




Purificateur d'air anti-Covid

Je propose ici le design d'un purificateur d'air contre le virus SARS COV2 (Covid 19), basé sur l'irradiation de l'air en circuit fermé par des UV C (254 nm). Le but est de réduire le risque de contagion par aérosols lors de réunions familiales en milieu clos. On verra également que l'idée pourrait être prolongée pour les écoles à un coût très intéressant grâce à l'auto-construction aidée par les nombreux fablabs de France.

 Difficulté Moyen

 Durée 8 jour(s)

 Catégories Bien-être & Santé

 Coût 300 EUR (€)

Sommaire

Introduction

Étape 1 - La désinfection par UV C

Étape 2 - Les éléments clefs du design

Étape 3 - Conception du purificateur à UV C

Étape 4 - Fabrication du purificateur à UV C

Étape 5 - Détermination de la dose UV C nécessaire

Étape 6 - Calcul de la dose UV C produite dans la chambre d'irradiation

Étape 7 - Performances attendues

Étape 8 - Points importants avant utilisation

Étape 9 - Prolongement de l'idée pour l'école

Étape 10 - Conclusion

Commentaires

Introduction

En cette époque de Covid 19, je crois qu'on a tous recherché des idées « à portée de bricoleur » pour réduire le risque de contagion. Pour ma part, pensant aux futures fêtes de fin d'année qui auront lieu en milieu fermé, j'ai pensé à un système de désinfection de l'air pour inactiver les virus qui pourraient se trouver dans les aérosols (gouttelettes très fines en suspension dans l'air) produits par une éventuelle personne contaminée. Si on ne fait rien, ces aérosols seront respirés pendant des heures par les autres convives qui seront probablement contaminés. Le plus simple bien sûr est d'aérer abondamment la salle plusieurs fois par heure...si on ne craint pas le froid de l'hiver... Ou alors on peut utiliser le système de désinfection que je propose.

La photo de ce qui ressemble à une cheminée d'usine en suggère le principe : L'air est aspiré près du plafond par le long tube vertical puis il est fortement irradié par des UV C (254 nm) dans une boîte à lumière et finalement soufflé, totalement désinfecté, au travers des fentes de sortie proches du sol.

Le débit de chaque tube est de 300 m³/H, ce qui permet de traiter le volume d'une pièce de 75 m³ en 15 minutes (ce point sera détaillé plus bas car c'est un peu plus subtil...).

Nota : L'irradiation se passe en milieu fermé tout simplement parce que les UV C sont dangereux pour la peau et les yeux des personnes présentes dans la salle. Donc, seul l'air est traité en milieu fermé, négligeant les postillons et les surfaces contaminées. Donc, ne pas oublier les autres gestes barrières (distance et lavage des mains...).

Matériaux

Outils

Étape 1 - La désinfection par UV C

L'action germicide des UV C est utilisée depuis longtemps dans les hôpitaux et dans l'industrie agroalimentaire. Les illustrations ci-contre en montrent quelques aspects:

Photo 1: Colonne de désinfection utilisée pour désinfecter les surfaces d'une salle hors de la présence de personnes (Les UV C sont dangereux pour la peau et les yeux)

Photo 2: Désinfection de surfaces par un opérateur protégé contre les UV C (combinaison, lunettes).

Photo 3: Plafonnier pour désinfecter l'air du plafond d'une salle de manière directive, tout en préservant les personnes présentes (Philips).

Photo 4: Armoire de désinfection pour des objets (Philips)

Photo 5: Désinfection de l'air dans les canalisations de climatisations (Jasfiltration). Notre design appartient à cette catégorie. Toutefois notre purificateur se limite à une fonction virucide, à l'exclusion de toute fonction oxydante pour détruire les Composés Organiques Volatils (COV) contrairement au système de Jasfiltration.

