République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et la recherche scientifique
Université de Mouloud Mammeri - Tizi ouzou
Faculté de génie de construction

Mémoire

En vue de l'obtention du
Diplôme de master en génie mécanique
Option : énergétique

THEME

Valorisation et simulation numérique des rejets thermiques de la centrale thermique de Cap-Djanet

Etudié et réalise par:
M[m] : Mammeri Kamilia

Dirigé par :
Melle : Anissa TALAMALI

◊ *Année universitaire: 2013/2014* ◊

Remerciements

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, le bon dieu qui m'a donné la force et le courage de bien mener ce travail.

Je remercie également ma promotrice ANISSA TALAMALI pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses précieux conseils et sa disponibilité.

Tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnels de la société de Cap-Djinet pour leur chaleureux accueil et leur aide et coopération professionnelle depuis le début de la réalisation de ce travail.

Mes *J'exprime aussi mes remerciements à Monsieur* M.HAMZAOUI *d'avoir accepté de présider le jury.*

Mes remerciements vont aussi à Mme F.Mouhellebi et MmeN.haddouche. Elles ont été d'une extrême gentillesse en acceptant d'être membres de jury.

En fin, que toutes les personnes qu'ils m'ont aidées de prés ou de loin pour l'élaboration et l'acheminement de ce travail soivent vivement remerciées.

Dédicace

A ceux qui m'ont appris à vivre.
A ceux qui ont déclaré le chemin de ma vie.
Vous êtes le soleil qui ne se couche pas.
Vous êtes le nid de mon bonheur.
Vous êtes la couleur de l'espoir.
A vous seul j'écris.
A vous seul j'ai promis d'un amour éternel et d'une réussite dans mes études.
Pour vous seul mes chers parents je dédie ce travail. Je dédie aussi
A ceux qui ont partagé, mes joies et mes peines, MON CH2R mari
Mohellebi Hamza, *Et* ***mon petit fils Ayoub***.
A ma belle famille mes beaux parents, mes beaux frères et sœurs
A mes deux chères sœurs Faiza et Amina que Dieu protège notre amour
A mes deux chers frères Nourdine et Anis que Dieu protège notre amour
A toutes mes amies à Tizi Ouzou
A toute le groupe de Master énergétique
A tous qui m'aiment et que j'aime.

Liste des tableaux

Partie bibliographique

Chapitre II : Rejets thermiques

Tableau II.1. Valeur limite maximum des effluents liquides industriels.

„Chapitre III : Valorisation des rejets thermiques

Tableau III.1 : Modes de valorisation des rejets thermiques industriels.

Liste des figures

Chapitre I : Présentation de la centrale thermique de Cap-Djinet

Figure I.1 : Plan de masse de la centrale.

Figure I.2 : Principe de transformation d'énergie.

Partie bibliographique

Chapitre II : Rejets thermiques

Figure I.1 : Rejet thermique liquide de la centrale thermique de Cap- Djinet.

Figure II.2 : Rejets gazeux.

Figure II.3 : Identification des rejets thermiques.

Figure II.4: Représentation de différents domaines d'utilisation des rejets thermiques**.**

Chapitre III : Valorisation des rejets thermiques

Figure III.1: Green Machine.

Chapitre IV : Modélisation mathématique

Figure IV.1 : Signal turbulent**.**

Figure IV.2 : évolution d'un volume « marqué» par un contaminent sous l'effet de la diffusion (d'après Monin & Yaglom, 1971).

Partie expérimentale

Chapitre V : Simulation numérique

Figure V .1 : Une partie de maillage 2D.

Figure V.2 : Un volume de contrôle en 3D et les nœuds voisins.

Figure V.3. Le rejet liquide sous [Google maps].

Figure V.4. Création de la géométrie.

Figure V.5. Maillage adaptée pour Reynolds égale 8,95.10 .

Figure V.6. Contour de température pout t=6s**.**

Figure V.7. Contour de température pour t=7minutes environ**.**

Figure V.8. Contour de température pour t=10 minute.

Figure V.9. Contour de température pour 20 minutes.

Figure V.10. Contour de température pour 30 minutes.

Figure V.11. Contour de température pour 60 minutes.

Figure V.12. Contour de vitesse pour t=55s environ 1minute.

Figure V.14. Contour de vitesse pour t=7minutes environ.

Figure V.15. Contour de vitesse pour t=10minutes.

Figure V.16. Contour de vitesse pour t=30minutes.

Figure V.17. Contour de vitesse pour t=60minutes, 1heure.

Figure V.18. Contour de température pour t= 5minutes.

Figure V.19. Contour de température pour t=12minutes.

Figure V.20. Contour de température pour t=20min.

Figure V.21. Contour de température pour t=1h environ.

Figure V.22. Contour de vitesse pour t=7scondes.

Figure V.23. Contour de vitesse pour t=2minutes environ.

Figure V.24. Contour de vitesse pour t=5minutes.

Figure V.25. Contour de vitesse pour t=12minutes.

Figure V.25. Contour de vitesse pour t=20minutes environ.

Figure V.26. Contour de vitesse pour t=30minutes.

Figure V.27. Contour de vitesse pour t=1h environ.

Figure V.28. Géométrie de domaine de calcul.

Figure V.29. Conditions aux limites.

Figure V.30. Contour de température a t=0s.

Figure V.31. Profil de température pour t=2minutes environ.

Figure V.33. Contour de température pour t=8minutes.

Figure V.34. Contour de température pour t=10minutes.

Figure .V.35. Contour de vitesse pour t=0s.

Figure .V.36. Contour de vitesse pour t=1minute**.**

Figure V.37. Contour de vitesse pour t=2minutes.

Figure V.38. Contour de vitesse pour t=5minutes.

Figure V.39. Contour de vitesse pout t=8minutes.

Figure V.40. Contour de volume de fraction a t=0s.

Figure V.43. Contour de volume de fraction pour t=8minutes.

Figure V.44. Contour de volume de fraction pour t=10minutes.

Notations latines :

P : pression instantanée

P' : fluctuation de pression

P : Pression moyenne

R_e : nombre de Reynolds

t:temps s

U_i : vitesse instantanée m /s

U_i : vitesse fluctuante m/s

: vitesse moyenne m/s

: Tenseur de Reynolds m^2/s^2

T : température K

x_i: coordonnées cartésiennes du point

a_{nb} : les coefficients nœud voisins

C_μ , $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, , constantes dans le modèle k- **ε**

Notations grecques

ε: Dissipation de l'énergie cinétique turbulente m^2/s^3

μ : Viscosité dynamique moléculaire kg/m .s

μ_t : Viscosité dynamique turbulente kg/m .s

ν_t Viscosité cinématique m^2/s

ν_t : Viscosité cinématique turbulente m^2/s

: la masse volumique du fluide kg/m^3

ρ' : fluctuation de la masse volumique du fluide kg/m^3

ρ : masse volumique moyenne du fluide kg /m^3

Abréviations

R.A.N.S : équation de Navier-Stoks moyennée.

CEE : conseil et parlement européen.

GES : gaz à effet de serre

LTE : Laboratoire des technologies de l'énergie

PMI :petite et moyenne industrie

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Nomenclature

Introduction

Chapitre I. présentation de la centrale thermique de Cap-Djanet

Introduction 3

Historique 3

Plan de masse 4

Organigramme 6

Caractéristiques techniques de la centrale 6

Combustible

Générateur de vapeur

Turbine à vapeur

Alternateur

Eau de réfrigération

Poste d'eau

Auxiliaires communs aux quatre tranches

Station de dessalement

Système de traitement des eaux

Station de production d'hydrogène

Evacuation d'énergie

Commande et contrôle

Système de surveillance, d'alarme et d'analyse

Principe de fonctionnement 10

Chapitre II. Rejets thermique

Introduction 12

Définition d'un rejet thermique 12

Classification des rejets thermiques 12

Rejets liquide

Rejets gazeux

Identification des rejets thermiques 14

Utilisation des rejets thermiques industriels 15

Définition

Les questions préliminaires

Les réponses

Réglementation sur les rejets thermiques 19

Européenne

Les normes algériennes de rejet d'effluents

Le principe pollueur payeur 21

Le zéro-rejet 22

Le protocole de Kyoto 23

Définition

Buts du protocole

Conclusion 23

Chapitre III. Valorisation des rejets thermique

Introduction 25

Définition générale de la valorisation 25

Pourquoi valoriser les rejets thermiques industriels ? 25

Justification énergétique

Justification environnementale

Justification économique

Principes de valorisation 29

Intérêts de la valorisation pour les industriels 29

Modes de valorisation des rejets thermiques industriels 30

Valorisation des rejets thermiques dans les petites et moyennes industries 34

Conclusion 36

Chapitre IV modélisation mathématique

Introduction 38

Modélisation des écoulements turbulents

Nature de la turbulence

Propriétés observable des écoulements turbulents
Méthode statistique 41
Les modèles de turbulences 41
Hypothèses simplificatrices 41
Equations de transport de la dynamique 44
Le modèle k- ε 45
Les équations de transport pour la k-ε
Les écoulements diphasiques 47
Conclusion 48

Chapitre V Simulation numérique

Introduction 49
Outils numériques 49
Equations de Méthodes numériques 49
Principe de la méthode des volumes finis 50
Simulation du rejet d'eau de mer 52
Présentation du problème
Création de la géométrie
Génération du maillage
Les conditions aux limites
Le modèle utilisé
Résultats et interprétations 56

Première Cas : le jet dans la période d'été

Interprétation des résultats

Deuxième cas Le jet dans la période hiver

Interprétation des résultats des résultats

Simulation des rejets atmosphériques 68

Présentation du problème

Création de la géométrie

Génération de maillage

Les conditions aux limites

Résultats et interprétations

Interprétation des résultats

Conclusion 78

Conclusion générale 80

Annexes

Glossaire :

Effluents : Rejets liquides et gazeux traités ou non en sortie d'atelier et rejetés dans le milieu naturel.

Rejets éco compatible : Un rejet est dit éco compatible lorsque son retour dans le milieu naturel est acceptable et qu'il n'entraîne pas de dysfonctionnements prévisibles ou identifiables.

Traitement : Tout processus physique, chimique, biologique ou thermique qui modifie les caractéristiques des déchets de manière a en favoriser la valorisation ou en faciliter l'élimination.

Recyclage : Terme général définissant la réutilisation ou la valorisation des produits usés ou des déchets.

Réutilisation : la réutilisation ou le réemploi est la forme la plus directe du recyclage. Un produit ou des parties d'un produit seront réutilisés à nouveau en l'état ou en parties, et ce sans qu'elle soit retravaillé ou modifié d'une façon substantielle. Un exemple étant les bouteilles de boissons en verre, qui après un lavage seront réutilisées.

Récupération : La récupération est l'extraction de la part valorisable (active) du flux.

Régénération : La régénération est la réutilisation du flux dans sa fonction initiale.

Introduction générale

De nos jours, l'utilisation de l'électricité dans la vie quotidienne est d'un si grand importance que la vie sans elle est impensable. C'est pour cela que sa production prenne de plus en plus de l'ampleur dans tout les pays du monde.

Malgré le développement des centrales nucléaires, hydrauliques, solaires et éoliennes; les centrales thermiques sont toujours en fonctionnement, vue la disponibilité des hydrocarbures utilisées comme combustible dans la production d'électricité pour certains pays.

Les centrales thermiques sont des installations qui transforment de la chaleur fournie par une source d'énergie thermique en énergie électrique. Cette dernière est produite par divers moyens, c'est ce qui différencie les centrales (centrale hydraulique, diesel, à charbon, à gaz, à vapeur, etc.),

La centrale thermique de **Cap-Djinet** est l'une des centrales thermiques à vapeur faisant appel aux caractéristiques thermodynamiques de l'eau de mer dans un but de production de l'électricité. La combustion s'opère à l'intérieur d'une chaudière dans laquelle des tubes assurant la vaporisation de l'eau et la production de la vapeur surchauffée qui va entrainer un groupe de turbines associé un alternateur producteur de l'énergie électrique. Après la détente dans la turbine la vapeur doit être condensée donc refroidie dans un condenseur en utilisant l'eau de mer aux conditions de l'ambiance, cette dernière est rejetée par la suite dans la mer aux conditions de sortie du condenseur, par conséquent une modification des caractéristiques de l'environnement du rejet. D'autres rejets sont ceux des gaz résultant de la combustion du gaz naturel dans la chaudière qui sont rejeté dans l'atmosphère à une température très élevée par rapport à la température ambiante.

En Algérie les rejets thermiques industriels représentent un danger véritable pour l'environnement et la population et sont parmi les plus préoccupants.

La question des rejets thermiques industriels est devenue aujourd'hui un objet de préoccupation d'un nombre croissant de concitoyens, Elle est au cœur des problèmes environnementaux.

La centrale thermique de Cap Djinet est une des industries qui constitue une source de pollution générée par les rejets thermiques industriels.

Afin de réduire cette pollution on a réalisé cette étude qui a pour but valorisation et simulation numérique des rejets thermiques de la centrale thermique à vapeur (production d'électricité) de Cap Djinet pour ensuite signaler ces insuffisances d'où proposer des solutions pour optimiser sa situation vis-à-vis des exigences environnementales.

Les différentes parties de l'étude que nous avons menée sont les suivantes :

- Le premier chapitre de notre étude est réserve à la présentation de la centrale de Cap-Djinet.
- Le deuxième chapitre est consacré particulièrement à une description des rejets thermiques et le cadre réglementaire.
- Le troisième chapitre est consacré à la valorisation des rejets thermiques.
- Au quatrième chapitre nous aborderons la modélisation numérique des deux écoulements étudiés.
- Dans le dernier chapitre nous présenterons la simulation numérique des deux écoulements liquide et gazeux réalisé avec les deux codes de calculs **Fluent** et **CFX**.
- Enfin, l'étude est clôturée par une conclusion et perspectives du travail que nous avons accompli durant notre projet de fin d'étude.

Introduction : [1]

La centrale thermique de Cap Djinet est une centrale de production d'électricité, située au bord de la mer, à l'est d'Alger, prés de la ville de Boumerdes. Elle occupe une superficie de 35 hectares.

Le choix de ce site est fait sur la base des critères suivants :

- Proximité des consommateurs importants, situés notamment dans la zone industrielle Rouiba-Reghaia.
- Possibilité d'extension.
- Conditions du sous sol favorable, ne nécessite pas de fondations profondes.

La centrale thermoélectrique de Cap Djinet, dont la construction a été décidée en vue de renforcer l'alimentation en énergie électrique du pays, est composée de quatre groupes mono bloque d'une puissance unitaire de 168 Méga Watts (borne alternateur) totalisant une capacité installée de 672 Méga Watts (borne usine).

Les quatre groupes alternateurs sont alimentés par quatre chaudières à haute pression d'environ 160 Bars et de 530 m3/h de débit. En ce qui concerne l'investissement globale de la centrale, celui-ci s'élève à deux mille cinq millions de dinars (2 500 000 000 DA).

I.1. Historique : [1]

La centrale à été construire par un consortium Austro-allemand (Kwu : Kraftwerk-AG de RFA, SGP : Simmering GRAZ Pauker d' Autriche et Siemens d'Autriche également) qui avait la responsabilité des études, de la supervision du montage et de contrôle de l'ouvrage, ainsi que d'une entreprise Espagnole DRAGADOS à laquelle a été confiée la réalisation de la prise de l'eau de mer.

De nombreuses entreprises algériennes ont également participé à la réalisation de la centrale, chacune dans son domaine d'activité. Parmi ces entreprises nous pouvons citer : GENISIDER (réalisation des terrassements généraux, de tout le génie civil, réalisation de la station de pompage et mise en place des tuyauteries de refroidissement), INERGA (réalisation du génie civil de la base inter-entreprise), S.N.L.B (fourniture et montage de la base inter-entreprise de chantier), PROSIDER(fourniture et montage de tous les hangars du chantier), ENATUB (fourniture des tuyauteries constituant le circuit de refroidissement), SNIC (sablage et peinture), SONATRAM (travaux de dragage en mer) et SOGEP (travaux de peinture).

Les principaux contrats de réalisation de cette centrale ont été signés en 1980, les travaux de terrassement ont démarré en Mars 1981 et le début du montage de la centrale est effectué le 17 Juin1986. La mise en service des quatre groupes s'est effectuée comme suit :

- ***Groupe 1:*** Couplage sur réseau le **17 Juin 1986**.
- ***Groupe 2:*** Couplage sur réseau le **17 Septembre 1986**.
- ***Groupe 3:*** Couplage sur réseau le **29 Novembre 1986**.
- ***Groupe 4:*** Couplage sur réseau le **21 Février 1987**.

I.2. Plan de masse : [1]

Il est présenté dans la figure ci- après :

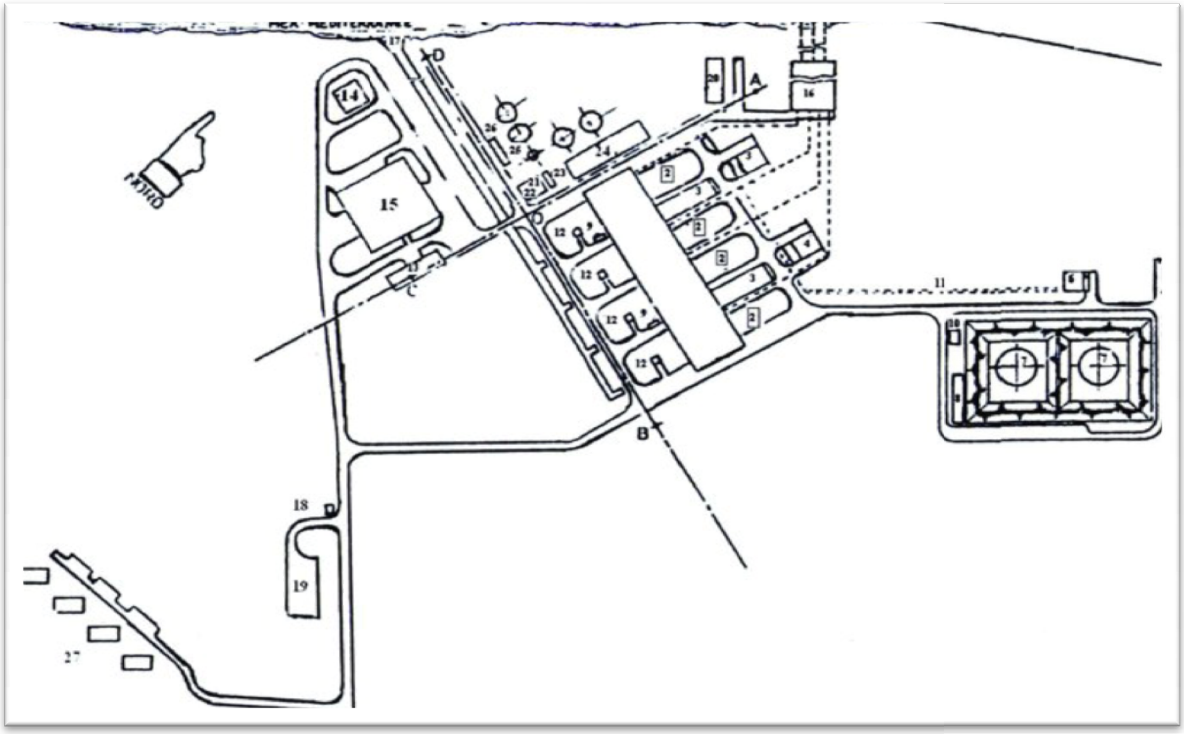
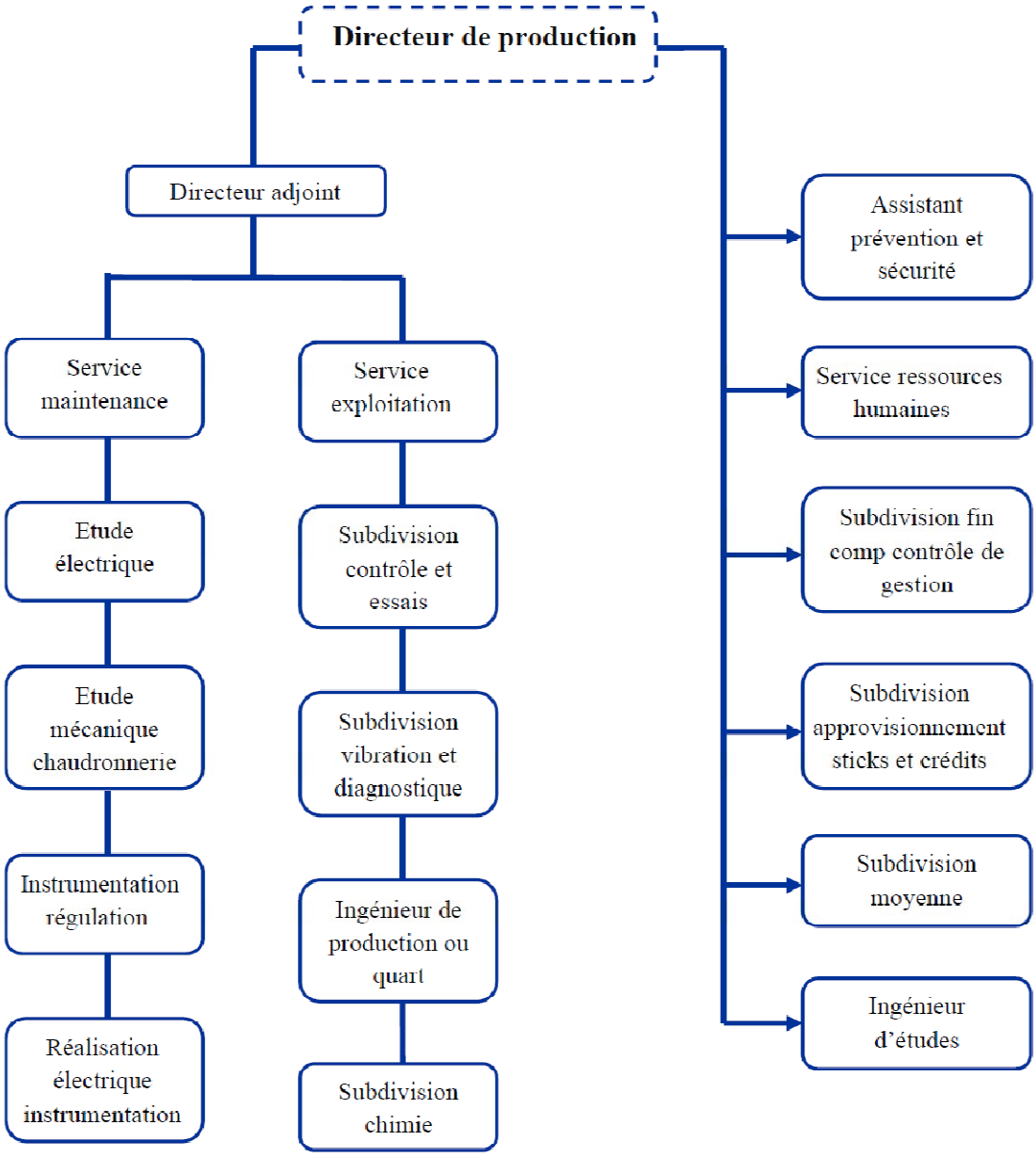


Figure I.1 : Plan de masse de la centrale

Légende

1- Salle des machines.	**15-** Atelier magazine.
2- Chaudière.	**16-** Station de pompage.
3- Locaux des auxiliaires électriques.	**17-** Canal et rejet d'eau de mer
4- Locaux des auxiliaires mécaniques.	**18-** Poste de garde.
5- Tour de prise d'eau de mer.	**19-** Parking.
6- Station de détente de gaz.	**20-** Station de chloration.
7- Réservoir stockage fuel.	**21-** Préparation d'eau potable.
8- Station pompage et dépotage fuel.	**22-** Déminéralisation
9- Station de production H2.	**23-** Fosse de neutralisation.
10- Poste d'incendie à mousse.	**24-** Dessalement d'eau de mer.
11- Rack à tuyauterie.	**25-** Station des pompes d'incendie.
12- Air des transformateurs.	**26-** Pompes d'eau déminéralisée
13- Bâtiment administrative.	**27-** Logements d'exploitation
14- Cantine.	

I.3. Organigramme :



I.4. Caractéristiques techniques de la centrale :

I.4.1. Combustible :

Le combustible principal utilisé dans les chaudières est le **gaz naturel** de HASSI-R'MEL, acheminé par gazoduc. Un débit de **16 000 m3/h** de gaz est nécessaire pour assurer la pleine charge des quatre groupes.

En cas d'indisponibilité, le secteur est assuré par du **fuel «** oïl domestique **»** à l'aide d'un dispositif d'alimentation composé de deux réservoirs de **10 000 m3** pour chacun.

I.4.2. Générateur de vapeur :

Il a pour rôle de transformer l'eau à haute pression pour alimenter le groupe turbo-alternateur.

Il est de type pressurisé à circulation naturelle **(**circulation naturelle de l'eau et de la vapeur, l'eau qui arrive par gravité vers les tubes écrans, sera vaporisée sous l'effet de la combustion, et la vapeur produite, sera acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière par différence de densité avec l'eau**)**.

I.4.3. Turbine à vapeur :

C'est l'élément le plus cher et le plus essentiel dans la centrale. Elle se compose de trois corps : haute pression **«HP»**, moyenne pression **«MP»** et basse pression **«BP»** qui sont liés avec un seul arbre. La turbine transforme l'énergie thermique contenue dans la vapeur provenant de la chaudière en mouvement de rotation de l'arbre, le travail mécanique obtenu sert à entraîner l'alternateur.

I.4.4. Alternateur :

Est un générateur d'électricité lié directement avec l'arbre de la turbine, sert à transformer l'énergie mécanique produite par la turbine en énergie électrique.

I.4.5. Eau de réfrigération :

La prise d'eau se situe en mer à **900 m** de la station de pompage et de filtration, après traversée du condenseur, l'eau de réfrigération est rejetée vers le canal de rejet qui aboutit à la mer.

I.4.6. Poste d'eau :

Est l'ensemble des équipements qui préchauffe l'eau et le transfert du condenseur jusqu'à la chaudière en passant par la bâche alimentaire **(**dégazeur**)**.

I.4.7. Auxiliaires communs aux quatre tranches :

I.4.7.1. Système de traitement des eaux :

a)- Station de dessalement :

Elle a pour rôle la production de l'eau dessalée à partir de l'eau de mer pour alimenter la chaudière.

La centrale a quatre unités de dessalement de débit de **500 m3/h** chacune, assurent la production d'eau pour les appoints au cycle thermique. Ces unités sont de type multi flash. L'eau dessalée est stockée dans deux réservoirs de **2700 m3** chacun avant d'être déminéralisée. **(**Conductibilité < **30 µs/cm)**

b)- Station de déminéralisation :

Deux chaînes de déminéralisation à lit mélangés de **40 m3/h** chacune, parachèvent le traitement de l'eau avant son utilisation dans le circuit eau-vapeur. Le stockage d'eau déminéralisé se fait dans deux réservoirs de **1500 m3** chacun. **(**Conductibilité < **0,1 µs/cm)**

c)- Station d'électro chloration :

La chloration de l'eau de mer permet de préserver les équipements traversés par l'eau de mer contre la prolifération d'organismes marins. Elle se fait par injection d'hypochlorite de sodium. La production

de ce dernière en est assurée par une station d'électrochloration (par électrolyse de l'eau de mer**)** d'une capacité de **150 kg/h** de chlore actif.

I.4.7.2. Station de production d'hydrogène :

L'électrolyseur bipolaire sert à la production d'hydrogène et d'oxygène de grande pureté, l'hydrogène produit sert au refroidissement des quatre alternateurs de la centrale. Sous une pression de**3 bars,** en circuit fermé, l'hydrogène étant lui-même refroidi à l'eau d'extraction.

I.4.7.3. Evacuation d'énergie :

L'énergie électrique produite est évacuée par l'intermédiaire d'une ligne de **225 Kv**, sur le poste Alger-est **(**Boudouaou**)**.

I.4.7.4. Commande et contrôle :

La centrale se caractérise par un degré élevé d'automation et de centralisation des commandes.

On dénombre une quarantaine de chaînes de régulation par groupe de production qui permet un pilotage automatique du groupe

I. 4.7.5. Système de surveillance, d'alarme et d'analyse :

Pour permettre une bonne conduite du groupe de production, des paramètres d'exploitation

(Température, pression, niveau d'eau, vibrations, etc.**)** Des différents équipements du groupe, sont

indiqués, enregistrés en permanence en salle de commande et signalés en cas de dépassement de seuil.

Pour une meilleure analyse en cas d'incendie un consignateur d'état est installé. Il permet d'enregistrer les alarmes dans un ordre chronologique.

I.5. Principe de fonctionnement

Il est basé sur la transformation d'énergie chimique contenue dans un combustible, en énergie électrique en passant par l'intermédiaire de l'énergie thermique et mécanique. Cette transformation s'opère dans divers appareils en utilisant les propriétés physiques de l'eau sous ses diverses formes liquide et vapeur,

En gros, on a trois transformations principales **(**voir figure **2)** : [2]

- Transformation de l'***énergie chimique*** issue du combustible en ***énergie calorifique*** **(**dans un générateur de vapeur**)**, qui est la chaleur nécessaire à la vaporisation et à l'augmentation de la température de l'eau
- L'**énergie calorifique** obtenue est transmise principalement à l'eau sous formes liquide et vapeurs **(**saturée et surchauffée**)**. La transformation de cette énergie en **énergie mécanique** s'opère dans une turbine à vapeur.
- L'**énergie mécanique** résultant de la deuxième transformation est transmise directement à l'alternateur à travers un accouplement pour la transformer en **énergie électrique**.

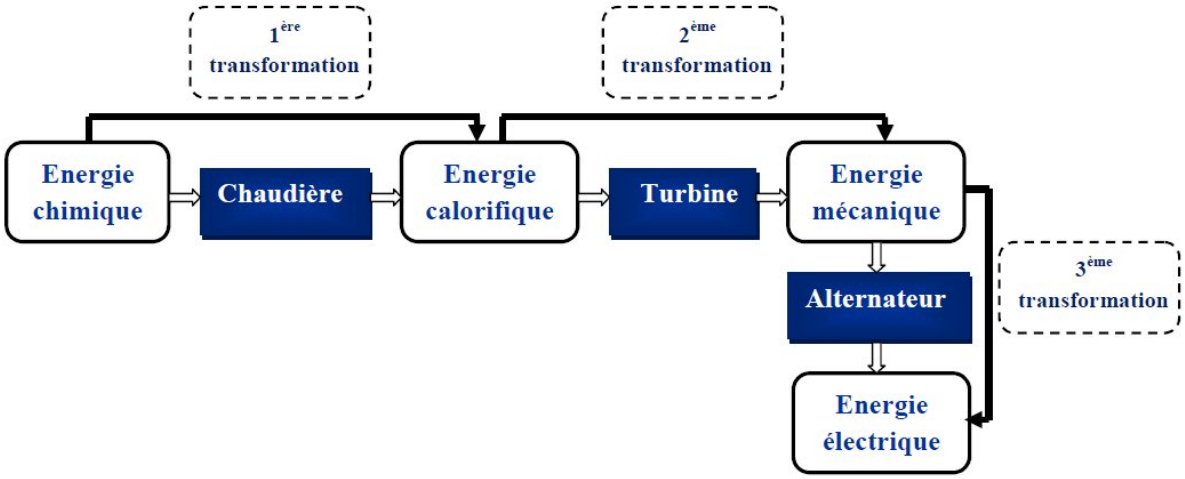


Figure I.2 : principe de transformation d'énergie

Introduction

L'activité industrielle ne saurait fonctionner harmonieusement sans une administration capable de fixer des normes, d'établir des procédures à suivre pour garantir leur application et décider s'il est possible dans certains cas, d'autoriser des modifications ou des assouplissements afin de tenir compte des conditions locales sans compromettre la qualité de la production.

C'est ainsi que, qui dit « Production » interpelle naturellement les produits, y compris les services, qui sous une forme ou une autre ont des impacts sur l'environnement à divers stades de leur cycle de vie (acquisition de la matière première, fabrication, distribution, utilisation, élimination…).

Il est admis de nos jours que les produits sont la cause majeure de la pollution de l'environnement et de l'appauvrissement des ressources. C'est pourquoi les dispositions relatives à l'environnement en ce qui concerne l'établissement des normes peuvent avoir une influence significative sur la portée de ces impacts sur l'environnement.

Les systèmes de protection des milieux récepteurs tels qu'ils existent dans les grands pays développés mettent en jeu plusieurs types de normes modulées les unes en fonction des autres, de manière à influer à différents niveaux sur des processus et mécanismes susceptibles d'entraîner des effets indésirables (rejets industriels…).

Aujourd'hui, les entreprises industrielles doivent relever de nombreux défis dans le domaine de l'environnement : la protection des ressources, l'optimisation des consommations, la maîtrise des coûts, la sécurisation des outils de production, la traçabilité des déchets. En confiant aux spécialistes les défis liés au cycle de l'eau et à celui des déchets, elles peuvent se consacrer pleinement à leur métier et assurer le succès de leurs engagements. [3]

II.1.Définition d'un rejet thermique

Energie non utilisée après avoir servi à une prestation énergétique. [4]

II.2.Classification des rejets thermiques

On se base sur les caractéristiques physiques, on peut classer les rejets thermiques en deux catégories :

II.3.1-Rejets liquides

Elles représentent la fraction des rejets qui se trouve sous forme liquide tels que : les eaux usées ou résiduaires qui sont donc les eaux ayant perdu, par leur utilisation industrielle ou domestique, leur pureté initiale, et devenues impropres à d'autres utilisations de qualité, les huiles usagées, les solvants sales.

En site par exemple les rejets liquides de la centrale thermique de Cap-Djinet qui est constitués d'eau de mer, pompée pour refroidir les condenseurs des turbines à vapeur de chaque unité de production. [5]

Figure I.1 : rejet thermique liquide de la centrale thermique de Cap- Djinet

II.2.2.Rejets gazeux :

Ce sont les rejets gazeux ou bien les déférentes émissions et particules émise par les activités humaines (usine, centrales thermiques,…). Ce sont alors des émissions entropiques qui provoquent la pollution atmosphérique. Parmi les principaux polluants on distingue : **SO2** (dioxydes de soufre), **NO** (monoxyde d'azote), **NO_2** dioxyde d'azote), **CO** (monoxyde de carbone), **COV** (composés organiques volatils), **O_3** (l'ozone), particules en suspension. [5]

Figure II.2 : Rejets gazeux

II.3.Identification des rejets thermiques

Chaque industrie fonctionne comme une chaîne de production où il est possible d'identifier des flux entrants, des procédés de transformations et des flux sortants. Le système est alimenté par des matières premières sous forme solide, liquide ou gazeuse. La transformation de ces matières par un ou plusieurs

processus engendre une consommation d'énergie (électrique, mécanique, hydraulique etc.).

Les produits finis ainsi qu'une certaine quantité de rejets sous différentes formes (solide, liquide, gazeuse) constituent le résultat de cette transformation.[6]

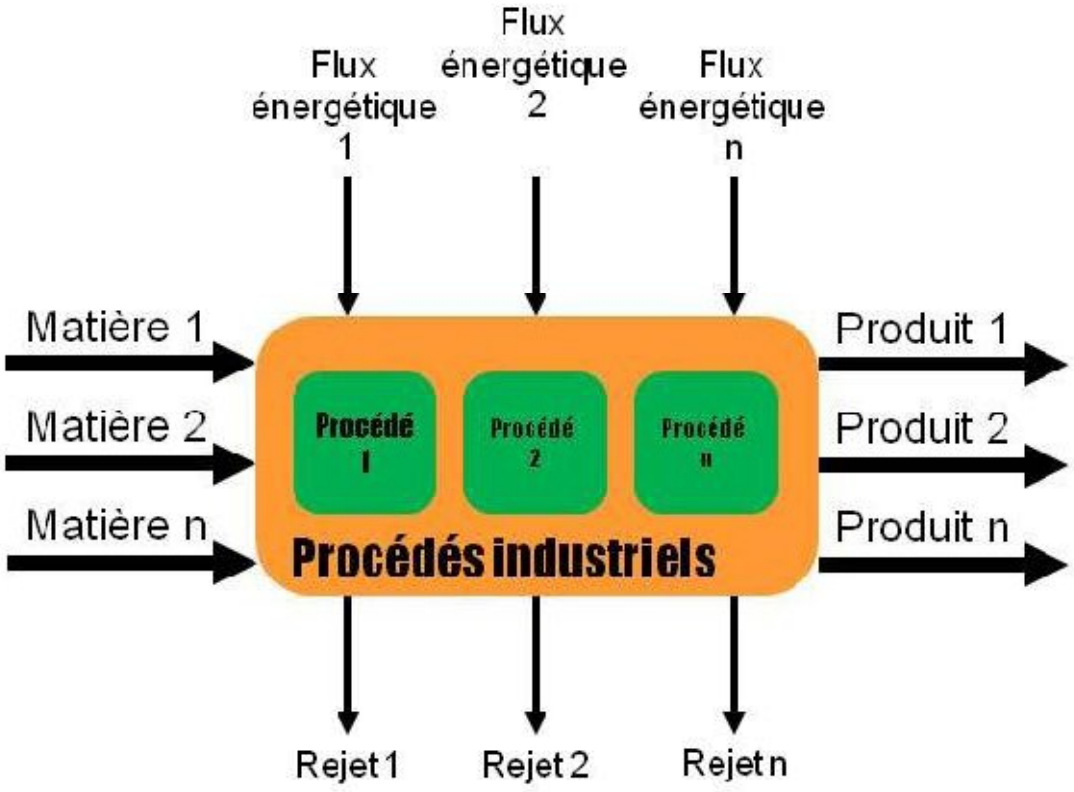


Figure II.3 : Identification des rejets thermiques

II.4.Utilisation des rejets thermiques industriels

I-4-1-Définition

La notion **d'utilisation des rejets thermiques** sous-entend que l'énergie récupérée d'un procédé est mise en valeur dans un autre procédé. Par exemple, l'énergie thermique dégagée par une installation de réfrigération (1er procédé) peut être valorisée pour le chauffage de locaux ou la production d'eau chaude sanitaire (2e procédé).

