

Journée technique

#Savoie/Haute-Savoie - Qualité de l'air intérieur

Organisée par :



Rénovation énergétique de 3 groupes scolaires Passy (74)

VAD, Aix-les-Bains (73) – 3 décembre 2024

Intervenants :

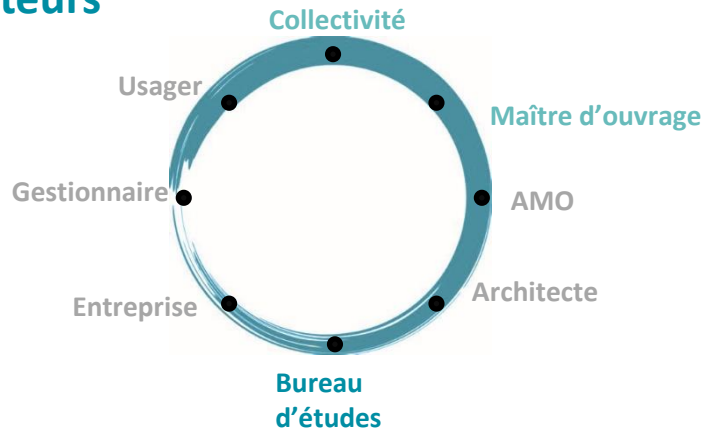
Jonathan VIVIER, Chargé de Projet Travaux et Energie – Commune de Passy

Michel Ondarts, LOCIE

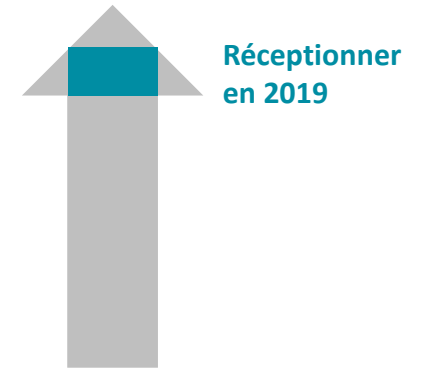
Aurélie DUPARCHY, Responsable de secteur – SPL OSER



Acteurs



Etat d'avancement



Contexte du projet par rapport à la thématique



Rénovation énergétique de 3 groupes scolaires + un logement d'habitation avec prise en compte de la qualité de l'air intérieur



Passy – Ville de 12 000 habitants (Etendu)

Audit énergétique en 2013 et 2019

Contexte qualité de l'air important dans la vallée
de l'Arve

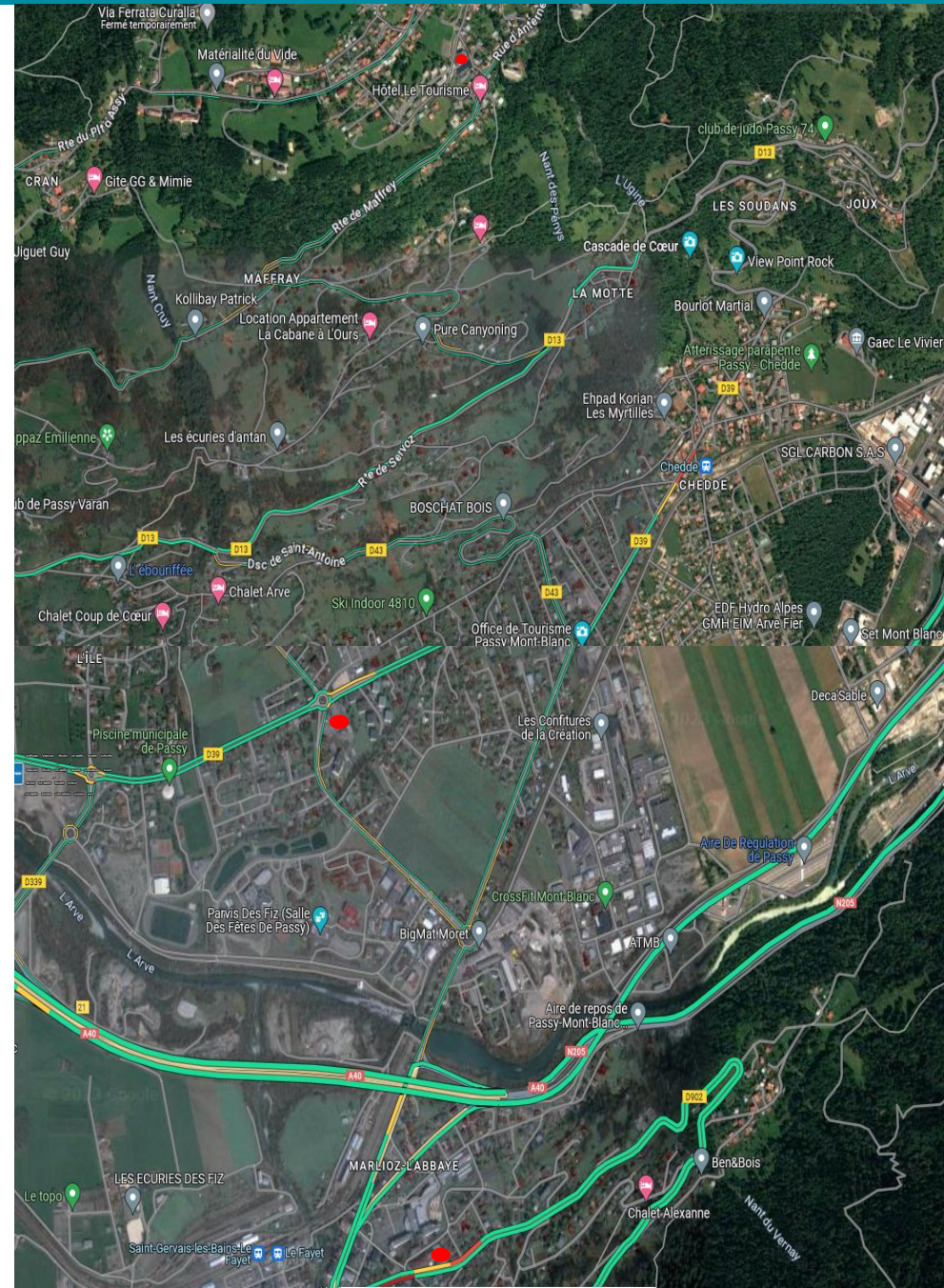
Etude QAI avant travaux et après Travaux