Les liens suivants détaillent différents aspects de l'utilisation des UV C:

<https://www.numerama.com/sciences/624568-la-desinfection-par-uv-est-elle-efficace-pour-tuer-le-coronavirus.html>

<https://www.lighting.philips.fr/produits/uv-c#footnote>

<https://titansecurite.com/fr/uv-desinfection/>

<https://media.ies.org/docs/standards/IES-CR-2-20-V1-6d.pdf>

<https://jasfiltration.com/rayonnement-uv/>

<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-...IOSHPUB2009105>

Ce lien parle des purificateurs d'air par filtration et de leur efficacité pour nettoyer l'air d'une salle des aérosols contaminés (liens vers publications scientifiques allemandes)

<https://fr.trotec.com/produits-et-services/machines-highperformance/purification-de-lair/le-purificateur-dair-hautes-performances-tac-v/une-efficacite-scientifiquement-attestee/>

(Je n'ai pas choisi la filtration car elle me semble plus difficile dans un cadre DIY)





Étape 2 - Les éléments clefs du design

Caractéristiques des aérosols à traiter:

Depuis la pandémie de Covid, plusieurs laboratoires ont visualisé et modélisé le comportement des aérosols émis par une personne infectée. Par exemple ici: <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/technologie-bien-placer-table-temps-pandemie-83734/>.

Pour les discussions à venir, on va schématiquement classer les aérosols en trois catégories, fonction du temps de déposition.

- Les postillons qui retombent instantanément
- les particules qui retombent en moins de 5 minutes. Ces aérosols sont constitués de gouttelettes nettement supérieures à $10\ \mu\text{m}$. Leur diffusion dans l'air d'une pièce close est assez lente si bien qu'on peut considérer qu'elles seront retombées avant d'avoir diffusé dans toute la salle. Seul l'emploi d'un ventilateur peut les répandre dans toute la pièce.
- les particules qui restent en suspension très longtemps. Elles sont typiquement inférieures à $10\ \mu\text{m}$. De plus comme les tailles sont plus petites, leur vitesse de diffusion est relativement importante. On peut facilement expérimenter soi-même sur la vitesse de diffusion de ce type d'aérosol en utilisant du papier d'Arménie ou de fumée de cigarette. Typiquement une odeur de cigarette ne met pas plus de 5 minutes pour envahir une pièce de $100\ \text{m}^3$, sans ventilation, uniquement par diffusion. Personne ne peut échapper à ce type d'aérosol dans un lieu clos, même si la distanciation physique est de quelques mètres. La situation sera la même avec ou sans ventilateur.

Choix des longueurs d'onde:

Les longueurs d'onde des UV C s'étendent de 200 nm à 300 nm.

Pour la destruction des virus, c'est leur ADN qu'il faut atteindre. D'après un document trouvé sur le site de Philips consacré à la désinfection UV (https://www.lighting.philips.fr/content/dam/b2b-li/en_AA/products/special-lighting/uv-purification/philips-uv-c-graph.jpg), il semble que ce soit vers 260 nm que la sensibilité de l'ADN à l'irradiation soit la plus grande. Différentes sources existent pour produire des radiations autour de cet optimum de sensibilité.

Les sources généralement utilisées sont des tubes à décharge, comme les tubes Néon, mais dans lesquels le Néon a été remplacé par des vapeurs de mercure. Ces tubes produisent une radiation centrée sur 254 nm qui est un raie de l'atome du mercure. Ces sources sont utilisées depuis longtemps dans l'industrie agro-alimentaire et les hôpitaux.

A côté de ce type de source commencent à apparaître des LED dont les longueurs d'onde sont généralement supérieures à 260 nm. Leur puissance est inférieure à celle des tubes mercure.

Le dernier type de sources (sources excimères) produit des radiations précisément centrées à 222 nm. Ici il y a un intérêt très grand car à cette longueur d'onde les expériences ont montré à la fois un effet virucide et une innocuité pour les humains, contrairement aux autres radiations. Ce seraient des sources idéales car elles assainissent l'air et les surfaces en présence de personnes. Malheureusement ces sources ne sont pas encore couramment commercialisées et de plus elles sont chères.

En conclusion, pour notre purificateur nous allons retenir les tubes classiques à 254 nm.

Choix du mode d'irradiation:

Comme souligné dans tous les documents sur la désinfection UV @254 nm, il n'est pas possible d'irradier à la fois l'air d'une pièce ainsi que les surfaces en présence de personnes, à cause du risque des cancers de la peau et des cataractes.

