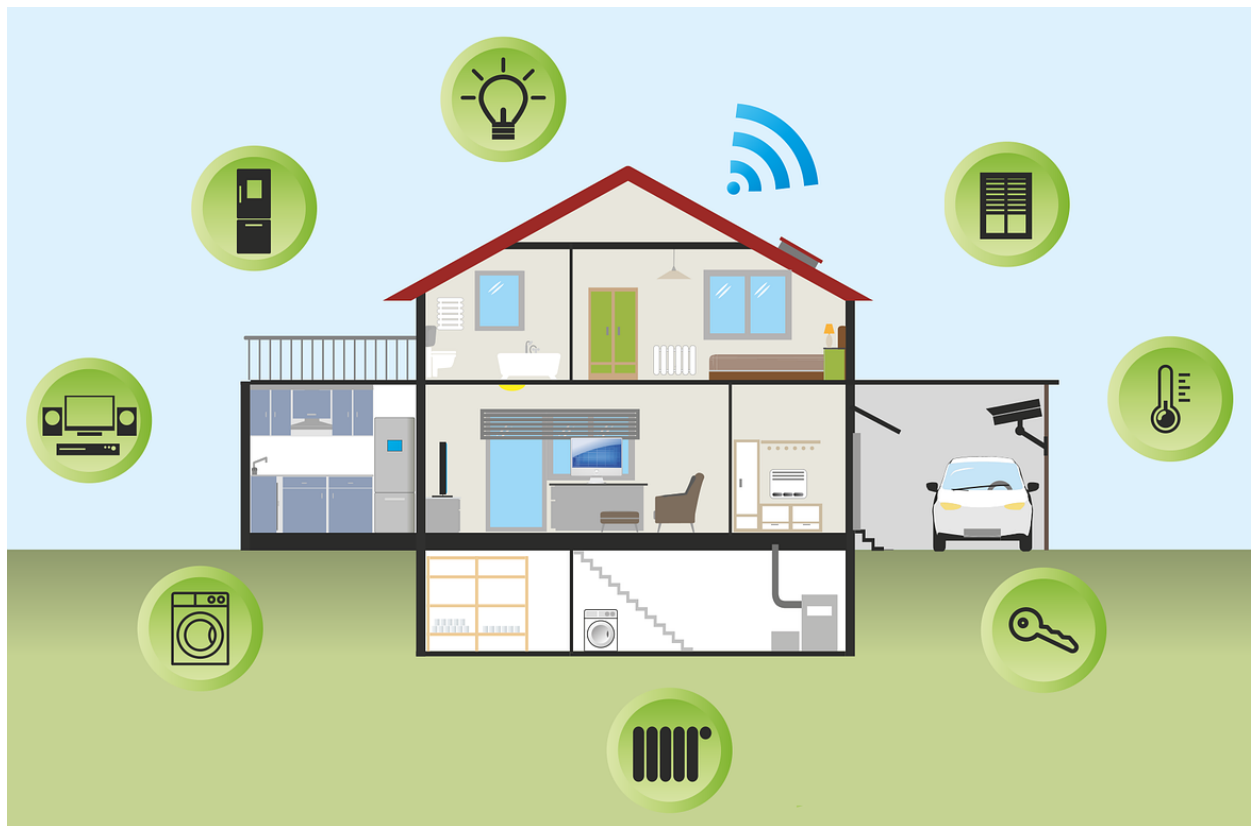


Projet gestion d'énergie : contrôle du taux de CO₂



Sommaire

Introduction	3
Données collectées	3
Détermination du taux de CO2	4
Raisonnement	4
Implémentation du machine-learning	6
Difficultés rencontrées	6
Méthode Decision Tree Classifier	6
Méthode Decision Tree Regressor	7
Les solutions proposées	9
Estimation du coût des solutions proposées	10
Prix des capteurs utilisés dans la maison	10
Prix et consommation des solutions proposées	10
Conclusion	11
Bibliographie	12

Introduction

Le CO₂ est un gaz naturellement présent dans l'atmosphère, à hauteur d'environ 300 ppm, et jusqu'à 900 ppm en ville. Il est produit par exemple par la respiration humaine ou par la combustion de fossiles. La concentration en CO₂ dans les bâtiments est plus élevée que celle à l'extérieur, du fait de la respiration des occupants. Les normes actuelles en France sont situées entre 1000 ppm et 1500 ppm; l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) recommande un seuil maximal de 1000 ppm, car au-delà, le taux CO₂ a des effets sur les performances psychomotrices [1]. Dans de nombreux autres pays, les seuils recommandés sont supérieurs : il est fixé à 3500 ppm au Canada, et à 5000 ppm aux USA et au Royaume-Uni.

