



ANALYSE TOXICITÉ DE L'AIR

Rapport n°2

Tuteurs :

Francis FAUX, Eric CARAYOL

Maître d'ouvrage :

SDIS 81

Maîtres d'oeuvre :

Jules CLAUDEL, Julie HOARAU, Stéphane SUN, Mathieu VALETTE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	3
Présentation du Projet	4
Contexte	4
Parties prenantes	4
Jeu de données et piste d'évolution du projet	4
PARTIE I : GESTION DE PROJET	6
A. Préparation des outils utilisés	6
Matériels utilisés	6
Logiciels utilisés	6
B. Organisation du travail	7
Tâches à réaliser	7
Organisation de l'équipe	7
Organigramme des tâches	8
Planification des campagnes de mesures	9
C. Protocole de mesures	9
Besoin d'un protocole	9
Protocole	10
Schémas	11
PARTIE II : CAMPAGNES	12
Campagne à Mazamet (27 février au 12 mars)	12
Déroulement de la campagne	12
Problèmes rencontrés	13
Solutions apportées	13
Axes d'amélioration	13
B. Campagne sur Albi (15 mars au 1er avril)	14
Déroulement de la campagne	14
Problèmes rencontrés	14
Solutions apportées	15
Axes d'amélioration	15
PARTIE III : ANALYSES ET RÉSULTATS	16
Signification des données récupérées	16
Données récupérées	16
Récupération et traitement des données	17
Données opérationnelles	17
Traitement des données	18
C. Présentation des résultats	19
Résultats des données de Mazamet	19
Résultats des données d'Albi	21
Comparaison entre centres	24
CONCLUSION	26
RÉFÉRENCES	27

INTRODUCTION

La toxicité des fumées est une préoccupation majeure du SDIS du Tarn et de son 3SM (Service de Santé et de Secours Médical) pour la santé des agents, leur exposition sur le terrain, pendant et après les interventions sur les feux urbains. Malgré l'absence de législation concernant les pompiers, le SDIS 81 souhaite prendre des mesures afin de protéger ses effectifs contre tout risque.

Dans ce cadre, le projet a été décomposé en 3 parties différentes :

- l'analyse de la qualité de l'air au sein des casernes
- l'analyse de la présence de toxicités sur les tenues des pompiers
- l'analyse sur la compatibilité entre la barbe et l'étanchéité des équipements respiratoires des pompiers

Nous détaillerons dans ce rapport les résultats obtenus concernant la qualité de l'air au sein des casernes de Mazamet et d'Albi, ainsi que les méthodes utilisées et le déroulement des événements lors des prises de mesures.

Présentation du Projet

A. Contexte

Le projet présenté étudie la qualité de l'air au sein des établissements du SDIS 81, et en particulier dans les casernes. Les pompiers et leurs équipements sont exposés à divers produits chimiques à la suite d'interventions, notamment les incendies. Le manque de législation explique le peu d'études et de protocoles qui sont mis en place afin de mettre en évidence les risques liés à l'exposition des pompiers aux fumées d'incendie et aux gaz au sein des casernes.

Les rares projets concernant la protection des pompiers vis-à-vis de leur exposition aux fumées et qui sont mis en place dans certains SDIS dans toute la France sont le résultat d'initiatives isolées et ne sont pas généralisées.

Ces dernières reposent sur des guides de doctrines opérationnelles (GDO) et des guides de techniques opérationnelles (GTO) qui mettent en évidence des bonnes pratiques dans le milieu des sapeurs-pompiers.

B. Parties prenantes

Entités	Fonctions
SDIS 81	Maître d'ouvrage
Guillaume CAVAILLES-BILLOUARD	Coordinateur hygiène sécurité
Julien VERGNES	Représentant du personnel au CHSCT
Francis FAUX	Tuteur école
Eric CARAYOL	Tuteur école
Jules CLAUDEL	Maître d'oeuvre
Julie HOARAU	Maître d'oeuvre
Stéphane SUN	Maître d'oeuvre
Mathieu VALETTE	Maître d'oeuvre
Gaëtan CHARBONNIER	Représentant ISIS au CSP d'Albi (stagiaire)
Sylvain ROBINSON	Pompier volontaire au CSP de Castres Intermédiaire pour l'installation des équipements

figure 1 : Tableau des acteurs du projet

C. Jeu de données et piste d'évolution du projet

Nous avons reçu un premier jeu de données issu de la campagne de mesures menée par les pompiers entre les mois de Février et Juin 2020. Après upload de ces données sur un script Jupyter, nous nous sommes rapidement rendu compte qu'elles ne seraient pas exploitables dans le cadre de notre projet. Certaines anomalies et l'imprécision des capteurs utilisés étaient source de doutes.

Il nous a très vite semblé logique de relancer une prise de mesures, en respectant cette fois-ci un protocole de mesure rigoureux. Nous avons donc essayé de déterminer le nombre idéal

de capteurs à utiliser, ainsi que le nombre idéal de sites dans lesquels effectuer nos mesures afin d'obtenir des résultats exploitables.

Notre scénario idéal était d'utiliser 3 capteurs, déployés pendant 3 semaines sur 3 sites de tailles différentes (CSP, CS, CPI). Ce nombre nous a semblé optimal car il nous permettait de comparer les mesures dans 3 pièces différentes sur une même période de temps. Pouvoir suivre les évolutions de la toxicité des fumées de trois sites de la région tarnaise était idéal car nous pouvions comparer les données mesurées et les corrélérer aux données opérationnelles.

Une première visite du centre d'Albi en décembre 2021 nous a permis de découvrir la structure et l'organisation d'un Centre de Secours Principal (CSP). Une visite du CS de Puylaurens en janvier a pu répondre aux dernières interrogations que nous nous posions quant à la structure d'une caserne. Le responsable du centre nous a permis de visiter l'intégralité du centre, en passant par les vestiaires propres, sales, foyer, bureaux et remise.

Une réunion en compagnie de M. Robinson, M. Cavailles, M. Carayol & le responsable du centre a ensuite été l'occasion d'éclaircir de nombreux points d'ombres techniques. Tout d'abord, le capteur prend une mesure chaque minute mais les données que nous obtenons sont moyennées sur l'heure. De plus, l'étude des PM1 et PM2.5 est primordiale car ce sont les particules les plus dangereuses par comparaison avec les PM10 qui restent davantage bloquées au niveau des voies nasales. Enfin, les capteurs utilisés ne permettent pas de différencier les COVT mesurés (Benzène, Formaldéhyde...).

Cette réunion nous a ainsi permis d'organiser la suite de notre projet et d'établir les conditions des campagnes de mesures. 1 semaine représentant une durée trop courte pour une prise de mesures significative, 2 semaines a semblé être une durée suffisante pour constater une tendance générale. Il a également été utile de rappeler la nécessité de prises secteur pour installer les capteurs ainsi que le serveur.

PARTIE I : GESTION DE PROJET

A. Préparation des outils utilisés

1. Matériels utilisés

Afin de réaliser nos nouvelles campagnes de mesure, nous avons décidé de nous orienter vers des kits de capteurs de contrôle de la qualité de l'air. Ces derniers permettent de récupérer des mesures sur les concentrations de particules fines, de composés organiques volatiles totaux, de CO₂, ainsi que la température et l'humidité.



figure 2 : Photo de l'un des capteurs utilisés (Sonde/Contrôleur de Qualité de l'Air Intérieur E4000-NG)

Ce choix nous a permis de simplifier la prise de mesures : ces capteurs sont faciles à utiliser mais ils sont aussi similaires à ceux utilisés lors de la première campagne de mesure effectuée par le SDIS, nous connaissions donc leur fonctionnement. Le choix s'est porté sur du matériel captant des COV totaux plutôt que des COV spécifiques car notre objectif principal était de mettre en évidence une tendance. Plus précisément, il s'agit de déterminer si l'utilisation d'un circuit propre/sale par les pompiers est efficace.

L'achat de nouveaux capteurs a aussi induit la nécessité d'un serveur pouvant centraliser et stocker les données récoltées.



figure 3 : Photo du serveur utilisé (Serveur domotique JEEDOM Smart avec EnOcean - JEEDOM)

2. Logiciels utilisés

Pour le travail collaboratif, nous avons fait le choix d'utiliser *Google Drive* et sa suite associée (*Google Docs*, *Google Slides*...) afin de pouvoir travailler simultanément sur le rapport du projet mais aussi pour permettre un partage facile des résultats et des données.

Nous avons utilisé l'outil *Trello* afin de répartir et planifier les tâches. *Lucidchart* nous a permis de modéliser les plans des différents sites et l'organigramme des tâches du projet. *Monday* a servi à la création du diagramme de Gantt.

Microsoft Excel a été utilisé dans la récupération et le tri des données. Il a également servi à l'élaboration d'un des modèles d'analyse développés.

Pour une analyse des données plus poussée, nous avons travaillé sur *Jupyter Notebook* et *Google Colab*. Pour la génération finale des courbes, *PyCharm* et *Plotly* ont été utilisés. Enfin, les principales librairies utilisées ont été *Pandas* et *Matplotlib*.

B. Organisation du travail

1. Tâches à réaliser

Nous avons établi une liste des tâches à réaliser que nous avons dû revoir au cours du semestre. Les données récoltées dans un premier temps n'étant pas exploitables, nous avons suivi le second scénario qui avait été pensé dans le précédent rapport (cf. Annexe 1).

TÂCHES	DESCRIPTION DE LA TÂCHE
A	Récupérer les données sous format exploitable
B	Récupération des informations au sujet des capteurs
C	Création du dataset regroupant les données de capteurs et les données opérationnelles
D	Recherche de la bonne méthode d'analyse à appliquer en fonction du type de données
E	Recherche sur les bonnes pratiques pour la pose des capteurs (contacter le fabricant)
F	Déterminer si les données relevées sont viables
G	Élaboration d'un nouveau protocole
H	Reprogrammer une campagne de mesure avec 3 capteurs sur au moins deux semaines
I	Traitement des nouvelles données
J	Analyse des nouvelles mesures avec différentes méthodes
K	Corrélations
L	Interprétation
M	Rédaction des rapports

figure 4 : Tableau des tâches prévues

2. Organisation de l'équipe

Quatre étudiants ont été mobilisés sur ce projet : Jules CLAUDEL, Julie HOARAU, Stéphane SUN, Mathieu VALETTE. En tant que Chef de projet, M. Sun a eu la charge de la gestion de projet ainsi que de la communication entre l'équipe projet, les tuteurs ISIS et le commanditaire.

L'organisation de l'équipe a été une étape primordiale pour le bon déroulement du projet. Elle s'est basée sur nos compétences, notre adaptabilité et sur notre volonté collective de mener à bien ce projet malgré les difficultés rencontrées. Le rapport a été rédigé par l'ensemble de l'équipe projet.