Toutefois, certaines entreprises de désinfection admettent que l'on peut irradier l'air en hauteur (partie supérieure des murs, plafonds) en présence de personnes, à condition que ces personnes ne soient jamais atteintes par des radiations directes (<https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-...IOSHPUB2009105>). Ils admettent donc que la réflexion sur les surfaces absorbent fortement les UV C. D'après ces entreprises, ces contraintes d'installation sont largement contrebalancées par l'efficacité, car de larges volumes d'air sont en permanence soumis aux radiations. Ils insistent cependant sur le fait que l'installation doit être faite par des professionnels qui vérifient l'état radiatif après installation, ce que nous n'avons pas les moyens de faire, faute de radiomètre UV C.

En conclusion, la seule option restante est donc d'irradier à 254 nm uniquement l'air contenant les aérosols en les faisant circuler dans une chambre d'irradiation fermée.

Choix de la localisation du purificateur:

L'idée de départ était d'aspirer les aérosols proche de la source, typiquement autour d'une table familiale. Malheureusement l'aspiration n'a aucune portée. Des essais menés avec un générateur de fumée ont montré qu'il faudrait adjoindre une sorte de hotte aspirante au-dessus des convives afin de rassembler les aérosols avec une certaine efficacité (Purificateur_d_air_anti-Covid_SetupHotte_10.jpg).

La voie retenue est donc plutôt de chasser les aérosols de la proximité de la table à l'aide d'un ventilateur, et de les diluer dans tout le volume pour en réduire immédiatement la concentration. En parallèle des purificateurs travaillent en tâche de fond pour limiter la concentration. On est donc proche de la situation en extérieur, où les aérosols ne stagnent pas et sont dilués rapidement.

Aspirer l'air en haut ou en bas ?

Il semble que les aérosols produits par une personne lorsqu'elle parle ont tendance à monter vers le plafond, du moins dans un premier temps pour les plus légers. Ce n'est pas surprenant car l'air émis est plus chaud que l'air ambiant ce qui donne une composante verticale à la vitesse des particules. On peut le voir sur ces modélisations: <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/technologie-bien-placer-table-temps-pandemie-83734/>.

En conclusion, notre purificateur placé à proximité de la table aspirera l'air en haut où les particules virales sont le plus concentrées et rejettera un air décontaminé en bas, par exemple sous la table. Cet air propre montera ainsi lentement vers le haut, accompagnant le mouvement naturel des aérosols au dessus de la table des convives.

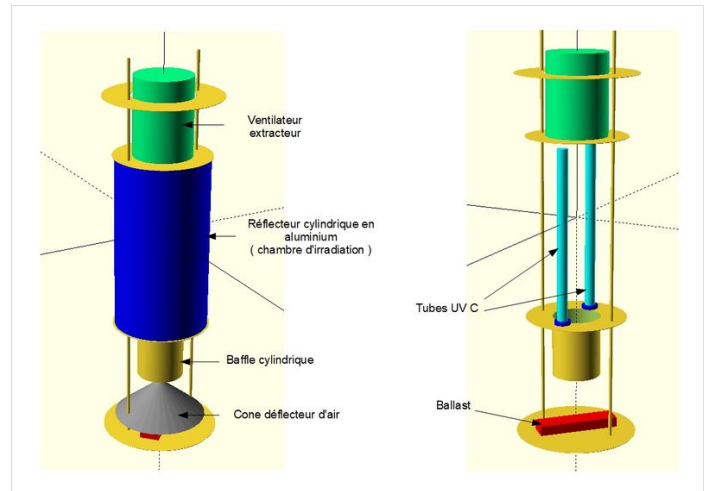
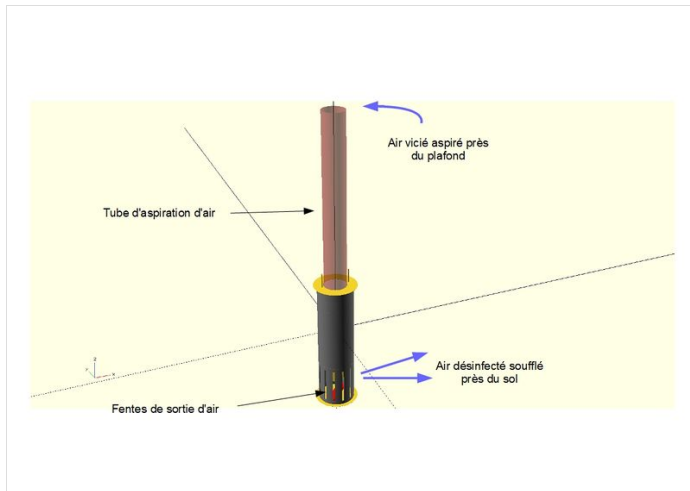
Étape 3 - Conception du purificateur à UV C

