



CLEAN AIR : un purificateur d'air pour inspirer un air meilleur.

Lilou Ciavaldini
Rachèle Dubois
Louis Ronca



Lien vers la vidéo de présentation de notre projet :

<https://youtu.be/TwqGF4994u4>





INTRODUCTION

La pollution est l'introduction dans l'environnement de substances ou de facteurs nuisibles à la santé humaine, à la qualité de l'air, de l'eau, du sol ou des écosystèmes en général. Elle peut provenir de diverses sources, telles que l'industrie, le transport, l'agriculture, les déchets, etc.

Les effets de la pollution sur l'environnement et la santé sont multiples et souvent graves. Elle peut causer des maladies respiratoires, des cancers, des maladies cardiovasculaires, des troubles neurologiques, des allergies, entre autres. De plus, elle peut affecter la qualité des sols et de l'eau, entraîner la diminution de la biodiversité et perturber les écosystèmes.

La lutte contre la pollution est devenue un enjeu majeur du 21^{ème} siècle. Elle fait partie des 17 objectifs de développement durable choisis par l'Organisation Mondiale de la Santé pour protéger la planète (voir Annexe 1). Les gouvernements, les entreprises et les citoyens du monde entier prennent des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, pour promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables, pour encourager la mobilité douce et pour améliorer les pratiques agricoles et industrielles. La sensibilisation de la population à l'importance de préserver l'environnement est également cruciale pour encourager des comportements durables et responsables. La lutte contre la pollution est un défi complexe qui nécessite des efforts coordonnés et concertés à l'échelle internationale, afin de garantir un avenir durable pour les générations futures.

C'est pour cela que nous avons voulu développer notre purificateur d'air et nous sommes convaincus qu'il pourrait participer à l'amélioration de la qualité de l'air et donc de la santé des personnes.

2. Dépolluer, mais de quoi ?

Définition de l'air d'un point de vue chimique : l'air est un mélange gazeux homogène à l'œil nu. Très près de la surface de la Terre, N₂ et O₂ sont les 2 gaz principaux.

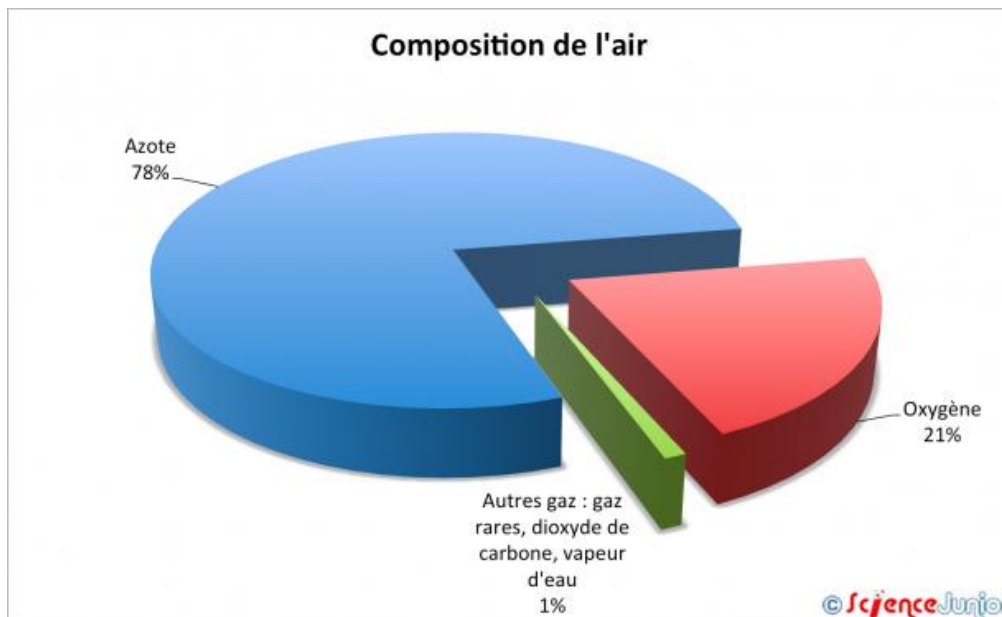


Schéma camembert de la répartition des gaz dans l'air.

