
Projet Windifice - Système intelligent de la ventilation naturelle avec l'interface de visualisation et de pilotage

Zhe ZHOU¹

¹ Ingénieur, Zhe ZHOU, zhouzhe934@gmail.com

RÉSUMÉ. Ce résumé présente un système intelligent de ventilation qui pour but de faciliter le contrôle de l'ouverture et de la fermeture des baies vitrées au sein de notre maison, de notre appartement ou de notre bureau afin d'économiser l'énergie et d'améliorer le confort. Le projet comporte principalement 3 phases dans le processus. La 1^{ère} phase est l'acquisition des données, le système reçoit et combine les informations du service météo et du métropole, les mesures in-situ par les capteurs et les formulaires saisis par les occupants. La 2^{ème} phase est le traitement des données, le système modélise et simule l'évolution de la température intérieure en utilisant les données acquises précédemment. La 3^{ème} phase est l'exploitation des données, le système offre un panneau d'affichage et de contrôle, les clients peuvent afficher les informations utiles selon leurs souhaits et paramétrer le système selon leurs propres besoins.

ABSTRACT. This summary presents an intelligent ventilation system that aims to facilitate the control of the opening and closing of windows in our home, apartment or office to save energy and improve the comfort. The project involves mainly 3 phases in the process. The first phase is the acquisition of data, the system receives and combines information from the meteorological and the metropolis service, the in-situ measurements by the sensors and the forms entered by the occupants. The second phase is data processing, the system models and simulates the evolution of the indoor temperature using the data acquired previously. The third phase is the exploitation of the data, the system offers a bulletin board and control panel, the customers can display useful information according to their wishes and configure the system according to their own needs.

MOTS-CLÉS : IoT, Bâtiment Intelligent, Ventilation Passive, Bâtiment Positif, Smart City.

KEY WORDS: IoT, Smart Building, Passive Ventilation, Eco-construction, Smart City.

1. Introduction

En France, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie avec 43% de la consommation totale finale et 25% des émissions de gaz à effet de serre [CUI 15].

Sous l'impulsion de réglementations thermiques de plus en plus exigeantes, les immeubles d'habitation et de bureau ont suivi des tendances constructives fortement orientées vers la réduction des besoins de chauffage, avec l'amélioration de l'isolation thermique et de l'imperméabilité à l'air de l'enveloppe. Si ces tendances constructives ont permis effectivement une réduction très importante des besoins de chauffage dans les bâtiments neufs, elles ont contribué à l'apparition de problèmes de confort d'été, exacerbés par l'emploi croissant d'un grand nombre d'équipements électriques et la tendance architecturale à augmenter le taux de surface vitrée.

Notre projet s'est déroulé au sein de l'IMREDD où les parois vitrées sont constituées plus 90% de surface totale de l'enveloppe extérieure. L'apporte de rafraîchissement par la ventilation passif en minimisant l'attaque du rayonnement solaire s'agit d'un enjeu principal et important.

Parmi les axes de recherche permettant une économie énergétique des bâtiments, le rafraîchissement par la ventilation semble une bonne tentative qui permet de remédier à la contradiction entre la demande de surface vitré et la demande de diminution de consommation.

Aussi parce qu'en climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs, la ventilation naturelle, pilotée par l'occupant, est une solution simple et efficace qui peut apporter un confort thermique acceptable si celle-ci est utilisée intelligemment. Nous nous intéressons donc de développer un système de notification et de pilotage de la ventilation naturelle des bâtiments. D'où vient la naissance du projet Windifice.

Windifice a pour but de proposer un système d'information des occupants d'immeubles d'habitation ou de bureaux, sur l'opportunité d'ouvrir ou non les fenêtres pour obtenir un meilleur confort thermique l'été et en mi-saison.

Ce projet peut tout de même être décomposé en trois phases principales en fonction des process : l'acquisition des données, le traitement des données et l'exploitation des données.

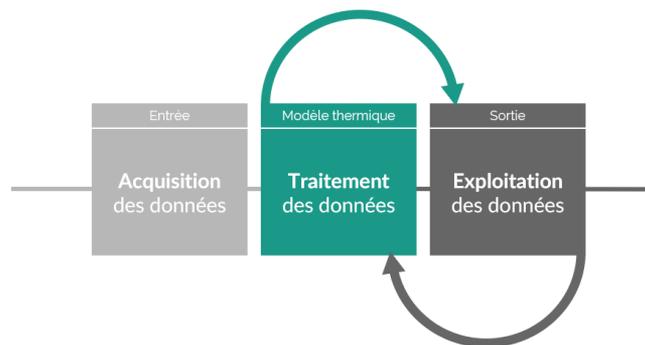


Figure 1. *Processus du projet Windifice.*

2. Développement du système

2.1. Acquisition des données

L'acquisition des données est une phase primordiale qui est pour le but d'obtenir les éléments nécessaires afin de pouvoir modéliser et simuler l'évolution de la température intérieure. Afin de trouver une meilleure compromise entre la précision et la complexité du système. Nous avons décidé d'utiliser 3 sources des données : la service météo et métropole, les mesures in-situ et les formulaires saisis par des occupants.

