

Stratégie de Rafraîchissement passif par dispositif de ventilation naturelle basé sur la cage d'escalier : simulation thermo-aéraulique d'un habitat collectif en Algérie

AIT KACI Zouhir^{#1}, BOUSSOUALIM Aicha^{*2}

[#] *Laboratoire architecture et environnement (LAE), Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU). Département d'architecture, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*

¹zaitkaci@yahoo.com

^{*} *Laboratoire Architecture et Environnement (LAE), Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme*

²a.boussoualim@epau-alger.edu.dz

Résumé— Ce travail de recherche consiste à étudier la possibilité d'intégrer la cage d'escalier dans une stratégie de rafraîchissement passif basée sur la ventilation naturelle d'un habitat collectif en Algérie, et ce, en considérant cet espace comme un conduit vertical d'air qui contribue à renforcer le rafraîchissement passif des logements. Pour cela, nous avons procédé à des simulations thermo-aérauliques à l'aide du logiciel ECOTECT ANALYSIS 2011 couplé à WINAIR4. Différents scénarios ont été établis sur la base de la typologie des bâtiments qui ont servi de modèles (gabarits, nombre de logements par palier), de la configuration spatiale de la cage d'escalier et sa relation avec les logements ainsi que du contexte climatique algérien (données climatiques d'Alger et de Biskra). L'objectif principal de ce travail de recherche est de développer une stratégie de rafraîchissement passif basée sur un dispositif de ventilation naturelle qui se repose essentiellement sur la spécificité géométrique et thermo-aéraulique de la cage d'escalier.

Mots clés— ventilation naturelle, rafraîchissement passif, cage d'escalier, habitat collectif, thermo-aéraulique.

I. INTRODUCTION

En Algérie, dans un contexte où la surconsommation d'énergie dans le bâtiment demeure problématiques et la demande de logements neufs est en augmentation considérable (1,6 million de logements sont programmés durant quinquennat 2015-2019) [1], la recherche de nouveaux procédés et de solutions passives capables de renforcer la ventilation naturelle dans l'habitat collectif devient une priorité pour ne pas dire une exigence. Ajouter à cela, l'Algérie, à l'instar de beaucoup d'autres pays, accuse un retard énorme en matière d'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment. Dans le but de contribuer à l'efficacité énergétique, nous avons l'intention d'explorer une nouvelle stratégie de rafraîchissement passif de l'habitat collectif en Algérie basée sur ventilation naturelle. C'est dans cette optique que nous nous sommes intéressés à la cage d'escalier, un espace indispensable dans l'habitat collectif de par sa fonction de transition verticale, mais souvent considérée comme secondaire dans la conception architecturale des bâtiments résidentiels. Notre approche consiste à reconsidérer cet espace, au-delà de sa fonction initiale, en tant qu'élément important dans le comportement thermo-aéraulique d'un bâtiment de par sa configuration spatiale. Cette réflexion nous a conduits à

explorer la possibilité d'intégrer la cage d'escalier dans une stratégie de ventilation naturelle qui vise à contribuer au rafraîchissement passif et à l'amélioration de la qualité de l'air à l'intérieur des logements.

Le but principal de ce travail est d'évaluer, dans différentes situations, le comportement thermo-aéraulique de la cage d'escalier pour mettre en exergue son apport dans la ventilation naturelle et le confort thermique des habitants à l'intérieur des logements. l'objectif principal de ce travail de recherche est à la fois de démontrer que la cage d'escalier peut être conçue comme élément principal d'une stratégie de rafraîchissement passif en améliorant la ventilation naturelle des logements, et de contribuer à une nouvelle approche qui appréhende la cage d'escalier non plus comme un élément secondaire qui se résume à sa fonction initiale de circulation verticale, mais comme un espace déterminant dans le rafraîchissement passif de l'habitat collectif en Algérie.

II. ANALOGIE BATIMENT/SYSTEME DE VENTILATION

Dans notre approche, nous appréhendons, par analogie, le bâtiment en tant qu'un système de ventilation [4]. C'est sur la base de cette analogie que nous considérons un bâtiment comme un système thermo-aéraulique composé de plusieurs éléments de différentes natures (parois, ouvertures, espaces intérieurs, toiture, conduits...) agencés (organisation spatiale, configuration architecturale, morphologie...) en fonction d'une finalité précise (ventilation efficace) [3]. Ces éléments s'interagissent (flux d'air, transferts de chaleur...) et constituent un ensemble cohérent séparé par une frontière (parois extérieures, ouvertures) de son environnement, avec lequel il établit des échanges dynamiques (fluctuation dans le temps). Nous considérons que la cage d'escalier joue un rôle important dans ce système de ventilation qui est le bâtiment à travers sa position et sa configuration spatiale.

