



Office Fédéral de la santé publique

Final Report

Contract number: 142005613

Company name: Plair SA

Project acronym: Projet Fongit

Project title:

Campagne pilote d'observation de la charge microbienne dans
des bureaux 2022-2023

Period covered: from 10/10/2022 to 28/02/2023

1 Résumé pour publication

Les études sur la qualité de l'air intérieur montrent la nécessité d'avoir une approche pluridisciplinaire dans laquelle les aspects de pollution, de filtration et d'occupation des bâtiments sont observés simultanément et enrichis de données extérieures comme celles météorologiques et de pollution atmosphérique. Cependant les outils généralement à disposition ne permettent pas d'avoir des données temps-réel à la fois sur les particules fines et sur la présence de microbes dans l'air.

Plair est leader mondial dans le domaine du comptage optique de particules viables et non viables. La supériorité de sa classification optique est basée non seulement sur le balayage par lasers des particules mais aussi sur des algorithmes d'intelligence artificielle propriétaires capables d'éliminer le bruit de fond à la manière des casques audio pour identifier plus précisément.

L'OFSP a mandaté Plair pour réaliser une campagne de mesure sur un site représentatif d'un environnement de bureaux lors de laquelle sa technologie a permis d'évaluer la charge microbienne ambiante en essayant d'identifier malgré un environnement moins contrôlé que dans un laboratoire, les micro-organismes tels que les bactéries ou les moisissures. Pendant cette campagne ont été collectées aussi des données de météorologie et de pollution atmosphérique ainsi que les données du système d'aération (demandés au gestionnaire du bâtiment), les données de fréquentation des bureaux (demandées, d'une manière anonymisée au site d'accueil de la campagne).

Afin d'évaluer la corrélation entre la charge microbienne et la concentration de CO₂ généralement considérée comme indicateur indirect, un capteur ayant une bonne précision (en tenant compte que la température dans les bureaux est stable) a été intégré à l'instrument de Plair pour avoir des points mesures très proches physiquement.

La campagne de mesures s'est déroulée dans les locaux de l'incubateur genevois Fongit. L'appareil de mesure, installé dans un couloir passant attenant à 2 salles de réunions, a fonctionné sans interruption pendant 41 jours comptant le nombre de particules présentes dans l'air et identifiant chacune d'elles comme un microorganisme fluorescent ou non, et classant celles fluorescentes en tant que bactérie, spore de moisissure, ou n'appartenant pas aux deux classes précédentes. Un tel jeu de mesures combiné avec les autres données atmosphériques intérieures et extérieures est inédit et les analyses initiales prévues dans ce projet montrent toute sa richesse. Les données permettent de suivre les habitudes d'occupation des bureaux, et relatent très finement l'impact présentiel des occupants lors d'événements organisés par l'incubateur. L'OFSP dispose maintenant d'une série de mesures unique qui peut faire l'objet d'investigations plus avancées quant à la corrélation entre les paramètres de l'air intérieur et l'occupation d'un environnement de type bureaux.

2 Plan et Budget du mandat

2.1 Planification

- Identification du site : l'incubateur FONGIT à Genève a donné son accord pour accueillir un Rapid-C et pour faire le lien avec le responsable des systèmes de ventilation.
- Durée du projet: environ 3 mois à compter de la signature du mandat
- Déroulement du projet:
 - o Phase 1 : préparation, 2 à 3 semaines
 - Intégration capteur CO2
 - Développement interfaces de récupération de données extérieures
 - o Phase 2 : Campagne de mesures sur site, 6 à 7 semaines
 - Installation sur site et validation fonctionnelle
 - Suivi journalier
 - Pre-analyse des données
 - o Phase 3 : Traitement des données 4 à 5 semaines
 - Analyse et visualisation
 - Apprentissage, post-traitement et visualisation
 - Remise du rapport

2.2 Allocation budgétaire

- Location Rapid-C pour 1.5 mois : 15kCHF
 - o 10kCHF / mois avec réduction de 20% pour l'OFSP
 - o 3kCHF de recharge du Laser pour fluorescence
 - o Capteur CO2 : 230CHF
- Prestations en heures :
 - o Gestion de projet et interface avec OFSP et site hôte : 10h
 - o Intégration de capteur de CO2 de marque Yotopuce 18h
 - o Installation, vérification de fonctionnement, désinstallation : 16h
 - o Suivi opérationnel journalier lors de la campagne de mesures : 12h
 - o Récupération des données météo et pollutions et ventilation 32h
 - o Apprentissage et identification a posteriori bactéries/moisissures 120h
 - o Analyse des données et visualisations 32h
 - o Rédaction rapport final et présentation 16h

3 Rapport d'activités

L'OFSP a mandaté Plair pour réaliser une campagne de mesure sur un site représentatif d'un environnement de bureaux lors de laquelle sa technologie a permis d'évaluer la charge microbienne ambiante en essayant d'identifier malgré un environnement moins contrôlé que dans un laboratoire, les micro-organismes tels que les bactéries ou les moisissures. Pendant cette campagne ont été collectées aussi des données de météorologie et de pollution atmosphérique ainsi que les données du système d'aération (demandés au gestionnaire du bâtiment), les données de fréquentation des bureaux (demandées, d'une manière anonymisée au site d'accueil de la campagne).

Afin d'évaluer la corrélation entre la charge microbienne et la concentration de CO₂ généralement considérée comme indicateur indirect, un capteur ayant une bonne précision (en tenant compte que la température dans les bureaux est stable) a été intégré à l'instrument de Plair pour avoir des points mesures très proches physiquement.

Dans la suite de ce rapport, les différentes étapes du projet sont décrites de manière chronologique ainsi que les résultats obtenus à chacune d'elles.

3.1 Phase 1 - Préparation

Préambule

Le produit développé et fabriqué par Plair permet de faire une détection simultanée, en temps-réel, et continuement des particules présentes dans l'air ayant une taille entre 0.3um et 100um. Une campagne de mesures dans un environnement de travail réel, comme des bureaux, est plus difficile à interpréter que dans un laboratoire où l'atmosphère est parfaitement contrôlée avec des instruments de référence.

Intégration d'un capteur de CO₂

Un des objectifs de la campagne est d'observer la corrélation des paramètres environnementaux, en particulier la concentration en CO₂, avec la teneur en microorganisme de l'air ambiant.

La sélection d'un capteur de CO₂ s'est orientée vers un compromis performance-coûts et la possibilité d'une installation adéquate.

Le capteur est le Yoctopuce YCO₂MK02 qui permet son alimentation électrique et la récupération de données mesurées par connexion USB. Les mesures possibles dans la version choisie sont température ambiante, humidité relative et pression atmosphérique. La fiche technique du capteur est fournie en annexe.

Le driver pour ce capteur a été conçu et intégré au logiciel du Rapid-C afin de récupérer en temps réel et de manière datée les mesures et les sauvegarder dans la base de données.

Les tests préliminaires du capteur ont montré une bonne réactivité au changement de concentrations en CO₂ ce qui permet aux mesures toutes les minutes d’êtres représentatives de la situation. L’avantage de ce capteur est aussi qu’il peut être installé très près de la prise d’air du Rapid-C, assurant ainsi une comparaison entre les mesures au même endroit de la pièce.

Le schéma synoptique ci-dessous montre l’utilisation de la connexion USB généralement réservée à la maintenance pour connecter le capteur de CO₂.

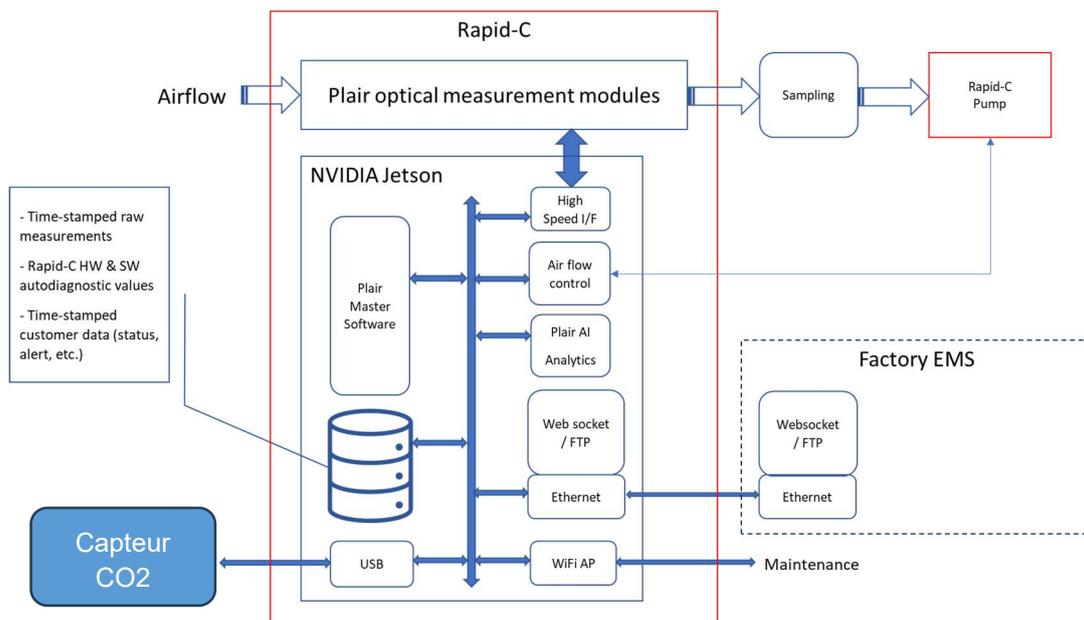


Fig. Vue synoptique du Rapid-C

Développement d'une interface de récupération en ligne de données environnementales extérieures

Afin d'avoir une vue sur les conditions extérieures au bâtiment où sont réalisées les mesures, il a été prévu dans cette campagne de récupérer des données météorologiques et de pollution atmosphériques.

Les sites de données environnementales en accès ouvert sont gratuits si les données sont récupérées au fur et à mesure.

Une fonction d'appel aux interfaces des bases de données publiques a été développée et intégrée au Rapid-C pour une sauvegarde conjointe avec les mesures lors de la campagne.

La précision des données extérieures n'est pas contrôlable, mais les coordonnées GPS du bâtiment ont été prises comme point de référence pour leur récupération.

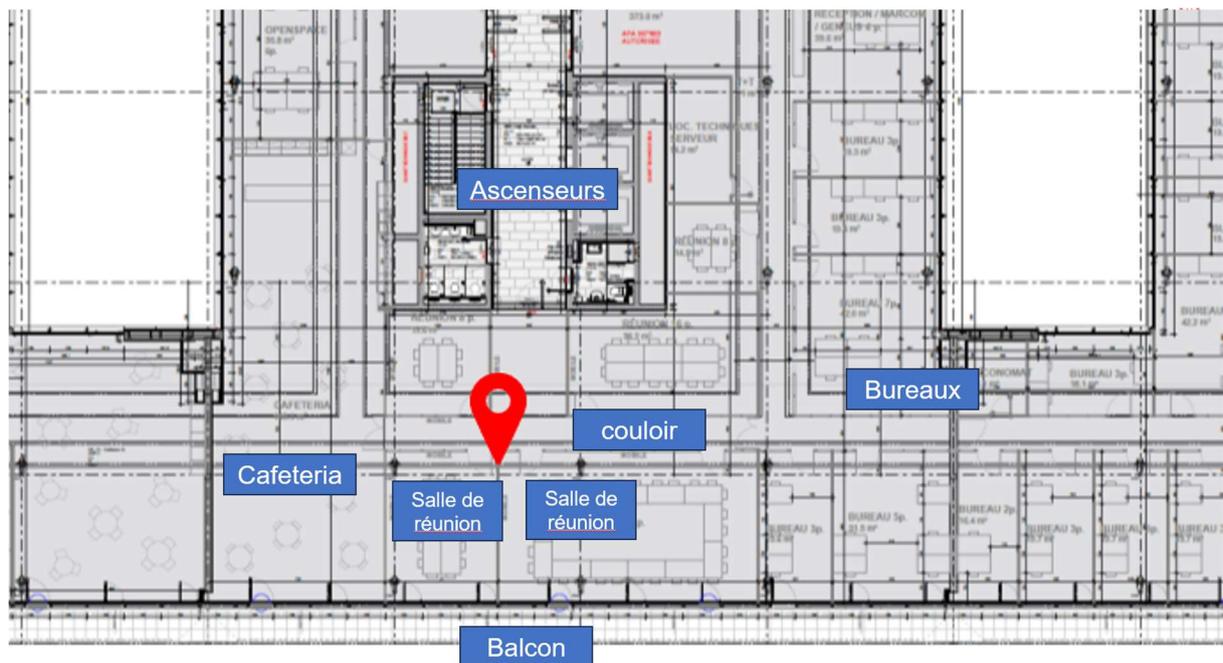
3.2 Phase 2 – Campagne de mesure sur site

Préparation du lieu et de la campagne de mesures

L'objectif de la campagne de mesure est d'observer les caractéristiques de l'air intérieur d'un environnement de types bureaux.

