

Pandémie de SARS-COV-2 :

Utilisation de capteurs de CO2 en lieu clos pour limiter le risque de contamination par aérosol aggravé par le confinement de l'air

Réalisé par Alexandre Gensollen et le groupe Aération/ventilation du collectif Du côté de la Science



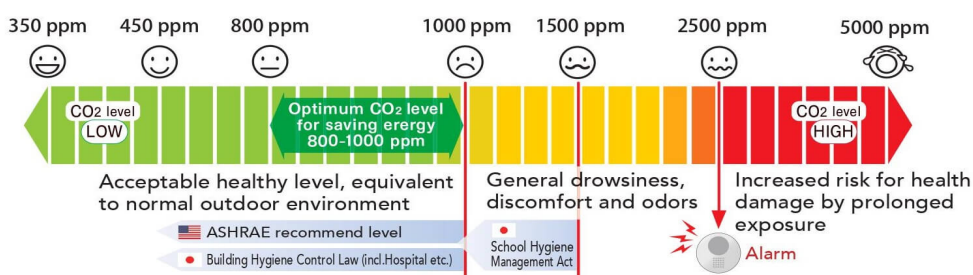
Table des matières

1. Aération des locaux en contexte pandémique et capteur de CO2	3
2. Réalisation des relevés et identification des variables	5
3. Une école dont il faut ouvrir les portes	7
4. Des petits espaces à surveiller	9
5. Restauration scolaire : des actions efficaces	10
6. Une salle de collège, des protocoles d'aération	13
Annexe 1 : exemple de formulaire de relevé pour un établissement scolaire	18
Annexe 2 : fiche pratique	19

1. Aération des locaux en contexte pandémique et capteur de CO2

Le SARS-CoV-2 étant un virus majoritairement aéroporté¹ (postillons et aérosols), le renouvellement de l'air en lieu clos est incontournable. En effet, les particules virales du SARS-CoV-2 peuvent survivre plusieurs heures dans l'air². Passé un certain niveau de confinement, le port de masque (absolument nécessaire !) n'est plus suffisant pour protéger d'une contamination par les particules virales persistant dans l'air³.

Le taux de CO2 est un marqueur corrélé à la concentration de particules virales dans une pièce, il permet donc d'estimer des seuils de sécurité vis-à-vis du risque de contamination, et d'indiquer le moment où les conditions de cette sécurité ne sont plus remplies. Dans le cadre de la pandémie de SARS-CoV-2, les experts considèrent qu'il faudrait maintenir le taux de CO2 entre 600 et 800 ppm⁴.



5

Il s'agit de renouveler complètement l'air de chaque pièce 6 fois par heure⁶ dans un bâtiment ancien. Les données que nous avons collectées nous indiquent clairement que dans les établissements scolaires, les taux de CO2 sont souvent trop élevés, à fortiori lorsqu'ils ne sont pas contrôlés. Depuis la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010, la surveillance de la qualité de l'air est une obligation réglementaire, notamment dans les écoles, collèges et lycées ; et l'achat de capteur de CO2 y apparaît comme une "bonne pratique".⁷

Une mesure ponctuelle du taux de CO2 est néanmoins d'un intérêt limité : si elle peut alerter sur la qualité de l'air à un instant T, elle ne permet pas de s'adapter aux conditions d'occupation, ni de comprendre comment fonctionne le renouvellement de l'air dans la pièce. Dans l'idéal, chaque salle pourrait être munie de capteurs qui permettraient d'adapter l'aération en prenant en compte les caractéristiques du bâtiment et les circonstances en cours. Pour des raisons matérielles et économiques, un tel équipement n'est pas envisageable à court terme.

¹ <https://www.covidisairborne.org/resources/science> <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.10.13.20212233v2>

² <https://indoor-covid-safety.herokuapp.com/?units=metric&lang=fr>

³ Article d'El Pais, du 20 Octobre 2020

⁴ <https://www.fastcompany.com/90538531/this-is-the-safest-indoor-space-to-prevent-the-spread-of-covid-19-according-to-a-mechanical-engineer>

⁵ <http://group.chcsys.net/en/lets-fight-off-infection-sufficient-indoor-ventilation-by-visualizing-co2-concentration/>

⁶ https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation.pdf

⁷ "Pour une meilleure qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants et adolescents, guide 2019"

L'utilisation des capteurs de CO2 dans les services publics, les commerces, salles de spectacle, entreprises, et même les restaurants permet de garantir un bon renouvellement de l'air, et est un argument sérieux pour sécuriser le public et les clients. La réflexion qui se concentre ici sur les établissements scolaires est valable pour tous les lieux clos, publics comme privés.

Nous verrons donc ici comment avec un capteur de CO2, établir des recommandations adaptées aux locaux, et que le renouvellement de l'air est spécifique au bâtiment, mais aussi aux différentes salles en son sein. Le capteur de CO2, en plus d'objectiver la situation et de permettre d'identifier les leviers d'amélioration, déconstruit certaines représentations.

Les données issues de ce travail ont été relevées dans deux établissements différents : l'un est un groupe scolaire achevé en 2018 regroupant maternelle, primaire et collège. L'autre est un collège des années 1980.

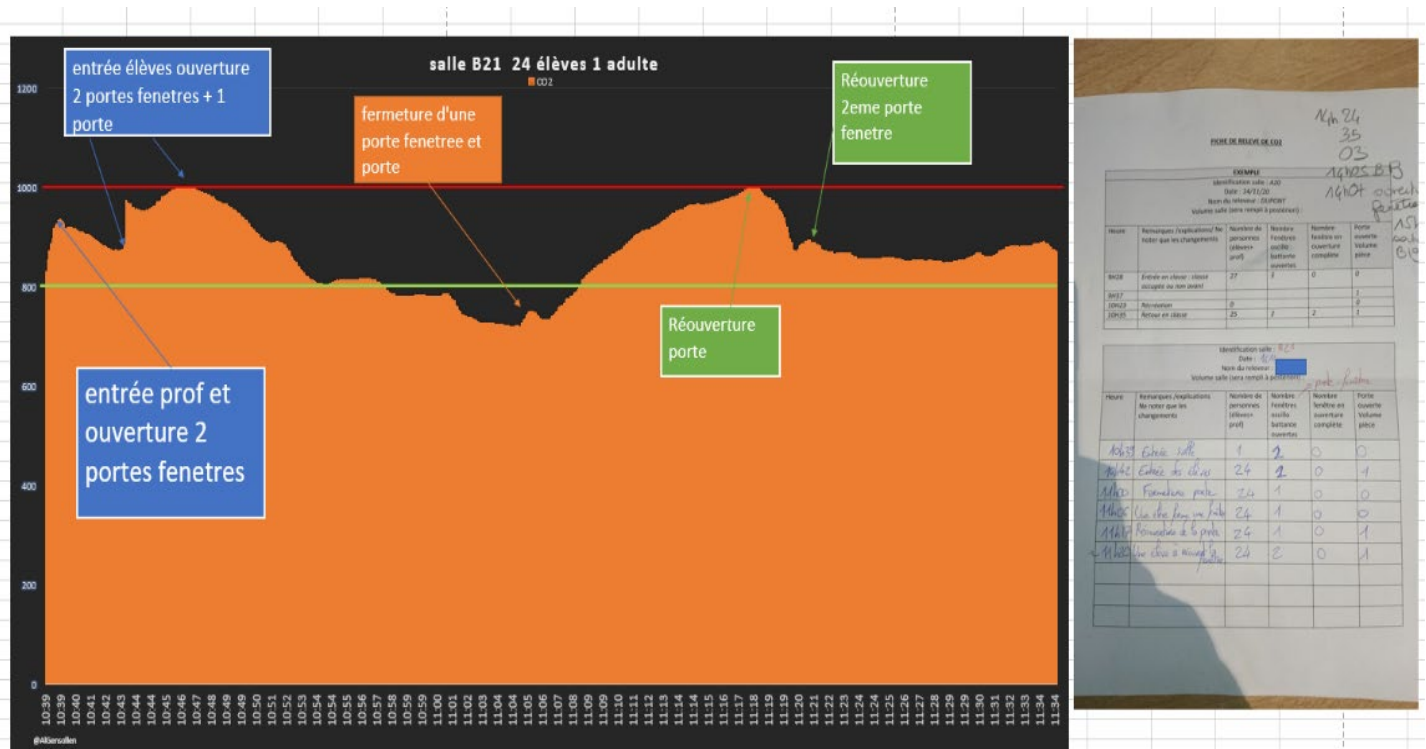
2. Réalisation des relevés et identification des variables