Vue 1: Les différents éléments sont organisés à l'intérieur d'un tube de 250 mm de diamètre et de 900 mm de hauteur. Ce tube est relié à un tuyau d'aspiration d'environ 1,5 m qui prélève l'air vicié au plafond et le rejette désinfecté, près du sol à travers les fentes avec un débit de 30 m³/h.

Vue 2, à gauche: Le tube extérieur retiré laisse apparaître la chambre d'irradiation en tôle d'aluminium. Cette tôle d'aluminium a une double fonction : Protéger le tube extérieur en PVC de l'irradiation (risque de photochimie) et augmenter le niveau de l'irradiation par les réflexions multiples générées (l'aluminium réfléchit bien les UV)

On voit également le circulateur (vert) qui propulse l'air dans la chambre d'irradiation.

Vue 2, à droite: Lorsque le réflecteur est retiré, on voit les deux tubes UV C. Le ballast nécessaire pour limiter le courant dans les tubes après l'amorçage se trouve tout en bas. Il est protégé du rayonnement UV par un cône absorbant qui sert également de déflecteur d'air, vers les fentes de sortie.



Étape 4 - Fabrication du purificateur à UV C

Photo 1: Le tuyau d'aspiration étant débranché on voit apparaître la turbine. Ce tuyau d'aspiration est fabriqué à partir de carton côtelé qui garantit une rigidité suffisante. Ce type de carton s'achète en papeterie.

Photo 2: Après avoir démonté le tube protecteur, on voit apparaître la chambre d'irradiation. La turbine démontée repose au sol. Cette turbine souffle l'air aspiré dans la chambre d'irradiation avec un débit de 300 m³ / h. (<https://www.hydrozone.fr/extracteurs-1-vitesse/4377-axial-flux.html>)

Photo 3 : L'intérieur de la chambre d'irradiation est une surface miroir. Ces tôles d'aluminium de 0.5 mm d'épaisseur sont obtenues par laminage et s'achètent dans des magasins de bricolage. Elles ont une face miroir qui est protégée par un film retirable (bien le vérifier lors de l'achat).

Photo 4: Les deux tubes UVC de 60 W électriques fournissent chacun 19 Watts de radiations UV à 254 nm (<https://www.francelampes.com/fr/uva-uvb-uvc/745-2g11-lampe-compacte-l-60w-tuv-germicide-uvc-philips-8711500710345.html>).
Noter que ces tubes ne produisent pas d'ozone (garanti par le fabricant Philips).







Étape 5 - Détermination de la dose UV C nécessaire

Il s'agit de déterminer la dose en Joules / m² avec laquelle il faut irradier le virus dans un aérosol afin de le désactiver. Cette dose en Joules / m² correspond fondamentalement à un nombre de photons par m² reçus par la cible à traiter. Ces photons UV très énergétiques bombardent les virus et cassent les liaisons chimiques de leur ADN, les rendant incapables d'infecter nos cellules.

Ces recherches des doses inactivantes ont été menées en laboratoire en irradiant des échantillons de virus dans des aérosols avec différentes doses et en mesurant le nombre de cellules test infectées par les échantillons irradiés.

Ces recherches menées sur le SARS COV 2 (Covid 19) avec des UV C @254 nm ne sont pas encore très nombreuses.