L'utilisation des rejets thermiques n'est pas à confondre avec la notion de **récupération de l'énergie** qui désigne une réutilisation de l'énergie à l'intérieur d'un même procédé. Par exemple : récupération de l'énergie dans une installation de ventilation par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. [7]

II.4.2.Mode d'utilisation des rejets thermiques industriels

Compte tenu d'une part, des parcs agro-industriels thermiques européens occupés depuis maintenant une quinzaine d'années par des entreprises majeures fonctionnant sur rejets thermiques de centrales nucléaires et de centrales thermiques, et d'autre part, de l'expérience et des acquis développés au Canada, il est opportun et stratégique de travailler au développement de l'utilisation de cette source d'énergie jusque là négligée.

Par ailleurs, compte tenu des contraintes techniques d'exploitation d'unités industrielles majeures telles que les papetières, les alumineries et les unités de cogénération et des implications économiques hautement néfastes d'un arrêt accidentel de production, on peut raisonnablement considérer que la "production" de rejets thermiques valorisables comme source d'énergie constitue un approvisionnement sécurisé.

Au Canada, des exemples concrets démontrent le réalisme technique et administratif de la valorisation des rejets thermiques industriels et la satisfaction réciproque des partenaires :

Production piscicole en partenariat avec la papetière Donohue St-Félicien,

Production agricole sous serres en partenariat avec l'unité de cogénération Boralex Kingsley Falls.

Production agricole sous serres en partenariat avec la papetière Smurfit-Stone New Richmond,

Parc agro-thermique de la Société de Gestion de l'Eco parc en partenariat avec l'unité de cogénération Société de Cogénération de St-Félicien

Parc thermique de la Corporation Développement Économique de Senne terre en partenariat avec l'unité de cogénération Boralex. [8]

Cogénération Boralex (Kingsey Falls) : échangeur thermique (arrière plan) sur le réseau de refroidissement lubrification machines (huile / glycol) permettant de chauffer les serres Patenaude

Serres Patenaude :1000 m² de serres, chauffées par les rejets thermiques de la cogénération, produisant de la potée fleurie et de la fleur en caissette

Salmotherm (St-Félicien) :
Échangeurs thermiques permettant de chauffer l'eau d'élevage de l'unité piscicole pilote avec les rejets de la papetière Donohue

Salmotherm :
bassins d'élevage (ouananiche, truite mouchetée et doré jaune) sous serre. Production annuelle : 15 tonnes

Figure II.4: représentation de différents domaines d'utilisation des rejets thermiques.

II.5.Que faire avec les rejets thermiques industriels ?

II.5.1.Les questions préliminaires

Quelles sont les productions pouvant avoir besoin d'eau tiède (30◦c à45◦c) ?

Quel gain peut apporter l'utilisation d'eau tiède ?

Ce gain peut-il permettre de rentabiliser des investissements importants ?

La température relativement basse de l'eau disponible étant peu compatible avec des utilisations dans des procédés industriels (hors le chauffage de locaux), il est judicieux de s'orienter vers des processus biologiques (croissance, séchage, etc.). En effet, pour ceux ci, l'influence bénéfique d'une élévation de température est bien connue, à condition toutefois de ne pas dépasser certaines températures limites pouvant causer des chocs thermiques préjudiciables. [8]

II.5.2. Les réponses :

En agriculture, il a été mis en évidence que l'utilisation des rejets thermiques industriels ne pouvait être économiquement rentable que dans le cas de cultures sous abris réchauffées par des eaux de 30°c à 45°c.

Pour des productions habituellement cultivées sous abris froids, telles que les plants de reboisement forestiers, l'utilisation des rejets thermiques industriels permet une rotation plus rapide des cultures, un meilleur enracinement et une protection contre le gel.

Pour les productions exigeantes en chaleur (laitue, fraise, tomate, concombre), habituellement cultivées sous serres chauffées, les eaux tièdes peuvent fournir 40% à 80% des besoins de chauffage.

En aquaculture, les expérimentations, puis les productions à échelle industrielle, ont confirmé que le maintien de poissons dans des conditions d'élevage proches de leur optimum thermique accélère leur croissance dans des proportions économiquement rentables.

L'utilisation des eaux tièdes a donc été envisagée pour accélérer le grossissement d'espèces des régions froides et tempérées, mais aussi pour reproduire les conditions climatiques convenant à des espèces tropicales. Les eaux tièdes sont également un atout intéressant dans des unités d'écloserie,

d'alevinage et de pré-grossissement en permettant de s'affranchir des saisons, de décaler les pontes et de produire des juvéniles sur de longues périodes. [8]

II.6.Réglementation sur les rejets thermiques :

II.6.1.Européenne :

La directive du 23 octobre 2000 (2000/60/CEE) adoptée par le Conseil et par le Parlement européen définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen. Cette directive est appelée à jouer un rôle stratégique et fondateur en matière de politique de l'eau. Elle fixe en effet des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines :

- atteindre un bon état des eaux en 2015,
- réduire progressivement les rejets, émissions ou pertes pour les substances prioritaires ;
- supprimer les rejets des substances prioritaires dangereuses d'ici à 2020.

Cette directive a également engendré de nouveaux textes sur les micropolluants, avec des normes de qualité du milieu récepteur pour des substances dangereuses jusqu'à présent non réglementées (arrêté ministériel du 20 avril 2005), et un programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses (décret du 20 avril 2005 et arrêté ministériel du 30 juin 2005).[9]

II.6.2. Les normes algériennes de rejet d'effluents :

La réglementation concernant la pollution des eaux de surface et souterraine provient de **loi 83-03** sur la protection de l'environnement et de **la**

loi 83-17 portant code des eaux. Le **décret 93-160**, venu en application des deux lois susmentionnées, réglemente les rejets d'effluents liquides industriels. Les rejets dans un milieu récepteur ne sont autorisés que s'ils ne dépassent pas à la source les valeurs limites maximales fixées par le présent décret et s'ils remplissent les conditions techniques définies par arrêté ministériel. Ces conditions techniques tiennent compte du débit et du degré de pollution du milieu récepteur et de leur capacité de régénération naturelle, des conditions d'utilisation des eaux réceptrices et des exigences d'alimentation en eau des populations, ainsi que de la protection de la faune et de la flore et des exigences sanitaires, économiques et touristiques. Ce décret fixe également les modalités de demande d'autorisation de rejet pour les industriels.

Conformément aux normes algérienne établies en vigueur suite au : **décret exécutif № 93-160 du 10 Juillet 1993**, du Journal Officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, définit un rejet comme tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides dans le milieu naturel et fixe, en son annexe, les valeurs limites de ce rejet.

Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; **le Décret Exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006**. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau 4. [10]

№	paramètres	Unité	Valeur limite
01	Température	°c	30
02	PH	--	6.5-8.5
03	MES	mg/l	35

04	Azote	,,	30
05	Phosphore	,,	10
06	DCO	,,	120
07	DBO_5	,,	35
08	Aluminium	,,	3
09	Substances toxique biaccumulable	,,	0.005
10	Cyanures	,,	0.1
11	Fluor et composés	,,	15
12	Indice de phénols	,,	0.3
13	Hydrocarbure totaux	,,	10
14	Huiles et grasses	,,	20
15	Cadmium	,,	0.2
16	Cuivre total	,,	0.5
17	Mercure total	,,	0.01
18	Plomb total	,,	0.5
19	Chrome total	,,	0.5
20	Etain total	,,	2
21	Manganèse	,,	1
22	Nickel total	,,	0.5
23	Zinc total	,,	3
24	Fer	,,	3
25	Composés organiques chlorés	,,	3

Tableau II.1. Valeur limite maximum des effluents liquides industriels.

II.7.Le principe pollueur payeur :

Toutes les activités industrielles doivent soumise au principe pollueur payeur à travers les redevances pollution et les aides financières des agences de l'eau qui incitent les industriels à engager des actions pour réduire la pollution et

préserver l'environnement. Le produit des redevances perçues, en fonction des pollutions générées ainsi que de la quantité d'eau prélevée, est versé sous forme d'aides afin de financer les projets de lutte contre la pollution.

En 1997, la redevance sur le prélèvement d'eau a représenté 283 millions de francs dont 2% provenaient des industries, la redevance pollution effectuée sur 2 671 établissements a représenté 155 millions de francs.

Ce système pollueur-payeur incite donc les industriels, d'une part, à réduire leur rejet et, d'autre part, à investir dans des procédés de lutte contre la pollution.[11]

II.8.Le zéro-rejet

La notion de zéro-rejet n'existe pas dans l'absolu, **c'est une utopie!**

D'une manière générale toutes activités industrielles ne peuvent pas avoir de déchet nul (zéro-rejet) mais il peut avoir des rejets "éco compatibles" ou des rejets liquides nuls. Cette dernière notion se reporte soit aux métaux soit à tous les produits issus de l'activité qui sont rejetés avec les eaux usées.

La plupart du temps, il y a transfert de la pollution d'un milieu vers un autre (centre de traitement ou décharge), nous observons donc un zéro rejet sur site; les déchets sont toujours présents mais ils ne sont pas rejetés dans le milieu naturel.

La notion de zéro-rejet doit donc toujours être associée à un état physique (solide, liquide ou gazeux) ou par rapport à une composition, par exemple un zéro-rejet liquide polluant contenant des métaux lourds ou des sels.

Les différentes caractéristiques du zéro-rejet polluant aqueux se déclinent donc de la manière suivante :

• absence totale de métaux et de sels dans l'eau,

• les rejets en eau ont les mêmes caractéristiques que celle des eaux d'alimentation prélevées,

• les rejets en eau ont les mêmes caractéristiques que le milieu récepteur,

• zéro-rejet liquide.

La mise en place du zéro-rejet liquide est souvent dictée par la réglementation (arrêtés préfectoraux). Elle implique et favorise la mise en place de techniques de prévention et de dépollution. Cet objectif a une influence positive non négligeable sur les coûts de surveillance des rejets ainsi que sur les redevances pollution auxquelles sont soumis les industriels. [11]

II.9.Le protocole de Kyoto

II.9.1.Définition

Le protocole de Kyoto est un traité international proposant un calendrier de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui sont considérés comme une cause possible du réchauffement planétaire. Il a été négocié à Kyoto, au Japon. Ouvert aux signatures le 16 mars 1998 et arrêté le 15 mars 1999.

II.9.2.Buts du protocole

L'objectif du protocole de Kyoto est de réduire de 5 % les émissions de gazes à effet de serre de 1990 avant 2012 .Cet objectif est loin d'être atteint puisque l'on observe une augmentation, dues à l'émergence de nouveaux pays pauvres qui polluent plus qu'avant. Pour faciliter leur tâche, le protocole a prévu des « mécanismes de flexibilité », qui permettent notamment aux pays riches de financer des technologies propres dans les ex-pays communistes ou dans le tiers monde et de recevoir en échange des crédits d'émission. [21]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans le cadre de la lutte contre la pollution d'origine industrielle et la protection de l'environnement, des dispositions légales et réglementaires, qui ont été mises en place par l'Etat pour l'introduction de taxes sur les activités polluantes ou dangereuses.

Les taxes visent essentiellement à mettre en ouvres le principe « pollueur payeur En effet, elles conduisent à mobiliser les ressources nécessaires pour financer les dommages causés à l'environnement par une activité polluante.

Alors les rejets dans un milieu récepteur ne sont autorisés que s'ils ne dépassent pas à la source les valeurs limites maximales cité précédemment accordées selon les catégories industrielles concernées, les installations générant des rejets liquides ou atmosphériques doivent être conçues de manière à éviter à la source leurs rejets.

Introduction

La chaleur perdue peut être perçue comme de la chaleur rejetée par des installations dans l'environnement. La récupération et la réutilisation de cette chaleur offrent la possibilité de réduire les couts énergétiques et d'améliorer la rentabilité des entreprises.

Bien que le rythme de croissance des coûts énergétiques ait ralenti au cours des dernières années.la nécessité de réduire la consommation d'énergie persiste.

Dans ce chapitre nous présenterons la valorisation des rejets thermiques comme une solution pour une gestion globale des effluents des entreprises est la mise en place de technologies propres dans le but de réduire à la source la quantité et la nocivité des rejets thermiques.

III.1.Définition générale de la valorisation

Comme l'indique le dictionnaire, valoriser est « le fait de donner de la valeur à quelque chose.»

La notion de valorisation est apparue dans les années 1989 mais la loi n'a été votée qu'en 1992.

La valorisation c'est l'utilisation, la réutilisation et le recyclage des effluents dans leur fonction originale ou une autre fonction (matière première, production d'énergie, etc.) [13]

III.2.Pourquoi valoriser les rejets thermiques industriels ?

Voici les principaux arguments en faveur du développement de la valorisation des rejets thermiques industriels comme source énergétique alternative :

III.2.1.Justification énergétique

L'Amérique du Nord en général et le Canada en particuliers se sont trouvés jusqu'à très récemment dans un contexte énergétique extrêmement favorable si on le compare à celui de l'Europe de l'Ouest.

En effet, dès le milieu des années 70, l'Europe prenait de plein de fouet les chocs pétroliers successifs. Cette situation allait grandement influencer non seulement les options des politiques énergétiques, mais également le comportement des entreprises qui voyaient au fil des ans leurs coûts de production augmenter de façon inquiétante.

La recherche de sources énergétiques alternatives s'est donc renforcée dès la deuxième moitié des années 70 dans toute l'Europe de l'Ouest.

Certains pays comme la France ont accéléré la construction de centrales nucléaires pour acquérir une indépendance certaine vis à vis des produits pétroliers, au moins dans le secteur de la production d'électricité. A ce jour, 75% de l'électricité produite en France est d'origine nucléaire.

D'autres pays ont travaillé à une optimisation et à une rationalisation de l'utilisation de combustibles fossiles présents sur leur territoire (charbon, lignite, gaz naturel)

De son côté, le secteur agricole des productions sous serres était en plein développement mais devait compter avec des sources d'énergie de plus en plus coûteuses qui risquaient de compromettre gravement ce développement.

Des amorces de partenariat ont alors vu le jour entre des entreprises agricoles, agro-alimentaires et agro-industrielles à la recherche de sources énergétiques alternatives bon marché et des unités industrielles majeures disposant de quantités importantes de rejets thermiques dont la valorisation pouvait être un moyen intéressant d'améliorer non seulement leur coûts de production mais également leur image corporative .

C’est ainsi qu’au cours des années 80, on a pu assister, principalement en France, en Allemagne et en Hollande à la naissance de parcs agro-thermiques accueillant des entreprises agricoles, agro-alimentaires et agro-industrielles valorisant des rejets thermiques industriels, totalisant des dizaines d’hectares de serres, entre autres, et représentant des centaines d’emplois directs et indirects.

Ces parcs et ces entreprises sont encore en activité aujourd’hui et la démarche de valorisation des rejets thermiques industriels est toujours d’actualité.[14]

III.2.2.Justification environnementale

Depuis la conférence de Kyoto sur les changements climatiques, les préoccupations environnementales sont devenues des points majeurs dans les politiques mises en place par les différents paliers de gouvernement.

Les encouragements et les incitations à la réduction des émissions de gaz à effet de serre prennent des formes variées, le plus souvent sous la forme de subsides gérés par différents programmes et différents organismes.

Par ailleurs, la notion de développement durable est devenue incontournable dans les différents programmes de développement économique, que cela touche le secteur industriel ou le secteur agricole, entre autres.

La recherche de sources d’énergies alternatives, bon marché et sécurisées que représente la démarche de valorisation des rejets thermiques industriels est dans la droite ligne de ces grands principes en prônant des modèles d’intégration énergétique conformes aux principes de l’écologie industrielle.
Par ailleurs, les préoccupations environnementales, tant de la clientèle industrielle internationale que du consommateur moyen, incitent les entreprises à démarquer leurs produits en mettant de l’avant le souci et les actions menées

en faveur d'une meilleure gestion de l'environnement. Ceci prend la forme d'enregistrement ISO 14001 (ou norme comparable) fondée sur des systèmes de gestion environnementale, tant pour les entreprises industrielles qu'agricoles, agro-alimentaires et agro-industrielles. Ceci se traduit aussi par un développement rapide des productions et des produits agricoles et agro-alimentaires commercialisés avec un label (biologique). [14]

III.2.3. Justification économique

Si la justification énergétique revêt également un caractère fortement économique, il n'en reste pas moins que les choix énergétiques d'une province ou d'un pays sont déterminés par des choix politiques internes. Il en va tout autrement des conditions économiques de marché sur lesquelles les gouvernements provinciaux ou national ont finalement assez peu de prise.

En effet, si la mondialisation des marchés permet aux productions et aux produits canadiens de pénétrer plus facilement des marchés étrangers, la réciproque est également vraie.

Les marchés mondiaux deviennent alors un vaste champ libre où s'affrontent, sans restriction de frontières, les entreprises les plus fortes et les plus dynamiques à l'aune de leur compétitivité, entre autres.

Les entreprises ne doivent donc plus seulement concentrer leurs efforts à pénétrer les marchés d'exportation et à s'y maintenir, mais également travailler à faire face à une concurrence agressive sur les marchés intérieurs jusqu'ici jugés globalement captifs.

Il n'en reste pas moins que la valorisation des rejets thermiques industriels ne résout pas tous les problèmes des productions agricoles, agro-alimentaires et agro-industrielles.

Une amélioration notoire de la compétitivité des entreprises n'est souvent pas suffisante pour faire jeu égal avec des zones de productions où les autres charges de production sont difficilement égalables (main d'œuvre, intrants divers, contraintes environnementales, etc.).

Les aspects environnementaux, à travers les options choisies conformément aux principes du développement durable, couplées à des spécificités locales commercialement porteuses, doivent être mis de l'avant en utilisant au maximum tous les aspects de la valorisation des rejets thermiques industriels replacée dans son contexte régional, provincial ou national. [14]

III.3.Principes de valorisation [15]

- Chercher à réduire les rejets / pertes thermiques par :
  - Isolation
  - Fourniture de chaleur à la bonne température
- Récupérer la chaleur pour le processus lui-même,
- Examiner si une utilisation interne est possible,
- Chercher des opportunités de valorisation externe.

III.4.Intérêts de la valorisation pour les industriels :[11]

L'approche antipollution peut être perçue de différentes façons :

• satisfaire aux exigences réglementaires : démarche obligatoire.

• réaliser des économies.

• réaliser des traitements physico-chimiques.

III.5.Modes de valorisation des rejets thermiques industriels

La valorisation des rejets thermiques industriels, par quelque entreprise que cela soit, représente généralement un surcout significatif d'investissements .En effet, la contrepartie majeure aux fournitures «gratuites » de l'énergie thermique résiduelle du partenaire industriel réside dans le dégagement de ce dernier de toute garantie de fourniture en débit et en température. L'entreprise utilisatrice installe donc le système de valorisation des rejets thermiques en parallèle à un système conventionnel (qui sert de sécurité en cas d'arrêt de fourniture d'énergie par le partenaire industriel).

Pour que cette opération soit économiquement viable, l'entreprise en question doit supporter, dans un mode conventionnel d'opération, des couts d'énergie thermique élevés (ex : chauffage).

L'opportunité de disposer d'une énergie thermique à fiable cout, voire gratuite, et dont la source d'approvisionnement est raisonnablement sécurisée doit se traduire par des économies de cout d'opération qui vont générer un retour sur investissements relativement court (2-3ans) et favoriser la rentabilité.

Par ailleurs la valorisation des rejets thermique d'une entreprise industrielle ou d'une centrale de production d'électricité représente souvent des couts important en termes d'infrastructure de mise à disposition de l'énergie thermique résiduelle.

La valorisation thermique est rarement le fait d'une seule entreprise mai plus souvent le fait d'un regroupement formel d'entreprises.

Une fois réglé le problème de captage et de l'échange de l'énergie thermique des rejets thermique industriels visé thermiques (gazeux ou liquide), la température caloporteur sera en fonction du début de celui-ci dans le system d'échange thermique plus le début de caloporteur sera proche de celui de rejets

thermique plus la température de sortie du caloporteur sera proche de la température d'entrée de rejets thermiques.

A contrario plus le début de caloporteur sera supérieur à celui de rejets thermique, mois sa température de sortie sera élevé (même énergie thermique dissipé dans un plus grand volume)

Compte tenu d'une part du caractère (basse température) des rejets thermique industriels (liquide ou gazeux) ou d'une part du caractère (aléatoire) (tout proportion gardé) de la fourniture de cette énergie par le partenaire industriel. [15]

Option de valorisation	**Commentaire**
Chauffage de l'eau d'élevage en pisciculture	Option économiquement impossible avec les énergies conventionnelles. Bon potentiel de création d'emplois
Chauffage de serre de productions agricoles (légumes et fruits et fourrages..)	Couverture de 60% à 80% des besoins de chauffage en fonction des productions. Fort potentiel de création d'emplois . Possibilité de récupération du CO2 des gazes de combustion du générateur industriel pour injection dans les serres ou pour utilisation dans les industries agroalimentaire
Déshydratation de production agricoles (légumes et fruits et fourrages..)	Opportunité de plus-value locale à des productions agricoles et accès à des marchés extra provinciaux et internationaux activité complémentaire de chauffage des serre, les besoins énergétique pour la déshydrations étant surtout estivaux. création d'emplois directe et indirecte.

Déshydratation des sous produits agroalimentaire	Exemple : déshydratation de petit lait pour extraction de la protéine. Opportunité de valorisation des sous produit considéré comme des déchets problématiques sur le plan environnemental. Création d'emplois directe et indirecte.
Déshydratation des sous produits industriels	Exemple : Déshydratation des boues (industrielles, épuration) pour utilisation comme combustible Création d'emplois directe et indirecte
Séchage de bois (nobles) a basse température	Opportunité de plus value locale à des productions forestières régionales de bois (nobles) le séchage à basse température permit d'obtenir un bois de très haute qualité esthétique et structurale : pas de déformation, pas de gerçure, pas de décoloration Création d'emplois directe et indirecte
Torréfaction de bois	Opportunité de plus value locale à des productions forestières régionales Marché en développement (bois extérieure bois de parement, bois structurale) Création d'emplois .
Chauffage urbain	Chauffage des bâtiments communautaires, privé ou industriels. La conception du bâti doit être adaptée au système de chauffage non conventionnel. Proximité générateur / utilisateur indispensable. Peut à pas de création d'emplois.

Tableau III.1 : Modes de valorisation des rejets thermiques industriels.

La plupart des modes de valorisation présentés aux tableaux si- dessus concernent l'agriculture, l'agroalimentaire et l'industrie du bois. Nous estimons que ces activités peuvent s'intégrer sans difficultés majeures aux activités pratiquées en régions rurales et représenter de réelles opportunités de développement, de diversification ou de plus -value à des productions primaires (agricoles ou forestières).[15]

Pour la plupart des projets de valorisation des rejets thermiques industriels qui sont envisageables, un certains nombre de conditions favorables doit être remplies :

- Volonté de l'entreprise génératrice de valoriser ses rejets avec impacts minimaux ou nuls de la valorisation de ses rejets thermiques sur ses procédés de production.
- Entreprises potentielles utilisatrices des rejets thermiques identifiées.
- Réalisme technique, économique et juridique de la valorisation des rejets thermiques.
- Etablissement d'une convention formelle entre générateur et utilisateur des rejets thermiques.
- Existence d'un cours d'eau ayant un débit nécessaire et suffisant cohérent avec la production aquacole projetée mais également un coefficient de dilution des effluents traités permettant de respecter les objectifs environnementaux de rejets.
- Disponibilités foncières avec un zonage approprié à proximité immédiate du générateur de rejets thermiques.
- Accès aux réseaux routiers ainsi qu'aux infrastructures et services de types eau potable, eaux usées, électricité, gaz naturels, téléphone, etc.

Il demeure cependant évident que le point critique majeur d'une telle démarche est la pérennité de l'entreprise génératrice de rejets thermiques. [15]

III.6.Valorisation des rejets thermiques dans les petites et moyennes industries

Dans l'industrie, les procédés de fabrication consomment beaucoup d'énergie fossile ou électrique. Après utilisation, une très grande quantité d'énergie est rejetée dans l'environnement sous forme de liquide, de vapeur ou de gaz dont la température varie de 15 °C à plus de 250 °C. Ces rejets thermiques suscitent beaucoup d'intérêt chez les scientifiques car ils recèleraient un important potentiel d'économies d'énergie.[16]

De l'eau chaude moins dispendieuse

Le LTE (Laboratoire des technologies de l'énergie) a conçu et perfectionné trois pompes à chaleur à haute température.

Celles-ci absorbent la chaleur des rejets thermiques liquides ou gazeux dont la température oscille entre 15 °C et 45 °C. Grâce à cette chaleur, les pompes chauffent l'eau à des températures pouvant atteindre jusqu'à 85 °C, tout en consommant peu d'énergie. En effet pour chaque kWh électrique consommé, cette technologie assure la récupération de 3 à plus de 5 kWh thermiques. L'eau chaude ainsi produite peut être utilisée dans des procédés industriels ou pour d'autres usages, comme le lavage, particulièrement dans l'industrie agroalimentaire.[16]

Produire de l'électricité avec la Green Machine

La Green Machine est un appareil fabriqué aux États-Unis. Le prototype avait au départ une capacité de production nominale de 30kW électriques. En plus d'évaluer son fonctionnement et sa performance énergétique, le LTE

(Laboratoire des technologies de l'énergie) cherche à le perfectionner. Ainsi, presque toutes les modifications et améliorations recommandées ont été introduites dans le nouveau prototype préindustriel de 50 kW électriques. Cette capacité de production est considérée comme étant la mieux adaptée au marché de la récupération de chaleur dans les PMI du Québec.[16]

Figure III.1: Green Machine [16]

La Green Machine récupère la chaleur des rejets thermiques liquides ou gazeux dont la température varie entre 85 °C et plus de 125 °C. La chaleur ainsi récupérée contribue à vaporiser un fluide organique qui, à son tour, fait tourner une turbine produisant jusqu'à 50 kW électriques . Environ 10 % de la chaleur récupérée sert à produire de l'électricité qui peut être consommée sur place ou transférée au réseau de distribution d'Hydro-Québec.[16]

La chaleur pour produire le froid

L'équipe du LTE teste également un prototype de machine frigorifique. L'appareil utilise comme source d'énergie des rejets thermiques sous forme d'eau dont la température se situe entre 35 °C et 45 °C. La chaleur récupérée sert à produire du froid à des températures pouvant atteindre jusqu'à - 10 °C, pratiquement sans consommer d'énergie électrique additionnelle. Ce froid pourrait être utilisé dans divers procédés de fabrication ou pour la conservation d'aliments.[16]

Conclusion

L'étude du contexte industriel a permis de mettre en évidence que la valorisation des rejets thermiques industriels permettrait de faire l'économie de l'achat de gaz naturel et d'autres hydrocarbures fossiles, et bien que les exemples déjà existant, démontre que cette alternative énergie procure un avantage concurrentiel significatif aux entreprises, celui-ci est complexe à chiffre dans le cadre global de notre étude compte tenu de nombreux paramètres à considérer comme type de rejets thermiques…

Il en va de même des impacts économiques induits qui concernent la création d'emplois, la création de richesse dans l'économie,…

Et pour finir, la réduction des gaz à effet de serre est devenue aujourd'hui un enjeu de société incontournable. La valorisation d'une énergie existante déjà existante en lieu et place d'énergies fossile permettrait de générer des réductions d'émission de GES

considérables et de démontrer que ses entreprises sont réellement conscientes de la gravité de la situation.

Introduction

A fin de prévoir l'impact du rejet liquide et du rejet gazeux de la centrale thermique de CAP-DJINET dans la mer et l'atmosphère, on fait appel à la modélisation numérique des deux écoulements cités précédemment qui consiste à construire un ensemble de fonctions mathématiques décrivant le phénomène. Pour cela nous allons d'écrire dans ce chapitre les équations régissant le phénomène : l'équation de la conservation de la masse, les équations de Navier-Stockes moyennées, l'équation de conservation de l'énergie et les modèles de la turbulence.

IV.1. Modélisation des écoulements turbulents [17]

IV.1.1 : Nature de la turbulence

La turbulence est une propriété de l'écoulement non du fluide lui-même, il n'existe pas de définition de la turbulence en milieu fluide, ni d'ailleurs de théorie générale de la turbulence. La turbulence est alors caractérisée par un certains nombre de propriétés observables que nous allons préciser ci-après.

IV.1.2 : Propriétés observable des écoulements turbulents

- **Signal irrégulier dans l'espace et dans le temps**

Les grandeurs physiques telles que vitesse et pression varient de façon apparemment aléatoire (voir figure IV.1) .Remarquons que les fluctuations organisées ou périodiques ne font pas partie de l'agitation turbulente, comme c'est le cas des écoulements pulsés dans lesquels on devra retrancher la composante périodique pour obtenir le signal turbulent proprement dit.

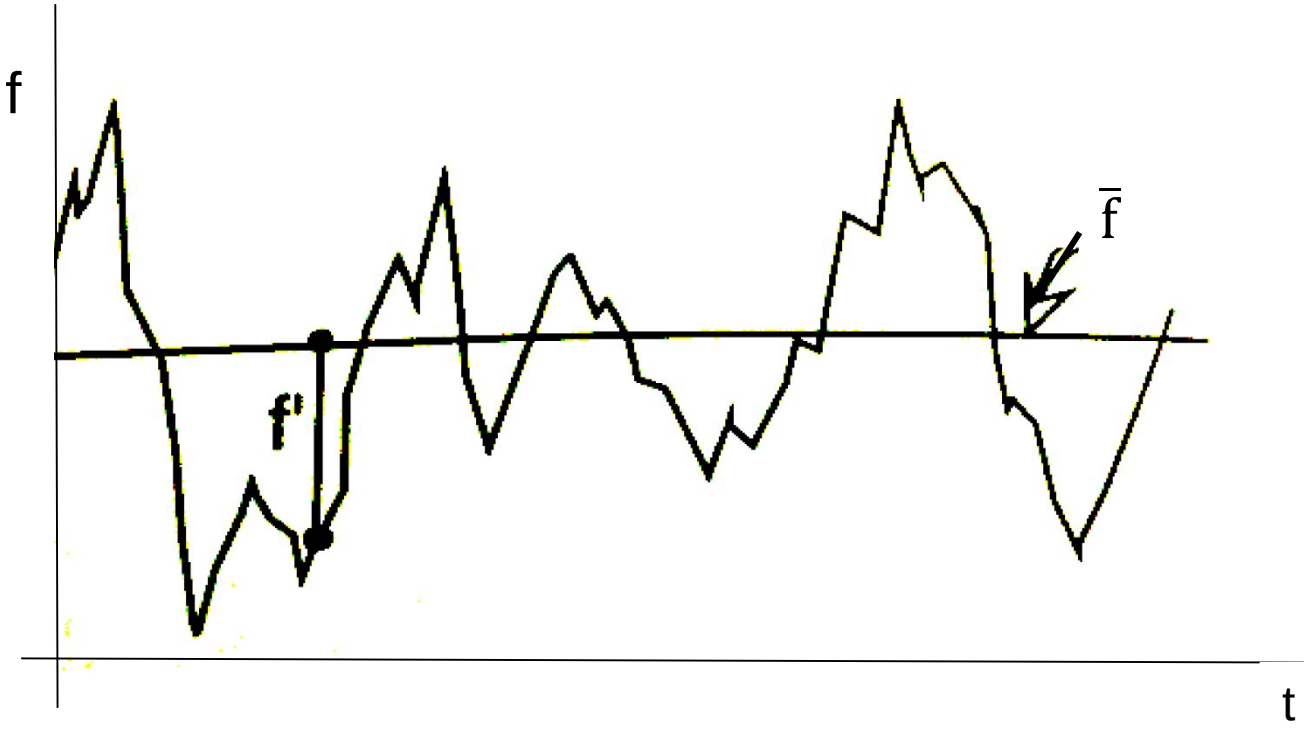


Figure IV.1 : signal turbulent

- **Ecoulements rotationnel**

Le mouvement turbulent présente des fluctuations du rotationnel de vitesse. Un champ acoustique même aléatoire n'est pas pour autant turbulent car il est irrotationnel.

- **Diffusivité élevée**

Un champ turbulent diffuse fortement toute quantité transportable comme la température ou un colorant, mais aussi la quantité de mouvement. En réalité, la diffusion turbulente est due aux termes de convection au niveau des fluctuations. Une particule fluide marquée par un colorant se déforme alors, se ramifie et s'effiloche progressivement (voir figure IV.2)

- **Phénomène tridimensionnel**

Les mouvements turbulents fluctuants sont toujours tridimensionnels et instationnaires .Signalons dès à présent qu'il existe toutefois une turbulence dite

«bidimensionnelle» que l'on rencontre dans des situations très spécifiques et dont les mécanismes sont différents de ceux de la turbulence tridimensionnelle.

- **Caractère imprévisible des trajectoires**

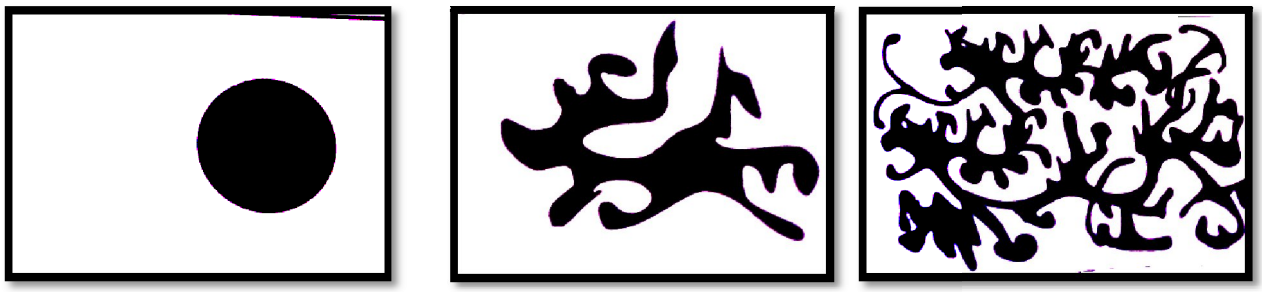
Ce comportement imprévisible du détail des trajectoires sur des temps suffisamment longs correspond à une perte de mémoire des conditions initiales, c'est le phénomène d'imprédictibilité. Il explique, par exemple, les difficultés de la prévision du temps à long terme .Le problèmes de la prédictibilités a été étudié numériquement par Chollet J.P.et Métais O., 1989.

- **Coexistence de tourbillons de tailles très diverses**

Il existe toute une cascade de tourbillons d'échelles de plus en plus fines, créée par les processus non linéaires engendrés par les termes d'inertie dans les équations du mouvement.

- **Dissipation**

La turbulence est fortement dissipative du fait de la présence de forts gradients de vitesse instantanés .Les taux de déformation instantanés deviennent en effet très importants et la dégradation de l'énergie cinétique turbulente en chaleur est alors très forte.



a) t=0 b) $t_1 > 0$ c) $t_1 > t_2$

b) Figure IV.2 : évolution d'un volume « marqué» par un contaminent sous l'effet de la diffusion (d'après Monin & Yaglom, 1971)

IV.2.Méthode statistique [17]

Une solution turbulente est toujours une solution compliquée non stationnaire des équations du mouvement, présente des fluctuations irrégulières dans l'espace et dans le temps. Devant cet aspect désordonné des évolutions turbulentes cette apparente complexité du phénomène l'attitude naturelle et la plus utilisée a été d'introduire des méthodes statistiques. Le hasard apparent des évolutions turbulentes a son origine dans les irrégularités des conditions initiales et des conditions aux limites mal déterminées dans leur détail et pour lesquelles une très petite variation bouleverse totalement la structure détaillée de l'écoulement. La méthode statistique n'est donc pas justifiée par l'absence de causes mais par l'ignorance de causes surabondantes et difficilement accessibles.