Mais observé au microscope, on peut constater qu'il y a des particules solides ou liquides présentes dans l'air. C'est l'infime partie qui représente moins de 0,1% de l'air qui pose problème !

Origines des polluants :

- Naturelles :
 - Éruption volcanique : SO₂ gazeux
 - Radioactivité du sous-sol : radon gazeux par exemple
- Anthropique (issue des activités de l'Homme) : NO_x (combustion de carburant pour le chauffage, la motorisation automobile...)

Remarque : le CO₂ est un gaz à effet de serre dont l'accumulation dans l'atmosphère participe au changement climatique observé mais n'est dangereux au sens d'un polluant pour l'organisme d'un être humain qu'avec un pourcentage significatif dans une pièce

Les polluants sont des molécules gazeuses pour la plupart incolores donc invisibles à l'œil nu. C'est donc sans qu'on le perçoive qu'ils affectent principalement les voies respiratoires mais peuvent avoir aussi des effets indésirables sur d'autres organes, une fois dissous dans le sang par le biais des échanges gazeux au niveau des cellules (voir Annexe 2)

3. Notre idée

Construire un dépollueur d'air.

1ère idée : dépolluer les voies empruntées par les automobiles

Discussion avec un chercheur du LCE (Laboratoire de Chimie de l'Environnement) : le volume à purifier est trop important, le volume de l'extracteur à concevoir serait énorme, les effets de la soufflerie auraient d'autres conséquences.

Comme en Inde où un purificateur d'air géant a été construit en plein cœur de Delhi mais qui n'a aucune efficacité, simplement un côté marketing et politique.

2ème idée : dépolluer une salle de classe, une chambre d'un logement

La première remarque est de constater qu'il y en a beaucoup sur le marché.

Mais leurs fabricants indiquent tous dépolluer l'air en un temps record, ils se branchent tous sur le secteur et ne prouvent pas leur efficacité par le descriptif du protocole employé pour obtenir leurs résultats.

Pourtant en novembre 2020, une publication de l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) puis en mai 2021, une deuxième contribution de la part du HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique) ont fixé la ligne : seuls les équipements dotés d'un filtre à haute efficacité contre les particules aériennes sont considérés comme efficaces.

Les avantages du nôtre :

- L'utilisateur achète un kit à monter soi-même (« *built yourself* ») avec une construction aisée de la structure par l'utilisateur.

2 intérêts :

- Il connaît l'intérieur de son appareil, le rôle de chaque élément et peut le réparer si un élément vient à être défectueux ;
 - Il est un véritable acteur de la dépollution de l'air intérieur de son logement.
- l'énergie électrique utile à son fonctionnement peut venir de 2 moyens :
 - branchement au secteur grâce à un cordon électrique et un convertisseur 220V alternatif – 12V continu ;
 - ou un raccordement à un panneau solaire inclus dans le kit et dont la puissance suffit pour le fonctionnement de la ventilation qui crée le flux d'air à l'intérieur de l'appareil.

Remarque : D'après la littérature, la puissance du panneau solaire de 1m² de panneau solaire développe 200W.

Le panneau solaire dont dispose notre purificateur d'air a une surface de 0,122 m² (0,165m x 0,20m) donc il a une puissance estimée de 24,4 W (sur la notice 25J/s).

- Puissance électrique requise par le ventilateur très faible : $P = U \times I = 12 \times 0,23 = 2,76 \text{ W}$.
- La consommation en énergie électrique est donc très faible : $E = P \times \Delta t = 2,76 \text{ Wh}$.

