

Fiche pédagogique

Pour aller plus loin : répartition spatiale du CO₂ émis par la respiration.

Quelle est la trajectoire suivie par les particules fluides émises par la respiration ?

Les particules fluides émises en respirant contiennent un air chargé en CO₂ mais aussi plus chaud et plus humide que l'air extérieur.

En l'absence de courant d'air, le bilan complet de densité montre que l'air émis va monter dans la pièce.

En effet il est plus chaud que l'air extérieur, plus humide et contient plus de CO₂ et moins de O₂.

Les deux premiers effets font monter la particule fluide et sont plus grands que le troisième qui la ferait descendre.

Pour estimer les différents termes:

Air expiré : 4% de CO₂, soit $\frac{4}{2} \sim 2\%$ de masse volumique en plus (CO₂ : 1,5 fois la masse de O₂ environ).

Ecart de température : 10°C - $\rightarrow \frac{10}{300} = 3\%$ plus léger (via la loi des gaz parfaits)

En se limitant à ces deux effets, on voit que la particule fluide monte. La vapeur d'eau rend aussi le mélange plus léger et cet effet s'ajoute.

On peut aussi se convaincre en pensant à la fumée de cigarette émise après inhalation ou au nuage de vapeur d'eau expiré dans un air très

froid. Dans les deux cas, l'air exhalé monte (l'effet est plus fort si la différence de température est élevée).

Pour être complet, notons que ce raisonnement est valide dans le régime de transport non diffusif des concentrations de chaque gaz. Ce régime est valide tant que l'on peut négliger les effets de transport moléculaire (On parle de petit nombre de Péclet en mécanique des fluides).

- Cette propriété est aussi vérifiée par les aérosols de petite taille qui sont advectés par l'écoulement et suivent les particules fluides lorsqu'ils sont émis. Le CO₂ et les aérosols sont donc des traceurs dont les dynamiques sont identiques : ils suivent les particules fluides de l'écoulement. Mesurer la concentration en CO₂ correspond donc à mesurer la concentration en aérosols.

- Si on attendait suffisamment de temps dans une pièce sans écoulement et en considérant une température homogène T , on retrouverait une stratification de type Maxwell-Boltzmann du profil de concentration de chaque espèce.

La longueur typique de variation de concentration est alors $L = k_B T / M g$ où M est la masse d'une molécule du gaz considéré.

Pour le cas de CO₂, on trouve une longueur de $L = 6$ km.

Pour le cas de N₂, on trouve une longueur de $L = 9$ km.

On en conclut donc, dans le cas hypothétique d'absence de tout écoulement, que les variations de concentration du profil d'équilibre liées à la différence de masse seraient négligeables sur les hauteurs considérées, de quelques mètres dans les bâtiments.

Références :

Sur la ventilation et la dynamique des particules fluides :

Bhagat et al., JFM, 903, F1 (2020).

<https://doi.org/10.1017/jfm.2020.720>

Sur la dynamique des gouttes en lien avec la transmission des
maladies aérosols :

Zhou et Zou, *Physics of Fluids*, 33, 031301 (2021).

<https://doi.org/10.1063/5.0039487>