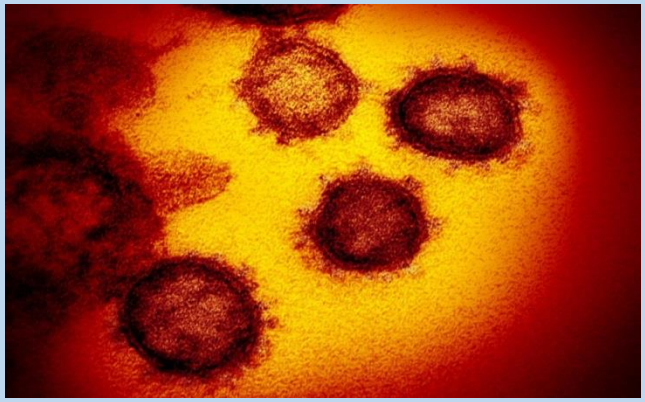
Haut Conseil de la Santé Publique



Quelles solutions de remédiation en air intérieur face au SARS-CoV-2 ?

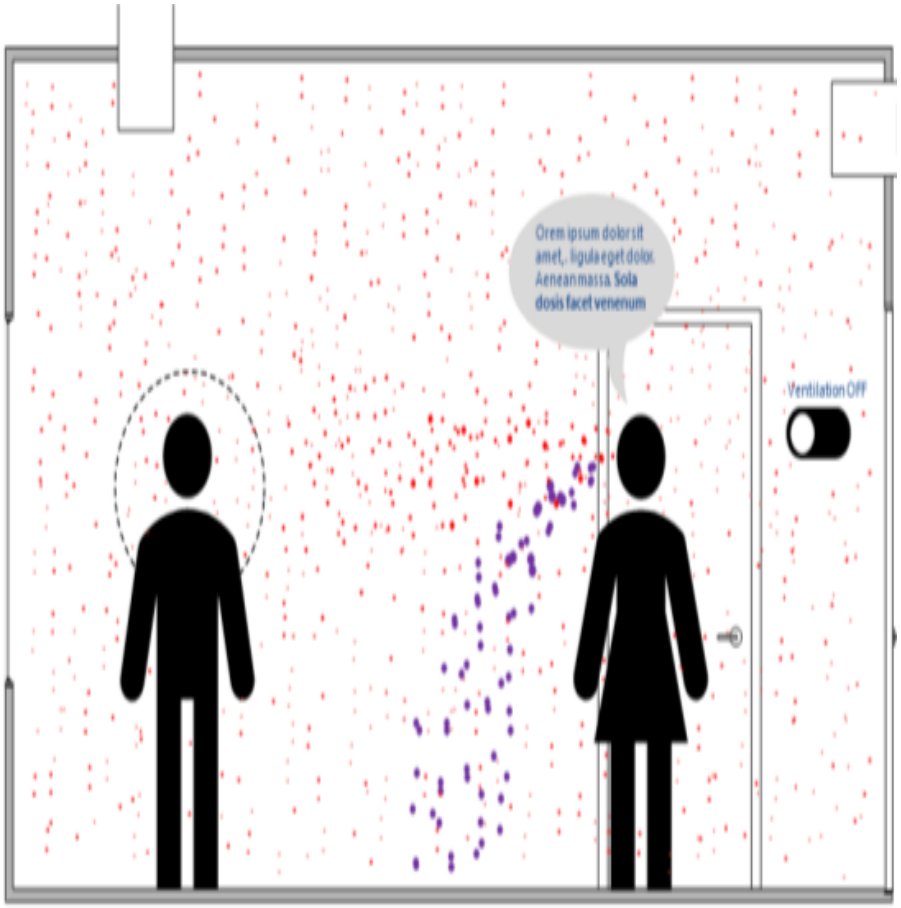
Docteur Fabien Squinazi

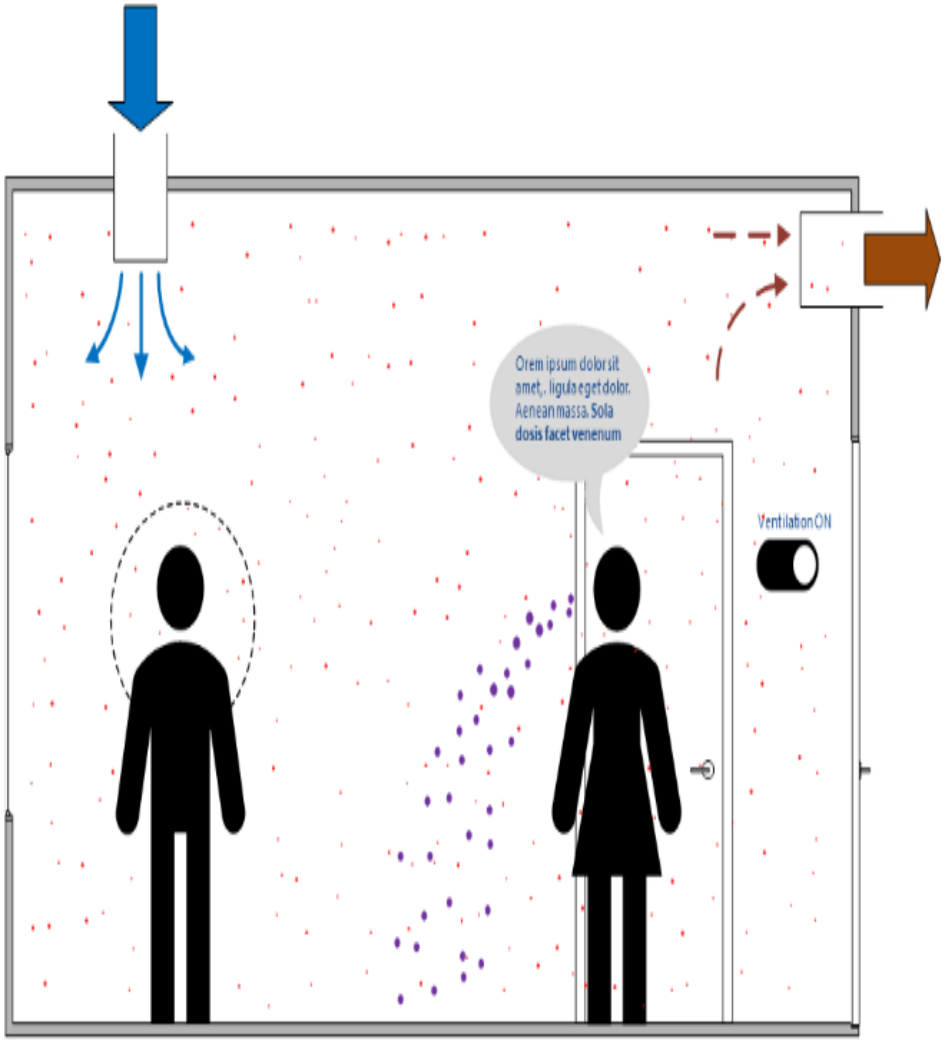
Médecin biologiste

Ancien Directeur du Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris

Membre du Haut Conseil de la santé publique

AIRLAB SOLUTIONS POUR NOTRE AIR


Orem ipsum dolor sit amet,. ligula eget dolor. Aenean massa. Sola dosis facet venenum
Ventilation OFF


Orem ipsum dolor sit amet,. ligula eget dolor. Aenean massa. Sola dosis facet venenum
Ventilation ON

Trois circonstances défavorables en espaces clos pour une transmission aéroportée du virus SARS-CoV-2 (CDC Atlanta)

- **les espaces clos** où une personne infectée expose des personnes, soit en leur présence, soit très rapidement après qu'elle ait quitté l'espace clos
- **une exposition prolongée à des aérosols oro-pharyngés**, souvent générés par un effort respiratoire (par exemple, en criant, chantant, un exercice physique) qui augmente la concentration des particules virales en suspension dans l'air de l'espace
- **une ventilation ou un traitement de l'air inadéquat** qui a permis une accumulation de particules virales en suspension dans l'air.

Influence/ impact des systèmes de ventilation/ climatisation/ chauffage

Le renouvellement d'air des locaux