- Une utilisation d'une heure n'est en conséquence pas onéreuse : dépense = $E \times \Delta t = 0,00057 \text{ €}$.
 - 100 heures d'utilisation entraînent une dépense d'environ 6 centimes seulement.
 - Une utilisation sur une année non-stop entraînerait une dépense de 5€ au total.
(Référence choisie : Tarif bleu Réglementé d'EDF de 0,2062€/kWh au 1^{er} avril 2023)
- Il est bon marché :
 - Ensemble {ventilateur - panneau solaire} : 35€
 - Structure en acier (corniche) : 15 €
 - Filtre d'habitacle de voiture : 30 €
- Son efficacité est prouvée par la réalisation de tests en laboratoire en suivant un protocole strict.

4. Description des tests :

Les tests ont été réalisés au **Laboratoire de Chimie de l'Environnement (LCE)** de l'université d'Aix-Marseille à l'aide d'un appareil nommé : **CPC (Condensation Particle Counter** en anglais – traduction en français : compteur de particules condensées).



Comme son nom l'indique, il permet de compter le nombre total de particules ultrafines en suspension dans un volume donné, les plus dangereuses pour la santé. Attention ce ne sont pas les molécules qui sont mesurées, mais bien les particules ! Les molécules libres dans l'air sont sous forme de gaz, alors que les particules sont des objets (ensemble de molécules liées de façon covalente) en suspension, qui peuvent être solides ou liquides. Le CPC permet de compter toutes les particules de diamètre supérieur à 10 nm et inférieur à 1 μm , on parle donc ici de particules submicroniques ou ultrafines. Lorsque les particules entrent dans le CPC, elles passent d'abord dans une chambre de condensation. Dans cette chambre se trouve de l'isobutanol en phase gaz, et en très grande quantité. On dit que l'atmosphère de cette chambre est saturée en isobutanol. Lorsque les particules du volume étudié entrent dans la chambre, l'isobutanol va condenser sur les particules pour les faire grossir, jusqu'à atteindre un diamètre de quelques micromètres. Puis ces « macroparticules » vont ensuite être dirigées devant un faisceau laser. A chaque fois qu'une de ces particules coupe le trajet optique du faisceau laser, le détecteur « voit » un flash de lumière, le nombre de flash étant équivalent au nombre de particules. Le CPC mesure ainsi la concentration en nombre de particules par cm^3 .

On peut régler la fréquence de mesure de la concentration en particules. Nous avons réglé la mesure à une fréquence de 1 Hertz : une mesure toutes les secondes.

Remarque : Pour une plus grande précision, on peut monter à 50 mesures par seconde (50 Hz).

Le CPC mesure ainsi la concentration en nombre de particules par cm^3 . Il permet de compter des particules dont la concentration est inférieure à 1 000 000 particules/ cm^3 (cm^3 d'air). S'il y a trop de particules, il peut y avoir des effets de coagulation entre les particules après condensation de l'isopropanol, ce qui conduira à des erreurs dans le décompte. Il se peut aussi que le capteur sous-estime le nombre de particules car si plusieurs particules passent en même temps devant le laser, le compteur peut n'en voir qu'une.

On utilise de l'isopropanol (ou autre alcool) car il condense plus facilement que l'eau, qui elle aura du mal à condenser sur les plus petites particules.

Une dernière remarque sur le fonctionnement du CPC : comme toutes les particules grossissent par condensation de l'isopropanol, on perd l'information sur la taille des particules. On ne sait donc pas s'il y a plus de grosses ou de petites particules. Dans le cas de notre expérience, on ne peut donc pas savoir si ce sont plutôt les petites ou les grosses (ou les deux !) particules qui ont été filtrées par le filtre. **Nous n'avons pas le détail granulométrique, mais de toutes façons les particules que nous avons mesurées étaient submicronique et donc correspondent à la fraction la plus fine retrouvée dans l'atmosphère, et donc la plus dangereuse d'un point de vue sanitaire !**

Son débit est de 0,3 litre par minute.

Pour contrôler le volume d'air traité et pouvoir l'enrichir de particules polluantes, nous avons disposé notre purificateur dans une enceinte en verre hermétique d'un volume de 13L.