Cette analogie nous permet, tout au long du processus de conception, d'approcher la problématique de la ventilation naturelle d'une manière plus globale et d'apprécier l'impact de nos choix architecturaux sur le comportement thermo-aéraulique du bâtiment et d'anticiper d'éventuelles conséquences négatives (confinement, espace mal ventilé...).

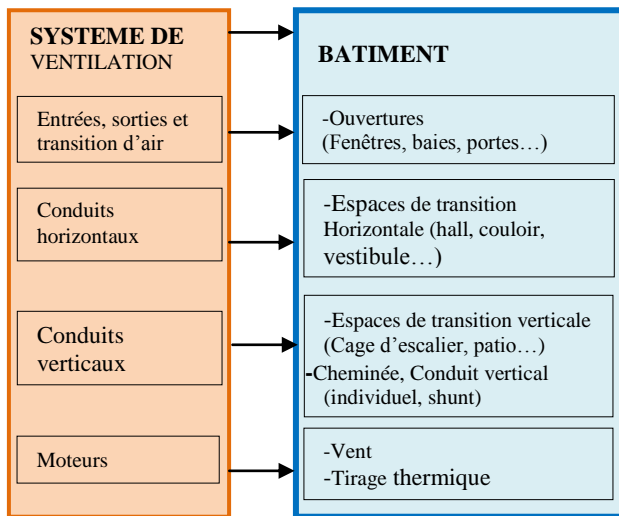


Fig. 1 Analogie bâtiment - système de ventilation

III. PROTOCOLE DE SIMULATION

Nous avons procédé à une série de simulations thermo-aéroulque à l'aide du logiciel ECOTECT ANALYSIS 2011 [2] qui assure la modélisation et le calcul thermique couplé à WINAIR 4 qui prend en charge le calcul aéroulque (CFD) de la simulation [5], afin d'évaluer l'apport de la cage d'escalier dans le rafraîchissement passif du bâtiment. Pour cela nous avons établi différents scénarios visant à simuler des situations proches du contexte climatique algérien.

Le but est d'évaluer le comportement thermo-aéroulque du bâtiment avant et après l'intégration de la cage d'escalier dans une stratégie de rafraîchissement passif basée sur la ventilation naturelle.

A. Modèles de bâtiment choisis

Nous avons modélisé avec ECOTECT deux bâtiments, qui ont servi de modèles tout au long des simulations (Fig. 2), à savoir :

- Modèle 01: Un bâtiment de R+4 avec deux logements par palier.
- Modèle 02: Un bâtiment de R+6 avec quatre logements par palier.

Ce choix a été motivé par les critères suivants :

-Deux typologies très répandues dans l'habitat collectif en Algérie, notamment dans les ZHUN (zones d'habitat urbain nouvelles) en Algérie. Les gabarits R+4 et R+6 avec RDC à usage commercial, des typologies très représentatives.

-Les phénomènes considérés par notre recherche à savoir l'effet cheminée et captage du vent sont proportionnels à la hauteur du bâtiment [6], les gabarits R+4 et R+6 étant une moyenne des hauteurs qu'on retrouve sur le terrain. Ils constituent un échantillon représentatif.

-Le choix d'un bâtiment avec quatre logements par palier pose la problématique de la ventilation naturelle dans le cas d'une mono-exposition. Ce modèle permettra de tester d'éventuelles solutions basées sur la cage d'escalier pour améliorer le rafraîchissement passif dans ce type de bâtiment.

Les différents plans qui ont servi pour modéliser les deux modèles utilisés dans les simulations ont été dessinés avec le logiciel AUTOCAD 2013, développé par la même société d'édition qu'ECOTECT ANALYSIS 2011 à savoir AUTODESK, ce qui a facilité le transfert des données entre les deux logiciels du fait de leur compatibilité.

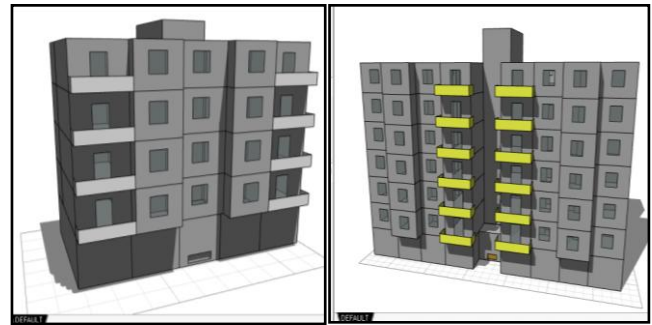


Fig. 2 à gauche modèle 01, à droite: modèle 02

B. Scénarios de simulation

Deux principaux scénarios de simulation ont été donc élaborés dans le but de comparer le comportement thermo-aéroulque de la cage d'escalier avant et après son intégration dans une stratégie de ventilation naturelle, tout en s'inscrivant dans deux zones climatiques différentes. Le tableau 01 décrit les deux scénarios qui ont servi à l'élaboration des simulations.

