



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Énergétique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

Belmehdi Abdellatif

Le : Jeudi 10 Septembre 2020

Étude numérique de la convection thermique dans un échangeur de refroidissement de véhicule diesel 1.6 l

Jury :

Mr	Messaoud Benmachiche	MCB	Université de Biskra	Président
Mr	Noureddine Belghar	Pr	Université de Biskra	Examineur
Mr	Arfaoui Benarfaoui	MAA	Université de Biskra	Encadreur

Dédicace

Je dédié ce modeste travail à mes chers parents, qui ont toujours eu les soucis de mon avenir et qui m'ont comblé d'amour et d'affection.

- *A mes frère (Hakim et Hamdi), et mes sœurs (Nesrine, Doua, Isrâa, Fadoua) et a toute la famille.*
- *Je dédié également ce travail a mes amis proches Aymen, Wahid, Djamel, Mohamed, Nizar, Bilal, Kamel et Chaïma, et tous les amis sans exception.*
- *A mes collègues en résidence universitaire Charafeddine, Arezki, Azzedine, Islam, Maamer, Mohamed.*
- *A toute le promotion énergétique 2015*
- *Ma grande mère et mes oncles.*

Remerciement

Au terme de cette étude, je tiens à remercier ALLAH qui m'a donné le courage et la volonté d'aller jusqu'au bout et de ramener ce présent travail à son point ultime.

Je tiens tout d'abord à remercier Mr BEN ARFAOUI et Mr BELGHAR, mes encadreurs qui m'ont prêté une attention particulière et qui à aucun moment n'ont ménagé ses efforts et ses savoir pour m'apporter L'ide la plus précieuse et me faire découvrir les secrets de mon domaine.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à l'ensemble du département de mécanique, surtout le juré qui ont Contribué durant à préparation de mon travail.

Mes remerciements vont également à mes amis, notamment : Charafeddine, Badreddine, Mohamed Labed, Asma et Amira pour leurs aides.

J'adresse également mes chaleureux remerciements à mon ami Mr. NAAMI Badis pour son aide inestimable.

Mes profonds remerciements vont aussi à mes profs qui m'ont appris durant tout au mon parcours académique jusqu'à maintenant.

Enfin, tous mes remerciements vont à ma deuxième famille et mes amis de la Département qui ont été nombreux à nous aider et à nous encourager.

Merci à tous. Merci pour tout.

Tables des matières

Dédicace	i
Remerciement	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Nomenclature	viii
Introduction générale	1

CHAPITRE I : ÉTUDE DE CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

I.1 Introduction	4
I.2 Historique du moteur diesel	4
I.3 Origine de la chaleur dans le moteur	5
I.4 Système de refroidissement	5
I.4.1 Description	5
I.4.2 Rôle et fonctionnement du circuit de refroidissement moteur	6
I.4.3 Le refroidissement par air.....	9
I.4.4 Le refroidissement par liquide	9
I.4.5 Organes et accessoires du système de refroidissement	11
I.4.5.1 <i>Chemises d'eau</i>	11
I.4.5.2 <i>Radiateur</i>	11
I.4.5.3 <i>Ventilateur</i>	12
I.4.5.4 <i>Thermostat</i>	13
I.4.5.5 <i>La pompe à eau</i>	13
I.4.5.6 <i>Le radiateur de chauffage</i>	14
I.4.5.7 <i>Le vase d'expansion</i>	14
I.4.6 le fluide de refroidissement	15
I.5 Qualités du liquide de refroidissement	16
I.5.1 Constitution des liquides de refroidissement	16
I.5.1.1 Eau	16
I.5.1.2 Glycols	16

I.5.1.3 Les Additifs	17
----------------------------	----

CHAPITRE II : LES MODES DE TRANSFERT DE CHALEUR

II.1 Introduction	19
II.2 Définitions	21
II.2.1 Champ de température	21
II.2.2 Gradient de température	21
II.2.3 Flux de chaleur	22
II.3 Étude des trois modes de transfert	22
II.3.1 Transfert par Conduction	23
II.3.2 Transfert par convection	24
II.3.2.1 Régime d'écoulement	25
II.3.2.2 Calcul du coefficient d'échange par convection h	26
II.3.3 Transfert de chaleur par rayonnement	28
II.4 Combinaison des Différent Modes de Transfert	29

CHAPITRE III : FORMULATION NUMERIQUE ET MATHEMATIQUE

III.1 Introduction	32
III.2 Création de la géométrie par l'application SolidWorks	32
III.2.1 Concepts de base	32
III.2.2 Création des ailettes	34
III.2.3 Création du tube	34
III.2.4 L'assemblage	35
III.3 Simulation numérique	36
III.3.1 Description du logiciel	37
III.3.2 Géométrie	38
III.3.3 Maillage	39
III.3.4. Configuration	40
III.4. Modélisation mathématique de la convection en régime laminaire	40
III.4.1. Équation de continuité	41
III.4.2. Équation de quantité de mouvement	41
III.4.3. Équation de conservation d'énergie	41
III.5 Hypothèses simplificatrices	42
III.6. Équations du problème	42

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

IV.1 Introduction	45
IV.2 Solutions et résultats	45
IV.3 Refroidissement au niveau du radiateur	46
IV.3.1. La variation de la température	46
IV.3.1.1. Variation de la température au niveau du tube	46
IV.3.1.2 Distribution de la température au niveau des ailettes	47
IV.4 Type de fluide de refroidissement	47
IV.4.1 Refroidissement par eau	47
IV.4.2. Refroidissement par éthylène glycol	48
IV.5. Conclusion de la comparaison entre les fluides de refroidissement	50
Conclusion générale	51
Références bibliographiques	52
Résumé	55

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Protection par Éthylène-glycol	16
Tableau II.1 : Les valeurs de la conductivité thermique λ de certains matériaux	24
Tableau III.1 : Dimensions des ailettes et conductivité thermique	34
Tableau III.2 : Caractéristique géométrique et propriétés thermique de refroidisseur....	35
Tableau III.3 : Caractéristique géométrique du Radiateur	36
Tableau III.4 : Les conditions aux limites	40
Tableau IV.1 : Propriétés thermo-physique d'eau	48
Tableau IV.2 : Propriétés thermo-physique de l'éthylène glycol	49

Liste des figures

Figure I.1 :	Moteur diesel de 1897	4
Figure I.2 :	Système de refroidissement	6
Figure I.3 :	Refroidissement moteur éteint	8
Figure I.4 :	Refroidissement moteur froid	8
Figure I.5 :	Refroidissement moteur chaud	9
Figure I.6 :	Circuit du liquide de refroidissement	10
Figure I.7 :	Le circuit d'eau	11
Figure I.8 :	Radiateur de moteur diésel 1.6	12
Figure I.9 :	Le thermostat (La vanne thermostatique)	13
Figure I.10 :	Pompe à eau	14
Figure I.11 :	Le vase d'expansion	15
Figure II.1 :	Les trois modes de transfert de chaleur	20
Figure II.2 :	Isotherme et gradient thermique	21
Figure II.3 :	Transfert par conduction	23
Figure II.4 :	Transfert par convection	25
Figure II.5 :	Écoulement d'un fluide en régime laminaire	26
Figure II.6 :	Écoulement d'un fluide en régime turbulent	26
Figure III.1 :	lancement du logiciel SolidWorks	33
Figure III.2 :	le menu principal du logiciel	33
Figure III.3 :	La forme d'ailette	34
Figure III.4 :	La forme du tube génère	35
Figure III.5 :	La géométrie finale du dissipateur	36
Figure III.6 :	Lancement du logiciel ANSYS	37
Figure III.7 :	Le menu principal du logiciel ANSYS	38
Figure III.8 :	L'importation de la géométrie	38
Figure III.9 :	Déclarations des propriétés physiques et ses nominations	39
Figure III.10 :	Présentation du maillage du radiateur	39
Figure III.11 :	Présentation du maillage du radiateur	40
Figure IV.1 :	Présentation de la fenêtre du logiciel	45
Figure IV.2 :	Variation de la température au niveau section de tube	46
Figure IV.3 :	Distribution de la température à travers la surface extérieure d'eau	47
Figure IV.4 :	Distribution de la température sur l'ailette	48
Figure IV.5 :	Distribution de la température de la surface extérieure de EG	49
Figure IV.6 :	Distribution de la température au niveau de l'ailette	49

Nomenclature

Alphabet latin

- C_p : chaleur spécifique [$J.kg^{-1}.K^{-1}$].
- D : Diamètre [m]
- D_h : Diamètre hydraulique [m]
- e : épaisseur [m]
- F_{ij} : Facteur de forme entre les surfaces i et j [-].
- Gr : nombre de Grashof [-]
- h : Coefficient de transfert de chaleur [$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$].
- k : Conductivité thermique (W/m.K)
- L : longueur [m]
- $\dot{m}$: le débit massique de fluide [$kg.s^{-1}$].
- $\vec{n}$: vecteur unitaire de la normale.
- Nu : nombre de Nusselt [-]
- P_m : Périmètre mouillé en [m].
- Q : La quantité de chaleur [J].
- q : Puissance volumique dissipée [W/m^3].
- Re : nombre de Reynold [-]
- S : surface [m²].
- S_p : Section de passage en [m²].
- T : température [K].
- U : Vitesse moyenne du fluide [$m.s^{-1}$].
- u : vitesse [m/s].
- V : volume [m³]
- v : vitesse [m/s].
- w : vitesse [m/s].
- x : Coordonnée [-]
- x : Variable d'espace dans la direction du flux [m].
- y : Coordonnée [-]
- z : Coordonnée [-]

Nomenclature

Lettres grecques

- β : Groupe adimensionnel [-]
- ρ : Masse volumique du fluide [$\frac{Kg}{m^3}$].
- μ : viscosité dynamique du fluide [$Kg.m^{-1}.s^{-1}$].
- σ : Constante de Stéphane Boltzmann [$\frac{K}{m^2}.K^4$]
- λ : Conductivité thermique [$W.m^{-1}.K^{-1}$].
- ∂n : Dérivée de de la normale [-].
- ∂T : Dérivée de la température [s].
- Δt : la variation de la température sur un intervalle de temps [s].
- Δq : La variation de chaleur sensible du système [J].
- Φ : Le flux thermique [W].
- φ : Le flux de chaleur [W]

Indices

- e : entrée
- ext : extérieur
- f : final
- h : hydraulique
- i : initial
- int : intérieur
- m : mouillé
- P : paroi
- p : passage
- s : sortie
- 0 : état initial
- ∞ : état final

Introduction générale

Introduction :

Le moteur diesel à combustion interne est considéré comme l'un des moteurs les plus efficaces. Il se caractérise par une bonne rigidité et de bonnes performances. De ce fait il dégage une forte quantité de chaleur pour éviter la surchauffe et le fondement des pièces, c'est pourquoi il faut lui munir d'un système de refroidissement bien étudié pour maintenir le moteur à une température de fonctionnement convenable pour les pièces mécanique du moteur tout en évitant de trop le refroidir.

La température élevée du moteur à la combustion interne provoque la destruction de ses composants et donc l'endommagement du moteur (coulé du moteur).

Pour cela, les spécialistes ont utilisé ce système, qui contrôle la température du moteur par plusieurs éléments (chemises d'eau, radiateur, ventilateur, thermostat, pompe à eau, vase d'expansion, radiateur de chauffage). L'une des pièces importantes de ce système est le radiateur, c'est l'élément de notre étude. Cette dernière se protège sur une étude numérique de la convection thermique qui se produit au niveau du radiateur.

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur est, avec le travail, l'un des modes d'échange d'énergie interne entre deux systèmes.

On distingue trois types de transfert thermique qui sont (conduction, convection et rayonnement).

Notre travail penche vers la simulation numérique de l'écoulement et du transfert de chaleur réalisé à partir des équations de transfert.

L'objectif de ce travail est de présenter les résultats concernant le refroidissement du moteur par un circuit de refroidissement par eau. L'étude de ce phénomène est caractérisée par les paramètres géométriques du radiateur, ainsi que la vitesse moyenne d'eau et le débit d'eau. L'étude proposée, montrera l'impact de l'écoulement, les transferts thermiques et l'évolution de la température durant le refroidissement du moteur.

Notre travail se compose de IV chapitres :

Le premier chapitre présente les généralités sur les moteurs diesel et leur histoire, ainsi que l'identification du circuit de refroidissement, son principe de fonctionnement et ses composants les plus importants.

Le deuxième chapitre présente les trois types de transfert de chaleur, à savoir la conduction, la convection et le rayonnement.

Introduction générale

Dans le troisième chapitre on montre la création de la géométrie et la formulation mathématique des équations de transfert de chaleur.

Le quatrième chapitre est une conclusion et une discussion des résultats du calcul.

CHAPITRE I

Étude du circuit de refroidissement

I.1. Introduction :

Environ 30% des incidents moteur peuvent être attribués à un incident au niveau du circuit de refroidissement. Soit directement, ou indirectement. Par exemple, un incident au niveau du circuit de lubrification, peut avoir pour origine une défaillance du circuit de refroidissement ayant entraîné une surchauffe de l'huile moteur.

En cas de mauvais entretien du circuit de refroidissement ou si le système est incorrectement utilisé, ceci peut entraîner une surchauffe, un sur-refroidissement ou des fuites. Ceci pourra être la cause de pertes des performances du système voire même d'une défaillance du moteur. [1]

I.2. Historique du moteur diesel :

C'est un ingénieur allemand, **Rudolph Diesel (1858 - 1913)** qui inventa le premier moteur à combustible lourd. Ce moteur était surtout peu onéreux et d'un très bon rendement, c'est en 1896, qu'il construisit son premier moteur à 4 temps à compression préalable.

La différence fondamentale avec le moteur à essence, est qu'il ne possède pas des bougies pour enflammer le carburant car celui-ci s'auto-enflamme.

Le moteur Diesel qui équipe les automobiles que nous connaissons à ce jour est le fruit d'une évolution constante. Cette évolution a subi des accélérations en fonction de circonstances telles que le premier choc pétrolier et l'apparition des normes antipollution.

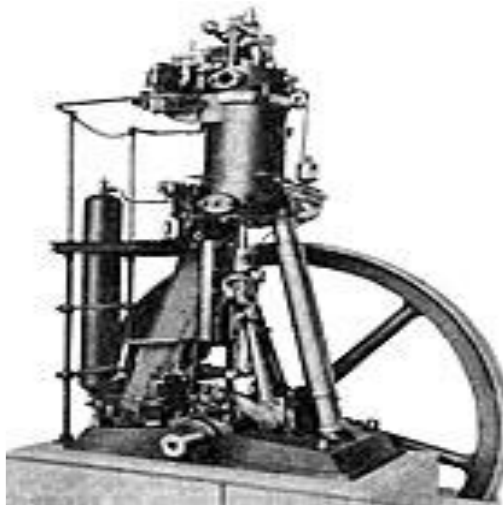


Figure I.1 : moteur diesel de 1897.

1897 Le premier moteur conçu par un ingénieur thermicien, Rudolf DIESEL, fonctionne en Allemagne. Il résulte de travaux théoriques destinés à améliorer le rendement thermodynamique. Ce moteur, qui a un rendement de 26,2 % (à rapporter aux 20 % du moteur à essence de l'époque), développe une puissance de 27 kW pour une cylindrée d'environ 20 litres ;

- 1936 Mercedes produit en petite série la première voiture à moteur Diesel, la 260D ;
- 1938 Peugeot réalise une série d'un millier de modèle 402 ; après la seconde guerre mondiale, ce type de véhicule est toujours produit ;
- 1973 la crise pétrolière favorise la généralisation des voitures à moteur Diesel ;
- 1988 Fiat produit la première voiture de série équipée d'un moteur à injection directe;
- 1989 Audi présente la première voiture équipée d'un moteur à injection directe à régulation électronique ;
- 1998 premières applications de l'injection directe à rampe commune réalisée par Bosch sur des véhicules de série ;
- 2000 plusieurs constructeurs européens produisent une version de leur véhicule de prestige équipé d'un moteur V8 Diesel à injection directe à rampe commune. [2]

I.3. Origine de la chaleur dans le moteur :

La réaction du mélange carburé d'air et de combustible, se produisant à l'intérieur du cylindre, est la principale source de l'énergie calorifique dégagée au sein des structures du moteur. Cette chaleur, de quantité importante, provoque l'accroissement brusque des températures des gaz qui peuvent atteindre plus de 2500°C qui est généralement le cas dans les moteurs Diesel à forte puissance. [3]

I.4 Système de refroidissement :

I.4.1 Description :

On appelle "système de refroidissement" l'ensemble des mécanismes et dispositifs qui maintiennent l'état thermique requis des pièces.