Notre purificateur d'air dans l'enceinte d'air confiné (en verre) et disposé sur un pot blanc pour permettre au flux d'air de bien entrer et circuler dans le purificateur.



Nous avons effectué les tests dans différentes conditions (voir Annexe 2) :

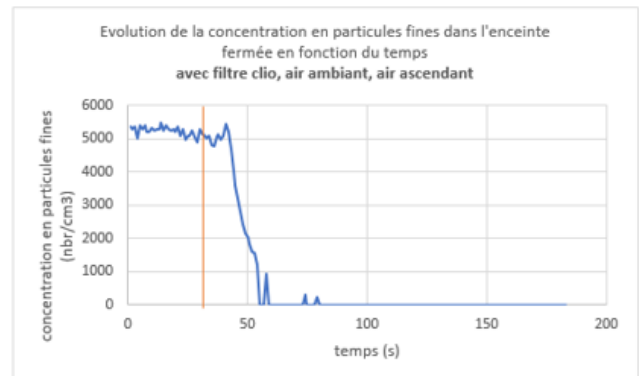
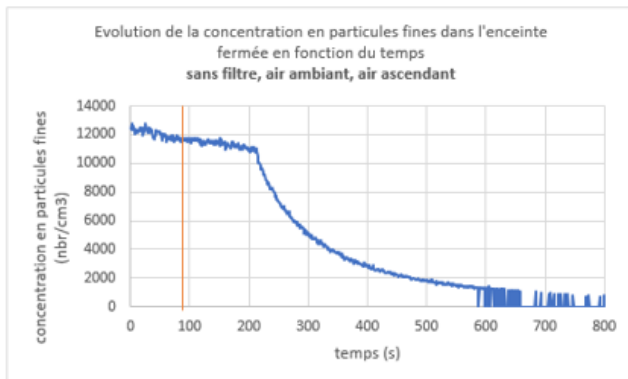
- Avec et sans filtre sur l'air ambiant
- Avec et sans filtre sur un air pollué (fumée issue de la combustion d'un papier)
- Avec un filtre automobile et avec un filtre d'aspirateur
- En faisant varier le sens de circulation de l'air

Celles-ci nous permettent d'évaluer le degré d'efficacité du purificateur (nombre de particules polluantes restantes dans l'enceinte) en fonction de différents facteurs

5. Résultats

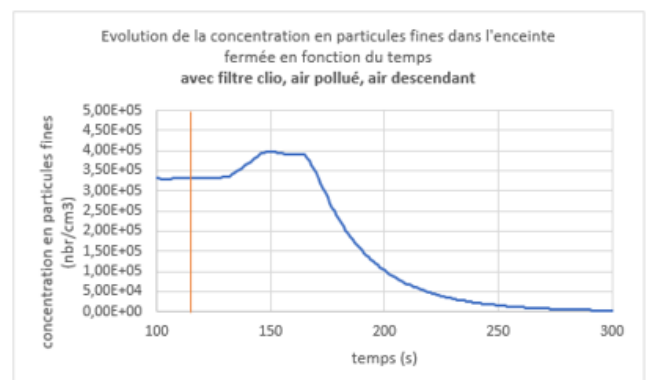
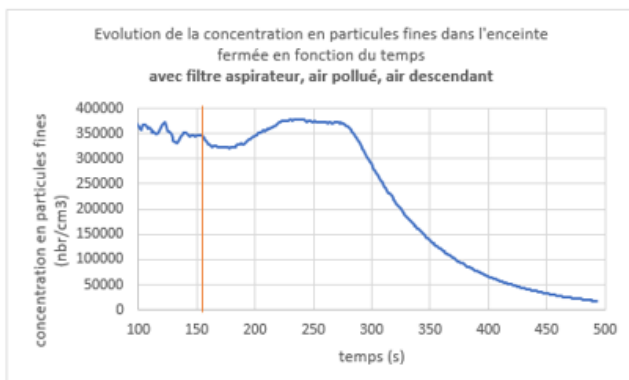
Remarque : le trait rouge vertical indique la mise en marche du ventilateur du purificateur

