

# MODELISATION DE LA FORME URBAINE PAR RAPPORT AU DEPLACEMENT DU SABLE EN MODE DE SALTATION DANS LA REGION DE TIMIMOUN EN ALGERIE

DJAMEL MESTOUL <sup>(1)</sup>, RAFIK BENSALAM <sup>(1)</sup>, LUC ADOLPHE <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratoire Architecture et environnement (LAE), Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, EPAU, Alger-Algérie  
djamel.mestoul@yahoo.fr

<sup>(2)</sup>Laboratoire de Recherche en Architecture (LRA), Ecole Nationale d'Architecture de Toulouse, France

## ABSTRACT

Dans notre présente recherche, nous nous intéressons à la modélisation de la forme urbaine via la CFD (Computational Fluid Dynamics) par rapport au risque naturel d'ensablement dans la région de Timimoun. L'objectif est de définir une forme urbaine dont le comportement doit favoriser davantage le libre passage du vent au sein du plan masse à une vitesse de 2 à 5m/s afin d'éviter autant que possible la stagnation du sable autour des masses bâties, notamment dans les rues, les ruelles et tout espacement qui puisse exister entre masses bâties.

La modélisation CFD de cette forme urbaine a été réalisée via le logiciel Fluent Ansys. Une première configuration tirée de la littérature a été choisie, puis, que l'on a fait varier ensuite, pour tester à chaque fois l'influence de certaines grandeurs -liées à sa géométrie- sur le comportement du flux d'air incident. L'objectif étant de voir si l'on peut atteindre par une configuration urbaine « spécifique » des vitesses supérieures ou égales à 2m/s au sein du plan masse. Suivant nos références théoriques, cette vitesse est capable de déplacer les grains de sable déjà déposés, ou de maintenir ceux qui sont encore en mouvement de saltation.

Au cours de cette recherche, une corrélation a été établie entre la vitesse du vent et certains paramètres morphologiques tel que ; la porosité de la façade au vent, le prospect et la densité urbaine. Ainsi, à la fin de cette étude, des recommandations et rapports de grandeur sont proposées pour la géométrie d'une forme urbaine capable de lutter efficacement contre l'avancé du sable sous mode de saltation.

**MOTS CLES :** CFD, canyon, ensablement, forme urbaine, porosité, prospect, saltation, vent.

## 1 INTRODUCTION

L'Algérie est l'un des pays qui sont fortement exposés à l'épineux problème d'ensablement, ceci est dû en grand partie à sa géographie dont la partie saharienne représente plus de 80 % de sa superficie totale (environ deux millions de kilomètres carrés) ; les principales formes de relief dans cette partie saharienne du pays sont les Regs (étendues pierreuses) et les Ergs (étendues dunaires).

A l'instar des régions arides de l'Algérie, la région de Timimoun, située au sud-ouest, se retrouve de plus en plus vulnérable à la question d'ensablement. Ce phénomène s'explique par la sévérité des conditions climatiques arides certes, mais aussi par le mauvais choix des implantations humaines à l'intérieur de l'Erg et parfois en plein couloir de vent de sable en ce qui concerne les nouvelles extensions.



**Figure 1 : Ensablement au niveau de la nouvelle extension de Taguelzi (à Timimoun) située en plein couloir éolien. (Source : Auteur 2012)**

La saltation, est le mode le plus répandu du déplacement de sable dans la nature. Ce mode de déplacement est souvent tributaire du régime des vents dominants propres à chaque coin du monde (vitesse, direction et durée).

Dans les Ergs, le façonnement du paysage dunaire est en permanente modification suite à toute présence du vent. Au sein d'une forme urbaine, ce sont les rues qui canalisent les masses d'air. Les immeubles obligent les masses d'air à les contourner, le flux d'air est perturbé, des tourbillons se forment et donne lieu à des zones de sillage. L'écoulement de l'air va se modifier constamment en fonction de la forme des bâtiments, leur hauteur, leur disposition les uns par rapport aux autres, ce qui peut favoriser (accélérer) ou défavoriser (décélérer) le déplacement des vents au sein d'une ville.

Sachant que le déplacement de sable est tributaire de la vitesse du vent, toute modification du flux d'air influera forcément sur le mode d'accumulation de sable, précisément au sein d'une forme urbaine. C'est de là, que nous avons eu l'idée d'entreprendre cette étude qui s'attache à la maîtrise du comportement du flux d'air au sein de la forme urbaine afin de lutter contre toute éventualité d'ensablement qui pourrait avoir lieu au sein de ces masses bâties.

## 2 CAS D'ETUDE

Dans le triangle formé par la frange méridionale de l'Erg occidental, la bordure nord-occidentale du Plateau du Tademaït et l'Oued Saoura à l'Ouest, s'étend le Gourara. Son chef-lieu, Timimoun, se situe approximativement au centre de ce triangle, par 29°15 de latitude N et 0°14 de longitude E (Greenwich), c'est-à-dire à la latitude de la ville marocaine de Sidi Ifni sur le littoral atlantique et la longitude de Mostaganem sur sa côte méditerranéenne [1]. Fig.2

