



wtcb.be
cstc

Ventilation et covid : vision court et long terme

Bruxeo – 01/07/2021

Samuel Caillou

Laboratoire chauffage et ventilation

Qualité de l'air et ventilation

Introduction

Pourquoi et comment ?

Pourquoi la qualité de l'air (IAQ) est essentielle?

- Impact sur le **confort**
 - Percieved Indoor Air
 - Odeurs
- Impact sur les **performances cognitives**
 - Vitesse de travail
 - Concentration
- Impact sur la **santé**
 - Polluants toxiques à court terme (acute)
 - Polluants toxiques à long terme (chronic)
 - Polluants cancérigènes

Principales sources de polluants intérieurs

+ Coronavirus

- Bioeffluents

- Emis par les personnes (CO₂ est un bon traceur)



- Humidité (risque de moisissures) et odeurs

- Personnes, activités, sanitaires, nettoyage, etc.



- Emissions des matériaux

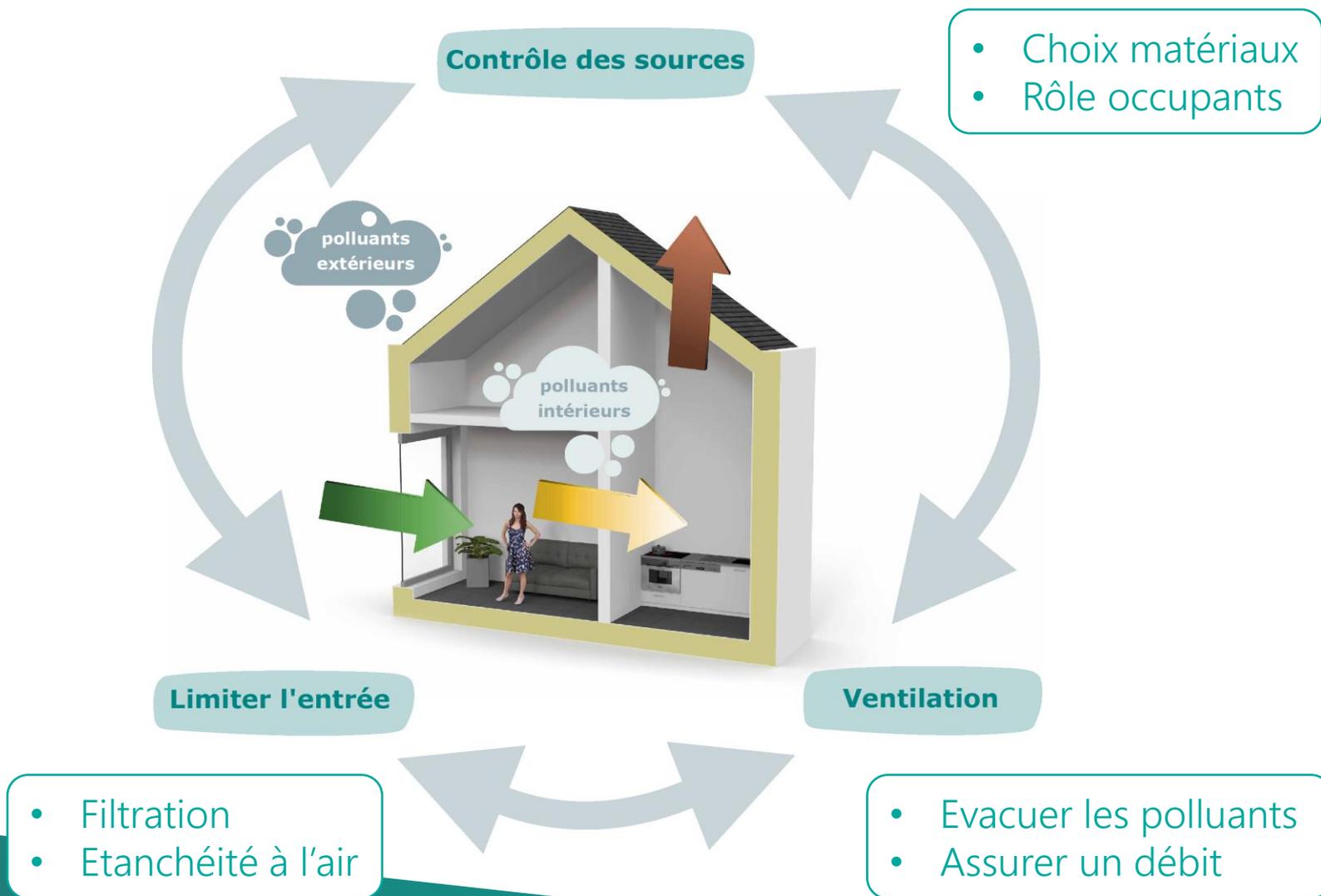
- Construction et mobilier



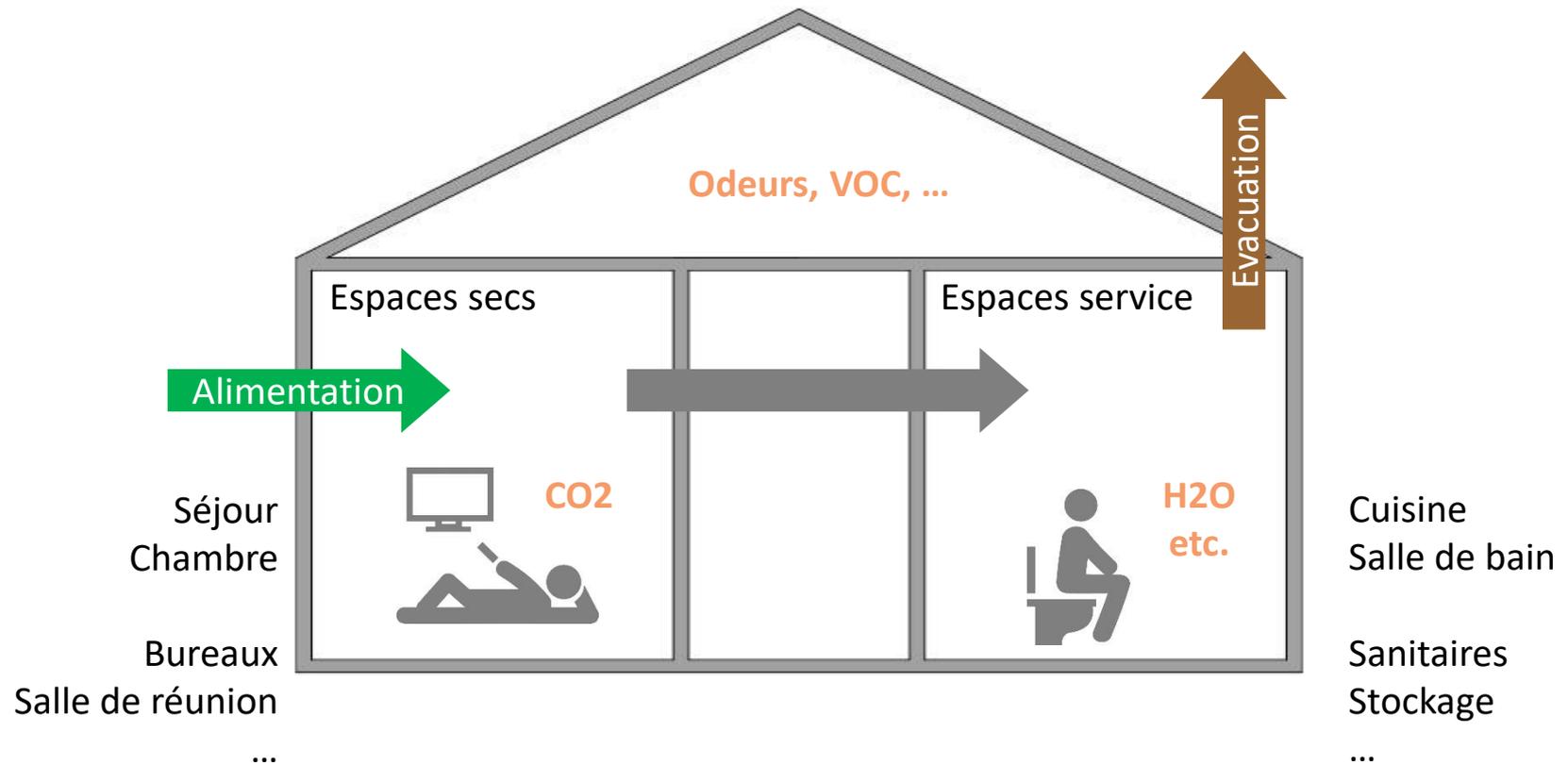
- Autres polluants spécifiques

- Radon, CO, fumée de tabac, PM (cuisine, bougies, ...), etc.

L'approche globale pour une bonne IAQ repose sur 3 piliers



La ventilation permet d'alimenter les espaces en air neuf et d'évacuer les polluants intérieurs



PEB: La ventilation est obligatoire pour les bâtiments neufs

- Débit par personne: 22 m³/h.pers.
 - Taux d'occupation minimum

Exemples

Tableau 1 : Valeurs minimales à appliquer pour la détermination de l'occupation nécessaire au calcul du débit de conception minimal dans les espaces destinés à l'occupation humaine (voir texte)

| | Surface au sol par personne (m ² /personne) |
|---|--|
| Restauration | |
| restaurant, cafétéria, buffet rapide, cantine, bars, cocktail bars | 1,5 |
| Cuisines, kitchenettes | 10 |
| Hôtels, motels, centres de vacances | |
| chambre à coucher d'hôtel, de motel, de centre de vacances, | 10 |
| entree de centre de vacances | 5 |
| lobby, hall d'entrée | 2 |
| salle de réunions, espace de rencontre, salle polyvalente | 2 |
| Immeubles de bureaux | |
| bureau | 10 |
| locaux de réception, réception, salles de réunions | 15 |
| entrée principale | 10 |
| Éléments publics | |
| hall des départs, salle d'attente | 1 |
| bibliothèque | 10 |
| Éléments de rassemblement publics | |
| églises et autres bâtiments religieux, bâtiments gouvernementaux, salles d'audience, musées et galeries | 2,5 |
| Commerce de détail | |
| local de vente, magasin (sauf centres commerciaux) | 7 |
| centre commercial | 2,5 |
| salon de coiffure, institut de beauté | 4 |
| magasin de meubles, tapis, textiles, | 20 |
| supermarché, grand magasin, magasin spécialisé pour animaux | 10 |
| Laverie automatique | 5 |
| Sports et loisirs | |
| hall de sports, états de jeu, salle de gymnastique | 3,5 |
| musicales | 2 |
| espace des spectateurs, tribunes | 1 |
| stacochèque / dancing | 1 |
| club sportif : salles d'aérobic, salle de fitness, club de bowling | 10 |

| Type d'espace | Exigence PEB | Exemples | | |
|------------------|--------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| | | Surface (m ²) | Nombre de personnes | Débit (m ³ /h) |
| Bureau | 15 | 60 | 4 | 88 |
| Salle de réunion | 3,5 | 70 | 20 | 440 |

Tableau 1 : Valeurs minimales à appliquer pour la détermination de l'occupation nécessaire au calcul du débit de conception minimal dans les espaces destinés à l'occupation humaine (voir texte)

| | Surface au sol par personne [m ² /personne] |
|---|--|
| Horeca | |
| restaurants, cafétéria, buffet rapide, cantine, bars, cocktail bars | 1.5 |
| cuisines, kitchenettes | 10 |
| Hôtels, motels, centres de vacances | |
| chambres à coucher d'hôtel, de motel, de centre de vacances, ... | 10 |
| dortoirs de centres de vacances | 5 |
| lobby, hall d'entrée | 2 |
| salle de réunions, espace de rencontre, salle polyvalente | 2 |
| Immeubles de bureaux | |
| bureau | 15 |
| locaux de réception, réception, salles de réunions | 3.5 |
| entrée principale | 10 |
| Lieux publics | |
| hall des départs, salle d'attente | 1 |
| bibliothèque | 10 |
| Lieux de rassemblement publics | |
| églises et autres bâtiments religieux, bâtiments gouvernementaux, salles d'audience, musées et galeries | 2.5 |
| Commerce de détail | |
| local de vente, magasin (sauf centres commerciaux) | 7 |
| centre commercial | 2.5 |
| salon de coiffure, institut de beauté | 4 |
| magasins de meubles, tapis, textiles... | 20 |
| supermarché, grand magasin, magasin spécialisé pour animaux | 10 |
| Laverie automatique | 5 |
| Sports et loisirs | |
| hall de sports, stades (salle de jeu), salle de gymnastique | 3.5 |
| vestiaires | 2 |
| espace des spectateurs, tribunes | 1 |
| discothèque / dancing | 1 |
| club sportif : salles d'aérobic, salle de fitness, club de bowling | 10 |

| Locaux de travail | |
|--|-----|
| studio de photographie, chambre noire... | 10 |
| pharmacie (local de préparation) | 10 |
| salle des guichets dans les banques / salle des coffres destinée au public | 20 |
| local de photocopie / local des imprimantes | 10 |
| local informatique (sans local des imprimantes) | 25 |
| Etablissements d'enseignement | |
| salles de cours | 4 |
| salle polyvalente | 1 |
| Soins de santé | |
| salle commune | 10 |
| salles de traitement et d'examen | 5 |
| salles d'opération et d'accouchement, salle de réveil et soins intensifs, salle de kinésithérapie, de physiothérapie | 5 |
| Etablissements pénitentiaires | |
| cellules, salle commune | 4 |
| postes de surveillance | 7 |
| inscription / enregistrement / salle de garde | 2 |
| Autres espaces | |
| magasin de stockage | 100 |
| autres espaces | 15 |

https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/annexe_xvi_fr.pdf

https://leefmilieu.brussels/sites/default/files/user_files/annexe_xvi_nl.pdf

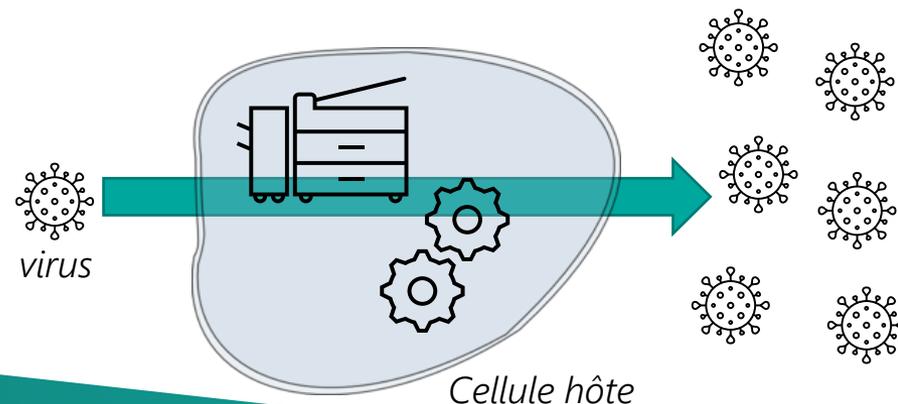
CODEX du bien-être au travail: exigences aération et qualité de l'air

- I. Principes généraux
- II. Structures organisationnelles et concertation sociale
- **III. Lieux de travail**
 - Titre 1^{er} Exigences de base relatives aux lieux de travail
 - **Chapitre IV. Aération**
- IV. Equipements de travail
- V. Facteurs d'environnement et agents physiques
- VI. Agents chimiques, cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques
- VII. Agents biologiques
- VIII. Contraintes ergonomiques
- IX. Protection collective et équipement individuel
- X. Organisation du travail et catégories spécifiques de travailleurs

Ventilation dans le contexte Covid-19

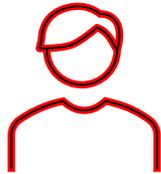
Qu'est-ce qu'un virus?