L'incubateur de la Fongit a accepté de mettre à disposition ses locaux pour la campagne de mesures. Il est constitué d'espaces communs ainsi que de bureau partagés généralement dans des pièces fermées.

Pour des raisons de discrétion quant aux occupants des locaux et pour obtenir une variété de situations, il a été choisi de mettre le Rapid-C dans un couloir de passage entre les zones de bureaux et le réfectoire où, outre les repas et les pauses café, ont lieu des événements publics organisés par la Fongit. Le couloir où est installé le Rapid-C est aussi à côté de l'entrée de salles de réunion comme indiqué sur la carte ci-dessous. La position du Rapid-C est indiquée avec un marqueur rouge.



L'installation du Rapid-C a nécessité de mettre en place les accès internet avec l'entreprise de gestion de l'infrastructure IT, afin de pouvoir monitorer à distance le bon déroulement de la campagne. Des câbles d'alimentation électrique et de réseau filaire ont ensuite été tirés depuis l'une des salles de réunion jusqu'au Rapid-C qui a été installé à hauteur d'homme sur une table située dans le couloir d'accès comme visible sur la photo ci-dessous.

Les tests préliminaires ont montré le bon fonctionnement de l'appareil ainsi que de la communication à distance avec les serveurs pour visualiser les données lors de la campagne.

La photo ci-après montre le Rapid-C et le capteur Yoctopuce dans le couloir de la Fongit.



Déroulement de la campagne de mesures et préanalyse des données

La campagne s'est étendue sur la période suivante:

Date de début: 19 Octobre 2022

Date de fin: 28 Novembre 2022

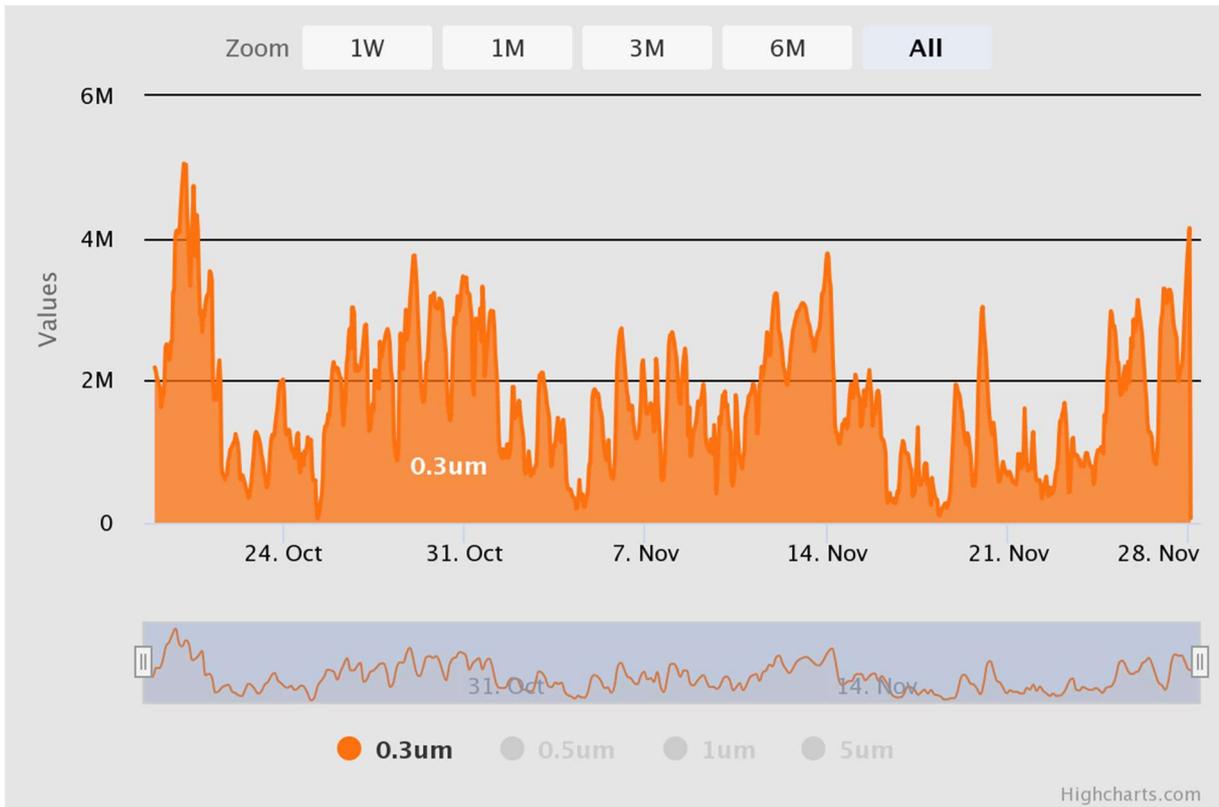
Durée: 41 jours

Un suivi journalier a été opéré pendant la campagne de mesures afin de vérifier toute anomalie, coupure de courant ou de réseau.

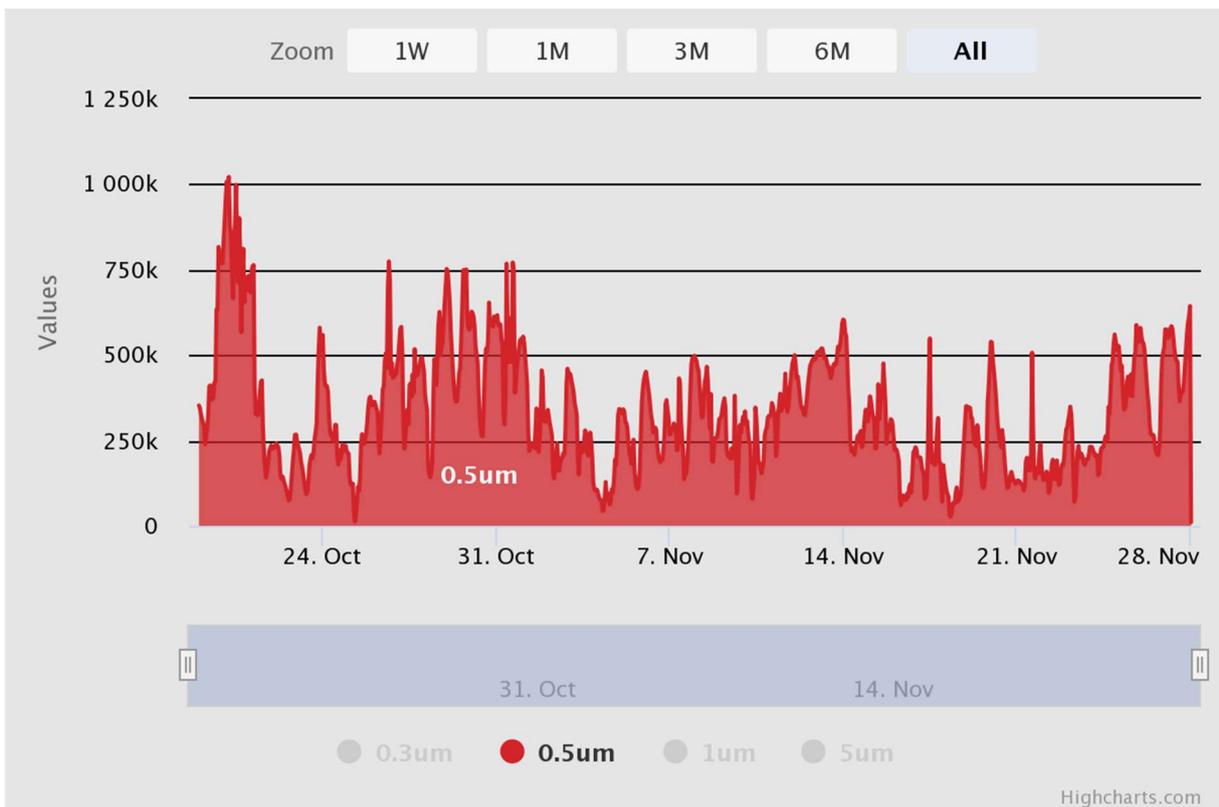
Le Rapid-C a fonctionné à 100% du temps.