Nous avons eu l'occasion de planifier des réunions en présence des commanditaires et de nos tuteurs en début de projet. Ces réunions nous ont permis de comprendre le sujet de notre projet, de valider notre démarche ainsi que de présenter l'avancement du projet. Chacune de ces réunions s'est terminée par un débriefing de l'équipe, qui permettait de soulever les points importants ainsi que de planifier les nouvelles tâches à l'aide de l'outil Trello.

Personne	Tâches
Jules CLAUDEL	<ul style="list-style-type: none"> ● Protocole de pose des capteurs ● Pose des capteurs à Mazamet ● Histogrammes & Tableaux de comparaisons
Julie HOARAU	<ul style="list-style-type: none"> ● Recherche documentations et seuils ● Pose des capteurs à Mazamet ● Modélisation des documents du projet
Stéphane SUN	<ul style="list-style-type: none"> ● Gestion campagnes de mesures ● Modèle chronogrammes ● Modèle boxplots
Mathieu VALETTE	<ul style="list-style-type: none"> ● Traitement et récupération des données ● Analyse des données ● Modèle courbes

figure 5 : Tableau des tâches effectuées

3. Organigramme des tâches

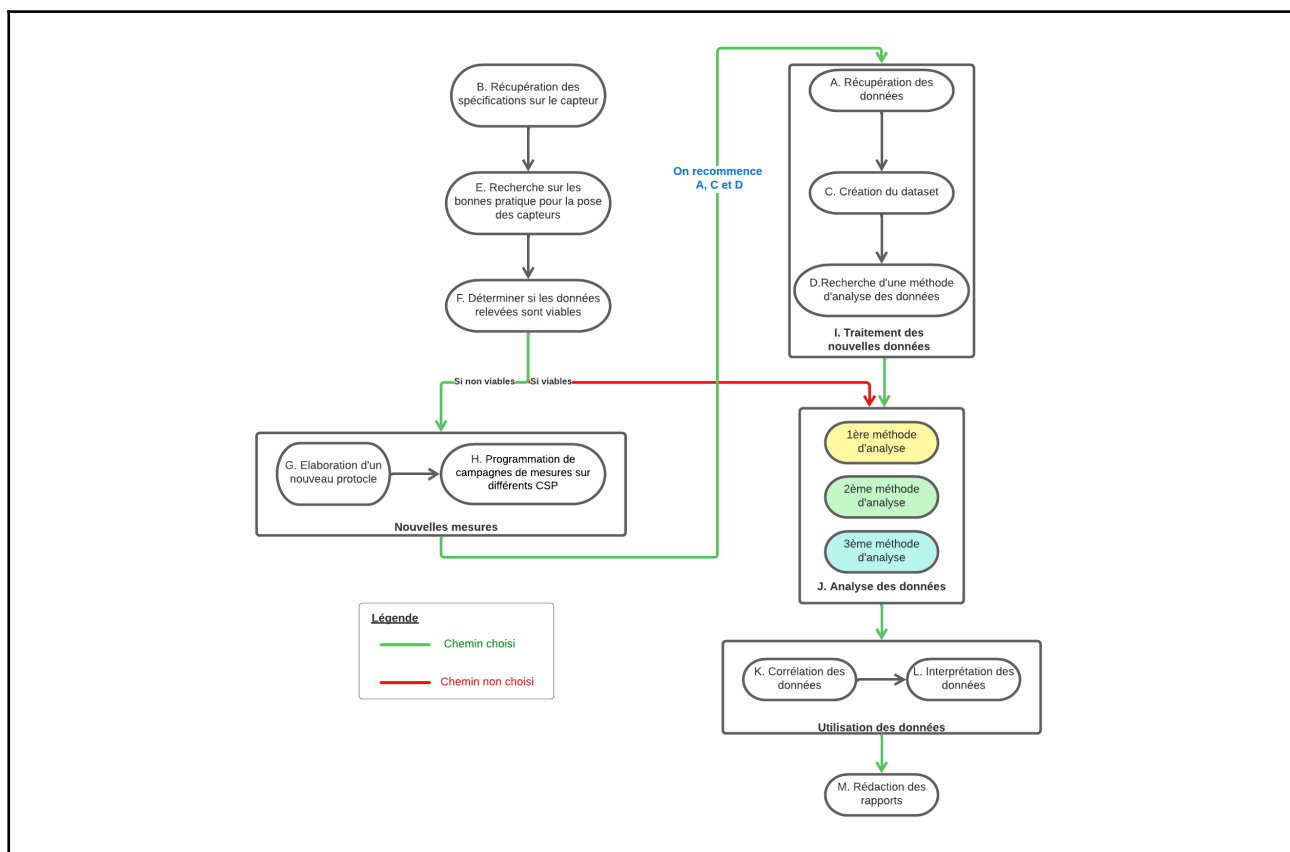


figure 6 : Chemin choisi par rapport à l'enchaînement des tâches prévu au 1er semestre

4. Planification des campagnes de mesures

Tel qu'expliqué précédemment, 2 campagnes de mesures de 2 semaines chacune dans 2 centres différents ont été envisagées. L'objectif étant de prendre des centres ayant un grand volume opérationnel afin de faire des corrélations entre mesures et interventions, l'option Castres a été rapidement écartée. En effet, ce dernier fonctionne sans circuit propre/sale et est sur le point d'être remplacé. Il a donc été décidé avec le SDIS que nous effectuerions nos mesures sur les CSP de Mazamet et d'Albi.

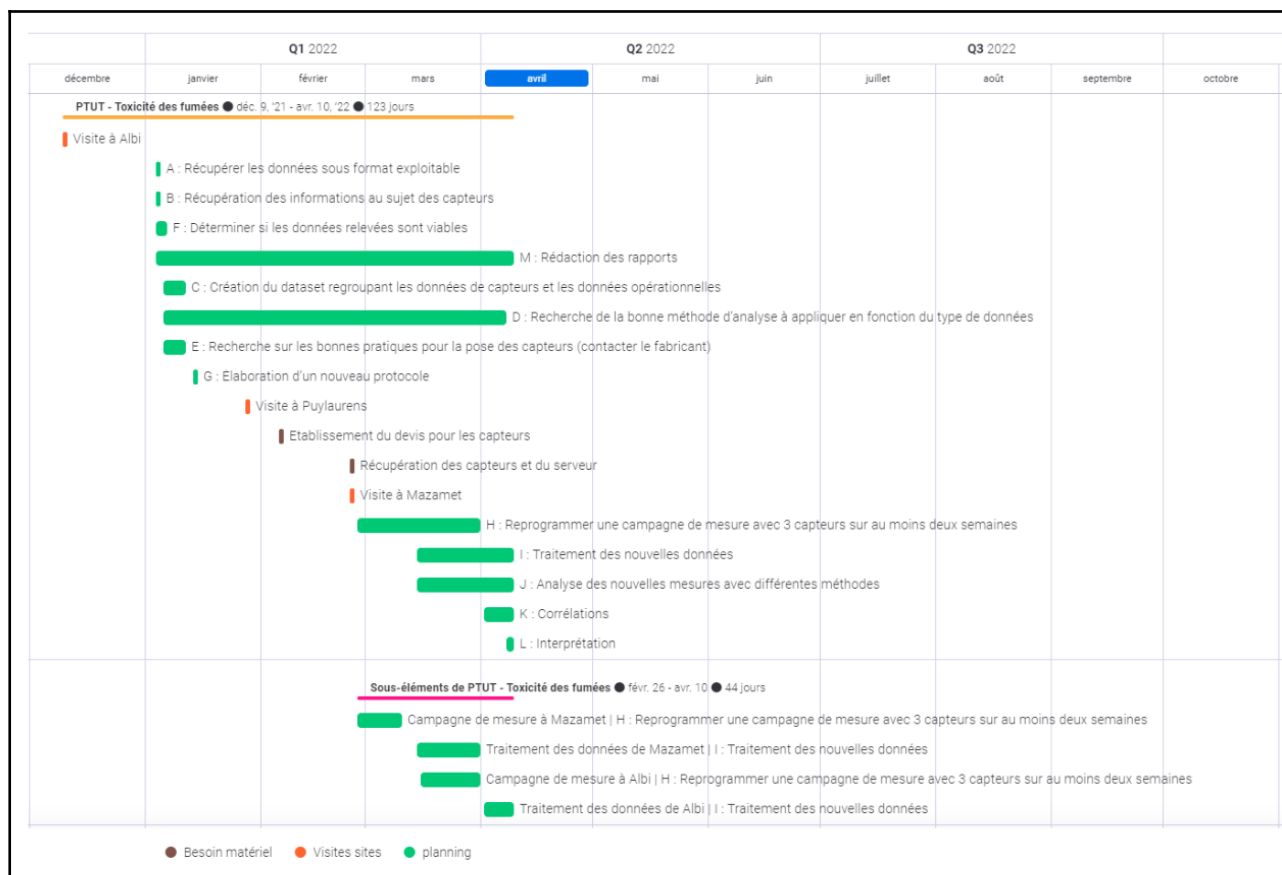


figure 7 : Diagramme de Gantt effectif

Suite à des changements réguliers sur notre emploi du temps tout au long du second semestre ainsi que des imprévus liés au projet, nous n'avons pas pu respecter avec exactitude la planification établie lors du premier semestre (cf. *Annexe Gantt premier semestre*).

C. Protocole de mesures

1. Besoin d'un protocole

Les manuels d'utilisation des capteurs utilisés font état d'un protocole à respecter lors de l'installation de ces capteurs. Ce protocole est divisé en plusieurs volets (Sécurité, Positionnement, Fixation, Câblage, Raccordement). La partie qui nous intéresse le plus ici est la partie "Positionnement". En effet, lors de la première campagne de mesures, les capteurs ont été placés sans tenir compte de leur positionnement.

On a pu remarqué, pendant notre visite au CSP d'Albi que :

- Le capteur dans le foyer était situé directement à côté de la porte et d'une source de chaleur,
- Le capteur dans la remise était situé directement au-dessus d'un tableau électrique,
- Le capteur dans les vestiaires était situé en dessous d'une ventilation et à une hauteur de \pm 2.5 mètres.

Ces constats prouvent le besoin d'une nouvelle campagne de mesures se basant sur un protocole de positionnement des capteurs précis. Ce protocole a pour vocation d'être réutilisé si d'autres mesures venaient à être prises dans le futur.

Le manuel d'utilisation des capteurs énonce que "le positionnement de la sonde est primordial vis-à-vis de l'efficacité et des économies d'énergie liées à la ventilation et au chauffage". Nous négligeons ici le câblage et le raccordement car on considère que les recommandations du constructeur ont été appliquées.

2. Protocole

Matériel nécessaire

Sonde/Contrôleur de qualité de l'air intérieur E4000-NG OU Sonde/Contrôleur particules fines P4000-NG.