La métropole de Nice a mise en place une série de prestation et de service en vue de concevoir et de construire un futur Smart City. En utilisant ces dispositifs, nous pouvons surveiller et gérer la qualité de l'air, le paysage sonore ainsi que savoir la météo en temps réel.

Les mesures in-situ ont été réduites et optimisées afin de minimiser l'impact et la pénétration dans la vie quotidienne. D'ailleurs, trop de capteurs gonflent rapidement le coût d'investissement et le frais d'intervention et de maintenance. Nous détecterons donc simplement les températures et le profil du vent.

En ce qui concerne le dernière source, nous avons développé une série de formulaires aidant notre utilisateur à saisir aisément les valeurs. Ce sont des facteurs qui ne sont pas facile à obtenir sur place car ils demandent souvent les instruments coûteux ou pesants.

Toutes les données obtenues sont récupérées et transmises via le protocole Wi-Fi à un serveur dédié car c'est un des meilleurs moyens de transférer les données à travers tout le bâtiment entre les différents étages, et surtout le Wi-Fi est équipé partout dans notre vie quotidienne aujourd'hui, nous pouvons simplement en profiter. Faisant des calculs nécessaires, le serveur simule et affiche les résultats intéressants aux clients. Les clients peuvent ensuite interagir et paramétrer tout le système via notre application web.

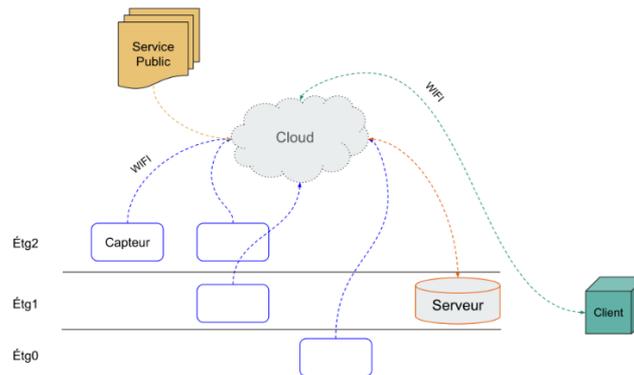


Figure 2. Protocole de transmission de données acquises.

2.2. Traitement des données

Nous avons donc résolu le problème d'acquisition des données, nous pouvons ensuite les injecter dans notre moteur de calcul qui est préinstallé dans le serveur dédié. Le moteur que nous avons proposé se base sur le **bilan thermique sensible** mais il a été simplifié et généralisé pour qu'il puisse s'adapter aux conditions variées et aussi pour qu'il ne soit pas trop lourd en termes du temps de calcul car nous souhaitons pouvoir contrôler le système en temps réel.

L'équation est montrée ci-dessous :

$$0 = \underbrace{Q_m C_{pas} (T_e^t - T_i^t)}_{\text{Infiltration d'air frais}} + \underbrace{\sum S_k U_k (T_e^t - T_i^t)}_{\text{Conduction thermique}} + \underbrace{CI_s}_{\text{Charge interne sensible}} + \underbrace{SE}_{\text{Rayonnement solaire}} + \underbrace{P_{clim}}_{\text{Apport de climatisation}}$$

Figure 3. Modèle thermique simplifié.

Avec : Q_m , le débit d'air entrant. C_{pas} , la chaleur spécifique de l'air, est constant et égale à $1005 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. T_i , la température intérieure. T_e , la température extérieure. S_k , la surface de la paroi. U_k , la conductance des parois. CI_s , la chaleur interne sensible. SE , l'apport du rayonnement solaire. P_{clim} , la chaleur climatique.

Le problème majeur est sur la détermination du **débit d'air entrant** Q_m . Durant ce projet, nous avons utilisé le modèle empirique proposé par Warren et Parkins [WAR 85].

¹ Capacité thermique massique à pression constante dans les conditions normales de température et de pression

$$q_{th,Warren} = \frac{1}{3} A \cdot C_D \cdot \sqrt{\frac{\Delta T \cdot H \cdot g}{\bar{T}}} \quad [1]$$

$$q_{vent,Warren} = 0.025 \cdot A \cdot V_{vent} \quad [2]$$

$$q_{Warren} = \max(q_{th,Warren}; q_{vent,Warren}) \quad [3]$$

[WAR 85] propose deux expressions pour calculer le débit de ventilation dû à l'effet thermique et celui dû au vent. Puis pour combiner l'effet du vent et l'effet thermique, ils proposent de prendre le maximum entre les deux débits calculés.

