

People's Democratic Republic of Algeri  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا



Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### LICENCE

En Génie Mécanique

Option : Génie Mécanique

Présenté par :

*Bouakar Mohamed El Koli*

### Thème

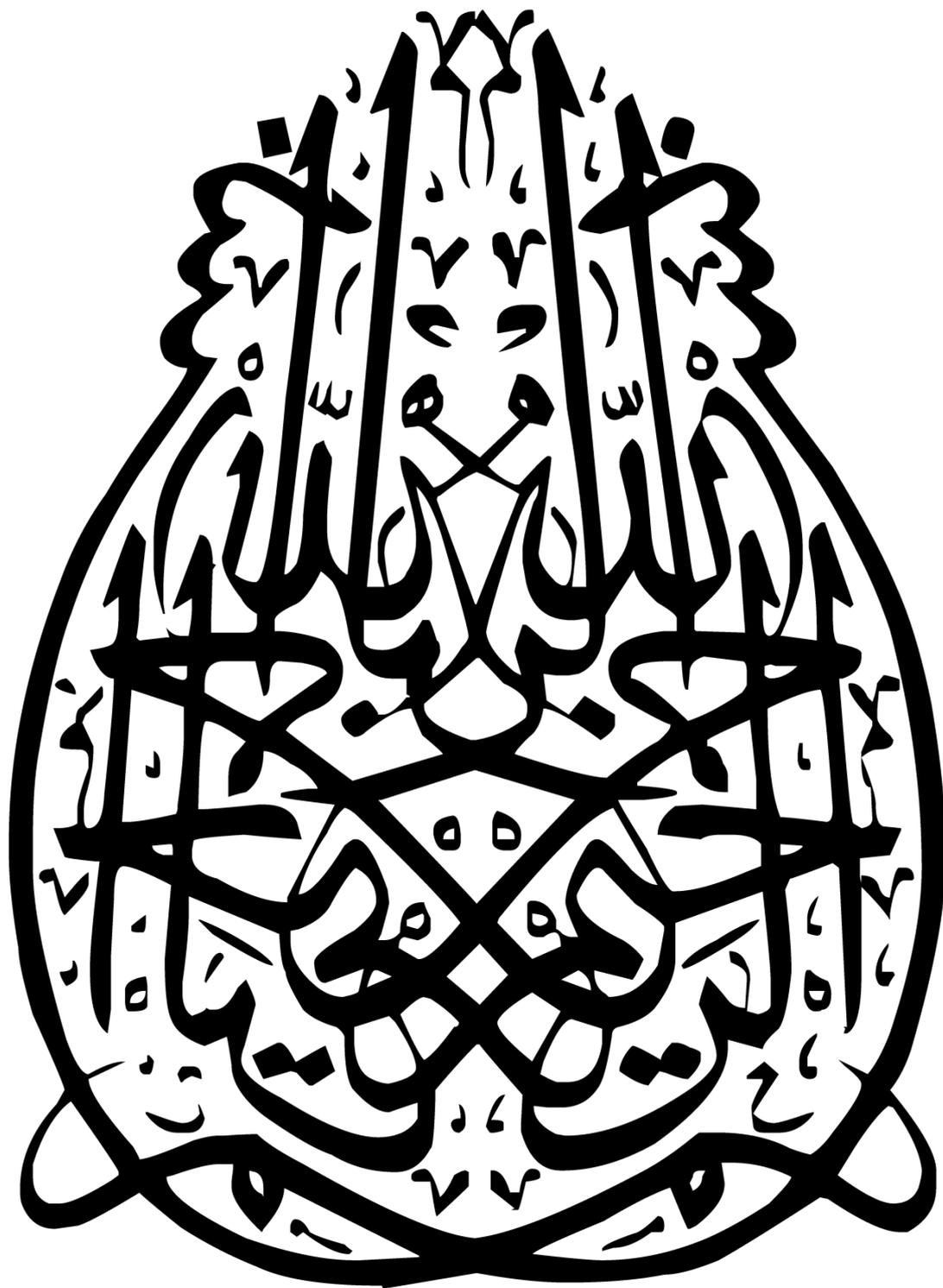
**Etude numérique 2D sur les effets de l'épaisseur de  
l'aube d'une éolienne Savonius sur la puissance de  
l'éolienne**

Proposé & encadré par :

NOM et Prénom

***BARKACHE AMMAR***

*Année Universitaire : 2021/ 2022*



# REMERCIEMENTS

*Je remercie en premier lieu mon encadreur berkache Amar, docteur à l'Université de M'Sila .Qui m'a proposé ce sujet de, pour son aide précieuse et sa disponibilité durant toute la durée de mon projet.*

*A tous mes enseignants et à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, je dirai merci mille fois.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents qui m'ont toujours soutenus durant  
toutes les périodes de ma vie, que dieu le tout puissant  
les protègent et les gardent.*

*Mes frères et Mes sœurs et à toute la famille*

*Je dédie aussi à mes amies qui ont été à mes cotés..  
Toutes les étudiantes de la promotion génie mécanique.*

# Table des matières

---

<b>I. CHAPITRE I.....</b>	<b>1</b>
<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
I.2 L'énergie éolienne : .....	1
I.3 Eolienne horizontales .....	2
I.3.1 Eoliennes à axe horizontal parallèle à la direction du vent.....	2
I.3.2 Eoliennes à axe horizontal parallèle à la direction du vent.....	2
I.4 Eolienne verticales: .....	3
I.4.1 Eolienne à axe vertical Savonius:.....	3
I.4.2 Eolienne à axe vertical Darrieus: .....	3
I.5 Différence entre l'éoliennes horizontales et verticales: .....	3
I.6 Principe d'obtention de l'énergie à l'aide du vent : .....	4
I.7 Conversion d'énergie éolienne en énergies électrique :.....	4
<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>L'ÉOLIENNE HORIZONTALE :.....</b>	<b>5</b>
<b>II.1 Constitution d'une éolienne horizontale .....</b>	<b>6</b>
Les inconvénients de l'éolienne horizontale .....	8
L'éolienne à axe horizontal possède quelques inconvénients non négligeables :.....	8
<b>II.2 Pales d'une éolienne horizontale .....</b>	<b>8</b>
Action du vent sur les pâles de la turbine.....	8
<b>II.10.2. Génération des profils NACA.....</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre III : Etude numérique :.....</b>	<b>11</b>
III.1. Introduction : .....	11
III.2 Présentation de Gambit et Fluent : .....	11
III.2.1 Gambit : .....	11
III.2.1.1 Interface et étapes de Gambit : .....	11
b/ Construction de la géométrie: Pour la création de notre géométrie, on choisit l'opération géométrie.....	12
c/ Le maillage:.....	12
III.2.2 Fluent : .....	13
III.3 Dessin de l'aube dans Gambit et conditions aux limites :.....	13
III.4 Calcul dans Fluent : .....	14
a/ Importation de la géométrie(*.msh).....	14
b/ Vérification du maillage importé.....	15
c/ Vérification de l'échelle.....	15
d/ Choix du solveur .....	16

## Table des matières

---

e/ Operating conditions .....	16
f/ Conditions aux limites usuelles .....	17
g/ Velocity inlet .....	17
h/ Choix d'ordre des équation set l'algorithme .....	18
i/ Initialization .....	18
j/ Choix des critères de convergence .....	19
k/ Lancement du calcul .....	19
m/ Contours of static pressure .....	20
<b>Remarque importante .....</b>	<b>21</b>
<b>Chapitre IV : Résultats et discussions .....</b>	<b>22</b>
IV.1 Introduction .....	22
IV.2 Contours de pression pour vitesse du vent $V=5$ m/s et pour $V=10$ m/s .....	22
IV.2 Effets de $V$ sur la rotation de l'éolienne .....	23
IV.4 Présentation des courbes de la pression en fonction de $X$ en différentes stations .....	24
<b>Commentaire sur les courbes : .....</b>	<b>27</b>
<b>IV.5 Conclusion : .....</b>	<b>27</b>

\

## CHAPITRE I

**Figure I 1.** Eolienne horizontale.

**Figure I 2.** Eolienne verticale.

## CHAPITRE II

**Figure II 3:** L'ÉOLIENNE HORIZONTALE

**Figure II 4:** Distinction entre éoliennes à axe horizontal selon le nombre de pales. \_

**Figure II 5 :** Composition d'un éolienne

**Figure II 6:** Principe de fonctionnement d'une éolienne

**Figure II 7:** :profil d'une pôle

**Figure II 8:** Génération des profils NACA

**Figure II 9:** Profil NACA

**Figure II 10 :** Types de profils NACA

## CHAPITRE III

**Figure III 11 :**Interface et étapes de Gambit

**Figure III 12:** Menu Création des différents éléments de la géométrie

**Figure III 13:** Maillage d'une face et d'un volume

**Figure III 14:** Maillage du géométrie et conditions aux limites.

**Figure III 15:** Importation de la géométrie

**Figure III 16:** Vérification du maillage sous Fluent

**Figure III 17:** Vérification des unités

**Figure III 18:** Choix du solveur sous Fluent

**Figure III 19:** Choix de la pression de référence

**Figure III 20:** Vitesse d'entré

**Figure III 21:** Initialise du calcul 5m/s

**Figure III 22:**Choix d'ordre des équations et l'algorithme

## Liste de Figures

---

**Figure III 23:** Initialise du calcul

**Figure III 24:**Residual monitors

**Figure III 25:**Choix du nombre des itérations

**Figure III 26:** Allures de l'évolution des résidus de calcul

**Figure III 27:** Contours of static pressure

### CHAPITRE IV

**Figure IV 28 :**contours de pression pour une vitesse du vent constante  $V=5\text{m/s}$

**Figure IV 29 :**contours de pression pour une vitesse du vent constante  $V=10\text{m/s}$

**Figure IV 30 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la position  
**X=0**

**Figure IV 31 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la position  
**X=0.125**

**Figure IV 32:** Variation de la pression statique en fonction de X dans la position  
**X=-0.125**

**Figure IV 33 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression  
**X=0.25**

**Figure IV 34 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression  
**X=-0.25**

**Figure IV 35 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression  
**X=-0.5**

**Figure IV 36 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression  
**X=0.5**

## I. CHAPITRE I

### I.1 Introduction

Ces dernières années, l'énergie électrique est devenue incontournable dans toutes nos activités quotidiennes, elle n'a cessé d'augmenter afin de répondre aux demandes domestiques et industrielles croissantes ; Cette augmentation s'accompagne de risques de pénurie de matières fossiles et de leur impact sur le changement climatique et sur l'environnement, ce qui indique à nouveau la grande importance des énergies renouvelables comme solution alternative potentielle. Parmi les nouvelles sources d'énergie, on retrouve l'énergie éolienne qui occupe une place de plus en plus importante pour la production d'électricité, et c'est ce dernier type qui fera l'objet de ce travail. Dans ce chapitre, un bref historique du concept d'énergie éolienne sera présenté, ainsi que des statistiques sur la production mondiale d'énergie éolienne, la dernière en Algérie. Les différents types d'éoliennes (verticales, horizontales, vitesse constante et vitesse variable), et les différentes topologies seront également présentées. Considérant les avantages importants de la machine synchrone à aimants permanents dans les éoliennes, ils seront présentés en particulier en détail dans ce chapitre. L'exploitation des transformateurs multi-niveaux pour le système éolien sera discutée, montrant leurs avantages en termes de réduction du contenu harmonique des courants et tensions de sortie

### I.2 L'énergie éolienne :

C'est l'énergie extraite de l'énergie cinétique du vent en utilisant des éoliennes et des éoliennes pour produire de l'énergie électrique.