Le système de refroidissement comprend une pompe à eau centrifuge entraînée par engrainage, avec un boîtier des thermostats comprenant quatre thermostats pour régler la température de l'eau de refroidissement qui circule dans le moteur, les refroidisseurs d'huile et les refroidisseurs d'admission.

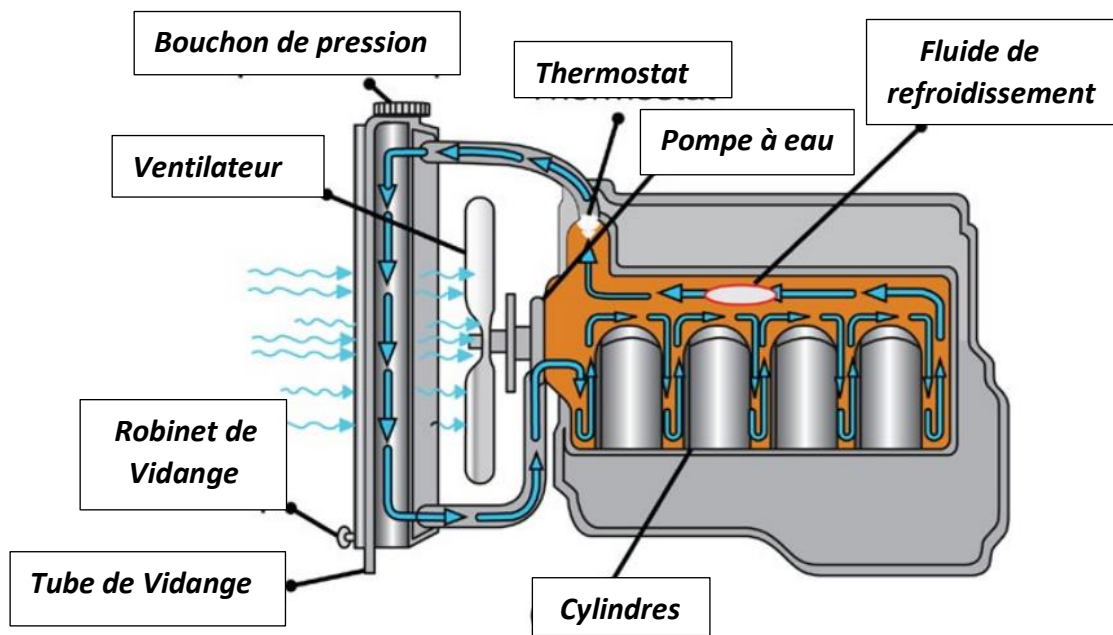


Figure I.2 : Système de refroidissement. [4]

L'évacuation de chaleur s'effectue dans le radiateur par l'air envoyé à l'aide d'un ventilateur à pales entraîné par courroies. [5]

Le moteur est refroidi par la circulation de l'eau dans le bloc moteur et la culasse vers le radiateur qui dissipe la chaleur dans l'atmosphère. Les températures de l'eau sont mesurées à l'entrée et à la sortie dans la chemise. [6]

En raison de la chaleur dégagée par la combustion, tous les moteurs sont équipés d'un système de refroidissement, et a pour raison :

- Maintien de la température des éléments de la chambre de combustion en dessous de certaines limites pour assurer leur résistance mécanique.
- Diminution de la température de l'huile afin d'assurer une bonne lubrification du contact segment/cylindre et aussi de diminuer les risques de grippage des pistons ou de gommage des segments. [7]

I.4.2. Rôle et fonctionnement du circuit de refroidissement moteur :

Pour fonctionner correctement le moteur a besoin d'être refroidi, c'est le rôle du circuit de refroidissement qui contient plusieurs éléments ayant pour tâche de remplir cette mission.

Le circuit de refroidissement est un système assez complexe mais essentiel au bon fonctionnement du moteur afin d'éviter les risques de surchauffe susceptible de causer des dommages irrémediables.

Au démarrage, il faut que le moteur monte rapidement en température pour fonctionner correctement et pour éviter une trop forte consommation en carburant notamment.

Cependant, les pièces mécaniques ne peuvent pas supporter une forte chaleur (environ 800°) et la combustion des cylindres génère en plus des calories qui doivent être évacuées. Il est donc nécessaire de refroidir le moteur afin d'éviter d'endommager sérieusement ce dernier. [8]

Le flux de liquide de refroidissement provient du coude relié au radiateur au centre de la pompe à eau, puis divisé à sa sortie en deux parties, une s'écoule vers le refroidisseur d'air, et l'autre au refroidisseur d'huile. La partie passant par le refroidisseur d'air est envoyé à l'arrière du bloc, et l'autre envoyé au refroidisseur d'huile s'écoule après dans la gaine d'eau du bloc au cylindre arrière droit. Le liquide se dirige vers les collecteurs de distribution connectés aux conduites d'eau de tous les cylindres.

Le liquide de refroidissement s'écoule à travers les chemises d'eau et autour des cylindres du bas vers le haut. Près du haut, où la température est la plus chaude, la jaquette d'eau est plus petite pour un écoulement plus rapide qui conduit à un meilleur refroidissement, le liquide de refroidissement va ensuite dans la culasse, et passe à travers un collecteur vers le boîtier du thermostat qui contient quatre régulateurs de température.[9]

Une autre fonction du circuit de refroidissement consiste à contrôler la température de l'habitacle, assurant ainsi le confort de passagers. [3]

Les fonctions de certains éléments de la bague de refroidissement changent en fonction de l'état du moteur (éteint, froid, chaud), lorsque le moteur est arrêté, un thermostat est fermé jusqu'à ce que la température du moteur atteigne la valeur nécessaire comme le montre les deux **figures (I.3) et (I.4)**.

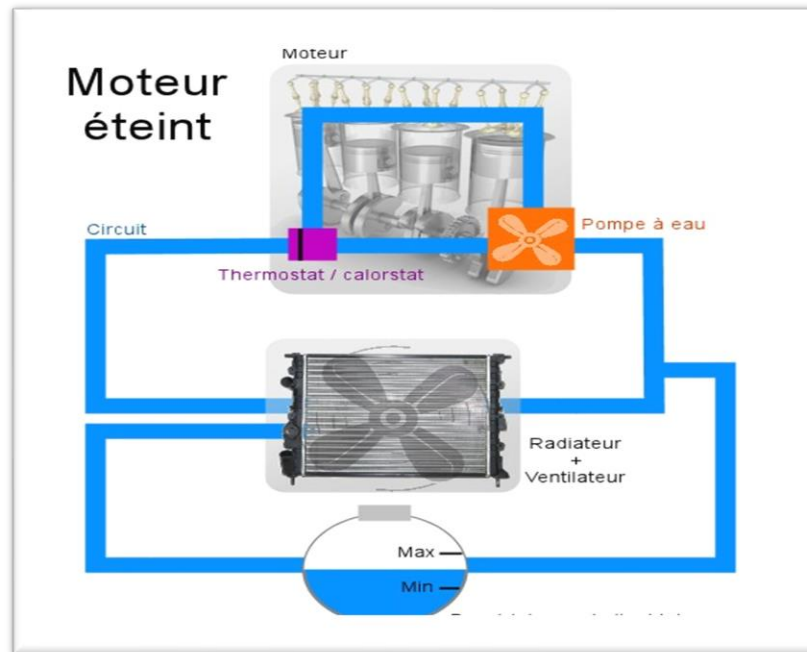


Figure I.3 : refroidissement moteur éteint.

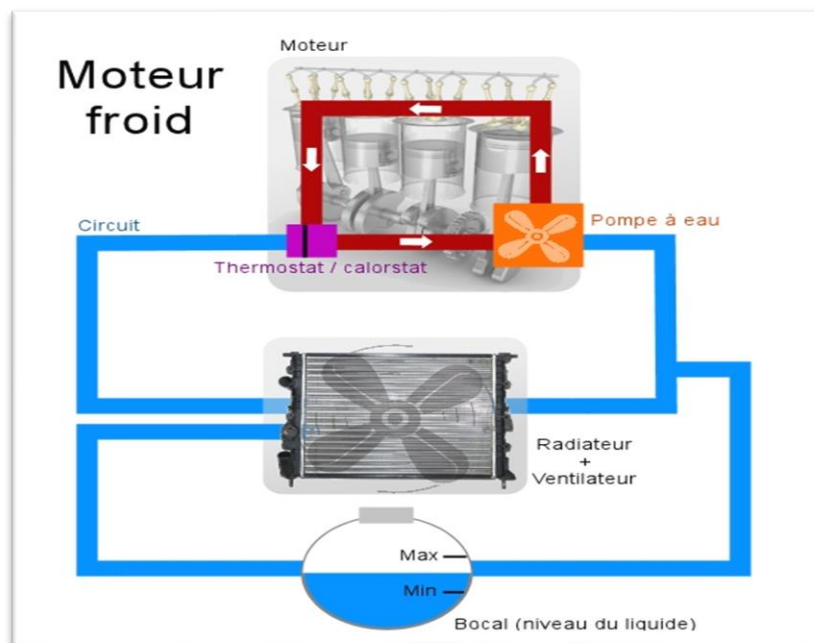


Figure I.4 : refroidissement moteur froid.

Le moteur a besoin d'une température suffisante pour fournir un bon rendement, quand il dépasse ce degré, le thermostat s'ouvre pour démarrer le processus de refroidissement comme le montre la **figure (I.5)**.

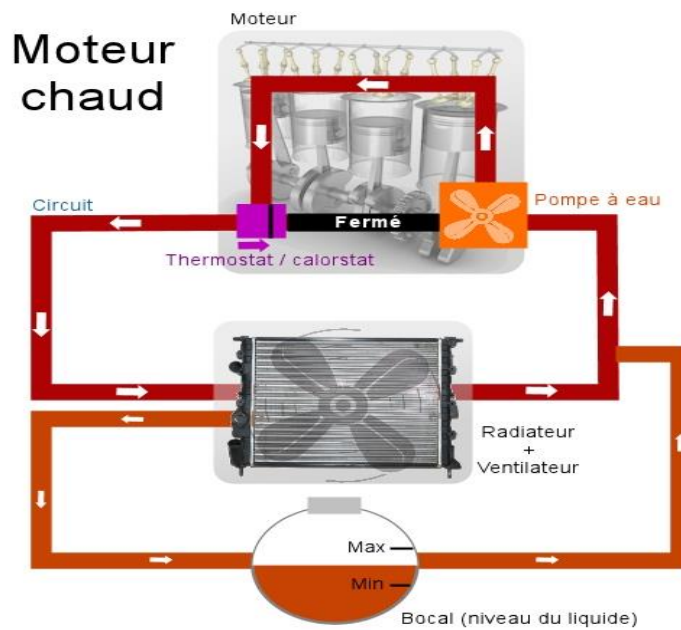


Figure I.5 : refroidissement moteur chaud. [10]

I.4.3. Le refroidissement par air :

La technique la plus simple consiste à balayer les cylindres d'un fort courant d'air. Cette solution, il faut bien le reconnaître, présente quelques avantages sa simplicité, aucune vanne, pas de pompe ni d'échangeur de température ; un coût moindre directement en rapport avec sa simplicité.

Mais aussi des inconvénients, le bruit dégagé est plus important que dans le cas d'un moteur à refroidissement par eau.

Une circulation d'arrivée d'air frais très importante est nécessaire.

Cette solution largement employée pour les motos et les petits moteurs ne peut être envisagée que dans un montage sur une coque totalement découverte. [11]

I.4.4. Le refroidissement par liquide :

Le circuit de refroidissement par l'eau est à boucle fermée, le liquide de refroidissement prend de la chaleur au niveau des composants et le radiateur à son tour évacue la chaleur du liquide de refroidissement. Les composants de base du circuit sont :

- Le liquide de refroidissement.
- La pompe à eau.

- Le refroidisseur d'huile moteur.
- Le régulateur de température d'eau (thermostat).
- Le radiateur.

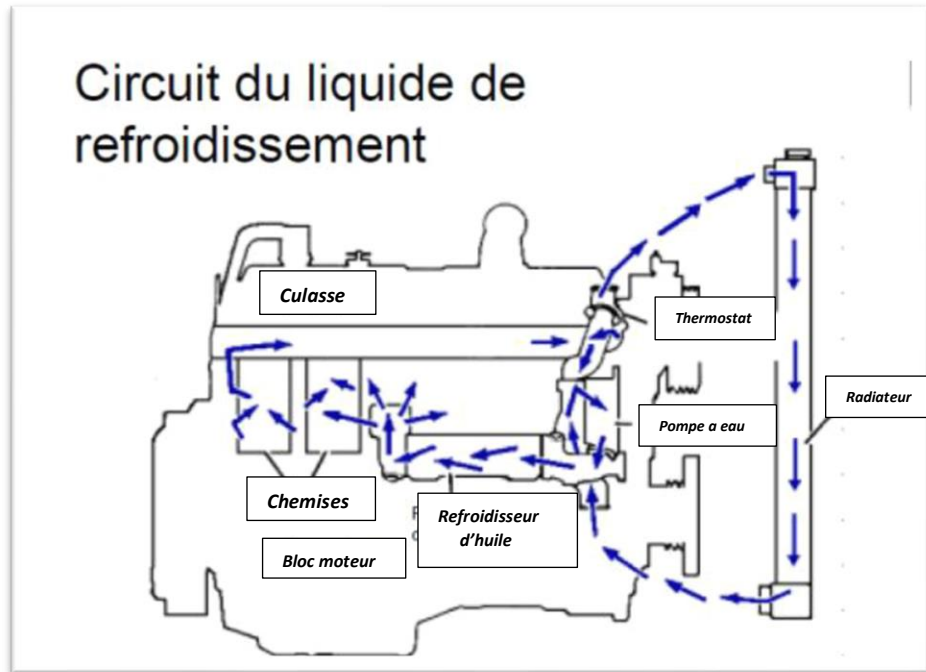


Figure I.6 : circuit du liquide de refroidissement. [12]

Le système de refroidissement est un système fermé, avec circulation d'eau forcée. La pompe à eau aspire l'eau du radiateur à travers une conduite, le débit d'eau de refroidissement est divisé à la sortie de la pompe à eau en deux parties. Une partie du débit est envoyé vers le refroidisseur d'air d'admission et l'autre est envoyé vers le refroidisseur d'huile de lubrification. Ces deux parties s'assemblent dans le bloc moteur coté arrière. L'eau circule autour les chemises de piston, ensuite remonté dans les culasses pour la refroidir, puis s'écoule dans les tuyaux coudés dans la tubulure de retour. L'eau se dirige vers le boîtier des thermostats. Le boîtier a un passage supérieur et un passage inférieur. Si l'eau est encore froide alors il est envoyé à la conduite by-pass (passage inférieur) vers la pompe à eau, au fur et à mesure que l'eau s'échauffe et des quelles atteint 80°C, les thermostats commencent à s'ouvrir pour laisser l'eau passée par le passage supérieur vers le radiateur qui est chargé d'évacuer la chaleur d'eau à l'aide de l'air ventilé. [13]

I.4.5. Organes et accessoires du système de refroidissement :

I.4.5.1. *Chemises d'eau :*

La chemise d'eau doit entourer la chambre de combustion, les cylindres les sièges de guides de soupapes, les parties fixes du moteur qui sont en contact avec les gaz résultant de la combustion.

