

Annexe B : Purificateurs d'air mobiles pour les écoles et les structures d'accueil

Annexe à la documentation «Air propre - maintenant!» pour les communes et cercles scolaires, présentée par [#ProtectTheKids](#), v1.21 (22.09.2022), mise à jour le 04.10.2022.

Cette annexe s'adresse à la présidence des Commissions scolaires et aux autorités scolaires dans les communes et les cercles scolaires, aux décideurs en matière d'éducation et de santé, ainsi qu'aux personnes qui s'occupent de la technique du bâtiment et de la climatisation des locaux.

Auteurs :

Andrea Hadorn-Stuker
Educatrice lic. phil. I et MSc

Fredy Neeser
Dr. sc. techn. ETH

Traduction :

Dalit Rechavi-Robinson
Ph. D.

Membre du comité directeur

Conseil scientifique

Contact :

[#ProtectTheKids](#)
medien@protect-the-kids.ch

B.1. Dimensionnement, critères d'achat et considérations pratiques pour les purificateurs d'air mobiles dans les écoles

Les aérosols peuvent être éliminés de l'air intérieur par la ventilation et par la filtration HEPA à l'aide de purificateurs d'air mobiles ou de filtres intégrés dans un système de climatisation. Les débits volumétriques de ventilation et de filtration, mesurés en mètres cubes par heure ou en renouvellements d'air par heure (taux de renouvellement d'air ou *Air Change Rate*, ACR), sont donc [additifs quant à leur effet de réduction des aérosols](#). Pour éliminer et diluer efficacement les aérosols respiratoires dans les salles de classe de taille standard (surface de 72 m², volume d'environ 200 m³) occupées par 25 adolescents, un taux cumulé de [5 à 6 renouvellements d'air par heure \(ACR_{aérosol}\)](#) combinant ventilation et filtration est recommandé.

Le paramètre le plus important d'un purificateur d'air mobile est son Clean Air Delivery Rate maximal (CADR ou CADR_{max}) en mètres cubes par heure, c'est-à-dire le débit maximal d'air pur que le purificateur d'air peut générer à la vitesse maximale du ventilateur. Lors du dimensionnement, il faut toutefois tenir compte du fait qu'en fonctionnement normal, il ne faut pas partir du CADR_{max}, mais du CADR_{normal}, c'est-à-dire du CADR à une vitesse moyenne du ventilateur. Si l'on part d'un fonctionnement normal à

$$\text{CADR}_{\text{normal}} = 0.5 \times \text{CADR}_{\text{max}}$$

pour un seul appareil, avec N appareils on obtient un

$$\text{CADR}_{\text{total}} = N \times \text{CADR}_{\text{normal}}$$

Dans une salle densément occupée, il y a de nombreuses raisons de choisir N de manière à ce que les purificateurs d'air atteignent le $CADR_{total}$ souhaité dès la vitesse moyenne du ventilateur :

1. **Niveau sonore** : Les purificateurs d'air disponibles actuellement sont silencieux à basse/moyenne vitesse, mais bruyants à vitesse maximale.
2. **Positionnement #1** : Pour une qualité d'air uniforme, les purificateurs d'air doivent être positionnés de manière bien répartie à proximité des personnes, à une distance minimale d'environ 1 mètre des personnes. Un plus grand nombre de purificateurs d'air permet une répartition plus uniforme. Le positionnement à proximité des personnes garantit que le flux d'air purifié dirigé vers le haut soutienne le flux d'air naturellement dirigé vers le haut qui se forme à proximité des personnes en raison de leur chaleur corporelle ; il favorise ainsi le transport de l'air pollué vers le haut selon le principe de la ventilation par déplacement. Idéalement, l'air vicié est efficacement éliminé ou purifié des aérosols dans la partie supérieure de la salle.
 - a. Si l'air vicié n'est pas éliminé efficacement dans la partie supérieure de la salle, il redescend de préférence le long des parois fraîches.
 - b. Si l'on installe des purificateurs d'air le long des parois, cela pourrait provoquer des turbulences qui ramèneraient l'air pollué horizontalement dans la salle.
3. **Positionnement #2** : L'air purifié dirigé vers le haut ne doit pas être dévié par des obstacles tels qu'un plateau de table, pour ne pas créer de courants de court-circuit qui réduiraient l'efficacité du filtrage.
4. **Turbulences** : Les vitesses élevées du ventilateur ont tendance à provoquer des turbulences dans le flux d'air. Ces turbulences pourraient entraîner une dispersion horizontale indésirable des aérosols, mais elles sont réduites par une vitesse de ventilateur plus faible en fonctionnement normal.
5. **Mode turbo** : Dans des situations particulières, lorsque le niveau sonore n'est pas important, il est utile de disposer d'une capacité de filtration supplémentaire. Ainsi, en cas de risque accru d'infection, on pourrait faire fonctionner les purificateurs d'air à la vitesse maximale pendant les pauses.