La décomposition d'une grandeur caractéristique instantanée de l'écoulement turbulent en une partie macroscopique et une partie turbulente d'apparence aléatoire permet de développer un traitement statistique des équations de mouvements. Ce traitement appliqué aux équations de Navier-Stokes qui décrivent le mouvement détaillé instantané du fluide, fait apparaître des termes inconnus supplémentaires qui sont interprétés comme des tensions turbulentes. Différentes moyennes sont utilisées : moyenne temporelle, moyenne spatiale, moyenne stochastique (calcul des probabilités), moyenne statistique ou moyenne d'ensemble (moyenne sur un ensemble de réalisations).C'est cette dernière que nous utiliserons dans la suite. Elle est définie comme la limite statistique de la moyenne arithmétique prise à travers un certains nombre d'expériences réalisées dans les mêmes conditions générales d'écoulements. Cette moyenne notée ( ) vérifie les règles dites « règles de Reynolds »(Hinze J.O 1975) :

$(\quad + \quad) = \bar{\ } + \bar{\ }$ (1)

$= a \bar{\ }$ a, constante numérique (2)

$\bar{\ } + \quad = . \bar{\ }$ (3)

$/ \ \xi = \quad / \ \xi$ ξ variable d'espace ou de temps (4)

Les équations de Navier-Stokes et de continuité :

$$— \ + U_J — = - — \ - \ + — \quad — \qquad (5)$$

$$— = 0 \qquad (6)$$

Compte tenu de la décomposition de Reynolds U = + , P= +p (figure IV.1) qui permet de distinguer l'écoulement moyen de l'écoulement fluctuant, ce formalisme conduit (en prenant la moyenne de chaque équation) aux équations de Reynolds :

$$— \ + \quad — = - — \ \bar{\ } \ + — \quad — - \qquad (7)$$

Les termes donnent naissance aux tensions de Reynolds, ils proviennent de la non-linéarité des équations de Navier-Stokes et traduisent l'interaction entre le mouvement moyen et le mouvement fluctuant.

Le système comporte plus d'inconnues que d'équations, c'est un système ouvert .Le fait de prendre la moyenne d'une équation instantanée conduit à une perte d'information qu'il faudra réintroduire sous forme d'hypothèses physiques : c'est le problème de fermetures qui traduisent le comportement du milieu turbulent permet alors d'obtenir un nombre d'équations égal à celui des inconnues et ces équations peuvent ensuite être résolues par voie numérique

.Schématiquement, le problème ici, est donc celui de la liaison entre les tensions de Reynolds et le champ moyen.

IV.3.Les modèles de turbulences [18]

Les différences entre les modèles de turbulence résident dans leurs capacités à reproduire fidèlement le comportement des écoulements turbulents sur différentes configurations, dont les difficultés liées à leur implémentation et leur résolution dans les codes de calcul. Aucun modèle n'est satisfaisant pour tous les types de configurations. Le choix du modèle de turbulence est donc fonction des capacités visées ainsi que de la capacité des méthodes numériques à le supporter.

On distingue deux catégories de modélisation :

Modèles à viscosité turbulente (modèles du 1er ordre) basés sur l'hypothèse de Boussinesq à modéliser les tensions de Reynolds à l'aide de la viscosité turbulente .Relativement facile à utiliser mais influe directement sur la qualité de l'écoulement moyen.

- 0 équation (langueur de mélange)
- 1 équation (k énergie cinétique turbulente)
- 2 équations (k- , k– , SST, ….)

Modèles du 2nd ordre : Les tensions de Reynolds sont calculées directement, la modélisation se porte alors sur des moments d'ordre supérieur .La mise en œuvre est plus délicate mais les résultats sont de meilleurs qualités.

7équations (– , – , ...)

IV.4.Hypothèses simplificatrices

De façon à obtenir un modèle mathématique simple qui décrit la physique de ce problème, on suppose :

- L'écoulement et le transfert de chaleur sont bidimensionnels pour le rejet liquide;

- L'écoulement et le transfert de chaleur sont tridimensionnel pour le rejet gazeux ;
- L'écoulement est supposé turbulent et stationnaire ;
- Les propriétés physiques du fluide (*Cp*, μ, ρ) sont constantes
- Le fluide est newtonien et incompressible ;
- Le Profils de vitesse et de température uniformes ;
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable ;
- On adopte pour la fermeture de notre étude, le modèle **- ε**

IV.5.Equations de transport de la dynamique :[17]

Les équations de Navier-stokes :

$$\frac{}{} + U_J \frac{}{} = - \frac{}{} - + \frac{}{} \quad \frac{}{} \qquad (8)$$

Sont la conséquence directe du théorème de quantité de mouvement.

L'équation de conservation de la masse ou de continuité s'écrit en fluide incompressible :

$$\frac{}{} = 0 \qquad (9)$$

Les équations de Reynolds (obtenues par moyenne de (8) après avoir introduit la décomposition de Reynolds)

$$\frac{}{} + \frac{(\quad)}{\quad} = - \frac{}{} \bar{-} + \frac{}{} \quad \frac{}{} - \qquad (10)$$

Introduisant les corrélations doubles qui traduisent l'influence de champ turbulent sur le champ moyen .Elles sont des tensions apparentes qui forment le tenseur des tensions de Reynolds. Ce tenseur est symétrique et sa trace est égale au double de l'énergie cinétique de la turbulence.

L'équation de continuité du champ moyen est obtenue par moyenne de (9) :

$$\frac{}{} = 0 \qquad (11)$$

L'équation de la vitesse fluctuation est obtenue par différence (8)-(10) :

— +U —=- -—— – —-— – + —(—+) (12)

La divergence des fluctuations de vitesse (équation obtenue par différence (9) -(11)) est également nulle :

——=0 (13)

IV.6.Le modèle k- ε [19]

Modèles de turbulence à deux équations permettent de déterminer à la fois, une longueur et l'échelle de temps turbulent en résolvant deux équations de transport distincts. La norme modèle **k- ε** dans ANSYS FLUENT relève de cette catégorie de modèles et est devenu le cheval de bataille de calculs de flux d'ingénierie pratiques dans le temps depuis qu'il a été proposé par Launder et Spalding. Robustesse, l'économie et raisonnable précision pour une large gamme des écoulements turbulents expliquer sa popularité en flux industriels et simulations de transfert de chaleur. Il s'agit d'un modèle semi-empirique, et la dérivation des équations du modèle repose sur des considérations phénoménologiques et de l'empirisme.

La norme **k- ε** modèle est un modèle basé sur le modèle des équations de transport de l'énergie cinétique de turbulence **(k)** Et son taux de dissipation (**ε**). L'équation de transport de modèle pour **k** est dérivée de l'équation de mesure, alors que l'équation de transport du modèle pour **ε** a été obtenue en utilisant un raisonnement physique et ne ressemble guère à son homologue mathématiquement exact.

Dans le calcul de l' **k- ε** modèle, l'hypothèse est que l'écoulement est turbulent, et les effets de la viscosité moléculaire sont négligeables. La norme **k- ε** modèle est donc valable que pour pleinement turbulents.

IV.6.1. Les équations de transport pour la k-ε [19]

L'énergie cinétique de la turbulence, **k**, Et son taux de dissipation, **ε**, Sont obtenus à partir des équations de transports suivants:

Le modèle k- ε résout deux équations de transport, la première pour k, la seconde pour ε.

L'équation de transport de **k** s'écrit:

— + — = — — + — — + — ——— – (14)

L'équation de transport pour la quantité ε a une forme analogue :

— + — = — + — — + — ——— – (15)

Dans ces équations :

- ✓ — + — représente la variation de l'énergie cinétique turbulente dans une particule fluide que l'on suit dans un mouvement.
- ✓ — — + — — représente la production d'énergie cinétique turbulente.
- ✓ — ——— représente la diffusion.

Et la dissipation .

Modélisation de la viscosité turbulente :

La viscosité turbulente (ou courants de Foucault), , Est calculée en combinant k et comme suit:

= —

où est une constante.

Constantes du modèle :

Les constantes du modèle Cμ, Cε1, Cε2, et avoir les valeurs par défaut suivantes :

C_μ=0.09 $C_{\varepsilon 1}$=1,44 $C_{\varepsilon 2}$=1,92 =1,0* et *=1,3

Ces valeurs par défaut ont été déterminées à partir d'expériences pour les écoulements turbulents fondamentaux, y compris les flux de cisaillement fréquemment rencontrés tels que les couches limites, le mélange des couches et des jets ainsi que pour la décomposition turbulence de grille isotrope.

IV.7. Les écoulements diphasiques

Les écoulements diphasiques se rencontrent dans un nombre considérable de situations, qu'elles soient issues de l'activité humaine ou de phénomènes naturels. Ainsi, une grande majorité d'écoulements industriels concernent le mouvement de plusieurs phases, liquides, gazeuses, solides. Les centrales nucléaires, les réacteurs chimiques, les échangeurs et générateurs de vapeur dans les systèmes de production d'énergie, l'extraction et le transport pétrolier, la propulsion automobile, aéronautique ou encore les moteurs fusées offrent autant d'illustrations d'écoulements poly phasiques. L'observation de la Nature livre également de nombreux exemples : nuages, pluie, brouillard, geysers, volcans...l'objectif c'est de comprendre la physique et la modélisation des principaux mécanismes qui régissent ces écoulements à des échelles souvent très différentes. Il n'est guère possible, dans un cours de cette nature, de couvrir l'ensemble des problèmes, et l'on fait choix ici de se focaliser sur les écoulements diphasiques gaz-liquide et certains types d'écoulements fluide-solide.[19]

Conclusion

A travers ce chapitre les méthodes d'approche de la turbulence ont été exposées. Ainsi les différents types de modélisation utilisée et cela dans la perspective de simuler les écoulements étudiées.

Le modèle mathématique a été étudié en détail en tenant compte des hypothèses simplificatrices relatives au système étudié.

Introduction

La simulation informatique, ou simulation numérique, est une série de calculs effectués sur un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement déroulé. Cette représentation peut être une série de données, une image ou même un film vidéo.

Un simulateur peut à des modifications de paramètres et modifier ses résultats en conséquence.

Une simulation numérique peut représenter des phénomènes physiques complexes dont la description repose sur un modèle mathématique comportant des équations aux dérivées partielles ; l'ordinateur résout alors ces équations numériquement en utilisant la méthode des volumes finis.

V-1-Outils numériques

V-1-1- Equations de Méthodes numériques

Les équations de conservation régissant le phénomène des écoulements de transfert de chaleur sont des équations différentielles aux dérivées partielles, en raison de leur complexité, ces équations sont résolues à l'aide de techniques numériques. Parmi les méthodes numériques les plus utilisées dans les problèmes d'écoulements et de transferts thermiques on peut citer :

- La méthode des éléments finis
- La méthode des différences finies
- La méthode des volumes finis

Le choix de l'utilisation de telle méthode numérique va dépendre essentiellement du type et de la complexité du problème à résoudre, dans la présente étude on utilisera la méthode des volumes finis.

V-1-2-Principe de la méthode des volumes finis

Le domaine de calcul est divisé en un certains nombre de volumes de contrôles non superposés tel que chaque volume entoure chaque point du maillage.

L'équation différentielle est intégrée pour chaque volume de contrôle est le résultat donne l'équation discrète exprimé à l'aide des valeurs de la fonction pour un ensemble des points du maillage.

L'équation discrète obtenue exprime le principe de conservation pour sur le volume de contrôle de la manière que l'équation différentielle l'exprime pour un volume de contrôle infinitésimal.

Dans son ensemble, la méthode des volumes finis consiste à intégrer les équations de conservation de différentes grandeurs physiques :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + div\ (\rho u \phi) = div\ (\Gamma_\phi\ grad\ \phi) + S_\phi$$

à l'intérieur de petit s éléments de volumes en veillant à ce que le flux d'une grandeur à travers un élément de surface soit le même pour les deux volumes adjacents.

L'équation discrétisé du problème de diffusion pour une, deux et trois dimension a la forma générale suivante :

$= \sum \quad +$

Représente le coefficient de la variable au centre de la maille

= les coefficients des nœuds voisins

= les valeurs de la propriété Φ aux nœuds voisins

Est un terme source

Les coefficients relatifs au point nodal satisfaire la relation suivant :

$= \sum \quad -$

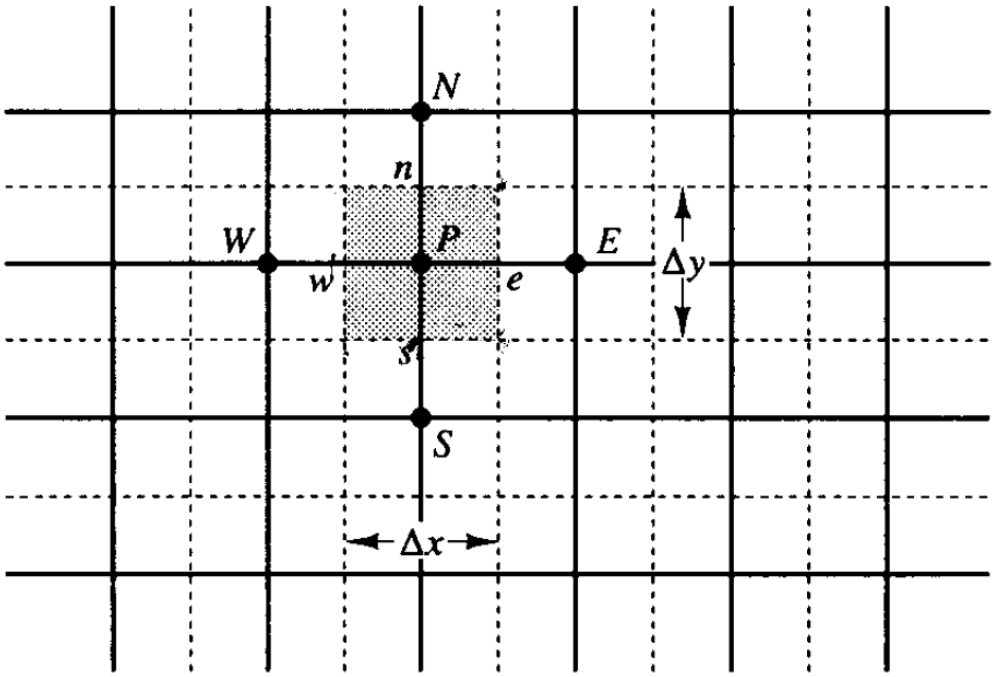


Figure V .1 : une partie de maillage 2D

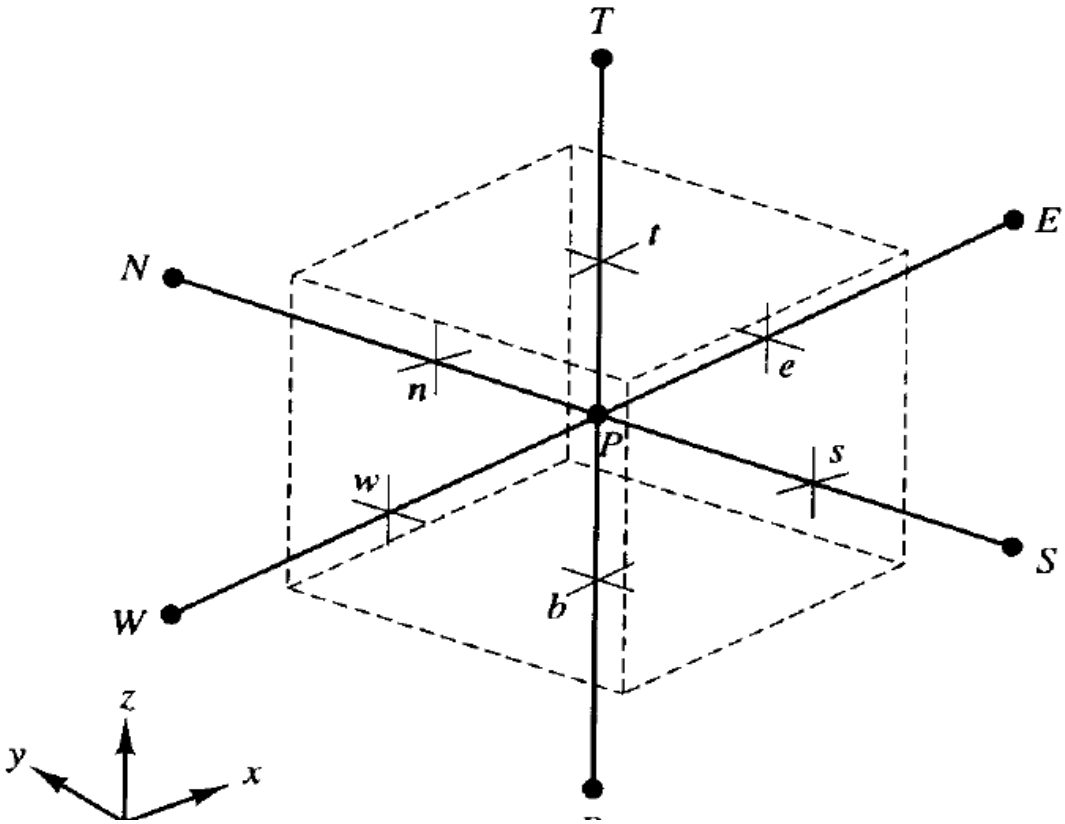


Figure V.2 : un volume de contrôle en 3D et les nœuds voisins

= Les coefficients des nœuds voisins

∅ =Les valeurs de la propriété ∅ aux nœuds voisins

La forme linéaire du terme source est : $\bar{}\Delta = + \emptyset$

Les coefficients relatifs au point nodal doivent satisfaire la relation suivant :

$= \sum -$

V.2. Simulation du rejet d'eau de mer

V.2.1 Présentation du problème

Pour bien prendre en compte l'impact et la physique de l'écoulement de l'eau chaude sortant du condenseur de la centrale thermique de CAP-DJINET

dans la mer méditerranée, il est nécessaire d'utiliser un maillage très raffiné. Cela implique donc d'observer les résultats sur un domaine particulièrement grand a deux dimensions. En pratique, la température de la mer et celle du rejet varient selon les différentes saisons.

Donc on prend de cas de simulation du rejet en été et en hiver, avec une vitesse de jet constante égale à 1.5m /s.

V.2.2. Création de la géométrie

La création de la géométrie est un facteur important dans le développement des calculs et la compréhension du comportement du fluide.

La géométrie du problème étudié a été créée a partir d'une image sous satellite à deux dimensions du domaine de calcul.

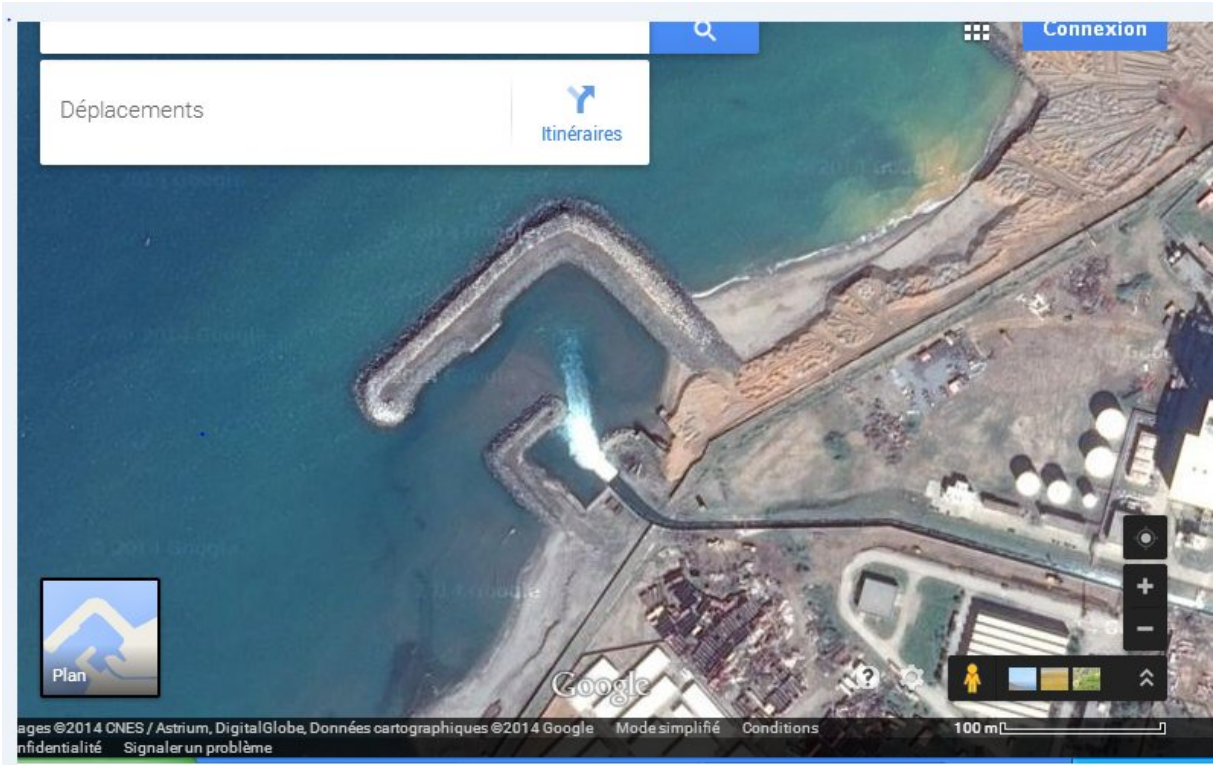


Figure V.3. Le rejet liquide sous [Google maps]

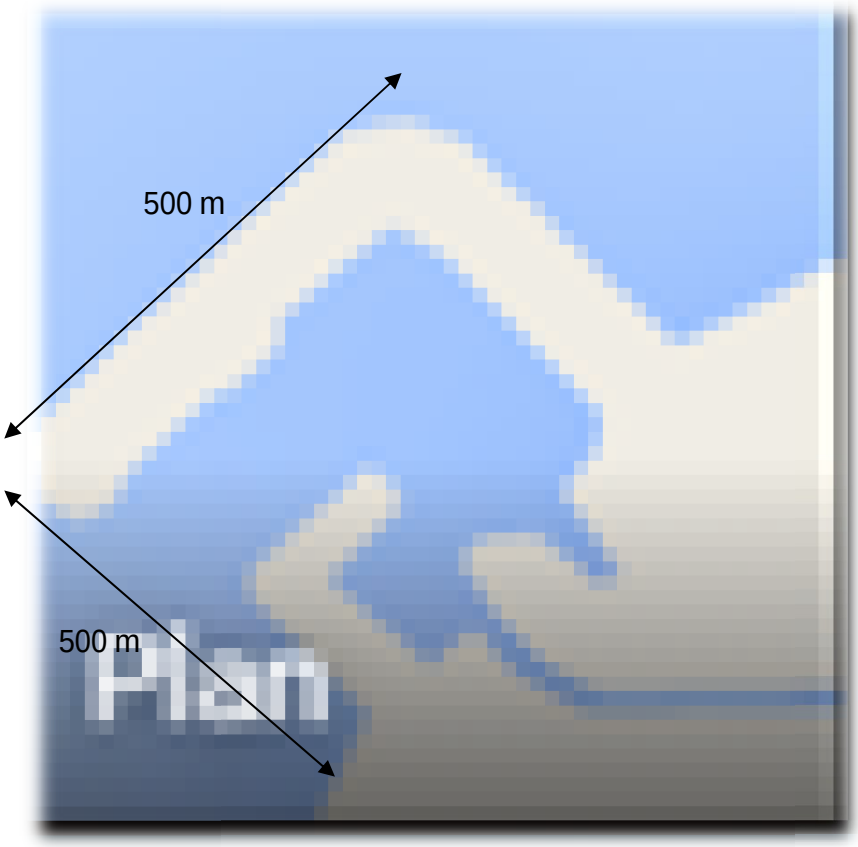


Figure V.4.création de la géométrie

V.2.3. Génération du maillage

Sur le plan numérique, nous avons utilisé un maillage bidimensionnel non uniforme à cellule triangulaire pour modéliser l'écoulement de fluide dans ce problème ; le maillage obtenu a l'aide du générateur de maillage Gambit , est choisi pour un nombre de Reynolds environ de 8,95.10 , et pour un écoulement turbulent ; il contient 18335noeuds et éléments figure

Ce maillage est plus raffiné dans les régions à forts gradients de température et de vitesse, c'est à dire près de l'entrée, au niveau de l'interface solide-fluide (sol-mer).

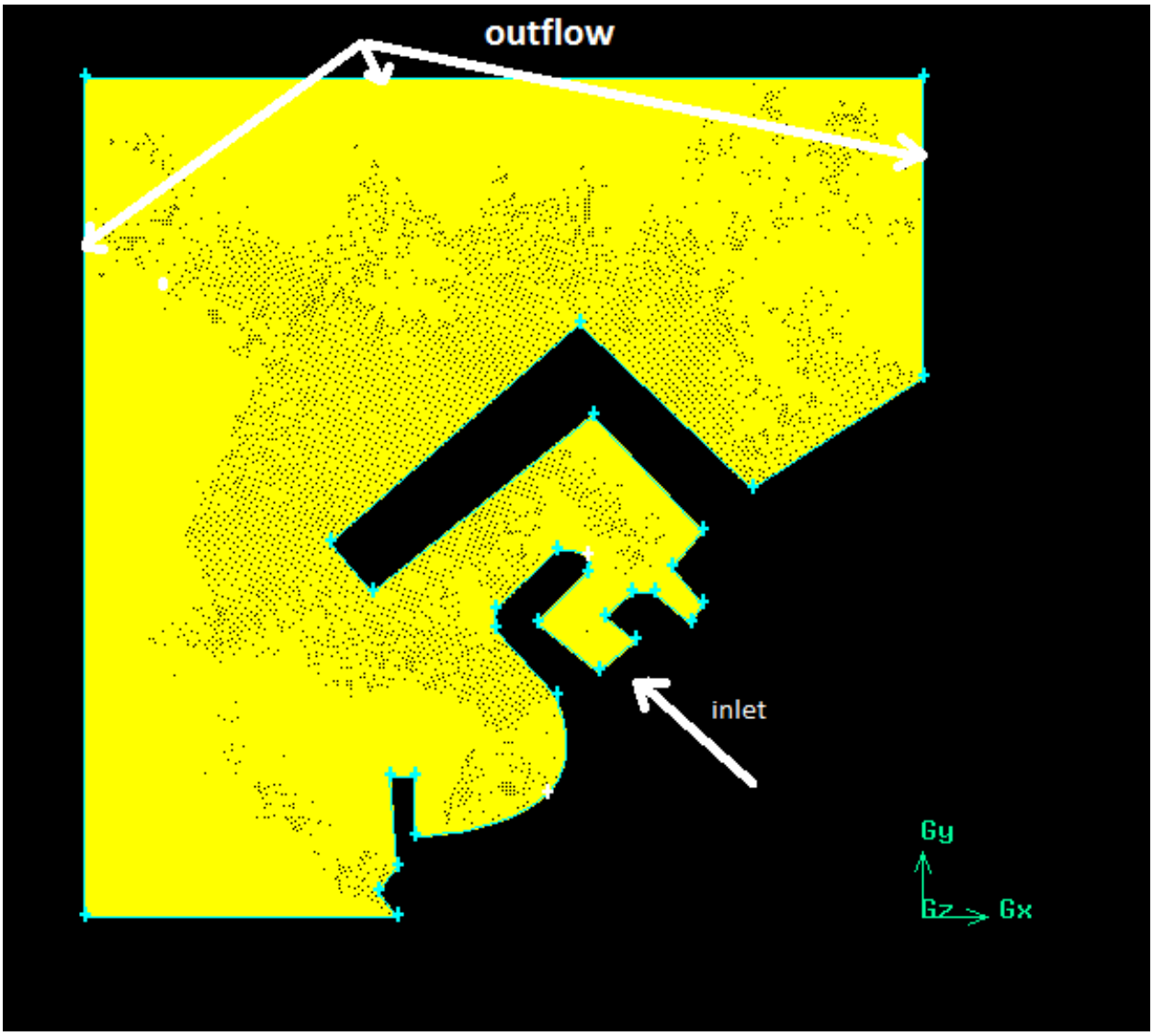


Figure V.5. Maillage adaptée pour Reynolds égale 8,95.

V.2.4. Les conditions aux limites :

Les différentes conditions limites utilisées dans ce calcul sont les suivantes :

- entrée de type « velocity inlet » de 1.5 m/s
- sortie de type "outflow"
- condition de type "wall" pour le sol

V.2.5.Le modèle utilisé

La vitesse d'injection élevée à la sortie du jet (1.5m/s) laisse supposer que l'on est en régime turbulent. Nous avons opté pour un modèle k-epsilon qui offre un bon compromis entre précision des résultats et rapidité des calculs.

V.2.6 .Résultats et interprétations

V.2.6.1. Première Cas : le jet dans la période d'été

Nous imposons la température initial de tout le domaine est de 18 °C ,et on a définit la vitesse d'entrée égale à 1.5m/s avec une température de 25°C.

On a réalisé les simulations suivantes :

- simulation de 600s
- simulation de 1800s
- simulation de 2400s
- simulation de 3600s