Données collectées

Les données que nous avons collectées proviennent d'un projet de smart house, l'Expé-smarthouse. Ce projet fournit, à travers plus de 300 capteurs, les informations d'une maison de 120m² où vit une famille de 5 personnes [5].



Figure 1 : données d'un projet de smart house

Les données collectées sont ensuite visibles sur le site internet Grafana. En consultant le tableau de bord disponible sur Grafana, nous avons observé des taux de CO₂ trop élevés dans certaines pièces à certains moments de la journée, par exemple dans le salon le soir ou dans les chambres la nuit, où ce taux dépasse parfois 4000 ppm. Nous avons donc décidé de nous pencher sur ce problème et de chercher à proposer des solutions.

Détermination du taux de CO₂

Raisonnement

Nous avons pris la décision de limiter notre étude au salon car il s'agit de la pièce où nous disposons du plus de capteurs.

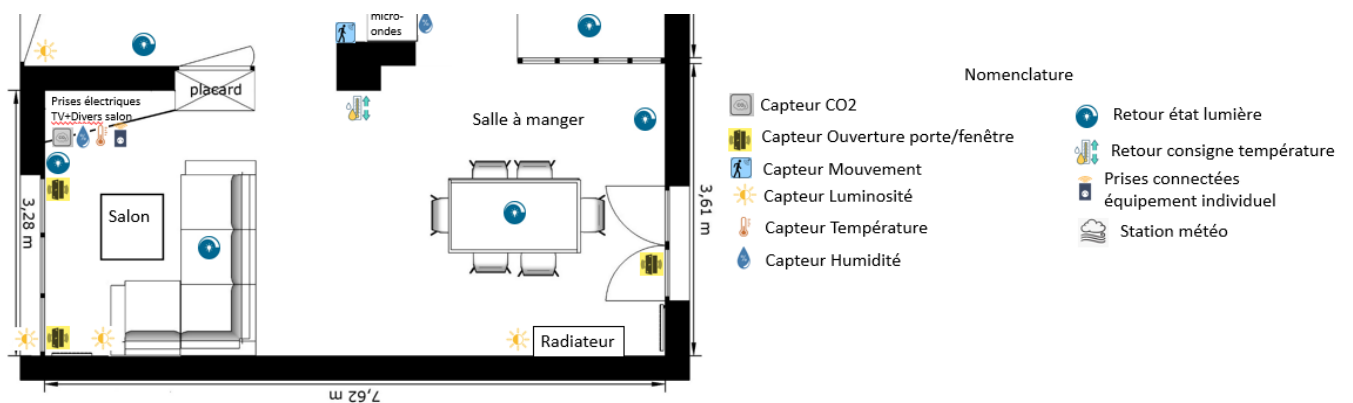


Figure 2 : Plan du salon et emplacement des capteurs

Les données que nous avons décidé de conserver sont celles provenant du capteur de mouvement, du taux de CO₂, de l'ouverture des fenêtres et du bruit. Notre étude porte sur l'analyse de ces données sur deux semaines en hiver, du 10 janvier 2022 au 24 janvier 2022.