La ventilation et la filtration entraînent une dilution des aérosols en les mélangeant avec le reste de l'air intérieur. La concentration de CO_2 ne peut être réduite que par la ventilation, l'air intérieur étant remplacé par l'air extérieur. Ce fait ne doit toutefois pas conduire à se fier exclusivement à la ventilation ou à «l'aération», car les taux de renouvellement d'air de la ventilation et de la filtration se cumulent à l' $ACR_{aerosol}$, c'est-à-dire au nombre de renouvellements d'air par heure contribuant à la réduction des aérosols.

Cela vaut en particulier pour les bâtiments scolaires conformes à la norme Minergie et, de manière générale, pour les salles de classe équipées d'installations de ventilation dans lesquelles l'air est recyclé afin d'améliorer l'efficacité énergétique. L'expérience acquise lors de nombreux événements de superspreading du SARS-CoV-2 montre que l'air recirculé doit être purifié par filtration HEPA, que ce soit à l'aide de purificateurs d'air mobiles ou en adaptant le système de climatisation, comme l'indique le [Groupe d'experts pour des bâtiments adaptés à la pandémie dans sa stratégie](#). Pour tous les systèmes de ventilation qui ne disposent pas d'un filtre HEPA, il est impératif de travailler avec 100 % d'air frais et 0 % d'air recyclé.

Exemple : une salle de classe avec un volume $V = 200 \text{ m}^3$ et une ventilation par fenêtres basculantes. Des mesures effectuées avec 25 élèves à une température extérieure de 4 degrés Celsius montrent que la concentration en CO_2 ne dépasse pas 1200 ppm. On peut en déduire que la ventilation a un $ACR \approx 2.7/h$. Pour atteindre un taux de réduction des aérosols $ACR_{aerosol} = 6/h$, il est donc nécessaire de filtrer à un taux de

$$ACR_{\text{filtration}} \geq ACR_{\text{aerosol}} - ACR_{\text{ventilation}} = 3.3/h.$$

Ainsi, les purificateurs d'air (N appareils) doivent atteindre une filtration d'au moins

$$CADR_{\text{total}} = V \times ACR_{\text{filtration}} = 660 \text{ m}^3/h$$

en fonctionnement normal. Par appareil, il faut donc une capacité de filtration de

$$CADR_{\text{normal}} = CADR_{\text{total}} / N.$$

Des purificateurs d'air mobiles bon marché sont disponibles chez [Xiaomi](#), [Philips](#), Dyson et d'autres fabricants. Les [kits de bricolage](#) conviennent également aux projets innovants et instructifs en matière de technologie et d'environnement.

Un autre critère important est la facilité d'utilisation et donc le contrôle des appareils par WLAN :

Les applications «Xiaomi Home» de Xiaomi et «Air+» (ex «Clean Home+») de Philips disposent d'une fonction de planification hebdomadaire qui permet de régler de manière flexible les heures de mise en marche et d'arrêt pour chaque jour de la semaine. Pour une utilisation aussi efficace que possible, il est recommandé de configurer le plan hebdomadaire de manière à ce que les appareils démarrent automatiquement au début de la journée scolaire et s'éteignent environ une heure après les leçons. De plus, les applications vous rappellent lorsqu'il est temps de remplacer les filtres. En outre, elles disposent d'une fonction de «contrôle parental» pour garantir que les appareils ne puissent pas être reprogrammés par des personnes non-autorisées. Les appareils peuvent être commandés par les personnes autorisées via smartphone et WLAN.

À la mi-juillet 2022, la disponibilité des produits Xiaomi s'est améliorée. Jusqu'au début du mois de septembre 2022, les prix de plusieurs modèles ont baissé d'environ 10 %, mais la disponibilité et les prix peuvent changer rapidement si la demande augmente à l'automne.

Il faut noter que le CADR des purificateurs d'air mobiles n'est pas suffisant pour les grandes halles d'entrée, les gymnases, les piscines et les longs couloirs. Pour ces espaces, nous recommandons une aération fréquente ou (mieux) une ventilation mécanique suffisante, si possible combinée à une récupération de chaleur, ainsi que l'équipement des systèmes de climatisation existants ou prévus avec des filtres HEPA.