Amélioration du confort des occupants

Énergie gaz et fioul avec des consommations
importantes 1 300 000 kWh/an

3 sites distincts

Atteinte du BBC Rénovation





Programme de travaux :

- Isolation par extérieure / intérieure
- Remplacement des menuiseries
- Isolation toiture et plancher bas
- Remplacement chaudière + Installation GTC (Chauffage et Ventilation)
- Création chaufferie bois
- Ventilation double flux
- Mise en conformité accessibilité et sécurité incendie

Pas d'embellissement intérieur des écoles

Surface totale de plancher -> 3 960 m² pour l'ensemble des bâtiments

Durée des travaux : 14 mois (site occupé) pour un coût global de 5 M€ TTC (Etudes + Travaux + Prime performance)

Objectif performance énergétique 563 390 kWh dont :

- Groupe scolaire Marlioz + Logement : - 40%
- Groupe scolaire Abbaye : - 50%
- Ecole maternelle du Plateau : - 60%



Maitrise d'ouvrage délégué : SPL OSER

Marché à performance CREM

Bilan exploitation annuelle avec relevé de mesures CO2 pour CTA et économies d'énergie réelles

Objectifs dépassés pour les 2 groupes scolaires en 2023:

- 54% Groupe scolaire Marlioz pour obj à -40%
- 73% Groupe scolaire Abbaye pour obj à -50%
- 63% Groupe scolaire Plateau pour obj à -60%

Ecole du Plateau – Difficulté de fonctionnement chaufferie bois avec filtration déportée

Economie de 178 T_{eq}CO₂/an

Sensibilisation des usagers via ASDER

Travaux en site occupé -> Implication importante des directeurs-trice des groupes scolaires et du service éducation jeunesse et Services techniques

Gros travaux en période de vacances puis salle de classe tampon. Travail important en régie.



Chauffage :

- Groupe scolaire Marlioz -> 2 Chaudières gaz condensation dont une remplacée en 2018
 - Passage sur un réseau urbain biomasse en 2024
 - Groupe scolaire Abbaye -> 2 Chaudières Gaz non remplacées
 - Groupe scolaire du Plateau -> Remplacement de 2 chaudières fioul par 2 chaudières bois granulés + Filtration performante pour atteindre 15 mg/Nm3
-
- Ventilation :
 - CTA double flux avec système de filtration air neuf
-
- Eclairage :
 - Led
-
- Panneau solaire photovoltaïque pour autoconsommation sur groupe scolaire Marlioz (7,5 kW) et Abbaye (15 kW)
-
- Atteinte BBC rénovation



Mandataire Citinea (Vinci) avec présence de nombreuses entreprises locales :

- Roux (Magland 74)
- Roche & Cie (Villaz 74)
- Soprema (Chavanod 74)
- Arti Sols (Epagny 74)
- Bouygues Energie & service (Seynod 74)
- Solaravis (St Pierre en Faucigny 74)

- + Autres entreprises Savoie

- 38% du marché confié au PME

- Quota travail en insertion à respecter sur chantier

- Reproductible sur des chantiers avec un montant de 2 M€ via un marché à performance

- Cout global du marché 5 M€ TTC subventionné à 50% (FEDER, CCE, TEPCV, SYANE, DETR, Région)



Ventilation double flux pour tous les espaces scolaires.

Powerbox / Platebox –France Air

Echangeur à plaques 84 % efficacité

Batteries électriques de préchauffage

Réseaux et CTA intérieurs ou en combles

Dimensionnement RSD : 15 m³/h.occ

Filtration air F7

Volonté de limiter les couts :

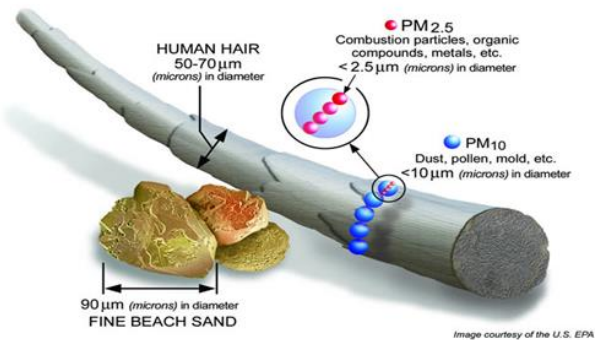
- 6 600 € HT/classe (coût 2018) (autres projets SPL en moyenne 14 000 € HT /classe)
- Gaines apparentes
- 1 soufflage par salle / reprise en circulation avec grille de transfert dans les portes (possible en ERP 5ème catégorie)



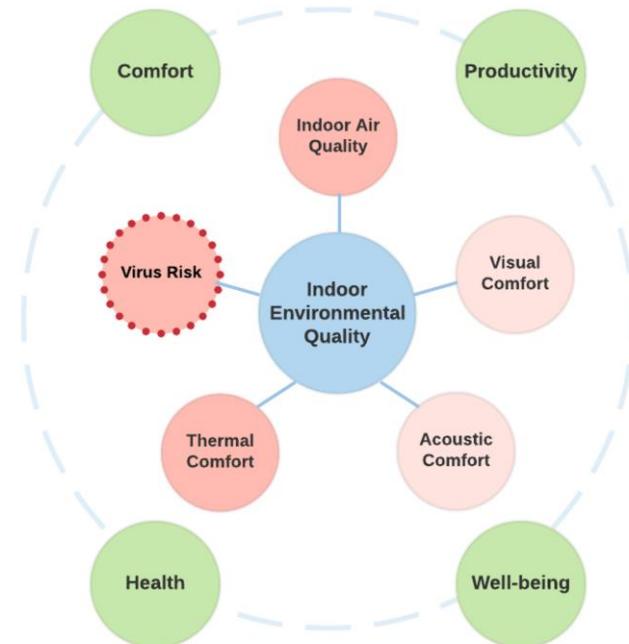


Objectif de l'étude : Impact de la rénovation énergétique de deux salles de classe sur