- Organisme pathogène très petit (20nm-400nm)
- Son but = se reproduire
- Mais il ne peut pas le faire tout seul
 - Besoin d'un hôte
 - Utilise la "machinerie" de l'hôte pour "se recopier"
 - **Jamais de reproduction du virus en dehors de l'hôte!**
- Les virus produits sont ensuite libérés par l'hôte
 - Ils peuvent infecter d'autres hôtes
 - **Progressivement, ils sont inactivés: en fonction des conditions de l'environnement**



Le processus d'infection d'un virus

Personne infectée



Production

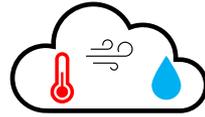
Copie des virus



Emission

Libération dans l'environnement

Environnement



Transmission

Une ou plusieurs routes spécifiques à chaque virus

Personne pas encore infectée



Contact

Contact entre le virus et les cellules sensibles



Infection

Contact = infection?
Dépend de:

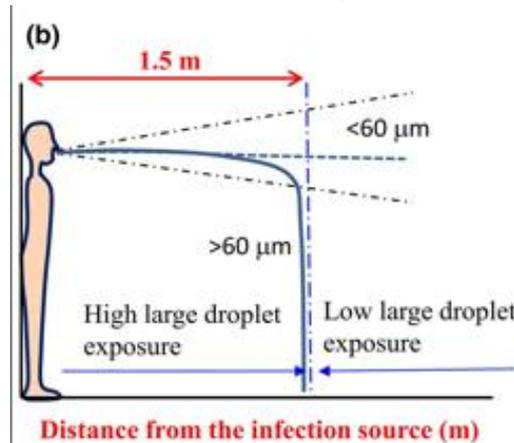
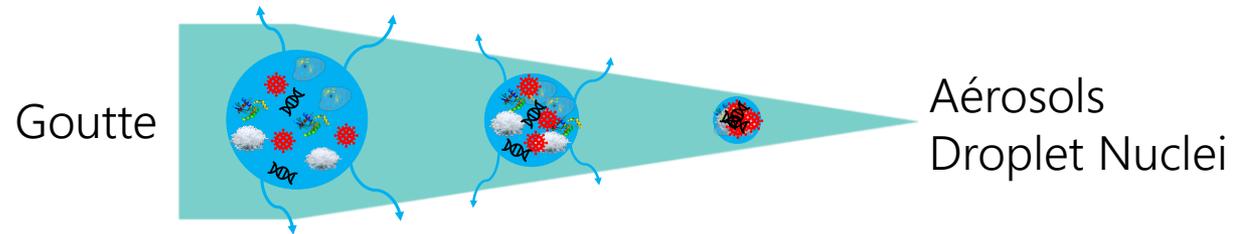
- Dose
- Santé
- Vaccination
- ...

Les voies de transmission du covid



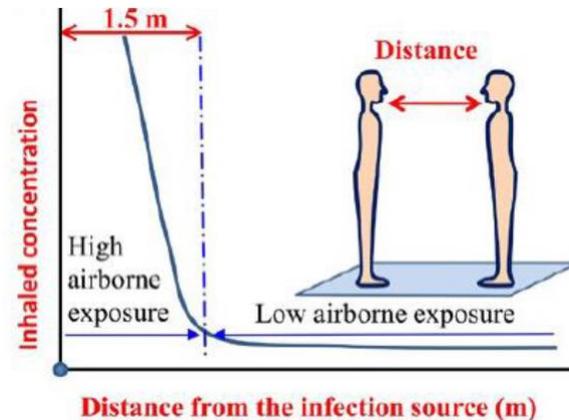
Libération de gouttes:

- Éternuer
- Tousser
- Chanter
- Crier
- Parler
- Respirer



Courte distance (< 1.5 m):

- Transmission par grosses gouttes et aérosols
- Grosses gouttes tombent au sol



Longue distance (> 1.5 m):

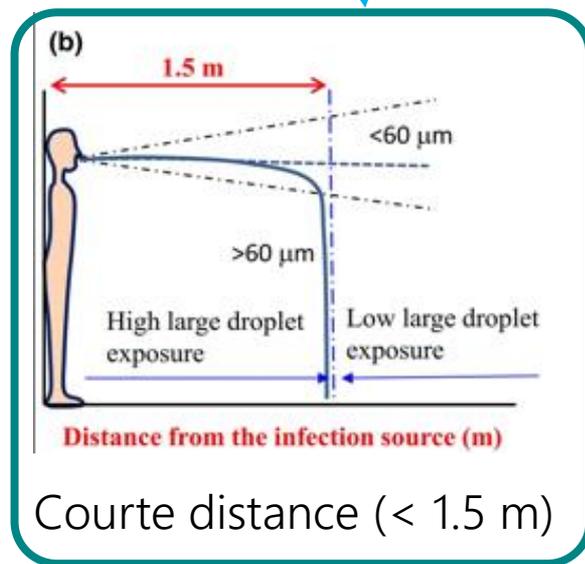
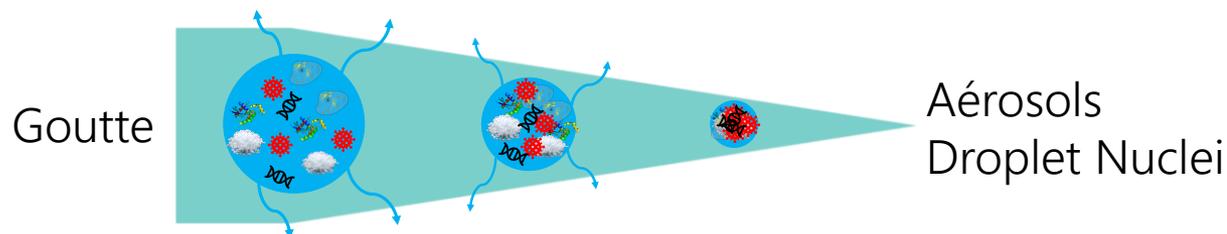
- Gouttelettes s'évaporent
- Droplet Nuclei
- Aérosols

Les voies de transmission du covid

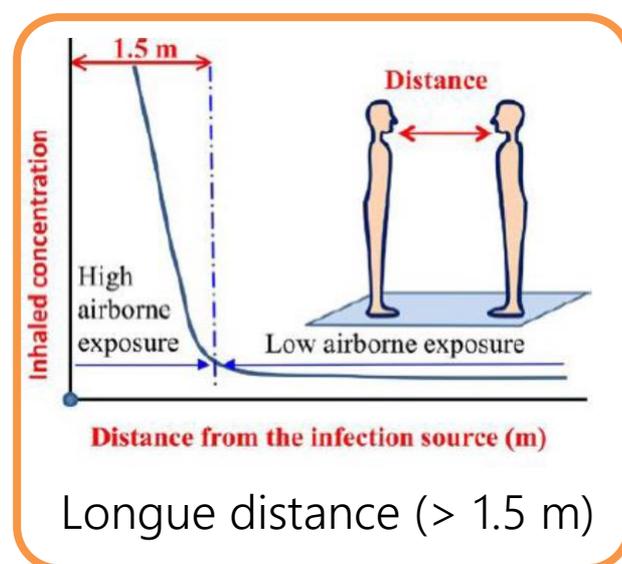


Libération de gouttes:

- Éternuer
- Tousser
- Chanter
- Crier
- Parler
- Respirer



- Distanciation
- Masques



- Ventilation
- Purification d'air

Autres voies de transmission:

- Fomites: contact des mains → désinfection
- Fécale – orale

Aujourd'hui, la transmission par aérosols et rôle de la ventilation sont reconnus

Protect yourself and others from COVID-19



If COVID-19 is spreading in your community, stay safe by taking some simple precautions, such as physical distancing, wearing a mask, keeping rooms well ventilated, avoiding crowds, cleaning your hands, and coughing into a bent elbow or tissue. Check local advice where you live and work. **Do it all!**

REHVA COVID-19 GUIDANCE SCHOOL BUILDINGS

In many European countries ventilation of school buildings is a challenge. In times of COVID-19 the importance of a good indoor air quality is once more emphasized.

TRANSMISSION ROUTES

- #1 via microdroplets staying airborne for hours and can be transported long distances
- #2 via droplets (when sneezing, coughing or talking)
- #3 via surface contact (hand-hand, hand-surface etc.)
- #4 via the faecal-oral route

VENTILATION

- Secure ventilation of spaces with outdoor air
- Switch air handling units with central recirculation to 100% outdoor air
- Ensure CO₂-controlled ventilation runs at maximum capacity during occupancy
- Switch on ventilation at least 2 hours before & after occupancy

SANITARY FACILITIES

- Instructions to flush toilets with sensor for closed lid
- Install water taps with sensor for no touch use
- All water taps must be in operating condition with facilities to disinfect hands
- Flush all toilets, water taps and showers frequently
- Ensure that floor drains do not run dry to avoid open connection to the sewer

Install a CO₂ monitor with traffic light indication

Instruct teachers & staff on proper use of ventilation facilities

Open windows as much as possible during school hours & ensure closing during breaks

Keep toilet ventilation 24/7 in operation (and/or keep windows open)

Vlaanderen is zorg

HET CORONAVIRUS

Hoe kan je een besmetting voorkomen?

Was je handen regelmatig en grondig met water en zeep.
Reken zo'n 40 à 60 seconden per wasbeurt.

Hoest of nies in een papieren zakdoekje of in de binnenkant van je elleboog.

Gebruik papieren zakdoekjes en gooi ze weg in een afsluitbare vuilbak.

Blijf zo veel mogelijk thuis. Ziek? Blijf dan in isolatie.

Ventileer. Zorg voor een constante luchtdoorstroming door je huis.

Raak je gezicht zo weinig mogelijk aan met je handen.

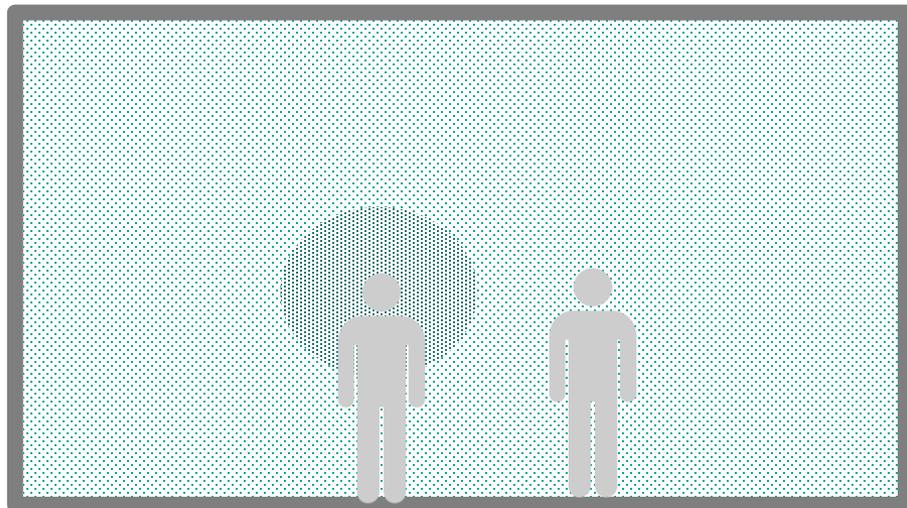
Vermijd handen geven.

Vermijd nauw contact. Hou voldoende afstand (1,5 m).

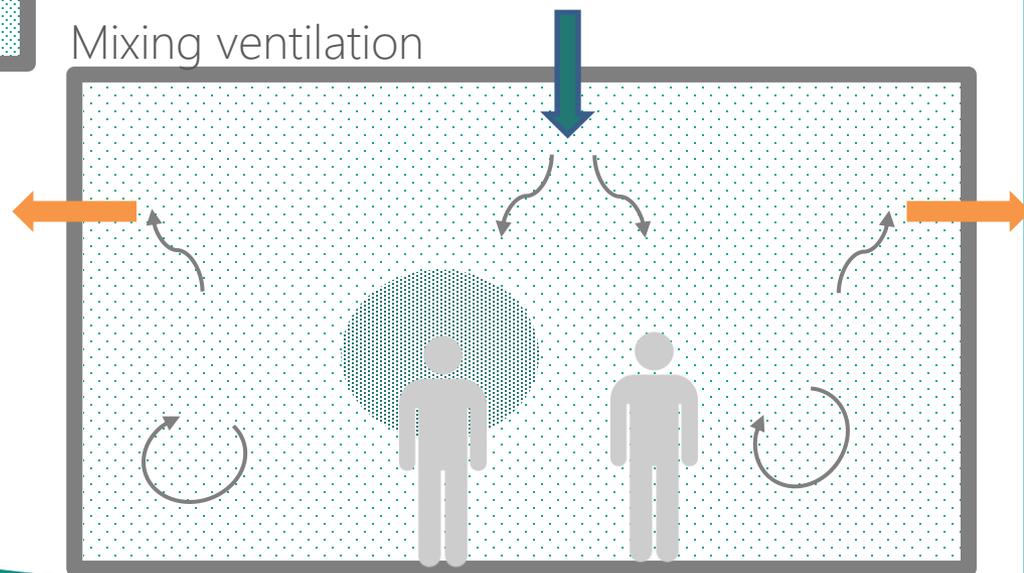
DRAAG ZORG VOOR JEZELF EN ZO OOK VOOR ANDEREN.

La ventilation permet de diminuer la concentration en aérosols

No ventilation



Mixing ventilation

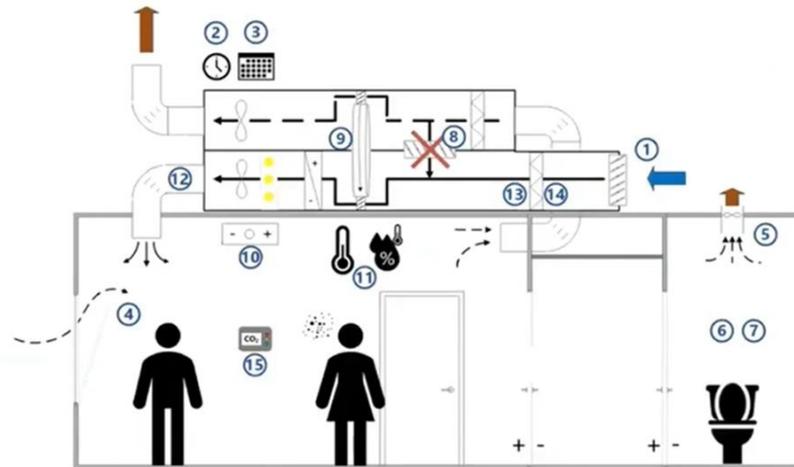


Guidance du Rehva sur la ventilation et la transmission par aérosols

9

Control of airborne transmission

1. Ventilation rates
2. Ventilation operation times
3. Continuous operation of ventilation
4. Window opening
5. Toilet ventilation
6. Windows in toilets
7. Flushing toilets
8. Recirculation
9. Heat recovery equipment
10. Fan coils and induction units
11. Heating, cooling and possible humidification setpoints
12. Duct cleaning
13. Outdoor air and extract air filters
14. Maintenance works
15. IAQ monitoring



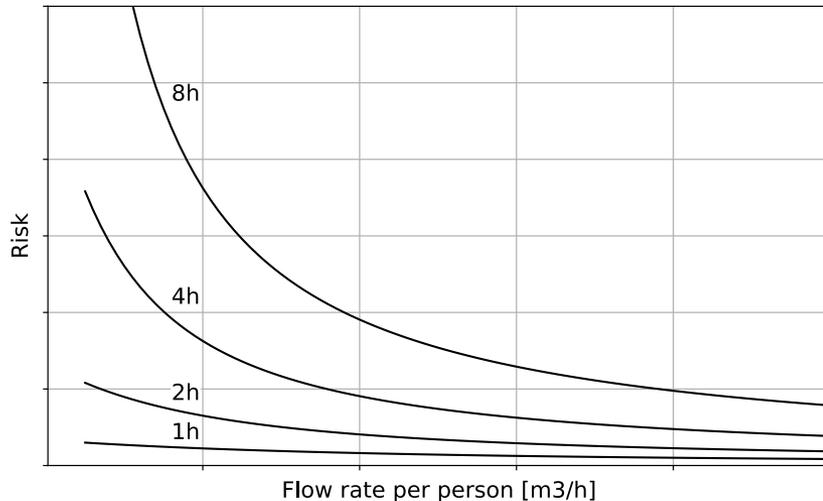
Ventilation solutions may be complemented with room air cleaners and UVGI in specific situations

A côté de la ventilation, d'autres facteurs ont un impact sur le risque

- Il existe des modèles qui permettent de comparer le risque de différentes situations
- Exemples:

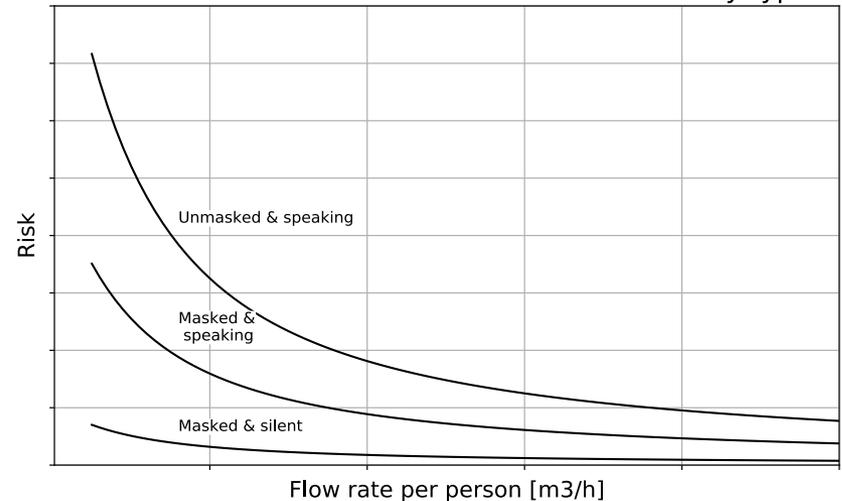
Durée d'exposition

Risk as a function of ventilation flow and event duration



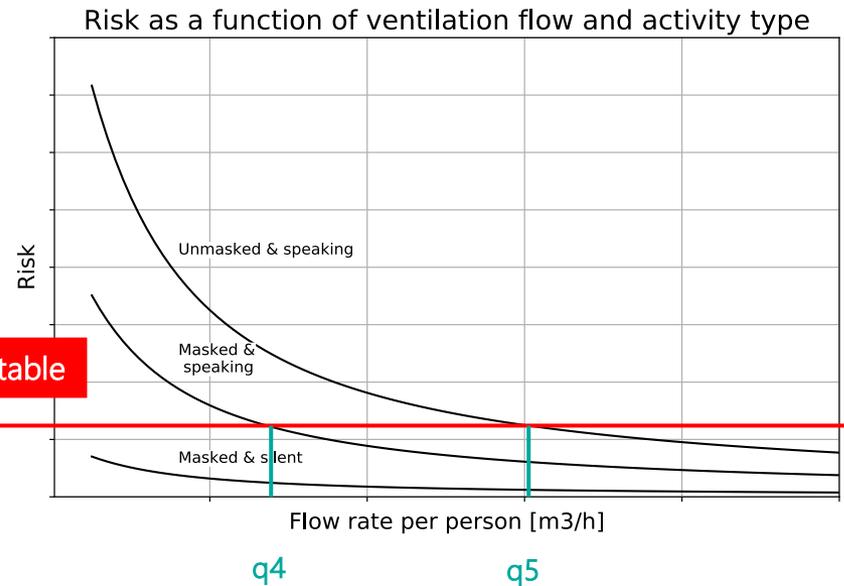
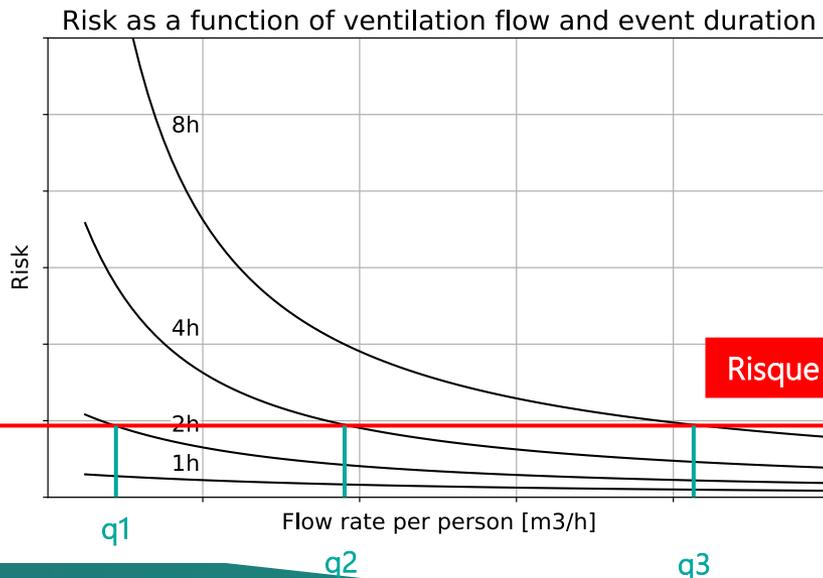
Activité et masque

Risk as a function of ventilation flow and activity type



Quel est le débit qui réduit le risque à un niveau acceptable ?

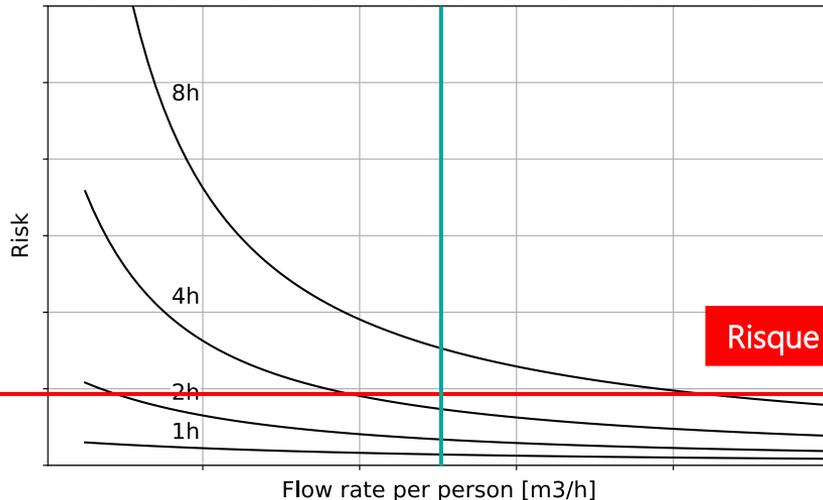
- Le risque diminue inversement avec le débit
- Différentes situations → différents débits?
- Jamais risque 0!



Quel est le débit nécessaire ?

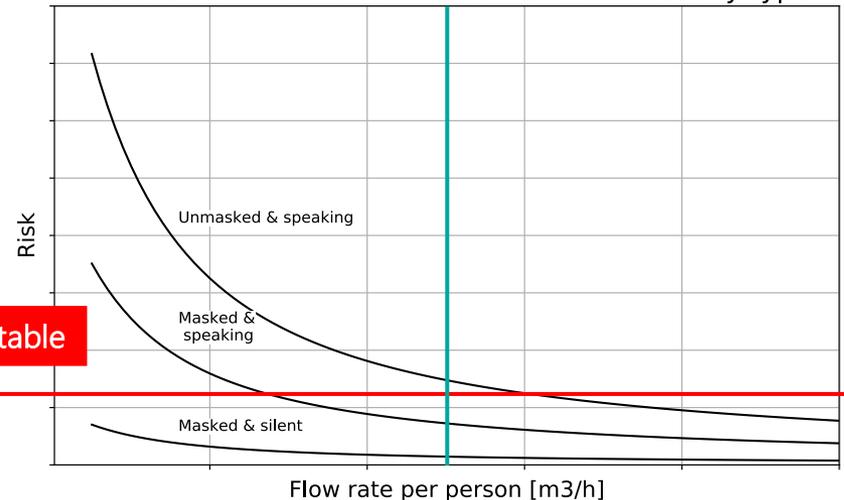
- Manque de ventilation / débit faible → toujours risque (beaucoup) plus élevé
- $40 \text{ m}^3/\text{h.pers}$ (900 ppm de CO_2) = compromis / consensus
- Augmenter le débit davantage
 - a moins d'impact
 - mais peut être utile pour compenser d'autres paramètres

Risk as a function of ventilation flow and event duration



$40 \text{ m}^3/\text{h}$

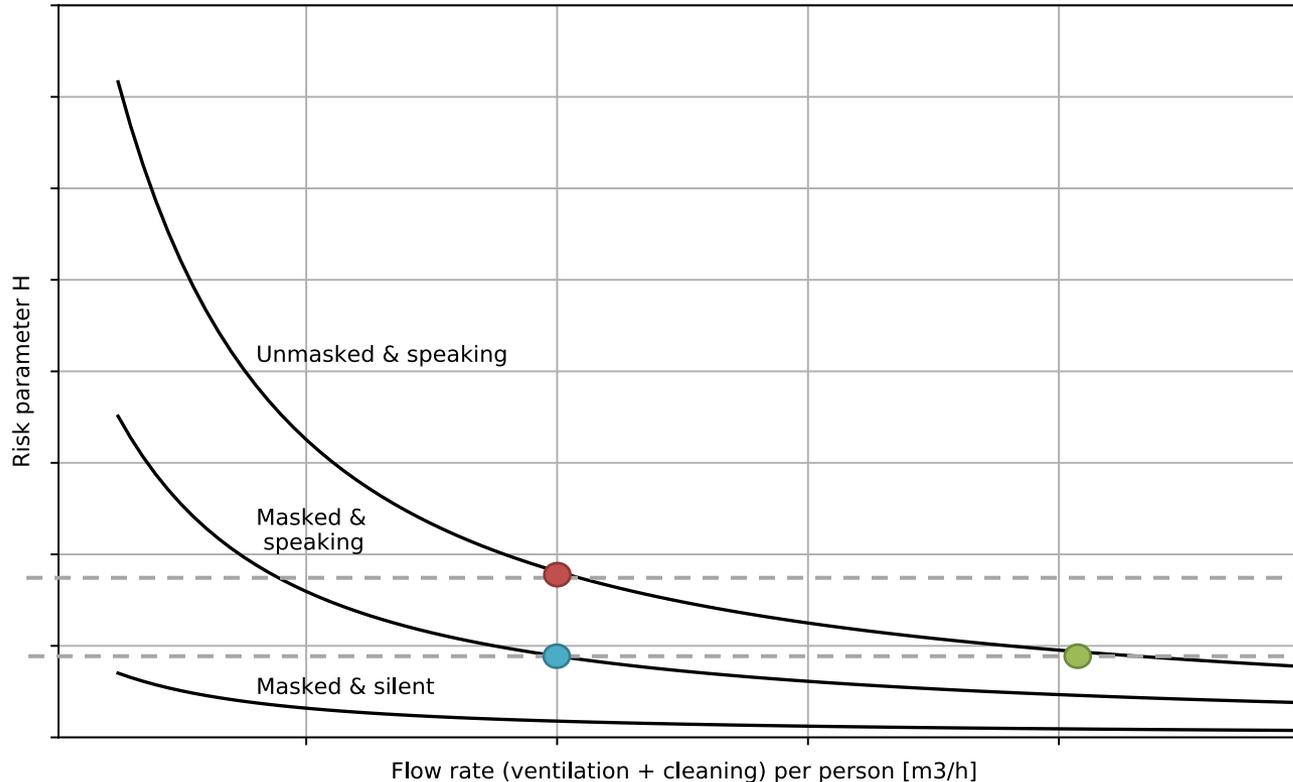
Risk as a function of ventilation flow and activity type



$40 \text{ m}^3/\text{h}$

Exemple de compensation

Risk as a function of ventilation flow and activity type



- Situation initiale avec un certain niveau de risque
- Mesure possible 1: port du masque (avec efficacité supposée de 50%)
- Mesure possible 2: doubler le débit de ventilation

Quels autres paramètres sont importants pour la transmission par aérosols?

- Source
 - Nombre de personnes contaminées / incidence
 - Activité: chanter (30x) > crier > parler (6x) > respirer
 - Port du masque (personne infectée)
- Durée d'exposition
 - Risque directement proportionnel: $x^2 \rightarrow x^2$
- Nombre de personnes exposées
 - Attention grandes salles, grands événements!
- Port du masque par tous

En résumé...

- La ventilation est **nécessaire** pour limiter la transmission par aérosols
- Débit de $40 \text{ m}^3/\text{h.pers}$ est un compromis
- **Attention**: autres paramètres sur aérosols
 - Incidence, activité, masques, durée, nombre pers.
- **Attention**: autres voies de transmission
 - Courte distance: gouttes + aérosols
 - Ventilation inefficace → masque / distance

Dernières remarques

- Air extérieur / air neuf
 - Considéré comme non contaminé
 - Inactivation du virus (UV du soleil, temps, etc.)
- Ventilation
 - ≠ Source
 - = Solution

CODEX bien-être au travail Qualité de l'air

Analyse de risque et exigence flexible

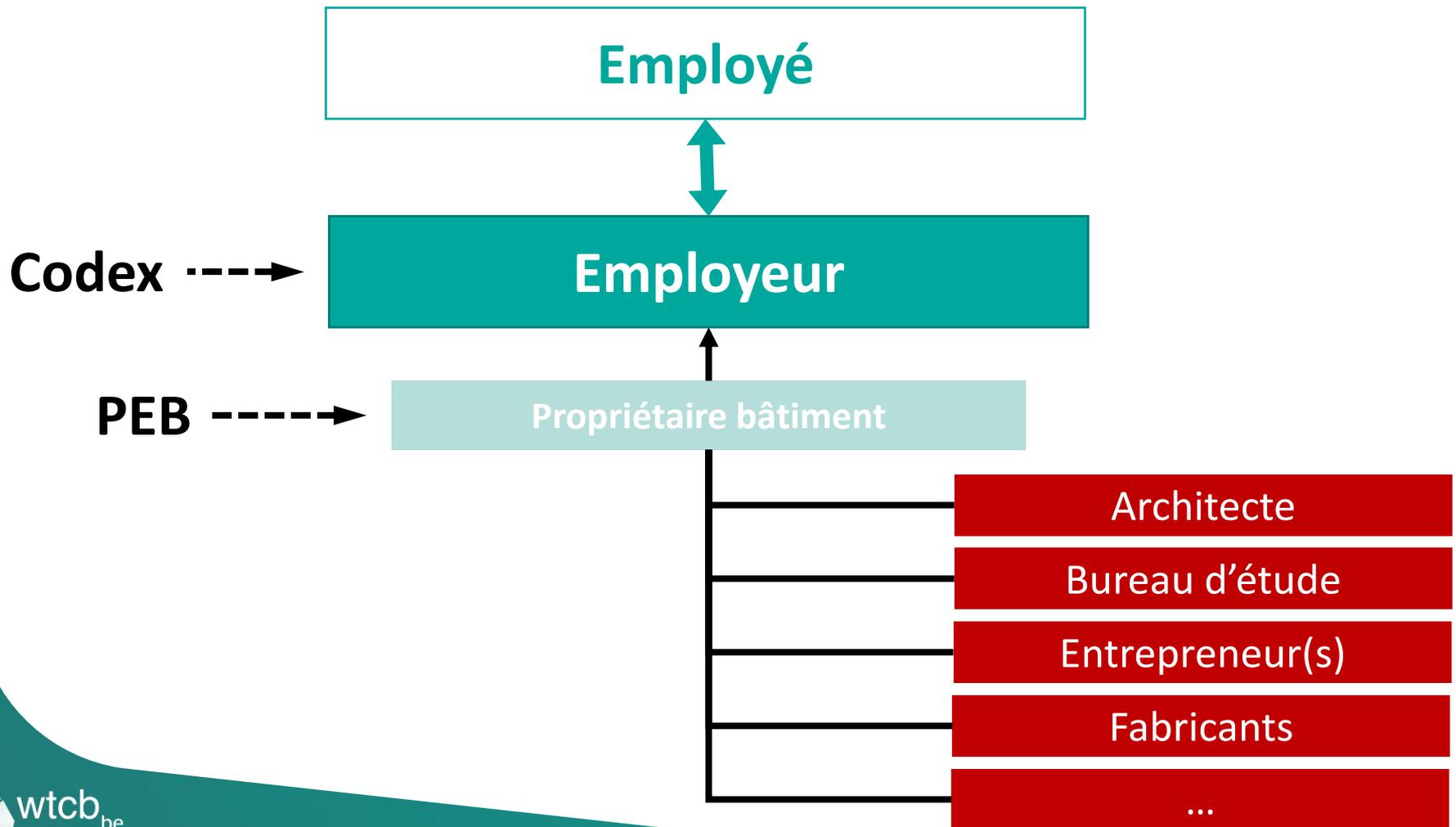
CODEX du bien-être au travail: exigences aération et qualité de l'air