D'après José-Luis Jimenez⁸, le capteur est idéalement placé au centre de la pièce, environ à hauteur de respiration (1,5 m) ou un peu plus haut, en évitant de le disposer très près des personnes : en effet, leur respiration directe expirée pourrait perturber la mesure. De même, il est préférable d'éviter de placer le capteur à côté des fenêtres ou des bouches de chauffage, de climatisation ou de ventilation.

La personne en charge du relevé de données surveille l'affichage, et fait en sorte que le taux de ppm soit inférieur à 800 ppm, ou que le voyant reste vert pour les capteurs avec feu tricolore. Pour cela, il intervient successivement sur les différents ouvrants : fenêtres, baies vitrées, portes, etc. Il veille à trouver le meilleur compromis au regard du confort thermique et de la consommation de chauffage. Ces interventions sur les variables d'ajustements permettent ensuite de comprendre quels leviers assurent un bon renouvellement de l'air dans les conditions données.

Pour que les données soient interprétables, le releveur veille absolument à noter pour mémoire, à minima⁹:

- Le nombre d'occupants (préciser enfants/ adultes),
- Les actions réalisées sur les ouvrants, et en note l'heure.



Selon les cas de figure, il peut être pertinent de compléter ces éléments par :

- des photographies du lieu, des bouches d'aération,
- de la température,
- le volume du local en m3.

⁸ José-Luis Jimenez, [FAQs on Protecting Yourself from COVID-19 Aerosol Transmission](#)

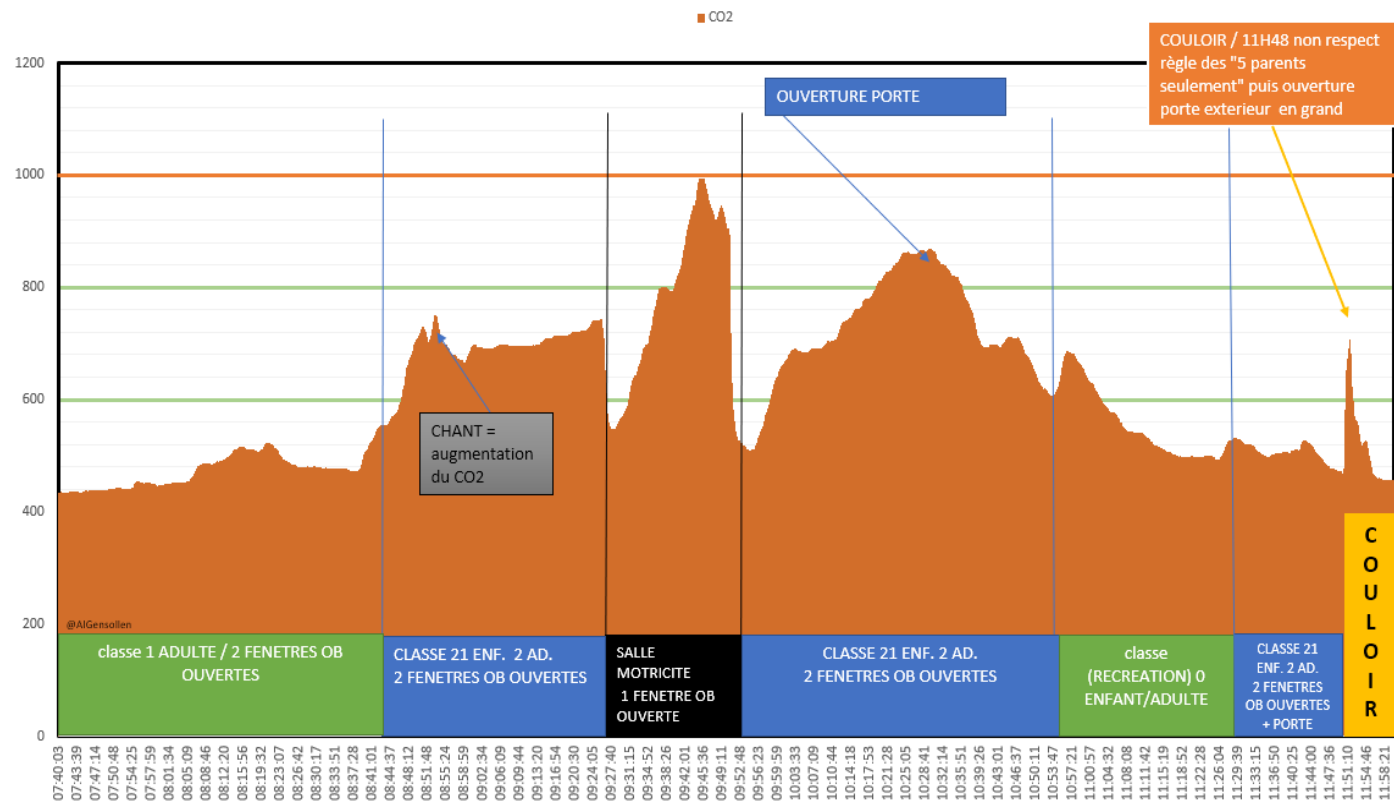
⁹ Cf. annexe 1 pour un exemple de formulaire de relevé

Selon les capteurs, on peut faire un export de données pour réaliser une courbe. Ces données brutes sont à mettre en perspective avec le contexte pour analyser l'influence des différentes variables. Dans cette optique, il conviendra de distinguer ce qui relève d'une part des caractéristiques propres aux locaux, comme le volume de la pièce et l'efficacité de la ventilation mécanique ; de ce qui relève d'autre part de variables liées à l'utilisation de ces locaux comme le nombre d'occupants, le type de respiration induit par leur activité (sport, chant, lecture silencieuse, etc.) et sa durée d'occupation.