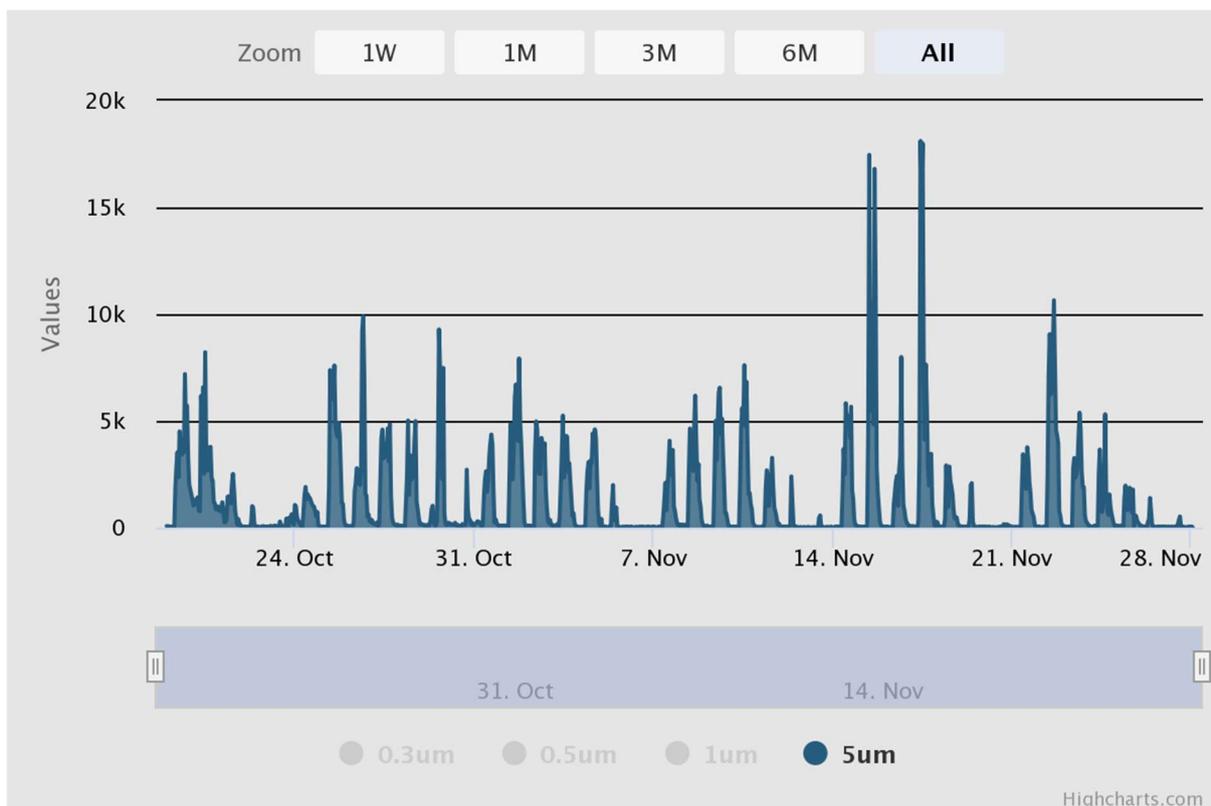
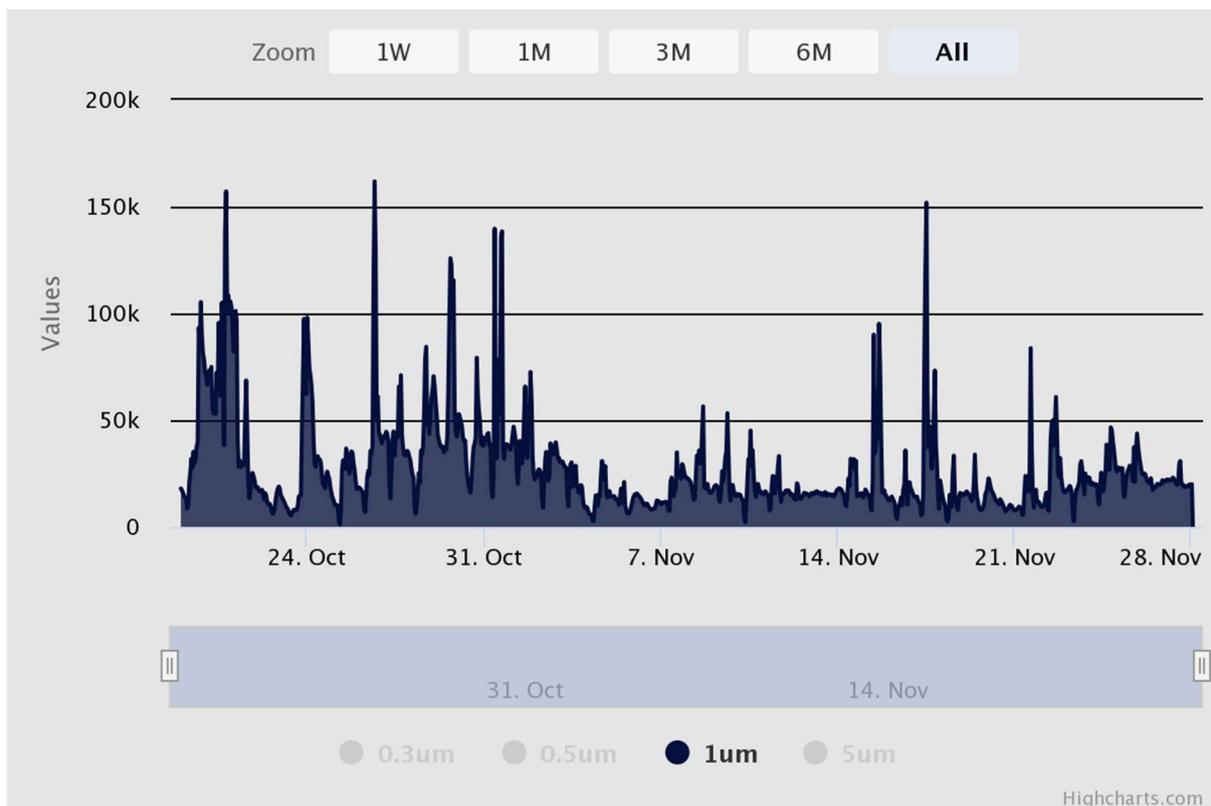
Les relevés de compte de particules total ont été observés et se sont révélés conforme à ce que les experts observent généralement en intérieur sur des mesures ponctuelles (jusqu'à 1 ou 2 jours).

La figure ci-dessous montre Le nombre de particules de diamètre supérieur à 0.3 um détectées par heure tout au long de la campagne. C'est le nombre total de particules étant donné que la limite inférieure de la mesure est 0.3um



Ci-dessous sont aussi présentés les mêmes graphes pour des particules de taille supérieure respectivement à 0.5 um, 1um et 5um.





On peut noter pour les particules supérieures à 5µm une structure particulière qui correspond à des pics aux heures pendant lesquelles les bureaux sont occupés, et des plages de valeurs très faibles la nuit ou les weekends.

Le suivi de la détection en fluorescence, capacité unique du Rapid-C a été scrutée également afin de s'assurer que la durée de vie du laser à impulsions soit suffisante pour la durée de la campagne de mesure.

Les données sauvegardées ont été analysés pour s'assurer que les enregistrements étaient bien effectués tout au long de la campagne.

Durant la campagne de mesures, les événements marquants ont été notés. La liste ci-dessous nous a été fournie par le secrétariat de l'incubateur. Elle n'est malheureusement pas exhaustive mais permet de voir un certain nombre d'artefacts liés aux activités de l'incubateur

Date	Time	Event - nb of persons
19.10.22	9:00 - 12:30	OPI
20.10.22	08:15 - 11:30	Fongit - 40 persons
20.10.22	12:30 - 14:00	Fongit - 40 persons
25.10.22	08:30 - 17:30	OPI
25.10.22	11:00 - 12:00	Fongit - 10 persons
25.10.22	13:45 - 15:45	Fongit - 10 persons
25.10.22	17:30 - 20:30	Fongit - 15 persons
26.10.22	08:30 - 12:30	OPI
26.10.22	13:30 - 17:30	OPI
28.10.22	10:00 - 17:00	Startup - 4 persons
01.11.22	13:55 - 15:15	Startup - ~10 persons
01.11.22	17:30 - 19:00	Startup - ~10 persons
02.11.22	09:00 - 11:00	OPI
07.11.22	14:00 - 18:20	OPI
08.11.22	10:30 - 12:30	Fongit - 3 persons
09.11.22	08:30 - 12:30	Fongit - 10 persons
09.11.22	13:15 - 17:00	Fongit - 6 persons
10.11.22	08:30 - 17:30	FAE - 16 persons
11.11.22	08:50 - 12:00	Fongit - 2 persons
11.11.22	14:15 - 17:30	Fongit - 5 persons
14.11.22	10:00 - 12:00	Fongit - 2 persons
14.11.22	13:00 - 17:00	Fongit - 5 persons
15.11.22	12:00 - 14:30	Fongit - Fongit:Force
17.11.22	09:00 - 12:30	Fongit - Café+Croissant 120 persons
22.11.22	14:00 - 18:00	Fongit - 10-12 persons
29.11.22	17:30 - 22:00	Fongit - 12 persons
01.12.22	09:00 - 12:00	Fongit - Café+Croissant 65 persons

Un événement a été suivi en particulier pour vérifier la cohérence des résultats de mesures, c'est le café croissant de la Fongit qui a eu lieu le 17 novembre 2022

Remarque importante: Après renseignements pris auprès de l'incubateur, la présence de l'instrument n'a pas modifié l'usage des locaux ni gêné les occupants après que la curiosité initiale les faisant s'arrêter devant s'est dissipée. L'installation a permis de suivre en temps réel certains événements et d'avoir une caractérisation en continu de l'air ambiant tout au long de la campagne.

3.3 Phase 3 – Traitement des données

Résumé des données récoltées lors de la campagne

Nombre de particules détectées : 1,69 Milliard
 Nombre de particules classées en tant que microbes : 132 076
 Nombre de microbes sous-classés en tant que bactéries : 81571
 Nombre de microbes sous-classés en tant que spores : 6910

Structure des données mise à disposition de l'OFSP

- Fichier xls contenant les valeurs horaires
 - o Compte de particules, microbes, bactéries, spores par le Rapid-C
 - o Données air intérieur par le capteur CO2, pression, humidité relative
 - o Données de l'air extérieur à l'endroit du bâtiment (météorologiques et pollution)
 - o Les données de température du couloir fournies par la régie du bâtiment sous forme imprimée et retranscrites au mieux dans le fichier

- Fichiers csv contenant le compte de particules, microbes, bactéries, spores détectées par minute pour chaque jour de la campagne.

La liste des variables disponibles en intervalles d'une heure pour cette campagne est décrite dans la table ci-dessous.

Nom	Description	Origine
DayNum	index du jour	Rapid-C
Hour	heure	Rapid-C
Day	jour de la semaine	Rapid-C
datetime	date du jour	Rapid-C
Microbes	Compte de particules classées microorganismes	Rapid-C
Bacteria	Compte de particules classées Bactérie	Rapid-C
Spore	Compte de particules classées Spore	Rapid-C
0.3um	Compte de particules de diamètre supérieur à 0.3um	Rapid-C
0.5um	Compte de particules de diamètre supérieur à 0.5um	Rapid-C
1um	Compte de particules de diamètre supérieur à 1um	Rapid-C
5um	Compte de particules de diamètre supérieur à 5um	Rapid-C
fluorescent	Compte de particules fluorescentes	Rapid-C
co2	Taux de CO2 (ppm)	Capteur Y02MK02
humidity	Humidité relative (%)	Capteur Y02MK02
pressure	Pression atmosphérique (mbar)	Capteur Y02MK02

temperature	température (°C)	Capteur Y02MK02
components:co	Niveau de CO dans l'air extérieur	Bases de données publiques
components:nh3	Niveau de NH3 dans l'air extérieur	Bases de données publiques
components:no	Niveau de NO dans l'air extérieur	Bases de données publiques
components:no2	Niveau de NO2 dans l'air extérieur	Bases de données publiques
components:o3	Niveau de O3 dans l'air extérieur	Bases de données publiques
components:pm10	Matière en suspension dans l'air extérieur pour une taille < 10um (ug/m3)	Bases de données publiques
components:pm2_5	Matière en suspension dans l'air extérieur pour une taille < 2.5um (ug/m3)	Bases de données publiques
components:so2	Niveau de SO2 dans l'air extérieur	Bases de données publiques
main:humidity	Humidité relative dans l'air extérieur (%)	Bases de données publiques
main:pressure	Pression atmosphérique (mbar)	Bases de données publiques
main:temp	température extérieure (°C)	Bases de données publiques
LT00041_temperature	température à l'intérieur du Rapid-C (°C)	Rapid-C
Temp hall	température du couloir de la Fongit (°C)	Régie Fongit

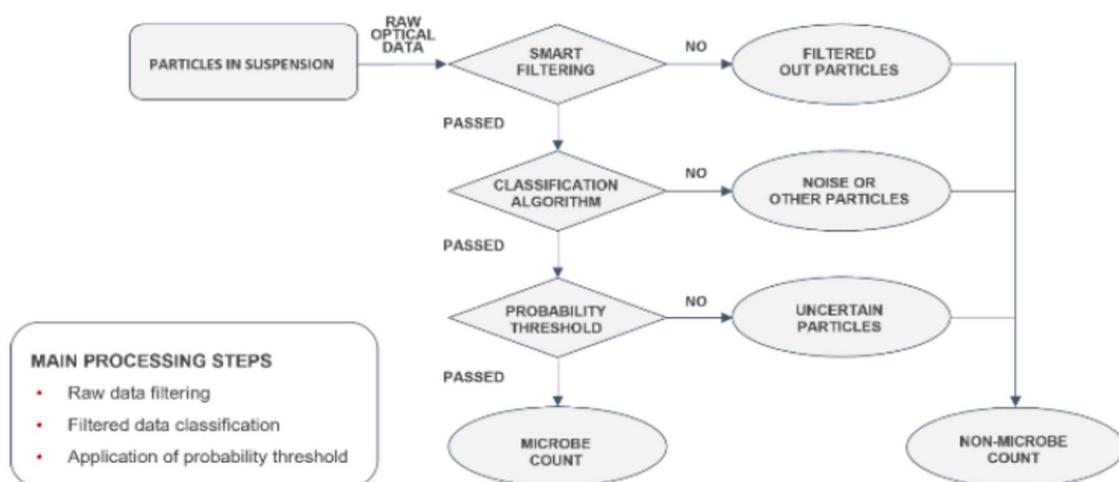
Visualisation des données

Afin de simplifier la visualisation des données collectées, le fichier xls des données horaires a été organisé en table de pivot sur la période de campagne.

