

# ÉCOULEMENTS D'AIR AVEC DISPERSION DE PARTICULES AUTOUR DES CONSTRUCTIONS ET SUR LES PALMERAIES

S.HOUDA<sup>1</sup>, A.HASSEINE<sup>2</sup>, M.MELLAS<sup>2</sup>, A.MERZOUGUI<sup>2</sup>, D.LAIADI<sup>2</sup>, J.CHAOUKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département de Génie Civil, université Mohamed Khieder - Biskra

<sup>2</sup> Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique, Développement Durable et Environnement

<sup>3</sup> Chemical Eng. Dept., Ecole Polytechnique de Montréal, Canada.  
hasseine@yahoo.fr

## RESUME

La culture du palmier dattier constitue sans aucun doute une participation importante sur le plan socio-économique dans l'agriculture saharienne surtout dans la wilaya de Biskra. En effet, le palmier procure, grâce à la commercialisation aux échelles nationale et internationale de son fruit, un revenu régulier pour les phoeniculteurs et constitue une deuxième source de devise après les hydrocarbures. Il représente la principale ressource de vie des populations de ces régions et offre des emplois directs et indirects. Au cours de la dernière décennie, la productivité des palmiers dattiers a décliné dans les zones de cultures traditionnelles. Ce sont 30 % de la production qui peuvent être perdus sous l'effet des maladies et des parasites tels que : El *Boufraoua* due à une *cochenille blanche*. La poussière est considérée comme l'un des plus importants facteurs contribuant à la propagation de cette maladie.

Dans ce travail, les impacts de la dispersion des poussières produites par trois carrières doivent être caractérisés et simulés à l'aide d'un logiciel de simulation de type CFD en utilisant le model Eulerien. Les résultats de la simulation obtenus montrent bien le dépôt de la poussière qui est à l'origine de la parution de la maladie sus- citée émanant de ces trois carrières sur les palmiers dattiers et même sur les habitants du village d'*El-Hadjeb aux environs de Biskra*.

**MOTS CLÉS:** Dispersion, Ecoulement, Poussières, palmiers dattier, modélisation, simulation, CFD.

## ملخص

تساهم زراعة أشجار التمور بدون شك في التنمية الاقتصادية و الاجتماعية لولايات الجنوب خاصة منطقة بسكرة و هذا من ما توفره من يد عاملة دائمة بالإضافة إلى جودتها العالمية، و التي يمكن أن تكون أهم دخل وطني بعد قطاع الطاقة. لكن في السنوات العشر الأخير انخفض منتج التمور بنسبة 30 % بسبب الأمراض و الطفيليات. أهم هذه الطفيليات هي الدودة البيضاء و التي تؤدي إلى تلف المنتج (مرض البوفروة) من جهة كما تثبط عملية التركيب الضوئي لشجرة النخيل من جهة أخرى، إن أهم عامل و وسيط لانتشار هذا المرض هو الغبار.

في هذا العمل قمنا بدراسة توقعية لتأثير انتشار الأتربة المعدنية الناتجة عن ثلاثة مساحات استغلال الحصى لبلدية الحاجب و المعروفة بتأثيرها حتى على سكان المنطقة من الناحية الصحية خاصة قرية برج النص. لذا قمنا باستخدام البرنامج الشهير (CFD) و اخترنا نموذج (Eulerien) لمعرفة تأثير العوامل الجوية المتمثلة في الرياح في انتشار الغبار على أشجار النخيل و بلدية الحاجب، وقد بينت دراستنا هذه الدور السلبي لمنبع التلوث الصناعي على المنطقة المدروسة.

**الكلمات المفتاحية:** انتشار، تدفق، أشجار التمور غبار، النمذجة، المحاكاة، Fluent t

## 1 INTRODUCTION

En Algérie, la culture du palmier dattier constitue sans aucun doute une participation importante sur le plan socio-économique dans l'agriculture saharienne. Il représente la principale ressource de vie des populations de ces régions et le pivot du système oasien [1].

En effet, il procure, grâce à la commercialisation aux échelles nationale et internationale de son fruit, un revenu régulier pour les phoeniculteurs et une deuxième source

de devise après les hydrocarbures. Il offre des emplois directs et indirects et crée sous son couvert un microclimat favorable au développement de nombreuses cultures sous-jacentes; ce qui assure la sauvegarde de la biodiversité des zones arides et le ralentissement de la désertification ; il assure aussi une certaine stabilité pour les populations qui vivent dans les oasis [1,2].