- La qualité de l'air (QAI) : pollution particulaire (PM)
- Le confort thermique (température – humidité relative)
- Le confinement (CO_2)



Dimensions caractéristiques
des particules en suspension

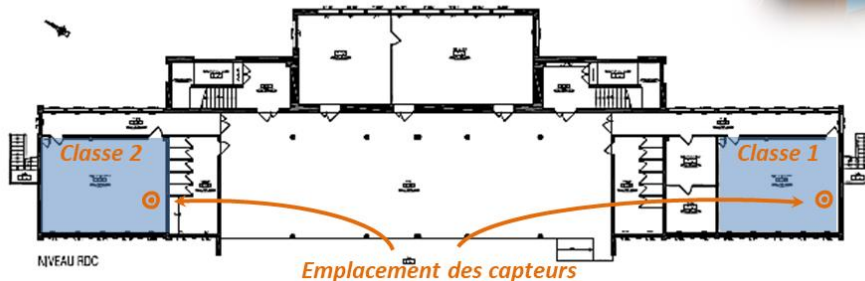


Kakoulli et al.
Atmosphere 2022, 13(2), 191;
<https://doi.org/10.3390/atmos13020191>



Méthodologie

- Mesures des paramètres de confort et de qualité de l'air
 - Capteur Airvisual Node : capteur « low cost »
 - Mesures : T, HR, CO₂, PM
 - Mesures ponctuelles dans l'espace : zone non accessible aux enfants
 - Pas de temps : 1 minutes
- Mesures de débit (après rénovation)
- Questionnaire « activité »



Mesures des paramètres de confort et de QAI

Capteurs Airvisual Node
Capteur implanté en salle 2
Groupe scolaire Marlioz ; RDC

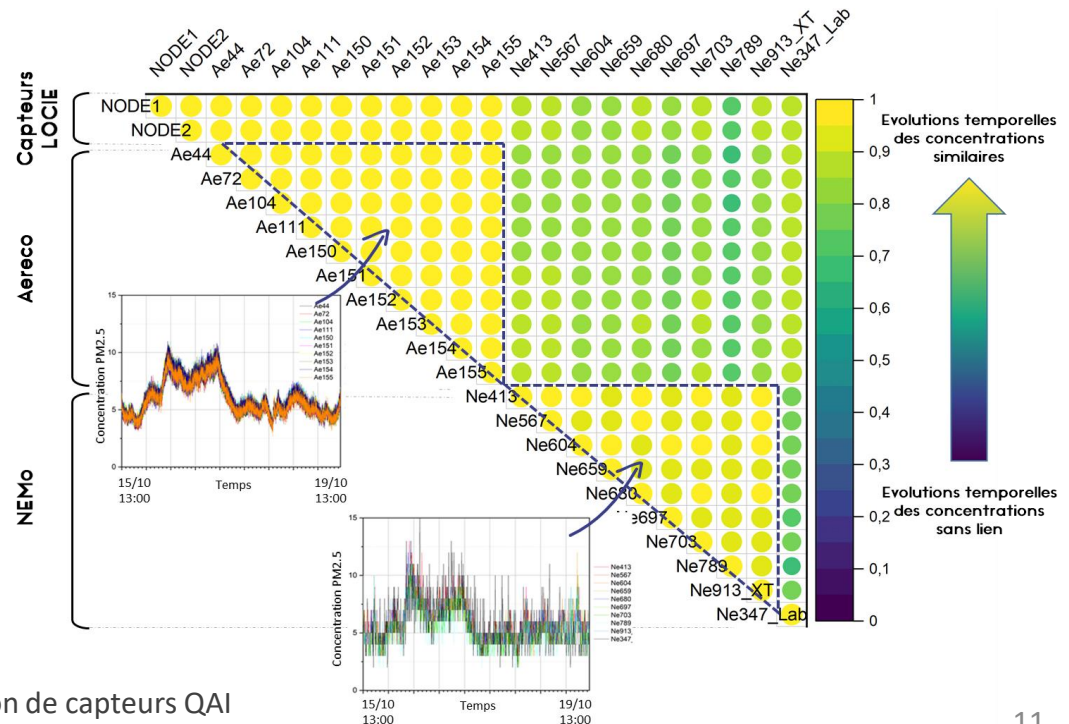


Mesures des paramètres d'intérêt : limites - précautions

- Qualité de la mesure
 - Précision de la mesure
 - Qualité de la description de l'évolution temporelle



Intercomparaison de capteurs QAI





Mesures des paramètres d'intérêts : limites - précautions

- Qualité de la mesure
 - Précision de la mesure
 - Qualité de la description de l'évolution temporelle
- Autres paramètres importants
 - Acquisition des données
 - Dérive de la mesure au cours du temps
- Choix
 - Fonction des mesures nécessaires
 - Recommandations
 - Reste délicat



• Most accurate multi-pollutant sensor:

- Outdoor: **Kunak Air Lite** - Spain 🇪🇸 (Overall)
- Kunak Air Pro** - Spain 🇪🇸 (Overall)
- Bettair Static Node** - Spain 🇪🇸 (Overall)
- Indoor: **Ethera Mini XT basic** - France 🇫🇷 (France)
- Indoor under €500: **AirGradient ONE** - Thailand 🇹🇭 (France)



Newsletter n°2 – Mesurer la QAI : connaître les performances des capteurs Avril 2023





Evolution des taux de renouvellement d'air

- Avant rénovation : renouvellement faible, 1 ordre de grandeur inférieur aux débits réglementaires
- Après rénovation : en accord avec la réglementation - variabilité forte

Table 3
Air change rates (h^{-1}) and airflow ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) recommendations, measurements and calculations.