- I. Principes généraux
- II. Structures organisationnelles et concertation sociale
- **III. Lieux de travail**
 - Titre 1^{er} Exigences de base relatives aux lieux de travail
 - **Chapitre IV. Aération**
- IV. Equipements de travail
- V. Facteurs d'environnement et agents physiques
- VI. Agents chimiques, cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques
- VII. Agents biologiques
- VIII. Contraintes ergonomiques
- IX. Protection collective et équipement
- X. Organisation du travail et catégories de travailleurs

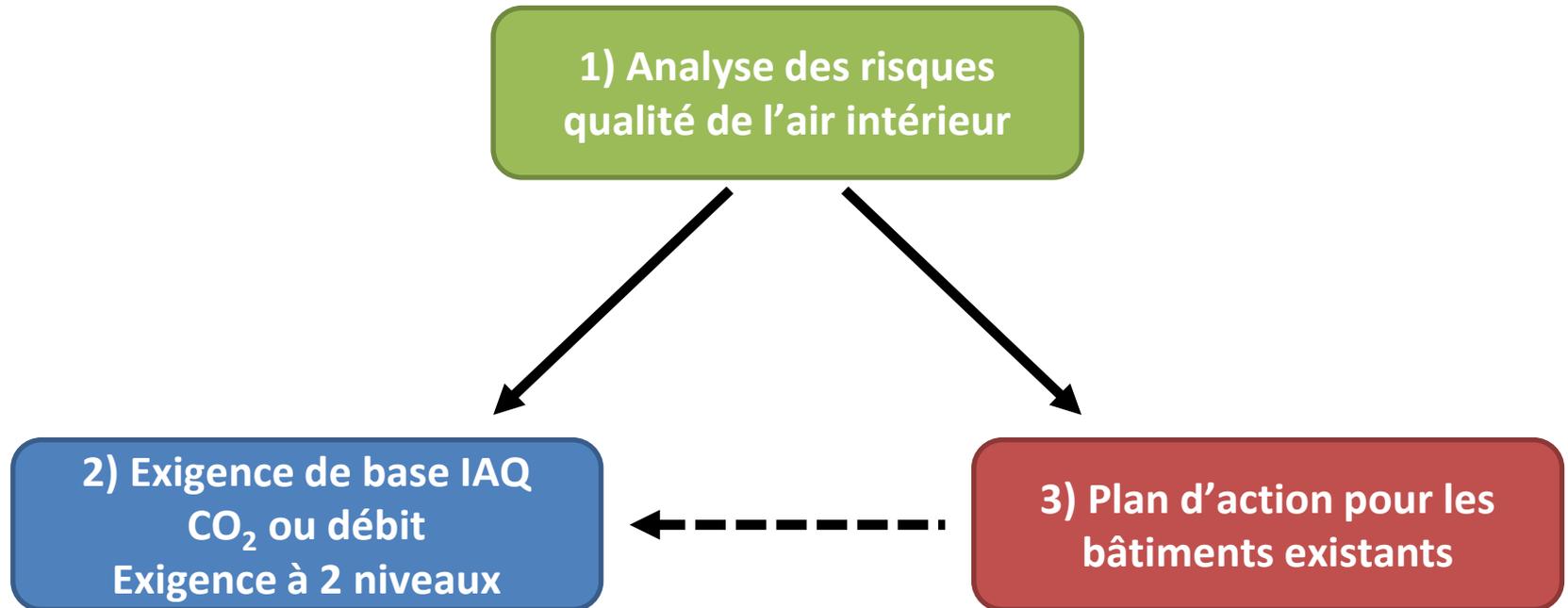
<http://www.emploi.belgique.be/moduleDefault.aspx?id=46071>

<http://www.werk.belgie.be/moduleDefault.aspx?id=46071>

Le codex s'adresse directement aux employeurs... mais indirectement à d'autres professionnels



Le nouveau CODEX (2019) contient 3 volets d'exigences sur IAQ



Analyse des risques: identifier les risques liés à IAQ dans les locaux de travail

- Sources de polluants à analyser
 - Présence, activité des personnes (bioeffluents, CO₂)
 - Produits et matériaux (construction, mobilier, ...)
 - Entretien, réparation et nettoyage des locaux
 - Impact infiltration et ventilation (air extérieur, entretien HVAC, ...)
- Remarque:
 - Analyse de risque aussi obligatoire pour les agents
 - Physiques (rayonnements, ...)
 - Chimiques (produits utilisés, ...)
 - Biologiques

L'analyse des risques se base sur un screening rapide, des calculs et mesures (facultatifs)

Étape 1 - Screening

Collecte d'informations pertinentes

Inspection visuelle

Enquête auprès des travailleurs



Étape 2 - Calculs (facultatifs)

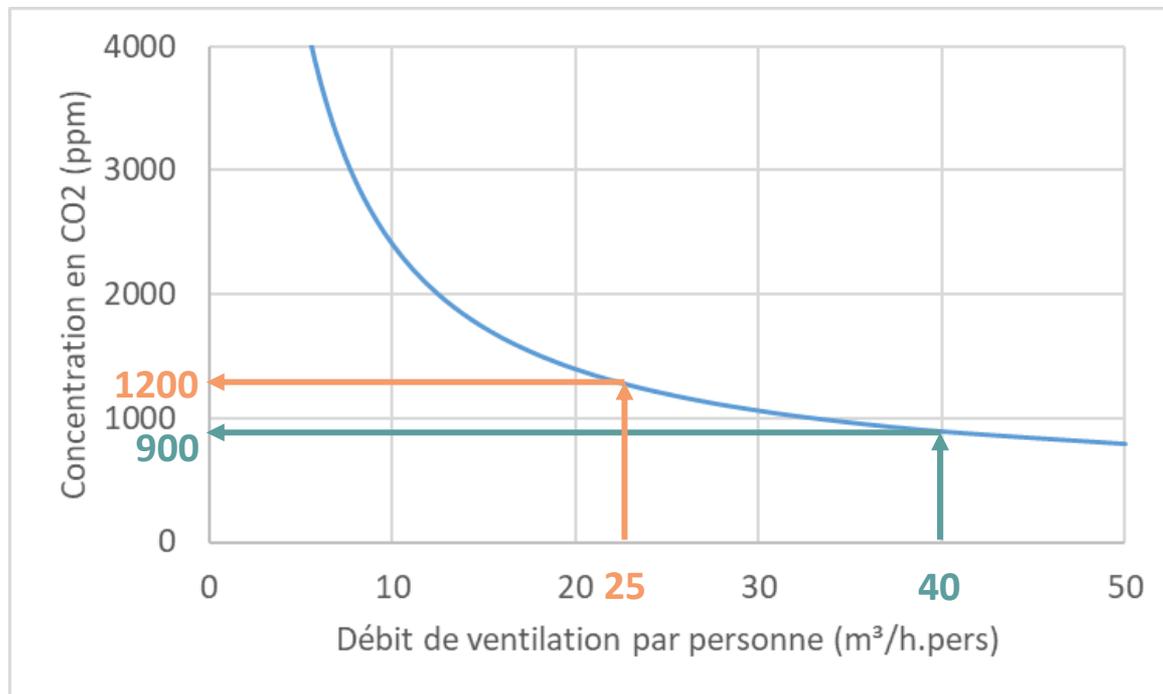


Étape 3 - Mesures (facultatifs)

L'exigence IAQ tient compte des bioeffluents et des émissions des matériaux

- Exigence de base IAQ
 - Soit maximum **900 ppm de CO₂**
 - Soit débit de ventilation minimum de **40 m³/h.pers**
- Dérogation
 - Soit maximum **1200 ppm de CO₂**
 - Soit débit de ventilation minimum de **25 m³/h.pers**
- Conditions
 - Analyse des risques montre que les sources de polluant sont réduites (matériaux à faible émission)
 - Avis préalable du conseiller en prévention et du comité

CO₂ = traceur de IAQ: il correspond directement à un débit de ventilation



Valable pour:

- Taux émission CO₂ de 20 l/h.pers
- [CO₂] extérieure de 400 ppm

Dérogation: si le local est peu émissif, l'exigence est plus souple

- Principe
 - Si peu émissif → débit 25 m³/h.pers (bioeffluents)
 - Sinon → débit plus élevé pour évacuer ces autres polluants
- Condition actuelle (directive 2019)
 - Revêtements de sol peu émissifs
 - Conforme Arrêté royal du 8 mai 2014 C-2014/24239
 - Ou pierre naturelle, céramique, verre non traité, acier
- Evolution de la directive dans le futur
 - Prise en compte d'autres polluants
 - Autres matériaux, mobilier, équipements, ...

Etapes de conception d'un nouveau bâtiment / système

Occupation nominale par local

Type de local, aire,...

Conformité à la condition de faible émissivité des locaux

Quel revêtement de sol est/sera présent

Conception d'une installation permettant d'atteindre les débits exigés

Débit par personne
→ Débit total
→ Dimensionnement

Réception de l'installation

Mesure des débits

En cas de modifications importantes
→ Nouvelle analyse des risques

Voir la procédure pour les bâtiments existants

Cas des bâtiments existants

- Réaliser l'exigence IAQ est un défi
 - Pas de ventilation dans certains bâtiments
 - Contraintes économiques, timing rénovation,...

→ Approche pragmatique avec plan d'action

- L'employeur doit établir un plan d'action
 - Concertation: conseiller en prévention, comité
 - Dispositions: techniques et organisationnelles
 - Calendrier: court, moyen et long terme

ANALYSE DES RISQUES

Étape 1 - Screening

Collecte de documents pertinents

Inspection visuelle

Enquête auprès des travailleurs

Étape 2 - Calculs (facultatif)

Étape 3 - Mesures (facultatif)



AU BESOIN : PLAN D'ACTION

Dispositions organisationnelles

Dispositions techniques

Etablissement
d'un plan
d'action

Dispositions techniques: plus efficaces mais implémentation dans le temps

- Dispositions techniques = bâtiment + installations techniques
- Limiter les sources de polluants
 - Remplacement de certains matériaux de finition
- Améliorer le système de ventilation existant
 - Adapter l'occupation nominale du local
 - Contrôle et réparations
 - Réglage des débits
 - Entretien
- Installation d'un nouveau système de ventilation
 - Lors d'une rénovation ou en fin de période d'occupation
 - Idem conception bâtiment neuf

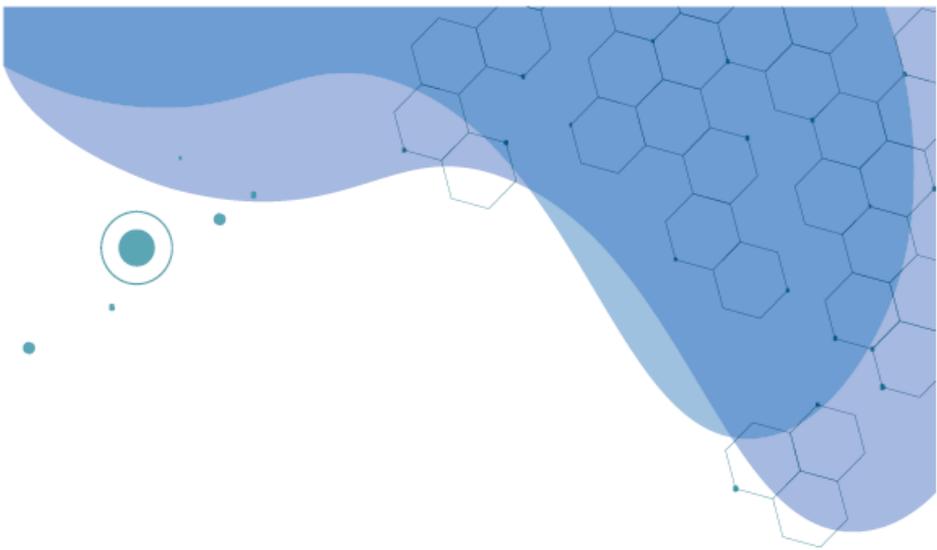
Dispositions organisationnelles: moins efficaces mais amélioration IAQ à court terme

- Dispositions organisationnelles permanentes
 - Limiter les polluants:
 - mobilier, produits d'entretien, imprimantes, etc.
 - Respecter le taux d'occupation nominal d'un espace
 - Utilisation correcte des installations techniques
- Dispositions organisationnelles correctives
 - Limiter le nombre de personnes présentes
 - Aération via les fenêtres
 - En dehors des périodes de chauffe: +/- OK
 - En période de chauffe: compromis à trouver
 - Capteurs CO₂ portatifs
 - Aérer pendant les pauses

Références

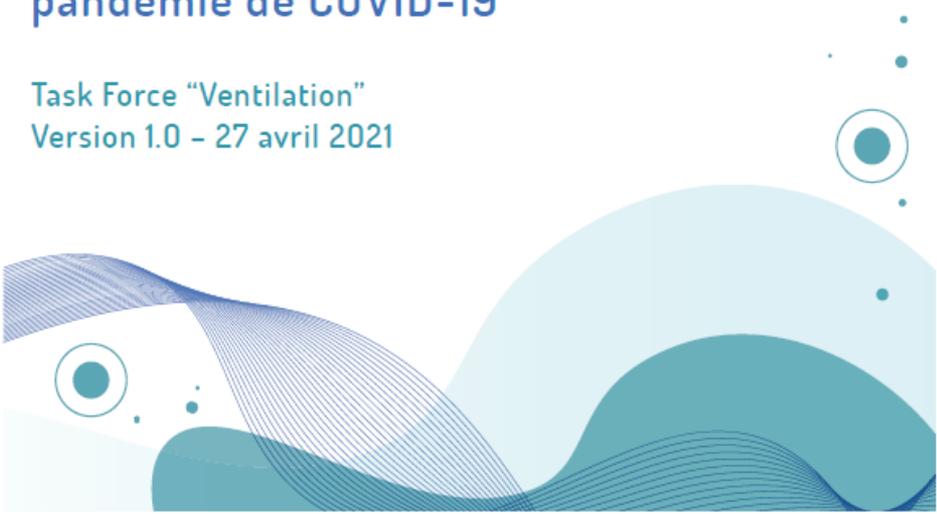
- Code du bien-être au travail
 - <http://www.emploi.belgique.be/moduleDefault.aspx?id=46071>
 - <http://www.werk.belgie.be/moduleDefault.aspx?id=46071>
- Arrêté royal aération des lieux de travail (2019)
 - http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=2019050226&table_name=loi
 - http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2019050226&table_name=wet
- Arrêté royal revêtements de sol
 - http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=2014050877&table_name=loi
 - http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=nl&la=N&cn=2014050877&table_name=wet
- Directive pratique
 - <http://www.emploi.belgique.be/defaultNews.aspx?id=48360>
 - <http://www.werk.belgie.be/defaultNews.aspx?id=48360>
- Outil de calcul CO2 (BSOH)
 - <https://www.bsoh.be/?q=nl/node/384>
- Mesure des débits de ventilation (CSTC)
 - <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact35&art=543>
 - <https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact35&art=543>