Ainsi, la courbe suivante peut nous éclairer sur l'influence de ces différentes variations liées à l'utilisation des locaux. Ici, le capteur de CO2 suit sur la journée une classe de maternelle dans différentes pièces.

- L'activité réalisée influe sur le taux de CO2 : le premier pic correspond en réalité à une activité à respiration forte, le chant. Le second pic correspond à une séance de gymnastique dans une salle de motricité.
- Le nombre d'occupants augmente également le taux de CO2 : dans le dernier pic, la rentrée en nombre d'adultes dans le couloir conduit immédiatement à une élévation significative du taux de CO2 avant l'ouverture de la double porte extérieure.
- Enfin, l'aération permet de baisser très rapidement le taux de CO2, comme en témoigne l'effet immédiat de l'ouverture des portes pour les 3èmes et 4èmes pics. Nous nous concentrerons dans ce document sur la ventilation.

classe PS/MS 49m² 132m³ + salle motricité(72,2 m² 187,74 m³) 21 enfants
2 adultes



3. Une école dont il faut ouvrir les portes

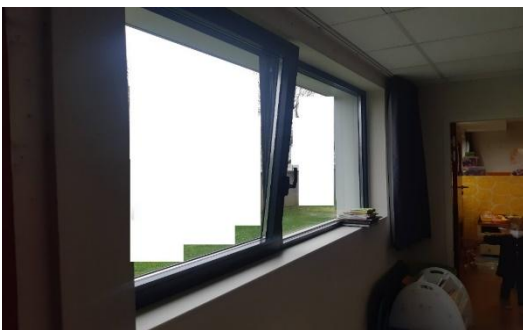
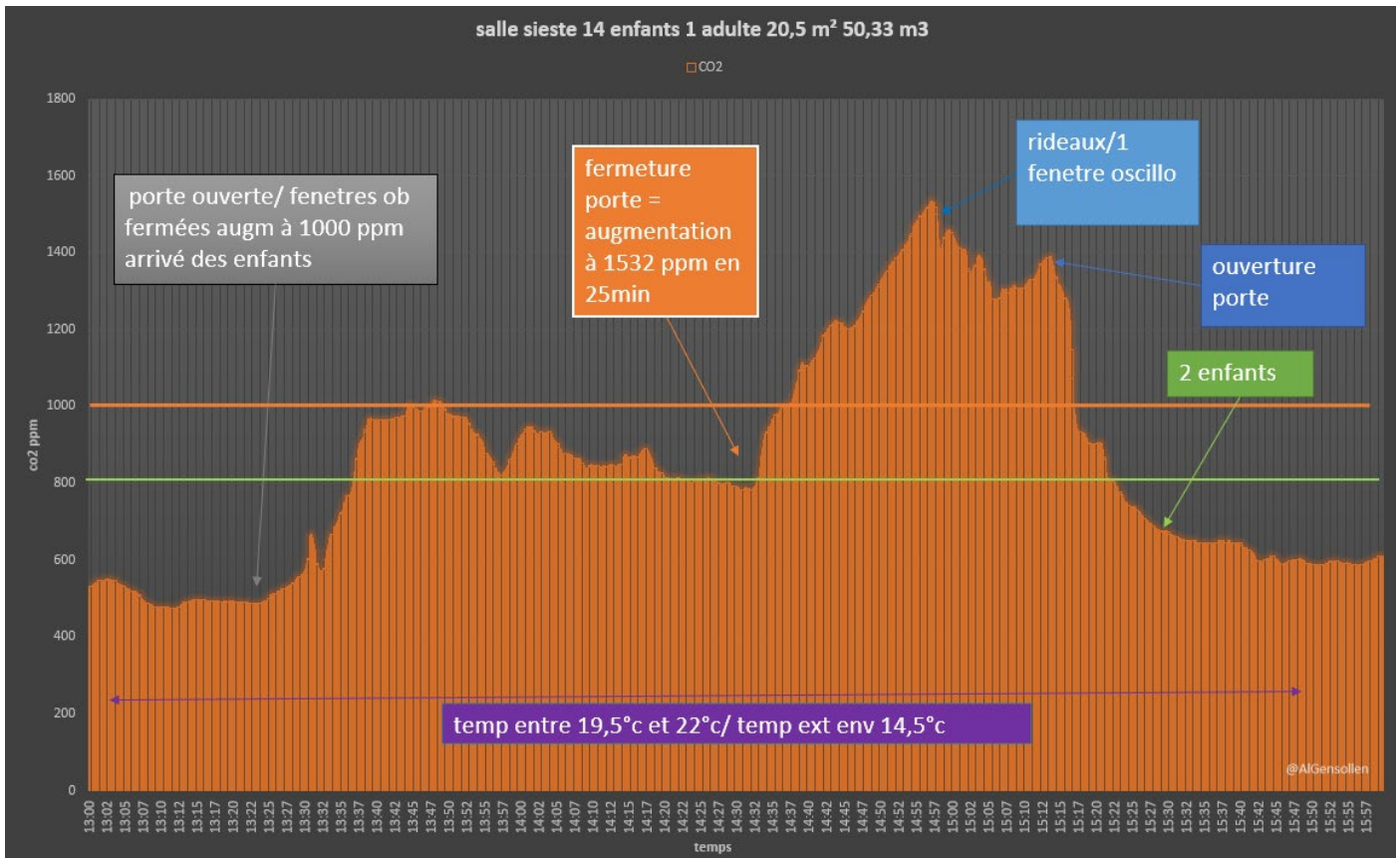
Cette école est un bâtiment récent, achevé à l'été 2018, équipé d'une VMC double flux. Les données indiquent un système de ventilation efficace, mais à compléter nécessairement par des actions sur les ouvrants selon les différentes salles et activités. L'étude des courbes de chaque salle permet d'établir des recommandations qui leur sont propres. Les différents relevés de cet établissement font ressortir qu'il y est très efficace d'y ouvrir les portes intérieures, en plus des fenêtres oscillo battantes. En voici deux exemples.

- La classe de CM2 : ouvrir deux portes et une fenêtre oscillo-battante



Dans cette classe, le taux de CO2 est en progression constante en présence d'occupants, quelles que soient les ouvertures de fenêtre, sauf dans l'unique cas où les deux portes viennent compléter l'ouverture de la fenêtre oscillo battante.

- **Le dortoir de petite section de maternelle : ouvrir une fenêtre oscillo battante et la porte**



Dans ce dortoir de maternelle, les 14 enfants arrivent dans la salle progressivement à partir de 13h30, la porte reste ouverte. Le taux monte puis se stabilise entre 800 et 1000 ppm. A 14h10, on ferme la porte : le taux monte jusqu'à 1500 ppm. L'ouverture de la fenêtre oscillo battante ne suffit pas à renouveler l'air, le taux reste autour de 1300/1400 ppm. Ce n'est que l'ouverture de la porte qui permet de faire baisser à nouveau le taux sous les 800 ppm.