Cases	Date	Classroom 1	Classroom 2	
From the regulations^a		3.3 h^{-1} 590 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	3.3 h^{-1} 590 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	
Modelling 2018 before renovation	Weekend unoccupied from 12/01/2018 (16:40) to 14/01/2018 (23:59)	0.11 h^{-1} 20 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	0.05 h^{-1} 9 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	
2020 after renovation	Direct measurement 27/02/2020	1.50 h^{-1} 265 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	1.69 h^{-1} 295 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	
	Modelling 17/01/2020	2.00 h^{-1} 345 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	1.89 h^{-1} 330 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	
		20/01/2020	2.45 h^{-1} 434 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	2.46 h^{-1} 430 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
Modelling 2020 Malfunction after renovation	Unoccupied time from 09/01/2020 (16:30) to 10/01/2020 (08:20)	0.15 h^{-1} 27 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	–	
	Unoccupied time from 13/01/2020 (16:50) to 14/01/2020 (08:20)	0.14 h^{-1} 25 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	–	

^a Calculated according to regulatory flow rates and average occupancy for this type of room.

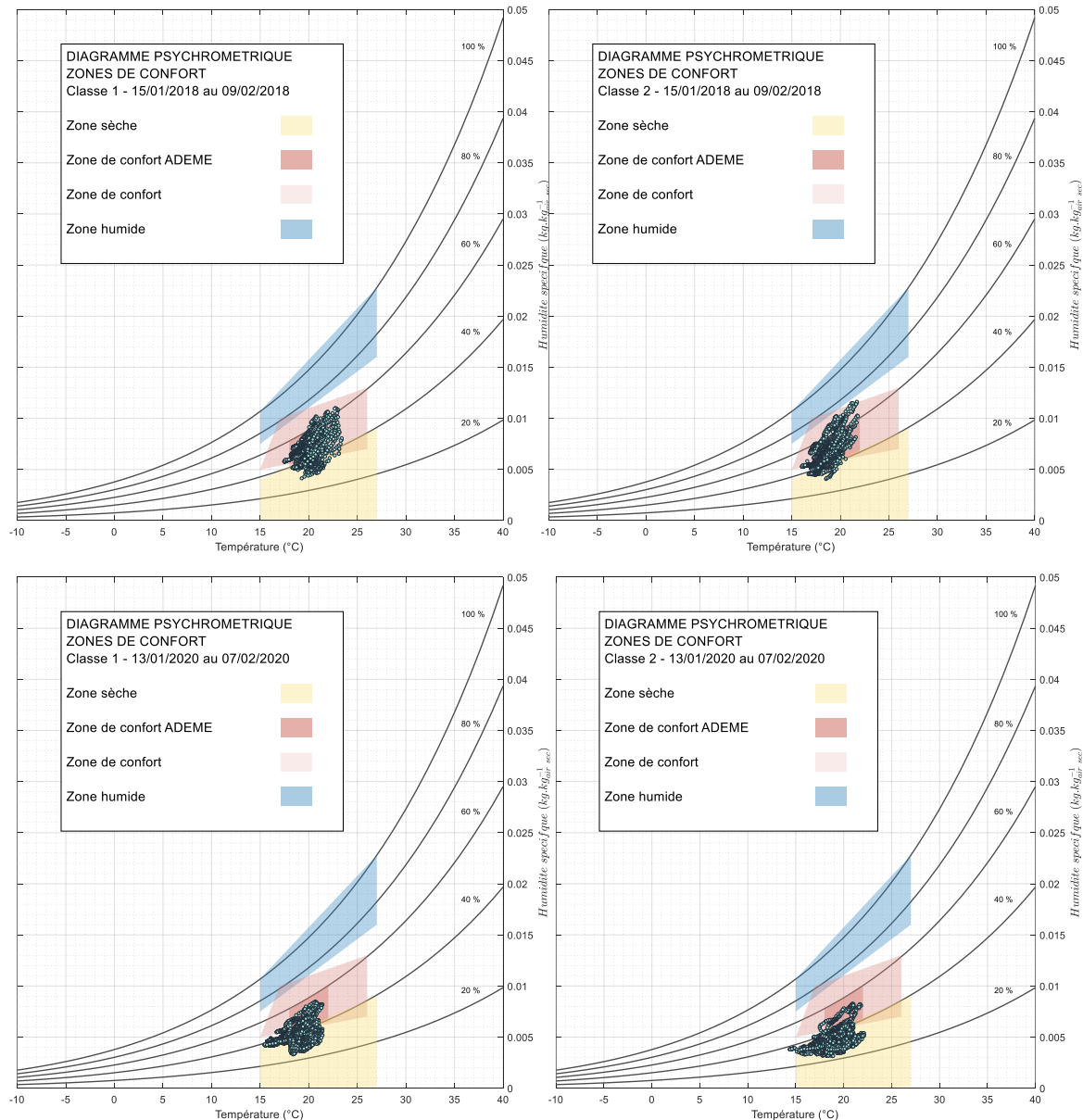


Confort thermique (T et HR)

- Avant rénovation : 83 et 92% (classes 1 et 2) des valeurs respectent les recommandations
- Après rénovation : 63 et 83% (classes 1 et 2) dans la zone de « sécheresse »



