REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Dr YAHIA FARES de MEDEA
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie de la Matière

En vue d'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Génie Mécanique
Option : énergétique et thermique des systèmes

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

Etude numérique de refroidissement des moules avec injection plastique

Présenté Par :
- SAHEL RIYAD
- MESDOURA HOURIA

Dirigé et Proposé par :
Pr. ABDALLAH El Hadj Abdallah
Dr. ALLICHE MOUNIR

2015-2016

Remerciements

Je remercie en premier lieu« Allah » pour nous avoir donné la chance et la force à arriver à ce niveau d'études.

Nous remercions les directeurs de mémoire Dr. Alliche Mounir et Pr. Abdallah-El Hadj Abdallah.

Nos gratitudes et chaleureux remerciements s'adressent à tous nos enseignants qui ont contribués à notre formation surtout messieurs Rebhi Ridha et Khellil Tahar.

Nous remercions les membres de jury pour avoir accepté de soutenir notre travail.

DÉDICACES

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL:
A CEUX QUI M'ONT ENCOURAGÉ LE LONG DE MES ÉTUDES :

MES TRÈS CHERS PARENTS

A MON FRÈRE ET TOUTES MES SŒURS AUSSI MA FAMILLE.

A TOUS MES AMIS, A TOUS MES COLLÈGUES

A TOUS LES PERSONNES QUI M'ONT AIDÉ DE PROCHE OU DE LOIN POUR RÉALISER CE TRAVAIL.

MESDOURA HOURIA

DÉDICACES

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL:

A MES TRÈS CHERS PARENTS QUI M'ONT AIDÉ ET ENCOURAGÉ DURANT TOUTES MES ÉTUDES.

A MON FRÈRE ET TOUTES MES SŒURS

TOUTES LES FAMILLES SAHEL

A TOUS MES AMIS ET AINSI QUE TOUS PROCHES.

A TOUS LES PERSONNES QUI M'ONT AIDÉ DE PROCHE OU DE LOIN POUR RÉALISER CE TRAVAIL.

SAHEL RIYAD

SOMAIRE

Introduction générale….....01

Chapitre 1 : Généralités sur le moulage

1-1/ Introduction**….....**03

1-2/Les deux grandes familles de procédés de moulage**……**03

1-2-1/ Procédés à moule non permanent**…….....**03

1-2-2/Procédés à moule permanent**……**04

1-2-3/Avantages et inconvénients**……**04

1-3/Méthodes de moulage**……**05

1-3-1//Moulage par compression**….....**05

1-3-2//Moulage par transfert**….....**06

1-3-3//Moulage par injection**….....**08

1-4/Conditions de moulage**….....**09

1-4-1/Dosage de la matière**….....**09

1-4-2/Vitesse de rotation de la vis**….....**10

1-4-3/Pression et vitesse d'injection**….....**10

1-4-4/Retard de plastification**….....**11

1-5/Choix de la méthode de moulage**….....**11

1-6/Les pièces réalisées par moulage**….....**12

1-7/Qualité des produits de moulage**….....**13

1-8/Les défauts de moulage**….....**14

1-9/conclusion**….....**20

Chapitre 2 : injection plastique

1-1/ Introduction**….....**20

2-2/Principe de fonctionnement…..20

2-3/Paramètres et réglage …..20

2-4/Procédé d'injection…..21

2-4-1/La phase de plastification…..21

2-4-2/La phase de remplissage…..22

2-4-3/La phase de compactage…..22

2-4-4/La phase d'éjection…..23

2-5/Presse à injection…..24

2-6/La structure de presse d'injection…..24

2-7/Défauts des pièces injectées…..25

2-8/Conclusion…..34

Chapitre 3 : Synthèse bibliographique sur le Refroidissement des moules

3-1/introduction…..35

3-2/Historique et Etudes Antérieures…..35

3-3/Conclusion…..57

Chapitre 4 : Conception des moules

4-1/Généralités…..58

4-1-1/ Classification…..58

4-1-2/Les composants de moule…..60

4-2/Conception initiale…..61

4-2-1/Sélectionner une matière…..61

4-2-2/Écoulement du polymère dans les canaux de distribution…..63

4-2-3//Paramètres de traitement…..63

4-3/ Conception par Solidworks et Imold…..64

4-3-1/Conception de la pièce (assiette) ….64

4-3-2/Conception le noyau et l'empreinte….65

4-3-3/ Constitution de la carcasse….66

4-3-4/Emplacement des points d'injections….70

4-3-5/Système d'alimentation….71

4-3-6/Système de refroidissement….72

4-3-7/Ejecteur….73

4-3-8/Buse d'injection….76

4-3-9/Assemblage….78

4-4/Cycle de moulage….78

Chapitre 05 : simulation numérique

Partie 01 :L'analyse de l'écoulement de la matière plastique….80

5-1-1/ Equations de base….80

5-1-2/ Equations de l'écoulement incompressible….81

5-1-3/ L'analyse numérique….81

5-1-3.a/ Propriété de la machine d'injection et la matière plastique….82

5-1-3.b/ La Viscosité de la matière plastique….83

Partie 02 : transfert de chaleur….84

5-2-1 Généralités sur le transport et le transfert de l'énergie thermique….84

A) Par conduction….84

B) Par convection….85

C) Par rayonnement….86

Partie 03 : Résultats numériques de l'analyse de l'écoulement de la matière plastique…..89

A/Circuit ouvert….89

B/Circuit fermé….104

C/plaque de cuivre…….....119

D/circuit fermé 5 coudes…….....134

E/la matière ABS (circuit fermé) …….....146

5-4/CONCLUSION…….....161

Liste des figures :

Chapitre 1

Figure (1-01) : schéma des techniques de moulage 04

Figure (1.02) : schéma du Moulage par Compression 05

Figure (1-03) : schéma du Moulage par transfert 07

Figure (1-04) : schéma de grande pièce 12

Chapitre 2

Figure (2-01) : schéma du procédé de moulage par injection 20

Figure (2-02) : La phase de plastification 22

Figure (2-03) : La phase de remplissage 22

Figure (2-04) : La phase de compactage 23

Figure (2-05) : La phase d'éjection 23

Figure (2-06) : La presse d'injection 24

Figure (2-07) : La structure de presse d'injection 25

Chapitre 3

Figure (3-01) : simulation par éléments finis avec "Cold-remplir rapidement": (a) la pression, (b) à l'état fondu avant avancement, (c) le temps de refroidissement, (d) des pièges à air, (e) des lignes de soudure. 36

Figure (3-02) : simulation par éléments finis avec "Cold-remplir rapidement": (a) la pression, (b) à l'état fondu avant avancement, (c) le temps de refroidissement, (d) des pièges à air, (e) des lignes de soudure. 37

Tableau(1) : Données de traitement recommandées pour le plastique PA06. 39

Figure (3-03) : effet de maillage 39

Figure (3- 04) : Répartition de la température après la phase de remplissage. 40

Figure (3-05[A-B]) : Effet des configurations des circuits de refroidissement sur le refroidissement 40

Figure (3-06) : possibles des canaux de refroidissement conformes pour le plastique produit. 41

Figure (3-07) : distribution de température 41

Figure (3-08) : la tempe de refroidissement 42

Figure (3-09): Modèle CAO du récipient de nourriture. 43

Figure (3-10): (A) conception du canal de refroidissement conventionnel. (B) de la sérieconformationnelle de refroidissement design. (C) canal de refroidissement conformationnelle parallèle. (D) Conformal canal de refroidissement avec additifs lignes de refroidissement 44

Tableau 2: Propriétés thermiques et mécaniques. 45

Figure (3-11): Le temps pour atteindre la température d'éjection (a) le canal de refroidissement classique, et (b) des canaux de refroidissement série conformationnelle. 46

Figure (3-12): Temps nécessaire pour atteindre la température d'éjection avec (a) tropicalisation parallèle des canaux de refroidissement et (b) des canaux de refroidissement conforme aux lignes d'additifs. 46

Figure (3-13): Temps pour atteindre une partie température d'éjection avec (a) des canaux de refroidissement classique, (b) des canaux de refroidissement série conformationnelle, (c) les canaux de refroidissement conformal parallèle, et (d) tropicalisation canaux avec des lignes d'additifs de refroidissement. 47

Figure (3-14) : Pourcentage de retrait volumétrique à éjection avec (a) des canaux de refroidissement conventionnel, (b) des séries tropicalisation des canaux de refroidissement, (c) des canaux de refroidissement conformationnelle parallèle, et (d) conformationnelle des chaînes avec des lignes d'additif de refroidissement. 48

Figure (3-15):variation de température en partie (a) le canal de refroidissement classique, (b) des canaux de refroidissement série conformationnelle, (c) des canaux de refroidissement conformal parallèle, et (d) conformationnelle canaux avec des lignes d'additifs de refroidissement. 49

Figure (3- 16): Comparaison de temps pour atteindre la température d'éjection. 50

Figure (3- 17): Comparaison de retrait volumétrique à l'éjection. 50

Figure (3- 18): Comparaison de la variance de la température de la pièce. 51

Tableau 3: Résumé des Fill + Pack + résultats d'analyse cool. 51

Figure (3-19) : La méthode de trou de forage pour réaliser un circuit de refroidissement. 53

Figure (3- 20): Détermination de la direction de forage. 54

Figure (3-21):résultat de simulation 55

Figure(3- 22):comparaison entre les circuits 55

Figure(3- 23): Coupe axisymétrique de la pièce étudiée dans les deux configurations de refroidissement 56

Figure(3- 24) : Influence de la position des canaux sur la mise en régime périodique établi – Comparaison de laconfiguration conventionnelle et du conformalcooling 57

Figure(3- 25): Profil de température surfacique du moule à l'instant d'éjection sur le segment [AB] - Comparaison de la configuration conventionnelle et du conformalcoolin 57

Chapitre 4

Figure (4-01) : plan de joint du moule 59

Figure (4-02) : les composants de moule 60

Tableau (4.01) : les Propriété du polymère utilisé 62

Figure (4.02): le model d'assiette 63

Figure (4.03) : assiette 65

Figure (4-03,04): Le noyau et l'empreinte 66

Figure (4.05):schéma de partie fixe 69

Figure (4.06):schéma de partie mobile 69

Figure (4.07):schéma de moule assemblé 70

Figure (4.08):système d'alimentation 72

Figure (4-09,10):système de refroidissement 73

Figure (4-11) : Les éjecteurs 75

Figure (4-12) : Trim éjecteur 76

Figure (4-13) : Buse d'injection 77

Figure (4.14) : Assemblage de moule 78

Figure (4-15) : Cycle de moulage 79

Chapitre 5

Tableau (5-1-01) : Les propriétés de la machine 82

Figure (5.1.02) : La Viscosité de la matière plastique en fonction du taux de cisaillement pour différentes températures 83

Figure (5.2.01) : transfert de chaleur Par convection 86

A-Circuit ouvert :

Cas 1 (v=0.35 et T=298) :

Figure A-1-1: la variation de température sur le plat 89

Figure A-1-2:la variation de température sur le plan 1 89

Figure A-1-3:la variation de température sur le plan 2 90

Figure A-1-4:la variation de température sur le plan 3 90

Figure A-1-5:la variation de température sur le circuit 91

Figure A-1-6:courbe de variation de température on fonction de temps 91

Cas 2 (v=1 et T=298)

Figure A-2-1:la variation de température sur le plat 92

Figure A-2-2:la variation de température sur le plan 1 92

Figure A-2-3:la variation de température sur le plan 2 93

Figure A-2-4:la variation de température sur le plan 3 93

Figure A-2-5:la variation de température sur le circuit 94

Figure A-2-6:courbe de variation de température on fonction de temps 94

Cas3 (v=3 et T=298) :

Figure A-3-1:la variation de température sur le plat 95

Figure A-3-2:la variation de température sur le plan 1 95

Figure A-3-3:la variation de température sur le plan 2 96

Figure A-3-4:la variation de température sur le plan 3 96

Figure A-3-5:la variation de température sur le circuit 97

Figure A-3-6:courbe de variation de température on fonction de temps 97

Cas 4 (v=0.35 et T=283) :

Figure A-4-1:la variation de température sur le plat 98

Figure A-4-2:la variation de température sur le plan 1 98

Figure A-4-3:la variation de température sur le plan 2 99

Figure A-4-4:a variation de température sur le plan 3 99

Figure A-4-5:la variation de température sur le circuit 100

Figure A-4-6:courbe de variation de température on fonction de temps 100

Cas 5 (v=0.35 et T=275) :

Figure A-5-1:la variation de température sur le plat 101

Figure A-5-2:la variation de température sur le plan 1 101

Figure A-5-3:la variation de température sur le plan 2 102

Figure A-5-4:la variation de température sur le plan 3 102

Figure A-5-5:la variation de température sur le circuit 103

Figure A-5-6:courbe de variation de température on fonction de temps 103

B-Circuit fermé :

Cas 1 (v=0.35 et T=298) :

Figure B-1-1:la variation de température sur le plat 104

Figure B-1-2:la variation de température sur le plan 1 104

Figure B-1-3:la variation de température sur le plan 2 105

Figure B-1-4:la variation de température sur le plan 3 105

Figure B-1-5:la variation de température sur le circuit 106

Figure B-1-6:courbe de variation de température on fonction de temps 106

Cas 2 (v=1 et T=298) :

Figure B-2-1:la variation de température sur le plat 107

Figure B-2-2:la variation de température sur le plan 1 107

Figure B-2-3:la variation de température sur le plan 108

Figure B-2-4:la variation de température sur le plan 3 108

Figure B-2-5:la variation de température sur le circuit 109

Figure B-2-6:courbe de variation de température on fonction de temps 109

Cas 3 (v=3 et T=298) :

Figure B-3-:la variation de température sur le plat 110

Figure B-3-2:la variation de température sur le plan 110

Figure B-3-3:la variation de température sur le plan 2 111

Figure B-3-4:la variation de température sur le plan 3 111

Figure B-3-5:la variation de température sur le circuit 112

Figure B-3-6:courbe de variation de température on fonction de temps 112

Cas 4 (v=0.35 et T=283) :

Figure B-4-1:la variation de température sur le plat 113

Figure B-4-2:la variation de température sur le plan 1 113

Figure B-4-3:la variation de température sur le plan 2 114

Figure B-4-4:la variation de température sur le plan 3 114

Figure B-4-5:la variation de température sur le circuit 115

Figure B-4-6:courbe de variation de température on fonction de temps 115

cas 5 (v=0.35 et T=275) :

Figure B-5-1:la variation de température sur le plat 116

Figure B-5-2:la variation de température sur le plan 1 116

Figure B-5-3:la variation de température sur le plan 2 117

Figure B-5-4:la variation de température sur le plan 3 117

Figure B-5-5:la variation de température sur le circuit 118

Figure B-5-6:courbe de variation de température on fonction de temps 118

C:plaque de cuivre

Cas 1(T=298 et V=0.35) :

Figure C-1-1:la variation de température sur le plat 119

Figure C-1-2:la variation de température sur le plan 1 119

Figure C-1-3:la variation de température sur le plan 2 120

Figure C-1-4:la variation de température sur le plan 3 120

Figure C-1-5:la variation de température sur le circuit 121

Figure C-1-6:la variation de température sur le domaine de cuivre 121

Cas 2 (T=283 et V=0.35) :

Figure C-2-1:la variation de température sur le plat 122

Figure C-2-2:la variation de température sur le plan 1 122

Figure C-2-3:la variation de température sur le plan 2 123

Figure C-2-4:la variation de température sur le plan 3 123

Figure C-2-5:la variation de température sur le circuit 124

Figure C-2-6:la variation de température sur le domaine de cuivre 124

Cas 3 (T=275 et V=0.35) :

Figure C-3-1:la variation de température sur le plat 125

Figure C-3-2:la variation de température sur le plan1 125

Figure C-3-3:la variation de température sur le plan 2 126

Figure C-3-4:la variation de température sur le plan 3 126

Figure C-3-5:la variation de température sur le circuit 127

Figure C-3-6:la variation de température sur le domaine de cuivre 127

Cas 4 (T=298et V=1) :

Figure C-4-1:la variation de température sur le plat 128

Figure C-4-2:la variation de température sur le plan 1 128

Figure C-4-3:la variation de température sur le plan 2 129

Figure C-4-4:la variation de température sur le plan 3 129

Figure C-4-5:la variation de température sur le circuit 130

Figure C-4-6:la variation de température sur le domaine de cuivre 130

Cas 5 (T=298et V=3) :

Figure C-5-1:la variation de température sur le plat 131

Figure C-5-2:la variation de température sur le plan 1 131

Figure C-5-3:la variation de température sur le plan 2 132

Figure C-5-4:la variation de température sur le plan 3 132

Figure C-5-5:la variation de température sur le circuit 133

Figure C-5-6:la variation de température sur le domaine de cuivre 133

D:circuit fermé 5 coudes :

Cas 1(T=298 et V=0.35) :

Figure D-1-1:la variation de température sur le plat 134

Figure D-1-2:la variation de température sur le plan 1 134

Figure D-1-3:la variation de température sur le plan 2 135

Figure D-1-4: la variation de température sur le plan 3 135

Figure D-1-5: la variation de température sur le circuit 136

Cas 2(T=283 et V=0.35) :

Figure D-2-1:la variation de température sur le plat 136

Figure D-2-2:la variation de température sur le plan 1 137

Figure D-2-3:la variation de température sur le plan 2 137

Figure D-2-4:la variation de température sur le plan 3 138

Figure D-2-5:la variation de température sur le circuit 138

Cas 3(T=275 et V=0.35) :

Figure D-3-1:la variation de température sur le plat 139

Figure D-3-2:la variation de température sur le plan 1 139

Figure D-3-3:la variation de température sur le plan 2 140

Figure D-3-4:la variation de température sur le plan 3 140

Figure D-3-5:la variation de température sur le circuit 141

Cas 4(T=298 et V=1) :

Figure D-4-1:la variation de température sur le plat 141

Figure D-4-2:la variation de température sur le plan 1 142

Figure D-4-3:la variation de température sur le plan 2 142

Figure D-4-4:la variation de température sur le plan 3 143

Figure D-4-5: la variation de température sur le circuit 143

Cas 5(T=298 et V=3) :

Figure D-5-1:la variation de température sur le plat 144

Figure D-5-2:la variation de température sur le plan 1 144

Figure D-5-3:la variation de température sur le plan 2 145

Figure D-5-4:la variation de température sur le plan 3 145

Figure D-5-5:la variation de température sur le circuit 146

E : la matière ABS (circuit fermé) :

Cas 1(T=298 et V=0.35) :

Figure E-1-1:la variation de température sur le plat 146

Figure E-1-2:la variation de température sur le plan 1 147

Figure E-1-3:la variation de température sur le plan 2 147

Figure E-1-4:la variation de température sur le plan 3 148

Figure E-1-5:la variation de température sur le circuit 148

Figure E-1-6:courbe de variation de température on fonction de temps 149

Cas 2(T=283 et V=0.35) :

Figure E-2-1:la variation de température sur le plat 149

Figure E-2-2:la variation de température sur le plan 1 150

Figure E-2-3:la variation de température sur le plan 2 150

Figure E-2-4:la variation de température sur le plan 3 151

Figure E-2-5:la variation de température sur le circuit 151

Figure E-2-6:courbe de variation de température on fonction de temps 152

Cas 3(T=275 et V=0.35) :

Figure E-3-1:la variation de température sur le plat 152

Figure E-3-2:la variation de température sur le plan 1 153

Figure E-3-3:la variation de température sur le plan 2 153

Figure E-3-4:la variation de température sur le plan 3 154

Figure E-3-5:la variation de température sur le circuit 154

Figure E-3-6 : courbe de variation de température on fonction de temps 155

Cas 4(T=298 et V=1) :

Figure E-4-1:la variation de température sur le plat 155

Figure E-4-2:la variation de température sur le plan 1 156

Figure E-4-3:la variation de température sur le plan 2 156

Figure E-4-4:la variation de température sur le plan 3 157

Figure E-4-5:la variation de température sur le circuit 157

Figure E-4-6 : courbe de variation de température on fonction de temps 158

Cas 5(T=298 et V=3) :

Figure E-5-1:la variation de température sur le plat 158

Figure E-5-2:la variation de température sur le plan 1 159

Figure E-5-3:la variation de température sur le plan 2 159

Figure E-5-4:la variation de température sur le plan 3 160

Figure E-5-5:la variation de température sur le circuit 160

Figure E-5-6: courbe de variation de température on fonction de temps 161

Nomenclature :

Q : le débit volumique	[m^3/s]
ρ: la densité	[kg/m^3]
C : Vitesse absolue	[m/s]
μ : Viscosité dynamique	[Pa·s]
P : Pression	[Pa]
F : Forces volumiques	[N/kg]
∇: operateur gradient	
g: gravitation	[m/s^2]
λ : conductivité thermique	[W/m.K]
Φ :fonction de dissipation	
h: coefficient de convection	[W/m^2.K]
T_P : température du solide	[K]
T∞ :température du fluide	[K]

Introduction générale

Le moulage par injection plastique devient un domaine de recherche très actif en particulier ces dernières années. Ce procédé de fabrication permet de réaliser des composants de formes très complexes qui possèdent d'excellentes qualités dimensionnelles et de bonnes propriétés mécaniques.

En outre, le moulage par injection plastique est en croissance rapide et elle permet plus de dynamique dans le domaine de l'entreprise dans un court laps de temps. Ce processus apporte beaucoup d'avantages ; il est très rentable et persistant. En plus, ce processus fournit des produits raffinés qui sont lisses et ne nécessitent pas de finition supplémentaire.

Le matériel est alimenté dans un baril chauffé, mélangé, et forcé dans une cavité du moule où il se refroidit et se solidifie à la configuration de la cavité du moule.

Après la conception d'un produit, généralement par un concepteur industriel (ingénieur ou designer), des moules sont fabriqués par un mouliste de métal, généralement en acier ou en aluminium, et usinés avec précision pour former les caractéristiques de la pièce désirée.

Cependant, l'étape de refroidissement est d'une grande importance car elle affecte considérablement la productivité et la qualité de la partie finale. Plus de 70% du temps du cycle de moulage est absorbé par l'étape de refroidissement.

Ainsi, une conception du système de refroidissement efficace visant à réduire le temps de cycle s'avère indispensable afin de minimiser les défauts de cette méthode.

Dans ce contexte, on s'intéresse dans ce mémoire par le refroidissement de la pièce plastique et comment améliorer cette étape.

La conception du moule sera réalisée à l'aide du logiciel (SOLIDWORKS-IMOLD) et la simulation par le logiciel (Ansys CFX).

Le présent mémoire se compose de cinq chapitres principaux :

Le premier chapitre contient une généralité sur le moulage,ses types, ses différentes méthodes, ses avantages et ses inconvénients.

Le second chapitre est concerné au procédé de moulage par injection.Il présente les méthodes et les outils de moulage par injection.

Le troisième chapitre traite le refroidissement des moules.On donne aussi une synthèse de quelques travaux antérieurs (articles).

Le quatrième chapitre contient une présentation générale de la conception d'un moule à injection plastique par **Solidworks**et **Imold.**

Le cinquième chapitre consiste à la modélisation de l'écoulement de la matière plastique : une partie sur le transfert de chaleur. La simulation numérique a permis d'accéder à la morphologie de l'écoulement interne, et présentation des résultats obtenus.

On finalise notre travail par une conclusion générale.

1-1/Introduction :

Les procédés de production de produits moulés bénéficient de travaux de recherche et d'innovations qui permettent à la fonderie d'être en constant progrès et d'atteindre les plus hauts niveaux de performance. On dénombre cinq technologies de production principales, et plusieurs autres dérivées des premières ou mixant les principes de forge et de fonderie.

Le choix optimal du procédé de moulage dépend essentiellement du nombre, de la taille, de la forme, de la matière, et des caractéristiques techniques des pièces à réaliser.

Le moulage consiste à verser un métal liquide qui s'écoule par gravité ou sous pression dans un moule dans lequel il se solidifie en prenant la forme de l'empreinte réalisée dans la cavité du moule.

1-2/Les deux grandes familles de procédés de moulage :

1-2-1/ Procédés à moule non permanent :

Un moule non permanent est une structure principalement réalisée en matériauxde moulage (généralement en sable), composée d'une ou de plusieurs parties etoffrant après assemblage un évidement appelé empreinte finale. Cette empreintecorrespond à la pièce brute (en tentant compte du retrait) et aux systèmes deremplissage et d'alimentation.

Après coulée de l'alliage, cette structure est désagrégée (décochage) pourextraire la pièce brute. Chaque partie du moule correspondant à une forme de lapièce constitue une empreinte partielle. Une empreinte donne généralement lesformes extérieures de la pièce. Un noyau donne généralement les formesintérieures de la pièce. [1]

Les types de moulage non permanent : [1]

- moulage en sable
- Moulage avec noyaux
- Moulage sans modèle
- Moulage en grappe
- Moulage en carapace
- Moulage avec modèle perdu

Technique de moulage en sable :

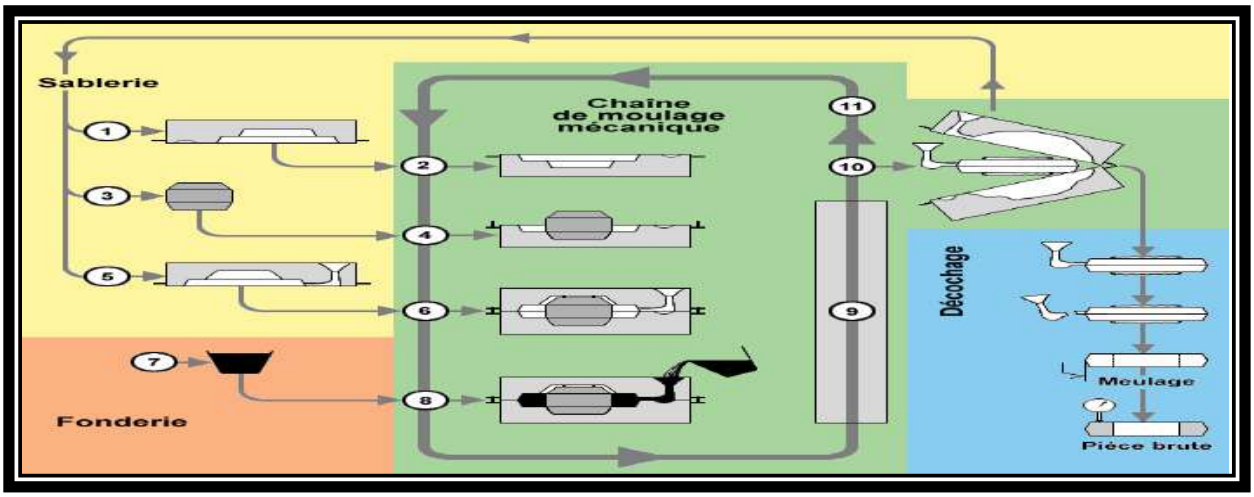


Figure (1-01) : schéma de technique de moulage

1-2-2/Procédés à moule permanent :

Le moule permanent peut supporter plusieurs coulées successives avant sa misehors service. Les opérations fondamentales que sont le moulage (obtention desformes), le remplissage en alliage liquide, l'alimentation de la pièce pendant lasolidification et enfin le démoulage de cette pièce sont assurés par le moule quidevra être mécanisé presque totalement. La répétition de ces opérations amène àparler de cycle de moulage et de cadence de production, qui sont spécifiques àchaque moule.

Le remplissage et l'alimentation sont déterminés par la pesanteur, le moule étantappelé coquille, d'où la désignation courante de ce procédé de moulage : coulée en coquille, par gravité.

Ce procédé peut être utilisé avantageusement à partir d'une série minimale de2000 pièces. [1]

Les types de moulage permanent sont : [1]

- le moulage en coquille par gravité ;
- le moulage basse pression en coquille ;
- le moulage sous-pression

1-2-3/Avantages et inconvénients : [1]

- ✓ Moule non permanent : des géométries plus complexes sont possibles car on peut casser le moule pour extraire la pièce

- ✓ Les formes sont limitées en moule permanent car il est nécessaire de pouvoir ouvrir le moule pour extraire la pièce.
- ✓ Les procédés à moule permanant sont plus économiques en grande série

1-3/Méthodes de moulage :

1-3-1//Moulage par compression :

Cette technique consiste à presser, à chaud, la matière dans un moule. La matière dosée est placée dans un moule ouvert. Le moule est ensuite fermé à l'aide d'une presse hydraulique. Sous l'action de la chaleur et de la pression, la matière commence par se fluidifier et prend la forme du moule puis la réaction de réticulation se produit. Il est nécessaire de laisser la matière sous presse le temps de la réaction, appelé temps de cuisson. Cela impose des immobilisations importantes de matériel.

Il se décompose de la façon suivante :

a) chargement du moule

b) fermeture du moule

c) dégazage éventuel

d) remplissage

e) ouverture du moule

f) éjection des pièces

g) évacuation des pièces

h) nettoyage du moule

i) préparation du moule pour la coulée suivante.

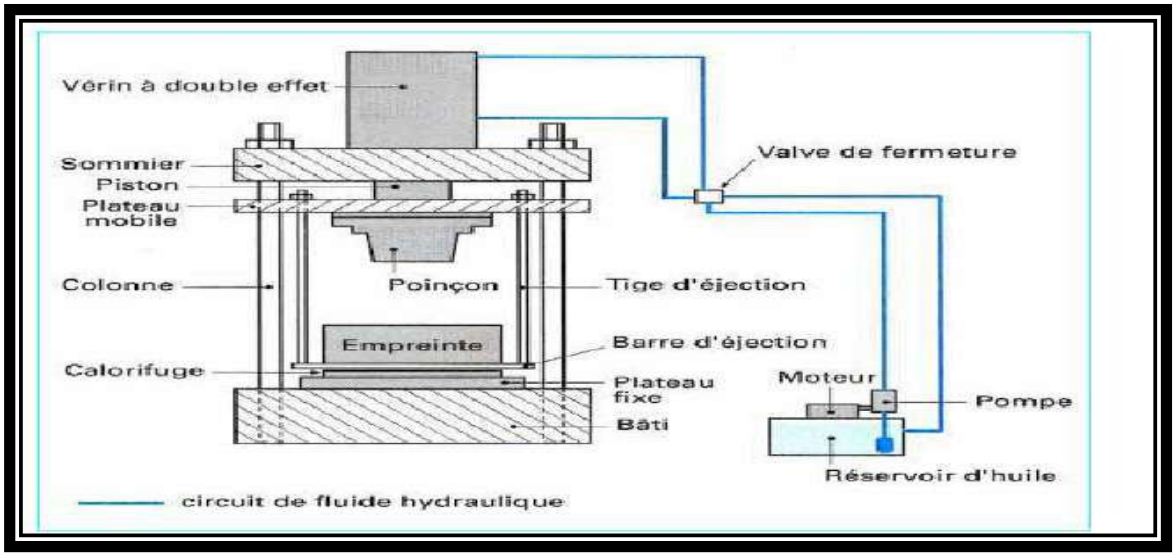


Figure (1.02) : schéma du Moulage parCompression [2]

Avantage :

- Pression relativement faible d'où possibilité :
  - ✓ moulage de pièces de grande surface.
  - ✓ d'un nombre d'empreintes plus grand qu'avec les autres méthodesde moulage.
- Pertes de matière plus faibles (absence de « carotte »).
- Retrait plus faible.
- Déformation des pièces moulées moins prononcée.
- Prix des presses plus bas.

Inconvénients :

- Temps de cycle plus longs.
- Nécessité de dosage pour chaque empreinte.
- Moule nécessitant une chambre de compression.
- Difficulté d'exécution des moules positifs et semi-positifs.
- Cotes des pièces dépendant du sens de fermeture plus difficiles à respecter.
- Difficulté de moulage de pièces :
  - ✓ présentant de grandes différences d'épaisseur ;
  - ✓ avec des broches fines ou des inserts mal tenus au moment de la fermeture.
- Opération d'ébavurage importante. [2]

1-3-2//Moulage par transfert :

Le moulage par transfert consiste à transférer sous pression la matière à mouler placée dans une cavité auxiliaire dénommée pot de transfert, vers les empreintes d'un moule chaud énergiquement fermé. Le transfert n'est possible que si la viscosité de la matière est faible (ou la fluidité élevée). Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des matières plus fluides que dans le cas de la compression et de se placer, par préchauffage, vers le minimum de la courbe de viscosité

Les méthodes de préchauffage les plus utilisées sont le préchauffage par haute fréquence et la plastification par système vis-fourreau

Dans le cas d'une presse de transfert à deux vérins avec vérin de transfert supérieur, le cycle de moulage se décompose de la façon suivante :

a) fermeture du moule

b) mise en place de la matière préchauffée dans le pot de transfert

c) application de la pression de transfert

d) cuisson

e) ouverture du moule

f) éjection

g) évacuation des pièces

h) nettoyage du moule

i) préparation du moule pour la « moulée » suivante.

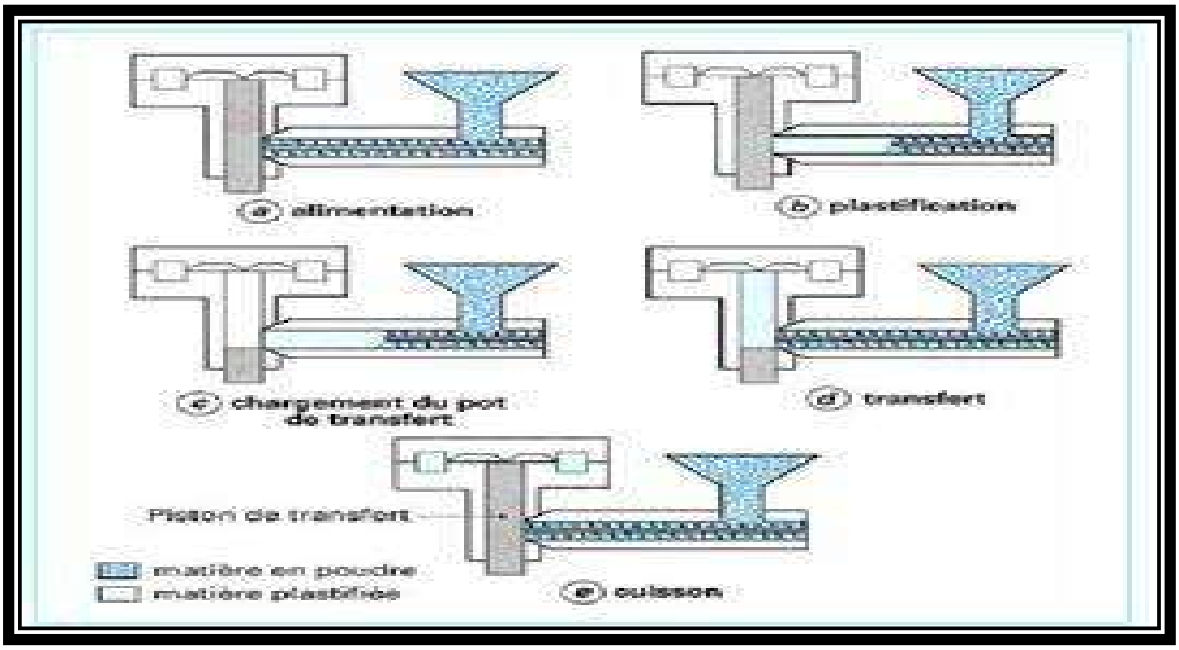


Figure (1-03) : schéma du Moulage par transfert

Avantage :

- Un seul dosage de matière par moulée.
- La matière gagne de la chaleur par conduction et par friction pendant son passage dans les canaux et les seuils de transfert. Elle est brassée, d'où une meilleure répartition de la chaleur dans la masse ; il en résulte :
  - ✓ la possibilité de mouler des pièces ayant de fortes variations d'épaisseur
  - ✓ un temps de cuisson plus court
  - ✓ une amélioration de la cuisson qui entraîne une amélioration des propriétés mécaniques, sauf dans le cas des matières à charge fibreuse.
  - ✓ une diminution du risque de rupture des broches.
- Le moule étant fermé avant introduction de la matière, les cotes ne dépendent plus de la fermeture.