Les graphes présentés dans ce rapport sont soit issus de la table de pivot, soit obtenus par programmation python afin de mettre en évidence les relations plus fines, depuis le dashboard de l'appareil ou dans la section de programmation d'analyse de données.

Classification des particules

Le processus de classification du Rapid-C est exposé graphiquement ci-dessous



Les filtres successifs éliminent les particules par simple critère mathématique. La classification par algorithme se fait en donnant une probabilité à chaque particule quantifiant son appartenance à la classe microbe (ou à ses sous-classes) ou non. Les sous classes de la classe microbe sont bactéries et spores.

Avant classification on obtient le compte total de particules.

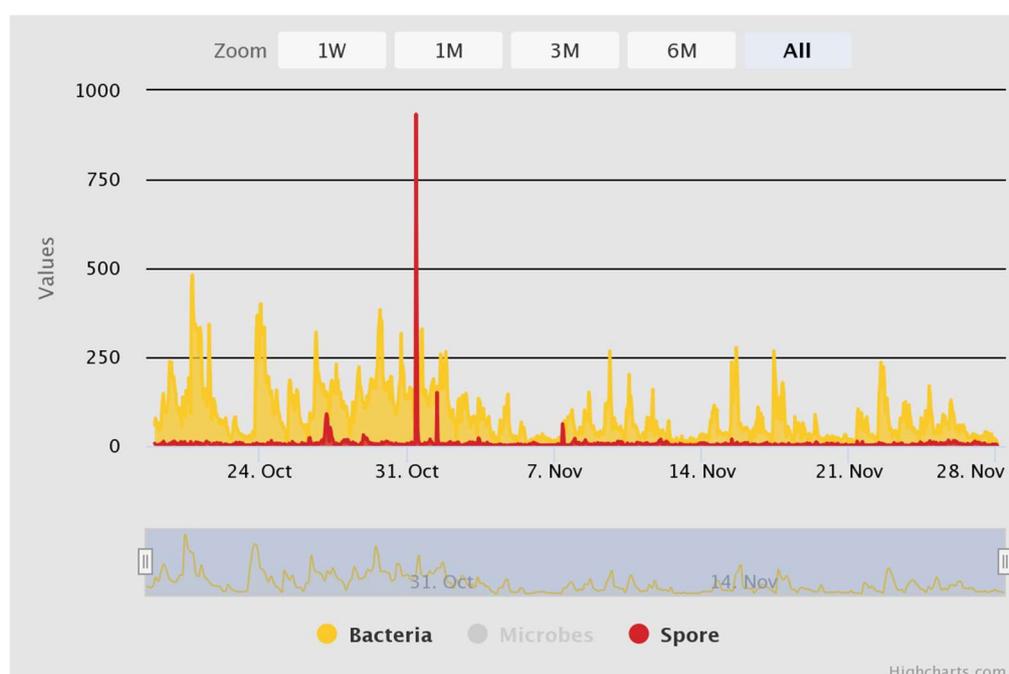
Le dernier étage de traitement du modèle correspond à l'application d'un seuil sur les probabilités obtenues dans l'étage de classification.

La stratégie la plus simple, connue sous le nom de hardmax, c'est à dire que la probabilité la plus forte l'emporte, n'est pas optimale. Alors l'application d'un seuil selon des critères donnés comme par exemple la précision, permet d'améliorer la méthode hardmax.

Les apprentissages de l'algorithme de machine learning se font selon une méthodologie bien définie :

- Un apprentissage avec présence du composant recherche et une sélection des particules par rapport aux bruits de fond.
- Le training se fait en isolant les caractéristiques pertinentes selon les différents filtres de la machine.
 - o Filtre sur la taille de la particule (seuil minimum)
 - o Filtre sur la fluorescence (seuil minimum)
 - o Filtre sur la Vitesse de la particule (seuil minimum)
 - o Filtre sur le spectre de fluorescence (comparaison a des spectres de référence pour la sous classe d'intérêt).

Le Rapid-C a été entraîné avec *Bacillus subtilis* et *Penicillium chrysogenum* qui sont considérés représentatifs des espèces pouvant être rencontrées. On peut voir ci-dessous le compte de bactéries et spores identifiés sur la durée de la campagne.



Analyse des données

Remarque importante: toutes les données sont enregistrées avec l'heure UTC. Comme le changement d'heure en 2022 a eu lieu dans la nuit du Samedi 29 octobre au Dimanche 30 octobre, l'heure locale est obtenue en ajoutant 2 heures à l'heure UTC jusqu'au 29 octobre, et en ajoutant une heure du 30 octobre à la fin de la campagne.

Constatations générales

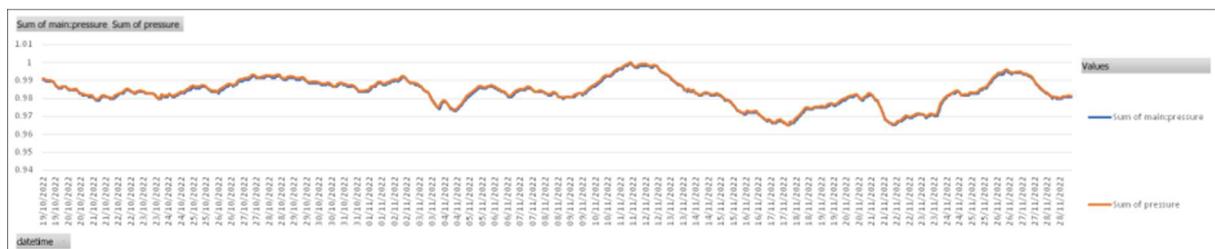
Les mesures montrent la capacité unique du Rapid-C à détecter en continu sur une longue période les particules présentes dans l'air. Durant les 41 jours de la campagne rapportée, on peut distinguer clairement

- Une différence entre les jours de semaine et de WE
- Les variations de teneur en CO2 et de compte de bactéries coïncident avec la présence ou non d'occupants de l'incubateur.
- La présence de spores semble indépendante de la présence d'occupants, et présente des variations aux heures de nuits et à l'heure d'ouverture des bureaux.

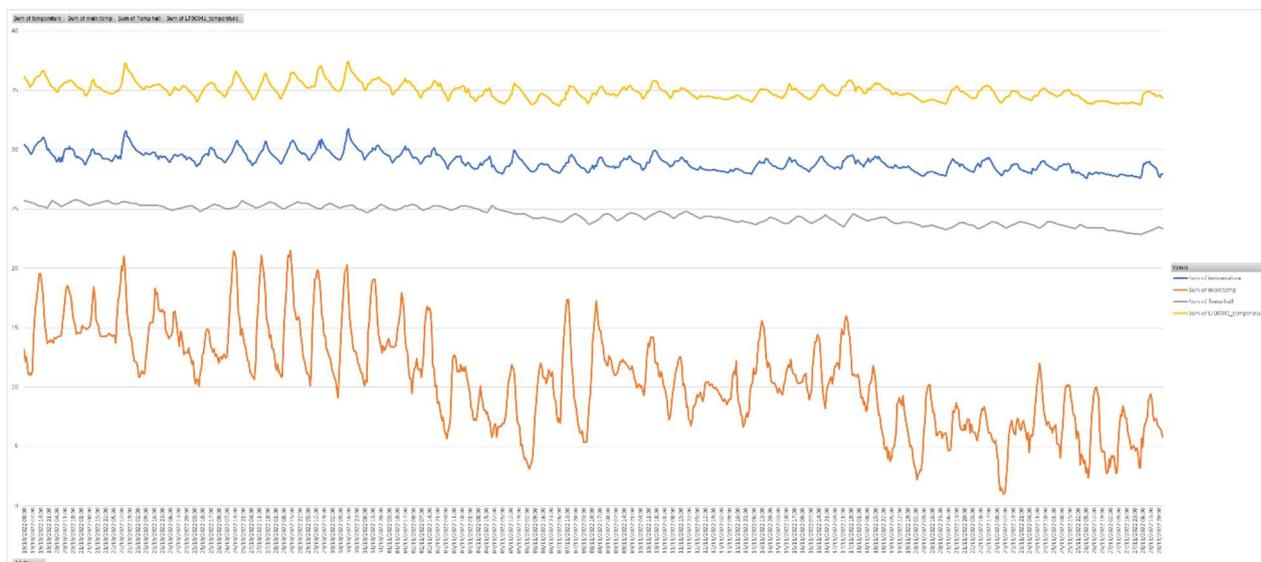
Vérifications initiales du comportement du capteur Yoctopuce

En l'absence de référence, et afin de vérifier toute anomalie dans le comportement du capteur lors de la campagne nous avons comparé sa mesure de pression atmosphérique avec celle obtenue des données météorologiques publiques.

Les courbes de pression montrent clairement un biais dans la mesure effectuée par le capteur d'une valeur moyenne de -47.9 hPa (corrigé sur la courbe rouge de la figure) par rapport aux données météorologiques (en bleu sur la figure), néanmoins l'écart type de ce biais de 0,56hPa montre que les variations de pression sont précisément suivies, ce qui donne une bonne confiance dans le comportement du capteur tout au long de la campagne.



Les valeurs de températures ont aussi été comparées et on peut voir sur le graphe ci-après que la température du bâtiment (gris) est bien régulée par rapport à celle extérieure (rouge). La courbe jaune est la température mesurée à l'intérieur du Rapid-C, et la courbe bleue est celle mesurée par le capteur de CO2 fixé sur le capot au-dessus du Rapid-C.

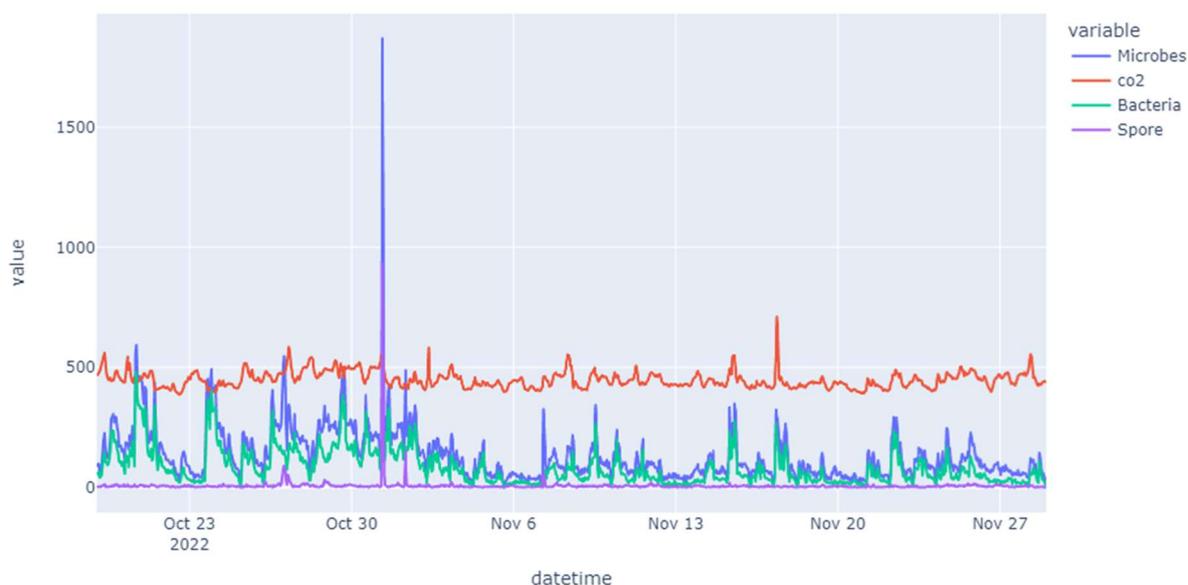


Vue générale des mesures

La figure ci-dessous montre l'évolution des variables d'intérêt principal dans cette campagne, c'est à dire compte microbes, bactéries et spores et concentration en CO2, pour des valeurs horaires.