Comparaison avec et sans filtre air ambiant



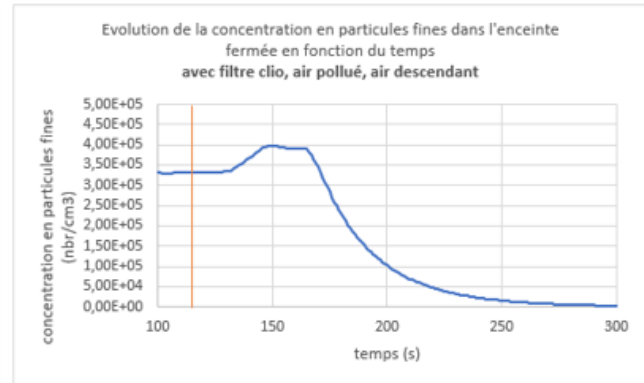
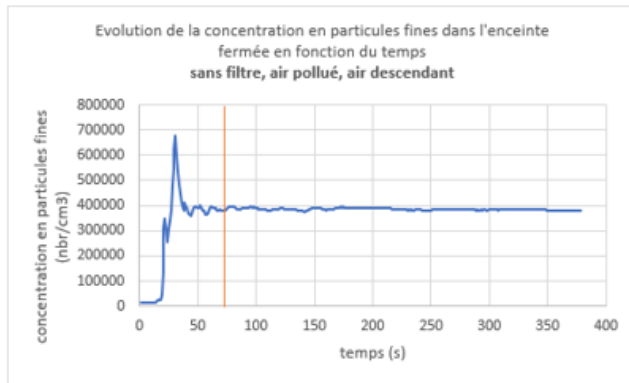
- Sans filtre vitesse de diminution = 25 particules/cm³/s
- Avec filtre vitesse de diminution = 151 particules/cm³/s

Comparaison filtre clio – filtre aspirateur air pollué



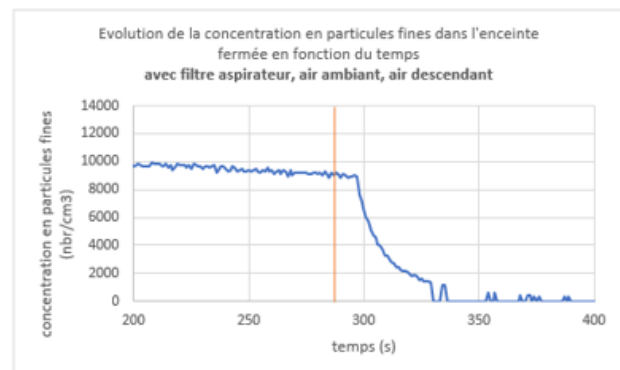
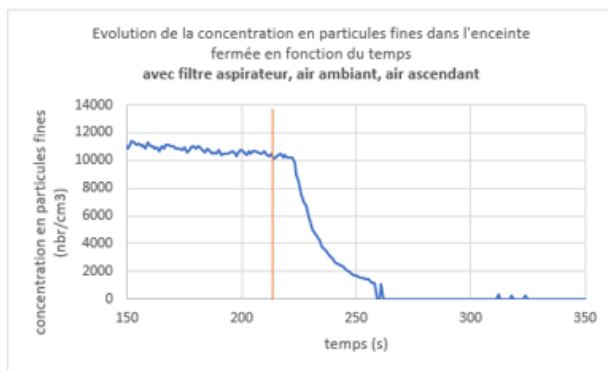
- Avec filtre clio vitesse de diminution = 1829 particules/cm³/s
- avec filtre aspirateur de diminution = 956 particules/cm³/s

Comparaison avec et sans filtre air pollué



- Sans filtre vitesse de diminution = 31 particules/cm³/s
- Avec filtre vitesse de diminution = 1829 particules/cm³/s

Comparaison selon le sens de circulation de l'air



- Air descendant vitesse de diminution = 221 particules/cm³/s
- Air ascendant vitesse de diminution = 247 particules/cm³/s