❖ **Profil de température**

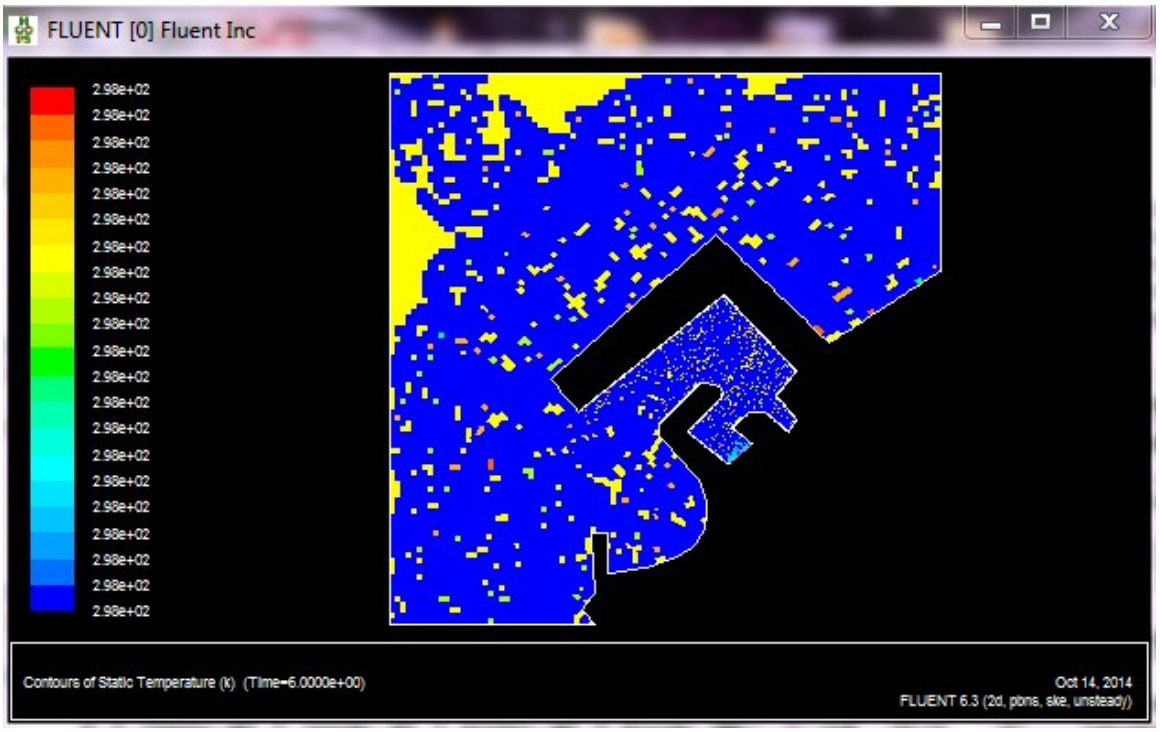


Figure V.6. Conteur de température pout t=6s

Figure V.7. Conteur de température pour t=7minutes environ

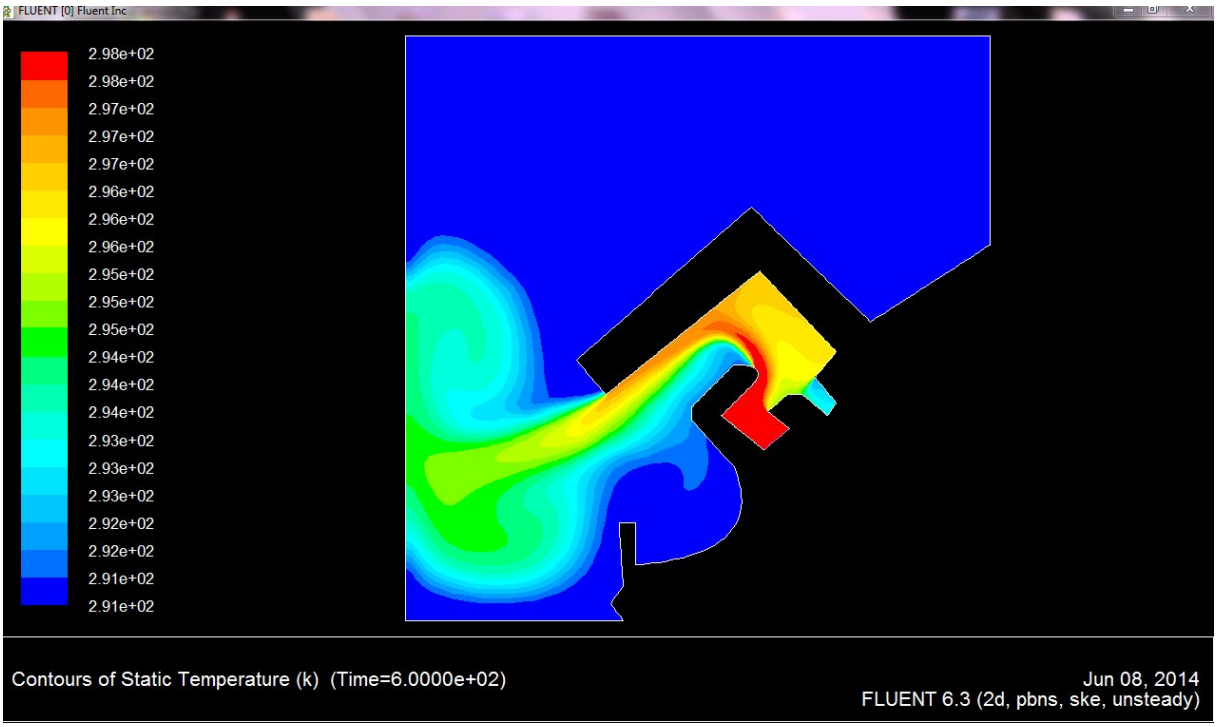


Figure V.8. Conteur de température pour t=10 minute

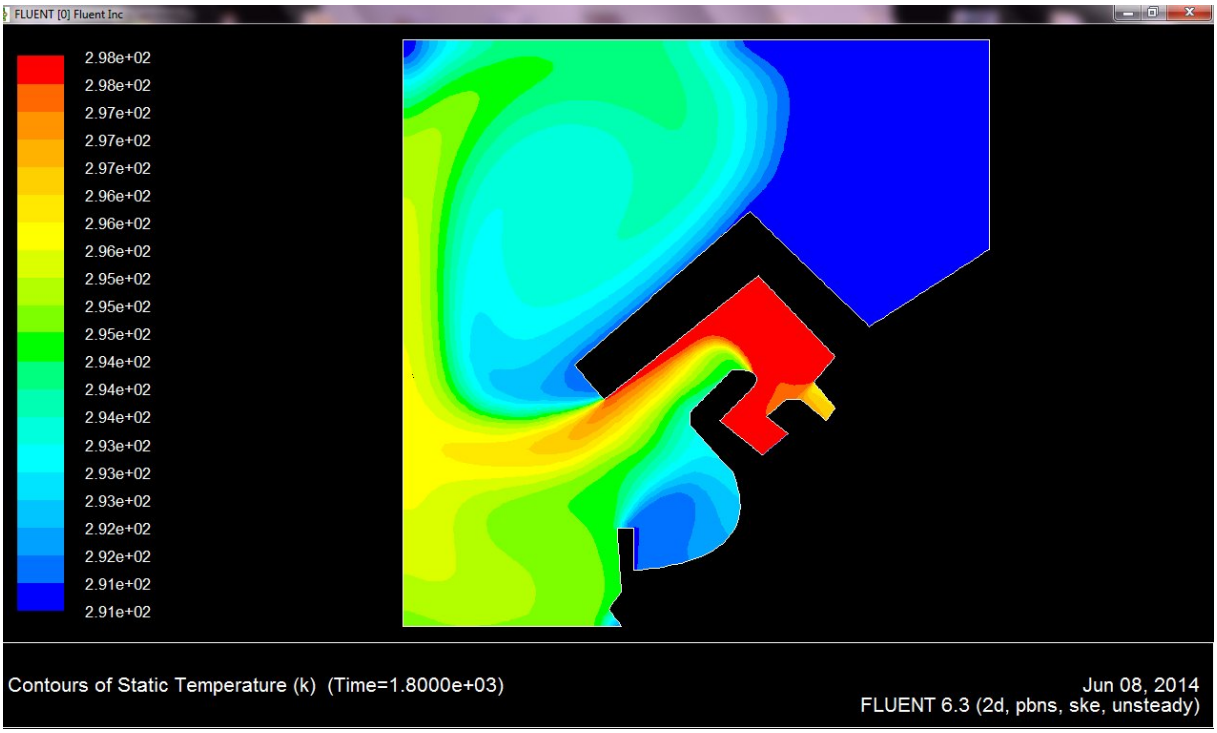


Figure V.9. Contour de température pour 20 minutes

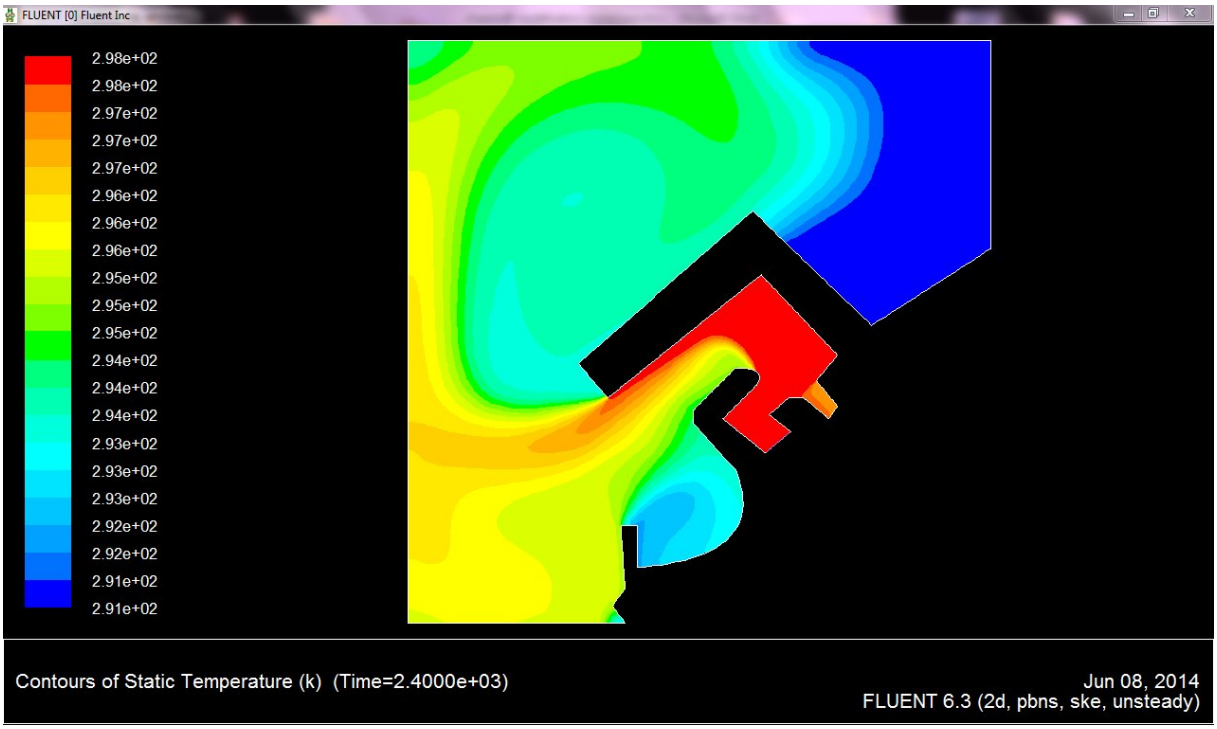


Figure V.10. Contour de température pour 30 minutes

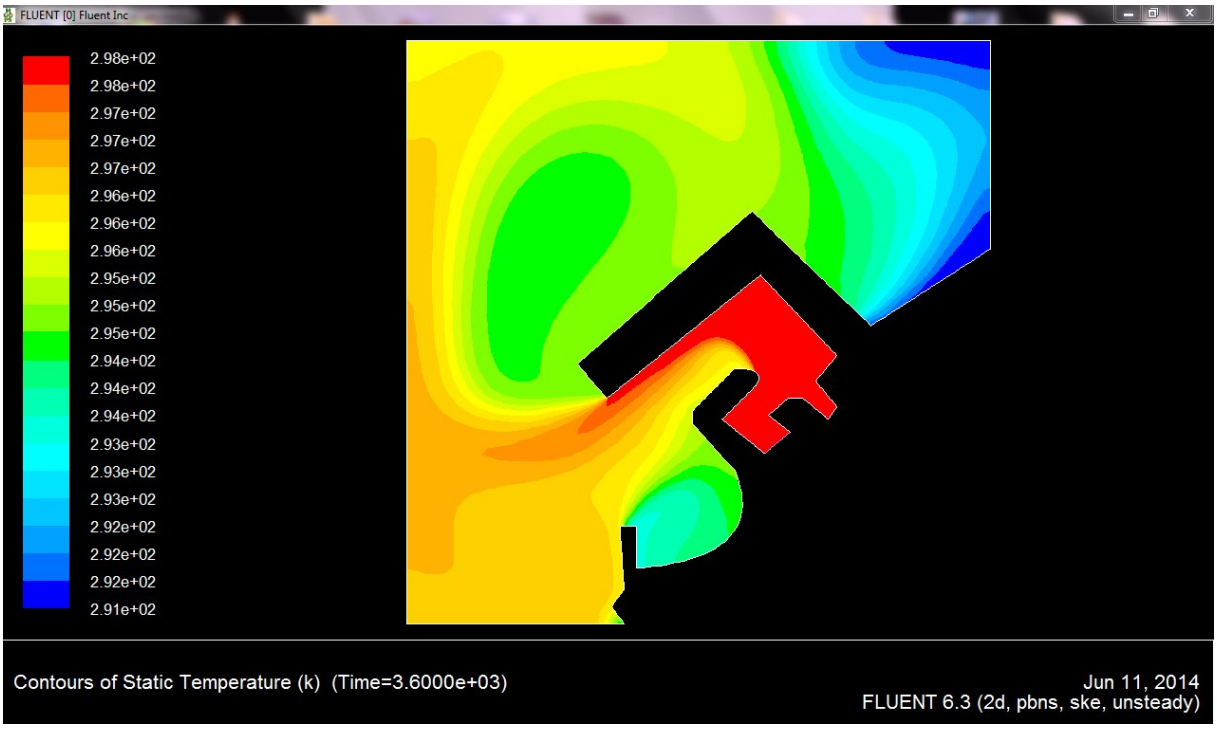


Figure V.11. Contour de température pour 60 minutes

❖ **Conteur de vitesse**

Figure V.12.Contour de vitesse pour t=55s environ 1minute

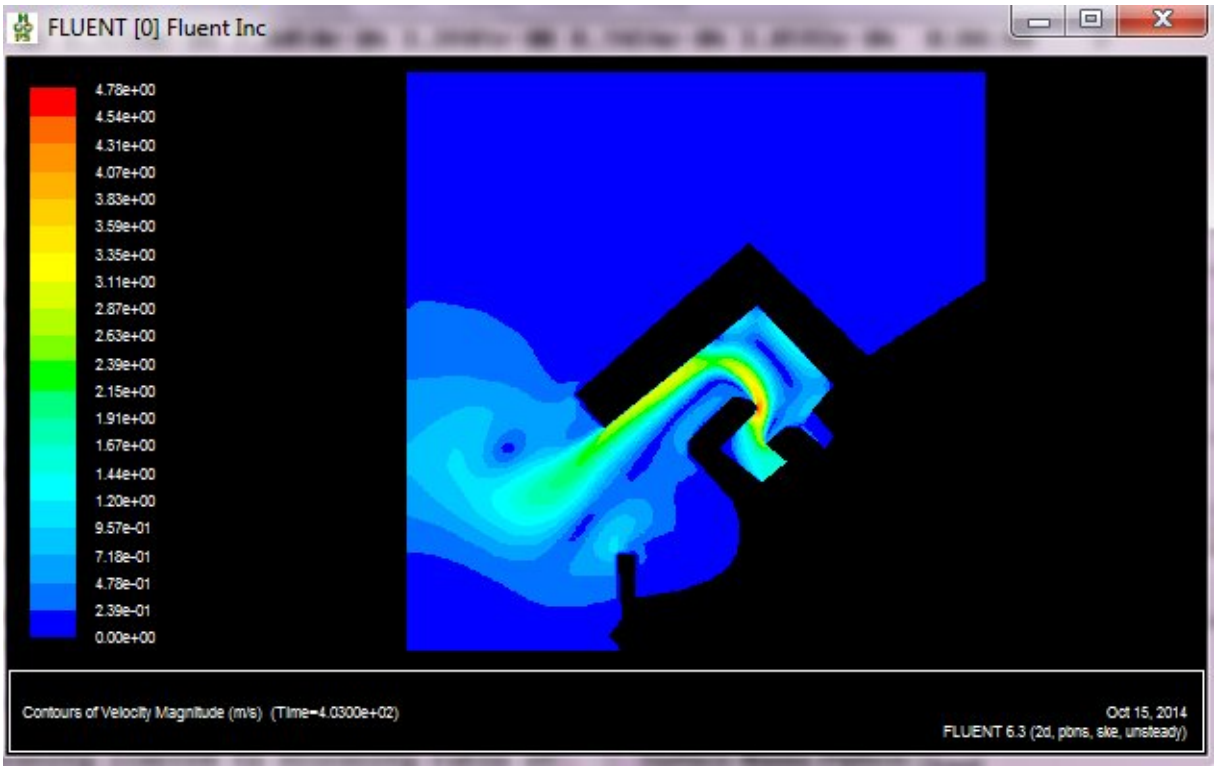


Figure V.14.Conteur de vitesse pour t=7minutes environ

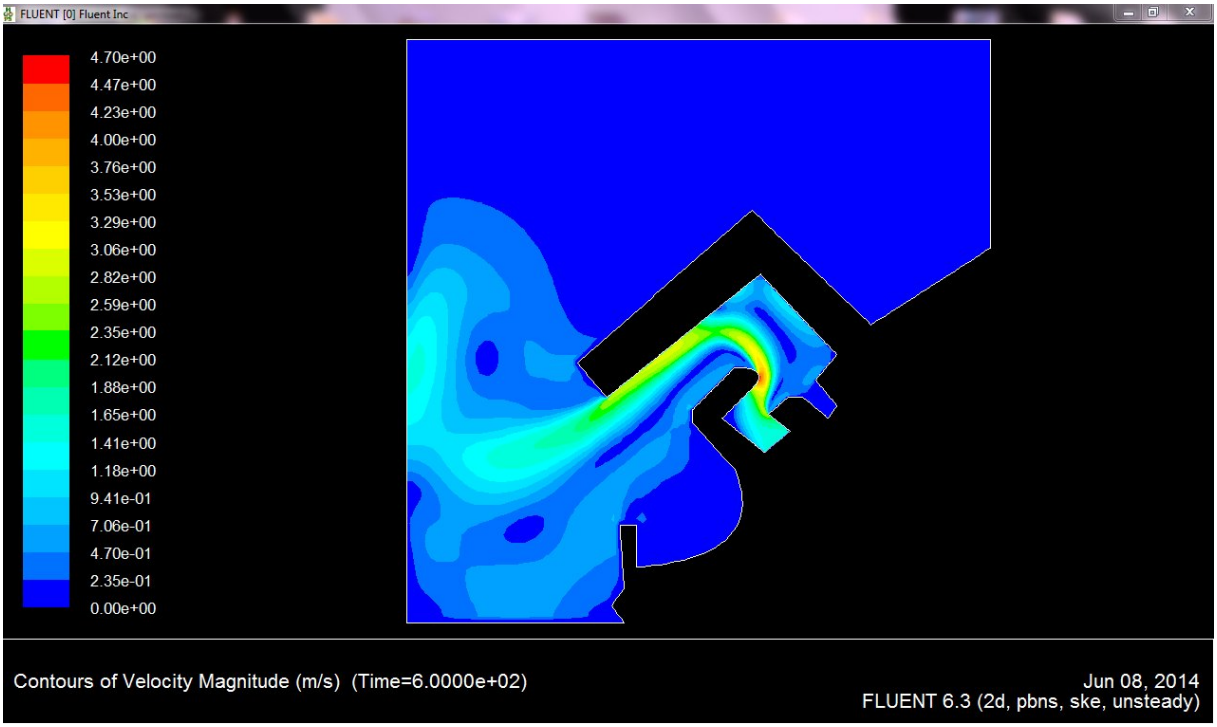


Figure V.15.Contour de vitesse pour t=10minutes

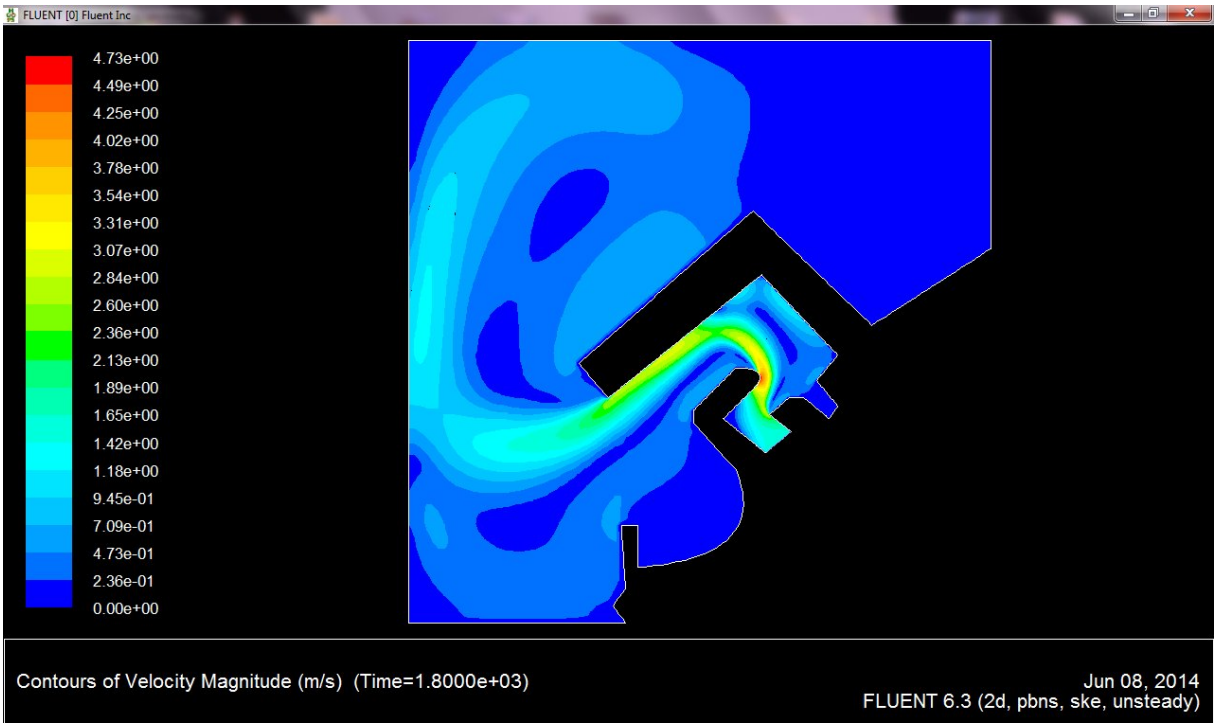


Figure V.16. Contour de vitesse pour t=30minutes

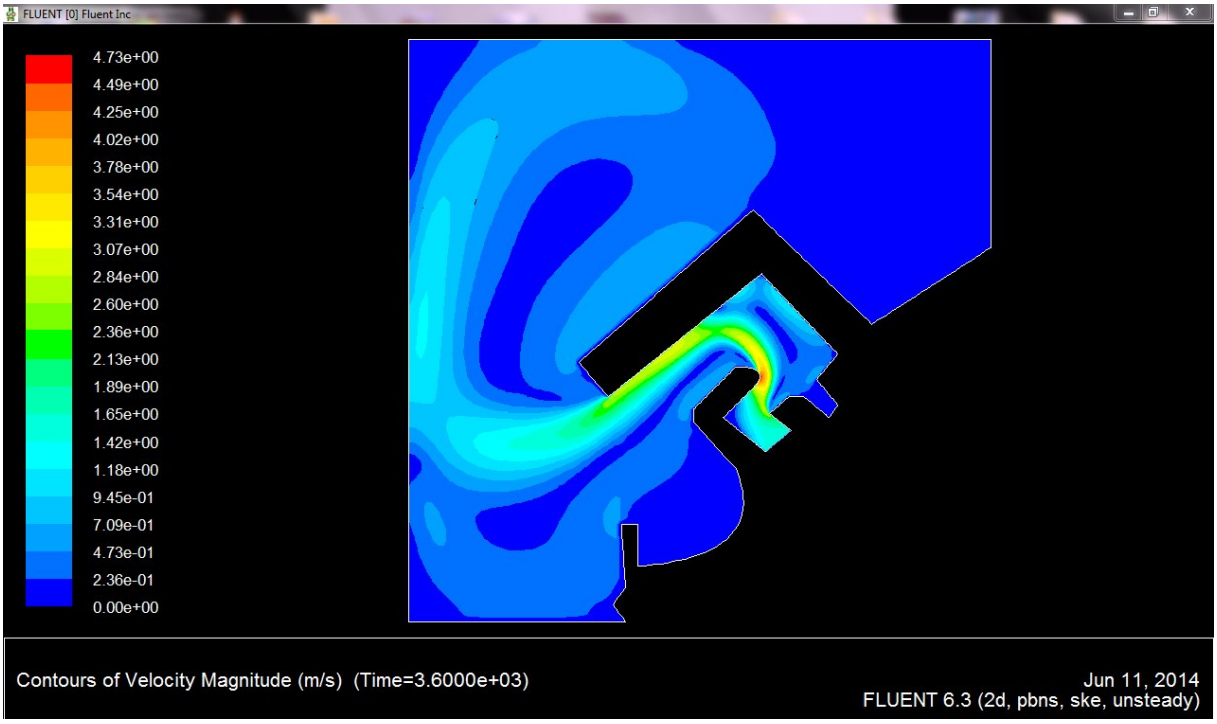


Figure V.17. Contour de vitesse pour t=60minutes, 1heure

V.2.6.2.Interprétation des résultats

D'après les résultats numériques, on constate clairement que les valeurs de températures sont élevées au bassin du jet avec une valeur de ΔT_{max}=5°C, mais au cours de temps la tache thermique s'éloigne ver la cote avec une distance plus de 500m, mais avec une température un peu faible ΔT=3°C.

V.2.6.3. Deuxième cas Le jet dans la période hiver

Pour ce deuxièmes cas, nous citons, la température initiale de tout le domaine est de 14°C, et on a définit vitesse entrée de 1.5m/s avec une température du 24 °C.

Plusieurs simulations ont été réalisées :