TABEAU 01
TABEAU DES SCENARIOS ET DU PROTOCOLE DE SIMULATION

Scenarios	Modèles	Stratégies de ventilation naturelle	Contextes Climatiques
01	Modèle 01 Bâtiment R+4 2 Logts par palier	Cage d'escalier "Tour à vent" /Rafraîchissement d'été.	Climat semi-aride (Biskra) Le mois le plus chaud : juillet. Tm = Te= 34.4 °C, HR = 26%. Vent frais nord : Vm =4.3m/s
02	Modèle 02 Bâtiment R+6 4 Logts par palier	Cage d'escalier "Cheminée d'extraction" Ventilation Traversante	Climat Méditerranéen (Alger) Le mois le plus chaud : août. Tm max = Te = 32.7°C, HR = 69%, Brise de mer =0.1 m/s

(Dans le tableau, Logts= logements, Tm= température moyenne, Te= température extérieure, Tm max= température moyenne maximale, HR= humidité relative, Vm= vitesse moyenne du vent)

IV. SCENARIO 01: CAGE D'ESCALIER "TOUR A VENT"

A. scénario climatique

A travers une série de simulations nous allons évaluer l'apport de la cage d'escalier en terme de rafraîchissement passif des logements dans un habitat collectif, situé dans un climat semi-aride (Biskra), comme solution au stress d'été. La stratégie de ventilation recherchée est le rafraîchissement d'été. Afin de simuler le contexte climatique d'un bâtiment d'habitation collectif dans la ville de Biskra nous avons introduit les données climatiques de Biskra en format WEA

dans ECOTECT (Source: Office National de Météorologie de dar El Beida, Alger).

Pour le paramétrage du logiciel WINAIR 4, nous nous sommes basés sur les hypothèses suivantes :

- La température extérieure utilisée et celle d'une journée du mois de juillet ayant la température moyenne la plus élevée de l'année à savoir 34.4°C, celle-ci est insérée dans le champ de la température de l'air intérieur de WINAIR 4 (Int. Température) [5], afin de se mettre dans la situation la plus défavorable (résistance thermique des parois très faible). Humidité relative moyenne est de 26%.
- Présence de vent Nord-ouest d'une vitesse de 4.3 m/ s (vents dominants), la température de l'air entrant est fixée à 28 °C, cette température est basée sur le potentiel du refroidissement de la tour à vent avec intégration d'un système d'humidification [8].

b. variantes du bâtiment- modèle de simulation

Dans ce scénario, nous avons utilisé deux variantes du modèle 01 à savoir un bâtiment de R+4 avec deux logements par palier afin de comparer entre les cas suivants :

1) *Variante 01*: la cage d'escalier ne possède aucune connexion aéraulique avec les logements, les portes d'entrées de ces derniers ne contiennent pas d'ouvertures sur les paliers. Le volume de la cage d'escalier déborde de 1,50 m sur la toiture avec une trappe d'accès de service fermée, une configuration classique dans l'habitat collectif en Algérie.

2) *Variante 02/Modèle 01*: Cette variante va servir à simuler une stratégie de rafraîchissement passif basée sur une cage d'escalier ayant un toit sous forme de capteur à vent afin d'acheminer de l'air frais à l'intérieur des logements. Ce dispositif se présente comme suit:

-Le toit de la cage d'escalier est sous forme de capteur à vent à l'image du Malqaf égyptien [9] et déborde de 3.5 m de la toiture et possède une ouverture orientée nord (vents frais).

-La porte d'entrée de chaque logement possède deux ouvertures sur le palier de la cage d'escalier, une dans la partie supérieure qui sert à évacuer l'air chaud et l'autre dans la partie basse pour faire pénétrer l'air frais.

-Les ouvertures doivent être auto-réglables afin d'éviter les phénomènes de refoulement en hiver. À cet effet, l'entrée d'air du capteur à vent doit être accessible afin de pouvoir la refermer en hiver. Un ventilateur d'extraction peut être intégré afin de pallier les insuffisances du tirage thermique et de la force du vent en hiver [10].