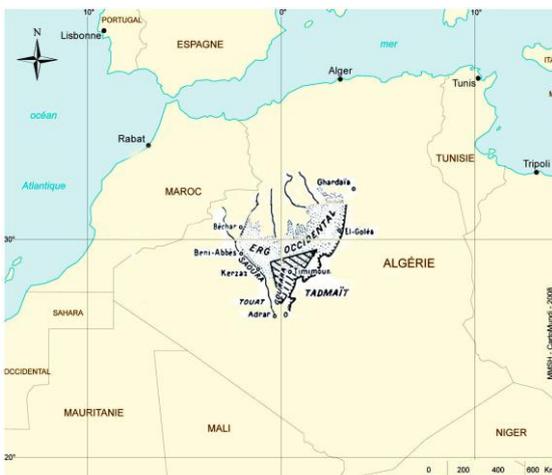


Figure 2: Position de Timimoun par rapport à l'Erg occidental, le Tademaït et la Saoura

Timimoun est une ville à climat chaud et désertique (BWh) selon la classification de Köppen [2], avec des étés extrêmement chauds et des hivers doux, et très peu de précipitations tout au long de l'année. L'ensablement est assez récurrent dans la région de Timimoun. Cela est dû au fait que cette région est exposée à de forts vents qui peuvent atteindre une vitesse de 8m/s dans le Nord-Est, Est-Nord-Est et Sud-Ouest et qui sont responsables du transport de sable dans la région [3]. Fig.3

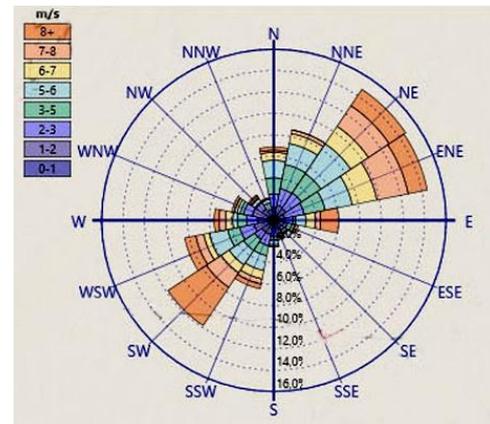


Figure 3: Rose des vents - ville de Timimoun. Données (1995-2010) ONM. Dar El Beïda-Alger

## 3 OBJECTIF DE L'ETUDE

Dans cette présente étude nous avons tenté à travers la modélisation CFD via le code Fluent de définir un prototype de forme urbaine qui soit capable de « s'auto-protéger » contre le phénomène d'ensablement. Entre outre, il s'agit de saisir les zones de dépôt de sable pour une forme urbaine donnée afin d'apporter des corrections quant au comportement du vent au sein de celle-ci. L'objectif étant de favoriser l'écoulement du vent dans certaines zones supposées être des zones de dépôt suite à la décélération de la vitesse du vent. Le maintien d'une certaine vitesse d'au moins 2m/s dans ces endroits du plan masse permettra la diminution du dépôt des grains de sable, ou parfois la remise en mouvement suivant un mode de saltation des grains déjà déposés.

## 4 METHODE

Compte tenu de la nature fluide et dynamique du vent, le facteur le plus crucial dans le contrôle du flux d'air à l'échelle urbaine est la géométrie de l'espace bâti. Les espacements entre les bâtiments modulent grandement le comportement du vent au sein de ces derniers [4]. En effet, La géométrie de la forme urbaine est susceptible d'influer sur la distribution de pression créant de ce fait des zones de pression (négative ou positive), ainsi que des zones de sillage autour des obstacles (masses bâties) rencontrés par le vent dans sa trajectoire. Ce déséquilibre en termes de distribution de pression induit la chute de la vitesse du vent

qui à son tour, en se déchargeant des grains de sable, transportés donnera lieu à des zones de dépôt.

Pour appréhender le comportement du vent au sein d'une forme urbaine et saisir les rapports dimensionnels de la géométrie de cette dernière, nous avons fait appel à la modélisation CFD. Cette modélisation a été réalisée via le code Fluent au sein du laboratoire LRA de Toulouse. Dans cette modélisation, nous sommes partis d'un cas d'étude tiré de la littérature, notamment les expériences de Bouvet (2003) [5] et Duchemin (1958) [6]. Le cas initial composé d'une seule série de volumes de type (A) a été choisi pour modéliser par la suite une forme urbaine dont l'objectif serait de réduire au maximum toute possibilité de dépôt de sable. C'est ainsi que des rapports dimensionnels de géométrie  $L/\Delta$  (porosité de la façade au vent),  $H/D$  (canyon) et  $E/D$  (densité urbaine) ont été établis.

#### 4.1 Simulation

##### 4.1.1 Cas d'une série de volumes

Partant des théories de Bouvet (2003) et Duchemin (1958), une série de volumes dont les dimensions définies dans le tableau 1 ont été adoptées.

D'après Bouvet 2003, et compte tenu des différents modèles testés, il se trouve que pour des volumes de telles dimensions que l'on surnommara (type A), la quantité de sable accumulé entre eux est la plus faible. En effet l'accumulation de sable en amont d'une série d'obstacles est en rapport avec la porosité de cette dernière. C'est-à-dire les vides qui séparent les pleins (volumes/obstacles) dans la direction perpendiculaire au vent incident.