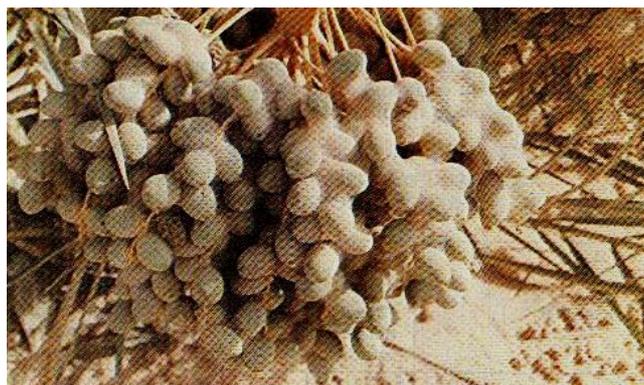
La palmeraie algérienne est essentiellement localisée dans les zones de la partie sud-Est du pays. Elle couvre une superficie de 128.800 ha à environ 14.605.030 palmiers

dont 9.641.680 constituent le potentiel productif soit 66 %. La production est estimée à 492.217 tonnes dont 244.636 tonnes (50 %) de dattes demi molles (Deglet Nour), 164.453 tonnes (33 %) des dattes sèches (Degla Beida et analogues) et 83.128 tonnes soit 17% des dattes molles (Ghars et analogues) [3].

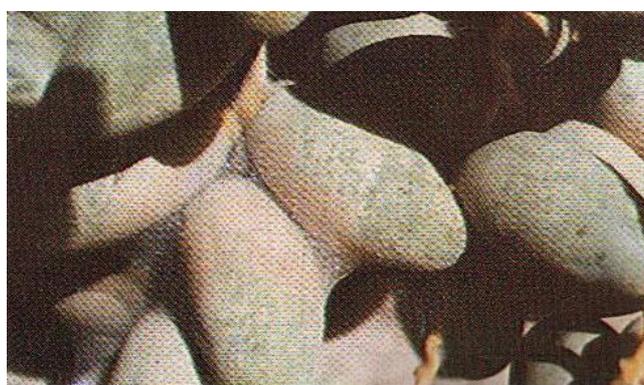
Au cours de la dernière décennie, la productivité des palmiers dattiers a déclinée dans les zones de cultures traditionnelles. Ce sont 30 % de la production qui peut être perdue sous l'effet des maladies et des parasites [4]. La moitié des maladies est causée par la déposition des poussières sur les palmiers dattiers qui favorisent le développement de la cochenille illustré par les figures 1-4 montrant des situations remarquables : l'une est relative au phénomène de photosynthèse de palmeraies et les autres sont liés aux problèmes phytosanitaires. La pullulation de la cochenille blanche constitue l'un des principaux ennemis du palmier dattier tant par les dégâts qu'il engendre que par les restrictions commerciales qu'il impose. Néanmoins, la liste des ennemis du palmier dattier en Algérie ne cesse de croître. Ainsi, la pourriture des inflorescences ou Khamedj due à *Mauginiella scaetiae* Cav est décrite par Bounaga et Djerbi (1990) et Sedra (2003) comme une maladie importante du palmier dattier [5-11].



**Figure 1-2:** Forte densité de la cochenille qui provoque le dessèchement des folioles et peut induire la mortalité de la palme.

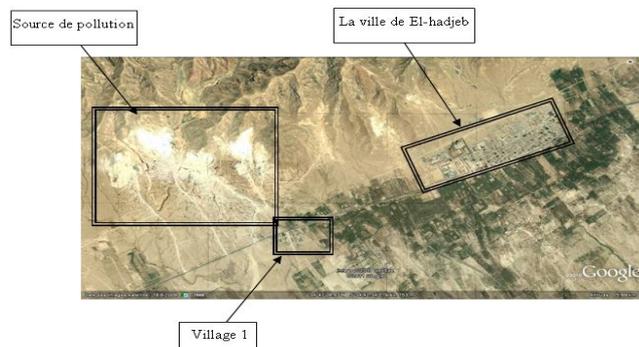


**Figure 3:** Couverture des fruits par une toile de filament soyeux, qui retient les grains de poussière soulevés par le vent.