L'énergie éolienne est l'un des types d'énergie renouvelable qui a été largement utilisée comme alternative aux combustibles fossiles. L'énergie éolienne est une énergie abondante et renouvelable, même si sa disponibilité varie d'un endroit à l'autre.

C'est une énergie propre et renouvelable dont la production ne produit aucun gaz nocif pour la nature, et qui nécessite de grandes surfaces en fonction de la taille de l'usine et du type de machinerie, et dont l'impact sur l'environnement est moindre par rapport aux autres sources d'énergie, et malgré sa production dans des zones à fortes vitesses de vent, l'un de ses inconvénients est que le pic de sa production n'est pas Il correspond toujours au pic de consommation, également dans les maisons, d'autres énergies doivent être utilisées avec elle pour subvenir aux besoins électriques.

Les parcs éoliens se composent de centaines d'éoliennes individuelles qui sont connectées à un réseau pour transmettre l'énergie électrique.

L'énergie éolienne terrestre est une source peu coûteuse, car elle est moins chère que les centrales à énergie renouvelable.

Les parcs éoliens offshore sont très chers et les petits parcs éoliens terrestres peuvent fournir de l'électricité à des endroits isolés en dehors du réseau électrique

### I.3 Eolienne horizontales

L'éolienne horizontale pour particulier possède un axe de rotation placé horizontalement par rapport au sol. Dans la majorité des cas, elle fonctionne avec une hélice qui est composée de 2 ou 3 pales (les éoliennes à axe horizontal à 3 pales sont de loin les plus répandues). La force cinétique du vent entraîne cette hélice qui produit de l'électricité que l'on recueille grâce au générateur.



Figure I 1. Eolienne horizontale.

#### I.3.1 Eoliennes à axe horizontal parallèle à la direction du vent

Elles sont les plus utilisées que ce soit dans la sphère commerciale ou domestique. Munies d'un système permettant de s'orienter face au vent, leurs hélices peuvent être en amont de la machine par rapport au vent (hélice au vent) ou en aval (hélice sous le vent).

#### I.3.2 Eoliennes à axe horizontal parallèle à la direction du vent

Elles présentent plus d'inconvénients que d'avantages car elles nécessitent un dispositif d'orientation pour capter l'énergie du vent ce qui s'avère être très compliqué. Après réalisation de prototypes, on s'est par ailleurs aperçu que les pertes du rendement sont importantes. Il existe deux différents types : le rotor Savonius et le capteur à ailes battantes.

### I.4 Eolienne verticales:

L'éolienne pour particulier à axe vertical est un appareil très simple qui se constitue d'une roue montée sur un axe. Sous l'effet du vent, des aubes, solidaires de cette roue, se mettent en mouvement et produisent de l'électricité grâce au générateur.

Ce sont probablement les premières à avoir été utilisées étant donné leur conception plus rudimentaire que celle des éoliennes à axe horizontal. Les éoliennes verticales ont un principe de fonctionnement très simple. Les nouvelles éoliennes utilisent notamment le principe de l'axe vertical.



Figure I 2. Eolienne verticale.

#### I.4.1 Eolienne à axe vertical Savonius:

Les aéromoteurs Savonius ou anémomètres utilisent le rotor de Savonius qui peut être très variable selon le nombre, la forme et la configuration des aubes. Le couple de démarrage est élevé mais la vitesse de rotation est modérée.

#### I.4.2 Eolienne à axe vertical Darrieus:

Les éoliennes Darrieus ont été créées par Darrieus (ingénieur français) en 1931. Contrairement aux éoliennes Savonius, leur couple de démarrage est faible et leur vitesse maximum est élevée.

### I.5 Différence entre l'éoliennes horizontales et verticales:

- Les éoliennes horizontales sont les plus répandues sur notre territoire. Elles affichent le meilleur rendement parmi la gamme d'éolienne. Elle capte le vent grâce à des pales assemblées en hélice. Celles-ci tournent autour d'un mât placé horizontalement par rapport au sol. Le générateur, actionné par la rotation de l'hélice, et situé en haut de l'éolienne .
- Les éoliennes verticales sont peu utilisées du fait que peu de fournisseurs sur le marché de l'éolienne la proposent. Elles ont l'avantage de produire de l'énergie avec peu de vent, elles peuvent être installées en ville, ou bien dans des zones non dégagées. Les pales de l'éolienne verticale tournent autour d'une tige positionnée verticalement, comme son nom l'indique. Elle peut capter des vents

plus faibles ce qui lui permet d'être fréquemment exploitée. Elle nécessite moins d'espace qu'une éolienne horizontale. Par contre elle produit moins d'électricité qu'une éolienne horizontale.

### **I.6 Principe d'obtention de l'énergie à l'aide du vent :**

L'énergie éolienne provient du soleil. C'est une forme d'énergie solaire parce que le vent est produit à partir de la chaleur du soleil, car le soleil chauffe toute la surface de la terre dans une quantité variable, de sorte que l'air près de la surface de la terre est chauffé, de sorte que l'air chaud monte vers le haut et la pression atmosphérique près de la surface de la terre diminue. Il est remplacé par de l'air froid pour le remplacer, et ce mouvement d'air est appelé vent, et lorsque le vent est utilisé pour déplacer les ventilateurs à l'aide de méthodes technologiques avancées et le convertir en l'énergie électrique appelée énergie éolienne, et dans le passé, l'énergie éolienne était utilisée par des moulins à vent qui broyaient les grains et pompaient l'eau. Récemment, cela a été fait en connectant de grands ventilateurs à des générateurs électriques. Lorsque ces ventilateurs à air tournent grâce à l'énergie éolienne, le rôle du générateur électrique est de convertir l'énergie cinétique en énergie électrique, c'est-à-dire en générant de l'électricité. Les ventilateurs à air se composent de trois énormes ailes pouvant atteindre 162 m de long. Elles sont entraînées par le vent situé sur une tour ou une colonne pouvant atteindre une hauteur de 240 m, et ces éoliennes peuvent produire environ 4,8 à 9,5 mégawatts d'énergie électrique, et il existe des ventilateurs à air plus petits qui peuvent être utilisés pour produire de l'énergie pour les maisons de manière indépendante, et il existe des parcs éoliens qui sont des zones où le plus grand nombre de ventilateurs éoliens, il produit la plus grande énergie possible, et l'énergie produite à partir du vent peut être calculée à partir de la moyenne arithmétique du vent vitesse dans une zone particulière et l'énergie produite est divisée en classes de 1 à 7, la plus basse étant une et la plus grande étant sept, et la plus grande base de production d'énergie éolienne au monde est située en Chine. C'est la base éolienne de Jiuquan qui produit plus de 6000 mégawatts d'électricité, et les parcs éoliens en mer peuvent être comme des parcs éoliens sur la Tamise où les vents sont forts, et de plus en plus Produire de l'électricité à partir de l'énergie éolienne et l'exploiter de manière intensive, et la plupart des pays exploitant l'énergie éolienne sont la Chine et les États-Unis d'Amérique

### **I.7 Conversion d'énergie éolienne en énergiesélectrique :**

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne repose sur la transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique : le vent fait tourner des pales qui font elles même tourner le générateur de l'éolienne. À son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Le courant électrique est ensuite transformé et injecté dans le réseau électrique pour alimenter nos foyers, il peut être stocké pour être utilisé plus tard.

### Introduction

Ce chapitre donne une présentation des éoliennes à axe vertical. Nous donnons dans ce chapitre une définition de l'éolienne à axe vertical et ensuite nous présentons sa constitution. Puis nous présenterons les pâles d'une éolienne verticale les théories aérodynamiques des éoliennes à axe vertical et la pôle Eolienne à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical sont plus adaptées à une utilisation dans le milieu urbain, étant donné que leur fonctionnement est indépendant de la direction du vent, imprévisible dans cet environnement, et qu'elles sont généralement plus robustes que les éoliennes à axe vertical et moins bruyantes.

### L'ÉOLIENNE HORIZONTALE :

Ces éoliennes sont les descendantes directes des moulins à vent sur lesquels les ailes, faites de voiles rigides sur une composition habituellement en bois, qui ont été ensuite modifiées par des éléments ressemblant solidement à des ailes d'avion. Ces ailes qui sont installées dans le vent n'épaulent pas ici à alimenter un avion mais elles servent à générer un couple moteur guidé à entraîner un agencement mécanique tel qu'une génératrice électrique, une pompe...



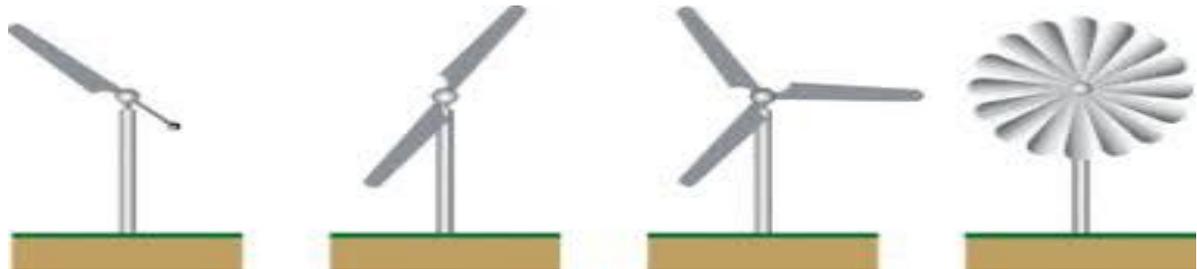
**Figure 3:** L'ÉOLIENNE HORIZONTALE

Ces éoliennes à axe horizontal, généralement, ce sont des éoliennes à trois pâles : en effet, un nombre impair de pâles consent d'assurer la stabilité de l'éolienne. Si on ne met que deux pâles sur une éolienne, lorsque l'une des pâles passera devant le mat et sera donc abritée du vent, la seconde pale sera tout en haut, là où elle reçoit le plus de vent, ce qui déséquilibre l'éolienne. Donc on peut dire que les Eoliennes à axe horizontal sont les plus usitées car leur

## CHAPITRE II : Présentation d'une éolienne verticale

productivité aérodynamique est supérieure à celui des éoliennes à axe vertical. Ces machines présentent généralement un nombre de pales compris entre 1 et 3 profilées aérodynamiques

présentées dans la figure (4), elles peuvent développer des puissances élevées (plusieurs mégawatts). Leur axe de propagation est semblable au sol. On peut faire une différenciation entre les éoliennes suivant le nombre de pales .



