

L'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure

S. Bouketta^{1*} et Y. Bouchahm^{2†}

¹ Département d'Architecture, Faculté des Sciences et de la Technologie
Université Mohamed Seddik Ben Yahia
Cité Ouled Aïssa, B.P. 98, Jijel, Algérie

² Laboratoire de l'Architecture Bioclimatique et l'Environnement, 'ABE'
Institut d'Architecture, Université Mentouri
B.P. 325, Route Ain El Bey, Constantine, Algérie

(reçu le 8 Juin 2012 – accepté le 29 Décembre 2012)

Résumé - *Le vent est l'un des facteurs qui déterminent le succès ou l'échec d'un espace public. Comme il représente un élément assez perceptible du microclimat urbain, il exerce une grande influence sur le confort thermique. Il peut être une source de ventilation en été, ou une source de nuisances en hiver. L'intérêt de cette étude est de mettre en évidence l'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure dans la ville de Jijel. Une campagne de mesures in situ a été menée, pendant laquelle la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent ont été enregistrées simultanément pour deux cas d'étude différemment situés, à géométries distinctes, durant les périodes hivernale et estivale. Les résultats montrent que la géométrie du plan de masse et la disposition des formes bâties sur celui-ci détermine et modélise l'écoulement du vent. Pour le climat humide de Jijel et son régime des vents, une géométrie éclatée du plan de masse est à déconseiller pour un site en altitude. En revanche, elle sera de mise pour les zones situées à basse altitude. Le logiciel 'envi-met 3.1 beta 4' nous a permis d'effectuer une simulation numérique et de vérifier les résultats obtenus par la campagne de mesures. Grâce à l'élaboration de divers scénarii et à l'interprétation des résultats, nous sommes à même d'affirmer que l'arrangement des constructions sur le plan de masse a une influence directe sur l'écoulement du vent.*

Abstract – *Wind is one of the factors that determine the success or failure of an open space. As it is a fairly perceptible element of the urban microclimate, it has a great influence on thermal comfort. It may be considered as a source of freshness and ventilation in summer; but it could be a nuisance by causing a state of discomfort for pedestrians in winter. The object of this research is to bring out the effect of the urban geometry of the layout on the wind circulation and the outdoor natural ventilation in the town of Jijel. This is expressed form by a campaign of in-situ measures during which air temperature, relative humidity and wind speed have been simultaneously surveyed on tow study sites having different geometries, during the winter and summer periods. Data interpretation corroborates the fact that the arrangement of the built-up parts on the layout has a bearing on the wind circulation. For such a humid climate as the one prevailing in Jijel and its wind conditions, the scattered ordering on the layout will be advised against for a high altitude site. Conversely, the scattered arrangement has to be proposed for a lower altitude. The ENVI-met 3.1 beta 4 made it possible for us to realize a digital simulation and to check the results obtained during our campaign of measurements. By interpreting simulation results, we are in a position to state that the arrangement of the buildings on the layout has an influence on the wind circulation.*

Mots clés: Microclimat urbain - Vent - Géométrie urbaine - Mesures in situ - Envi-met.

* sb.archit@yahoo.fr

† ybouchahm2@gmail.com

1. INTRODUCTION

Dernièrement, l'espace public fait l'objet d'une attention particulière due au souci d'améliorer la qualité de la vie dont dépend fortement la sensation de bien-être. L'évaluation du confort dans ces espaces nécessite une connaissance approfondie de nombreux paramètres liés au milieu urbain, comme la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la pluviométrie, le vent et le rayonnement solaire.

Le vent est un paramètre climatique très sensible et un phénomène d'une grande complexité. De ce fait, connaître et comprendre le vent est un enjeu important. Cependant, plusieurs études expérimentales et théoriques ont été réalisées à travers le monde, afin d'étudier l'effet de l'écoulement du vent, tenant en compte divers paramètres.

Zhang *et al.*, (2005) constatent, par simulation que le champ de vent dépend fortement de l'agencement des bâtiments et de la direction du vent [1]. L'étude de Bocken *et al.*, (2007), quant à elle, suggère que la vitesse du vent augmente dans les passages entre les bâtiments parallèles selon la largeur de ces passages [2]. Cela a été confirmé par Katarzym *et al.*, (2004) en étudiant l'influence de la disposition des bâtiments sur l'augmentation de la vitesse du vent et ses effets sur le confort des piétons a été examiné par dans la région de Varsovie [3].

Dans le même contexte, Mazouz *et al.*, (2008), ont prouvé les mêmes résultats dans une étude expérimentale en soufflerie [4]. Gomes *et al.*, (2006), ont examiné les effets du vent sur et autour des bâtiments avec des formes irrégulières, en particulier en forme de L et U, en utilisant des données expérimentales et numériques. Il a été constaté que la répartition de la pression peut changer considérablement avec la forme du bâtiment et l'angle d'incidence du vent [5].

D'autres études comme celle de Bonneaud *et al.*, (2001) [6], et de Chen (2007) [7], s'intéressent à l'évaluation de l'impact de la morphologie urbaine sur le vent, afin de déterminer la conception optimale d'un ensemble urbain. Ces recherches montrent que les espacements entre bâtiments déterminent le niveau d'abri, d'exposition au vent dans une entité urbaine.

A cet effet, la présente s'intéresse à étudier l'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure sous le climat humide de la ville de Jijel.

2. CLIMAT DE LA VILLE DE JIJEL

Jijel, ville côtière, située au Nord-Est de l'Algérie, entre les méridiens 5° et 6°25 Est de Greenwich, et entre 10 et 36°50, Hémisphère Nord. Cette région est caractérisée par un climat maritime méditerranéen et considérée comme l'une des villes les plus humides et pluvieuses de l'Algérie. Elle appartient au climat méditerranéen, pluvieux et doux en hiver, chaud et humide en été.

En ce qui concerne le régime des vents (Fig. 2), au cours de la saison hivernale, la vitesse maximale du vent varie entre 20.3 m/s au mois de Décembre et 17.8 m/s au mois de Mars.

Pour la saison estivale, la vitesse maximale du vent varie entre 14.9 m/s au mois d'Août et 18.2 m/s au mois de Septembre.

Selon la rose des vents effectuée par les services de la station météorologique de Jijel, (période du 01/01/99 au 31/12/08), on constate que, (Fig. 3):

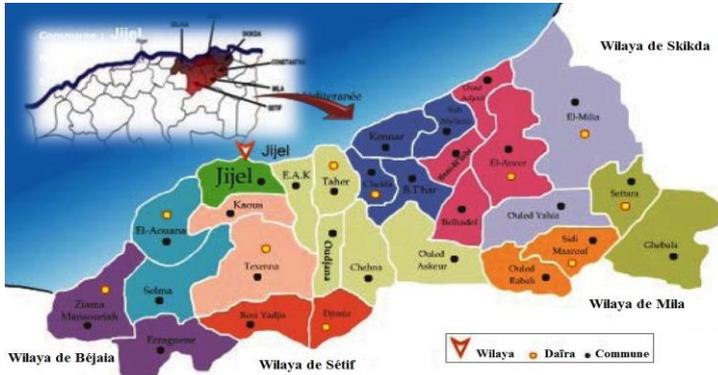


Fig. 1: Situation géographique de la wilaya de Jijel et ses limites
(Source: Direction du Tourisme de Jijel et www.wilayadejijel.net)

- La fréquence des vitesses du vent se répartit par classes comme suit:
 - de 1 à 3 m/s: 11.1 % ;
 - de 3 à 6 m/s: 30.5 % ;
 - de 6 à 10 m/s: 11.6 % ;
 - de 10 à 16 m/s: 1.4 % . Pour la direction Nord classe de 3 à 6 m/s, la fréquence est 4.76 % .
- La fréquence des vents calmes est de 45.45 % .
- La fréquence des vents forts est de 1.4 % .