Inconvénients

- Déchets plus importants dus à la « carotte » (5 à 20 % en Masse).
- Déformation des pièces moulées plus importante.
- Retrait plus important.
- Nécessité d'appliquer une pression plus élevée.
- Chute des propriétés mécaniques des pièces dans le cas de
- Matières à charge fibreuse par rupture et orientation des fibres
- Pendant le cheminement dans les canaux et les seuils de transfert.
- Nécessité d'un préchauffage de la matière et souvent d'un
- Pastillage. [2]

1-3-3//Moulage par injection :

Une vis-piston se déplaçant dans un cylindre, ou fourreau, chauffé (généralement par circulation d'un fluide) assure le pré plastification et le dosage de la matière, puis son injection directe dans le moule chaud par l'intermédiaire d'une buse et de canaux. Le procédé est très voisin de celui utilisé pour le moulage des thermoplastiques avec des différences dues au caractère thermodurcissables des matières à mouler. Le phénomène de friction dans le fourreau de plastification est plus important que dans le cas des thermoplastiques et nécessite un contrôle rigoureux de la température. C'est pour cette raison que le moulage par injection des matières thermodurcissables n'est possible qu'avec des presses à vis. Le chauffage du fourreau par circulation d'un fluide assure une bonne régulation de température car il permet non seulement le chauffage mais également l'évacuation de la chaleur.Le moulage par injection peut être considéré comme une amélioration, par automatisation, du moulage par transfert. Cela explique le faible volume actuel de matière transformée par transfert. Le cycle de moulage comporte très souvent une opération de dégazage.

Les paramètres clés de contrôle : températures, temps et pressions sont ici encore plus importants que dans le cas des deux autres méthodes de moulage. En revanche, la stabilité des réglages est bien plus facile à atteindre car le cycle est entièrement automatique.

Une variante du procédé de moulage par injection consiste à injecter la matière dans un moule qui n'est pas totalement fermé (ouverture de quelques millimètres) et à assurer la compression après la fin de l'injection. On l'appelle « injection-compression ». Elle permet l'usage de pressions d'injection plus faibles et facilite le dégazage, ce qui, par abaissement des tensions internes, diminue les risques de déformation des pièces moulées**.**

Avantages :

- Possibilité d'automatisation totale.
- La matière gagne de la chaleur par conduction et par friction Pendant son passage dans la buse, les canaux et les seuils d'injection. Comme il n'y a ni manipulation, ni perte de temps entre la fin de la plastification et l'injection, il est possible de préchauffer la matière à température plus élevée qu'en transfert. Il en résulte des temps de cuisson très courts.
- Moulage direct à partir de la poudre.
- Demande très peu d'opérations de reprise (finitions).

Inconvénients :

- Usure importante de la vis, du fourreau de plastification et des seuils du moule.
- Risque de déformation importante des pièces moulées. Les déformations peuvent être considérablement diminuées par l'injection-compression, mais les moules à empreintes multiples sont difficiles à mettre au point.
- Difficulté de moulage de pièces avec inserts (mise en place dans un moule à plan de joint vertical).
- Difficulté de moulage des matières à renfort fibreux (descente dans la trémie d'alimentation et chute de propriétés mécaniques).
- Déchets importants dus à la « carotte ». Il existe maintenant des possibilités de recyclage.[2]

1-4/Conditions de moulage :[2]

1-4-1/Dosage de la matière :

Le dosage est contrôlé par la course de la vis qui recule, en s'appuyant sur la matière, pendant sa rotation. La matière plastifiée est transportée dans l'espace à l'avant de la vis.

Si la vis et le fourreau sont usés, il se produit un mouvement de reflux de la matière le long de la vis au moment de l'injection. La quantité de produit injectée dans le moule ne correspond pas à la quantité de produit dosée. Un dosage correct est impossible, ce qui rend le moulage aléatoire

1-4-2/Vitesse de rotation de la vis :

Une augmentation de la vitesse de rotation de la vis accroît la chaleur de friction mais diminue le temps de dosage. Le temps de contact de la matière avec la paroi chaude du fourreau est diminué. Le gain de chaleur par friction est généralement faible par rapport au déficit dû à la conduction.

Lorsqu'une matière est source de friction importante (cas des matières à charges minérales ou bien matière mal lubrifiée), elle ne glisse pas sur la vis et se trouve très rapidement transportée à l'avant du cylindre. Le temps de contact avec le fourreau est court. L'élévation de température est faible. La matière est mal plastifiée. Le même défaut est constaté si la course de dosage est petite par rapport à la capacité d'injection de la presse. Dans ces deux cas, une diminution de la vitesse de rotation de la vis assure un temps de contact avec le fourreau plus long, conduisant à une meilleure plastification et à un dosage plus régulier qui permettent une bonne injection.

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'augmenter la vitesse de rotation de la vis de façon à pouvoir inscrire le temps de dosage dans le temps de cuisson, sous réserve que la plastification reste satisfaisante.

1-4-3/Pression et vitesse d'injection :

La pression d'injection peut être étagée pour permettre un bon remplissage tout en évitant les risques de tensions internes et en diminuant les bavures. Généralement l'injection est faite sous deux pressions, la deuxième correspondant sensiblement aux 2/3 de la première (par exemple 180 MPa et 120 MPa). Dans le cas de pièces complexes et en fonction des possibilités de réglage de la presse, plusieurs étages de pression peuvent être utilisés.

Une pression d'injection élevée permet, en général, un remplissage facile et rapide. La chaleur de friction engendrée lors du passage à grande vitesse dans le dispositif d'alimentation (buses, canaux et seuils) est élevée. Le remplissage rapide et la température de matière élevée conduisent à un cycle de moulage court.

Si le dispositif d'alimentation est largement dimensionné et si la fluidité de la matière est grande, une pression d'injection élevée peut provoquer des bavures importantes.

Si les sections du dispositif d'alimentation sont faibles, une pression élevée entraîne une élévation importante de température par friction, pouvant provoquer des traces de brûlure sur les pièces ou même interdire le moulage.

Si la vitesse d'injection est trop grande, la matière remplit trop rapidement les empreintes ; elle emprisonne de l'air et des gaz qui s'opposent à l'avance du flux et peuvent provoquer des défauts d'alimentation et même des brûlures sur les pièces moulées. En règle générale, le temps de remplissage du moule ne doit pas descendre au-dessous de 5 s.

1-4-4/Retard de plastification :

Le retard de plastification est le temps qui s'écoule entre la fin du remplissage des empreintes et le début de plastification de la matière par rotation de la vis. La phase de plastification commence à la fin du maintien en pression. Normalement, le retard de plastification doit être réglé de façon que la rotation de la vis se termine au moment de l'ouverture du moule.

1-5/Choix de la méthode de moulage :

Le choix de la méthode de moulage doit être fait en fonction :

- de la quantité et du coût des pièces à produire
- du risque de déformation et des tolérances dimensionnelles
- du type de matière et de la nature des charges et des renforts
- des dimensions des pièces
- des difficultés de moulage
- des opérations de finition

Pour une production donnée et pour chaque type de moule, une machine bien adaptée donne une production optimisée. Dans la pratique, le choix de la méthode de moulage est souvent fait en fonction du parc de machines équipant l'atelier.

1-6/Les pièces réalisées par moulage :

- ✓ Grandes pièces : carters moteur pour les véhicules, les poêle à bois, les bâtis de machine, les roues ferroviaires, les canalisations, les cloches d'église, les grandes statues
- ✓ Petites pièces : couronnes dentaires, bijoux, petites statues, et poêles
- ✓ Tous les métaux peuvent être coulés : les ferreux et les non ferreux



Figure (1-04) : schéma degrande pièce [1]

Avantages du moulage :

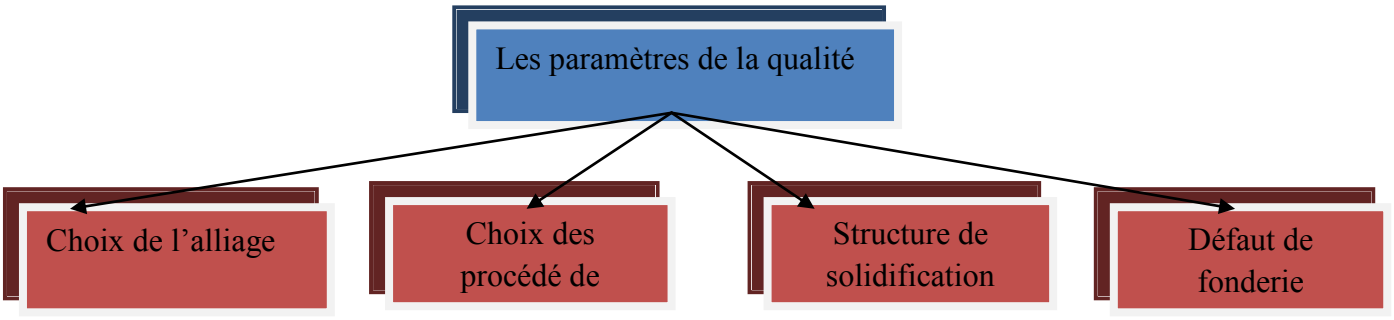
- ➢ Permet de réaliser des pièces de formes complexes
- ➢ Permet de réaliser des formes intérieures et extérieures
- ➢ Suivant les procédés de moulage on peut obtenir des pièces dont les dimensions sont plus ou moins proches de la pièce finie
- ➢ On peut réaliser des pièces de très grande dimension
- ➢ Certains procédés de moulage permettent une production en très grandes séries

Inconvénients du moulage :

Les inconvénients dépendent des procédés de moulage :

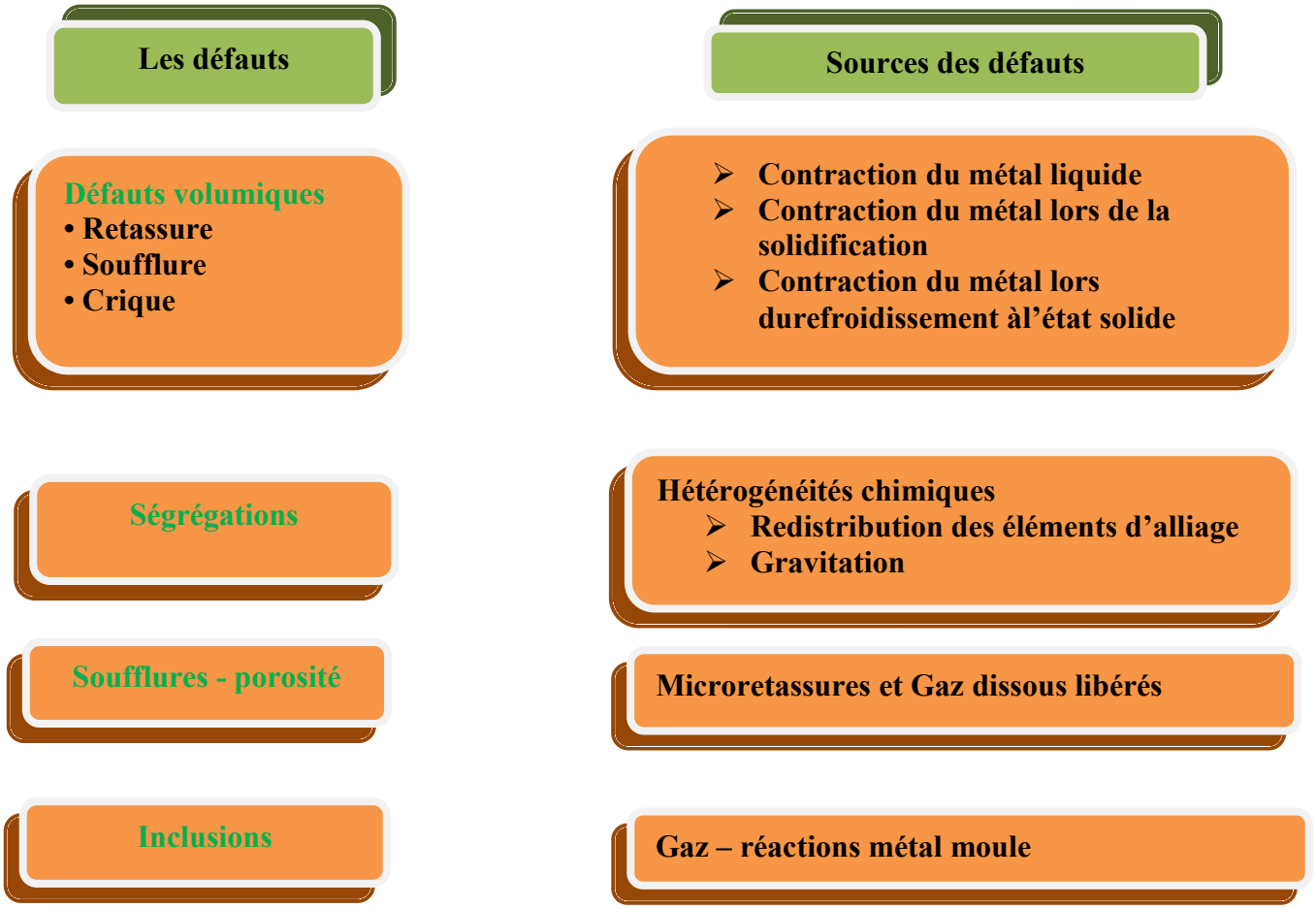
- Limitation des propriétés mécaniques des pièces (matériau)
- Faible précision dimensionnelle et mauvais état des surfaces pour certains procédés (ex : moulage en sable)
- Procédés dangereux du fait de la manipulation de métaux en fusion
- Problèmes environnementaux (fumées…)

1-7/QUALITÉ DES PRODUITS DE MOULAGE : [4]



1-8/Les défauts de moulage : [4]

1-8-1/Les défauts de solidification :



1-8-2/MANQUE, COULÉ COURT ET MALVENU :

- ✓ **Définition :** Pièce incomplète
- ✓ **Manque :** manque de matière dans les parties supérieures du moulage.

Température de coulée basse, fluidité et coulabilité insuffisantes

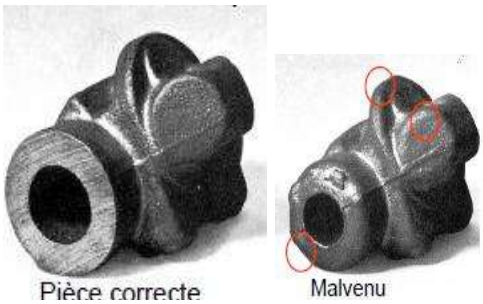
- ✓ **Coulé court :** pièce incomplète par insuffisance de métal dans la poche, interruption prématurée de la coulée
- ✓ **Malvenu:**ici la pièce, complèteprésent des bords arrondis.

Défaut de fluidité du métal

Défaut de remplissage (sections trop faibles)

Ces defauts sont exacerbes par la contraction du liquide

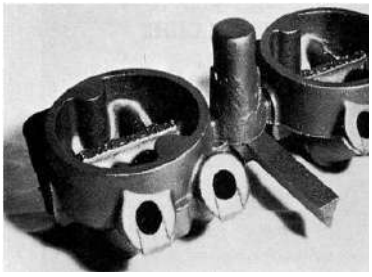
Malvenu :Défaut de fluidité du métal
Défaut de remplissage (sections trop faibles)

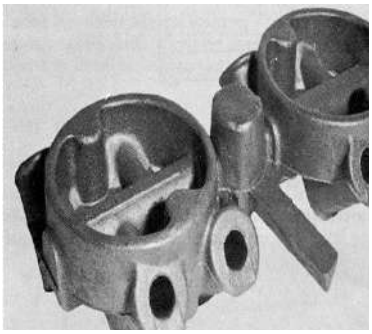


Manque :Manque de matière
dans la partie supérieure des régions éloignées de la coulée par suite de solidification prématurée



Coulé court :Coulé court : quantité de métal insuffisante dans la poche

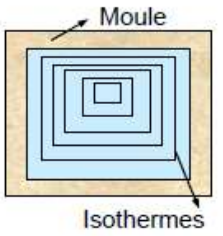




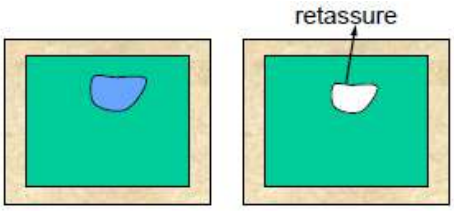
1-8-3/Retassures :

- ✓ **Définition :**Cavités ouvertes ou fermées à contours rugueux, localisées dans les dernières portions de métal solidifié

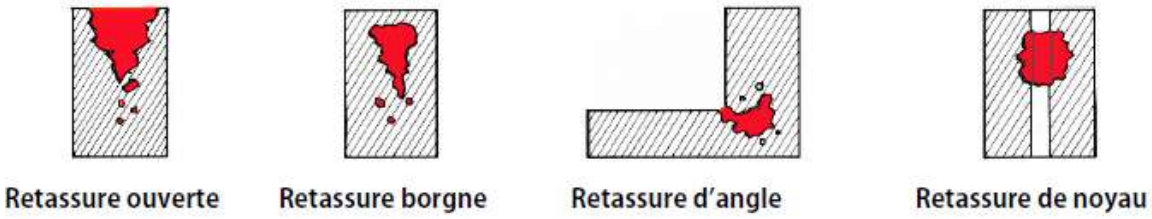
- ✓ **Causes :**Contraction de volume subie par le métal liquide et au cours de la solidification
- ✓ **Schéma général d'une retassure :**



Solidification par couches successives suivant des **isothermes**



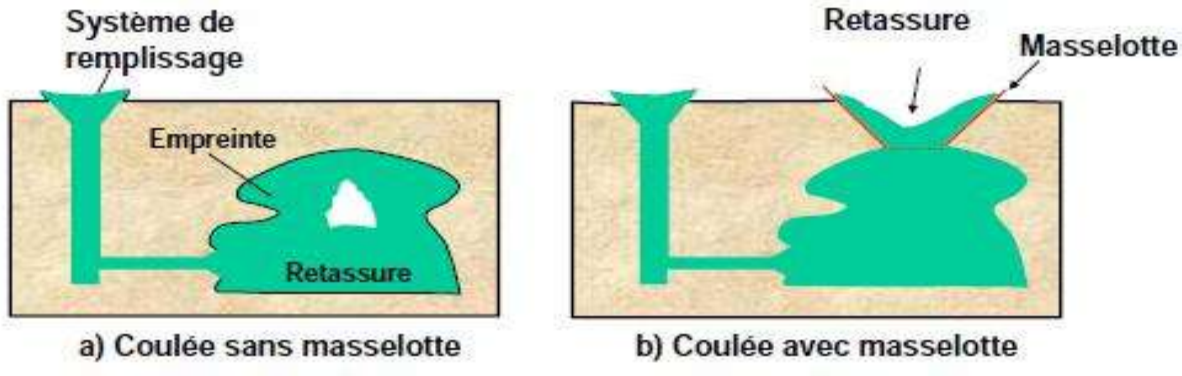
- ✓ **La forme et l'emplacement de la retassure dépendent des conditions de refroidissement :**



- ✓ **Comment éviter les retassures :**

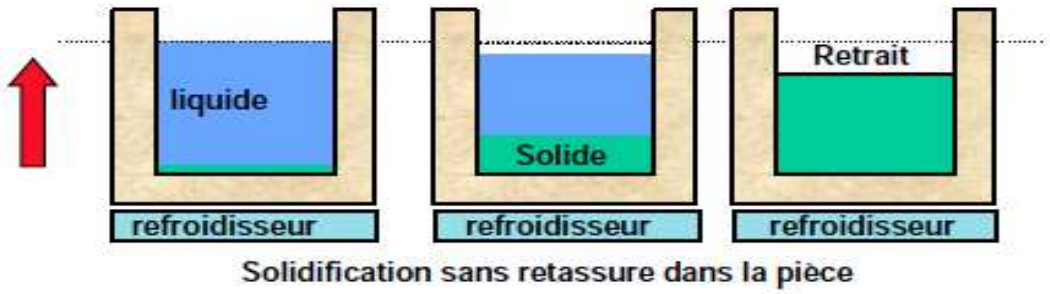
Combler la retassure par de l'alliage liquide au fur et à mesure de sa formation.

- ➢ Prévoir un réservoir externe appelé masselotte



- ➢ Diriger la solidification vers la masselotte

La solidification est orientée progressivement de bas en haut



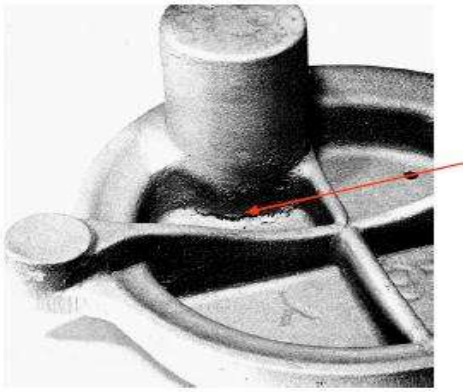
1-8-4/Crique :

Déchirure à chaud au cours de la solidification, en présence de contraintes mécaniques

Se développe généralement dans les parties chaudes

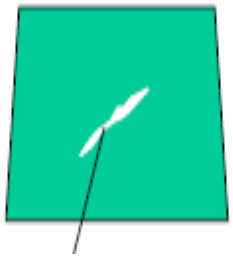
Exemple : crique d'angle

Crique d'angle



1-8-5/Tapure :

Déchirure au cours du refroidissement du solide, en présence de contraintes mécaniques Se développe généralement dans les parties encore chaudes





Causes générales :

- des dernières portions solidifiées, par le moule rigide
- de la pièce solide en cours de refroidissement
- ✓ **Causes courantes :**

Tracé défectueux : différences d'épaisseur importantes, moulage trop ramifié

État du moule : rigidité, déformation, rugosité

- ✓ **Remèdes :**

Eviter les gradients de température

Eviter la présence d'angles vifs dans le dessin de la pièce

Supprimer les points des chauds(modifier le tracé ou appliquer des refroidisseurs)

1-8-6/Les ségrégations :

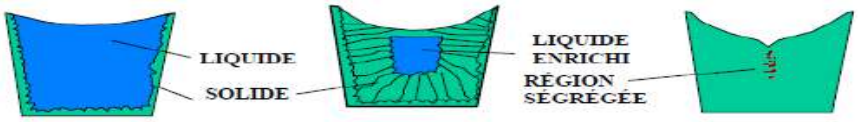
✓ **Origines :**

Hétérogénéité chimiques liées aux conditions de refroidissement

Hétérogénéité chimiques liées a la gravitation

➢ Les déférents types de ségrégations :

✓ Ségrégation majeure directe :



Ségrégation mineure :

➢ Micro ségrégation

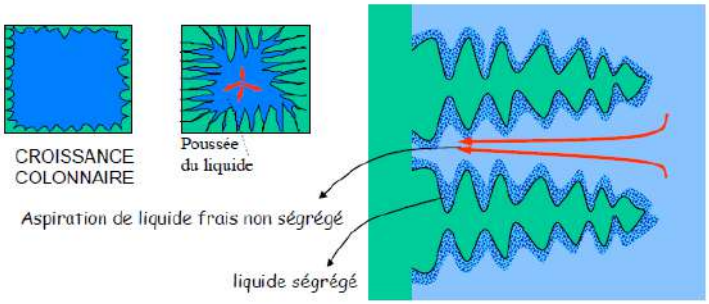


✓ **Remèdes :**

Traitement d'homogénéisation à haute température

Traitement thermomécanique

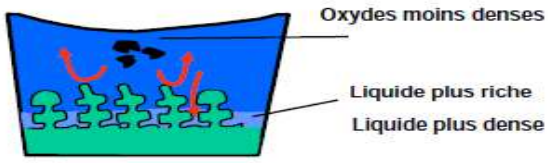
Ségrégation inverse :



Ségrégation et gravitation :

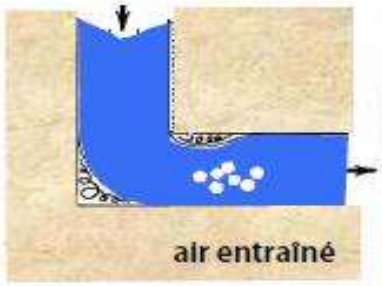
➢ Différence de densité entre phases liquides

➢ Différence de densité entre phases liquides et phases solides



1-8-7/Soufflures :

- ✓ **Définition :** Cavités à parois lisses crées et occupées par les gaz
- ✓ **Origine des gaz :**
- ➢ air entraine pendent le remplissage et non évacué (perméabilité moule)
- ➢ réactions métal liquide-moules/poteyage
- ➢ gaz formés lors des réactions d'élaboration
- ➢ gaz provenant du moule (humidité, agglomérant, additifs…)

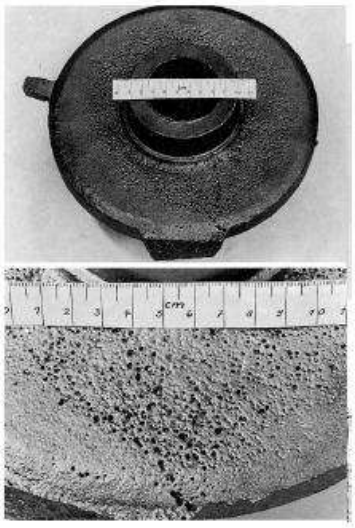




Fragment de chemise en fonte
Condensation de l'humidité
perméabilité moule insuffisante



Pièce en bronze
Gaz en cours d'élaboration



Pièce en fonte – piqûres superficielles
Gaz des réactions métal scories

- ✓ **Remèdes :**

Supprimer les sources des gaz :

- ➢ Dégazage avant solidification
- ➢ Poteyages non réactifs

Améliorer l'évacuation des gaz :

- ➢ Évents
- ➢ Tirage d'air
- ➢ Perméabilité moule

Contrôler l'humidité des sables

Améliorer le tracé des conduites de remplissage

1-8-8/Les inclusions :

- ✓ **Définition :**Particule solide et non soluble dans l'alliage de base
- ✓ **Causes :**
  - ➢ Élaboration sous air
  - ➢ Additions volontaires à la coulée (Inoculations, calmage des aciers par ex)
  - ➢ Impuretés du minerai
- ✓ **Remèdes :**
  - ➢ Diminuer la teneur en inclusions

•Qualité des minerais

• propreté des installations

• limitation de l'oxygène

• affinage efficace

- ➢ Contrôler la morphologie des inclusions

1-9/Conclusion :

Le moulage est le procédé le plus utilisé dans l'industrie ; cette méthode permet de réaliser des pièces des formes complexes et des formes intérieures et extérieures.

Dans ce chapitre, nous avons identifié les déférents types de cette méthode.On a essayé de toucher les conditions les plus importantes qui doivent être pris en compte dans ce processus.

Bien que les simplifications quisont ajouté dans le processus de moulage dans l'industrie, mais il a quelques inconvénients qui ont affecté la qualité des pièces produites relative aux dimensions, à la forme et à l'état de surface.

2-1/Introduction

La plupart des pièces en thermoplastique sont fabriquées par le procédé de moulage par injection. Il est par conséquent essentiel pour l'ingénieur de connaître cette technique de moulage, de comprendre ses possibilités et ses limitations. Ce procédé consiste à fondre des granulés, donner à la matière fondue une forme fonctionnelle dans un moule et obtenir, après refroidissement, l'objet recherché. Chaque fonction est remplie par une partie de la presse D'injection est qui permet d'obtenir des pièces en plastique injectées sous pression dans un moule.

L'injection des matières thermoplastiques utilise une presse à injection, la presse permet, dans un cylindre d'injection où la matière est chauffée par conduction et par cisaillement (vis-piston), de plastifier le polymère qui se présente dans la trémie d'alimentation sous forme de granulés.

2-2/Principe de fonctionnement :

Le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter unerésine de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule régulé en température. La température plus basse du moule va alors amorcer la solidification de la résine. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule. [5]

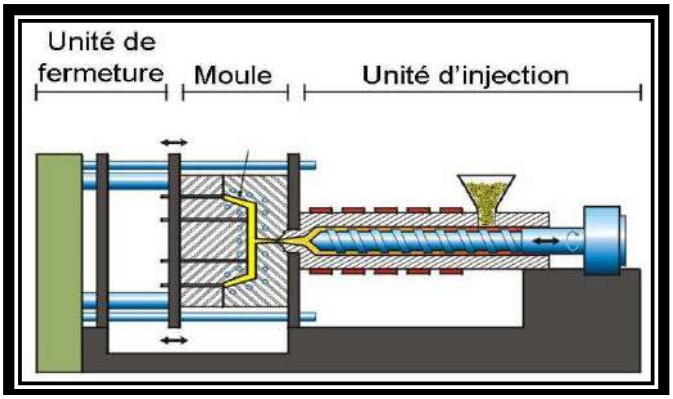


Figure (2-01) : schéma du procédé de moulage par injection [5]

2-3/Paramètres et réglages : [6]

Les paramètres principaux à régler sont :

- le dosage
- l'injection
- l'ouverture

- l'éjection
- la fermeture
- la post-pression

Autres paramètres :

- température du fourreau
- température de la matière
- température du moule injection
- vitesse d'injection
- pressions durant l'injection
- pressions durant le maintien
- la contre-pression
- la vitesse de rotation de la vis
- la course de dosage ou volume de dosage
- les courses d'ouverture et d'éjection, la sécurité outillage, ...

2-4/Procédé d'injection :

Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales du cycle d'injection. [7]

2-4-1/La phase de plastification :

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état solide (sous forme de granulé) à l'état fondu. Cette transformation est réalisée par l'ensemble vis-fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'autoéchauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule (Figure {2-02}) [7]

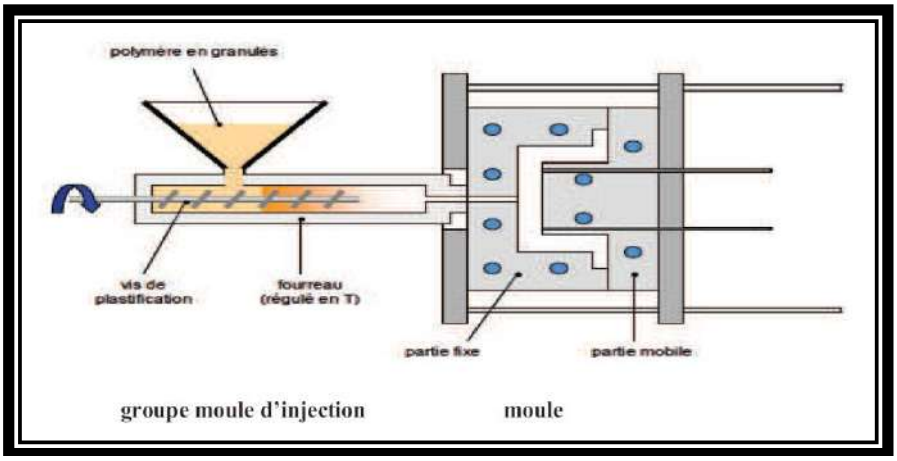


Figure (2-02) : La phase de plastification

2-4-2/La phase de remplissage:

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est injectée dans l'empreinte de l'outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage.

L'avancée de la vis est régulée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement (Figure {2-03}) [7]

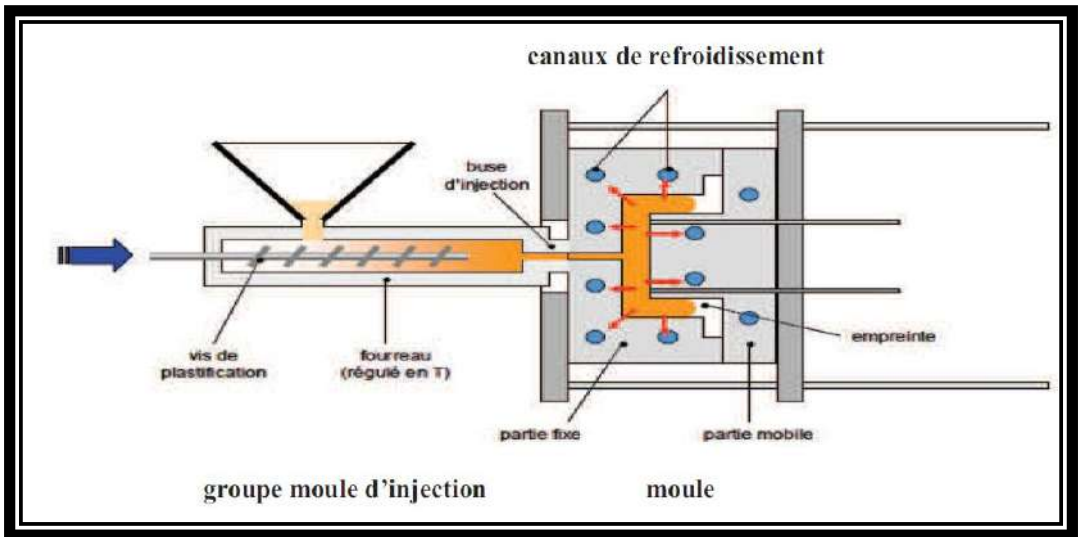


Figure (2-03) : La phase de remplissage

2-4-3/La phase de compactage :

Le compactage est l'instant clé du procédé d'injection. Il s'agit de l'instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l'injection passe d'une régulation en vitesse à une régulation en pression.

