Volume 120, Number 12, December 2012
13. **Joseph G. Allen, Piers Mac Naughton, Usha Satish et al ;**
Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers : A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments ; Environmental Health Perspectives, Volume 124, Number 6, June 2016
14. **France 24, Les observateurs:** « Porter un masque entraine une intoxication au CO2 » : l'intox qui fait un carton sur internet
15. **France info :** « Covid-19 : le port de masque dès 6 ans est-il dangereux pour le santé des enfants ? »
16. **Steven L. Shein, Sofie Whitticar, Kira K. Mascho et al.** The effects of wearing facemasks on oxygenation and ventilation at rest and during physical activity, Plos one, february 2021
17. **Organisation Mondiale de la Santé,** Transmission du SARS-Cov-2, Implications pour les précautions visant à prévenir l'infection, 09/07/2020
18. **National Covid-19 Science Task Force (NCS-TF) ;** The role of Aerosols in SARS-Cov-2 Transmission, 29 octobre 2020
19. **Didier Pittet & Thierry Crouzet,** Vaincre les épidémies, de la prise de conscience aux gestes qui sauvent. Editions Hugo doc, octobre 2020
20. **Avis du Haut Conseil de Santé Publique du 17 décembre 2020 ;** Relatif au risque de transmission du virus SARS-Cov-2 par la dispersion d'aérosols lors d'activités liées aux différents types de tabagisme et aux caractéristiques des lieux
21. **Henning Bundgaard, Johan Skov Bundgaard, Daniel Emil Tadeusz Raaschou-Pedersen et al ;** Effectiveness of Adding a Mask Recommendation to Other Public Health Measures to Prevent SARS-Cov-2 Infection in Danish Mask Wearers ; *American College of Physicians*, 2020