**Tableau1: Caractéristiques dimensionnelles du modèle composé de volumes (type A)**

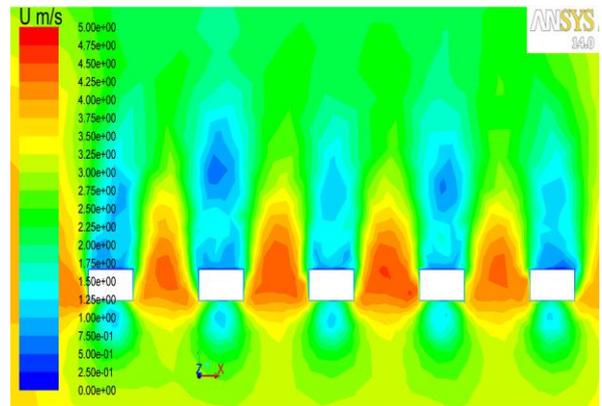
Type modèle	Hauteur (H) [m]	Longueur (L)[m]	Distance entre volumes $\Delta$ [m]	Ratio H/L	Ratio $L/\Delta$
(A)	5	10	15	0,5	0,66

Le meilleur rapport trouvé par Bouvet 2003 entre vide et plein pour minimiser l'accumulation de sable entre volumes est de l'ordre  $L/\Delta=0.66$ . Cela veut dire que pour un volume d'une longueur (L) de 10m, la distance ( $\Delta$ ) qui doit le séparer par rapport un autre volume adjacent doit être de l'ordre de 15m.

Partant de ce cas où  $\Delta=15m$  nous avons tenté d'appréhender le comportement du vent dans ce cas de figure pour un vent perpendiculaire ( $\theta=90^\circ$ ). Partant de ce cas où  $\Delta=15m$  nous avons tenté d'appréhender le comportement du vent dans ce cas de figure pour un vent perpendiculaire ( $\theta=0^\circ$ ).

Les résultats obtenus et présentés dans la figure4

corroborent bel et bien la théorie de Bouvet (2003) car la vitesse du vent enregistrée entre les volumes est de l'ordre

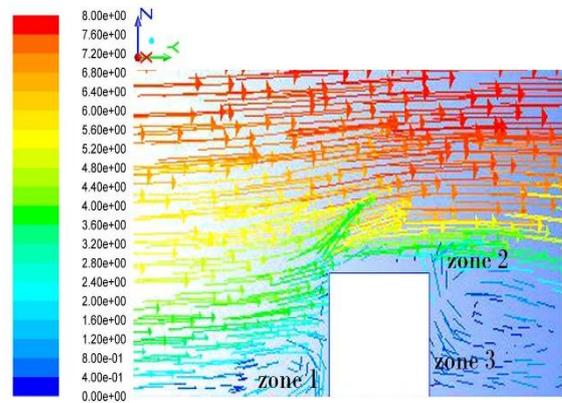


de 3 à 5m/s ce qui empêche forcément l'accumulation de sable dans cette zone du plan masse (seuil de saltation) [7].

**Figure 4: Graduant de vitesse autour des volumes type (A)**

Cependant, dans les zones en amont et en aval des volumes, la vitesse du vent a tendance à ralentir du fait de l'effet de sillage.

Cet effet de sillage est illustré en détail dans la Figure5. Sur Fluent, en optant pour une représentation en flèches pour les champs aérauliques cela nous a permis de mieux appréhender le mécanisme de cet effet et de sa production.



**Figure 5 : graduant de la vitesse de l'air autour d'un volume type (A) posé au sol**

Au départ, le sillage est créé dans la zone 1 du fait de l'obstacle (volume A) qui freine le déplacement du flux d'air incident. Puis dans la zone 2, suite à un effet de décollement, l'air a tendance à rebrousser son chemin puis avant de se heurter contre la face sous le vent du volume (A) en zone 3. Par conséquent, les zones 1 et 3 sont considérées comme zone d'accumulation potentielle de sable du fait de la chute de la vitesse d'air. En effet, en dessous d'une valeur de vitesse de 2m/s l'air a tendance - sous l'effet de la gravité- de lâcher les grains de sable emportés et donne de ce fait naissance à des zones de dépôt que l'on appelle "sédiments".

Nous avons tenté d'apporter une correction au comportement du flux d'air dans les deux zones (1 et 3). L'objectif étant de faire dissiper la pression de l'air logée en zone 1 et faire disparaître l'effet de sillage qui en découle en zone 3. Dans ce sens, nous avons pensé à surélever les volumes du sol de manière à assurer un déplacement fluide du flux d'air incident de la zone 1 vers la zone 3. Nous supposons qu'à travers ce procédé nous feront éviter aux grains de sable en mouvement de venir se heurter contre la façade au vent

Plusieurs simulations ont été réalisées sous le code Fluent pour différentes valeurs de surélévation (1-4m). Le meilleur résultat a été obtenu avec une valeur de  $h=3m$  qu'a effectivement permis la suppression des zones de sillages (Fig.6). Dans ce cas de figure nous assistons à une libre circulation du flux d'air sous les volumes suivant une vitesse qui peut atteindre les 6m/s, ce qui serait largement suffisant pour mettre les grains de sable en mouvement suivant un mode de saltation (Pethick, 1984).

Admettant ainsi que la saltation concerne le déplacement des grains de sable à une hauteur du sol n'excédant pas 1m (Fryrear et al., 1991), la surélévation de 3m que nous avons effectuée serait largement suffisante pour permettre le libre déplacement des grains de sable en mode de saltation.