- apporte un **air neuf** et pourvoit aux besoins d'oxygène des occupants
- évacue les **odeurs** et les **polluants** qui s'accumulent
- élimine l'**excès d'humidité**
- fournit aux **appareils à combustion** l'**oxygène** nécessaire pour leur bon fonctionnement

Un renouvellement d'air insuffisant

- confinement
- excès d'humidité
- combustion incomplète
- accumulation des polluants intérieurs et des micro-organismes
- prolifération des micro-organismes (chaleur – humidité - nutriments)

Obligations de l'employeur en fonction des caractéristiques des locaux

- Règles applicables à l'aération, la ventilation et l'assainissement des locaux de travail selon la nature et les caractéristiques des locaux

  - <u>Locaux à pollution non spécifique</u>

  ⇨ pollution liée à la seule présence humaine, à l'exception des locaux sanitaires

  ⇨ assainissement assuré :

  - soit par **ventilation naturelle permanente**
  - soit par **ventilation mécanique**

La ventilation naturelle permanente

(*Articles R.4222-3 à R.4222-5 du Code du travail*)

- Aération par :
  - ⇨ ouvrants donnant directement sur l'extérieur
  - ⇨ des portes ou des fenêtres, par exemple, accessibles aux occupants des locaux
- Ventilation naturelle par tirage thermique
  - ⇨ assurée par le vent ou par l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur
- Volume par occupant :
  - ⇨ ≥ 15 m^3 : bureaux ou locaux avec travail physique léger
  - ⇨ ≥ 24 m^3 : autres locaux