En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (Figure {2-04}) [7]

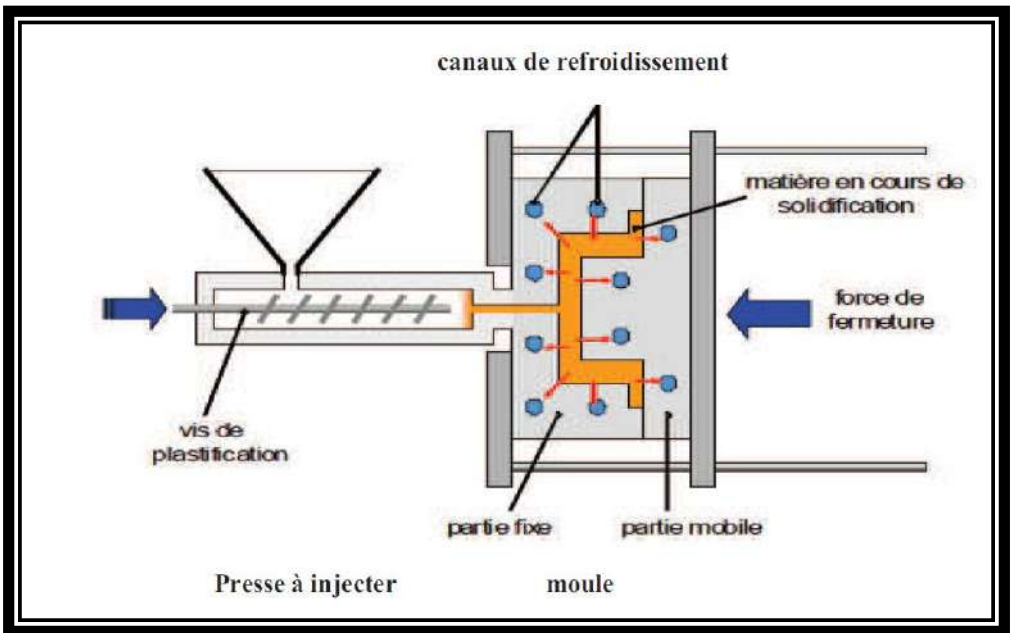


Figure (2-04) : La phase de compactage

2-4-4/La phase d'éjection :

La vis de plastification recule avant de commencer un nouveau dosage de matière en vue du cycle suivant, cette opération a pu commencer dès la fin du compactage (Figure {2-05}) [7]

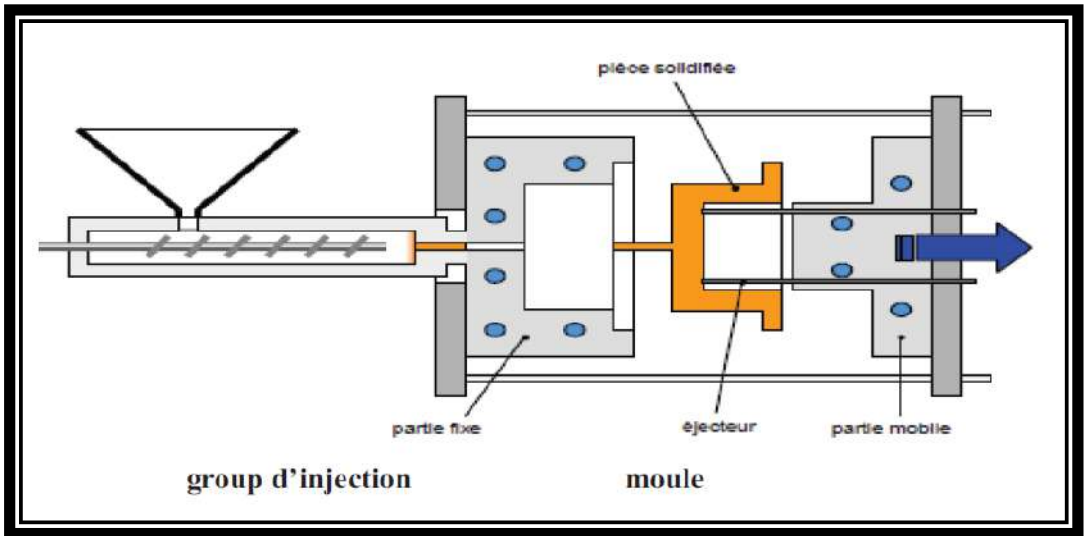


Figure (2-05) : La phase d'éjection

2-5/Presse à injection :

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse la température se ramollit. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux entre les deux états liquide et solide. la matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée du moule. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule. [5]

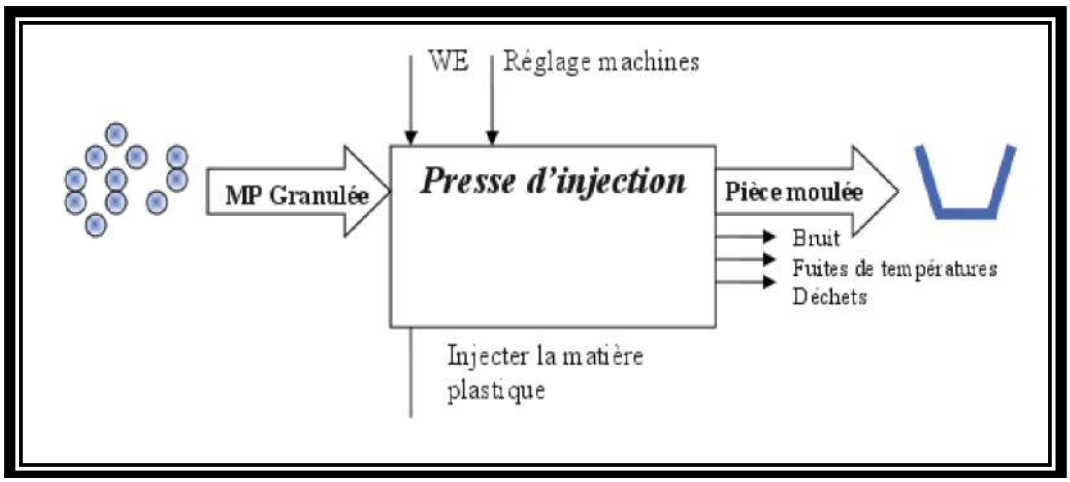


Figure (2-06) : La presse d'injection [5]

2-6/La structure de presse d'injection :

La presse d'injection comprend une unité de plastification, qui transforme les granulés solides en polymère fondue pour l'injecter ensuite dans le moule. Et une unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. La (figure {2-07}) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est régulé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible. [8]

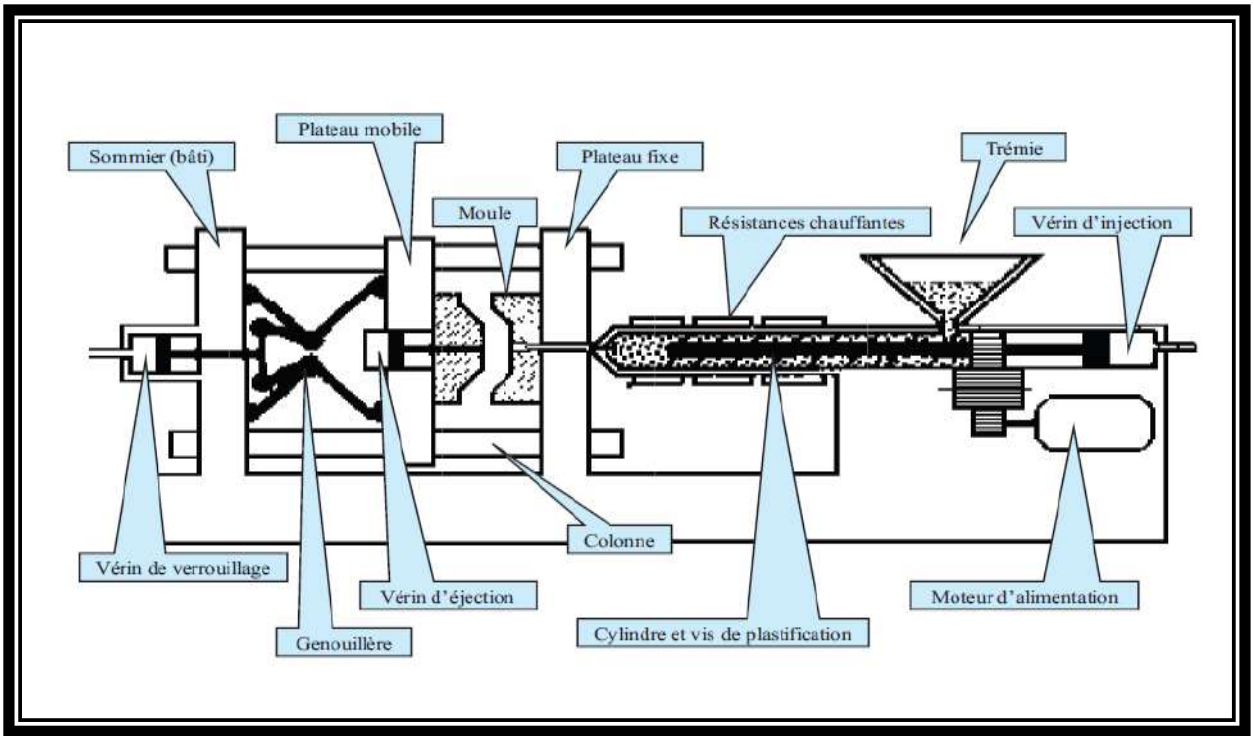


Figure (2-07) : La structure de pressed'injection [8]

2-7/Défauts des pièces injectées : [9]

2-7-1/Retassures :

Les retassures sont dans leur grosse majorité des défauts de surface caractérisés par un affaissement de la matière, parmi elles :

- les retassures localisées : au voisinage de zones avec fortes variations d'épaisseurs (nervures)
- les retassures en osselets : le retrait de matière s'effectue sur une grande surface, de façon à se décoller de la paroi par pellicules (sauf sur les bords)

Mécanismes de formation :

Après le remplissage de l'empreinte, la matière chaude se rétracte (le retrait dépend de la matrice polymère utilisée, et des charges présentes : PA6 GF30 retrait de 0,1 % en sortie de moule). La pression de maintien appliquée pour compenser ce retrait ne joue pas son rôle.

Causes possibles :

- la pression de maintien est insuffisante, ce qui rend possible un retrait de la matière ;

- la vitesse d'injection est trop rapide, ce qui rend difficile le remplissage et rend ineffectif le maintien ;
- la matière est déjà solidifiée au niveau du seuil ce qui entraîne des difficultés pour le maintien ;
- les paramètres choisis accentuent le retrait.

Actions correctives :

- renforcer la pression de maintien
- baisser la vitesse d'injection et augmenter la température de la matière pour faciliter le remplissage
- améliorer la conception du moule (éviter les variations d'épaisseurs des pièces, placement du seuil d'injection)
- augmenter la température du moule et diminuer la température de la matière (homogène)

2-7-2/Jet libre :

Mécanismes de formation :

La matière sort du seuil d'injection à la façon d'un jet d'eau à la sortie d'un tuyau d'arrosage. Le remplissage de l'empreinte se fait toujours en mode laminaire (écoulement de type fontaine avec projection du front de matière) mais la différence de pression entre l'entrée et la sortie du seuil fait que l'inertie prend le dessus sur la viscosité du polymère. Le front de matière est projeté jusqu'à un obstacle dans l'empreinte. L'effet sur la pièce s'avoisine à un serpentin en surface.

Causes possibles :

- mauvaise conception du moule : seuil d'injection mal positionné (positionné dans une forte épaisseur ou mal dimensionné)
- matière trop visqueuse
- pression au niveau de seuil trop importante

Actions correctives :

- améliorer la conception du moule (augmenter la section du seuil)
- augmenter la température de la matière

- injection lente au début, puis plus rapide
- injecter face à une paroi du moule pour casser le jet libre

3-7-3/Défauts en ligne de soudure :

Description :

- ligne de soudure marquée
- mauvaise résistance mécanique des lignes de soudure
- stries de couleur
- forte retassure le long de la ligne de soudure

Mécanismes de formation :

- apparaît en fin de remplissage, la surpression dépasse la pression de maintien
- la jonction est facilement cassable
- dégradation de la coloration due à la température

Causes possibles :

- mauvaise pression d'injection
- température trop basse de la matière injectée
- dégradation de la matière due à une surchauffe

Actions correctives :

- augmenter la température de la matière
- augmenter la vitesse d'injection
- augmenter la température du moule
- diminuer les trajets d'écoulement de la matière

2-7-4/Cernes et sillons :

Description :

- les cernes, ou effet fleur sont des sillons concentriques mats autour du seuil d'injection

- les sillons, ou effets *slick-slip* sont concentriques et plus ou moins creusés autour du seuil d'injection, ou dans les zones de faible épaisseur

Mécanisme de formation :

Le flux de matière pulse dans le moule, car il avance trop lentement. Le défaut est en général plus courant dans les matières amorphes, plus visqueuses à chaud. Attention, chaque matière plastique se comporte différemment (semi-cristalline : polyamide, polyéthylène, polypropylène ; amorphe : polycarbonate, polystyrène, poly méthacrylate de méthyle (PMMA), poly (téréphtalate d'éthylène) (PET) pour bouteilles en plastique). Les polycarbonates, poly (téréphtalate de butylène), polyamide, polypropylène sont utilisés dans la fabrication des réflecteurs (phares automobiles).

Causes possibles :

- mauvaise introduction de la matière injectée
- mauvaise température matière
- mauvaise conception du moule

Actions correctives :

- augmenter les vitesses d'injection
- adapter les flux de matière (remplissage régulier)
- augmenter la température de la matière
- augmenter la température de l'outillage

2-7-5/Entrainement d'air :

Causes possibles :

L'air inclus peut provenir :

- d'une mauvaise plastification lors du dosage
- d'une mauvaise conception du moule (aspérités, rayures, renforcements, etc.)

Actions correctives :

- vérifier la qualité de la vis, choisir une unité de plastification adaptée au volume de la matière

- augmenter la contrepression de la vis lors du dosage (freiner le recul de la vis) ;
- limiter la phase de décompression de la matière après dosage (diminuer la course de décompression)
- améliorer la conception du moule permettant l'évacuation de l'air
- utiliser un équipement de « sous-vide / *vacuum* » afin d'extraire l'air / gaz présents dans le moule avant l'injection

2-7-6/Sous-dosage et surdosage :

Description des défauts engendrés et mécanisme de formation :

- en cas de sous-dosage la pièce obtenue est incomplète
- pour un surdosage, l'excès de matière se traduira par des bavures (pouvant boucher jusqu'aux éjecteurs), un sur compactage (contraintes internes, cassures, déformations

Causes possibles :

- quantité de matière injectée insuffisante ou trop importante
- matelas de matière instable ou nul
- clapet anti-retour de la vis de plastification usé ou cassé

Actions correctives :

- diminuer ou augmenter le dosage de matière
- vérifier que le matelas de matière en fin d'injection est constant
- changer le clapet anti-retour de la vis de plastification

2-7-7/Bulles – effets fontaine :

Mécanisme de formation :

Surtout pour les pièces de forte épaisseur, le remplissage se fait par couches successives. La matière solidifiée en dernier se trouve à cœur, donc il peut y avoir formation de bulles (et être assimilées à des retassures)

Actions correctives :

- augmenter la vitesse d'injection.

2-7-8/Commutation précoce – commutation tardive :

Description de défauts engendrés par une commutation trop précoce :

Il existe une série de défauts déjà traités :

- pièce incomplète
- présence de contraintes internes (cassures, déformations)
- mauvaises lignes de soudure
- écaillage (matière déjà refroidi déplacée par de la matière chaude) alternance de zones mate et zones brillantes
- taches mates (matière déjà refroidie déplacée par de la matière chaude) zone satinée/mate
- défauts de cristallisation en forme de doigt (alternance de zones de refroidissement lente et rapide due à une différence de cristallinité) accentués par un maintien trop faible et une température du moule trop élevée

Actions correctives :

- déplacer le point de commutation (passage de la phase injection à la phase maintien)

Conséquence d'une commutation décalée :

Une commutation tardive est assimilée à un surdosage. En cas de commutation précoce, on réalise un sous-dosage compensé par la pression de maintien. Mais la matière plus refroidie sera moins homogène

2-7-8/Défauts dimensionnels :

Actions correctives :

Pour des précisions dimensionnelles fines (µm), il faut :

- une régulation en température précise du moule ;
- un moule très rigide
- éviter les contraintes internes
- une bonne prévision du retrait
- surface de l'empreinte de grande qualité (rayure, corrosion, abrasion, etc.)

2-7-9/Matière humide avant transformation :

Selon la quantité d'humidité, le défaut a plusieurs aspects :

- givrage (microbulles forment des stries blanches en touffes)
- taches blanches (imperfection de surface ressemblant à de la moisissure)
- petites bulles (bulles dans la matière, aspect mousseux)

Mécanisme de formation :

- l'humidité présente dans la matière se transforme en vapeur d'eau lors du chauffage dans le fourreau et s'évacue sous forme de bulles de gaz

Causes possibles :

- la matière transformée a absorbé l'humidité

Actions correctives :

- étuver la matière avant transformation
- mettre en place des trémies dessiccatrices

Pour certaines matières plastiques, obtenues par polycondensation, la reprise d'humidité avant injection peut avoir de lourdes conséquences sur les propriétés mécaniques de la pièce finie. En effet, sous l'effet de la chaleur, l'humidité présente dans la matière va se transformer en vapeur d'eau. Celle-ci va produire une hydrolyse sur les chaines macromoléculaires et briser certaines liaisons chimiques, rendant ainsi le matériau plus fragile. Ce phénomène est facilement observable sur les poly butylènes téréphtalate (PBT).

2-7-10/Incorporation d'éléments étrangers – mauvais mélangeage

Description des défauts :

- délamination (perte de lamelles) ou exfolions (pellicules)
- marbrures (mauvaise homogénéisation des couleurs)
- présence de corps métalliques : signe d'une détérioration de la vis/outillages

Causes possibles :

- alimentation matière polluée (poussière, métal)
- outillage dégradé

- mauvaise plastification

Actions correctives :

- incorporer une grille magnétique à la trémie
- éviter les mélanges
- adapter les paramètres de plastification à la matière

2-7-11/Combustion ou effet Diesel – carbonisation :

Description :

- apparition de zones brûlées (aux extrémités)
- coup de feu
- strie de surchauffe
- cratères (piqures, pustules)
- écarts de couleur
- dégradation des propriétés mécaniques

Causes possibles : Des bulles de gaz sont comprimées et s'enflamment sous l'effet de la température (principe du moteur Diesel : compression adiabatique).

Actions correctives :

- améliorer la conception du moule
- optimiser les paramètres (baisser vitesse d'injection, température et pression)
- température matière trop haute
- ajouter des évents sur le moule
- utilisation d'un équipement de « sous-vide / vacuum » ; en ôtant l'air / gaz présents dans le moule, on diminue considérablement le risque de « brûlures »

2-7-12/Problèmes de démoulage :

Défauts à l'éjection :

- Déformations
- Les éjecteurs transpercent la pièce au moment de l'éjection

Causes possibles :

- température matière trop importante au moment de l'éjection
- pression interne trop élevée
- mauvaise taille/disposition des éjecteurs

Actions correctives :

- augmenter le temps de refroidissement
- adapter le profil des vitesses d'injection
- adapter la vitesse des éjecteurs
- baisser la température du moule
- vérifier que les éjecteurs soient correctement montés

2-7-13/La pièce reste coincée dans le moule – dégradation mécanique de la pièce :

Dégradations irréversibles :

- Cassures
- Rainures
- Fissures

Causes possibles / correction :

- pression interne trop élevée
- la pièce reste coincée sur ses parois externes : l'éjection est trop précoce
- la pièce reste coincée sur ses parois internes : l'éjection est trop tardive
- manque de dépouille sur la pièce moulée

2-7-14/Tirage de fil :

Description :

- un long fil de matière sort de la buse jusque vers la carotte, ce qui gêne l'éjection (la carotte reste accrochée)

Causes possibles / correction :

- la matière restée dans la buse au moment de démoulage est trop chaude ou trop comprimée

2-8/Conclusion

Le Procédé de moulage par injection permet une production discontinue, automatiqueet en série, de pièces en matières plastiquesavec une grande précision.

Les pièces obtenues, de dimensions et de masses très variables (dequelques grammes jusqu'à 50 kg) ont des applications dans tous les domaines d'activité. Àtitre d'exemple, nous pouvons citer : la visserie de petites dimensions ; des articles utilisés enmédecine et en pharmacie ; des pièces mécaniques telles que des engrenages ; des boîtiers ouenveloppes d'appareils et accessoires informatiques, électroménagers ou électriques ; desjouets ; des objets liés à la pratique des sports et des loisirs ; et, pour les plus volumineux, despare-chocs d'automobiles, des conteneurs de stockage et des éléments de mobilier.

Lamachine à injecter permet :

- De plastifier les matières
- De les injecter sous forte pression (500 à 1 500 bar environ), à travers une buse
- l'empreinte d'un moule en deux ou plusieurs parties
- De maintenir le moule en position fermée pendant l'injection avec des forces importantes
- (de quelques kilo newtons jusqu'à 50 000 kN (5 000 t pour les plus grosses machines actuelles)
- D'ouvrir les moules après solidification des pièces
- De démouler les pièces obtenues, par le déplacement de dispositif d'éjection

3-1/Introduction :

Dans le domaine de la mise en forme des thermoplastiques par le procédé d'injection, l'amélioration de la qualité des pièces injectées ainsi que la réduction des temps de fabricationSont des objectifs essentiels pour les industriels.

La production cyclique d'une pièce plastiquese déroule en quatre étapes : remplissage de la cavité moulante, maintien en pression,refroidissement et éjection. La durée consacrée au refroidissement est évaluée entre 70 et 80% du temps de fabrication.

Pendant de nombreuses années, l'importance de l'étape de refroidissement dans le moulage par injection a attiré une grande attention de la part des chercheurs et des concepteurs de moules. Une fois le diamètre de la ligne, la profondeur et la hauteur de refroidissement ont été trouvés, il est important de limites du placement des autres composants du moule, tels que des éjecteurs et des boulons. Heureusement, la simulation numérique a été révélée être un outil d'ingénierie efficace pour les concepteurs de moules pour optimiser la conception du système de refroidissement du moule avant que le moule est construit.

Numériquement, cette analyse peut être réalisée dans des configurations géométriques 2Dou 3D, via la méthode des éléments frontières (BEM) ou des éléments finis (FEM) ; Cette deuxième méthode est utilisée dans la suite de notre étude.

Dans la plupart du temps, les problèmes d'optimisation visent à déterminer une position et un diamètre optimal par canal, et le critère à optimiser ne prend en compte que la température dans la pièce ou à la surface de la cavité moulante.D'autres études s'intéressent aux débits du fluide caloporteur s'écoulant dans chaque canal, ainsi qu'à l'influence du nombre de canaux.

3.2- Historique et Etudes Antérieures

Nous citons ici quelques travaux antérieurs :

J.C. Ferreira a, A. Mateuse (Département de génie mécanique Lisbonne, Portugal) en 2003 ont fait une étude de la technologie de l'outillage souple rapide pour le moulage par injection plastique. L'objectif principalde cette étude était de proposer des approches originales et d'intégrer les technologies de traitement avancées, telles que le prototypage rapide (RP)et outillage rapide (RT), avec des matériaux composites réfrigérés par des canaux de refroidissement conformationnelle pour fabriquer des moules d'injection plastique. Leterme

"outil soft" est lié à la résistance et l'hétérogénéité des nouveaux matériaux tels que des mélanges de polymères composites, ou en aluminium rempliépoxy, disponible pour la fabrication. Afin de systématiser le choix de plusieurs matériaux alternatifs et les caractériser relativement à ces études, la recherche sur les technologies de traitement et d'application reste un domaine d'actualité. Les deux matériaux et les paramètres technologiques doivent être personnalisés afin d'atteindre les objectifs fixés. L'objectif était d'améliorer une matrice / algorithme d'aide à la décision du choix de la technologie et des matériaux à sélectionner. Les différents dispositifs et fonctionnalités dans un outillage souple sont, dans ce l'étude citée, démontrées avec des études de cas d'application de la technologie RT pour produire moules d'injection pour matières plastiques.[10]

Pour le premier cas, on fait l'étude avec injection du polymère (pp) ; les résultats obtenus sont représentés dans la figure suivante :

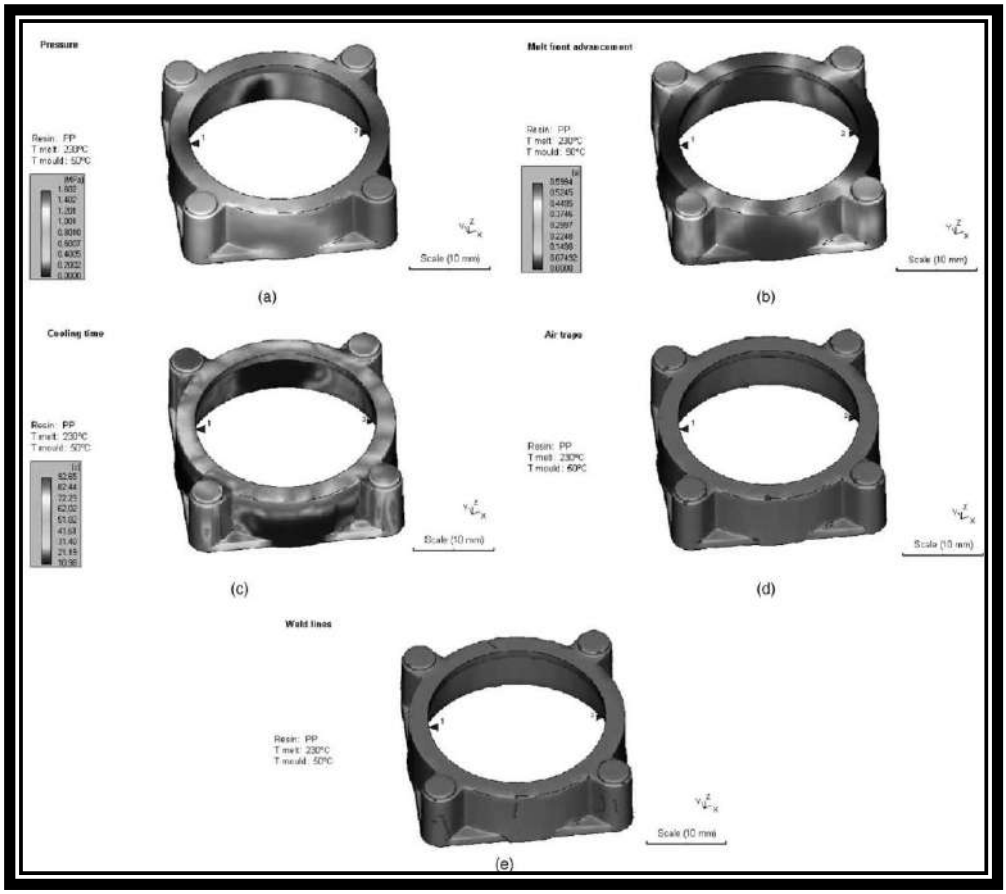


Figure (3-01) : simulation par éléments finis avec "Cold-remplir rapidement": (a) la pression, (b) à l'état fondu avant avancement, (c) le temps de refroidissement, (d) des pièges à air, (e) des lignes de soudure.[10]

Pour le deuxième cas, on fait l'étude avec injectiondu polymère (ABS) ; les résultats obtenussont représentés dans la figure suivante :

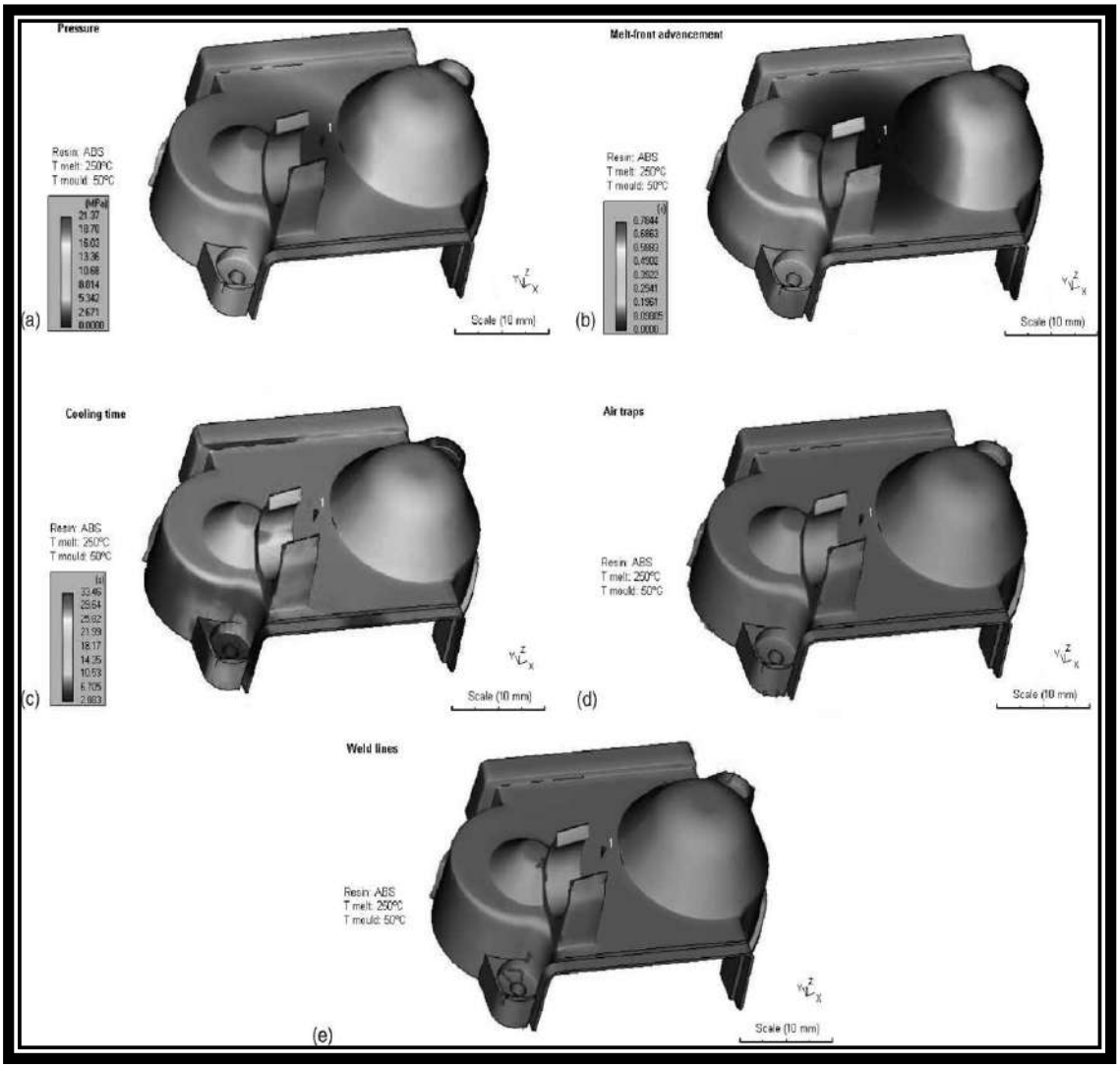


Figure (3-02) : simulation par éléments finis avec "Cold-remplir rapidement": (a) la pression, (b) à l'état fondu avant avancement, (c) le temps de refroidissement, (d) des pièges à air, (e) des lignes de soudure.[10]

L'enquête sur les techniques de fabrication alternatives et les matériaux doit être aidée par l'algorithme de prise de décision qui permet, dans chaque cas, une analyse systématique et objective aidant sur le choix le plus adéquat de matériaux et la technologie.

Les points d'analyse R & D que les propriétés des pièces injecté dans des moules RT doux, considéré comme un outil souple, ne peut pas soutenir la comparaison avec celles des moules de production d'acier. D'où les compromis doivent être soigneusement évalués et médité en ce qui concerne les performances attendues.

La simulation par éléments finis permet de réduire le plan de production une fois que l'on est en mesure d'identifier et de corriger plus tôt des problèmes potentielsdans le moulage par injection, ce qui permet d'éviter des essais fréquents de moules et modifications tardives à part les designs.[10]

Il est généralement pas recommandé d'utiliser des moules RT doux pour la réalisation de pièces ayant des surfaces d'aspect élevé, et exigences de finition. Les marques de puits, l'apparence de la ligne de soudure et de faibles problèmes de retour de pression restreignent sévèrement les capacités, bien que certaines techniques expérimentales puissent avoir une précision de finition de surface de ces pièces en plastique. De plus, de petites quantités d'éclair sont très fréquentes, et la dégradation progressive de la cavité peut augmenter ce problème et affecter la qualité de surface.[10]

Le moulage par injection de matière plastique dans des moules souples RT ne sont pas encore une technologie tout à fait satisfaisante. En dépit d'une bonne compréhension des capacités réelles est atteint avec ce travail, néanmoins beaucoup de R & D doivent être effectuées avec de nouveaux matériaux avancés et pour déterminer la meilleure injection RT paramètres pour moules souples.[10]

H. S. PARK * et N. H. PHAM (École de génie mécanique et automobile, Université de Ulsan, Corée)en 24 Septembre 2008ont fait une étude basée sur l'élaboration d'un système de refroidissement conformationnelle qui facilite le refroidissement uniforme sur la surface entière du moule avec temps de cycle minimum. Sur la base de la distribution de la température après l'étape de remplissage, la surface du moule est divisée en plusieurs zones qui seront refroidies par des canaux de sous enrobant optimisées obtenues à partir du processus d'optimisation. Le processus d'optimisation dont la fonction objective est formulé comme la réduction du temps de refroidissement avec des limites assurant un design très

réaliste sera d'optimiser la mise en page du système de refroidissement en termes de la taille du canal de refroidissement et de son emplacement. En fin, tous les canaux de refroidissement sont sous combinées pour générer l'ensemble du système de refroidissement conforme au moule d'injection.[11]

La procédure utilisée dans la première étudepour développer le refroidissement conformationnelle canaux a été introduite dans la section précédente. Afin de prouver l'applicabilité dusystème de canaux de refroidissement conformationnel proposé, une expérience avec une pièce de voiture est exécutée. Les dimensions et l'épaisseur de le produit est de 470 × 98 × 65 mm et 3 mm, respectivement. Le matériau polymère est PA06, avec le traitement recommandant les données présentées dans le tableau 1. Dans la présente étude, Mold flow le logiciel utilisé dans l'industrie du plastique est utilisé comme Outil CAE d'analyse pour l'analyse du processus de moulage par injection.[11]

Temps de Fusion	Température de surface de moule	Fondre densité	Conductivité Thermique	Chaleur Spécifique
255 oC	85oC	0.99 g/cm3	0.25 W/m.C	4400 J/kg.C

Tableau(1) : Données de traitement recommandées pour le plastique PA06.[11]

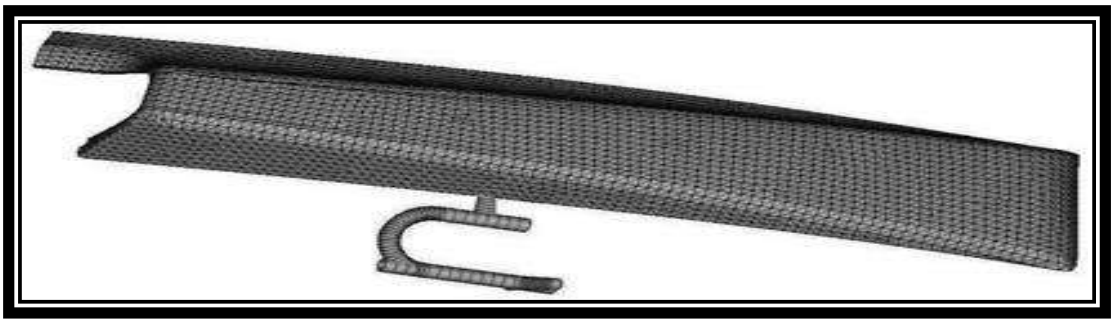


Figure (3-03) : effet de maillage

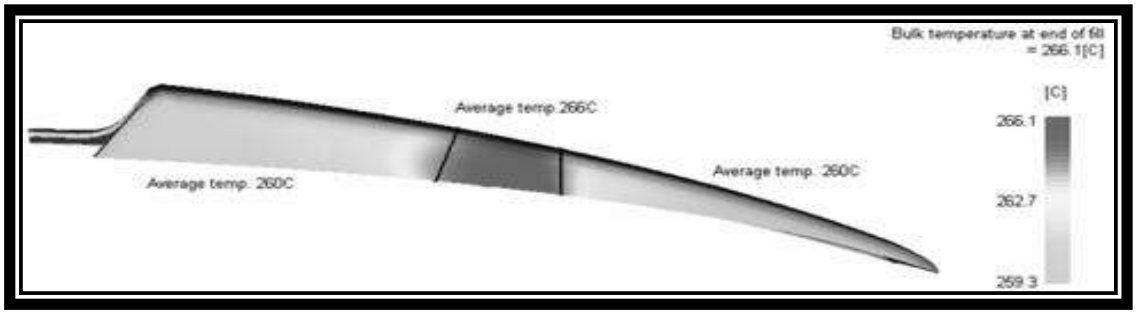
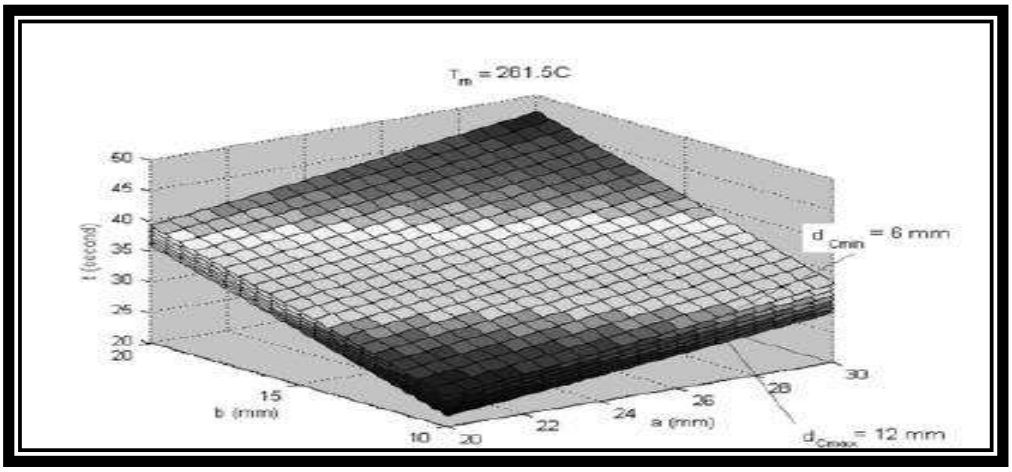
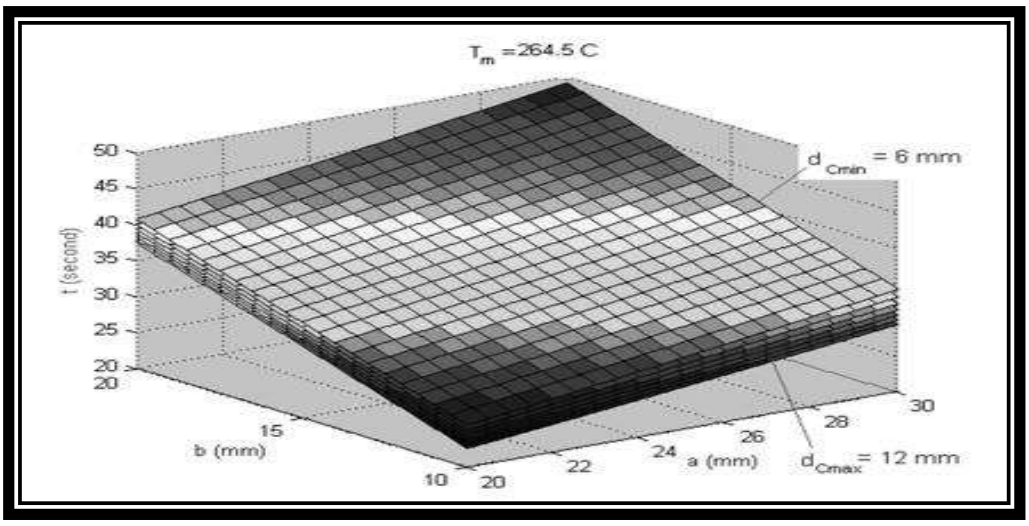


Figure (3-04) : Répartition de la température après la phase de remplissage.[11]



A : Effet des configurations de refroidissement sur le temps de refroidissement avec :

$$T_M = 261.5^0C$$



B : Effet des configurations de refroidissement sur le temps de refroidissement avec :

$$T_M = 261.5^0C$$

Figure (3-05[A-B]) : Effet des configurations de refroidissement sur le refroidissement temps.[11]

Après que la configuration du canal de refroidissement a été obtenue, l'étape suivante consiste à choisir le type de canal de refroidissement devrait être employé. Selon les avantages et inconvénients de chaque type de canal de refroidissement conformationnelle mentionné précédemment, des canaux de refroidissement en parallèle devrait ne pas être utilisé. Les solutions restantes sont des canaux de refroidissement disposés en série et en forme de spirale,comme représenté sur la figure(6).