Conclusions :

- L'air ambiant contient entre 5000 et 11000 particules par cm³
- La combustion du papier dégage jusqu'à 400 fois plus de particules fines qu'il n'y en a dans l'air ambiant
- Le sens de circulation de l'air a peu d'effet sur les vitesses de diminution de la concentration en particules fines
- Le purificateur est plus efficace quand l'air est pollué
- Le filtre clio placé dans le purificateur est plus efficace que quand il n'y a pas de filtre
- Le filtre de l'aspirateur placé dans le purificateur est plus efficace que quand il n'y a pas de filtre
- Le filtre du purificateur est plus efficace que le filtre de l'aspirateur

Remarque : On observe que le filtre de l'aspirateur est moins efficace que le filtre de voiture. Comme pour les membranes biologiques (poumon, intestins), l'efficacité d'un filtre dépend de la loi de Fick concernant la diffusion des molécules.

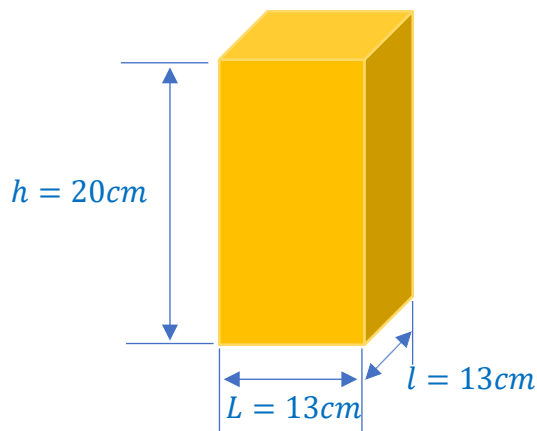
Pour qu'il y ait échanges gazeux, il est nécessaire que les gaz traversent les membranes (cellules en biologie et fibres pour le filtre). Ces mécanismes sont régis par **la loi de diffusion de la matière ou loi de Fick** selon laquelle le débit d'un gaz est proportionnelle à la surface d'échange, à la différence de pression, à la constante de diffusion du gaz et est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la membrane.

L'efficacité de ces échanges est donc facilitée par une fine épaisseur et par une importante surface d'échange. Le filtre de voiture remplit ces 2 critères et le ventilateur du purificateur influence la pression.

6. Durée de fonctionnement nécessaire

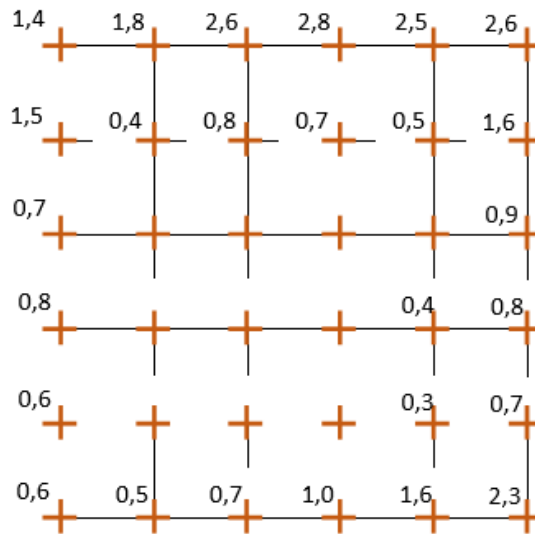
Durée de fonctionnement pour purifier une pièce de 9m^3 c'est-à-dire pour faire passer l'intégralité de l'air présent dans la pièce dans le volume du purificateur :

- Nous avons calculé le **volume** du purificateur.
C'est un parallélépipède rectangle dont les dimensions sont :



Son volume est donc : $V = L \times l \times h = 13 \times 13 \times 20 = 3\,380\text{ cm}^3 = 3,38\text{ dm}^3 = 3,38\text{ L}$

- Nous avons mesuré la vitesse de l'air à l'entrée et à la sortie du purificateur :
 - Mesures réalisées avec un thermo anémomètre
 - Toutes les valeurs sont en m/s.