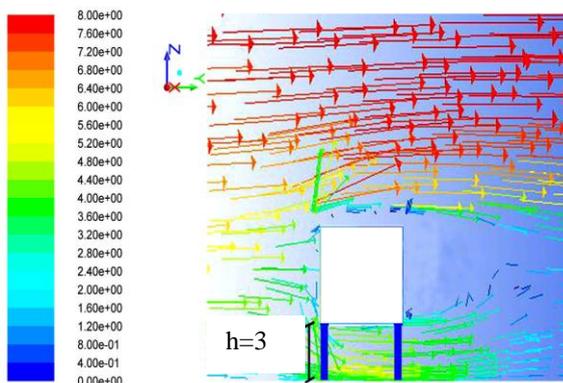


Figure 6: **graduant de vitesse du vent autour des volumes de type volume (A) surélevés de 3m du sol**

Comme on peut le constater en figure 6, une libre circulation de l'air se crée sous les volumes avec une vitesse d'air qui peut atteindre les 6 m/s, ce qui serait largement suffisant pour mettre les grains de sable en mouvement suivant un mode de saltation.

Nous avons mené ensuite des comparaisons en terme de simulation du comportement aérodynamique entre une rangée de volumes type A posée au sol et une autre du même type mais surélevée de 3m du sol.

Hormis l'importante vitesse de l'air enregistrée sous les volumes surélevés (5.7m/s), nous avons constaté ainsi que ces volumes génèrent des champs de vitesses atteignant parfois 6m/s, supérieures à celles enregistrées entre les volumes posés au sol (4.5m/s). Ainsi, dans la zone amont/aval des volumes surélevés, nous avons

constaté que l'air ne décélère pas ; sa vitesse est plus au moins stable autour d'une valeur de 5m/s, contrairement au modèle dont les volumes sont posés au sol où la vitesse est pratiquement nulle (amont/aval) du fait de la présence d'obstacles.

La surélévation de l'obstacle (volume A) permettra de dissiper la pression positive logée en amont de ce dernier et élimine de ce fait les zones de sillage en aval. Par conséquent, la vitesse de l'air augmente entre les deux côtés de l'obstacle pour créer l'équilibre suivant la loi de conservation de l'énergie. Fig.7

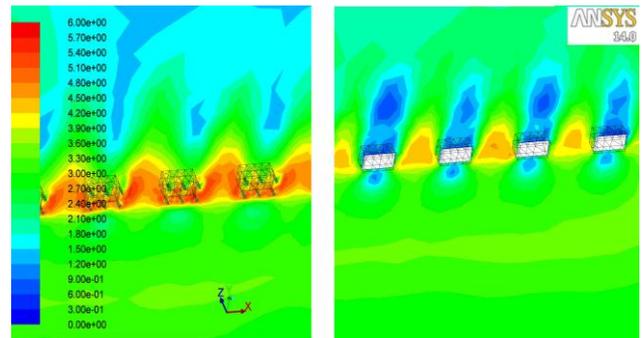


Figure 7: **comparaison de la vitesse d'air.**

-A gauche : **volumes type (A) surélevés de 3m du sol.**

-A droite : **série de volumes type (A) posés au sol**

#### 4.1.2 Cas de plusieurs séries de volumes (forme urbaine à un plan en damier)

Dans la première partie de notre étude nous sommes partis des expériences de Bouvet (2003) pour adopter le rapport  $L/\Delta=0,66$  entre la longueur du volume (L) et l'espacement entre deux volumes voisins ( $\Delta$ ).

Dans cette deuxième partie de l'étude, nous avons abordé la question du comportement du flux d'air au sein de plusieurs rangées de volumes de type A. Notre objectif est définir cette fois-ci des rapports dimensionnels entre espacement et hauteur de volumes H/D (canyon), et E/D (densité urbaine). Nous définissons, H ; la hauteur des volumes, h : la hauteur de surélévation, D ; l'espacement entre volumes, W largeur de volume et E ; la longueur du profil urbain (E) que l'on peut exprimer de la manière suivante ;

$$E = \sum (D) + \sum (W) \tag{1}$$

Pour un profil urbain composé de plusieurs rangées, nous désignons par (n) nombre de rangées, et par (n') le nombre des espacements qui puissent exister entre ses volumes. La relation entre (n) et (n') peut s'écrire de la façon suivante  $n' = n - 1$ ,

D'où l'équation (1) peut être réécrite de la manière suivante ;

$$E = (n) D + (n-1) W \tag{2}$$

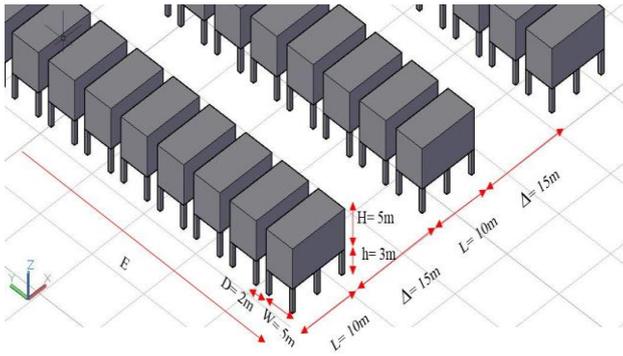


Figure 8: modèle de forme urbaine à multiples rangées composées de volumes type (A) surélevés de 3m du sol

Pour développer notre modèle de forme urbaine nous avons fait référence à quelques expériences comme celles menées par Oke (1988). Il s'agit des travaux les plus détaillés consacrés à l'impact de la géométrie d'un groupement urbain extensif sur le comportement du flux d'air incident. Dans ses recherches, Oke avait étudié les effets de la densité du plan, en variant le rapport H/D. Fig.9

Les résultats indiquent que les flux d'air dans un groupement peuvent être déterminés suivant trois régimes distincts de flux d'air. Ces régimes sont respectivement : le régime de flux isolé, le régime d'interférence du sillage et le régime de flux rasant.