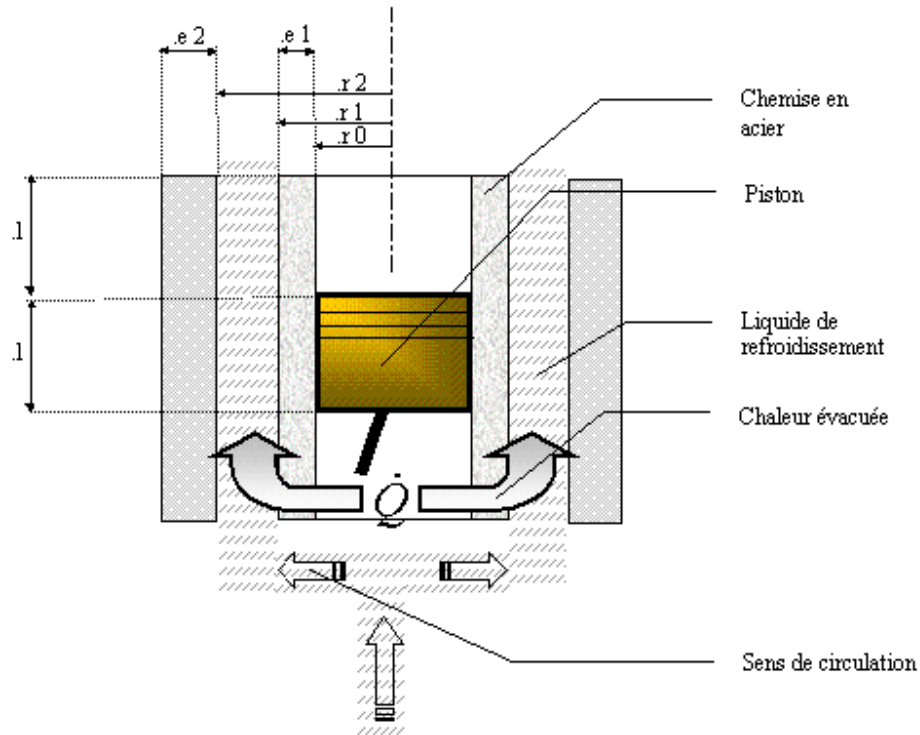


Figure I.7 : Le circuit d'eau. [14]

I.4.5.2. *Radiateur :*

Le radiateur est de type tubulaire (tube à ailettes plat). C'est l'organe chargé de céder la chaleur enlevée aux cylindres, par l'intermédiaire de l'eau en circulation.

La quantité de chaleur cédée par le radiateur est proportionnelle :

- A la différence entre la température de l'eau et celle de l'air ambiant d'où l'intérêt d'obtenir une température de l'eau voisine de l'ébullition mais sans l'atteindre (l'évaporation).
- A la surface frontale de radiateur.
- Au temps pendant les quel l'eau reste en contact avec la surface radiante.

Le radiateur se compose de :

- Un réservoir supérieur muni d'un orifice permettant le remplissage, et deux orifices pour l'entrée de l'eau chaude du moteur.
- Un réservoir inférieur pour envoyer l'eau refroidie au moteur.
- Une série de canalisation de forme circulation réunissant les deux réservoirs, et dans les quelles l'eau en circulation se refroidit.

Le radiateur comporte ainsi un bouchon pour la fermeture de l'orifice de remplissage, un tube de trop-plein chargé de rejeter l'excès d'eau et vapeur dans le cas d'ébullition de l'eau et un robinet en bas du radiateur pour la vidange.

Les tubes sont en laiton étamé avec disposition verticale, les ailettes sont en clinquant planes montées à force. [15]



Figure I.8 : Radiateur de moteur diésel 1.6 l. [16]

I.4.5.3. Ventilateur :

Le refroidissement de l'eau chaude est assuré par le courant d'air qui passe à travers le radiateur, pour augmenter le volume d'air admis en dispose d'un ventilateur près du radiateur. [17]

I.4.5.4. Thermostat :

Entre le moteur et le radiateur se trouve le thermostat. Pour autant que la température idéale du moteur n'est pas atteinte, le thermostat garde le circuit d'eau fermé. Lorsque le moteur est froid, le thermostat empêche l'eau de passer dans le radiateur. A environ 80 °C le thermostat commence à ouvrir le circuit. Le thermostat contribue à ce que la température idéale soit atteinte plus rapidement. Le thermostat garde la température du moteur à l'équilibre. [18]

-Il se trouve monté en sortie de la culasse sur la durite supérieure de radiateur.

-Il permet une mise en température rapide du moteur ; en interdisant la circulation du liquide vers le radiateur tant que le moteur n'a pas atteint sa température de fonctionnement

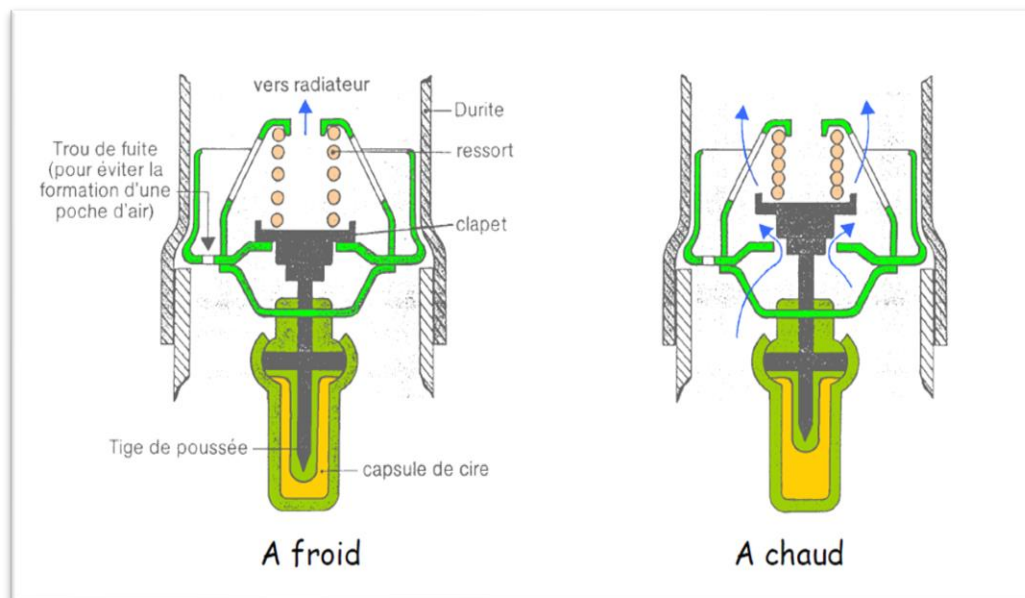


Figure I.9 : Le thermostat (La vanne thermostatique). [19]

I.4.5.5. La pompe à eau :

Cet élément n'a d'autre but que d'assurer et de faciliter la circulation du liquide de refroidissement dans le circuit et dans le bloc moteur. La pompe est généralement de type centrifuge et doit avoir un débit suffisant pour assurer l'écart de température entre la sortie et l'entrée du moteur de l'ordre de 10 à 15 °C. [7]

Elle se compose d'un corps de pompe, généralement en bronze et portant deux

ouvertures, une d'aspiration pressée au centre du corps de la pompe, l'autre de refoulement placée à la périphérie. [20]

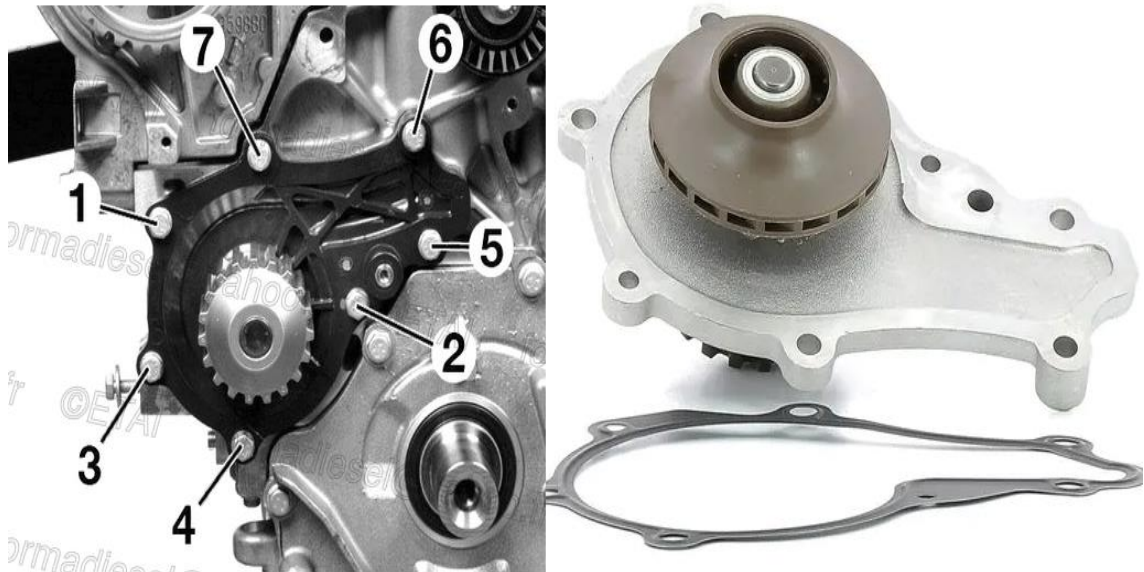


Figure I.10 : Pompe à eau. [21] [22]

I.4.5.6. Le radiateur de chauffage (ou aérotherme) :

Pour assurer le chauffage de l'habitacle, on trouve sur le circuit d'eau un échangeur appelé aérotherme.

L'eau va circuler dans le radiateur de chauffage que le thermostat soit ouvert ou fermé (et donc que l'eau circule dans le radiateur principal ou pas).

Le réglage de la température de l'habitacle se fait en dosant la quantité d'air qui passe au travers de l'aérotherme.

I.4.5.7. Le vase d'expansion :

Il est également appelé boîte de dégazage.

Lors de l'échauffement du moteur, le liquide de refroidissement se dilate et la pression monte dans le circuit. Les variations de pression entre moteur froid et moteur chaud sont absorbées par le volume d'air situé à la partie supérieure du vase d'expansion. Comme le

tube d'arrivée se trouve en dessous du niveau de liquide, il n'y aura pas d'introduction d'air dans le circuit. Le vase d'expansion assure ainsi la mise en pression du circuit sans perte de liquide de refroidissement.

Le vase d'expansion permet aussi de dégazer le circuit, si l'on a pris soin de le placer en un point haut de celui-ci, là où se concentrent les bulles d'air ayant pu entrer accidentellement. Ces bulles peuvent provenir de micro-fuites au niveau du joint de culasse, de la pompe à eau, des raccords de durites, etc...).



Figure I.11 : Le vase d'expansion. [21]

I.4.6. Le fluide de refroidissement :

Le fluide de refroidissement se compose normalement de trois éléments qui sont :

- L'eau est utilisée dans le circuit de refroidissement pour assurer l'échange thermique.
- Les additifs contribuent à protéger les surfaces métalliques du circuit de refroidissement contre la corrosion.
- Le glycol protège le circuit contre l'ébullition, gel et la cavitation de la pompe à eau et les chemises de cylindre. [15]

I.5. Qualités du liquide de refroidissement :

L'eau joue le rôle d'éléments de transfert thermique, dans le liquide de refroidissement, il est important d'utiliser de l'eau conforme pour le moteur. L'alimentation de circuit de refroidissement est faite par l'eau non conforme (eau de robinet) qui diminue le transfert thermique et engendre le problème de corrosion.

I.5.1. Constitution des liquides de refroidissement :

La constitution du liquide de refroidissement est composée de trois types de produits:

De l'eau (50 à 70 %)

De glycols (30 à 50 %)

D'additifs (5 à 6 %)

I.5.1.1. Eau :

L'eau présente l'avantage d'avoir le pouvoir réfrigérant le plus élevé, mais elle présente un certain nombre d'inconvénients :

- elle solidifie à 0 °C avec une augmentation de volume d'environ 9 %.
- elle favorise la corrosion (phénomènes électrochimiques entre les métaux).
- elle peut contenir des sels minéraux (calcium, magnésium, etc..) qui favorisent la corrosion et formation de dépôts et des produits insolubles (entartrage).

I.5.1.2. Glycols :

Afin d'abaisser le point de congélation de l'eau, il est nécessaire d'ajouter des produits solubles en milieux aqueux, ce qui a toutefois pour effet de dégrader les propriétés de transfert de chaleur comme pour l'eau, la pureté des glycols est également un facteur indisponible. [5]

Tableau I.1 : Protection par Éthylène-glycol.

Concentration	Protection contre le gel	Protection contre l'ébullition
50 %	-36° C	106°C
60 %	-51 °C	111°C

I.5.1.3. Les Additifs :

Les additifs doivent être ajoutés à la concentration appropriée, en concentration excessive les additifs risquent de se déposer par précipitations. Cela peut provoquer la formation d'un genre de gel dans le radiateur, une concentration excessive d'additifs peut produire des dépôts sur les joints de pompe à eau et entraîner des fuites du joint de pompe à eau, une concentration

Insuffisante d'additifs peut produire les problèmes suivants :

- ❖ Piquage.
- ❖ Érosion par cavitation.
- ❖ Tartre.
- ❖ Écumage.
- ❖ Rouille. [12]

CHAPITRE II

Les modes de transfert de chaleur

II.1. Introduction :

Il est essentiel de faire la différence entre travail, chaleur et énergie. La chaleur a longtemps été considérée comme une forme d'énergie distincte, elle s'appelait alors calorique (Carnot, 1824). Grace aux travaux de Joule, il est maintenant admis que la chaleur et le travail sont équivalents en termes d'objet (Joule, 1850). Ces deux concepts ne traduisent que deux manières différentes d'échanger l'énergie cinétique (Atkins, 1987). Par conséquent, il ne sera jamais question dans ce qui suit de transfert de chaleur, mais de transfert d'énergie thermique, d'échange thermique ou simplement de chaleur. Cette remarque ne s'applique bien évidemment pas aux échangeurs de chaleur dont le nom est resté malgré l'approximation du terme.

Tous les mécanismes de transfert nécessitent l'existence d'un potentiel pour avoir lieu. En transfert thermique, ce potentiel est fourni par la différence de température qui existe entre une « source chaude » et une « source froide ».

Trois modes de transferts thermiques distincts sont généralement identifiés : la conduction, mise en œuvre dans les solides, la convection nécessitant un écoulement et le rayonnement pour lequel l'énergie thermique est échangée par rayonnement électromagnétique. Ces modes de transferts sont rarement présents seuls au sein d'un même système. Cependant, l'un d'entre eux est très souvent prédominant. L'échange thermique peut être réalisé sans changement de phase (régime monophasique), ce qui signifie que la matière reste dans son état physique initial (solide, liquide ou gaz). Il peut également avoir lieu avec changement de phase (régime généralement diphasique dans un échangeur de chaleur). Dans ce cas, la chaleur permet un changement d'état physique de la matière. Les échanges thermiques avec changement de phase ainsi que ceux mettant en œuvre le rayonnement ne seront pas détaillés dans la suite de cette étude.

L'énergie thermique échangée en régime monophasique est appelée couramment « chaleur sensible ». La variation de chaleur sensible du système, notée Δq [J], est donnée par le produit de la différence de température aux bornes du système ($T_{\text{sortie}} - T_{\text{entrée}}$) [K] par la masse m [kg] et la chaleur massique spécifique isobare C_p [J.kg⁻¹.K⁻¹] :

$$\Delta q = \dot{m} * c_p * (T_s - T_e) \quad (\text{II.1})$$

Le flux thermique Φ [W] s'exprime alors comme l'échange thermique effectué sur un intervalle de temps donné :

$$\Phi = \dot{m} \times c_p \times (T_s - T_e) \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$\dot{m}$: Le débit massique de fluide [$\frac{kg}{s}$].

Cette expression de la puissance est par exemple utilisée lors du calcul de la puissance transmise ou cédée à un fluide dans un écoulement.

Cette configuration nécessite évidemment qu'une source froide soit située autour et en contact avec la conduite.

Il est également possible d'exprimer la puissance thermique transmise à un système, en observant la variation de la température sur un intervalle de temps Δt [s] :

$$\Phi = \dot{m} \times c_p \times \frac{T_f - T_i}{\Delta t} \quad [\text{23}] \quad (\text{II.3})$$

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de lois physiques.