Dates choisies : 10/01/2022 à 24/01/2022

Epoch timestamp: 1641769200

Date and time (GMT): Sunday, 9 January 2022 23:00:00

Epoch timestamp: 1642978800

Date and time (GMT): Sunday, 23 January 2022 23:00:00

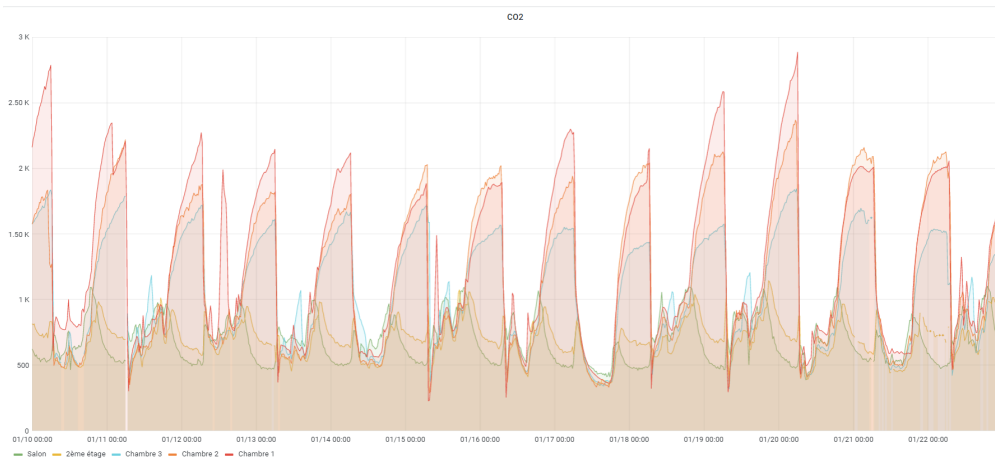


Figure 3 : Taux de CO₂ dans toutes les pièces disposant d'un capteur, sur la période étudiée

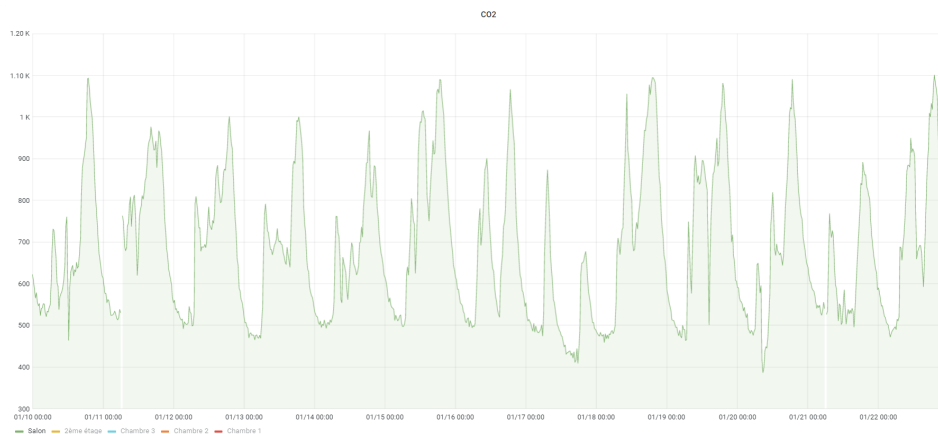


Figure 4 : Taux de CO₂ dans le salon sur la période étudiée

Nous avons donc utilisé les données de CO₂ pour le salon.

Remarques :

- La fenêtre étudiée est celle de la salle à manger car la baie vitrée n'avait pas de capteurs sur la période étudiée;
- Le capteur de bruit et de mouvement sont communs aux pièces du bas.

On se connecte à la base de données InfluxDB, et on fournit les identifiants des capteurs dont on souhaite récupérer des informations. Les données récupérées sont chacune dans un fichier csv différent, et les capteurs ne fournissent pas tous leurs données aux mêmes instants : certains le font toutes les 5 minutes, d'autres toutes les demi-heures.

Implémentation du machine-learning

Difficultés rencontrées

Pour deux capteurs différents on peut avoir des fréquences de mesure différentes. Pour remédier à ce problème, on utilise le module pandas. On choisit comme **pas de temps 30 minutes**. On met les données dans un même fichier en réorganisant en fonction du temps.

Méthode Decision Tree Classifier

Nous allons créer un arbre décisionnel avec des données antérieures pour anticiper ce qui va se passer. Ensuite, on vérifie la différence entre notre modèle et les valeurs réelles.