Impact des conditions météorologiques extérieures

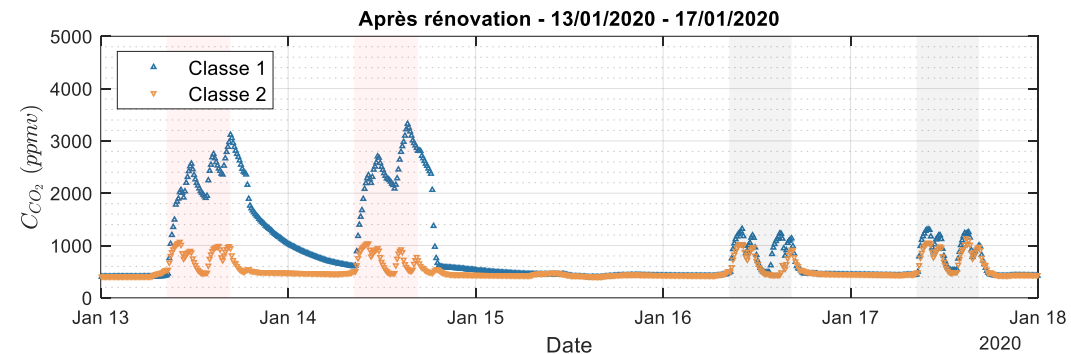
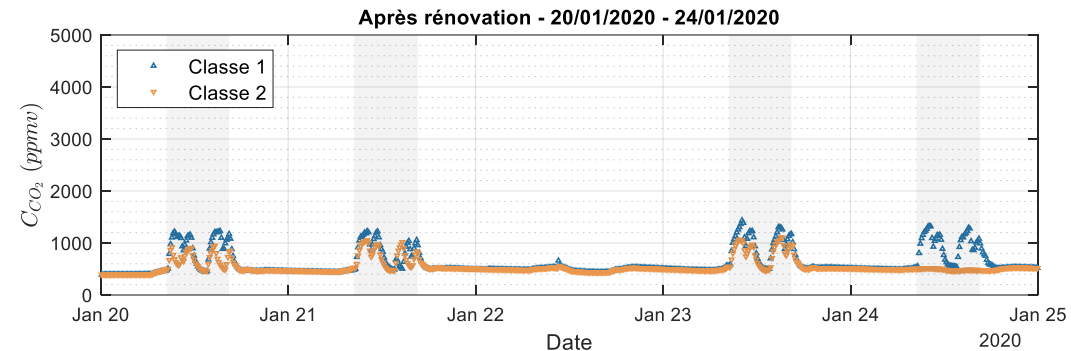
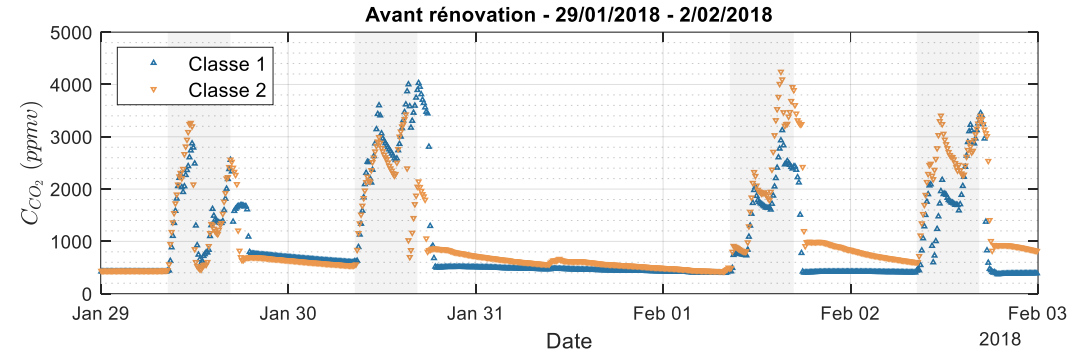


Diagrammes psychrométriques de l'eau et zones de confort : mesures dans les salles de classe (graphes du haut : avant rénovation, graphes du bas : après rénovation). 14



Confinement (CO₂)

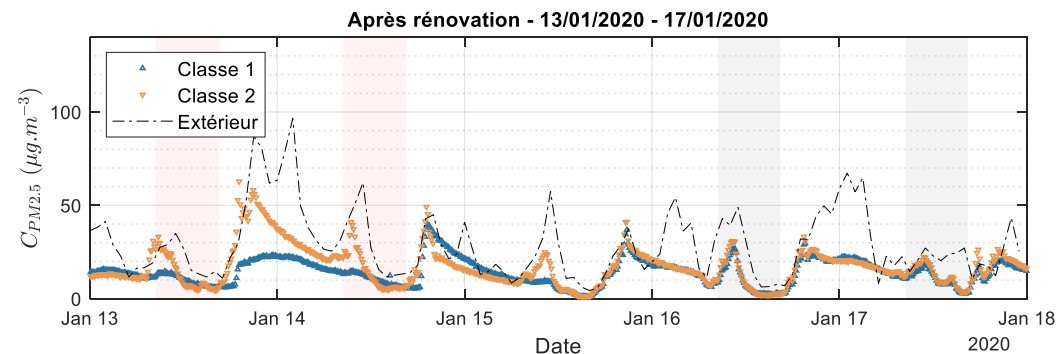
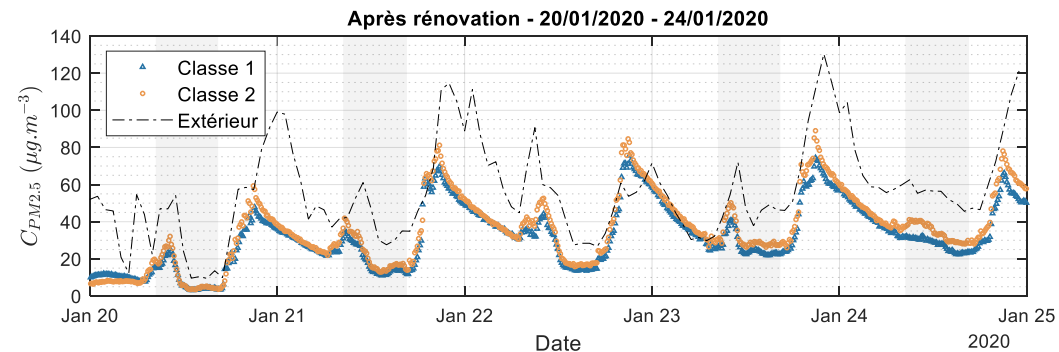
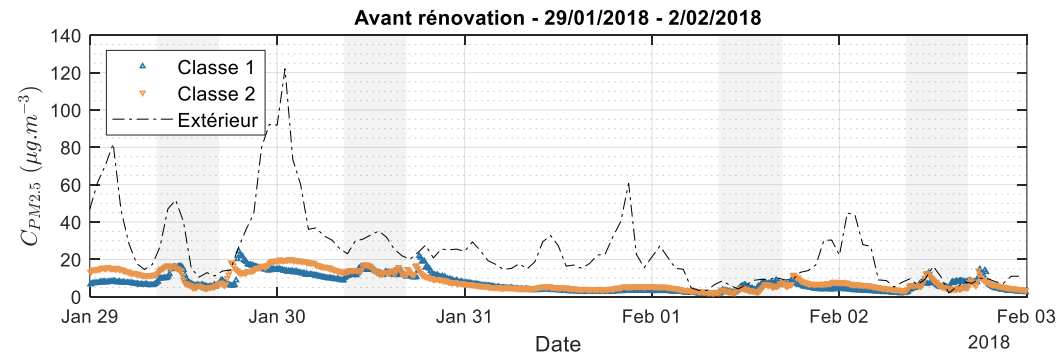
- Avant rénovation
 - Augmentation rapide des concentrations dans les salles
 - Pics pouvant atteindre 4000 ppmv
 - Usagers : l'ouverture des fenêtres permet une diminution rapide des concentrations
- Après rénovation
 - Augmentation limitée :
 $C_{CO_2} < 1150$ ppmv
 - Un dysfonctionnement observé (arrêt ventilation classe 1)