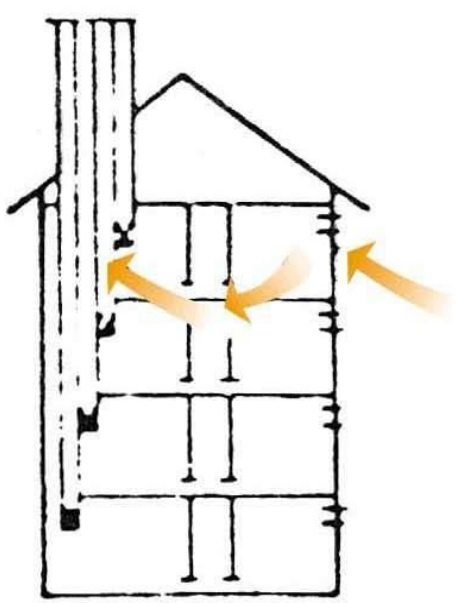
La ventilation mécanique

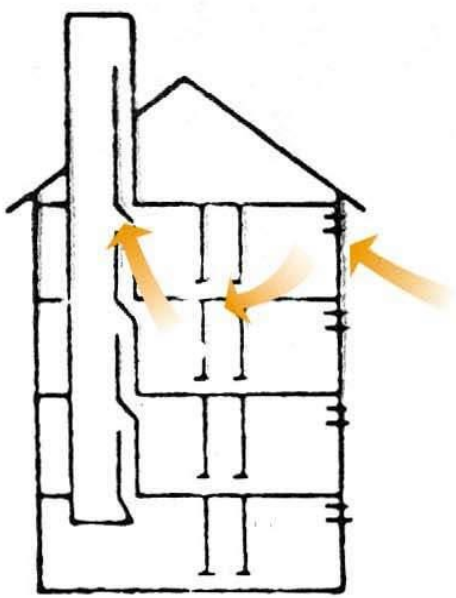
(*Art. R.4222-2 du Code du travail*)

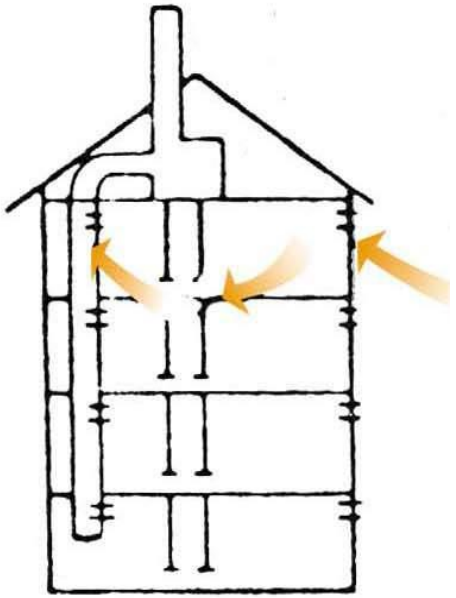
- Ventilation par :
  - ⇨ installation mécanique
  - ⇨ installation toujours **mise en marche avant l'occupation** des locaux
  - ⇨ **débit minimal d'air neuf** à introduire par occupant
  - ⇨ **air neuf** pris directement **à l'extérieur**
    - ➢ sans transit dans d'autres locaux
    - ➢ peut être mélangé à de l'air recyclé, sans réduire les débits d'air neuf prescrits