Pour ce faire, nous utiliserons l'algorithme écrit lors des premières séances du projet. Nous utiliserons la **méthode supervisée "classifier"**. Le **label** sera le taux de CO₂ dans le salon et les **features** seront l'état d'ouverture des fenêtres, le bruit et le mouvement.

Ainsi, en fonction de la prédiction, on pourra prendre les mesures nécessaires pour assurer le confort des occupants en termes de niveau de CO₂.

Avec le graphe suivant, on choisit la meilleure profondeur pour minimiser l'erreur moyenne :

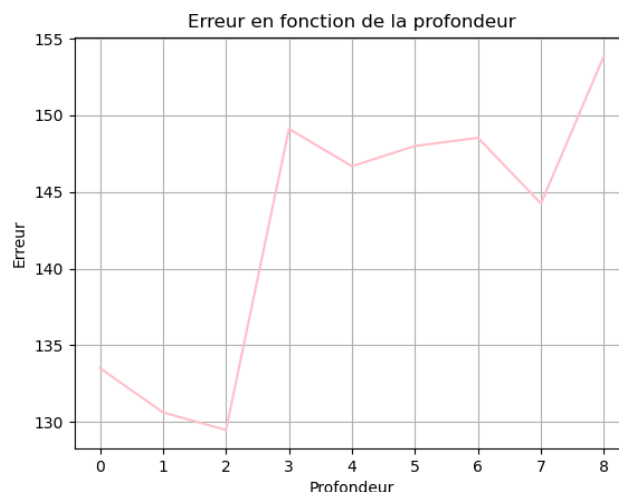


Figure 5 : Erreur en fonction de la profondeur pour une méthode de Decision Tree Classifier

On choisit donc une profondeur de 2 pour la méthode *classifier*. En observant les résultats de prédiction avec ces paramètres, on remarque que l'on n'a pas des bonnes prédictions. On avait le graphe suivant, avec une *average error* de 130,63 :

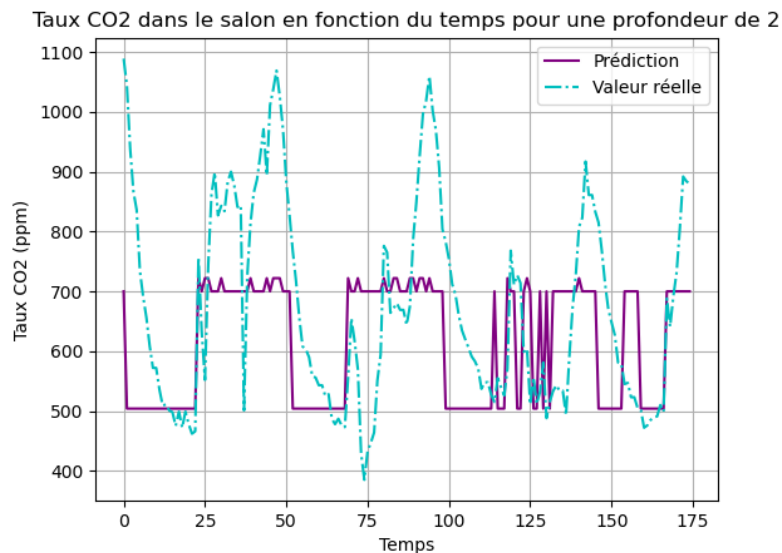


Figure 6 : Évolution du taux de CO₂ dans le salon pour une profondeur de 2 pour la méthode classifier

Sachant que l'on considère des valeurs de CO₂ allant de 500 à 4000 ppm pour le cas de cette maison, l'ordre de grandeur de cette erreur semble acceptable.

Avec la méthode *classifier* on obtient presque des paliers donc on ne voit pas les tendances d'évolution. La méthode *classifier* est bien adaptée aux valeurs discrètes, mais le CO₂ est une valeur continue, ce qui peut expliquer l'écart entre notre prédiction et la valeur réelle de CO₂. On choisit donc de changer de méthode.

Méthode Decision Tree Regressor

On choisit la méthode **Decision Tree Regressor** qui est plus adaptée pour des valeurs continues. En effet, on obtient de meilleures prédictions (la forme est plus proche de la forme réelle).