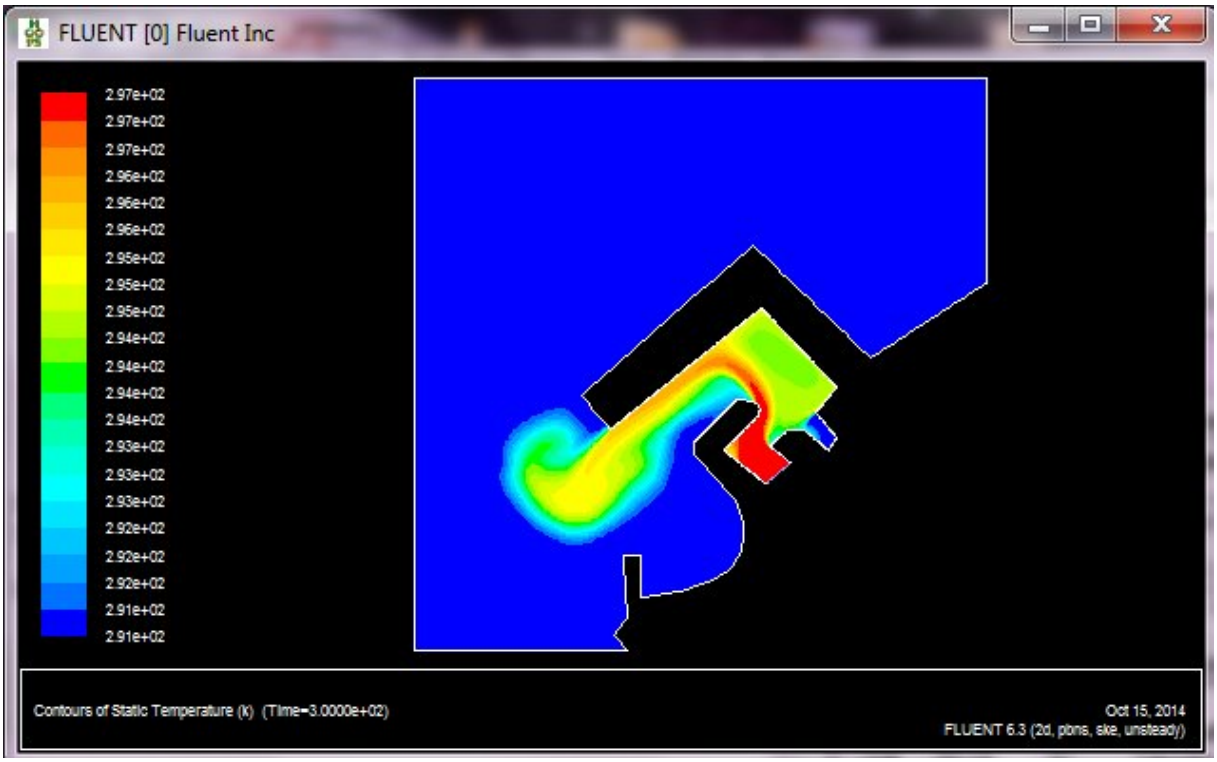


Figure V.18.Contour de température pour t= 5minutes

Figure V.19. Contour de température pour t=12minutes

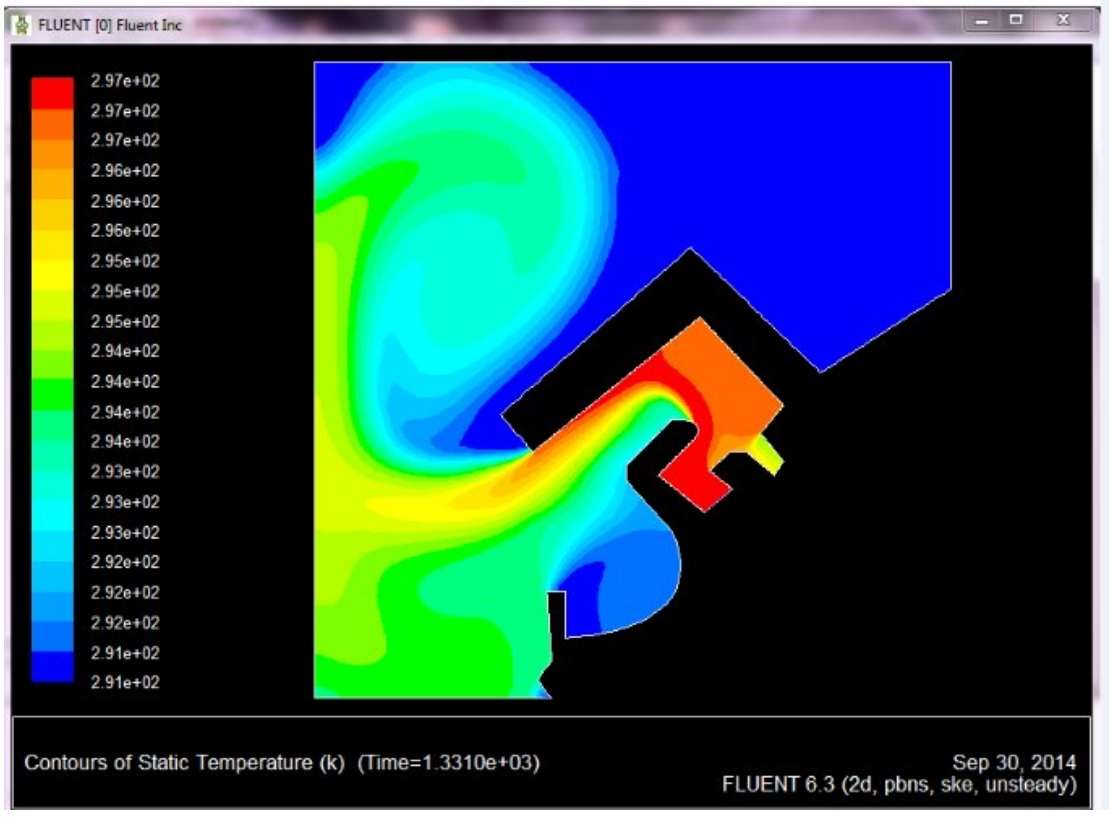


Figure V.20.contour de température pour t=20min

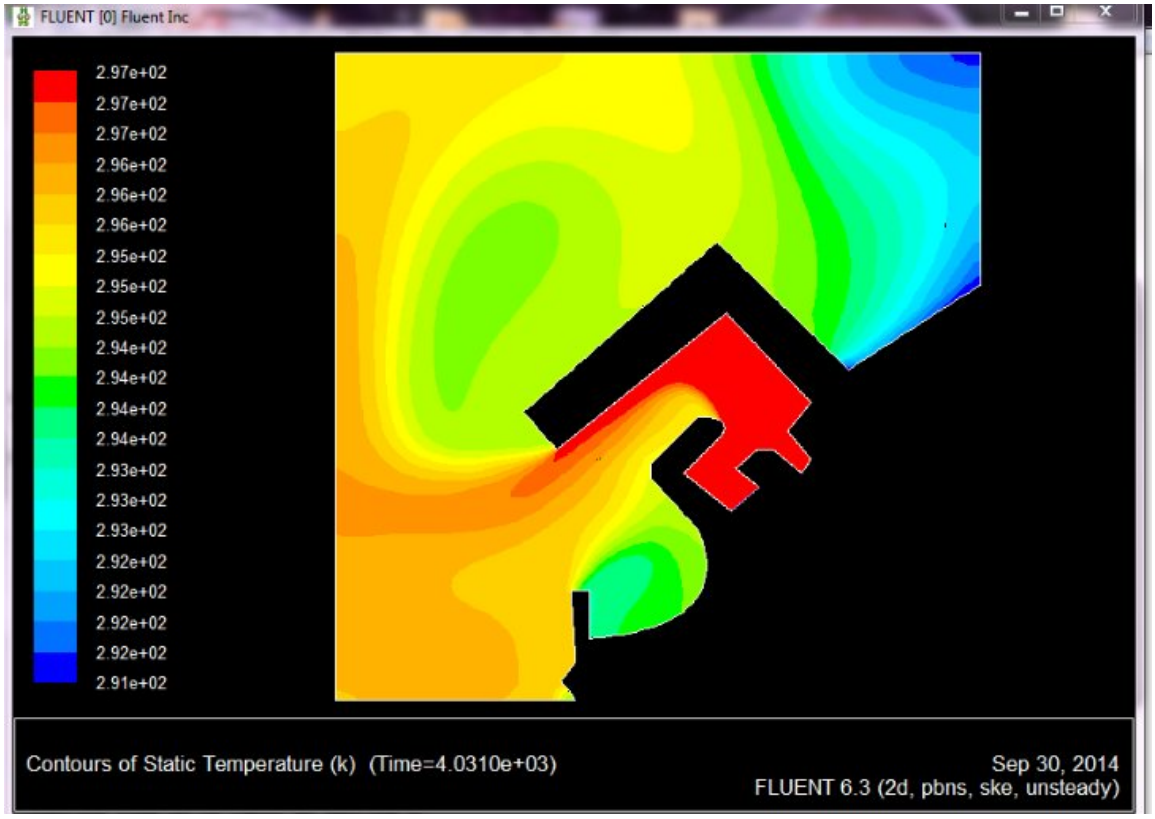


Figure V.21. Contour de température pour t=1h environ

❖ **Profil de vitesse**

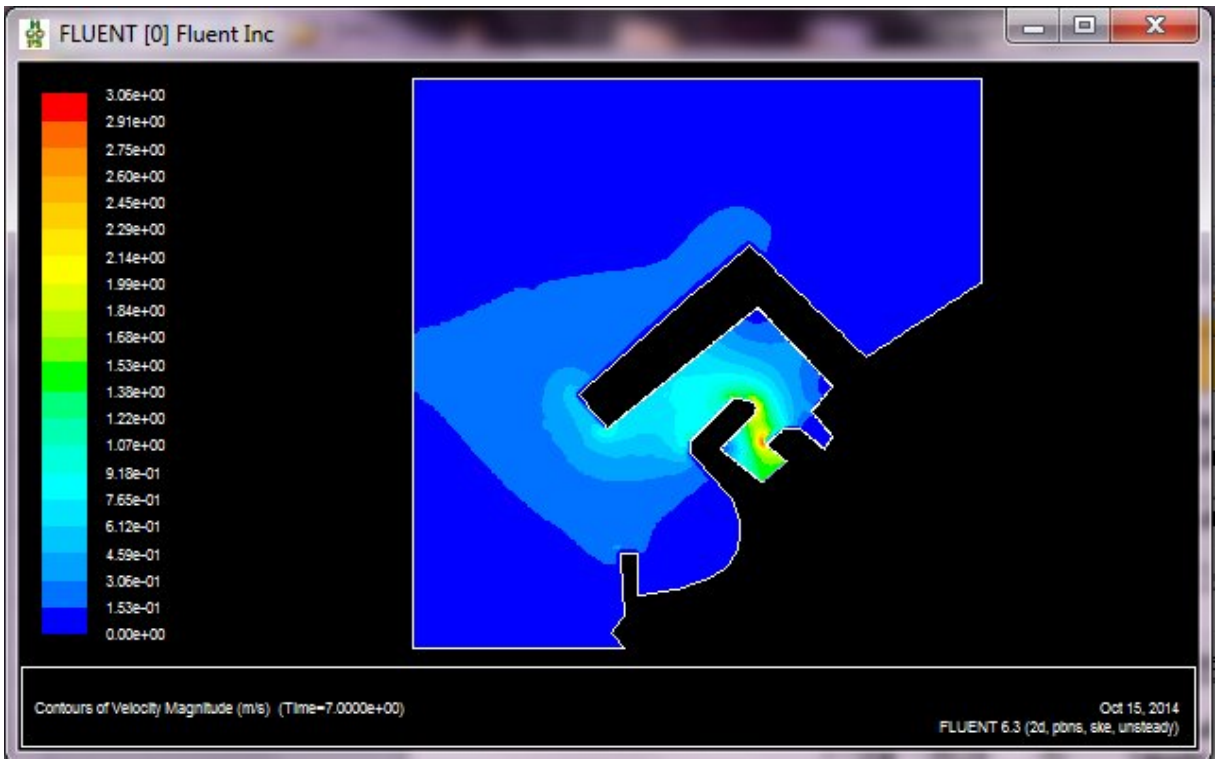


Figure V.22. Contour de vitesse pour t=7scondes

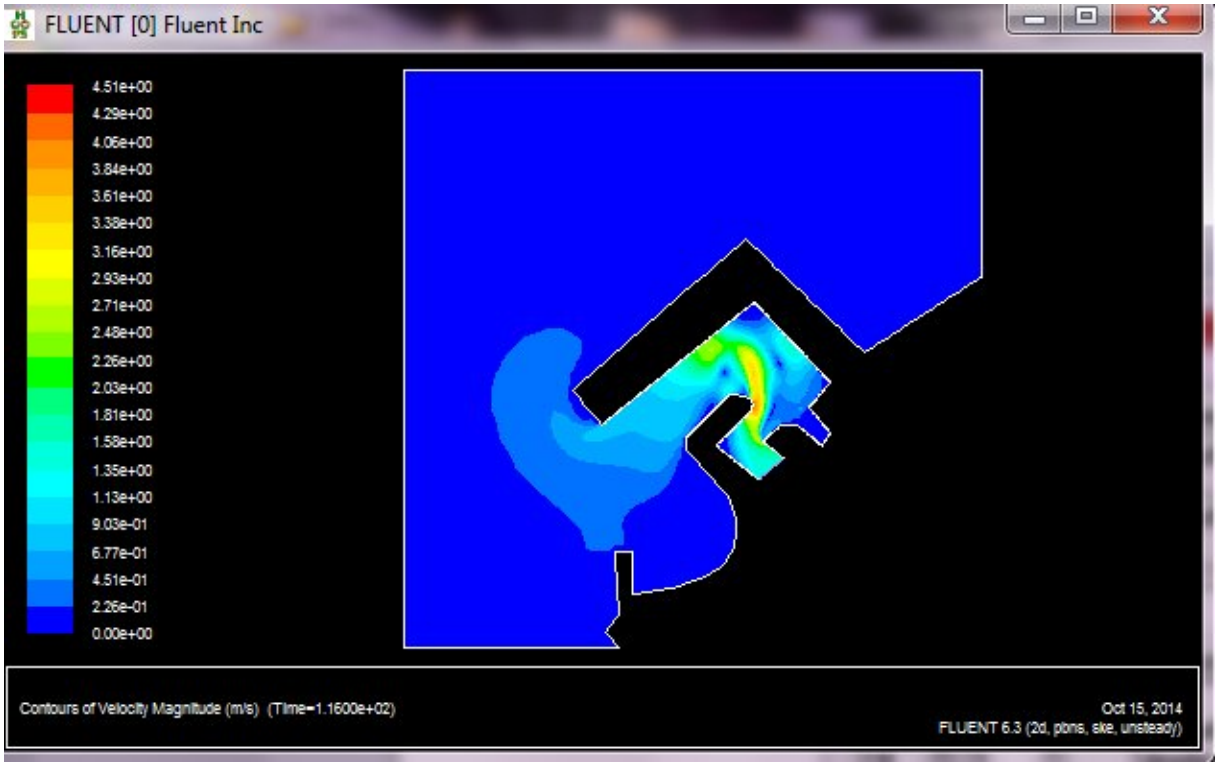


Figure V.23. Contour de vitesse pour t=2minutes environ

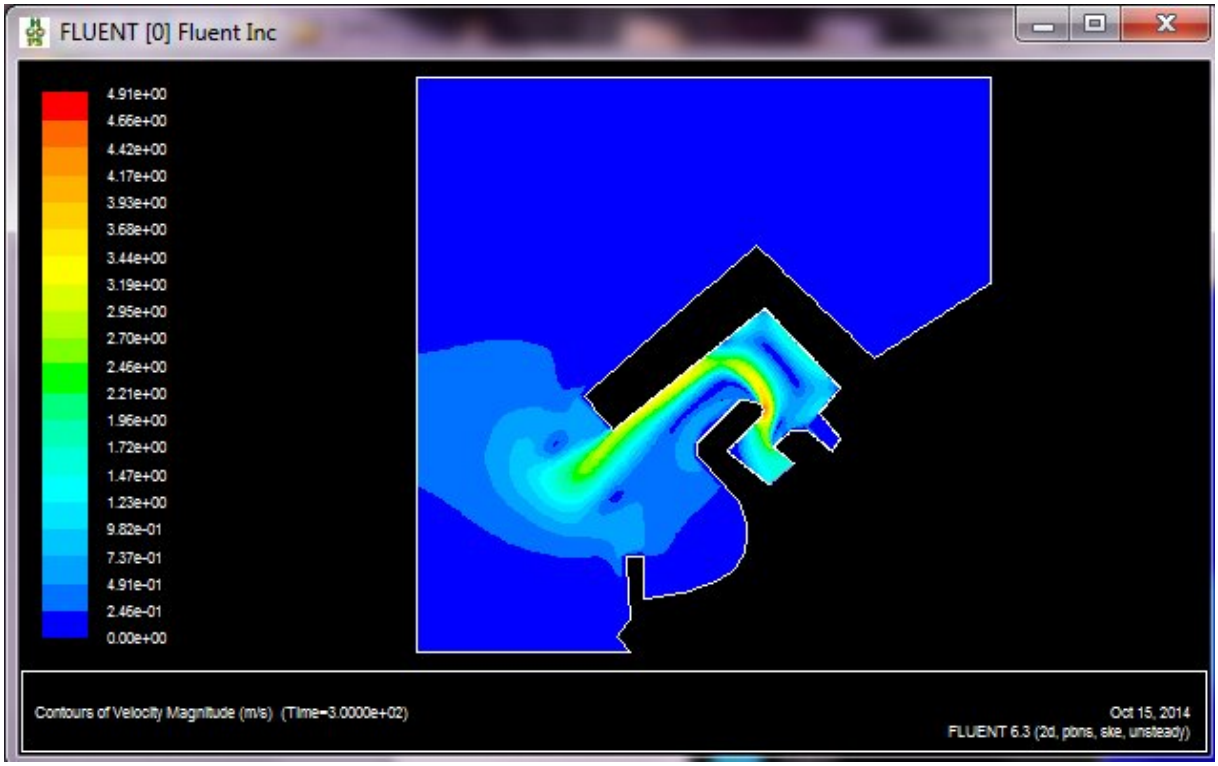


Figure V.24. Contour de vitesse pour t=5minutes

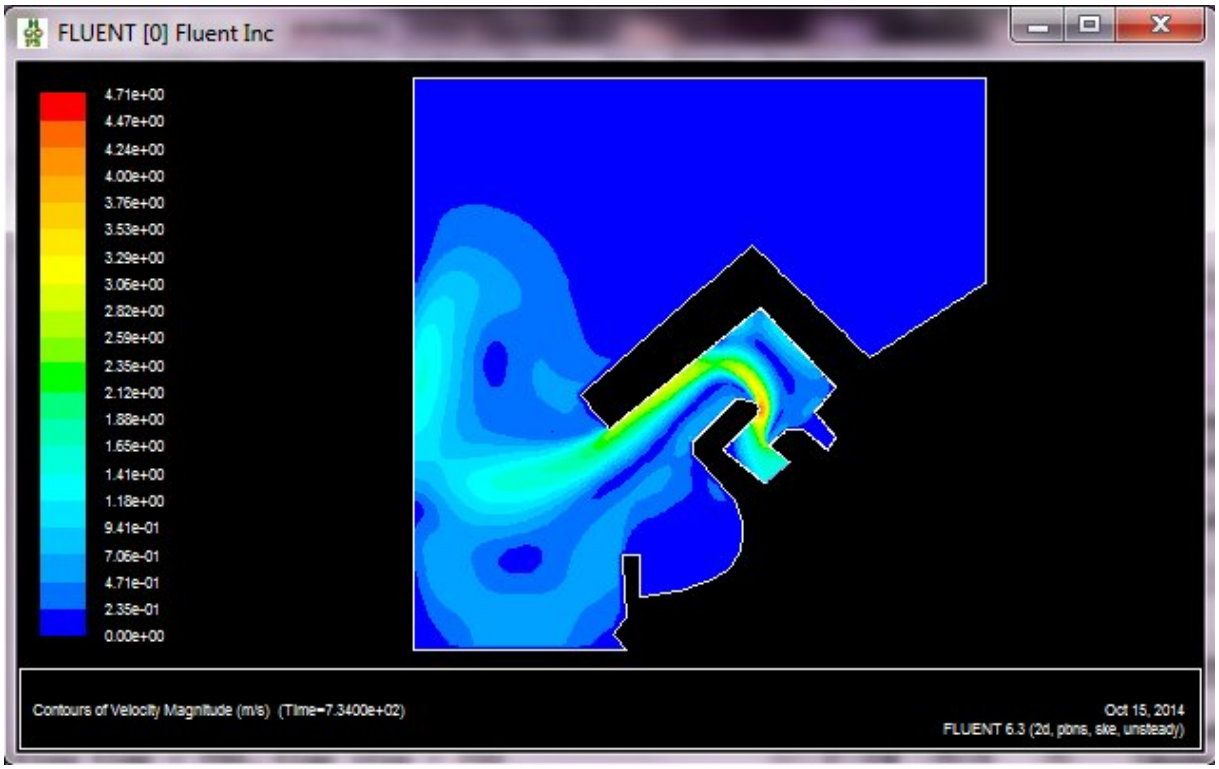


Figure V.25.Contour de vitesse pour t=12minutes

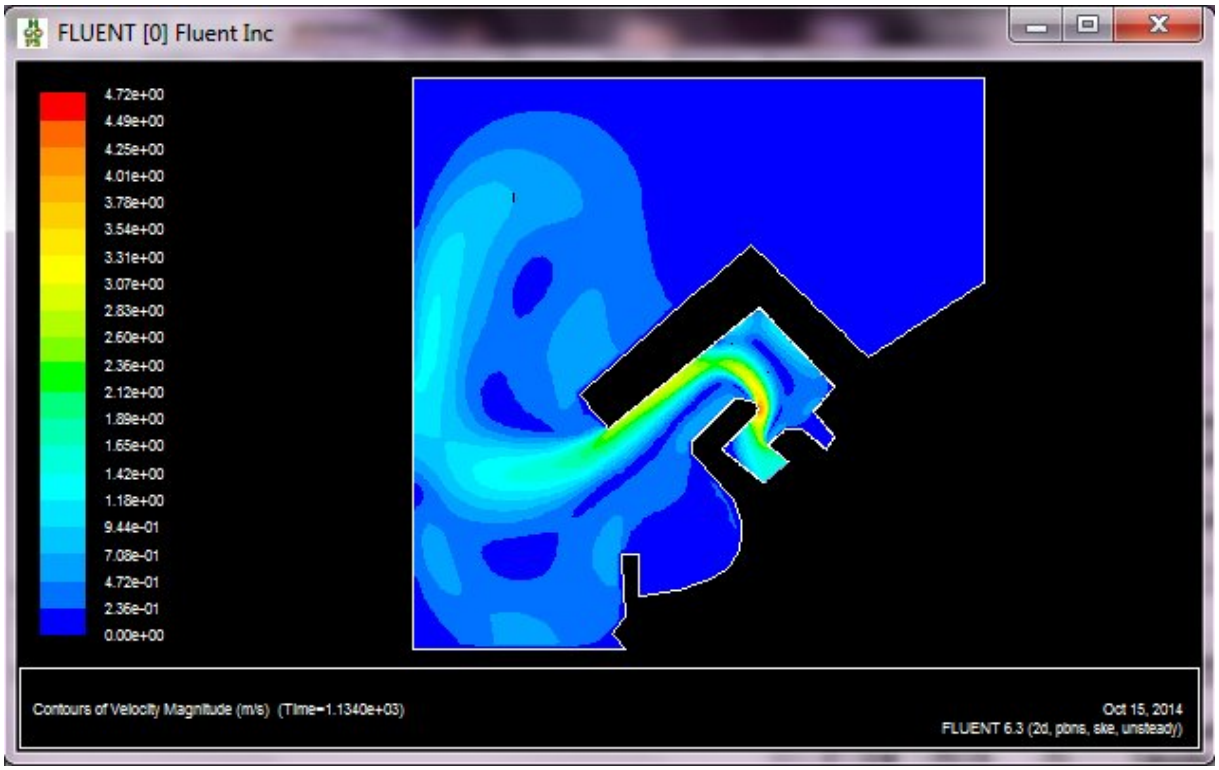


Figure V.25.Contour de vitesse pour t=20minutes environ

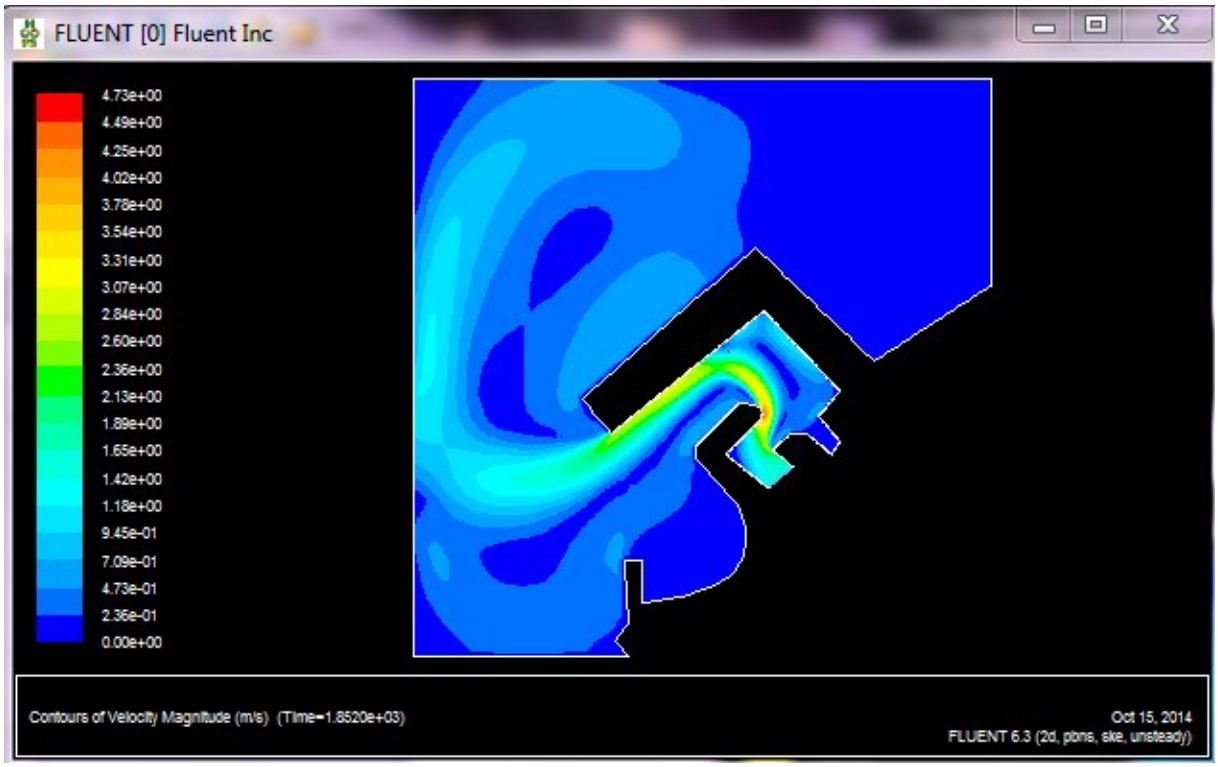


Figure V.26. Contour de vitesse pour t=30minutes

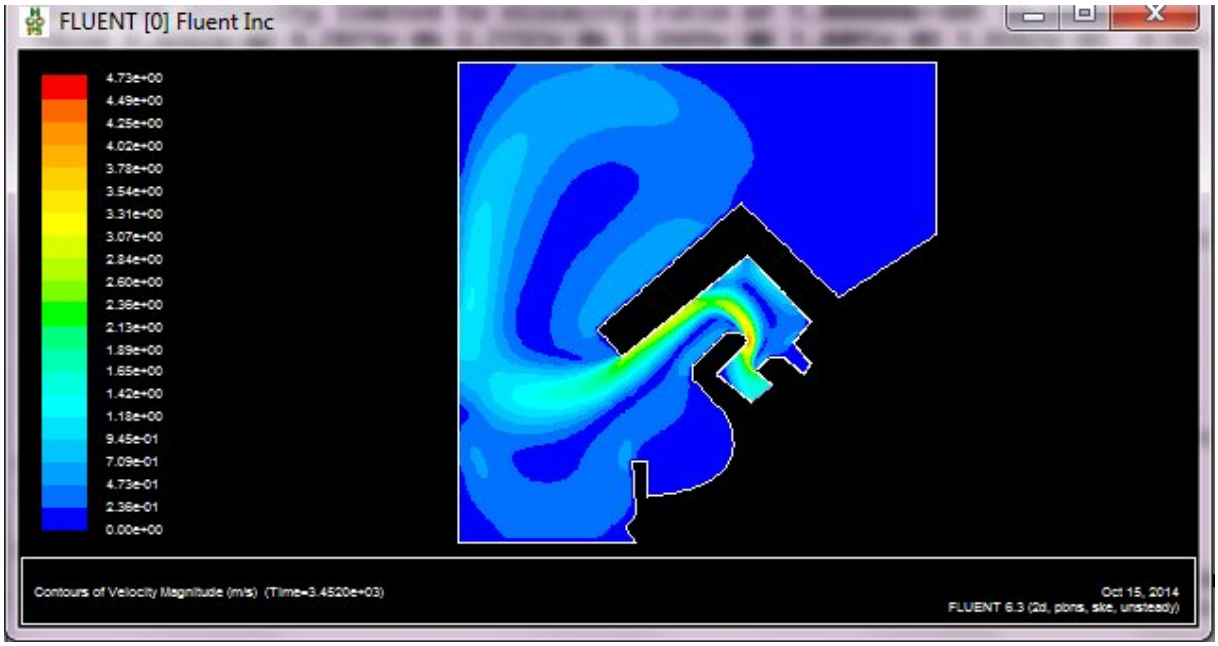


Figure V.27.contour de vitesse pour t=1h environ

V.2.6.4.Interprétation des résultats des résultats

D'après les résultats numériques, on constate clairement que les valeurs de températures sont élevées au bassin du jet avec une valeur de ΔT_{max}=7°C, mais

au cours de temps la tache thermique s'éloigne ver la cote avec une distance plus de 500m, mais avec une température un peu faible $\Delta T=5$ C.

V.3.Simulation des rejets atmosphériques

V.3.1.Présentation du problème

A fin de prévoir l'impact des rejets thermiques atmosphériques de la centrale thermique de Cap-Djinet dans l'atmosphère. On a jugé nécessaire d'observer les résultats sur un domaine particulièrement grand est à trois dimensions.

On prend le cas de la simulation de ces rejets en mois de Févier.

V.3.2. Création de la géométrie

La création de la géométrie est un facteur important dans le développement des calculs et la compréhension du comportement du fluide.

La géométrie du problème étudié a été crée on respectant les dimensions suivantes :

Le diamètre de la cheminée : D=3.2m ;

Les distances entre les quatre groupes :

1 Et 2^{é} groupes ⟶ 43m

2^{é} Et 3^{éme} groupes⟶ 30m

3^{éme} Et 4^{éme} groupes ⟶ 43m

V.3.3.Génération de maillage

Sur le plan numérique, nous avons utilisé un maillage tridimensionnel non structuré à cellule triangulaire pour modéliser l'écoulement de fluide dans ce problème ; le maillage est obtenu a l'aide du générateur de maillage ICEM

CFD. Ce maillage est plus raffiné dans les régions à forts gradients de température et de vitesse.

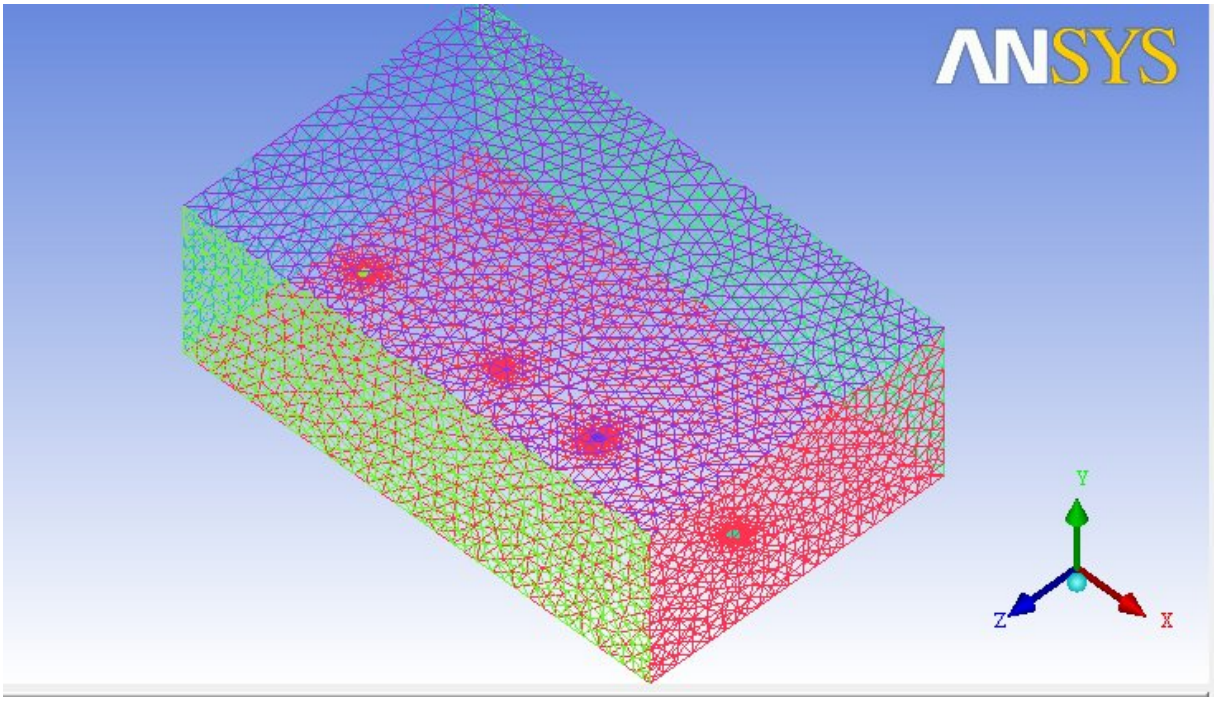


Figure V.28. Géométrie de domaine de calcul

V.3.4.Les conditions aux limites

Les différentes conditions aux limites utilisées sont :

La température le l'air ambiant est de14°C les propriétés thermodynamiques de l'air sont :

ρ=860Kg / ;M=21g /mole ;μ=0.00088Pa.s;λ=0.518W/m.k ; =3712j/kg.k;p=1 atm

fumée1 ⟶ v_1=1.09m /s, T_1=100°C

fumée2 ⟶ v_2=0.98m/s, T_2=118°C

fumée3 ⟶ v_3=1m/s, T_3 =110°C

fumée4 ⟶ v_4=0.91m/s ,T_4=120°C

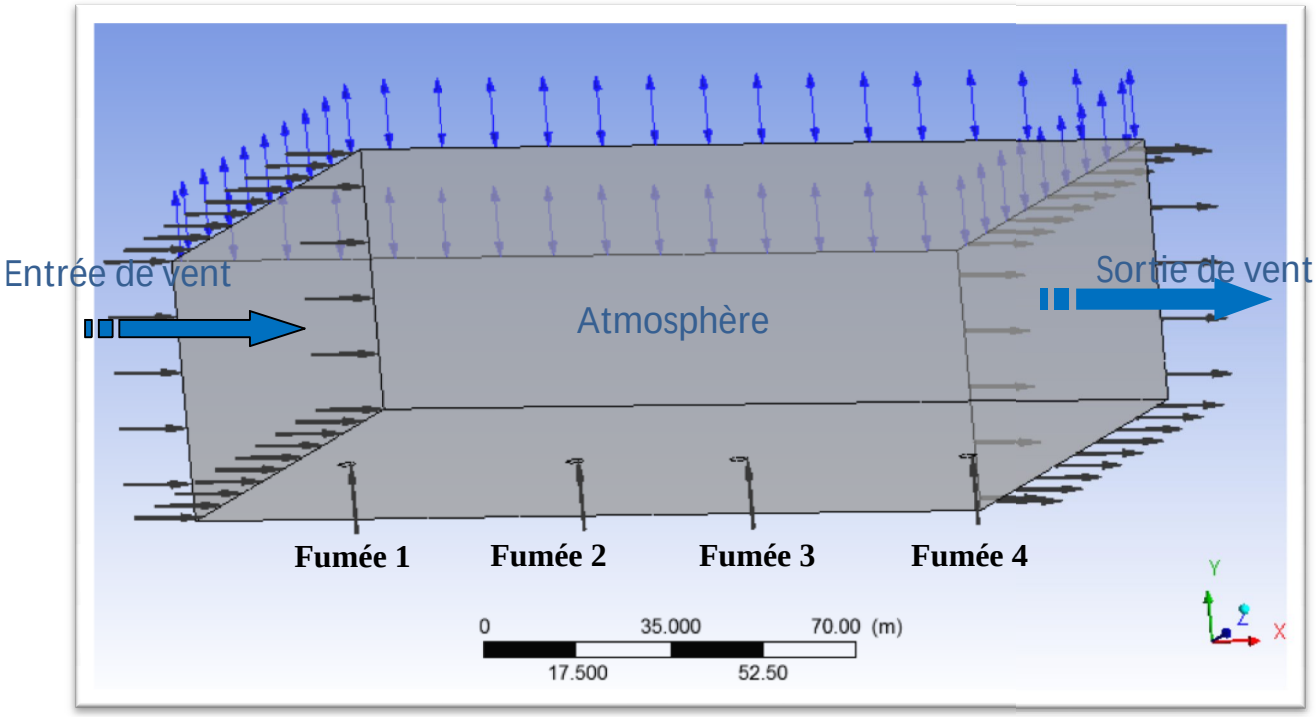


Figure V.29. Conditions aux limites

V.3.5.Résultats et interprétations

Plusieurs simulations on été réalisé a fin de prévoir l'impact des rejets gazeux dans l'atmosphère.