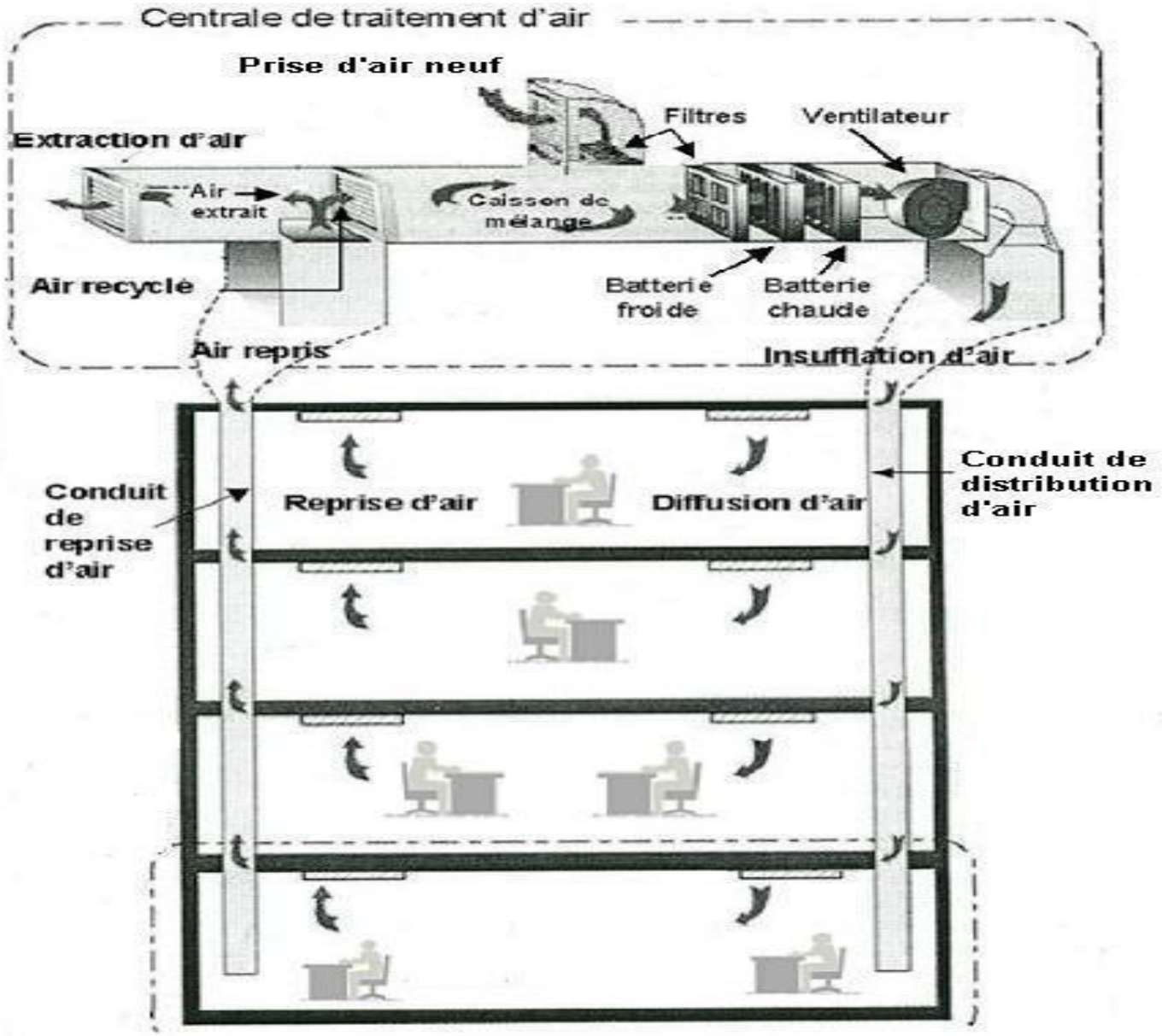
Les systèmes de ventilation

Ventilation naturelle individuelle et collective - VMC





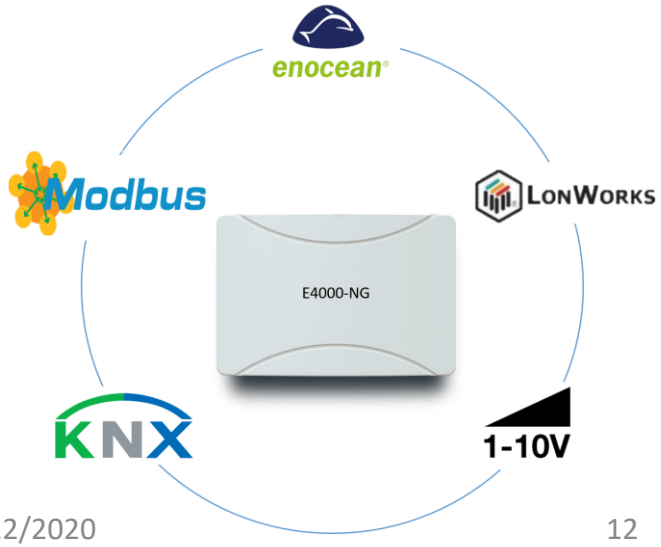



Centrale de traitement d'air
Prise d'air neuf
Filtres
Ventilateur
Extraction d'air
Air extrait
Caisson de mélange
Air recyclé
Batterie froide
Batterie chaude
Air repris
Insufflation d'air
Conduit de distribution d'air
Conduit de reprise d'air
Reprise d'air
Diffusion d'air

La mesure du CO_2 dans un local occupé : un indicateur du renouvellement d'air

- Les conditions d'aération/ ventilation et le nombre de personnes **sont adaptés selon la mesure du CO_2** à des endroits significatifs de la fréquentation du local

- Une valeur inférieure à **800 ppm de CO_2** est recommandée (HCSP)



Contrôle périodique à l'initiative de l'employeur pour les locaux à pollution non spécifique

Au moins **une fois par an**, les opérations suivantes doivent être effectuées par un organisme de contrôle agréé et leurs résultats portés sur le dossier de maintenance :

- Contrôle du **débit** global minimal **d'air neuf** de l'installation
- Examen de l'état des éléments de l'installation (système d'introduction et d'extraction, gaines, ventilateurs), et, plus particulièrement, de la présence et de la **conformité des filtres de rechange** par rapport à la fourniture initiale (caractéristiques, classe d'efficacité), de leurs dimensions, de leur perte de charge
- **Examen de l'état des systèmes** de traitement de l'air (humidificateur, batterie d'échangeurs)
- **Contrôle des pressions statiques ou des vitesses d'air** aux points caractéristiques des installations