A faire

- Pose au niveau de la tête \approx 1.5m à 1.8m.
- Pose à proximité d'une prise secteur.
- Pose du capteur de manière verticale.
 - Accroché contre un mur, une cloison ...
 - Veiller à respecter l'orientation du boîtier (HAUT – BAS)
 - Bien positionner le trou de passage de câbles en partie basse

A éviter

- Éviter les courants d'air.
 - Passages fréquents
- Portes régulièrement utilisées
 - Bouches d'aération
- Éviter les zones mortes.
 - Au fond d'étagères profondes, derrière des rideaux ...
 - Les parois orthogonales (angles du local en particulier...)
- Éviter les sources de chaleur sur un rayon d'1m.
 - Exposition au Soleil
 - Machines émettrices de chaleur
 - Poste de travail

3. Schémas

La modélisation d'un foyer tel qu'il pourrait être dans n'importe quel centre en France est un complément au protocole dressé précédemment et permet à la personne en charge de la pose des capteurs de visualiser les besoins de positionnement. Cette modélisation est bien sûr à nuancer selon l'architecture et l'agencement de chaque pièce.

- Sur le mur, en vert : les zones où il est préférable de placer un capteur tout en respectant ses exigences.
- En orange : les zones où il est possible de placer un capteur, afin d'obtenir des données convenables, dans le cas où aucune zone verte n'est disponible.

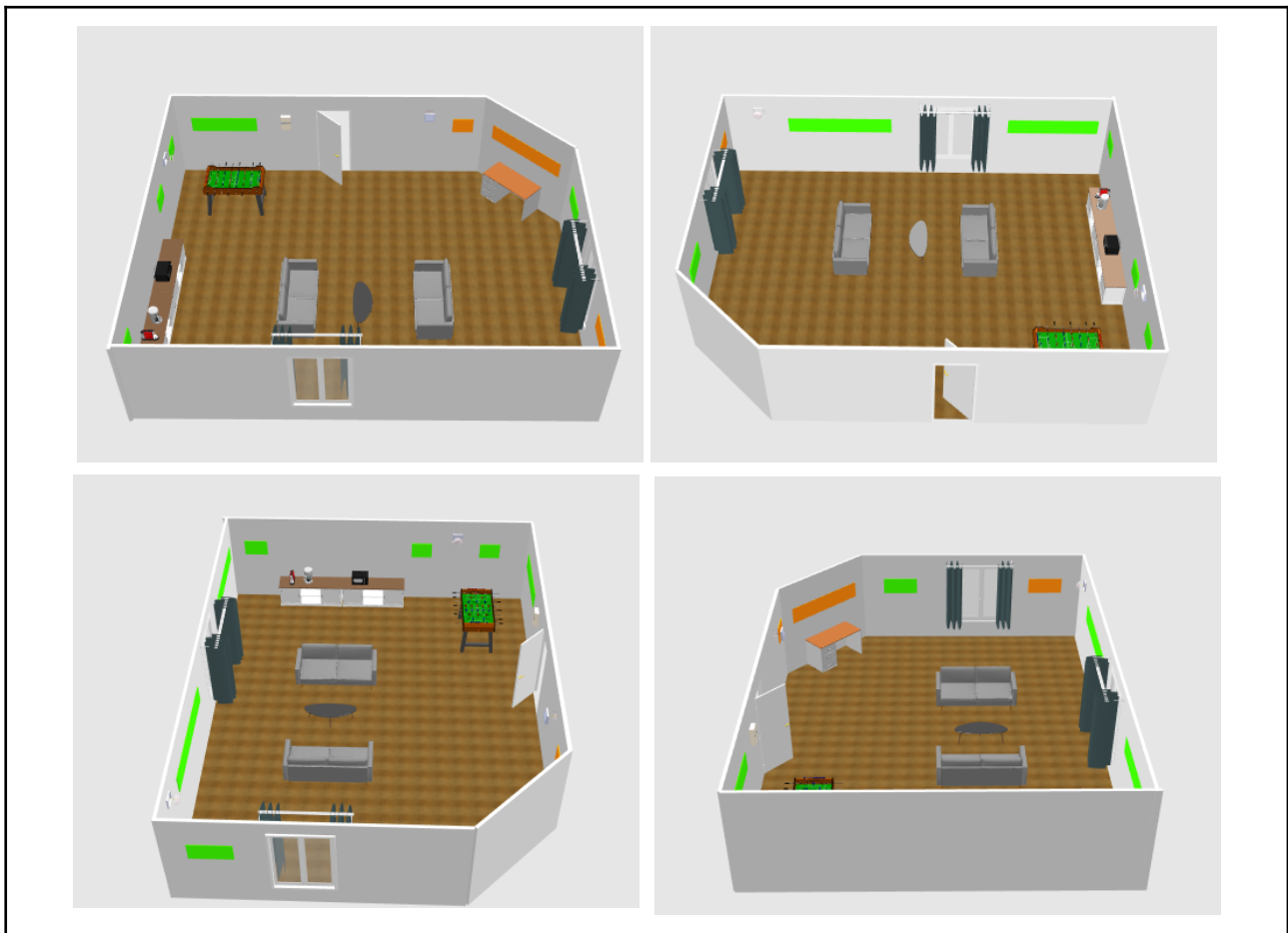


figure 8 : Modélisations 3D sur les bonnes pratiques des poses des capteurs

PARTIE II : CAMPAGNES

A. Campagne à Mazamet (27 février au 12 mars)

Nous nous sommes rendus à Mazamet où nous avons été accueillis par le lieutenant Couzinie, afin d'installer les capteurs. Nous les avons placés dans la Remise (Garage des véhicules), les Vestiaires sales & les Vestiaires propres (*cf. Annexes : Photos Mazamet*).

1. Déroulement de la campagne

Par respect du protocole et contraintes par la présence d'alimentation électrique pour chaque équipement, nous avons fait le choix de placer le serveur au poste de surveillance. De cette manière, il occupe une place centrale entre les vestiaires et la remise.

Nous avons aussi fait le choix de poser le capteur de la remise à proximité d'une des portes sectionnelles, afin d'éviter l'arrière les véhicules. Ce choix se justifie par le fait que ces derniers tournent toujours à vide avant de partir en intervention. Un capteur trop proche des pots d'échappement pourrait renvoyer des mesures biaisées (pics de gaz d'échappement).

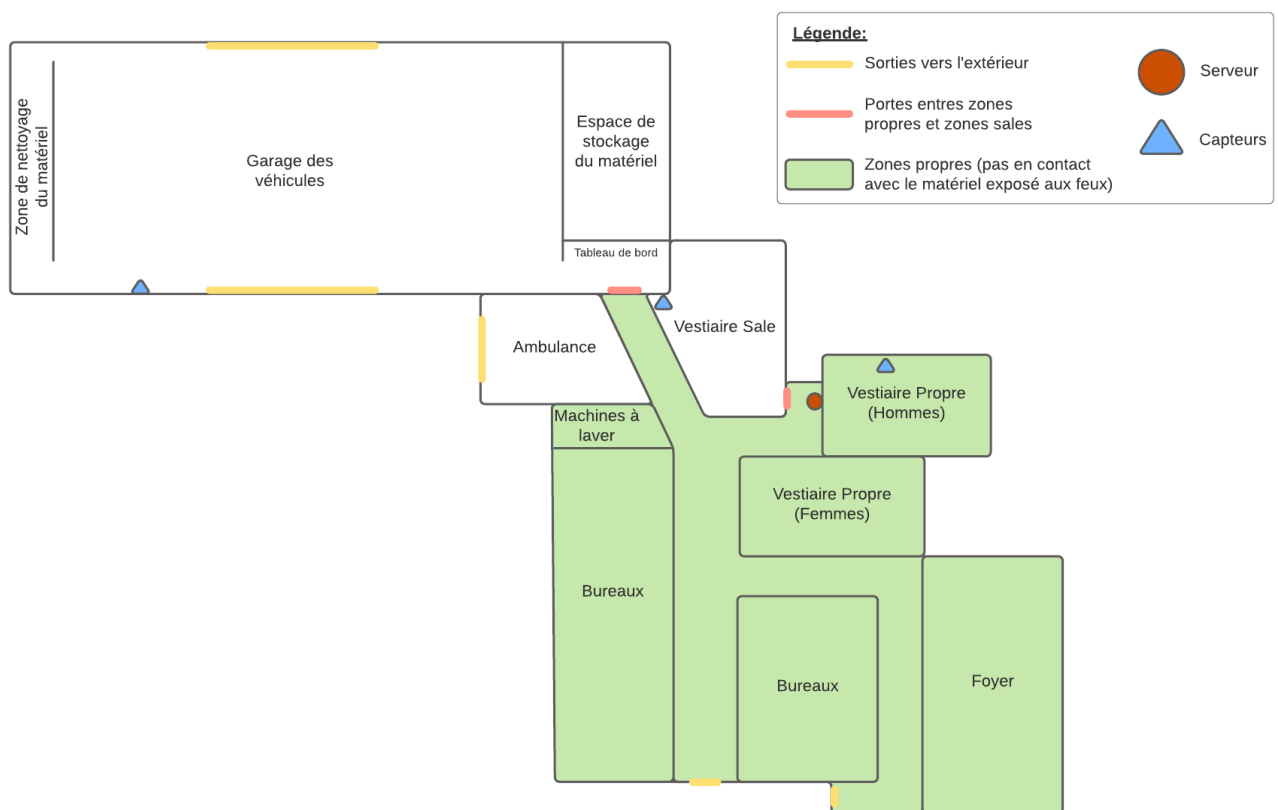


figure 9 : Plan de la pose initiale des capteurs à Mazamet

2. Problèmes rencontrés

Le premier problème que nous avons rencontré à Mazamet concernait la connexion au serveur à Internet. Le serveur nécessitant une connexion via câble ethernet pour pouvoir fonctionner, il nous fallait connecter le serveur au réseau Internet du SDIS. Cependant, nous nous sommes rendus compte sur place que le réseau du SDIS étant protégé, nous ne pouvions pas y avoir accès sans y avoir été intégré par leur service informatique.

Nous avons aussi dû faire face à un problème de connexion entre les équipements car le serveur n'était pas à la portée de tous les capteurs. Initialement posé, l'un des capteurs n'avait pas un accès permanent au serveur. Compte tenu de l'épaisseur des murs et de la distance, celui-ci se retrouvait parfois hors de portée du serveur pendant trop longtemps, générant ainsi des pertes de données. Tous ces problèmes ont retardé d'une journée la fin de la campagne de mesures.