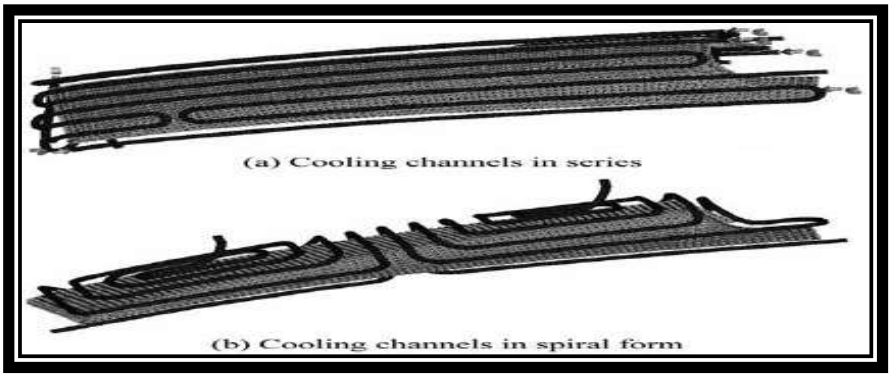


Figure (3-06) : possibles des canaux de refroidissement conformes pour le plastique produit.[11]

Les résultats des simulations sont représentées dans la figure suivante :

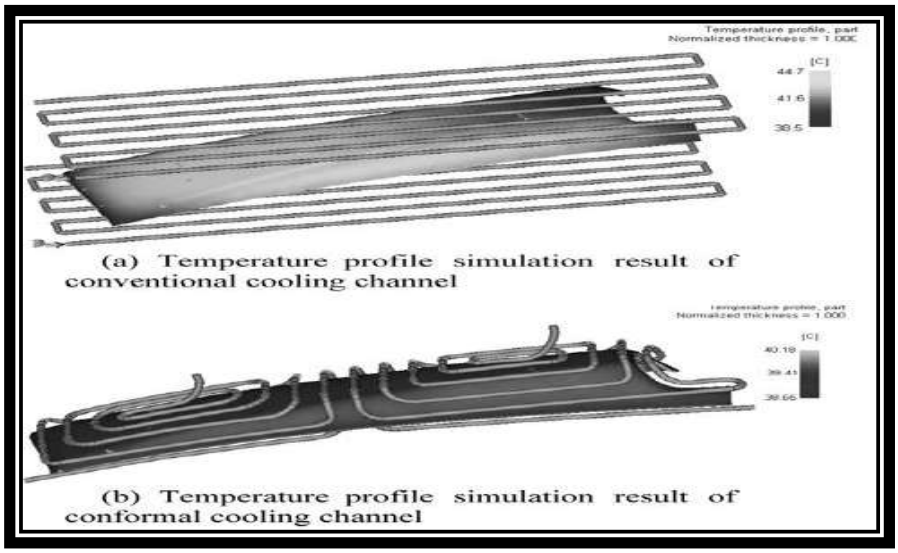
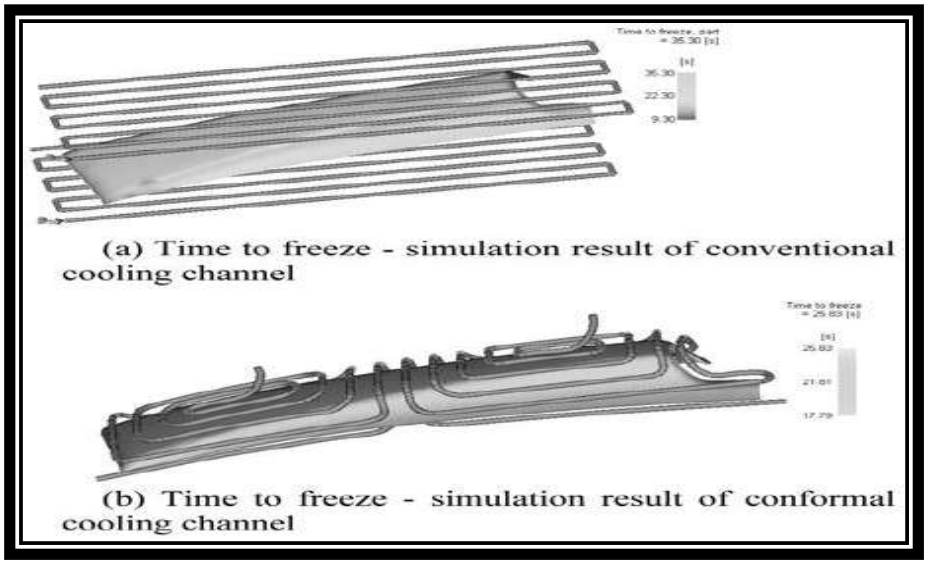


Figure (3-07) : distribution de température.[11]



Figure(3-08) : temps de refroidissement [11]

Les résultats obtenus indiquent que cette proposition de procédé peut être utilisée avec succès pour améliorer la productivité et la qualité de la pièce dans la production plastique.

Muhammad Khan, S. Kamran Afaq, NizarUllah Khan, et Saboor Ahmad (Département de génie mécanique, Université d'Oakland,Pakistan) en 25 Mars 2014ont faituneétude analytique de l'analyse des différents types de conceptions de canal de refroidissement. La conception du meilleur canal de refroidissement est également sélectionnée sur la base d'un minimum de temps pour atteindre la température d'éjection, la distribution uniforme de la température, et le gauchissement minimum de partie. "CreoElements / Pro 5.0" est utilisé pour modéliser l'étude de cas, ses moules, et le circuit de refroidissement tandis que l'étude analytique est fait en utilisant "Autodesk MoldflowAdvisor 2013 (AMFA)."[12]

La recherche dans le système de refroidissement conformationnelle a porté principalement sur des études et des essais de moules de refroidissement prototype enrobant en utilisant diverses techniques de simulation. Konsulova-Bakalova a utilisé un logiciel de simulation thermique, SolidWorks Simulation, et comparé des canaux de refroidissement enrobant avec des sections transversales circulaires et elliptiques. Il a conclu que le temps de refroidissement de la partie a été optimisée en utilisant des canaux et des résultats de refroidissement conformes traduisent une réduction du temps de cycle de production et d'augmenter la qualité des partie. Les chercheurs ont conçu une méthode automatique pour la conception de circuit de refroidissement conforme. D'abord, ils ont formulé une relation entre le refroidissement conformationnelle et la forme géométrique du circuit de refroidissement.

Sur cette base, ils ont étudié un algorithme de modélisation géométrique pour la conception du circuit de refroidissement du refroidissement approchant conformationnelle. Des simulations ont été prises pour vérifier l'avantage du circuit de refroidissement généré par l'algorithme. Il est vérifié par analyse numérique et expérimentale en trois dimensions de commande d'épaisseur (3DTCM) est utile pour gérer le gauchissement des pièces injectées. Avec un design spécial de la porte, la sélection des matériaux, et diverses conditions de fonctionnement, le gauchissement des pièces injectées peuvent être gérés de manière significative. Dans cette étude, le temps pour atteindre la température d'éjection, le temps d'atteindre la température partie d'éjection (temps de congélation), le retrait, et la variance de la température ont été étudiés pour quatre canaux de refroidissement différents.[12]

Dans cette étude de cas de Muhammad khan et al. [12], un récipient en plastique alimentaire a été modélisée à l'aide de CreoElements / Pro 5.0, Figure(9). Une partie est de 145 mm de longueur, 94 mm de large, 1,5 mm d'épaisseur, et 50 mm de hauteur. Le fichier SAT (standard ASCII texte) de modèle de la pièce en plastique a été importé à Autodesk Mold Advisor flux 2013 (AMFA) pour effectuer une analyse des flux de moule.

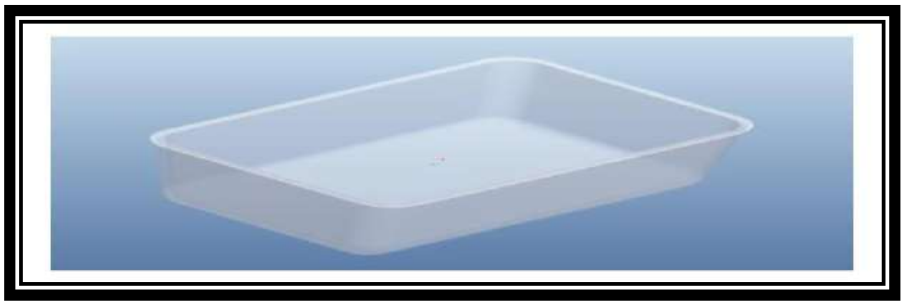
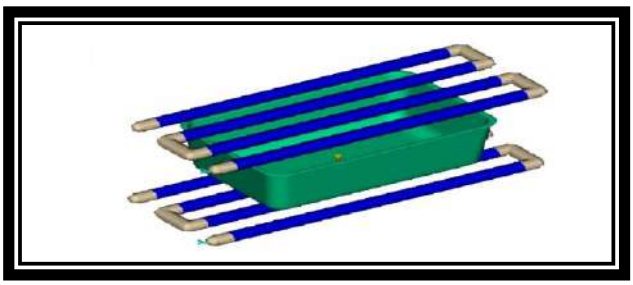


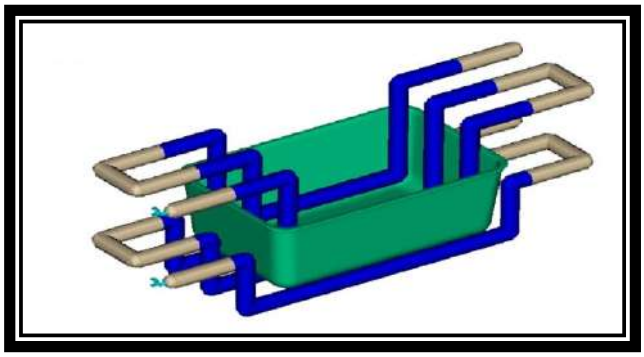
Figure (3-09): Modèle CAO du récipient de nourriture.[12]

Comme matériau de moule proposé est en acier à outils p-20 ; le diamètre du canal de refroidissement choisi est de 10 mm.

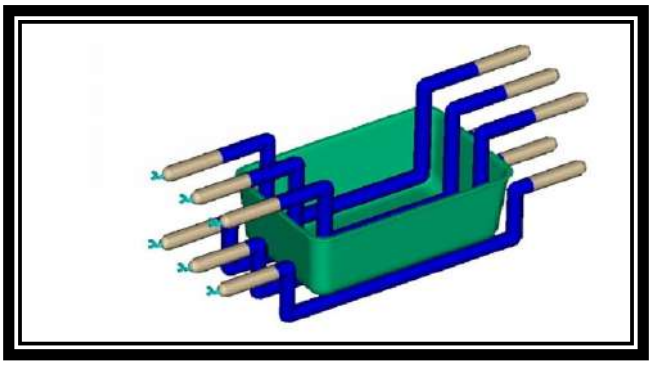
A)



B)



C)



D)

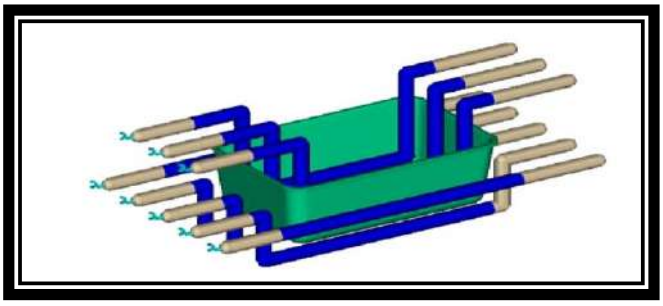


Figure (3-10): Figure 4: (a) la conception de canal de refroidissement conventionnel. (B) de la sérieconformationnelle de refroidissement design. (C) canal de refroidissement conformationnelle parallèle. (D) Conformal canal de refroidissement avec additifs lignes de refroidissement [12]

Dans le canal de refroidissement classique (CCC) lignes droite de canaux de refroidissement forés sont utilisés. Dans la seconde conception, de refroidissement série conformationnelle (SCC), des canaux de refroidissement sont conformes à la forme de la pièce et elles sont reliées en série les uns avec les autres, tandis que, dans la troisième conception, tropicalisation canaux de refroidissement parallèles (PCC), les mêmes canaux de refroidissement enrobant sont connectés en parallèle. Dans la dernière conception de canal, conformationnelle canal de refroidissement avec additifs lignes de refroidissement (CCAL), ainsi que des lignes de tropicalisation de refroidissement, deux canaux de refroidissements droits sont également placés sur les deux côtés de la partie. [12]

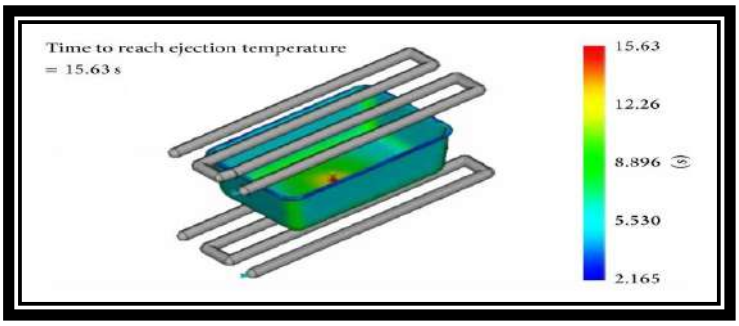
L'analyse des flux de moule est réalisée après l'attribution Polypropylène matériel HM671T (PP) Purell à la partie plastique. Le poids de la partie de cette matière est de 43.17 grammes, excluant la sprue et le système gating. Les propriétés thermiques et mécaniques du PP sont montrées dans le tableau(2).

Numéro	*Propriété*	Valeur
1	Densité (g/cm3)	0.9
2	Température de fusion (°C)	168
3	Conductivité thermique	2.8
4	Chaleur spécifique	0.9

Tableau 2: Propriétés thermiques et mécaniques.[12]

Les résultats de la simulation en temps Termes de verser la température Atteindre d'éjection (temps Nécessaire versez la température Atteindre d'éjection, Qui est mesurée à partir du Début de remplissage), Le Temps pour la température Atteindre partie d'éjection (temps REQUIS par la partie de geler), le retrait volumétrique à éjection, et la variance de la température de la pièce sont discutées ici.

A)



B)

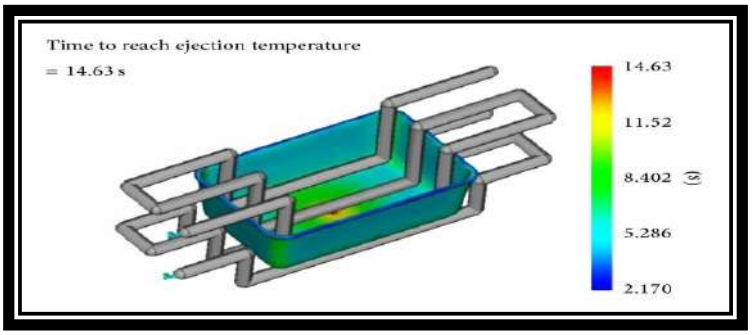
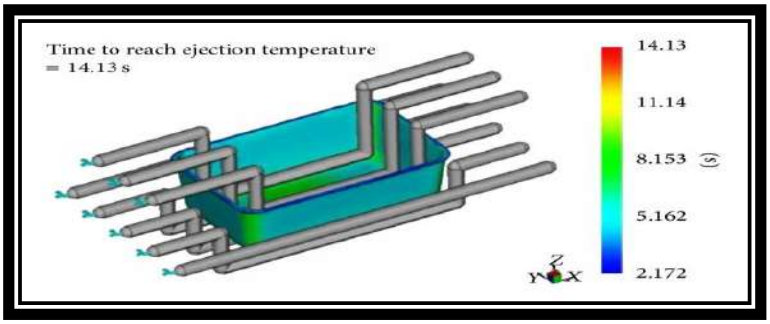


Figure (3-11):Le temps pour atteindre la température d'éjection (a) le canal de refroidissement classique, et (b) des canaux de refroidissement série conformationnelle.

A)



B)

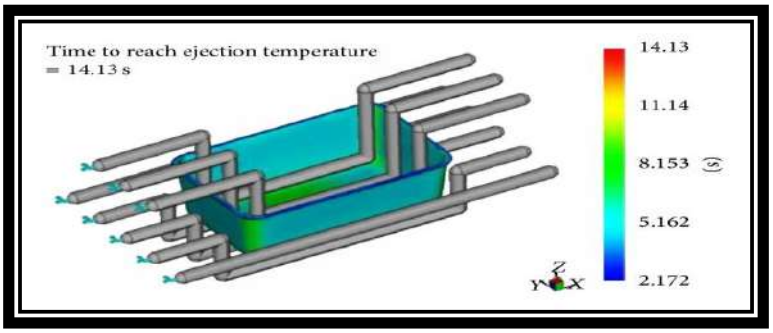
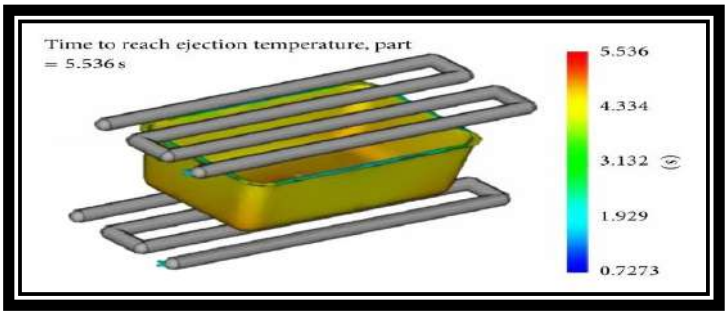
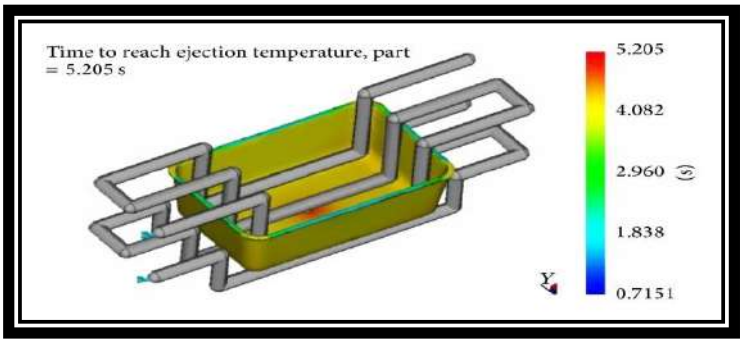


Figure (3-12):Temps nécessaire pour atteindre la température d'éjection avec (a) tropicalisation parallèle des canaux de refroidissement et (b) des canaux de refroidissement conforme aux lignes d'additifs. [12]

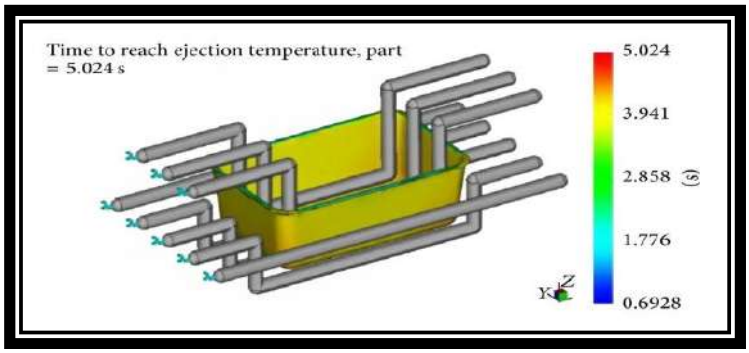
A)



B)



C)



D)

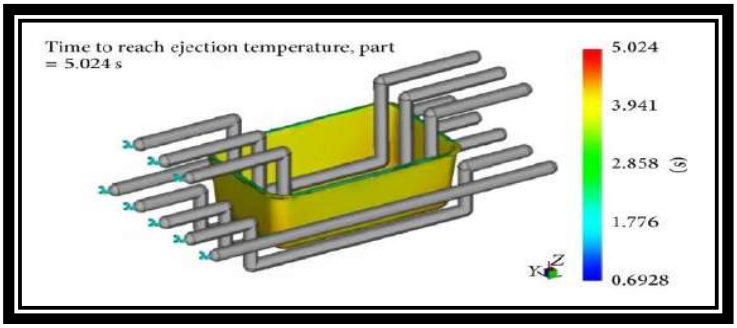
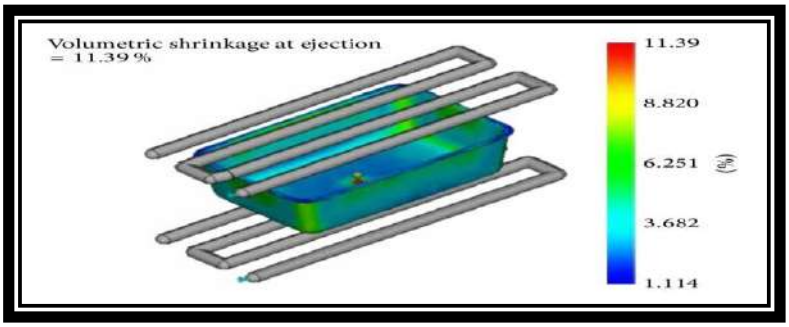
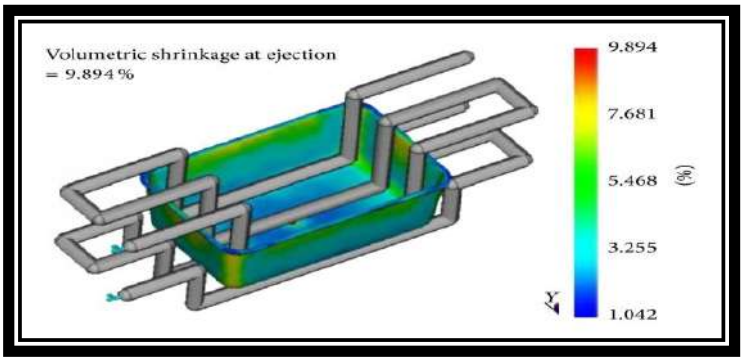


Figure (3-13):Temps pour atteindre une partie température d'éjection avec (a) des canaux de refroidissement classique, (b) des canaux de refroidissement série conformationnelle, (c) les canaux de refroidissement conformal parallèle, et (d) tropicalisation canaux avec des lignes d'additifs de refroidissement. [12]

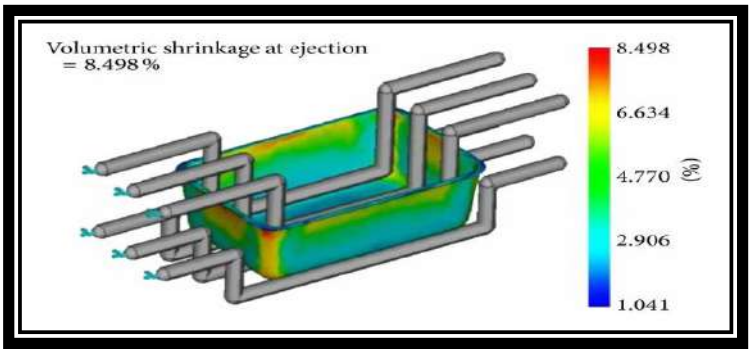
A)



B)



C)



D)

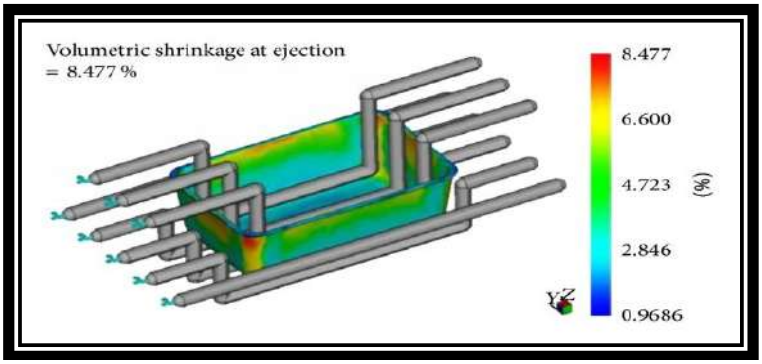


Figure (3-14) : Pourcentage de retrait volumétrique à éjection avec (a) des canaux de refroidissementconventionnel, (b) des séries tropicalisation des canaux de refroidissement, (c) des canaux de refroidissement conformationnelle parallèle, et (d) conformationnelle des chaînes avec des lignes d'additif de refroidissement [12]

A)

B)

C)

D)

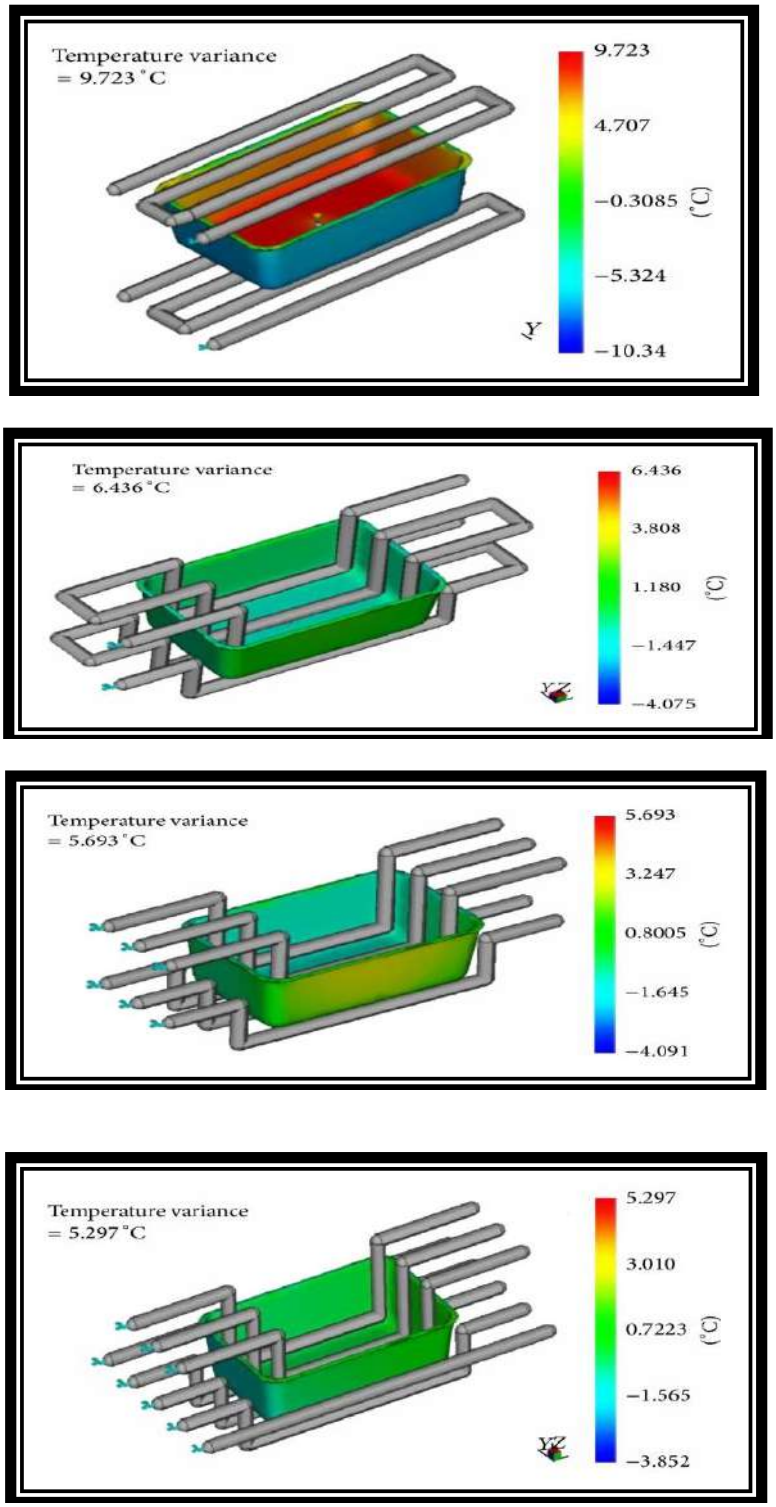


Figure (3-15):variation de température en partie (a) le canal de refroidissement classique, (b) des canaux de refroidissement série conformationnelle, (c) des canaux de refroidissement conformal parallèle, et (d) conformationnelle canaux avec des lignes d'additifs de refroidissement. [12]

La figure 16 montre une comparaison entre le «temps pour atteindre la température d'éjection» de ces configurations de canaux de refroidissement. La figure 17 montre la comparaison de "retrait volumétrique à éjection" et "variation de la température" d'une partie en raison de ces configurations de canaux de refroidissement, comme illustré sur la figure 18

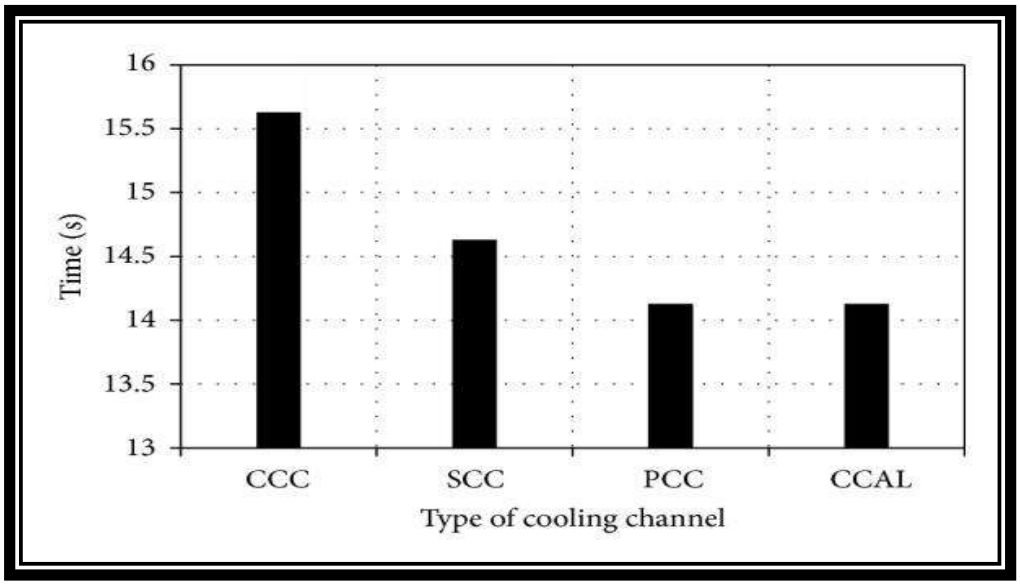


Figure (3- 16): Comparaison de temps pour atteindre la température d'éjection.[12]

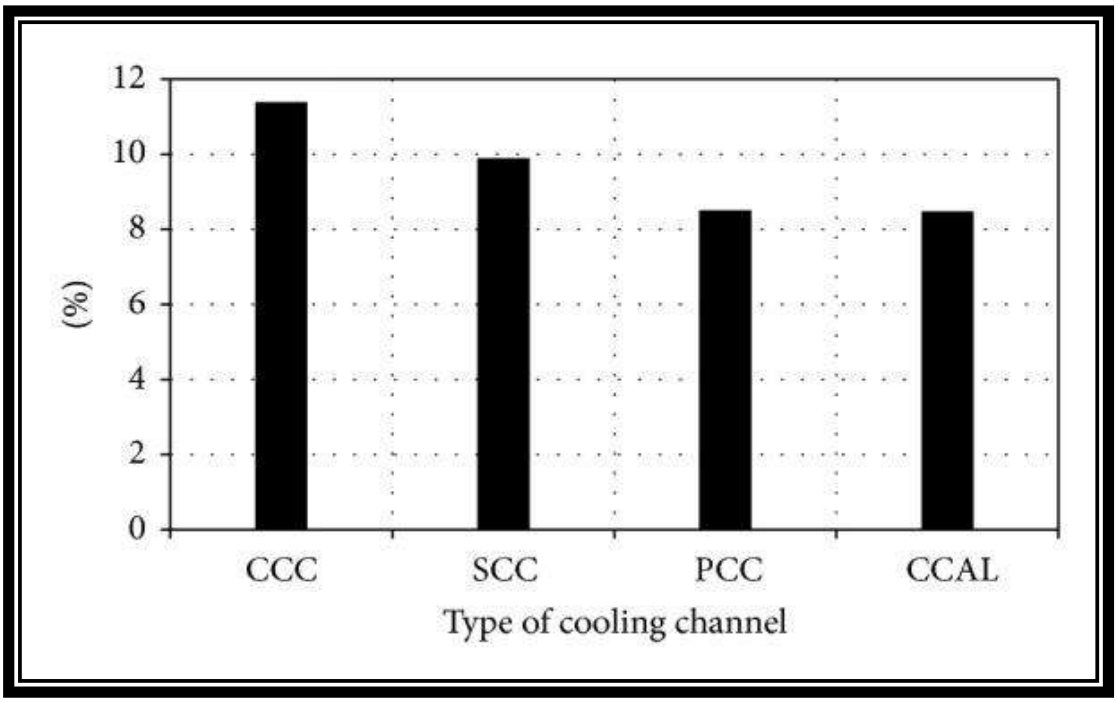


Figure (3- 17): Comparaison de retrait volumétrique à l'éjection.[12]

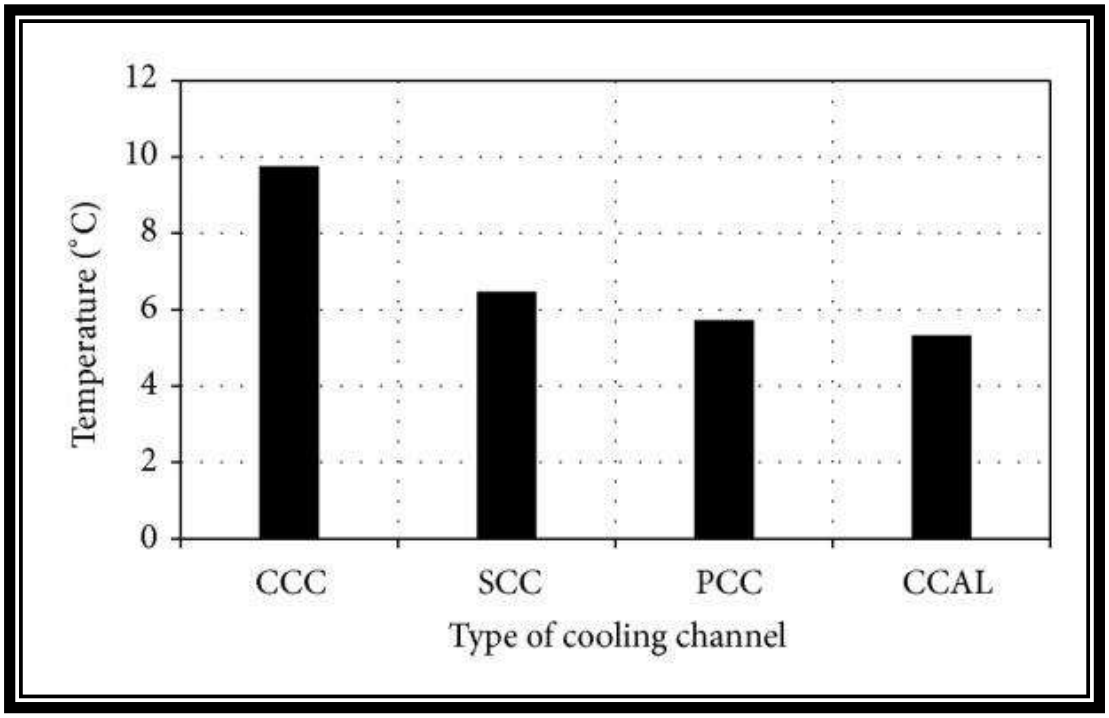


Figure (3- 18): Comparaison de la variance de la température de la pièce.[12]