J'ai pu cependant trouver deux publications qui semblent sérieuses:

- une publication de Nature qui donne des valeurs de dose pour les aérosols, mais qui concernent des virus voisins du SARS Cov 2 à la longueur d'onde de 222 nm (<https://www.nature.com/articles/s41598-020-67211-2.pdf>)
- une valeur de dose donnée sur le site de Philips à 254 nm pour le SARS Cov 2, mais pour des surfaces (<https://www.lighting.philips.fr/produits/uv-c#footnote>)

En combinant les deux et en prenant des marges, j'ai retenu une dose nécessaire de 50 Joules / m². (Purificateur_d_air_anti-Covid_CalculsDose.pdf)

C'est cette dose qui est utilisée pour dimensionner la chambre d'irradiation.

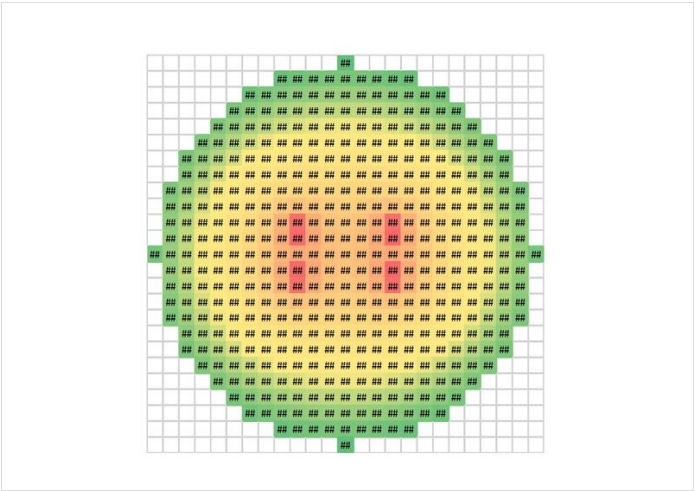
Étape 6 - Calcul de la dose UV C produite dans la chambre d'irradiation

Le calcul de la dose produite par les deux tubes de 19 Watts UV C chacun (photo 1) est expliqué ici: Purificateur_d_air_anti-Covid_CalculsChambreIrradiation_revue.pdf

Cette dose n'est pas du tout uniforme suivant que l'on est au centre et au bord (figure 2). Au centre on a des valeurs de l'ordre de 500 Joules / m² alors qu'au bord le niveau est d'environ 140 Joules / m².

Quoi qu'il en soit toutes ces doses sont bien supérieures au minimum requis de 50 Joules/m².

Notons que le réflecteur cylindrique en aluminium apporte un gain notable grâce aux réflexions multiples. La réflectivité totale (spéculaire + diffuse) de l'aluminium utilisé est mesurée meilleure que 65% @254 nm. Le gain d'efficacité par rapport à une surface totalement absorbante est d'environ 2.8 (voir document calcul).