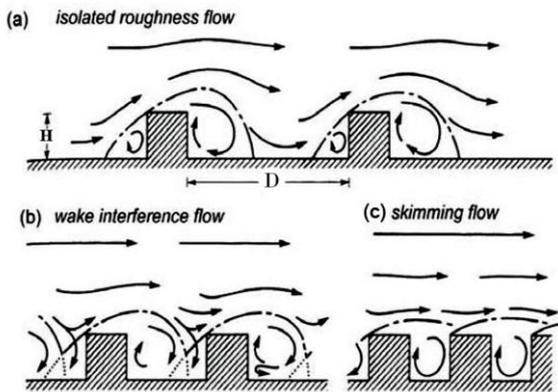


Figure 9: Interaction des écoulements entre obstacles de hauteur H en fonction de la distance D. (a) l'obstacle isolé. (b) l'interaction du sillage. (c) la rue étroite (flux rasant). (Oke 1988)

1. Régime de flux isolé : lorsque les bâtiments sont bien espacés, les champs de flux ne sont pas en interaction, les mouvements d'air sont alors identiques à ceux observés autour de bâtiments isolés, ce qui signifie que le niveau d'exposition des bâtiments y est similaire au cas de bâtiments isolés.
2. Flux d'interférence du sillage : à des espacements plus étroits, un nouveau régime, dit d'interférence du sillage s'établit, caractérisé par l'interaction des flux. Dans ce cas, des flux secondaires prennent place dans les espacements entre bâtiments dus à

la déviation d'une partie du vent global au-dessus des toits vers la rue par les bâtiments faisant face au vent. Ce cas suggère une plus grande protection des vents que le premier cas mais maintient un niveau élevé de renouvellement d'air avec l'air au-dessus des toitures, et présente une façade face au vent exposée et celle sous le vent protégée.

3. Flux rasant : pour des densités élevées (bâtiments très serrés), une circulation tourbillonnaire stable s'installe dans les vides entre les bâtiments et définit le régime de flux rasant. Le passage à ce régime survient lorsque le flux principal n'entre pas dans les espacements et passe au-dessus des bâtiments et correspond au cas d'une grande protection des vents et un faible potentiel de renouvellement d'air dans les rues.

La transition d'un régime à l'autre se produit à certaines valeurs particulières du rapport H/D (Hussein et Lee, 1980) et L/D (Hosker 1985). L'espacement entre les bâtiments (D) est un facteur qui peut modifier le débit du régime isolé au régime interférant. Cependant, lorsque les bâtiments sont longs, l'espacement montre peu d'impact.

C'est ainsi que Hosker (1985) avait constaté l'importance du canyon (rapport H/D) et de la géométrie du bâtiment (L/H) dans la transition entre les flux. Cependant, si le rôle du rapport H/D (canyon) est dominant, celui de (L/H) demeure très faible en termes d'influence sur le régime du flux d'air. Fig.10

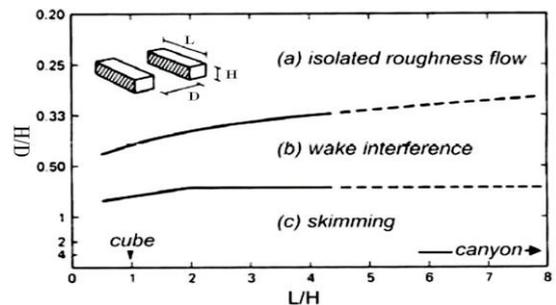


Figure 10 : Dépendance de la nature du flux d'air par rapport au profil urbain (H/L) et la géométrie du bâtiment (L/H). (Hosker 1985)

En résumé, pour avoir un écoulement rasant, cela nécessite que ;  $H/D \geq 1.6$  pour un obstacle bidimensionnel et  $H/D \geq 1.3$  pour un cube [8].

Pour notre modèle nous sommes dans un cas d'obstacle bidimensionnel ( $H=5m$ ,  $L= 10 m$ ), ce qui implique un rapport  $H/D \geq 1.6$  d'où ;  $D \leq H/1.6$

Nous avons choisi une valeur  $D=2m$ . Cette valeur représentera la distance entre les rangées de volumes type (A) tel que présenté dans le Tableau 2. Un nombre (n) de 15 rangées a été choisi ce qui donne depuis l'équation (2) une valeur du profil urbain (E) d'environ 100m.

Trois configurations ont été choisies dont la seule différence est la surélévation (h) des volumes au-dessus du

sol. (h) est d'une valeur de 4, 3 et 2m respectivement pour les modèles (1), (2) et (3) Tab2.