**Figure 4:** Distinction entre éoliennes à axe horizontal selon le nombre de pales.

### II.1 Constitution d'une éolienne horizontale

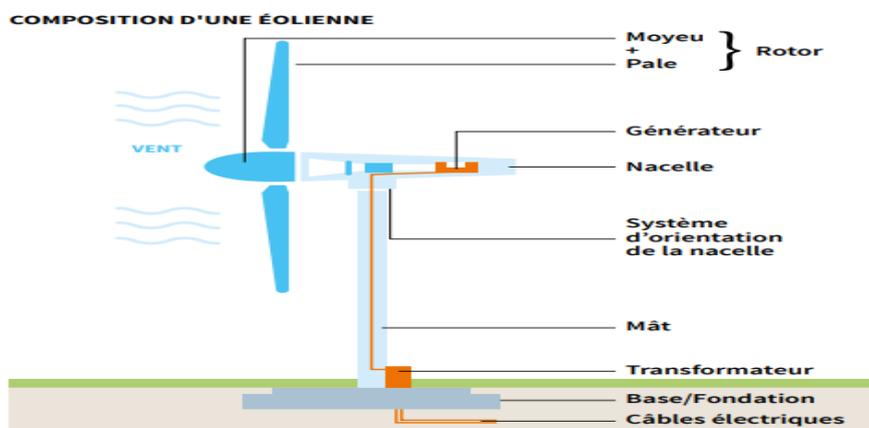
Une éolienne horizontale se compose de plusieurs éléments :

**Un rotor :** constitué d'un moyeu (pièce centrale sur laquelle sont assemblées d'autres pièces mécaniques qui tournent autour de son axe) et de pales (entre 3 et 6). Les modèles de rotors avec 3 pales sont les plus répandus car jugés les plus efficaces ;

**Une nacelle :** dans laquelle se trouve le générateur. Il permet de fixer le rotor au mât et de contenir le « cœur » de l'éolienne ;

**Le mât :** qui peut faire une hauteur de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres

**La base/fondation :** qui assure la stabilité de l'éolienne au sol.



**Figure 5 :** Composition d'un éolienne

## CHAPITRE II : Présentation d'une éolienne verticale

**Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.

**Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pâles pour réguler la vitesse de rotation

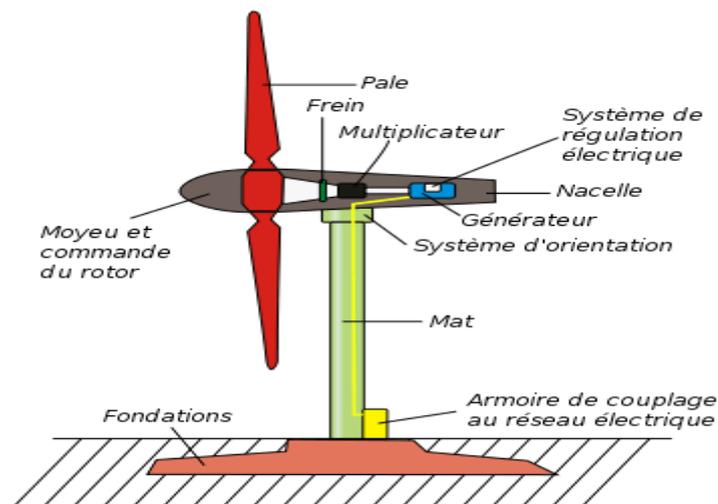
Les outils de mesure du vent : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.

**Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation

**Le fonctionnement d'une éolienne horizontale est simple et se fait en 3 étapes :**

!l'énergie du vent fait tourner les pâles, qui entraînent le mouvement du rotor (ce qu'on appelle l'énergie mécanique) ;

!relié au rotor, le générateur utilise cette énergie mécanique pour créer une énergie électrique ;



**Figure 6:** Principe de fonctionnement d'une éolienne

!situé au bas du mât, le transformateur est relié à des câbles électriques. Ces mêmes câbles transmettent l'énergie électrique vers le réseau électrique ou des batteries.

Voilà dans les grandes lignes comment fonctionne une éolienne horizontale. Comme toute éolienne, sa puissance génératrice d'énergie provient du vent.

### Les inconvénients de l'éolienne horizontale

#### L'éolienne à axe horizontal possède quelques inconvénients non négligeables :

Moins résistante aux vents forts que l'éolienne verticale, l'éolienne horizontale doit être renforcée. Ainsi, dans les régions où le risque de vents violents existe, on a recours à des mâts haubanés (l'ancrage est renforcé), et on installe un frein au niveau du rotor.

Du reste, l'éolienne pour particulier horizontale met plus de temps à se déclencher qu'une éolienne verticale. En effet, elle doit s'orienter par rapport à la direction du vent, ce qui retarde d'autant son déclenchement.

Enfin, l'installation est bruyante.

### II.2 Pales d'une éolienne horizontale

Les pâles sont une partie très importante de l'aéromoteur, le rendement, le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine dépendront de leur conception. Lorsqu'elles sont assemblées on parle d'hélice ou de rotor. La pale est une surface portante en rotation autour d'un axe. C'est un dispositif aérodynamique ou hydrodynamique destiné à transformer une énergie motrice en accélération du fluide dans lequel il se déplace ou au contraire à transformer l'énergie de déplacement du fluide en énergie motrice



Figure 7: :profil d'une pale

#### Action du vent sur les pâles de la turbine

L'action de l'air en mouvement va se traduire par des forces appliquées en chaque point de la surface. Les pâles ont un profil aérodynamique présenté sur le schéma de la

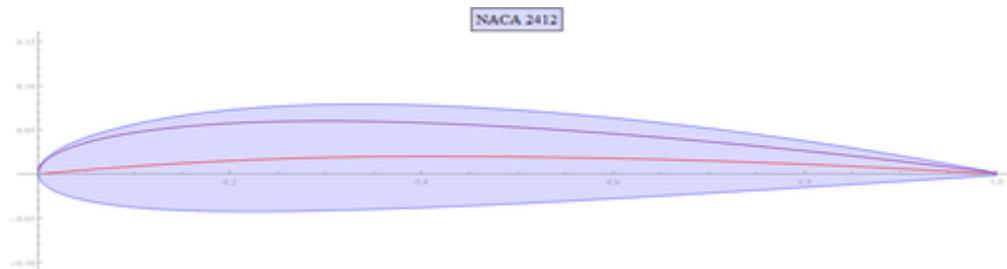
- On remarque plus particulièrement les éléments suivants :
- Extrados : dessus de la pale,
- Intrados : dessous de la pale,
- Corde : longueur  $l$  du profil du bord d'attaque au bord de fuite,

Angle de calage (inclinaison de l'axe de référence par rapport au plan de rotation).

### II.10.2. Génération des profils NACA

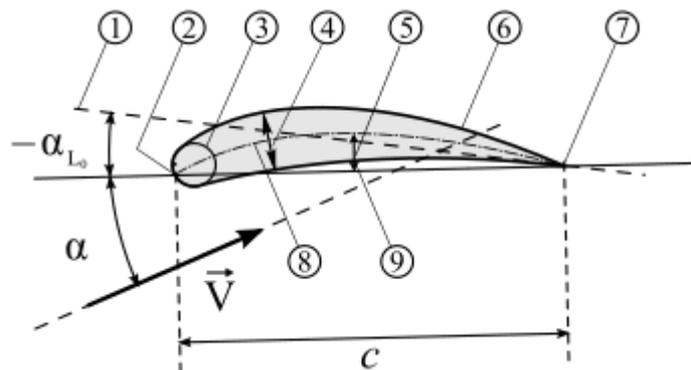
#### Histoire

Le centre de recherche de la NACA à Langley commence à travailler sur des séries de profils à partir du début des années 1920 et réalise des programmes d'essais en soufflerie à partir de 1927. En 1933, un catalogue de 78 profils est publié et introduit les profils caractérisés par une série de 4 chiffres décrivant leur forme géométrique<sup>1</sup>.



**Figure 8:** Génération des profils NACA

La NACA introduit les profils caractérisés par une série de 5 chiffres en 1934 et conçoit à partir de 1935 la série des 230 dont le profil 23012 est un des plus connus<sup>2</sup>, associant une forte portance et une faible traînée. Parallèlement des recherches sont menées sur les écoulements laminaux des couches limites afin de réduire la traînée des profils. Au milieu des années 1930, la série 1 est conçue, décrite non plus par sa géométrie mais par ses caractéristiques de distribution de pression, elle dispose d'un gradient de pression limitant la formation de turbulences. Elle est améliorée par la série 6 à partir de 1939. Le premier avion à bénéficier de ces recherches est le chasseur P-51 disposant d'un profil NACA 45-100.



**Figure 9:** Profil NACA

## CHAPITRE II : Présentation d'une éolienne verticale

---

1. Ligne de portance nulle.
2. Bord d'attaque.
3. Cylindre du bord d'attaque.
4. Épaisseur maximale.
5. Cambrure.
6. Extradados.
7. Bord de fuite.
8. Ligne moyenne de cambrure.
9. Intrados.

### Types de profils NACA

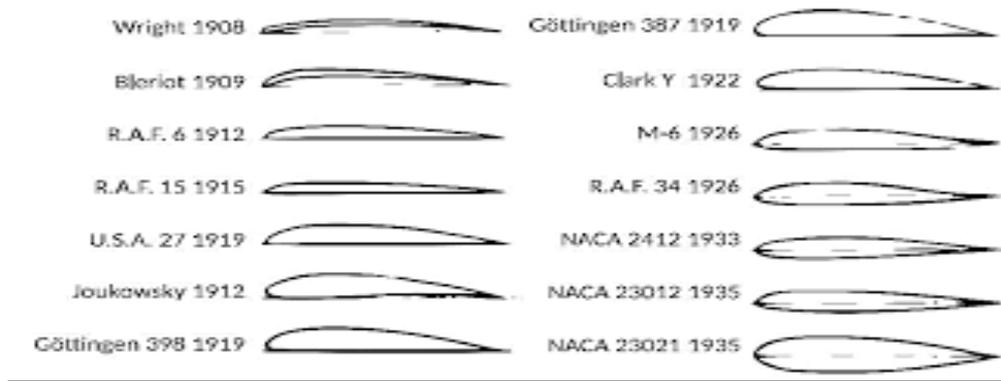


Figure 10 : Types de profils NACA

### Chapitre III : Etude numérique :

#### III.1. Introduction :

L'utilisation de logiciels pour la résolution de problèmes physiques est de nos jours très fréquent. En effet, dans la plus part des ces problèmes, surtout la résolution de phénomènes (transfert de chaleur, rayonnement, changement de phase...) couplés à la mécanique des fluides n'est possible que sous certaines hypothèses simplificatrices qui ne permettent pas de faire une étude plus réelle des phénomènes physiques observés expérimentalement.

#### III.2 Présentation de Gambit et Fluent :

##### III.2.1 Gambit :

Le logiciel Gambit est un préprocesseur qui permet de réaliser ou d'importer des géométries (surface ou volume) en 2D ou 3D simple ou complexes, il permet de créer plusieurs types de maillage (structuré, non structuré ou hybrides) en coordonnées cartésiennes, polaire, cylindrique ou axisymétriques et de spécifier le types de matériau (fluide ou solide) selon le bon vouloir de l'utilisateur. Le préprocesseur permet aussi de définir les conditions aux limites appropriées aux frontières du domaine de calcul. Il possède en outre de nombreuses possibilités d'extraction qui permettent l'utilisation de ses maillages par des logiciels industriels comme par exemple FLUENT.

##### III.2.1.1 Interface et étapes de Gambit :

a/ Lancer Gambit : Après avoir lancé le logiciel, l'interface d'utilisation apparaît

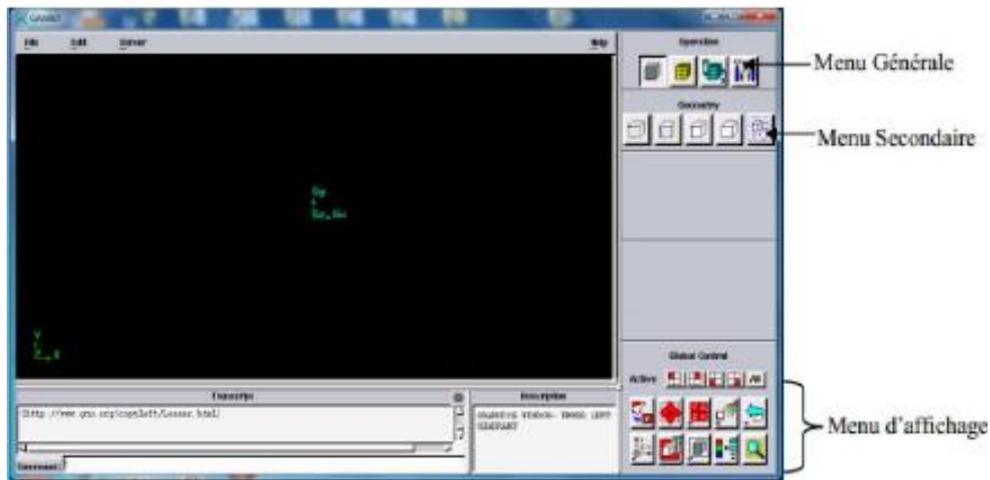


Figure III 11 :Interface et étapes de Gambit

b/ Construction de la géométrie: Pour la création de notre géométrie, on choisit l'opération géométrie.