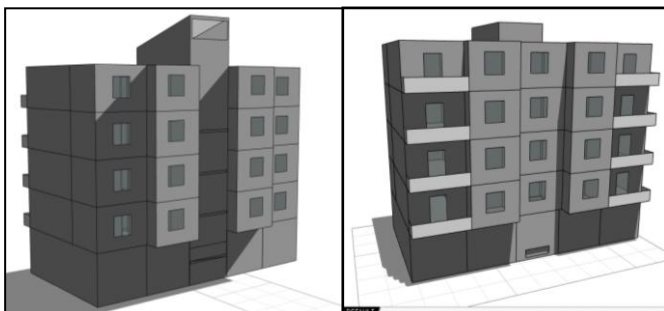


Fig. 3 à gauche: Variante 02/ Modèle 01, à droite Variante 01/ Modèle 01

V. LECTURE ET INTERPRETATION DES RESULTATS DU SCENARIO 01

Pour bien apprécier l'apport de la cage d'escalier dans le rafraîchissement passif des espaces intérieurs d'une manière concrète, nous avons comparé entre les résultats de simulations de la variante 01 et la variante 02 en visualisant les différents "Outputs" des simulations, sous forme de captures d'écran des résultats affichés sur la grille d'analyse d'ECOTECT.

Les captures d'écran sur les résultats des simulations en plan sont faites au niveau du premier étage, car a priori, c'est la situation la plus défavorable à cause de son éloignement de l'entrée d'air du capteur à vent. Les résultats obtenus concernent les profils de vitesse et les directions des flux d'air ainsi que les profils de températures, une légende en couleurs est associée à chaque illustration afin d'apprécier les grandeurs.

A. Comparaison des profils de vitesse des flux d'air

La fig. 4 illustre la vitesse et le sens des flux d'air dans la variante 01, l'air se déplace seulement à l'intérieur de la cage d'escalier, aucun mouvement d'air n'est enregistré à l'intérieur des logements, car leurs portes d'entrée n'ont pas d'ouvertures sur le palier. Par contre, La fig. 5 montre bien que dans le cas de l'intégration d'un capteur à vent avec ouverture sur palier dans chaque porte d'entrée, on observe la pénétration des flux d'air à l'intérieur des logements, d'après la lecture du profil de vitesse des flux d'air, le séjour qui est sur le même axe que la porte d'entrée reçoit plus de flux d'air par rapport aux chambres éloignées.

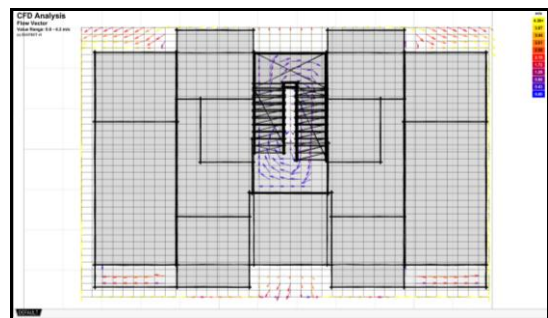


Fig. 4 Vue en plan de la vitesse des flux d'air, Variante 01

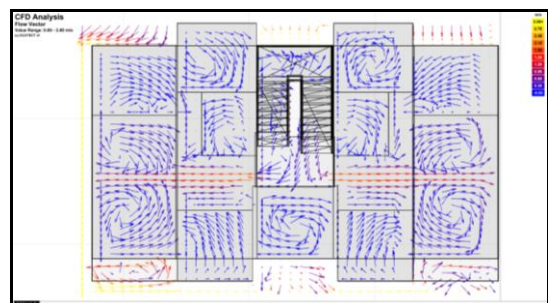


Fig. 5 Vue en plan de la vitesse des flux d'air, Variante 02

La fig. 6, qui illustre des coupes au niveau de la cage d'escalier, fait apparaître le profil de l'écoulement d'air à travers le capteur à vent. On note une diminution de vitesse proportionnelle à l'éloignement de l'entrée d'air du capteur à

l'intérieur de la cage d'escalier. Toutefois, on ne retrouve plus cette logique au niveau des ouvertures des portes d'entrée des logements, les vitesses d'entrée de l'air fluctuent aléatoirement et n'obéissent pas au principe observé à l'intérieur de la cage d'escalier. Au premier étage, étant le plus éloigné du capteur à vent, la vitesse de l'air devrait être la plus faible, mais la simulation indique une vitesse d'entrée de l'air (1.28 m/s) supérieure à celle du deuxième étage (1.04 m/s), tandis que le troisième étage enregistre la vitesse la plus importante (1.31 m/s), alors que le dernier étage, le plus proche du capteur à vent, indique la vitesse la plus faible (0.67 m/s).

De telles valeurs reflètent le côté imprévisible de l'air et surtout la difficulté d'anticiper son mouvement. Cette fluctuation des vitesses de l'air au niveau des ouvertures situées sur les portes des logements est a priori "aléatoire", mais une étude thermo-aérodynamique plus poussée de la configuration spatiale de la cage d'escalier et de son rapport avec celle des logements, peut éventuellement en déceler les causes de ce phénomène, car la distribution des pressions à l'intérieur est intimement liée à la forme des composants solides qui constituent et délimitent l'environnement intérieur.