**Tableau 2: Caractéristiques du prototype de la forme urbaine étudiée**

Modèles	Hauteur de volumes (H) [m]	Largeur de volumes (D) [m]	Espacement entre volumes (Δ) [m]	Espacement entre rangées (D) [m]	Nombre de rangées	Elévation au sol (h) [m]
(1)	5	10	15	2	15	4
(2)	5	10	15	2	15	3
(3)	5	10	15	2	15	2

A travers cette variation de (h) notre but est de saisir la valeur avec laquelle la circulation du flux d'air incident présentera le gradient de vitesse le plus élevé sous les volumes. Une vitesse d'air supérieur à 4m/s est supposée être capable de mettre en mouvement les grains de sable par charriage. Ainsi, qu'une vitesse pas moins de 2m/s pourra maintenir les grains de sable déjà en mouvement (Pethick, 1984). Donc en résumé, nous visons à optimiser la circulation d'air sous les volumes afin de maintenir une vitesse d'air pas moins de 2m/s (seuil de saltation).

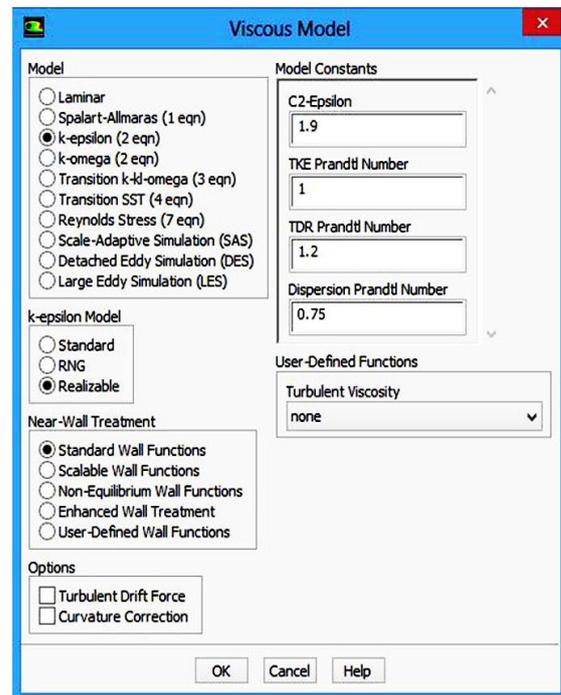
Sous Fluent nous avons simulé le comportement du vent au sein des trois configurations définies suivant le modèle de flux rasant ( $D \leq H/1.6$ ) développé plus haut. Compte tenu de la météorologie de Timimoun (Fig2) une vitesse d'entrée d'air ( $U_0$ ) de 8m/s représentant les vents dominants de la région (NE et ENE) a été définie suivant l'équation (3) "udf.h" (user-defined function) puis implémentée dans le modèle de calcul. Fig.11

$$U_z = U_0 * (Z / Z_0)^a \tag{3}$$

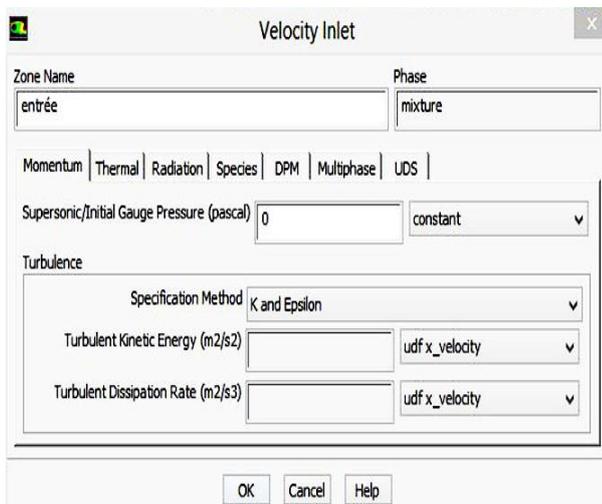
Avec,

$U_0 = 8\text{m/s}$  (vitesse d'entrée),  $a=0.3$  (rugosité),  $Z_0=100\text{m}$  (hauteur de référence)

Le modèle de viscosité (K-ε) standard a été choisi pour sa performance en termes de calcul avec un coefficient de rugosité (a) de 0,3. Ce modèle est couramment utilisé dans Computational Fluid Dynamics (CFD) pour simuler les caractéristiques d'écoulement moyennes pour des conditions d'écoulement turbulent. Fig12



**Figure 12: Modèle de turbulence (k-epsilon standard) utilisé sous Fluent**



**Figure 11 : Conditions aux limites sous Fluent ; définition de la vitesse d'entrée**

## 5 RESULTATS ET DISCUSSION

La figure13 ci-dessous, illustre parfaitement la différence en termes de profils de vitesse du vent enregistrés dans les trois configurations étudiées. Contrairement aux configurations (2) et (3), le modèle (1) dont les volumes sont surélevés de 4m au sol, soit 0.8H est celui qui présente une vitesse d'air la plus élevée, de l'ordre de 2 à 5 m/s sous les volumes. Ceci peut s'expliquer par le fait que la section de l'ouverture (4mx10m) du type (1) sous les volumes face au vent est la plus grande et permet ainsi au flux d'air de s'engouffrer à une quantité proportionnelle à sa surface (40m<sup>2</sup>).

Ainsi, suite à un effet de canalisation, le vent continue son déplacement à une certaine vitesse plus au moins stable. Cependant, cette vitesse a tendance à chuter jusqu'au point zéro au fur et à mesure de la distance parcourue par le vent (six rangées).