- Profile de température

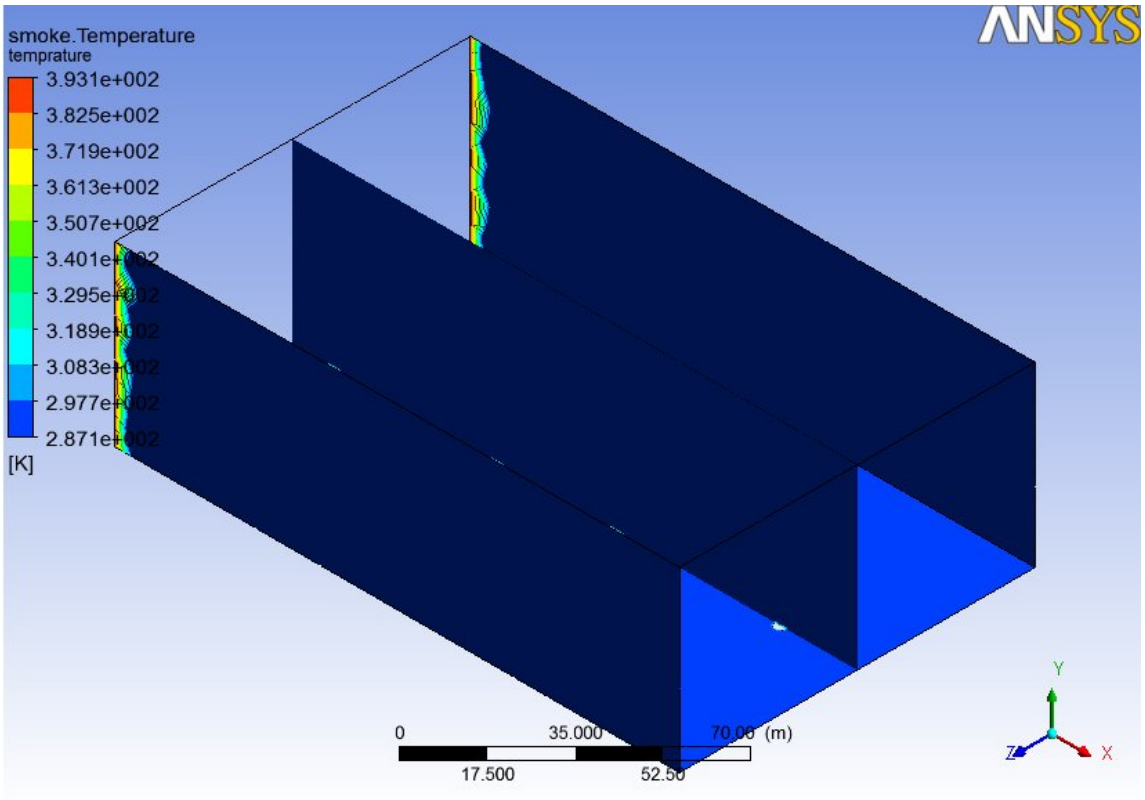


Figure V.30.contour de température a t=0s

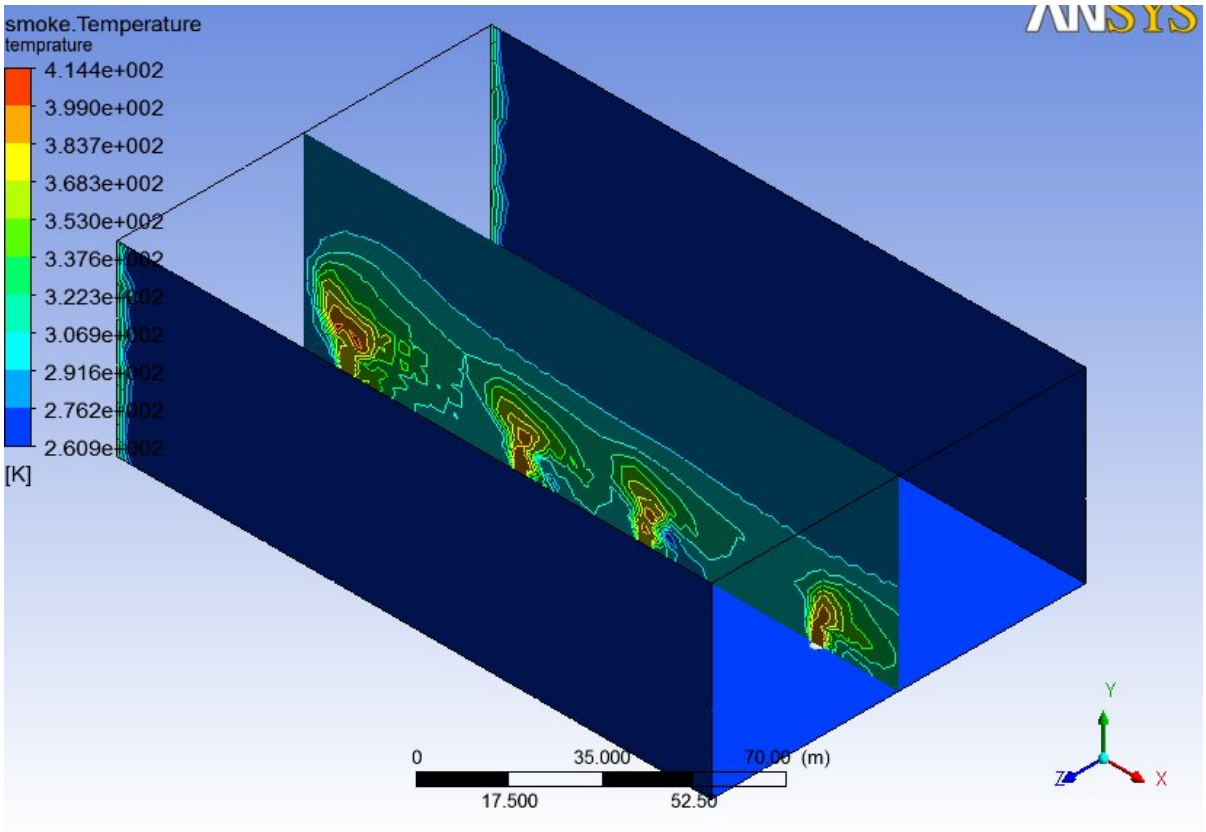


Figure V.31. Profil de température pour t=2minutes environ

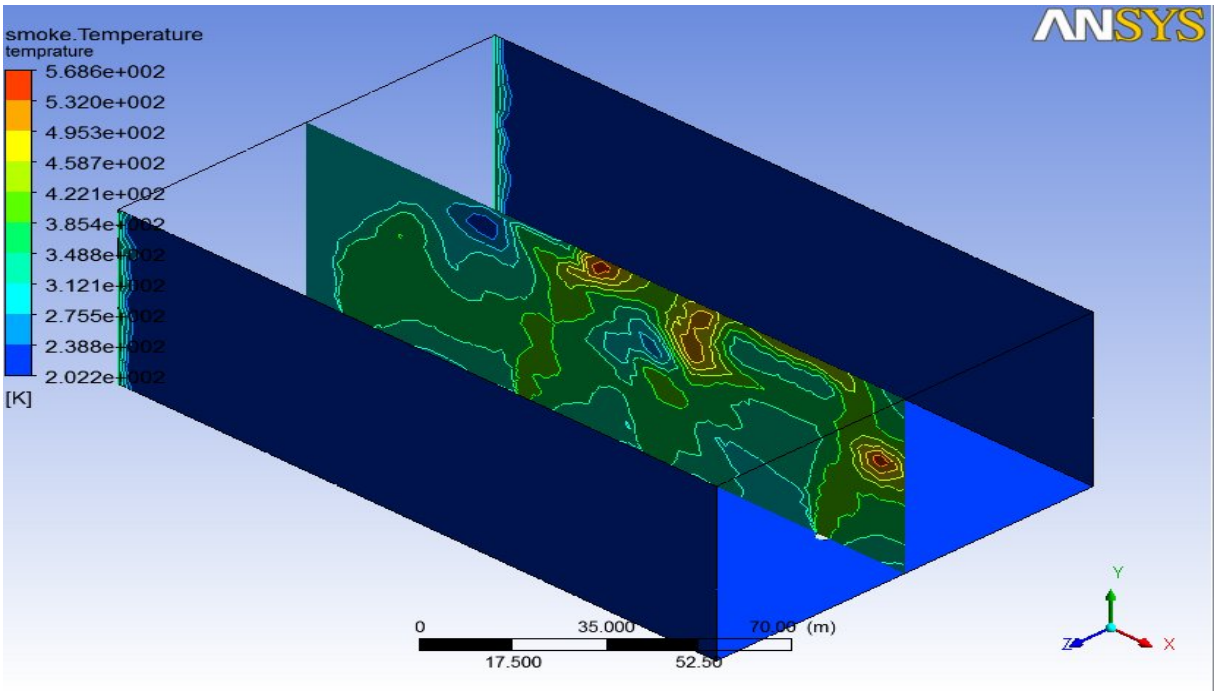


Figure V.32. Profil de température pour t=5minutes

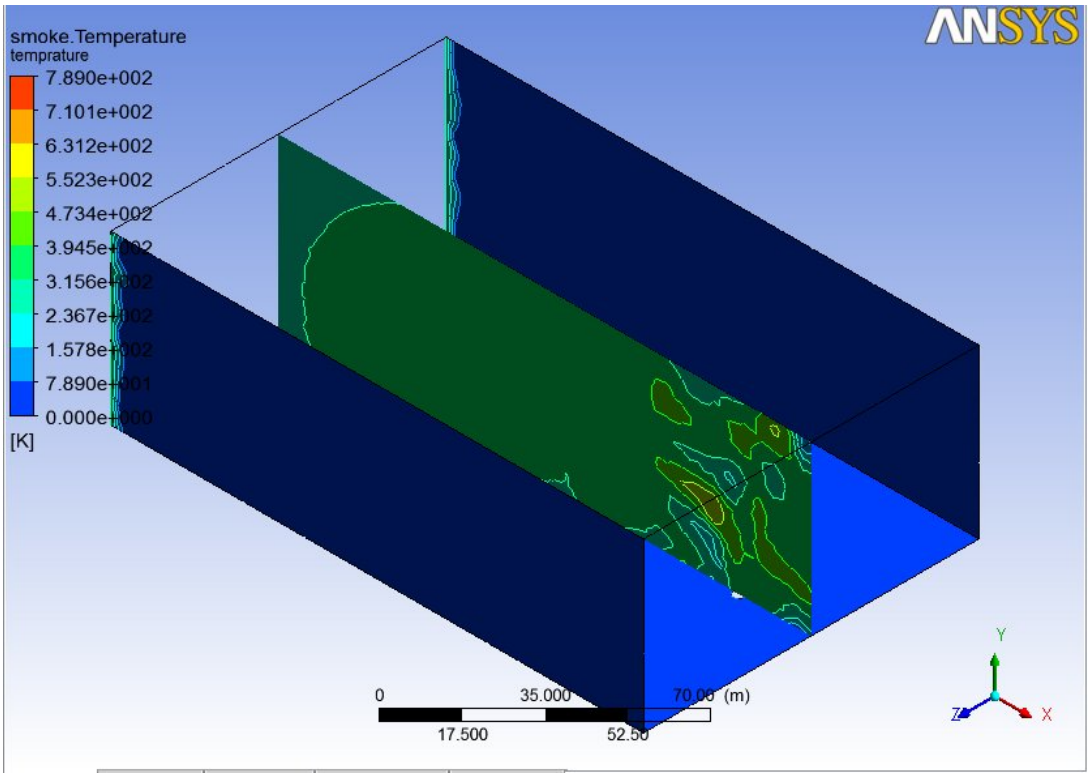


Figure V.33.contour de température pour t=8minutes

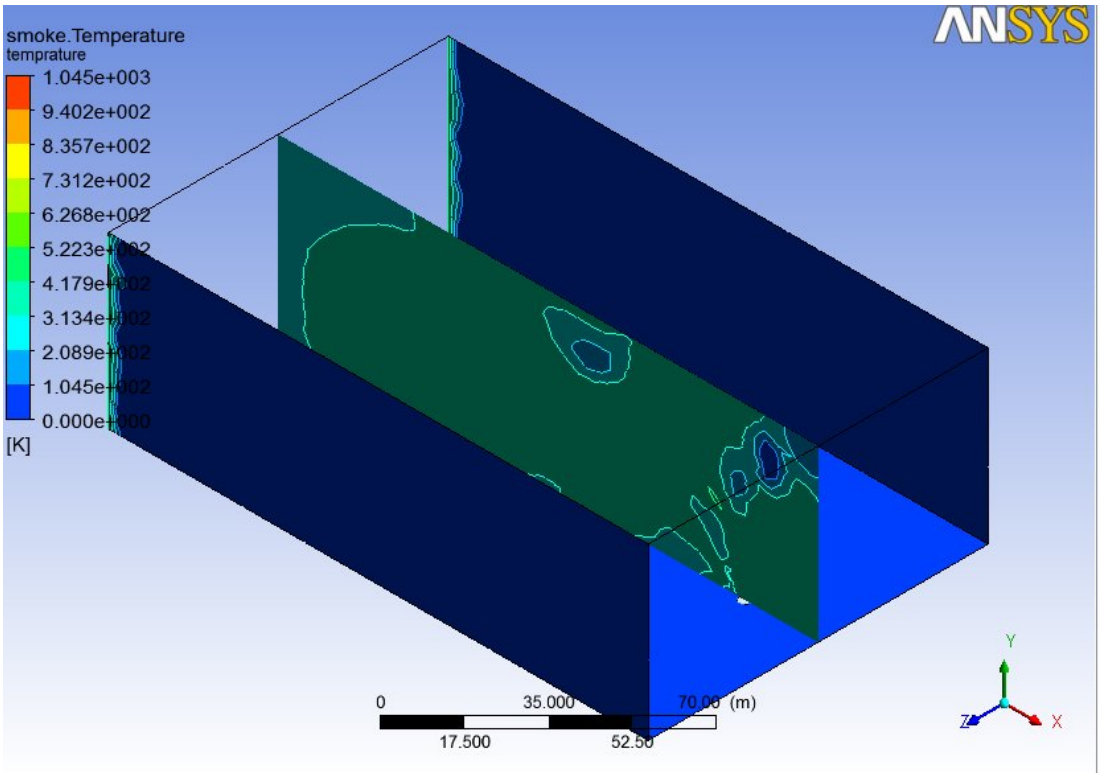


Figure V.34.contour de température pour t=10minutes

- **Profil de vitesse**

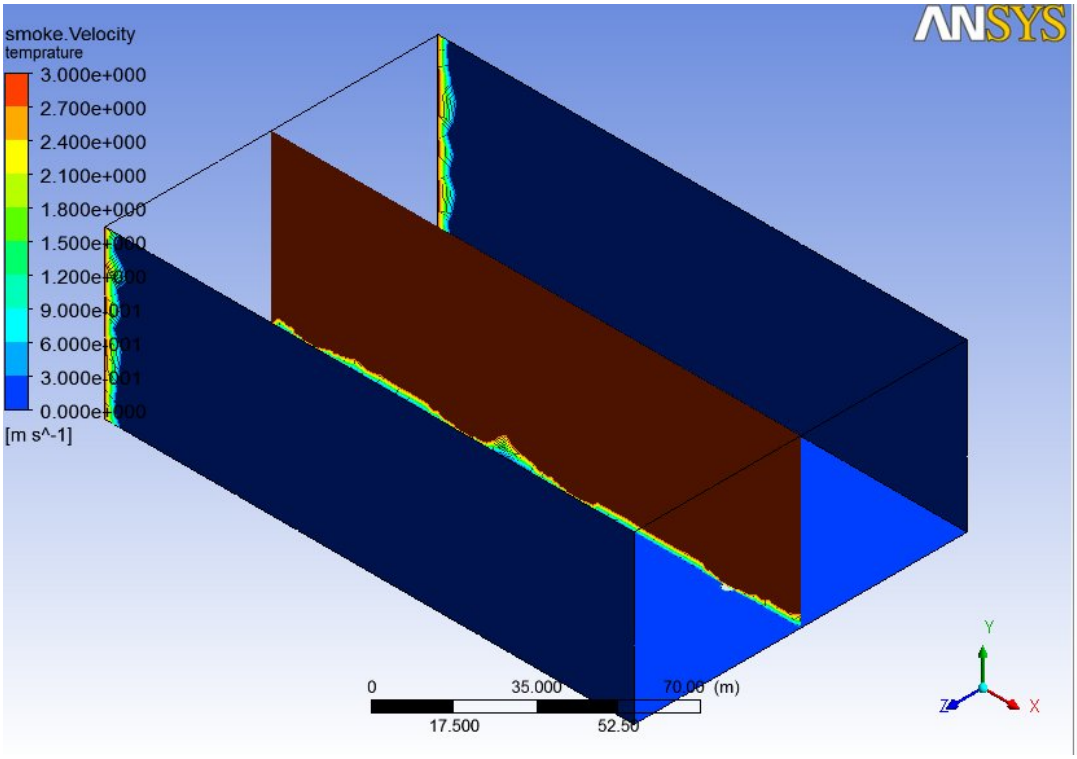


Figure .V.35.contour de vitesse pour t=0s

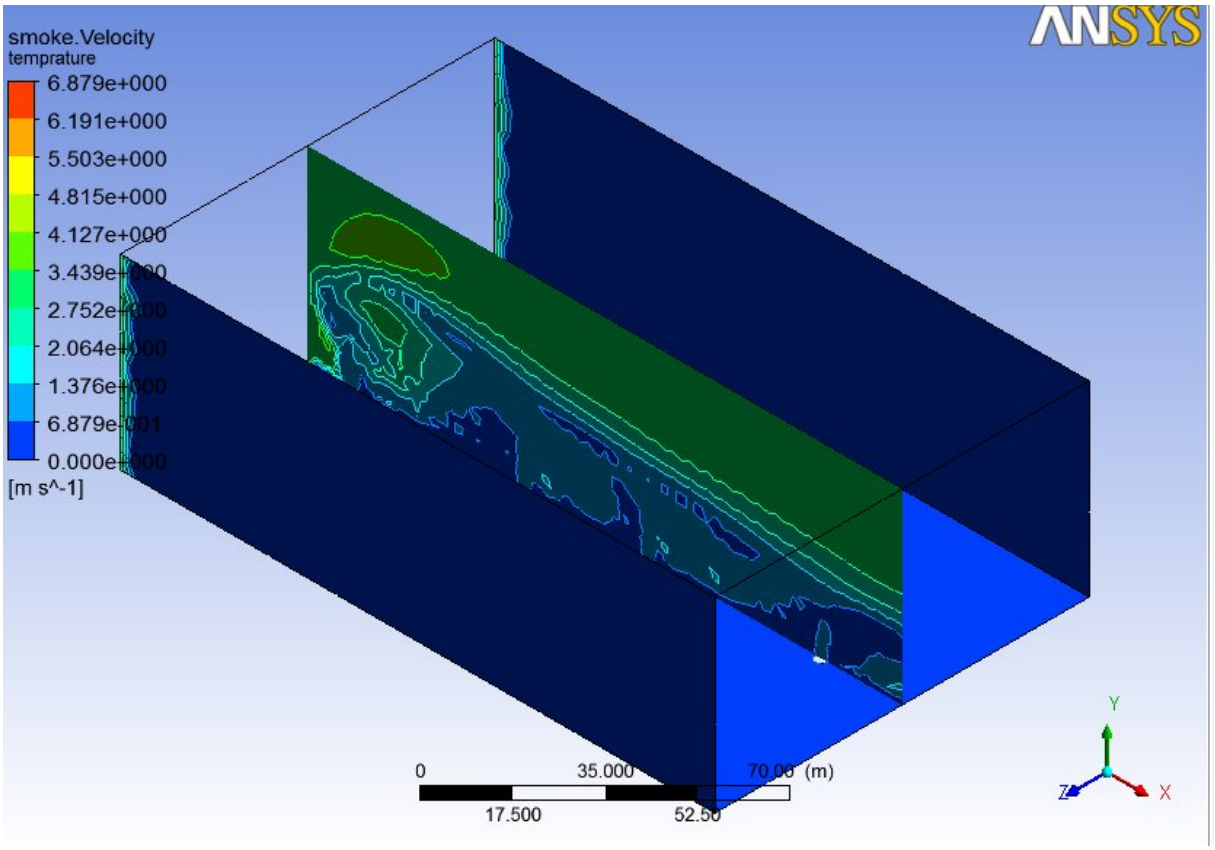


Figure .V.36. Contour de vitesse pour t=1minute

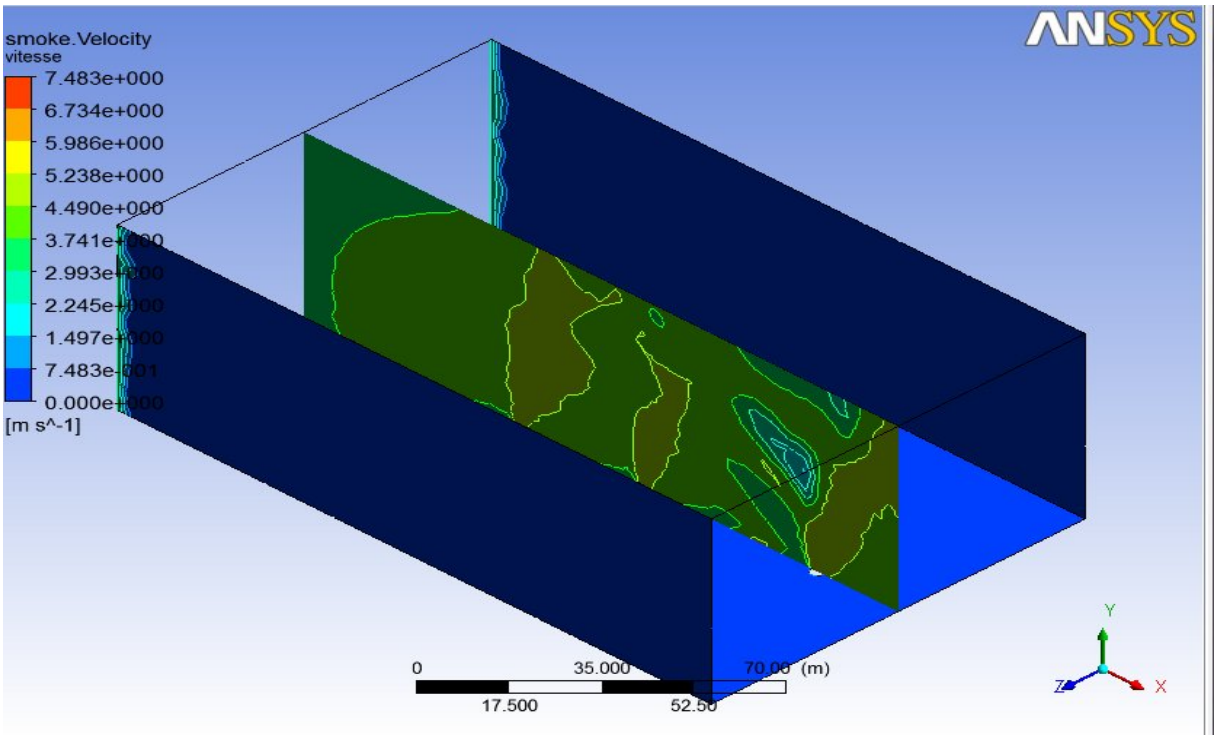


Figure V.37.contour de vitesse pour t=2minutes

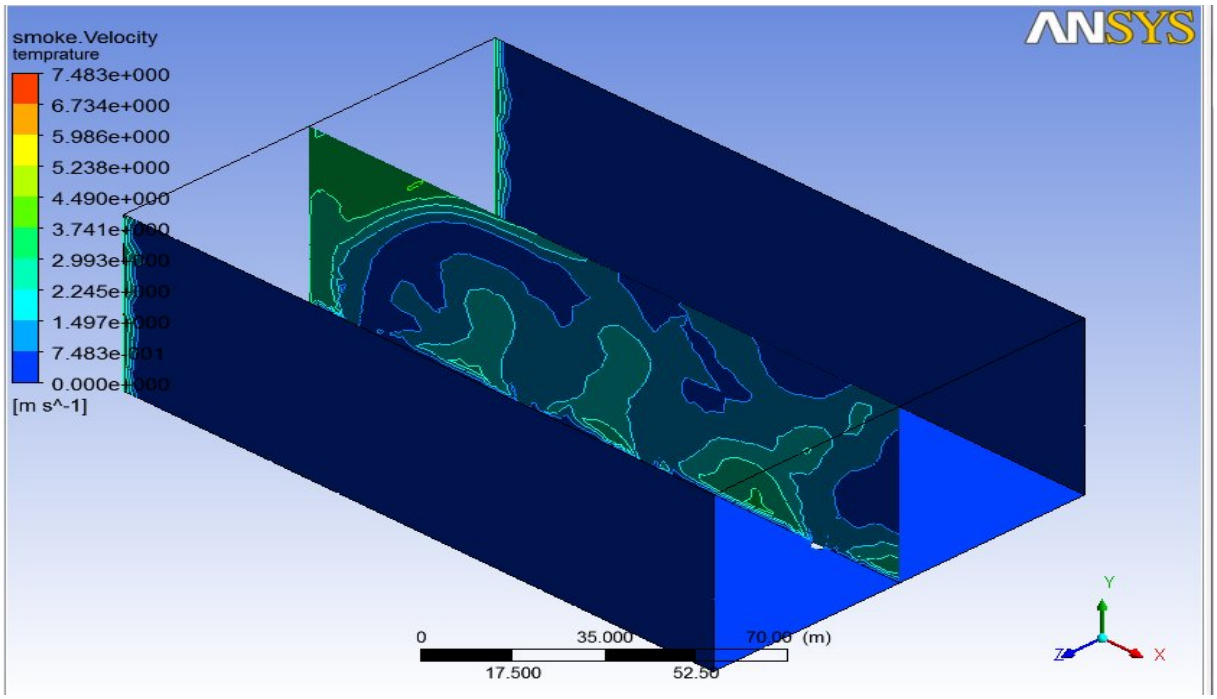


Figure V.38. Profil de vitesse pour t=5minutes

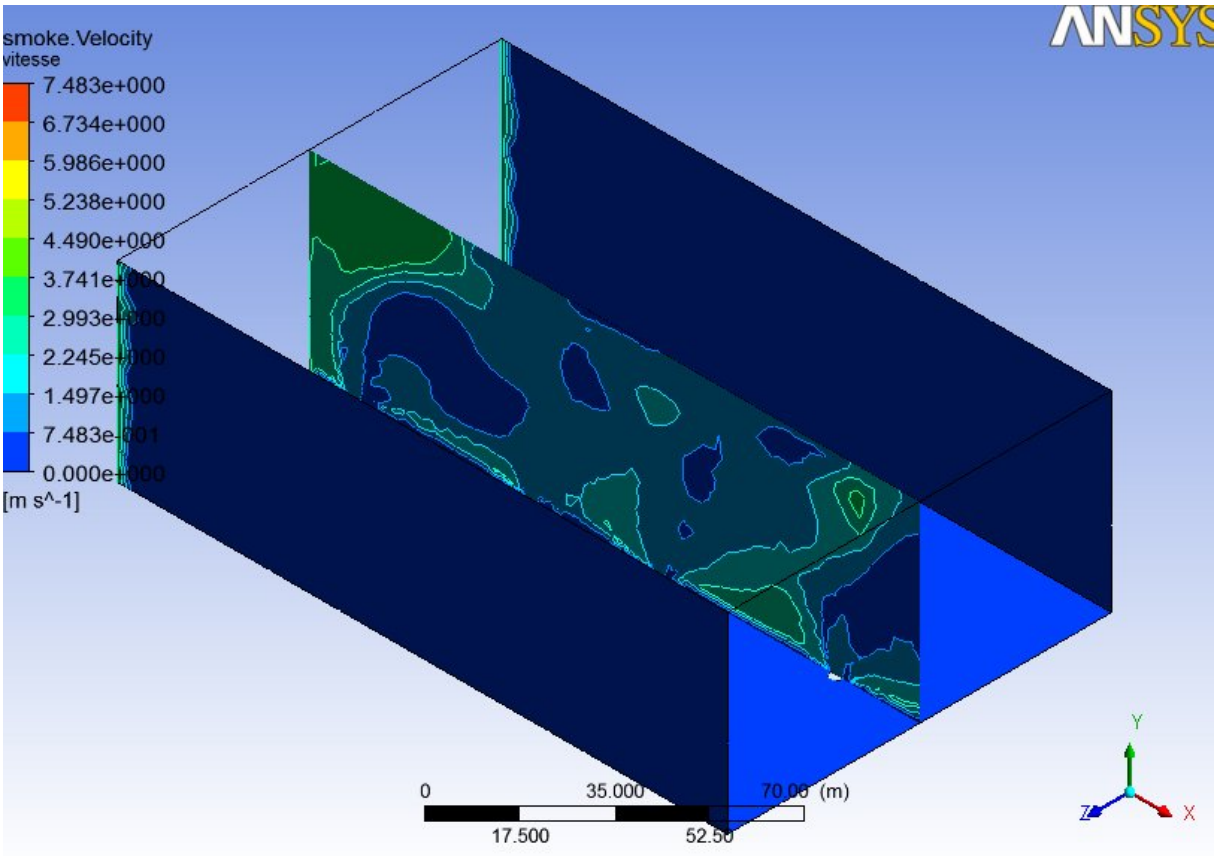


Figure V.39. Contour de vitesse pout t=8minutes

❖ **Profile du volume de fraction**

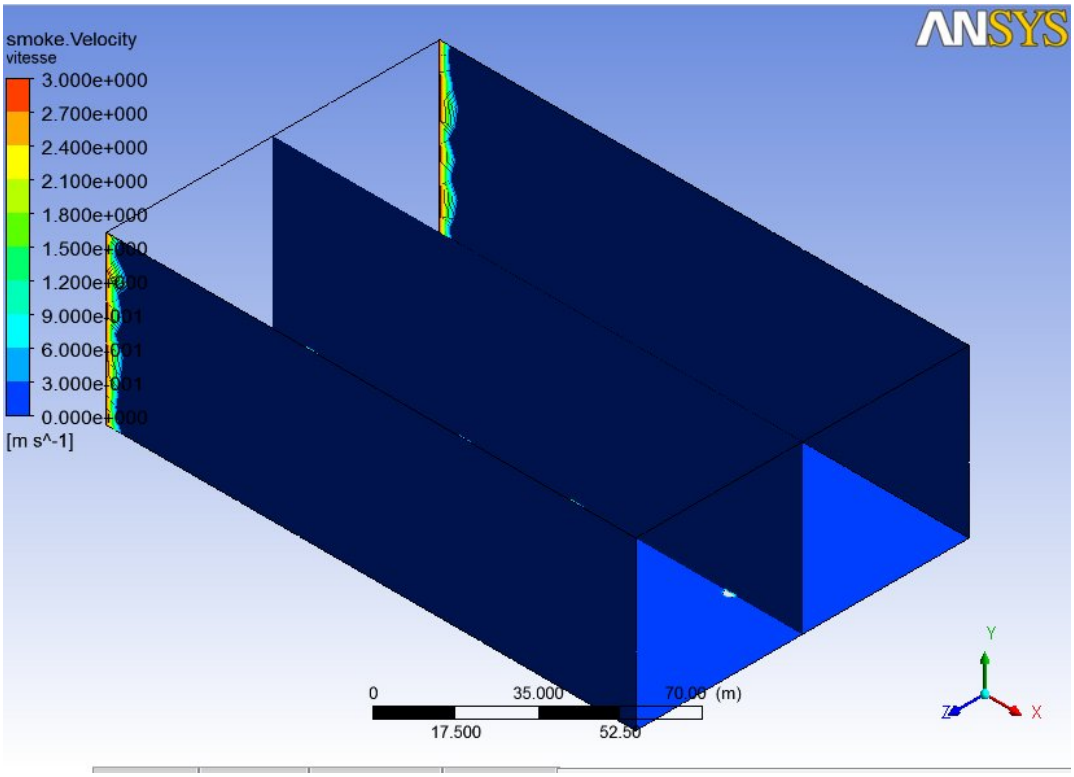


Figure V.40. Contour de volume de fraction a t=0s

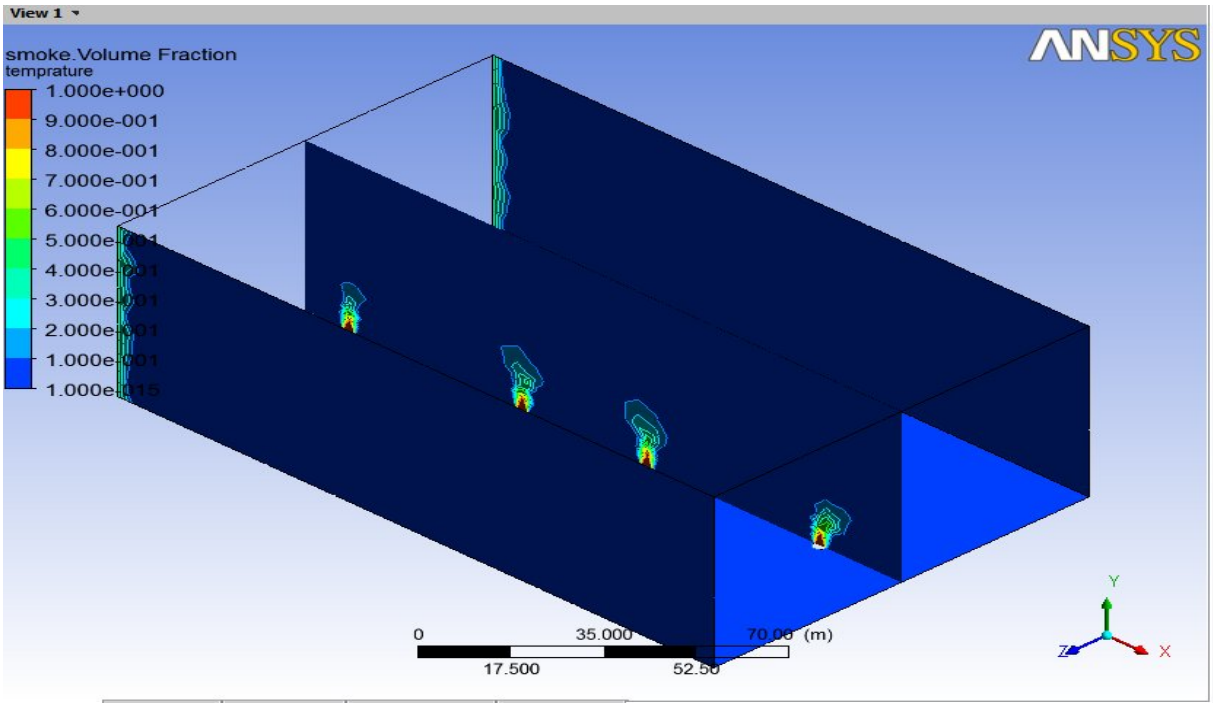


Figure V.41.contour de volume de fraction pour t=1minute

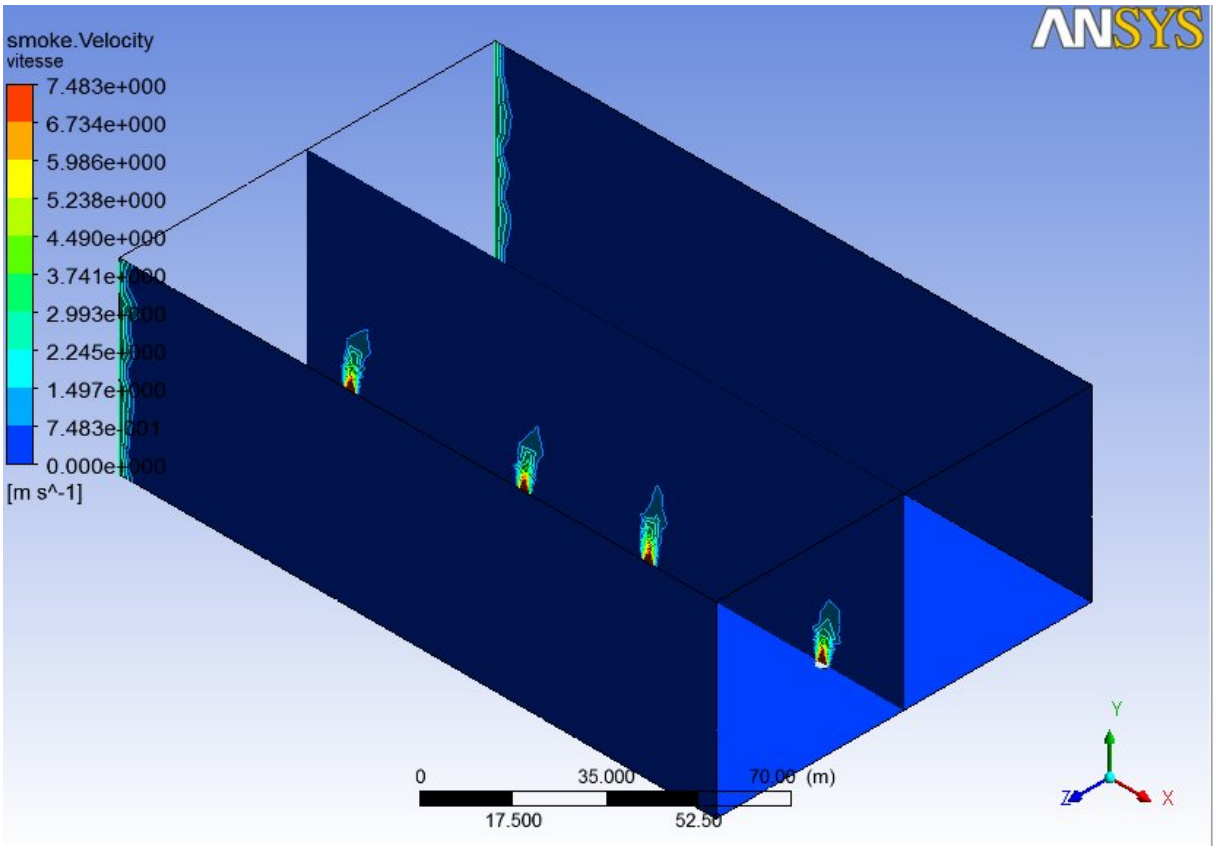


Figure V.42. Contour volume de fraction pour t=2minutes

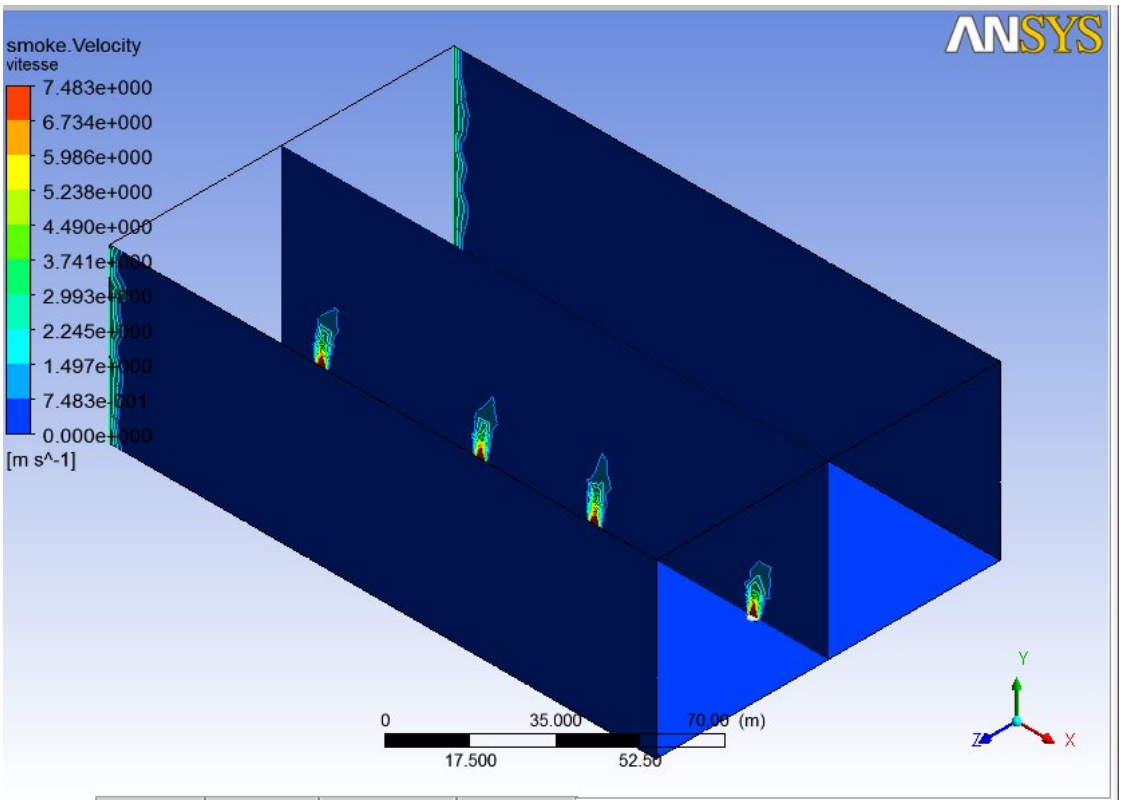


Figure V.43. Contour de volume de fraction pour t=8minutes

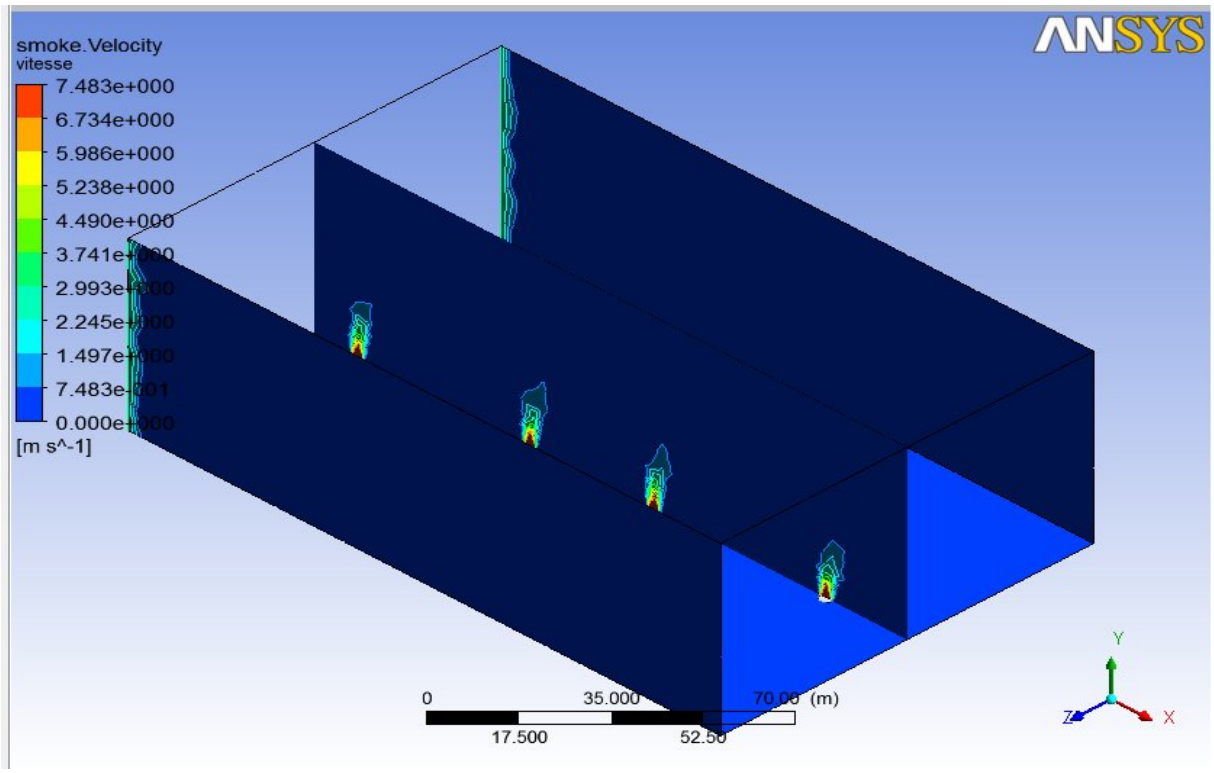


Figure V.44. Contour de volume de fraction pour t=10minutes

V.3.6.Interprétation des résultats

D'après les résultats numériques, on constate clairement que les valeurs de températures sont élevées pour un intervalle de temps petit, mais au cours de temps la tache thermique s'éloigne ver la cote avec une distance plus de 20m. Alors les gaz de fumées se dispersent le plus souvent vers la surface et les échauffements décroissent rapidement avec l'éloignement des points de rejets, et cela peut se voit clairement à travers les figures citée précédemment du volume de fraction pour différents pas de temps.

Conclusion

À travers ce chapitre on a essayé d'incarner le traitement du problème avec deux codes de calculs fluent et ANSYS CFX.

Le traitement du problème avec les deux codes de calculs passe par deux grands volets :

- Volet création de la géométrie et génération de maillage avec Gambit et ANSYS ICEM pour les deus rejets, liquide et gazeux respectivement.
- Volet résolution : la résolution traverse trois étapes :
  - Définition du problème ;
  - Résolution proprement dite du problème ;
  - Présentation des résultats numériquement.

Les résultats ainsi obtenus seront exploités de la façon la plus adéquate, à fin de porter une analyse qualitative des phénomènes physiques enregistrés.

Conclusion générale

L'étude que nous avons effectué à la centrale thermique de Cap-Djinet a été bénéfique à plus d'un titre, parce qu'elle nous a permis d'appliquer en pratique les connaissances acquises en théorie et de côtoyer la réalité industrielle.

Elle nous a permis de maitriser les différentes méthodes de la valorisation des rejets thermiques industrielles dans divers domaines.

Nous avons utilisés deux codes de calculs Fluent6.2 et ANSYS12, qui sont basé sur la méthode des volumes finis, et on a utilisé le modèle k-ε pour la modélisation de la turbulence.

La visualisation des résultats obtenus a permis d'avoir la distribution de température dans la zone des rejets.

Les rejets de chaleur se dispersent le plus souvent vers la surface et les échauffements se confondent avec l'éloignement des points de rejet. Ces échauffements décroissent rapidement avec l'éloignement des points de rejet, et ils se confondent à quelque kilomètre de part et d'autres rejets avec les variations naturelles de la température.

Les températures du rejet liquide de la centrale sont inférieures à valeurs maximales recommandées par les normes Algérienne.

Les émissions de CO2 dans l'atmosphère ne doit pas dépasser 55% selon le protocole de Kyoto, cet objectif est loi d'être attient puisque l'on observe une augmentation, due à l'émergence de nouveau pays pauvres qui polluent plus qu'avant.

Alors la centrale thermique de Cap-Djinet répond aux exigences du protocole de Kyoto puisque, elle émet 10%de CO2 dans l'atmosphère.

En fin, on peut dire que la valorisation des rejets thermiques industriels reste une source énergétique alternative qui permet d'un coté de réduire les émissions des à effet de serre, et d'un autre coté rependre aux exigences réglementaire.

Bibliographie

[1] Documentation interne de la centrale thermique de Cap-Djinet **(**archives**)**.

[2] Notice technique sur les centrales thermiques. **«** Chaleur-Température-Thermodynamique **»**.Fascicule N°2B, 2eme édition, Mars 1968.

[3]. (P.HELE), «Normes environnementales et procédures d'inspections des installations industrielles et commerciales au Cameroun ».

[4]. (F.ROGNON), «Valorisation des rejets thermiques par CAD », Suisse Energie pour les infrastructures, 2011, Monthey.

[5]. « gestion des déchets de la centrale thermique de Cap-Djinet», mai 2013, Boumerdes.

[6]. (F.KUCHLER), « Elaboration des cadastres des rejets de chaleur et des zones favorables aux réseaux thermiques», Avenue du Grand-St-Bernard 4 CP256 1920, avril2012, Martigny.

[7]**. «** Chauffage et production d'eau chaude sanitaire »,conférence des service cantonaux de énergie, Janvier 2009 .

[8]. (D.BOURG), « Valorisation des rejets thermiques industriels par des entreprises agricoles, agro-alimentaires et agro-industrielles», Ennovagro consultants enr, 2003, Québec.

[9]. (P. Henry MACCIONI), « Environnement et industrie à la réunion», DRIRE, Février 2008.

[10].journal officielle de l'Algérie, Avril 2006.

[11]. (V.LAFORESTE), « Technologies propres :
Méthodes de minimisation des rejets et de choix des procédés de valorisation des effluents. Application aux ateliers de traitement de surface. », décembre 1999, Lyon.

[13]. (P.JULIEN), « Valorisation des déchets», Timmermans Marc, janvier2006.

[14]. (D.Bourg), «Rejets thermiques industriels mode d'emplois », Innovagro, 2003, Québec.

[15]. (J.MARIE NIGET), «Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec », Innovagro, Aout2010, Québec.

[16]., « Chauffage et production d'eau chaude sanitaire »,conférence des services cantonaux de l'énergie, Janvier 2009.

[17]. (R.SCHIESTEL), «les écoulements turbulents modélisation et simulation »,Hermès,1993-1998.Paris.

[18]. (A.TALAMALI). « Simulation numérique d'un écoulement transonique a travers un stator d'une turbine axial », juin 2006, Boumerdes.

[19]. (I.SADOUN), «Simulation numérique de l'impact du rejet de l'eau de refroidissement de la centrale thermique de Cap-Djinet dans la mer »,2011-2012, Boumerdes.

[20]. (M.SLIMANI), «Modélisation numérique d'un multi- jet turbulent libre »,juin 2009,Chelf.

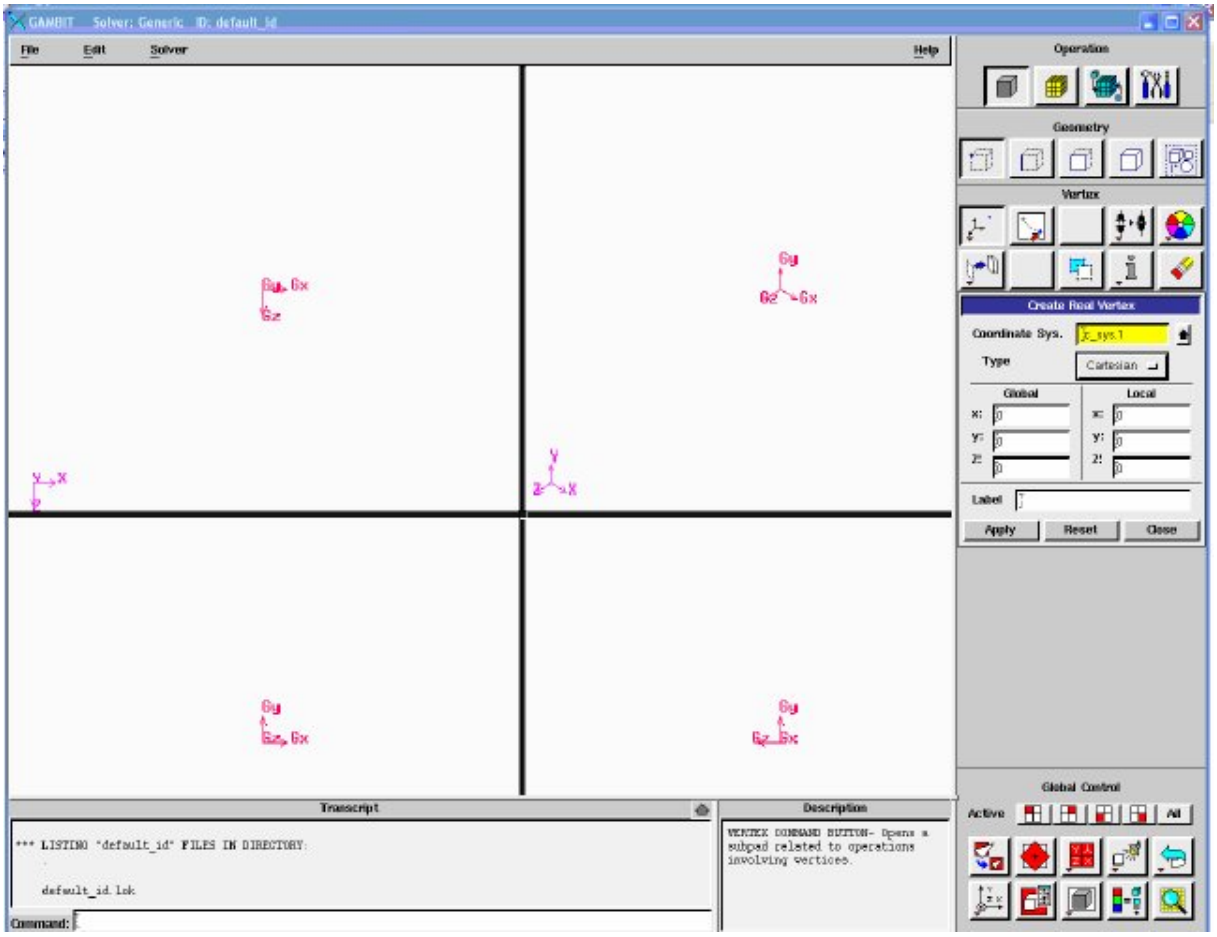
[21]. Texte du Protocole de Kyoto

Simulation avec Fluent

Le logiciel gambit est un meilleur 2D/3D ; préprocesseur qui permet de mailler des domaines de géométrie d'un problème de **Démarrage de Gambit**

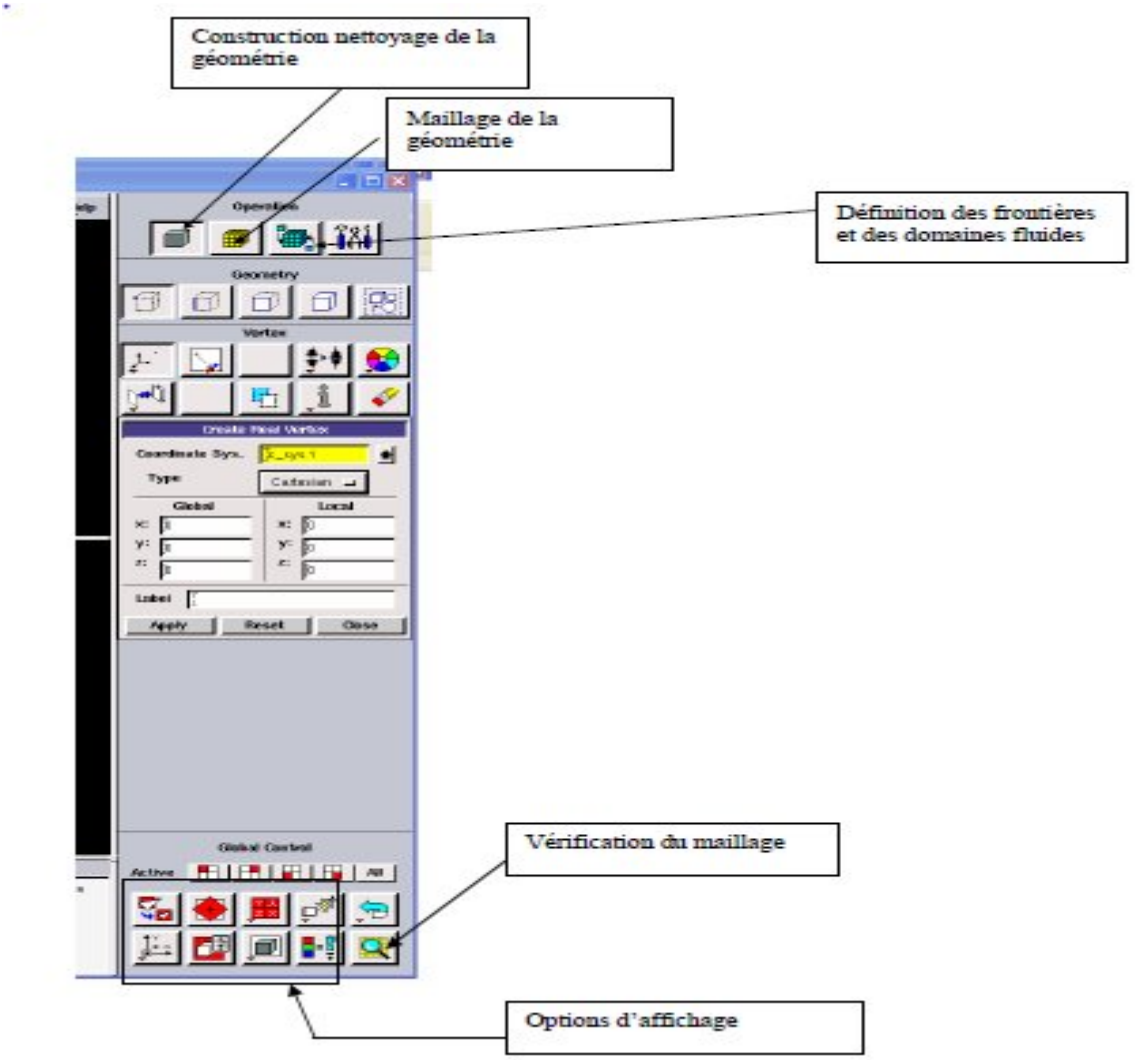
CFD (Computational Fluid Dynamics).Il génère des fichiers*.msh pour fluent .Fluent est logiciel qui résout par la méthodes des volumes finis des problèmes de mécanique des fluides et de transferts thermiques.

