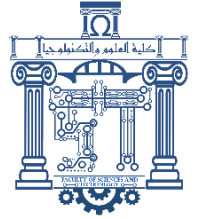




الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية
الشعبية



Republique Algerienne Democratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد الشيخ العربي
التبسي - تبسة

Université Echahid Echikh Larbi Tébessi- Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **Master Académique**

Spécialité : Énergétique

Par : BOUAZDIA SALIM

Intitule

**Etude et optimisation d'un système de
refroidissement d'un procédé de fromage à chaud**

Présenté et soutenu publiquement, le 25/06/2023, devant le jury composé de :

Président :

Dr. AGGOUN Rabah

MCB Université de Tébessa

Encadreur :

Dr. LAOUAR Roudhouane

MEB Université de Tébessa

Examineur :

Drte. ZAIDI Latifa

MAA Université de Tébessa

Promotion : 2022/2023

Remerciement

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à encadreur de mémoire, Monsieur Laouar Roudhouane. Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs de département Génie Mécanique Energétique , intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

J'adresse mes sincères remerciements au docteur Mkahlia Ala Eddine pour son aide et ses conseils et à mon grand amie docteur Nouioua Tarek pour ses conseils.

Je remercie ma mère et mon père , , qui sont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs docteur Zohra, Moufida et Hadjer , et tout mes frères , et enfin ma femme pour leurs encouragements.

je remercie

Enfin, je remercie mes

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Dedicace

A mes chers parents pour leur soutien et leurs prières

A mon pere et ma mere

A ma femme, et mon enfant chavaib

A mes sœurs et mes frères

A ma grande famille

A tous ceux qui me sont chers ...

Résumé

L'**emboutissage mécanique** est un procédé de formage de pièces non développables qui nécessite généralement des machines (presses) et un outillage très coûteux. Il est réservé aux fabrications en série et au travail des tôles épaisses qui demandent une très grande force. On distingue: l'emboutissage à froid (pratiqué à la température ambiante) et emboutissage à chaud pour lequel la tôle est portée à la température de forgeage, (800 à 850°C pour L'acier doux).

En résumé, le refroidissement d'une plaque par conduite d'eau avec chicane et son chicane est une méthode efficace pour dissiper la chaleur générée par la plaque. Les chicanes favorisent un transfert de chaleur optimal, réduisent les gradients de température et garantissent une dissipation uniforme de la chaleur. Cette approche offre une solution efficace et flexible pour maintenir la température de la plaque à des niveaux appropriés et assurer des performances optimales.

Mechanical stamping is a process for forming non-developable parts which generally requires very expensive machines (presses) and tooling. It is reserved for mass production and working with thick sheets which require very great force. We distinguish: cold stamping (practiced at room temperature) and hot stamping for which the sheet metal is brought to the forging temperature (800 to 850°C for mild steel).

In summary, cooling a plate using a water pipe with a baffle is an effective method for dissipating heat generated by the plate. The baffles promote optimal heat transfer, reduce temperature gradients, and ensure uniform heat dissipation. This approach provides an efficient and flexible solution for maintaining the plate's temperature at appropriate levels and ensuring optimal performance.

المُلخَص

الختم الميكانيكي هو عملية لتشكيل أجزاء غير قابلة للتطوير والتي تتطلب عمومًا آلات (مكابس) وأدوات باهظة الثمن. إنه مخصص للإنتاج الضخم والعمل مع الصفائح السميكة التي تتطلب قوة كبيرة جدًا. نحن نميز بين: الختم البارد (الذي يتم إجراؤه في درجة حرارة الغرفة) والختم الساخن الذي يتم من خلاله جلب الصفائح المعدنية إلى درجة حرارة الحدادة (800 إلى 850 درجة مئوية للفولاذ الطري).

باختصار تبريد الصفيحة بواسطة أنبوب ماء مع حاجز هو طريقة فعالة لتبريد الحرارة الناتجة عن اللوح. تعمل الحواجز على تعزيز النقل الأمثل للحرارة وتقليل درجة الحرارة وضمان تبريد الحرارة بشكل متساوٍ. يوفر هذا النهج حلاً فعالاً ومرناً للحفاظ على درجة حرارة اللوحة عند المستويات المناسبة وضمان الأداء الأمثل.

Sommaire

I-Introduction:	14
I-1 Définition:	15
I-2 L'emboutissage à chaud:.....	15
I-3- Etapes du procédé:	16
I-4-La trempe:	18
I-4-1-Définition du traitement thermique:	18
I-4-2- Présentation du processus de formage:	18
I-5-l'Usibor 1500	19
I-5-1-définition:.....	19
I-5-.2 application:	20
I-5-3-Caractéristiques mécaniques à froid:	21
II-2-Thermographie infrarouge:	25
II-4-Température de four:.....	26
II-5.Mesure de température.....	26
II-6-PYROMETRE OPTIQUE:	28
II-6-1- Présentation:	28
II-6-2-Principes physiques:	28
II-6-3- Principe de fonctionnement du pyromètre:	29
II-6-4-Domaine d'application:.....	29
II-7-Calcul des pertes de charge dans le système de refroidissement	31
II-7-1- Introduction :	32
a-Linéiques ou régulières :	32
b-Singulières :	32
II-7-4- calcul des pertes de charge:.....	33
II-7-4-1. Pertes de charge linéaire:	33
II-7-4-2. Détermination de λ en fonction du régime et de la rugosité.	34
II-7-5-perte charge s singulier:	36
III-1. Introduction:	40
III-2. Domaines d'applications de la CFD:	40
III-3. Définition de gambit:	41
III-3-1-géométrie:	41
III-3-2-le maillage:	42
III-3-3-Conditions aux limites et définition de domaines.....	42
III-3-4-Exportation du maillage de Gambit	43

III-4-1. Les équations gouvernantes:.....	44
III-4-2-L'équation de continuité:	45
III-4-3. L'équation de moment	45
III-4-4. L'équation de l'énergie.....	45
III-4-5. Principales modélisations de la turbulence.....	46
III-4-6. Simulation aux équations de Navier-Stokes moyennées (RANS)	46
IV-Introduction:.....	51
IV-1-GRIDE DE MAILLAGE:.....	51
IV-1-1-Géométrie:.....	51
VI-2-conditions aux limites:.....	52
VI-3-paramètre du matériel:.....	52
VI-4-Résultats de la simulation:	53
VI-4-1 Contour de la température:	53
VI-4-2-contour des vitesse :originale	54
VI-5-conclusion:	61

Liste des Figures

Figure I 1. Pièces de sécurité dans un châssis envisageables en Usibor 1500.1.....	16
Figure I -2 : le procédé d'emboutissage à chaud 1.....	17
Figure I- 3 pied de milieu voiture [10].....	17
Figure I- 5 : processus de fromage 2.....	19
Figure I- 6: poutre de pare-choc (ép.:2.3mm) [10].....	20
Figure I- 7: Renfort de porte (ép. : 1 mm) [10].....	20
Figure I- 9: évolution du module d'Young [3].....	21
Figure I 8:Pied milieu (ép. : 1,85 mm) [10].....	21
Figure II- 1: mesure température thermographe infrarouge.	25
Figure II- 3:Thermogramme de la plaque obtenue a l'aide du camera infrarouge.....	26
Figure II- 2: Montant B droite et gauche.....	26
Figure II 4: Thermogramme de la plaque obtenue a l'aide du camera infrarouge.....	27
Figure II- 5: les point des températures mesure par thermographe.....	27
Figure II 6: Pyromètre optique.....	28
Figure II 7: mesure température par pyromètre.....	29
Figure II 8: coup D-D avec chicane.....	33
Figure II- 9:-coefficient de perte de charge λ	36
Figure III- 2: menue de géométrie gambit.....	41
Figure VI- 1: coup D-D avec chicane originale.....	51
Figure VI- 2: grille de maillage coup D-D avec chicane.....	52
Figure VI 3: contour température avec chicane.....	53
Figure VI- 4: contour de vitesse d'eau dans la conduite.....	54
Figure VI- 5:contour température avec chicane améliorée.....	55
Figure VI- 6:-contour température sans chicane améliorée.....	56
Figure VI- 7: coup complet avec chicane.....	56
Figure VI- 8:contour température complet avec chicane.....	57
Figure VI- 9 : contour des vitesse complet avec chicane.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les propriétés physiques de l'eau.....	35
Tableau 2: coefficient de perte de charge singulier	37
Tableau 3: perte de charge coup D-D originale et améliorée	38
Tableau 4: Effet du débit d'eau sur la température de sortie.....	58
Tableau 5 :Effet de la température de la plaque avec chicane amélioré	59
Tableau 6: Effet de la température de la plaque sans chicane amélioré:	59
Tableau 7: Effet du débit d'eau sur la température de sortie sans chicane:	60

Nomenclature

D: diamètre de la conduit [m]

L: longueur de la conduit [m]

V: vitesse [m/s]

λ : coefficient de perte de charge

P: pression statique [bar]

Δh_l : perte de charge linéaire

G: gravities [m^2/s]

Re: Reynolds

ν : viscosité cinématique [m^2/s]

Δh_s : perte de charge singulier [bar]

Δp : pert de charge [bar]

ρ : masse volumique [kg/m^3]

K: coefficient de perte de charge singulier

τ : tenseur des contraintes [pa]

E: l'énergie interne [j]

λ_{eff} : conductivité effective [$W/m \cdot ^\circ k$]

h: enthalpie [j]

T: température [$^{\circ}k$]

λ_p : conductivité thermique de la plaque [$W/m. ^{\circ}k$]

λ_s : conductivité thermique de la solide [$W/m. ^{\circ}k$]

C_p : capacité calorifique à pression constante [j/kg-k]

I-Introduction :

L'étude et l'optimisation d'un système de refroidissement d'un procédé de formage à chaud revêtent une importance cruciale pour assurer une production efficace et de haute qualité. Dans les processus de formage à chaud, la chaleur générée par les opérations de formage peut causer des contraintes thermiques élevées et affecter la qualité des pièces produites.

Le système de refroidissement joue un rôle essentiel dans la régulation de la température du procédé de formage à chaud. Il est conçu pour extraire la chaleur excessive générée pendant le processus, ce qui permet de maintenir des conditions thermiques optimales. extraire la chaleur excessive générée pendant le processus, ce qui permet de maintenir des conditions thermiques optimales.

L'étude du système de refroidissement implique une analyse approfondie des paramètres clés tels que le débit de refroidissement, la pression, la distribution du fluide de refroidissement, les matériaux utilisés, et la conception globale du système. Des outils de simulation et de modélisation thermique sont souvent utilisés pour évaluer les performances du système et identifier les zones critiques nécessitant une attention particulières.

L'optimisation du système de refroidissement vise à améliorer son efficacité et sa performance globale. Cela peut inclure l'ajustement des paramètres de fonctionnement, l'optimisation de la géométrie des canaux de refroidissement, l'utilisation de matériaux à haute conductivité thermique, et l'introduction de techniques avancées telles que la pulvérisation ou la circulation forcée du fluide de refroidissement.

Une optimisation réussie du système de refroidissement permet d'obtenir une dissipation thermique efficace, ce qui contribue à réduire les temps de cycle, à améliorer la qualité des pièces formées et à augmenter la productivité globale du procédé de formage à chaud.



**Chapitre -I- le procédé
d'emboutissage a chaud**

I-Introduction:

Le présent chapitre se concentre sur deux aspects essentiels de la fabrication de pièces métalliques : l'emboutissage à chaud et l'utilisation de l'Usibor. Ces deux techniques jouent un rôle crucial dans l'industrie moderne, permettant la création de pièces complexes avec des propriétés mécaniques supérieures.

L'emboutissage à chaud est un processus de fabrication qui consiste à former des pièces métalliques en utilisant à la fois la chaleur et la pression. Il offre une grande précision et une résistance accrue, tout en permettant la réalisation de formes complexes et de détails fins. Ce procédé est particulièrement adapté aux métaux ductiles tels que l'acier, l'aluminium et le laiton. La température de travail élevée rend le matériau plus malléable, facilitant ainsi son façonnage.

L'Usibor, quant à lui, est un acier à haute résistance qui se distingue par ses propriétés uniques. Il est principalement utilisé dans l'industrie automobile pour les parties de carrosserie, telles que les longerons et les renforts structurels. L'Usibor est un acier de type boré qui est traité thermiquement pour obtenir des propriétés de formabilité améliorées. Grâce à sa haute résistance, il permet d'alléger les véhicules tout en maintenant leur sécurité et leur durabilité.

En conclusion, ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie de l'emboutissage à chaud et de l'utilisation de l'Usibor dans l'industrie de la fabrication de pièces métalliques. En explorant ces techniques, nous pourrions mieux appréhender leur importance et leur impact sur la conception et la production de pièces de haute qualité, durables et performantes.

I-1 Définition:

L'**emboutissage mécanique** est un procédé de formage de pièces non développables qui nécessite généralement des machines (presses) et un outillage très coûteux. Il est réservé aux fabrications en série et au travail des tôles épaisses qui demandent une très grande force. On distingue: l'emboutissage à froid (pratiqué à la température ambiante) et emboutissage à chaud pour lequel la tôle est portée à la température de forgeage, (800 à 850°C pour L'acier doux).

I-2 L'emboutissage à chaud:

L'emboutissage à chaud : principalement utilisé sur presses hydrauliques simple ou double effet, le formage de fonds de réservoir en acier est le plus important domaine d'application.

Cette technique facilite la déformation du matériau, permet l'emboutissage de pièces profondes par chauffage du flan (et de la matrice). Les cadences de production de l'emboutissage à chaud sont moins élevées que celles de l'emboutissage à froid du fait de l'inertie de chauffage. De plus les pièces finies sont de moins bonne qualité, que ce soit au niveau de l'état de surface ou du dimensionnement.