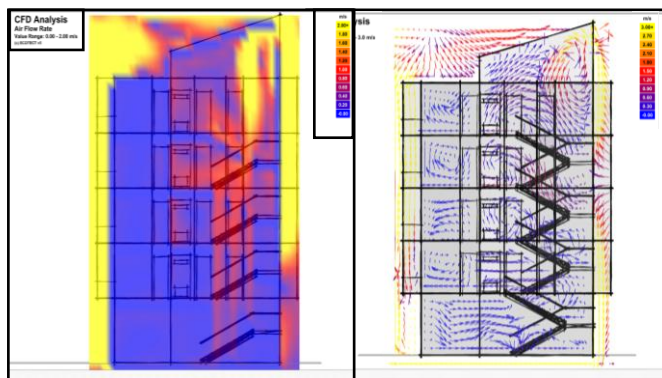


Fig.6 Vue en coupe du profil de vitesse et des directions des flux d'air. Variante 02

B. Comparaison des profils de températures intérieures

Dans la Fig. 8 l'absence de connexions aérodynamiques entre l'intérieur des logements et le volume d'air de la cage d'escalier a fait que les températures intérieures soient élevées et inconfortables (34.55°C). Car il n'y a pas eu de rafraîchissement à cause de l'absence d'ouvertures sur les portes d'entrée des logements et sur le capteur à vent. La Fig. 9 illustre, à travers le profil des températures du premier étage, le potentiel considérable du dispositif "cage d'escalier associée à un capteur à vent en termes de rafraîchissement passif [9]. Les températures intérieures qui ont été réglées sur 34.4°C (température moyenne du mois de juillet à Biskra) ont baissé jusqu'à 28.20°C, avec l'introduction d'un air frais de 28°C à l'intérieur des logements. Une température qui est relativement confortable dans ce genre de climat et qui permet de faire d'importantes économies d'énergie sur les systèmes actifs de climatisation.

Il est important de préciser que ces résultats ne sont que des indicateurs sur l'efficacité de ce système, leur précision est limitée, car ces simulations ne se sont pas focalisées sur la

nature et les caractéristiques des matériaux, ni sur le rôle de l'isolation et de l'inertie thermique des parois.

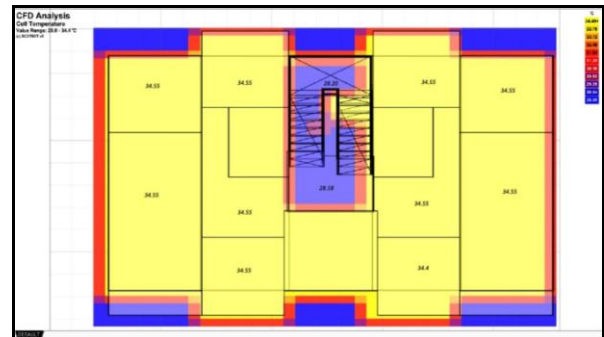


Fig. 8 Vue en plan du profil des températures intérieures. Variante 01

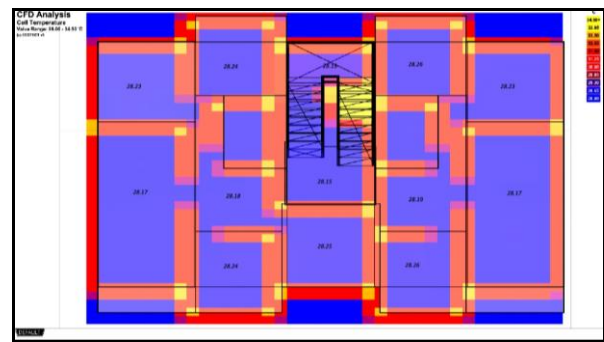


Fig. 9 Vue en plan du profil des températures intérieures. Variante 02

VI. SCENARIO 02: CAGE D'ESCALIER "CHEMINÉE D'EXTRACTION"

Ce scénario a été élaboré dans le but d'évaluer l'apport de la cage d'escalier comme cheminée d'extraction dans un système de ventilation naturelle dans l'habitat collectif en Algérie, en climat méditerranéen (Alger) en été.

L'objectif de base de ce scénario est d'évaluer le rôle de la cage d'escalier fonctionnant comme une grande cheminée d'extraction dans un bâtiment d'habitation collectif à quatre logements par palier, en s'appuyant en grande partie sur le tirage thermique (effet cheminée) ainsi que sur la force du vent. Ce dispositif vise à explorer une solution aux insuffisances de la ventilation mono-façade très courante dans les bâtiments à quatre logements par palier [12], et cela, en créant un flux traversant à l'aide de la cage d'escalier, afin d'augmenter le rafraîchissement du logement.