QAI - PM

- Avant rénovation
 - Pics ponctuels de PM extérieurs
 - Pas de transfert significatif vers l'intérieur
- Après rénovation
 - Pics de PM en intérieur corrélés avec les pics extérieurs
 - Transferts des PM intérieur extérieur significatif
 - Efficacité de filtration (F7) insuffisante

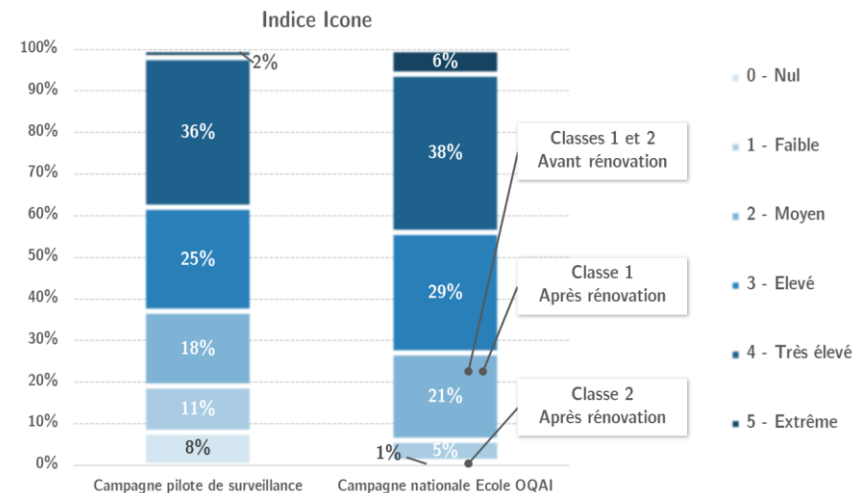


Comparaison des concentrations en $PM_{2.5}$ dans les salles de classe (zones grisés : présence d'enfants ; zones rouges : présence d'enfants et dysfonctionnement de la ventilation).



Conclusions

- Confinement
 - Amélioration très sensible du confinement
 - Débits adaptés pour maintenir une concentration de CO₂ < 1300 ppmv
 - Extrapolation aux autres polluants générés en intérieur : probable amélioration de la QAI



Confinement : situation des classes du groupe scolaire Marlioz avant et après rénovation par rapport aux établissements scolaires français recensés dans l'étude de l'OQAI¹

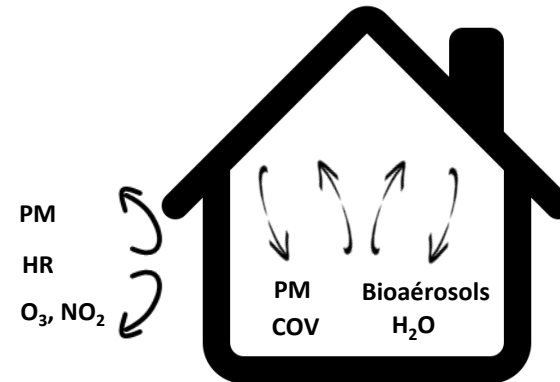


Conclusions

- Confinement
 - Amélioration très sensible du confinement
 - Débits adaptés pour maintenir une concentration de $\text{CO}_2 < 1300$ ppmv
 - Extrapolation aux autres polluants générés en intérieur : probable amélioration significative de la QAI
- Impact de l'environnement extérieur
 - Augmentation du transfert de PM vers l'intérieur
 - Filtration (F7) nécessaire
 - Augmentation de la sécheresse du air aux conditions extérieures

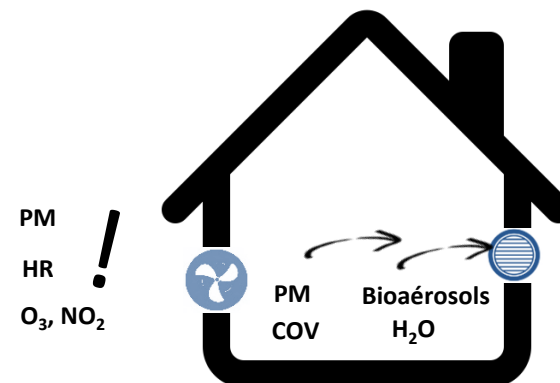
Ventilation faible

- ✓ Qualité de l'environnement intérieur faiblement corrélée à l'environnement extérieur
- ✓ Les sources internes s'accumulent à l'intérieur