Étape 7 - Performances attendues

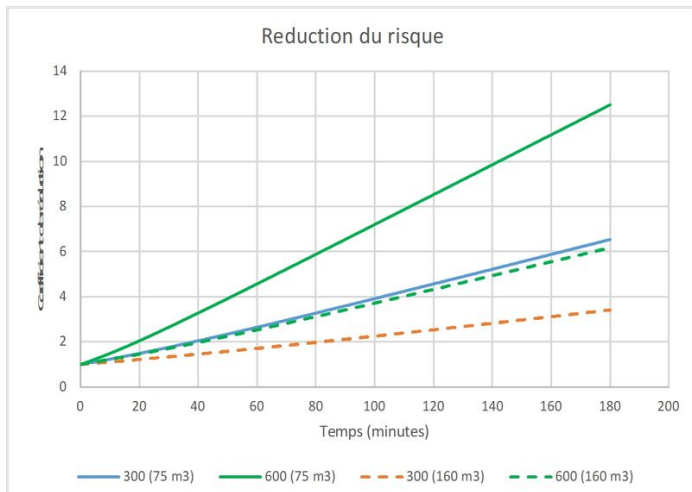
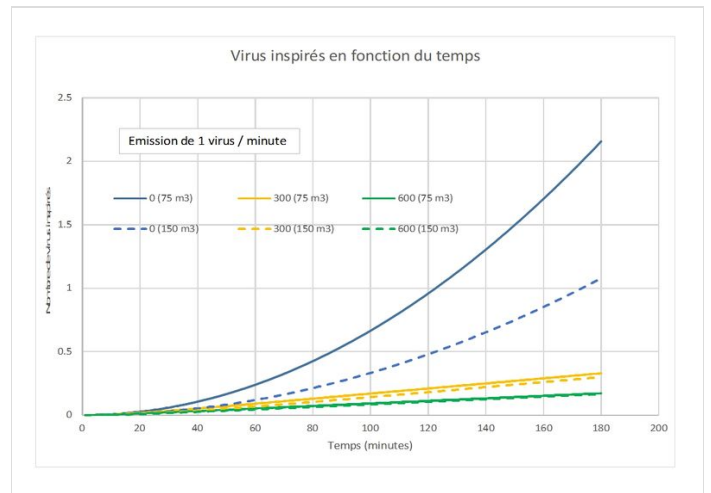
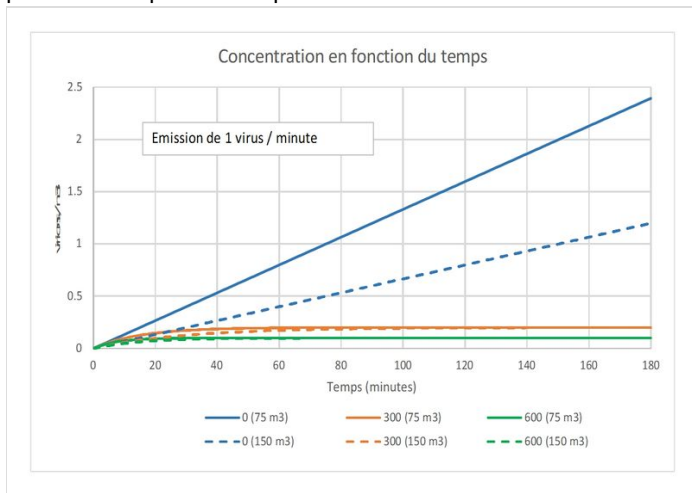
Les calculs des concentrations et des quantités de virus respirées sont détaillés ici: Purificateur_d'air_anti-Covid_CalculsConcentrations.pdf

Ces calculs sont nécessaires pour appréhender clairement l'action des purificateurs. La comparaison du débit de traitement avec le volume de la pièce est une indication intéressante mais pas suffisante pour appréhender la dynamique des phénomènes.

Photo 1: On y voit l'évolution des concentrations pour deux volumes de salles (75 et 150 m³) et trois débits différents (0, 300 et 600 m³/H). Si on ne fait rien, la concentration de virus croît linéairement avec le temps. Le traitement par les purificateurs limite très rapidement cette croissance en une asymptote dont le niveau est inversement proportionnel au débit du traitement.

Photo 2: On y voit l'évolution des virus respirés pour deux volumes de salles (75 et 150 m³) et trois débits différents (0, 300 et 600 m³/H). Si on ne fait rien, la quantité de virus respirés croît comme le carré du temps passé. Le traitement par les purificateurs limite très vite cette croissance qui se réduit à une croissance linéaire. On note que la vitesse d'ingestion du virus ne dépend plus de la taille de la salle mais seulement du débit de traitement.

Photo 3: On y voit l'évolution de la réduction de la quantité de virus respirés (réduction du risque) en fonction du temps pour deux volumes de salles (75 m³ et 150 m³) et pour deux débits différents (300 et 600 m³/H). On peut noter que l'intérêt est le plus grand lorsque l'on doit passer du temps dans une petite salle.



Étape 8 - Points importants avant utilisation

Quels risques y a-t-il à utiliser ce type de purificateur ?

- Le premier risque est que ça ne marche pas correctement et que les aérosols non traités contaminent les convives. Veiller à placer le purificateur près de la table des convives ou utiliser un ventilateur auxiliaire, comme expliqué ci-dessous.
- Le deuxième risque est que des Composés Organiques Volatils (COV) présents dans l'air soient transformés par photochimie en composés plus dangereux que les COV eux-mêmes. Pour réduire ce risque, éviter de fumer et d'utiliser des fumigènes de table, des générateurs de fumée ou du papier d'Arménie.

Ces risques, et d'autres encore inconnus, restent sous la responsabilité de celui qui prend l'initiative de fabriquer ces purificateurs d'air.