Est un procédé dédié à une classe de matériaux bien précise, les aciers trempant. Le surcoût inhérent au procédé (utilisation de fours, manipulation de flans à haute température et usure des outils) est parfaitement justifiée par les propriétés de la pièce finale, qui combinent légèreté (tôle 1,5 mm d'épaisseur), très haute limite élastique et résistance mécanique élevée.

Ce procédé est principalement utilisé dans l'automobile pour des pièces de structure du châssis. Quelques applications typiques pour l'automobile sont : les traverses avant et arrière, les renforts de portière et de pied milieu et le bras de roue (figure I.1)

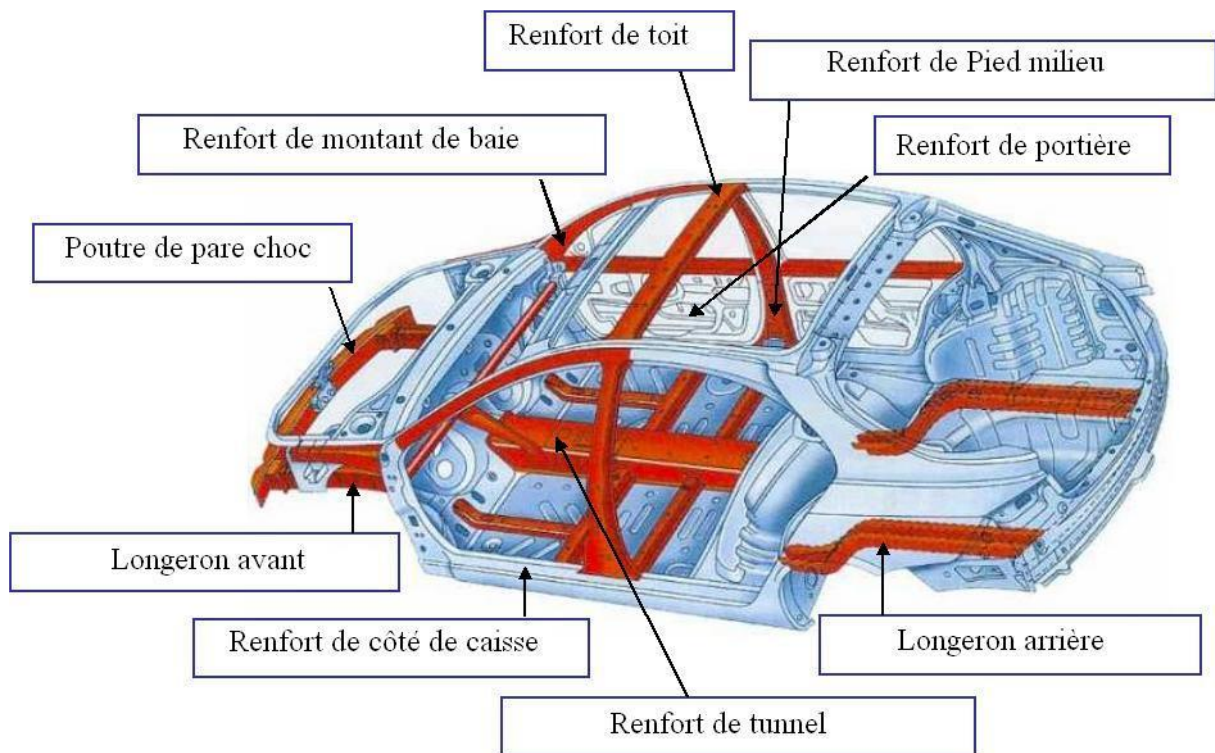


Figure I 1. Pièces de sécurité dans un châssis envisageables en Usibor 1500.[1]

I-3- Etapes du procédé:

Les différentes étapes du procédé peuvent être observées sur la figure (I-2) Les flans d'Usibor 1500 ont une épaisseur de 1.5mm et sont revêtus d'un alliage de silicate d'aluminium, d'approximativement 30 μm d'épaisseur.

2) Dans un premier temps, le flan est porté à 900°C dans un four, et maintenu à cette température pendant 5 à 10 minutes pour austénisation.

Porté à cette température, le revêtement aluminé s'allie à la tôle.

3) A ce stade, le flan est convoyé vers la presse où a lieu l'emboutissage.

4) La trempe, qui a lieu dans l'outil, doit être suffisamment rapide (supérieure à 27°C/s), pour obtenir une structure finale martensitique qui conférera à la pièce les propriétés mécaniques recherchées.

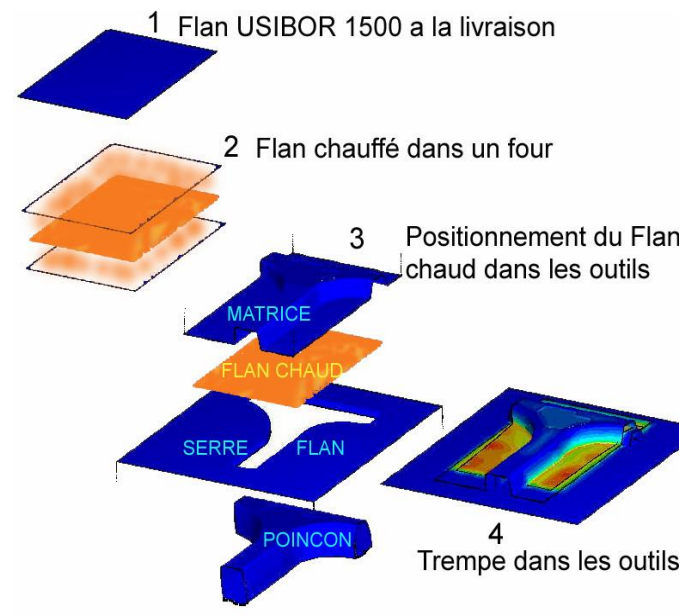


Figure I -2 : le procédé d'emboutissage à chaud [1]

Le procédé demande donc des investissements importants : presse, fours allant jusqu'à 1000°C, et outillages spécifiques éventuellement refroidis. A titre d'exemple, l'installation dédiée à l'emboutissage à chaud de renfort de pied de milieu de voitures.



Figure I- 3 pied de milieu voiture [10]

I-4-La trempe:

I-4-1-Définition du traitement thermique:

Le traitement thermique peut être défini comme étant une conjonction d'opérations de chauffage et de refroidissement appliquées aux métaux et alliages en état solide, pour obtenir des conditions ou propriétés souhaitées. Le traitement thermique des métaux implique qu'il faille augmenter la température d'un acier ou d'un alliage, très souvent via un profil thermique établi selon un seuil de température défini. Le matériau est ensuite maintenu à température pendant un certain laps de temps, avant d'être généralement refroidi à une vitesse soigneusement contrôlée ou bien par procédé de trempe à une température fixée ou à température ambiante. Les traitements sont effectués dans des fourneaux et des fours utilisant souvent des gaz pour contrôler l'atmosphère du procédé. Les atmosphères contrôlées sont utilisées pour réduire les effets de l'oxydation sur la pièce en phase de traitement ou pour créer une atmosphère enrichissante destinée aux effets de chimie superficielle. Les traitements thermiques peuvent être appliqués pour homogénéiser les alliages en métal coulé ou pour améliorer leur ouvrabilité à chaud, pour assouplir les métaux avant et pendant les opérations de traitement à chaud et à froid, ou pour modifier leur microstructure en vue d'obtenir les propriétés mécaniques requises. Les traitements thermiques des alliages métalliques sont également utilisés pour modifier la chimie superficielle d'un matériau. Cela nécessite la diffusion de carbone, d'azote ou de toute autre substance gazeuse ou solide à travers la couche de la pièce. Ces procédés sont utilisés pour durcir la couche superficielle de la pièce et pour améliorer la résistance à l'usure, à la corrosion et à la fatigue. Les traitements thermiques peuvent être classés en fonction de leur objectif Les traitements thermiques qui modifient la microstructure du matériau ou qui modifient la structure de phase afin d'améliorer les propriétés mécaniques pour des applications spécifiques ou des procédés supplémentaires.

I-4-2- Présentation du processus de formage:

Production de pièces de structure trempées.

- ✓ Les composants trempés par déformation sont des pièces en tôle d'acier qui ont été trempées lors du formage à chaud par un refroidissement défini sur l'outil froid.
- ✓ Deux procédés de fabrication sont utilisés pour les pièces de structure trempées , procédés directs et indirects.
- ✓ Dans le procédé direct, la platine découpée est chauffée à environ 950°C dans le four de réchauffage. A l'état chauffé au rouge, elle est placée dans presse refroidi à l'eau et formée en une seule opération.

- ✓ Le montant B est fabriqué directement, il est réalisé en USIBOR 1500 aluminisé à chaud en une pièce double en une seule passe.
- ✓ Matériau de départ 22MnB5 revêtu ALSI (Usibor 1500)

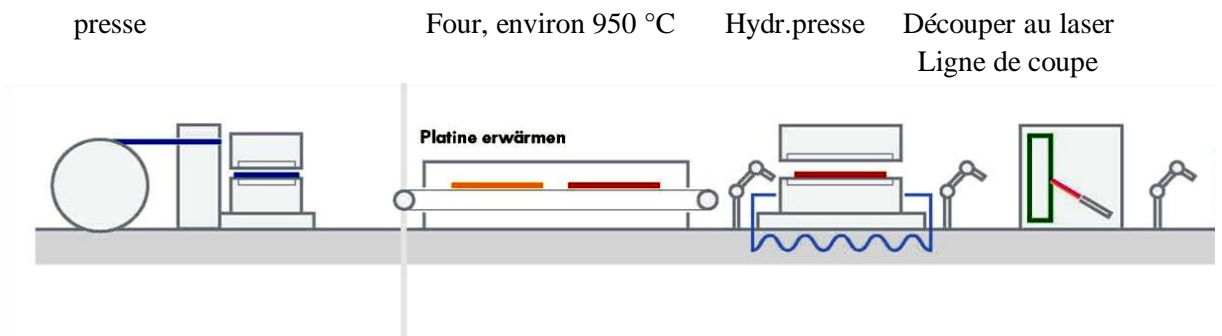


Figure I- 4 : processus de fromage [2]

I-5-l'Usibor 1500

I-5-1-définition:

L'Usibor® 1500 AlSi (revêtu aluminium - silicium) a été inventé en France, au Centre de Recherche des Produits à Chaud de Fos-sur-Mer à la fin des années 1990, et a ensuite été développé avec l'aide des autres centres de recherche du groupe. Il est né de l'intuition d'un ingénieur de recherche, Jean-Pierre Laurent, qui a eu l'idée d'utiliser l'emboutissage à chaud pour mettre en forme des aciers enrichis en bore et revêtus d'alliage d'aluminium. Ces éléments étaient déjà bien connus mais personne jusqu'alors n'avait eu l'idée de les associer.

Avec la mise au point de l'Usibor®1500 AlSi, le saut dans la résistance mécanique de l'acier a été considérable : on est passé d'aciers conventionnels laminés à froid de 600 MPa (méga pascal) à 1000 MPa au tout début de l'Usibor® puis à 1500 et aujourd'hui 2000 MPa. Cette élévation de la résistance mécanique a permis de réduire l'épaisseur des tôles utilisées pour la structure des voitures et donc de contribuer à la réduction du poids de la caisse en blanc et à leur moindre émission de CO₂ [13].

Le succès de l'Usibor® 1500 AlSi, outre les performances techniques et économiques de ce produit, doit également beaucoup aux constructeurs automobiles qui se concentraient sur l'allègement des véhicules afin de réduire leur consommation en carburant. PSA, Renault, Volkswagen, Audi et Fiat ont été les constructeurs pionniers poussant à la mise au point et l'utilisation de l'Usibor®.

Les aciers Usibor® sont des nuances mises en forme à chaud et destinées aux pièces de structures et de sécurité pour l'automobile. De par leur résistance très élevée, les aciers

Usibor® sont particulièrement adaptés pour les pièces anti-intrusion pour lesquelles un effort ultime d'effondrement élevé est recherché. Grâce à leur très bonne ductilité.

I-5-.2 application:

Les aciers Usibor® sont particulièrement adaptés pour toutes les pièces automobiles de structure nécessitant une très bonne résistance en anti-intrusion lors d'un crash.