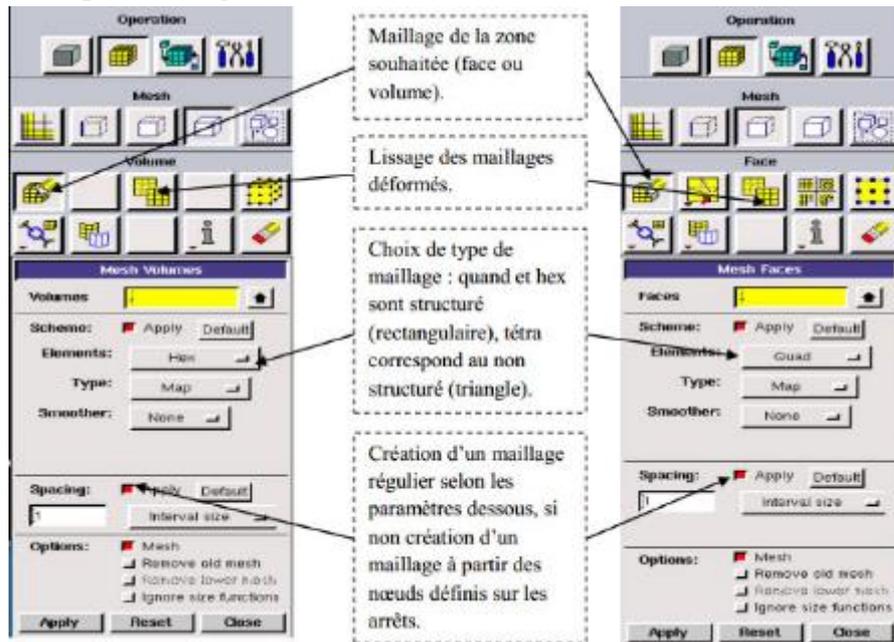


Figure III 12: Menu Création des différents éléments de la géométrie

c/ Le maillage:

Pour mailler la géométrie, on procède par la sélection l'opération maillage

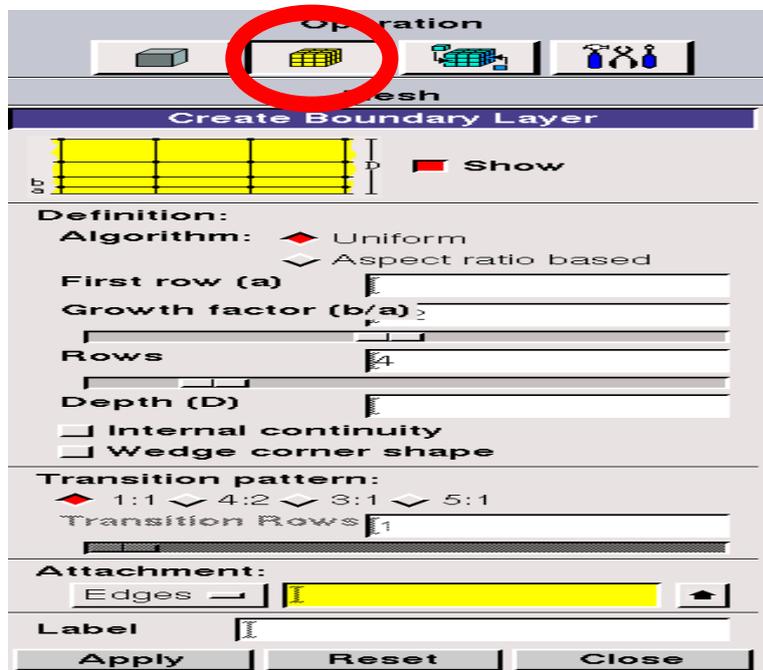


Figure III 13: Maillage d'une face et d'un volume

### III.2.2 Fluent :

Ce logiciel est un solveur : il ne comporte pas de mailleur (le maillage doit être réalisé avec un logiciel de maillage, Gambit par exemple, qui est réalisé par le même éditeur). Le paramétrage du modèle se fait par une interface graphique. Il dispose d'une interface de scripts pour automatiser les processus de calcul.

Fluent est intégré dans la suite de logiciels de simulation ANSYS.

L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides : écoulements diphasiques (miscible, non miscible, cavitation, solidification), turbulence (LES, KE, Kw, SA, Reynolds stress...), combustion (pré-mélangé et non pré-mélangé), transport de particules, écoulements en milieux poreux, maillages mobiles et dynamiques avec reconstruction du maillage, entre autres.

Les schémas numériques temporels et spatiaux peuvent être modifiés pour améliorer la convergence. Fluent est parallélisé et permet de tirer parti de systèmes multiprocesseurs aussi bien au sein d'une seule machine qu'en réseau (cluster, dualcore, plateforme multi-CPU).

### III.3 Dessin de l'aube dans Gambit et conditions aux limites :

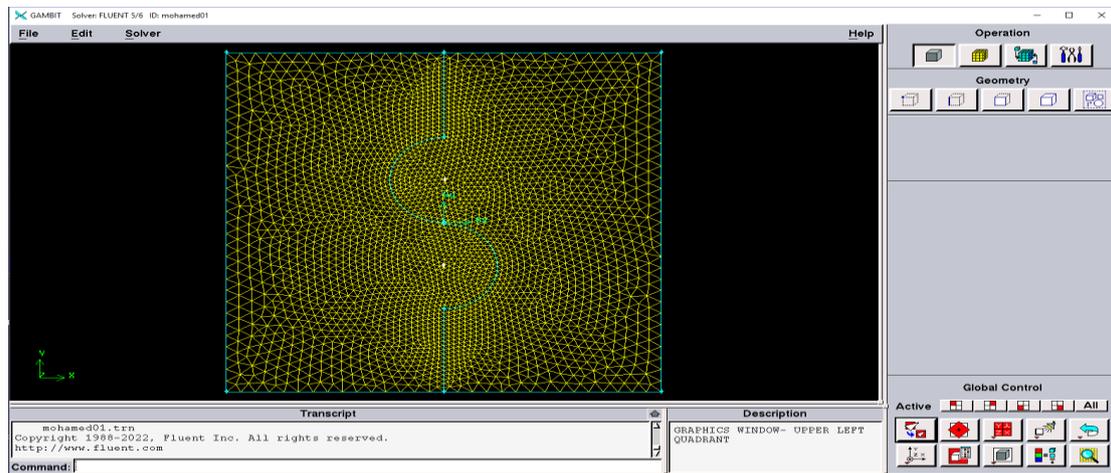
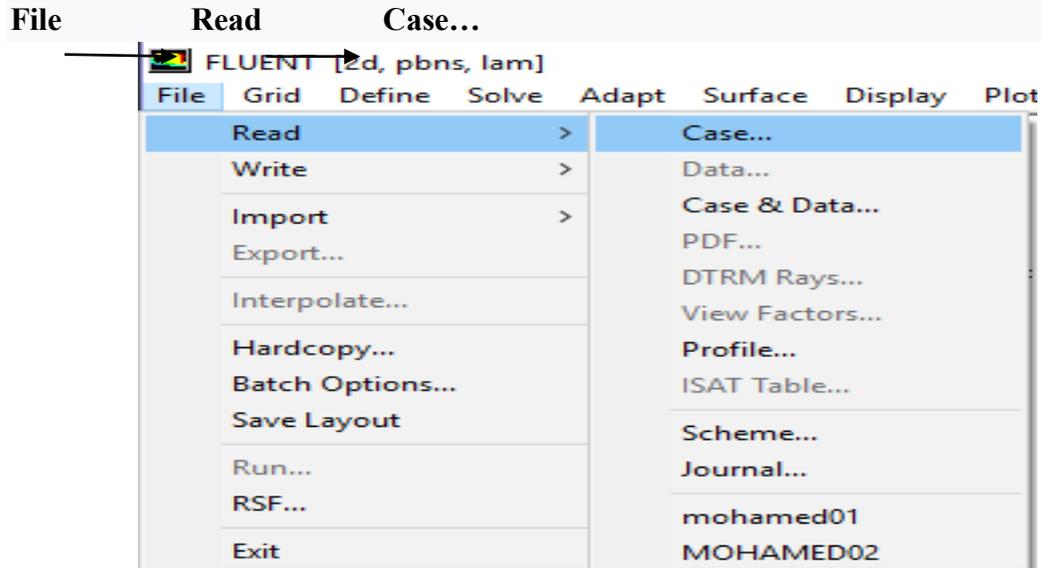


Figure III 14: Maillage du géométrie et conditions aux limites.

## III.4 Calcul dans Fluent :

### a/ Importation de la géométrie(\*.msh)

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (\*.msh) généré sous Gambit.



```
File  Grid  Define  Solve  Adapt  Surface  Display  Plot  Report  Parallel
Welcome to Fluent 6.3.26
Copyright 2006 Fluent Inc.
All Rights Reserved
Loading "C:\Fluent.Inc\Fluent6.3.26\lib\fl_s1119.dmp"
Done.
> Reading "C:\Users\info pro\mohamed01.cas"...
6216 triangular cells, zone 2, binary.
60 2D wall faces, zone 3, binary.
1 2D wall faces, zone 4, binary.
1 2D wall faces, zone 10, binary.
30 2D wall faces, zone 5, binary.
30 2D wall faces, zone 12, binary.
30 2D wall faces, zone 6, binary.
30 2D wall faces, zone 13, binary.
40 2D interior faces, zone 7, binary.
30 2D pressure-outlet faces, zone 8, binary.
30 2D velocity-inlet faces, zone 9, binary.
9163 2D interior faces, zone 11, binary.
1 shadow face pairs, binary.
30 shadow face pairs, binary.
30 shadow face pairs, binary.
3227 nodes, binary.
3227 node flags, binary.
Building...
grid,
materials,
interface,
domains,
mixture
zones,
default-interior
entree
interieur
aub1
oub2
entree_oub
symetrique
entree_oub-shadow
oub2-shadow
aub1-shadow
sortie
fluid
shell conduction zones,
Done.
Reading "C:\Users\info pro\mohamed01.dat"...
Done.
```

Figure III 15: Importation de la géométrie

### b/ Vérification du maillage importé

Grid → Check

```
Grid Check

Domain Extents:
  x-coordinate: min (m) = -1.000000e+000, max (m) = 1.000000e+000
  y-coordinate: min (m) = -1.000000e+000, max (m) = 1.000000e+000
Volume statistics:
  minimum volume (m3): 6.360951e-005
  maximum volume (m3): 2.264330e-003
  total volume (m3): 4.000000e+000
Face area statistics:
  minimum face area (m2): 1.000000e-002
  maximum face area (m2): 8.202910e-002
Checking number of nodes per cell.
Checking number of faces per cell.
Checking thread pointers.
Checking number of cells per face.
Checking face cells.
Checking bridge faces.
Checking right-handed cells.
Checking face handedness.
Checking face node order.
Checking element type consistency.
Checking boundary types:
Checking face pairs.
Checking periodic boundaries.
Checking node count.
Checking nosolve cell count.
Checking nosolve face count.
Checking face children.
Checking cell children.
Checking storage.
Done.
```