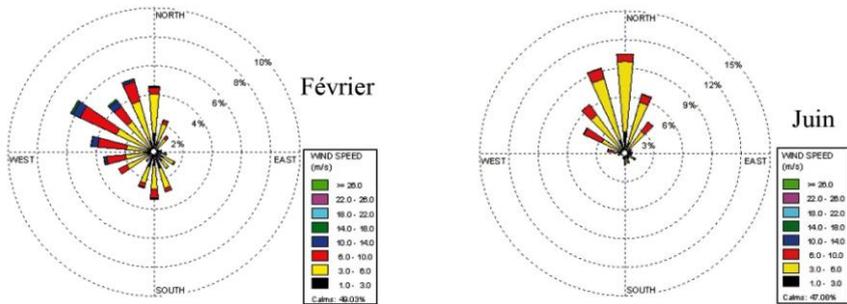


Fig. 2: Exemple de la rose des vents mensuels (1988-2007)
(Source: Station météorologique de Jijel)

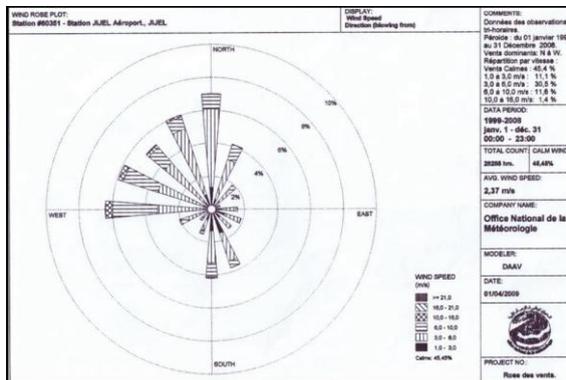


Fig. 3: La rose des vents annuelle 1999 – 2008
(Source: Station météorologique de Jijel)

3. PRESENTATION DES CAS D'ETUDE

Afin de mieux répondre à nos objectifs, deux cas d'étude aux microclimats différents, situés dans le périmètre urbain de la ville de Jijel, ont été sélectionnés (Fig. 4). Ce choix est tributaire essentiellement des deux paramètres de l'éloignement et de l'altitude par rapport au niveau de la mer et la géométrie du groupement.



Fig. 4 : Situation des cas d'étude par rapport à l'ACL de Jijel (Source: Google Earth, 2010)

3.1 Cas d'étude N°1

Situé au centre de la ville historique de Jijel (côté Sud-Ouest), le cas d'étude N°1 est éloigné de la mer de 700 m sur une altitude de 16 m. Ce quartier d'habitats collectifs se compose de sept (07) bâtiments, dont quatre (04) surélevés sur une hauteur de R+4 et trois (03) ayant une hauteur de R+3 (Fig. 5).

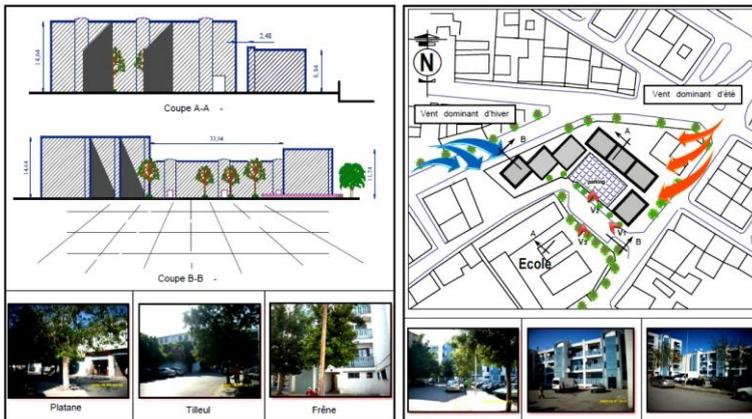


Fig. 5: Situation du cas d'étude N°1 (plan, coupes et vues)

L'ensemble est organisé sous forme d'enclos (U) formant ainsi un espace central clos servant d'aire de stationnement (Fig. 6). Il est marqué par la présence d'une végétation assez dense (essentiellement des arbres d'alignement) par rapport aux autres zones urbaines de la ville de Jijel, dont l'espèce dominante est le platane (à feuilles caduques). Le tissu urbain limitrophe est caractérisé par un tracé orthogonal créant ainsi des percées perpendiculaires à la côte maritime.

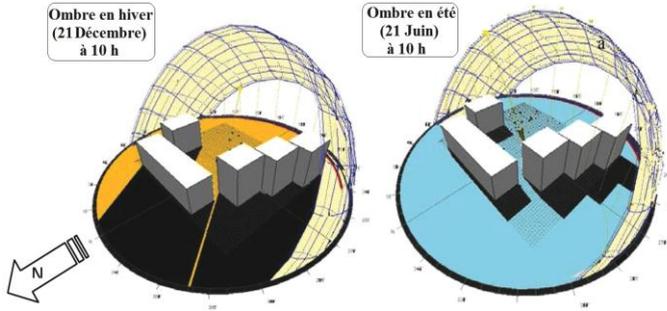


Fig. 6: Simulation de l'effet des masques au niveau du cas N°1, 'logiciel Ecotect v5'

3.2 Cas d'étude N°2

Sur les hauteurs Sud de la ville de Jijel, se trouve le quartier des 460 logements. Cette zone urbaine a vu naître les premières Z.H.U.N. (zone d'habitat urbaine nouvelle) de la ville. Ce quartier se trouve à 3 km environ de la mer, sur une altitude de 200 m. Il se compose de bâtiments en R+4, de différentes configurations (Fig. 7) et d'un groupement scolaire (Fig. 8).

Le quartier est quasiment dépourvu d'aménagements extérieurs, principalement les espaces verts, là où on remarque la dominance de l'asphalte et de béton créant un microclimat différent du précédent. Le tissu urbain, quant à lui, est hétérogène.

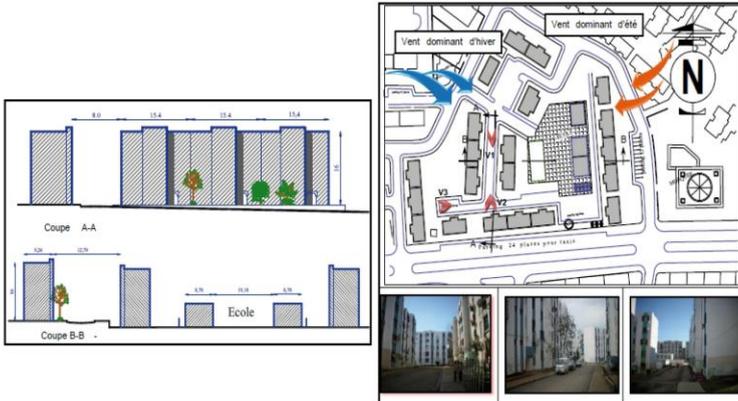


Fig. 7: Situation du cas d'étude N°1, (plan, coupes et vues)

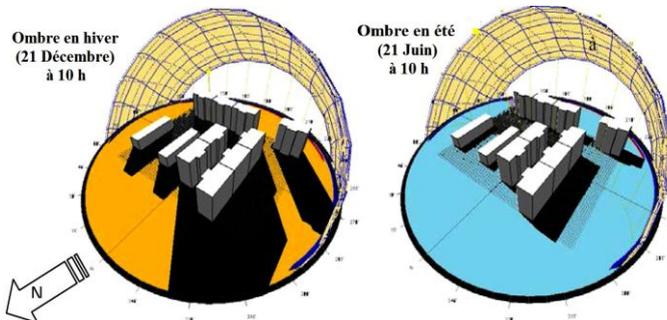


Fig. 8: Simulation de l'effet des masques au niveau du cas N°2 – logiciel Ecotect v5

Tableau 1: Caractéristiques des deux cas d'étude

Cas d'étude	Localisation	Caractéristiques
N°1	Centre ville (Noyau colonial) Altitude = 16 m	<ul style="list-style-type: none"> - Ratio H/W = 0.44 (forme dégagée) - Passages couverts sous bâtiments-Trous - Espace central dégagé - Présence de végétation assez dense - Proche de la mer (700 m)
N°2	Hauteur de la ville Altitude = 101 m	<ul style="list-style-type: none"> - Ratio H/W = 0.44 (forme dégagée) - Absence totale de végétation - Distance à la mer (3 km)

4. INVESTIGATION ET DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE MESURES

L'objectif principal des mesures est d'estimer l'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent, ainsi que les variations microclimatiques entre les cas d'étude choisis. Les relevés horaires des paramètres, de la température de l'air (°C), de l'humidité relative (%) et de la vitesse du vent (m/s) ont été effectués à l'aide d'un appareil multi-fonction modèle LM-8000 (Fig. 9) au niveau des stations choisies (Fig. 10).

L'investigation s'est déroulée pendant la journée du 24/02/2010 pour la période hivernale et celle du 01/07/2010 pour la période estivale. La prise des mesures est effectuée à une distance de 1.50 m au dessus du sol.