Numéro	Types des canaux	Le temps pour atteindre la température d'éjection (s)	Temps pour atteindre la température d'éjection de la pièce (s)	retrait volumétrique %	Température variance
1	CCC	15.63	5.664	11.39	9.723
2	SCC	14.63	5.205	9.89	6.436
3	PCC	14.13	5.113	8.498	5.693
4	CCAL	14.13	5.024	8.477	5.297

Tableau 3: Résumé des Fill + Pack + résultats d'analyse cool.[12]

Sur la base de la comparaison des résultats présentés dans le tableau 3 et les figures 16, 17, et 18, les auteurs ont conclu que «canaux de refroidissement conformes avec additifs lignes de refroidissement" sont le système de refroidissement plus efficace et adapté à la partie de l'étude de cas parmi les d'autres canaux de refroidissement. Il a faible temps pour atteindre la température d'éjection, inférieure de temps pour atteindre la température partie d'éjection, le retrait volumétrique inférieur, et inférieure variance de la température ; donc cela conduira à une meilleure qualité de la pièce avec le temps de cycle minimum. Comme la variation de température est également minimale dans CCAL, il y aura gauchissement minimum de la partie qui se traduit par une meilleure qualité de la pièce par rapport à la CCC, SCC, et le PCC en raison d'un refroidissement plus uniforme dans CCAL.[12]

CL Li *, C.G. Li, A.C.K. Mok(Département de génie de la fabrication et gestion de l'ingénierie, la City Université de Hong Kong), en 10 Août 2004 ont fait un recherche étend notre précédente enquête sur laconception du système de refroidissement. Bien que les aspects fonctionnels du système de refroidissement soient considérés au cours de la phase de conception préliminaire, la mise en page stade de la conception répond à la fois la fonctionnalité et la fabricabilité de la conception. Une structure graphique est conçu pour capturer un avant donné conception et un algorithme de parcours du graphe est développé pour générer candidats circuits de refroidissement de la structure graphique. Recherche Heuristique est utilisé pour développer les circuits de refroidissement dans les schémas de configuration par génération de plans de fabrication provisoires. Un cadre pour floue évaluation des schémas de configuration est conçu pour évaluer les différentes alternatives de conception générées. Un système expérimental est mis en œuvre pour vérifier la faisabilité de l'approche, et des exemples générés par le système sont présentés pour illustrer les principales étapes de l'automatique procédé de design.[13]

Dans la phase de conception préliminaire, le principal problème à être adressée est l'exigence fonctionnelle, qui est, le refroidissement exigence, d'une pièce en plastique donnée. La conception préliminaire spécifie le type (par exemple U-circuit, des canaux parallèles, barboteurs, tours, etc.), la taille (longueur par exemple de canal de refroidissement et de diamètre), et les emplacements approximatifs du refroidissement les éléments qui forment les sous-circuits de refroidissement. Chaque sous-circuit assure la fonction de refroidissement qui évacue la chaleur d'une région de la pièce. Nos précédentes recherches montre que la conception préliminaire peut être déterminée principalement par la forme géométrique de la

pièce, et une reconnaissance de la fonction approche pour l'automatisation de la conception a été développée. Donné la conception préliminaire, les circuits de refroidissement complets sont développée dans la phase de conception d'implantation en connectant les sous-circuits et les éléments de refroidissement ensemble individuel. Le processus de conception mise en page considère la fabricabilité et la faisabilité de la réalisation physique du circuit de refroidissement.[13]

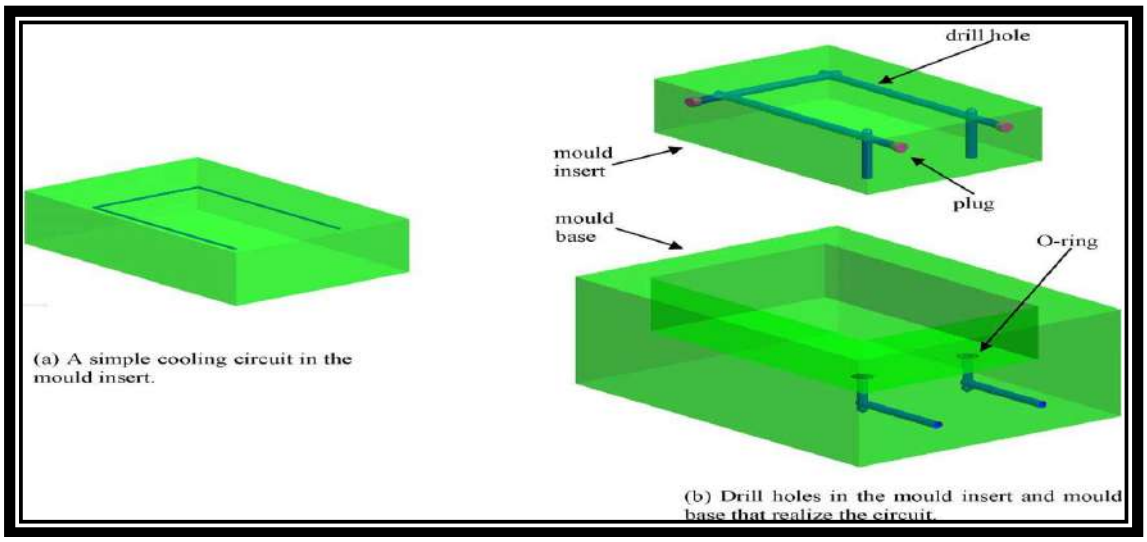


Figure (3-19) : La méthode de trou de forage pour réaliser un circuit de refroidissement.[13]

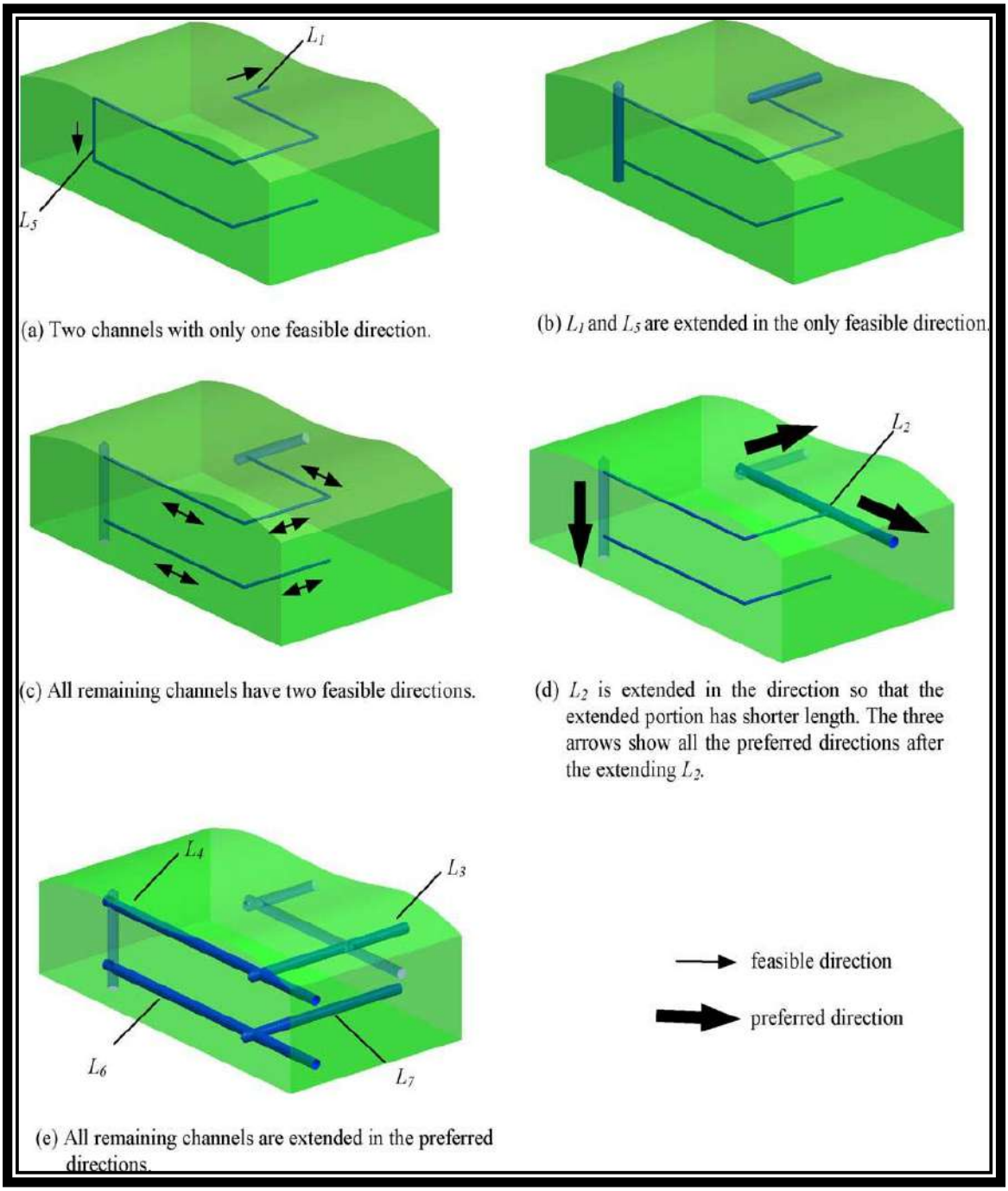


Figure (3- 20) : Détermination de la direction de forage.[13]

La simulation a donné les résultats suivants :

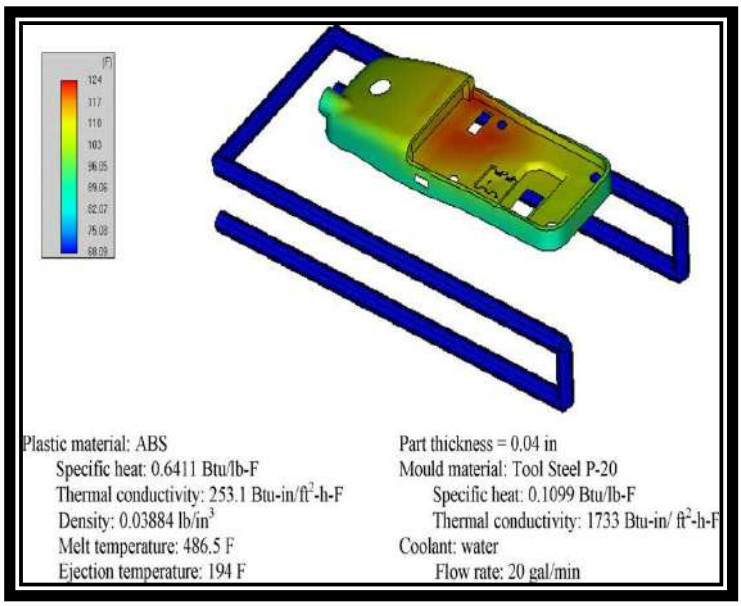


Figure (3- 21):résultat de simulation [13]

Un Comparaison entre les différents circuits :

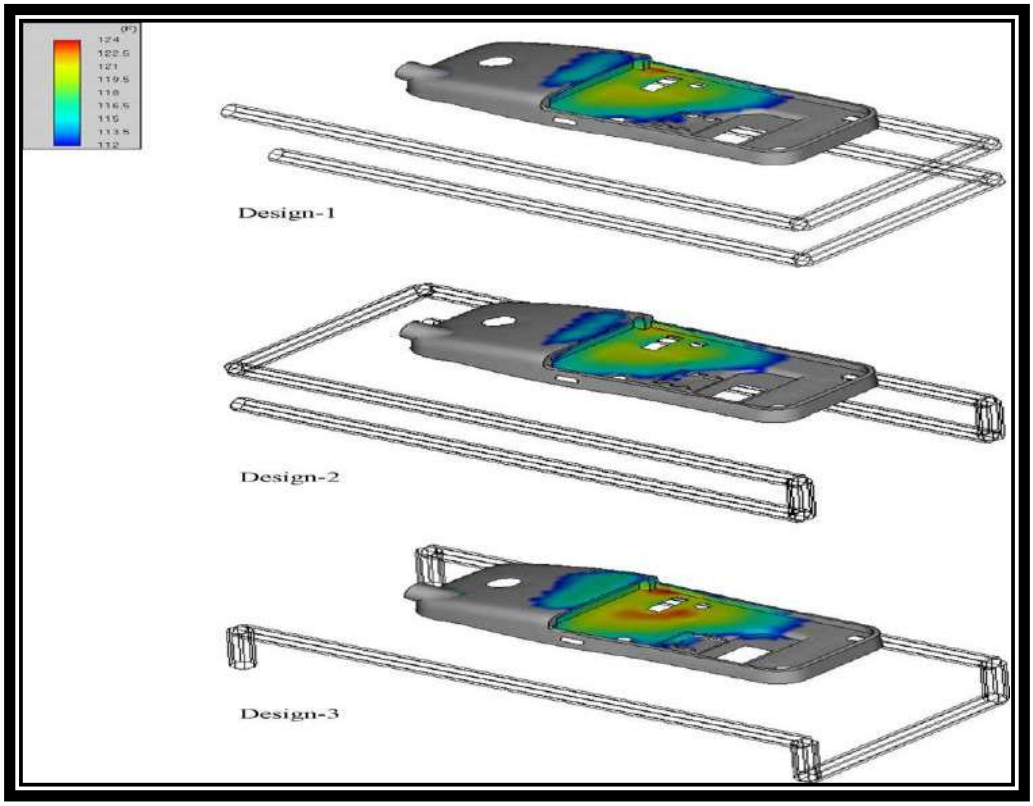


Figure (03- 22) : comparaison entre les circuits[13]

Alban AGAZZI, Vincent SOBOTKA, Laetitia PEREZ, Yvon JARNY, DidierDELAUNAYont fait une étude basée sur un positionnement du type «conformal cooling» des canaux de refroidissement, puis sur une méthode de contrôle optimal pour déterminer les flux de chaleur à évacuer en régime périodiqueétabli. [14]

Alban et al. Ont utilisé la méthode des éléments finis (FEM). Ils ont présenté une comparaison entre le refroidissement par conformal cooling et la méthode de configuration conventionnelle.Les résultats présentés ont été obtenus en considérant la solidification d'un polymère :

Thermoplastique injecté à $T_{inj}=220°C$ et que l'on cherche à éjecter à $T_{ejec}=80°C$ avec un cycle D'une durée de $t_f=20s$.

La simulation a donné les résultats suivants :

Pour la méthode de configuration conventionnelle $T_f=110°C$

Pour la méthode de conformal cooling $T_f=50°C$

La figure 1 représente le positionnement des canaux (conformal cooling et la méthode de configuration conventionnelle.)

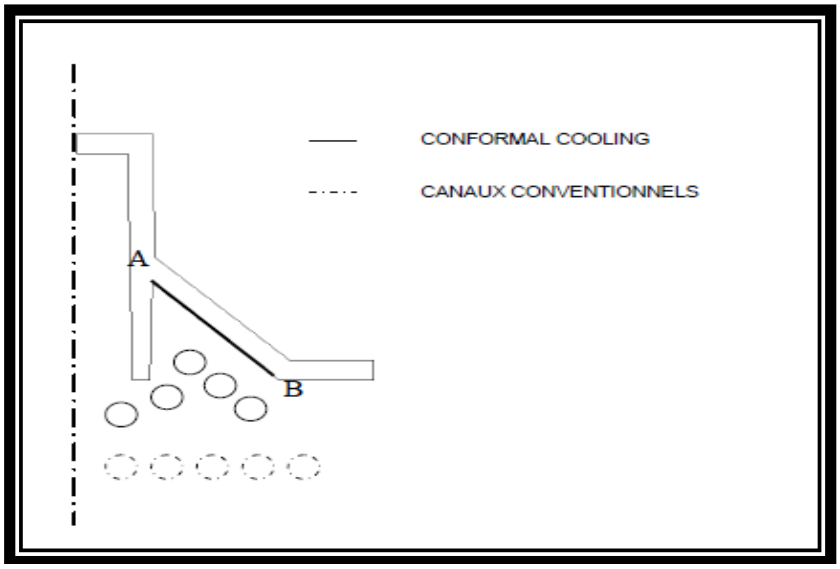


Figure (3-23) : Coupe axisymétrique de la pièce étudiée dans les deux configurations de refroidissement[14]

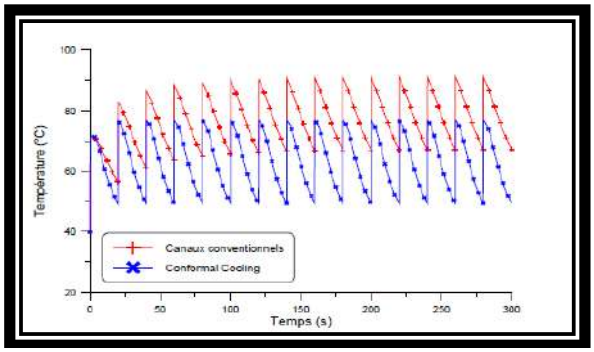


Figure (3- 24) : Influence de la position des canaux sur la mise en régime périodique établi – Comparaison de laconfiguration conventionnelle et du conformal cooling[14]

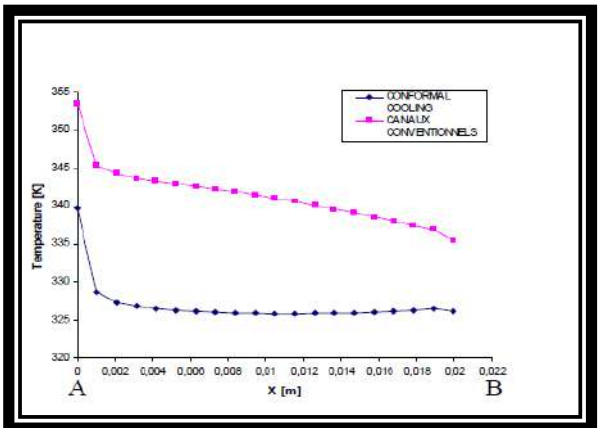


Figure (3-25) : Profil de température surfacique du moule à l'instant d'éjection sur le segment [AB] - Comparaison de la configuration conventionnelle et du conformal cooling[14]

3-3/Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait un résumé de quelques études antérieures. Ces études ont traité principalement l'importance de la forme du circuit de refroidissement et le polymère injecté. On peut noter aussi que :

- Le système de refroidissement joue un rôle crucial dans la détermination de la productivité et de la qualité d'un moulage par injection.
- l'importance de l'étape de refroidissement du moule par injection, quia attiré une grande attention de la part des chercheurs et des concepteurs de moule.
- La conception de système de refroidissement affecte l'efficacité de la production et de la qualité des produits finaux.

4-1/Généralités :

La conception du moule influence de manière décisive la qualité et l'économie de la pièce injectée. La résistance mécanique de la pièce, sa ténacité, ses cotes, sa forme et son coût dépendent de la qualité du moule.

Les considérations techniques essentielles à retenir dans le cas des thermoplastiques sont les suivantes :

- Conception appropriée assurant la résistance nécessaire pour supporter les hautes pressions. (Qualité correcte des matériaux de construction du moule, particulièrement dans le cas des résines renforcées).
- conception convenable des cheminements d'écoulement de la résine, pour son transfert vers la bonne localisation dans la pièce.
- Disposition suffisante d'évents, pour permettre l'évacuation de l'air en avant du front de matière pénétrant dans le moule.
- Transfert thermique soigneusement calculé pour contrôler le refroidissement et la solidification des pièces moulées.
- Ejection facile et uniforme des pièces moulées.

Lors de la conception d'une pièce on sera attentif à l'emplacement du point d'injection et aux variations d'épaisseurs au retrait, à la déformation, au refroidissement, au fonctionnement des évents, etc.

La durée totale du cycle de moulage peut varier de deux secondes à plusieurs minutes, et concerner un nombre de pièces allant de l'unité à plusieurs dizaines, éjectées à chaque ouverture du moule. La rapidité du cycle de moulage peut se trouver restreinte par la capacité de transfert thermique du moule, sauf lorsque le temps d'ouverture – fermeture – éjection ou la capacité de plastification de la machine sont limités.

4-1-1/ Classification :

Un premier classement des moules peut être établi en fonction de la presse utilisée :

- Horizontale ou bien verticale et par la direction de l'injection par rapport au plan de joint du moule
- Perpendiculaire ou bien dans le plan. Bien que le premier type comprenne la majorité des presses (figure 4-.01)

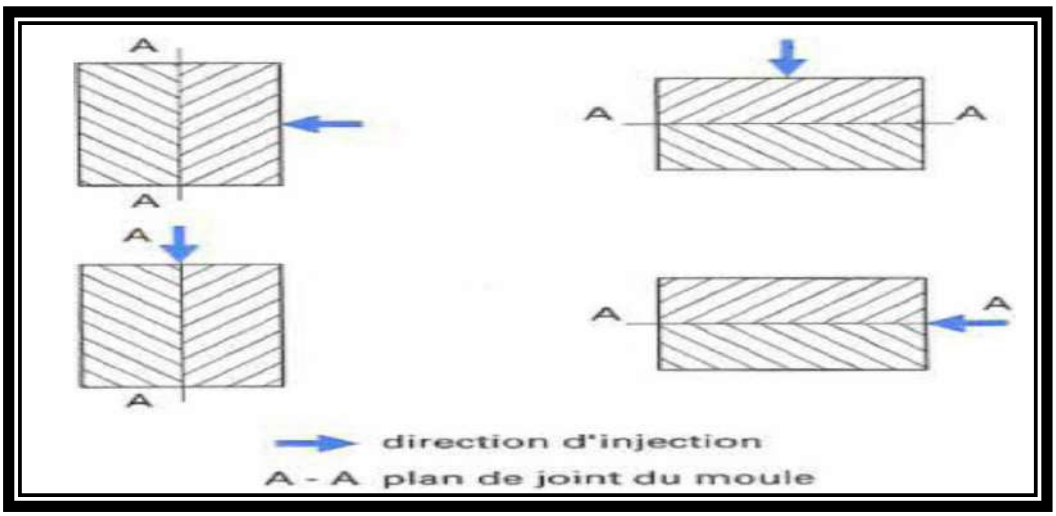


Figure (4-01) : plan de joint du moule.

Utilisées dans l'industrie de la transformation, les autres configurations peuvent être imposées par les particularités de la production, par exemple : la mise en place de prisonniers, l'injection-soufflage, la fabrication de formes ou de dimensions hors gabarits.

D'autres classifications pourraient être fondées sur le nombre de plans de joint, sur le nombre d'empreintes ou sur leur disposition. Une classification beaucoup plus pertinente, peut être établie à partir du système d'alimentation.

Signalons également que le démoulage imposant l'incorporation de mécanismes qui changent profondément l'architecture du moule, on peut, à partir de là proposer la classification suivante :

- ✓ moules à démoulage simple à l'aide du dispositif d'éjection.
- ✓ moule pour la fabrication de pièces comportant des contre dépouilles extérieures ou intérieures et nécessitant des dispositifs spéciaux.
- ✓ moules possédant des mécanismes de dévissage. On peut élargir cette classification en tenant compte des particularités de construction ou de la destination des outillages :

- ➢ outils à démoulage simple
- ➢ outils comportant des dispositifs de démoulage mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques
- ➢ moules modulaires
- ➢ moules à cadence rapide
- ➢ moules à étages
- ➢ moules à calibrage

4-1-2/Les composants du moule :

Chaque moule, quel que soit son type, se compose ou fait appel à un certain nombre de sous-ensembles fonctionnels :

- les éléments moulants : empreints (poinçon et matrice)
- les éléments fonctionnels : carcasse, alimentation, mécanismes de libération et de démoulage des pièces injectées, dispositifs de régulation en température du moule.
- les éléments auxiliaires : fixation et dispositif de manipulation, systèmes de centrage, robots de mise en place des prisonniers et d'extraction des pièces moulées, dispositifs de sécurité et de contrôle du démoulage.

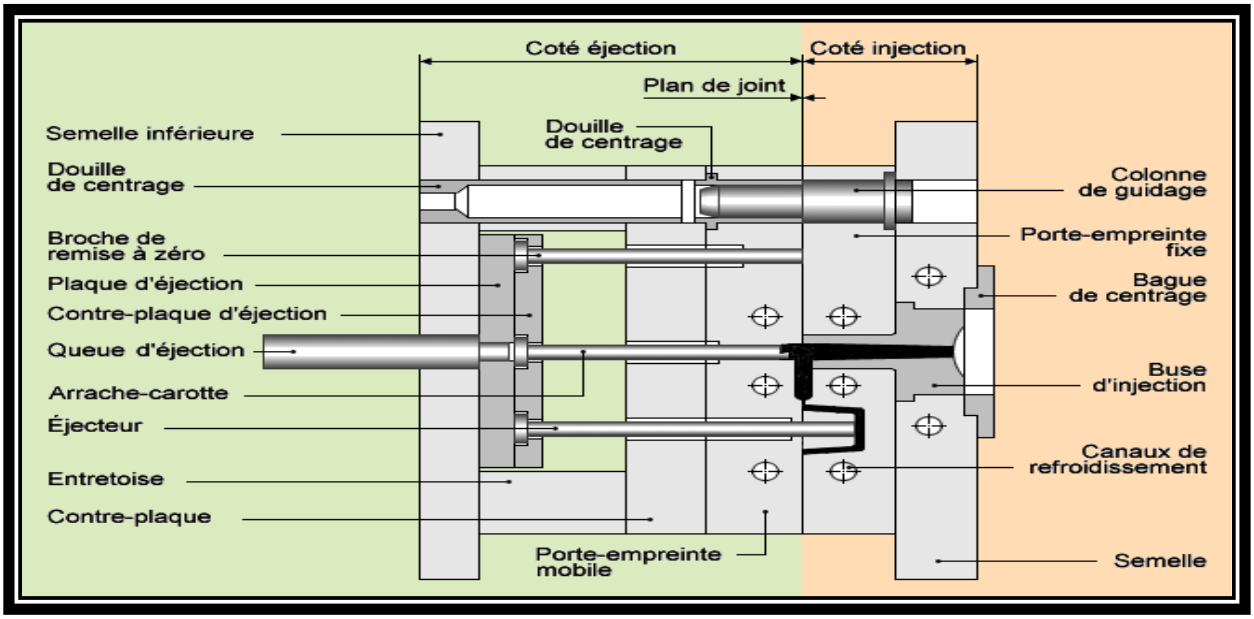


Figure (4-02) : les composants du moule

La cavité de l'empreinte représentant le négatif tridimensionnel de l'objet est limité par le poinçon et la matrice.

Le moule se ferme avant l'injection et la surface de contact de ses deux parties forme le plan de joint. Ce dernier n'est pas toujours plan : la surface peut être gauche, en créneau ou complexe.

La force de fermeture du moule se répartit sur la surface du plan de joint et doit assurer l'étanchéité de l'empreinte au moment de son remplissage sous pression.

L'ensemble du moule qui contient la ou les empreintes s'appelle bloc du moule, ou carcasse, constitué du bloc porte-matrice(s) et du bloc porte-poinçon(s).

4-2/Conception initiale :

Différents points doivent être pris en considération par les concepteurs.

Renseignements généraux

- fonction
- forme générale et détails
- conditions d'utilisation
- tolérances
- aspect
- inventaire des pièces de formes ou de fonctions analogues.

Réalisation

- choix de la matière
- choix de la méthode de moulage
- conception du moule
- finition
- assemblage

4-2-1//Sélectionner une matière :

Le polymère utilisé pour fabriquer une pièce en plastique a une incidence sur le traitement et les caractéristiques de la pièce finie. (ABS Acrylonitrile-Butadiène-Styrène).

Les résines ABS représentent l'un des mélanges les plus précieux de résine et d'élastomère et leur succès est dû aux excellentes propriétés provenant de cette alliance. Le sigle ABS est composé des initiales des trois monomères de base utilisés pour leur préparation : l'acrylonitrile, le butadiène et le styrène. Les premières résines ABS ont été produites dans les années 50. Leurs propriétés fondamentales étant la ténacité, la résistance aux chocs et la dureté superficielle, elles sont surtout employées dans la fabrication de meubles, éléments pour l'industrie automobile, châssis de téléviseurs, radios, panneaux et autres.

Tableau (4.01) : les Propriété du polymère utilisé

Melt Temperature	230 oC
Max. Melt Temperature	280 oC
Min. Melt Temperature	200 oC
Mold Temperature	50 oC
Max. Mold Temperature	80 oC
Min. Mold Temperature	25 oC
Eject Temperature	90 oC
Glass Transition Temperature	100 oC
Viscosity : 7-Parameters Modified	2.2149e+013 378.15 0 28.8 51.6 723500
PVT : Modified Tait eqn	0.94923 0.00062 1.7163e+009 0.004173 0.94
Specific Heat : Constant	2400 J/(Kg-K)
Heat Conductivity : Constant	0.18 W/(m-K)
Elastic Modulus : Constant	2.25e+010 2.25e+010
Poisson Ratio : Constant	0.39 0.39
Thermal Expansion Coefficient : C	8e-005 8e-005

4.1.2) Retrait

Le retrait se produit lors du refroidissement d'une pièce. Tenez compte du volume de retrait lors de la fabrication du moule, afin que les cotes de la pièce finie correspondent à ses spécifications de conception.

Catégories de retrait :

Isotrope : le retrait dans la direction de l'écoulement et le retrait dans la direction inverse sont à peu près équivalents.

Anisotrope : le retrait dans la direction de l'écoulement est très différent du retrait dans la direction inverse.

Pour compenser ce retrait, ajustez les côtes du moule. Vous pouvez utiliser la fonction Retrait pour définir cet ajustement manuellement à l'aide de données spécifiques à la catégorie de matière. Vous pouvez également exécuter une analyse de retrait pour évaluer le retrait et prendre en compte les caractéristiques de la matière, les conditions de traitement et la géométrie de la pièce.

Une analyse de retrait de pièce évalue une pièce individuelle. Une analyse de retrait au moulage permet d'évaluer l'intégralité de la conception de moule, compris le système

d'alimentation. L'analyse de retrait évalue le pourcentage de retrait en fonction des côtes du moule.

Ajustez ces dernières jusqu'à ce que le résultat de l'analyse de retrait montre que les cotes de la pièce se situent à l'intérieur de la plage de tolérances des spécifications de conception. Ici on a choisi un retrait de 1%

4-2-2/Écoulement du polymère dans les canaux de distribution :

Les canaux de distribution doivent être tracés de façon telle que la chute de pression de la matière fondue pendant l'écoulement soit la plus faible possible.

Les facteurs sur lesquels on peut agir sont les suivants :

- la forme et la section des canaux
- leurs longueurs
- leurs changements de direction et la forme de leurs ramifications
- leur état de surface
- les paramètres techniques d'injection et de régulation de la température du moule

4-2-3//Paramètres de traitement :

La fonction Paramètres de traitement permet de saisir les conditions du traitement que vous souhaitez simuler .le choix des paramètres de traitement dépend de la géométrie de la pièce{assiette}{taille et épaisseur}.

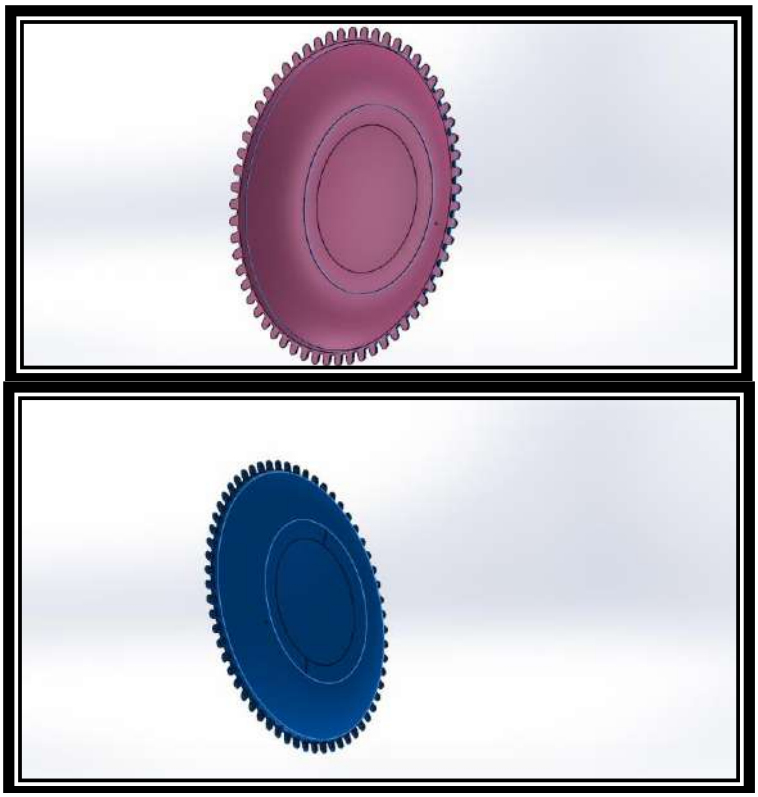


Figure (4.02): le model d'assiette

Les éléments suivants constituent les conditions de traitement :

- Propriétés de la matière : la température du moule et la température de fusion du polymère.
- Limite maximale de la pression d'injection
- Temps d'injection machine : Spécifié en secondes.
- Temps d'ouverture du moule : Spécifié en secondes.

4-3/ Conception par Solidworks et Imold :

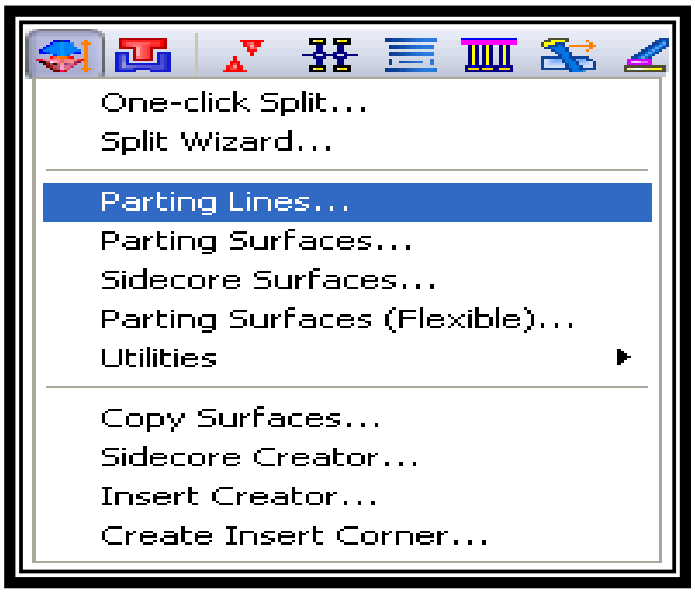
Dans ce travail nous réaliser les empreintes fixe et mobile et ensuite nous les placerons dans le moule. Pour leur réalisation nous utiliserons les logicielle

« solidworks et imold »

4-3-1/Conception de la pièce (assiette) :

La création d'assiette un rôle prépondérant dans la réussite de la conception d'un moule d'injection. S'il est correctement généré, la conception adéquate du noyau et de l'empreinte est garantie et la pièce en plastique peut être extraite du moule aisément.