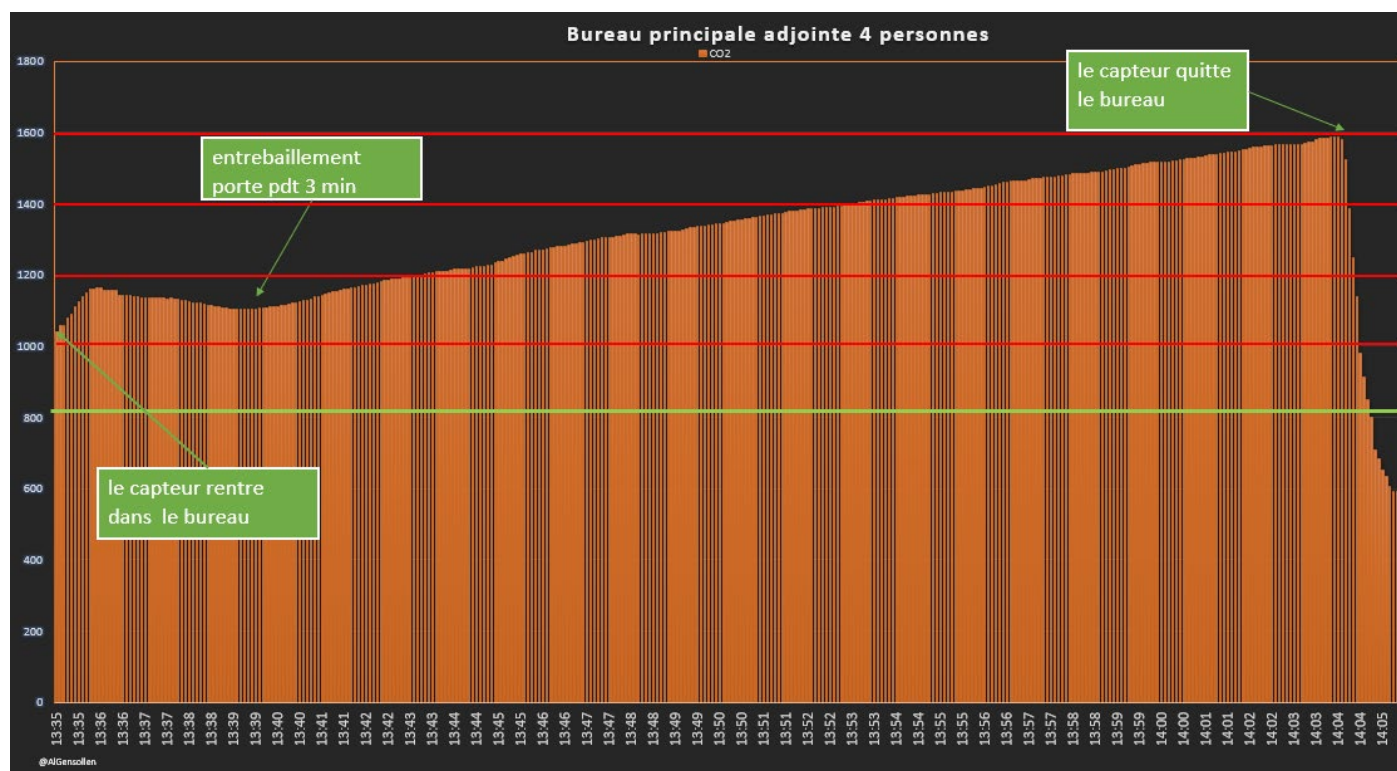
La porte fermée et non détalonnée¹⁰ ne permet pas de flux d'air dans cette pièce. Maintenir la fenêtre oscillo battante et la porte ouverte, permet de créer un flux d'air traversant entre la fenêtre du dortoir et la salle de motricité adjacente qui dispose de bouches de VMC double flux. Ce dispositif suffit pour 14 enfants et 1 adulte.



¹⁰ Le détalonnage consiste à raccourcir le bas des portes de quelques centimètres pour permettre la circulation de l'air depuis les pièces principales jusqu'aux bouches d'extraction. Les portes ayant un rôle coupe-feu en ERP (établissement recevant du public) elles ne sont généralement pas détalonnées.

4. Des petits espaces à surveiller

Les différents relevés dans les classes montrent que, sous surveillance et avec interventions, les taux peuvent demeurer à un niveau acceptable. En revanche, les petits espaces ont révélé quelques surprises : moins pressentis intuitivement comme à risque, ils sont parfois négligés. Ainsi, dans le collège des années 1980, le bureau de la principale adjointe manque d'aération. Le taux monte à 1600 ppm en 30 minutes de réunion, avec quatre personnes.



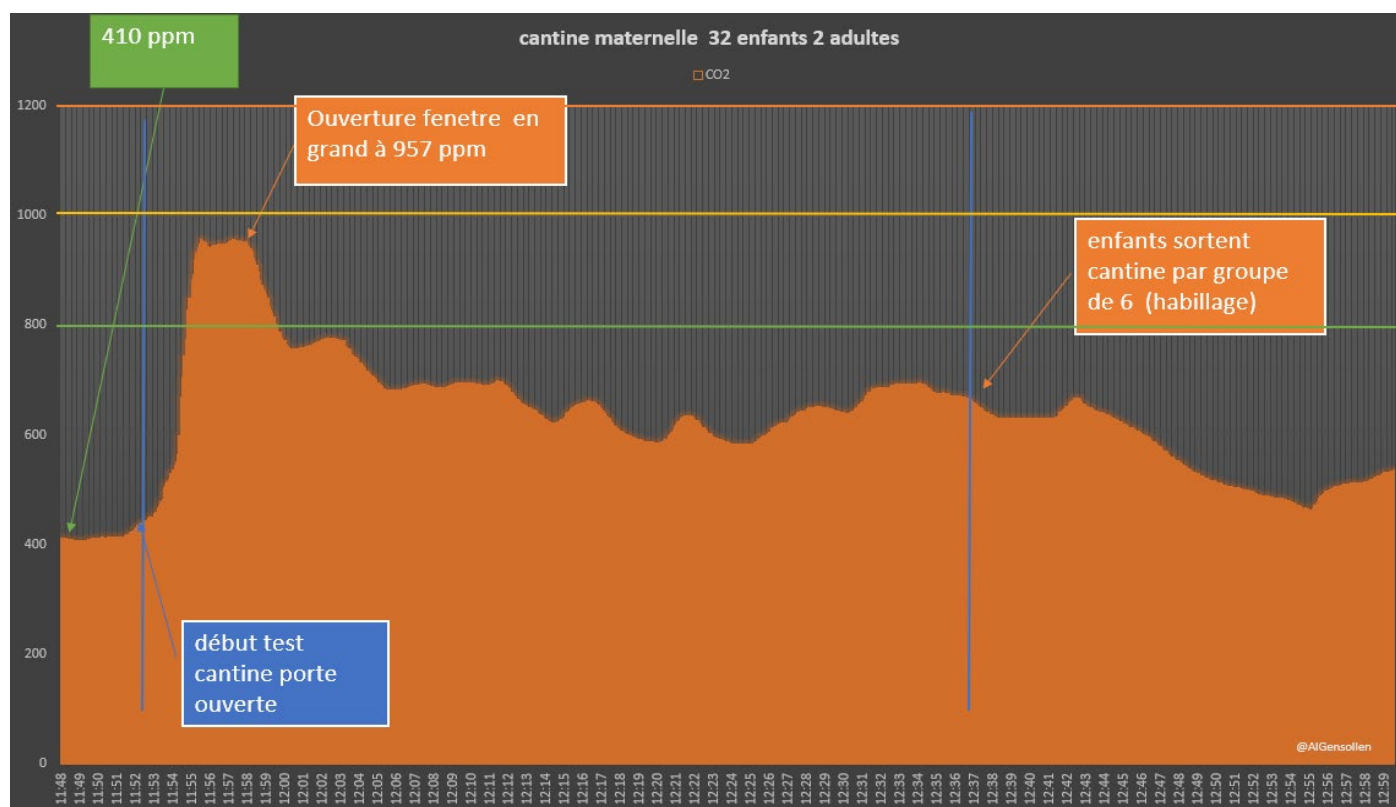
Dans la même idée, les sanitaires des maternelles de l'école de 2018, bénéficient certes d'une VMC double flux mais d'aucune fenêtre. Le taux de CO2 est également monté à 1600 ppm lorsque les enfants s'y rendent en groupe, par exemple lors du lavage des mains. L'espace étant exigü, le seul levier trouvé a été d'ouvrir la porte vers le couloir et, en face, une autre porte donnant directement vers l'extérieur.