Il existe trois modes de transmission de chaleur :

- Conduction .
- Convection.
- Rayonnement. [24]

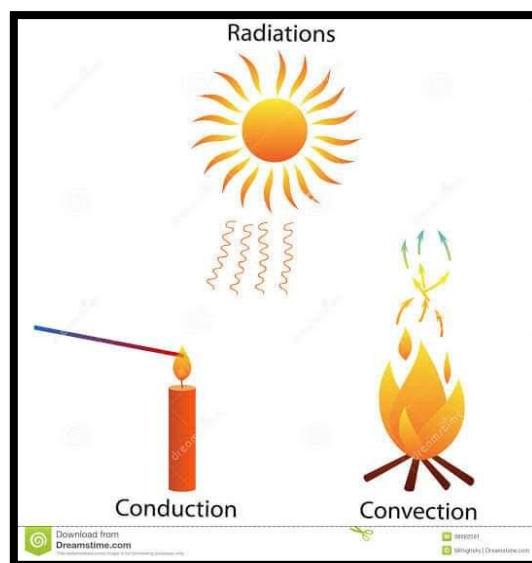


Figure II.1 : les trois modes de transfert de chaleur. [25]

II.2. Définitions :

II.2.1 Champ de température :

Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- ✓ Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- ✓ Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit variable ou instationnaire.

II.2.2 Gradient de température :

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température :

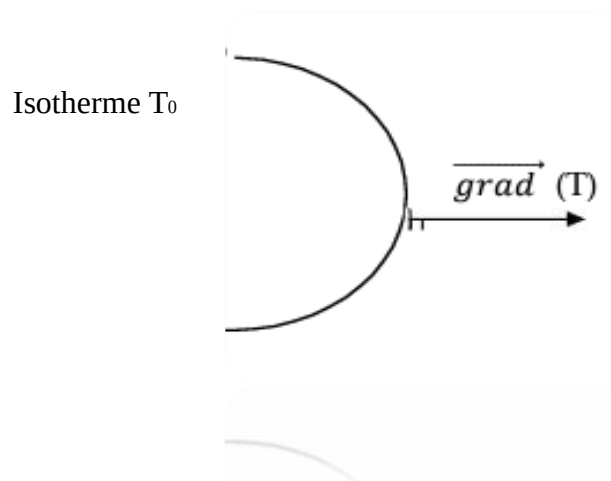


Figure II.2 : Isotherme et gradient thermique

$$\overrightarrow{grad}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n} \quad (II.4)$$

Avec :

$\vec{n}$: vecteur unitaire de la normale.

$\frac{\partial T}{\partial n}$: Dérivée de la température le long de la normale.

II.2.3 Flux de chaleur :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$\Phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \quad (\text{II.5})$$

Où S est l'aire de la surface (m²).

On appelle flux de chaleur la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps :

$$\varphi = \frac{dQ}{dt} \quad .[26] \quad (\text{II.6})$$

II.3. Etude des trois modes de transfert :

Chacun des trois modes de transmission de chaleur (conduction, convection et rayonnement) étant lui-même lié à un processus physique bien déterminé. En effet, comme l'énergie thermique d'un milieu matériel correspond à l'énergie cinétique de ses constituants fondamentaux ayant une certaine liberté de mouvement (molécules, atomes, électrons, libres, ...) ceux-ci pourront échanger tous ou partiellement de leur énergie thermique : c'est-à-dire gagner ou perdre de l'énergie cinétique.

- Soit par interaction directe avec les particules voisines (choc de molécules par exemple), ce qui correspond à la conduction.

- Soit par absorption ou émission de radiations électromagnétiques, ce qui correspond au rayonnement.

- Enfin dans le cas d'un gaz ou d'un liquide, on considère également, mais cette fois à l'échelle macroscopique, comme un mode de transfert de chaleur appelé convection, les échanges résultant du mélange des diverses parties d'un fluide à des températures différentes.

- En thermodynamique nous avons défini deux formes transitoires d'énergie, le travail et la chaleur. La transformation est appelée travail si l'échange se produit sans transmission de masse et sans différence de température entre les deux systèmes. Et Si l'échange se produit à cause de la différence de température entre les deux systèmes, il s'agit de transmission de chaleur. [27]

II.3.1. Transfert par Conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres. [28]

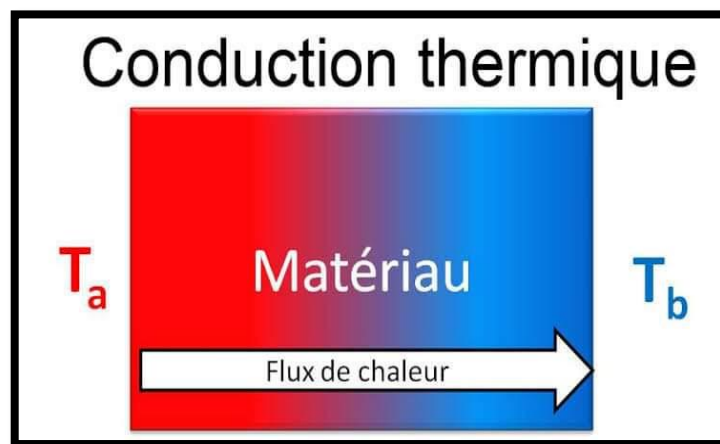


Figure II.3 : transfert par conduction. [29]

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de **Fourier** : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{\phi} = -\lambda S \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad (\text{II.7})$$

Ou sous forme algébrique :

$$\vec{\phi} = -\lambda S(x) \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{II.8})$$

ϕ : flux de chaleur transmis par conduction (W).

λ : Conductivité thermique du milieu ($W \cdot m^{-1} K^{-1}$).

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

On trouvera dans **le tableau II.1** les valeurs de la conductivité thermique λ de certains matériaux parmi les plus courants. [28]

Tableau II.1 : les valeurs de la conductivité thermique λ de certains matériaux.

Matériau (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)		Matériau (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)	
Argent	419	Plâtre	0.48
Cuivre	386	Amiante	0.16
Aluminium	204	Bois (feuille-résineux)	0.12-0.23
Acier doux	45	Liège	0.044-0.049
Acier inox	15	Laine de roche	0.038-0.041
Glace	1.88	Laine de verre	0.035-0.051
Béton	1.4	Polystyrène expansé	0.036-0.047
Brique terre cuite	1.1	Polyuréthane (mousse)	0.030-0.045
Verre	1.0	Polystyrène extrudé	0.028
Eau	0.60	Air	0.026

II.3.2. Transfert par convection :

Le phénomène de convection se réfère au transfert thermique qui a lieu dans les fluides (liquide ou gaz) en mouvement, la convection est le processus de transfert de chaleur déterminé par le mouvement des particules élémentaire d'un fluide entre les zones ayant de températures différentes.

La convection peut apparaître des couches de fluide ayant des températures différentes on entre un courant de fluide en écoulement au long d'une surface solide ayant une température différente du fluide. Il existe deux types de convection :

a) Convection libre (naturelle) : Dans ce type le mouvement du fluide est dû simplement aux différences de densité résultant des gradients de température.

b) Convection forcée : Le mouvement du fluide est causé par l'action des forces extérieures par exemple (ventilateur, pompe, ...etc.) qui lui donne des vitesses de déplacement assez importantes radiateur. [30]

c) Convection mixte : On appelle convection mixte un régime d'échange dans lequel les phénomènes de convection forcée coexistent avec ceux de convection libre.

Le problème devient alors encore plus complexe car les formules de corrélation sont ainsi, comme nous l'avons vu précédemment, de la forme :

$$Nu = f(Pr, Re, Ri) \quad \text{ou} \quad Nu = f(Pr, Re, Gr) \quad [31]$$

Ce mécanisme de transfert est régi par **la loi de Newton** qui stipule que la densité de flux de chaleur échangé entre une paroi solide et un fluide en écoulement est proportionnelle à l'écart de température qui lui a donné naissance. Elle s'écrit : [32]

$$\phi = h(T_p - T_\infty) \quad (II.9)$$

Avec :

ϕ : Flux de chaleur transmis par convection (W).

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$).

T_p : Température de surface du solide ($^\circ C$).

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide ($^\circ C$).

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2). [24]

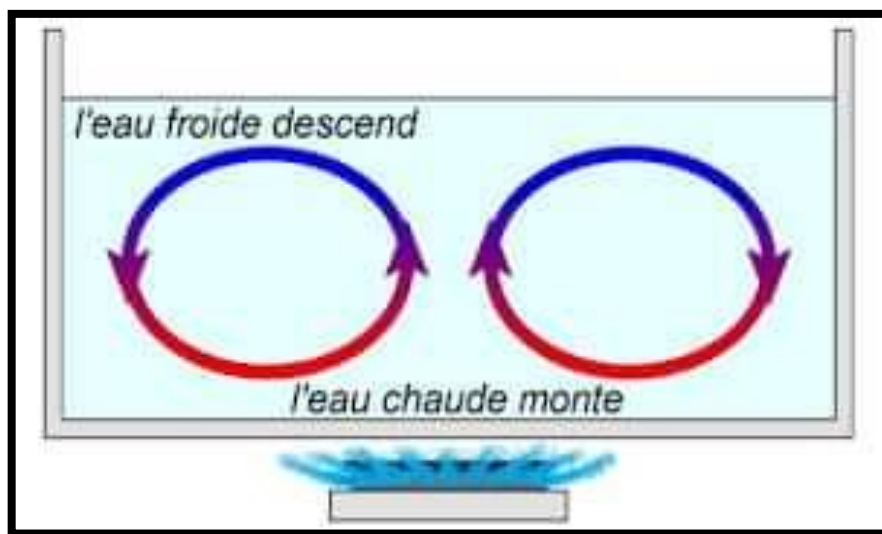


Figure II.4 : transfert par convection. [33]

II.3.2.1. Régime d'écoulement :

Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer le régime d'écoulement. Considérons à titre d'exemple l'écoulement d'un fluide dans une conduite. [34]

a) **En régime laminaire :** L'écoulement s'effectue par couches pratiquement indépendantes entre deux filets fluides adjacents les échanges de chaleur s'effectuent :

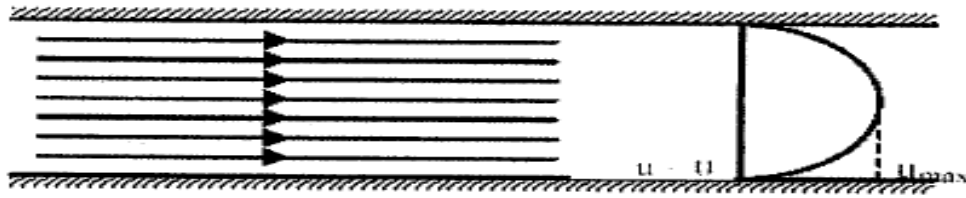


Figure II.5 : écoulement d'un fluide en régime laminaire. [34]

b) **En régime turbulent :** l'écoulement n'est pas unidirectionnel : L'échange de chaleur dans la zone turbulente s'effectue par convection et conduction dans toutes les directions. On vérifie que la chaleur transférée par conduction est généralement négligeable par rapport à celle transférée par convection. [35]

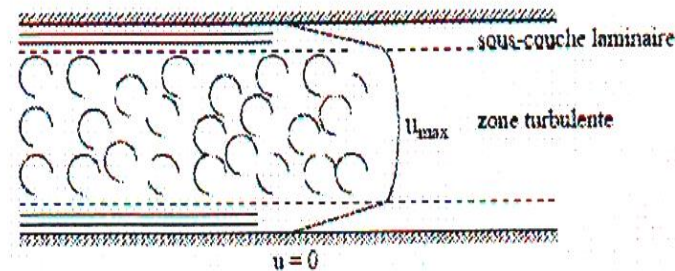


Figure II.6 : écoulement d'un fluide en régime turbulent. [34]

II.3.2.2. Calcul du coefficient d'échange par convection h :

En convection forcée en l'absence de convection naturelle, le coefficient d'échange h .

En convection forcée :

Elle est indépendante de la différence de la température de la paroi et du fluide mais il dépend des 6 grandeurs suivantes :

U : Vitesse moyenne du fluide ($\frac{m}{s}$).

ρ : Masse volumique du fluide (Kg/m^3).

c_p : Chaleur spécifique à pression constante du fluide en $(\frac{J}{Kg.K})$.

μ : viscosité dynamique du fluide en $(Pa.s)$ ou en $(\frac{Kg}{m.s})$.

λ : Conductivité thermique du fluide en $(\frac{W}{m.K})$.

D_h : Dimension caractéristique de la surface d'échange.

$$D_h = \frac{4S_p}{P_m} \quad (II.10)$$

- à l'intérieur du tube interne : $D_h = d_{int}$

- pour la section annulaire : $D_h = d_{int} - d_{ext}$

- pour une plaque plane : $D_h = L$ avec L : la longueur d'une plaque plane

S_p : Section de passage en (m^2) .

P_m : Périmètre mouillé en (m) .

A partir de ces grandeurs, on définit les nombres sans dimension suivants :

$$Nu = \frac{hD_h}{\lambda} \quad \text{nombre de Nusselt} \quad (II.11)$$

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad \text{nombre de Reynold} \quad (II.12)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda} \quad \text{nombre de Prandt} \quad (II.13)$$

Les travaux expérimentaux étudiant le transfert de chaleur par convection dans une situation donnée fournissent leurs résultats sous forme de corrélations mathématiques $Nu = f(Re, Pr)$ qui permettent de calculer h par :

$$h = \frac{Nu \lambda}{D_h} \quad (II.14)$$

Le nombre de Reynolds caractérise le régime d'écoulement du fluide

$Re < 2000$: Écoulement laminaire.

$2000 < Re < 3000$: Ecoulement intermédiaire.

$Re > 3000$: Écoulement turbulent

Pr Le nombre de Prandt caractérise les propriétés thermiques du fluide

Nu Le nombre de Nusselt caractérise l'échange thermique entre le fluide et la paroi.

Exemple : plaque verticale, oblique ou horizontale.

$$Nu = \frac{2}{3} Re^{0.5} \cdot Pr^{1/3} \quad (I.15)$$

$$Nu = \frac{0.036 Re^{0.5} Pr}{1 + 0.83(Pr^{0.6} - 1)} \quad (I.16)$$

En convection naturelle :

Dans la convection naturelle, le mouvement du fluide est dû aux variations de la masse volumique du fluide provenant des échanges de chaleur entre le fluide et la paroi. Le fluide est mis en mouvement sous l'effet des forces d'Archimède car sa masse volumique est fonction de sa température.

La convection forcée est négligeable si

$$\frac{Gr}{Pr^2} > 100 \quad (I.17)$$

$$Nu = c(GrPr)^n \quad (I.18)$$

$$\text{Convection Laminaire } GrPr > 10^9 \Rightarrow n = \frac{1}{4} \quad (I.19)$$

$$\text{Convection Turbulente } GrPr < 10^9 \Rightarrow n = \frac{1}{4} \quad (I.20)$$

Exemple : plaque plane verticale ou horizontale de longueur L et de température uniforme.

$$\text{Convection Laminaire } Nu = 0.53(GrPr)^{\frac{1}{4}} \quad (I.21)$$

$$\text{Convection Turbulente } Nu = 0.105(GrPr)^{\frac{1}{3}} \cdot [36] \quad (I.22)$$

II.3.3. Transfert de chaleur par rayonnement :

C'est une propagation d'énergie à distance, entre deux corps séparés ou non par un milieu matériel (transformation d'énergie thermique d'un émetteur en énergie électromagnétique, propagation, transformation partielle en énergie thermique sur un corps récepteur). C'est le cas de l'énergie qui nous vient du soleil. Son interprétation physique est tout corps émet des particules désignées par "photons", ceux-ci se déplaçant à la vitesse de la lumière et transportent une énergie fonction de leur "longueur d'onde".

Un corps émettant des photons dans toutes les directions possibles, certains d'entre eux sont reçus par l'autre corps est éventuellement absorbés, en tout ou en partie. Bien

entendu, ce corps émet aussi des photons dont certains seront reçus et absorbés par le premier corps. Le bilan net se traduit par un échange d'énergie entre les deux corps. La densité du flux thermique (rayonnement) émis par une surface dont la température est T , est donné par la loi de Stéphane Boltzmann.

$$Q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{II.23})$$

Le rayonnement pur à grande longueur d'onde entre deux surfaces **i** et **j** portées respectivement à deux différentes températures est évalué par la relation :

$$Q_{ij} = F_{ij} S_i \sigma (T_{si}^4 - T_{sj}^4) = F_{ji} S_j \sigma (T_{si}^4 - T_{sj}^4) \quad (\text{II.24})$$

Avec :

T_s : La température de la surface (K°) ;

F_{ij} : Facteur de forme entre les surfaces **i** et **j** ;

σ : Constante de Stéphane Boltzmann. ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} K/m^2.K^4$) ;

S : Superficie de la surface (m^2) ;

Q_{ij} : Flux de rayonnement à grande longueur d'onde entre les surfaces **i** et **j** .