A. scénario climatique

Pour le paramétrage de WINAIR 4 dans le cas d'un rafraîchissement d'été par une ventilation traversante avec une exposition mono-latérale, nous nous sommes basés sur les hypothèses suivantes :

La température extérieure utilisée et celle d'une journée d'août ayant la température maximale le plus élevée qui est de 32.7°C, celle-ci est introduite dans le champ de la température de l'air intérieur de WINAIR 4 (Int. Température), afin de se

mettre dans la situation la plus défavorable. L'humidité relative moyenne est de 69%.

Présence d'une légère brise de mer de 0.1m/s (vents frais), avec une température intérieure de 28 °C (Ext. Température), cette température est basée sur le potentiel de rafraîchissement de la mer dans les zones littorales en été.

B. Description des variantes du modèle de simulation

Dans ce scénario, nous avons utilisé deux variantes du modèle 02 (Fig. 10) à savoir un bâtiment de R+6 avec quatre logements par palier à savoir :

1) *Variante 01/ Modèle 02*: Dans ce cas de figure, la cage d'escalier ne possède aucune connexion aéraulique avec les logements, les portes d'entrée de ces derniers ne contiennent pas d'ouvertures sur les paliers. Le volume de la cage d'escalier déborde de 1,50 m sur la toiture avec une trappe d'accès de service fermée, une configuration classique dans l'habitat collectif en Algérie

1) *Variante 02/ Modèle 02*: dans ce cas de figure, la cage d'escalier possède des connexions aérauliques avec les logements, les porte d'entrées de ces derniers contiennent des ouvertures sur les paliers et les fenêtres sont ouvertes afin de canaliser les brises de mer du coté nord. Le volume de la cage d'escalier déborde de 3 m sur la toiture avec une ouverture d'extraction orientée en plein Sud pour la mettre en dépression (engendré par les brises de mer nord), afin de permettre l'évacuation de l'air chaud (poussé par l'air frais entrant par les fenêtres) à travers la cage d'escalier.

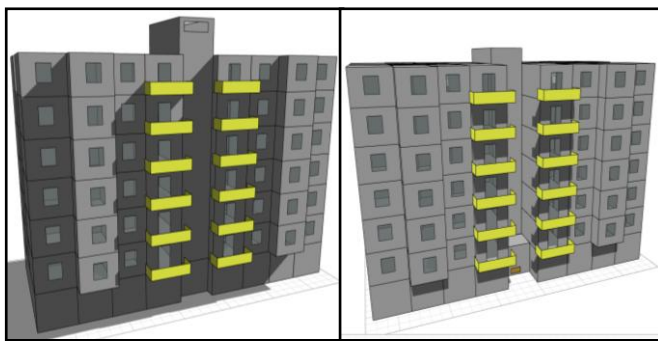


Fig. 10 à gauche: Variante 02/ Modèle 02, à droite Variante 01/ Modèle 02

VII. LECTURE ET INTERPRETATION DES RESULTATS DU SCENARIO 02

Dans ce scénario, nous allons analyser les résultats du scénario 02 à savoir la cage d'escalier jouant un rôle de "cheminée d'extraction" dans une stratégie de rafraîchissement d'été, afin d'induire une ventilation traversante, une solution à la problématique de l'insuffisance de la ventilation mono-latérale en termes de débit et de vitesse de l'air [3]. Cette situation est très fréquente dans les bâtiments à quatre logements par palier, agencés en bande linéaire (alignement sur un boulevard). Dans ce cas de figure, la cage d'escalier contribue à créer des courants d'air en reliant le côté face aux brises de mer (vent) en surpression, avec le côté opposé en dépression, à travers un écoulement d'air ascendant poussé par la différence de pression. Il est clair que l'ouverture au-dessus

de l'escalier doit être sous le vent (en dépression) afin de favoriser l'extraction de l'air chaud [13]. La Fig. 11 illustre le principe de cette stratégie de ventilation naturelle d'une manière très schématique

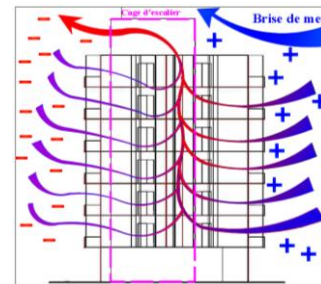


Fig. 11 Schématisation du principe de la ventilation naturelle traversante basée sur la cage d'escalier