Utilisation nominale sans ventilateur auxiliaire

Lors de réunions familiales nous avons utilisé les deux purificateurs comme montré sur le schéma 1 ci-contre. L'air purifié est partiellement soufflé sous la table, ce qui n'occasionne pas une grande gêne, même avec un débit de 600 m³/H. Cet air remonte alors en partie le long des convives, ce qui augmente l'agitation de l'air et aide à la diffusion des aérosols vers le haut où ils sont aspirés. Toutefois les vitesses restent lentes et difficiles à mettre en évidence.

Utilisation avec ventilateur auxiliaire

Les calculs de performances ont été faits en supposant que les aérosols produits par une personne contaminée étaient immédiatement dilués dans tout le volume de la salle. Ces aérosols sont alors respirés par toutes les autres personnes mais sous une forme très diluée, grâce à la dilution en volume ainsi qu'aux purificateurs qui effectuent leur tâche de fond en permanence.

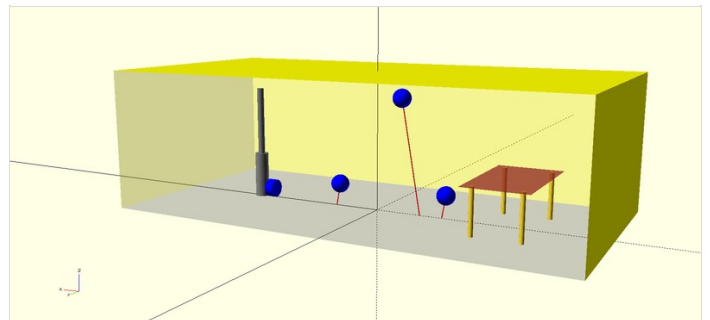
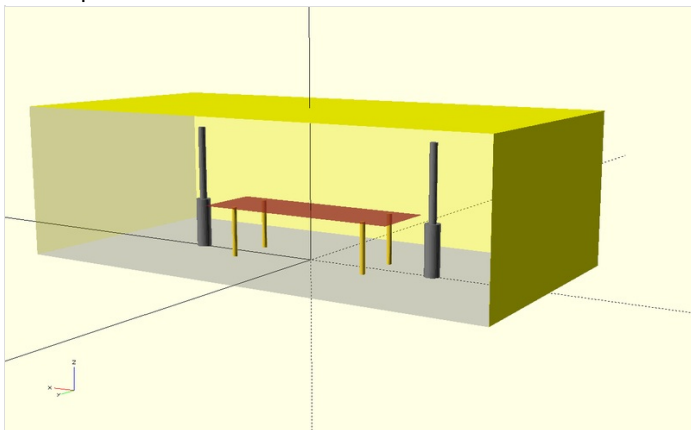
Pour cette dilution dans tout le volume de la salle, on peut compter sur la diffusion comme expliqué plus haut, mais cela ne concerne que les aérosols les plus ténus capables de contaminer une personne à l'autre bout de la salle. Pour les aérosols plus lourds qui restent plus longtemps à proximité de l'émetteur, on peut envisager l'utilisation d'un ventilateur auxiliaire, comme montré sur le schéma 2 ci-contre. Cela permet de rendre le phénomène de dilution encore plus rapide (convection) et homogène et produit au niveau des convives des petits mouvements d'air qui dissipent au plus vite d'éventuelles volutes d'aérosols, avant que des volutes encore concentrées ne soient respirées par un convive (penser à la fumée de cigarettes près du fumeur). Après la mise en place, on peut facilement visualiser la circulation de l'air en utilisant des ballons gonflés à l'hélium (https://wikifab.org/images/8/8d/Purificateur_d_air_anti-Covid_MesureCourantAir.pdf).

On constate que le ventilateur crée ainsi un chemin préférentiel où l'air nettoyé circule près du sol pendant que l'air contaminé rejoint le purificateur par le plafond.

Cependant, les courants d'air produits par un ventilateur risquent de transporter des aérosols plus lourds avant qu'ils ne se déposent. Ces aérosols risquent alors de contaminer des personnes, mais d'un autre côté ils seront traités par le purificateur et ne viendront pas contaminer les surfaces. L'utilisation d'un ventilateur auxiliaire doit donc être réfléchi au cas par cas.