Gambit regroupe trois fonctions : définition de la géométrie de problèmes (construction si la géométrie est simple ou bien import de la géométrie CAO), le maillage et sa vérification, la définition des frontières (type de condition aux limites)et définition des domaines de calculs.



Construction de la géométrie

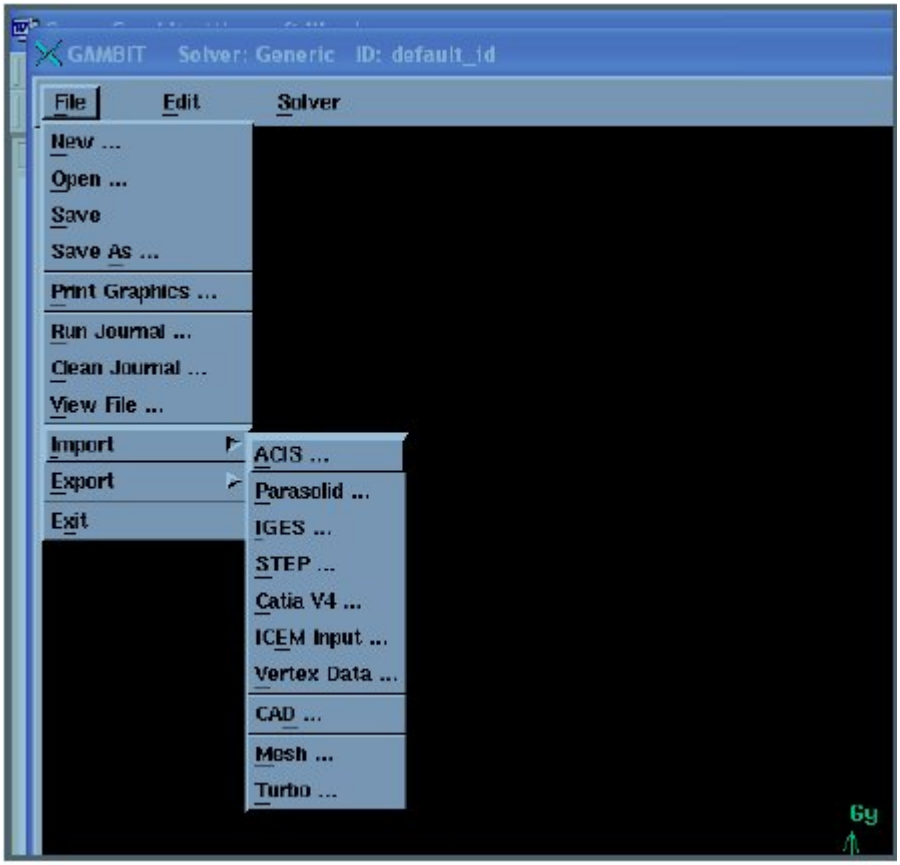
La finalité de la construction de la géométrie est de définir les domaines de calculs qui seront faces dans un problème2Det des volumes dans un problème 3D.



Construction de la géométrie

Import de la géométrie nettoyage de CAO

Souvent la géométrie est conçue par des logiciel de la CAO (SolideWorks, CATIA….) ns les cas des turbomachine, elle peut être aussi conçu par des logiciels dimensionnement (problème inverse) comme BladeGen+ et turbo Gen . Dans ce cas , on a recours à l'importation de la géométrie. Il est conseillé d'importer des fichiers sous format ACIA (.sat). souvent il est indisponible de nettoyer la géométrie.



Maillage

La génération de maillage (2D ou 3D) est une phase très important dans une analyse CFD vu l'influence de ses paramètre ne la solution calculée.

Pour les applications en turbomachine, la technique de génération de maillage peut être résumée sous la forme suivant :

- La géométrie doit être préparée au préalable, avec la définition de tout les composant de la turbomachine, moyeu, volute, stator, …etc.., sous forme de données numériques, fichier CAD prés-établi ou plutôt sous forme de fichier maillage qu'on peut importer sous Gambit.
- La géométrie qui présente des différente domaines est décomposée en sous domaines (maillable).
- Maillage de sous domaines fluide.

La réduction du temps nécessaire à la génération de maillage est un critère de bonne maitrise de l'utilisation des outils CFD dans le désigne des turbomachines.

Chois de type de maillage

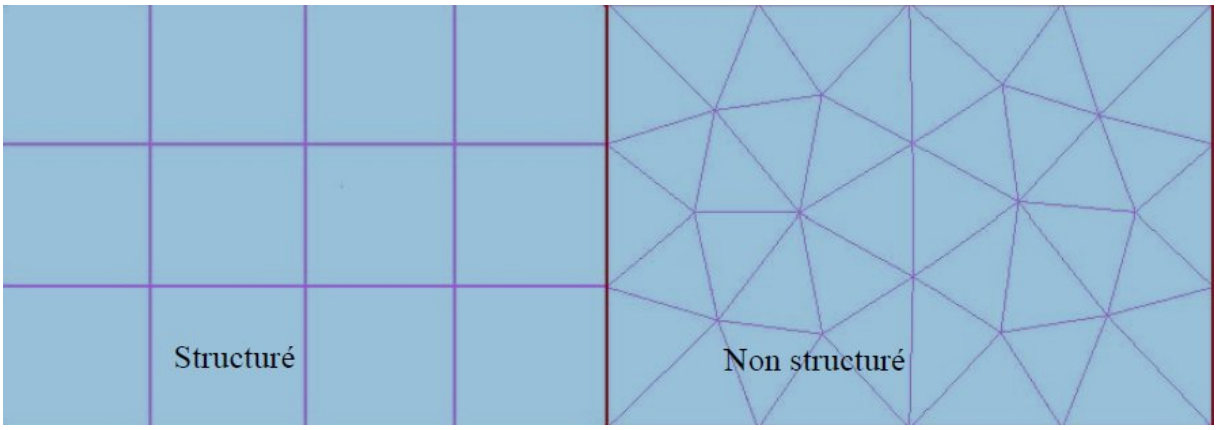
Maillage structuré

Il est beaucoup plus facile de le générer en utilisant une géométrie à multi bloc, il présente les avantages suivant

- Economique en nombre d'élément, présente un nombre inférieur de maille par rapport à un maillage non structuré équivalent.
- Réduire les risque d'erreurs numérique car l'écoulement est aligné avec le maillage.

Ses inconvénients :

- Difficile à le générer dans le cas d'une géométrie complexe
- Difficile d'obtenir une bonne qualité de maillage pour certaines géométries complexes



Maillage non structuré

Les éléments de ce type de maillage sont générés arbitrairement sans aucune quant à leur disposition.

Ses avantages

- Peut être généré sur géométrie complexe tout en gardant une bonne qualité des éléments
- Les algorithmes de génération de ce type de maillage sont très automatisés

Ses inconvénients

- Très gourmand en nombre de mailles comparativement au maillage structuré
- Engendre des erreurs numériques qui peuvent être plus importante si l'on compare avec le maillage structuré

Maillage hybride

Maillage généré par un mélange d'éléments de différents types, triangulaire ou quadrilatéraux en 2D, pyramidaux en3D,…

Ses avantages

- Combine entre les avantages du maillage structuré et non structuré !

Qualité d'un maillage

La génération d'une très bonne qualité de maillage est essentielle pour l'obtention d'un résultat de calcul précis, robuste et signifiant.

- Minimisation des éléments présentant des distorsions
- Une bonne résolution dans les régions présentant un fort gradient.

Enfin, la qualité de maillage à un sérieux impact sur la convergence, la précision de la solution et surtout sur le temps de calculs.

Nombre total d'élément

Un nombre important d'éléments de maillage permet sans doute d'améliorer la précision des calculs, mais pénalise les ressources informatique en terme de mémoire et alourdit le système .Par voix de conséquence, un compromis entre précision et temps de s'impose.

Des techniques existent pour économiser un certains nombre d'éléments :

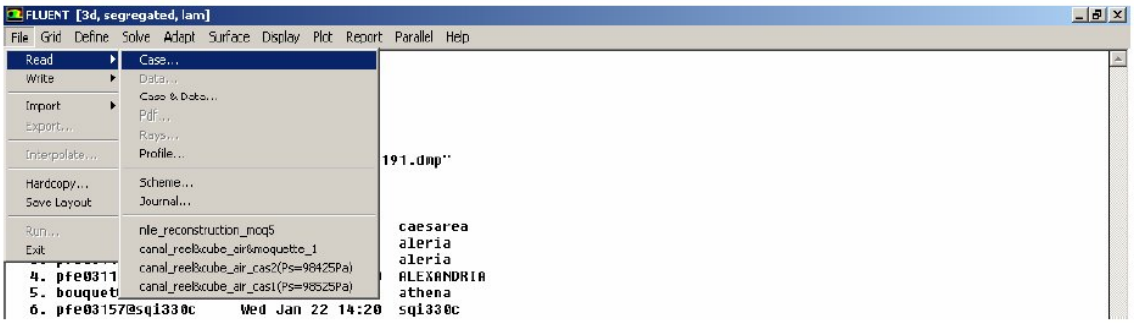
- Utilisation des maillages non uniformes, en concentrant la bonne qualité du maillage uniquement dans les zones ou c'est nécessaire.
- Utilisation de la fonction adaptation de maillage pour raffiner uniquement sur les zones bien précises
- Utilisation des éléments de maillage hexaédriques dans les zones adéquates.

Principales étapes de simulation sous FLUENT

Importation de la géométrie (*.msh)

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

File → Read → Case

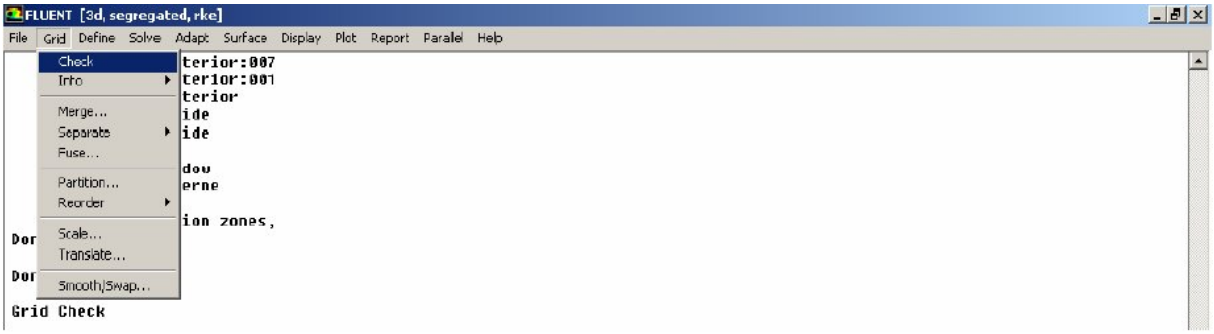


Import de la géométrie

Vérification du maillage importé

Grid → Check

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs ou de volumes négatifs.

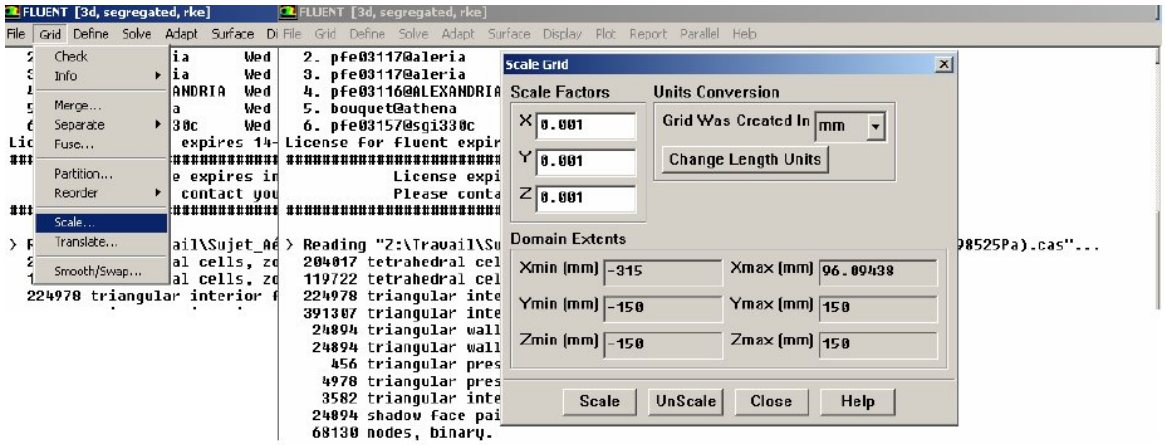


Vérification du maillage sou Fluent

Vérification de l'échelle

Grid → scale

il faut toujours vérifier que les dimensions affichées correspondent aux dimensions physiques du problème.



vérification des unités

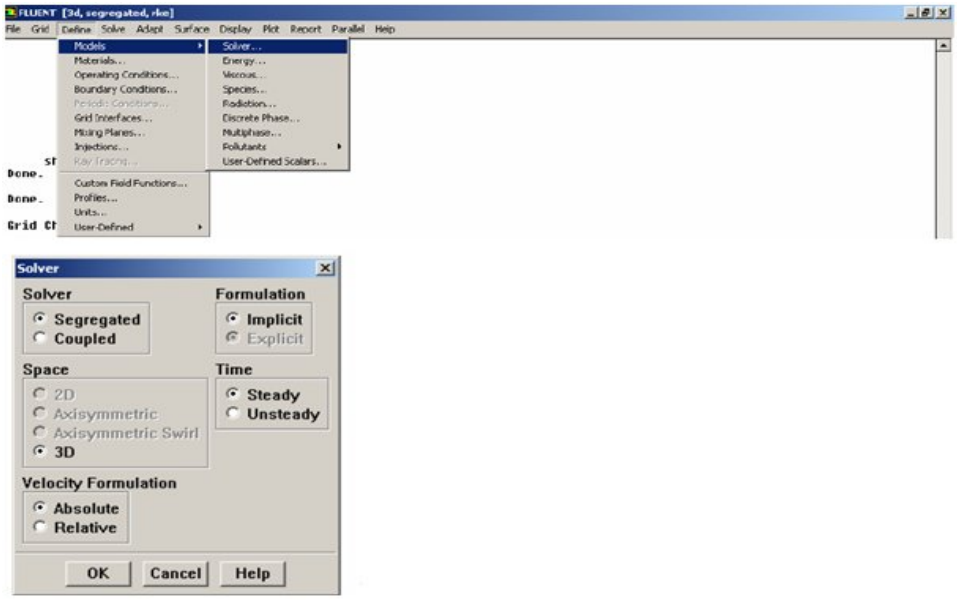
Choix du solver

Define → models → solver…

Segregated Solver : est le plus approprié pour les écoulements incompressible (ventilateurs, pompes…)

Coupled Solver: les solveurs 'coupled implicit'et 'coupled explicit', sont plutôt réservés aux écoulements compressibles à grand vitesse.

C'est là aussi qu'on choisit le régime d'écoulement : permanent ou stationnaire.



choix du solveur sous Fluent

Affichage de la grille

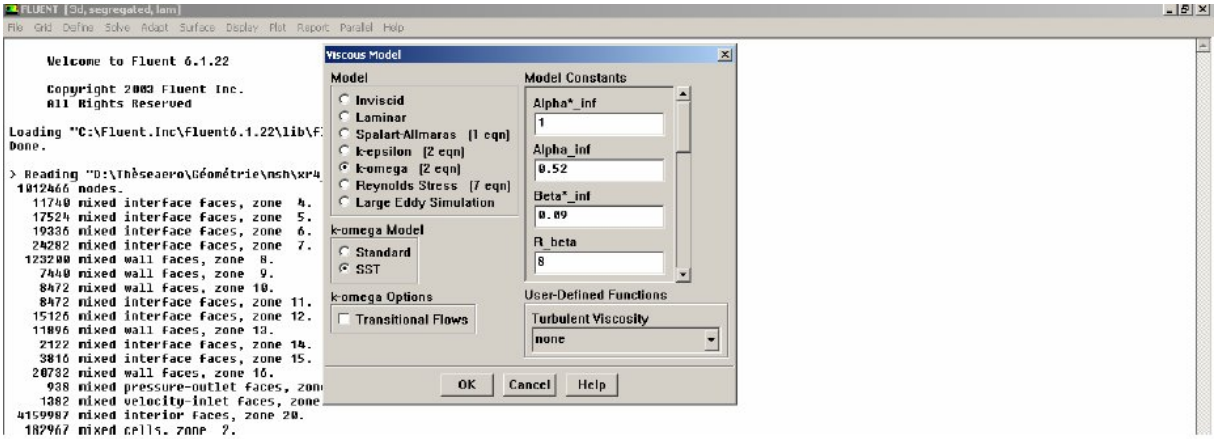
Display → grid

Vous pouvez afficher le maillage et il est très judicieux de vérifier les conditions aux limites définies au préalable dans Gambit

Choix du module de turbulence

Define → model → viscous →

Fluent propose différentes modélisation de l'écoulement turbulent. Parmi lesquels les écoulements non visqueux, laminaires, turbulents …..Etc.

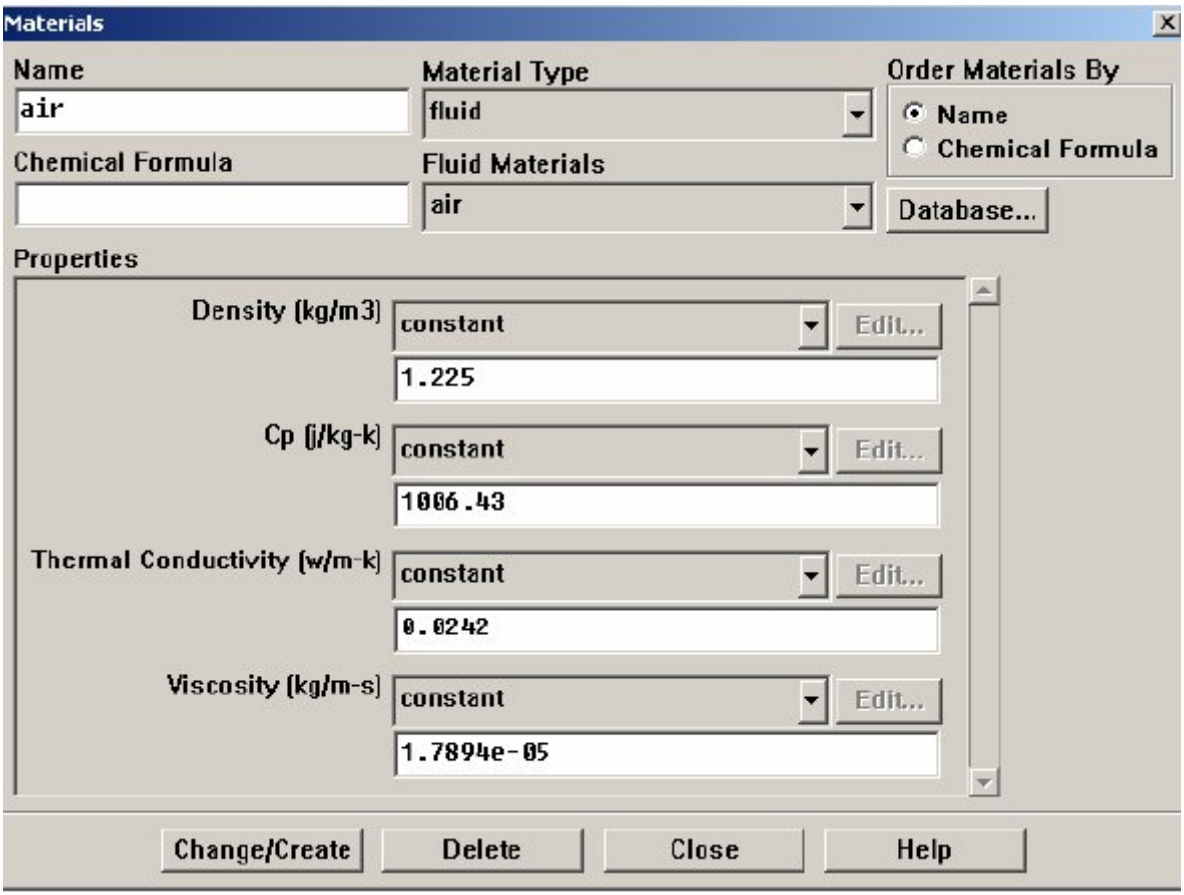


Choix de modèle de turbulence

Définition des caractéristiques du fluide

Define → materials

Les caractéristiques du fluide sont chargées à partir de la bibliothèque de données de Fluent.

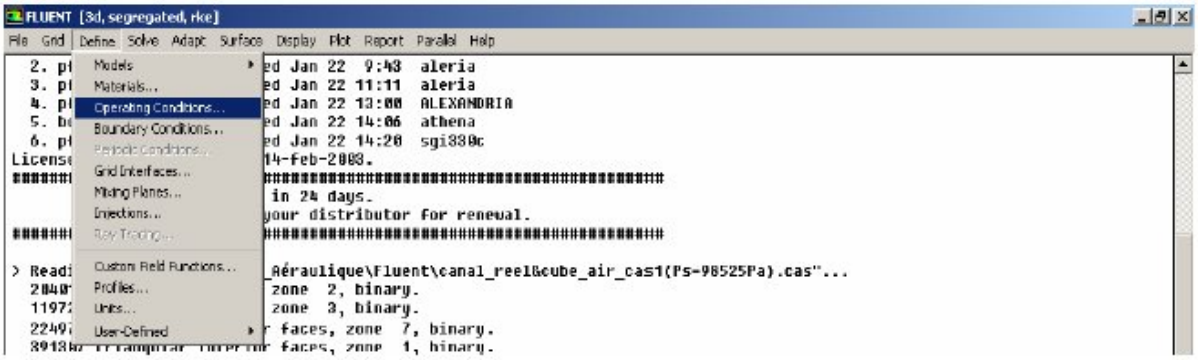


Définition des caractéristiques du fluide

Operating conditions

Define → operating conditions

Avant de choisir les conditions aux limites, il faut choisir d'abord la valeur de la pression de référence « operating condition».



Choix de la pression de référence

En effet Fluent effectue tous les calculs, avec une pression appelée gauge pressure et ce afin d'éviter les erreurs d'ordre numérique lors du calcul pour les écoulements à faible nombre de mach.la relation liant la pression absolue à la «gauge pressure »est donnée par :

$$= \quad +$$

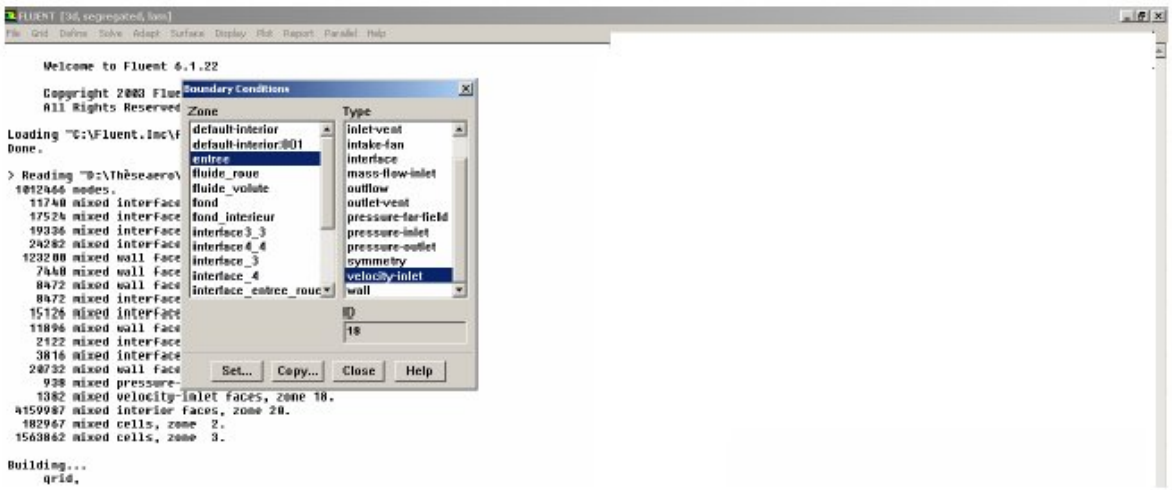
Fluent prend par défaut la valeur de la pression atmosphérique comme operating pressure.

Ensuite, il faut choisir conditions aux limites :

Condition aux limites usuelles

Define ⟶ Boundary conditions

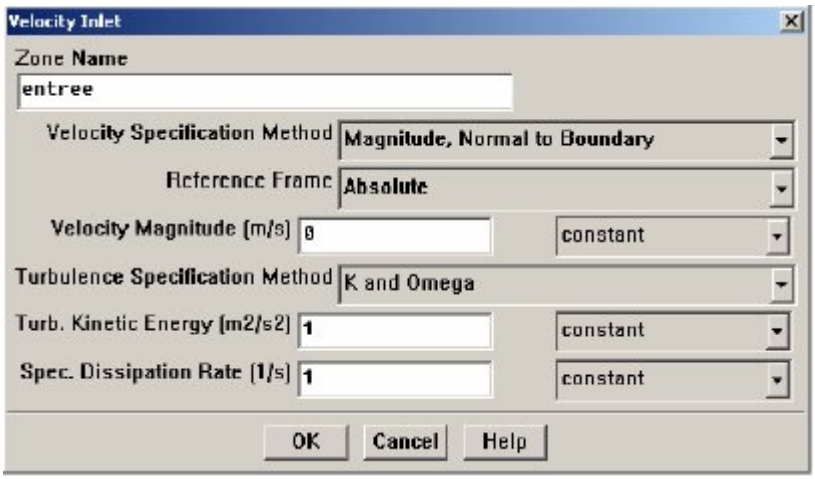
Ensuite, il faut fixer les valeurs des conditions aux limites :



Valeur au condition au limite

Volocity inlet

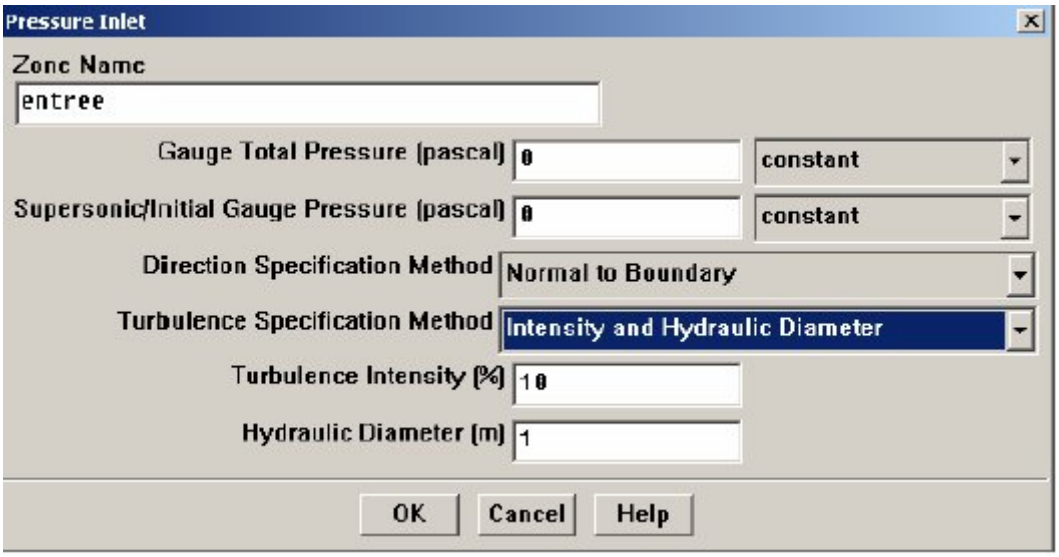
Utilisée pour les écoulements incompressible ou moyennement compressible, quand la vitesse d'entrée est connue.



Vilocity inlet

Pression inlet

Utilisée pour les écoulements compressible et incompressible.



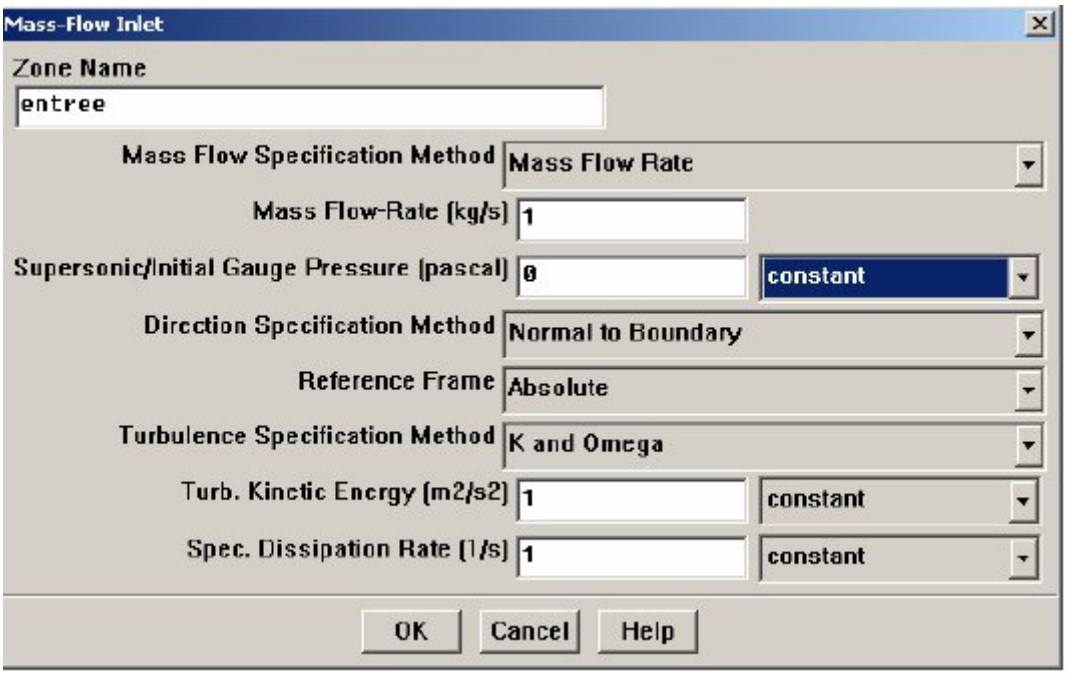
Pressure inlet

Définition de la pression totale :

$p_t = p + \rho v^2$ en écoulement incompressible

$p_t = p\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$ en écoulement compressible

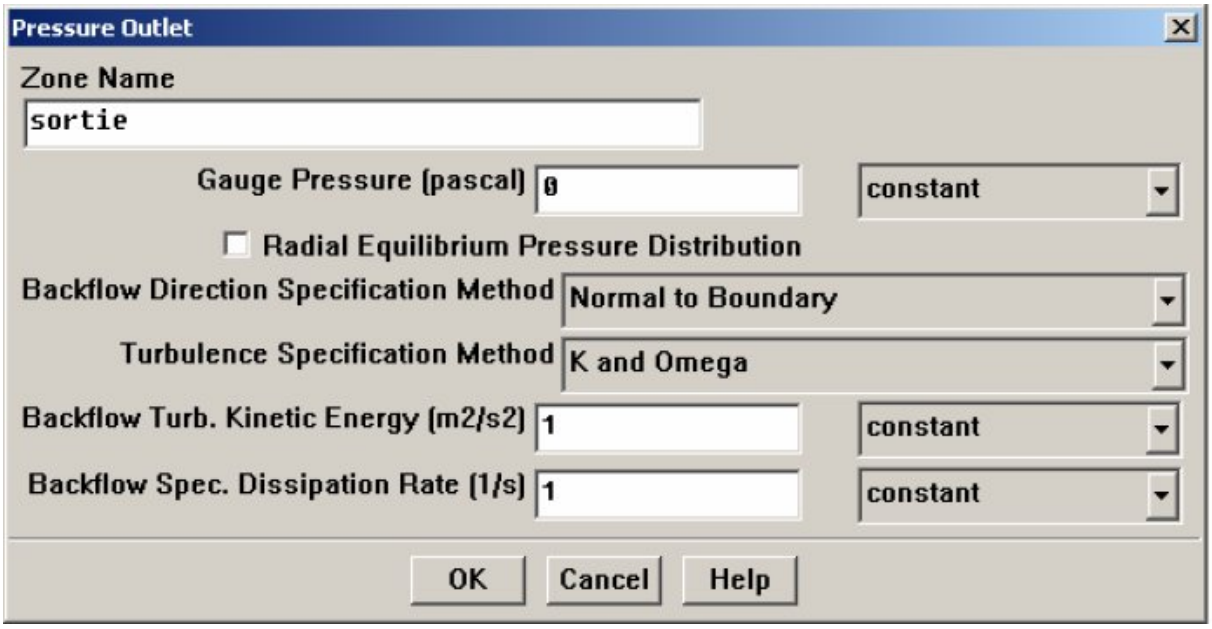
Mass flow Intel



Masse flow Intel

On impose un débit massique connu à l'entrée, il n'est pas nécessaire d'utiliser mass flow inlet en écoulement incompressible.

Pressure outlet



Pressure outlet

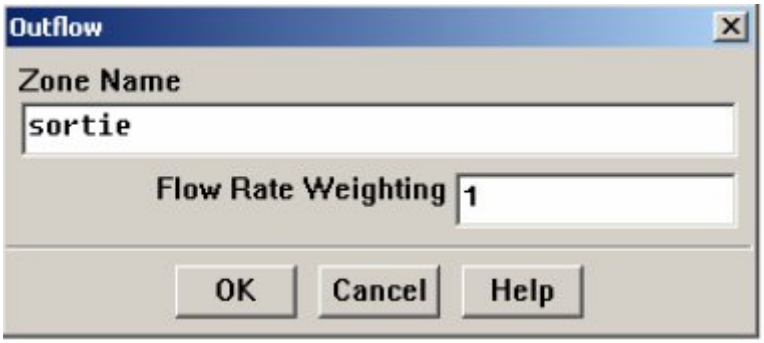
Spécifie la pression statique de sortie.

L'utilisation de pressure outlet sert à définir la pression statique à la sortie. L'utilisation de la condition pressure outlets au lieu de outflow a souvent comme conséquence une meilleure convergence.

IV.8.6.Outflow

l'outflow est utilisée pour modéliser de fluide dont on ne connait à priori les détails de la vitesse et de la pression à la sortie . il n'est pas approprié pour les calculs suivant :

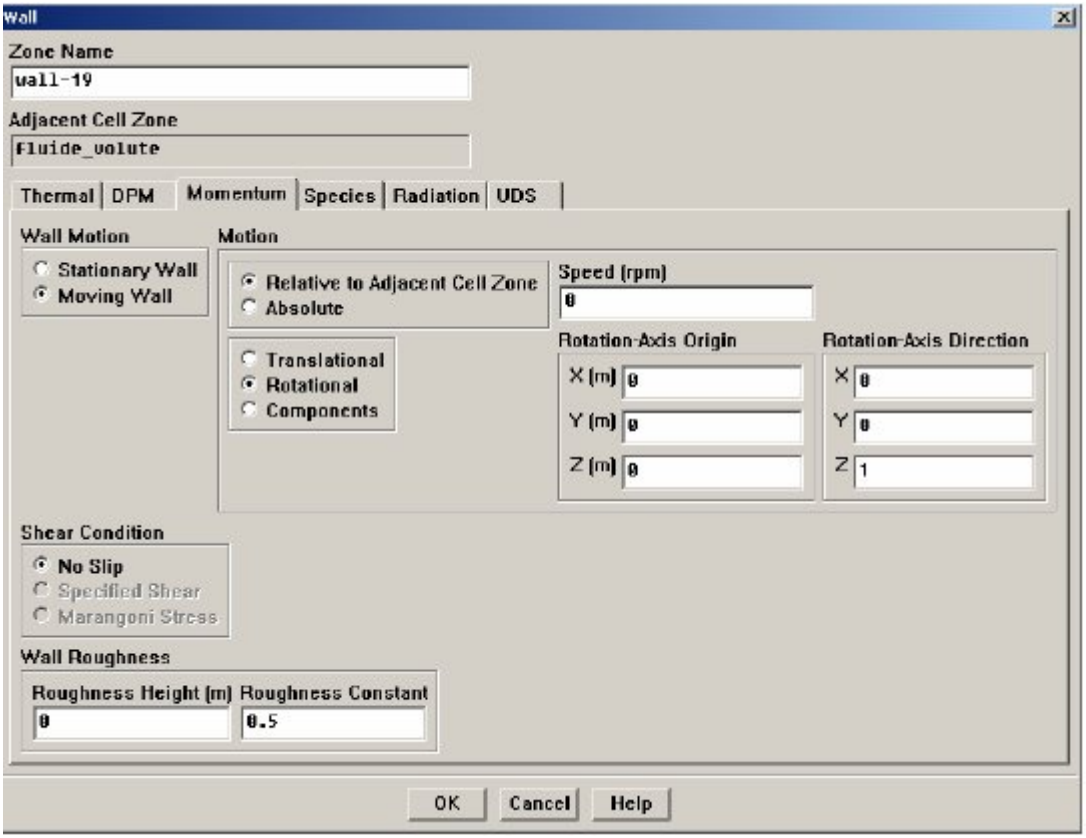
- Si le problème possède une condition de pressure inlet
- Si vous utilisez un écoulement compressible
- Si vous modélisez un écoulement instationnaire avec variation de la densité



outflow

Wall

Est utilisée pour délimiter les régions solides des régions fluides. En général on utilise les propriétés d'une paroi lisse i-e roughness height=0 et roughness constant = 0,5.