Si le coefficient d'émission ε du corps est différent du facteur F_{ij} on peut admettre que :

$$F_{ij} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} - 1 + \frac{1}{F_{ij}} + \frac{S_i}{S_j} (\frac{1}{\varepsilon_i} - 1)} \quad (\text{II.25})$$

On peut également trouver dans la littérature :

$$Q_{ij} = hr_{ij} S_{ij} (T_i - T_j) \quad (\text{II.26})$$

$$hr_{ij} = \frac{\sigma (T_i + T_j) (T_i^2 + T_j^2)}{\frac{1}{\varepsilon_i} - 1 + \frac{1}{F_{ij}} + \frac{S_i}{S_j} (\frac{1}{\varepsilon_i} - 1)} [37]. \quad (\text{II.27})$$

II.4. Combinaison des Différent Modes de Transfert :

Ci-dessus, nous avons considéré séparément les trois modes de base des échanges thermiques. Dans la réalité, les différents modes sont, le plus souvent intimement liés conduction et rayonnement du cas de solides non opaques (verres, matières, plastique...)

Par ailleurs, tout échange de chaleur se traduisant par une variation de la température des corps concernés, il arrive souvent que se produit un changement de phase

(vaporisation, condensation, fusion, congélation, ...) constituant une source (ou puits) de chaleur supplémentaire. Ainsi dans le cas banal, très souvent cité, où l'on chauffe de l'eau continue dans le récipient fait intervenir : La convection ainsi que le rayonnement dans le transfert de la flamme et la paroi externe du récipient, La conduction à travers la paroi et les couches fluides très proches de celle-ci, La convection et aussi un peu de conduction au sien de la masse d'eau.

Enfin dès que l'échauffement devient suffisant, l'ébullition et ensuite la vaporisation intervient et constituent des éléments essentiels de l'échange thermique. Comme l'exemple ci-dessus, la plupart des problèmes techniques qui se posent font intervenir une combinaison des différents modes de transfert.

Toutefois, et fort heureusement, soit l'un des modes prépondérants, et l'on néglige alors les autres, soit les différents modes ont une importance comparable, mais ils peuvent être découplés et traités séparément. [24]

CHAPITRE III

Formulation Numérique et Mathématique

III.1. Introduction :

L'échangeur de refroidissement est un dispositif qui permet à la dissipation thermique d'un objet d'éviter une énergie thermique exagérée.

Le radiateur fonctionne généralement avec convection, et plusieurs éléments interfèrent dans l'amélioration du travail du radiateur. Nous accélérons le flux d'air par un ventilateur, et cela se fait grâce à la géométrie du radiateur et ce qui permet à l'air de passer à travers ses ailettes.

Nous allons donc apprendre à travers ce chapitre comment créer un échangeur thermique (radiateur) par des logiciels de la conception mécanique (SolidWorks), qui tire profit de l'interface graphique familière Microsoft Windows.

Grâce à cet outil facile à utiliser, les ingénieurs en mécanique peuvent esquisser rapidement une idée, expérimenter avec des fonctions et des côtes et produire des modèles et des mises en plan précis.

III.2. Création de la géométrie par l'application SolidWorks :

III.2.1 Concepts de base

Un modèle SOLIDWORKS, **figure (III.1)** consiste en une géométrie volumique 3D dans un document de pièce ou d'assemblage.

Les mises en plan sont créées à partir de modèles ou en dessinant des vues dans un document de mise en plan.

Généralement, vous débutez avec une esquisse, créez une fonction de base, puis ajoutez davantage de fonctions à votre modèle (vous pouvez aussi commencer avec une surface ou une géométrie volumique importée).

Vous pouvez affiner votre conception en ajoutant, éditant ou en réordonnant les fonctions.

L'association entre les pièces, les assemblages et les mises en plan garantit que les changements apportés à un document ou une vue seront automatiquement introduits dans tous les autres.

Vous pouvez générer des mises en plan ou des assemblages à n'importe quel moment du processus de conception.

Lorsqu'une carte graphique compatible avec RealView est installée, vous pouvez afficher des modèles et des environnements au réalisme photographique.

Cliquez sur Outils > Options dans le menu principal pour afficher les onglets Options du système et Propriétés du document.

Le logiciel SOLIDWORKS enregistre votre travail pour vous avec la sauvegarde automatique. Vous pouvez également choisir de recevoir un rappel concernant l'enregistrement de votre travail.

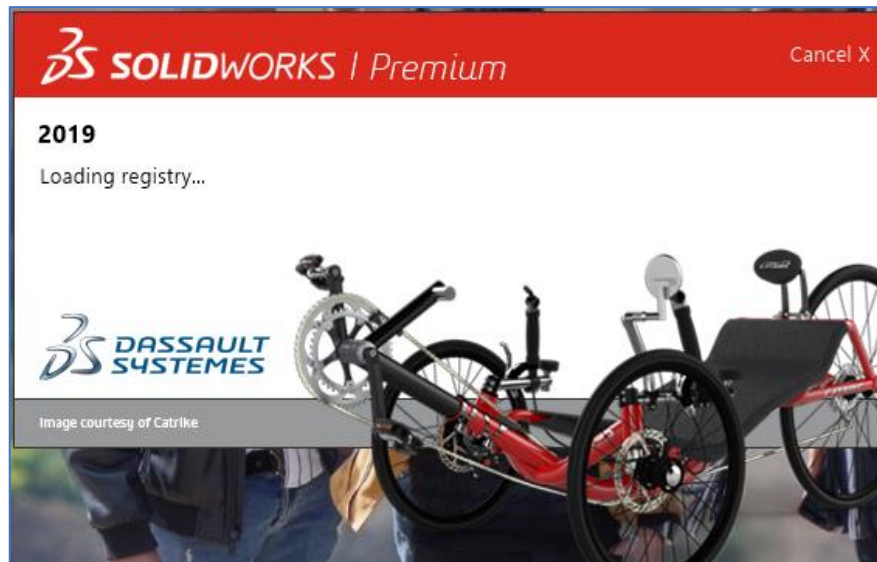


Figure III.1 : lancement du logiciel.

L'interface officielle du logiciel nous permet de créer n'importe quelle forme d'ingénierie, qu'elle soit unidimensionnelle, bidimensionnelle ou tridimensionnelle, et de contrôler ses dimensions et la **figure (III.2)** montre le menu principal du logiciel.

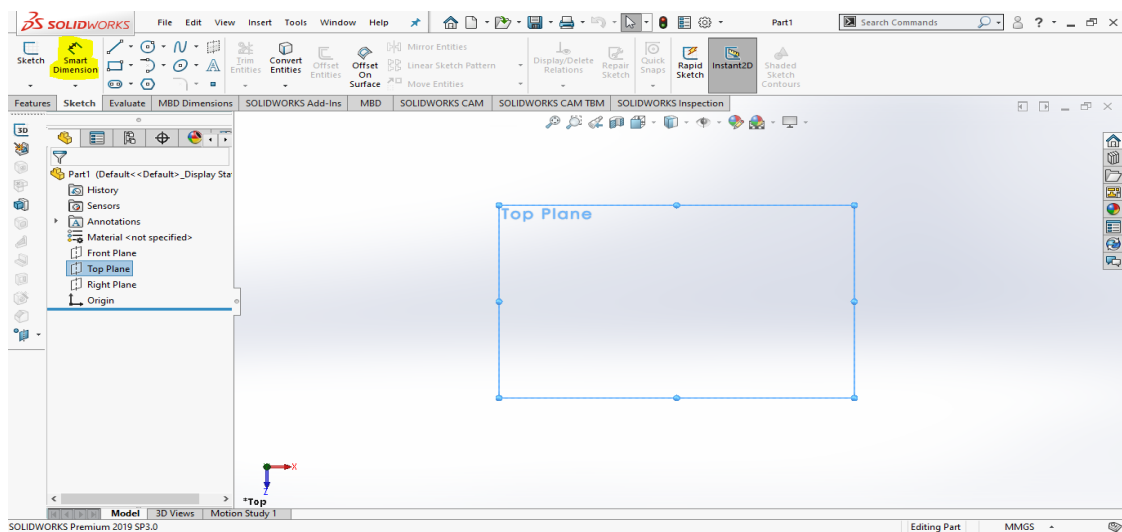


Figure III.2 : le menu principal du logiciel.

III.2.2 Création des ailettes :

Pour créer les ailettes de radiateur nécessite plusieurs étapes, on dessin d'abord un rectangle, puis nous extrayons le matériaux (Extruded), en fin on retire le matériau sous forme d'anneaux (Shell) cela de fait en fonction des dimensions mesurées (**Figure III.3**).

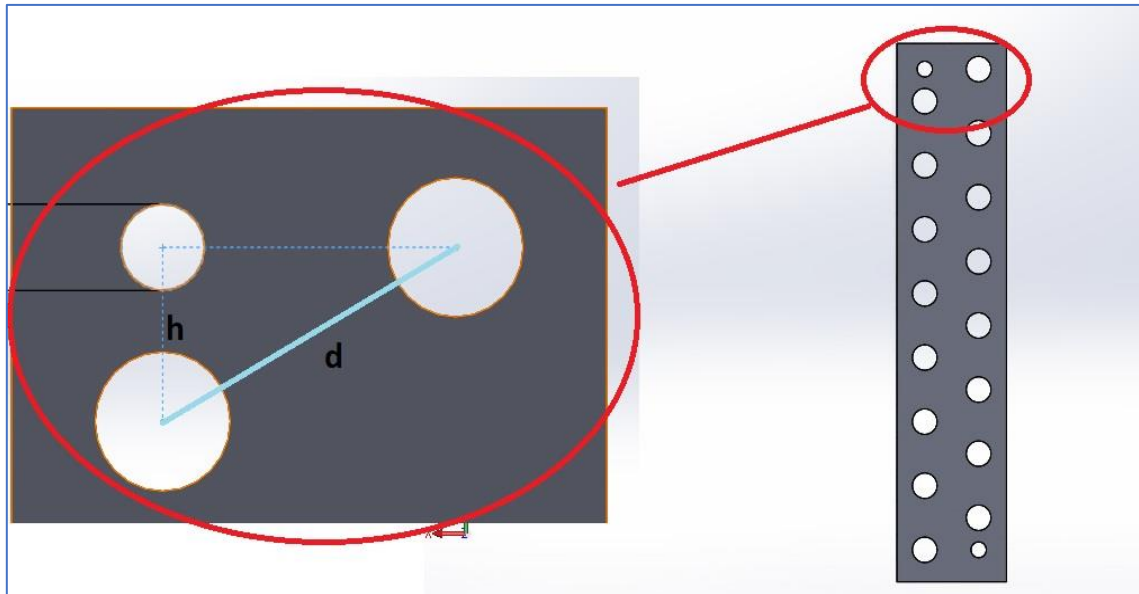


Figure III.3 : La forme d'ailette.

Toutes les dimensions de l'ailette sont indiquées dans le **tableau III.1**.

Tableau III.1 : Dimensions des ailettes et conductivité thermique.

Langueur d'ailette (mm)	Largeur d'ailette (mm)	Diamètre du trou (mm)	Épaisseur d'ailette (mm)	h (mm)	d (mm)	Conductivité thermique d'aluminium (w/m.K)
210	44	10	0.5	12.5	25	237

III.2.3. Création du tube :

Le tube est le deuxième composant principal pour créer un radiateur, on trace d'abord une ligne puis on la remplit (swept), en fin on retire le matériau (Shell), le tube montré dans la **figure (III.4)**.

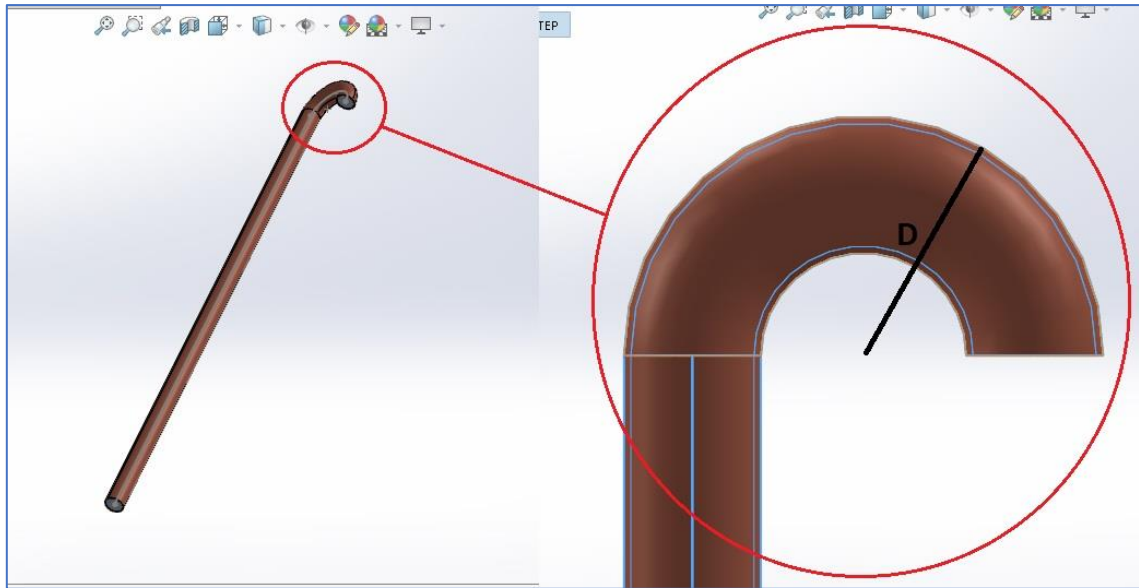


Figure III.4 : La forme du tube génère.

Toutes les dimensions du tube sont indiquées dans le **tableau (III.2)**.

Tableau III.2: caractéristique géométrique et propriétés thermique de refroidisseur

Diamètre intérieur (mm)	Diamètre extérieur (mm)	Épaisseur (mm)	D (mm)	Conductivité thermique d'aluminium w/m.K
9.5	10	0.5	12.5	237

III.2.4. L'assemblage :

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage, l'intérêt de cet outil, c'est qu'il rend possible la création d'une pièce dans l'assemblage par l'outil (assembly) [1].

Nous rassemblons les ailettes et les tubes, nous utilisons également l'outil de répétition, nous répétons l'ailette cinquante-cinq fois et le tube seize fois par l'outil (Linear pattern), et en choisissant la direction des itérations et leur nombre.

A la fin de l'assemblage, nous obtenons le formulaire final du radiateur qui montré dans la **figure (III.5)**, après nous sauvegardons la géométrie sous forme STEP ou IGS afin que SolidWorks puisse l'identifier.

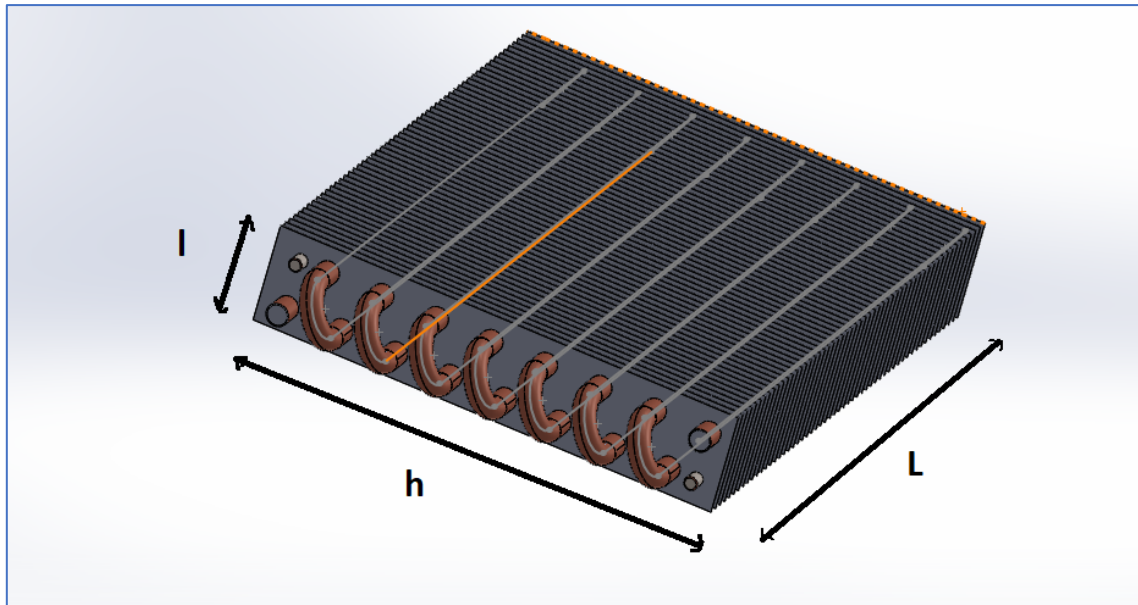


Figure III.5 : La géométrie finale du dissipateur.