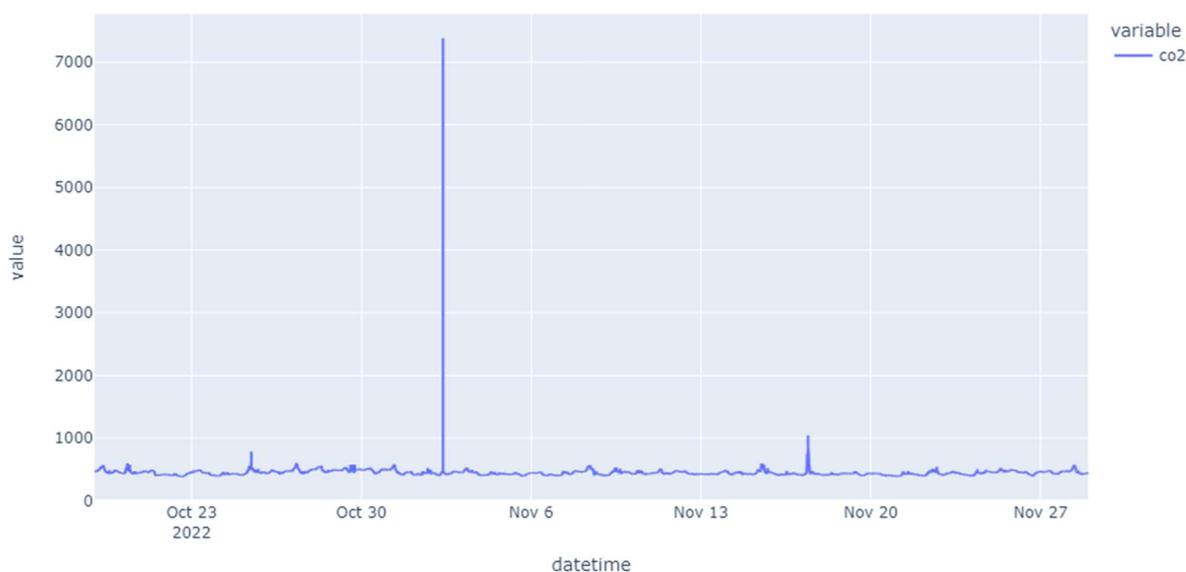
Le compte de microbes n'est pas exactement la somme des bactéries et des spores car certaines particules ne sont pas reconnues par l'algorithme dans une de ces sous-classes.

On peut voir que la courbe de CO2 évolue autour est d'une valeur de 450 ppm.

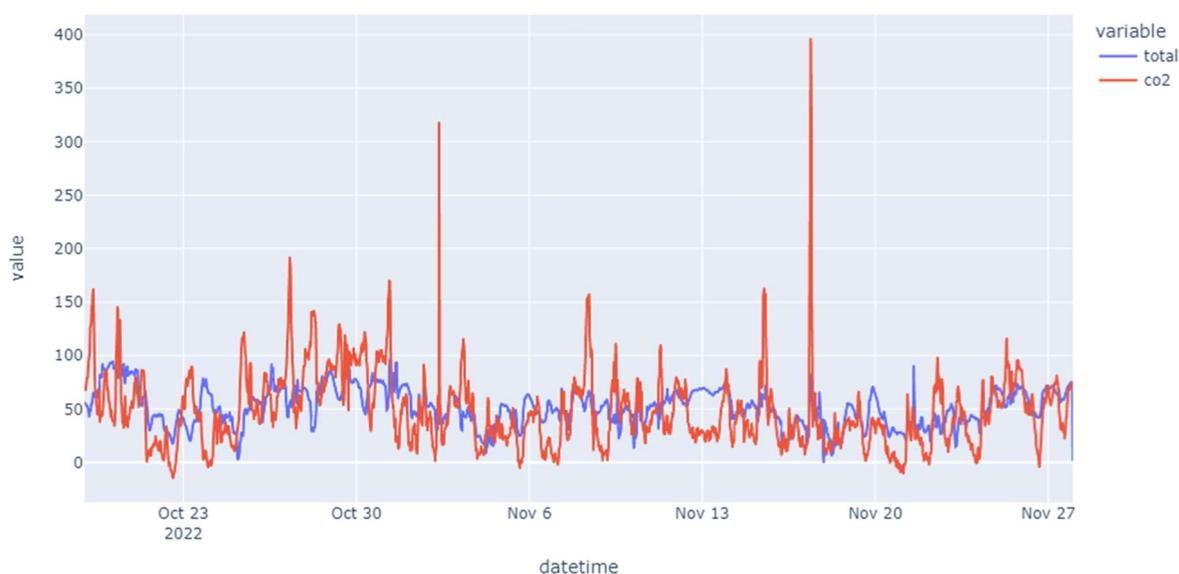


Afin de voir si la données horaires sont bien représentatives, on peut profiter de la résolution fine des mesures à la minute.

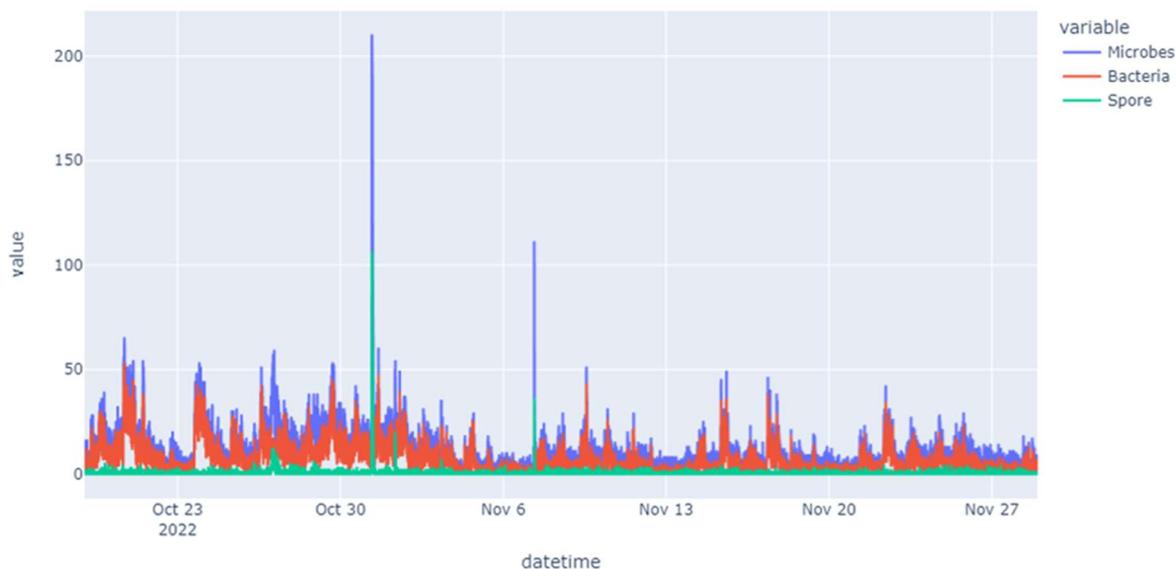
On voit ci-dessous des épisodes de forte augmentation des concentrations en CO2 mais les variations à l'heure semblent bien représentatives de la campagne. Les valeurs restent cependant très raisonnables (jusqu'à 1043ppm) à l'exception d'un pic à 7378ppm qui en l'absence d'événement identifié correspond probablement au souffle d'une personne très proche du capteur.



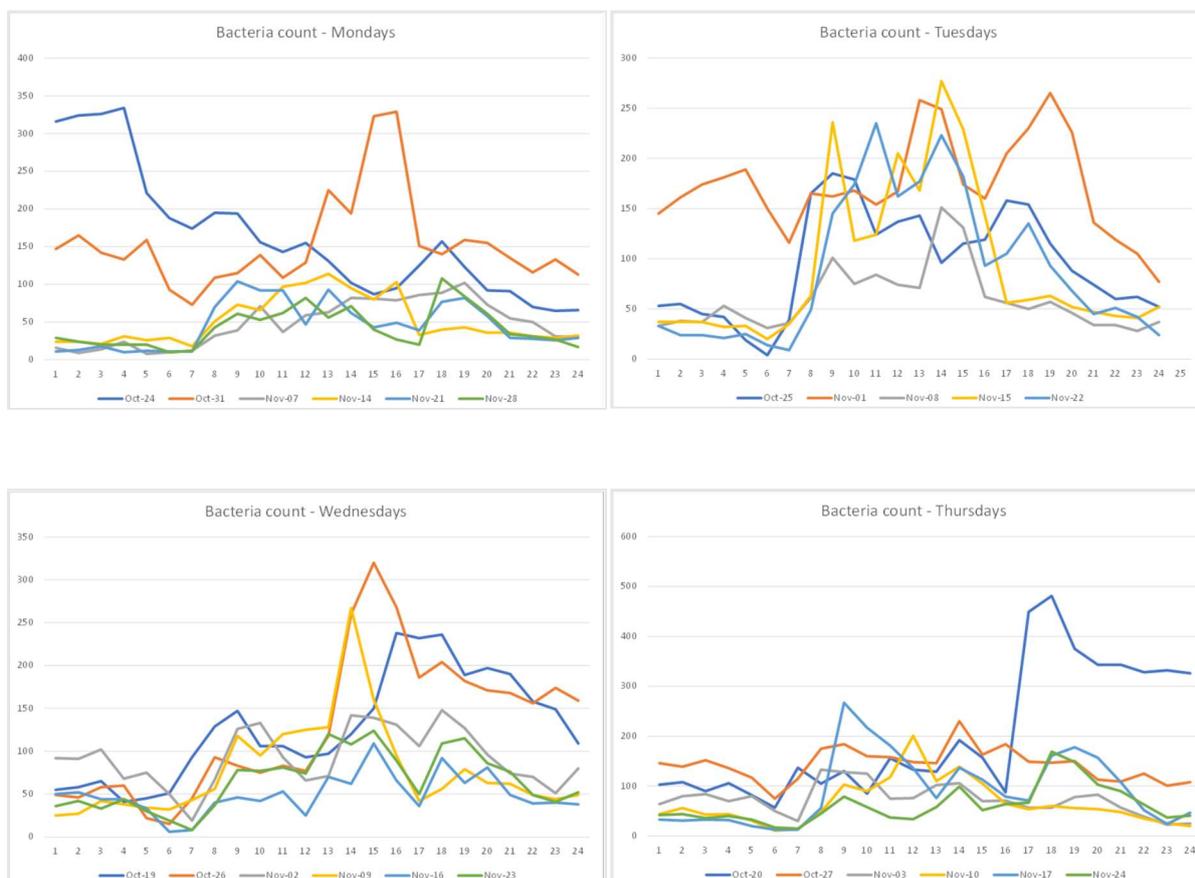
Le graphe ci-dessous montre la concentration en CO2 (moins 400ppm) et le compte de particules total (divisé par 100) pour vérifier s'il y a un lien entre les deux pour des intervalles de 30min. Le coefficient de corrélation est 0.405 et suggère que les deux paramètres sont peu corrélés.