Fig. 9: Instrument de mesure, modèle LM – 8000 utilisé

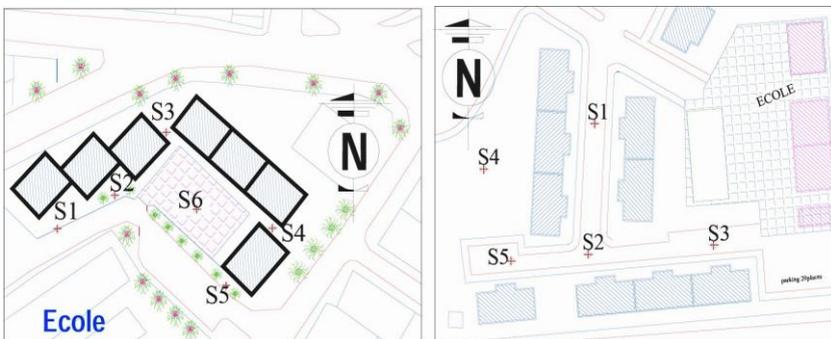


Fig. 10: Localisation des différents points de mesure

5. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS DE L'INVESTIGATION

5.1 Période hivernale

La journée du 24/02/2010 fût une journée très variable et instable. Elle était ensoleillée et très ventée, dès le début de la matinée, avec un ciel dégagé. Elle était caractérisée par un vent froid de forte intensité et de direction Ouest. Dès l'après midi, le scénario change quasiment, le ciel est devenu couvert nuageux, avec parfois un ensoleillement diffus et des vitesses de vent plus fortes et même plus froides.

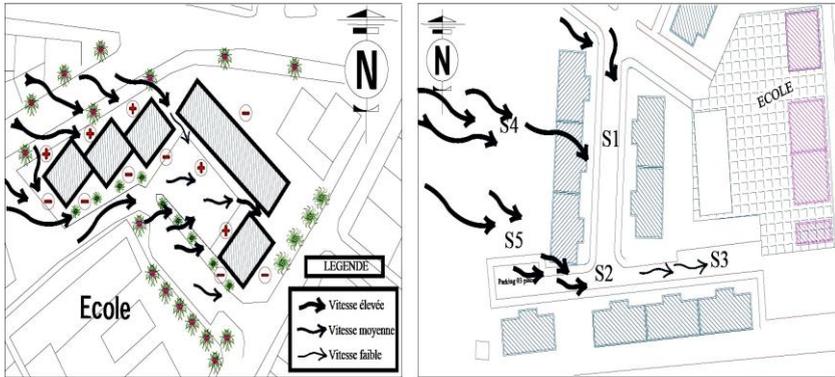


Fig. 11: Description de l'écoulement du vent dans les deux cas d'étude

5.1.1 Cas d'étude N°1

5.1.1.a Etude de la température de l'air

La lecture du graphe montre que les températures mesurées sur site sont plus élevées pendant toute la journée que celles relevées à la station météorologique (Fig. 12), avec des écarts qui varient respectivement entre 1.65 à 2.96 °C de 8h à 11h, entre 1.93 à 2.15°C de 11h à 14h et entre 1.86 à 2.71°C de 14h à 17h.

La valeur maximale relevée à la station météorologique est de 20.5 °C à 12 h, alors que la valeur maximale mesurée est de 24.6°C enregistrée au niveau de la station S3 à la même heure. Cela peut être interprété par l'évolution des vitesses du vent aux stations S4, S5 et S6, à cet intervalle de temps par rapport aux autres, sans ignorer l'existence de la végétation aux stations S1 et S2.

5.1.1.b Etude de l'humidité relative

La plus faible température est enregistrée au niveau de la station S4, où cet endroit est devenu ombré l'après-midi (Fig. 12). Le transfert thermique s'accélère en fonction de l'augmentation de la vitesse, ce qui donnera lieu à un refroidissement rapide.

En ce qui concerne les taux d'humidité, les plus faibles valeurs ont été enregistrées entre 11h à 14h à la station S3 à 12h. Cela s'explique par l'absence de végétation à cet endroit et par la nature minéralisée du sol.

Cependant, les taux les plus élevés sont enregistrés à la station S4 avec de faibles températures. Quant aux autres points, on enregistre des valeurs moyennement élevées aux stations S1, S2, S6, S5, dues à l'effet de la végétation et des arbres à ces endroits, et par l'effet de l'écoulement du vent froid. (Fig. 13)

Les vitesses de l'air élevées vont augmenter le taux de transpiration des feuillages; les températures de feuillage deviennent ainsi plus faibles (Dimoudi *et al.*, (2003) [8]). Ce qui explique l'augmentation de l'humidité à ce microclimat, car les vitesses sont devenues plus fortes et plus froides, ce qui affecte aussi la température dans ces stations. Mais malgré cette hausse, le taux le plus faible reste au niveau de la station S3

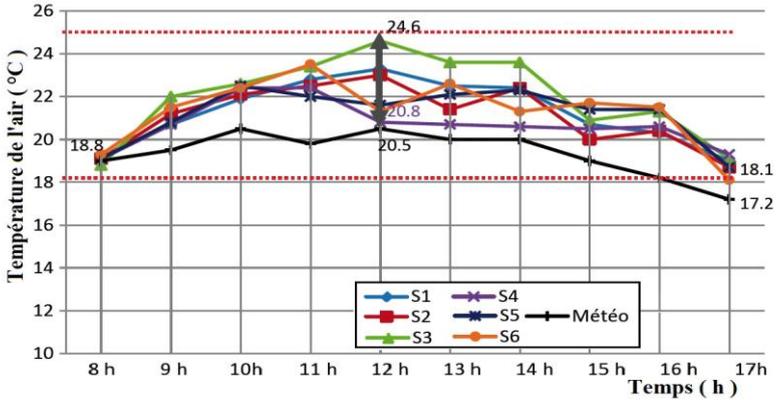


Fig. 12: Evolution journalière des températures de l'air – cas N°1

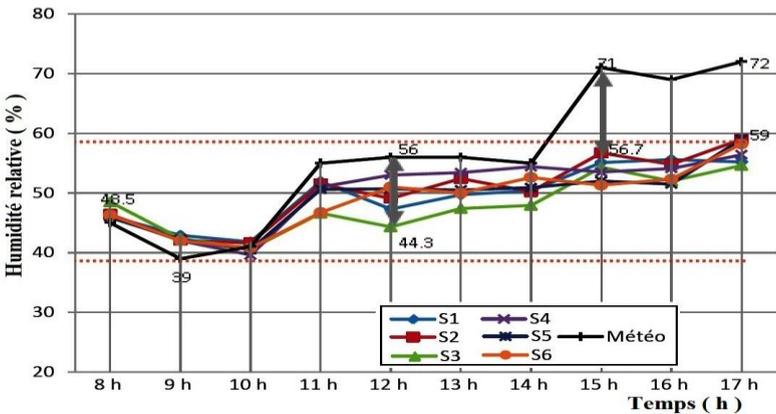


Fig. 13: Evolution journalière de l'humidité relative – cas N°1

5.1.1.c Etude de la vitesse du vent

Les vitesses du vent enregistrées dans les points de mesure - prises à 1.50 m du sol - sont plus réduites comparativement à celles récoltées à la station météorologique (Fig. 14), où elles ont été prises à 10 m du sol. Ici c'est plutôt la rugosité du site qui entre en jeu et la vitesse augmente selon cette dernière (Gandemer *et al.*, (1981) [9], Izard *et al.*, (1979) [10]).

- La station S3 (Fig. 15) a enregistré la vitesse la plus faible pendant toute la journée, un faible taux d'humidité et une température maximale par rapport à l'ensemble des stations. Cela est dû à sa localisation en abri entre les deux bâtiments.