Surveiller que la turbine ne s'arrête pas !

Si la turbine s'arrête il est nécessaire de couper l'alimentation électrique sous peine de faire augmenter la température à l'intérieur de la chambre (120 W électriques). Si le purificateur doit pouvoir fonctionner sans surveillance, il est nécessaire de l'équiper avec un disjoncteur thermique.



Étape 9 - Prolongement de l'idée pour l'école

J'ai fait ces purificateurs pour une utilisation privée, avec des capacités de traitement limitées. Toutefois, au cours du développement je me suis convaincu que les tubes UVC (120 W électriques et 38 W UV-C) seraient tout à fait capables de traiter des volumes d'air beaucoup plus importants (peut-être jusqu'à 5 fois plus..).

Un tel dispositif capable de traiter des débits de 1000 à 1500 m³ d'air par heure serait tout à fait utile pour les classes, pour un coût de 300 à 400 Euros en autoconstruction (implication d'étudiants soutenus par les fablabs universitaires).

Pour vérifier la circulation de l'air dans une salle, j'en ai fait rapidement un prototype à l'aide d'un grand ventilateur et de cartons de déménagement (photo ci-contre). Le résultat est conforme à ce qui est montré sur la vue au paragraphe précédent, avec un débit important et avec un bruit tout à fait acceptable même dans une salle de classe. Il suffirait de placer la chambre d'irradiation dans la veine d'air qui circule du plafond vers le sol, ce qui est très facile.

Pour une utilisation dans les cantines où les élèves n'ont pas de masques, le principe est tout à fait semblable à ce qui est décrit pour un usage familial.

Pour une utilisation dans les classes où les élèves sont masqués et génèrent des aérosols légers, la diffusion est suffisante sans avoir besoin d'une assistance par une forte convection. On pourra adapter la sortie de l'air de façon à réduire au maximum des courants d'air qui peuvent perturber les élèves et s'avérer gênants en terme de bruit. Il faut profiter au mieux du fait que le principe à UV-C ne génère pas de perte de charge et donc de bruit, contrairement aux purificateurs à filtres HEPA.

Et enfin, pour un fonctionnement totalement sécurisé, on pourra facilement adjoindre un bloc de contrôle basé sur des capteurs Grove et une carte Arduino (<https://www.gotronic.fr/cat-capteurs-de-gaz-1555.htm>)

- pour mesurer la température et couper l'alimentation en cas de surchauffe (ventilateur en panne)
- pour surveiller le taux de COV dans l'air et éteindre le purificateur si un seuil est dépassé (voir explications au paragraphe 8).
- pour surveiller le taux de CO₂ et prévenir qu'il est temps d'ouvrir un peu les fenêtres... En effet, un taux élevé de CO₂, lié aux respirations, est défavorable pour les performances intellectuelles...



Étape 10 - Conclusion

En conclusion, ces purificateurs d'air sont très utiles lorsque un groupe de personnes doit se réunir pendant plusieurs heures, comme dans les réunions familiales, les salles de classe ou les bureaux. Les situations les plus critiques sont celles où les masques ne sont pas portés (repas de famille, cantines).

Dans ce cas en effet, si on ne fait rien en présence d'une personne contaminée produisant des aérosols, les autres personnes risquent fortement d'être contaminées par les aérosols qui pénètrent profondément dans les poumons. De plus, les personnes vont inspirer des doses de virus en fonction du carré du temps passé.

En comparaison, l'utilisation des purificateurs avec les débits de 300 à 600 m³/H permet de réduire le nombre de virus inspirés par un facteur de 5 à 10 au bout de 3 Heures de temps. De plus la quantité de virus inspirés augmente linéairement avec le temps et non plus comme le carré du temps passé.

Notons également que ces purificateurs sont utiles particulièrement en cette période de Covid, mais qu'ils seront toujours utiles pour d'autres virus comme ceux des rhumes ou des gripes, qui bien que moins dangereux, provoquent tout de même des dépenses de santé.

Et enfin, la réalisation de ces purificateurs anti-Covid pourrait être envisagée à grande échelle et en autoconstruction pour les écoles, grâce aux très nombreux fablabs qui maillent la France...