Les applications les plus courantes sont :

- ✓ Poutres de pare-chocs avant/arrière
- ✓ Renforts de portière
- ✓ Renfort de montant de baie
- ✓ Renfort de pied milieu
- ✓ Renforts de plancher
- ✓ Renfort de tunnel
- ✓ Traverse de tablier
- ✓ Traverses de pavillon



Figure I- 5: poutre de pare-choc (ép.:2.3mm) [10]



Figure I- 6: Renfort de porte (ép. : 1 mm) [10]



Figure I 7:Pied milieu (ép. : 1,85 mm) [10]

I-5-3-Caractéristiques mécaniques à froid:

Les propriétés physiques en fonction de la température ont été fournies par Sollac, pour le 20 Mb 5 qui a une composition chimique très proche de l'Usibor 1500 . Le module d'Young en fonction de la température, ainsi que la conductivité thermique, la capacité thermique et la masse volumique pour le 20 Mb5 sont présentés sur les figures I-8.I-9.I-10et I-11

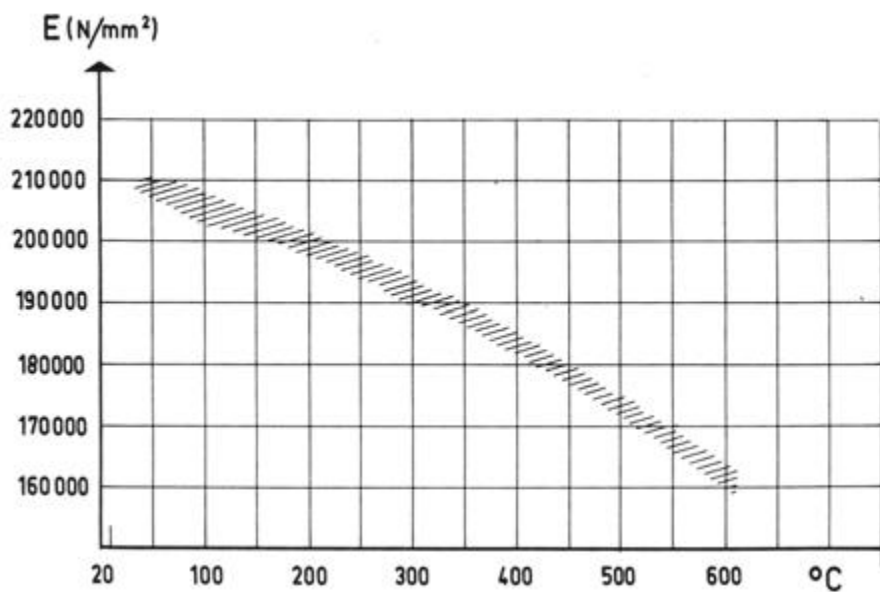


Figure I- 8: évolution du module d'Young [3]

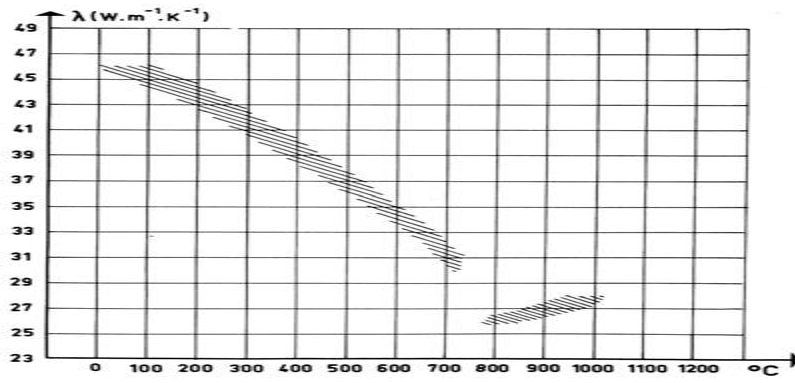


Figure I- 9: conductivité thermique [3]

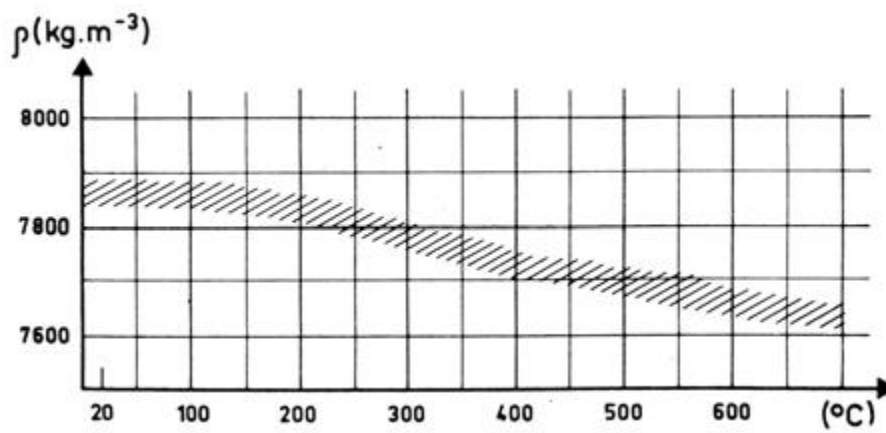


Figure I- 10: Masse volumique [3]

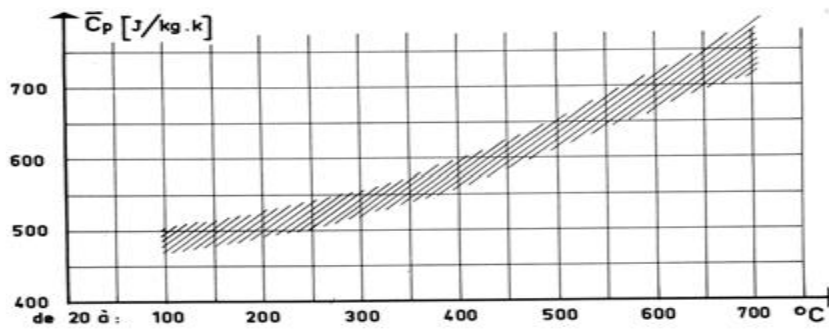


Figure I- 11: Capacité thermique. [3]



Chapitre -II- Mesure de température

II-1-introduction:

Dans ce chapitre II se concentre sur deux aspects essentiels dans de nombreux domaines industriels. la mesure de température et les pertes de charge. La mesure précise de la température est cruciale dans de nombreux processus, allant de la surveillance des conditions de fonctionnement des machines à la garantie de la sécurité des équipements et des opérations. D'autre part, les pertes de charge, qui se réfèrent à la perte d'énergie due à la résistance au flux, jouent un rôle majeur dans les systèmes de fluide, tels que les conduites et les circuits hydrauliques.

nous examinerons en détail les appareils de mesure de température les plus couramment utilisés dans l'industrie. Nous discuterons des principes de fonctionnement des la thermographe, . et des pyromètres, en mettant l'accent sur leur précision, leur plage de mesure est leurs application spécifiques.

En conclusion, ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie des appareils de mesure de température et des pertes de charge dans le contexte industriel. En explorant ces concepts, nous pourrons mieux appréhender les outils disponibles pour surveiller et contrôler les conditions thermiques, ainsi que les facteurs qui influent sur l'efficacité des systèmes de fluide. Cette connaissance est essentielle pour assurer des opérations sûres, optimisées et efficaces dans diverses industries, telles que l'énergie, la chimie, l'automobile et bien d'autres.

II-2-Thermographie infrarouge:

La thermographie infrarouge est une méthode de mesure à distance utilisant les propriétés de la lumière infrarouge. La carte thermique (rayonnements ou températures) obtenues par cette méthode s'appelle un thermo gramme: c'est un instantané mesurable d'un phénomène thermique statique ou dynamique. L'instrument de mesure est une camera infrarouge, dite aussi camera thermographique, camera de mesure infrarouge ou analyseur thermique. En thermographie infrarouge, on travaille généralement dans une bande spectrale qui s'étend de 2 à 15 μm et plus particulièrement dans les fenêtres 2-5 μm et 7,5-13 μm .

II-3-Principe :

La camera infrarouge capte au travers d'un milieu transmetteur les rayonnements émis par une scène thermique. Le système radiométrique convertit la puissance de rayonnement en signaux numériques ou analogiques : ceux-ci sont transcrits en température par le calculateur et transformés en points lumineux sur un écran. L'image ainsi obtenue s'appelle « Thermo gramme ». Sur quel principe est basée la thermographie ? Le principe de la Thermographie infrarouge repose sur le phénomène physique selon lequel chaque corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet un rayonnement électromagnétique. Chaque corps émet donc son propre rayonnement, qui dépend directement de sa température et de sa nature (notion d'émissivité des matériaux).



Figure II- 1: mesure température thermographe infrarouge.[5]

II-6-PYROMETRE OPTIQUE:

II-6-1- Présentation:

La pyrométrie optique est une méthode de mesure de la température basée sur la relation entre la température d'un corps et le rayonnement optique (infrarouge ou visible) que ce corps émet[7].

Les capteurs utilisés sont donc des capteurs optiques, photo-électriques ou thermiques. L'intérêt de la pyrométrie optique est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet ; c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales n'autorisent pas l'utilisation de capteurs thermométriques classiques :

- Température très élevée (supérieure à 2000 °C) ;
- Mesures à grande distance ;
- Environnement très agressif ;
- Pièce en mouvement ;
- Localisation des points chauds.



Figure II 6: Pyromètre optique

II-6-2-Principes physiques:

Tout corps émet spontanément et en permanence un rayonnement électromagnétique dont le spectre continu a une répartition énergétique fonction de la température : c'est le rayonnement thermique. Les lois de cette émission sont d'abord établies pour un corps idéal, le corps noir, caractérisé par une absorption totale de tout rayonnement incident ; le rayonnement thermique d'un corps réel, selon son pouvoir absorbant, se rapproche plus ou moins de celui du corps noir [7].

II-6-3- Principe de fonctionnement du pyromètre:

Tout objet émet des radiations. Un pyromètre mesure l'énergie correspondant aux radiations émises par un objet dans le domaine de l'infrarouge. Cette énergie est convertie en une valeur de température. Un pyromètre est donc un appareil qui permet de mesurer la température de l'objet sans contact direct avec celui-ci. Le pyromètre est composé d'une lentille qui focalise l'énergie des radiations infrarouges émises par l'objet sur un détecteur puis convertit cette énergie en un signal électrique lui-même converti en température.

II-6-4-Domaine d'application:

Les pyromètres trouvent une application assez large dans les industries où un grand nombre de dispositifs de chauffage sont installés. Dans les applications de construction et de chauffage, ils sont utilisés pour calculer la perte de chaleur des structures et le pyromètre permet de détecter les dommages causés à l'isolation.

Dans l'industrie, ces appareils permettent d'analyser à distance la température de toutes sortes de processus. Cela est nécessaire, par exemple, dans l'ingénierie mécanique, la métallurgie et d'autres industries.



Figure II 7: mesure température par pyromètre

Par exemple, les électriciens vérifient le chauffage aux points de connexion des fils et les mécaniciens automobiles vérifient le chauffage des pièces de la machine. Les scientifiques peuvent utiliser les pyromètres pour mener des recherches ou des expériences afin de vérifier la température des substances et des corps.