Le ventilateur fonctionne avec un régime uniforme. Nous pouvons en conclure que l'aspiration de l'air est stable, que le purificateur d'air ne crée pas de dépression ou de surpression sur la colonne d'air entrante ou sortante. Nous avons un flux d'air constant.

Pour simplifier les calculs de débit volumique, nous considérerons que l'écoulement est uniforme. Le champ des vitesses n'est pas tout à fait constant mais pour simplifier l'étude, nous calculerons la vitesse moyenne de l'air circulant :

$$v_{moy} = 0,5125 \text{ m/s}$$

La durée moyenne de passage dans le purificateur d'une molécule à la vitesse v_{moy} est :

$$\Delta t = \frac{20,00}{51,25} = 0,39 \text{ s}$$

Le volume d'air contenu dans le purificateur (son volume) est donc renouvelé en 0,39 seconde.

Ceci correspond au débit volumique :

$$D_v = \frac{3,38}{0,39} = 8,67 \text{ L/s}$$

Calculons la durée qu'il faudrait pour faire passer la volume d'air d'une chambre de 9 m² d'une hauteur au plafond de 3m (Volume de V = 9 x 3 = 27 m³ = 27 000 dm³ = 27 000 L) :

$$\Delta t = \frac{27\,000}{8,67} = 3\,114 \text{ s} = 52 \text{ min}$$

7. Et pour la suite

- Nous travaillons à la réalisation d'une enceinte qui accueillerait le purificateur pour le rendre décoratif.
Nous avons réalisé un programme pour un modèle réalisable en plastique recyclé par une imprimante 3D.
Nous avons aussi fait appel à un sculpteur sur terre cuite pour qu'il réalise un prototype en terre cuite plus écologique.
Ceci laisserait le choix de l'enceinte décorative à l'acheteur.
- Nous allons associer un capteur de gaz au purificateur ce qui permettra à l'utilisateur de pouvoir vérifier la concentration en gaz dans la pièce

CONCLUSION

Avec notre purificateur, nous avons réussi à dépolluer un volume assez conséquent pour le domicile d'un particulier ou pour des bureaux dans une durée assez courte, de manière très efficace pour les sources de pollution fondamentales : pollens, particules fines et donc nous agissons pour la prévention des maladies respiratoires (allergies, irritation, rhume de foin...). Tout cela pour une somme dépensée assez raisonnable et l'achat du consommateur est motivé par l'apport de preuves scientifiques vérifiables.

Cette expérience nous a aussi permis de vivre une aventure scientifique géniale. Au cours de ces 2 années de travail, nous avons mis en œuvre une démarche scientifique et nous sommes allés au bout de notre projet. Nous avons aussi pu rencontrer des chercheurs et des scientifiques que nous remercions de nous avoir accompagnés :

- Julien Kammer : maître de conférences au LCE d'AMU
- Jim Grisillon : doctorant au LCE d'AMU
- Guy Willermoz du CEA

Annexe 1

Source : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

ODD n°3 Bonne santé et bien être

Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge

Cibles

3.4 D'ici à 2030, réduire d'un tiers, par la prévention et le traitement, le taux de mortalité prématurée due à des maladies non transmissibles et promouvoir la santé mentale et le bien-être

3.9 D'ici à 2030, réduire nettement le nombre de décès et de maladies dus à des substances chimiques dangereuses, à la pollution et à la contamination de l'air, de l'eau et du sol

ODD OMS n° 11 villes et communauté durable

Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables

Faits et chiffres :

En 2016, 90 % des citoyens respiraient un air insalubre, entraînant 4,2 millions de décès dus à la pollution de l'air ambiant. Plus de la moitié de la population urbaine mondiale était exposée à des niveaux de pollution atmosphérique au moins 2,5 fois plus élevés que les normes de sécurité.

Cible

11.6 D'ici à 2030, réduire l'impact environnemental négatif des villes par habitant, en accordant une attention particulière à la qualité de l'air et à la gestion, notamment municipale, des déchets.