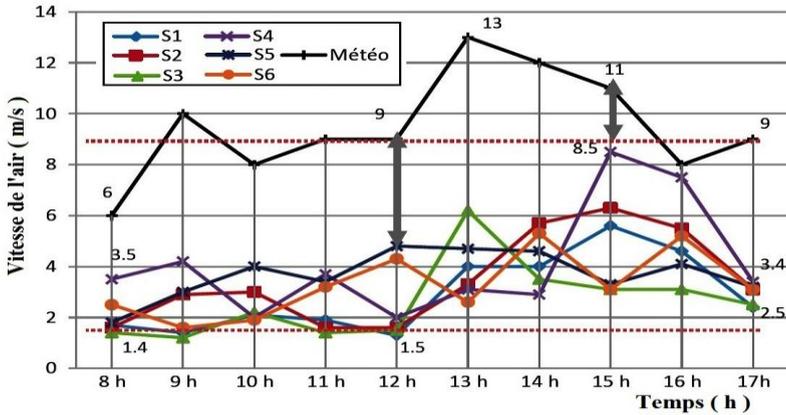


Fig. 14: Evolution journalière de la vitesse du vent – cas N°1

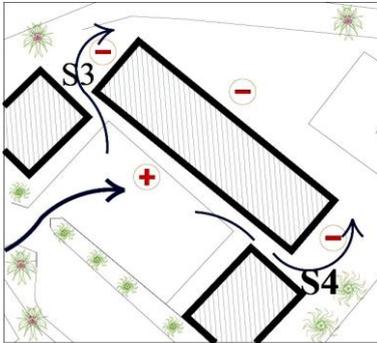


Fig. 15: Effet vent aux stations S3 et S4



Fig. 16: Effet de trous au niveau de S1, S2

- La station S4 marque les valeurs les plus élevées de la vitesse de vent pendant la journée, qui atteint une apogée de 8.5 m/s à 15h. Cela est dû à sa disposition en couloir entre les deux blocs, créant une sorte de canal collecteur (aspirateur) de vent.

Considérée comme un passage et un lieu de transition souvent traversé par les piétons, cette zone présente des vitesses considérables (cas du mauvais temps en hiver), et est devenue la zone la plus critique vis-à-vis du confort aéraulique, engendrant des gênes et des malaises.

- Quant aux stations S1 et S2 (Fig. 16), elles sont situées face aux deux trous sous immeubles (passages couverts). L'effet de trous est ressenti, car le vent s'écoule de la partie en surpression vers celle en dépression. La rentrée de l'air se fait de façon diffuse et la sortie par contre est localisée en jet, là où se trouvent les deux stations S1 et S2. A cet endroit de S2, se trouvent aussi deux arbres l'un à feuilles persistantes et l'autre caduques. Par contre pour la station S1, il y a deux arbres à feuilles caduques.

5.1.2 Cas d'étude N°2

5.1.2.a Etude de la température de l'air et l'humidité de l'air

Le graphe (Fig. 17) décrit l'allure des températures journalières mesurées sur site avec des écarts qui varient entre 1.24 – 1.74 °C de 8h à 11h, entre 0.82 – 1.26 °C de 11h à 14h et entre 0.38 – 1.02 °C de 14h et 17h. Un léger croisement entre profils

s'enregistre à partir de 13h. La valeur maximale relevée à la station météo est de 20.5°C à 12h, alors que celle mesurée sur site atteint 23.1°C, s'affiche au niveau de S1 à 13h.

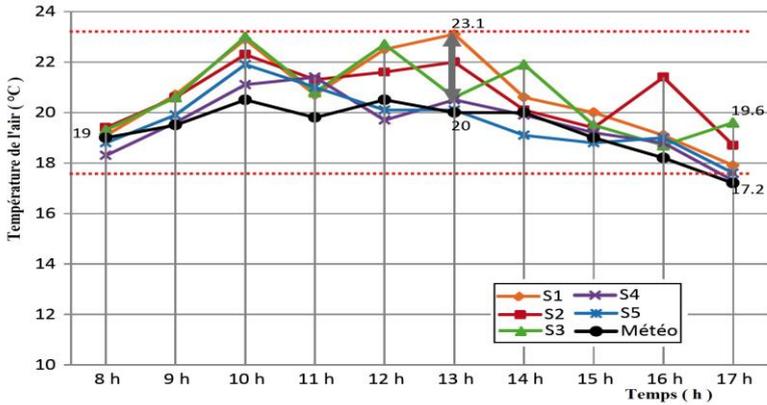


Fig. 17: Evolution journalière des températures – cas N°2

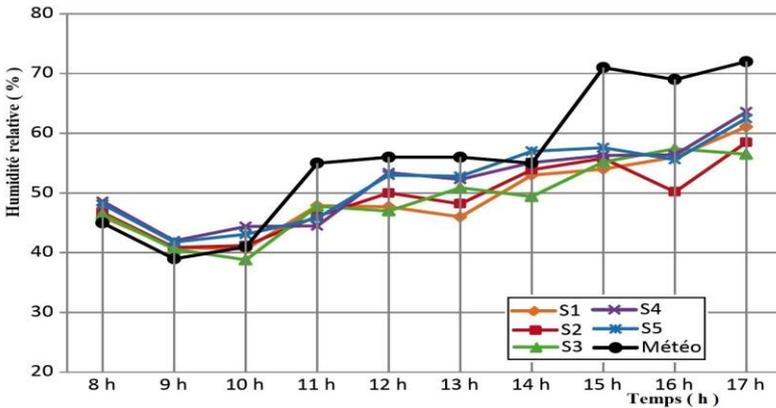


Fig. 18: Profil journalier des humidités relatives – cas N°2

Quant aux humidités relatives (Fig. 18), les plus taux élevés s'affichent à S4 et S5 entre 11h et 14h, liées à l'écoulement de fortes vitesses. Ce site est dépourvu de la végétation par rapport aux autres cas d'étude, à l'exception de quelques plantations timides bordant le couloir où se trouve la station S1.

A cet endroit par contre, s'affichent de faibles taux d'humidité à 13h, dû beaucoup plus à la faible vitesse du vent. La station S3 a tracé un profil perturbé qui s'inverse par rapport à celui de la température.

5.1.2.b Etude de la vitesse du vent

Sur cette partie haute de la ville, la direction de vent est perpendiculaire aux bâtiments préservant toujours la direction ouest. Ce site urbain présente des rugosités variées, attachées à la forte densité du cadre bâti. (Fig. 19)

La vitesse du vent peut s'accélérer au cas où il existe des gradients thermiques d'un endroit à un autre – ilot de quartier {Chatelet *et al.*, (1998) [11], Bottema, (1993) [12], Izard, (1979)}. De même, la vitesse du vent augmente avec l'altitude.

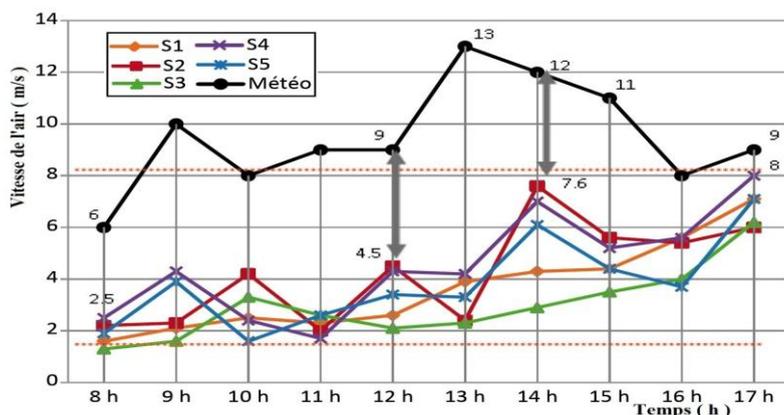


Fig. 19: Profil journalier de la vitesse du vent – cas N°2

Franchissant le site d'une station à l'autre, l'écoulement du vent décrit des profils différents liés beaucoup plus au changement rapide des conditions climatiques de cette journée (Fig. 19), plus prononcé l'après-midi où la différence de pression devient considérable. De ce fait, on peut différencier des zones calmes, des zones protégées (sous le vent) et d'autres exposées au vent.

- La station S3 affiche les plus faibles vitesses, cela est peut être dû à sa localisation entre des bâtiments ayant des profils variés (bâtiment hauts et bas). Cette disposition spatiale a créé un espace relativement protégé et peu venté.

- Un profil homogène ayant des vitesses faibles s'affichent à la station S1, en revanche un profil chahuté (en zigzag) apparaît à la station S2 où des valeurs élevées, en particulier l'après-midi (atteint l'apogée à 14h d'une valeur de 7.6 m/s) s'y enregistraient. Cela est lié aux effets de l'agencement spatial de ces bâtiments parallèles, créant une sorte de canalisation du vent à travers ce couloir (prospect de 8m inférieur à 2H). A cet effet, on peut considérer l'endroit de S2 relativement désagréable vis – à – vis du vent.