Avec le graphe suivant, on choisit la meilleure profondeur pour minimiser l'erreur moyenne :

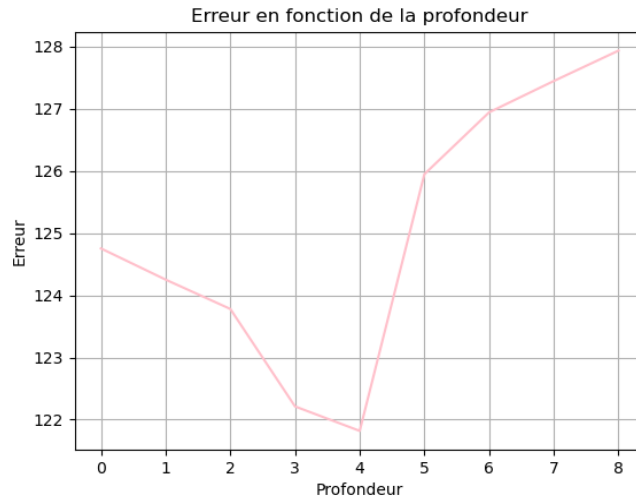


Figure 7 : Erreur en fonction de la profondeur pour la méthode Decision Tree Regressor

On choisit donc une profondeur de 4. On obtient le graphe suivant :

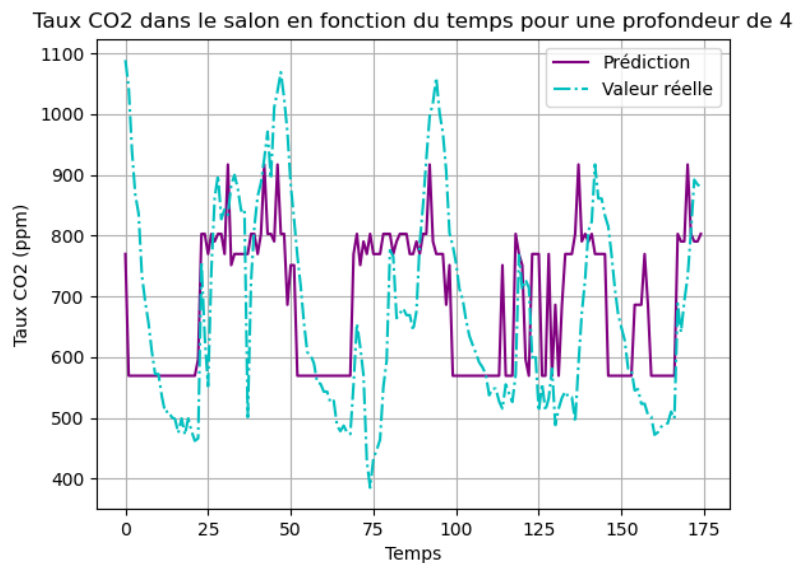


Figure 8 : Évolution du taux de CO₂ dans le salon pour une profondeur de 4 pour la méthode Decision Tree Regressor

On remarque qu'avec cette méthode, la prédiction semble suivre plus fidèlement les évolutions hautes et basses du taux de CO₂.

Avec cette méthode et cette profondeur, on obtient une *Average Error* de 122,21. On prendra en compte cette erreur lors de la mise en œuvre des solutions : on pourra par exemple estimer à la hausse la valeur des estimations.

On s'intéresse ensuite aux *features* les plus importantes de cet arbre :

Ouverture de la fenêtre X[0]	Bruit X[1]	Mouvement X[2]
0	0,99500972	0,00499028

Puis on trace l'arbre de décision avec Graphviz Online :