Toutes les dimensions du Radiateur sont indiquées dans le **tableau (III.3)**.

Tableau III.3 : caractéristique géométrique du Radiateur

L (mm)	h (mm)	l (mm)	Nombre des ailette (mm)
291	210	44	55

III.3. Simulation numérique :

Après avoir terminé la création de la géométrie, nous pouvons importer par le logiciel Workbench-ANSYS, ce dernier est spécialisé pour des simulations numériques qui nous a facilité la tâche et nous a permis sans efforts manuels, en temps réduit et avec précision à simuler numériquement notre étude pour obtenir des bons résultats.

Le besoin d'améliorer les techniques de refroidissement des dissipateur thermique à faible et à forte puissance a élargi le champ de la recherche concernant le transfert thermique au niveau de ces derniers, en particulier dans les écoulements causés par la force de flottabilité (convection naturelle) ou les écoulements de convection forcée, le comportement du fluide est complètement décrit par le champ d'écoulement (composantes de la vitesse), le champ thermique, la distribution de pression et les propriétés locales du fluide. Ces

variables sont gouvernées par les lois fondamentales de conservation de la masse, de quantité de mouvement et d'énergie.

III.3.1. Description du logiciel

Le logiciel contient cinq étapes principale (Géométrie, Maillage, Configuration, Solution, résultats), Où nous discuterons dans ce chapitre en 3 étapes et nous aborderons la solution et les résultats dans le quatrième chapitre tandis que :

- ✓ **Géométrie** : Cette cellule grâce auquel nous pouvons importer, modifier ou créer une géométrie qui sont utilisé pour l'analyse.
- ✓ **Maillage** : Le maillage est une subdivision d'un espace géométrique continu en cellules géométriques discrètes, les cellules maillées sont utilisées comme approximations locales discrètes du plus grand domaine.
- ✓ **Configuration** : Cette cellule nous permet de définir les conditions aux limites et d'ajuster les paramètres nécessaires en fonction de la forme et de la spécialité étudiée.
- ✓ **Solution** : Cette cellule nous permet d'atteindre des solutions plus précises.
- ✓ **Résultats** : Cette cellule nous donne tous les résultats obtenus à partir du calcul, selon des analyses précises.

Et comme tous ces programmes s'ouvrent dans une seule fenêtre :

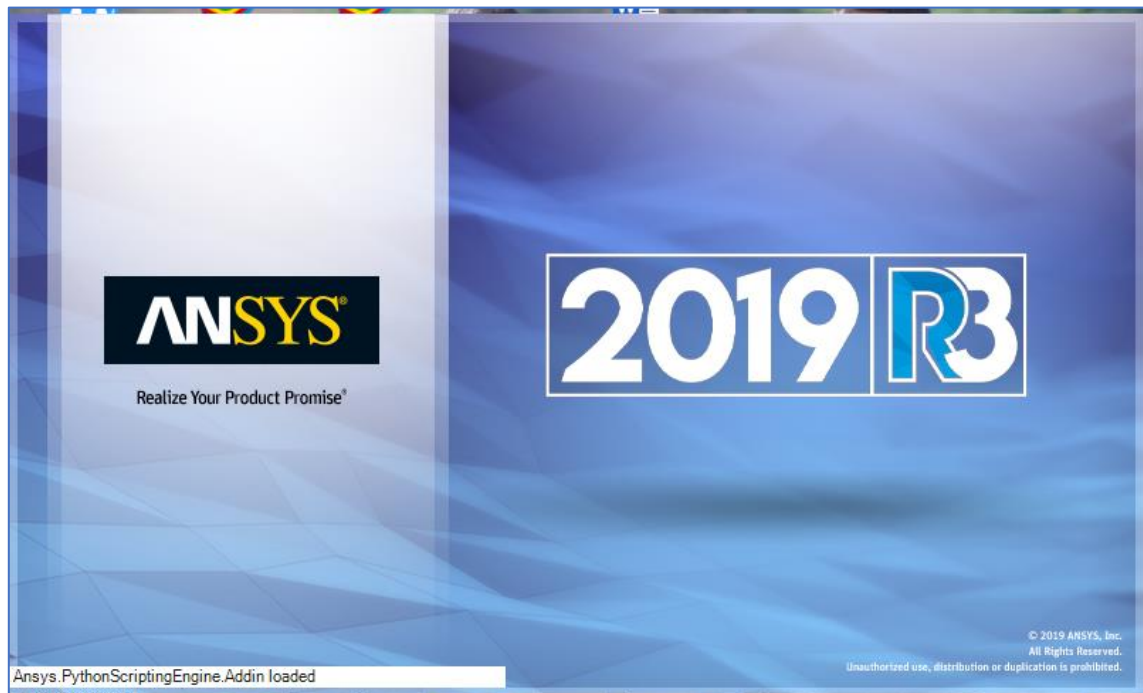


Figure III.6 : Lancement du logiciel

III.3.2. Géométrie :

Après l'ouverture du logiciel et l'émergence du menu principal nous choisissons la commande (fluide flow(fluent)) dans le menu de gauche, après cela, nous appuyons la commande (Géométrie), comme le montre la **figure III.7**.

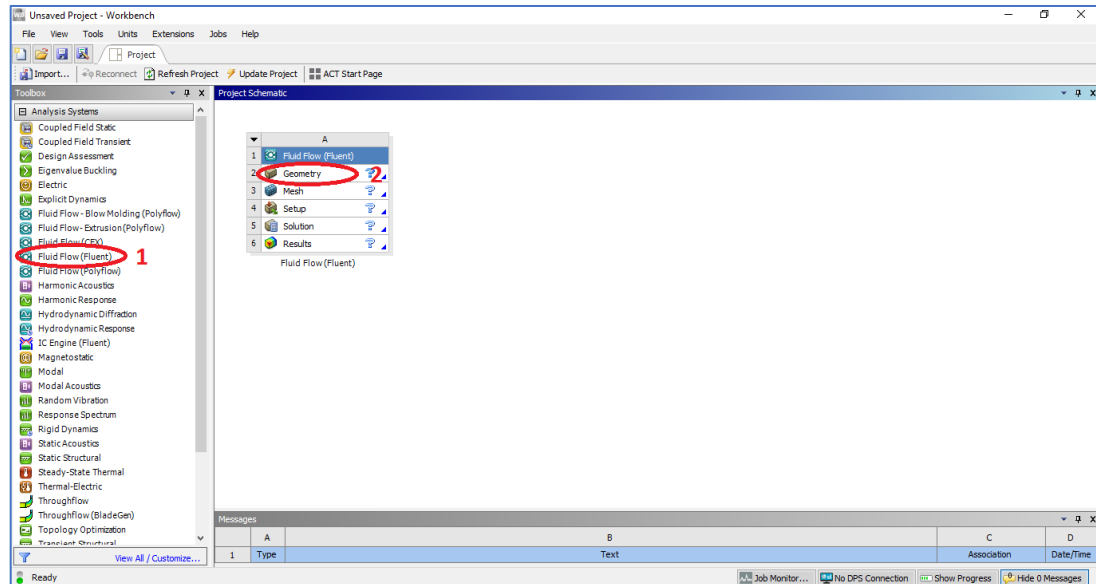


Figure III.7 : le menu principal.

L'étape suivante consiste à importer la géométrie via la commande (file =>Import external geometry file), après cela nous assemblons les éléments du radiateur avec la commande (boolean), comme le montre la **figure III.8**.

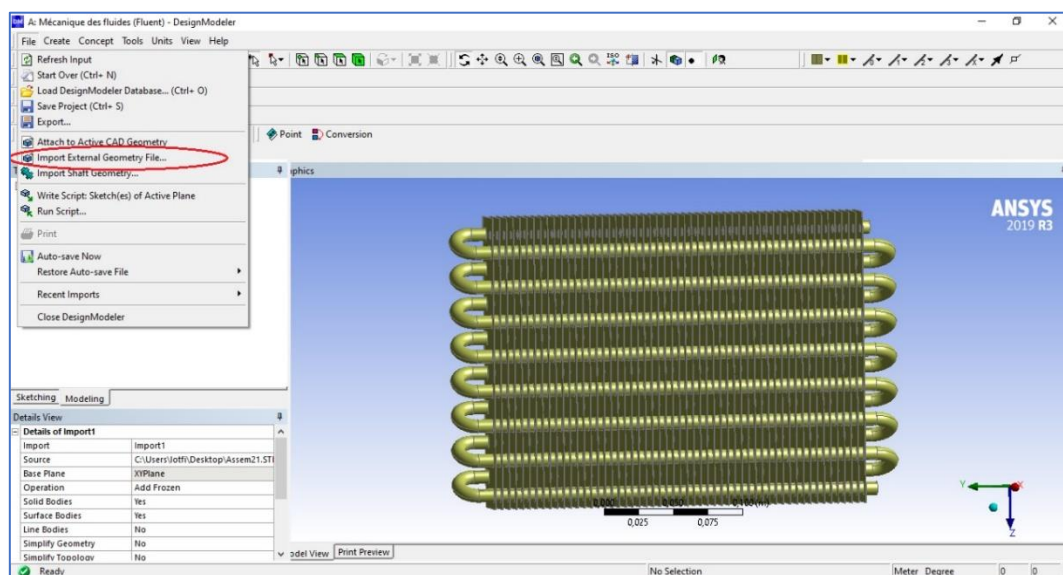


Figure III.8 : L'importation de la géométrie.

III.3.3. Maillage :

Les maillages sont créés par des algorithmes informatiques, souvent avec un guidage humain via une interface graphique, en fonction de la complexité du domaine et du type de maillage souhaité. [38]

Quant en entrant dans la fenêtre du Maillage, nous nommons le point d'entrée du fluide (Inlet) et son point de sortie (Outlet).

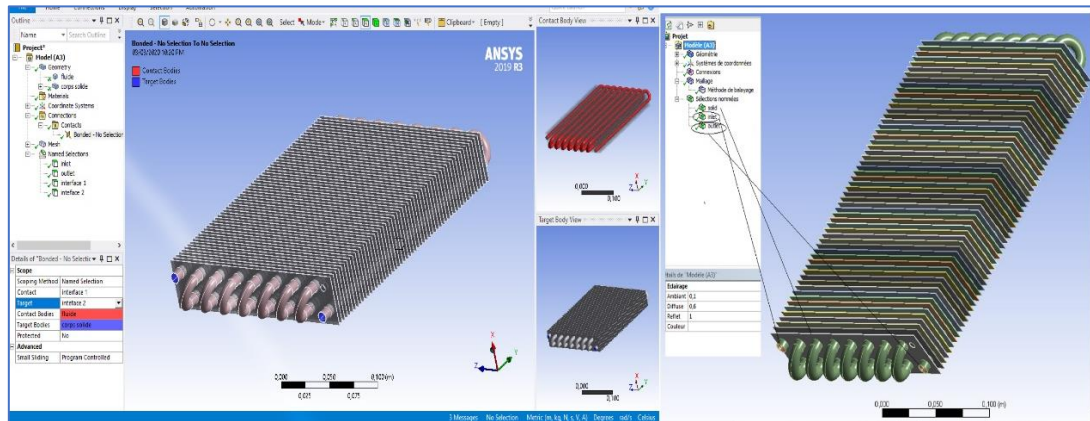


Figure III.9 : Déclarations des propriétés physiques et ses nominations.

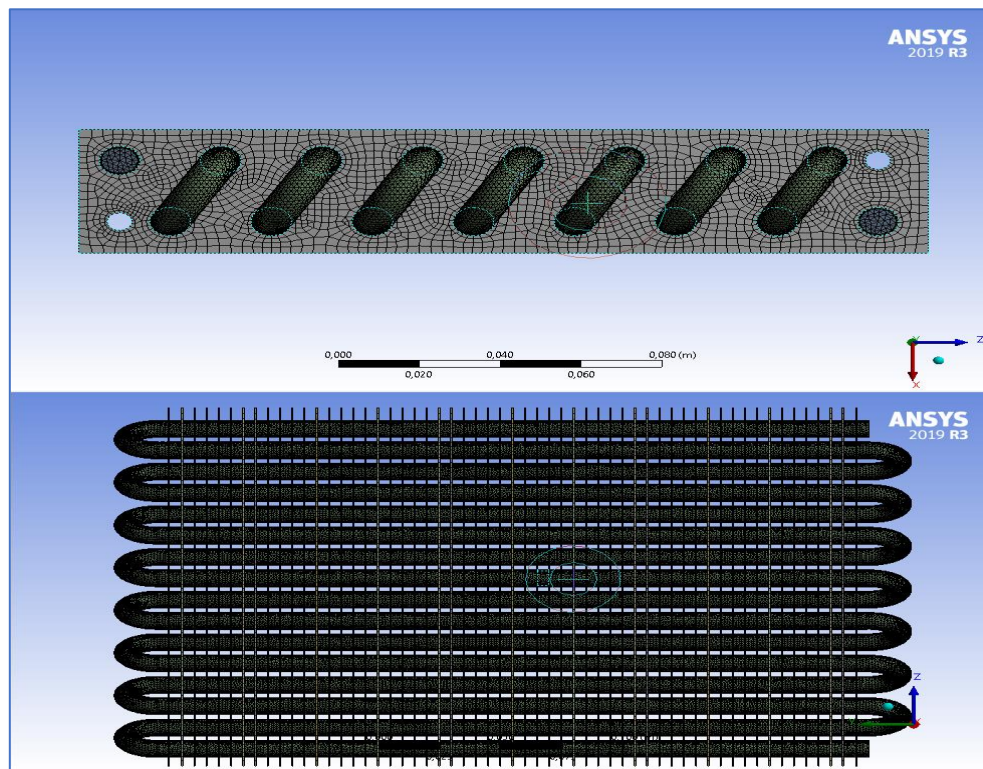


Figure III.10 : Présentation du maillage du radiateur.

III.3.4. Configuration :

Dans cette étude, cette cellule a pu régler la température d'entrée et de sortie du radiateur, le débit, déterminant le type de solide (aluminium) et de fluide (eau) et le coefficient de transfert de chaleur, après cela nous appuyons sur le bouton (calculate) pour commencer la calcule.

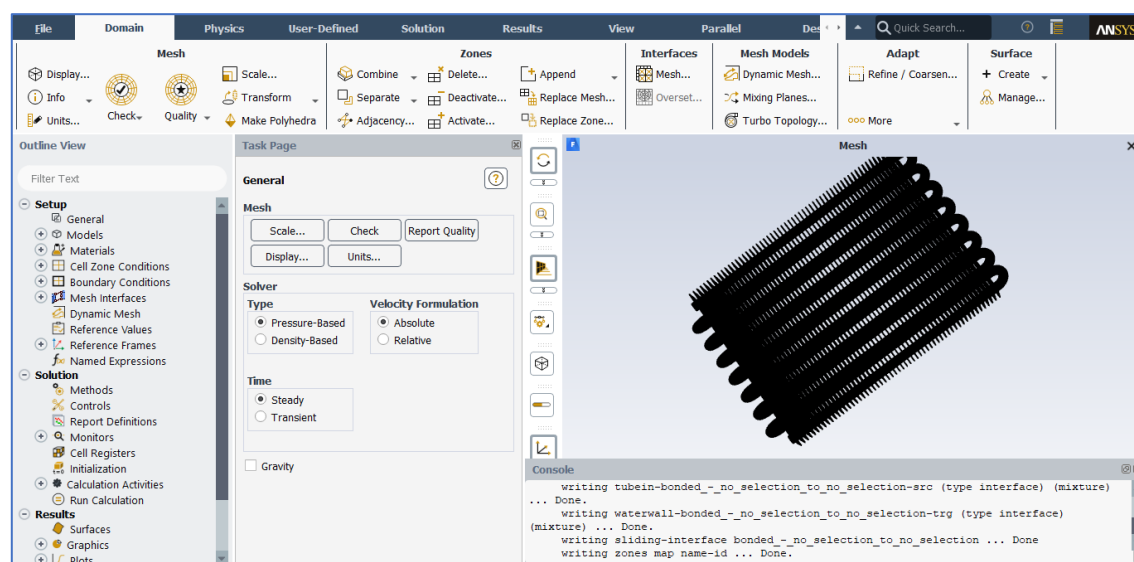


Figure III.11 : Fenêtre de configuration.