A. Comparaison des profils de vitesse des flux d'air

La Fig. 12 (variante 01/ modèle 02) montre clairement que dans le cas où il n'y a pas d'ouvertures sur l'escalier (ventilation mono-latérale), le balayage des espaces intérieurs est nettement moins efficace dans le cas d'une ventilation mono-façade que dans le cas la Fig. 13 (variante02/ modèle 02). La relation entre l'air intérieur des logements avec celui de la cage d'escalier, assurée par les ouvertures placées sur les portes d'entrée de chaque logement, a engendré un flux traversant à l'intérieur des logements qui a augmenté les vitesses d'air au niveau des fenêtres (entrées d'air), par conséquent le balayage est plus efficace (dans la Fig. 13 le nombre de vecteurs a augmenté et leurs couleurs tirent plus vers le rouge par rapport à la Fig. 12).

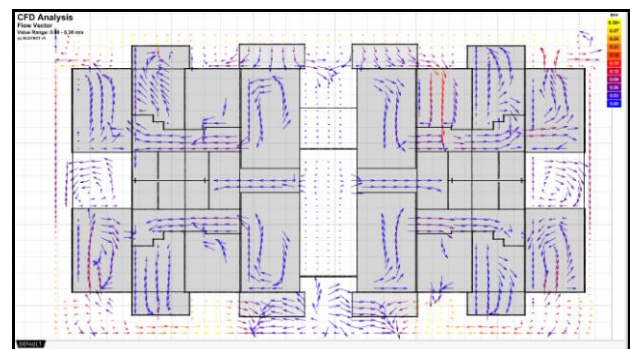


Fig. 12 Vue en plan profil de vitesse et directions des flux d'air, variante 01

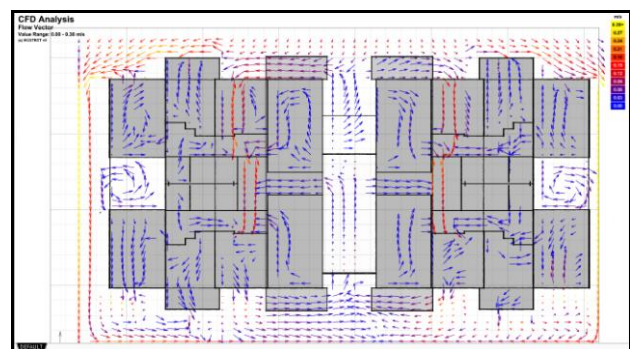


Fig. 13 Vue en plan profil de vitesse et directions des flux d'air, variante 02

B. Comparaison des profils de températures intérieures

La différence de vitesse et de débits d'air entre la ventilation mono-latérale et la ventilation traversante a un impact direct sur le taux de rafraîchissement [11]. Cet impact se lit clairement sur le profil des températures intérieures des deux variantes : Dans la Fig. 14, les températures intérieures des logements gravitent autour d'une moyenne de 29.50 °C et descendent jusqu'à 28.68 °C, alors que celle de la cage d'escalier, étant isolée de l'extérieur (absence d'ouvertures), indique une température inconfortable de 35.15 °C. Par contre, dans la Fig. 15, les températures intérieures des logements tournent autour des 28.90°C, et la température minimale enregistrée est de 28.32 °C, cependant la cage d'escalier affiche des températures moins importantes que celles de la Fig. 14, ceci s'explique par le transit d'un flux plus important d'air frais. Les températures les plus basses sont indiquées dans les deux cas du côté face à la brise de mer, ce qui est cohérent car les vitesses d'air y sont plus importantes que l'autre côté qui est en dépression.