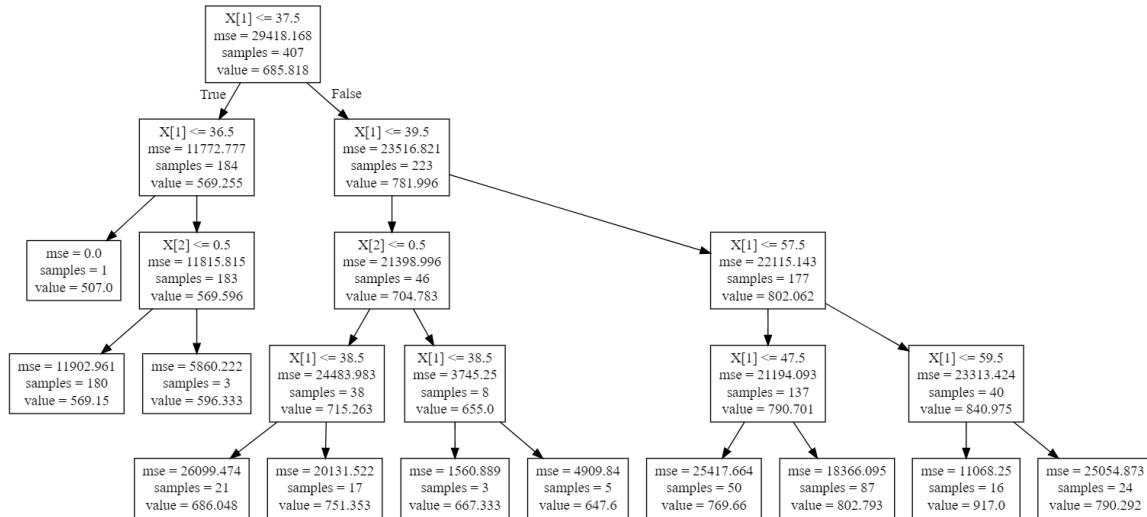


Figure 9 : Arbre de décision, utilisant la méthode de la régression avec une profondeur de 4

Remarques :

- L'ouverture des fenêtres a une importance de 0 car celles-ci ont été très peu ouvertes sur la période considérée.
- Le CO₂ ne change pas directement avec l'ouverture d'une fenêtre ou avec la présence ou l'absence de personnes dans la pièce. Ceci peut expliquer en partie l'erreur obtenue. Cependant, par manque de *features* analysables, nous gardons celles qui ont été choisies.

Les solutions proposées

Nous avons envisagé différentes solutions possibles à mettre en place afin de réduire le taux de CO₂ dans la pièce. La première est d'envoyer une notification à l'utilisateur quand le taux de CO₂ dépasse 900 ppm, pour qu'il ouvre les fenêtres de la pièce, afin d'éviter d'atteindre les 1000 ppm.

La seconde serait d'installer un système d'ouverture automatique des fenêtres qui s'active dès que le taux de CO₂ prédit dépasse 900 ppm. On suppose que l'augmentation du taux de CO₂ dans la pièce est liée à l'activité humaine, donc le

système ne s'activera pas si personne n'est présent, ce qui permet d'éviter les risques d'intrusion.

Remarque : Nous avons analysé des données en hiver. À cette période, il n'est pas vraiment envisageable de proposer la solution d'ouverture automatique des fenêtres, afin d'éviter des pertes énergétiques de chauffage. Cependant, les deux premières solutions pourront être considérées pour être appliquées en été, possiblement à la place de l'utilisation de la VMC si elles s'avèrent moins consommatrices en termes d'énergie.

Enfin, on propose d'utiliser une VMC double-flux, qui permet d'échanger l'air usé par de l'air neuf (celui-ci étant préchauffé avec la chaleur de l'air sortant), ce qui est plus intéressant par rapport à une VMC simple flux notamment en hiver car, avec une VMC double-flux, on ne doit pas compenser avec le système de chauffage (il reste bien sûr à comparer entre la consommation énergétique d'une VMC simple flux et d'une double flux). [6]

Remarque :

La norme française impose un rendement supérieur à 90 % et une consommation inférieure à 50 W-Th-C (cette unité indique que l'on considère une puissance moyenne pondérée pour un ventilateur double flux fonctionnant pendant 22h à puissance normale et pendant 2h à forte puissance, ramenée à une consommation horaire [7]).