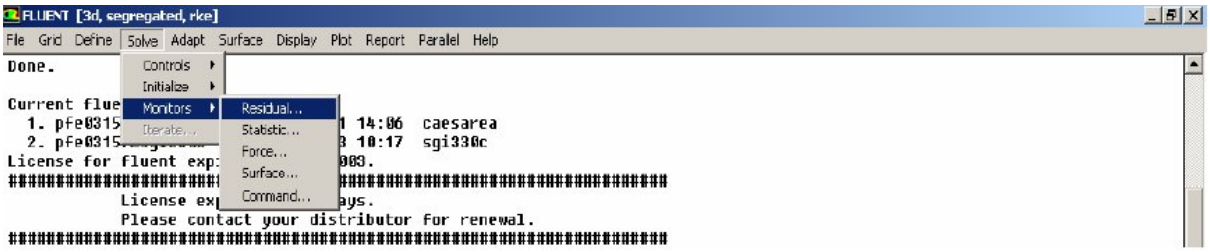


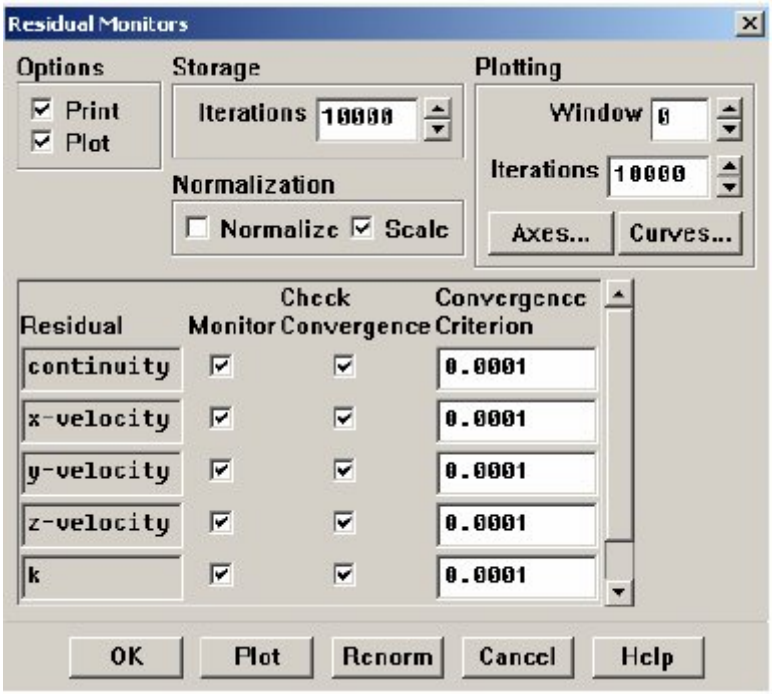
wall

Choix des critères de convergence

Slove ⟶ **monitors** ⟶ **residual….**

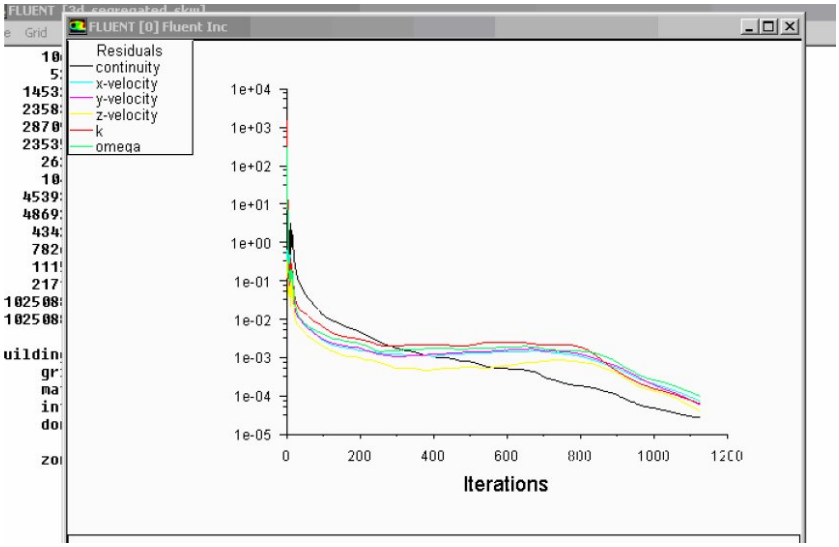
Il s'agit ici de choisir les critères qui doivent être pour que les calculs de la simulation s'arrêtent.





choix et affichage pendent les calculs des critères de convergence

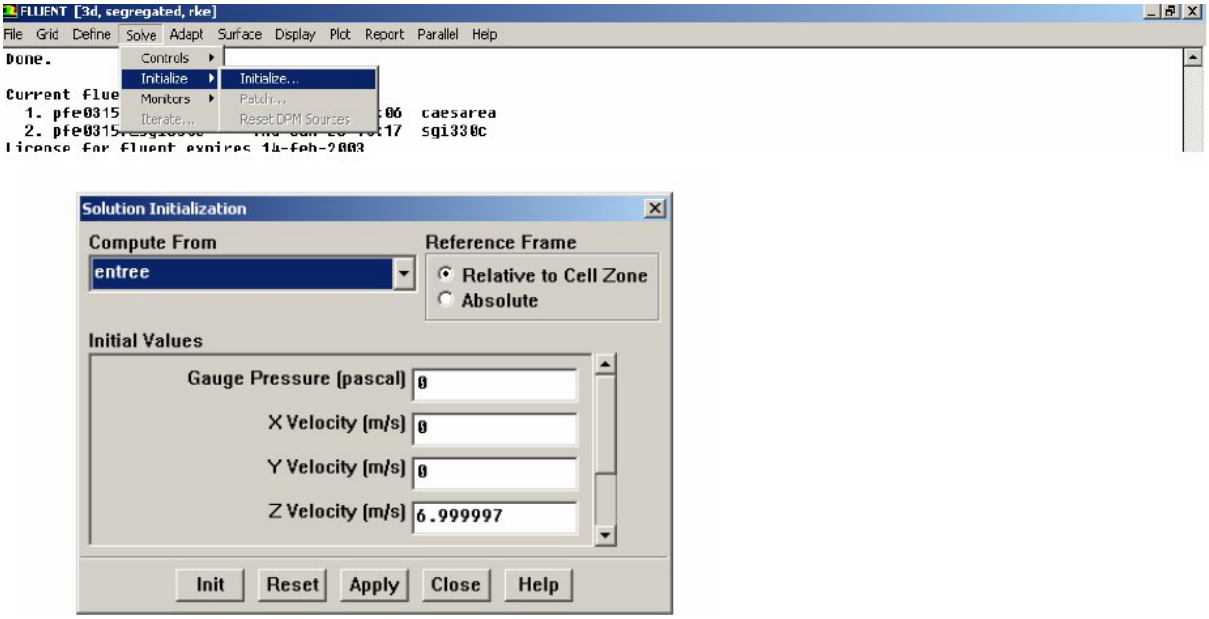
Pour afficher la convergence à l'écran pendent les calculs sous forme d'un, il faut activer l'option plot. Il est possible de désactiver critères de la simulation en décochant la case de convergence.



Allures de l'évolution des résidus de calcul

Il est conseillé dans nombreux cas d'initialiser les calculs aux conditions de l'entée.

Toutefois s'il y a un calcul qui a déjà convergé et vous désirez changer juste un paramètre (ex. Vitesse d'entrée), il est préférable d'initialiser au calcul précédemment déjà convergé.



Initialisation des calculs

Sauvegarde du fichier*.cas

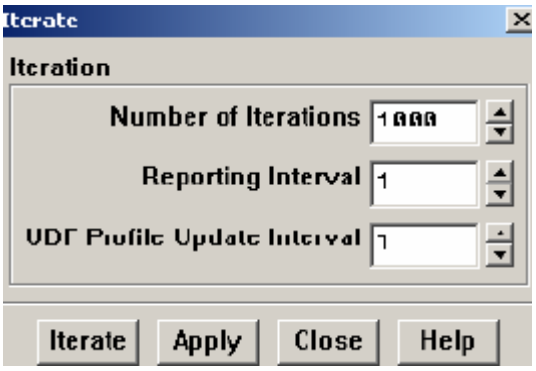
File → Write → Case

Il est conseillé que fois le paramétrage est effectué, de sauvegarder le fichier en format *.cas. S'il y a un bug durant les calculs, il suffit de le fichier *.msh, on aura pas à refaire le paramétrage.

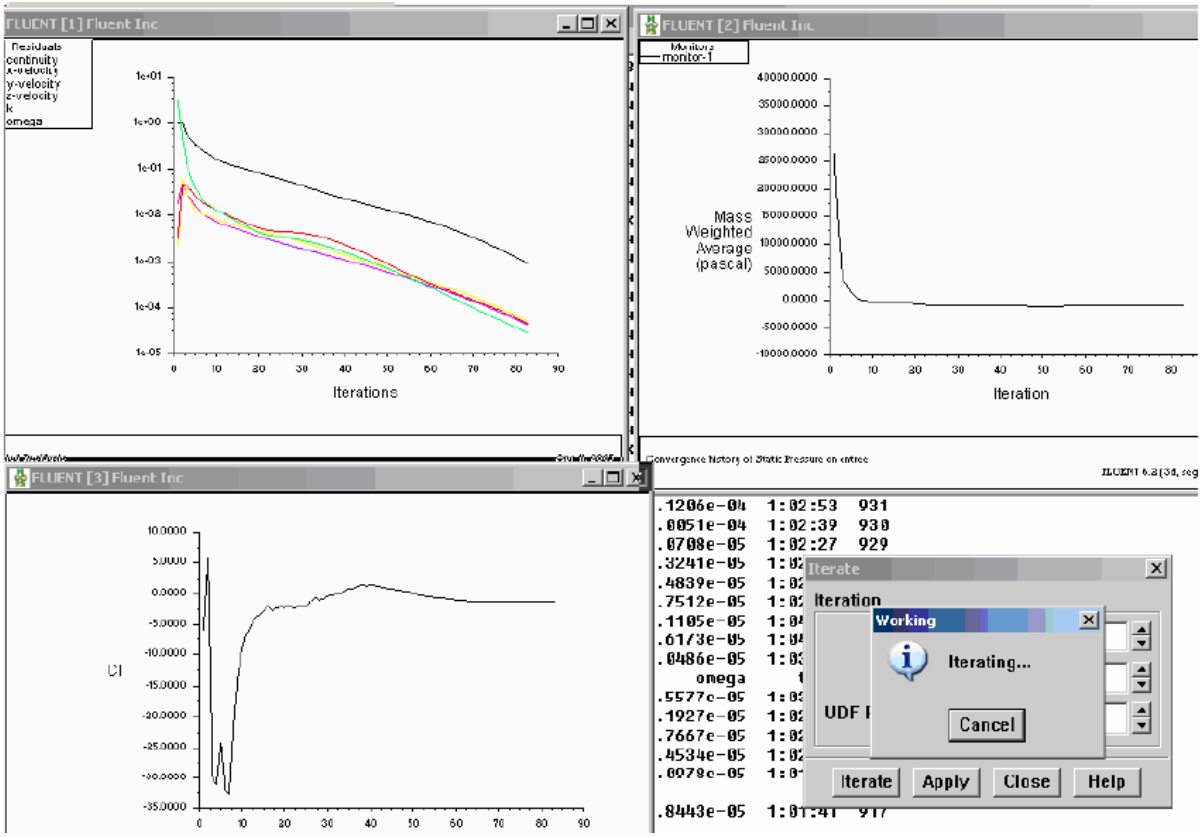
Lancement de la solution

Solve → iterate

Le paramétrage étant éfectué, il ne reste plus qu'à choisir le nombre d'itérations que Fluent devra réaliser.



Lancement de la solution

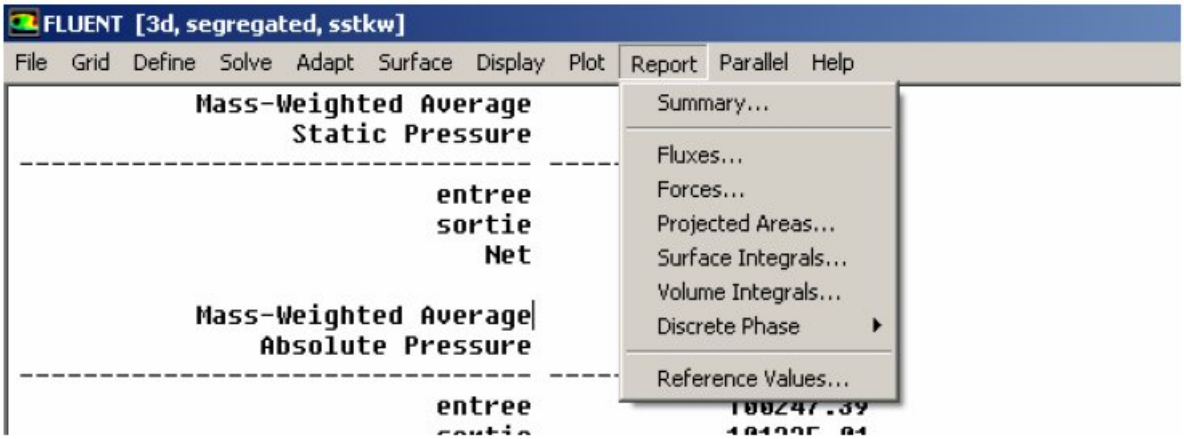


Lancement de la simulation

Post de traitement numérique de la solution

Report ⟶ **….**

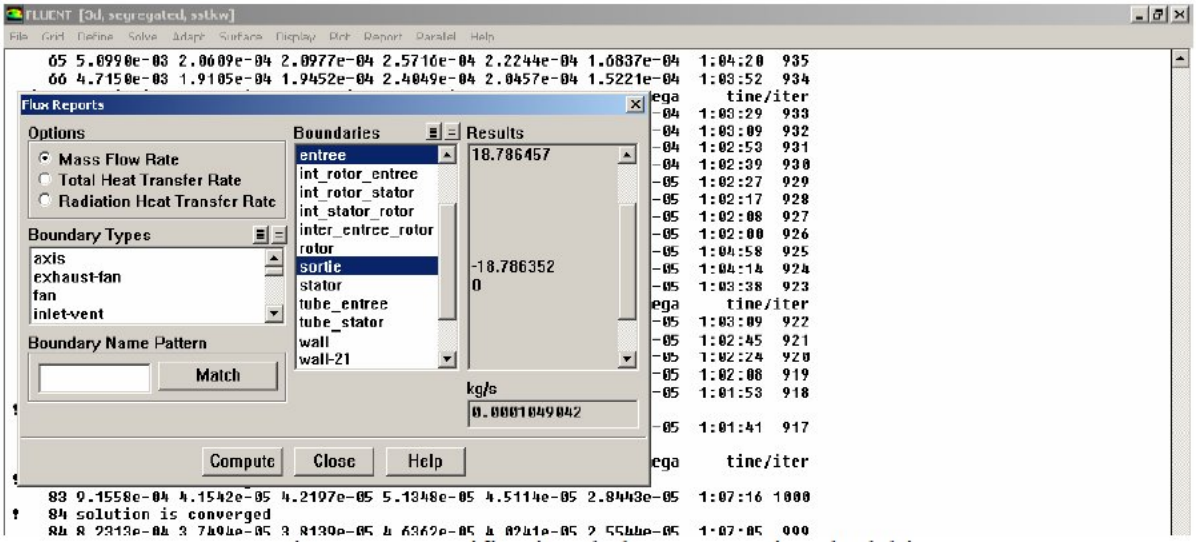
Fluent fournit des outils pour calculer et rapporter des quantités intégrales sur des surfaces et des frontières. Ces outils vous permettent de trouver le débit massique, les forces et les moments sur les frontières, l'intégrale ;le débit ,la moyenne ,et la moyenne de masse sur une surface ou un volume. En outre vous pouvez imprimer des histogrammes des données et de solution, pouvez placer des valeurs de référence pour la calcule de coefficient. Vous pouvez également imprimer ou sauver un compte rendu succint des modèles, des conditions aux limites.



poste-traitement numérique

Report ⟶ **fluxes**

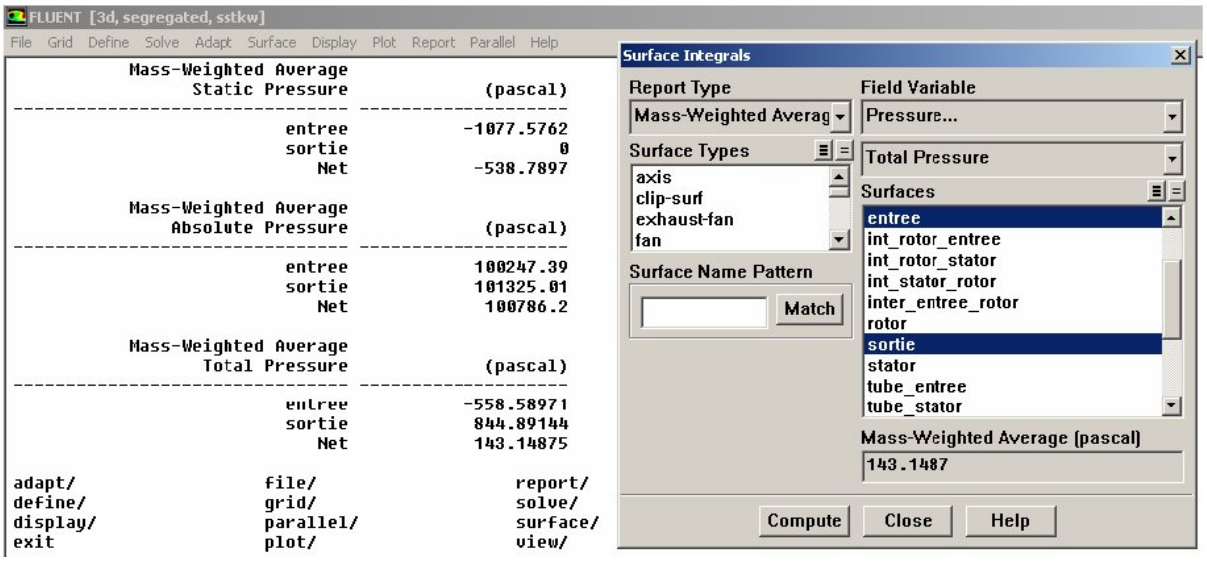
Permet de savoir si la conversation de débit est satisfaite. L'écoulement calculé ne peut être juste si cette condition n'est satisfaire. Cependant c'est une condition nécessaire et non suffisante.



Vérification de la conservation de débit

Relevé des différences de pression

En peut relever n'import quelle grandeur sur les surface du domaine de calcule. Ainsi, on peut relever la différence de pression totale entre l'entrée et la sortie.

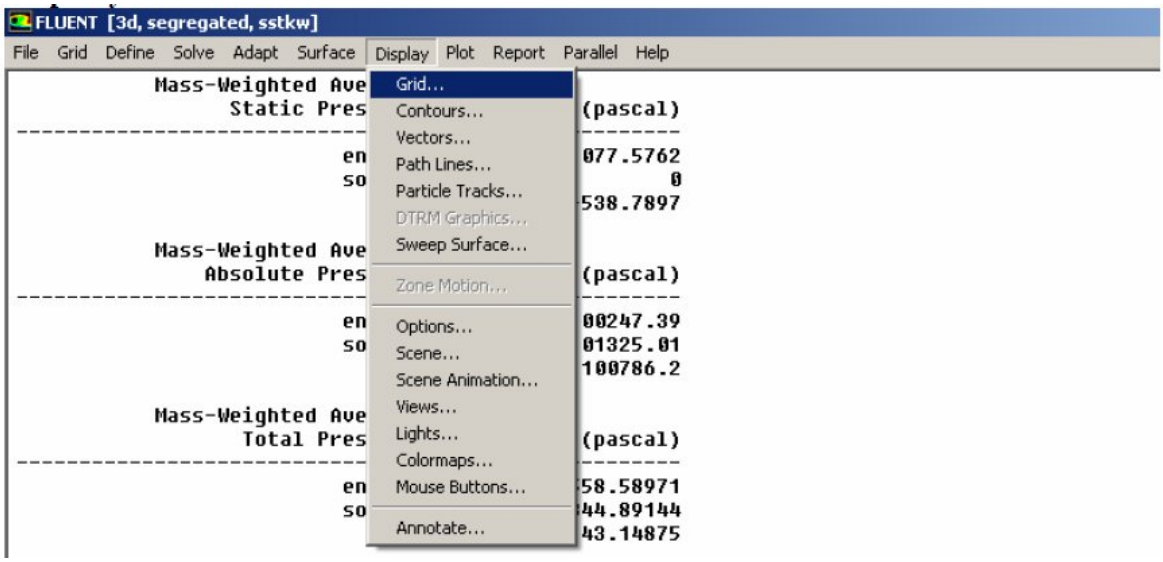


Relevé de la différence de pression

Poste de traitement graphique

Les outils graphique disponible dans FLUENT vous permettent de traiter l'information contenue dans votre solution CFD et de visionner facilement les résultats. Les sections suivant expliquent comment utiliser ces outils pour examiner votre solution.

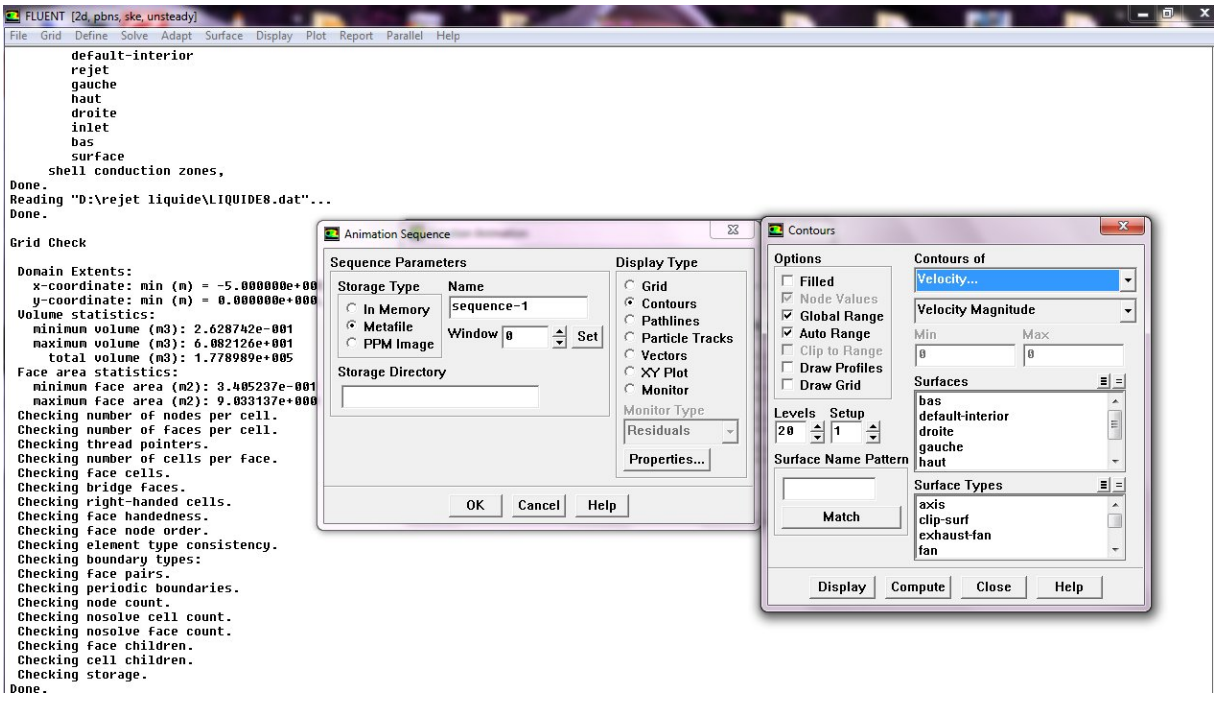
Display ⟶ **…plot** ⟶ **….**



Post-traitement graphique

Affichage des contours des différentes grandeurs

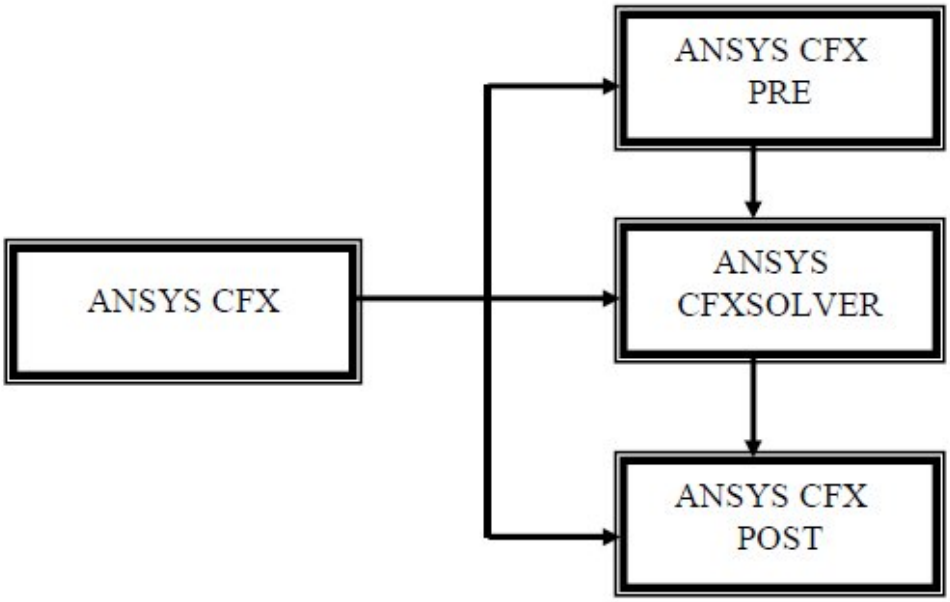
Display ⟶ contours….



Affichage du contour de vitesse

Simulation avec CFX

Le code ANSYS.CFX est un code de calcul des écoulements qui appartient à la grande famille CFD. En combinant trois modules principaux (voir figure ci-après),ce code se caractérise par une meilleure souplesse de manipulation par rapport à beaucoup d'autres codes.



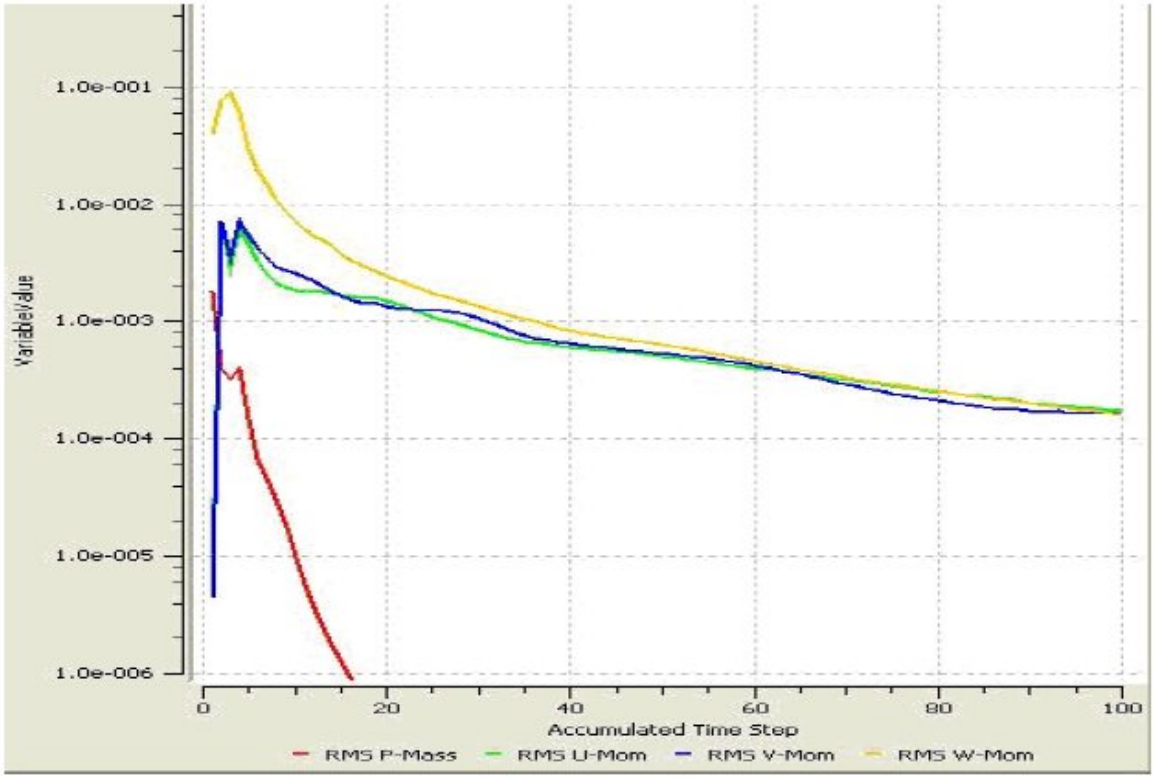
Structure générale d'ANSYS CFX

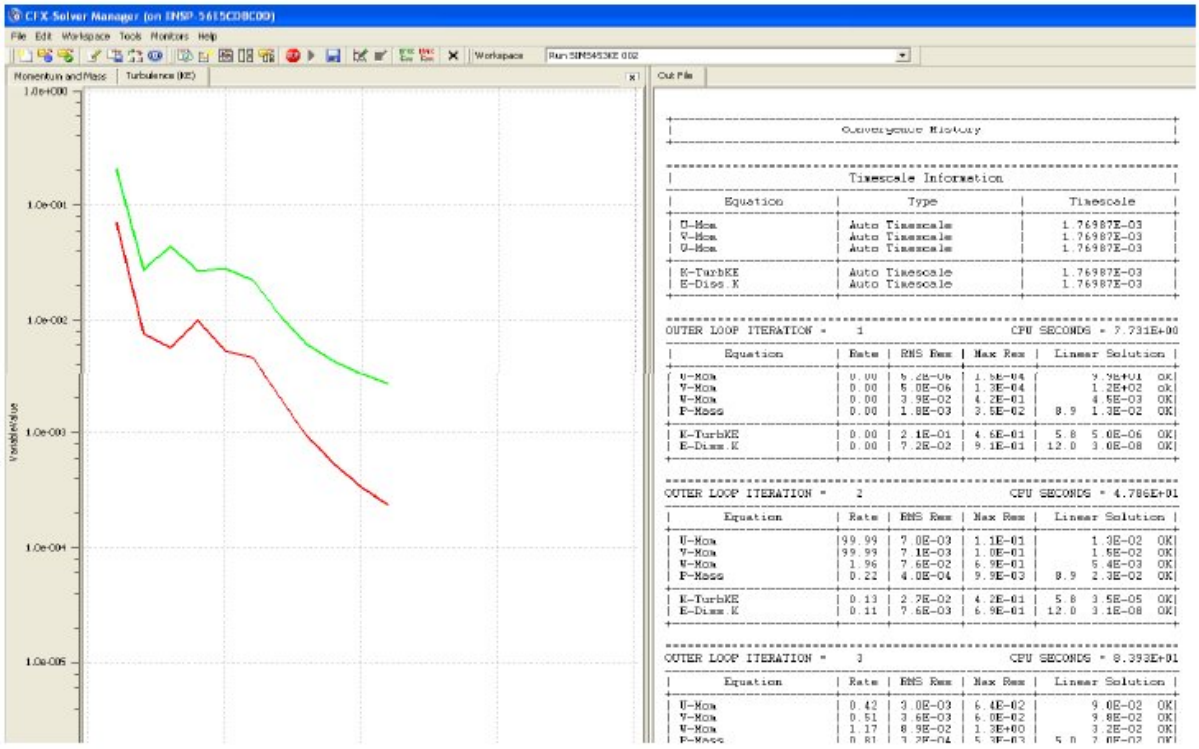
ANSYS CFX PRE

Une interface puissante pour la définition du problème(modèle choisit condition initiale, condition aux limites, propriété du fluide, etc.).

ANSYS CFX-SOLVER

C'est le solveur (solver) lui-même qui permet le retour d'information sur la progression de convergence à travers la définition d'exécution et le contrôle avec des graphes configurés pour l'utilisateur aussi bien que l'affichage de multiple exécution simultanément sur écran





Progression des calculs avec le module ANSYS CFX SOLVER

ANSYS CFX-POST

Une interface très puissante pour la représentation des résultats, graphiquement et quantitativement (courbe, ligne de courant, etc).

Discrétisation :

Les schémas de discrétisation sont des méthodes de calcul adoptées pour évaluer les grandeurs à calculer aux différents points de domaine d'étude. Ils sont choisis en fonction des problèmes traités, suivant la concordance des résultats obtenue avec les résultats physique et la stabilité numérique.

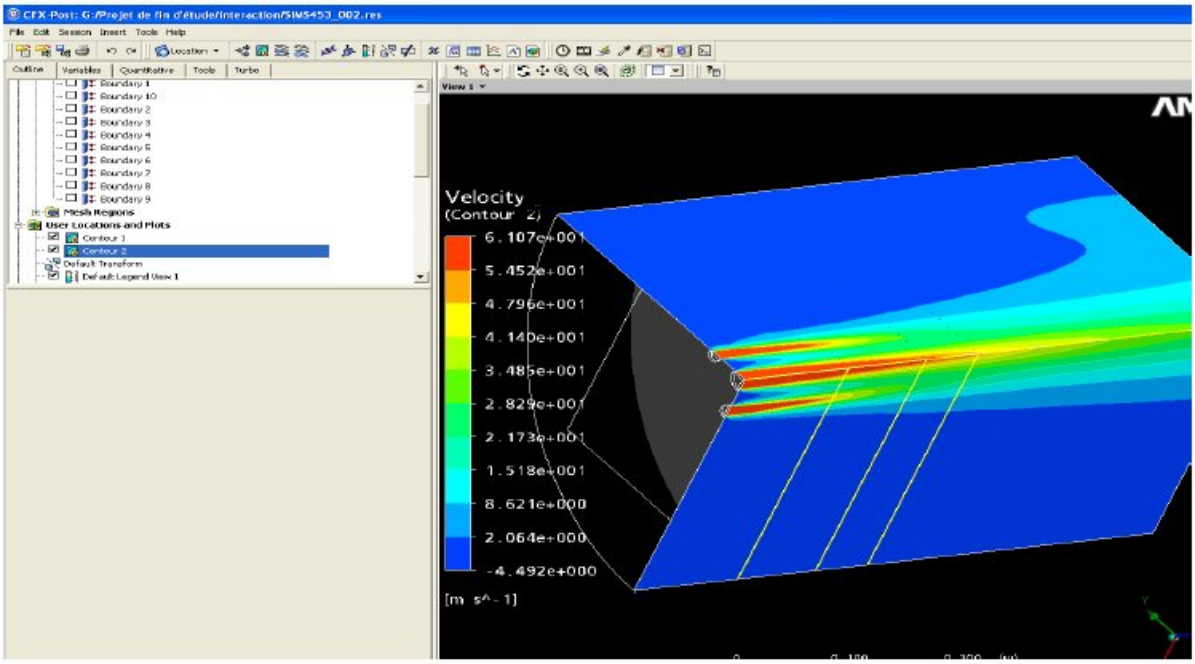
Les équations de transport ne prouvent être résolues exactement mai numériquement.

Plusieurs méthodes ont été élaborées mai la plus impressionnante est celle de PATANKAR et SPALDING, qui consiste à subdiviser le domaine d'étude en des volumes de contrôle infinitésimaux. Cette méthode de calcul est appelée méthode des volumes finis.

Le processus d'obtention d'une solution numérique consiste en deux étapes :

Etape 1 : la discrétisation des EDP et les données auxiliaires en utilisant des schémas (Upwind algébrique) et méthodes numérique (MVF) pour obtenir un système d'équations algébrique.

Etape 2 : nécessite une méthode de solution pour ce système en utilisant les algorithmes de solution tels que (TDMA thomas et SIMPLE pour le traitement explicite de la pression)



Les contours de pression dans l'interface post