Figure III 16: Vérification du maillage sous Fluent

### c/ Vérification de l'échelle

Grid → Scale

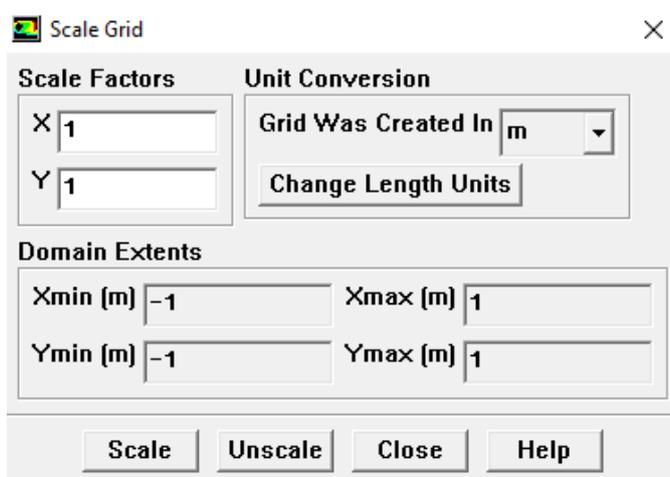


Figure III 17: Vérification des unités

### d/ Choix du solveur

Define → Models → Solver

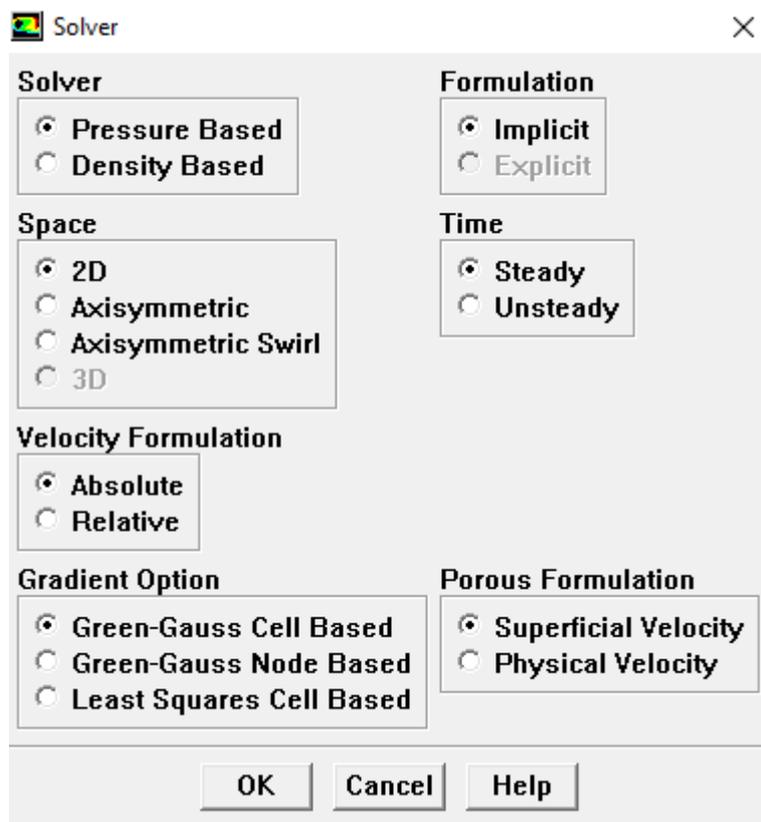


Figure III 18: Choix du solveur sous Fluent

### e/ Operating conditions

Define → Operating conditions

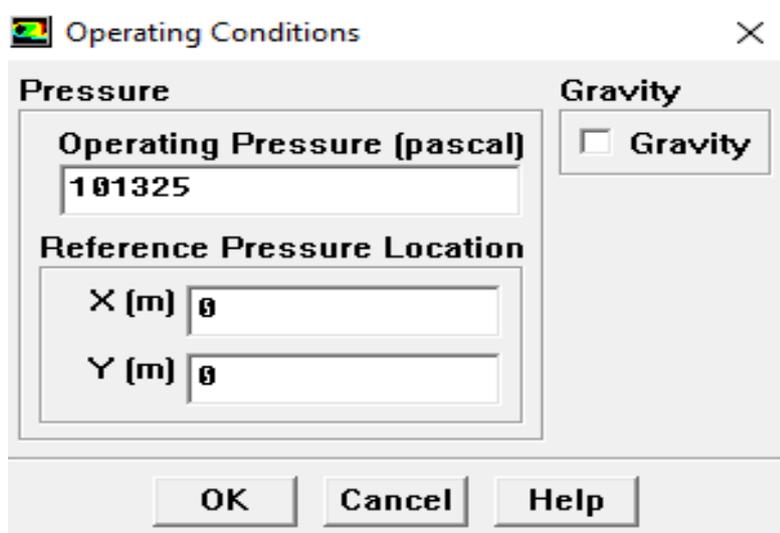


Figure III 19: Choix de la pression de référence

## f/ Conditions aux limites usuelles

Define Boundary → Conditions

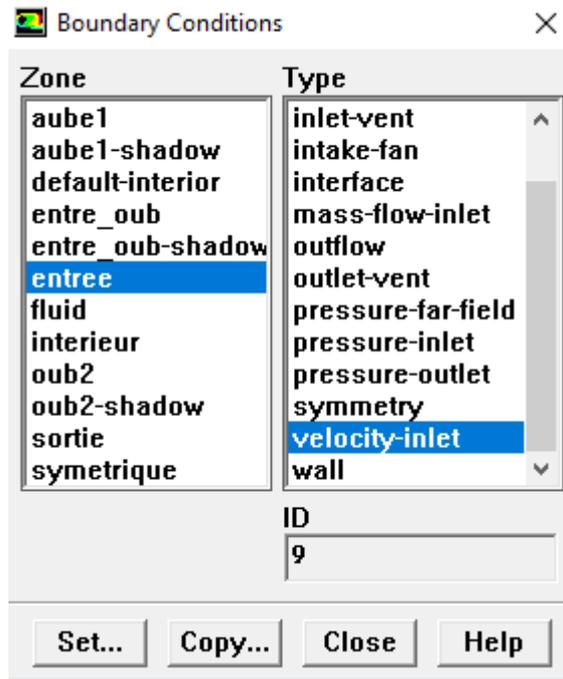


Figure III 20: Vitesse d'entrée

## g/ Velocity inlet

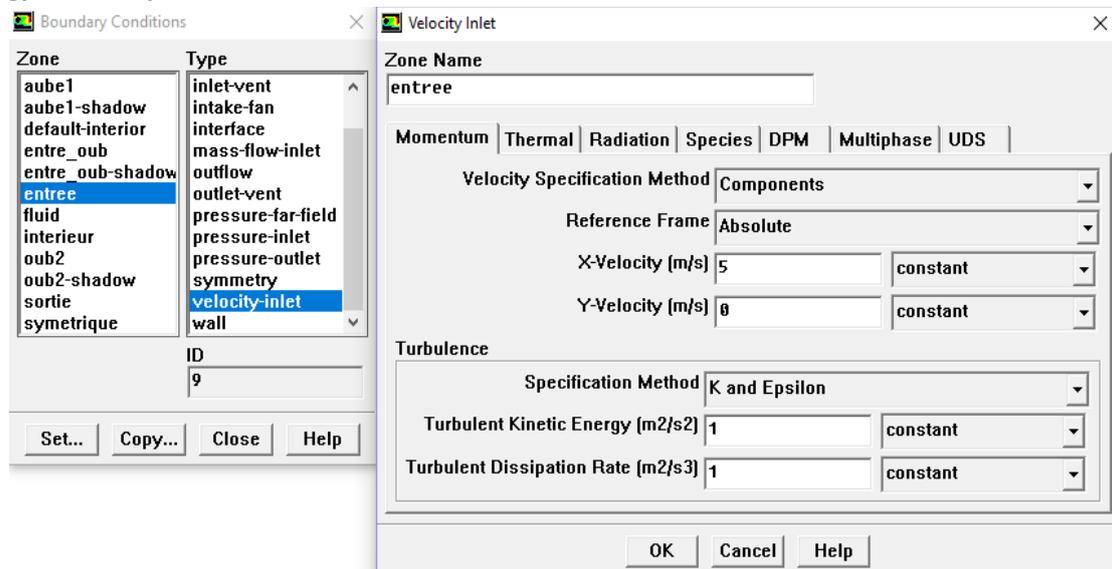


Figure III 21: Initialise du calcul 5m/s

## h/ Choix d'ordre des équation set l'algorithme

Solve → Controls → Solution...

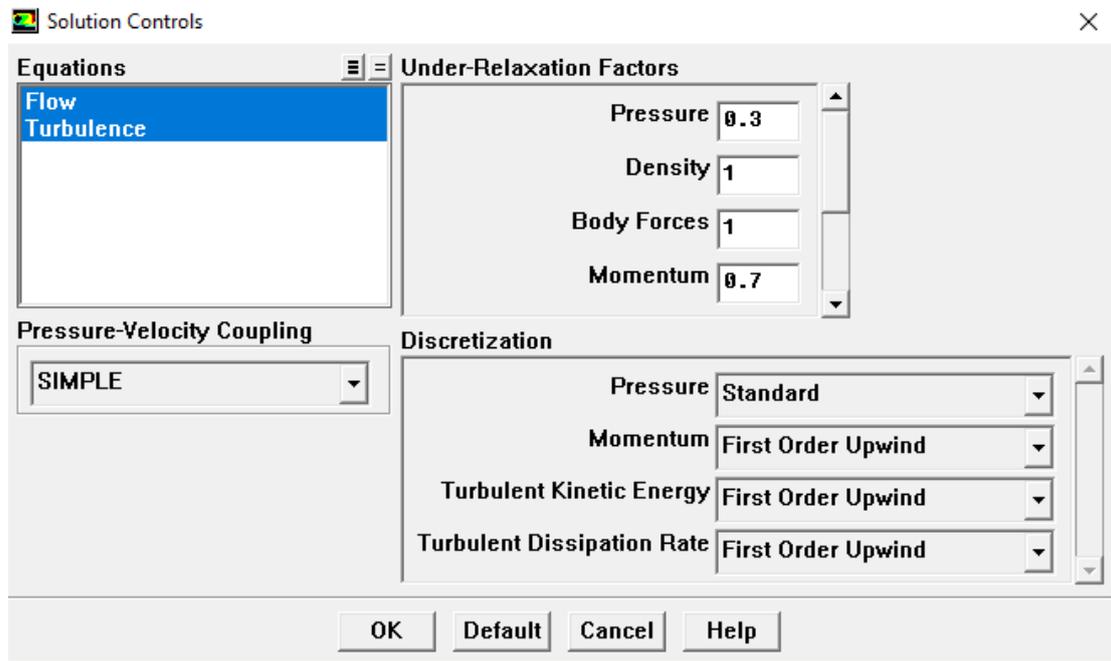


Figure III 22: Choix d'ordre des équations et l'algorithme

## i/ Initialization

Solve → Initialize → Initialize...