-En utilisant la fonction « parting lines » pour créer l'assiette



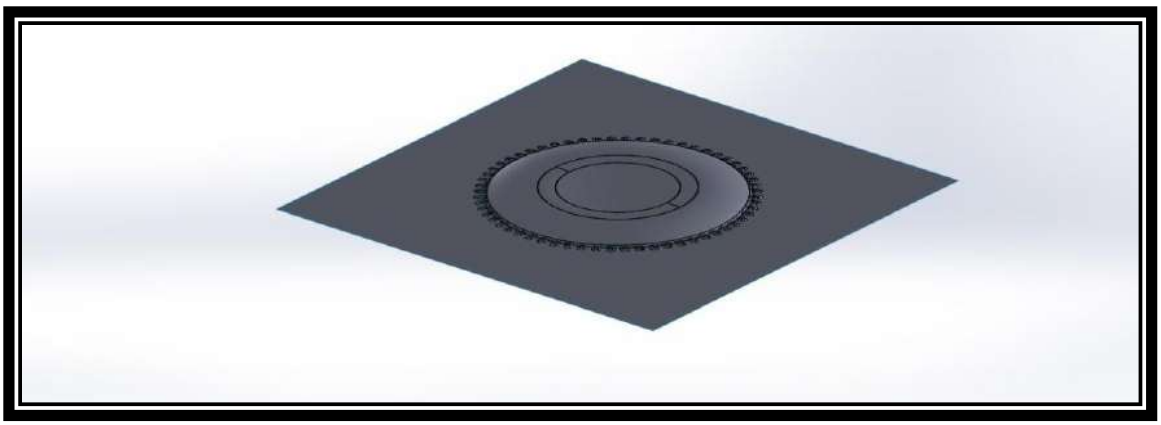
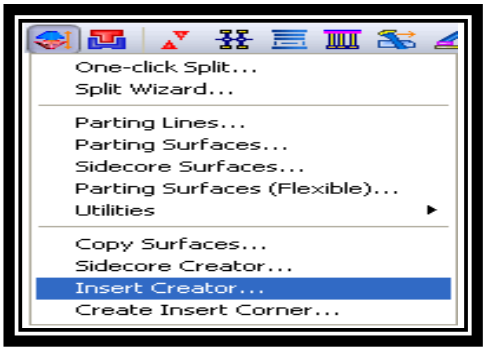
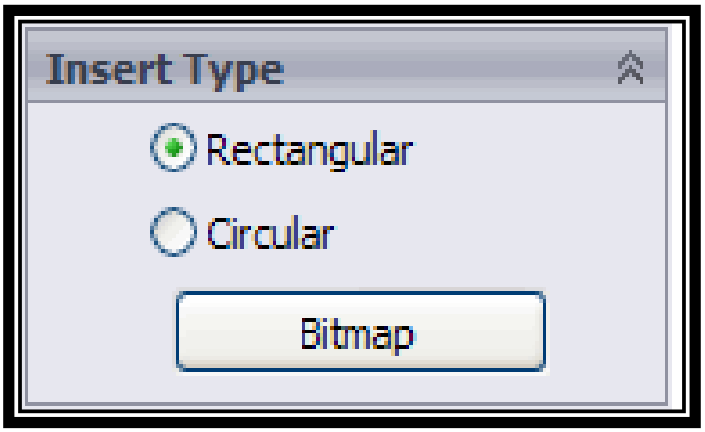


Figure (4.03) : assiette

4-3-2/Conception le noyau et l'empreinte :

En utilisant la fonction « core -cavity » une épaisseur de 60 mm correspondant à l'épaisseur des deux empreintes assemblées (une empreinte à une épaisseur de 35mm et un noyau à une épaisseur de 25mm).





Remarque : en utilisant la forme circulaire pour simplifier l'usinage par la machine de tour.

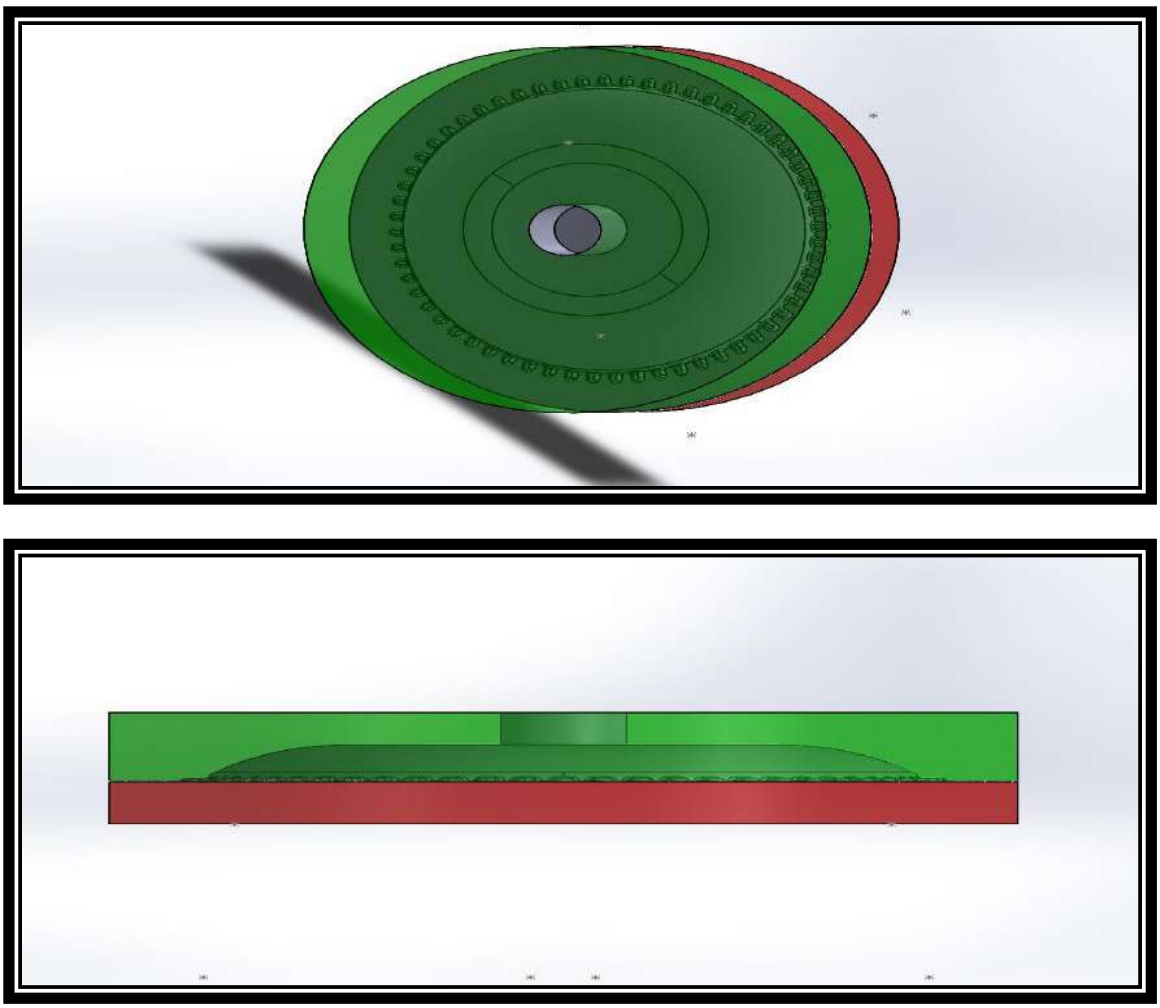


Figure (4-03): Le noyau et l'empreinte

4-3-3/ Constitution de la carcasse :

La carcasse regroupe tous les éléments du moule énumérés plus loin. Elle permet l'incorporation de mécanismes de démoulage autres que les éjecteurs et l'installation du système de régulation de la température (canaux, cartouches chauffantes, sondes thermométriques).

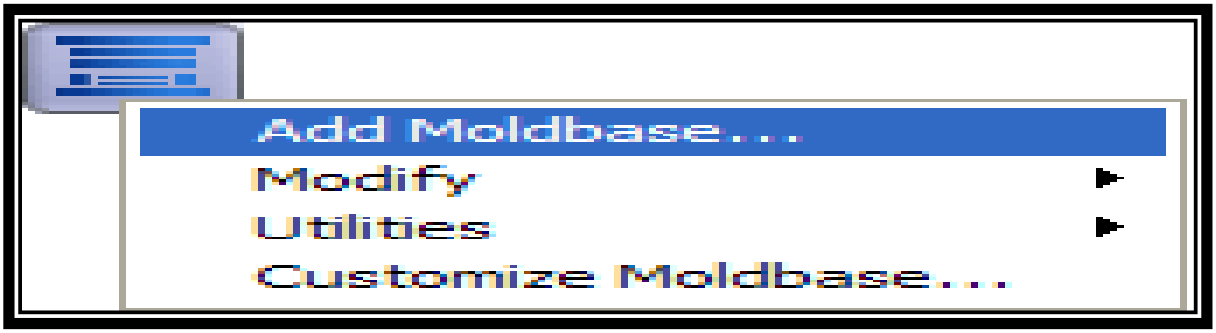
Les plaques peuvent être carrées, rectangulaires ou circulaires, mais, pour les moules spéciaux équipés de dispositifs de démoulage, leur forme doit tenir compte de la géométrie de la pièce injectée et des plateaux de la presse.

La configuration de la carcasse est également influencée par le choix du système d'injection, ses dimensions doivent tenir compte des dimensions des plateaux de la presse en assurant une judicieuse répartition des empreintes, des canaux d'alimentation ou des blocs de

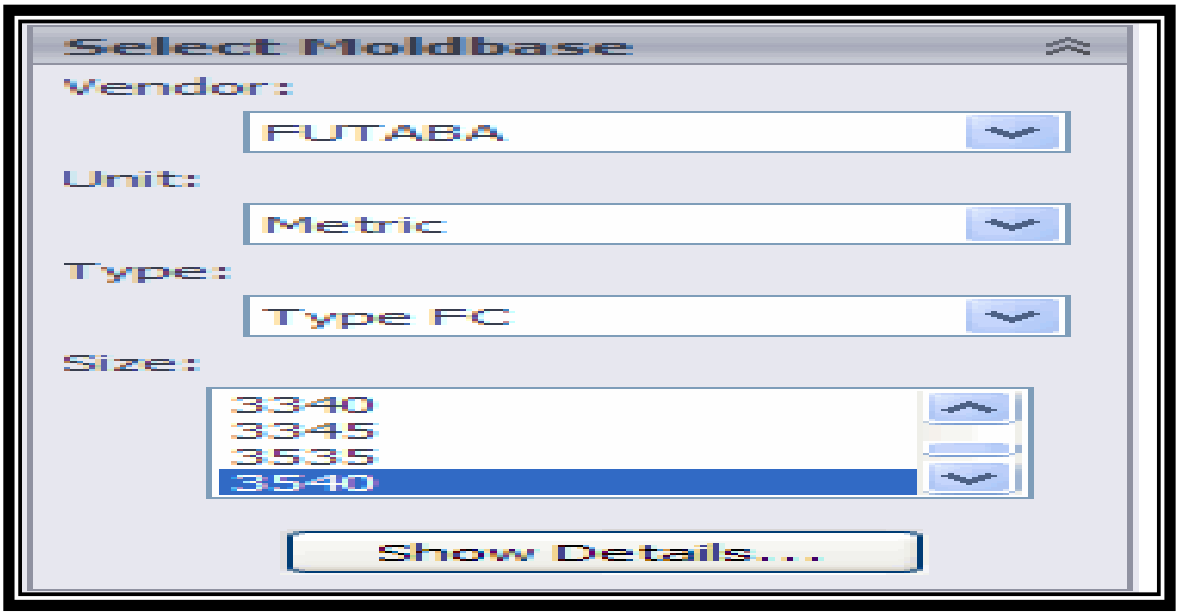
distribution, des canaux de circulation des fluides caloporteurs et des mécanismes auxiliaires.:

est un ensemble de plaques en acier contenant les noyaux et empreintes d'un moule

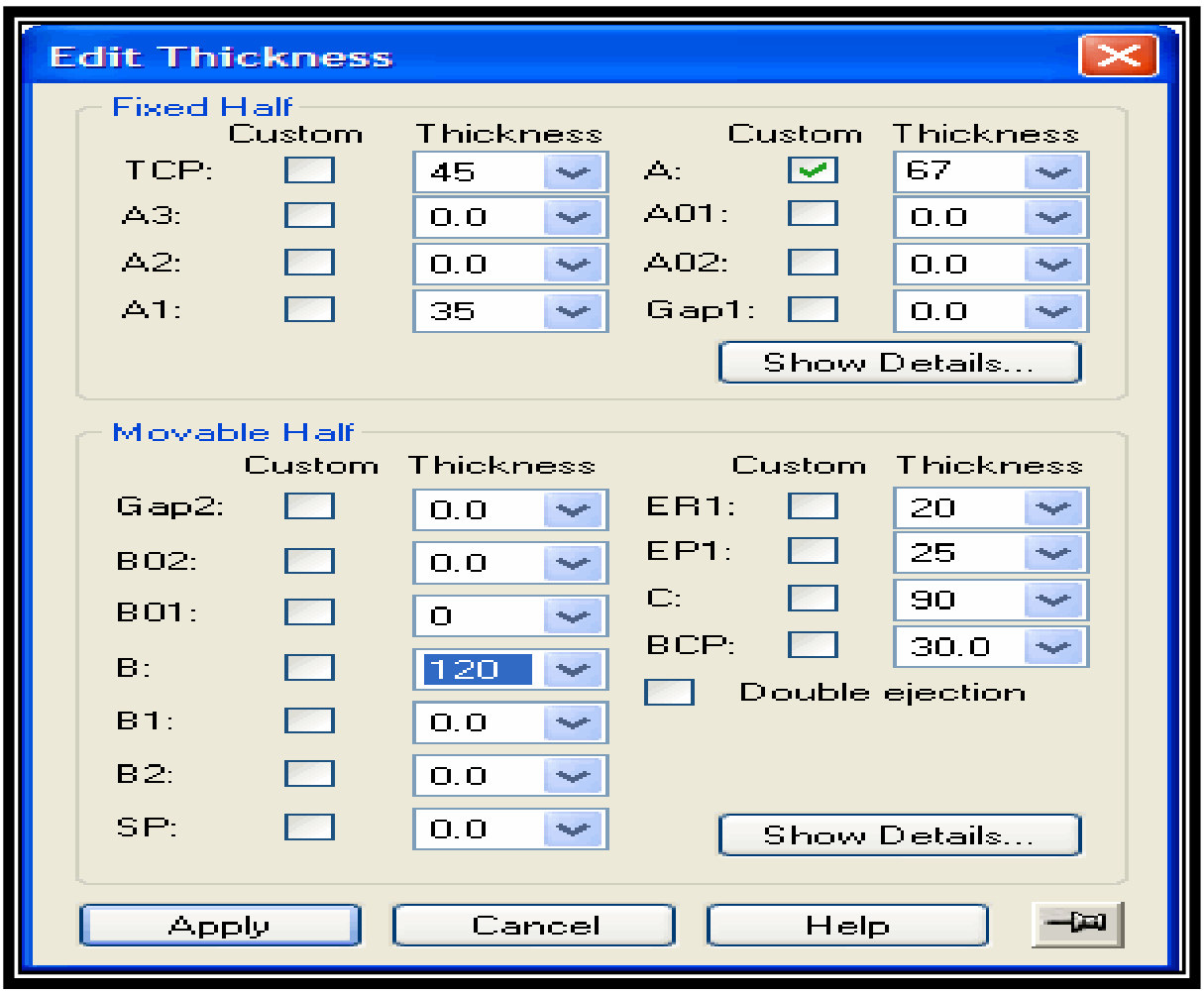
En utilisant la fonction«Moldbase Designer»



En utilisant cette étape pour choisi le modèle de moule



En utilisant ce tableau pour changer les dimensions des plaques de moule



a)Éléments constitutifs de la carcasse :

Les éléments fixes se divisent :

- plaque ou bloc porte-matrices ou porte-empreintes
- bloc porte-poinçons
- contreplaque
- plaques de fixation

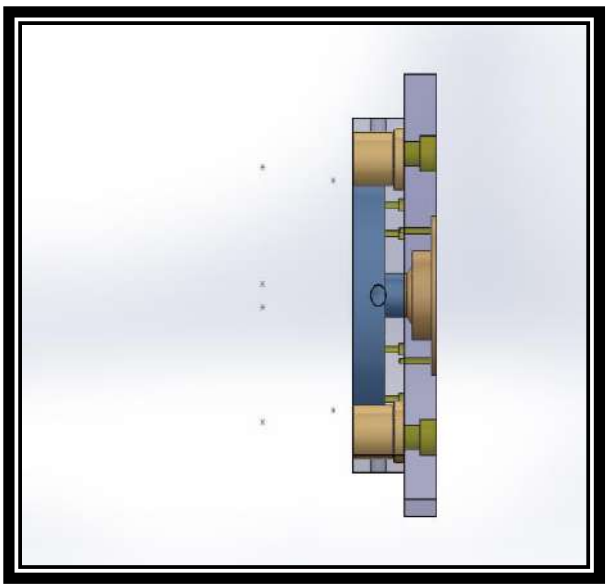


Figure (4.05) : schéma de partie fixe

Les plaques mobiles sont :

- la plaque d'éjection et la contre-plaque
- les plaques de dévissage et les plaques flottantes qui possèdent généralement un guidage à billes.

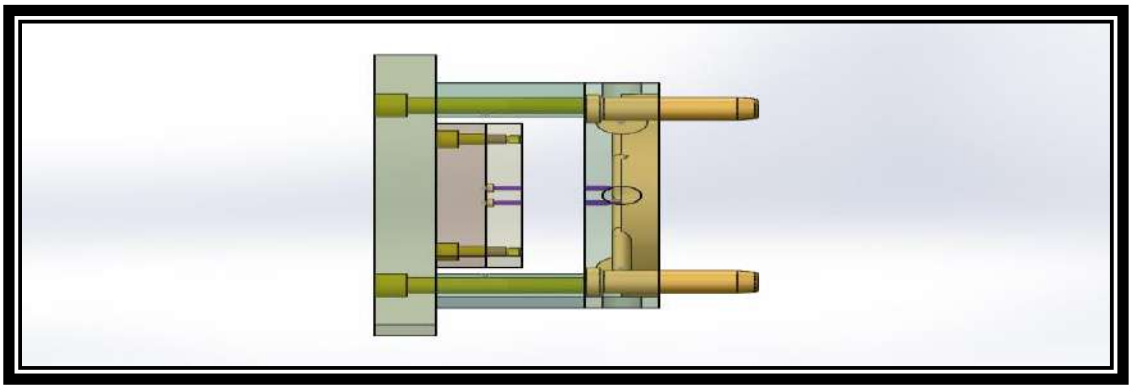


Figure (4.06) : schéma de partie mobile

Les plaques fixes ou mobiles, empilées, doivent avoir leurs bords chanfreinés et des fraisures dans leur plan de joint pour faciliter si nécessaire leur séparation.

Les contre-plaques doivent apporter une rigidité suffisante pour s'opposer à la déformation des parties moulantes sous l'action de la pression d'injection.

B/Les éléments de centrage et de fixation :

Permettent de fixer le moule sur les plateaux de la presse, d'aligner le nez de la machin avec la buse du moule et d'accoupler les dispositifs d'éjection de la Presse et de l'outillage.

Le centrage peut être obtenu grâce à un orifice ménagé sur le plateau de la presse situé du côté du plastification et dans lequel on introduit la rondelle de centrage du moule. Les presses comportent souvent un orifice de centrage sur chaque plateau.

-En utilisant la fonction « moldbase designer -screws » :

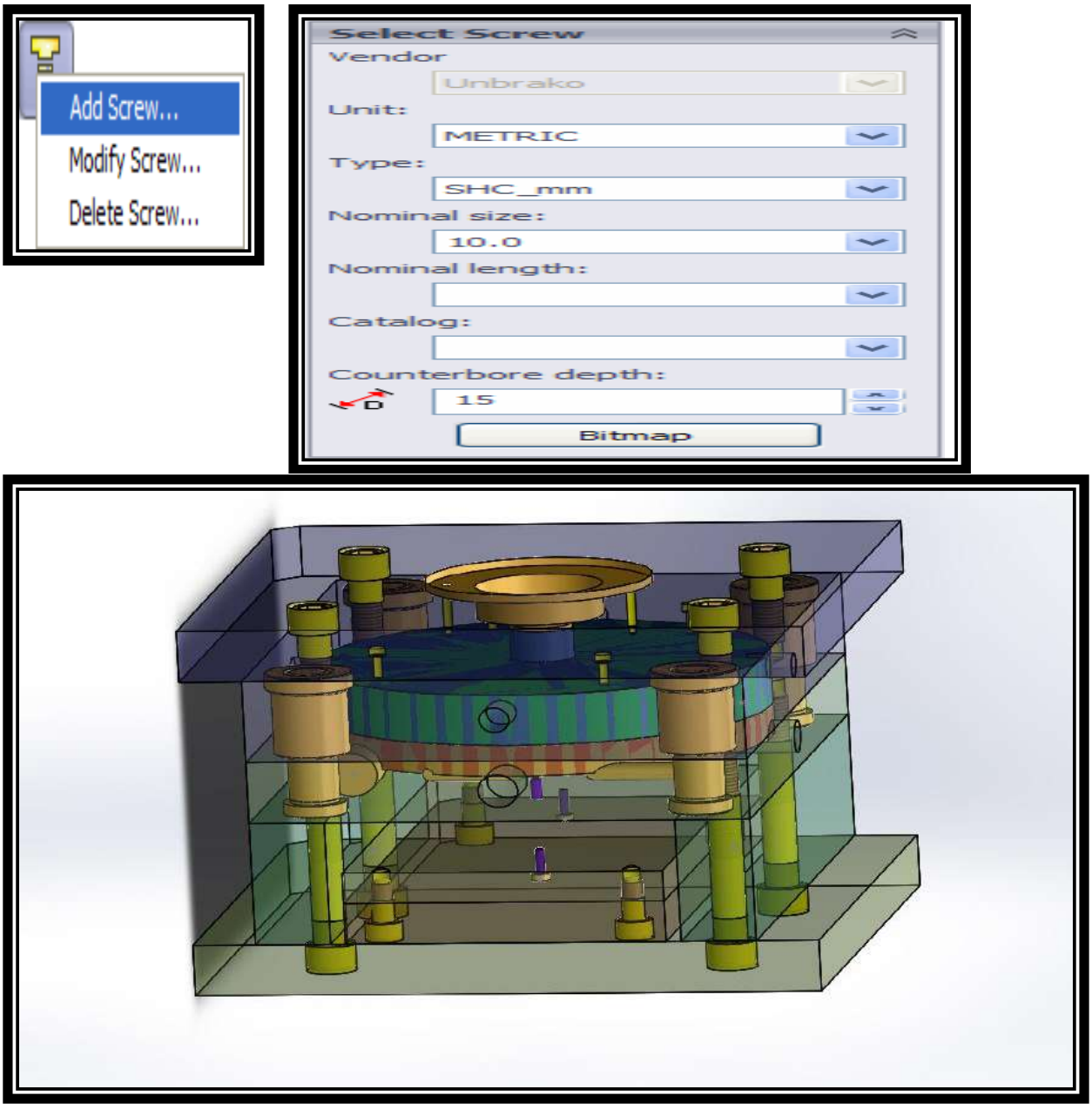


Figure (4.07) : schéma de moule assemblé

4-3-4/Emplacement des points d'injections :

Les points d'injection permettent de connecter le système d'alimentation au moule et de transférer le plastique fondu du système d'alimentation à l'empreinte du moule.

Le plastique est injecté sous haute pression dans l'empreinte, de sorte à remplir complètement l'empreinte et créer un produit compact et propre. La taille, la précision, le nombre et l'emplacement des points d'injection ont une incidence sur la qualité de la pièce en plastique finie.

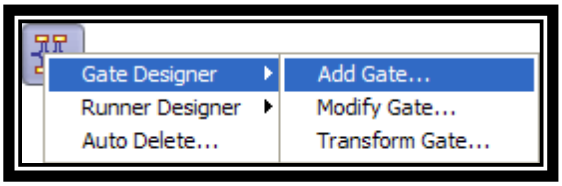
Comme les canaux d'alimentation rétrécissent au niveau des points d'injection, concevez le système d'injection en même temps que le système d'alimentation. Avant de créer un point d'injection, identifiez un emplacement de point d'injection. Après avoir créé des systèmes d'alimentation

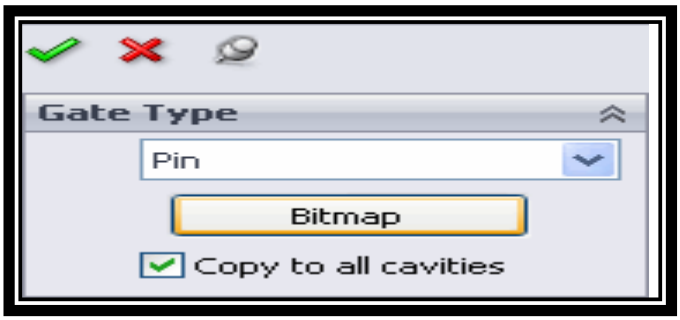
Les emplacements de points d'injection correspondent à des coordonnées sur la surface de la pièce moulée qui indiquent où les points d'injection physiques sont placés.

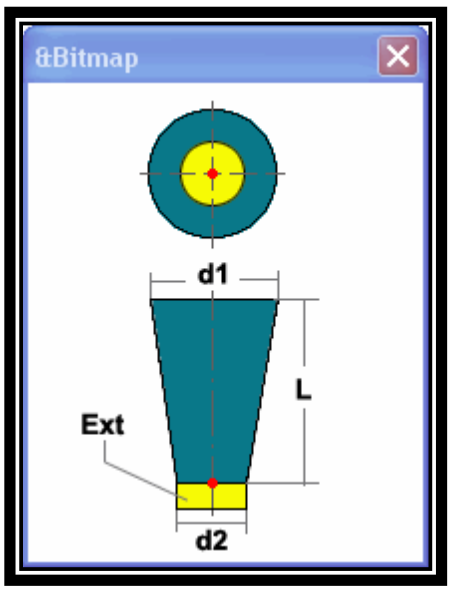
4-3-5/Système d'alimentation :

Le système d'alimentation répartit uniformément le plastique fondu, du nez de la machine vers les empreintes du moule

Création Système d'alimentation en utilisant la fonction « gate designer – add gate »







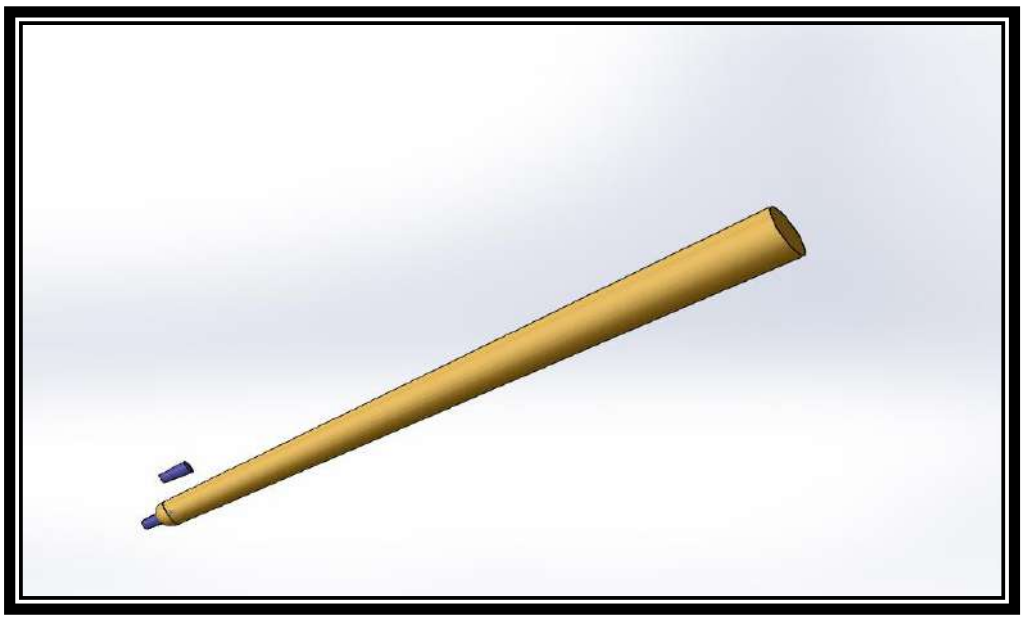


Figure (4.08) : système d'alimentation

4-3-6/Système de refroidissement :

Créer des canaux dans le moule pour faire circuler le liquide de refroidissement afin de refroidir le moule rapidement et de manière homogène.

Création Système de refroidissement en utilisant la fonction « cooling designer-creat circuit »

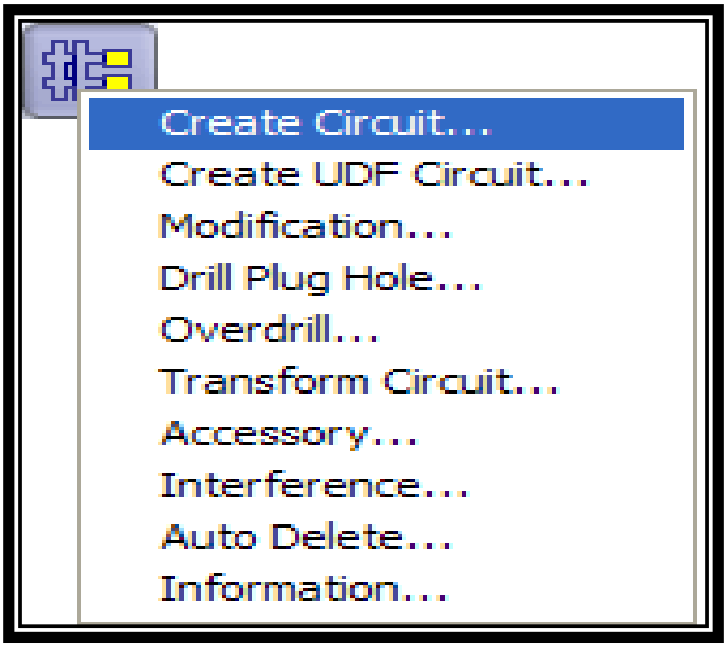




Figure (4-09)

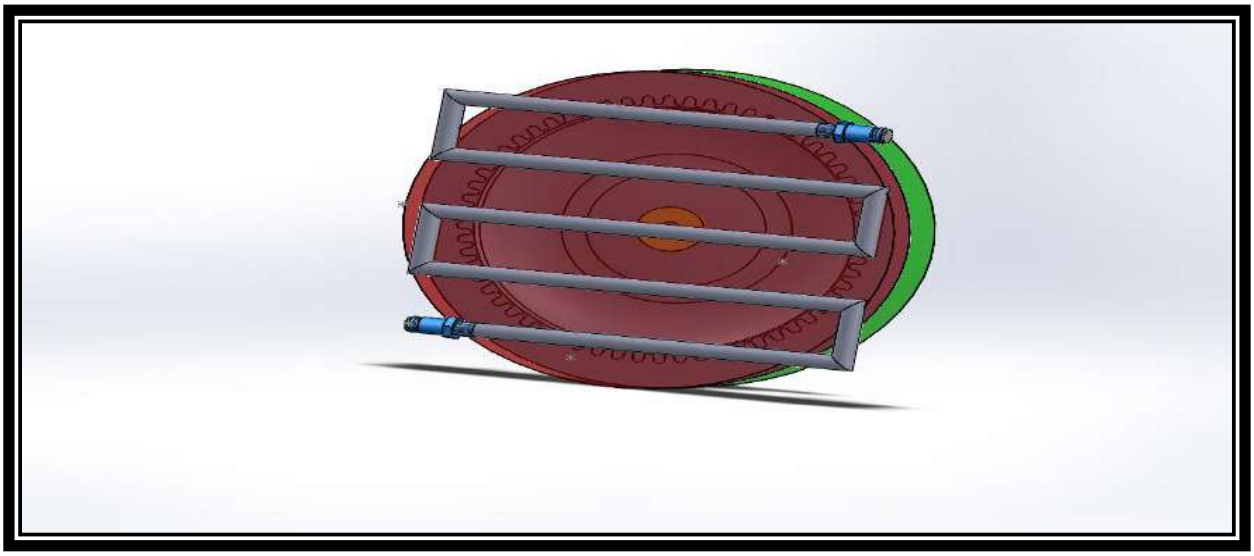


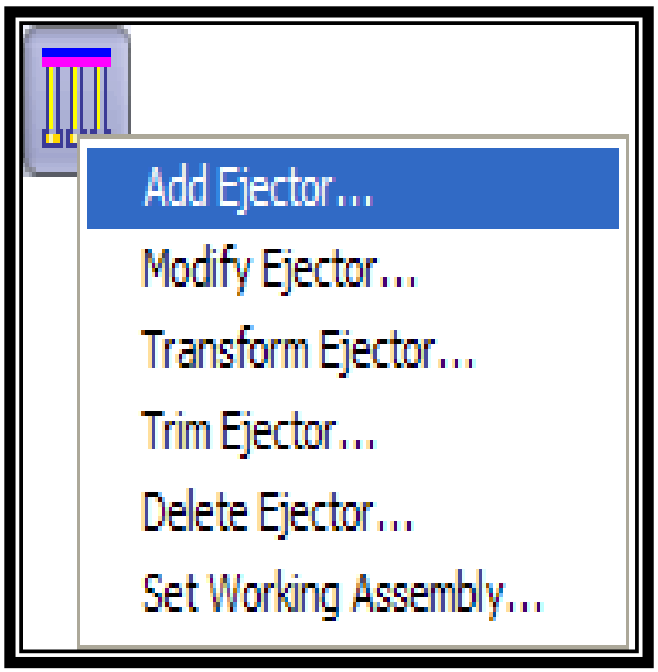
Figure (4-09,10) : système de refroidissement

4-3-7- Ejecteur :

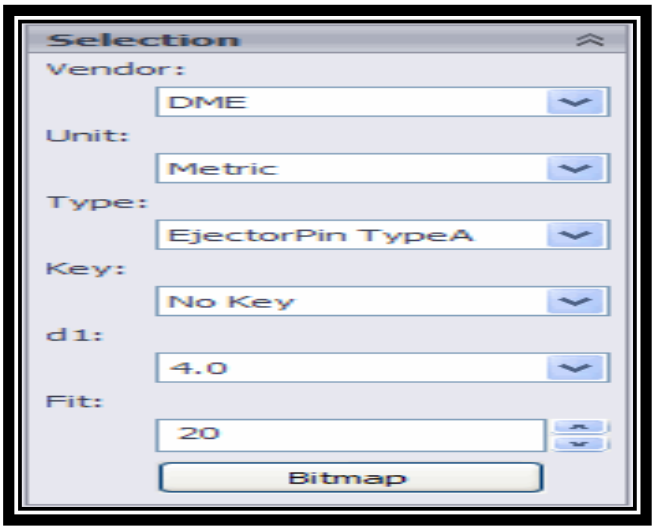
Un éjecteur est une broche en acier située sur la partie mobile du moule. Lorsque le système d'éjection est activé, l'éjecteur pousse la pièce en plastique ou le système d'alimentation à l'extérieur du moule. Lorsque le système d'éjection est activé, la plaque glisse sur la broche d'éjecteur tubulaire. Elle pousse la pièce en plastique pour l'éloigner de la broche et la sortir du moule.