Implémentation et mesures: si pas de système de ventilation



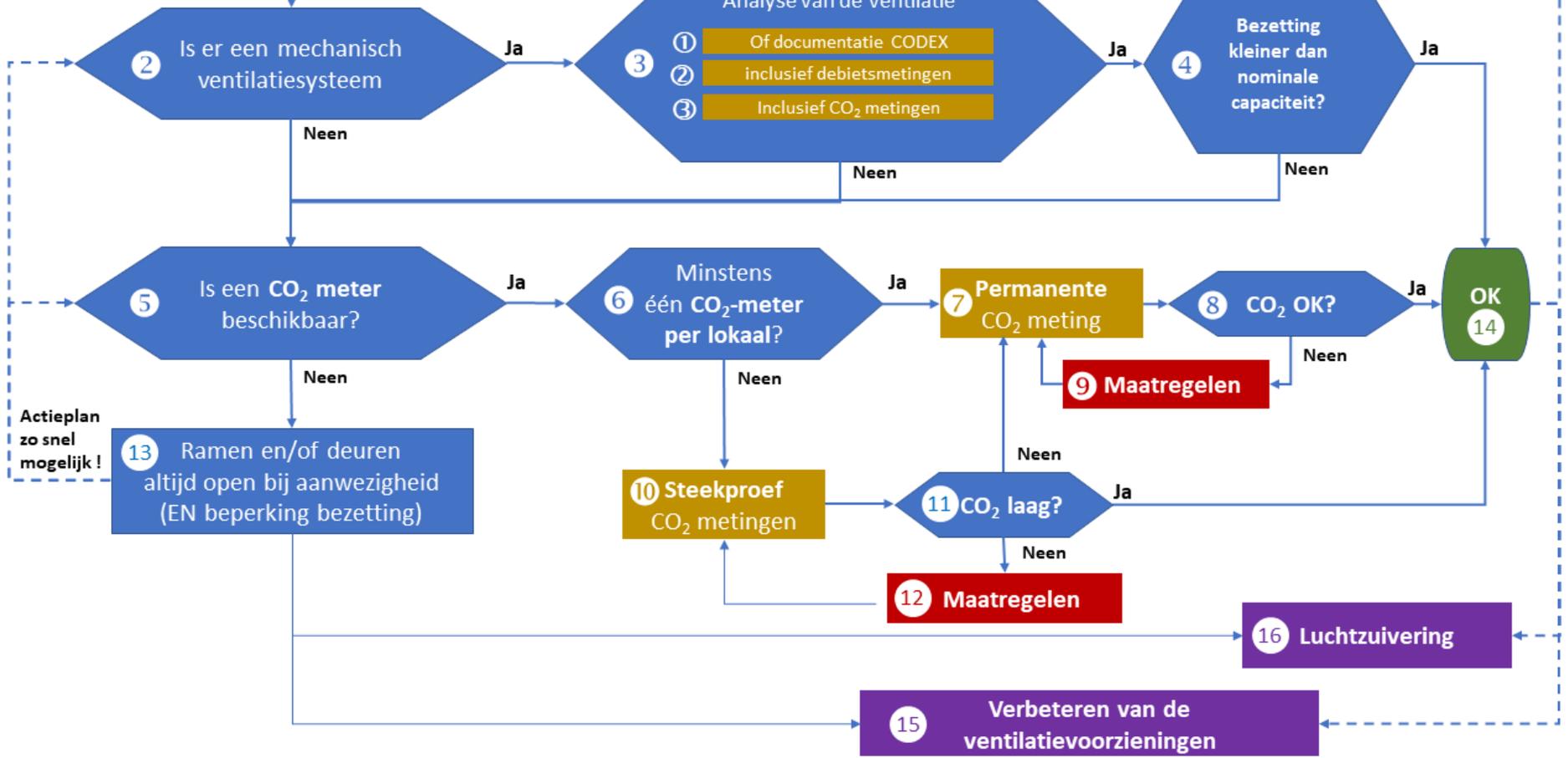
**Recommandations pour la mise
en pratique et le contrôle de la
ventilation et de la qualité de l'air
intérieur dans le contexte de la
pandémie de COVID-19**

Task Force "Ventilation"
Version 1.0 - 27 avril 2021



0 Ramen bij voorkeur openen wanneer geen hinder

1 Informatie over de activiteiten



Actieplan zo snel mogelijk!

13 Ramen en/of deuren altijd open bij aanwezigheid (EN beperking bezetting)

10 Steekproef CO2 metingen

15 Verbeteren van de ventilatievoorzieningen

16 Luchtzuivering

9 Maatregelen

12 Maatregelen

7 Permanente CO2 meting

8 CO2 OK?

6 Minstens één CO2-meter per lokaal?

3 Analyse van de ventilatie
1 Of documentatie CODEX
2 inclusief debietsmetingen
3 Inclusief CO2 metingen

4 Bezetting kleiner dan nominale capaciteit?

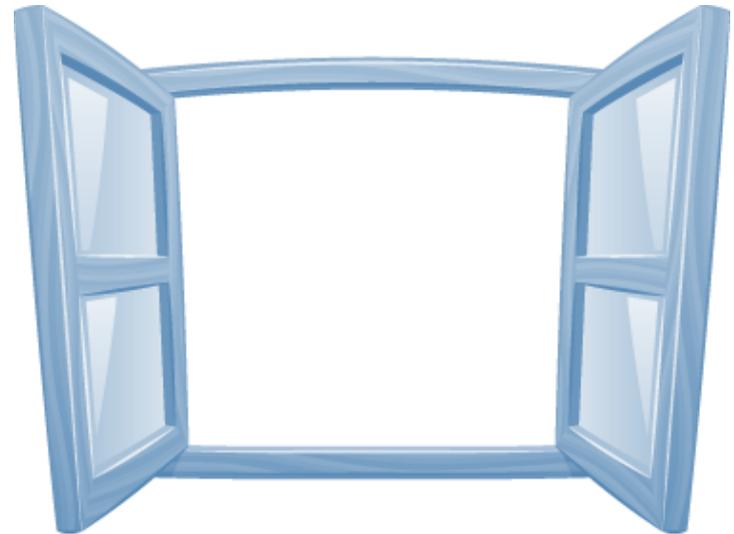
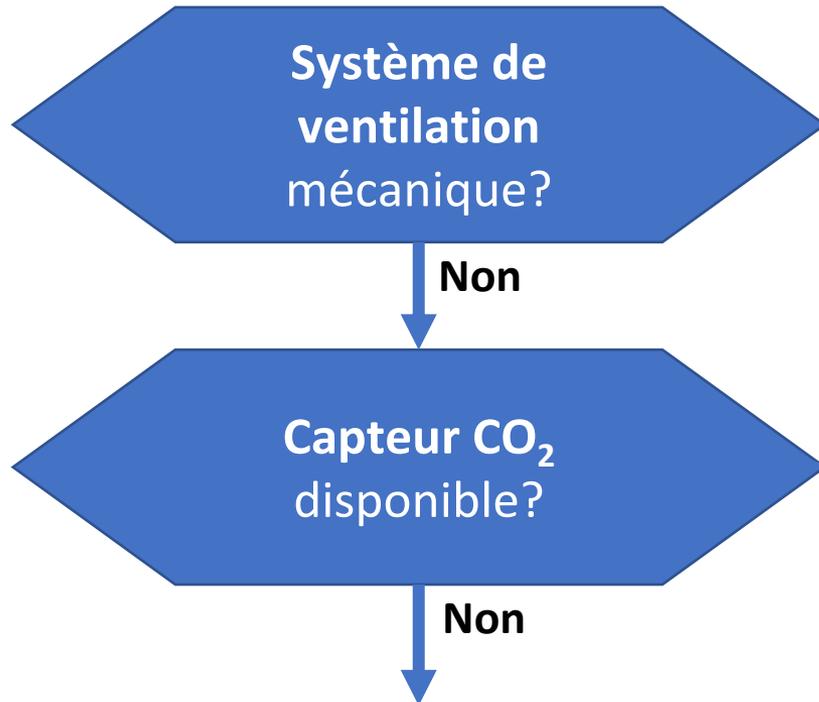
Le type d'activité détermine le débit nécessaire par personne

- Activité standard: position assise et calme
 - $40 \text{ m}^3/\text{h.pers} \rightarrow 900 \text{ ppm CO}_2$
- Activité plus lourde: sport, travail physique, ...
 - Débit par pers. plus élevé
 - Voir plan d'implémentation

| Klasse | Met | CO ₂ -productie(*) (l/h) | V ₉₀₀ (m ³ /h) | V ₁₂₀₀ (m ³ /h) | Voorbeelden |
|----------------|------|--|---|--|---|
| Rustig zittend | 1.5 | 18 | 37 | 23 | Bioscoop, theater, concertzaal, toeschouwer in sporthal, leslokaal (**), religieuze dienst |
| Standaard | 1.65 | 20 | 40 | 25 | Minimum standaard voor werklokalen (Codex), secretariaats- en kantoorwerk |
| Licht | 1.8 | 22 | 44 | 28 | Werklokalen voor licht zittend handwerk, restaurant, café, haar- of schoonheids-salon, museum |
| Middelmatig | 3.0 | 37 | 74 | 46 | Gestadig werken met armen en handen, winkelen, indoor bowling |
| Zwaar | 4.1 | 50 | 101 | 63 | Intense arbeid met de armen en de romp |
| Zeer zwaar | 5.2 | 64 | 128 | 80 | Zeer intense en snelle arbeid, sportlokaal (badminton, turnen), fitness, zwembadhal, klimzaal |
| Intensief | 7.3 | 90 | 180 | 112 | Schaatshal, boksklub, discotheek, cyclinglokaal, squashzaal, tennisal |

- Rappel: CODEX, deux débits: 40 ou $25 \text{ m}^3/\text{h.pers}$

Si pas de système, la priorité absolue est l'ouverture des fenêtres



**Fenêtres et/ou portes
ouvertes en permanence
lors de présence
(ET occupation limitée)**

Règle de base (activité standard):
Par m² de fenêtre complètement ouverte:
4 personnes
Par m² de porte complètement ouverte:
7 personnes

L'aération via l'ouverture des fenêtres dépend de nombreux paramètres

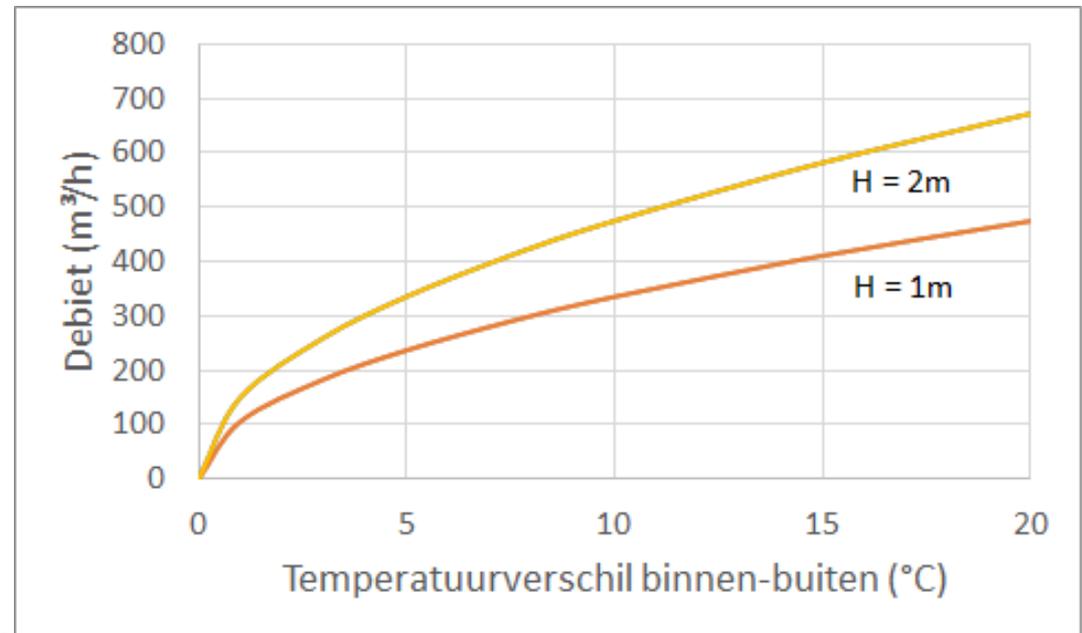
- Conditions météorologiques
 - Différence de température in & out
 - Vitesse du vent
- Fenêtres
 - Nombre
 - Position
 - Dimensions
 - Type d'ouverture

Si le vent est faible, la différence de température est la force dominante

- Le débit (Q) augmente avec
 - L'air nette de la fenêtre (A)
 - La hauteur de la fenêtre (H)

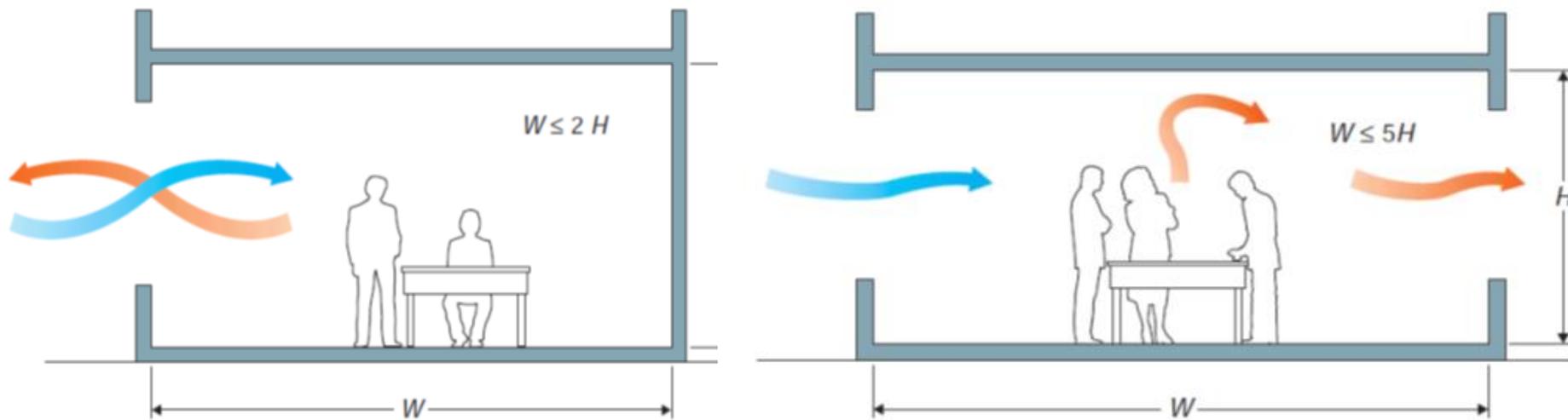
Pour $\Delta t = 3^{\circ}\text{C}$:

$$\begin{aligned} \text{Débit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) &= Q_{\text{open}} \\ &= 184 * A_{\text{open}} * \sqrt{H_{\text{open}}} \end{aligned}$$

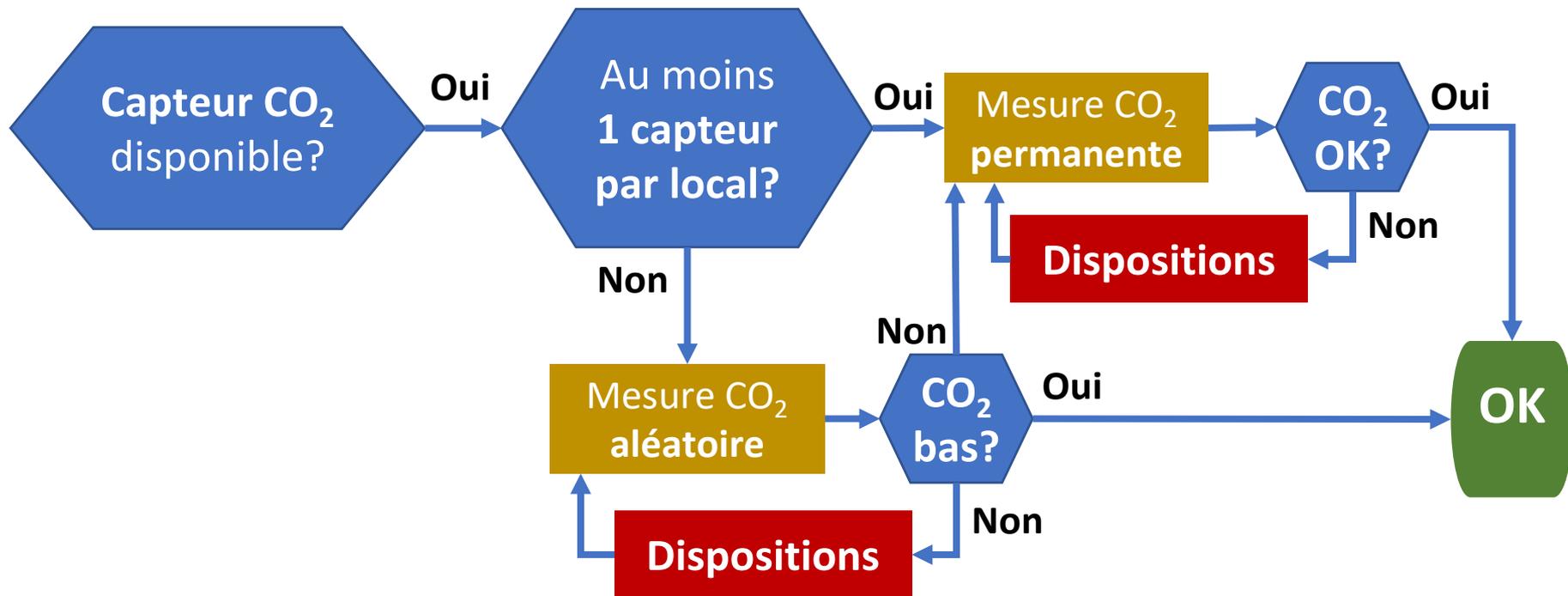


L'aération est néanmoins limitée en fonction de la profondeur

- Profondeur de l'espace (W) maximum
 - Fenêtres sur une façade: $W \leq 2 H$
 - Fenêtres sur façades opposées: $W \leq 5 H$