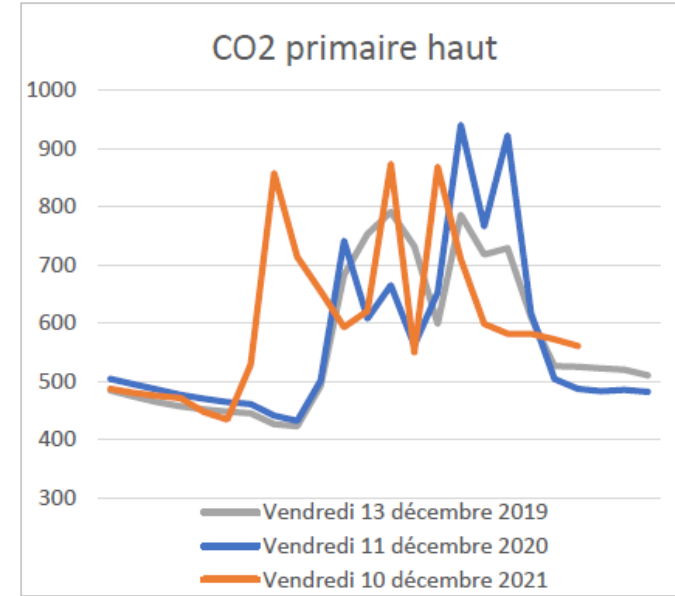
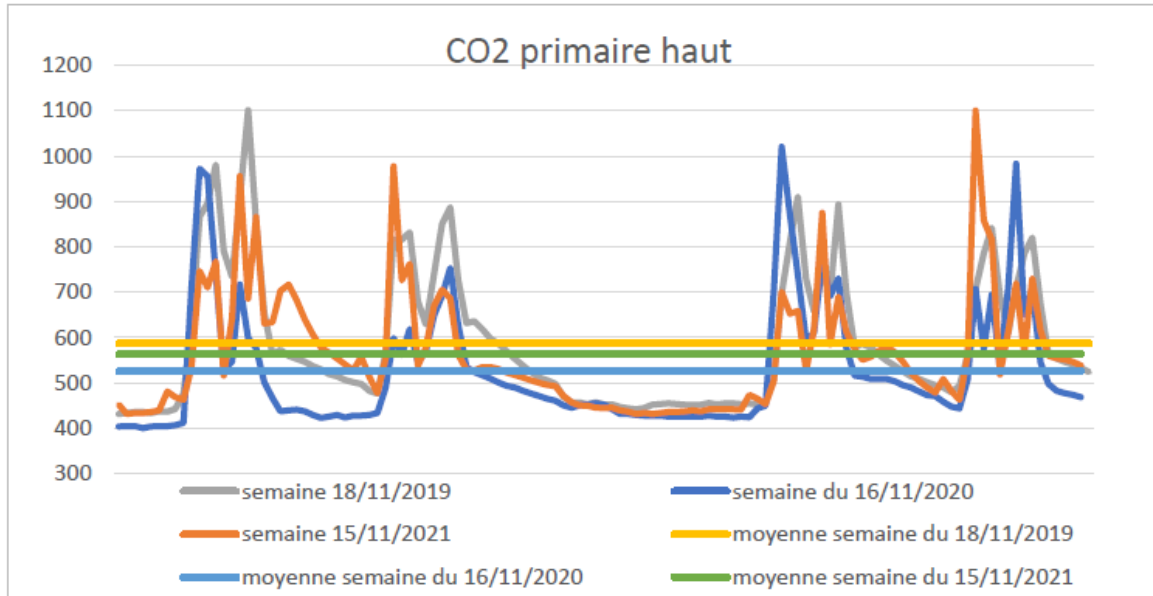
Ventilation importante

- ✓ Qualité de l'environnement intérieur fortement corrélée à l'environnement extérieur
- ✓ Les sources internes sont diluées et extraites





1. Abbaye



Moyenne CO2 sur une semaine			
Hors WE	CO2 primaire bas	CO2 primaire haut	CO2 maternelle 2
semaine 14/10/2019	570,9	535,4	539,5
semaine 12/10/2020	490,8	512,8	503,0
semaine 11/10/2021	495,3	511,8	536,6
Ecart 2019/2020	-14%	-4%	-7%
Ecart 2019/2021	-13%	-4%	-1%
Ecart 2020/2021	1%	0%	7%
semaine 18/11/2019	595,1	587,6	496,4
semaine 16/11/2020	477,5	525,6	488,3
Semaine 15/11/2021	531,4	563,4	515,4
Ecart 2019/2020	-20%	-11%	-2%
Ecart 2019/2021	-11%	-4%	4%
Ecart 2020/2021	11%	7%	6%

	GS Marlioz (Passy)			
	Élémentaire classe 7	Élémentaire classe 2	Maternelle	Maternelle activité
n0 : nombre de valeurs inférieurs ou égales à 800 ppm	17	103	33	94
n1 : nombre de valeurs comprises entre 800 et 1500 ppm (inclus)	86	0	70	9
n2 : nombre de valeurs supérieures à 1500 ppm	0	0	0	0
Indice ICONE - $ICONE = (2,5/\log_{10}(2)) * \log_{10}(1+f1+3f2)$ arrondi selon tableau ci-dessous	2	0	2	0