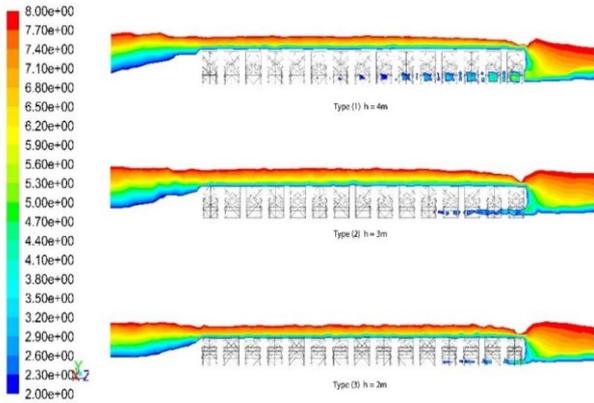


Figure 13: Coupe longitudinale montrant les gradients de la vitesse d'air (m/s) enregistrés sous les volumes des trois modèles testés

La diminution de la vitesse d'air peut être expliquée par l'expérience de Givoni (1989) exprimée en figure 14. Suivant ce théorème, au fur et à mesure de la distance parcourue par le vent, sa force chute vers une valeur asymptotique d'environ 10% de la vitesse totale initiale. Ceci renseigne sur la relation entre densité de la configuration urbaine et profondeur d'intrusion du vent dans un tissu urbain extensif. Cette relation est définie par le rapport  $E/D$  qui représente la densité urbaine.

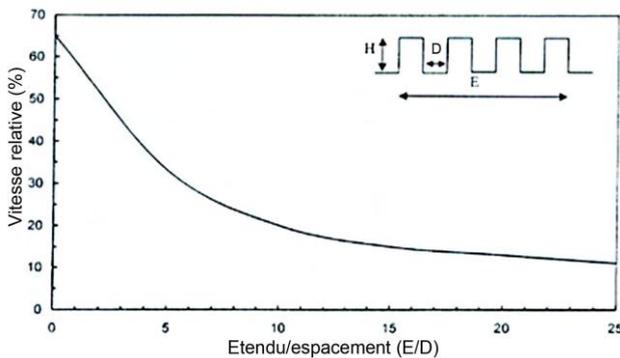


Figure 14: Impact de l'étendu d'un tissu urbain sur la vitesse du vent ; cette dernière tend à se stabiliser à mesure que l'étendu du tissu urbain augmente (Givoni 1989)

Afin de conserver une vitesse du vent sous les volumes à une valeur supérieure ou égale à 2m/s (seuil de saltation) nous avons dû ramener le nombre de rangées à six, espacées toujours de la même distance ( $D=2m$ ) afin d'observer l'impact sur l'évolution de la vitesse du vent.

Les résultats obtenus sont satisfaisants. (Fig.15). Nous constatons clairement qu'avec une forme urbaine de six rangées de volumes surélevés, le vent arrive à parcourir tout le profil urbain (E) qui est d'environ 40m avec une vitesse de 2 à 5m/s. Suivant nos repères théoriques cette fourchette de vitesse d'air obtenue (2-5m/s) est suffisamment capable de maintenir les grains de sable en mouvement de saltation. De cette manière le vent assure le déplacement progressif des grains de sable en dehors du périmètre urbain.

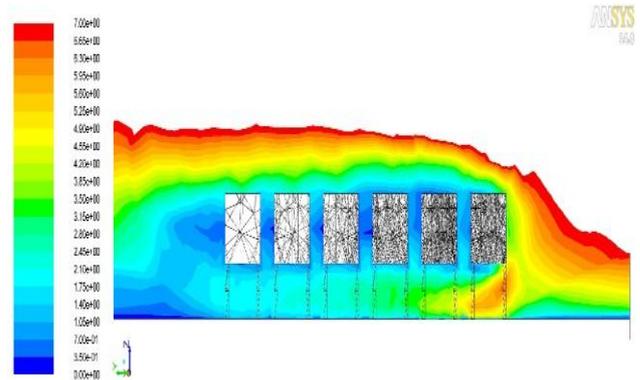


Figure 15: gradient de la vitesse d'air enregistrée sous les volumes du modèle (1) composé de six rangés

## 6 CONCLUSION

Selon nos investigations effectuées sur le site de Timimoun [9], le problème de déplacement de sable dans la région est dû dans la plupart du temps au mécanisme de saltation.

Ce mode de déplacement des grains de sable est le plus difficile à combattre, non seulement parce qu'il se produit à des fréquences régulières d'un régime de vent régulier, mais aussi car il s'effectue dans une couche limite qui va de quelques millimètres à une centaine de centimètre (Fryrear & al., 1991). De ce fait, au moindre obstacle rencontré dans sa trajectoire -tel que les masses bâties- le vent de sable sera déchargé des grains transportés et donnera des formes d'accumulation que l'on appelle « sédiments », c'est le début d'un véritable phénomène d'ensablement à l'échelle de l'obstacle.