**Figure 4:** Implantation des acaridians entre les fruits contigus et forment des taches de contours irréguliers.

Ce travail a pour objectif d'examiner l'effet de la dispersion atmosphérique des poussières provenant des sources constituées par trois carrières sur les maisons et sur les palmiers dattiers. Pour cette étude nous nous sommes servi du logiciel commercial dédié à la mécanique des fluides numérique, la CFD (Computational fluid dynamics fluent 6.3 dans l'objectif de modéliser et de Simuler dispersion des particules émises par les carrières sur les palmiers dattiers et les habitations d'El-Hadjeb aux environs de Biskra comme le montre la figure 5.



**Figure 5:** Site de la commune El Hadjeb willaya Biskra.

## 2 MODELISATION DE LA DISPERSION DES POUSSIÈRES

Cette partie va discuter des différents modèles Euler/Euler proposés par Fluent. Les modèles Euler/Euler proposés par Fluent sont au nombre de 3 [12]:

- Volume Of Fluid (VOF)
- Mixture Model
- Eulerian Model

Pour notre travail, la documentation Fluent préconise l'utilisation du Modèle «Eulerian Model». Nous allons maintenant détailler les équations utilisées et résolues par ce modèle.

### 2.1 Modèle Eulérien

Lorsque ce modèle est utilisé, Fluent résout pour chaque phase une équation de continuité et une équation de bilan de quantité de mouvement. Ses équations ont directement été obtenues à partir des équations de continuité et de bilan de quantité de mouvement monophasiques. Il existe tout de même des différences entre le jeu d'équations monophasiques et multiphasiques. Le passage du jeu d'équations monophasiques au jeu d'équations multiphasiques se fait par l'introduction d'une fraction volumique de phase traduisant la présence ou non d'une phase. Il existe également dans le jeu d'équations multiphasiques des termes d'échange de masse et de quantité de mouvement entre les différentes phases.

Les équations fondamentales moyennées ci-dessous constituent l'essentiel des équations mathématiques utilisées par le code [11,13].

#### 2.1.1 Equation de continuité

La fraction volumique pour chaque phase est calculée à partir de l'équation de continuité:

$$\frac{1}{\rho_{rq}} \left( \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{qp} - \dot{m}_{pq})$$

$\rho_{rq}$ : la référence de densité de la phase  $q$  (air) ou la moyenne volumique de la densité de la phase  $q$  sur le domaine de calcul

Le terme de droite de cette équation traduit le transfert de masse entre les différentes phases. Dans notre cas, nous ne considérons pas de transfert de masse, ce terme est donc nul.

#### 2.1.2 Bilan de quantité de mouvement

L'équation de bilan de quantité de mouvement de la phase  $q$  (air) est la suivante :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q \vec{v}_q) = -\alpha_q \nabla p + \nabla \cdot \overline{\tau}_q + \alpha_q \rho_q \vec{g} \\ + \sum_{p=1}^n (K_{pq} (\vec{v}_p - \vec{v}_q) + \dot{m}_{pq} \vec{v}_{pq} - \dot{m}_{qp} \vec{v}_{qp}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{lift,q} + \vec{F}_{vm,q}) \end{aligned}$$

L'équation de bilan de quantité de mouvement de la phase  $s$  (solide) est la suivante :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s \vec{v}_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s \vec{v}_s \vec{v}_s) = -\alpha_s \nabla p - \nabla p_s + \nabla \cdot \overline{\tau}_s + \alpha_s \rho_s \vec{g} \\ + \sum_{l=1}^N (K_{ls} (\vec{v}_l - \vec{v}_s) + \dot{m}_{ls} \vec{v}_{ls} - \dot{m}_{sl} \vec{v}_{sl}) + (\vec{F}_s + \vec{F}_{lift,s} + \vec{F}_{vm,s}) \end{aligned}$$

La fermeture du système d'équations nécessite de définir le modèle de la turbulence, Fluent propose 3 modélisations de la turbulence multiphasiques basées sur le modèle  $k-\varepsilon$ . Deux autres modélisations existent, elles sont basées sur le modèle RSM (Reynolds Stress Model).