Toutes les conditions aux limites et propriétés du métal solide(aluminium) et fluide(eau) sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Les conditions aux limites.

Propriétés de l'eau			Propriétés d'aluminium			Débit (Entrée) [m/s]	Intensité turbulent e du reflux [%]	H [W/m².k]	T entré e [K]	T sorti e [K]
Densité [kg/m³]	Cp [j/kg.K]	Conductivité thermique [W/m.k]	Densité [kg/m³]	Cp [j/kg.K]	Conductivité thermique[W/m.k]					
998.2	4182	0.6	2719	871	202.4	0.2	5	200	380	322

III.4. Modélisation mathématique de la convection en régime laminaire :

La formulation mathématique des phénomènes de convection pour un problème donné bidimensionnel ou tridimensionnel, transitoire ou permanent, repose sur les

équations liant les différents paramètres à savoir : la vitesse, la pression et la température. Ces équations sont obtenues comme cas particuliers à partir des équations générales suivantes.

III.4.1. Équation de continuité :

C'est l'équation qui exprime la loi de conservation de la masse pour un volume de contrôle matériel. Elle s'exprime mathématiquement sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \cdot V = 0 \quad (\text{III. 1})$$

Où ρ est la masse volumique et V est le vecteur vitesse.

III.4.2. Équation de quantité de mouvement :

Le principe de conservation de la quantité de mouvement permet d'établir les relations entre les caractéristiques du fluide lors de son mouvement et les causes qui le produisent. Il indique que le taux de variation de quantité de mouvement contenu dans le volume de contrôle est égal à la somme de toutes les forces extérieures qui lui sont appliquées. Il s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{D(\rho \cdot V)}{Dt} = \rho F - \text{grad}(p) + \mu \Delta V + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}(V)) = 0 \quad (\text{III. 2})$$

Où F est une force par unité de volume et μ est la viscosité dynamique.

III.4.3. Équation de conservation d'énergie :

L'équation de conservation d'énergie est obtenue à partir du premier principe de la thermodynamique. Ce principe met en relation les différentes formes d'énergie, soit :

$$\frac{D(\rho c_p T)}{Dt} = \Delta(KT) + q + \beta T \frac{Dp}{DT} + \mu \phi = 0 \quad (\text{III. 2})$$

Avec :

$\frac{D(\rho c_p T)}{Dt}$: La variation totale d'énergie (par accumulation et convection).

$\Delta(KT)$: La variation d'énergie par conduction.

q : Puissance volumique dissipée.

$\beta T \frac{Dp}{DT}$: La variation d'énergie due à la compressibilité.

$\mu\phi$: La dissipation irréversible due au frottement visqueux.

Les coefficients c_p , K , β sont respectivement, la capacité calorifique, la conductivité thermique et le coefficient de dilatation isobare du fluide.

$\frac{D(\rho.V)}{Dt}$: La variation de la masse volumique, qui est estimée par l'hypothèse de Boussinesq. [39]

III.5. Hypothèses simplificatrices :

Maintenant, nous devons appliquer un modèle mathématique selon les équations susmentionnées pour décrire l'état physique du phénomène étudié, basé sur les conditions et hypothèses suivantes :

- ❖ Les transferts de chaleur par rayonnement et de masse sont négligeables.
- ❖ Le fluide étudié est une eau éthylène glycol.
- ❖ L'écoulement à l'intérieur du tube est laminaire.
- ❖ Le régime d'écoulement et le transfert de chaleur sont tridimensionnels.
- ❖ La dissipation visqueuse est négligée dans l'équation de l'énergie.

III.6. Équations du problème :

Après introduction des hypothèses données ci-dessus, on peut établir les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans cette étude comme suit:

Équation de continuité :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{III. 4})$$

Équations de quantité de mouvement Suivant X :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (\text{III. 5})$$

Équations de quantité de mouvement Suivant Y :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (\text{III. 6})$$

Équations de quantité de mouvement Suivant Z :

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (\text{III. 7})$$

Équation de l'énergie :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III. 8})$$

CHAPITRE IV

Résultats et Interprétation

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous exprimons les résultats obtenus et analysons ces résultats que nous avons obtenus grâce au calcul de simulation effectué par le logiciel Ansys, nous interprétons la variation de la température au niveau de chaque point du radiateur à partir du moment où le fluide écoule jusqu'au moment où il sort.

De plus, observer la diminution de la température, on fait varier le fluide de refroidissement par l'éthylène glycol et l'eau, et nous les comparerons pour savoir quel liquide est le plus efficace et le mieux à utiliser dans le processus de refroidissement du moteur.

IV.2 Solutions et résultats :

Nous avons vu précédemment les types de cellules dans la fenêtre d'ANSYS et leurs fonctions, pour atteindre aux solutions et résultats nécessaires, cela se fait à travers les deux cellules (Solution) et (Résultats) dans la fenêtre du logiciel comme le montre la **Figure (IV.1)** tandis que :

- ❖ **Solution** : permet d'atteindre des solutions plus précises.
- ❖ **Résultats** : Cette cellule nous donne tous les résultats obtenus à partir du calcul, selon des analyses précises.

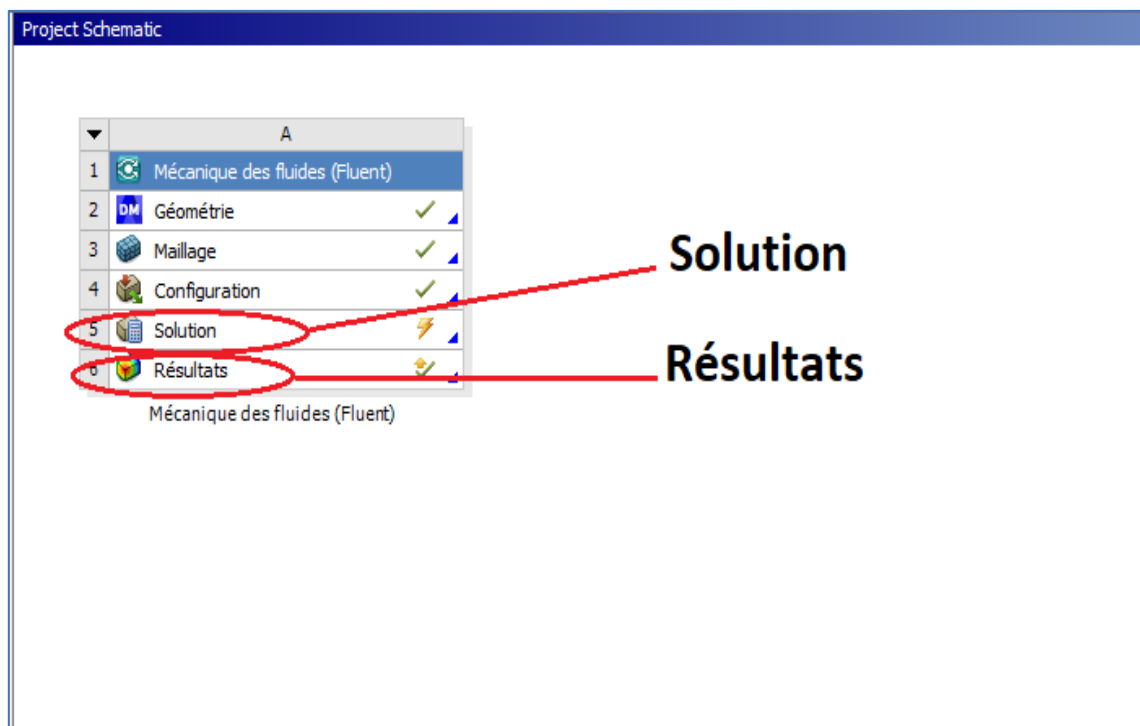


Figure IV.1 : présentation de la fenêtre du logiciel.

IV.3 Refroidissement au niveau du radiateur :

IV.3.1. La variation de la température :

Comme le processus de refroidissement a lieu au niveau de l'échangeur de chaleur, un gradient de température se produit au niveau des éléments de l'échangeur (tube, ailettes), nous allons donc discuter ce gradient engendré, comme suit :

IV.3.1.1. Variation de la température au niveau du tube de l'échangeur :

Lorsque l'eau pénètre dans l'échangeur de refroidissement, la température du fluide de refroidissement du moteur est maximisée (sur le logiciel « Inlet=entrée »), au milieu du tube la température diminuée et on remarque qu'elle diminue progressivement au niveau du tube, tandis que la température du liquide est minimale au point de sortie de l'échangeur (« Outlet=sortie »).

Vue transversale du profil de la température :

La température du fluide de refroidissement au niveau de l'échangeur varie d'un point à un autre de l'entrée tube vers la sortie, se présente également une diagonale au niveau du tube où l'on constate que la température au centre du tube est maximale et décroît progressivement en diagonale jusqu'au bord du tube et nous le notons dans la **Figure (IV.3)**.

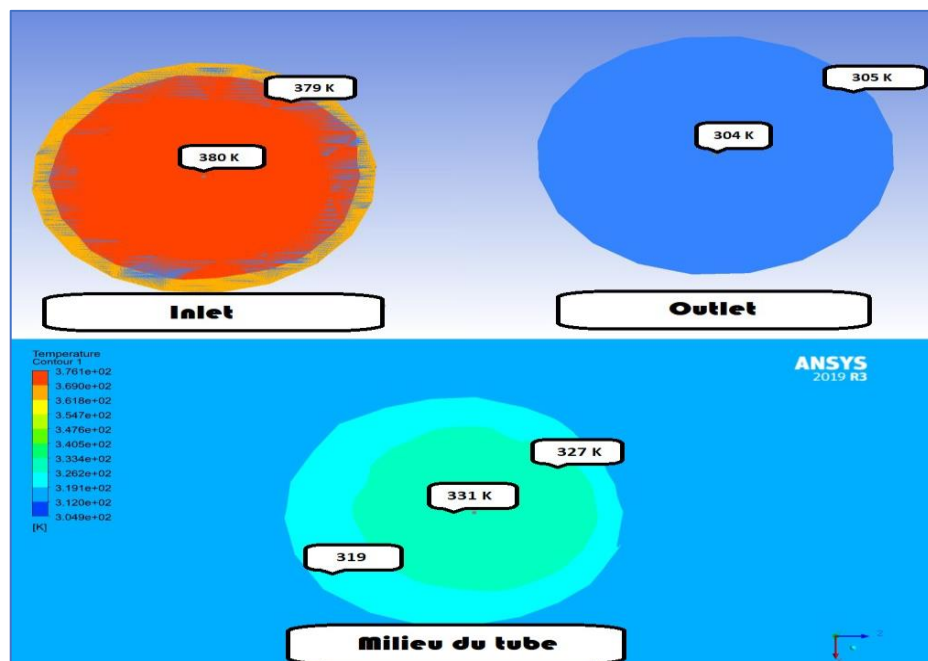


Figure IV.2 : Variation de la température au niveau section de tube.

IV.3.1.2 Distribution de la température au niveau des ailettes :

Les ailettes sont affectées par la température de l'air extérieur et elles sont affectées par la température du liquide de refroidissement provenant du moteur, de sorte qu'un gradient de température se produit à la surface de l'ailette.

A l'entrée de l'échangeur la température débute à varier du point d'entrée du fluide de refroidissement, on illustre bien que la température est maximale et la tendance diminue jusqu'au point où le fluide sort et la température est minimale.

IV.4. Type de fluide de refroidissement :

Le processus de refroidissement dépend de la qualité du fluide, car les propriétés thermo-physiques des fluides interagissent dans le processus de refroidissement à travers avec le temps, en particulier la température du fluide et le degré de son évaporation et de sa congélation.

Dans notre mémoire, nous avons étudié deux types de liquides de base, qui sont l'eau et l'éthylène glycol.

IV.4.1 Refroidissement par eau :

D'après notre étude de la simulation, l'évolution du processus de refroidissement par l'eau, la température au niveau du tube et de l'ailette diminué de 76 degrés du point d'entrée au point de sortie, où l'eau s'écoule avec une température d'entrée de 380° K et sort avec une température de 304°K, comme le montre **la figure IV.3**.

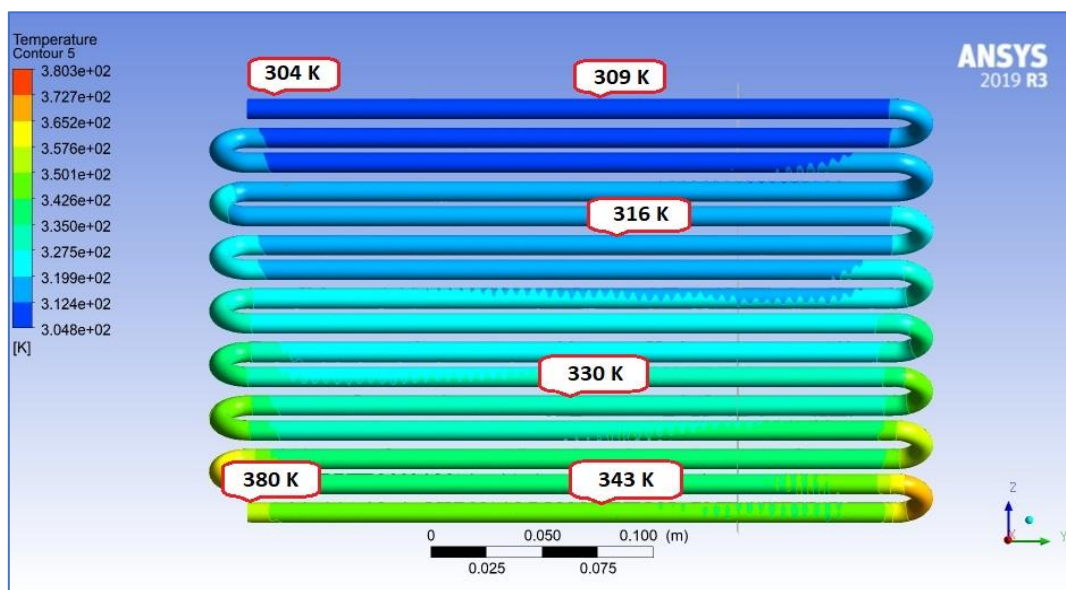


Figure IV.3 : Distribution de la température à travers la surface extérieure d'eau.

Le gradient de la température se produit également au niveau de l'ailette où la température diminue du haut vers le bas de l'ailette et l'écart de la température le de l'échangeur est de 32 degrés. Voir la **figure IV.4**.

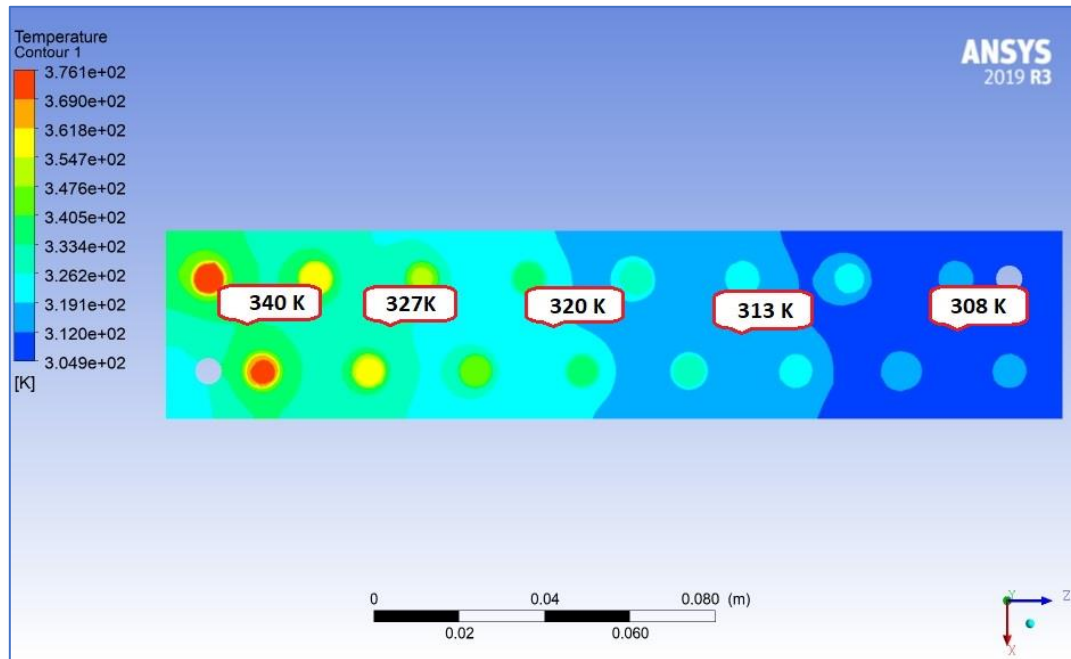


Figure IV.4 : Distribution de la température sur l'ailette.