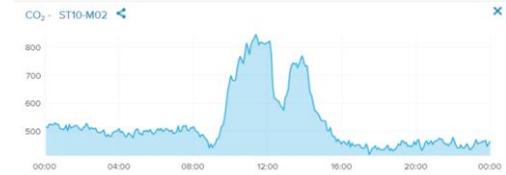
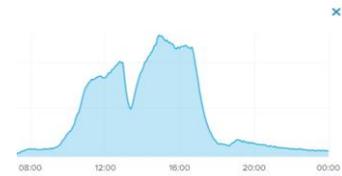


Si pas de système, la mesure de CO₂ permet de vérifier l'aération

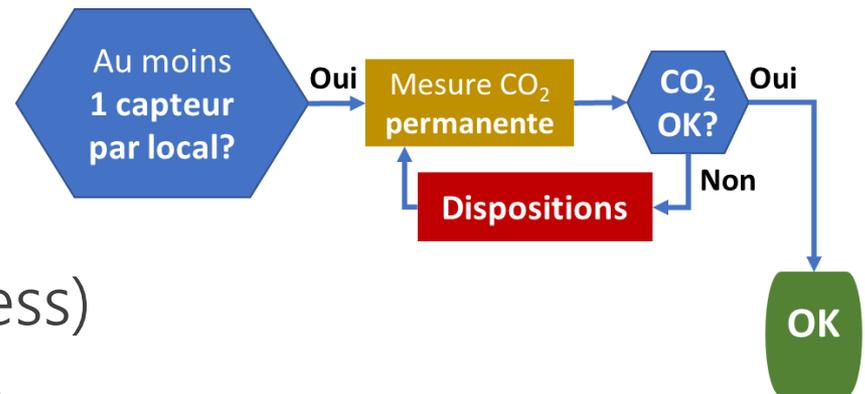


Les capteurs CO₂ peuvent avoir différentes fonctionnalités

- Affichage directe
 - Mesure instantanée
 - Information des occupants
- Enregistrement de données
 - Visualiser et interpréter l'évolution
 - Adapter les dispositions
- Indicateur couleur ou alarme
 - Informer d'un dépassement
 - Dispositions immédiates



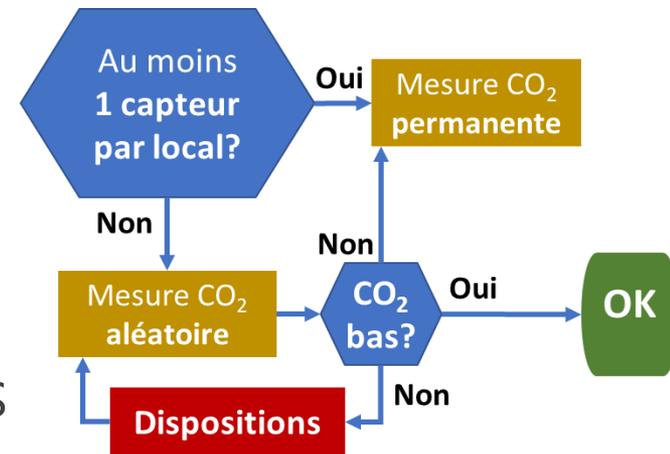
Mesure permanente de CO₂



- Quand
 - Si obligatoire (ex. fitness)
 - Si capteurs disponibles
 - **Recommandé si pas de ventilation**
- Quelles fonctionnalités
 - Affichage ou alarme
 - Enregistrement → suivi
- Dispositions
 - Adapter ouverture des fenêtres, purification d'air
 - **Plan d'action: système de ventilation**

Mesure aléatoire de CO₂

- Quand
 - Si capteurs PAS disponibles en suffisance
 - Occupation et conditions fixes
- Quelles fonctionnalités
 - Mesure courte → affichage
 - Mesure longue → enregistrement
- Dispositions
 - Définir une stratégie d'ouverture des fenêtres
 - Mesure permanente de CO₂
 - Plan d'action: système de ventilation



Rappel: il n'y a pas de valeur de CO₂ sûre à 100%!



- Autres paramètres: durée, masques, ...
- Autres dispositions: distances, masques, vaccination, ...

L'ouverture des fenêtres présente néanmoins plusieurs limitations

- Inconfort (hiver et vagues de chaleur)
 - Consommation d'énergie (hiver)
 - Bruit extérieur
 - Entrée de poussières
 - Courant d'air
-
- **Variable et incertain → mesure du CO₂**

Plan d'action nécessaire → mise en place d'un système de ventilation

- Disposition structurelle et durable: installer un système de ventilation
- Valable en général
- Mais certainement dans le contexte du CODEX bien-être au travail, qui est d'application pour tous les lieux de travail avec des employés

Installer un système de ventilation: Solutions simples & Conception

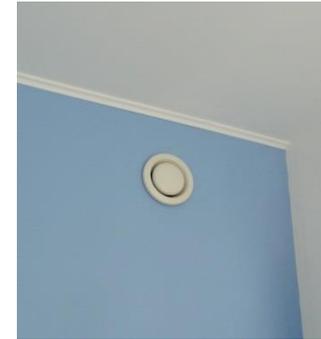
Grande diversité de bâtiments...



... et diversité de systèmes de ventilation

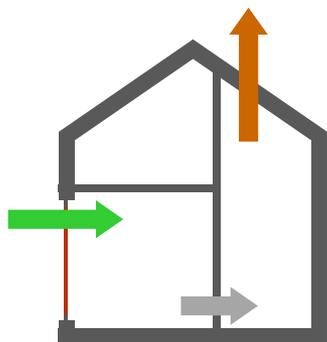
- « Petites » installations
 - Similaires aux logements
 - Conception
 - par architecte
 - + installateur

- « Grandes » installations
 - Type tertiaire
 - Conception
 - par bureau d'étude HVAC

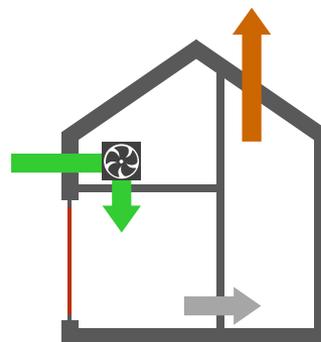


Selon que la ventilation est naturelle ou mécanique, on distingue 4 types de systèmes

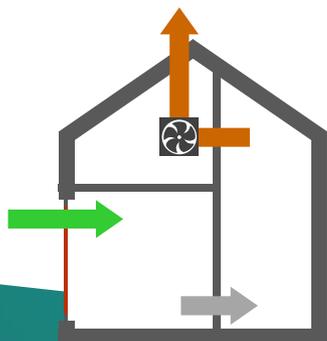
A: alimentation et évacuation naturelles



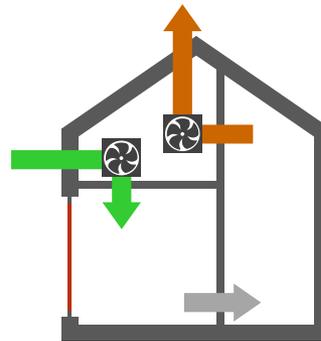
B: alimentation mécanique + évacuation naturelle



C: alimentation naturelle + évacuation mécanique



D: alimentation et évacuation mécaniques

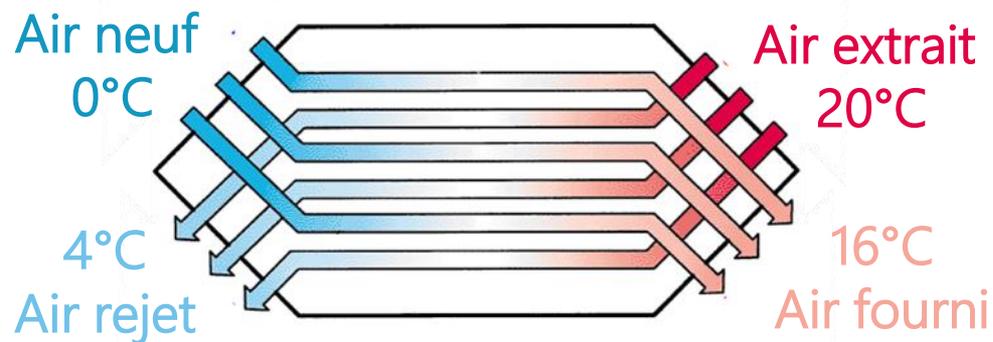


La ventilation coûte de l'énergie, mais il est possible de limiter son impact

- Chauffage/cooling (pertes par ventilation)
 - Récupération de chaleur (système D)
 - Ventilation à la demande / régulation des débits
- Electricité (ventilation mécanique)
 - Conception du réseau (pertes de pression)
 - Choix du ventilateur

Récupération de chaleur avec le système D

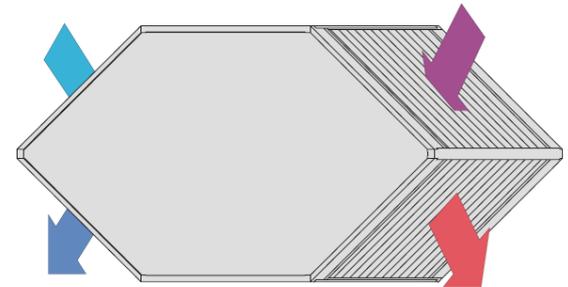
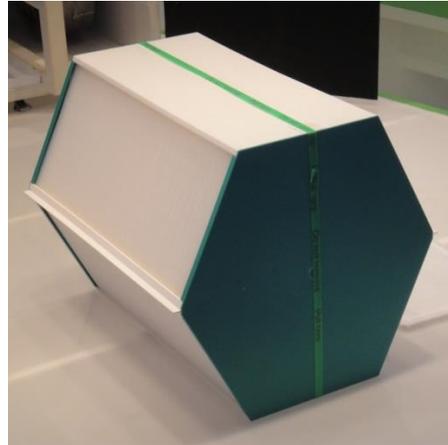
- Principe:
 - Récupération de chaleur sur l'air extrait
 - Pour préchauffer l'air fourni



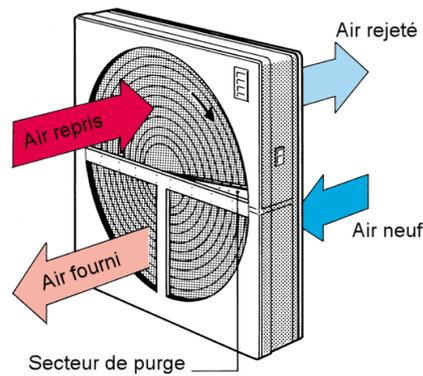
- Potentiel d'économie réel dépend de:
 - Besoins nets en chauffage
 - Efficacité du système de chauffage

Différents types d'échangeurs de chaleur

- A plaques



- A roue



Ventilation à la demande: détection des besoins

- (programmation horloge)
- Espaces destinés à l'occupation des personnes
 - Capteurs CO₂
 - Détecteur de présence
- Potentiel d'économie réel dépend de:
 - Profils d'occupation: variable ou pas
 - Efficacité du système de chauffage

Ventilation à la demande: la régulation des débits

- Systèmes décentralisés:
 - Régulation indépendante local par local
- Régulation centrale
 - Tous les locaux en même temps
 - Variation de la vitesse du ventilateur du groupe
 - Ex. sur base horaire, ou capteurs
- Régulation locale (système centralisé)
 - Nécessite des clapets pour les différents locaux



Première étape: déterminer les débits nécessaires

- Affectation des locaux
- Type d'activité (MET) → débit / personne
 - Standard: 40 m³/h.pers
- Occupation nominale
 - Affectation ou voir aussi PEB
- Débit total par local
 - Débit/pers. X occupation nominale
- Débit total bâtiment

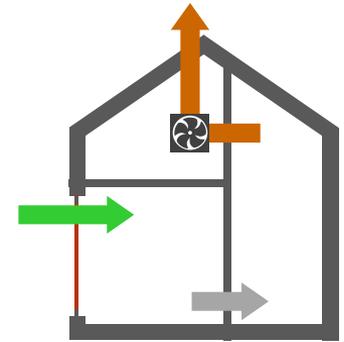
Choix du concept de ventilation selon différents critères

- Nombre de locaux?
 - 1 ou plusieurs systèmes
- Occupation simultanée et permanente des différents locaux?
 - Débit permanent ou régulation à la demande
- Espace disponible pour conduits et groupe?
 - Centralisé, apparent ou décentralisé
- Bruit extérieur?
 - C ou D
- Confort thermique?
 - C ou D
- Economie d'énergie?
 - Récupération de chaleur ou Ventilation à la demande (DCV)
- ...

En bâtiment existant, système C ou système D

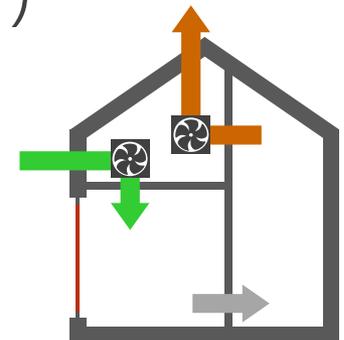
- C

- Économie d'énergie via DCV
- Moins de conduits
- Régulation différenciée par pièce plus facile
- Central ou décentral



- D

- Economie d'énergie via RC (et DCV)
- Confort thermique et acoustique
- Central ou décentral



Systemes C et D classiques

- C

- Espace pour groupe
- Alimentations dans chaque espace



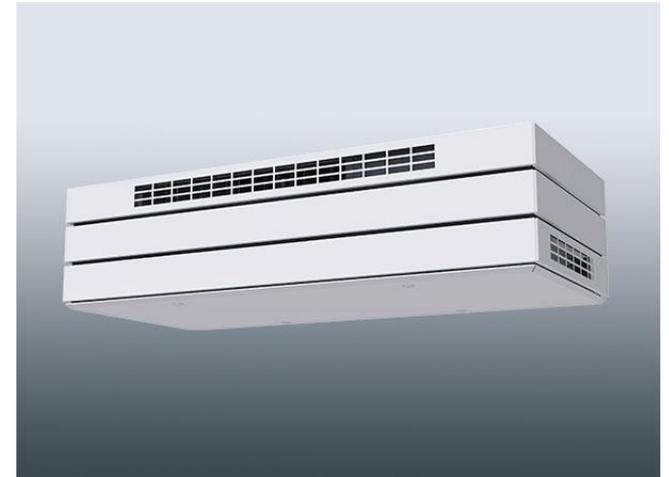
- D

- Espace pour groupe
- Espace pour conduits



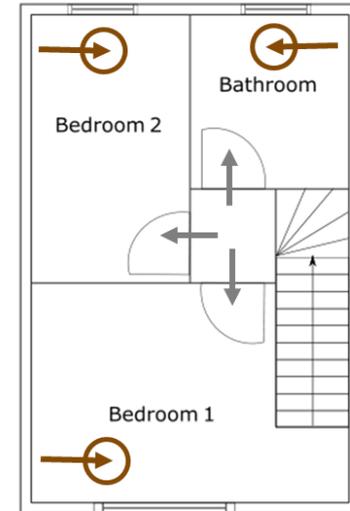
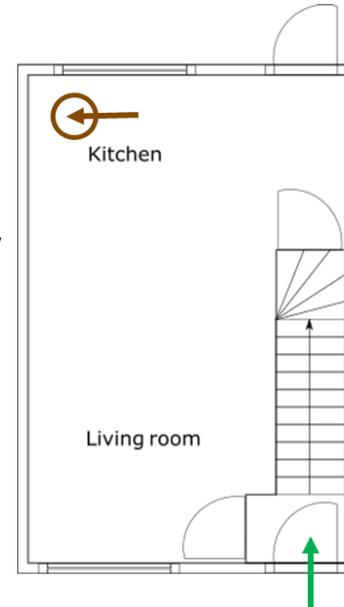
Solution alternative 1: système D décentralisé