Les modèles de turbulence basés sur le modèle  $k-\varepsilon$  qui sont les suivants [11, 14, 15,16]:

- Mixture Turbulence Model
- Dispersed Turbulence Model
- Turbulence Model for each phase

Le modèle de turbulence choisi dans ce travail est le modèle  $k-\varepsilon$  « Dispersed Turbulence Model », ce modèle résout une équation de transport de  $k$  et  $\varepsilon$  pour chacune des phases. La résolution de toutes ces équations rend l'utilisation de ce modèle assez lourde mais la plus complète possible.

#### 2.1.3 Equation de transport de l'énergie cinétique de turbulence

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q \varepsilon_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{U}_q \varepsilon_q) = \nabla \cdot \left( \alpha_q \frac{\mu_{t,q}}{\sigma_q} \nabla \varepsilon_q \right) + \\ \frac{\varepsilon_q}{k_q} [C_{1\varepsilon} \alpha_q G_{k,q} - C_{2\varepsilon} \alpha_q \rho_q \varepsilon_q + C_{3\varepsilon} (A)] \end{aligned}$$

#### 2.1.4 Equation de transport du taux de dissipation de turbulence

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q \varepsilon_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{U}_q \varepsilon_q) = \nabla \cdot \left( \alpha_q \frac{\mu_{t,q}}{\sigma_q} \nabla \varepsilon_q \right) + \\ \frac{\varepsilon_q}{k_q} [C_{1\varepsilon} \alpha_q G_{k,q} - C_{2\varepsilon} \alpha_q \rho_q \varepsilon_q + C_{3\varepsilon} (A)] \end{aligned}$$

Avec

$$A = \sum_{l=1}^N K_{lq} (C_{k_l} k_l - C_{\varepsilon_l} \varepsilon_l) - \sum_{l=1}^N K_{lq} (\vec{U}_l - \vec{U}_q) \cdot \frac{\mu_{tl}}{\alpha_l \sigma_l} \nabla \alpha_l + \sum_{l=1}^N K_{lq} (\vec{U}_l - \vec{U}_q) \cdot \frac{\mu_{tq}}{\alpha_q \sigma_q} \nabla \alpha_q$$

### 3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

A l'aide du préprocesseur Gambit (2.0), nous avons utilisé un maillage non structuré constitué par une discrétisation spatiale en éléments finis qui sont en mesure d'épouser les diverses formes aussi bien des maisons que des palmiers qui sont les tétraèdres. La Figure 1 montre un maillage plus raffiné autour des objets que sur les limites du domaine. En effet, il n'est pas nécessaire d'investir trop de temps de calcul dans la région qui n'influence que peu sur les forces exercées sur les obstacles.

Le maillage est constitué de 41275 nœuds, 121'393 faces, 80118 cellules comme le montre la Figure 1

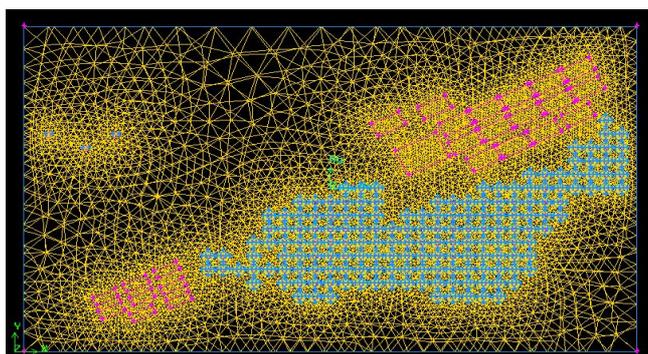


Figure 6: Maillage du site étudié.

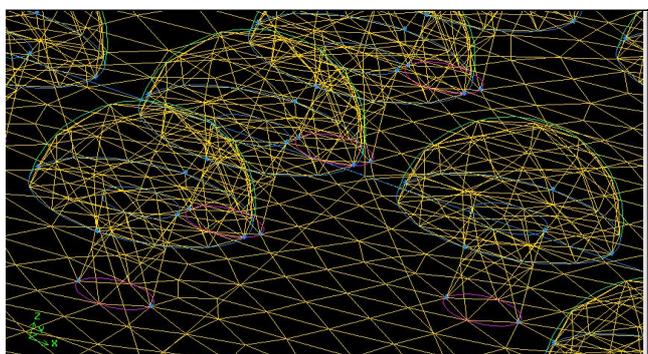


Figure 7: Maillage des palmiers dattier.