Les propriétés thermo-physiques de l'eau interfèrent avec cela, qui sont présentées dans le **tableau IV.1**.

Tableau IV.1 : Propriétés thermo-physique d'eau :

Cp (j/kg.K)	K(W/m.K)	Densité (kg/m ³)	Viscosité (kg/m.s)
4182	0.6	998.2	0.001003

IV.4.2. Refroidissement par éthylène glycol :

Le gradient de la température se produit également au niveau de l'ailette où la température diminue du haut vers le bas de l'ailette et l'écart de la température le de l'échangeur est de 40 degrés. Donc on peut dire que Le fluide de refroidissement, l'éthylène glycol à des caractéristiques différentes de la caractéristique de l'eau, par un très faible degré de congélation et un point d'ébullition plus élevé que l'eau, voir figure **IV.5**.

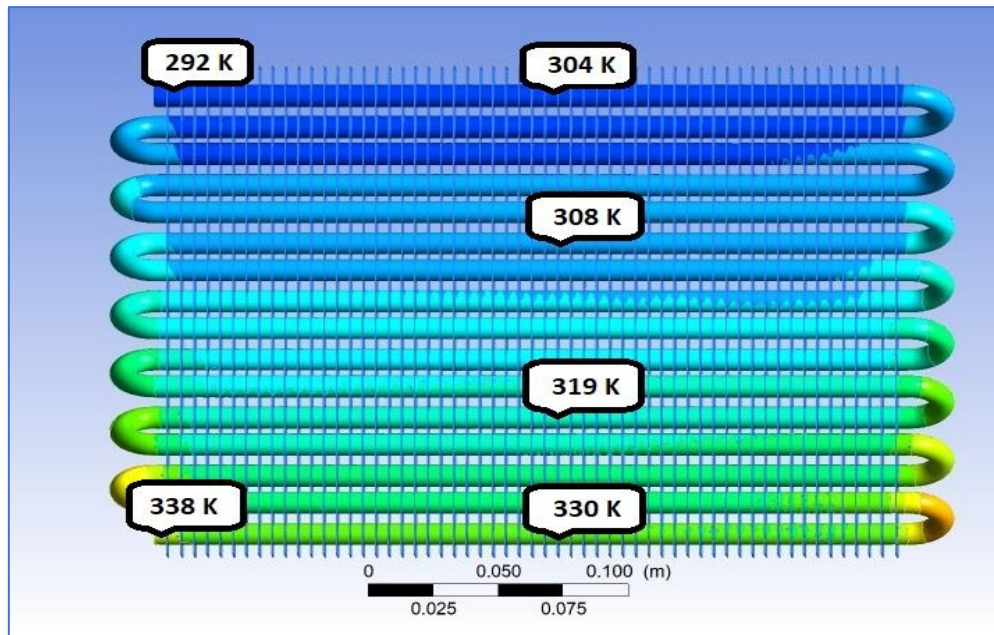


Figure IV.5 : Distribution de la température au niveau de la surface extérieure de l'éthylène glycol.

De même, l'évolution de la température au niveau d'ailette, elle variée de 322k en haut du l'ailette à 295k en bas du l'ailette, voir **figure IV.6**.

Cet écart dû au changement du fluide est justifié par les caractéristiques de l'éthylène glycol, comme indiqué dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : Propriétés thermo-physique de l'éthylène glycol :

Cp (j/kg.K)	K(W/m.K)	Densité (kg/m ³)	Viscosité (kg/m.s)
2386	0.257	1117	0.0214

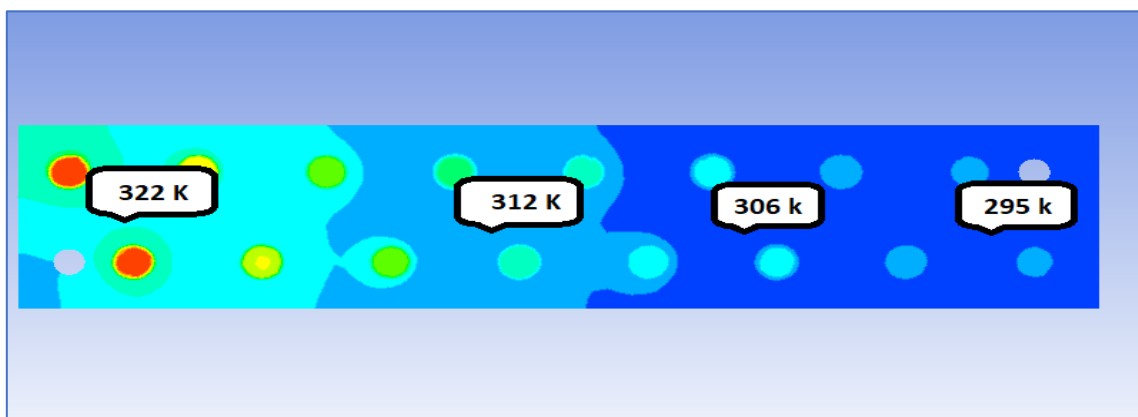


Figure IV.6 : Distribution de la température au niveau de l'ailette.

IV.5. Conclusion de la comparaison entre les fluides de refroidissement :

Après avoir étudié l'évolution de la température du refroidissement, nous avons utilisé dans notre cas deux types de fluides de refroidissement (éthylène glycol et eau), car le refroidissement par eau est efficace, mais il n'est pas idéal par rapport à l'éthylène glycol, car la température de l'éthylène est inférieure à la température de l'eau, que ce soit à l'entrée (Inlet) ou à la sortie (Outlet) et aussi le long de l'échangeur.

On peut conclure donc, que l'éthylène glycol est moins nocif pour les composants de l'anneau de refroidissement que l'eau car l'eau contient des additifs qui provoquent une érosion par cavitation, de la rouille et d'autres dommages.

De plus, le point de congélation de l'éthylène est inférieur au point de congélation de l'eau et son point d'ébullition est supérieur au point d'ébullition de l'eau.

Cependant, l'éthylène glycol est un liquide toxique contrairement à l'eau.

Conclusion Générale

Les moteurs diesel ont besoin d'une température élevée pour donner les performances nécessaires, mais une augmentation de la température se reflète négativement sur le moteur et ses éléments, voici le rôle de l'anneau de refroidissement qui aide le moteur à maintenir la température nécessaire selon des mécanismes bien régulés, l'anneau de refroidissement est composé de plusieurs éléments, dont le plus important est le radiateur (échangeur de chaleur) qui intervient au niveau du processus de refroidissement, Où ces derniers interagissent également avec la qualité des fluides frigorigènes utilisés et leurs propriétés thermophysiques.

Les types de transferts thermiques interfèrent fortement dans le processus de refroidissement du moteur, car nos études basées sur la convection, qui est un type de transfert thermique étudié, et la convection se fait dans un milieu dans lequel il y a un écoulement d'un fluide ou entre une surface solide et un fluide en un état de mouvement et c'est ce qui se passe dans notre étude, car la convection se produit entre le tube du radiateur et le liquide de refroidissement (eau, éthylène glycol).

A partir de création des éléments de radiateur séparément et leur installation à l'aide de logiciel SOLID WORKS jusqu'au processus de simulation et établir les conditions et les caractéristiques au niveau du radiateur par logiciel ANSYS nous avons obtenu des résultats qui montrent le gradient clair de température au niveau du radiateur, ce qui montre déroulement du processus de refroidissement sous deux formes, En utilisant deux fluides de refroidissement, l'eau et l'éthylène glycol, car chacun d'eux a des caractéristiques qui interfèrent avec la qualité du refroidissement.

Bibliographie

- [1] A. MIRA and A. REDOUANE, “Dimensionnement du système de refroidissement dumoteur Diesel Perkins 4006,” p. 8, 2017.
- [2] S. Deghboudj, “Maintenance des Moteurs Diesel.”
- [3] Bergerat MONNOYEUR, “[Circuit de refroidissement], (Centre de perfectionnement FRANÇAIS),” 2006.
- [4] “MOTEUR DIESEL,” *INTRODUCTION À LA MÉCANIQUE*.
- [5] T. Leda, AYRRES TAILA, “Etude problème de corrosion d’un moteur diesel Caterpillar 3512,” Ouargla, 2016.
- [6] A. MERABET, “CONTRIBUTION A L’ETUDE DES ECHANGES THERMIQUES DANS UN MOTEUR DIESEL ATMOSPHERIQUE A TAUX DE COMPRESSION VARIABLE,” MENTOURI CONSTANTINE.
- [7] A. MIRA and A. REDOUANE, “Dimensionnement du système de refroidissement dumoteur Diesel Perkins 4006,” p. 7, 2017.
- [8] “<https://www.boutiqueobdfacile.fr/blog/circuit-refroidissement-p39.htm>.” .
- [9] A. Salah, L. Bilal, and G. T. Mouhammed, “Étude et maintenance d’un moteur diesel de station pétrolière Caterpillar 3512,” 2007.
- [10] “Le circuit de refroidissement moteur.” [Online]. Available: <https://www.boutiqueobdfacile.fr/blog/circuit-refroidissement-p39.html>. [Accessed: 20-Mar-2020].
- [11] P. JEAN-LUC, GUIDE PRATIQUE D’ENTRETIEN ET DE RÉPARATION DES MOTEURS DIESEL, Loisires N. .
- [12] “Document Caterpillar, Société de montage et démontage et maintenance BERGERA model view N°=18 SMCS,” France, 2012.
- [13] I. BENABDALLAH, A. CHABI, and A. MOUADA, “En Vue De L’obtention Du Diplôme Master Professionnel (Minimisation des pertes d’énergie au niveau d’un moteur CAT 3512 V dans les stations pétrolières),” 2013.
- [14] S. Alexei, “Département de formation MÉCANIQUE DES FLUIDES, ÉNERGÉTIQUE

- & ENVIRONNEMENT,” France.
- [15] F. BEBBOUKHA and A. erraouf BEN AZZA, “étude d’un moteur diesel de station pétrolière Caterpillar 3512,” Ouargla, 2012.
- [16] <https://www.mister-auto.com/radiateur-moteur/bolk/bol-c011284/> 20/07/2020.
- [17] A. BARMAKI, M. E. BEN ARIMA, and KHELafa Abdesselame, “Étude et maintenance du moteur CAT 3512,” KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.
- [18] 1999 Fédération Des Maitres Instructeurs, “Mécanique automobile.”
- [19] P. Philippe, “ProfAuto.” [Online]. Available: <http://www.profauto.fr>. [Accessed: 24-Mar-2020].
- [20] T. Senhadji, “ETUDE THERMODYNAMIQUE D’UN MOTEUR DIESEL A QUATRE TEMPS QUATRE CYLINDRES.” .
- [21] <https://www.revue-technique-auto.fr> 19/07/2020.
- [22] <https://www.mister-auto.com/pompe-a-eau/valeo/506715/> 20/07/2020.
- [23] Odin BULLIARD-SAURET, Étude expérimentale de l’intensification des transferts thermiques par les ultrasons en convection forcée, thèse doctorat, Juillet 2016.
- [24] Naceri Yamina, Hamzi Safaa, Étude du phénomène thermique de convection forcée, mémoire licence, Juin 2009.
- [25] <https://fr.dreamstime.com/image-stock-trois-modes-transfert-chaaleur-image38682591>.
- [26] <http://www.edilivre.com/transferts-thermiques-cours-et-55-exercices-corrige>
- [27] Mr CHAIBI IDRIS, Etude thermique du soudage bout à bout de tube en polyéthylène à haute densité, Thème de Master, Université BADJI MOKHTAR-Annaba, année 2015.
- [28] Souad Hemeir, Contribution à l’étude d’un capteur solaire plan à air destiné aux applications de chauffage et de climatisations solaire, mémoire de Master, Université de Biskra, Juin 2012.
- [29] <https://fr.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/specific-heat-and-heat-transfer/a/what-is-thermal-conductivity>.
- [30] N. BOULTIF, cours de 3^{ème} année, Transfert de chaleur, (2017/2018).
- [31] J, F, Sacadura, Initiation aux transferts thermiques, (1976).

- [32] Mr BEKKOUCHE Sidi Mohammed El Amine, Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, Université ABOU- BAKR BELKAÏD – Tlemcen, année (2008/2009).
- [33] <https://www.maxicours.com/se/cours/transferts-thermiques-flux-thermique-resistance-thermique/> .
- [34] Mr BEKKOUCHE Sidi Mohammed El Amine, Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, Thèse de Doctorat, L'université ABOU-BAKR BELKAÏD – TLEMCEM, année (2008 ~ 2009).
- [35] Sophie Mergui, licence de mécanique 2eme année module transferts thermiques, UPMC Sorbonne universités.
- [36] Nora BOULTIF, Étude d'un échangeur de chaleur à triple tube concentrique en régime permanent et transitoire, Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Soutenue publiquement 26/04/2017.
- [37] SAADI SOUAD, Effet des paramètres opérationnels sur les performances D'un capteur solaire plan, mémoire de Master, Université de CONSTANTINE, année 2010.
- [38] <https://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> 25/06/2020
- [39] REZAIGUIA Issam, Investigation des échanges convectifs dans diverses configurations, thèse de doctorat, UNIVERSITE CONSTANTINE 1, année 2014

Résumé :

Ce mémoire est le résultat du travail effectué dans le cadre de projet de fin d'étude lié à l'étude du système de refroidissement d'un moteur diesel, les moteurs diesel sont considérés comme les moteurs les plus importants et les plus courants dans le monde donc nous étudions dans notre cas les circuits les plus importants qui sont les systèmes de refroidissement, qui dépend de plusieurs éléments de base, dont le plus important est le radiateur et cet aspect fait l'objet de notre étude où nous traitons des types de transferts de chaleur, en particulier la convection thermique qui se produit au niveau du radiateur, alors on fait la simulation numérique à partir des conditions aux limites, dimensions bien pensé et propriétés thermo-physique .

Mots clés : Refroidissement, moteur diesel, radiateur, convection thermique, simulation numérique.

ملخص:

هاته المذكرة هي نتيجة العمل المنجز في اطار مشروع نهاية الدراسة و المتعلق بدراسة نظام التبريد لمحرك الديزل، تعتبر محركات الديزل من أهم المحركات و أكثرها شيوعا في العالم لذا نتطرق في دراستنا لأهم حلقات المحرك و هي حلقة التبريد و التي تعتمد على عدة عناصر أساسية أهمها المبادل الحراري و هذا الجانب هو محل دراستنا حيث نتطرق إلى أنواع التحويلات الحرارية و خاصة الحمل الحراري الحادث على مستوى المبادل الحراري، حيث نقوم بعملية المحاكاة الرقمية انطلاقا من شروط حدية و أبعاد مدروسة و خصائص ترموفيزيائية لسوائل التبريد.

الكلمات المفتاحية: التبريد، محرك الديزل، المبادل الحراري، الحمل الحراري، المحاكاة الرقمية.

Abstract :

This dissertation is the result of the work carried out within the framework of the project of the end of the study related to the study of the cooling system of the diesel engine. Diesel engines are among the most important and most common engines in the world. Therefore, in our study we deal with the most important engine rings, which is the cooling ring, which depends on several basic elements, the most important of which is the radiator. This aspect is the subject of our study, as we deal with the types of heat transfers, especially the convection occurring at the radiator level, where we perform the digital simulation based on boundary conditions, studied factors and thermophysical properties.

Keywords : Cooling, diesel engine, radiator, convection, Numerical simulation.