5. Restauration scolaire : des actions efficaces

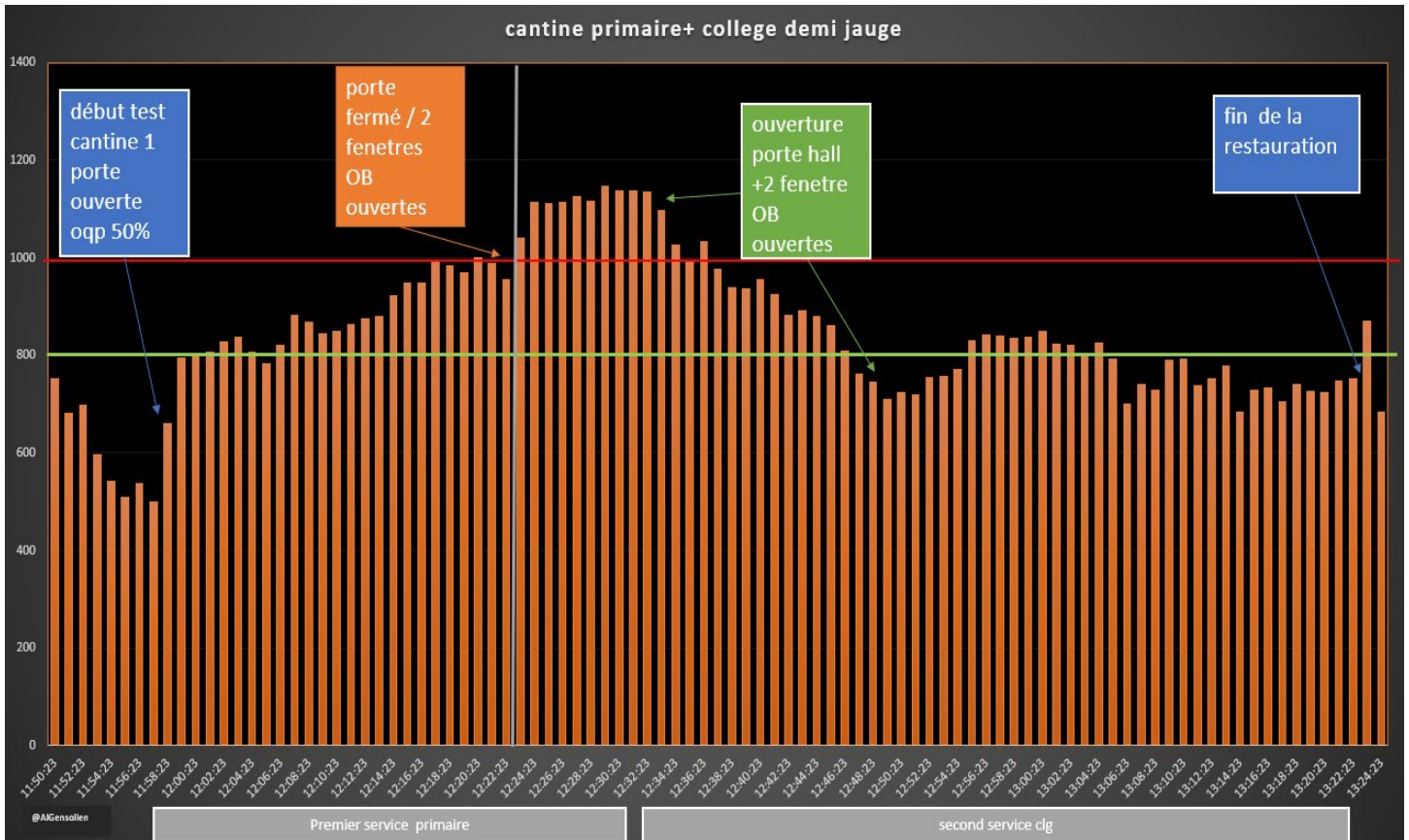
- Salle de restauration des maternelles (bâtiment 2018)

Dans le cadre du protocole sanitaire mis en place dans l'établissement, les élèves de maternelle déjeunent dans une salle de 75 m² afin d'être isolés des élèves des autres niveaux. L'effectif réduit permet de limiter la production de CO₂. La présence du capteur a permis au personnel de constater la nécessité d'ouvrir en grand la fenêtre extérieure.