Les figures 6 et 7, représentent le maillage concluant retenu après plusieurs essais.

#### 3.1 Résultats obtenus à l'aide du code CFD fluent Convergence

Les calculs doivent être terminés après convergence suffisante de la solution pour cela il est nécessaire de vérifier que la solution des variables ne change pas en des points particuliers aux différentes étapes, en outre les résidus ont été pris à quatre décimale après la virgule tout en précisant les coefficients de relaxation adapté au type de problème pour accélérer la convergence de la solution.

Le graphe des résidus pour ce calcul est donné sur la figure 8. Comme nous le constatons la convergence est atteinte après environ 50 itérations.

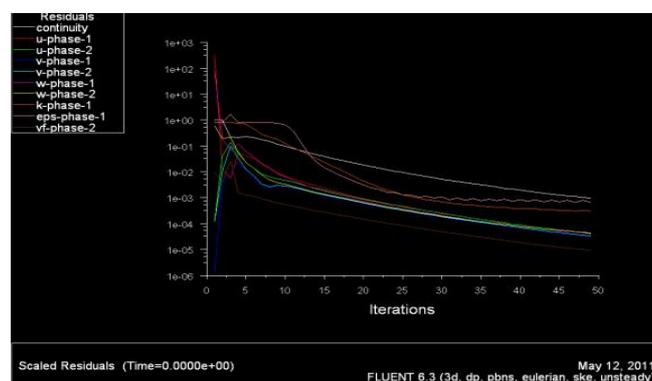


Figure 8: Evolution des résidus au cours des itérations.

#### 3.2 Résultats de la modélisation à l'aide du modèle à une phase

Les résultats pour la phase (air) obtenus sont donnés ci-dessous

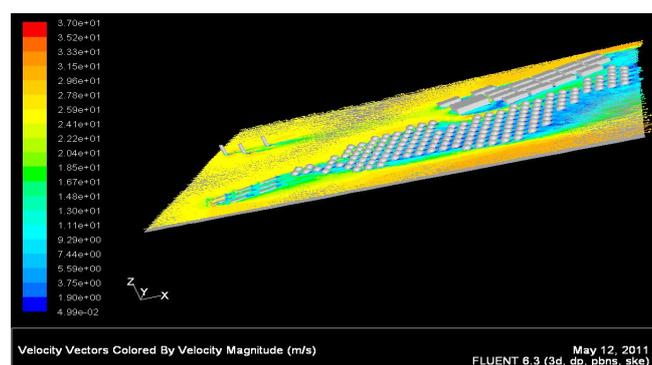


Figure 9: Champ de vitesse de l'écoulement autour de la zone d'étude.

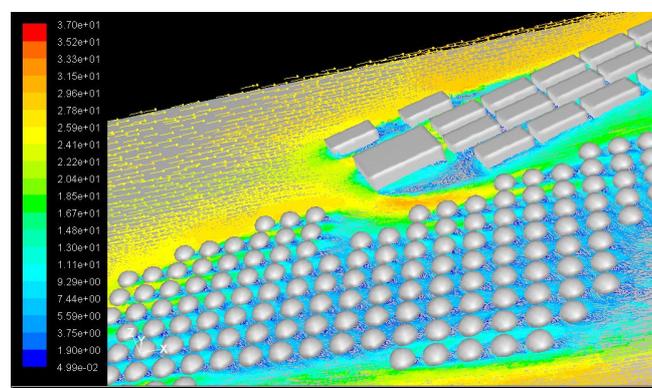


Figure 10: Detail du champ de vitesses de l'écoulement autour de la zone d'étude.

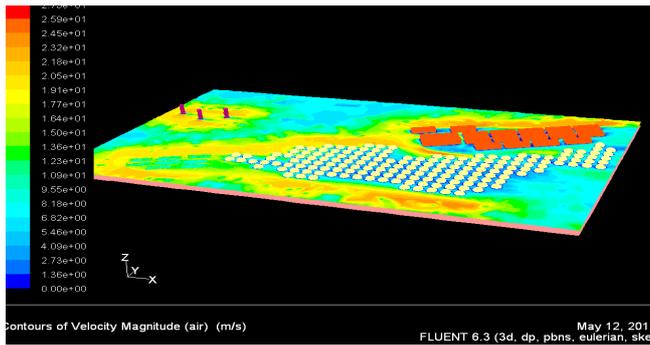


Figure 11: Contours des vitesses (phase 1).