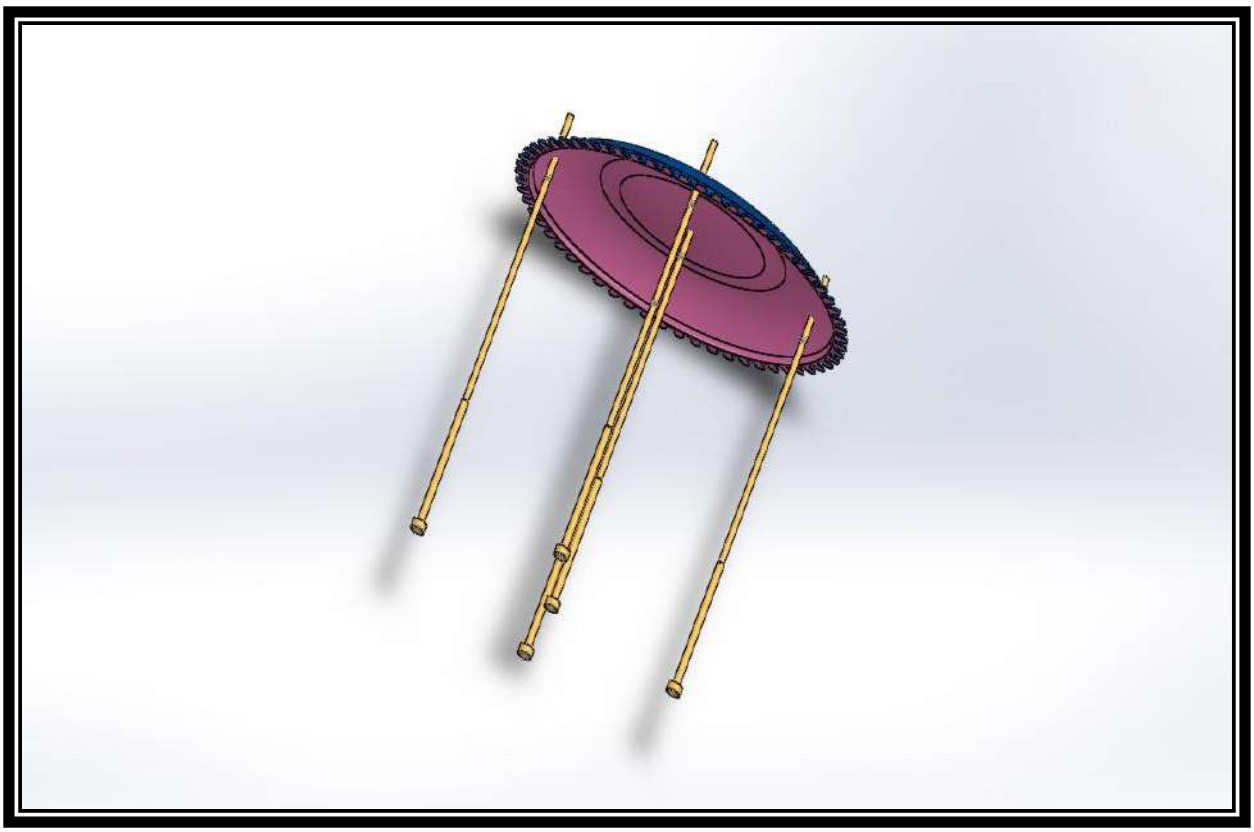
Les composants tels que les éjecteurs se déplacent par va-et-vient dans le noyau ou le corps de moule. Un petit espace, appelé poche ou dégagement de mouvement est autorisé pour ce mouvement. L'onglet de dégagement permet de définir la taille de la poche dans le corps de moule, afin qu'elle corresponde aux exigences de chaque éjecteur. Définissez le dégagement de sorte que l'éjecteur ne se bloque pas sur le corps de moule ou le noyau.

Création les éjecteurs en utilisant la fonction « ejector designer »

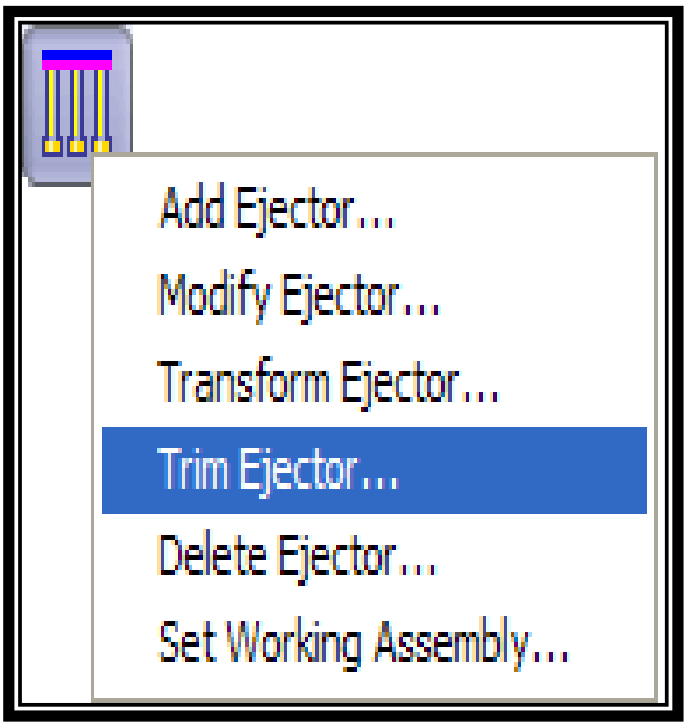


Pour choisi le modèle d'ejector :





Figure(4-11) :Les éjecteur



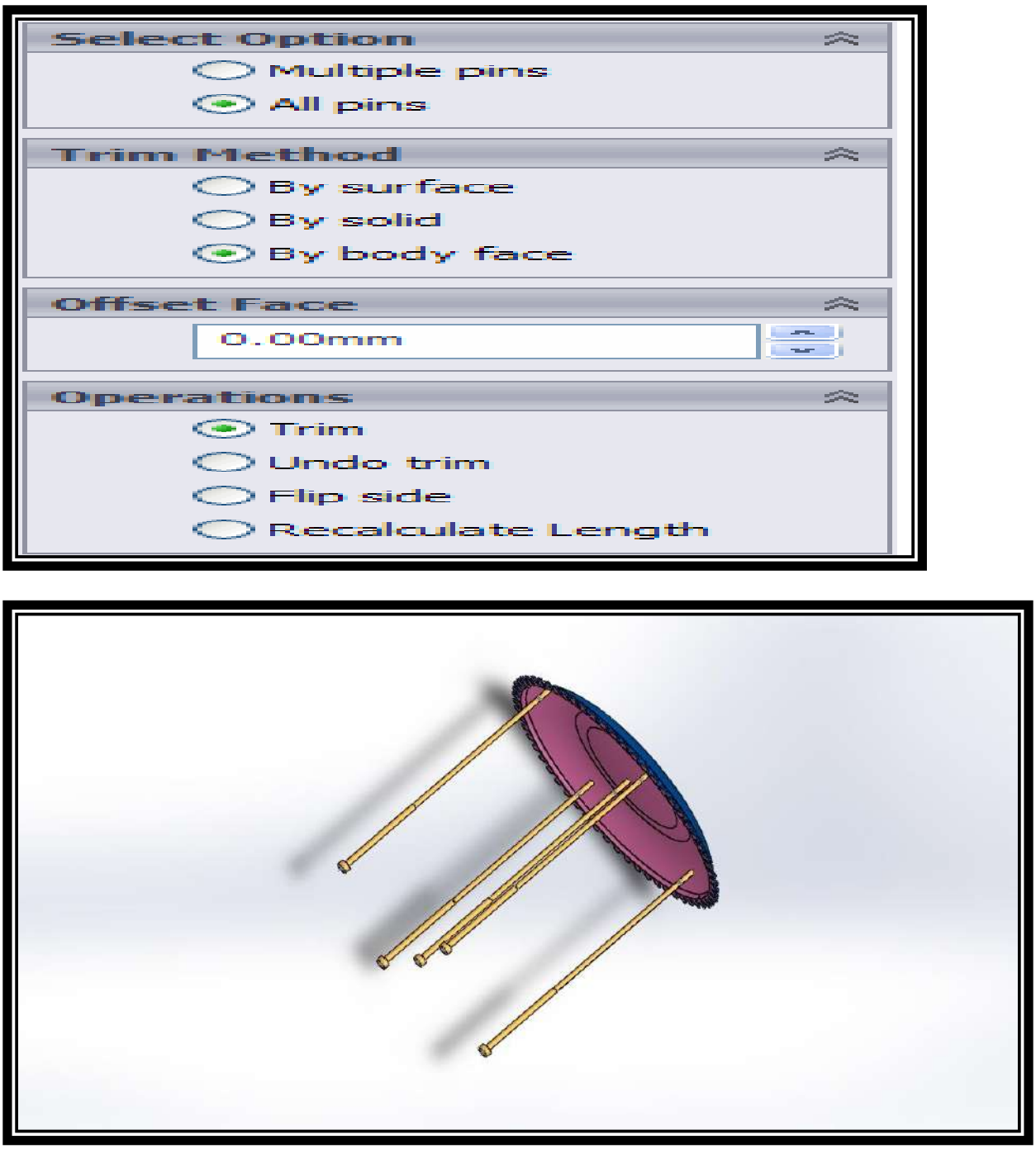
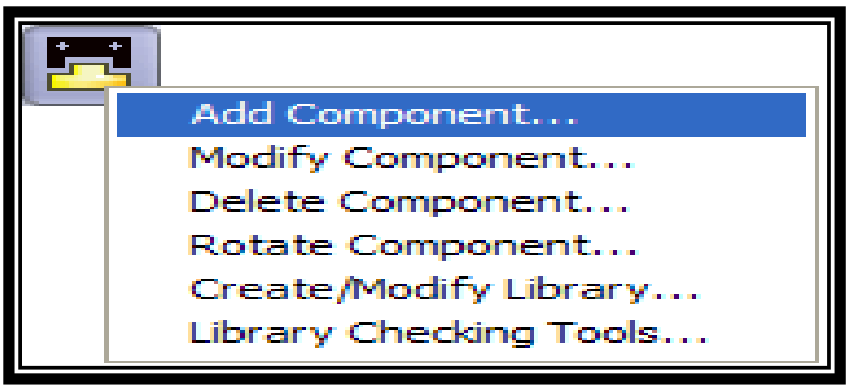


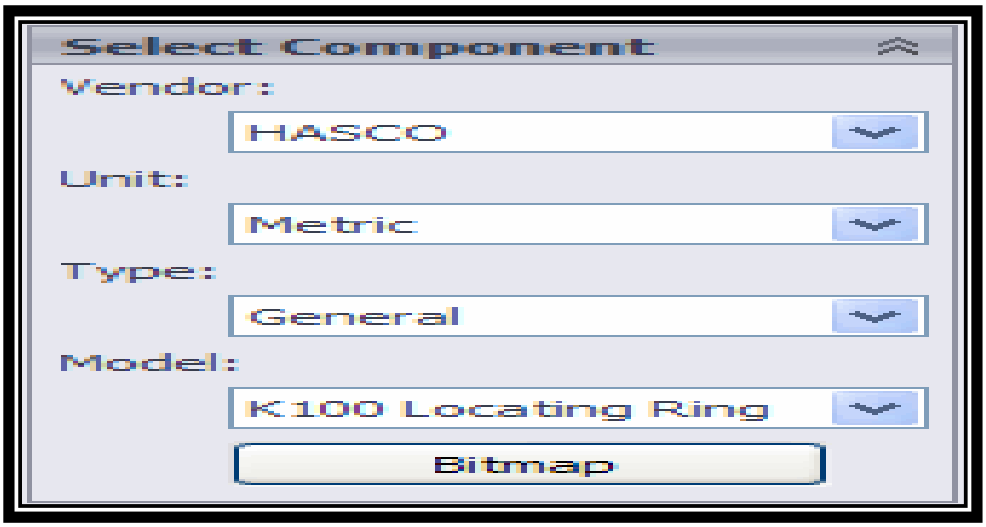
Figure (4-12) : Trim éjecteur

4-3-8/Buse d'injection :

La buse d'injection correspond à l'ouverture à travers laquelle le plastique fondu pénètre dans le moule, la buse d'injection dirige le plastique dans les systèmes d'alimentation, par le point d'injection et enfin dans l'empreinte de moule, ou directement dans l'empreinte.

En utilisant la fonction component gallery.





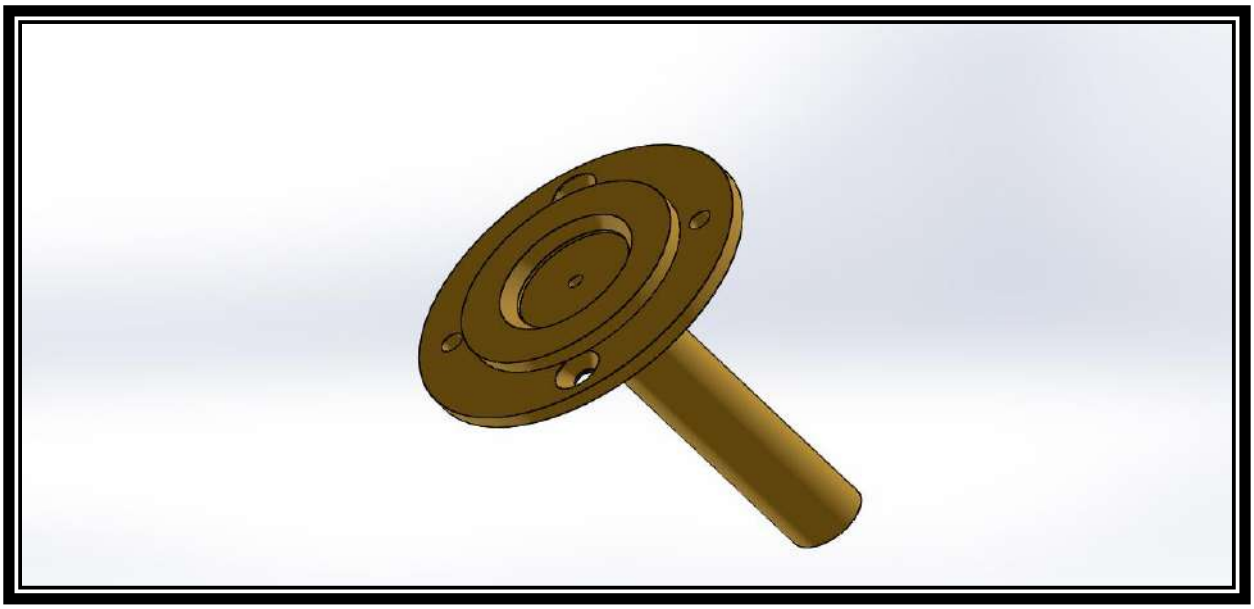


Figure (4.13) : Buse d'injection

4-3-9/Assemblage :

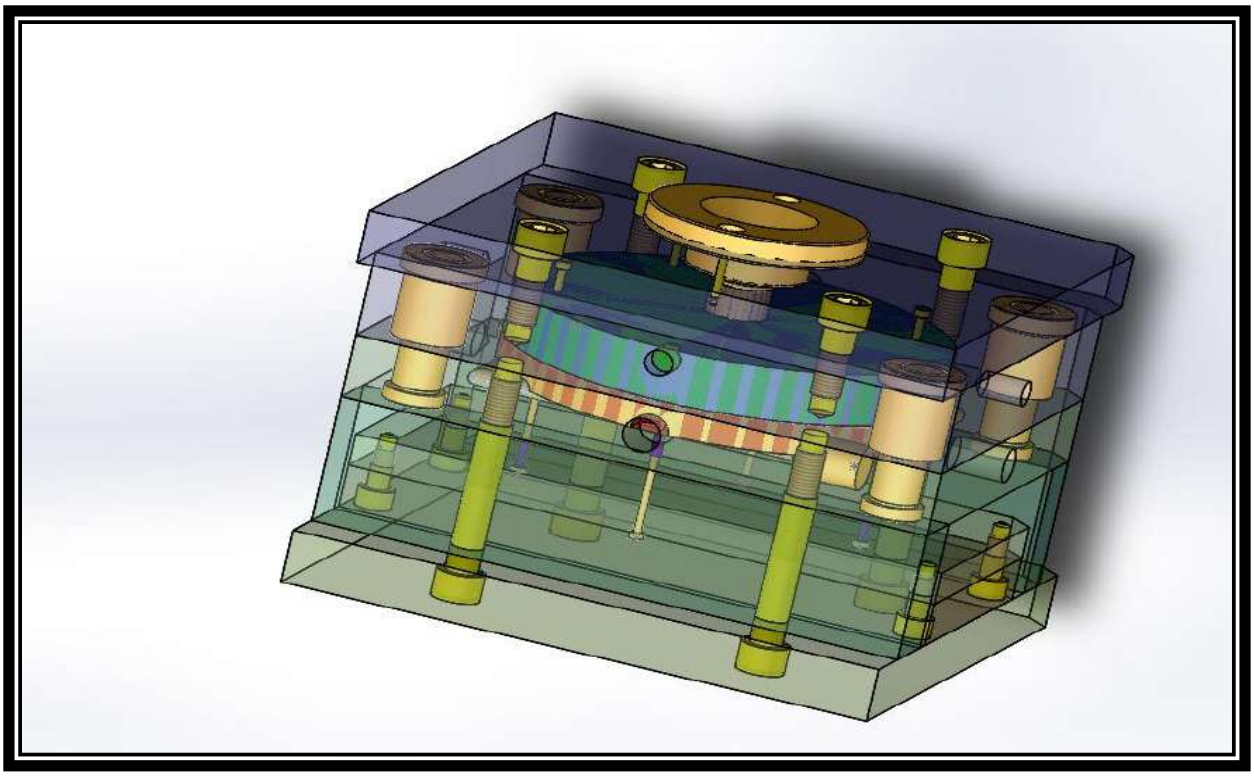


Figure (4.14) :Assemblage de moule

4-4/Cycle de moulage :

Le moulage se produit généralement selon les étapes suivantes :

1. Fermeture du moule : ce mouvement commence avec une vitesse lente puis rapide, et se termine de nouveau lentement pour éviter le choc entre les plans de joint et pour donner le temps d'agir au système de sécurité.

2. Verrouillage : si le système de sécurité n'a décelé aucune anomalie, la commande peut appliquer la force de fermeture. Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes.

3. Injection : c'est la phase de remplissage de(s) l'empreinte(s) avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits.

4. Refroidissement : il a lieu le temps nécessaire pour que le plastique se solidifie dans le moule. Dans la pratique, on plastifie souvent, pendant ce temps, la matière pour le prochain cycle. De plus, si nécessaire au cours de ce temps, on peut séparer la buse du cylindre d'injection et le moule.

5. Ouverture du moule : le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe

6. Démoulage : le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée. (Figure 4-12)

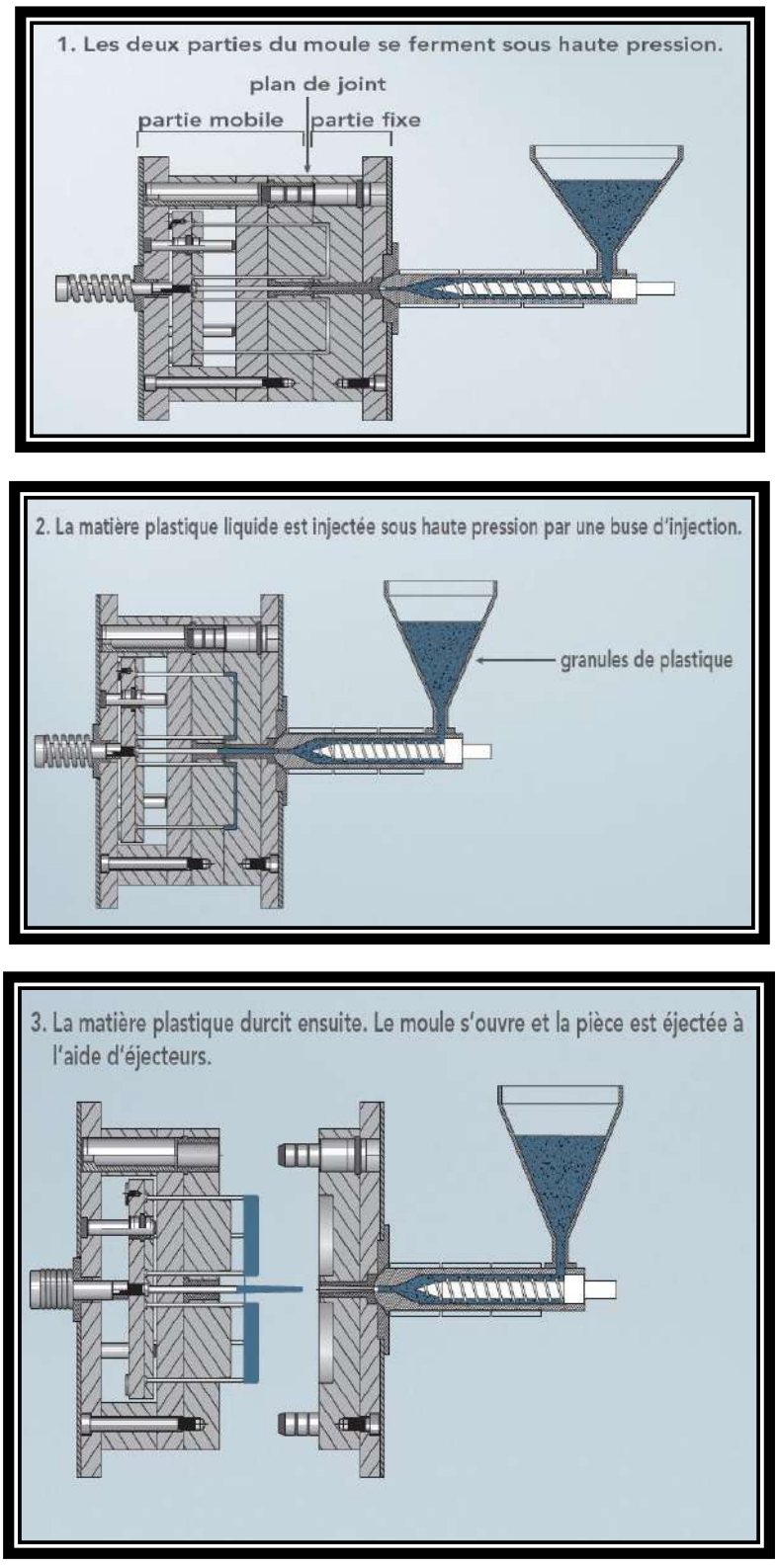


Figure (4-15) : Cycle de moulage

Partie 01 :L'analyse de l'écoulement de la matière plastique

Pour tous les problèmes de la mécanique des fluides, en général, les équations utilisées pour étudier les écoulements dérivent généralement des équations de conservation : continuité, Navier-Stokes, énergie et équation d'état du fluide. La résolution de ces équations est accompagnée d'hypothèses simplificatrices.

5-1-1Equations de base :

Pour un fluide Newtonien, en considérant comme forces de volume la seule force de pesanteur, les formes différentielles de l'équation de continuité (équation 5.1) et de l'équation des quantités de mouvement (équation 5.2) peuvent être obtenues à partir des relations intégrales sur un volume de contrôle et par l'application du théorème de la divergence :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = +\vec{\nabla} \cdot \left(\rho \vec{C}\right) = 0 \qquad (5\text{-}1)$$

$$\rho \frac{D\vec{C}}{Dt} = \rho \left[(\vec{C} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{C} + \frac{\partial \vec{C}}{\partial t} \right] = -\vec{\nabla} P + \rho g + \vec{\nabla} \cdot \tau ij \quad (5\text{-}2)$$

(1) (2) (3) (4) (5) (6)

Les termes 1, 2, et 3 de l'équation (3.2) représentent les accélérations totale, convective et locale. Le terme 4 représente la force de pression, le terme 5 la force de pesanteur, le terme 6 les effets visqueux.

L'équation de l'énergie est utilisée sous la forme :

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{DP}{Dt} + \vec{\nabla}\left(\lambda \vec{\nabla} T\right) + \phi \qquad (5\text{-}3)$$

Le premier membre de l'équation 3.3 représente la variation d'enthalpie ; DpDt et (T) λ∇∇ sont respectivement les taux de travail des efforts de pression et le transfert de chaleur par conduction dans le fluide où λ est le coefficient de conductivité thermique. Φ est la fonction de dissipation, représentant l'équivalent thermique de l'énergie mécanique liée à la dissipation visqueuse des efforts de cisaillement.

Une équation complémentaire associant la masse volumique à la pression et à la température est nécessaire. Pour des écoulements compressibles, le transport et la génération d'énergie sont couplés à la dynamique du mouvement du fluide et l'équation de l'énergie doit être résolue simultanément avec les équations de continuité et quantité de mouvement

5-1-2 Equations de l'écoulement incompressible :

Dans le cas de l'écoulement de fluides incompressibles, la variation de la masse volumique est négligeable. Les équations de continuité et de Navier-Stokes peuvent être respectivement simplifiées :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{C} = 0 \qquad (5\text{-}4)$$

$$\rho \frac{D\vec{C}}{D\vec{t}} = -\vec{\nabla}P + \rho\vec{F} + \mu\overrightarrow{\nabla^2\vec{C}} \qquad (5\text{-}5)$$

L'ensemble d'équations (5.4) et (5.5) suffit pour caractériser un écoulement incompressible.

Une autre simplification, considère l'écoulement comme non visqueux (μ=0). Ainsi, l'équation (5.5) peut s'écrire :

$$\rho \frac{D\vec{C}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \rho\vec{F} \qquad (5\text{-}6.a)$$

Cette équation est connue comme l'équation d'Euler. Elle est utilisable pour l'étude des écoulements éloignés des zones de parois où les effets visqueux sont négligeables. Une simplification additionnelle est faite en négligeant les effets des forces de volume telles que la pesanteur. [3]

$$\rho \frac{D\vec{C}}{Dt} = -\overrightarrow{\nabla P} \qquad (5\text{ -}6.b)$$

5-1-3 L'analyse numérique

La simulation numérique des écoulements a été l'objet d'une grande attention de la part des concepteurs. On s'intéresse dans ce mémoire à l'étude de l'écoulement du la matière plastique dans un moule à injection. La méthode des Eléments Finis à volumes de control finis a été utilisée pour résoudre le système d'équations du modèle adopté en utilisant le logiciel Ansys CFX.

La méthode des volumes de control finis consiste à diviser l'ensemble du domaine de calcul en un nombre fini de petits volumes de control. Ces volumes seront considérés comme des domaines élémentaires regroupant un ensemble des données physiques au niveau desquelles sera fait le calcul. Chaque volume est composé d'un centre (i, j) et d'une cellule l'entourant de dimension (dx, dy, dz). La concentration dans un volume (i, j) dépend donc de

l'influence des volumes voisins décrite par un ensemble de flux sur chacune des frontières du volume (Nord, Sud, Est et Ouest). La concentration dans un volume (i, j) entre les instants n et n +1

Approche très "physique" : bilan des flux S'adapte à une géométrie quelconque

Plusieurs schémas pour la résolution des termes non-linéaires

hyperboliques

Conservative (par sa formulation)

5-1-3.a Propriété de la machine d'injection et la matière plastique

On a choisi la machine indiqué dans le tableau (5.1.01) **:**

*Screw Diameter	35.0000	mm	Plastication Rate	0.0000	cc/s
Max. Shot Volume	0.0000	cm3	*Max. Screw Speed	31.1814	mm/s
Max. Shot Weight	0.0000	G	Nozzle Contact Force	0.0000	Tonne
*Max. Injection Pressure	240.0000	MPa	Nozzle Retraction Stroke	0.0000	mm
Max. Holding Pressure	0.0000	MPa			
*Reference Injection Rate	30.0000	cc/s			
*Max. Injection Rate	1150.0000	cc/s			

Tableau (5-1-01) : Les propriétés de la machine

Pour la matière, on a choisi le polymère (PS polystyrène), les propriétés sont indiquées dans le tableau suivant

Masse molaire	Densité	Chaleur spécifique
1 kg/k mol	1000 kg/m^3	1300 j/kg K

Pour la matière partie 2, on a choisi le polymère (ABS), les propriétés sont indiquées dans le tableau suivant :

Masse molaire	Densité	Chaleur spécifique
1 kg/k mol	1080 kg/m^3	2400 j/kg K

5-1-3.b/La Viscosité de la matière plastique :

La figure (5.1.02) illustre la variation de la viscosité en fonction du taux de cisaillement pour différent température. On observe que la viscosité diminue quand le taux de cisaillement augment ce qui nous mène à conclure que ces deux derniers sont inversement proportionnelle.

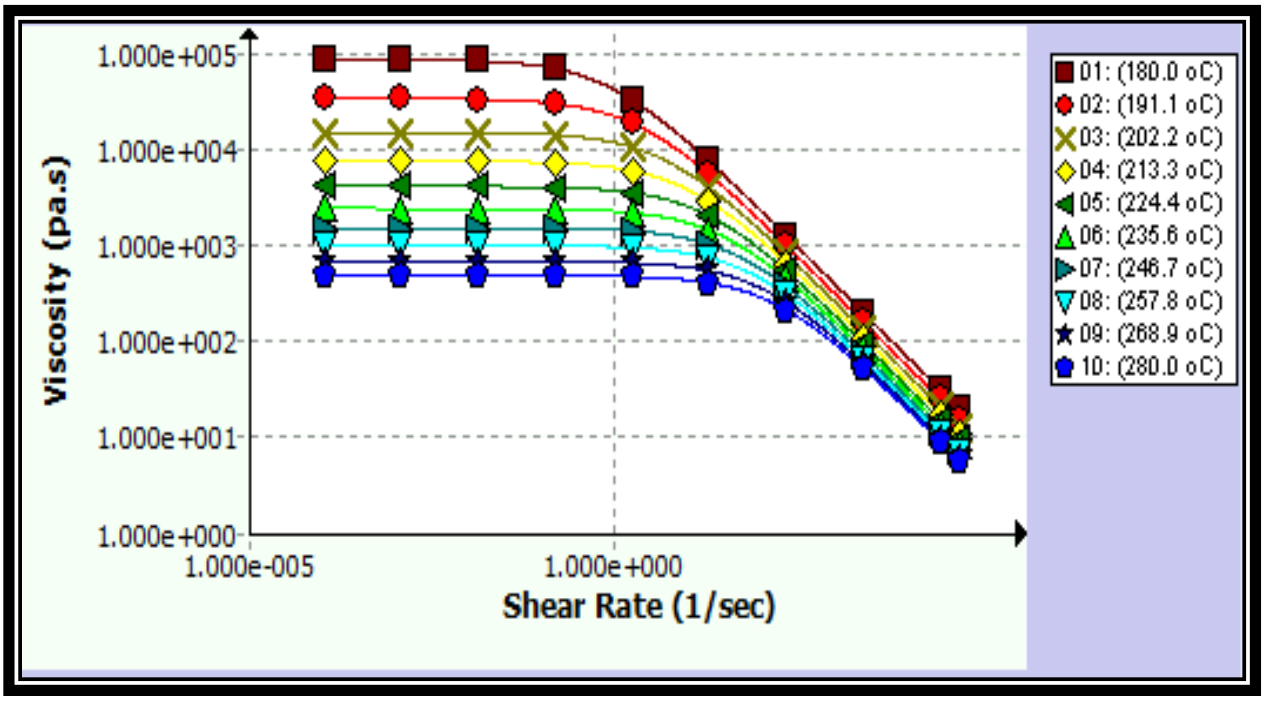


Figure (5.1.02) : La Viscosité de la matière plastique en fonction du taux de cisaillement pour différentes températures [3]

Partie 02 : Transfert de chaleur [15]

5-2-1 Généralités sur le transport et le transfert de l'énergie thermique

De tous temps, les problèmes de transmission d'énergie, et en particulier de la chaleur, ont eu une importance déterminante pour l'étude et le fonctionnement d'appareils tels que les générateurs de vapeur, les fours, les échangeurs, les évaporateurs, les condenseurs, etc., mais aussi pour des opérations de transformations chimiques.

En effet, dans certains systèmes réactionnels, c'est la vitesse des échanges de chaleur et non la vitesse des réactions chimiques qui détermine le coût de l'opération (cas de réactions fortement endo- ou exothermique). En outre, de nos jours, par suite de l'accroissement relatif du prix de revient de l'énergie, on recherche dans tous les cas à obtenir le rendement maximal d'une installation pour une dépense d'énergie minimale.

Les problèmes de transfert de chaleur sont nombreux, et on peut essayer de les différencier par les buts poursuivis dont les principaux sont :

- l'augmentation de l'énergie transmise ou absorbée par une surface,
- l'obtention du meilleur rendement d'une source de chaleur,
- la réduction ou l'augmentation du passage d'un débit de chaleur d'un milieu à un autre.

Le potentiel qui provoque le transport et le transfert de l'énergie thermique est la température. Si deux points matériels placés dans un milieu thermiquement isolé sont à la même température, on peut affirmer qu'il n'existe aucun échange thermique global entre ces deux points dits en équilibre thermique(il s'agit bien d'un équilibre thermique car chacun des points matériels émet une énergie thermique nette de même module, mais de signe opposé).

Le transfert de chaleur au sein d'une phase ou, plus généralement, entre deux phases, se fait de trois façons :

A) Par conduction :

Ce transport de chaleur se produit au sein d'une même phase – au repos ou mobile, mais tranquille (absence de remous) – en présence d'un gradient de température. Le transfert de chaleur résulte d'un transfert d'énergie cinétique d'une molécule à une autre molécule adjacente. Ce mode de transfert est le seul à exister dans un solide opaque. Pour les solides transparents, une partie de l'énergie peut être transmise par rayonnement. Avec les fluides que sont les gaz et les liquides, la convection et le rayonnement peuvent se superposer à la conduction.

Loi de Fourier

Le transfert de la chaleur par conduction est un transport de chaleur dans un milieu immobile ou mobile sans remous turbulent. Ce mode de transport de la chaleur est le seul à exister au sein d'un solide opaque, aussi la conduction concerne essentiellement les solides. Dans les liquides et les gaz 1e transport de la chaleur par conduction est très souvent négligeable devant les deux autres types de transport de la chaleur.

Le flux de chaleur (dimension W/m2) transféré par conduction dans une direction donnée est proportionnel au gradient de température dans cette direction. Cette loi, dite de **Fourier**, est donc telle que la composante sur l'axe Ox du flux est égale à :

$$\varphi_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial X} \qquad (5,7)$$

φx est la composante du flux sur l'axe *Ox*et *T* la température au point considéré. Dans cette loi, postulée dès 1822 par *Fourier*, le coefficient de proportionnalité λ est une caractéristique physico-chimiquedu point matériel désignée sous le nom de conductivité ou conductibilité thermique. Dans le système international, elle s'exprime en W/m.K.

B) Par convection :

Le transfert de chaleur par convection se produit entre deux phases dont l'une est généralement au repos et l'autre en mouvement en présence d'un gradient de température. Par suite de l'existence du transfert de chaleur d'une phase à l'autre, il existe dans la phase mobile des fractions du fluide (ou agrégats) ayant des températures différentes. Le mouvement du fluide peut résulter de la différence de masse volumique due aux différences de températures (on parle alors de convection libre ou naturelle) ou à des moyens purement mécaniques (on parle alors de convection forcée).

Lorsqu'un fluide est en écoulement, une partie du transfert de chaleur dans le fluide se fait également par conduction et, dans le cas d'un fluide transparent, un transfert de chaleur par rayonnement peut accompagner les deux transferts précédents.

Définition :

Le transfert de chaleur par convection apparaît entre deux phases dont l'une au moins est mobile, en présence d'une différence de température. Le mouvement des phases peut être provoqué par une dégradation d'énergie mécanique, le transfert de chaleur est dit de convection forcée. Le mouvement peut être provoqué par l'existence même du transfert de chaleur par suite de l'apparition dans le milieu d'une différence de masse volumique, le transfert de chaleur est dit de convection naturelle ou libre. Dans ce qui suit, nous nous

limiterons au transfert de chaleur par convection forcée qui est le mode de transfert de chaleur essentiel pour de nombreux appareils industriels de transfert de l'énergie thermique.

Le flux de chaleur transféré par convection conduction dans une direction donnée est proportionnel au gradient de température dans cette direction. Cette loi, dite de **newton** le flux est égale à :

$$\varphi = hS(T_{\mathrm{P}} - T_{\infty})$$

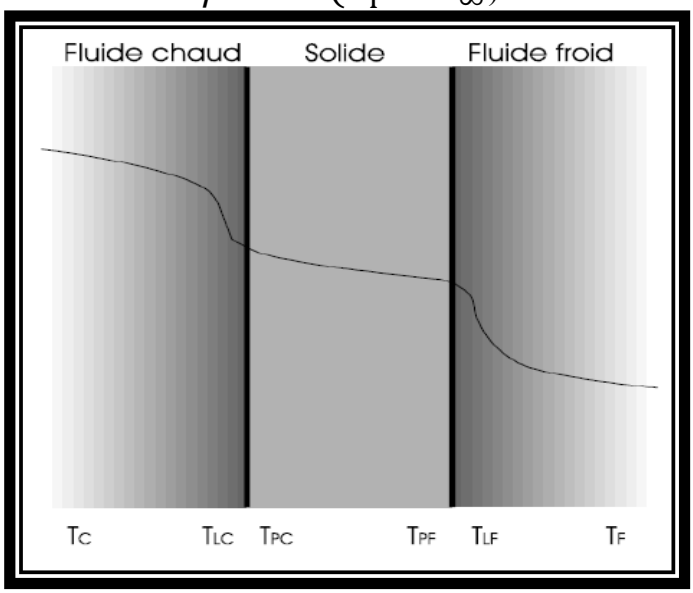


Figure (5.2.01) : transfert de chaleur Par convection [16]

C) Par rayonnement.