- Les deux stations S4 et S5 sont situées derrière les bâtiments faisant face à la direction du vent, et ouvertes vers un espace dégagé. Ces deux stations ont tracé des profils qui se côtoient presque toute la journée, toutefois les vitesses récoltées au niveau de S4 sont élevées par rapport à celles de S5. On peut déduire que l'endroit de S4 est très exposé au vent et pourra engendrer des malaises et des gênes aux passagers, chose qui était confirmée à travers les observations sur site et par les réponses des interlocuteurs aux questionnaires.

5.1.3 Comparaison entre les résultats de la période hivernale

En cette journée ventée d'hiver, les deux sites ont reçu de fortes vitesses de vent et qui dépassent, pour la majorité, le seuil limite de nuisance (conventionné à 5 m/s. Mais, cet état d'inconfort dû au vent se diffère entre ces quartiers en fonction de plusieurs critères.

Cette première analyse nous a guidé à procéder à une comparaison entre les stations de mesure représentatives de chaque cas d'étude, en terme de vitesse du vent seulement et de rappeler ce qui suit:

- Les résultats attestent que la vitesse du vent s'accroît avec l'altitude. De ce fait, le cas N°2 qui se trouve sur les hauteurs de la ville de Jijel, est le quartier le plus exposé au vent d'hiver (moins confortable, plus de gênes et des nuisances). Le cas N°1 est le moins exposé sur une basse altitude (plus confortable, moins de gênes).

- En termes de forme et géométrie du plan de masse, le cas N°1 ayant une forme en enclos, est le plus protégé contre les vents d'hiver. L'autre cas ayant une forme relativement écartée ouverte est moins protégé.

5.2 Période estivale

La journée du 01/07/2010 fût une journée chaude d'été.

Nous avons effectué une campagne de mesures dans des conditions de temps anticyclonique, un temps ensoleillé avec un ciel clair dégagé, ponctué par des vents frais de temps à autre, prenant une direction Nord à Nord-Est pendant toute la journée.

Des conditions stables durant cette journée de mesure sont caractéristiques d'une période chaude d'été.

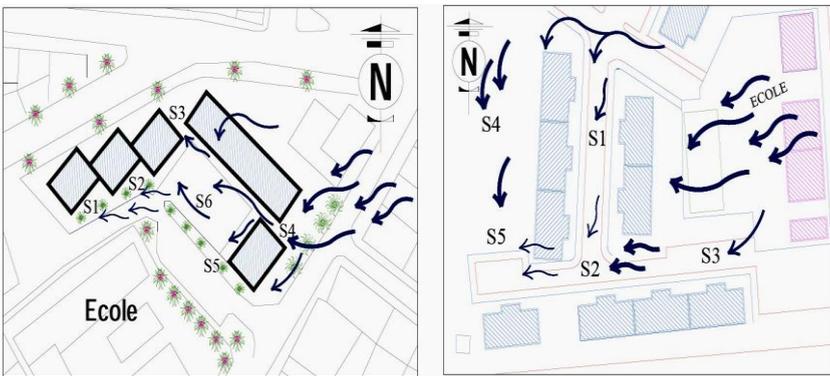


Fig. 20: Ecoulement du vent au niveau des deux quartiers en été

Un examen global des différents graphes, représentant l'évolution journalière des paramètres mesurés au niveau des cas d'étude, a été développé et on a constaté ce qui suit:

- Le quartier N°1 a enregistré des températures ayant comme limite supérieure une valeur de 30.6 °C et une inférieure de 24.5 °C (Fig. 21).

En revanche, les humidités relevées varient entre 44.1 % et 58.1 % (Fig. 22).

En parallèle, on distingue des vitesses du vent entre 0.1 m/s et 4 m/s (Fig. 23).

- Quant au quartier N°2, il a enregistré une température maximale de 32 °C et une température minimale de 25°C (Fig. 24).

Les humidités relatives par contre varient entre 41.6 % et 56.8 % (Fig. 25).

Les vitesses du vent ont une limite maximale de 4.4 m/s et l'autre minimale de 0.3 m/s (Fig. 26).