3. Solutions apportées

La procédure et les manipulations nécessaires pour pouvoir intégrer notre serveur à leur réseau auraient pu prendre au moins une semaine. Par manque de temps, nous avons donc décidé de ne pas passer par le réseau Internet du SDIS afin de connecter notre serveur, mais d'utiliser une connexion mobile via 4G avec l'aide de M.Robinson. Nous avons donc utilisé une clé 4G, solution simple et rapide à déployer, pour fournir du réseau à notre serveur de données.

Concernant les problèmes de portée du capteur, nous avons décidé de déplacer le capteur derrière les véhicules malgré la possibilité de résultats faussés concernant les mesures de CO2. Nous avons également déplacé le serveur au centre des 3 capteurs, afin de garantir la fiabilité de la connexion durant la campagne de mesures.

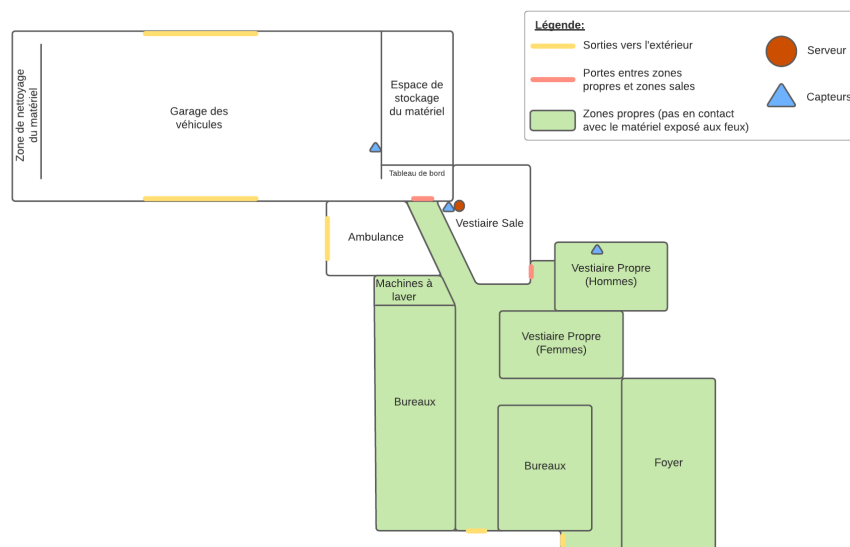


figure 8 : Plan de la pose finale des capteurs à Mazamet

4. Axes d'amélioration

Une visite de préparation aurait facilité l'installation des capteurs et nous aurait permis d'identifier les problèmes d'accès à Internet. Il aurait aussi été intéressant de prolonger la durée de la campagne de mesure afin d'obtenir davantage de données.

B. Campagne sur Albi (15 mars au 1^{er} avril)

1. Déroulement de la campagne

Afin de pouvoir comparer les centres de Mazamet et d'Albi, nous avons décidé de mesurer les pièces ayant les mêmes fonctions qu'au centre de Mazamet : Remise (Garage des véhicules), Vestiaires sales, Vestiaires propres (*cf. Annexes : Photos Albi*).

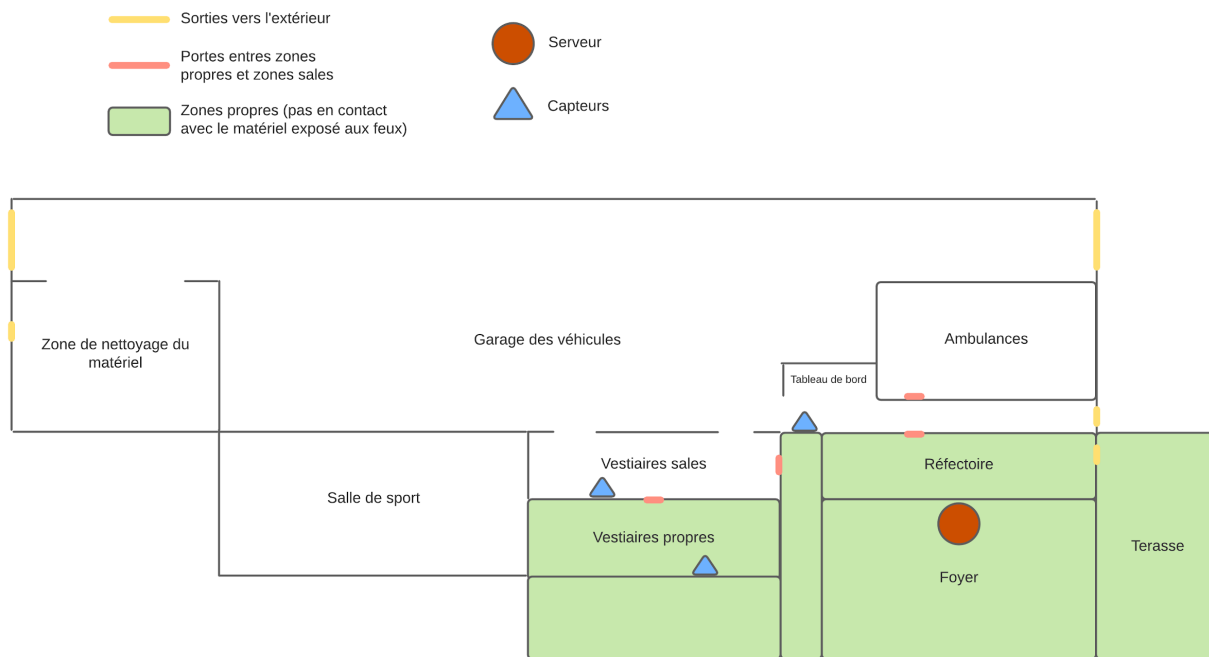


figure 10 : Plan de la pose initiale des capteurs à Albi

2. Problèmes rencontrés

Nous avons aussi rencontré un problème lié à la connexion du serveur à Internet sur le centre d'Albi, cette fois-ci, lié à la structure du bâtiment abritant le centre de secours. Ce centre ayant en effet été établi à partir d'un ancien bâtiment possédant un entrepôt frigorifique, certains murs sont très épais, empêchant donc les réseaux sans fils à avoir une bonne couverture réseau. Notre serveur utilisant la 4G, de multiples problèmes sur l'accès du serveur à Internet sont apparus durant les premiers jours de la campagne. L'accès au réseau était aléatoire, ce qui présentait un risque dans la prise de mesures.

De plus, étant donné que nous passions par un intermédiaire pour la pose à Albi (Gaëtan Charbonnier, notre représentant ISIS en stage au SDIS en rapport avec le projet), nous ne pouvions pas effectuer des changements en temps réel et Gaëtan ne pouvait pas se déplacer immédiatement pour résoudre un quelconque problème.

3. Solutions apportées

Afin de pallier le problème de réception de connexion, nous avons tenté de déplacer à plusieurs reprises, le serveur de place. Bien que meilleure (serveur accessible plus rapidement, nombre de coupures de moins en moins fréquentes ...), la connexion n'était pas suffisamment fiable. Avec l'aide de Gaëtan, nous avons finalement déplacé le serveur dans la salle de sport du centre, dans laquelle la connexion 4G est stable. Ce problème de connexion aura retardé la fin de la campagne de 4 jours.

Malgré la solution précédemment apportée, une coupure momentanée et inopinée du serveur vers la fin de la campagne de mesure a eu lieu. Nous ignorons encore la raison de cette déconnexion mais nous pensons qu'elle pourrait être liée au fait qu'il y ait eu une coupure d'électricité au centre d'Albi.

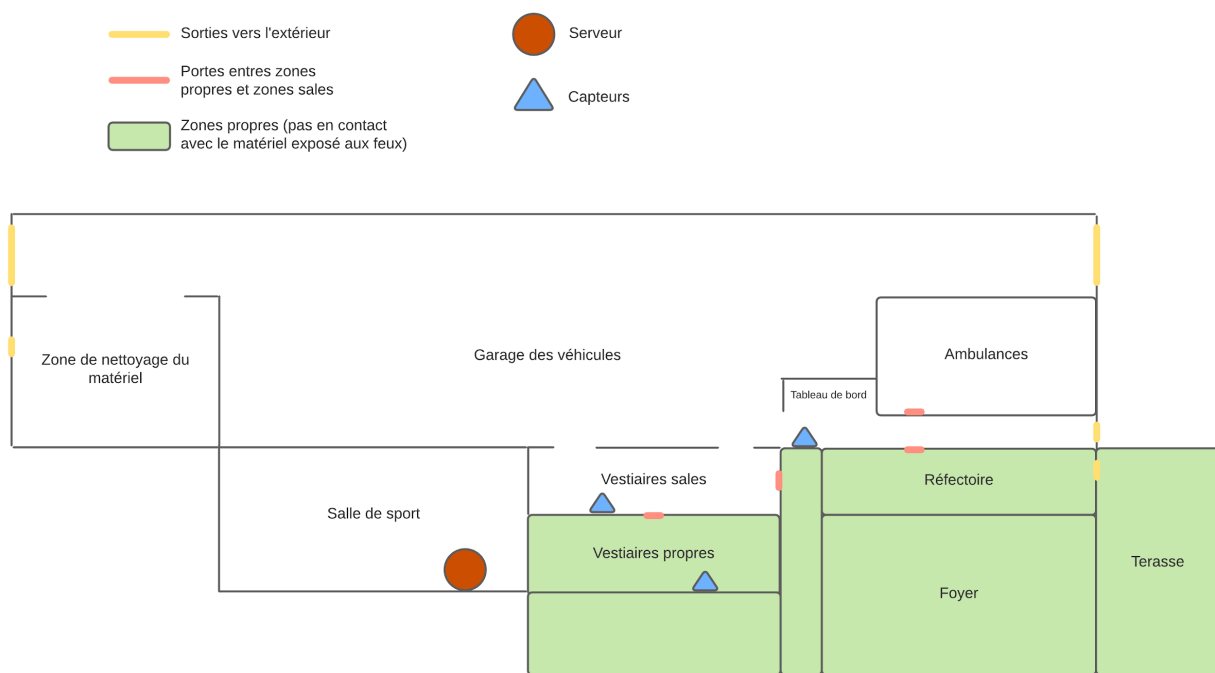


figure 11 : Plan sur la version finale de la pose des capteurs à Albi

4. Axes d'amélioration

Afin d'éviter le problème de connexion, il aurait fallu déterminer la pièce ayant un accès à la 4G de façon stable sans coupure de réseau comme nous avons pu le constater dans le foyer. Encore une fois, étendre la durée de la campagne de mesure afin de pouvoir mieux étudier l'évolution des composés volatils au sein de la caserne aurait également servi l'analyse des données.