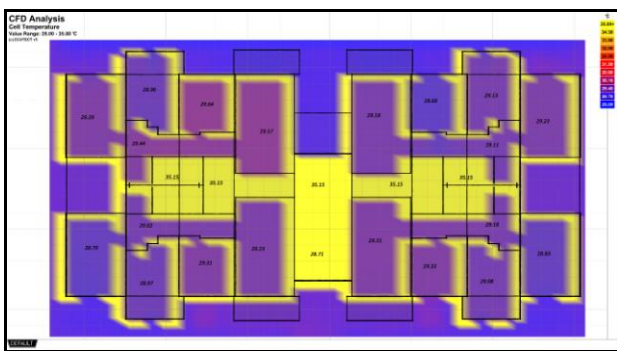


Fig. 14 Vue en plan du profil de températures intérieures, variante 01

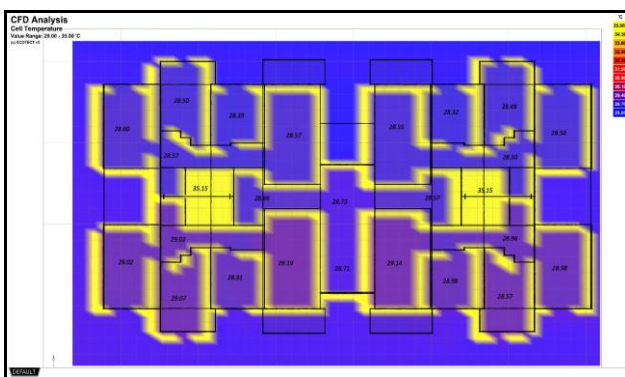


Fig. 15 Vue en plan du profil de températures intérieures, variante 02

VIII. CONCLUSIONS

A travers ce travail de recherche, qui a pour objectif initial d'explorer des solutions passives de ventilation naturelle dans l'habitat collectif en Algérie, nous avons essayé de reconsidérer la cage d'escalier, au-delà de sa fonction originelle de circulation verticale, en tant que composant principal d'un dispositif de ventilation naturelle.

Nous avons vu, à travers le scénario 01, qu'un dispositif de rafraîchissement basé sur la cage d'escalier en tant capteur à vent et jouant le rôle d'un conduit diffuseur d'air frais, peut

être efficace voire même une des solutions bioclimatiques à la problématique du rafraîchissement de l'habitat collectif dans le climat semi-aride. D'autres études plus approfondies de ce dispositif peuvent apporter plus de détails et d'informations sur son dimensionnement, sa mise en œuvre, les caractéristiques des matériaux utilisés, son adaptation à d'autres contextes. D'un autre côté, le scénario 02 a démontré clairement que la cage d'escalier conçue comme une cheminée d'extraction représente une solution efficace pour remédier aux insuffisances de la ventilation mono-latérale dans le cas des bâtiments à quatre logements par palier, d'autant plus que cette configuration devient de plus en plus très répandue dans l'habitat collectif en Algérie. Les simulations ont confirmé que la cage d'escalier peut renforcer considérablement le rafraîchissement passif en induisant une ventilation traversante. Ce type de dispositif est adapté aux zones littorales où l'impact de l'humidité est conséquent en été, en assurant une ventilation de confort thermique [13].

Les résultats de ce travail constituent la première partie de notre thèse, et nous ont permis de vérifier notre hypothèse quant à la spécificité architecturale de la cage d'escalier qui se traduit par un comportement thermo-aérodynamique singulier pouvant être utilisé pour contribuer au rafraîchissement passif de l'habitat collectif en Algérie.

REFERENCES

- [1] <http://www.premier-ministre.gov.dz/fr/> Portail du ministère intérieur, Algérie. [consulté le septembre 27, 2016]
- [2] http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Ecotect_Tutorials [consulté le mars 15, 2012]
- [3] Y. Mansouri, *Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés : proposition d'une méthodologie de conception*, thèse de doctorat, Ecole polytechnique de l'université de Nantes, Nantes, France, 2003.
- [4] Y. Mansouri, F. Allard., M. Musy, "Conceptual implementation of natural ventilation strategy", IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003.
- [5] Site du CRIBE (The Centre for Research in the Built Environment) de l'école d'architecture du pays de galles à l'université de Cardiff <http://www.cardiff.ac.uk/archi/crife> [consulté le juin 03, 2013]
- [6] A. Chatelet, P. Fernandez, P. Brejon, *Architecture climatique : une contribution au développement durable*, Tome 1 : bases physiques, ". Edisud. Aix-en-Provence, France, 1994, 160p.
- [7] A. Chatelet, P. Fernandez, P. Lavigne, *Architecture climatique : une contribution au développement durable*, Tome 2 : concepts et dispositifs, Edisud. Aix-en-Provence, France, 1998, 190 p.
- [8] Bouchahm, Y, *La performance thermique du capteur à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides cas de Ouargla*, thèse de doctorat, Université de Constantine. Constantine, Algérie, 2003.
- [9] J L. Izard, *Architecture d'été, construire pour le confort*, Edisud, Marseille, France, 1993, 141 p.
- [10] ARENE, *Guide Bio-tech : Ventilation naturelle et mécanique*, ARENE Île-de-France et ICEB institut pour la conception environnementale du bâti, France, Février 2012.
- [11] H. Altan, M.B. Tabriz. "Using Wind Catchers as a Passive Cooling System for Residential Buildings in Cyprus", 1st Asia Conference of International Building Performance Simulation (ASim 2012), Simulation for Real Performance Shanghai, Proceedings, China, 25th-27th November 2012.
- [12] F. Allard, *Natural ventilation of building, a design handbook*, James & James Ltd, London, 1998, 356p.
- [13] Givoni B, *L'homme, l'architecture et le climat*, Edition du Moniteur, Paris. France, 1978, 460 p