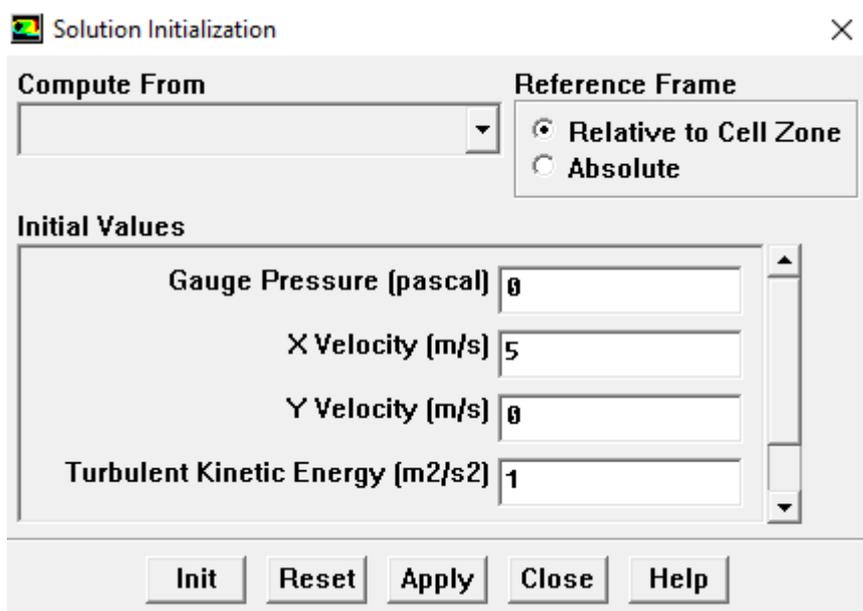


Figure III 23: Initialise du calcul

## j/ Choix des critères de convergence

Solve → Monitors → Residual...

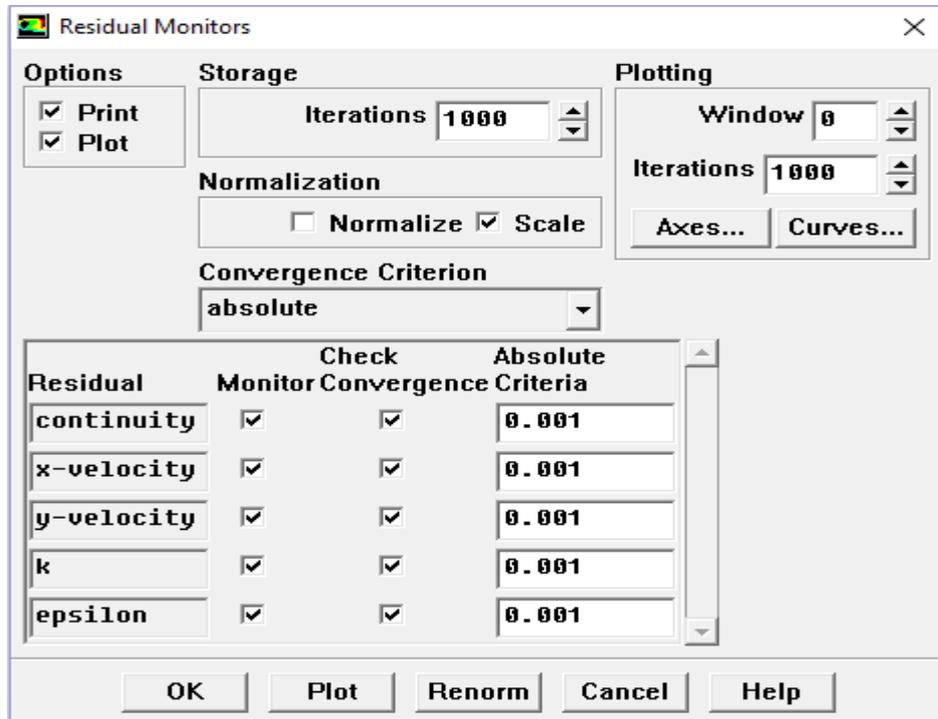


Figure III 24:Residual monitors

## k/ Lancement du calcul

Solve → Iterate...

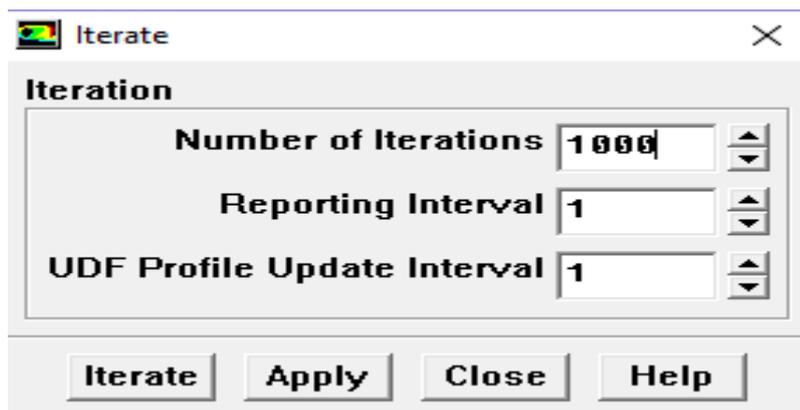


Figure III 25:Choix du nombre des itérations

Allures de l'évolution des résidus de calcul

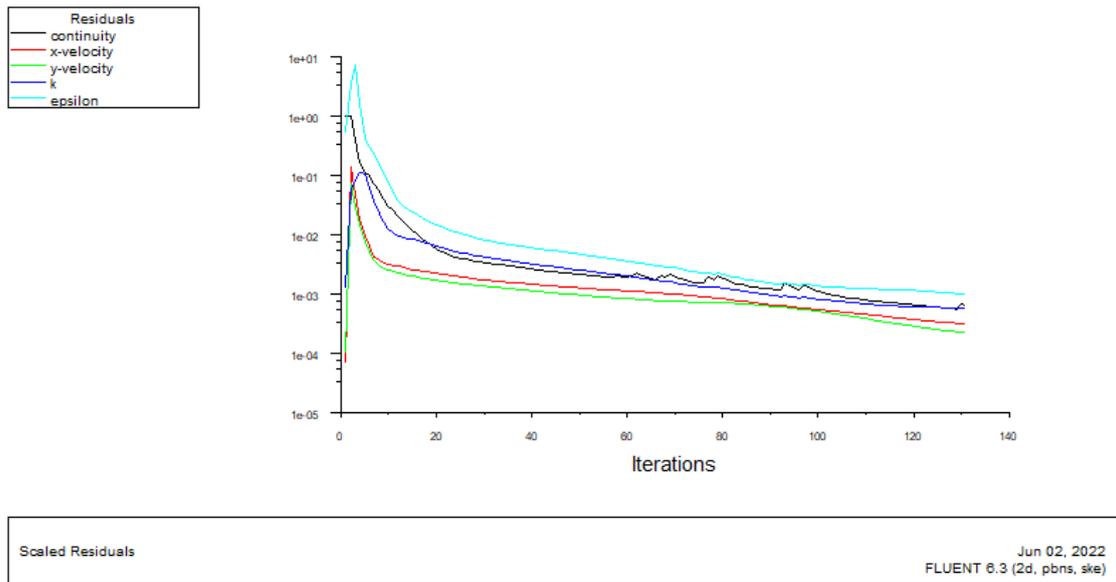


Figure III 26: Allures de l'évolution des résidus de calcul

m/ Contours of static pressure

Display → contours

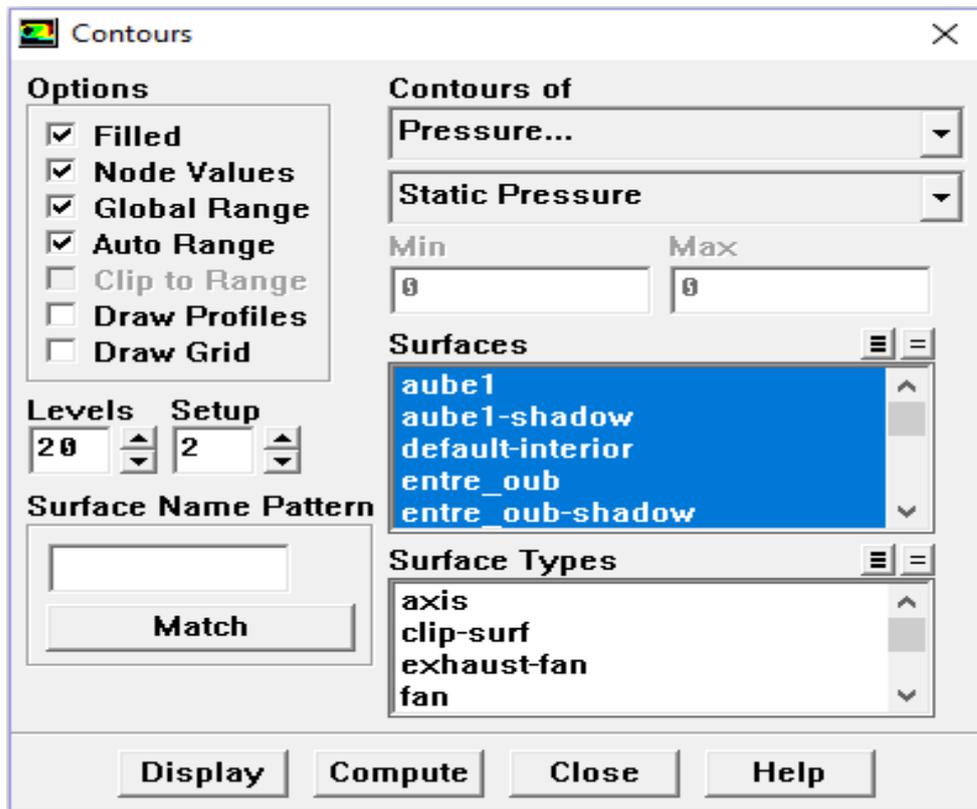


Figure III 27: Contours of static pressure

## CHAPITRE III : ETUDE NUMERIQUE

---

### **Remarque importante**

Les résidus sont calculés à partir des corrections dans les variables ; pression, vitesse température... du problème entre la présente itération et l'itération précédente.

Dans la plupart des cas, le critère de convergence par défaut dans FLUENT (Residual) est suffisant. La solution converge quand les résidus atteignent  $10^{-3}$ . Toutefois, dans certains cas il faut pousser les calculs à  $10^{-4}$  voir  $10^{-6}$ . Il n'y a pas de règle universelle.

### **Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats des simulations numériques d'un l'utilisation de logiciels pour la résolution de problèmes physiques est de nos jours très fréquent présentation de Gambit et Dessin de la géométrie d'une pale d'éolienne par Gambit et dynamique .