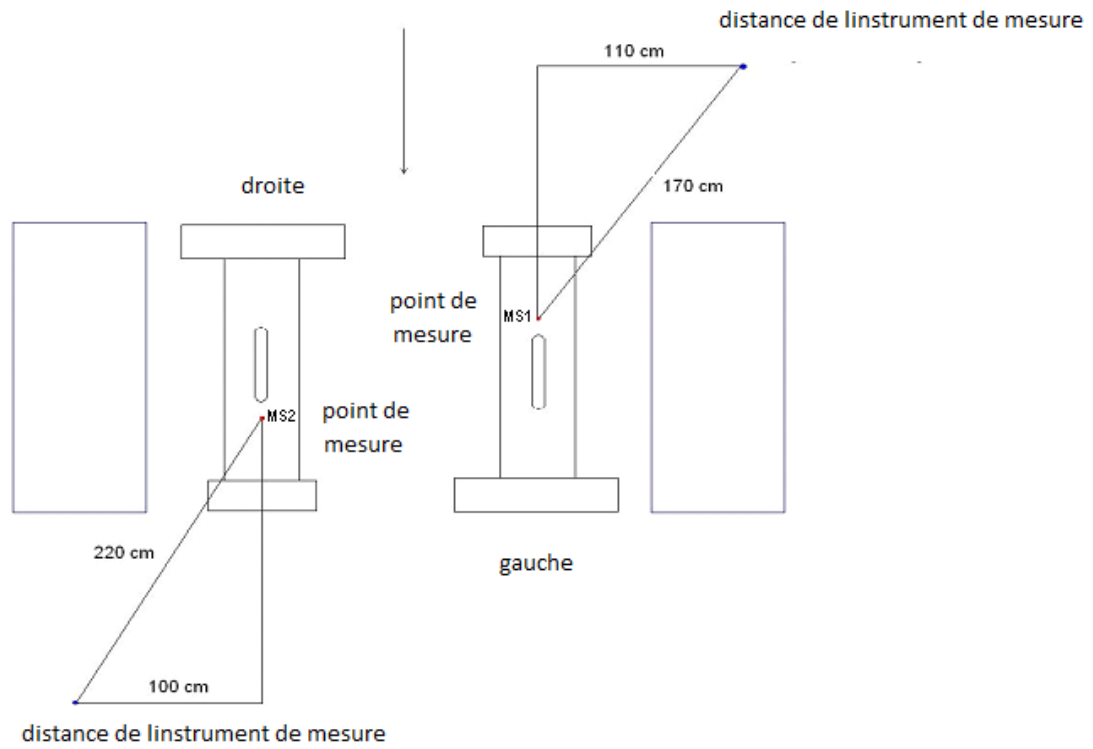


Figure II-7 point de mesure et positionnement de l'instrument de mesure

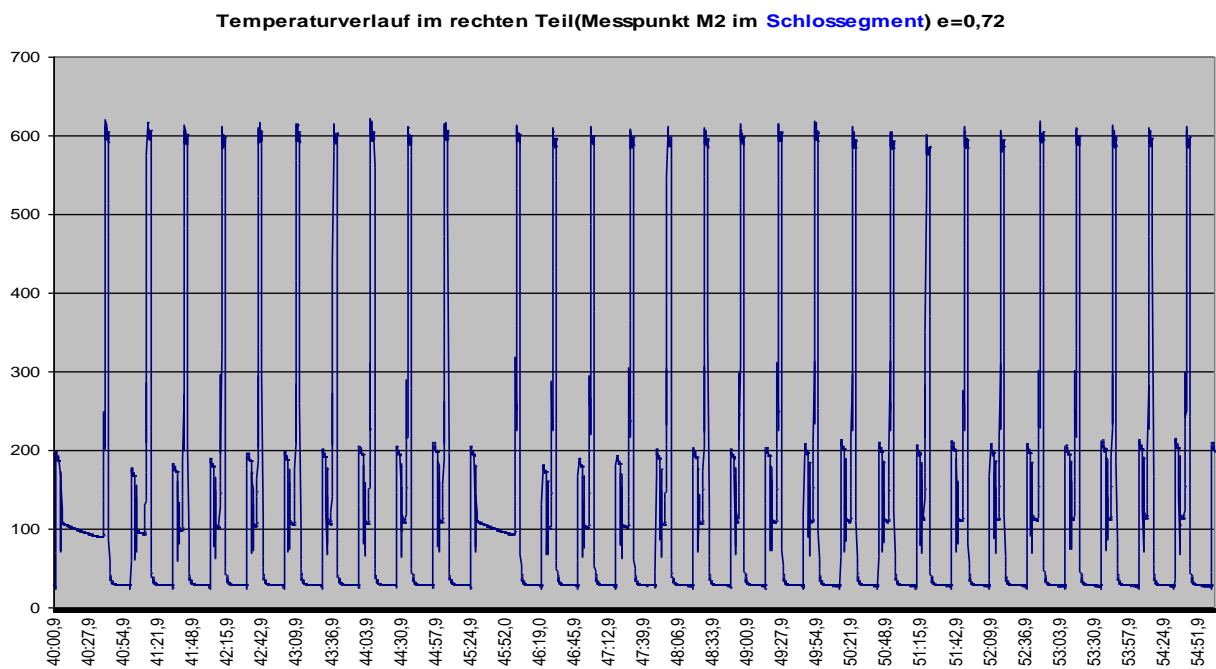
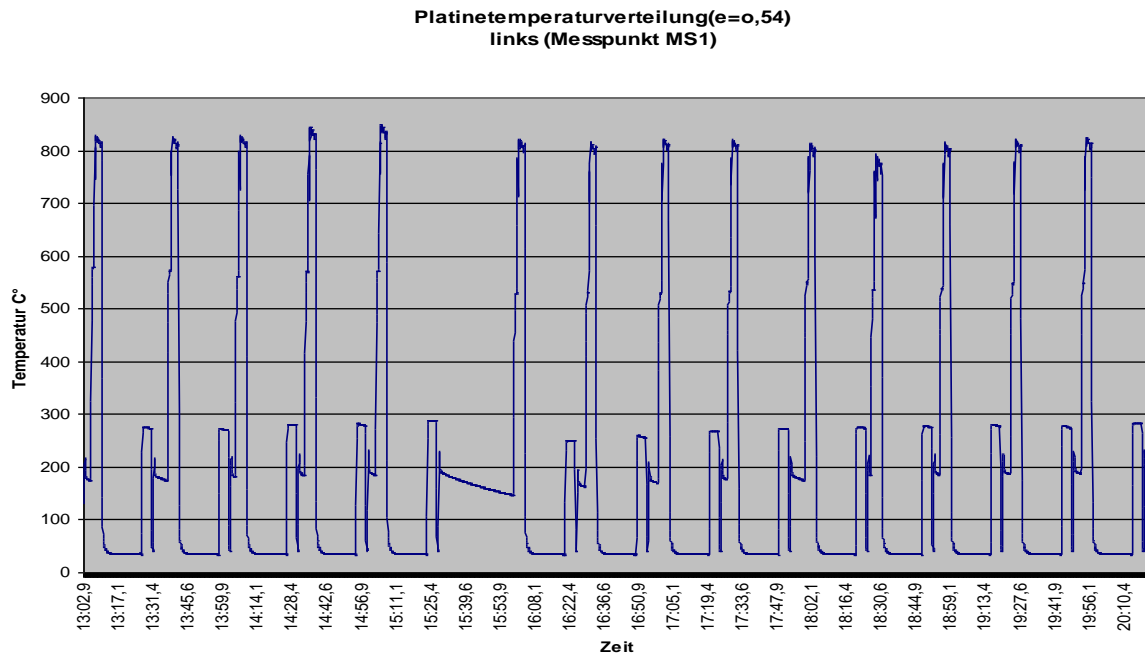


Figure II-8-Température mesure au point M2 partie droite



FigureII-9- Division de la température du circuit imprimé à droite (point de mesure MS2)

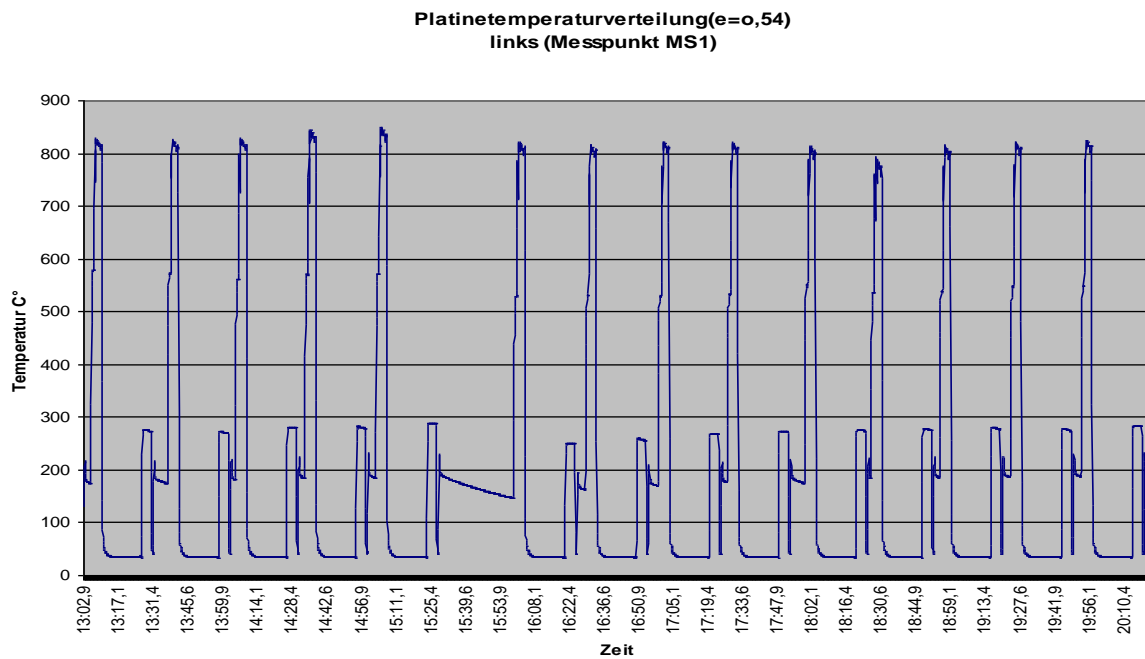


Figure II-10 Division de la température du circuit imprimé à gauche (point de mesure MS1)

Les figure (II-8,II-9,II-10) représente les points des mesure expérimente qui enlevé par pyromètre.

II-7-Calcul des pertes de charge dans le système de refroidissement

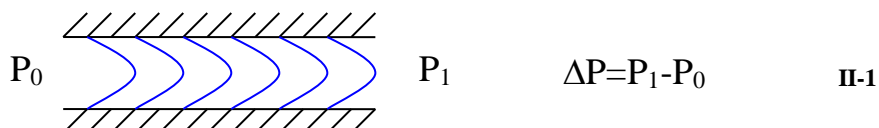
II-7-1- Introduction :

La perte de charge est l'énergie hydraulique dissipée en énergie calorifique. Cette dissipation résulte du frottement sur les parois des canalisations des particules de fluide se trouvant au voisinage de celles-ci.

- Les pertes de charge peuvent être :

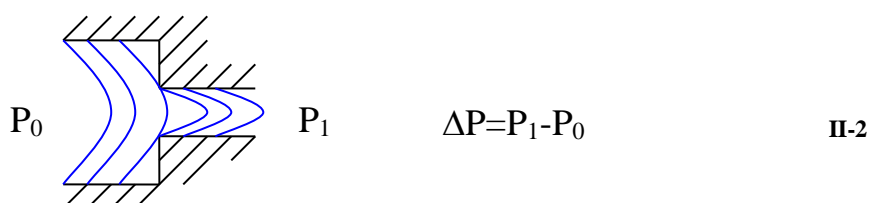
a-Linéiques ou régulières[5] :

les pertes de charge dites régulières qui interviennent dans toutes les canalisations à cause de la présence de paroi. On note la perte de charge ΔP .



b-Singulières :

provoquées par la présence des obstacles sur une conduite : vanne, coude, rétrécissement, élargissement,... Ces obstacles provoquent également des pertes à cause des tourbillons créés par ces accidents.



•La perte de charges totale n'est que la somme de la perte de charge linière Δhl et la perte de charge singulière Δhs .

$$\Delta P = \Delta h_l + \Delta h_s \quad \text{II-3}$$

Δh_l : perte de Linéiques ou régulières.

Δh_s : perte de charge singulières.

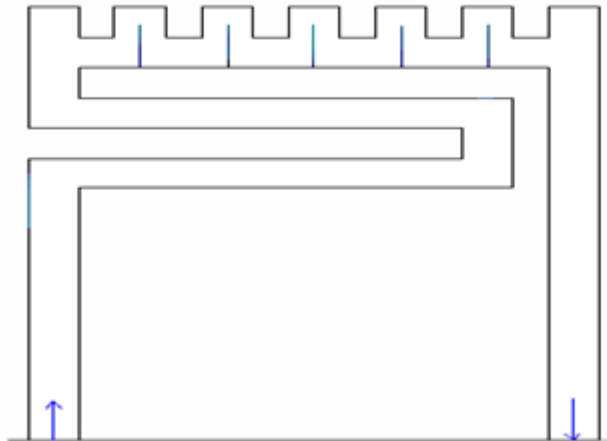


Figure II 8: coup D-D avec chicane

II-7-4- calcul des pertes de charge:

II-7-4-1. Pertes de charge linéaire:

L'expression de la perte de charge linéaire dans une conduite est donnée par la loi suivante

$$\Delta h_l = \lambda \frac{lv^2}{2Dg} \quad \text{II-4}$$

D= diamètre de la conduite (**m**)

L= longueur de la conduite en (**m**)

V= vitesse $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

λ =coefficient de perte de charge. Il dépend de la nature de l'écoulement de l'état de surface de la conduite sans unité.

II-7-4-2. Détermination de λ en fonction du régime et de la rugosité.

Le coefficient de perte de charge λ dépend du type d'écoulement et de la qualité de tube.

A- Pour $Re < 2100$ (régime laminaire)

Les pertes de charges sont dans ce cas assez simple à calculer car elles ne dépendent pas de la rugosité de la canalisation. Formule de Poiseuille :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{II-5}$$

Dans cette relation λ est un coefficient sans dimension de charge qui tient compte de l'influence de divers paramètres, tels que : la rugosité et la viscosité du fluide par l'intermédiaire du nombre de Reynolds.

Le coefficient de perte de charge λ dépend de lois empiriques différentes suivant le régime d'écoulement [8].

- ✓ On distingue trois régimes d'écoulement :
- ✓ Le régime laminaire, dans lequel l'écoulement est calme et régulier.
- ✓ Le régime turbulent, dans lequel l'écoulement est une suite de tourbillons et de remous. [11]

Le régime de transition, qui se situe entre les deux précédents et dans lequel l'écoulement est incertain ou instable pouvant être soit laminaire, soit turbulent soit passer d'un régime à l'autre.

La nature du régime d'écoulement se détermine par le « nombre de Reynolds » qui a pour expression :

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad \text{II-6}$$

V = vitesse d'écoulement. $\frac{m}{s}$

d = diamètre de conduite. m

ν = viscosité cinématique de fluide. [m^2/s].

-régime laminaire $Re < 2000$.

-régime turbulent $Re > 3000$.

-régime transition $2000 < Re < 3000$.

Le coefficient de perte de charge λ dépend du type d'écoulement et de la qualité de tube.

B- $Re > 3000$ on distingue deux formules de λ :

-pour une conduite lisse $\lambda = 0.3164 \sqrt[4]{Re}$

-pour une conduite rugueuse $\frac{1}{\lambda} = 1.14 - 2 \log \frac{\epsilon}{d}$

-pour notre étude on calcule le nombre de Reynolds:

le fluide utilisé dans notre étude est l'eau. Les propriétés physiques de l'eau sont données dans le tableau suivant:

Tableau 1: Les propriétés physiques de l'eau

Viscosité	Diamètre	Masse volumique	Vitesse d'entrée
$\nu \left(\frac{m^2}{s} \right)$	$d(m)$	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	$v \left(\frac{m}{s} \right)$
$0.963 \cdot 10^{-6}$	0.02	1000	1.38

$Re = 28000 > 2000$ c'est un écoulement turbulent.