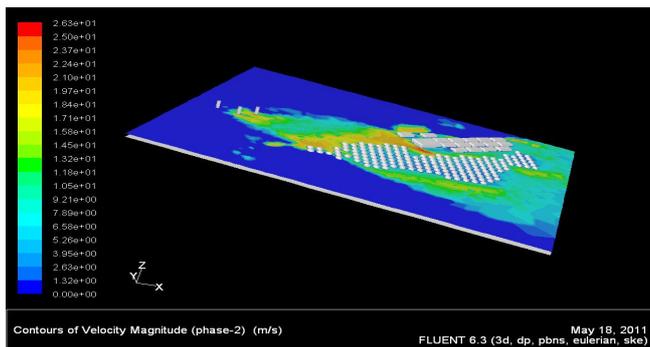


Figure 12: Les contours des vitesses (Phase 2).

Le champ de vitesse axiale est donné sur la figure 9. On note aussi que les profils des vitesses dans le plan y-x présentent un écoulement fortement instable avec un courant ascendant dans une région et un autre descendant dans une autre région (présence des obstacles).

Les structures de l'écoulement obtenues par la présente simulation sont représentées sur la figure 10.

On constate d'après cette figure la présence des régions de recirculation dans la zone d'étude. La forme et la taille de ces zones de recirculation sont d'une grande importance pour l'analyse de l'écoulement à travers la zone d'étude.

Les figures 11 et 12, présentant les contours des vitesses de la phase 1(air) et la phase 2(solide) respectivement dans la direction de l'écoulement où il est clair que l'écoulement est fortement accéléré dans la zone au dessus et au dessous des obstacles. Il est évident que les obstacles par leur présence dans la zone d'étude réduit la section de passage provoquant une forte accélération de l'écoulement

### 3.3 Résultats de la modélisation à l'aide du modèle à deux phases

Dans ce modèle nous avons retenu les trois carrières comme origine des émissions du polluant. Ci-dessous est représentée une simulation de la situation actuelle pour différentes directions de la vitesse du vent amont (Ouest - est :  $\alpha=0$ ) et (Nord- Ouest :  $\alpha=20^\circ$ ) au niveau du sol, Sachant que la situation de vent dominant est Nord-Ouest. Les processus de transport de deux phases (solide - air) sont

largement influencés par les conditions météorologiques (direction du vent), par la topographie du site et par la morphologie de l'environnement immédiat.

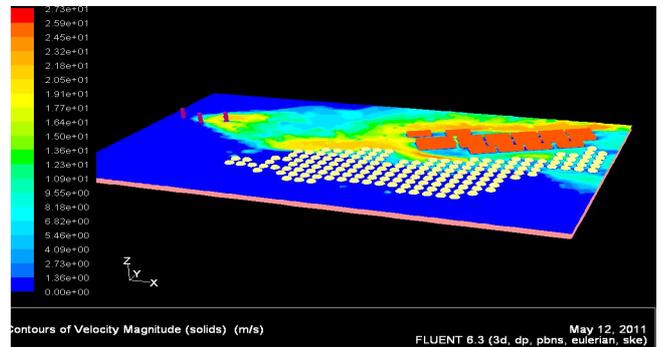


Figure 13: présente la dispersion des poussières sur la zone d'étude pour ( $\alpha=0$ ).

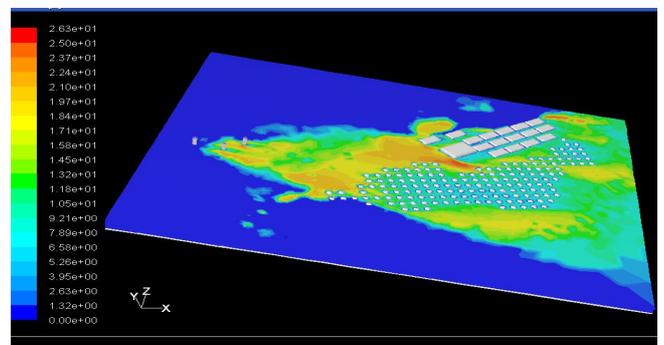


Figure 14: présente la dispersion des poussières sur la zone d'étude pour ( $\alpha=20^\circ$ ).

