



HAL
open science

Comparaison qualitative des comportements aérauliques d'un aérateur entre des mesures en site expérimental et son modèle numérique

Simon Bal-Fontaine, Aurélie Fouquier, Ophelie Ouvrier Bonnaz, Etienne Wurtz

► To cite this version:

Simon Bal-Fontaine, Aurélie Fouquier, Ophelie Ouvrier Bonnaz, Etienne Wurtz. Comparaison qualitative des comportements aérauliques d'un aérateur entre des mesures en site expérimental et son modèle numérique. Conférence Francophone de l'International Building Performance Simulation Association (IBPSA France 2022), IBPSA, May 2022, Chalons en Champagne, France. pp.1-8. cea-03726347

HAL Id: cea-03726347

<https://cea.hal.science/cea-03726347>

Submitted on 18 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comparaison qualitative des comportements aérauliques d'un aérateur entre des mesures en site expérimental et son modèle numérique

Simon BAL-FONTAINE*¹, Aurélie FOUCQUIER¹, Ophélie OUVRIER BONNAZ¹, Etienne WURTZ¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, Campus Ines, 73375 Le Bourget du Lac, France

*simon.bal-fontaine@cea.fr

RESUME. La ventilation naturelle représente aujourd'hui une solution efficace pour le rafraîchissement nocturne en été et en mi-saison mais un de ses principaux problèmes reste l'inconfort acoustique qu'elle peut générer. C'est pourquoi, des industriels développent aujourd'hui des aérateurs qui permettent d'éviter ce problème tout en augmentant la qualité de l'air intérieur et en garantissant un bon rafraîchissement thermique. Dans une démarche d'amélioration de ces produits, un test de ces aérateurs a été réalisé dans une maison expérimentale afin d'analyser leur potentiel de rafraîchissement passif. De même, un modèle numérique EnergyPlus de la maison construit sous DesignBuilder nous a permis d'analyser les bénéfices que peuvent apporter ces aérateurs en terme de qualité de l'air intérieur. Enfin, un calibrage manuel de ce modèle sur le coefficient de décharge des aérateurs a été effectué en se basant sur une comparaison qualitative entre simulations et mesures afin de consolider les résultats obtenus expérimentalement et numériquement.

MOTS-CLÉS : ventilation naturelle, rafraîchissement passif, qualité de l'air intérieur.

ABSTRACT. Natural ventilation represents nowadays an efficient solution for night cooling in summer and in mid-season but one of his main problems is the acoustic discomfort it can generate. That is why, some companies currently develops aerators, which avoid this problem while increasing indoor air quality and providing good thermal cooling. In a way to improve these products, a test of these aerators have been realised in an experimental house for analysing their passive thermal cooling potential. Moreover, a numerical EnergyPlus model built with DesignBuilder allows us to analyse benefits brought by aerators for improvement of indoor air quality. Finally, a manual calibration of this model about aerators' discharge coefficient has been made based on qualitative comparison between simulations and measures for consolidate experimental and numerical results.

KEYWORDS : natural ventilation, passive thermal cooling, indoor air quality.

1. INTRODUCTION

Dans un contexte d'économies d'énergie, la performance énergétique des bâtiments est un enjeu de taille. Le chauffage, reconnu comme le premier point de consommation dans les bâtiments anciens, a fait l'objet de nombreuses recherches. Sa contribution en terme énergétique représente aujourd'hui une part nettement plus faible et il n'apparaît, de ce fait, plus comme un verrou prépondérant. En revanche, l'amélioration de l'étanchéité des nouveaux bâtiments afin de limiter les fuites aérauliques a généré une détérioration de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI). Aussi, avec le contexte sanitaire actuel nécessitant un bon renouvellement d'air dans les bâtiments, cette problématique est de plus en plus d'actualité. Par ailleurs, nous connaissons bien les impacts négatifs que peuvent avoir une mauvaise ventilation intérieure dans les écoles (Mohamed et al. 2021), dans les bureaux (Sarkhosh et al. 2021) ou bien dans

le résidentiel (Thomas et al. 2019). Cependant, la QAI est toujours très peu présente dans les différentes réglementations, que ce soit pour le tertiaire ou pour le logement.