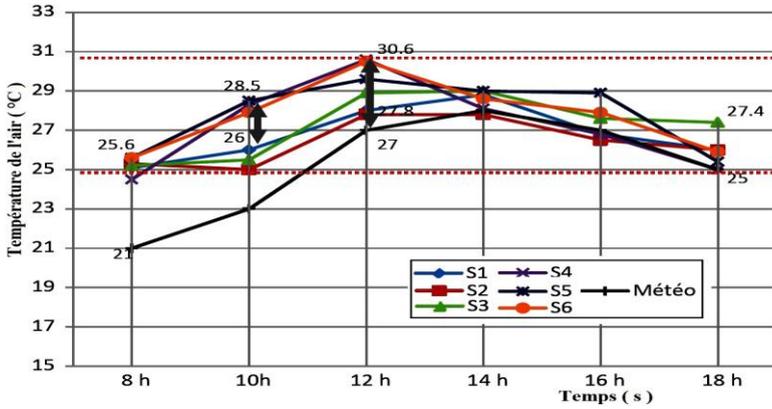


Fig. 21: Profil journalier des températures de l'air- cas N°1

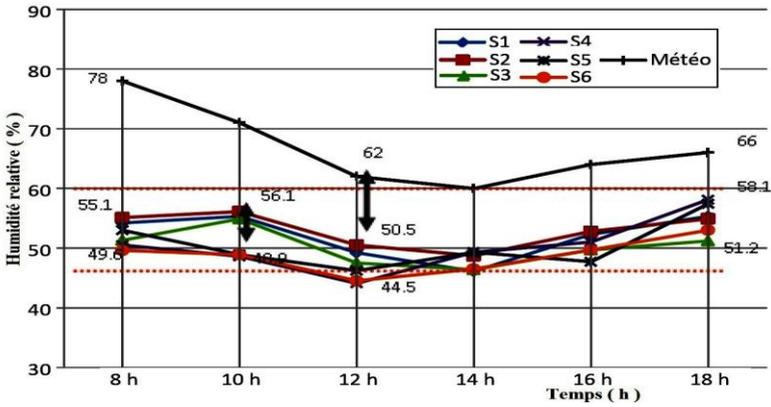


Fig. 22: Profil journalier du taux d'humidité relative- cas N°1

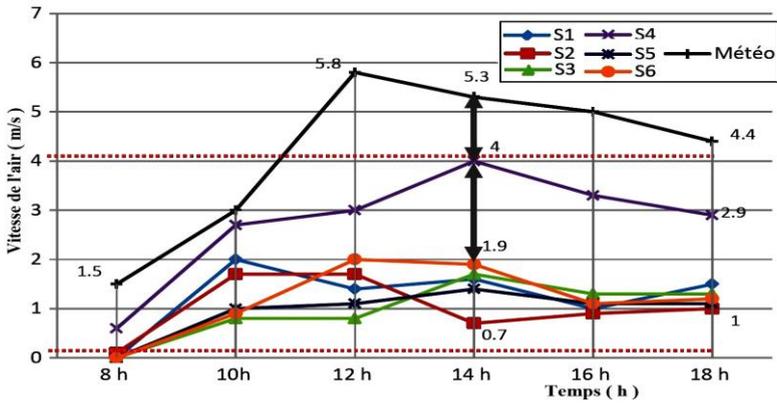


Fig. 23: Profil journalier de la vitesse du vent- cas N°1

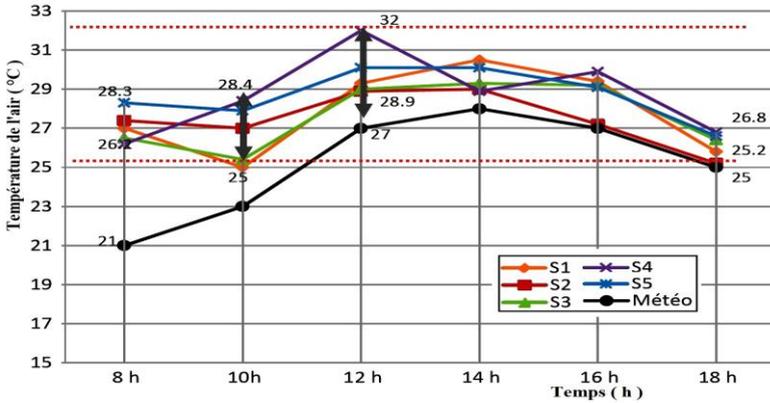


Fig. 24: Profil journalier des températures de l'air– cas N°2

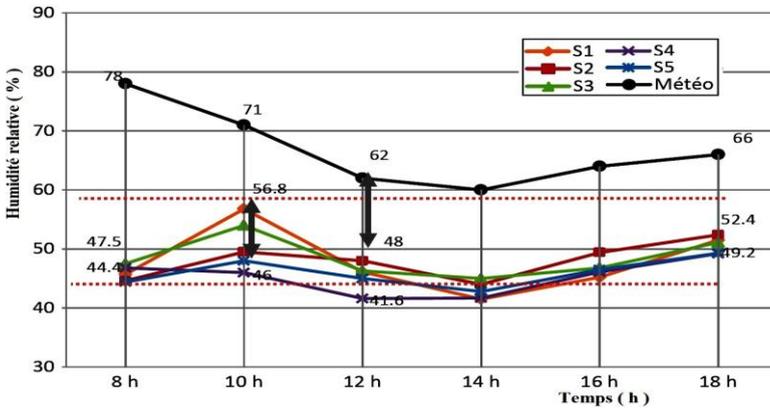


Fig. 25: Profil journalier des taux d'humidité relative – cas N°2

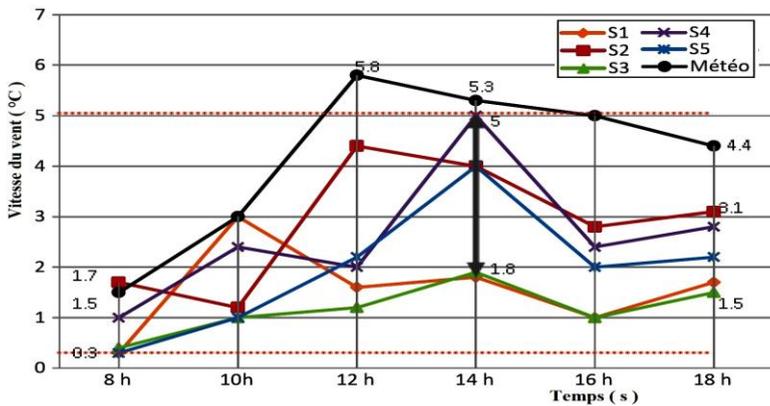


Fig. 26: Variation journalière de la vitesse du vent– cas N°2

En comparant les températures maximales mesurées sur terrain avec la température neutre T_n (Tableau 2), où: selon Szokolay *et al.*, 2007, [13]:

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$$

T_m est la température moyenne des trois mois d'été (Juin, Juillet et Août),

$$T_m = \sum T_0 / 3 = (23 + 25 + 26.4) / 3 = 25^\circ\text{C} \rightarrow T_n = 25.35^\circ\text{C}$$

De ce fait, le site N°1 a un écart de 5.25 °C, alors qu'un écart de 7.65 °C caractérise le site N°2.

Tableau 2: Valeurs limites des trois paramètres mesurés pour chaque site

N° du Quartier	T_n (°C)	T (°C) (min-max)	HR (%) (min-max)	V (m/s) (min-max)
N°1	25.35	24.5 – 30.6	44.1 – 58.1	0.1 – 4
N°2	25.35	25 – 32	41.6 – 56.8	0.3 – 4.4

Ces constats ont permis de ressortir que le cas d'étude N°1 est un site frais, confortable vis-à-vis des températures et des humidités. Cela est dû à la présence de la végétation. Quant au vent, l'effet de la basse altitude est confirmé, ce site était aussi ventilé vu son rapprochement à la mer.

Le cas d'étude N°2 est le plus chaud, malgré les vitesses élevées, comparativement au précédent, vu les températures élevées et les faibles taux d'humidité. Cela s'explique par l'absence du couvert végétal et la forte minéralisation des sols. L'effet de l'altitude vis-à-vis des vents est attesté.

En termes de confort, le vent agit sur la végétation, ce qui augmente l'évapotranspiration des arbres et donc il agit indirectement sur l'humidité et la température de l'air. Il permet de dissiper le cumul de chaleur et évacue les surchauffes. Vent et végétation sont les deux paramètres indissociables qui influent sur le confort thermique dans les espaces urbains extérieurs en été.

Dans ce contexte, le site N°1 est le plus frais en cette journée d'été, grâce à l'existence de l'élément vert, ce qui améliore le confort (ombre, ventilation et fraîcheur).

En termes de géométrie et forme spatiale, les deux plans de masse ont favorisé la circulation de l'air et par conséquent, ils ont bénéficié d'une ventilation extérieure. Cela est lié aussi à la provenance du vent où les deux géométries étaient bien exposées à la direction du vent.

5.3 Conclusion de l'investigation

L'interaction des résultats des deux campagnes de mesure nous a permis de mettre en évidence plusieurs facteurs. La forme éclatée d'un plan de masse a favorisé la ventilation extérieure en été certes, mais elle est susceptible d'occasionner des gênes et procurer des états d'inconfort en hiver.

Le cas N°2, doté aussi d'un plan de masse éclaté, était exposé aux vents froids d'hiver et bien ventilé en été, au vu sa haute altitude. Ce dernier facteur, qu'est l'altitude, ne suffit pas pour assurer le confort à l'extérieur. Ce site est dépourvu de la végétation, qui joue un rôle important pour le rafraîchissement de l'air en été, de freiner les fortes vitesses et de protéger le bâti en hiver.

De ce fait, il ressort que le cas N°1 est le plus performant. Il est protégé en hiver, bien ventilé, frais et confortable en été. Son organisation spatiale et sa géométrie semi

ouverte (y compris l'aménagement, la végétation) est la forme la plus adéquate face au régime des vents de la ville de Jijel. Elle favorise une ventilation à l'extérieur en été, en évacuant l'excès d'humidité, des surchauffes et des polluants et par conséquent induit une meilleure ventilation à l'intérieur. En hiver, elle s'avère la plus protégée contre les effets aérodynamiques tout en assurant le confort des usagers.

Pour tester l'effet des paramètres géométriques sur l'écoulement du vent, une simulation numérique à l'aide du logiciel Envi-met 3.1 s'avère aussi nécessaire pour le cas le plus favorable.

6. SIMULATION NUMERIQUE

La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel Envi-met 3.1 Beta 4. Il sert à la modélisation numérique du microclimat urbain (Bruse *et al.*, 1998 [14]). Il est parmi les premiers modèles, qui cherchent à reproduire la majorité des processus atmosphériques influant sur le microclimat, en se basant sur des fondements physiques bien définies de la loi fondamentale de la thermodynamique et de la dynamique des fluides (Ali-Toudert, 2005 [15]).

Elle couvre les deux périodes hivernale et estivale, choisies pour l'investigation. Elle s'est déroulée pendant les journées du 24/02/2010 représentative de l'hiver et celle du 01/07/2010 représentative de l'été.

La simulation concerne seulement le cas N°1 considéré comme le cas le plus favorable et performant. Ce dernier a été soigneusement dessiné suivant une échelle convenable. Les dimensions et les hauteurs des constructions, ainsi que la végétation ont été reportées afin de pouvoir reproduire la réalité du terrain.