## Chapitre IV : Résultats et discussions

### IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats des simulations numérique d'écoulement autour du rotor éolien, Convergence du calcul , Variation des pression en fonction de la vitesse du vent , Les simulations numériques sont en 2D. Les résultat numériques concernent la distribution du champ de vitesse statique en fonction de X

### IV.2 Contours de pression pour vitesse du vent $V=5$ m/s et pour $V=10$ m/s

Pour  $V=5$  m/s

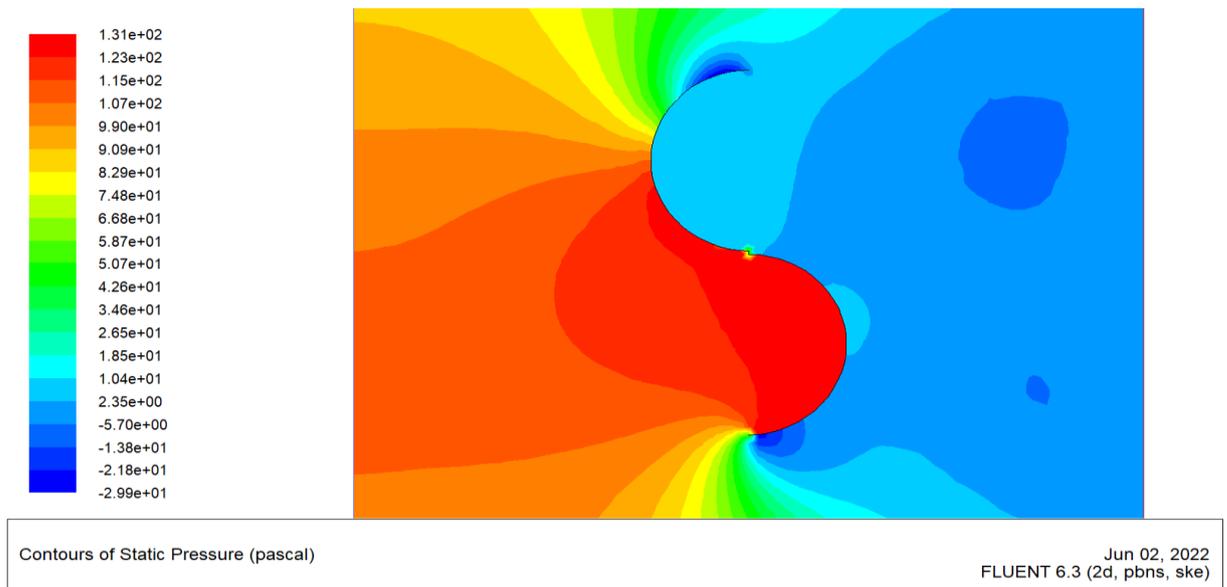


Figure IV 28 :conteurs de pression pour une vitesse du vent constante  $V=5$ m/s

Pour  $V=10$  m/s

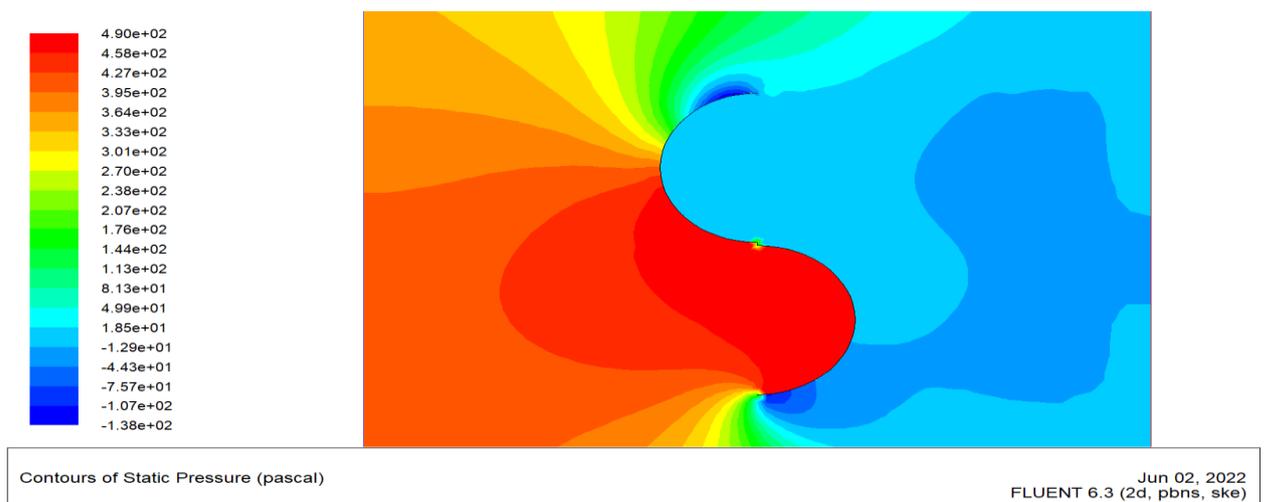
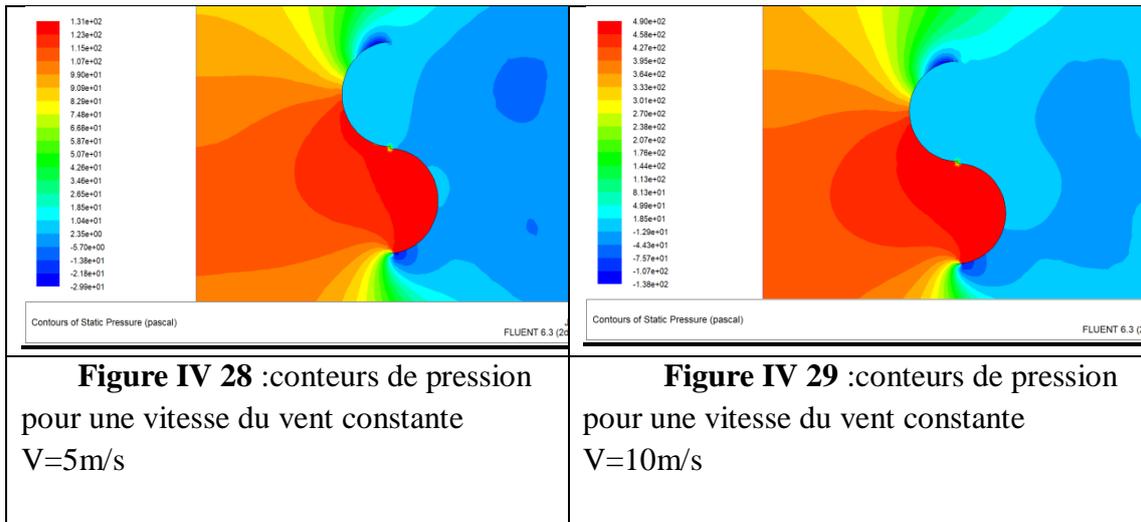


Figure IV 29 :conteurs de pression pour une vitesse du vent constante  $V=10$ m/s

### IV.2 Effets de V sur la rotation de l'éolienne



On peut le voir sur la figure 23, qui représente le changement de pression dans le champ de l'éolienne Horizontale.

- À l'entrée l'aube2 à l' intrados , La valeur de la pression varie de 9.09 Pa à 1.31 Pa
- À l'entrée l'aube1 à l' extrados au milieu de l'aube inférieure, la valeur de la pression varie de 9.09 Pa à 1.31 Pa
- À la sortie l'aube1 à l' intrados , la valeur de la pression varie de -2.99 Pa à 1.85 pa
- À la sortie l'aube2 à l' extrados , la valeur de la pression varie de -2.99 Pa à 1.85 pa
- Haut la valeur de pression de -2.99 pa à 9.09 pa
- Bas la valeur de pression de -5.70 pa à 9.9 pa

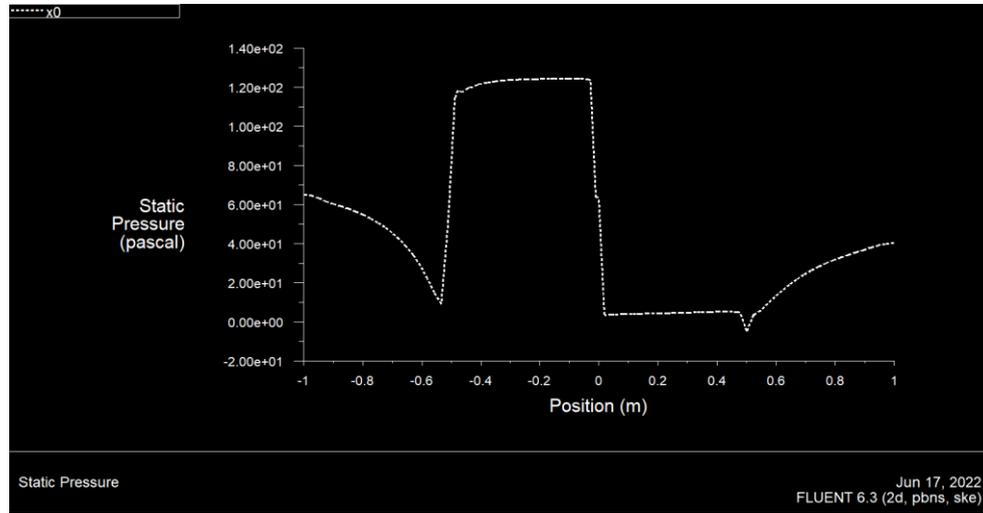
On peut le voir sur la figure 23, qui représente le changement de pression dans le champ de l'éolienne Horizontale

- À l'entrée l'aube2 à l' intrados , La valeur de la pression varie de 3.33 Pa à 4.90 Pa
- À l'entrée l'aube1 à l' extrados au milieu de l'aube inférieure, la valeur de la pression varie de 3.33 Pa à 4.90 Pa
- À la sortie l'aube1 à l' intrados , la valeur de la pression varie de -1.38 Pa à 8.13 pa
- À la sortie l'aube2 à l' extrados , la valeur de la pression varie de -1.38 Pa à 8.13 pa
- Haut la valeur de pression de -1.38 pa à 3.33 pa
- Bas la valeur de pression de -1.29 pa à 3.33 pa

### IV.4 Présentation des courbes de la pression en fonction de X en différentes stations

(X=0 /X=0.125 /X=-0.125 /X=0.25 /X=-0.25 /X=0.5) :

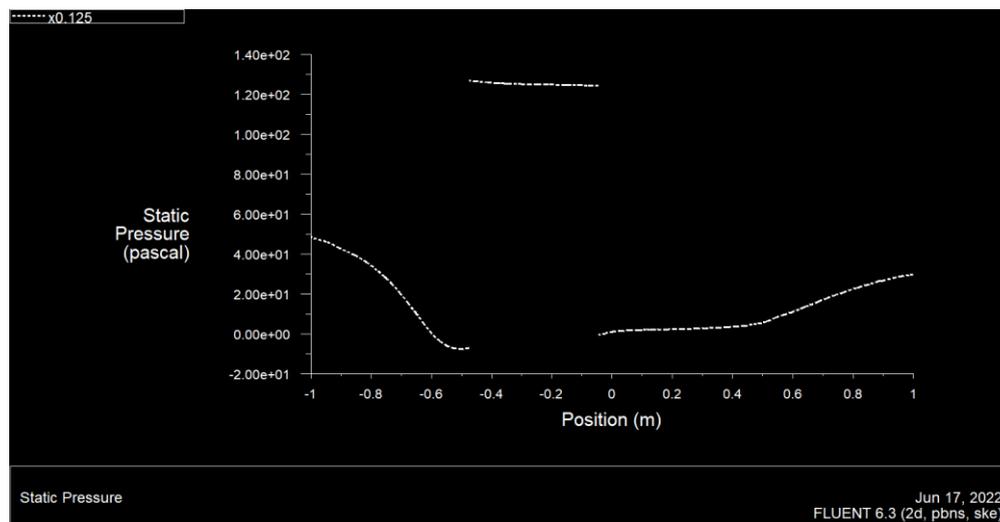
**X=0**



**Figure IV 30** : Variation de la pression statique en fonction de X dans la position **X=0**

Courbe représente statique pressure(pascal) en position(m) Il ya grand Variation dans les valeur Et différence de les valeurs a chaque station A des valeurs jais observé goutte de statice pressure de la position (-1/-0.6)Preuve de valeur statice -0.5 forte hausse (-0.6/0)augmentation de la statice position(m) (0)Forte baisse de la statice position (0/0.5) Preuve de faible de la Position(m) (o.5/1) augmentation de la hauteur plus le vent est fort.