De plus, le confort d'été s'avère aujourd'hui particulièrement affecté et des solutions doivent être proposées pour le maintenir acceptable tout en garantissant une bonne efficacité énergétique. En effet, il existe des solutions de rafraîchissement actives mais souvent très consommatrices en énergie. Ainsi, des stratégies passives mettant en jeu un pilotage (automatique ou manuel) des volets roulants et/ ou de la ventilation naturelle sont actuellement à l'étude (Saleem et al. 2016). Cependant, les systèmes de ventilation naturelle par simple ouverture de fenêtre possèdent deux problèmes majeurs que sont l'inconfort acoustique qu'ils génèrent (Nicol et Wilson. 2004) ainsi que le risque d'intrusion lors de l'ouverture de ces systèmes.

C'est dans ce cadre que nous avons testé, dans un site expérimental aux environs de Bordeaux, l'efficacité d'un dispositif de ventilation naturelle associant une fenêtre de toit à deux aérateurs en allège de baie vitrée. Bien que ces aérateurs soient initialement conçus pour des usages tertiaires, leur constructeur souhaite justement, grâce à cette expérimentation, tester leurs performances en logement individuel. Quel que soit l'usage, ces aérateurs ont pour objectifs de limiter les nuisances sonores provenant de l'extérieur et d'éviter les risques d'intrusions lors de l'ouverture du système. De plus, afin de compléter cette étude expérimentale, un modèle numérique EnergyPlus de la maison construit sous DesignBuilder a été utilisé. En effet, les données acquises expérimentalement ont permis de faire un premier bilan sur le potentiel de rafraîchissement thermique du dispositif de ventilation naturelle tandis que la simulation via ce modèle numérique apporte des données sur la qualité de l'air intérieur. Enfin, un calibrage manuel de ce modèle sur le coefficient de décharge des aérateurs a été effectué en se basant sur une comparaison qualitative entre simulations et mesures afin d'ajuster au mieux les résultats numériques à ceux obtenus in-situ.

L'objectif de cet article est donc de caractériser le potentiel de rafraîchissement passif nocturne et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur de ces aérateurs dans le cas d'un logement. Ceci, au travers d'une comparaison qualitative entre simulations et mesures, puis grâce aux résultats obtenus numériquement après les changements d'hypothèses de modélisation.

2. METHODOLOGIE

2.1. ETUDE EXPERIMENTALE

Le site expérimental est situé dans les environs de Bordeaux et est composé de trois maisons de plain-pied identiques qui respectent les exigences de la RT 2012 (voir Figure 1). Ces maisons ont par ailleurs des faibles inerties thermiques et des faibles étanchéités à l'air au vu de leur principe constructif. Le site est en zone rurale, donc relativement isolé, et n'est ainsi pas gêné par d'autres bâtiments en ce qui concerne le rayonnement solaire et le vent. Ce dernier provient d'ailleurs généralement de l'Ouest (venant de l'Océan) ou de l'Est (venant des terres) suivant une alternance brise de mer/brise de terre. Dans le cas de notre étude, nous n'avons utilisé qu'une seule des maisons du site.



Figure 1 : Site expérimental

Afin d'évaluer le potentiel de rafraîchissement passif nocturne des aérateurs, un dispositif de ventilation naturelle dans le séjour a été mis en place comme nous le montre le plan sur la Figure 2. Pour cela, nous avons utilisé la fenêtre de toit placée au-dessus de la cuisine ainsi que deux aérateurs installés l'un au-dessus de l'autre en allège de la baie vitrée de la face Sud (voir Figure 2). Notons qu'aucun autre système aéralique (VMC) pouvant impacter directement le dispositif n'est installé dans la maison. Concernant le pilotage, il est assez simple : les deux aérateurs et la fenêtre de toit s'ouvrent entièrement entre 22h et 8h et la fenêtre de toit se ferme automatiquement lorsqu'il pleut. La surface d'échange des aérateurs est de $0,13\text{m}^2$ par aérateur et celle de la fenêtre de toit de $1,35\text{m}^2$, avec un taux d'ouverture de 45° . De plus, les volets roulants de la façade Est sont ouverts de 12h à 23h et le volet de la fenêtre de toit est quant à lui toujours fermé. De même, les volets de la façade Sud sont ouverts de 8h à 11h et de 18h à 23h. Enfin, il est important de préciser qu'il n'y a en réalité pas de cloison séparant la cuisine et le séjour, et que 300W sont dégagés en permanence pour simuler une occupation dans la maison.