Systèmes d’épuration d’air dans les locaux et dans les installations de traitement d’air

Les systèmes d'épuration d'air

Systèmes aérauliques

- **Systèmes ventilation**
  - passifs (filtres)
  - actifs
- **Systèmes autonomes**
  - plafonnier
  - console murale
  - unité mobile

Matériaux fonctionnalisés

- **Composants réseau**
- **Matériaux d'ambiance**
  - photo-actifs
  - adsorbants physiques ou chimiques

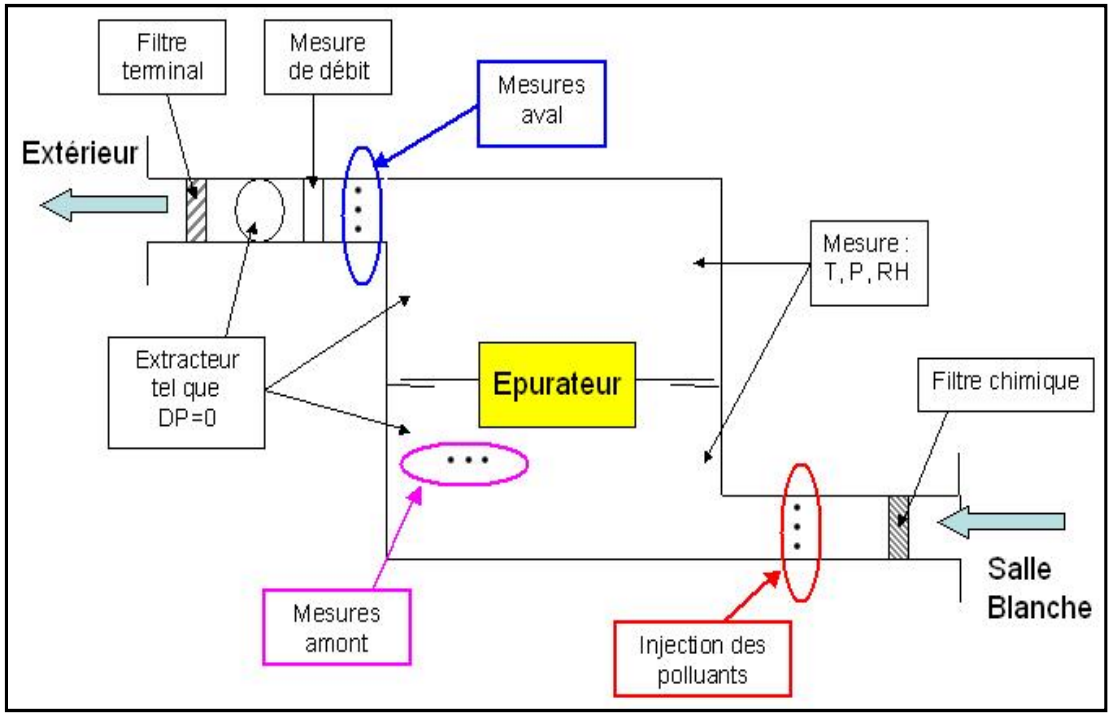
Technologies d'épuration d'air

- **Techniques de captage ou de piégeage**
  - filtration mécanique
  - ionisation de l'air et filtration électronique
  - adsorption sur charbons actifs et zéolithes

- **Techniques destructives**
  - filtres mécaniques biocides
  - rayonnement ultraviolet
  - plasma froid
  - photocatalyse

Banc d'essais

- Principe, fonctionnement
  - Banc de type conduit



Epurateurs d'air autonomes pour applications tertiaires et résidentielles - Méthode d'essais – Performances intrinsèques Norme B 44-200 Mai 2016

- Mesure du débit d'air
- Mesure de l'efficacité d'épuration vis-à-vis des
  - **Particules inertes** : DEHS (EN 779 et EN 1822)
  - **Gaz** : mélange acétone, acétaldéhyde, heptane, toluène
  - **Microorganismes** : *Staphylococcus epidermidis* et *Aspergillus brasiliensis - niger* (Annexe informative)
  - **Allergènes de chat**
- Mesure des produits intermédiaires de réaction
- Calcul du débit d'air épuré
- Mesure de la puissance acoustique
- [Aéraulique des épurateurs d'air]

Qualification énergétique et sanitaire des systèmes d'épuration intégrés aux réseaux de ventilation étude ADEME (28 janvier 2015)

Appareil	Bactéries	Champignons	Ozone
Filtration particulaire et moléculaire	83 %	99 %	-
Electrofiltration /ionisation négative/plasma	80 -100 %	100 %	80 mg/h
Filtre + photocatalyse lampes allumées lampes éteintes	 100 % 100 %	 60 – 80 % 60 – 80 %	-
UVC / plasma froid	0	0	
Electrofiltration	80 -100 %	100 %	60 mg/h
Ionisation négative / plasma	0	0	-