L'autre grande problématique de notre équation est de trouver **les températures adjacentes**, c'est-à-dire, la température de toutes les pièces entourant la pièce étudiée. Nous pouvons bien sûr ajouter pleins de capteurs dans toutes les pièces. Mais cette stratégie n'est pas judicieuse et nous souhaitons que notre système soit capable de fonctionner autonome et de déduire la température intérieure sans capteurs. Nous avons reformé notre bâtiment en multizones et nous admettons que la température du sol à une profondeur infinie est égale à la moyenne des variations de la température extérieure [CHA 80]. Avec la température du sol², nous estimons et déduisons tous les températures du bâtiment en appliquant notre formule proposée à la *Figure 3*.

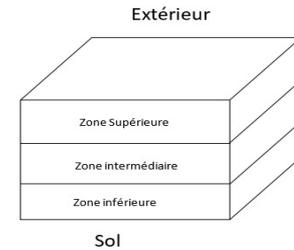


Figure 4. Schéma des zonages.

$$\begin{cases} 0 = Q_m C_{pas} \rho_{as} (T_e - T(sup)) + S_{pb} U_{pb} (T(int) - T(sup)) + S_{ph} U_{ph} (T_e - T(sup)) + S_{mur} U_{mur} (T_e - T(sup)) + CI_s + SE \\ 0 = Q_m C_{pas} \rho_{as} (T_e - T(int)) + S_{pb} U_{pb} (T(int) - T(int)) + S_{ph} U_{ph} (T(sup) - T(int)) + S_{mur} U_{mur} (T_e - T(int)) + CI_s + SE \\ 0 = Q_m C_{pas} \rho_{as} (T_e - T(int)) + S_{pb} U_{pb} (T(sol) - T(int)) + S_{ph} U_{ph} (T(int) - T(int)) + S_{mur} U_{mur} (T_e - T(int)) + CI_s + SE \end{cases} \quad [4]$$

Où l'indice *Pb* signifie le plancher bas, l'indice *Ph* signifie le plancher haut, l'indice *mur* signifie le mur extérieur.

Nous devons ainsi connaître **la charge interne sensible**, c'est-à-dire, l'apport thermique interne du local. Cela consiste souvent :

- Apport de chaleur par les occupants
- Apport de chaleur par l'éclairage
- Apport de chaleur par les équipements divers

Le calcul des apports de chaleur sensible dépend étroitement de condition du local. Les nombres des occupants ainsi que les équipements utilisés change totalement la charge apportée. C'est pour cela nous avons développé une interface intuitive afin de faciliter les saisies des données. L'application s'effectue automatiquement le calcul en fonction du type d'activité et des scénario prédéterminés.

Et les composants des parois afin de savoir leurs **conductances thermiques**.

Type de paroi	Matériaux	Ep [mm]	λ [W·m-1·K-1]	U [W·m-2·K-1]
Mur extérieur	Béton haute densité	200	1.95	0.2164
	Polyuréthane	110	0.025	
	Plaque de plâtre	19	0.16	
Mur intérieur	Plaque de plâtre	13	0.16	0.7426
	Laine de roche	45	0.038	
	Plaque de plâtre	13	0.16	
Vitrage	Verre	4	0.9	1.1139
	Argon	16	0.018	
	Verre	4	0.9	

Tableau 1. Extrait du tableau de composition détaillée des parois.

Le dernier facteur est de trouver **le gain d'énergie solaire**. Les gains de chaleur solaire viennent du rayonnement transmis directement par le vitrage transparent et de l'énergie absorbée par les éléments de la fenêtre

² A Nice, T(sol) = 14.8°C <https://fr.climate-data.org/location/714782/>, consulté 21/07/2017

et retransmise dans l'espace intérieur. Afin de faciliter la première approche de calcul du rayonnement absorbé, nous avons considéré que le plancher bas est une corp noire et nous avons éliminé les rayonnements diffus. Notre but est d'estimer, à chaque l'instant, le flux solaire et la surface totale ensoleillée du plancher bas pour déterminer le gain de chaleur. [BEC 11] a décrit une méthode qui permet de calculer d'un seuil de radiation solaire directement lié à la position du soleil, et d'en déduire l'énergie maximale reçue en tout point du globe dans un intervalle de temps donné. Par ailleurs, à l'aide de la *Figure 6*, nous pouvons trouver la périodicité d'ensoleillement sur le plancher : le plancher est entièrement ensoleillé lorsque l'angle du soleil est inférieur à 27.4397° .