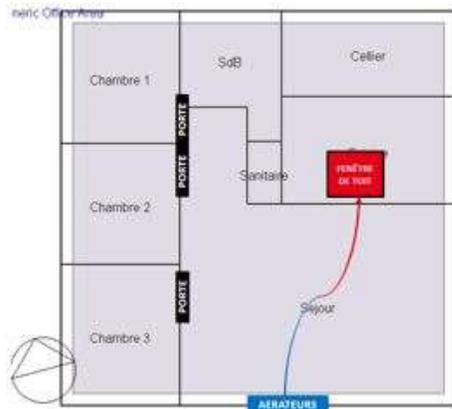


Figure 2 : Dispositif mis en place dans le séjour



Aérateurs sur la façade Sud de la maison

Pour l'instrumentation dans la maison, des sondes de platine ont été installées pour la mesure de la température intérieure, ainsi qu'à l'extérieur pour celle de la température extérieure. De plus, le rayonnement solaire a été mesuré grâce à un pyranomètre, et un anémomètre à ultrasons nous a permis d'avoir des données sur la vitesse et la direction du vent. En complément de l'instrumentation que nous avons mise en place, un système domotique est installé dans la maison et possède ses propres capteurs ainsi que sa propre station météo. Ces derniers nous permettent d'avoir également des données sur la pression atmosphérique et la pluviométrie du site. Enfin, nous utiliserons par la suite la température intérieure mesurée dans le séjour en centre pièce ainsi que la température extérieure obtenue avec le capteur placé sur la façade Nord de la maison.

Des campagnes expérimentales se sont déroulées respectivement en Octobre 2020 et de Juillet à Novembre 2021 mais nous allons nous attarder uniquement sur la deuxième campagne puisqu'elle

regroupe une saison d'été ainsi qu'une période de mi-saison. Nous avons considéré que la saison d'été se déroule du 21 Juillet au 15 Septembre 2021 et la période de mi-saison du 15 Septembre au 15 Octobre 2021. La Figure 3 illustre la température intérieure et extérieure durant ces périodes. On voit que la température intérieure suit la tendance de la température extérieure, avec une valeur toujours légèrement plus élevée, en été comme en mi-saison. On voit également de grandes variations de températures extérieures dans les deux périodes, ce qui favorise l'efficacité du dispositif de ventilation naturelle grâce au tirage thermique. De plus, on remarque des températures intérieures assez basses sur la fin de la période de mi-saison (allants jusqu'à 14°C), ce qui est signe d'inconfort froid dans la maison. Finalement, on observe une efficacité du dispositif mis en place plutôt faible en période estivale avec des températures intérieures qui restent assez élevées mais un potentiel de rafraîchissement en période de mi-saison plus intéressant avec une température intérieure variant entre 15°C et 25°C.

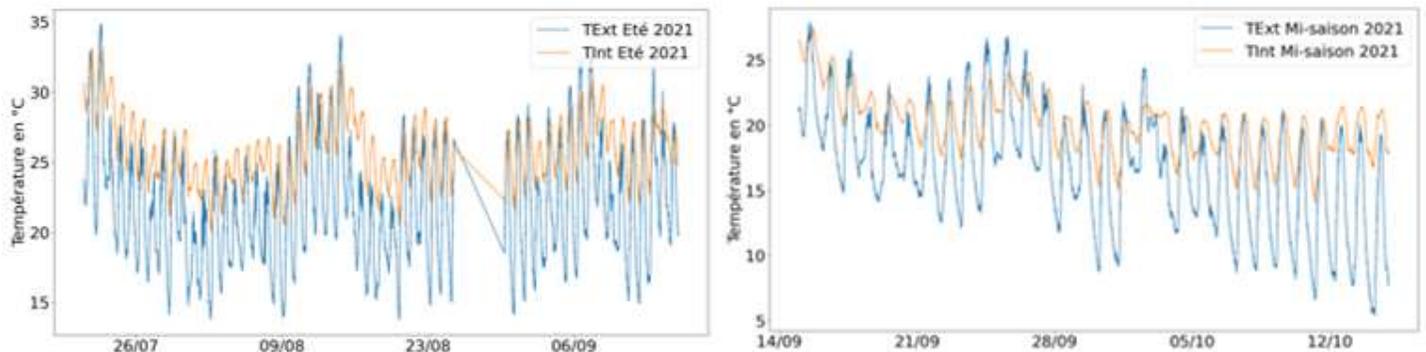


Figure 3 : Evolution de la température extérieure et intérieure durant l'été et la mi-saison 2021