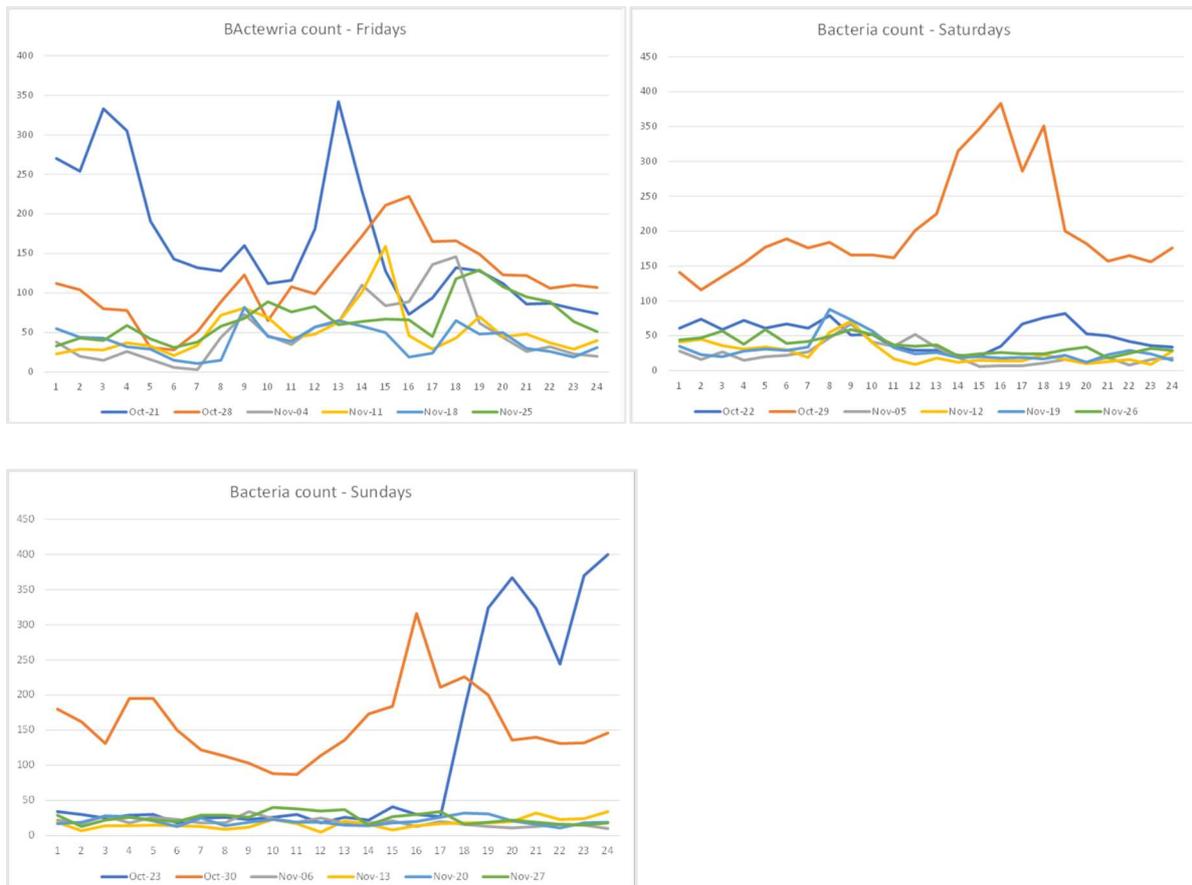


On peut voir sur la courbe ci-dessous les données agrégées sur des périodes de 5 min qui confirment que des analyses sur les données horaires seront bien représentatives.



On distingue dans ces graphes des similitudes entre les semaines, en particulier sur la deuxième moitié de la campagne. Les courbes par journée de la semaine ont donc été extraites afin d'étudier cette tendance et sont visibles ci-dessous pour chaque jour de la semaine.





On confirme sur ces courbes une situation particulière autour du WE du 30 octobre qui invite à se concentrer sur les 3 dernières semaines.

Le graphe ci-dessous montre les valeurs cumulées pour ces semaines aux heures de la journée et classées par jour de semaine.

La forme des motifs répétitifs est clairement mise en évidence. Les heures étant en UTC, c'est à dire 1 heure de moins que l'heure locale en novembre, on remarque que les variations de bactéries correspondent aux heures d'affluence des occupants:

En semaine:

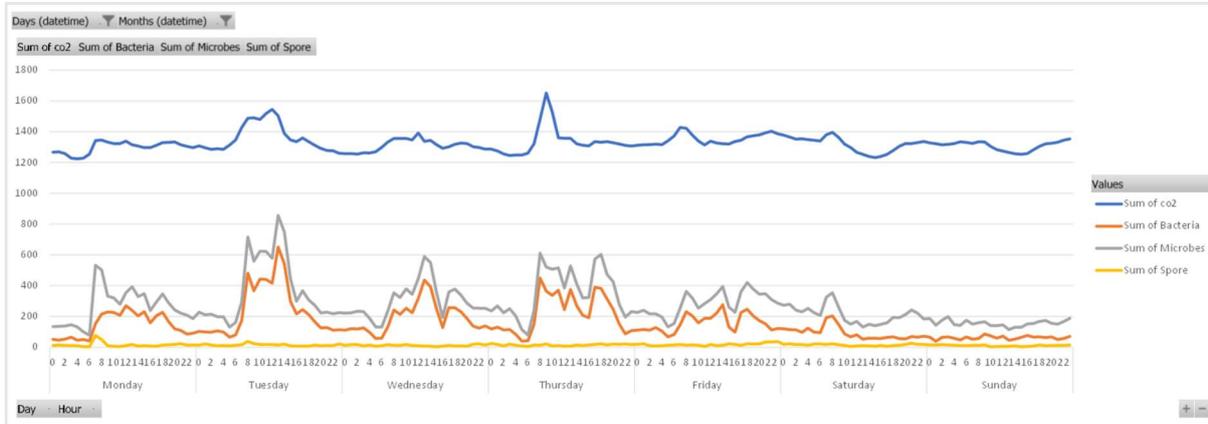
- Croissance rapide à l'entrée dans les bureaux entre 8h et 10
- Augmentation autour repas du midi pendant lequel les occupants traversent le couloir pour aller à la cantine
- Décroissance plus lente le soir la sortie des bureaux

Le week end:

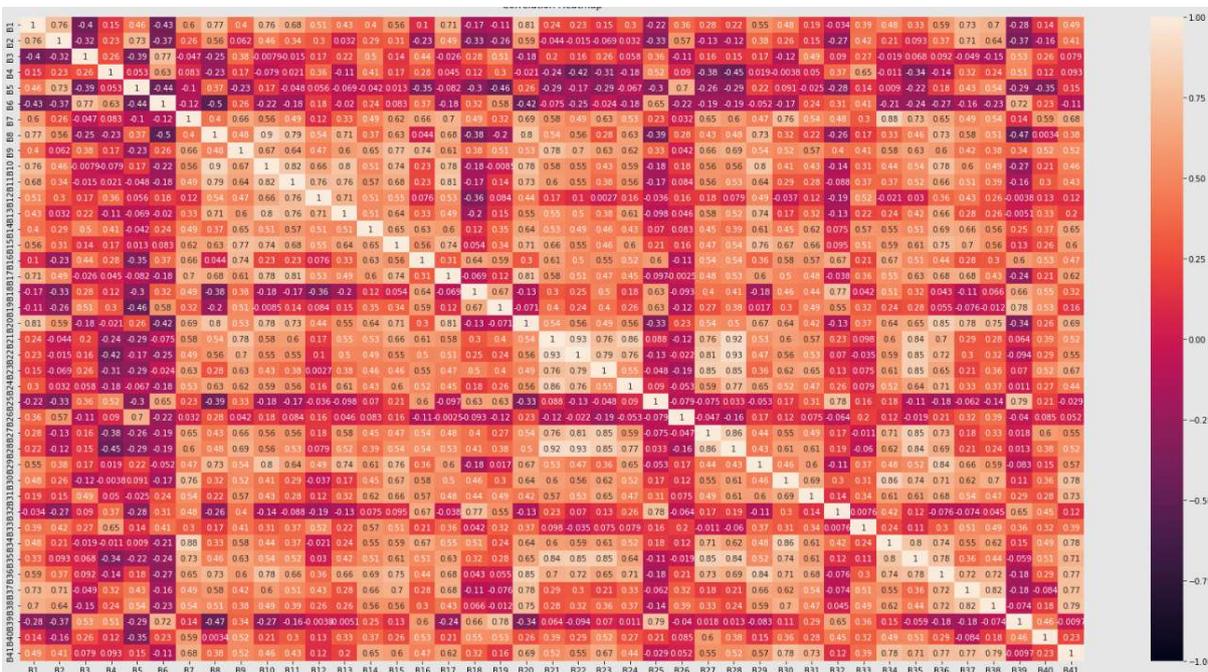
- Une légère croissance le matin correspondant certainement aux travailleurs du Samedi matin.
- Pas de variation importante le Dimanche pendant lequel les bureaux sont pratiquement vides.

Le creux observé vers 14h-15h pourrait correspondre à l'activité du personnel de nettoyage qui généralement ouvre les fenêtres de la cantine et des salles de réunions attenantes.

Pour le CO2 on voit clairement une augmentation à l'heure d'entrée des bureaux mais la forme journalière est moins évidente.

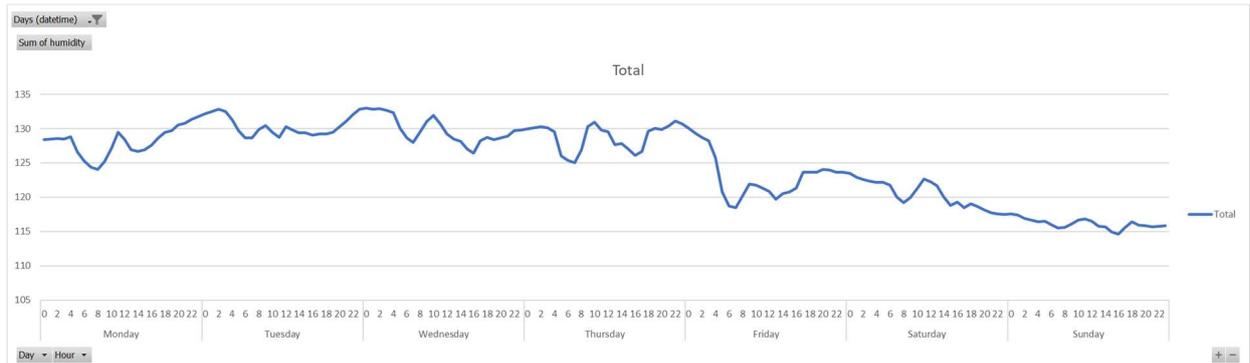


Pour confirmer ces motifs répétitifs, une corrélation entre chacune des journées a été effectuée pour les bactéries et on voit bien la structure hebdomadaire des données, en particulier sur la deuxième partie de la semaine. Les similitudes entre les semaines apparaissent malgré l'usage non régulier des salles de réunion, ou les événements ponctuels organisés par l'incubateur.