- Application typique:
 - Classes d'écoles
- Avantages
 - Peu d'espace nécessaire
 - Facile à installer
 - Régulation (DCV) par local
- Limitations
 - En apparent
 - Nécessite façade extérieur



Solution alternative 2: système avec extractions partout et une alimentation

- Application typique
 - Petit bâtiment / "maison"
- Avantages
 - Plus facile à intégrer
 - Régulation DCV facile 
 - Non sensible à l'étanchéité à l'air
- Limitations
 - Alimentation via les couloirs



La conception du système mécanique est un compromis entre différents critères

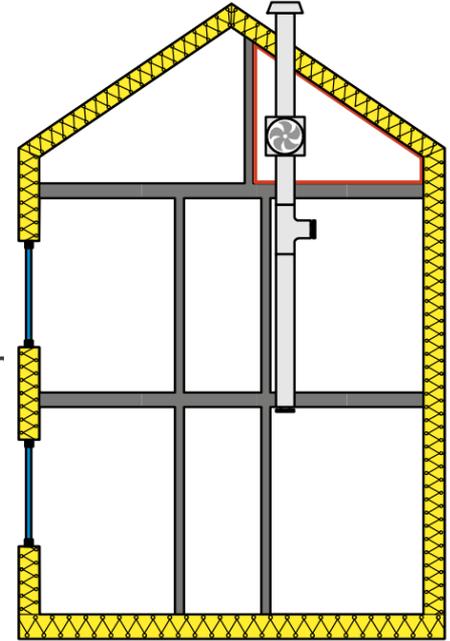
- Vitesses d'air faibles → confort acoustique
- Pertes de pression faibles → faible consommation électrique
- Encombrement limité
- Bouches/diffuseurs pour une bonne distribution de l'air
- Facilité d'entretien
- Prix abordable

La conception du système mécanique consiste en :

- Emplacement du local technique pour le groupe de ventilation
 - Et composants : silencieux, prise d'air, isolation, etc.
- Dimensionnement
 - Tracé du réseau de conduits
 - Diamètres des tronçons et composants
- Sélection du ventilateur

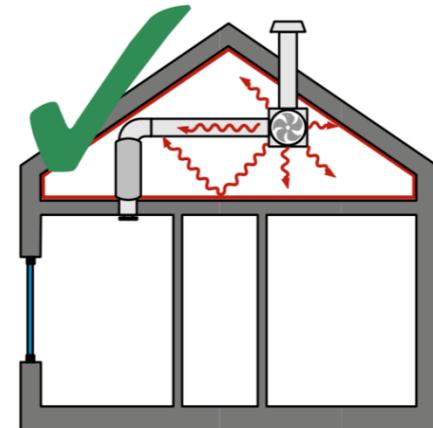
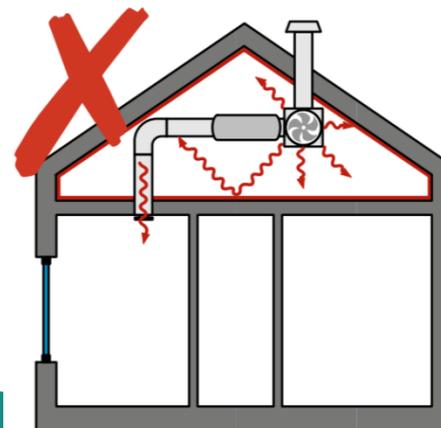
L'emplacement du groupe de ventilation doit satisfaire à plusieurs critères

- Dans un local technique fermé, avec place pour silencieux
- Central par rapport aux locaux à desservir
- Accessible pour l'entretien
- Dans le volume protégé, en limitant la longueur des conduits de et vers l'extérieur
- Pour une distance suffisante entre prise d'air et rejets d'air



Placer le groupe de ventilation dans un local fermé avec espace pour silencieux

- Local technique fermé
- Silencieux
 - Alimentation et évacuation (systèmes B, C et D)
 - Proche du groupe et du point de passage à travers la paroi
 - Grands débits: silencieux avec baffles

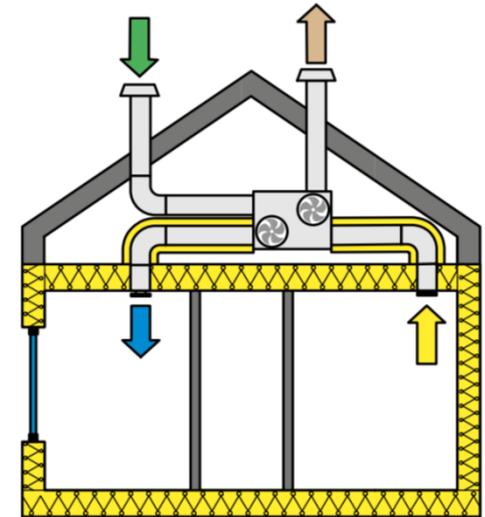
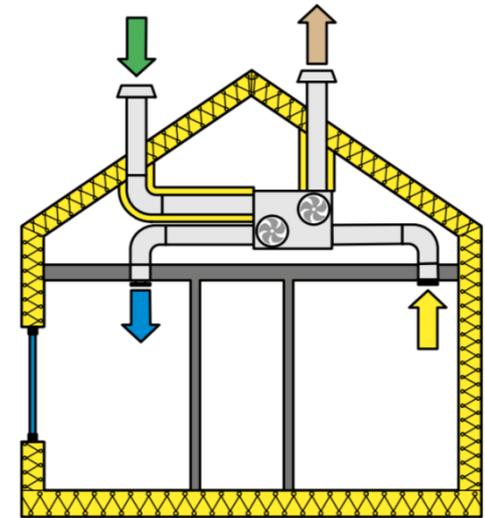


Le groupe de ventilation doit rester accessible pour l'entretien



Quels conduits doivent être isolés ?

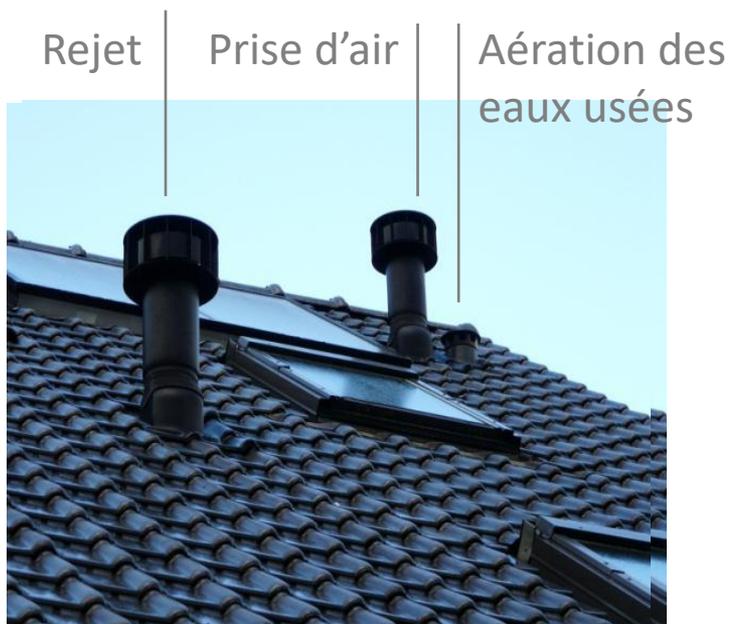
- Groupe dans volume protégé
 - Conduit air neuf (depuis l'extérieur)
 - Conduit air rejeté (vers l'extérieur)
- Groupe hors volume protégé
 - Conduits air fourni (vers espaces)
 - Conduits air repris (depuis espaces)
- A et C: conduits hors VP (risque condensation)



Il existe plusieurs solutions en pratique pour isoler les conduits

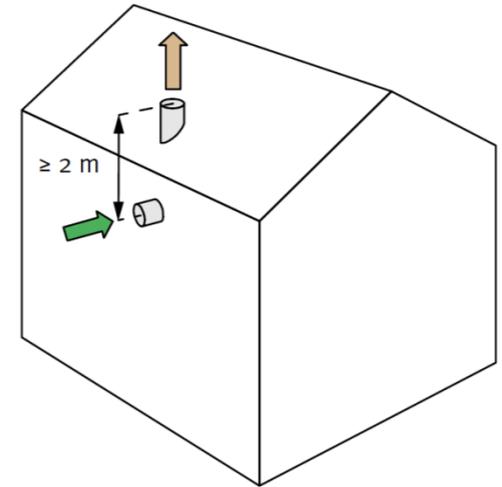


L'emplacement de la prise d'air est important pour éviter la recirculation d'air

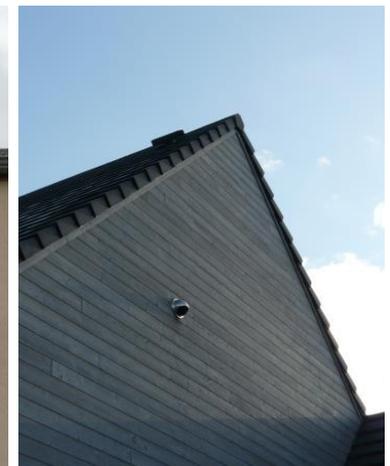


Rejets de ventilation et de gaz, différence de hauteur de 2 m est suffisante

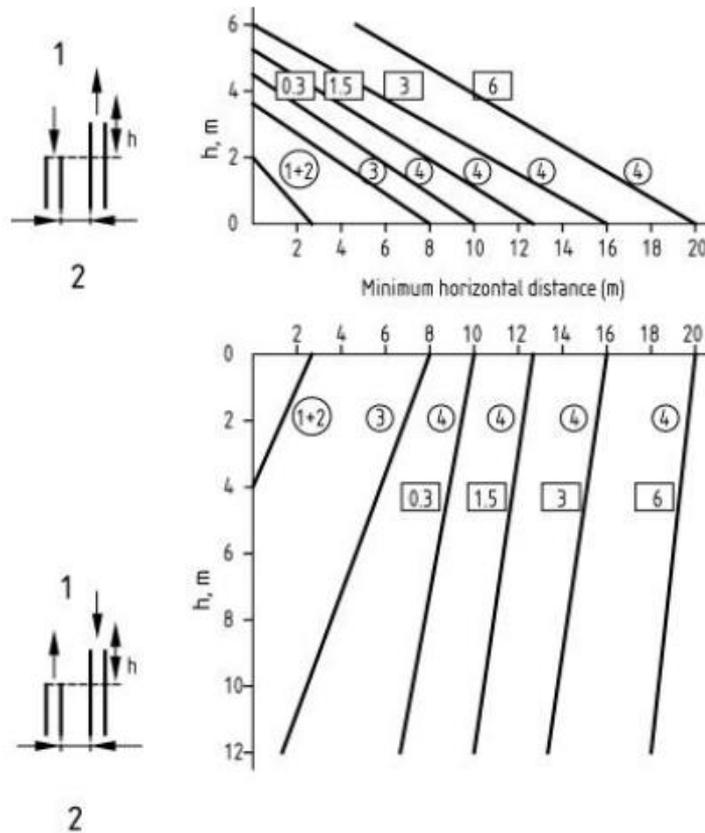
- Règle simplifiée
 - 2 m plus bas que autres rejets (ventilation, hotte, gaz)
 - Sur une autre paroi si possible



- Exemples pratiques
 - Prise d'air en façade et rejets en toiture



Distance entre prise d'air et rejet d'air pour les grands débits: norme EN 13779



○ 3

□ 4

Légende

- 1 Distance verticale – Refoulement au dessus d'une prise d'air neuf (haut de la courbe)
- 2 Distance
- 3 Catégorie RJT
- 4 Débit dans l'orifice de refoulement en $m^3 \cdot s^{-1}$
- A Distance minimale horizontale (m)

Figure A.1 — Distances minimales recommandées entre les orifices de refoulement et les prises d'air neuf

Ouvertures de transfert pour des débits élevés



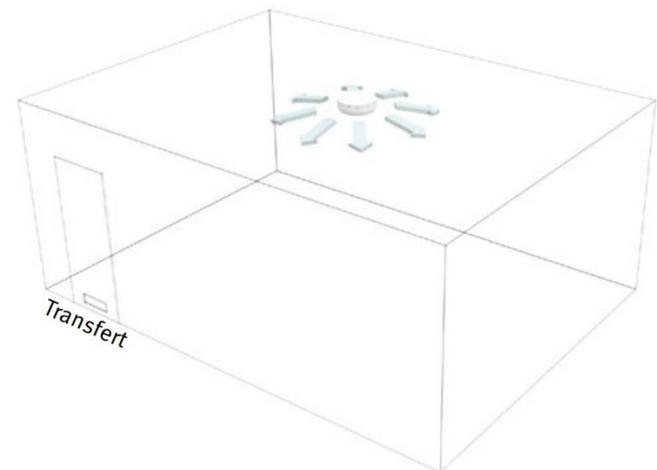
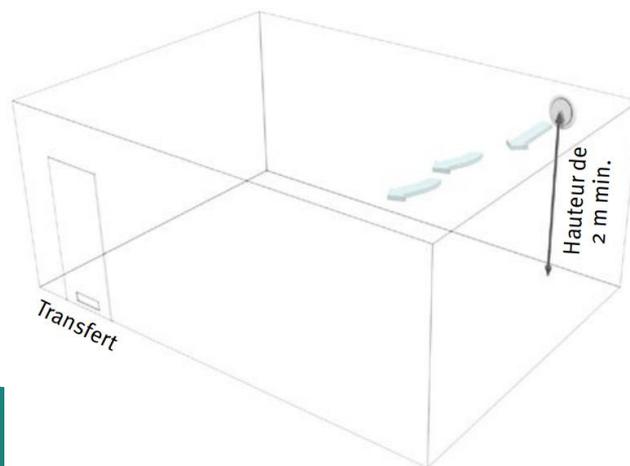
Ouvertures d'alimentation pour systèmes C

- En remplacement du vitrage
 - Au dessus du châssis
 - Au travers d'un mur
- Acoustique



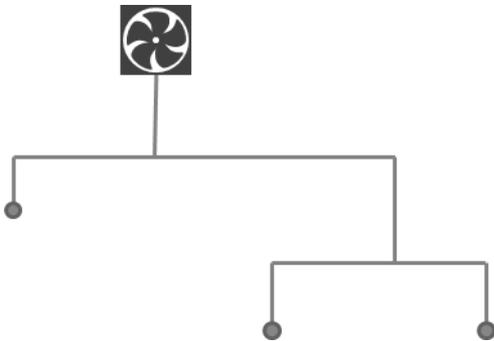
Alimentation mécanique: nombre et emplacement des bouches/diffuseurs

- Grands espaces: diviser en plusieurs diffuseurs
 - Meilleure répartition
 - Limiter vitesse d'air conduit terminal
- Petits espaces: emplacement et choix des bouches
 - Loin de l'évacuation
 - En dehors de la zone d'occupation

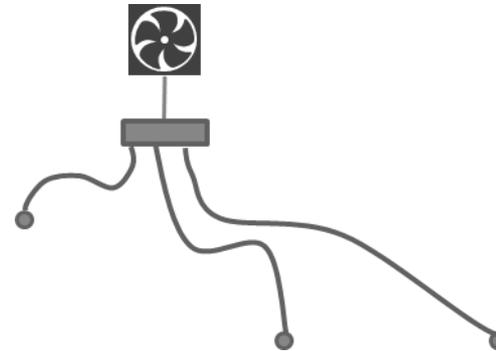


Dimensionnement des conduits: il existe 2 types différents de systèmes

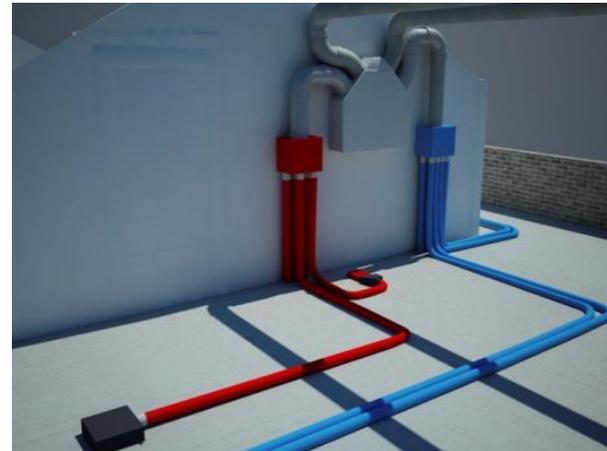
Réseau ramifié



Réseau avec collecteur



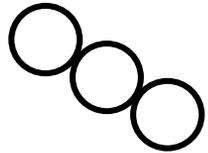
Il existe de nombreux types de conduits



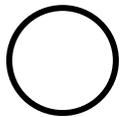
Mais attention avec les diamètres très petits, même si plusieurs conduits en parallèle