Les graphiques ci-dessus mettent en évidence les contours de la dispersion de la phase solide calculée par le logiciel Fluent. Les figures 13 et 14, donne un aperçu de l'influence des obstacles sur les écoulements de l'air et la dispersion des particules. Les figures 13 et 14, est une représentation des concentrations par les polluants émis par les sources de pollution.

## 4 CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons présenté une étude numérique de la dispersion de poussières émanant des carrières autour des constructions d'El-Hadjeb ainsi que sur les palmiers à l'aide d'un code de calcul Fluent.

La prolifération et la pullulation des parasites et acariens sont favorisés par le dépôt des particules sur les palmiers.

Les résultats trouvés montrent essentiellement que la source de pollution (les carrières) c'est-à-dire la présence de la poussière joue un effet négatif sur la zone d'étude aussi bien sur la santé des habitants qui occupent les constructions avoisinantes que sur l'économie locale dont le commerce de la datte est tributaire.

En perspective, l'étude peut être améliorée par la considération des autres facteurs tels que : la rugosité, un vent multidirectionnel et l'introduction des effets de stratification thermique ainsi qu'à d'autres facteurs liés à la filtration à la source de la production et les moyens de déviation des trajectoires des particules.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Amorsi G., 1975 - Le palmier dattier en Algérie, Ed. Tlemcen.
- [2] Belguedj M., 1996 – Caractéristiques des cultivars de dattiers du Sud-est du Sahara Algérien. Volume 1. Ed. INRA. Alger, 67 p.
- [3] Abdelmoutaleb M., 2008 – La campagne intensive de vulgarisation (CIV) pour la lutte contre le ver myelois ou la pyrale des dattes dans les wilayas de Biskra et d'El Oued, in *revue, Agriculture & développement, communication Vulgarisation*. Ed INVA.
- [4] Al-Bazzaz S., 2004 - La production mondiale menacée par les ravageurs et les maladies. Réseau mondial sur le palmier dattier. FAO. Rome, 2 p.
- [5] M.S Mehaoua, Etude du niveau d'infestation par la cochenille blanche *Parlatoria blanchardi* Targ., 1868 (Homoptera, Diaspididae) sur trois variétés de palmier dattier dans une palmeraie à Biskra., thèse de Magister, Université de Biskra, 2006.
- [6] Calcat A., 1959 - Maladies et ennemis du palmier dattier au Sahara et en Afrique du Nord. Bulletin phytosanitaire de la FOA. pp 5-11.
- [7] Dhouibi M. H et Jammazi A., 1993 – Lutte biologique contre la pyrale des caroubes *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera, Pyralidae) par *Hebrabracon hebetor* (Hymenoptera, Braconidae) en verger de grenadier. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent. pp 427-436.
- [8] Dhouibi M. H., 1991 - Les principaux ravageurs du palmier dattier et de la datte en Tunisie. Ed. I.N.A.T. Tunis.
- [9] Anonyme, 2000 c - Bulletin phytosanitaire concernant la lutte contre le Khamedj du palmier dattier. Avertissement agricole. Ed. SRPV Biskra.
- [10] Dhouibi M.H., 1982- Bio-écologie d'*Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera, Pyralide). Ed. INRAT. Tunis. Vol 55, p 48.
- [11] Doumandji S., 1981 - Biologie et écologie de la pyrale des caroubes dans de l'Algérie *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera, pyralidae). Thèse. Doct. D'état. Scien. Natur. Université Pierre et Marie Curie. Paris VI, 145 p.
- [12] Fluent 6.3 Documentation : User's Guide. Modelling Guide. Tutorial Guide. Fluent, inc (2001).
- [13] Blocken, B., Stathopoulos, T., Carmeliet, J., 2007. CFD simulation of the atmospheric boundary layer: wall function problems. *Atmospheric Environment* 41, 238-252.
- [14] D. J., Wilson, "Turbulent dispersion in atmospheric shear flow and its wind tunnel simulation", Von Karman Institute for fluid dynamics, Technical note 76, 1971.
- [15] S.R., Hanna, G.A., Briggs and R.P. Jr., Hosker, "Handbook On atmospheric Diffusion", technical information Center. U.S. Department of Energy, 1982.