PARTIE III : ANALYSES ET RÉSULTATS

A. Signification des données récupérées

1. Données récupérées

À partir des capteurs utilisés, nous avons récolté 42 tableaux au format csv. Pour chaque pièce (vestiaire sale, vestiaire propre et remise), et chaque centre (Albi et Mazamet), nous avons des mesures sur :

- le CO2
- les COVT
- les PM 10, PM 2,5 et PM 1
- la température
- l'humidité

Pour analyser les résultats, il a été essentiel de récupérer les seuils légaux actuellement en vigueur. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) établit aujourd'hui les seuils suivants concernant les particules fines (PM10 et PM2.5) et les COVt (Composés Organiques Volatils totaux) :



figure 12 : Seuils particules fines préconisés par l'OMS

Niveau	Recommandation	TVOC [µg/m³]
En dehors des classes qualité	Forte augmentation Non acceptable	>3'000
4	Augmentation significative Acceptable uniquement pour exposition temporaire	1'000–3'000
3	Augmentation légère Sans effet	500–1'000
2	Seuil moyen classique - Sans effet	250–500
1	Valeur cible de référence	<250

figure 13 : Seuils Composés Organiques Volatils totaux préconisés par l'OMS

Ces seuils, qui permettent de limiter au maximum les risques potentiels engendrés par ces particules, sont les derniers en date et sont recommandés dans toute l'Europe. L'OMS définit ainsi plusieurs niveaux/classes et estime qu'au-delà de 1000 µg de COVt par m³ d'air, il existe un risque associé à une exposition suivie (*Au-delà de 3000 µg/m³ elle proscrit toute exposition, même temporaire*).

Nous faisons référence à ces seuils dans la suite du rapport en utilisant notamment la nomenclature suivante afin de faciliter le traitement et la lecture des données :

	Seuil Dangereux	Seuil Critique
PM 2.5	Seuil année : 5 µg/m ³	Seuil 24h : 15 µg/m ³
PM 10	Seuil année : 15 µg/m ³	Seuil 24h : 45 µg/m ³
COVt	500 µg/m ³	3000 µg/m ³
CO2	500 ppm	1000 ppm

figure 14 : Tableau sur les seuils utilisés pour notre traitement des données

Le seuil dangereux correspond, lorsque l'exposition est faible ou modérée (moins de 24h d'affilée), à des conséquences non-vitales sur une exposition de longue durée.

Le seuil critique caractérise lui les seuils où les conséquences sont faibles sur une exposition faible ou momentanée mais ayant un impact sur le long terme à partir d'une exposition modérée.

Pour les COVT, nous avons choisi de qualifier le seuil à 500 µg/m³ comme étant dangereux car les valeurs inférieures n'ont que peu d'impacts sur le corps humain. L'OMS indiquant qu'une concentration supérieure à 3000 µg/m³ étant non acceptable, nous avons donc décidé d'utiliser ce palier comme seuil critique. L'ANSES (Agence Nationale Sécurité Sanitaire Alimentaire Nationale) a établi un rapport concernant la réglementation du CO2 dans l'intérieur des bâtiments :

380 - 480 ppm	Taux normal de l'atmosphère
600 - 800 ppm	Taux correct en lieux fermés
1000 - 1100 ppm	Taux tolérable en lieux fermés
5000 ppm	Limite haute pour 8h d'exposition

figure 15 : Seuils CO2 préconisés par l'ANSES

Pour le CO2, nous avons choisi d'utiliser le seuil à 500 ppm comme étant le seuil dangereux (à partir duquel il convient d'être attentif à la durée d'exposition) et de qualifier le seuil à 1000 ppm comme étant le seuil critique.

B. Récupération et traitement des données

1. Données opérationnelles

Nous avons demandé au SDIS de nous fournir les données opérationnelles sur les deux périodes de mesures. Nous avons donc deux tableaux Excel pour les deux CSP :

- un tableau Excel avec les opérations de Mazamet, comportant 8 lignes
- un tableau Excel avec les opérations d'Albi, comportant 40 lignes, que nous avons réduit à 27 pour n'avoir que des opérations effectuées sur les semaines de mesure.

Un tableau se présente sous la forme suivante :

1	Centre	Année	Mois	Date	Catégorie Nature d	Famille Nature d'in N° inter	Date Début Inter	Heure Début Inter	Date Fin Inter	Heure Fin Inter	Durée interventions
2	MAZAMET	2022	mars	01/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22004405	2022-03-01	15:00:01	2022-03-01	15:42:32	0:40:48
3	MAZAMET	2022	mars	01/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22004411	2022-03-01	15:52:26	2022-03-01	16:42:17	0:44:41
4	MAZAMET	2022	mars	03/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22004506	2022-03-03	00:25:45	2022-03-03	02:03:45	1:36:59
5	MAZAMET	2022	mars	03/03/2022	INC	FEU NON BATIME 22004515	2022-03-03	07:19:21	2022-03-03	08:23:41	0:59:16
6	MAZAMET	2022	mars	05/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22004640	2022-03-05	05:14:21	2022-03-05	07:30:01	2:13:39
7	MAZAMET	2022	mars	06/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22004710	2022-03-06	13:52:43	2022-03-06	15:40:35	1:44:26
8	MAZAMET	2022	mars	08/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22004875	2022-03-08	19:46:20	2022-03-08	21:24:50	1:32:24
9	MAZAMET	2022	mars	11/03/2022	INC	FEU DANS BATIME 22005042	2022-03-11	16:56:01	2022-03-11	18:37:48	1:39:22

figure 16 : Tableau sur les données opérationnelles de Mazamet sur la période du 27/02/2022 au 12/03/2022

Notre objectif était de lier ces données opérationnelles aux mesures. Nous avons ainsi fait le choix de ne retenir que trois colonnes:

- Famille Nature d'intervention, renommée en '**nature**', pour avoir la nature des incendies de chaque interventions
- Date Fin Inter et Heure Fin Inter, concaténées dans une colonne '**date_fin_heure**', pour être facilement exploitable.

Nous justifions le choix de ne prendre seulement la date de fin d'intervention car nous nous intéressons à la désorption du matériel. Ainsi, le début de l'opération ne peut influencer que la quantité de composants absorbés, mais nous ne pouvons pas établir avec certitudes de conclusions à ce sujet.

2. Traitement des données

Pour la visualisation des données, nous avons choisi de réaliser trois types de graphiques:

- Des courbes, pour représenter l'évolution des mesures sur la période de mesure. Elles ont été réalisées en Python.
- Des chronogrammes, pour représenter la durée d'exposition à chaque composant pour chaque seuil de dangerosité. Ils ont été réalisés en Python.
- Des histogrammes, pour représenter le volume horaire d'exposition aux composants pour chaque seuil de dangerosité. Ils ont été réalisés sur Excel.
- Des graphiques 'boite à moustache', ou BoxPlot, pour représenter la répartition des mesures.

En traitant les données récupérées sur les sites de Mazamet et d'Albi, nous avons constaté que les différentes pièces mesurées sur les 2 centres étaient dans l'ensemble à des niveaux de CO2 considérés comme acceptables (entre 500 et 1000 ppm).

Il faut en effet noter, que les pièces sont constamment au-dessus du seuil 24h recommandé par l'OMS. Ces pièces n'étant pas des pièces de vie dans lesquelles les pompiers passent tout leur temps, ces taux sont tolérables.

Dans le cas des vestiaires, il est important de remarquer que ces taux élevés sont entretenus par le fait que plusieurs personnes y passent régulièrement. Pour les remises, les véhicules utilisés par les pompiers émettent aussi du CO2.

Il faut aussi souligner le fait que les vestiaires propres dans chaque centre, présentent des valeurs de CO2 globalement plus élevées que dans les vestiaires sales.

Nous avons décidé d'écarter les PM1 de notre analyse, car nous n'avons pas trouvé de sources scientifiques pertinentes concernant la concentration de ces types de particules. On peut cependant noter que l'intégralité des pièces mesurées sur chaque centre présente un taux de PM1 constamment supérieur à 1. Ces particules participent à la formation des PM2,5 et PM10 mais sont aussi les plus nocives pour la santé, car elles peuvent passer à travers les tissus organiques.

Pour la suite des analyses dans ce rapport, nous allons donc essentiellement traiter les COVT ainsi que les PM10 où des différences sont visibles (nous avons décidé de ne pas parler des PM2,5 car les résultats sont sensiblement similaires aux PM10, ces 2 types de particules étant liées).

C. Présentation des résultats

1. Résultats des données de Mazamet



figure 17 : Courbe d'évolution de la concentration des PM10 dans les vestiaires de Mazamet