2.2. ETUDE NUMERIQUE

L'instrumentation mise en place lors de l'étude expérimentale ne permettant pas d'analyser l'amélioration de la qualité de l'air intérieur, nous avons choisi d'utiliser un modèle numérique EnergyPlus de la maison construit sous DesignBuilder. Ce modèle se base sur les mêmes principes constructifs que la maison expérimentale, avec ainsi les mêmes matériaux de constructions et les mêmes géométries et emplacements des pièces. De plus, les aérateurs et la fenêtre de toit suivent le même pilotage sur ce modèle que sur le cas réel et les volets ont le même planning d'ouverture. Pour les volets de la façade Sud, nous avons considéré qu'ils sont toujours fermés puisque la fenêtre est obstruée en majeure partie sur le site expérimental (voir Figure 2). Nous avons également simulé les mêmes charges internes, à savoir environ 300W dans toutes les pièces, pour avoir des conditions intérieures très proches entre le modèle numérique et les conditions réelles. Cependant, les conditions météorologiques ne sont pas celles présentes lors de la campagne expérimentale puisque les données acquises grâce à la station météo ne sont pas suffisantes, notamment au niveau de la mesure de l'ensoleillement.

Concernant les échanges aérauliques, ils sont modélisés à l'aide du modèle nodal Air Flow Network (AFN) d'EnergyPlus. Un paramètre important apparaît donc pour caractériser la perte de charge effective des aérateurs et de la fenêtre de toit au travers du coefficient de décharge. Le coefficient de décharge de la fenêtre de toit a été estimé à partir d'abaques et s'élève dans notre calcul à 0,45. En ce qui concerne les aérateurs, le constructeur propose une valeur de 0,2. Etant donné les surfaces d'échanges et le coefficient de décharge nettement plus faible au niveau des aérateurs, ils apparaissent donc comme des limitations au débit d'air. Afin d'estimer une valeur cohérente résultant sur un potentiel

en accord avec celui mis en évidence par la mesure, nous proposons donc une analyse paramétrique sur le coefficient de décharge des aérateurs. Une comparaison qualitative avec la mesure va nous permettre d'estimer une valeur de ce coefficient de décharge permettant de se rapprocher au mieux de la mesure. Nous avons ainsi réduit le coefficient de décharge de 0,2 (sa valeur initiale donnée par le constructeur) jusqu'à 0,05, avec des simulations pour des valeurs intermédiaires de 0,1 et 0,15.

La période simulée va du 1er Juin au 15 Octobre avec comme fichier météo utilisé celui de Bordeaux (fichier IWEC) et nous nous focaliserons ici uniquement sur la période d'été, les impacts de l'analyse paramétrique étant très similaires en période de mi-saison. Aussi, la Figure 4 permet d'illustrer la distribution de la température extérieure durant la période d'ouverture du dispositif, en simulation comme en mesures, avec en ordonnée la densité de probabilité calculée par la méthode d'estimation par noyau (KDE en anglais). On voit ainsi directement que la température extérieure est en moyenne plus basse en simulation qu'en mesures, ce qui devrait engendrer un potentiel de rafraîchissement passif grâce au tirage thermique plus élevé en simulation.

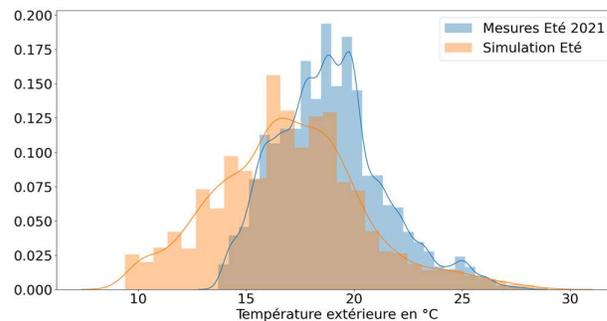


Figure 4 : Distribution de la température extérieure entre simulation et mesures

Pour effectuer le calibrage manuel du modèle numérique, nous avons pris comme indicateur de rafraîchissement passif la différence de température intérieure du séjour dans l'heure suivant l'ouverture du dispositif de ventilation naturelle (voir Figure 5). La température intérieure utilisée est la température opérative, qui pourrait être assimilée à une température ressentie par l'occupant en prenant en compte la température d'air et la température des parois. Par mesure de simplification et dans la mesure où les paramètres susceptibles d'affecter les phénomènes aéraulique ne sont pas significatifs dans notre cas d'application, notamment du fait de la faible inertie thermique, de la faible étanchéité à l'air et de l'absence de VMC, nous avons choisi de porter une étude paramétrique sur le seul coefficient de décharge des aérateurs. Néanmoins, une différence majeure intervient entre les mesures et la simulation au travers des conditions météo . Pour cette raison, nous insistons sur le caractère qualitatif et non quantitatif de notre travail.