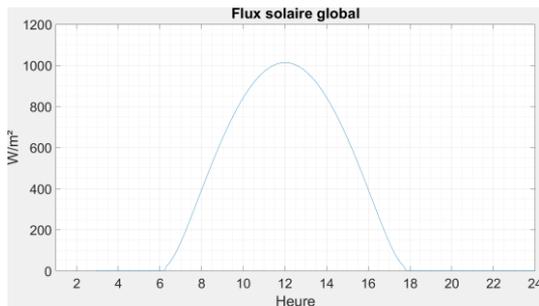


Figure 5. Flux solaire du 28 fév. au local étudié.

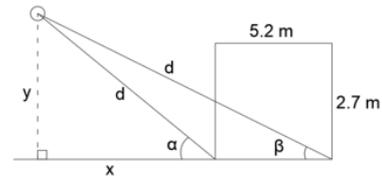


Figure 6. Représentation schématique de l'angle solaire.

2.3. Exploitation des données

« Windifice » propose une interface centrale manipulable et informatique, avec une configuration conviviale et simple pour gérer efficacement le système, c'est-à-dire, avec un niveau de langage courant, compréhensible pour des usagers qui ne sont pas censé de connaître les notions compliquées.

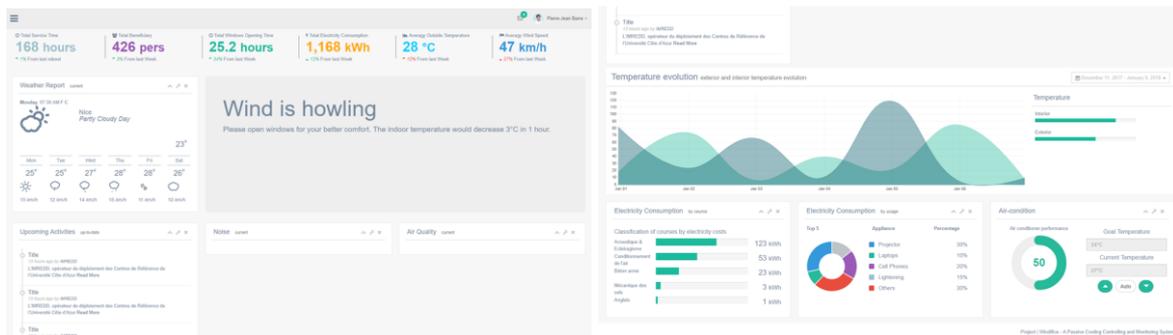


Figure 7. Vue globale de l'interface « Windifice ».

3. Conclusion et perspective

L'utilisation du rafraîchissement naturel existe depuis des siècles, nous pouvons par exemple trouver le « Tour du vent » en Iran, la ruine de Knossos en Grèce ou encore les corridors dans les parcs de Suzhou en Chine. Cette stratégie intelligente se trouve également dans la nature, comme des tourelles d'aération poreuses, qui peuvent capter l'air extérieur et le distribuent dans la fourmilière.

Aujourd'hui, avec les outils informatiques révolutionnaires, nous réfléchissons à nouveau cette stratégie dans notre conception du futur bâtiment. Notre bâtiment doit non seulement être adapté à son environnement géographique mais aussi être adapté à son environnement climatique. Le bâtiment doit être implanté en fonction du soleil, des vents dominants... Enfin et surtout, le bâtiment doit harmoniser des comportements et des activités divers des occupants. Donc nous avons privilégié la solution de la ventilation naturelle, qui est un moyen relativement simple et potentiellement efficace pour éviter ou limiter le recours à la climatisation et aussi pour améliorer significativement le confort.

Enfin, la vraie application de cette stratégie nécessite un effort à travers de l'ensemble corps d'état : le maître d'ouvrage doit prendre connaissance de l'importance et le gain potentiel de la ventilation passive, l'architecte doit collaborer et communiquer étroitement avec les bureaux d'études, le promoteur doit informer et sensibiliser les acheteurs et les occupants. Pour que l'étude mets en pratique dans des opérations réelles, nous devons réagir ensemble pour bâtir le beau futur.

4. Bibliographie

- [BEC 11] BECKERS, B., BECKERS, P. (2011). Calcul du rayonnement solaire atténué par l'atmosphère. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 51, 5-16.
- [CHA 80] Frédéric, C. (1980), "Habitat enterré : terratecture," *Omeka / SGDE du réseau Archirès*
- [CUI 15] Cui, S. (2015). *Modélisation de la ventilation naturelle en vue d'une conception optimisée d'ouvertures vitrées* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris).
- [WAR 85] WARREN P.R, PARKINS L.M, « Single-sided ventilation through open window », in: *ASHRAE SP49* (1985)