Une investigation similaire a été effectuée sur l'humidité relative mesurée par le capteur Yoc-topuce et on voit que sur les courbes cumulées par jour de la semaine, l'humidité a tendance à :

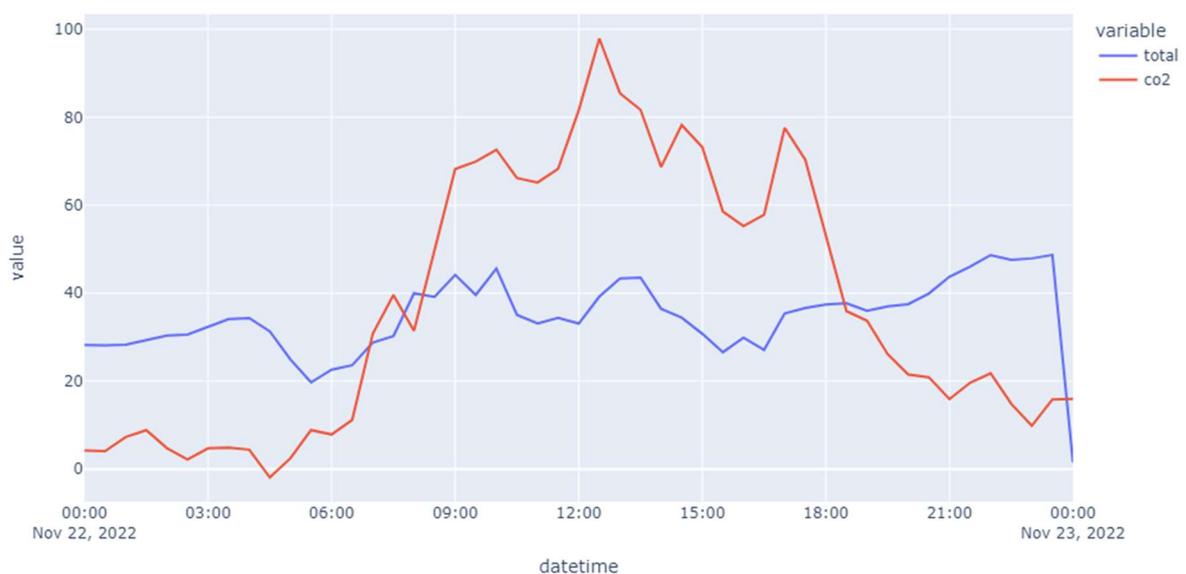
- s'élever pendant la nuit (peut-être sous l'effet de l'humidité extérieure)
- diminuer le matin (peut-être sous l'effet de la mise en mode principal de la ventilation du bâtiment)
- Augmenter à l'heure du déjeuner (peut-être sous l'influence des activités à la cantine voisine)



Correlation entre teneur en CO2 et le compte de bactéries

- Exemple de la journée du 22 novembre 2022

Pour la journée du 22 novembre, on peut voir que le compte total de particules (divisé par 100 sur le graphe) n'est pas lié à la teneur en CO2 (moins 400ppm sur le graphe) avec un coefficient de corrélation de 0.257.



Ci-dessous, on peut voir les courbes des valeurs par 30min de CO2 (abaissée de 400ppm) et celles des microbes et sous-classes. Dans ce cas, le coefficient de corrélation en CO2 et compte de bactéries est de 0.893.

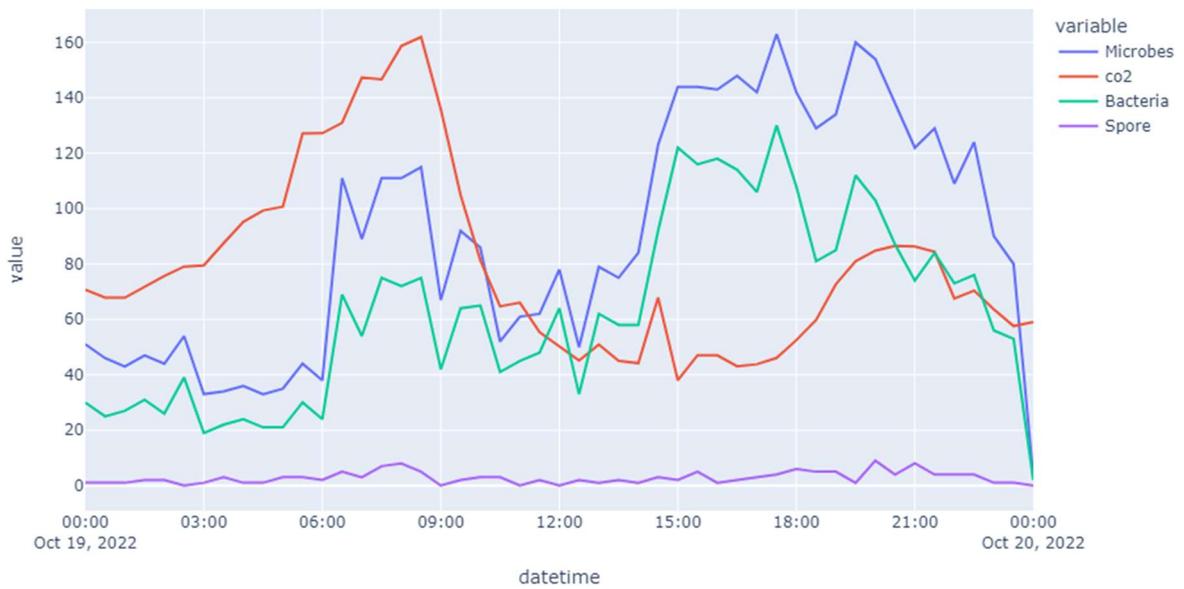


NOTA: compte-tenu de la nature particulière de la présence des particules dans l'air, les séries temporelles du compte de microbes, ou ses sous classes, peuvent présenter beaucoup de zéros (des minutes pendant lesquelles zéro particules sont identifiées). La corrélation devient alors imprécise. C'est pourquoi nous avons pris 30min dans ce cas, un compromis pour assez de détails sans impacter la valeur de corrélation par des zéros. Ci-dessous, les coefficients de corrélation entre CO2 et Bactérie pour des intervalles de mesures différents lors de la journée du 19 octobre:

Inter- valle (min)	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Coef- ficient de corre- lation	0.615	0.797	0.844	0.855	0.869	0.881	0.893	0.892	0.893	0.936	0.917	0.918	0.919

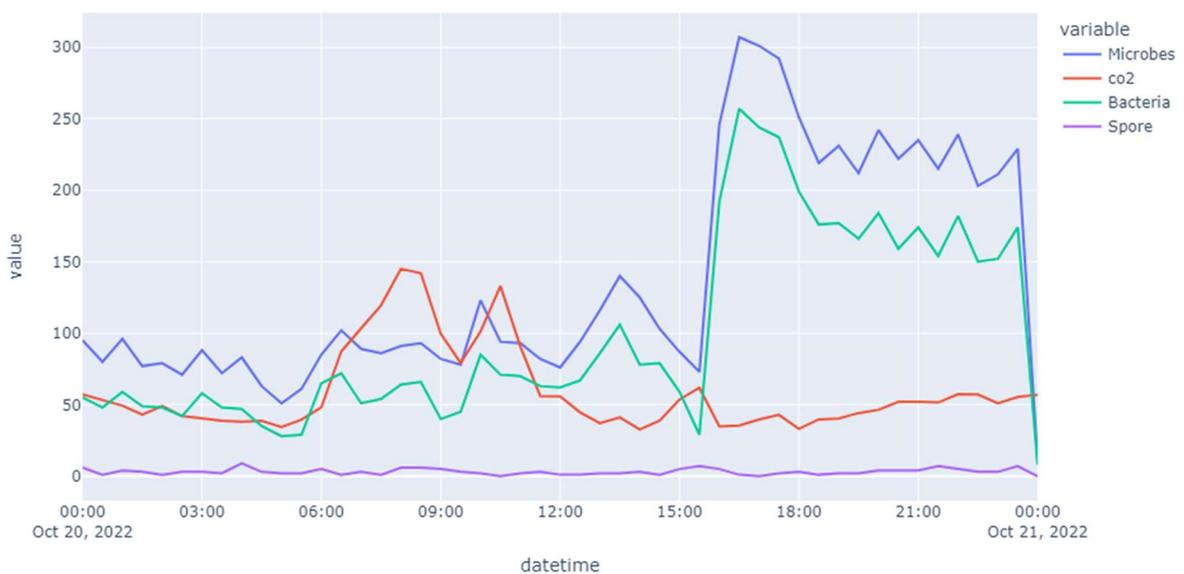
Ci-après sont présentées des courbes relatives à certaines journées afin d'illustrer les relations rencontrées entre les paramètres CO2 et Bactérie.

Journée du 19 octobre



- Coefficient de corrélation 0.3

Journée du 20 octobre



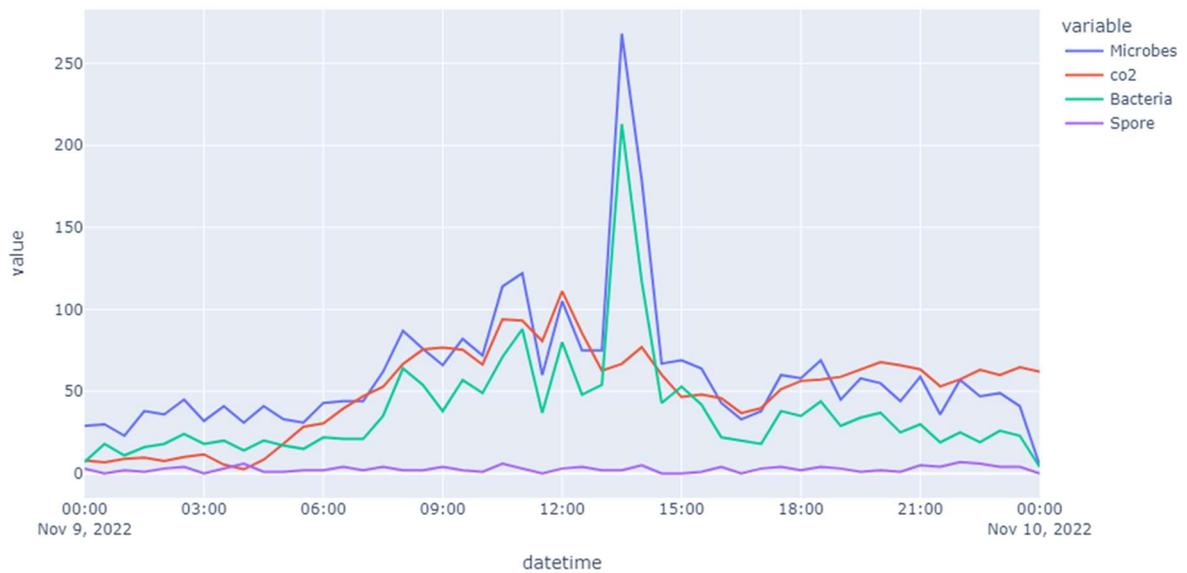
- Coefficient de corrélation -0.289

Journée du 25 Octobre



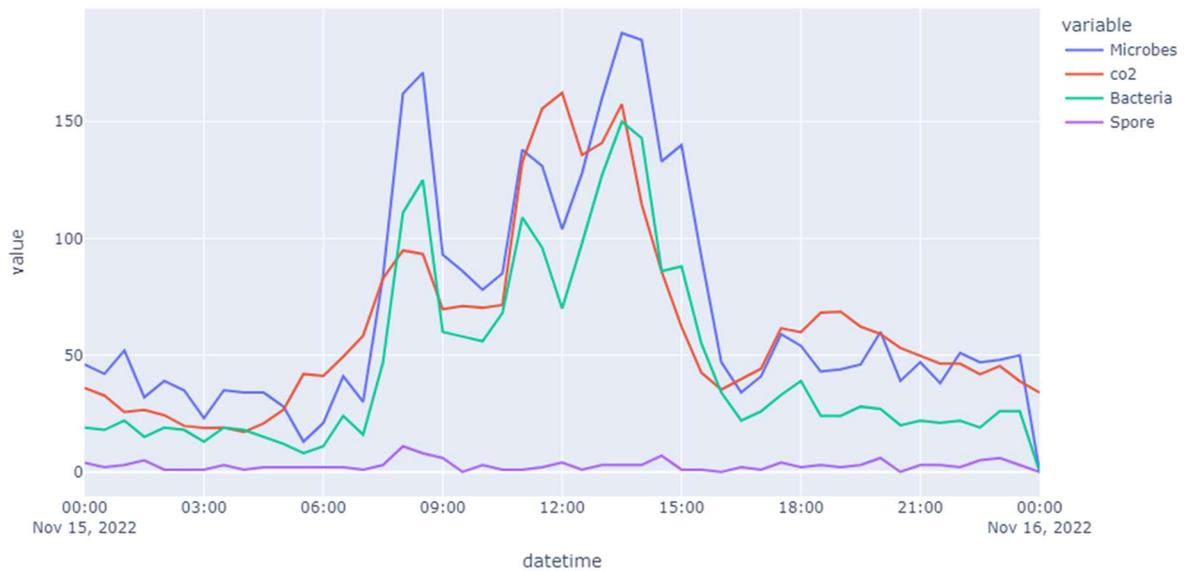
- Coefficient de corrélation 0.797

Journée du 9 novembre



- Coefficient de corrélation 0.52

Journée du 15 novembre



- Coefficient de corrélation 0.842

Zoom sur l'événement du 17 novembre

Le 17 novembre, l'incubateur Fongit a organisé un événement en ses locaux, pendant lequel 120 personnes ont été accueillies dans la salle de cantine.