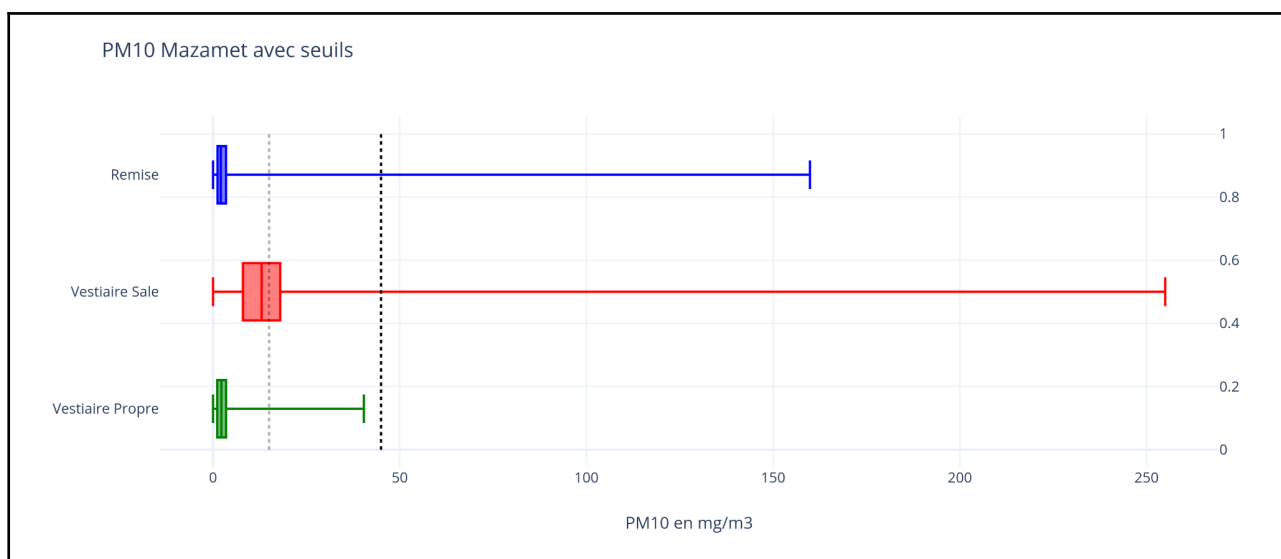


figure 18 : Boxplots du PM10 à Mazamet les seuils année et 24h

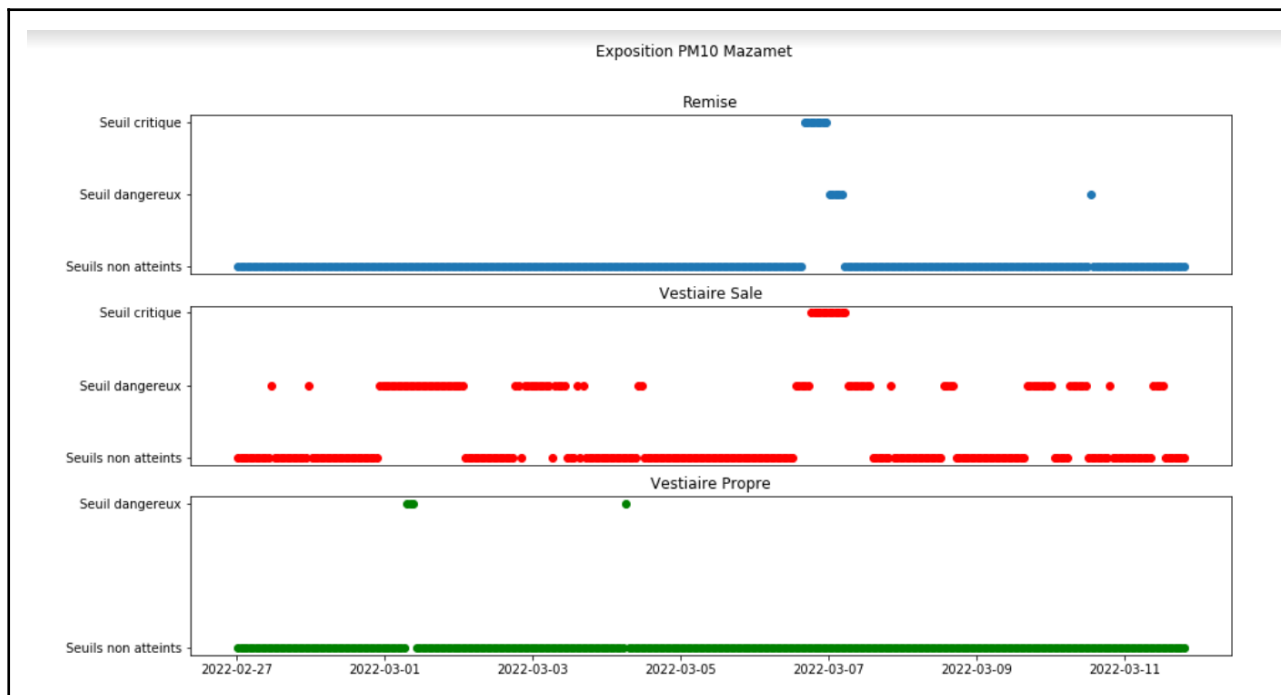


figure 19 : Durée d'exposition aux PM10 par seuils à Mazamet

Pièce	Exposition seuil dangereux (pendant 1 année) (sur 308 H)		Exposition seuil critique (pendant 24h) sur (308 H)	
	Nombre heures	Pourcentage durée	Nombre heures	Pourcentage durée
Remise	6h	1,96%	8h	2,62%
Vestiaire Sale	87h	28,25%	12h	3,90%
Vestiaire Propre	4h	1,30%	0h	0,00%

figure 20 : Volume horaire passé à un seuil

MAZAMET	PM10	Moyenne - Vestiaires Sales	Moyenne - Vestiaires Propres	Différence	Ratio	Interprétation
		16,62	3,01	-13,61	0,18	Le système de vestiaires diminue de plus de 80% la concentration de PM10
	PM2,5	Moyenne - Vestiaires Sales	Moyenne - Vestiaires Propres	Différence	Ratio	Interprétation
		3,56	1,98	-1,58	0,56	Le système de vestiaires diminue de plus de 40% la concentration de PM2,5
	COVt	Moyenne - Vestiaires Sales	Moyenne - Vestiaires Propres	Différence	Ratio	Interprétation
		4825	3956	-869,00	0,82	Le système de vestiaires diminue de près de 20% la concentration de COVt
	CO2	Moyenne - Vestiaires Sales	Moyenne - Vestiaires Propres	Différence	Ratio	Interprétation
		634	693	59,00	1,09	La concentration de CO2 est 10% plus élevée dans les vestiaires propres par rapport aux vestiaires sales

figure 21 : Tableau comparatif à Mazamet

La concentration en PM10 est en moyenne plus élevée dans le vestiaire sale que dans le vestiaire propre. En effet, la concentration de PM10 dans le vestiaire propre est en moyenne 80% inférieure à la moyenne de la concentration de PM10 dans le vestiaire sale. Les BoxPlots corroborent cette observation. D'autre part, nous n'observons pas de relations flagrantes entre la fin d'une opération et un pic de concentration de PM.

Finalement, nous avons mesuré dans le vestiaire sale que sur 308h, 87 heures, c'est-à-dire 28%, sont passées au-delà du seuil dangereux sur une année. Parfois, ces heures se suivent, comme indiqué sur le chronogramme. L'exposition n'est supérieure au seuil dangereux sur 24h

seulement 4% du temps, mais sur 12h d'affilée d'après le chronogramme. Ce phénomène ne s'est produit qu'une seule fois, le 7 mars.

Pour le vestiaire propre et la remise, la durée d'exposition aux PM10 semble anecdotique.

Le 7 mars, les capteurs du vestiaire sale et de la remise indiquent un énorme pic de concentration en PM sur plusieurs heures. Il n'y a pas de pic pour les autres composants, ni dans le vestiaire propre.

Il y a eu une intervention le 6 mars, comme l'indiquent les données opérationnelles. Cependant, nous avons demandé ce qu'il s'était passé ce jour-là à M.CAVAILLES-BILLOUARD. Voici sa réponse:

“Pour l'intervention du 06/03/22, le véhicule (échelle) et les agents ont été annulés en cours de route : Feu de cheminée département voisin.
Ils n'ont pas été exposés aux fumées.”

Ce pic ne semble donc pas être lié à une opération ; nous n'avons pas d'explications.

2. Résultats des données d'Albi

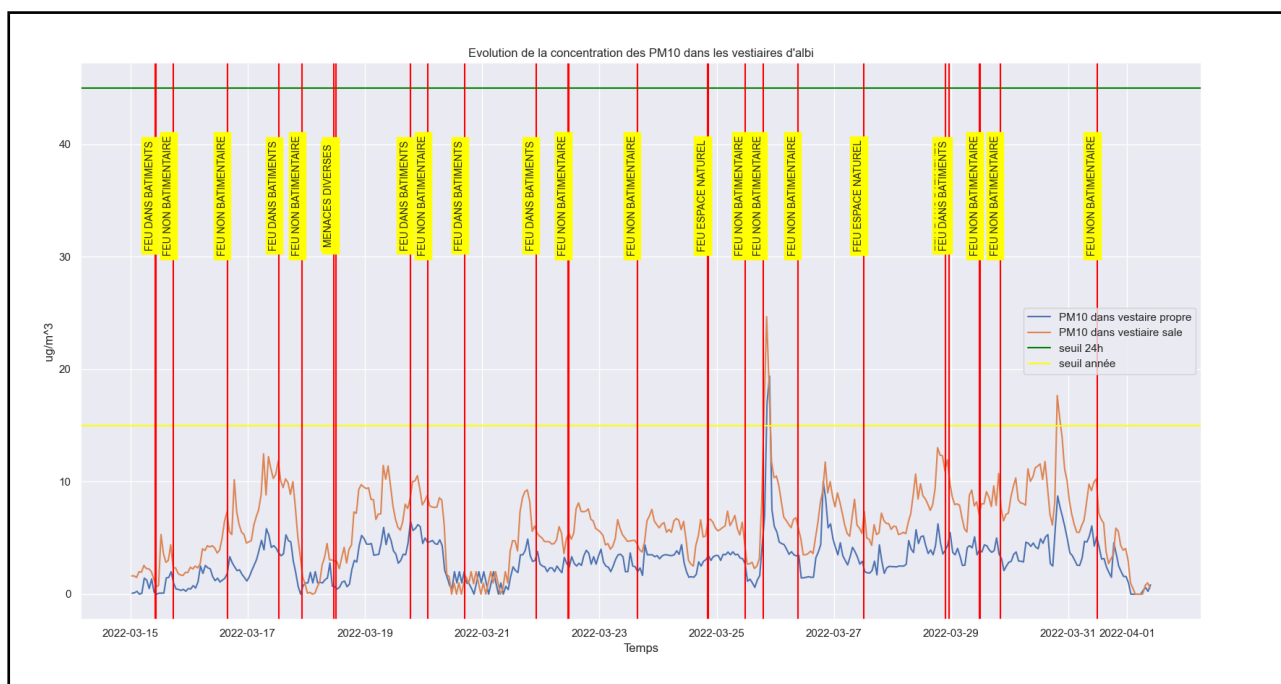


figure 22 : courbe d'évolution de la concentration des PM10 dans les vestiaires d'Albi