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

ANNEXES TECHNIQUES

Le débit minimal d'air extrait (m^3/h) dans les logements
Règlement sanitaire départemental type

Nb de pièces principales	Cuisine	Salle de bain	Cabinet d'aisance
1	**75**	**15**	**15**
2	**90**	**15**	**15**
3	**105**	**15**	**15**
4	**120**	**30**	**30**
5 et plus	**135**	**30**	**30**

Le débit minimal d'air extrait (m^3/h) dans les logements
Règlement sanitaire départemental type

Nb de pièces principales	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Débit total minimal logement	**35**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**
Débit réduit minimal en cuisine	**20**	**30**	**45**	**45**	**45**	**45**	**45**
Débit total avec modulation automatique	**10**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**

Ventilation mécanique

(*Art. R.4222-6 du Code du travail*)

Désignation des locaux	**Débit minimal d'air neuf par occupant**
Bureaux, locaux sans travail physique	**25 m^3/h**
Restauration, vente, réunion	**30 m^3/h**
Ateliers et locaux avec travail physique léger	**45 m^3/h**
Autres ateliers et locaux avec travail soutenu, intense	**60 m^3/h**

Etablissements recevant du public (Circulaire du 9 août 1978)

Salles de classe : maternelles, primaires et secondaires du 1er cycle	14 m^3/h
Salles de classe : secondaires du 2ème cycle et universitaires	18 m^3/h
Chambres, dortoirs, salles de repos	18 m^3/h
Bibliothèques, bureaux de poste, banques	18 m^3/h
Salles de spectacle, clubs, foyers	18 m^3/h
Boutiques, supermarchés	22 m^3/h
Cafés, bars, restaurants	22 m^3/h
Piscine (par sportif) **Autres locaux (par sportif)** **Locaux à usage sportif (par spectateur)**	22 m^3/h 25 m^3/h 18 m^3/h

Le recyclage de l'air
(*Art. R.4222-8 du Code du travail*)

- L'air recyclé dans un local à pollution non spécifique :

  - est l'air repris et réintroduit dans un local ou un groupe de locaux
  - doit être filtré
  - doit être arrêté , en cas de panne du système d'épuration ou de filtration
  - ne peut provenir d'un local à pollution spécifique

Obligations du maître d'ouvrage lors de la conception des locaux à pollution non spécifique

- Conception des installations
  - assurer le renouvellement de l'air en tout point des locaux
  - ne pas provoquer, dans les zones de travail, de gêne résultant notamment de la vitesse, de la température et de l'humidité de l'air, des bruits et des vibrations (*Article R.4212-2 du Code du travail*)

- La filtration de l'air
  - prévoir un système de filtration de l'air neuf en cas de risque de pollution par des particules solides et d'introduction mécanique (*Article R.4212-5 du Code du travail*)
  - prendre les mesures nécessaires pour éviter la pénétration d'air pollué en provenance de locaux à pollution spécifique

EPURATEURS D'AIR AUTONOMES POUR APPLICATIONS TERTIAIRES ET RÉSIDENTIELLES

Mesure des performances intrinsèques et de l'innocuité

Le développement d'une méthode d'essai (septembre 2009)

- Programme (expérimental)
  - Montage et validation d'un banc d'essais
  - Essais de 2 appareils du marché
- Partenaires
  - ADEME et DGS (financeurs)
  - EDF
  - GRA (Hôpitaux de Strasbourg)
  - LEPTIAB (Université La Rochelle)
  - LHVP (Mairie de Paris)
  - TERA Environnement

Méthodes

- Paramètres mesurés
  - Débit d'air (Q)
  - Concentrations en polluants amont (C_{am}) et aval (C_{av})
  - Produits de réaction (ozone, formaldéhyde, etc.)

- Performances calculées
  - Efficacité d'épuration (E)

$$E = \left(\frac{C_{am} - C_{av}}{C_{am}}\right)$$

  - Débit d'air épuré (Qae)