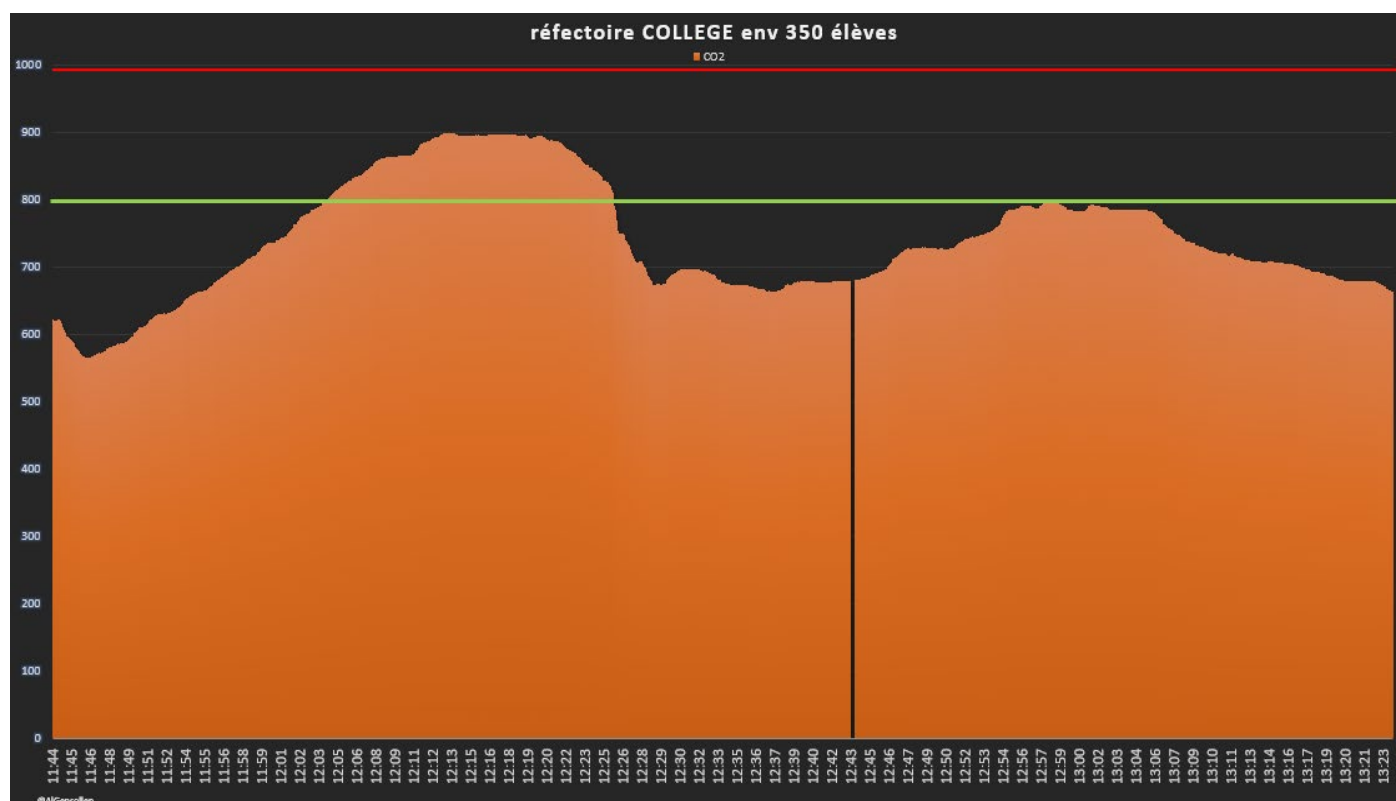
- Salle de restauration des primaires et collégiens (bâtiment 2018)

Dans ce même établissement, les élèves de primaire et du collège déjeunent dans le réfectoire dont les capacités ont été réduites de moitié. Malgré cette demi-jauge, deux fenêtres oscillo battantes ne suffisent pas à assurer un renouvellement optimal de l'air, d'autant plus important que les élèves n'y sont pas masqués : il faut ouvrir la porte donnant sur le hall pour voir le taux revenir autour des 800 ppm.



- Salle de restauration de collège (bâtiment 1980)

Dans ce réfectoire d'une très grande hauteur sous plafond, pas de problème majeur non plus, d'autant que la hotte de la cuisine adjacente fonctionne en continu pour appuyer le renouvellement de l'air, alors que les seuls ouvrants de la salle sont deux portes qui donnent sur la cour. Les variations du taux de CO2 font apparaitre les deux services réalisés, et l'ouverture de la porte extérieure lorsque les élèves sortent dans la cour après avoir mangé.



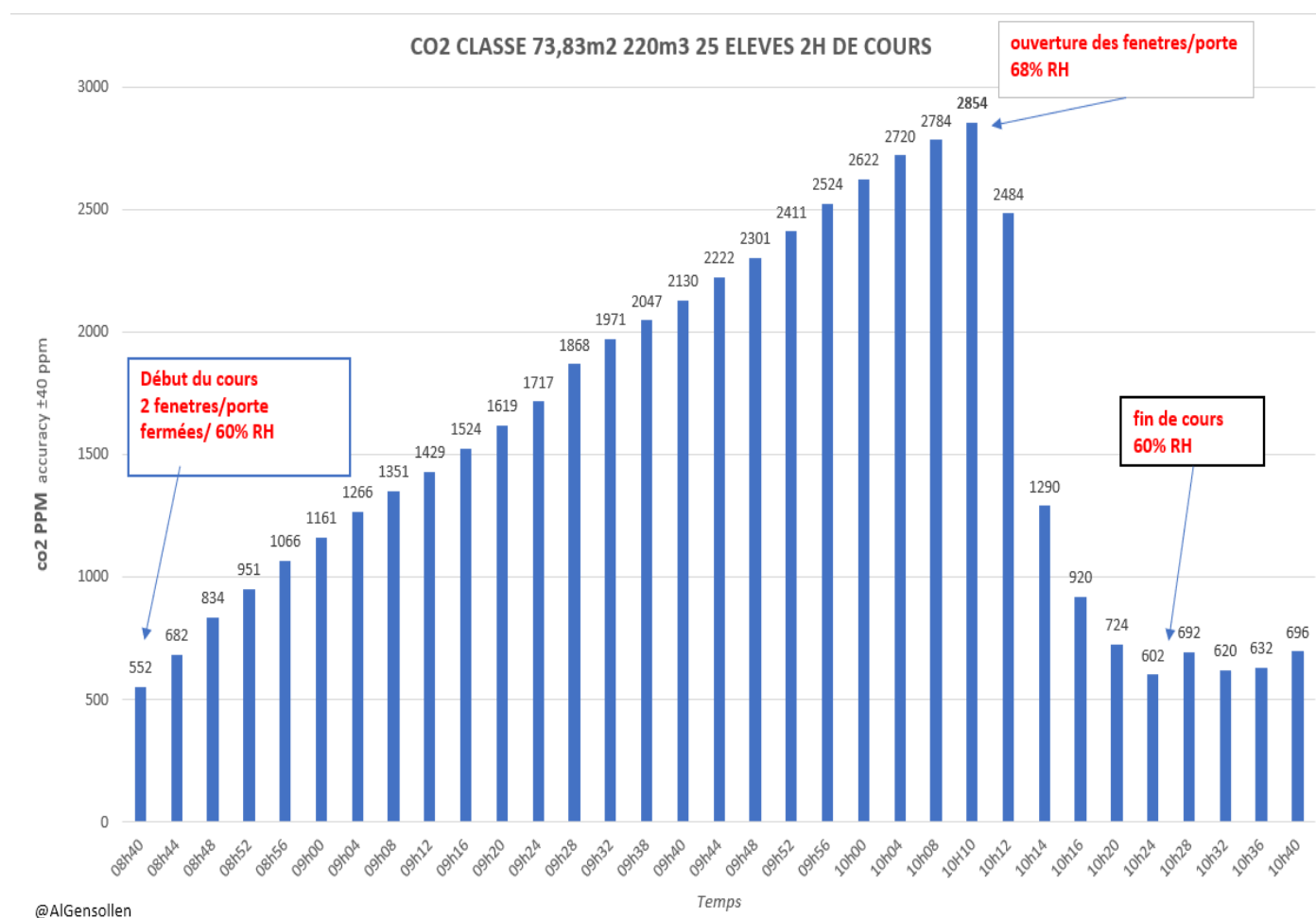
Dans ces trois cas de figure, c'est la mise en place de mesures spécifiques (hotte, ouverture, réduction d'effectif) qui permettent d'assurer un taux de CO2 satisfaisant. La surveillance de ce taux permet d'objectiver l'efficacité des mesures et de déterminer quand agir.