$$\lambda = 0.3164 \sqrt[4]{Re} = 0.024$$

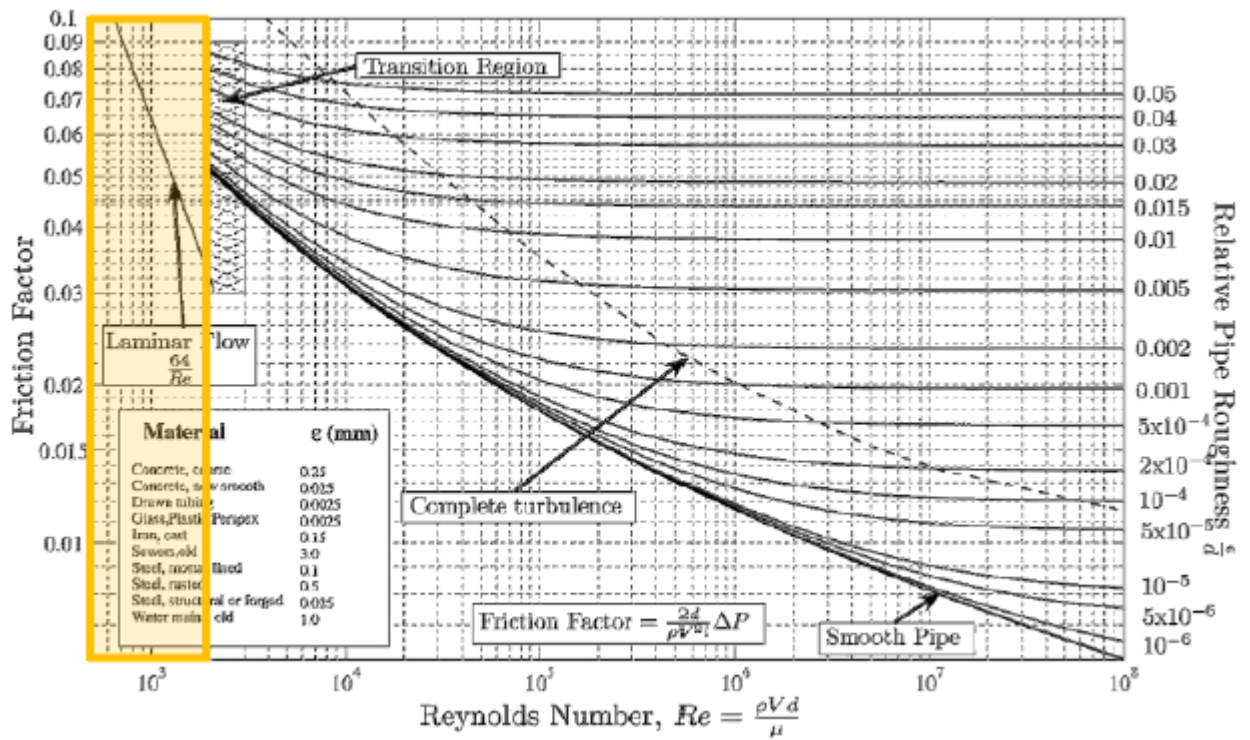


Figure II- 9:-coefficient de perte de charge λ [5]

$$\Delta h_l = \lambda \sum_{i=1}^8 \frac{L_i * V^2}{d_i * 2g}$$

L(m)	2.8	3.45	0.72	2.56	0.92	0.42	4.63	
d(m)	0.02	0.32	0.32	0.32	0.28	0.28	0.28	

$$\Delta h_l = 0.0049 \text{ bar}$$

II-7-5-perte charge s singulier:

Quand la conduite subit de brusque variation de section ou de direction, il se produit des pertes de charges dites singulières, elles sont généralement mesurable et font partie des caractéristiques de l'installation.

$$\Delta h_s = k \frac{\rho * v^2}{2} \quad \text{II-7}$$

k = est le coefficient de perte de charge singulière.

ce coefficient est déterminé expérimentalement. le coefficient k est donner pour différentes configurations pratique dans le tableaux suivant:

Tableau 2: coefficient de perte de charge singulier

		Diamètre du tube acier inox, cuivre ou plastique				
		8 ÷ 16 mm	18 ÷ 28 mm	30 ÷ 54 mm	> 54 mm	
		Diamètre du tube acier				
		3/8" - 1/2"	3/4" - 1"	1 1/4" - 2"	> 2"	
Type de résistance singulière		Symbole				
Coude serré à 90°	$r/d = 1,5$		2,0	1,5	1,0	0,8
Coude normal à 90°	$r/d = 2,5$		1,5	1,0	0,5	0,4
Coude large à 90°	$r/d > 3,5$		1,0	0,5	0,3	0,3
Coude serré en U	$r/d = 1,5$		2,5	2,0	1,5	1,0
Coude normal en U	$r/d = 2,5$		2,0	1,5	0,8	0,5
Coude large en U	$r/d > 3,5$		1,5	0,8	0,4	0,4
Élargissement			1,0			
Restriction			0,5			
Dérivation simple avec T équerre			1,0			
Jonction simple avec T équerre			1,0			
Dérivation double avec T équerre			3,0			
Jonction double avec T équerre			3,0			
Dérivation simple avec angle incliné (45° - 60°)			0,5			
Jonction simple avec angle incliné (45° - 60°)			0,5			
Dérivation avec amorce			2,0			
Jonction avec amorce			2,0			

Tableau II-1 : coefficient de perte de charge singulier [5]

-d'après le tableaux $k=1.5$ pour un coud de 90°.


$$\Delta h_s = k \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 0.157 \text{ bar}$$

$$\Delta h_t = \Delta h_s + \Delta h_l = 0.162 \text{ bar}$$


comparaison perte de charge coup D-D originale et améliorée dans le tableau ci dessous

coupe	Langueur L(mm)		Singularité (coude 90)		Perte de charge (bar)		Temps (s)	
	original	Amélioré	originale	Amélioré	originale	Amélioré		
A-A,1	1324	801	7	3	0.352449	0.243823		
B-B,2	1160	728	8	4	0.361923	0.311076		
C-C,1	1324	932	8	4	0.10716	0.056799		
D-D,1	1352	860	8	4	0.41555	0.383989		
E-E,2	1164	724	8	4	0.36197	0.311029		
F-F,1	1412	1020	8	4	0.108218	0.057846		
G-G,1	1216	844	7	3	0.351163	0.301031		
H-H,2	1222	802	7	3	0.351235	0.310576		
A-A,2	1228	755	7	3	0.351308	0.310029		
Circuit 1	6628	4464	38	18	1.33454	1.023487	4.8	3.23
Circuit 2	4774	3010	30	14	1.426434	1.24271	3.46	2.18
Circuit complet	11042	7474	68	32	2.760974	2.266198	8.26	5.41
	3928		36		0.494776		2.85	
					17.90 %		34.50 %	

Tableau 3: perte de charge coup D-D originale et améliorée



Chapitre III :
simulation numériques des systèmes de
refroidissement



III-1. Introduction:

La simulation par CFD est une approche informatique qui résout les équations mathématiques gouvernant le comportement des fluides, en utilisant des méthodes numériques. Elle permet de modéliser et de visualiser les écoulements de fluides, tels que l'air ou l'eau, dans des systèmes réels ou virtuels. La CFD permet de prédire des paramètres clés tels que la pression, la vitesse, la température et la distribution des forces, ce qui est essentiel pour l'optimisation des performances et la compréhension des phénomènes des fluides.

pour résoudre le problème de simulation en utilise un logiciel **CFD** est l'abréviation de «Computational Fluid Dynamics» (Dynamique des fluides numérique). Il s'agit d'un domaine de la physique qui inclut toutes les méthodes numériques permettant d'étudier un écoulement de fluide (liquides et gaz) dans un environnement donné.

D'autre part, la méthode de volume fini est une technique numérique utilisée pour discrétiser le domaine d'étude en volumes finis. Elle divise le domaine en une série de cellules, où les équations de conservation sont appliquées. La méthode de volume fini permet de résoudre les équations de flux et de transfert de chaleur dans chaque cellule, en prenant en compte les interactions entre les cellules voisines. Cela permet d'obtenir des résultats précis sur les écoulements de fluides et les transferts de chaleur dans les systèmes complexes.

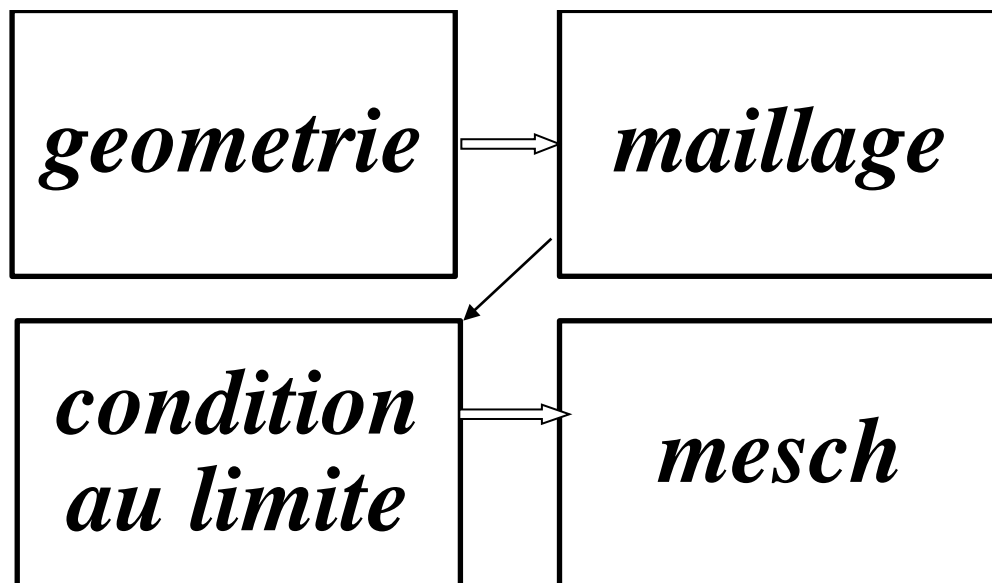
III-2. Domaines d'applications de la CFD:

L'analyse CFD a des applications dans de nombreux secteurs pour concevoir ou améliorer les systèmes ou développer de nouveaux produits. On peut citer celles de

- Industries de l'automobile et de l'aérospatiale.
- Industries des procédés et de la chimie.
- Turbomachines (ventilateur, turbine, compresseur, soufflantes et pompes, etc.)
- Centrale thermique et nucléaire.
- Combustion, incendie et pollution de l'environnement.
- Chauffage et ventilation des bâtiments, des voitures, des bus et des avions civils.
- Pour définir la géométrie en utilise logiciel de **gambit**.

III-3. Définition de gambit:[6]

Le logiciel Gambit est un préprocesseur qui permet de réaliser ou d'importer des géométries (surface ou volume) en 2D ou 3D simple ou complexes, il permet de créer plusieurs types de maillage (structuré, non structuré ou hybrides) en coordonnées cartésiennes, polaire, cylindrique ou axisymétriques et de spécifier.



III-3-1-géométrie:

Ce menu permet de créer des volumes, des surfaces, des lignes et des points. On peut également modifier des géométrie importées.

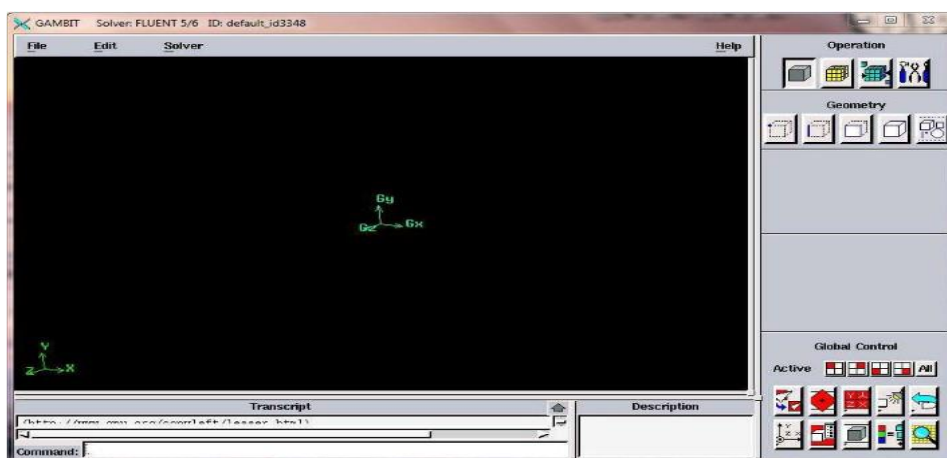


Figure III- 1: menu de géométrie gambit

III-3-2-le maillage:

Le maillage d'un domaine est donc un compromis entre précision recherchée et lourdeur de calcul. Les mailles primitives sont des triangles ou des quadrilatères en 2D. En 3D, on peut utiliser des tétraèdres, prismes, pyramides.

Le maillage est composé d'une grille structurée ou non structurée ou la combinaison des deux types de grilles.

III-3-3-Conditions aux limites et définition de domaines

Plusieurs types de conditions aux limites sont disponibles selon le problème traité. À noter que l'espace maillé est pris par défaut comme étant fluide. Le nom donné à la frontière est très important car il sera repris sous Fluent, et si les noms ne sont pas clairs on risque de mélanger les limites.

Le meilleur Gambit peut générer des maillages que beaucoup de solveurs peuvent utiliser, ainsi nous devons spécifier le logiciel solveur avec lequel on veut traiter le fichier maillage.

Le choix du type de frontière varie en fonction du solveur considéré pour résoudre le problème.

Les types de conditions aux limites usuels sont:

✓ **Velocity inlet** : Utilisée pour des écoulements incompressibles ou moyennement compressibles, quand la vitesse d'entrée est connue.

✓ **Pressure Inlet** : Utilisée pour les écoulements compressibles et incompressibles.

✓ **Mass Flow Inlet** : On impose un débit massique connu à l'entrée, il n'est pas nécessaire d'utiliser Mass Flow Inlet en écoulement incompressible.

✓ **Pressure Outlet** : L'utilisation de ce type sert à définir la pression statique à la sortie. L'utilisation de la condition "*Pressure Outlet*" au lieu de "*Outflow*" a souvent comme conséquence.

✓ **Outflow** : Cette condition est utilisée pour modéliser les sorties de fluide dont on ne connaît a priori les détails de la vitesse et de la pression à la sortie. Il n'est pas approprié pour les calculs suivants :

✓ Si le problème possède une condition de "*Pressure inlet*".

✓ Si vous modélisez un écoulement compressible.

✓ Si vous modélisez un écoulement instationnaire avec variation de la densité.

✓ **Wall** : Ce type est utilisé pour délimiter les régions solides des régions fluides. En général

on utilise les propriétés d'une paroi lisse.

III-3-4-Exportation du maillage de Gambit

Une fois que la géométrie a été créée, que les conditions aux limites ont été définies, il faut exporter le maillage, *.msh pour que Fluent soit capable de le lire et de l'utiliser.

On peut ensuite fermer Gambit en sauvegardant la session (si on souhaite la rouvrir) et lancer Fluent.

III-4- LOGICIEL FLEUNTE:

Fluent est un code CFD commercial très utilisé dans l'industrie. Il permet de résoudre les écoulements fluides et le transfert de chaleur pour différents type de problèmes. Il peut par exemple calculer la portance d'une aile d'avion, la traînée d'une voiture, le refroidissement decircuits électroniques par de l'air ventilé...etc.