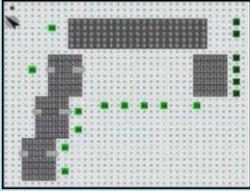
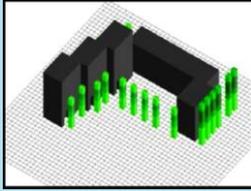
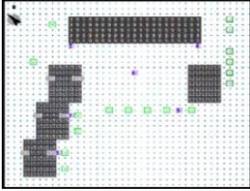
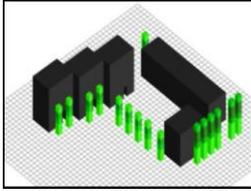
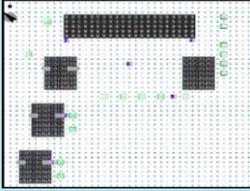
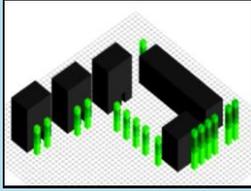
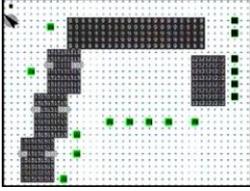
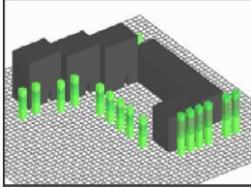
6.1 Simulation de l'effet de l'espacement des bâtiments sur le mouvement et la vitesse du vent

Afin de tester l'effet de l'espacement entre bâtiments et son influence sur le mouvement du vent et sa vitesse, des modifications ont été apportées sur l'organisation et la disposition des bâtiments sur ce plan de masse. Dans cet objectif, trois scénarios ont été développés:

- **1^{er} scénario 'N°1'**- Augmentation de la largeur des deux passages latéraux qu'occupent successivement S3 et S4. La largeur du passage W sera: $W = L$ (largeur du bâtiment). Ce scénario s'intéresse à améliorer la ventilation en été au niveau de la station S3 (en hiver, les valeurs de toutes les stations ne dépassent pas le seuil de nuisance, particulièrement S3 et S4)
- **2^{ème} scénario 'N°2'**- Séparation des trois bâtiments mitoyens en gardant l'alignement initial. Là, le plan de masse devient plus éclaté comme pour le premier scénario. Il s'intéresse à améliorer la ventilation en été des deux stations S1 et S2, car elles sont protégées en hiver.
- **3^{ème} scénario 'N°3'**- Elimination du passage au niveau de la station S3 afin de bloquer le vent provenant de cette direction en hiver et donc de protéger la station S4.

Les scénarios proposés sont reportés dans le **Tableau 3**. Chaque scénario est doté d'un dessin en 2D et un autre en 3D fait à l'aide de Leonardo.

Tableau 3: Scénarii proposés

	Dessin en 2D	Dessin en 3D	Modifications
Etat actuel – initial			
Scénario N°1			Augmentation de la largeur des deux passages latéraux qu'occupent successivement S3 et S4. La largeur du passage w sera: $w = L$ (largeur du bâtiment), (améliorer la ventilation en été particulièrement S3 et S4)
Scénario N°2			Séparation des trois bâtiments mitoyens en gardant l'alignement initial. Là, le plan de masse devient plus éclaté que le premier scénario, (améliorer la ventilation en été particulièrement S1 et S2)
Scénario N°3			Elimination du passage au niveau de la station S3 afin de bloquer le vent provenant de cette direction en hiver et donc de protéger la station S4

6.2 Résultats

En utilisant le logiciel gratuit Envi-met, nous étions en mesure d'évaluer l'effet de la disposition géométrique sur le vent et la ventilation naturelle. Il a été retenu que l'agencement des bâtiments sur plan de masse a une influence sur l'écoulement du vent (Tableau 4, 5).

Dans cet aspect, nos résultats sont en accord avec plusieurs études, telles que celle de Zhang *et al.*, (2005), Katarzym *et al.*, (2005), Blocken *et al.*, (2004), qui ont montré par simulation que le champ de vent est fortement tributaire de la disposition des bâtiments sur le plan de masse.

En outre, l'influence de la disposition des bâtiments sur l'augmentation de la vitesse du vent et le confort à l'extérieur a été démontrée dans leurs recherches. Par contre, il peut être conclu, selon le contexte spécifique de l'étude, un plan de masse éclaté peut

être généré pour un emplacement sur une basse altitude dans un climat humide, en introduisant des modifications vis-à-vis des aménagements extérieurs afin d'améliorer le microclimat.

Tableau 4: Résultats des scénarii en graphe

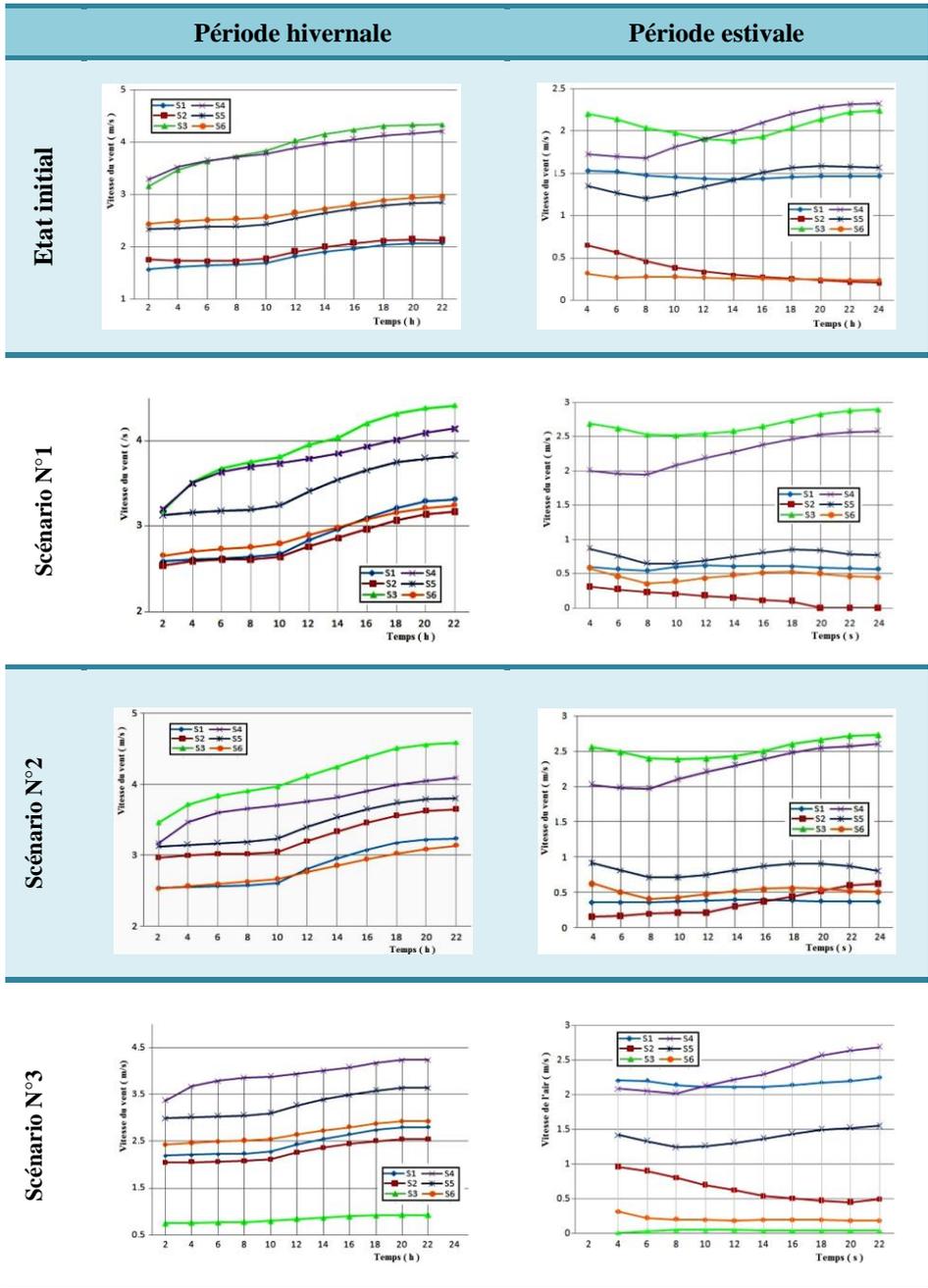
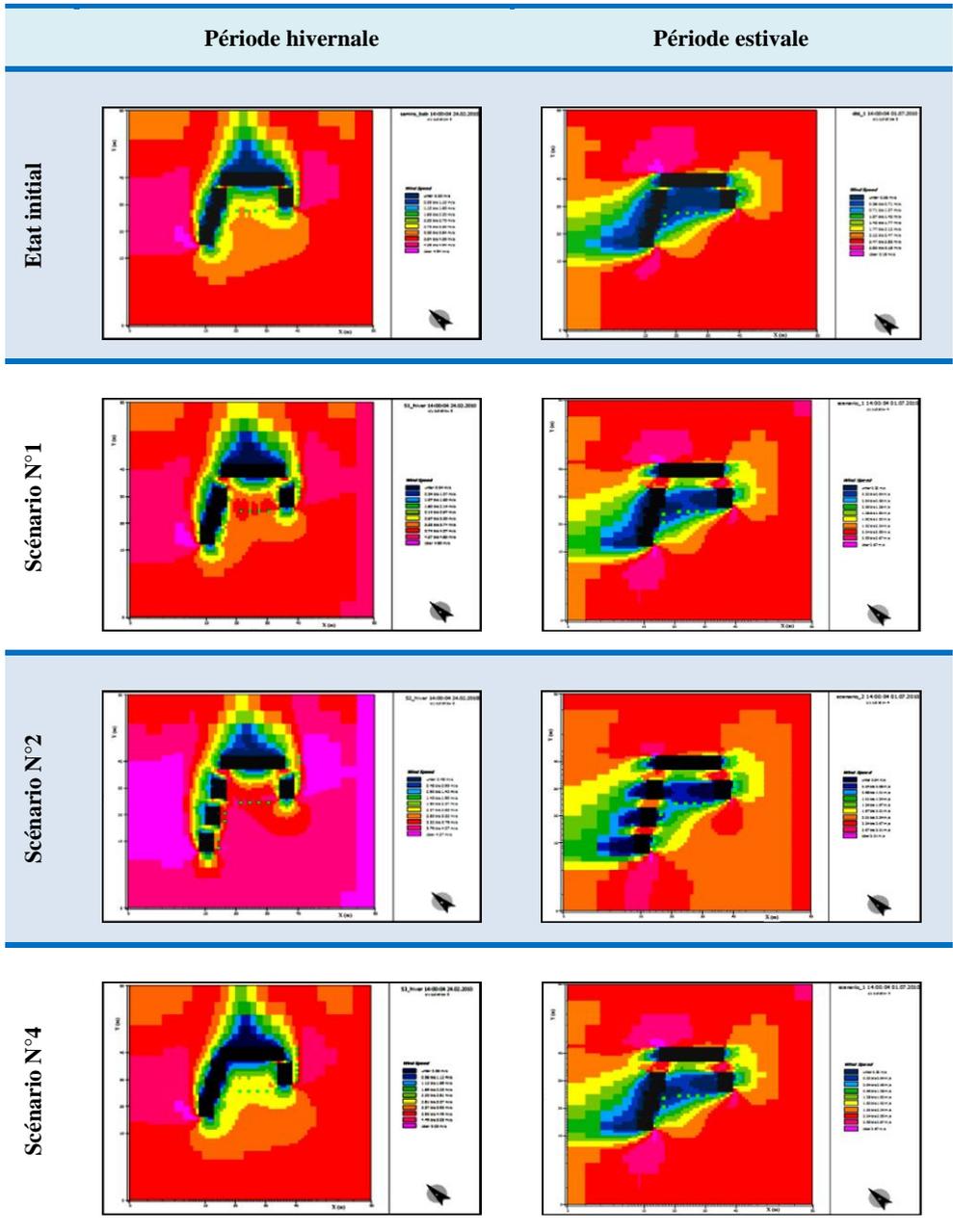