Note : **#ProtectTheKids** n'entretient aucune relation commerciale avec les fabricants de purificateurs d'air et ne garantit pas que l'information sur leurs produits est complète et exacte.

B.2. Exemples de produits et variantes de budgétisation

Exemple 1 (salle de classe de 70 m², 200 m³) : 4 x Philips AC2889/10 à 274 CHF

- CADR¹ : jusqu'à 333 m³/h
- Filtre
 - Type de filtre : Philips HEPA-Filter; P/N (fabricant) : FY2422/30
 - Type de filtre : Filtre à charbon actif Philips; P/N (fabricant) : FY2420/30
- Capacité de filtration de 4 appareils
 - $ACR_{filtration} = 3.3$ renouvellements d'air / h à une vitesse moyenne des ventilateurs
 - $ACR_{filtration} = 6.6$ renouvellements d'air / h à la vitesse maximale des ventilateurs
- Maintenance et coûts d'entretien
 - Nettoyage du capteur de qualité de l'air : tous les 2 mois
 - Nettoyage du préfiltre : tous les 2 mois
 - Remplacer le filtre HEPA FY2422/30 : après env. 24 mois
 - 49.90 CHF ; ca. 25 CHF / an
 - Remplacer le filtre à charbon actif FY2420/30 : après env. 12 mois
 - 36 CHF ; ca. 36 CHF / an
 - Total des frais d'entretien (4 appareils) : env. 244 CHF / an
- Niveau sonore, par appareil : 19 à 55 dB
- [Niveau sonore avec pondération A](#), par appareil : 32 à 64 dB(A)
- Contrôle par app (WLAN) : oui, également pour plusieurs appareils
- Mise en marche et arrêt avec programmation sur 7 jours : oui
- Consommation d'énergie, par appareil : 2 W (en veille) à 56 W (max.)
- Durée de vie : env. 8 ans
- Indication de prix : 29.8.2022

Exemple 2 (salle de classe 70 m², 200 m³) : 2 x Philips AC4236/10 (Series 4000i) à 550 CHF

- CADR: jusqu'à 500 m³/h
- Filtre
 - Type de filtre : Philips NanoProtect filtre (filtre combiné HEPA et charbon actif) ; P/N (fabricant) : FY4440/30
- Capacité de filtration pour 2 appareils
 - $ACR_{filtration} = 2.5$ renouvellements d'air / h à une vitesse moyenne des ventilateurs
 - $ACR_{filtration} = 5.0$ renouvellements d'air / h à la vitesse maximale des ventilateurs
- Maintenance et coûts d'entretien
 - Nettoyage du capteur de particules : tous les 2 mois
 - Nettoyage de la surface du filtre : tous les 2 mois
 - Remplacer le filtre combiné FY4440/30 : après env. 24 mois
 - 90.70 CHF ; env. 45 CHF / an
 - Total des frais d'entretien (2 appareils) : env. 91 CHF / an
- Niveau sonore par appareil : 18 dB (mode veille) à 57 dB (mode turbo)
- Niveau sonore avec pondération A, par appareil : pas disponible
- Contrôle par app (WLAN) : oui, également pour plusieurs appareils
- Mise en marche et arrêt avec programmation sur 7 jours : oui
- Consommation d'énergie, par appareil : 2 W (en veille) à 60 W (max.)
- Durée de vie : env. 8 ans
- Indication de prix : 29.8.2022

¹ CADR: Clean Air Delivery Rate.

Exemple 3 (salle de classe 70 m², 200 m³) : 3 x Xiaomi MI Air Purifier Pro H à 260 CHF

- CADR : jusqu'à 600 m³/h
- Filtre : Xiaomi filtre HEPA pour "Air Purifier Pro H".
 - Type de filtre : 3 niveaux : préfiltre, filtre HEPA classe H13, charbon actif
 - P/N (fabricant) : XM200040-1
- Capacité de filtration pour 3 appareils
 - $ACR_{filtration} = 4.5$ renouvellements d'air / h à une vitesse moyenne des ventilateurs
 - $ACR_{filtration} = 9.0$ renouvellements d'air / h à la vitesse maximale des ventilateurs
- Maintenance et coûts d'entretien
 - Nettoyage du capteur de particules : tous les 2 mois
 - Nettoyage de la surface du filtre : tous les 2 mois
 - Xiaomi filtre HEPA pour "Air Purifier Pro H" (durée d'utilisation env. 6 mois) :
 - 51 CHF ; env. 102 CHF / an
 - Total des frais d'entretien (3 appareils) : env. 306 CHF / an
- Niveau sonore par appareil : pas disponible
- Niveau sonore avec pondération A, par appareil : 33.7 à 64 dB(A)
- Contrôle par app (WLAN) : oui
- Mise en marche et arrêt avec programmation sur 7 jours : oui
- Consommation d'énergie par appareil (mesurée):
 - à la vitesse maximale : 64.5 W
 - à haute vitesse (3) : 32.2 W
 - à vitesse moyenne (2) : 18.8 W
 - à basse vitesse (1) : 10.3 W
 - mode nuit : 3.5 W
 - standby : 1.0 W
- Durée de vie : env. 8 ans
- Indication de prix : 28.08.2022