**X=0.125**

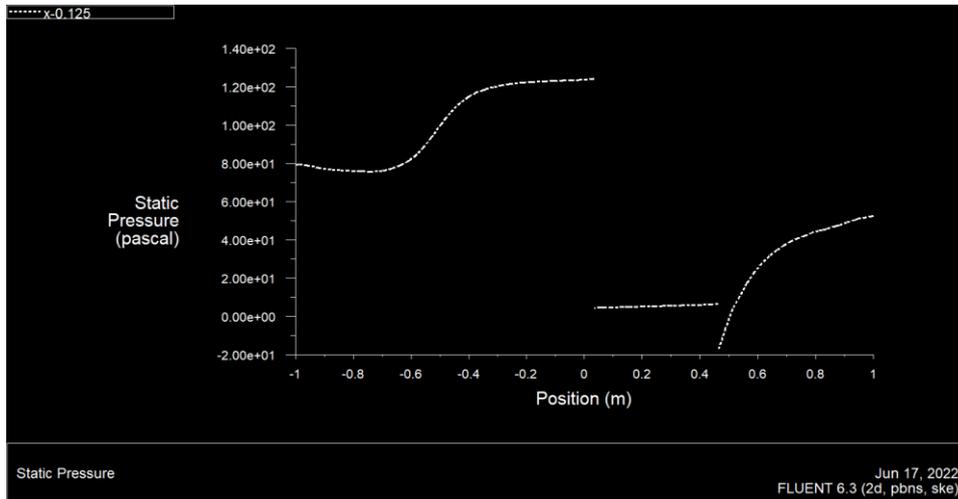


**Figure IV 31** : Variation de la pression statique en fonction de X dans la position **X=0.125**

## CHAPITRE IV : Résultats et discussions

Courbe représente statique pression (pascal) en position(m) Il ya grand Variation dans les valeur Et différence de les valeurs a chaque station A des valeurs jais observé goutte de statice pressure de la position (-1/-0.5) goutte de statice (\_0.5\_0.4) fort hausse de statice pressure de la position (\_0.4/0)pression de hauteur de statice pressure de la position (0.4) pression de hauteur de statice pressure de la position (0.4/1) se lever de statice pressure de position

**X=-0.125**

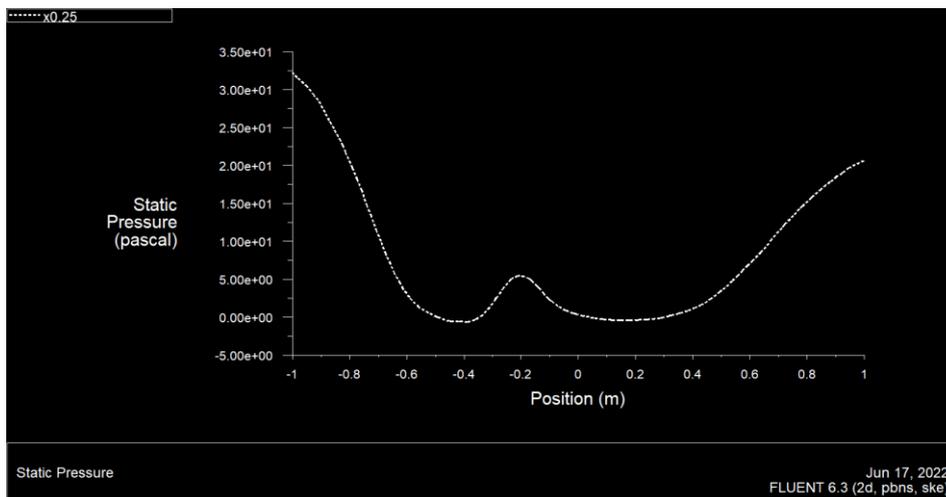


**Figure IV 32:** Variation de la pression statique en fonction de X dans la position

**X=-0.125**

Courbe représente statique pressure(pascal) en pressure(m) Il ya grand Variation dans les valeur Et différence de les valeurs a chaque station A des valeurs jais observé goutte de statice pressure de la pressure (-1/-0.6)Preuve de hauteur de valeur statice (\_0.6/\_0.4)se lever (0.4/0)preuve hauteur (0.4) preuve de hauteur (0.4/01) se lever de la statice pressure

**X=0.25**



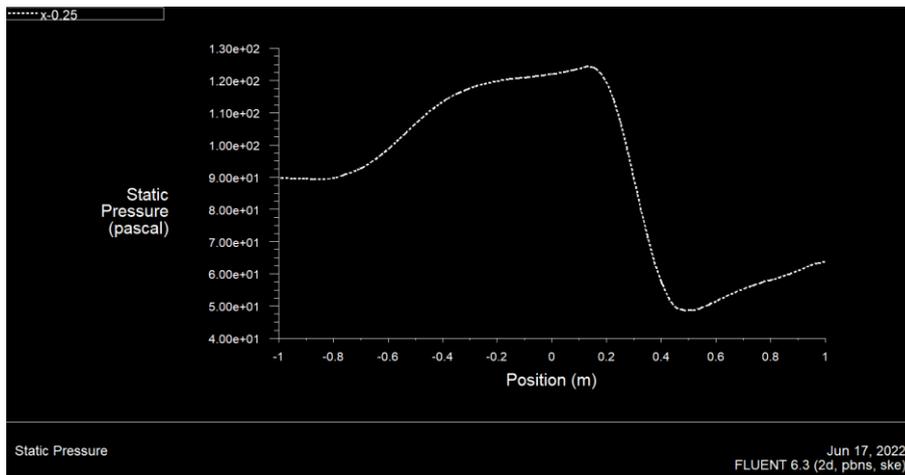
**Figure IV 33 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pressure

**X=0.25**

## CHAPITRE IV : Résultats et discussions

Courbe représente statique pression(pascal) en pression(m) Il ya grand Variation dans les valeur Et différence de les valeurs a chaque station A des valeurs jais observé goutte de statice pressure de la pressure ( \_1/\_0.4) goutte de statice pressure de la pressure ( \_0.4/-0.2) se lève de statice pressure de la pressure ( \_0.2/0.4) se lève de statice pressure de la pressure (0.4/1) se lève de statice pressure de la pressure(0.4) preuve de hauteur de statice Preuve (0.4/1)augmentation de la statice pressure (m) En déduire que plus la puissance du vent est haut plus le vent est fort.

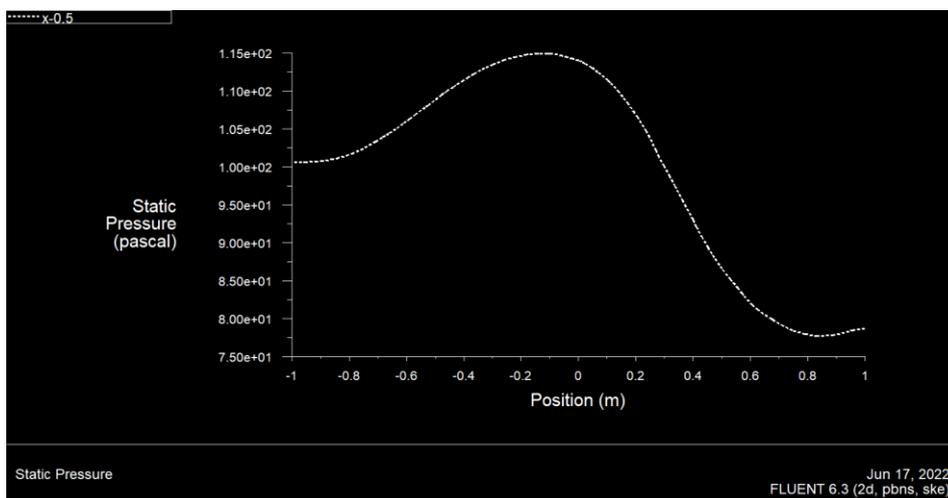
**X=-0.25**



**Figure IV 34 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression **X=-0.25**

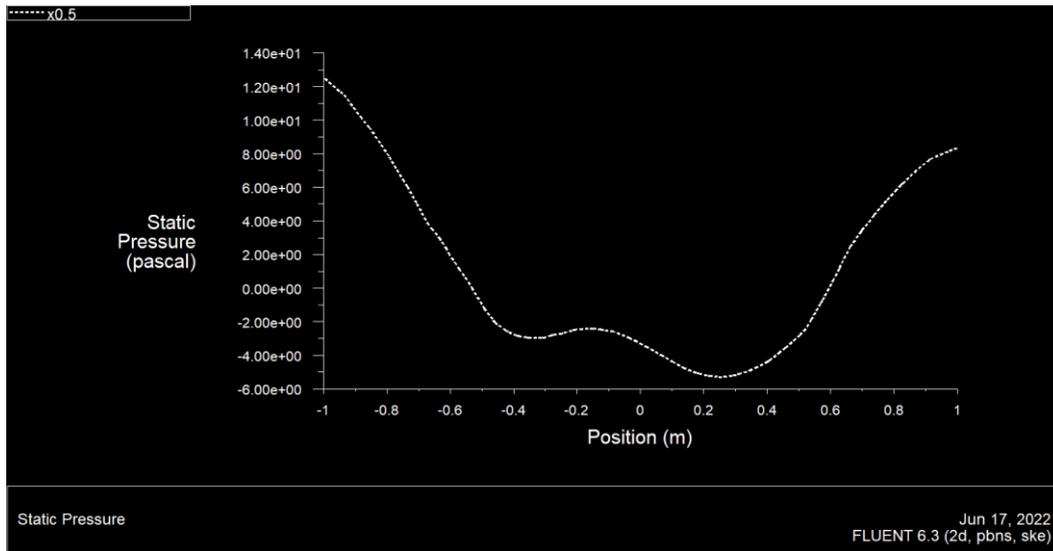
Courbe représente statique pression(pascal) en pression(m) Il ya grand Variation dans les valeur Et différence de les valeurs a chaque station A des valeurs jais observé goutte de statice pressure de la pressure ( \_1/\_0. Preuve de valeur statice (-0.8/0.2)augmentation de la courbe hauteur de la statice pressure(m) (0.2) climax (0.2/0,5)Fort baisse de statice pressure de la Pressure(m) (o. 5/1) augmentation de la hauteur déduire que plus la puissance du vent est élevée, plus le vent est fort.

**X=-0.5**



**Figure IV 35 :** Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression **X=-0.5**

**X=0.5**



**Figure IV 36** : Variation de la pression statique en fonction de X dans la pression **X=0.5**

Courbe représente statique pression (pascal) en pression Il ya grand Variation dans les valeur Et différence de les valeurs chaque station A des valeurs (-1/-0.4) jais observé goutte de statice peseur de la pression (\_0.4/\_0.2) preuve de goutte de statice (\_0.2/0.2)Forte baisse de statice (0.2/01)augmentation de statice peseur de la Pressure En déduire que plus la puissance du vent est élevée, plus le vent est fort.

### IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre Les simulations numériques sont en 2D. Les résultats numériques présents concernent la distribution du champ de vitesse et pression sen fonction de X Nous avons mesuré la pression du vent sur la pôle à chaque point x ,avec Profils de vitesse sur l'aube en différents stations.

### Conclusion Générale

l'importance de les éoliennes est de pouvoir convertir l'énergie cinétique du vent en énergie électrique qui peut être utilisée ou stockée jusqu'à ce qu'elle soit nécessaire. Grande énergie afin de réduire la consommation de combustibles fossiles.

Nous avons modélisé sur les effets de la épaisseur de l'aube d'une éolienne Horizontale sur la puissance de l'éolienne Et nous avons fait une étude pour analyser numériquement le flux d'air autour du rotor des éoliennes, dans laquelle nous avons fait les représentations numériques précédentes, qui sont liées au champ et fixées en fonction de  $X$ , et l'avons représenté, ce qui a conduit à la représentation des résultats numériques précédents.