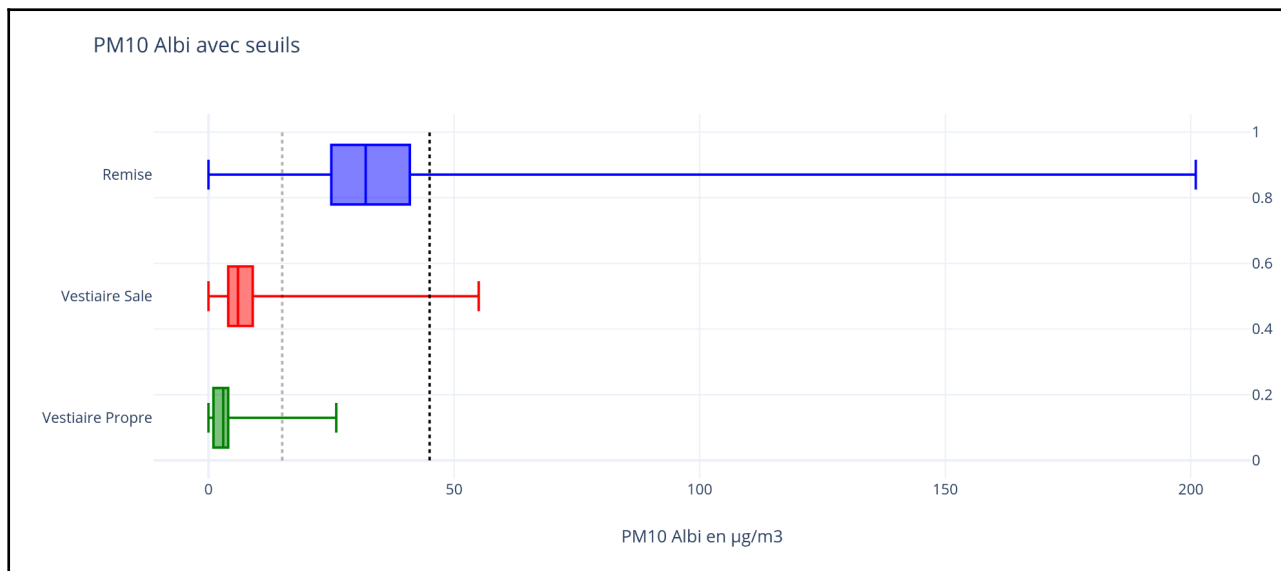


figure 23 : Boxplots du PM10 à Albi

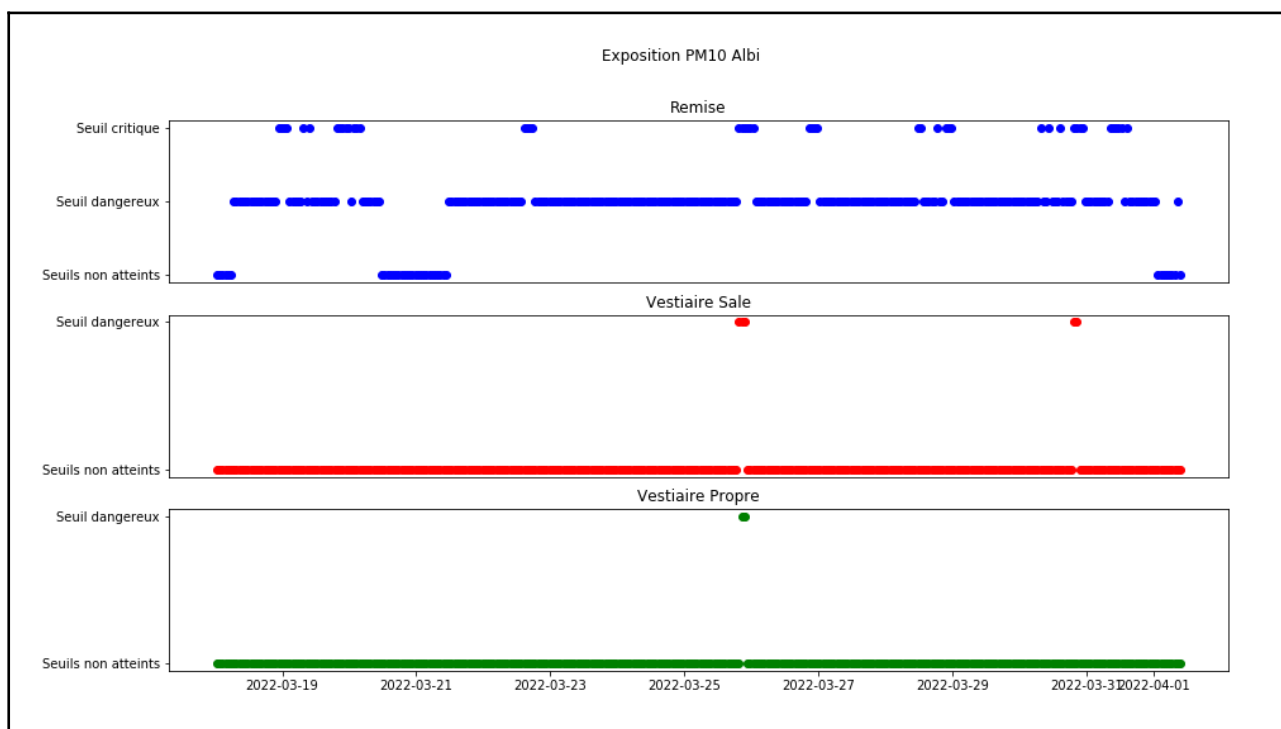


figure 24 : Durée d'expositions au PM10 par seuils à Albi

Pièce	Exposition seuil dangereux (pendant 1 an) (sur 346 H)		Exposition seuil critique (pendant 24h) sur (346 H)	
	Nombre heures	Pourcentage durée	Nombre heures	Pourcentage durée
Remise	261h	75,43%	47h	13,58%
Vestiaire Sale	5h	1,44%	0h	0,00%
Vestiaire Propre	2h	0,58%	0h	0,00%

figure 25 : Volume horaire passé à un seuil

ALBI		Moyenne - Vestiaires Sales	Moyenne - Vestiaires Propres	Différence	Ratio	Interprétation
	PM10	6,36	3,21	-3,15	0,50	Le système de vestiaires diminue de moitié la concentration de PM10
	PM2,5	5,09	2,92	-2,17	0,57	Le système de vestiaires diminue de plus de 40% la concentration de PM2,5
	COVt	2496	1724	-772,00	0,69	Le système de vestiaires diminue de près de 40% la concentration de COVt
	CO2	427	558	131,00	1,31	La concentration de CO2 est 30% plus élevée dans les vestiaires propres par rapport aux vestiaires sales

figure 26 : Tableau comparatif à Albi

Contrairement à Mazamet, les courbes représentant l'évolution de la concentration de PM10 à Albi suivent exactement la même tendance. La concentration de PM10 dans le vestiaire propre est deux fois moins élevée que dans le vestiaire sale.

Les durée d'expositions aux PM10 dans les deux vestiaires sont anecdotiques et jamais sur des heures successives.

Nos mesures montrent que la concentration en PM10 dans la remise est 75% du temps, au-delà du seuil de dangerosité sur un an. Cette exposition est également au-dessus du seuil dangereux pour 24h sur 47h en cumulé, soit 13.5% du temps. Voici la courbe d'évolution de la concentration de PM10 dans la remise :

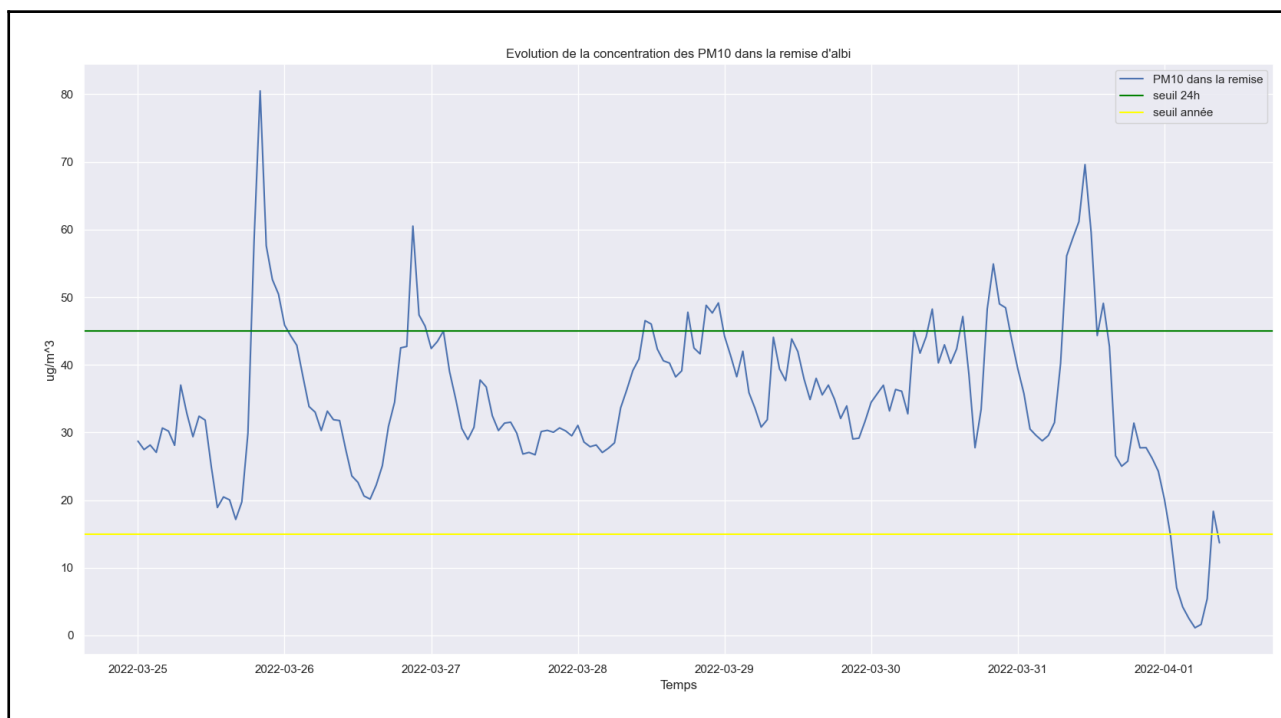


figure 27 : Courbe d'évolution de la concentration des PM10 dans la remise d'Albi

3. Comparaison entre centres

Vestiaire Sale

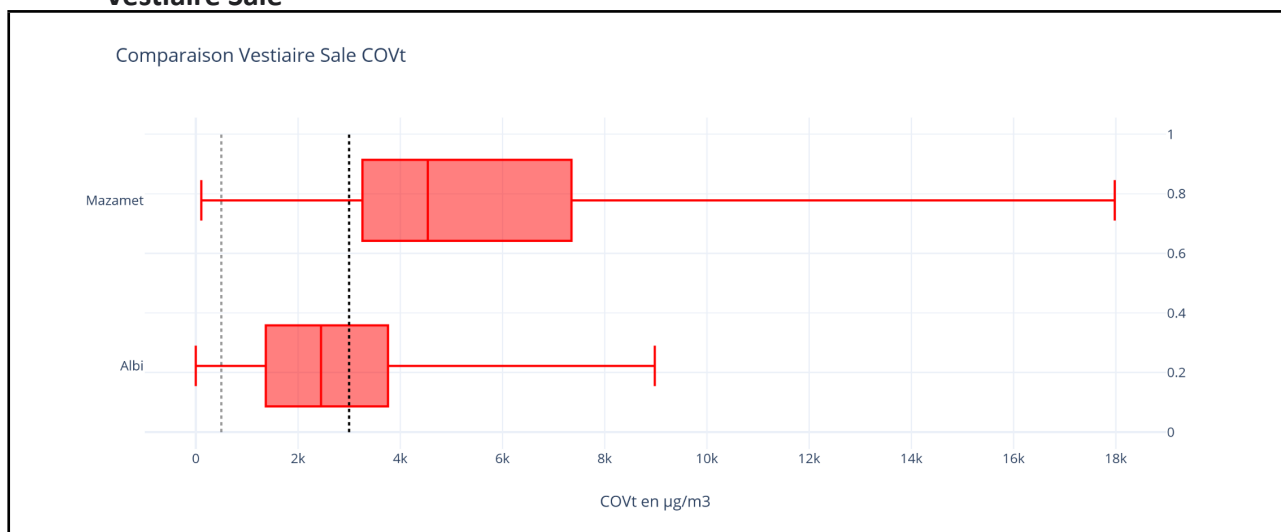


figure 28 : Boxplot sur la comparaison des COVt dans les vestiaires sales entre les 2 centres