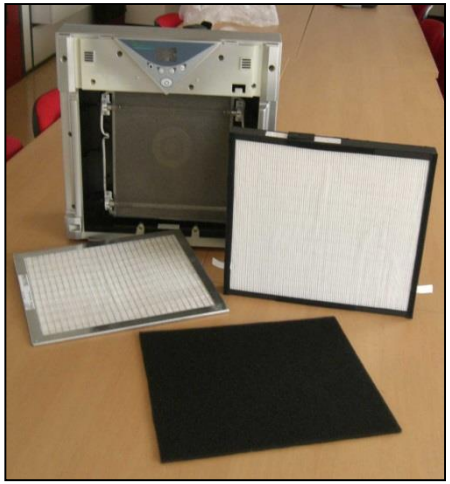
$$Qae = E \times Q$$

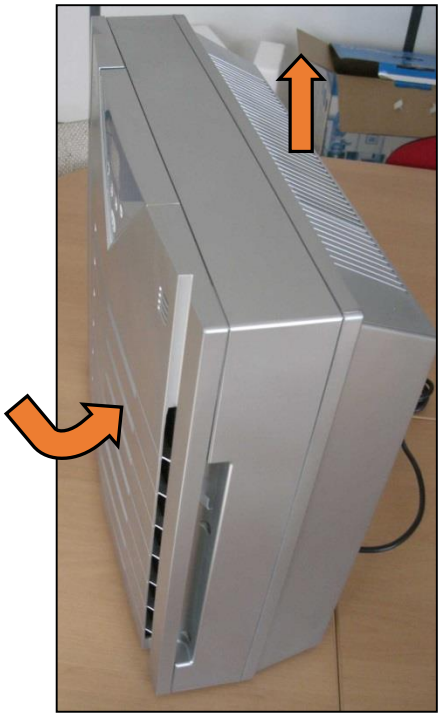
Polluants d'essais

- Particules inertes
  - Latex (0,2 à 5 µm)
- Gaz
  - Toluène
- Microorganismes
  - Bactérie : *Staphylococcus epidermidis*
  - Champignon : *Aspergillus brasiliensis (niger)*
- Allergènes de chat
  - Felis domesticus 1

Epurateurs en essais

- Epurateur E1
  - Préfiltre mousse + filtre mécanique F6 + filtre photocatalytique + filtre final (grille)
  - Débit d'air annoncé : 100 à 440 m³/h



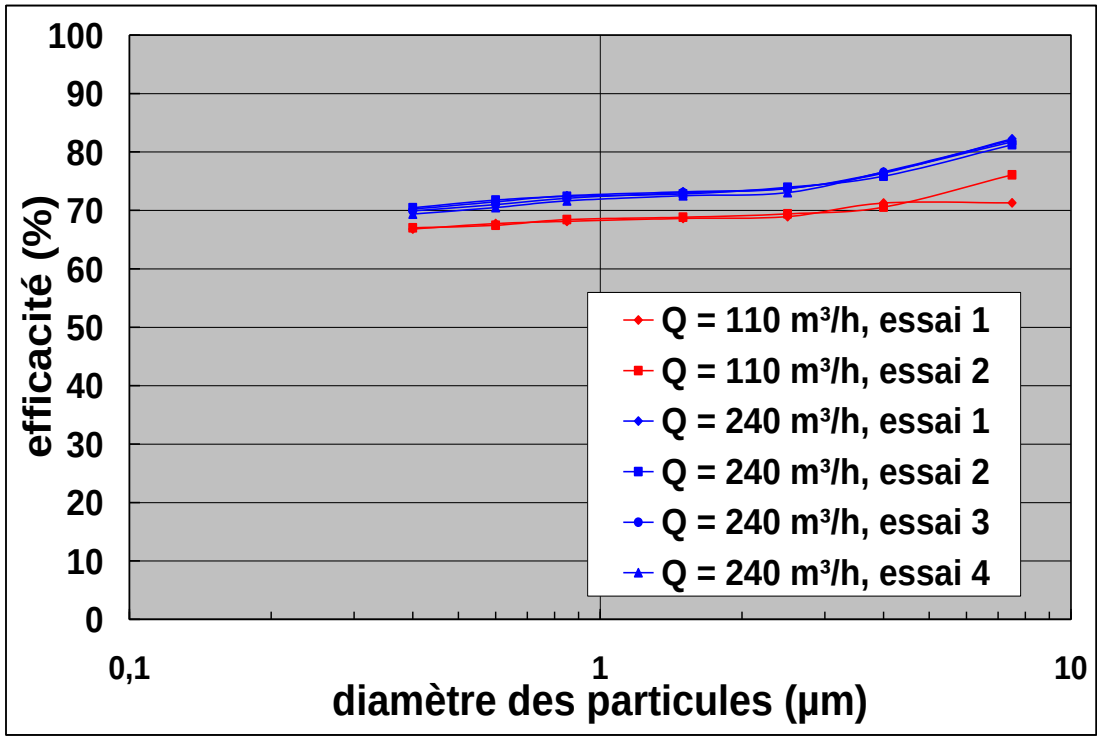


Epurateurs en essais

- Epurateur E2
  - Préfiltre métallique + cellule électrostatique + charbons actifs
  - Débit d'air annoncé : 200, 300 et 400 m³/h