La Figure 5 montre les distributions de cette différence de température, avec la KDE en ordonnée. On observe qu'avec la valeur initiale du coefficient de décharge (0,20) les résultats de simulations sont plus optimistes que ceux obtenus en mesures puisque la différence de température intérieure est plus importante. En baissant la valeur du coefficient de décharge, nous diminuons en conséquence le débit d'air traversant les aérateurs, et c'est pourquoi la différence de température diminue en fonction de cette valeur. Ainsi, avec un coefficient de décharge des aérateurs de l'ordre de 0,05, la répartition de la baisse de température intérieure est plus proche entre la simulation et les mesures, ce qui indique que cette valeur est plus adaptée. Nous prendrons cela en considération pour les prochaines simulations effectuées.

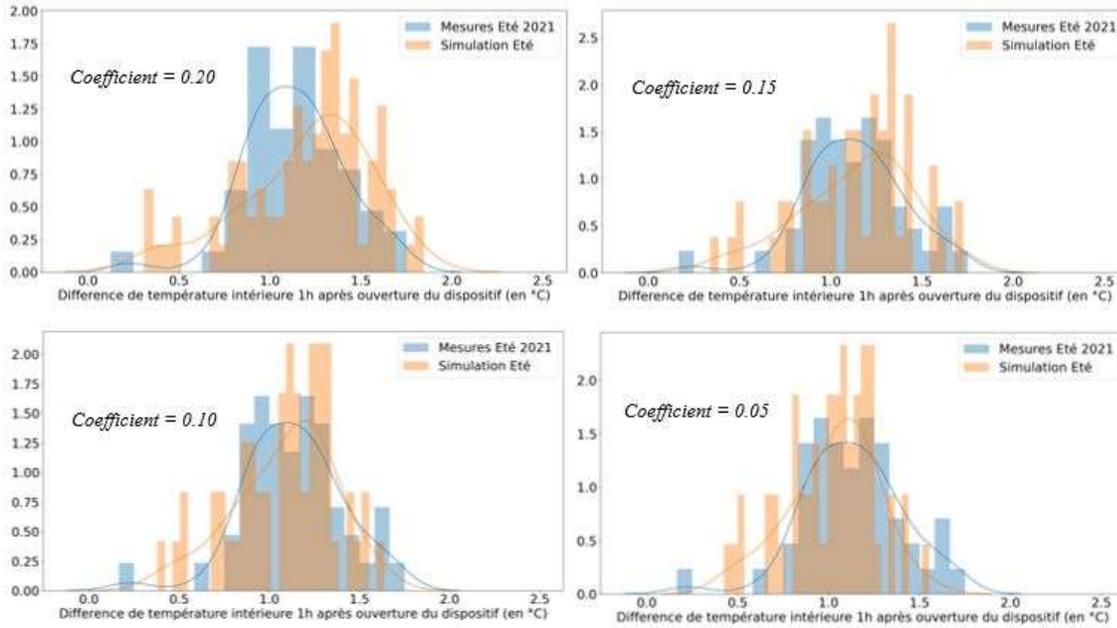


Figure 5 : Distributions de la différence de température intérieure avec les différentes valeurs du coefficient de décharge