Plusieurs conduits semi-flexibles en parallèle → plus de pertes de pression

- 3 petits conduits rond lisses:
3 x \varnothing 50 mm, 75 m³/h (3.5 m/s)
→ 4.9 Pa/m



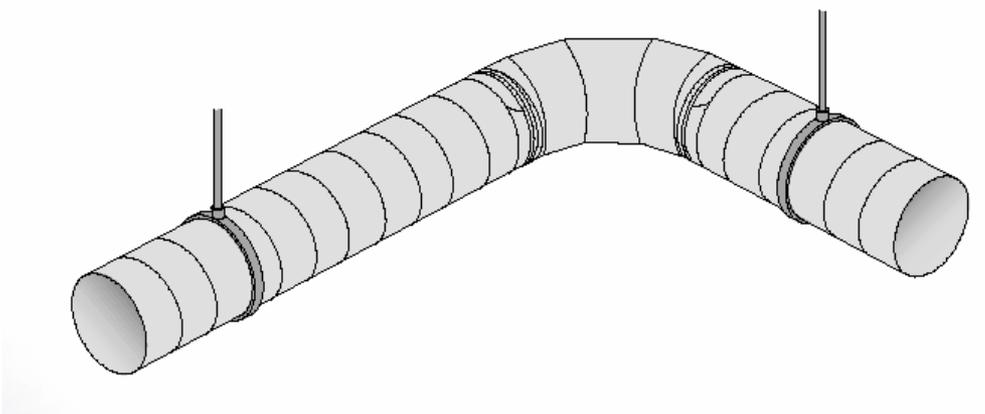
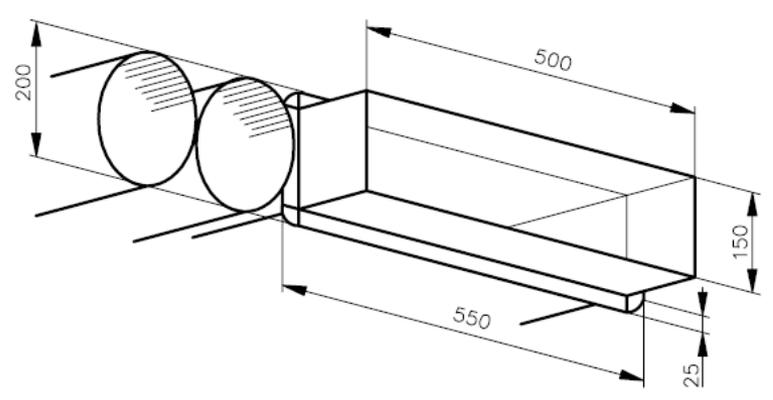
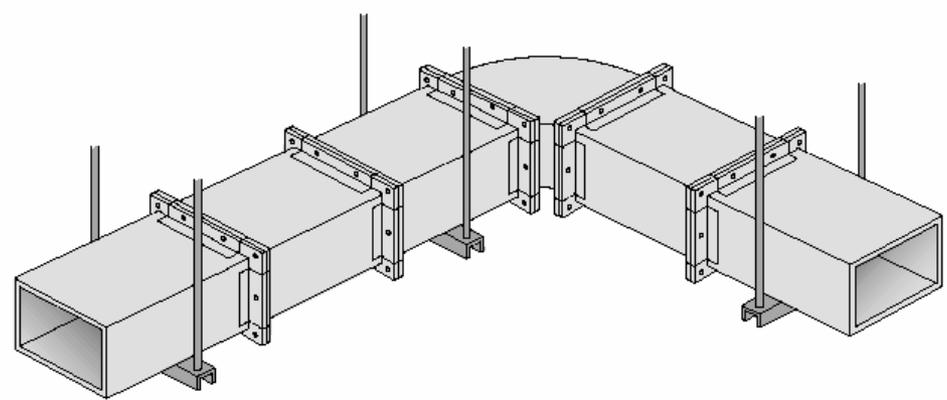
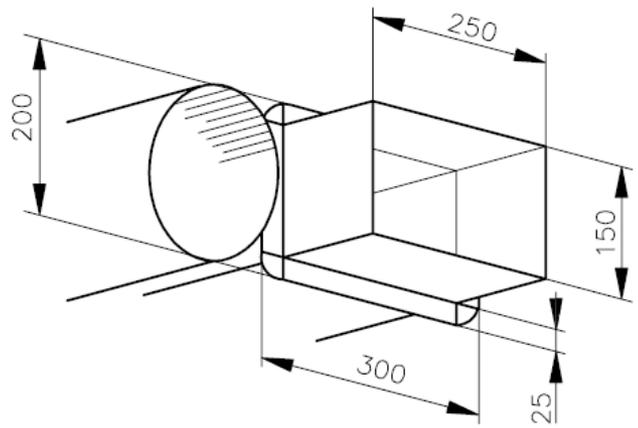
- 1 conduit rond lisse:
1 x \varnothing 87 mm 75 m³/h (3.5 m/s)
→ 2.4 Pa/m



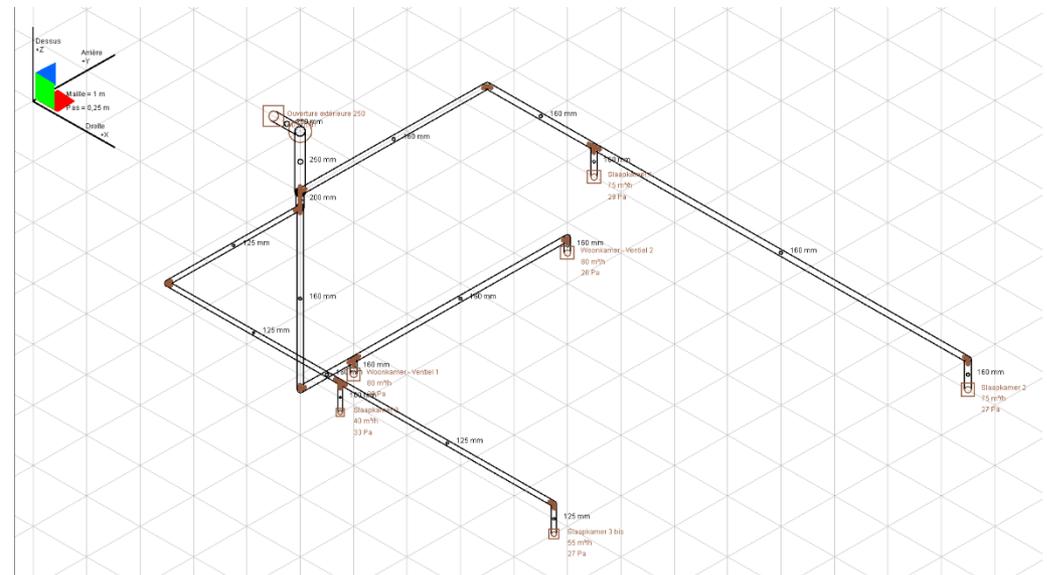
→ Même vitesse, mais
Pertes de pression 2 x plus élevée



Conduits circulaires → moins de pertes de pression et plus faciles à monter que les rectangulaires



Conception des "petites" installations voir NIT 258 et outil Optivent



NIT 258 et outil de calcul OPTIVENT

Purification de l'air et ventilation

Pourquoi la purification de l'air dans le contexte covid?

- La purification de l'air permet de diminuer la quantité de virus dans l'air d'un local
- Avantages des purificateurs d'air
 - Appareils mobiles
 - Plug & Play
 - Pas de conduits, pas de prise d'air extérieure
 - Plus facile à installer que ventilation

Deux catégories de purificateurs d'air ont un effet sur le covid

- Captation / filtration
 - Les particules (contenant du virus) sont retenues dans l'appareil et éliminées de l'air
 - Ex. Filtres HEPA, précipitation électrostatique
- Inactivation
 - Les particules de virus sont endommagées et ne peuvent plus transmettre la maladie
 - Ex. UV-C, plasma froid

L'efficacité globale d'un purificateur d'air est donnée par le CADR

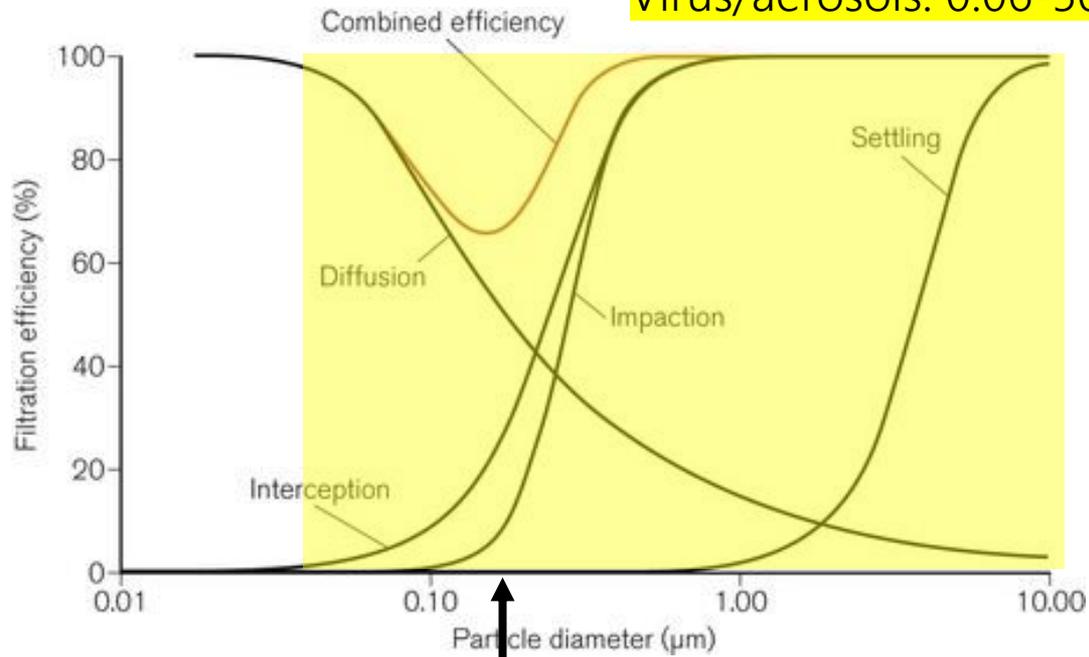
- CADR = Clean Air Deelivery Rate
 - Débit d'air x efficacité (pour un polluant donné)
= quantité d'air purifié délivré par l'appareil (m^3/h)
en tenant compte de son efficacité
- Pas de méthode d'essai normalisée au niveau international (ISO ou EN)
 - Méthode USA: **ANSI/AHAM AC-1-2015**
 - Cigarette (0.1-1 μm), poussière (0.5-3 μm), pollen (5-11 μm)
 - Méthode France: **NF-B44-200:2016**
 - 5 Gaz, 1 bactérie + 1 moisissure, allergène, PM 0.3-5 μm

Mesurer l'efficacité de la purification par captation?

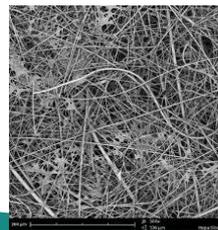
- Principe
 - Le virus est présent dans des aérosols
 - Si on capte les aérosols alors on capte le virus
- Mesure directe du CADR
 - En principe possible (méthode USA ou France)
 - Mais besoin d'adapter et uniformiser les tailles des particules testées (virus/aérosols: 0.06-5 μ m)
- Mesure indirecte de l'efficacité de filtration
 - Norme EN 1822-1:2019
 - Filtres de classe HEPA: H13 ou H14

Captation: filtres HEPA

Virus/aérosols: 0.06-50 μ m

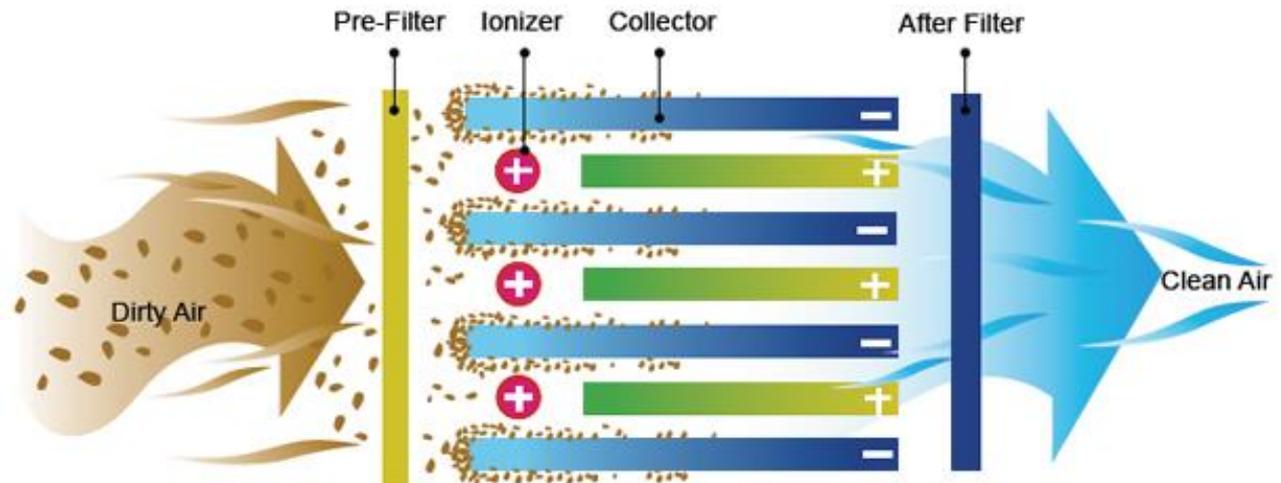


Most Penetrating Particle Size (MPPS): 0.2 μ m



Captation: précipitation électrostatique

- Principe
 - Etape 1: Ionisation de l'air → particules chargées +
 - Etape 2: particules chargées sont retenues sur un collecteur
- Performance ≈ filtration HEPA



Mesurer l'efficacité de la purification par **inactivation**?

- Défi
 - Mesurer l'inactivation de matériel biologique
 - Spécifiquement pour le virus covid (différent d'un organisme à l'autre!)
- Pas de méthode d'efficacité normalisée pour l'inactivation
- En théorie, mesure du CADR possible, mais **besoin d'une mesure d'efficacité**

Inactivation: Ultraviolet UV-C

- Principe
 - Les UV endommagent le matériel génétique (ARN)
- Points d'attention
 - Protection des personnes contre les UV
 - Dose
 - Temps de contact
 - ...

La purification de l'air est spécifique à un (groupe de) polluant(s)

- Covid: captation aérosols ou inactivation
- Différentes techniques de purification
 - Gaz: charbon actif, oxydation, photocatalyse,...
 - Particules: filtration, précipitation électrostatique
 - Microbiologique: UV, ...
- IAQ en général
 - Polluants: bio-effluents, humidité, émissions matériaux, particules, etc.
 - Purification: combinaison de techniques nécessaire!
 - Ventilation: tous les polluants sont dilués

La purification présente encore des défis supplémentaires

- Mesure de l'efficacité
- Spécifique à un seul polluant
- Acoustique
- Appareils mobiles
 - Nombre et répartition dans une pièce
 - Occupation de l'espace au sol
- Entretien
 - Filtres, lampes UV, ...
 - Coût
 - Risque: pire si circulation d'air non traité!



Ventilation ou purification d'air?

| | Ventilation | Purification de l'air |
|-----------------------------|---|--|
| Quels polluants? | Tous | Particules (captation) Biologiques (inactivation) |
| Obligatoire? | PEB + CODEX | / |
| Efficacité? | Débit | CADR (machine): Efficacité x débit |
| Risques secondaires? | En principe non | By-products? |
| Entretien? | Régulier: filtres Long terme: conduits, groupes | Très régulier: filtres, lampes UV, etc. |
| Facilité de mise en oeuvre? | Ampleur des travaux variable | Plug & Play |
| Investissement? | A long terme Durable | Si pas d'autres solutions? |

→ Solutions complémentaires selon les cas!

Ventilation et purification = dilution!