Estimation du coût des solutions proposées

Prix des capteurs utilisés dans la maison

- Capteur état d'ouverture des fenêtres : 10 € pour un capteur
- Capteur pack : 1 pièce avec bruit et CO₂ complet / 2 pièces avec CO₂ et humidité / extérieur avec température et humidité : 189 €
- Mouvement / luminosité : 15 €

Au vu de l'importance des features dans la prédiction du taux de CO₂, on pourrait utiliser uniquement le pack de capteurs qui contient le capteur du bruit dans notre projet. On aurait donc un prix de 189 euros, sachant que ce pack inclut d'autres capteurs qui seraient utilisés dans d'autres pièces.

Prix et consommation des solutions proposées

Prix :

- VMC double flux : en rénovation, environ 5000 € [6, 8]
- VMC simple flux : en rénovation, environ 2000 € [9]

- 'Sliding air io' : Ouverture automatique des fenêtres : 500€ par fenêtre [10]

Consommation énergétique :

- VMC double flux - Consommation maximale par jour : $50W \cdot 24h = 1200 \text{ Wh}$
- VMC simple flux - Consommation par jour : **720 Wh** [11]
- 'Sliding air io' - Consommation par ouverture/fermeture : $50W \cdot 30s \cdot 2 = 1 \text{ Wh}$
Consommation par jour : $1 \text{ Wh} \cdot 2 = 2 \text{ Wh}$, si on suit la recommandation de l'ADEME et on estime l'ouverture des fenêtres à 2 fois par jour [12].

Ainsi, la solution avec l'ouverture des fenêtres est beaucoup moins chère et moins consommatrice en énergie, mais elle ne pourra pas vraiment être employée pendant l'hiver afin de limiter les pertes énergétiques et garantir le confort des habitants. En prenant en compte les économies d'énergie (l'air sortant à la bonne température pour un double flux) et le confort des occupants, on considère que le système de VMC double flux est plus intéressant que le système simple flux [11].

Conclusion

Le taux de CO_2 est un élément que l'on doit prendre en compte afin de garantir le confort et même la santé des individus. La présence des capteurs dans une maison permet d'appliquer la méthode de machine-learning, et ainsi de prédire le taux de CO_2 en fonction d'autres données. On peut alors proposer des solutions afin de diminuer le taux de CO_2 dans une pièce en fonction de ces prédictions.

Parmi les solutions envisagées, en fonction du budget et de la localisation (qui influe sur les conditions météorologiques de l'extérieur), on pourra choisir entre un système d'ouverture automatique des fenêtres et l'installation d'une VMC.

Il sera intéressant d'appliquer la même méthode dans les différentes chambres car on y observait des taux de CO_2 bien supérieurs à la norme. Nous pourrions ainsi garantir le confort et le bien-être des habitants.

Bibliographie

[1]

<https://www.anses.fr/fr/content/dioxyde-de-carbone-co2-dans-l%E2%80%99air-int%C3%A9rieur>

[2]

<https://www.hse.gov.uk/carboncapture/assets/docs/major-hazard-potential-carbon-dioxide.pdf>

[3]

<https://www.hse.gov.uk/carboncapture/carbondioxide.htm#:~:text=The%20WELs%20for%20CO2,reference%20period>

[4]

https://www.fsis.usda.gov/sites/default/files/media_file/2020-08/Carbon-Dioxide.pdf

[5]

<http://expe-smarthouse.duckdns.org/>

[6]

<https://www.qualitel.org/particuliers/equipements-et-materiaux-maison/ventilation/vmc-double-flux/>

[7]

<https://www.confort-sauter.com/lexique/W-Th-C#:~:text=C'est%20la%20puissance%20moyenne,ramen%C3%A9e%20%C3%A0%20une%20consommation%20horaire.>

[8]

<https://www.travaux.com/climatisation/guide-des-prix/prix-dune-vmc-double-flux>

[9]

<https://www.travaux.com/climatisation/guide-des-prix/prix-installation-vmc#Prix%20d'une%20VMC%20simple%20flux>

[10]

<https://www.somfy.fr/produits/fenetre-connectee>

[11]

<https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/chauffage-et-climatisation/quelle-est-la-consommation-d-une-vmc>

[12]

<https://librairie.ademe.fr/cadic/1812/guide-pratique-un-air-sain-chez-soi.pdf?modal=false>