Tableau 2 : Valeur retenue de l'indice et correspondance indicative

Valeur brute de l'indice de confinement	Valeur retenue de l'indice de confinement	Correspondance indicative de dépassement des seuils associée à la période
$ICONE < 0,5$	0	> 85 % des valeurs mesurées en dessous de 800 ppm
$0,5 \leq ICONE < 1,5$	1	15 % à 50 % des valeurs mesurées comprises entre 800 et 1500 ppm
$1,5 \leq ICONE < 2,5$	2	50 % à 99 % des valeurs mesurées comprises entre 800 et 1500 ppm
$2,5 \leq ICONE < 3,5$	3	1 % à 30 % des valeurs mesurées supérieures à 1500 ppm
$3,5 \leq ICONE < 4,5$	4	30 % à 75 % des valeurs mesurées supérieures à 1500 ppm
$ICONE \geq 4,5$	5	> 75 % des valeurs mesurées supérieures à 1500 ppm



Les autres polluants

Campagne été : du lundi 30 au vendredi 4 octobre 2019

Campagne hiver : du lundi 9 au vendredi 13 mars 2020

Identification de la pièce	Localisation de la pièce	Molécule(s) recherchée(s)	Concentration(s) Campagne Été	Concentration(s) Campagne Hiver	Concentration(s) moyenne(s)	Conformité	Valeur limite (VL**)	Valeur guide en vigueur*	CLI	Valeur guide 2023
			µg/m ³				-	µg/m ³		
Salle de classe 5 EM	EM niveau 0	benzène	0.36	1.11	0.73	😊	10	2	-	-
Salle de classe 3 EM	EM niveau 0	benzène	0.36	1.22	0.80	😊	10	2	-	-
Salle de classe 3 EE	EE R1	benzène	0.49	1.00	0.75	😊	10	2	-	-
Salle de classe 8	EE R1	benzène	0.45	1.26	0.86	😊	10	2	-	-
salle de classe 2	EE R0	benzène	0.41	1.37	0.89	😊	10	2	-	-
Salle de classe 1	EE R0	benzène	0.36	1.14	0.75	😊	10	2	-	-
Moyenne pour l'établissement			0.41	1.18	0.80	Respect de la valeur limite (VL**) Maxima relevés sur l'établissement				
Maximum pour l'établissement			0.49	1.37	-	10	😊			

Campagne été : du lundi 30 au vendredi 4 octobre 2019

Campagne hiver : du lundi 9 au vendredi 13 mars 2020

Identification de la pièce	Localisation de la pièce	Molécule(s) recherchée(s)	Concentration(s) Campagne Été	Concentration(s) Campagne Hiver	Concentration(s) moyenne(s)	Conformité	Valeur limite (VL**)	Valeur guide en vigueur*	CLI	Valeur guide 2023
			µg/m ³				-	µg/m ³		
Salle de classe 5 EM	EM niveau 0	formaldéhyde	19.3	11.9	15.6	😊	100	30	10	10
Salle de classe 3 EM	EM niveau 0	formaldéhyde	29.2	22.7	26.0	😊	100	30	10	10
Salle de classe 3 EE	EE R1	formaldéhyde	16.8	15.5	16.1	😊	100	30	10	10
Salle de classe 8	EE R1	formaldéhyde	15.8	7.7	11.8	😊	100	30	10	10
salle de classe 2	EE R0	formaldéhyde	14.1	6.1	10.1	😊	100	30	10	10
Salle de classe 1	EE R0	formaldéhyde	16.2	22.7	19.5	😊	100	30	10	10
Moyenne pour l'établissement			18.6	14.5	16.5	Respect de la valeur limite (VL**) Maxima relevés sur l'établissement				
Maximum pour l'établissement			29.2	22.7	-	100	😊			



Points forts
Enseignements /
retours d'expérience
(facteurs de succès, l
erreurs à éviter,
retour
fonctionnement,
acceptabilité)

Marché à performance + Accompagnement de la SPL OSER

Subvention sur le projet

Bonne implication des usagers

Accès sur la sensibilisation des usagers continuellement

Difficulté CTA Ecole Marlioz – Primaire et Maternelle (+
Approvisionnement France air difficile)

Point de vigilance sur la sécheresse dans les salles de classe

Coût de maintenance à prendre en compte dès la conception du projet
(7 500 € HT / an pour les 3 groupes scolaires) + P3



Focus sur la
démarche QAI
Commune

Démarches QAI au quotidien

Travaux peinture : produit sans COV, classement A+,...

Mobilier : Réflexion sur les achats mais pas de critères de sélection.

Entretien locaux : critères sur les produits « doux » et écologique dans le marché public + utilisation de produits de nettoyage au vinaigre.



Réalisation mesures en 2020 sur l'ensemble des groupes scolaires, garderies et crèches

3 bâtiments au dessus des 300 Bq/m³ mais en dessous des 1000 Bq/m³

- Ecole du plateau : 1 zone à 314 Bq/m³
- Crèche Passy P'tit : 6 zones sur 7 entre 437 et 807 Bq/m³
- Crèche Eterlous : 3 zones sur 7 entre 356 et 393 Bq/m³

Réalisation de travaux sur la ventilation pour les 3 bâtiments.

2nde série de mesures en 2022 pour les 3 bâtiments + ajout du Foyer personnes âgées et 1 nouvelle crèche

- Ecole du Plateau : la zone est repassée en dessous des 300 Bq/m³
- Crèche Passy P'tit : les 5 zones sont inférieures à 300 Bq/m³
- Crèche Eterlous : 1 zone à 312 Bq/m³

Réalisation de travaux d'étanchéification des vides sanitaires + amélioration ventilations naturelles vide sanitaire

Nouvelles séries de mesures en cours 2024

Obligation de réaliser de nouvelles mesures 10 après :

Si inf à 300 bq/m³ -> ok

Si non, obligation de travaux dans les 3 ans et nouvelles mesures.



revue DE PROJETS

BÂTIMENT DURABLE

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Organisée par :



en partenariat avec :



Avec le soutien de :



Ce programme d'action est cofinancé par l'Union européenne