6. Une salle de collège, des protocoles d'aération

- **Protocole français : renouvellement de l'air insuffisant si aération toutes les 2 heures**

Le protocole sanitaire de Novembre 2020 pour l'accueil des élèves dans les établissements scolaires indique que « L'aération des locaux est la plus fréquente possible et dure au moins 15 minutes à chaque fois. Les salles de classe ainsi que tous les autres locaux occupés pendant la journée sont aérés le matin avant l'arrivée des élèves, pendant les intercourrs, pendant chaque récréation, au moment du déjeuner (en l'absence de personnes) et pendant le nettoyage des locaux. Cette aération doit avoir lieu au minimum toutes les 2 heures. En cas de ventilation mécanique, il s'agit de s'assurer de son bon fonctionnement et de son entretien. »¹¹

Dans ce bâtiment équipé de VMC dans les sanitaires, la ventilation mécanique est manifestement insuffisante à maintenir un renouvellement de l'air adéquat. Les préconisations d'aération en vigueur, elles non plus, ne peuvent assurer un taux de CO2 raisonnable : dans cette salle de classe B19, en 1 heure 30 seulement, le taux de CO2 est trois fois et demi supérieur au seuil des 800 ppm.

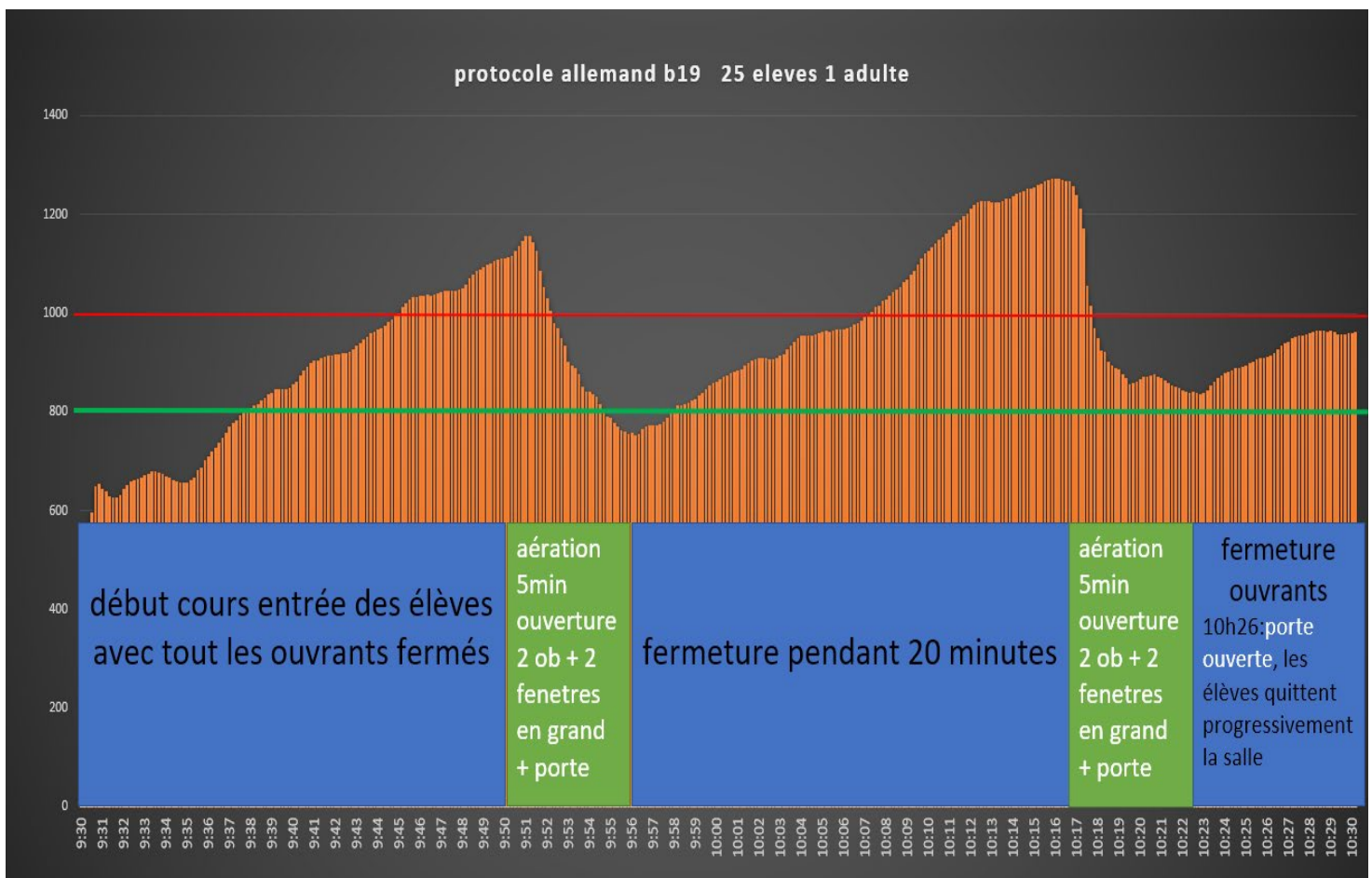


¹¹ [Protocole sanitaire des écoles et établissements scolaires année scolaire 2020-2021](#)

- **Protocole Allemand : renouvellement insuffisant si aération de 5 minutes toutes les 20 minutes**

Dans cette courbe, on voit qu'une aération de 5 minutes avec tous les ouvrants disponibles, à fréquence de toutes les 20 minutes¹², permet effectivement un abaissement significatif du taux de CO2, qui demeure dans des taux plus acceptables qu'avec le protocole français, avec un confort thermique raisonnable.