En démarrant le logiciel Fluent on doit choisir les dimensions du domaine de calcule (2Dou 3D), et la précision que doit utilisé le logiciel, simple précision ou double précision.

En démarrant le logiciel Fluent on doit choisir les dimensions du domaine de calcule (2Dou 3D), et la précision que doit utilisé le logiciel, simple précision ou double précision.

L'utilisation de Fluent est simple, il suffit de suivre l'ordre des menus en générale enpartant de la gauche pour aller vers la droite et du haut vers le bas. Les principales étapes de simulation sous FLUENT sont les suivantes :

1. Importation de la géométrie (*.msh)
2. Vérification du maillage importé
3. Lissage du maillage (Smooth and swap the grid)
4. Vérification de l'échelle
5. Choix du solveur
6. Affichage de la grille
7. Choix du modèle de turbulence
8. Définition des caractéristiques du fluide
9. Operating conditions
10. Conditions aux limites
11. Choix des critères de convergence

12. Initialisation des calculs
13. Sauvegarde du fichier *.cas
14. Lancement de la simulation
15. Post-traitement de la solution.

III-4-Méthodes des volume finie:

La méthode des volumes finis famille de méthodes numériques reposant sur une partition du domaine en volumes de contrôle, largement décrite par Patankar (1980), consiste à discrétiser le ρ domaine de l'écoulement en une multitude de volumes de contrôle puis d'effectuer des bilans (masse, de quantité de mouvement.....) sur ces petits volumes, pour lesquels seule une valeur moyenne des inconnues est calculée. Pour des lois de conservation, les échanges entre volumes de contrôle se font par l'intermédiaire de flux, de manière automatiquement conservative.

L'avantage déterminant des volumes finis par rapport aux autres méthodes est qu'ils sont conservatifs, tout ce qui sort d'un volume de contrôle entre dans un autre.

Les méthodes de volumes finis sont utilisées depuis longtemps pour la simulation numérique en mécanique des fluides. Elles permettent d'approcher des solutions presque nécessairement discontinues, tout en conservant de bonnes propriétés (conservativité , précision, monotonie, etc...).

III-4-1. Les équations gouvernantes:

Les équations fondamentales de la dynamique des fluides sont basées sur les lois universelles de conservation et de bilans suivantes (Pletcher, et al., 2013) :

- ✓ Conservation de la masse
- ✓ Bilan de la quantité de mouvement
- ✓ Conservation de l'énergie

L'équation de continuité est le résultat de l'application de la loi de la conservation de la masse à un écoulement de fluide. L'équation du bilan de la quantité de mouvement n'est rien que la deuxième loi de Newton. L'application de cette loi à un écoulement de fluide donne une équation vectorielle appelée équation du mouvement. La loi de la conservation de l'énergie est

identique à la première loi de la thermodynamique et l'équation du moment qui en résulte est connue sous le nom de l'équation de l'énergie (Pletcher, et al., 2013).

Ces équations s'écrivent comme suit :

III-4-2-L'équation de continuité:

L'application de la loi de conservation de la masse à un fluide qui traverse un volume de contrôle fixé et infinitésimal donne l'équation de continuité qui s'écrit comme suit (Pletcher, et al., 2013) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = 0 \quad (III - 1)$$

III-4-3. L'équation de moment

L'application de la seconde loi de Newton à un fluide qui traverse un volume de contrôle fixé et infinitésimal donne l'équation du moment suivante (ANSYS, 2020) :

$$\frac{\partial(\rho \vec{v})}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\bar{\tau}) + \rho(\vec{g}) + \vec{F} \quad (III - 2)$$

Où p est la pression statique, $\bar{\tau}$ est le tenseur des contraintes de viscosité du fluide, et $\rho \vec{g}$ et \vec{F} sont respectivement la force de gravité et autres forces volumiques externes.

III-4-4. L'équation de l'énergie

L'application de la première loi de la thermodynamique sur un fluide qui traverse un volume de contrôle fixé et infinitésimal donne l'équation de l'énergie interne E (Pletcher, et al., 2013). ANSYS Fluent résout l'équation de l'énergie dans la forme suivante (ANSYS, 2020) :

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla(\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla(\lambda_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \vec{v})) + S_h \quad (III - 3)$$

Où :

λ_{eff} est la conductivité effective et \vec{J}_j est la diffusion du flux des espèces j .

- $\frac{\partial(\rho E)}{\partial t}$ est le terme temporel
- $\nabla(\vec{v}(\rho E + p))$ est la variation de l'énergie par convection
- $\lambda_{eff} \nabla T$ est la variation de l'énergie par conduction

- $\sum_j h_j \vec{J}_j$ est la diffusion des espèces
- $(\bar{\tau}_{eff} \vec{v})$ est la dissipation visqueuse
- S_h est la source d'enthalpie

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (III - 4)$$

Où h est l'enthalpie.

III-4-5. Principales modélisations de la turbulence

Il existe trois principales méthodes de modélisation d'un écoulement turbulent : la simulation numérique directe DNS, dans laquelle on cherche à représenter la totalité des phénomènes physiques, la simulation des grandes échelles LES, dans laquelle on représente seulement les plus gros tourbillons en fonction du temps, et la simulation moyennée dans laquelle on représente seulement l'écoulement moyen RANS. Cette dernière et la simulation que nous allons utiliser dans notre travail.

III-4-6. Simulation aux équations de Navier-Stokes moyennées (RANS)

Pour étudier les mouvements des fluides, l'approche aux équations de Navier-Stokes moyennées (RANS) est la plus répandue parmi les logiciels de simulation dans le secteur industriel, car cette méthode présente un temps de calcul plus court que les méthodes LES et DNS, et n'a pas besoin de recourir à des maillages extrêmement fins. Cependant, cette méthode est très empirique et ne s'appuie pas sur de solides démonstrations théoriques.

De plus, la méthode RANS s'appuie principalement sur ce qu'on appelle la décomposition de Reynolds, qui consiste, pour une grandeur f , à la décomposer de la façon suivante : $f = \bar{f} + f'$, avec \bar{f} la valeur moyenne, dite moyenne de Reynolds et f' qui représente les fluctuations, c'est-à-dire l'écart par rapport à la moyenne.

La méthode RANS va utiliser cette décomposition pour toutes les variables de l'équation de Navier-Stokes (u , p , T). Ainsi, quand un écoulement devient turbulent, les équations de Navier-Stokes, même si elles sont toujours valables, ne sont plus utilisables car il devient trop compliqué de suivre tous les détails de cet écoulement. La décomposition de

Reynolds permet alors de simplifier les équations de Navier-Stokes pour donner les équations de Navier-Stokes moyennées, qui prennent en compte la moyenne de Reynolds (Reynolds-averaged Navier-Stokes équations - RANS).

Pour un fluide newtonien incompressible en écoulement stationnaire, les équations de Navier-Stokes moyennées en coordonnées cartésiennes sont :

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \rho \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\bar{p} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right]. \quad (III - 5)$$

On peut remplacer la viscosité μ par le tenseur des contraintes σ_{ij} , ce qui donne l'équation de Reynolds :

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \sum_j \bar{u}_j \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) \right) = \rho \bar{g}_i + \sum_j \left(\frac{\partial}{\partial x_j} \right) (\sigma_{i,j} - \rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (III - 6)$$

Avec $\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j}$ le tenseur de Reynolds. La principale différence entre l'équation de Reynolds et les équations de Navier-Stokes moyennées est donc l'utilisation du tenseur des contraintes σ_{ij} au lieu de la viscosité μ pour les équations moyennées. Le tenseur des contraintes est défini par:

$$\sigma_{ij} = -p \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (III - 7)$$

Avec $\delta_{ij} = 1$ si $i = j$ et 0 si non

- ✓ Les modèles du premier ordre basés sur l'hypothèse de Boussinesq, qui consiste à modéliser directement les tensions de Reynolds à l'aide d'une viscosité turbulente :

$$\tau_{ij} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) = -\rho \overline{u'_i u'_j} \quad (III - 8)$$

- ✓ Les modèles du second ordre dans lesquels les tensions de Reynolds sont directement calculées.
- Les modèles du premier ordre sont appelés modèles à viscosité turbulente. Ils traitent de la dissipation de l'énergie cinétique et se concentrent sur l'énergie dissipée à un niveau physiquement correct. Dans les modèles à viscosité turbulente, on néglige les petites cellules de la maille tout en considérant qu'elles sont toujours présentes lors de la modélisation, ce qui permet de ne pas avoir à les simuler. A noter qu'il existe plus

de 200 modèles de ce type, qui sont classés en fonction du nombre d'équations de transport résolues en plus des équations de RANS : modèles à une équation (modèle de Prandtl, modèle de Baldwin-Barth, modèle de Spalart-Allmaras...), modèles à deux équations (modèle k- ϵ , modèle k- ω , modèle SST...).

- Les modèles du second ordre sont appelés modèles de transport de la contrainte de Reynolds. Ils résolvent les équations de transport des tensions de Reynolds $\overline{u'_i u'_j}$ et des flux de chaleur turbulents $\overline{u'_i T'}$, qui sont longues et compliquées à résoudre. Ces modèles du second ordre sont en effet plus compliqués à mettre en œuvre que les modèles du premier ordre. Effectivement, ils sont recommandés pour les écoulements turbulents complexes en 3D et réclament beaucoup de ressources.

III-5 Géométrie du problème

La géométrie du pinceau avec les différents coupes qui visualisent la canalisation du système de refroidissement est représentée à la figure III-2.

Dans notre étude, on va choisir la coupe AA pour la simulation du system.



Chapitre IV :

Résultats est interprétations

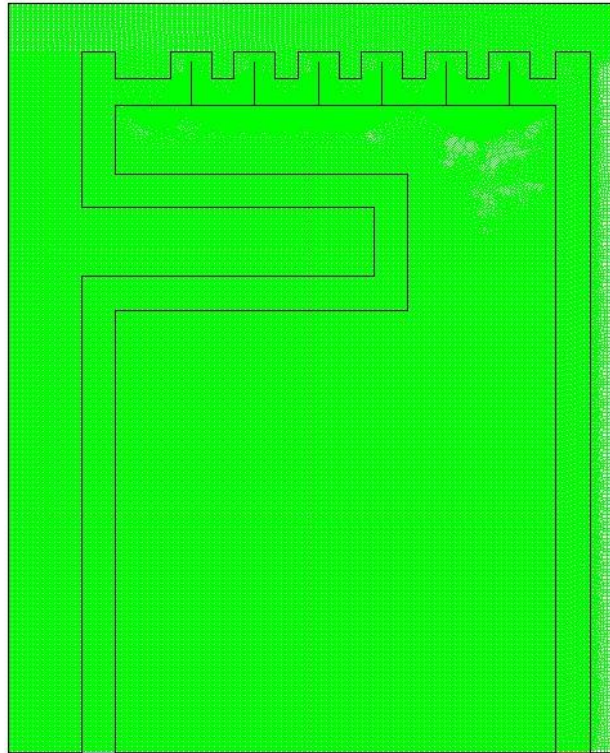


Figure VI- 3: Maillage coupe A-A avec chicane

VI-2-conditions aux limites:

- ✓ Paroi adiabatique.
- ✓ Entrée: velocity inlet
- ✓ Sortie: out flow.
- ✓ Conduite: wall.
- ✓ Plaque: wall

VI-3-paramètre du matériel:

- ✓ Température d'entrée d'eau= 295 K.
- ✓ Température de la plaque Usibor=1100 K.
- ✓ conductivité de la plaque $\lambda_p=27$ w/m*k
- ✓ la densité= 544 kg/m³
- ✓ $C_p = 27$ j/kg-K
- ✓ conductivité de l'acier $\lambda_s=30$ w/m.K
- ✓ la densité = 7741 kg/m³
- ✓ $C_p= 30$ J/kg.K

VI-4-Résultats de la simulation:

dans ce qui suit, on s'intéresse à l'analyse du champ de température et de la vitesse de l'eau dans le système de refroidissement.

VI-4-1 Contour de la température:

1-Coupe A-A avec chicane: originale

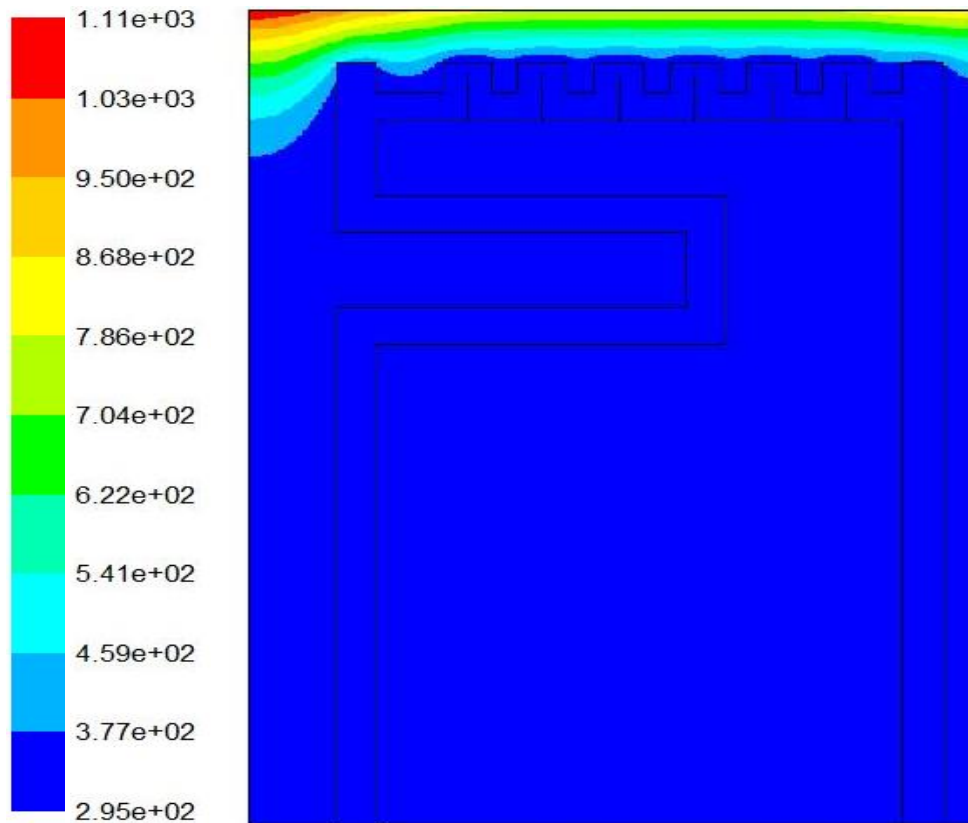


Figure VI 4: contour température avec chicane

le champ de la température du système est représenté à la figure IV-1. Au débit du processus, la plaque a une température égale à 1100 K. Les résultats montrent une diminution significative de la température de la plaque. Cela suggère que le processus de refroidissement a été relativement efficace, car la température finale de la plaque est nettement inférieure à sa température initiale. On peut observer un écart important de température entre la plaque chauffée (1100K) et l'eau à l'entrée (295K). Cette différence de température élevée a favorisé un transfert de chaleur efficace de la plaque à l'eau.