Indicateurs COVt (en µg/m3)	Mazamet	Albi
Minimum (en µg/m3)	106,99	0
Quartile 1 (en µg/m3)	3260	1370
Médiane (en µg/m3)	4540	2450
Quartile 3 (en µg/m3)	7350	3760
Maximum (en µg/m3)	17980	8980

figure 29 : Tableau indicatif sur la répartition des COVt mesurés dans les vestiaires sales

Vestiaire Propre

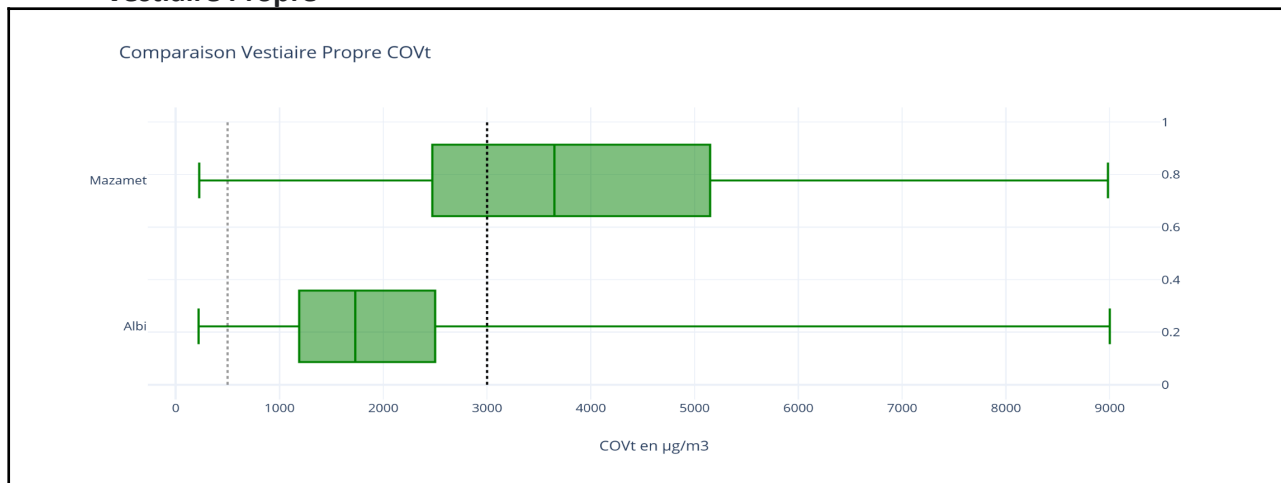


figure 30 : Boxplot sur la comparaison des COVT dans les vestiaires propres entre les 2 centres

Indicateurs COVT (en µg/m3)	Mazamet	Albi
Minimum	226,648333	220
Quartile 1	2472,92729	1190
Médiane	3649,47125	1730
Quartile 3	5147,38479	2500
Maximum	8982,5	9000

figure 31 : Tableau indicatif sur la répartition des COVT mesurés dans les vestiaires propres

On constate des différences sur les mesures entre Mazamet et Albi. Les mesures sont globalement plus élevées à Mazamet. De plus, sur chaque centre, on constate que les valeurs sont toujours plus élevées dans les vestiaires propres que dans les vestiaires sales.

Nous observons sur les boxplots que sur les 2 vestiaires à Mazamet, les taux de COVt sont essentiellement au-dessus du seuil 24h (2ème droite verticale en pointillés). À Albi, les taux sont constamment au-dessus du seuil "année" (1ère droite verticale en pointillés).

En isolant chaque centre, on remarque que le système vestiaire propre/vestiaire sale semble permettre une diminution de l'exposition à tous les composants.

Afin d'avoir une référence pour comparer les différents centres, nous avons effectué des mesures dans un environnement sain. Dans notre cas, il s'agit du CHL d'ISIS. Les mesures témoins ont été prises en continu sur une durée de 5 jours, toutes les 5 minutes.

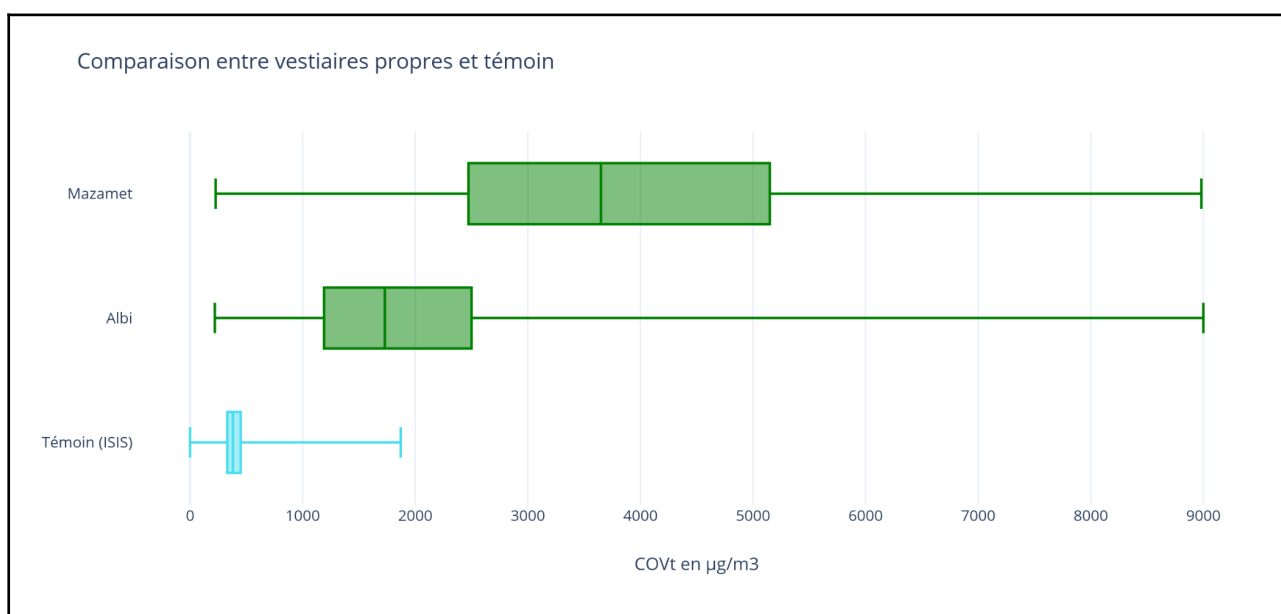


figure 32 : Boxplot sur la comparaison entre le témoin et les vestiaires propres

On constate que l'environnement témoin est exposé dans des concentrations beaucoup moins élevées que dans les centres de secours. Les valeurs dans les vestiaires propres de Mazamet et d'Albi sont élevées alors qu'ils sont supposés être des environnements moins exposés. Cette différence peut s'expliquer par le fait que le personnel est exposé à l'extérieur et qu'il peut donc amener des substances en entrant dans la pièce.

CONCLUSION

Notre objectif initial était de mettre en évidence une différence entre circuit propre et circuit sale au sein des casernes du SDIS 81. Nous pensons avoir rempli cet objectif. Bien que nos analyses ne soient pas établies avec certitude, elles permettent d'explicitier les différentes tendances liées aux taux de substances nocives auxquelles sont exposés les pompiers. Nous aurions cependant aimé avoir plus de temps afin de pouvoir mettre en évidence l'existence ou non d'une corrélation entre les interventions d'incendies et les mesures relevées.

Concernant la gestion du projet, malgré notre planification au premier semestre ainsi que la connaissance précise des tâches que nous allions faire et des résultats que nous attendions, nous n'avons pas pu suivre le déroulement prévu, principalement par manque de temps. Nous aurions cependant pu optimiser le temps dont nous disposions avec un peu plus de préparation en amont, notamment avant de faire les campagnes de mesures sur chaque centre. Notre manque de préparation ainsi que notre absence d'évaluation des risques et de leurs conséquences nous auront fait perdre environ une semaine sur le déroulement du projet. Nous n'avons pas pu aboutir à toutes les tâches que nous avons prévues, notamment celles concernant la corrélation entre interventions et pics de mesures.

L'aide apportée par Gaëtan Charbonnier mais surtout par Sylvain Robinson, nous a permis de faciliter grandement le déroulement des campagnes de mesures et nous a soulagé sur l'aspect technique de ce projet, pour nous permettre de nous concentrer essentiellement sur la partie gestion du projet et analyse et traitement des données.

Ce projet nous aura permis de prendre conscience de l'importance de la planification, ainsi que la difficulté à mener un projet lorsque plusieurs acteurs différents sont impliqués, mais aussi de l'importance de l'aide qu'ils peuvent fournir. Au travers des outils que nous avons utilisés, nous avons aussi appris à traiter de grandes quantités de données ainsi que d'appliquer les méthodes nécessaires afin de les rendre fiables.

RÉFÉRENCES

Webographie	Liens vers les articles, sources ou sites
"Seuils PM2.5 et PM10"	Santé Publique France, S. P. F. (2021). Pollution de l'air : L'OMS révisé ses seuils de référence pour les principaux polluants atmosphériques. Santé Publique France. Consulté en Mars 2022, à l'adresse https://www.santepubliquefrance.fr/les-actualites/2021/pollution-de-l-air-l-oms-revisé-ses-seuils-de-reference-pour-les-principaux-polluants-atmospheriques
"Seuils CO2"	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, ANSES, (2013). Concentrations de CO2 dans l'air intérieur et effets sur la santé. Consulté https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2012sa0093Ra.pdf
"Références capteurs"	Martimort, O. (2021, 17 décembre). Sonde de Qualité de l'Air Intérieur E4000-NG NanoSense. NanoSense. Consulté le janvier 2022, à l'adresse https://nano-sense.com/index.php/produits/sonde-contrôleur-de-qualite-de-l-air-interieur-e4000-ng/
"Référence serveur"	JEEDOM. (2017). Serveur domotique JEEDOM Smart avec EnOcean - JEEDOM [JEEDOM_SMARTE]. Planète Domotique. https://www.planete-domotique.com/serveur-domotique-jeedom-smart-avec-enocan-jeedom.html
Bibliographie	Sources
"Conséquences des longues expositions aux PM"	Chen, J., & Hoek, G. (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. <i>Environment International</i> , 143, 105974. doi:10.1016/j.envint.2020.105974
"Rapport de l'OMS sur la qualité de l'air"	World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329 . Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
"Effets de l'exposition"	Abolhassani, M., Guais, A., Chaumet-Riffaud, P., Sasco, A. J., & Schwartz, L. (2009). Carbon dioxide inhalation causes pulmonary inflammation. <i>Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol</i> , 296, 657–665. doi:10.1152/ajplung.90460.2008

<< Voir Annexe complémentaire ci-jointe >>