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. CARACTERISATION DU POTENTIEL DE RAFRAÎCHISSEMENT DES AERATEURS

Afin de caractériser au mieux le potentiel de rafraîchissement, la Figure 6 montre la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur pour la simulation ainsi que pour les mesures, ceci lors de la période d'ouverture du système sur l'été. En effet, au moment de l'ouverture, plus l'écart entre la température extérieure et la température intérieure est élevé, plus le potentiel de rafraîchissement est élevé. De plus, nous avons ici uniquement des différences de température positives puisque la température extérieure est en moyenne plus faible que la température intérieure pendant la nuit. Aussi, on voit qu'au début de la nuit (heure d'ouverture du dispositif), les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur sont plus élevées en mesures qu'en simulation. Cependant, cette différence de température augmente au fur et à mesure de la nuit en mesures pour re-diminuer en fin de nuit tandis qu'elle diminue très légèrement en simulation pour augmenter en fin de nuit. Etant donné que dans les deux cas la température extérieure baisse généralement de 22h à 6h, cela signifie donc que la température intérieure en mesures baisse, en moyenne, moins que celle en simulation. Finalement, cela montre principalement que le potentiel de ventilation naturelle sur le site expérimental est bien présent mais qu'il n'est pas valorisé correctement par le système.

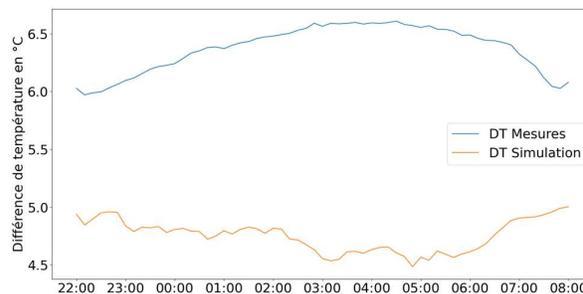


Figure 6 : Différences de température moyennes entre l'intérieure et l'extérieure en période d'ouverture du système

Nous avons ainsi observé que le potentiel de rafraîchissement diffère toujours entre les mesures et la simulation, avec une tendance plus optimiste en simulation ainsi qu'une dynamique relativement différente, et cela malgré le calibrage manuel sur le coefficient de décharge des aérateurs. Néanmoins à l'aide d'une approche comparative purement numérique, nous allons nous intéresser à l'impact du dispositif de ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur en fonction de différentes configurations numériques.

3.2. CARACTERISATION DE L'IMPACT DES AERATEURS SUR LA QUALITE DE L'AIR

A propos de l'efficacité des aérateurs en terme de qualité d'air intérieur, précisons en premier lieu que plus la concentration de CO₂ dans une pièce est basse, plus la qualité de l'air dans cette dernière est bonne. Ainsi, selon la norme NF EN 13779, une qualité de l'air est considérée comme basse à partir d'une valeur par défaut de 1200ppm. Cependant, nous nous sommes focalisés sur un indicateur de diminution de la concentration de CO₂ exprimé en ppm/min dans l'heure qui suit l'ouverture du dispositif (voir Figure 7), afin de mieux estimer l'impact des aérateurs sur la qualité de l'air dans le séjour. Pour ce faire, quatre configurations du dispositif ont été mises en place pour analyser les effets du système sur la qualité de l'air intérieur. Ces configurations sont les suivantes : Ouverture seule des aérateurs, Ouverture seule de la fenêtre de toit, Ouverture des aérateurs et de la fenêtre de toit (dispositif mis en place dans l'expérimentation), Aucune ouverture (sans ventilation naturelle)

La Figure 7 représente la distribution de cet indicateur selon chaque configuration simulée, avec la KDE en ordonnée. On voit directement que la vitesse de décroissance de CO₂ dans le séjour est maximale lorsque les aérateurs et la fenêtre de toit sont ouverts avec une baisse de 6ppm/min en moyenne, donc une diminution de 360ppm en une heure. Néanmoins, sans surprise du fait des faibles surfaces d'échange des aérateurs et de leur positionnement mono-façade, entre la configuration où seuls les aérateurs sont ouverts et celle sans ventilation naturelle, on remarque une différence relativement faible. Pour ces deux configurations, on obtient une diminution d'environ 200ppm dans l'heure suivant l'ouverture du dispositif. En revanche, il y a un petit écart (environ 1ppm/min) entre la configuration où seule la fenêtre de toit est ouverte et la configuration mise en place sur la maison expérimentale. Ce résultat montre l'efficacité de la ventilation naturelle traversante, et cela malgré une petite surface d'ouverture, qui permet de créer un courant d'air et ainsi avoir un meilleur renouvellement d'air dans la pièce.