VI-4-2-contour des vitesse :originale

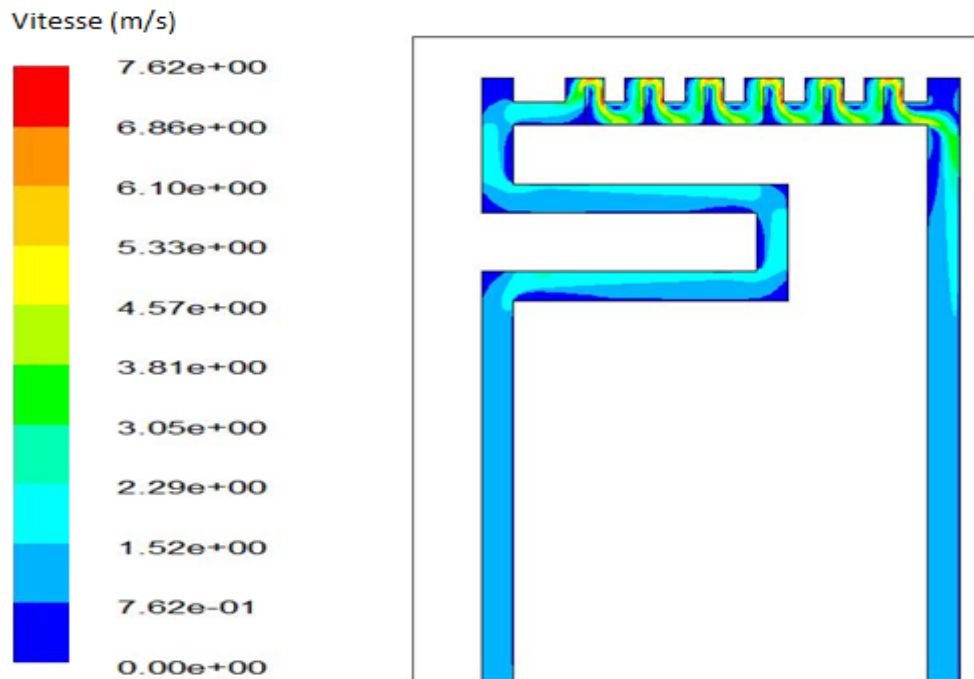


Figure VI- 5: contour de vitesse d'eau dans la conduite

2-coup A-A amélioré avec chicane:

le champ de la vitesse du système est représenté a la figure IV-4. Les valeurs de contour de vitesse indiquent une augmentation progressive de la vitesse du fluide le long de la conduite. Les propriétés physiques de la plaque et les conditions initiales de l'écoulement, telles que la vitesse et la température d'entrée, sont également importantes pour évaluer le transfert de chaleur par convection.

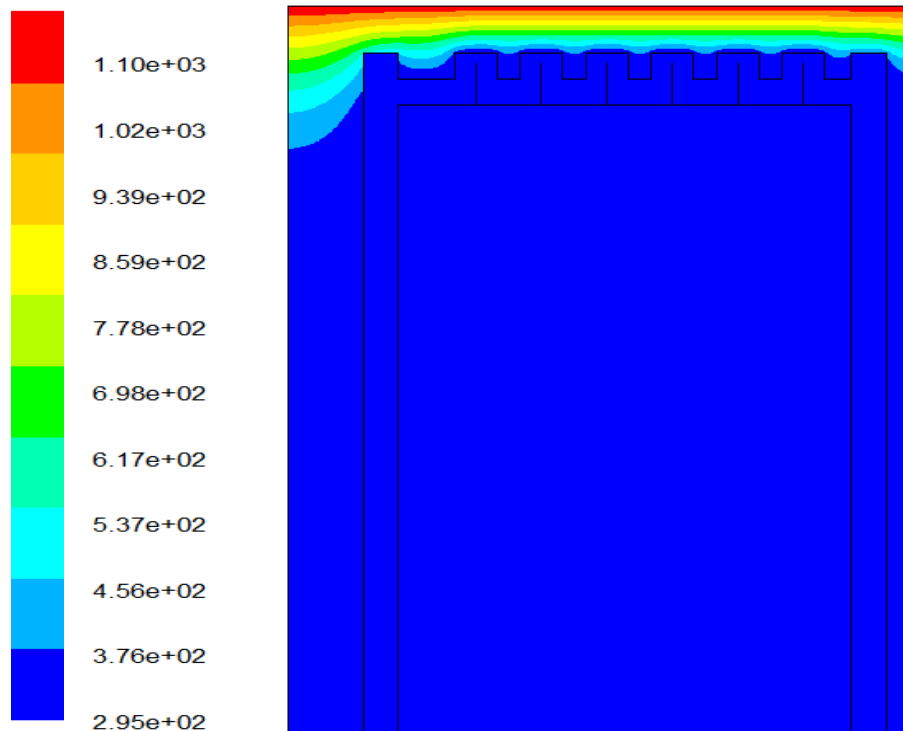


Figure VI- 6:contour température avec chicane améliorée

3-coupe A-A amélioré sans chicane:

le champ de la température du système est représenté a la figure IV-5. Au débit du processus la plaque a une température égale à 1100 K. Les résultats montrent une diminution de la température de la plaque, passant. Cela indique que le processus de refroidissement a été partiellement efficace, mais la température finale de la plaque reste relativement élevée.

Absence de chicane : Cette fois-ci, il n'y avait pas de chicane dans la conduite d'eau. L'absence de chicane peut réduire l'efficacité globale du transfert de chaleur, car les chicanes sont souvent utilisées pour augmenter la surface d'échange de chaleur et améliorer l'efficacité du refroidissement.

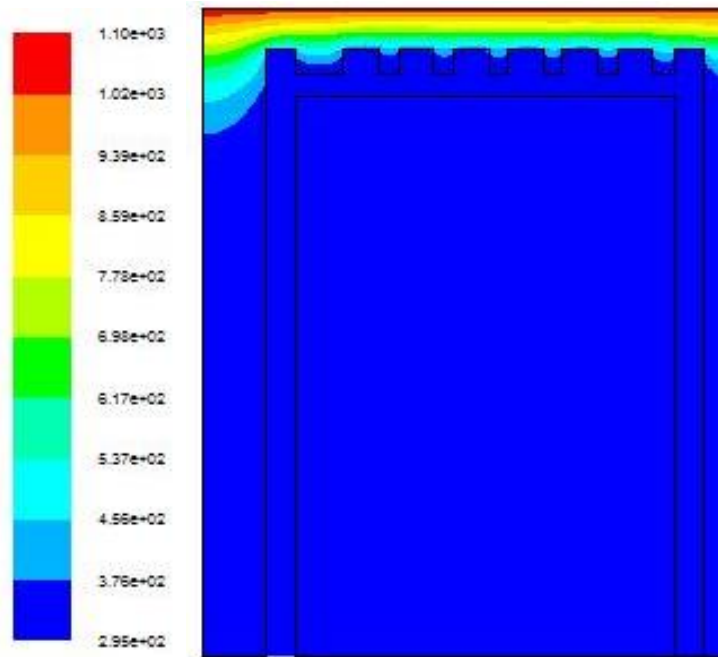


Figure VI- 7:-contour température sans chicane améliorée

4-coupe A-A complet avec chicane:

Géométrie :

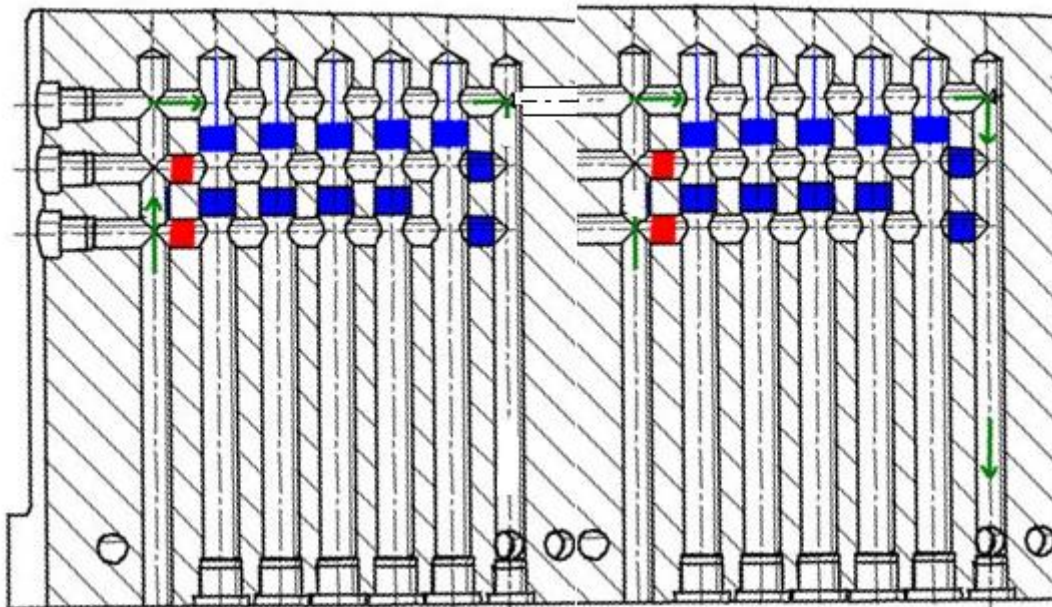


Figure VI- 8: coup complet avec chicane

le champ de la température du système est représenté a la figure VI-6. du processus la plaque a une température égale à 1100 K.les résultats montre une refroidissement plus efficaces que la coup D-D, d'après la figure en obtient un chute de température de 5 degrés ces a dire lorsque en augmente la surface d'échange de chaleur et amélioré l'efficacité de refroidissement.

(la présence des chicanes réparties dans la longueur de la conduite indique que l'objectif était de perturber l'écoulement de l'eau pour améliorer l'efficacité du refroidissement. Les chicanes créent des turbulences dans l'écoulement, ce qui augmente la surface d'échange de chaleur entre la plaque et l'eau. Cela permet un transfert de chaleur plus efficace, favorisant ainsi le refroidissement de la plaque.

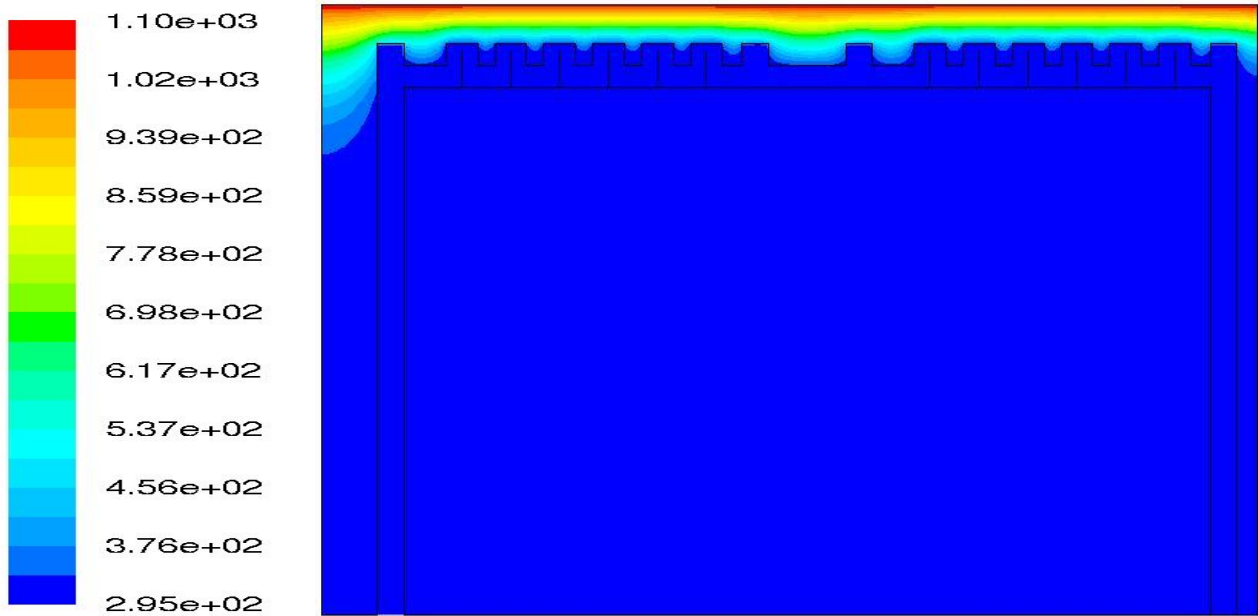


Figure VI- 9: contour température complet avec chicane

5--contour des vitesse avec chicane complet:

Les valeurs de contour de vitesse indiquent une augmentation progressive de la vitesse du fluide le long de la conduite. Les propriétés physiques de la plaque et les conditions initiales de l'écoulement, telles que la vitesse et la température d'entrée, sont également importantes pour évaluer le transfert de chaleur par convection.