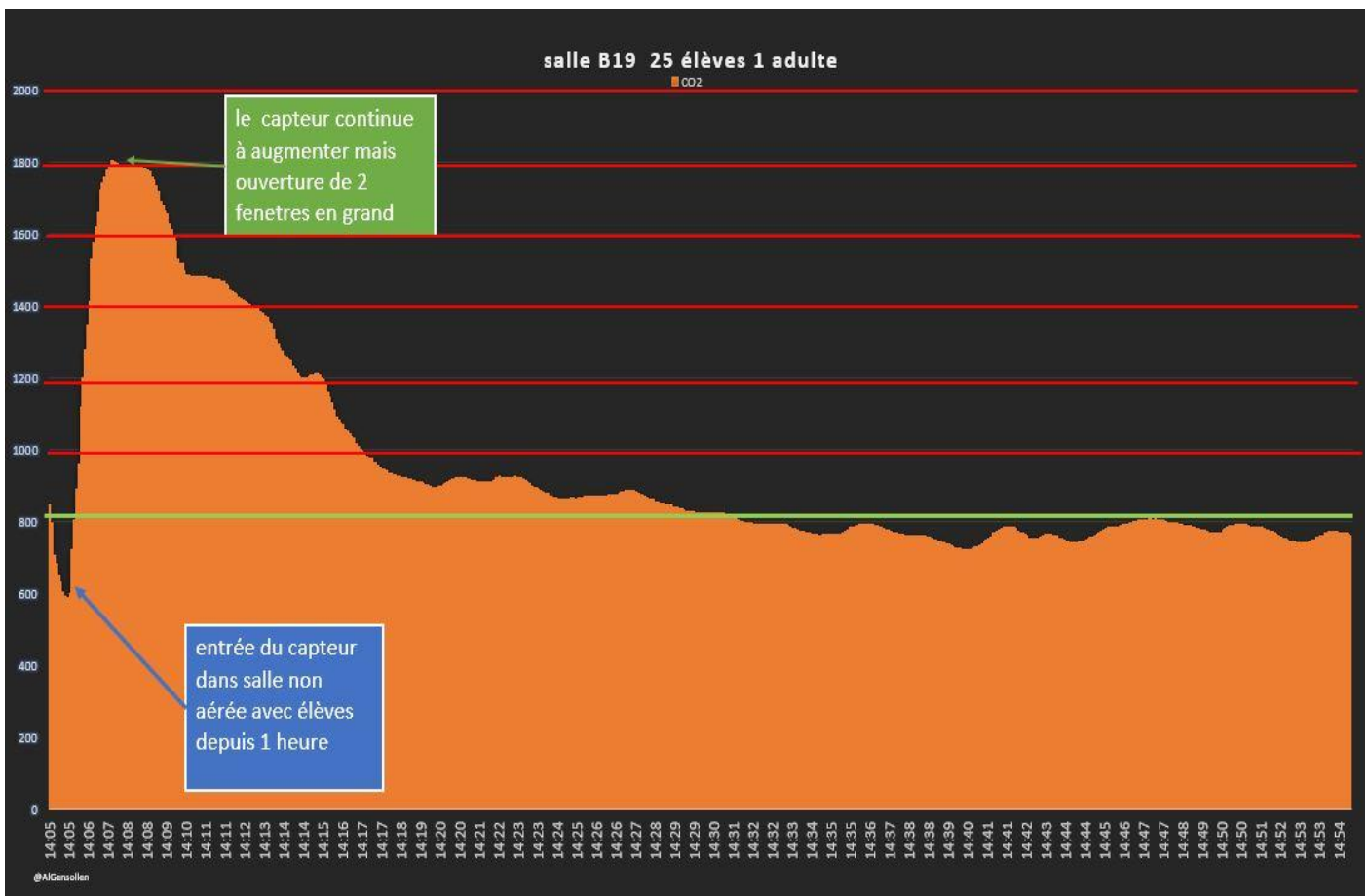
En revanche, dans la B19 avec 26 personnes, les préconisations allemandes ne suffisent pas à rester sous le seuil de sécurité des 800 ppm. On pourrait envisager de garder le même principe en augmentant la fréquence d'aération.



¹² <https://www.tagesschau.de/inland/lueften-corona-101.html>

- Aération continue : taux de CO2 maîtrisé avec deux fenêtres grandes ouvertes

Lorsque le capteur est mis dans cette salle de cours déjà occupée par les élèves depuis une heure et non aérée, le taux affiché augmente très rapidement. En quinze minutes après ouverture de deux fenêtres en grand, le taux de CO2 est revenu autour des 800 ppm, et se stabilise. Ces deux fenêtres grandes ouvertes suffisent à renouveler l'air en créant entre elles un courant d'air traversant la salle. Cependant, en période hivernale, ce protocole efficace risque d'être inconfortable thermiquement et coûteux en chauffage.



- **Possibilité d'aération avec une fenêtre oscillo battante, une porte intérieur ouverte, et un ventilateur**

Cette salle présente des possibilités d'aération qui peuvent permettre un bon renouvellement de l'air à effectif plein en gardant en continu les deux grandes fenêtres ouvertes. Si tel n'était pas le cas, on pourrait, à partir d'un ouvrant, même une simple fenêtre oscillo-battante, renforcer mécaniquement le courant d'air en recourant à un petit ventilateur. Installé devant la fenêtre de sorte qu'il aspire l'air extérieur, ce ventilateur crée idéalement un courant d'air en diagonale de la pièce vers la porte ouverte du couloir.

Pour voir les autres possibilités pour améliorer l'aération/ventilation et la qualité de l'air dans les classes, bureaux, salle de réunion, et tous les lieux clos par extension : [QUALITE AIR COVID19 LIEUXCLOS VL-1-1](#) et d'autres informations disponibles sur le site de collectif : <https://ducotedelascience.org/>



7. Types de capteurs

Les capteurs de CO2 type NDIR (infrarouge non dispersif) sont à privilégier. D'autres de type MOX, ECO2, Electrochimiques peuvent être perturbés par d'autres facteurs comme l'humidité, les solutions hydroalcooliques, ou les parfums.



Plusieurs choix en Europe sont possibles :

- [Guide/test capteur](#)
- [Retour sur capteur utilisé pour les tests en école de ce document](#)
- [Une sélection de capteurs qui a retenu l'attention d'@laFabrique](#)



Il est tout à fait envisageable de créer son propre capteur en club de science, ou projet technologique comme le font certaines écoles, lycées, ou collèges. Un projet porté par la fabrique de CentraleSupelec propose des tutoriaux et retours d'expérience sur son site [La Fabrique de CentraleSupelec](#) et sur twitter [#projetco2](#).

Annexe 1 : exemple de formulaire de relevé pour un établissement scolaire




Le releveur doit essayer par l'ouverture des ouvrants de maintenir le niveau de CO2 idéalement sous 800 ppm.

Attention : il est inutile de noter les taux de CO2 si l'appareil permet un export de données.

EXEMPLE				
Identification salle : <i>A20</i> Date : <i>14/11/20</i> Nom du releveur : <i>DUPONT</i> Volume salle :				
Heure	Taux CO2 (si pas possibilité export données)	Contexte	Nombre de personnes	Actions sur les ouvrants
<i>9H28</i>		<i>Entrée en classe : classe occupée ou non avant</i>	<i>27</i>	<i>Ouverture 2 fenêtre oscillo battantes Fermeture porte</i>
<i>9H37</i>				<i>Ouverture porte</i>
<i>10H23</i>		<i>Récréation</i>	<i>0</i>	<i>Ouverture fenêtres + portes</i>
<i>10H35</i>		<i>Retour en classe</i>	<i>25</i>	<i>Fermeture une baie vitrée</i>

Identification salle : Date : Nom du releveur : Volume salle:				
Heure	Taux CO2/couleurs (si non possibilité export données)	Contexte	Nombre de personnes	Actions sur les ouvrants

Annexe 2 : fiche pratique

Connaître les seuils de CO2 :	Que dois-je faire ?	Où placer le capteur ?
< 800 ppm 	- intervenir sur les ouvrants un à un pour créer un flux d'air	- milieu de la salle
800-1000 ppm 	- concilier température et taux de CO2 <800 ppm	- à 1.5m de hauteur
>1000 ppm 		- éloigné des occupants
Connaître les principaux variants :	Que dois-je noter ?	Quel capteur ?
- durée - nombre d'occupants - aération - activité	- nombre d'occupants - heure des actions sur les ouvrants - niveau de CO2 si l'appareil ne l'enregistre pas	- grand public NDIR ou DIY NDIR - précision inférieure à 50 ppm