Tenant compte de sa fluidité au sein de la nature, le vent est le facteur principal dans le façonnement du paysage saharien à travers le déplacement de sable. Au sein d'une ville, le vent perd de cette fluidité et se trouve perturbé de par son interaction avec les composantes de la ville ; notamment ses masses bâties. Le comportement du vent dans ce cas précis se retrouve régi par certains rapports dimensionnels liés à la géométrie de l'espace bâti que nous avons tenté de définir à travers une série de simulations sous le code Fluent. Ces rapports sont résumés ci-dessous.

- La porosité : le pourcentage entre vide et plein de l'ordre de  $L/\Delta=0.66$  avec une surélévation  $h=0.8 H$  (pour notre cas étudié) favorisera considérablement le passage du flux d'air au sein du plan masse, notamment ; à travers les rues et sous les volumes surélevés. La vitesse enregistrée est de l'ordre de 2 à 5m/s. De ce fait, toute possibilité de stagnation de sable en amont de la façade au vent peut être évitée.
- Le canyon : Un rapport entre hauteur de volumes et espacement de l'ordre de  $D \leq H/1.6$  a été tiré de la littérature (Hosker, 1985) et a donné des résultats satisfaisants pour une valeur  $D=2m$ . Cette valeur qui constitue l'espacement entre rangées de

volumes a permis de réaliser un flux rasant permettant ainsi au flux d'air incident de conserver plus au moins sa vitesse initiale.

La densité urbaine : a été définie suivant un rapport ( $E/D$ ) entre le profil urbain ( $E$ ) et l'espacement entre rangées de volumes ( $D$ ). En effet, pour des rangées serrées ( $D=2m$ ) le rapport  $E/D$  doit être inférieur ou égal à 20 ( $E/D \leq 20$ ) pour que le vent puisse traverser le profil ( $E$ ) sans chute instantanée de sa vitesse en dessous de 2m/s. Fig.16

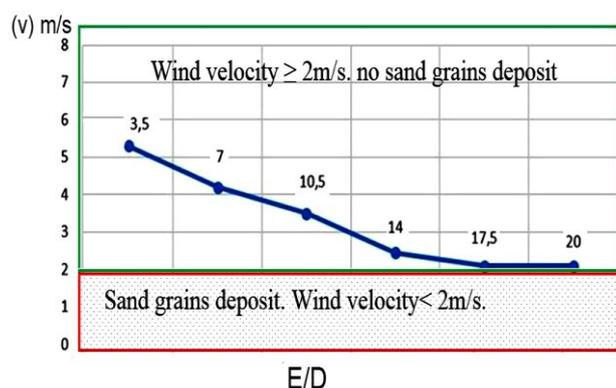


Figure 16: Gradient de la vitesse d'air sous les volumes en fonction du rapport  $E/D$

Ces résultats sont valables pour le cas d'un vent incident perpendiculaire ( $\theta=90^\circ$ ) avec une vitesse initiale de 6-8m/s (vent dominant dans la région de Timimoun). Notre prochaine recherche portera sur l'étude du comportement aérodynamique de ce modèle sous différentes directions du vent, ainsi que la simulation du déplacement de sable sera réalisée afin d'évaluer la pertinence de ce modèle en terme de lutte contre l'ensablement.

Enfin, ce travail même s'il prend en considération les paramètres climatiques spécifiques à la région de Gourara, n'a pas la prétention de proposer un modèle de ville qui reprend le fondement théorique de l'aspect architectural et urbanistique de la région. Notre prochaine recherche vise à prendre en considération ces aspects à travers l'intégration d'une échelle appropriée ; soit l'« ilot », car nous

considérons que l'ilot est l'unité de l'espace urbain qui nous permettra d'agir sur la typologie du tissu urbain à mettre en place (dense et serré, éparse et fragmenté).

## REFERENCES

- [1] Bisson, J. 1957 Le Gourara. Étude de géographie humaine. Alger.
- [2] PLEA 2011 Architecture & Sustainable Development (vol.1): 27th International conference on passive and low energy architecture. Louvain-la-Neuve. Belgium, 15-13 July 2011.
- [3] Mestoul D. & al «Phénomène d'ensablement, formes de vulnérabilité et de résilience dans la région de Timimoune en Algérie». Workshop international organisé par LAE/LRA à l'EPAU le 09 Déc. 2012. Communication présentée dans le cadre du projet CMEP 09MDU788. [http://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/theses/Djamel\\_Mestoul/presentation](http://lra.toulouse.archi.fr/lra/activites/theses/Djamel_Mestoul/presentation).
- [4] Ali-Toudert F. 2000 Intégration de la dimension climatique en urbanisme. Mémoire de Magister, EPAU, Alger.
- [5] Bouvet F.N. 2003 Approche macro-structurelle des écoulements bi-phasiques turbulents de neige et de leur interaction avec des obstacles. (France).
- [6] Duchemin. G.J. 1958 Essai sur la protection des constructions contre l'ensablement à Port-Etienne (Mauritanie).
- [7] Pethick J. (1984) an introduction to coastal geomorphology, Edward Arnold.
- [8] Vinçont J.Y. 1999 Détermination des flux turbulents de masse dans le sillage d'un obstacle. Application à l'écoulement à l'intérieur de la canopée urbaine. Thèse de doctorat. (France).
- [9] Mestoul D. & al « Pour une caractérisation des phénomènes extrêmes des changements climatiques en zones arides ; cas de l'ensablement à Touat-Gourara en Algérie » <http://journées-scientifiques.2ie-edu.org/js2011/sessions/pdf/mestould.pdf>.