Déroulement de l'événement :

- Arrivée des participants par la porte du couloir où se trouve l'instrument donnant vers les ascenseurs
- Les participants laissent leur veste dans le couloir et sont dirigés vers la salle
- Lorsque l'événement commence le couloir est vide mais les participants sont massés dans la salle jusqu'à la porte du couloir
- Après des présentations, un jeu de réseautage est organisé lors de laquelle les participants doivent retrouver d'autres participants dans la foule.
- Les participants se déplacent dans la grande de manière intense et d'autres participants commencent à quitter la Fongit par la porte du couloir donnant vers les ascenseurs.
- Rapidement la plupart des participants est partie.

On peut voir sur la figure ci-après la variation de CO2 sur cette journée.

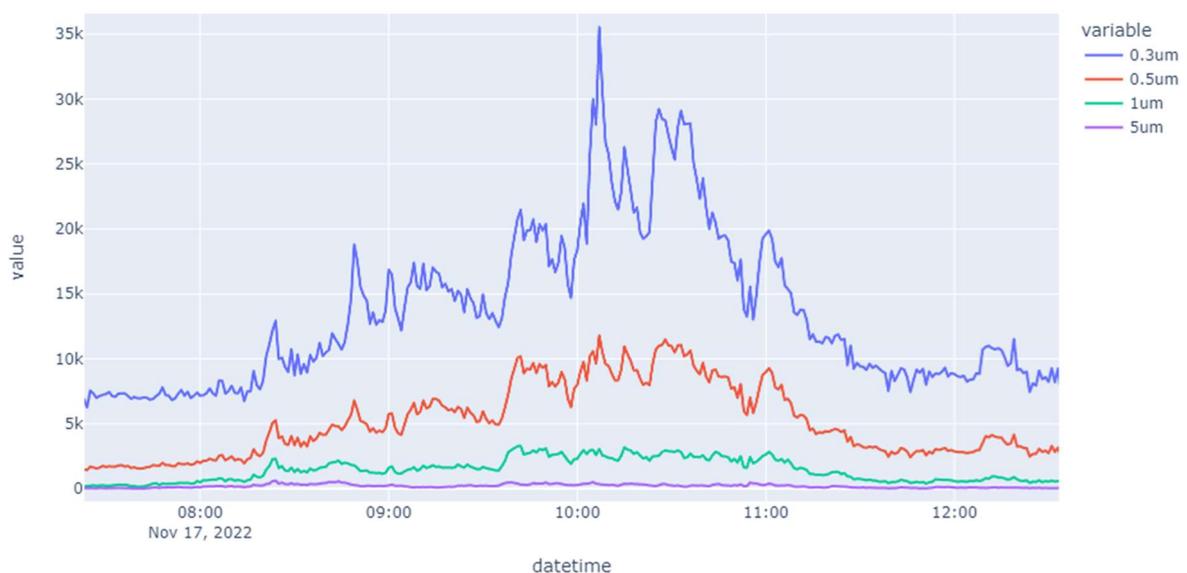
Afin de vérifier que les mesures faites sont bien représentatives, à 10:04 les portes des salles de réunions attenantes au couloir ont été ouvertes à la fois vers le couloir, mais aussi vers le balcon extérieur afin de créer un courant d'air. L'effet attendu de ce courant d'air est une baisse de la concentration en CO2. Les portes des salles de réunions vers le couloir ont ensuite été fermées quelques minutes après à 10:17.



La figure ci-dessous est un zoom sur le moment de cette manipulation de portes.

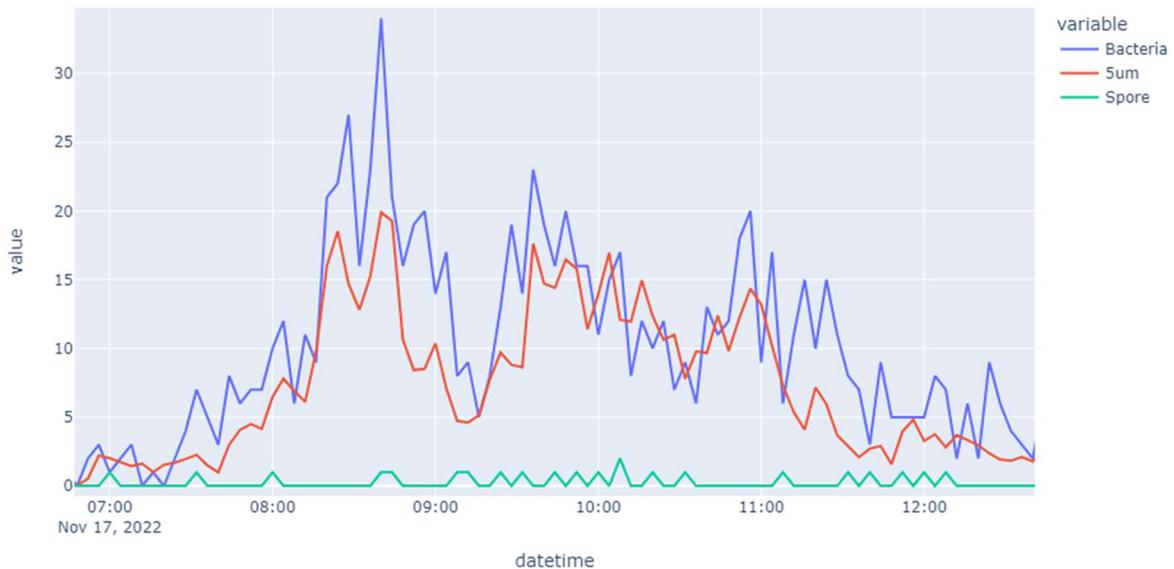
- À 10:04 la valeur de CO2 est 688. Après l'ouverture des portes, elle chute brutalement, puis continue plus lentement à diminuer.
- À 10:17 la valeur de CO2 est 540. Après la fermeture des portes elle remonte rapidement.
- À 10:37 la session de networking débute et on voit une remontée du CO2 sous l'agitation de la foule et les personnes quittant la salle et l'événement.

En observant cet événement du point de vue de la taille des particules on voit sur la courbe suivante leur évolution. Les particules légères présentent une forte augmentation au moment du courant d'air dans le couloir, ainsi qu'au moment de l'agitation des participants lors du jeu de réseautage. Le nombre élevé persiste lors des vagues de départ des participants.



Sur le graphe ci-dessous on voit le compte de bactéries et spores ainsi que le compte de particules de 5um (divisé par 100) avec un intervalle de mesures de 4min.

Une forte chute des bactéries est visible à 10:04 ainsi qu'une remontée à 10:16, correspondant à l'épisode d'aération puis fermetures des portes des salles de réunion.



4 Conclusions

La campagne de mesures a permis de récolter en continu sur 41 jours sans interruption des valeurs inédites de paramètres de l'air intérieur d'un environnement de type bureaux. La base de données combine à la fois les données classiques de température, pression, humidité et concentration en CO2 (toutes en extérieur comme en intérieur), avec le compte continu du nombre de particules, et la proportion de microorganismes apparentables à des bactéries ou des spores.

Ces données ont été analysées afin de voir leur pertinence et il se dégage des études réalisées pour ce projet que leur potentiel est riche car elles permettent d'établir un lien dynamique entre l'occupation des locaux et les paramètres microbiologiques de l'air intérieur. Que ce soit pour la présence de bactéries liées vraisemblablement à la présence humaine, ou à la présence de spores qui pourraient impacter la santé des personnes présentes en cas de sensibilité accrue.

Le mandat alloué par l'OFSP a été rempli dans sa totalité et représente une excellente base pour de futures travaux sur la relation entre qualité de l'air intérieur et risques de contaminations.

Annexes

Annexe 1 - Datasheet Capteur

Enhanced carbon dioxide (CO₂) sensor

Yocto-CO2-V2



The Yocto-CO2-V2 device lets you measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) in ambient air as well as the relative humidity, temperature and atmospheric pressure via an USB connection. It can record the measurements on its internal flash for later retrieval when connected again by USB.

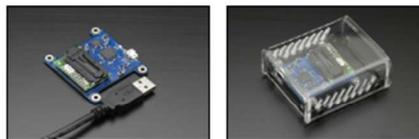
This device is ideal to precisely monitor the air quality in residential, commercial and industrial spaces, as well as potentially dusty air ducts used in HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning) systems. The sensor used in this device uses non-dispersive infra-red absorption (NDIR), and requires no maintenance. It provides accurate measurements already within the first minute after power on.

The expected CO₂ concentration in fresh air varies between 360 and 400 ppm depending on the location. Industry consensus standard rates maximal admissible CO₂ between 1'000 and 2'500 ppm in ventilated buildings. Around 10'000 ppm, some people feel dizziness. This sensor is capable to measure up to 40'000 ppm (vol) or 4%, with a well-defined accuracy in the range 0...10'000 ppm (25°C).

Specifications

Product ID	YCO2MK02
USB connector	micro-B
Thickness	9 mm
Width	58 mm
Length	50 mm
Weight	13.5 g
Sensor	SCD30 (Sensirion), ICP-10100 (TDK)
Refresh rate	0.5 Hz
Measuring range	0-40000 ppm (vol)
Accuracy	30 ppm + 3%
Accuracy (H)	3 % RH
Accuracy (P rel)	0.01 mbar
Accuracy (T)	0.5 °C
Sensitivity	10 ppm
IEC protection class	class III
Normal operating temperature	5...40 °C
Extended operating temperature ¹	0...50 °C
RoHS compliance	RoHS III (2011/65/UE+2015/863)
USB Vendor ID	0x24E0
USB Device ID	0x008B
Suggested enclosure	YoctoBox-CO2-V2
Harmonized tariff code	8542.3190
Made in	Switzerland

¹ The extended temperature range is defined based on components specifications and has been tested during a limited duration (1h). When using the device in harsh environments for a long period of time, we strongly advise to run extensive tests before going to production.



For more information: www.yoctopuce.com/EN/products/yocto-co2-v2

Annexe 2 – Données Régie Fongit

Capture d'écran des relevés de températures dans le couloir de la Fongit.

Partie 1



Partie 2



Système de ventilation, consignes et horaires des modes de fonctionnement



00 ⁰⁰	Réduit						
01 ⁰⁰	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
02 ⁰⁰	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	07:00	07:00
03 ⁰⁰							
04 ⁰⁰							
05 ⁰⁰							
06 ⁰⁰	En	En	En	En	En		
07 ⁰⁰	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	Réduit	Réduit
08 ⁰⁰	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00	07:00	07:00
09 ⁰⁰						12:00	18:00
10 ⁰⁰							
11 ⁰⁰							
12 ⁰⁰						Réduit	
13 ⁰⁰						12:00	
14 ⁰⁰						23:59	
15 ⁰⁰							
16 ⁰⁰							
17 ⁰⁰							
18 ⁰⁰	Réduit	Réduit	Réduit	Réduit	Réduit		Réduit
19 ⁰⁰	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00		18:00
20 ⁰⁰	23:59	23:59	23:59	23:59	23:59		23:59
21 ⁰⁰							
22 ⁰⁰							
23 ⁰⁰							

--- fin du document ---