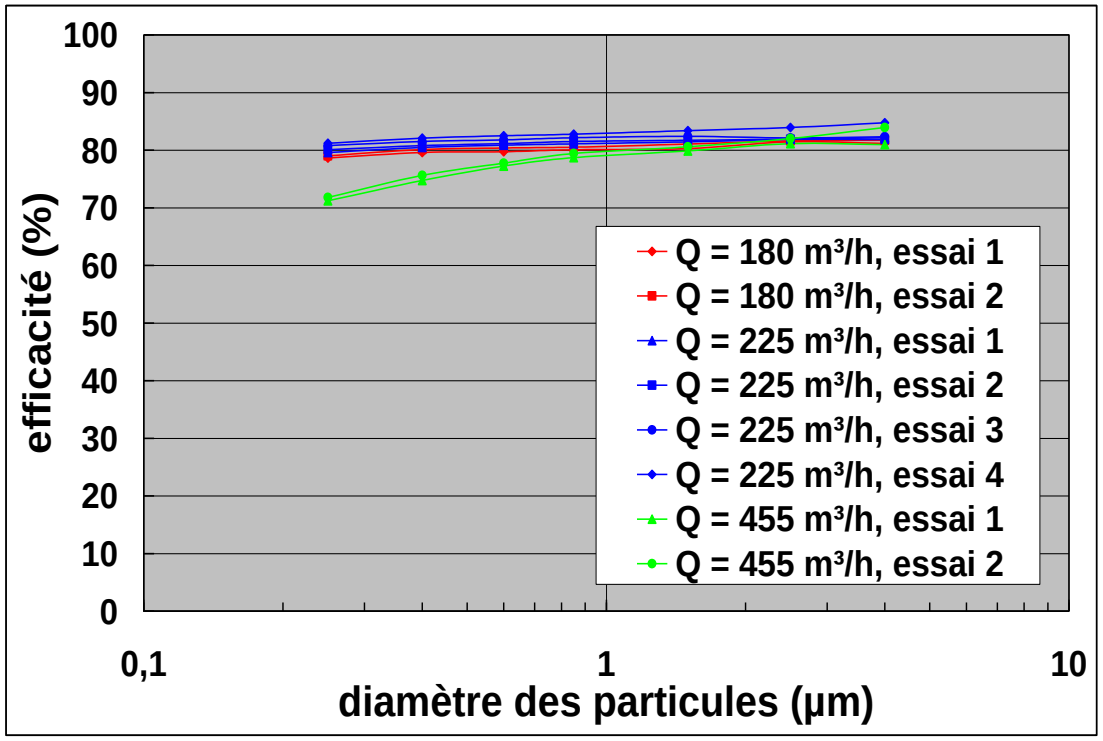
L'efficacité sur les particules inertes

- Epurateur E1 (filtre photocatalytique)
  - ➢ Bonne répétabilité



L'efficacité sur les particules inertes

- Epurateur E2 (filtre électrostatique)
  - ➢ Bonne répétabilité



L'efficacité sur les allergènes

- Allergènes de chat
  - ➢ Cohérence avec les résultats obtenus avec les particules inertes

Vitesse	Epurateur E1	Epurateur E2
1	-	95,0
2	77,0	83,9
3	83,6	-
4	-	

L’efficacité sur les bactéries

- *Staphylococcus epidermidis*

Vitesse	Epurateur E1	Epurateur E2
1	-	75,0
2	83.0	77,0
2 (sans photocatalyse)	58.0	-
3	91.0	-

L’efficacité sur les champignons

- *Aspergillus brasiliensis (niger)*

Vitesse	Epurateur E1	Epurateur E2
1	-	81,0
2	52,0	57,0
2 (sans photocatalyse)	53.0	-
3	76,0	-

L’efficacité sur les gaz (toluène)

- Des valeurs très faibles

Epurateur	Vitesse du ventilateur	Débit d’air (m^3/h)	Concentration Amont (ppbV)	Efficacité (%)
E1	2	115	70	**1,5**
	3	240	95	**4,3**
E2	2	240	78	**5,0**
	3	470	78	**3,2**

Calcul du débit d'air épuré des épurateurs

	Débit d'air épuré (m^3/h)				
	Epurateur E1		Epurateur E2		
	Vitesse 2	Vitesse 3	Vitesse 1	Vitesse 2	Vitesse 3
Particules (0,3 – 0,5 µm)	74	168	-	183	341
Particules (1,0 – 2,0 µm)	76	174	-	187	364
Particules (3,0 – 5,0 µm)	78	184	-	188	375
Toluène	2	10	-	12	15
Allergènes de chat	85	198	193	244	-
S. epidermidis	91	218	135	173	-
A. niger	57	182	146	128	-

Les produits intermédiaires de réaction

- Valeurs très faibles sauf pour l'ozone (filtre électrostatique)

Epurateur	Ozone (ppbV)	Formaldéhyde (ppbV)	Autres composés organiques secondaires (ppbV)
E1	Non significatif	~ 1 ppbV	acides acétique et formique, acétaldéhyde, butanal ~ 1 ppbV Acétone ~ 50 ppbV
E2	~ 10 ppbV en présence de toluène	Non significatif	Non significatif