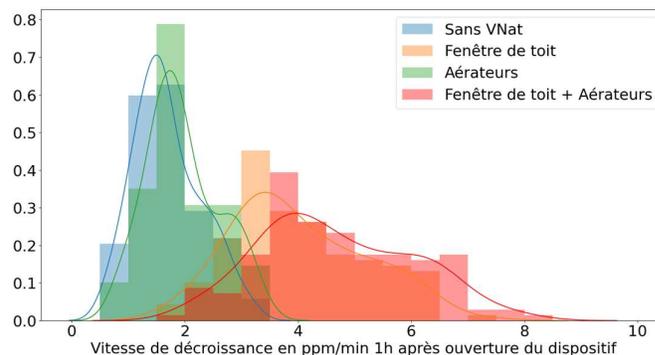


Figure 7 : Distribution de la vitesse de décroissance de CO₂ en fonction des quatre configurations

4. CONCLUSION

Cet article montre un potentiel assez élevé de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur ainsi qu'un potentiel de rafraîchissement passif relativement limité du dispositif de ventilation naturelle associant une fenêtre de toit et deux aérateurs dans le cas d'un logement individuel. Dans ce cadre, l'étude expérimentale a permis d'analyser l'impact des aérateurs couplés à la fenêtre de toit sur la température intérieure. De plus, une analyse paramétrique sur la valeur du coefficient de décharge des aérateurs a été réalisée afin de tenter d'ajuster le modèle numérique à la mesure. Ceci a permis de proposer des hypothèses de modélisation du dispositif de ventilation naturelle mis en place dans le séjour et de valider les résultats obtenus en simulation et en conditions réelles. Enfin, à partir du modèle numérique, une étude a été réalisée afin d'approfondir l'analyse des effets du système sur l'amélioration de la QAI.

L'étude numérique présentée ici montre une tentative d'amélioration de la modélisation des aérateurs, qui n'a cependant pas été entièrement satisfaisante au vu des résultats. Elle a aussi permis d'illustrer l'amélioration de la qualité de l'air intérieur grâce aux aérateurs. Il faudrait maintenant compléter l'instrumentation mise en place sur le site expérimental afin d'avoir des données de concentration de CO₂ et de bruit dans chaque pièce. L'amélioration de l'algorithme de pilotage au travers de l'activation du dispositif en fonction de différents paramètres d'entrées serait également une perspective intéressante et cela permettrait d'éviter les périodes d'inconfort froid en mi-saison.

Enfin, nous avons montré les atouts et les limitations de ces aérateurs dans une application résidentielle, qui n'est pas l'utilisation prévue initialement pour ces produits. Cependant, dans les cas où les problèmes d'intrusion et d'inconfort acoustique extérieur sont bien présents, ces aérateurs sont une solution pertinente et peuvent être associés à une ventilation mécanique pour la qualité de l'air, et à un autre système passif pour le confort d'été. De plus, leur utilisation en période de mi-saison est également plus pertinente grâce à un potentiel de rafraîchissement plus élevé qu'en période estivale.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Mohamed, Sara, Lucelia Rodrigues, Siddig Omer, et John Calautit. 2021. « Overheating and Indoor Air Quality in Primary Schools in the UK ». *Energy and Buildings* 250 (novembre): 111291. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111291>.
- Nicol, F, et M Wilson. 2004. « The Effect of Street Dimensions and Traffic Density on the Noise Level and Natural Ventilation Potential in Urban Canyons ». *Energy and Buildings* 36 (5): 423-34. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.051>.
- Saleem, Ahmed Abdeen, Mahmoud Bady, Shinichi Ookawara, et Ali K. Abdel-Rahman. 2016. « Achieving Standard Natural Ventilation Rate of Dwellings in a Hot-Arid Climate Using Solar Chimney ». *Energy and Buildings* 133 (décembre): 360-70. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.001>.
- Sarkhosh, Maryam, Ali Asghar Najafpoor, Hosein Alidadi, Jamal Shamsara, Hanieh Amiri, Tittarelli Andrea, et Fatemeh Kariminejad. 2021. « Indoor Air Quality Associations with Sick Building Syndrome: An Application of Decision Tree Technology ». *Building and Environment* 188 (janvier): 107446. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107446>.
- Thomas, Nirmala M., Leonardo Calderón, Jennifer Senick, MaryAnn Sorensen-Allacci, Deborah Plotnik, Mengyang Guo, Yi Yu, Jie Gong, Clinton J. Andrews, et Gediminas Mainelis. 2019. « Investigation of Indoor Air Quality Determinants in a Field Study Using Three Different Data Streams ». *Building and Environment* 154 (mai): 281-95. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.022>.