ODD n°4 Education de qualité

Assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie

Cible

4.7 D'ici à 2030, faire en sorte que tous les élèves acquièrent les connaissances et compétences nécessaires pour promouvoir le développement durable, notamment par l'éducation en faveur du développement et de modes de vie durables...

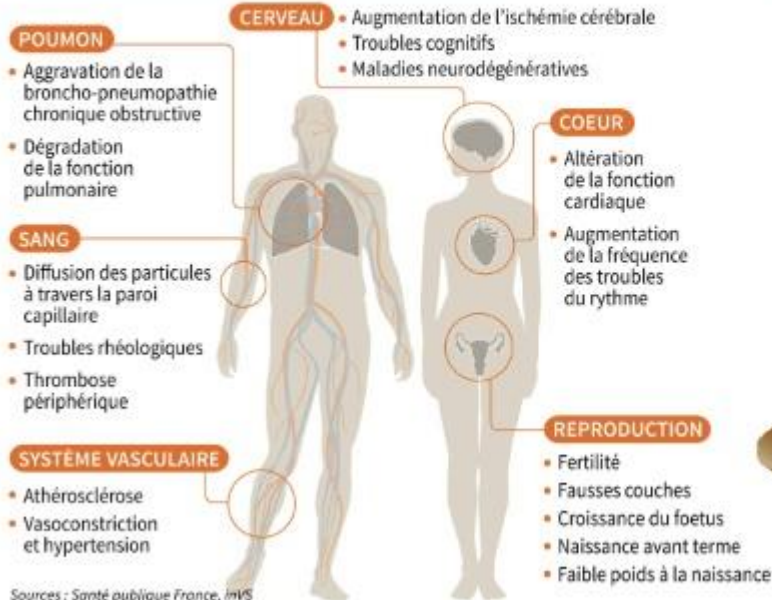
Annexe 2

Action des particules fines sur la santé

Les effets de la pollution de l'air

La pollution de l'air due aux particules fines est responsable de 48 000 décès par an en France

Principaux mécanismes d'action des particules fines



Sources : Santé publique France, INVS

Les particules fines



© AFP

Annexe 3
Bilan des essais effectués au LCE

essai	Type d'air	Type de filtre	Circulation de l'air	Heure mise en route purificateur
1	Air ambiant	Filtre clio sur purificateur Ventilateur en marche	Air descendant (du bas de l'enceinte vers le haut)	13 :01:32 1388
2	Air pollué (combustion papier : air 40x plus pollué)	Filtre clio sur purificateur Ventilateur en marche	Air descendant	13:24
3	Air ambiant	Filtre clio sur purificateur Ventilateur en marche	Air ascendant (du haut de l'enceinte vers le bas)	
4	air ambiant	Sans filtre sur purificateur Ventilateur en marche	Air ascendant	15:33 :05 93
5	Air ambiant	Filtre aspirateur sur purificateur Ventilateur en marche	Air ascendant	16:10 217
6-7	Air ambiant	Filtre aspirateur sur purificateur Ventilateur en marche	Air descendant	Pbe avec essai 6 6 - 16:24 7- 16:36:39 290
8	Air pollué (combustion papier) sans enlever le papier se consumant	Filtre aspirateur sur purificateur Ventilateur en marche	Air descendant	16:46:06 121
9	Air pollué (combustion papier) en enlevant le papier se consumant	Filtre aspirateur sur purificateur Ventilateur en marche	Air descendant	17:01:18 156
10	Air pollué (combustion papier) sans enlever le papier se consumant papier) sans enlever le papier se consumant	Sans filtre ventilateur en marche	Air descendant	17:13:37 137
11	Air pollué (combustion papier) sans enlever le papier se consumant papier) en enlevant le papier se consumant	Sans filtre ventilateur en marche	Air descendant	17:21:08
12	Air pollué (combustion papier) en enlevant le papier se consumant	Filtre clio sur purificateur Ventilateur en marche	Air descendant	17:37:13 119