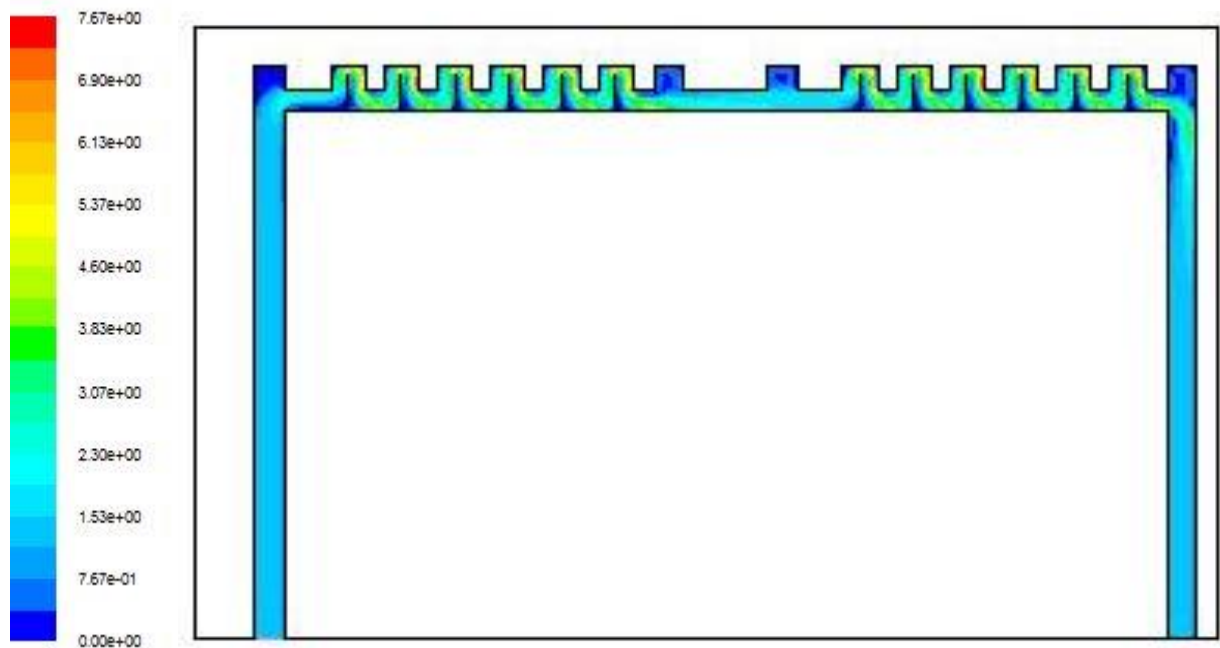


Figure VI- 10 : contour des vitesse complet avec chicane

6-Effet du débit d'eau sur la température de sortie:

pour étudier l'effet du débit d'eau sur le refroidissement, on utilise les valeurs indiquées au tableau ci-dessous. les valeur de débit augmente successivement a partir de la valeur initiale jusqu'a la valeur finale comme suite (25-50-75-100)

dans le tableaux suivant on voit l'influence d'augmentation de débit d'eau sur la température de sortie , en voir une diminution de la température. d'après les valeur calculer. Donc l'augmentation de débit aucun importance sur la température.

Débit (m ³ /s)	Vitesse sortie(m/s)	Température sortie K
0.433x10 ⁻³	1.38	297
0.54x10 ⁻³	1.724	296.82
0.65x10 ⁻³	2.069	296.53
0.75x10 ⁻³	2.415	296.31
0.86x10 ⁻³	2.76	296.15

Tableau 4: Effet du débit d'eau sur la température de sortie

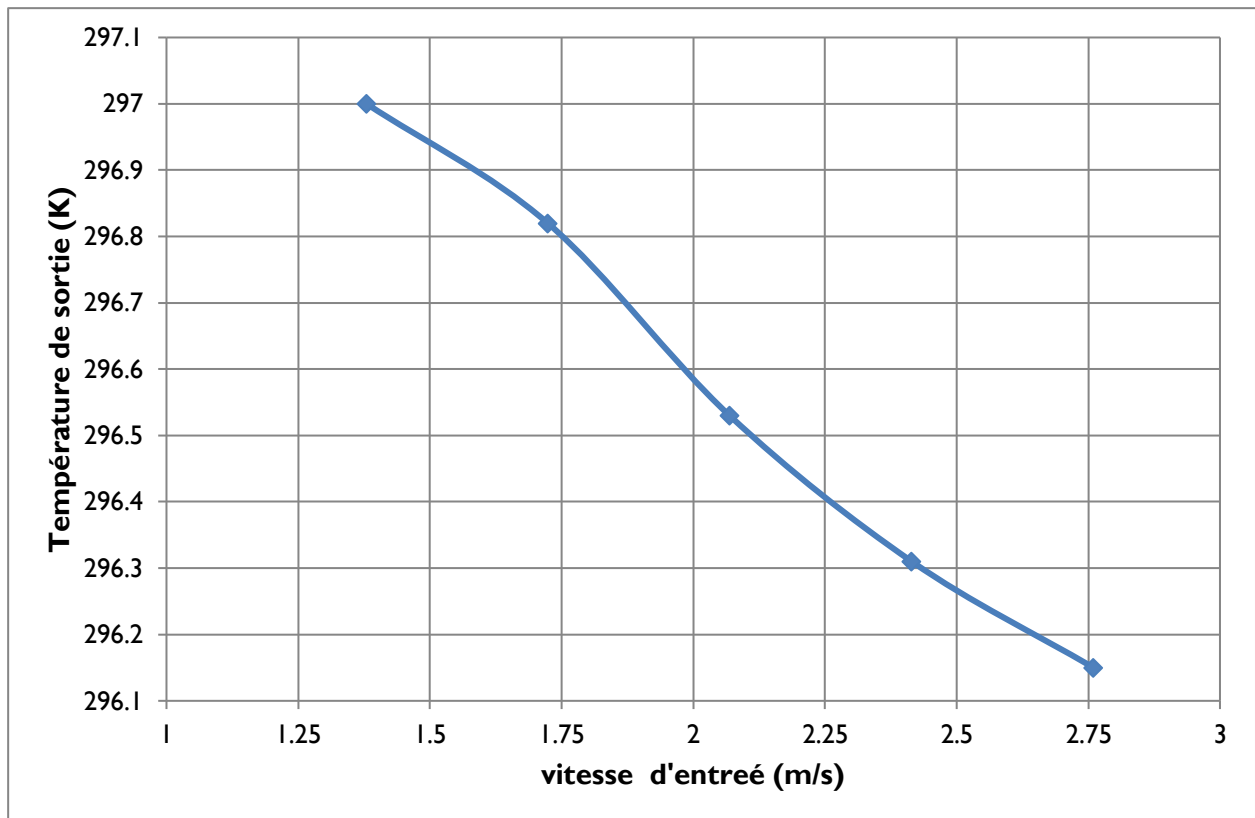


Figure VI-10 -Effet de la température de la plaque avec chicane amélioré:

Température de la plaque (K)	Température de sortie (K)	Pression d'entrée (Pa)	Pression sortie(Pa)	Δp perte de charge (Pa)
1100	297.24	73.660812	226304.88	226231.21
1043	297.08	73.660812	226303.98	226229.34
1073	297.17	73.660812	226303.98	226230.98
1143	297.36	73.660812	226303.98	226230.98

Tableau 5 :Effet de la température de la plaque avec chicane amélioré

8-Effet de la température de la plaque sans chicane amélioré:

Température plaque (k)	Température sortie(k)	Pression d'entrée (pascal)	Pression sortie(pascale)	∇p perte de charge (pascale)
1100	297.01	62.203976	4216.4277	4154.223724
1043	296.86	62.203976	4216.4316	4154.227624
1075	296.94	62.203976	4216.4316	4154.227624
1143	297.11	62.203976	4216.43	4154.22

Tableau 6: Effet de la température de la plaque sans chicane amélioré:

L'étude du refroidissement de plaque avec de l'eau et l'impact des chicanes sur les pertes de charge dans la conduite a fourni des résultats significatifs. Lorsque des chicanes sont présentes dans la conduite, les pertes de charge sont mesurées dans le tableau. Lorsqu'aucune chicane n'est présente dans la conduite, les pertes de charge sont considérablement réduites, mesurées au tableau. Cela suggère une meilleure fluidité du flux d'eau sans obstacle, ce qui entraîne des pertes de charge moindres et une efficacité de refroidissement améliorée.

En conclusion, l'utilisation de chicanes dans une conduite pour le refroidissement d'une plaque avec de l'eau entraîne des pertes de charge plus élevées par rapport à une conduite sans chicane. Il est important de prendre en compte ces pertes de charge lors de la conception du système de refroidissement, en évaluant les avantages des chicanes en termes d'amélioration du transfert de chaleur par rapport aux inconvénients liés aux pertes de charge plus élevées.

9-Effet du débit d'eau sur la température de sortie sans chicane:

Débit (m ³ /s)	Vitesse sortie(m/s)	Température sortie K
0.433x10 ⁻³	1.38	297.01
0.54x10 ⁻³	1.724	296.65
0.65x10 ⁻³	2.069	296.40
0.75x10 ⁻³	2.415	296.22
0.86x10 ⁻³	2.76	296.01

Tableau 7: Effet du débit d'eau sur la température de sortie sans chicane:

on peut observer une tendance à la diminution de la température de sortie avec une augmentation du débit d'eau. Cela suggère que l'augmentation du débit d'eau favorise un meilleur transfert de chaleur et, par conséquent, un refroidissement plus efficace de la plaque. Cela indique que l'augmentation du débit d'eau permet de retirer davantage de chaleur de la plaque, ce qui conduit à une température de sortie plus basse.

VI-5-conclusion:

Le refroidissement des plaques à l'aide de conduites d'eau avec des chicanes présente plusieurs avantages en termes d'efficacité et de dissipation de chaleur. Les chicanes sont des structures internes dans les conduites d'eau qui perturbent le flux et favorisent l'échange thermique, permettant ainsi de refroidir plus efficacement les plaques.

En ajoutant des chicanes, le débit de l'eau est augmenté et le contact entre l'eau et la surface de la plaque est amélioré. Cela favorise un transfert de chaleur plus efficace, ce qui permet de maintenir la température de la plaque à des niveaux acceptables, même lorsque la chaleur générée par les composants est élevée.

L'utilisation de conduites d'eau avec des chicanes pour le refroidissement des plaques est une solution efficace pour dissiper la chaleur générée par les composants. Les chicanes améliorent l'échange thermique en augmentant le débit d'eau et en favorisant un contact plus étroit avec la surface de la plaque. Cela permet de maintenir des températures stables et d'éviter les problèmes liés à une accumulation excessive de chaleur.

conclusion générale

conclusion générale :

Dans ce travail, En conclusion, le refroidissement d'une plaque à l'aide d'une conduite d'eau équipée d'une chicane présente plusieurs avantages significatifs. Les chicanes, qui sont des structures internes dans la conduite, perturbent le flux d'eau, favorisant ainsi un échange thermique plus efficace et une meilleure dissipation de la chaleur.

L'utilisation de chicanes dans la conduite d'eau permet d'augmenter le débit et d'améliorer le contact entre l'eau et la surface de la plaque. Cela facilite un transfert de chaleur plus efficace, contribuant ainsi à maintenir la température de la plaque à des niveaux acceptables, même lorsque la chaleur générée par la plaque est élevée.

De plus, les chicanes aident à réduire les gradients de température sur la plaque, ce qui prévient la formation de points chauds et assure une dissipation uniforme de la chaleur. Cela améliore la fiabilité de la plaque et évite les dommages potentiels liés à une accumulation excessive de chaleur.

Le refroidissement de la plaque par conduite d'eau avec chicane offre également une flexibilité en termes de conception et d'installation. Les chicanes peuvent être ajustées en fonction des besoins spécifiques de refroidissement, permettant ainsi une adaptation précise aux conditions de fonctionnement.

En résumé, le refroidissement d'une plaque par conduite d'eau avec chicane et son chicane est une méthode efficace pour dissiper la chaleur générée par la plaque. Les chicanes favorisent un transfert de chaleur optimal, réduisent les gradients de température et garantissent une dissipation uniforme de la chaleur. Cette approche offre une solution efficace et flexible pour maintenir la température de la plaque à des niveaux appropriés et assurer des performances optimales.

REFERNCE

- [1] Solbor 1500, Derniers développements dans les aciers à Haute Résistance pour Traitements Thermiques. Rapport interne, CRPC, Sollac, Avril 1998.
- [2] <http://www.arcelorauto.com/produits/fiches/usibor1.htm>
- [3] Dossiers techniques “ATS-OTUA”, Office Technique pour l’Utilisation de l’Acier.
- [4] Cours Mesure et instrumentation: Dr-ing Laouar Roudouane, Département Génie mécanique énergétique /Université cheikh Larbi Tebessi.
- [5] <https://www.technologuepro.com/cours-mecanique-des-fluides-3/chapitre-4-perte-de-charge.pdf>
- [6] elearning.centre-univ-mila.dz
- [7] <https://depot-e.uqtr.ca/4748/1/000642387.pdf> .Universite de Québec a Trois-Rivières.
- [8] <https://www.academia.edu/>
- [9]https://www.academia.edu/33691416/Chapitre_II_Pr%C3%A9_dimensionnement_et_descente_de_charge
- [10] automotive.arcelormittal.com/products/flat/PHS/usibor_ductibor