Tableau 5: Résultats des scénarii sous format data



7. CONCLUSION

Il en résulte de l'étude les conclusions suivantes:

- Le vent est un paramètre très sensible variable en vitesse et en direction. Son écoulement en site urbain s'avère donc très difficile à prévoir, de par son interaction

avec les obstacles selon la variabilité de leur rugosité, leur configuration, leur porosité, mais aussi l'orientation par rapport à l'angle d'incidence du vent.

- La rugosité rencontrée par les vents incidents joue un rôle prépondérant dans la modification de l'écoulement (vitesse, direction, turbulence) du flux d'air.
- La vitesse du vent s'accroît avec l'altitude.

On se rend compte que:

- La géométrie et la disposition des formes bâties entre elles sur le plan de masse déterminent l'écoulement du vent, et conduisent à l'apparition de phénomènes aérodynamiques liés à cette disposition.
- La forme éclatée d'un plan de masse a favorisé la ventilation extérieure en été certes, mais elle est susceptible d'occasionner des gênes et procurer des états d'inconfort en hiver.
- Une forte exposition aux vents froids d'hiver influe sur le confort thermique intérieur et la consommation d'énergie électrique.
- Pour un climat humide doté d'un régime des vents comme celui de Jijel, une géométrie éclatée du plan de masse sera déconseillée pour une situation sur une haute altitude. A ce stade, la ventilation à l'extérieur est assurée grâce à l'altitude, mais il suffit d'avoir une organisation spatiale et une disposition adéquate des bâtiments favorisant l'abri en hiver. En revanche, on devra générer cette forme éclatée pour une altitude basse.

Quant à la simulation, nous avons effectué plusieurs tests de simulation, et au cours de cette expérience, nous avons identifié certaines contraintes au modèle Envi-met, ce qui pourrait limiter notre travail, à savoir: le logiciel considère une seule direction du vent pendant toute la durée de la simulation, alors qu'en fait, la direction du vent est en constante évolution, même s'il y a une direction dominante, en particulier dans les zones côtières.

La vitesse de simulation à un endroit devient difficile, quand le vent est fortement influencé par le climat local: une zone côtière, par exemple, est fortement influencée par les brises marines qui se traduisent par d'importants changements dans la vitesse et la direction. Il ne prend pas en compte l'effet de l'altitude.

REFERENCES

- [1] L. Zhang, C. Gao and A. Zhang, 'Numerical Simulation of the Wind Field Around Different Buildings Arrangements', Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 93, N°12, pp. 891 – 904, 2005.
- [2] B. Blocken, J. Carmeliet and T. Stathopoulos, 'CFD Evaluation of Wind Speed Conditions in Passages between Parallel Buildings - Effect of Wall-Function Roughness Modifications on the Atmospheric Boundary Layer Flow', Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 95, N°9-11, pp. 941 – 962, 2007.
- [3] K. Katarzym and J. Marek, 'Wind Speed at Pedestrian Level in a Residential Building Complex', In: PLEA 2004, The 21th Conference on Passive and Low Energy, Architecture, Eindhoven, The Netherlands, 2004.
- [4] Y. Gouizi and S. Mazouz, 'Effet d'un Groupe de Bâtiments sur l'Écoulement de l'Air (le Vent) et le Confort des Piétons dans les Espaces Extérieurs. Cas d'Étude : Ensemble de Bâtiments Collectifs des Z.H.U.N à Biskra', The Third Architecture and Sustainability Conference, 'BASC 2008', Strategies and Perspectives, pp. 261 - 271, Biskra, 2008.

- [5] M.G. Gomes, A.M. Rodrigues and P. Mendes, '*Wind Effects on and Around Land U-Shaped Buildings*', University of Lisbon, Portugal, 2006.
- [6] F. Bonneaud, M. Musy and P. Depecker, '*Simulation of the Wind in Hot and Humide Climates Cities: Evaluation of the Natural Ventilation Potential of the Housing in Urban Blocks*', Building Simulation, Seventh International IBPSA Conference, Rio De Janeiro, Brazil, pp. 109 – 116, August 13-15, 2001.
- [7] Q. Chen, '*Sustainable Urban Housing in China*', Edité par L.R. Glicksman and J. Lin, Springer, 2007.
- [8] A. Dimoudi and M. Nikolopoulou, '*Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits*', Energy and Buildings, Vol. 35, N°1, pp. 69 – 76, 2003.
- [9] J. Gandemer et A. Guyot, '*La Protection contre le Vent: Aérodynamique des Brise-Vent et Conseils Pratiques*', Edition C.S.T.B (Centre scientifique et technique du bâtiment), 1981.
- [10] J.L. Izard et A. Guyot, '*Archi Bio*', Editions Parenthèses, Paris, 1979.
- [11] A. Chatelet, P. Fernandez et P. Lavigne, '*Architecture Climatique: une Contribution au Développement Durable*', Tome 2: *Concepts et Dispositifs*, Edition EDISUD, Aix-en-Provence, 1998.
- [12] M. Bottema, '*Wind Climate and Urban Geometry*', Eindhoven, University of Technology, Netherlands, January 1993.
- [13] S.V. Szokolay and A. Auliciems, '*Thermal Comfort, P.L.E.A. , Passive and Low Energy Architecture International, Design Tools and Techiques*', Note 3, Association with Department of Architecture, University of Queensland, Second Edition, pp. 45 – 46, 2007.
- [14] M. Bruse and H. Fleer, '*Simulating of Surface-Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model*', University of Bochum, 1998.
- [15] F. Ali-Toudert, '*Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate*', Thèse de Doctorat, Université de Freiburg, Freiburg, 2005.