Exemple 4 (salle de classe 70 m², 200 m³) : 4 x Xiaomi MI Air Purifier 3 H à 139 CHF

- CADR : jusqu'à 380 m³/h
- Filtre : Xiaomi filtre HEPA pour "Air Purifier 3 H"
 - Type de filtre : 3 niveaux : préfiltre, filtre HEPA classe H13, charbon actif
 - P/N (Hersteller) : M8R-FLH
- Capacité de filtration pour 4 appareils
 - $ACR_{filtration} = 3.8$ renouvellements d'air / h à une vitesse moyenne des ventilateurs
 - $ACR_{filtration} = 7.6$ renouvellements d'air / h à la vitesse maximale des ventilateurs
- Maintenance et coûts d'entretien
 - Nettoyage du capteur de particules : tous les 2 mois
 - Nettoyage de la surface du filtre : tous les 2 mois
 - Xiaomi filtre HEPA pour "Air Purifier 3 H" (durée d'utilisation env. 6 mois) :
 - 43 CHF ; env. 86 CHF / an
 - Total des frais d'entretien (4 appareils) : env. 344 CHF / an
- Niveau sonore par appareil : pas disponible
- Niveau sonore avec pondération A, par appareil : 33.7 à 64 dB(A)
- Contrôle par app (WLAN) : oui
- Mise en marche et arrêt avec programmation sur 7 jours : oui
- Consommation d'énergie, par appareil : jusqu'à 38 W (max.)
- Durée de vie : env. 8 ans
- Indication de prix : 28.08.2022

Budget avec les exemples 1 à 4

Exemples	1	1	2	2	3	3	4	4
	Achat 4 app. CHF	Main- tenance 4 app. CHF	Achat 2 app. CHF	Main- tenance 2 app. CHF	Achat 3 app. CHF	Main- tenance 3 app. CHF	Achat 4 app. CHF	Main- tenance 4 app. CHF
1 salle de classe	1'096	244	1'100	91	780	306	556	344
5 salles de classe p. ex. 1 école maternelle, 3 salles de classe (priorisation des classes inférieures)	5'480	1'220	5'500	455	3'900	1'530	2'780	1'720
10 salles de classe p. ex. 2 écoles maternelles, 3 salles de classe (classes inférieures) et 3 salles de garderie	10'960	2'440	11'000	910	7'800	3'060	5'560	3'440
20 salles de classe p. ex. 4 écoles maternelles, 8 salles de classe et 4 salles de garderie	21'920	4'880	22'000	1'820	15'600	6'120	11'120	6'880
50 salles de classe p. ex. 10 écoles maternelles, 20 salles de classe et 10 salles de garderie	54'800	12'200	55'000	4'550	39'000	15'300	27'800	17'200

Table 1 : Budget avec les exemples 1 à 4. Les coûts de maintenance sont indiqués par année.

Bases de calcul : 1 salle de classe (SDC) = 200 m³ ; 1 jardin d'enfants = 2 SDC ; 1 salle de garderie = 1 SDC

Mise en œuvre

Si les moyens financiers ne suffisent que pour une solution partielle, il est conseillé d'utiliser en priorité les purificateurs d'air dans les écoles maternelles et les classes primaires inférieures (l'expérience montre qu'il est plus difficile d'introduire la protection par masque dans les classes plus jeunes) et en particulier dans les salles de classe où l'aération est insuffisante et où l'on mesure les plus fortes concentrations de CO₂.

Après l'assainissement de ces locaux avec une meilleure ventilation (par exemple avec des ventilateurs d'extraction d'air contrôlés par le CO₂), un taux de renouvellement d'air ACR_{aérosol} suffisant pour la réduction des aérosols peut éventuellement être atteint avec moins de purificateurs d'air. Les appareils en surnombre sont alors libérés et peuvent être redistribués dans des locaux moins bien protégés.