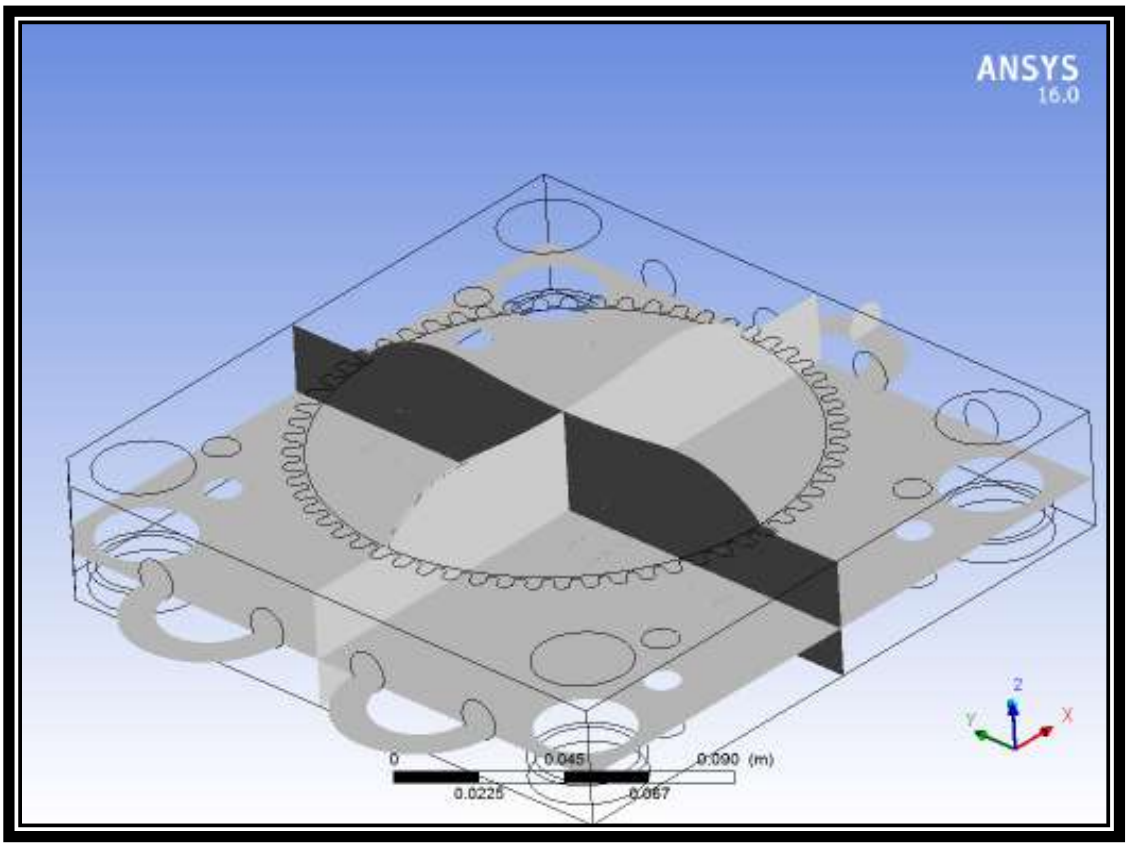
Un point matériel chauffé émet un rayonnement électromagnétique dans toutes les directions situées d'un même côté du plan tangent au point matériel. Lorsque ce rayonnement frappe un corps quelconque, une partie peut être réfléchie, une autre transmise à travers le corps (dit diathermique si tout est transmis), et le reste est quantitativement *absorbé* sous forme de chaleur. Si on place dans une enceinte deux corps capables d'émettre un rayonnement thermique, il existe entre ces deux corps à températures différentes un échange de chaleur dû à l'absorption et à l'émission de ces rayonnements thermiques. Cet échange de chaleur est désigné habituellement sous le nom de rayonnement. Les transferts par rayonnement se poursuivent même lorsque l'équilibre thermique est atteint, mais le débit net de chaleur échangé est nul. Ce type de transport de chaleur est analogue à la propagation de la lumière, et il ne nécessite aucun support matériel, contrairement aux écoulements. Les gaz, les les solides sont capables d'émettre et d'absorber les rayonnements thermiques.

Dans de nombreux problèmes de transformation d'énergie thermique, les trois modes de transfert de chaleur coexisteront mais, généralement, au moins une des trois formes pourra être négligée, ce qui simplifiera le traitement mathématique de l'appareil de transfert. Nous

pouvons dire dès à présent ,qu'aux températures ordinaires, le transport par rayonnement est négligeable, mais il peut devenir notable et prépondérant lorsque le niveau de température augmente.

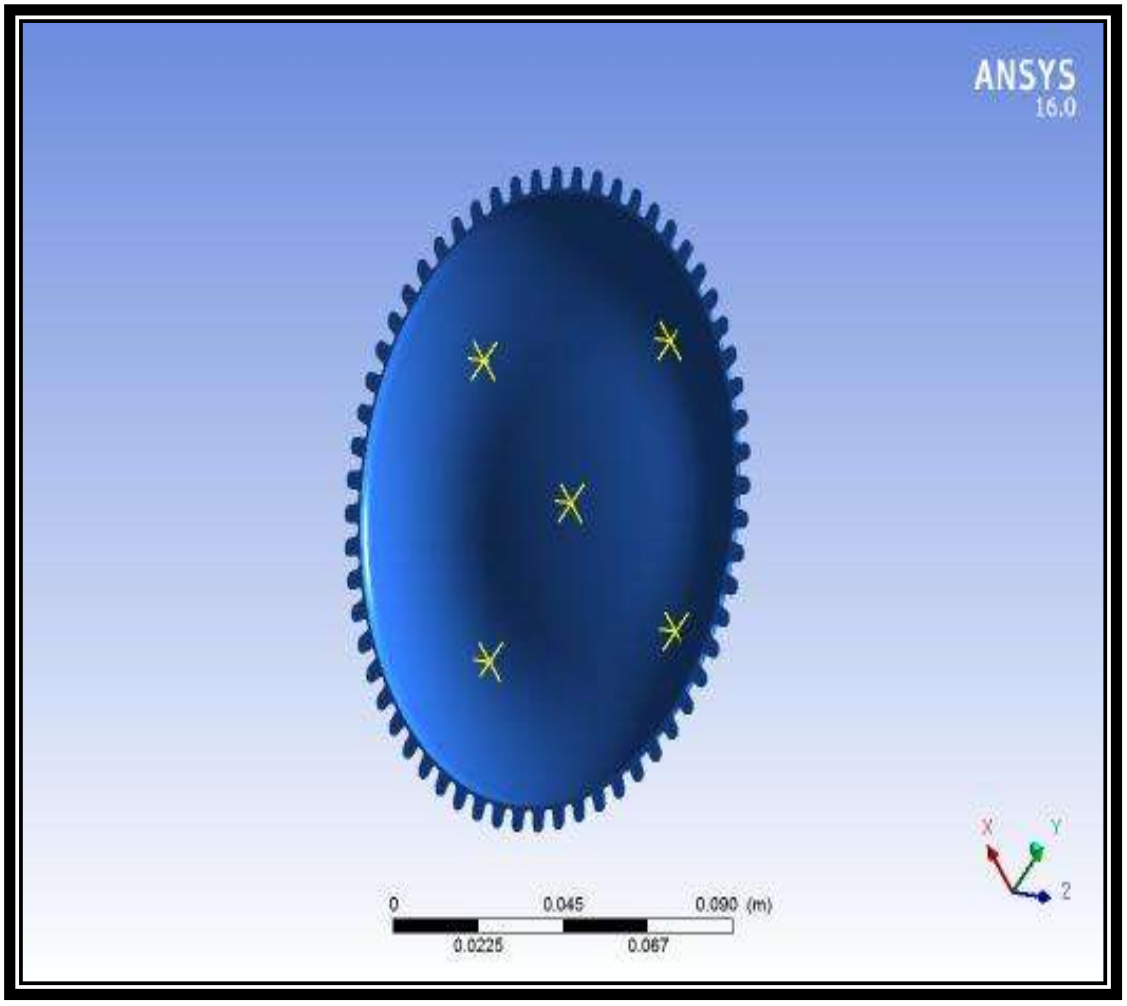
En outre, signalons que certains transferts thermiques sont accompagnés d'un transfert de matière entre deux phases. Le flux de chaleur transféré en présence d'un changement de phase dépend de la nature et des propriétés physico-chimiques des phases en présence. C'est le cas de l'ébullition, de la condensation, mais aussi des problèmes d'humidification, de séchage, de cristallisation, etc.

Dans ce qui suit nous allons présenter, pour les trois types de transport de la chaleur, les lois générales qui les gouvernent. Puis nous traiterons, de manière simple, quelques applications où le mode de transport de chaleur étudié est prédominant. Les resultat de simulation obtenu sur les troi plans déclarant sur la figure suivante :



Les graphes donner la variation de température dans les point de cordonné suivant :

Points	X	Y	Z
A	0	0	0.045211
B	-0.047817	0.0076998	0.047637
C	0.048363	0.0033399	0.047629
D	0.0043941	0.047973	0.047679
E	-0.0047118	-0.047956	0.047956



Partie 3 : Résultats numériques de l'analyse de l'écoulement de la matière plastique :

A-Circuit ouvert :

Cas 1 (v=0.35 et T=298) :

La figure A-1-1représente la variation de température dans l'assiette avec la température du polymère=423k et les conditions de fluide à l'entrée sont (T_f=298K,V_f=0.35m/s).On a Tmin=312K.

On remarque que la température est élevée dans l'extrémité de l'assiette Tmax=319K

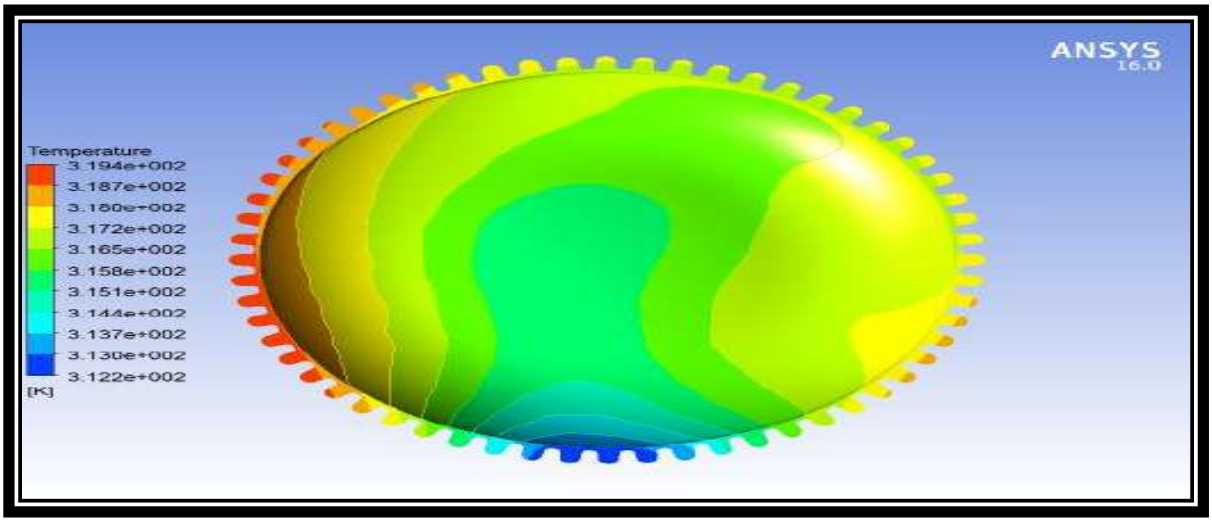


Figure A-1-1: la variation de température sur le plat

La figure A-1-2représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=322 et Tmin=298)

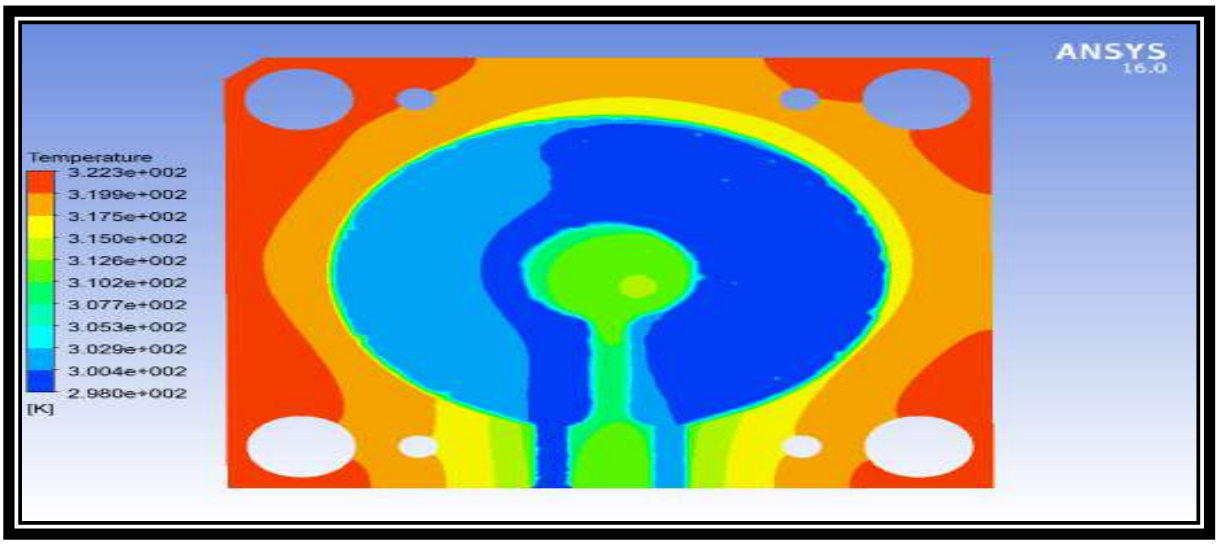


Figure A-1-2 : la variation de température sur le plan 1

La figure A-1-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=319 et Tmin=298)

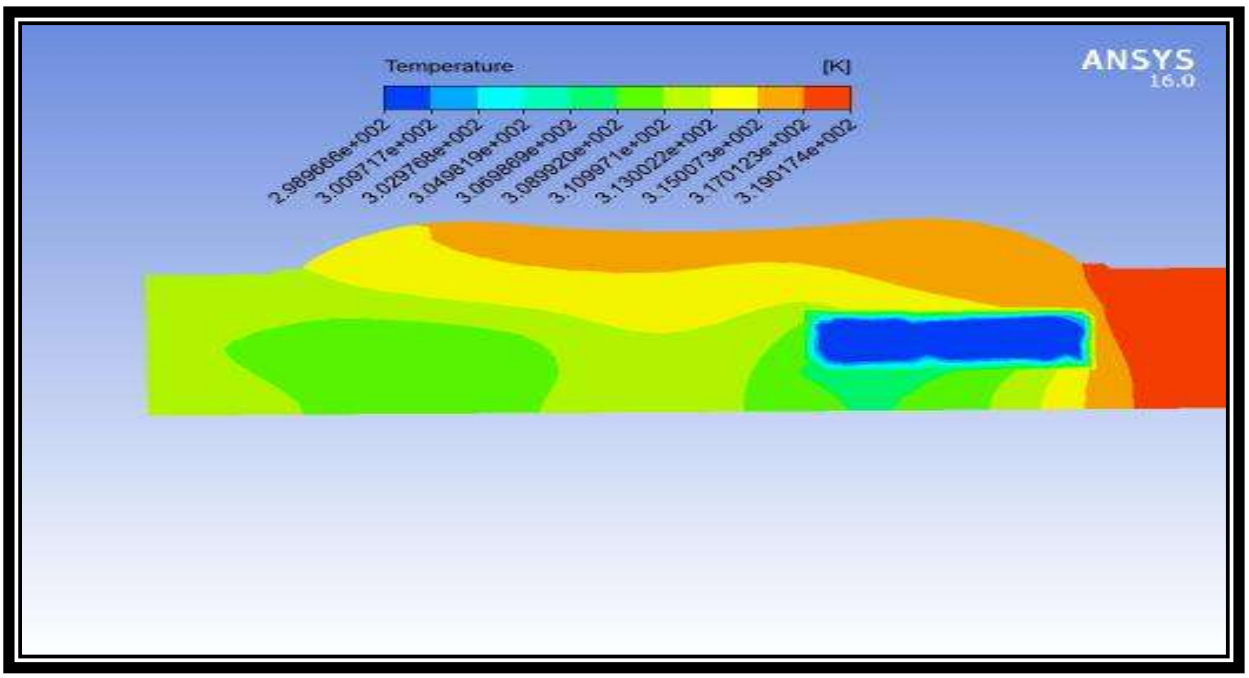


Figure A-1-3:la variation de température sur le plan 2

La figure A-1-4 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=320 et Tmin=298)

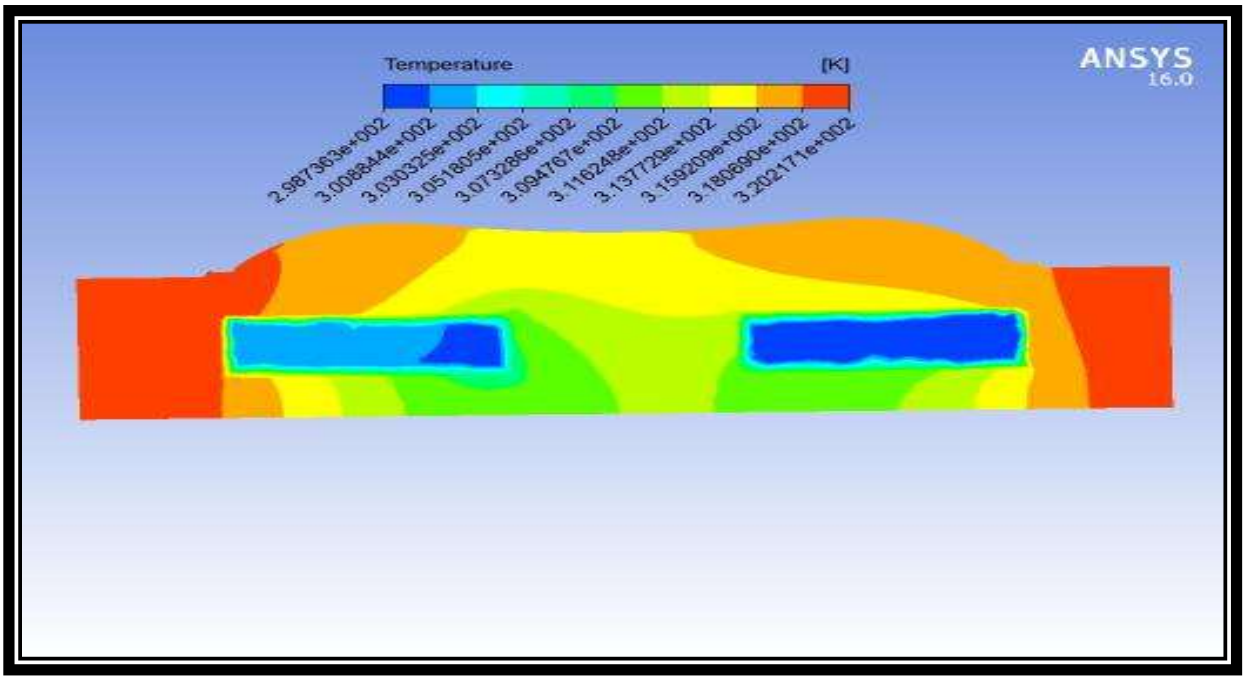


Figure A-1-4 : la variation de température sur le plan 3

La figureA-1-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=319 et Tmin=298)

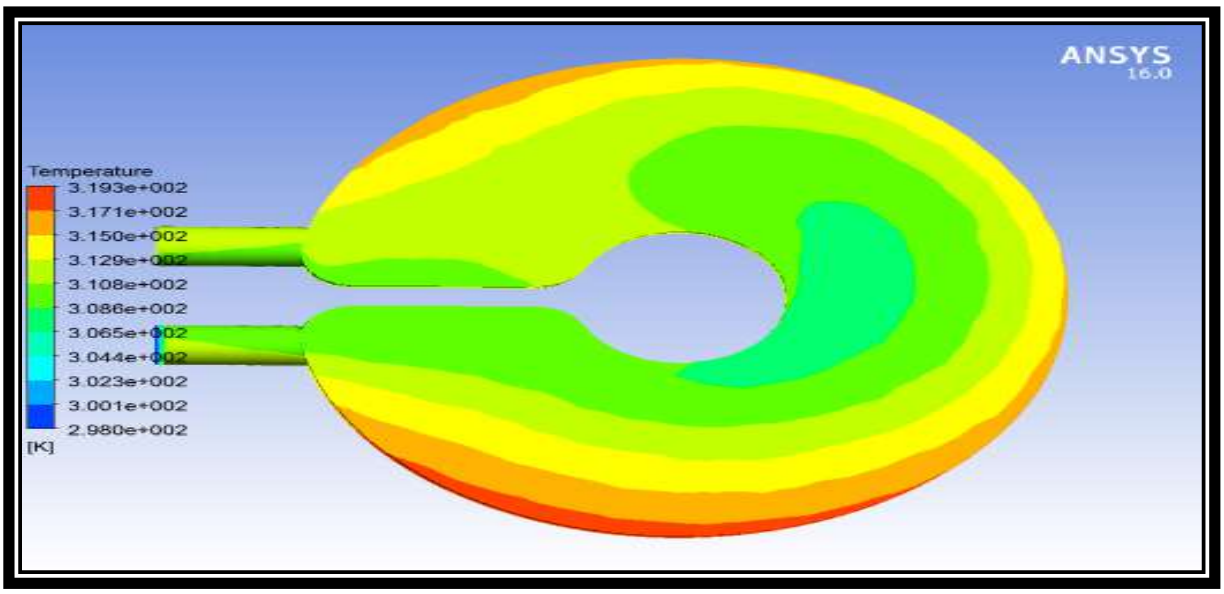


Figure A-1-5 : la variation de température sur le circuit

La courbe représente la variation de température dans cinq (5) point dans l'assiette en fonction de temps

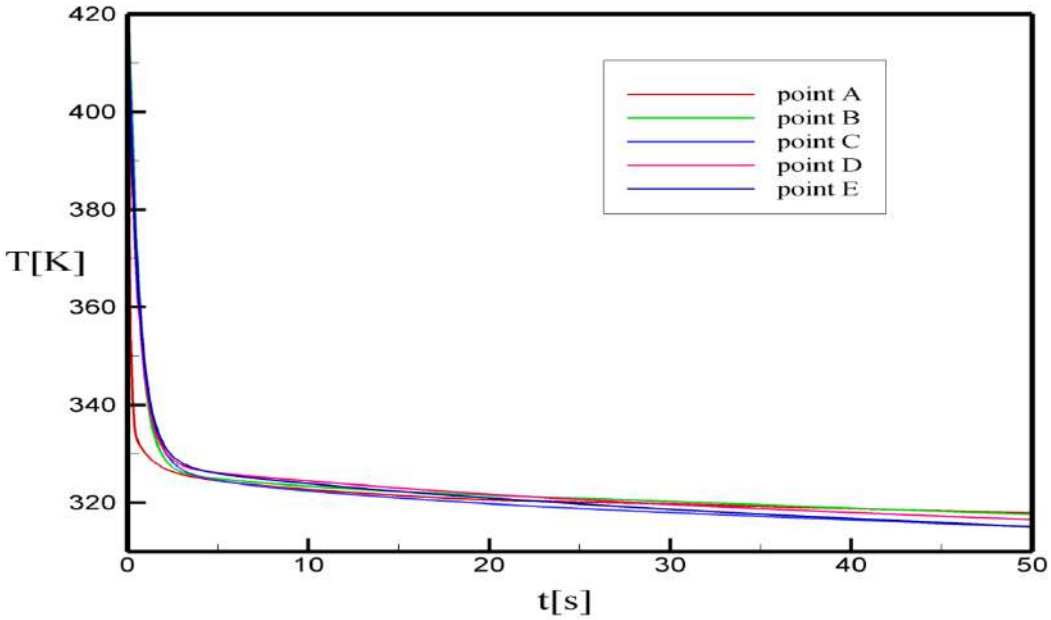


Figure A-1-6 : courbe de variation de température on fonction de temps

Cas 2 (v=1 et T=298)

Dans ce cas, nous changeons les conditions de fluide à l'entrée (T_f=298, V_f=1m/s),Tmin=316K et Tmax=323K.On remarque que la température diminue dans l'extrémité de l'assiette par rapport au cas 1et s'élève dans le centre de l'assiette.

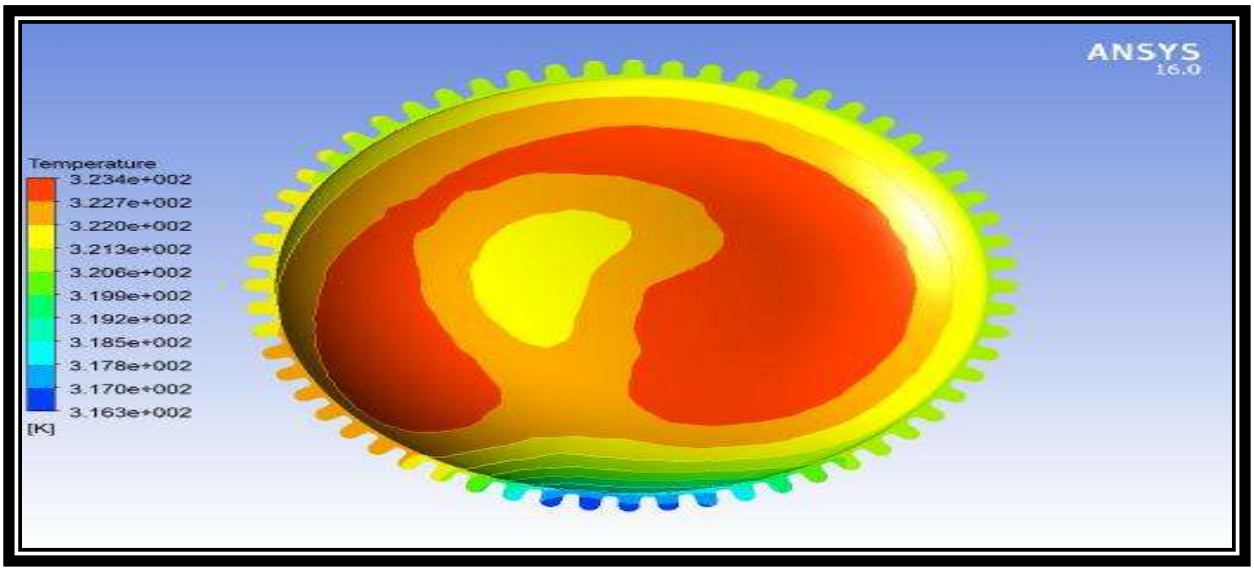


Figure A-2-1 : la variation de température sur le plat

La figureA-2-2représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=323 et Tmin=298)

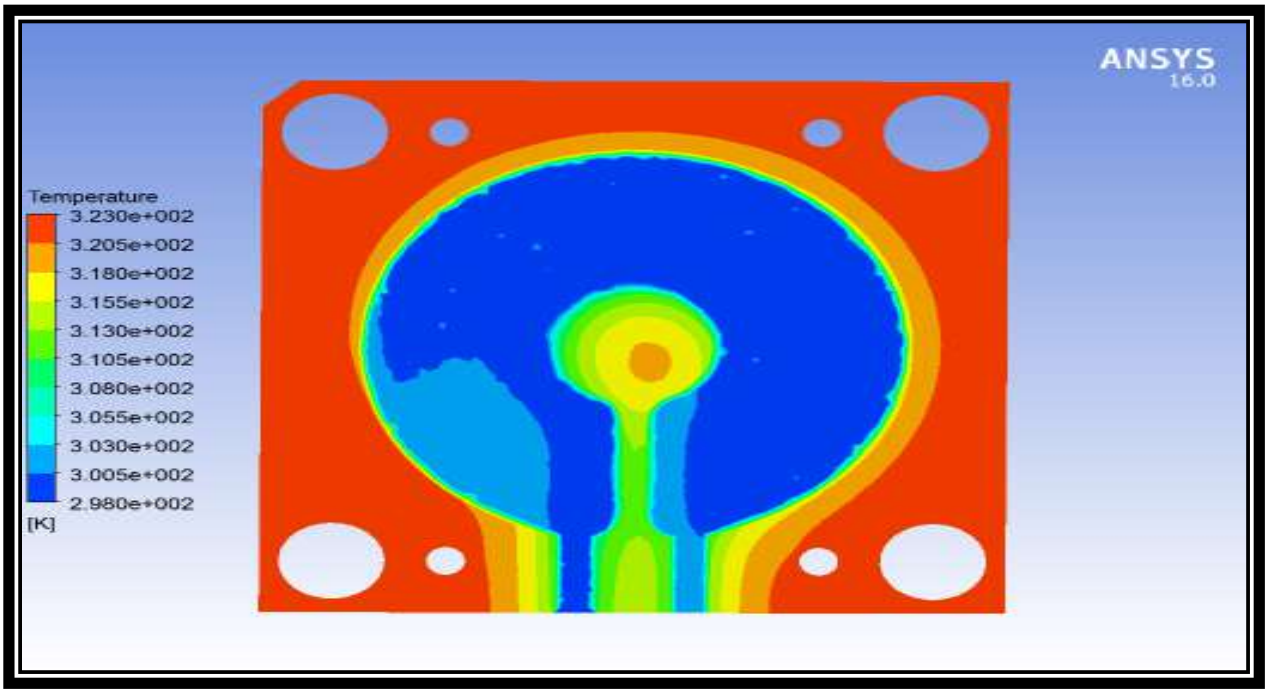


Figure A-2-2 : la variation de température sur le plan 1

La figureA-2-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=323 et Tmin=298)

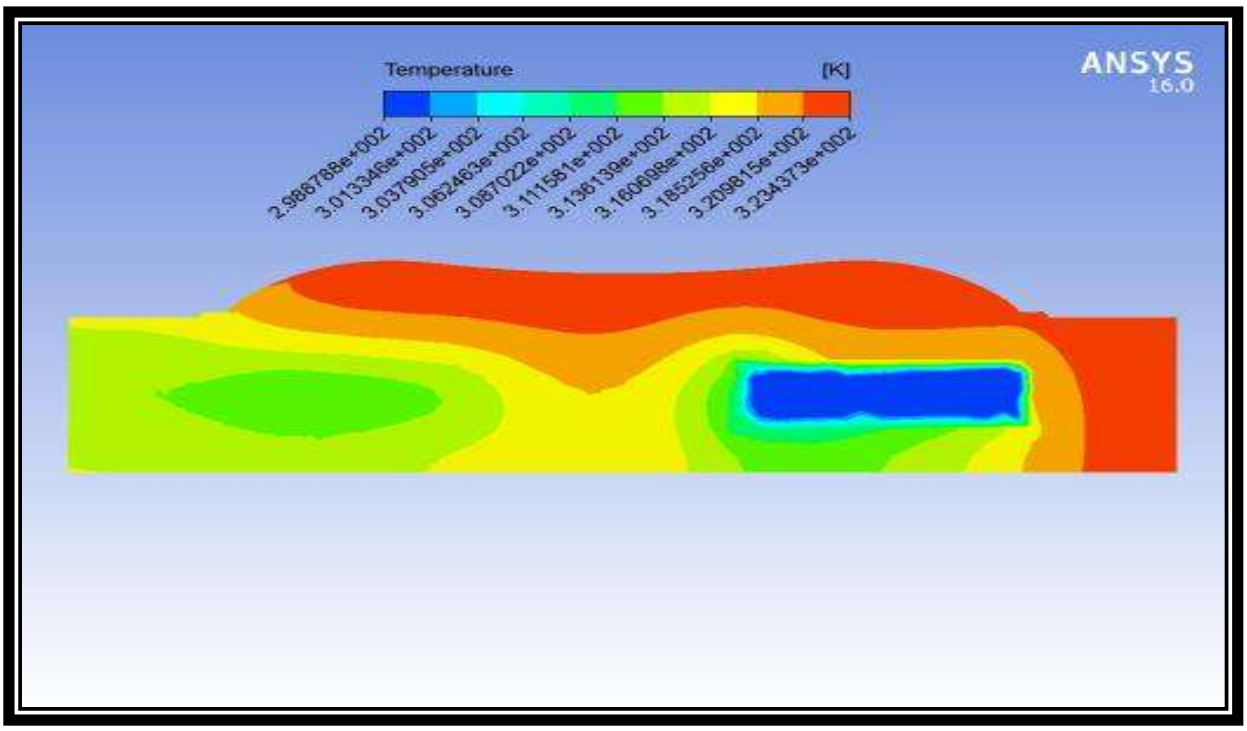


Figure A-2-3 : la variation de température sur le plan 2

La figure**A-2-4** représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=323 et Tmin=298)

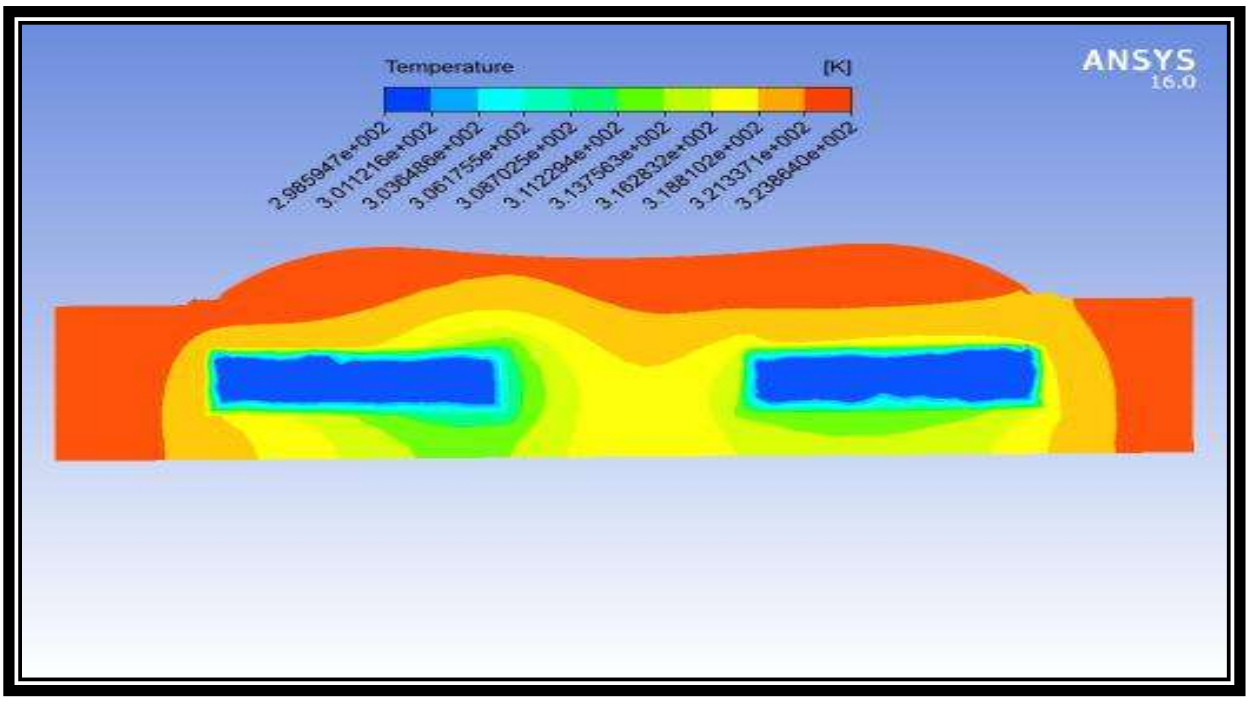


Figure A-2-4 : la variation de température sur le plan 3

La figureA-2-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=321 et Tmin=298)

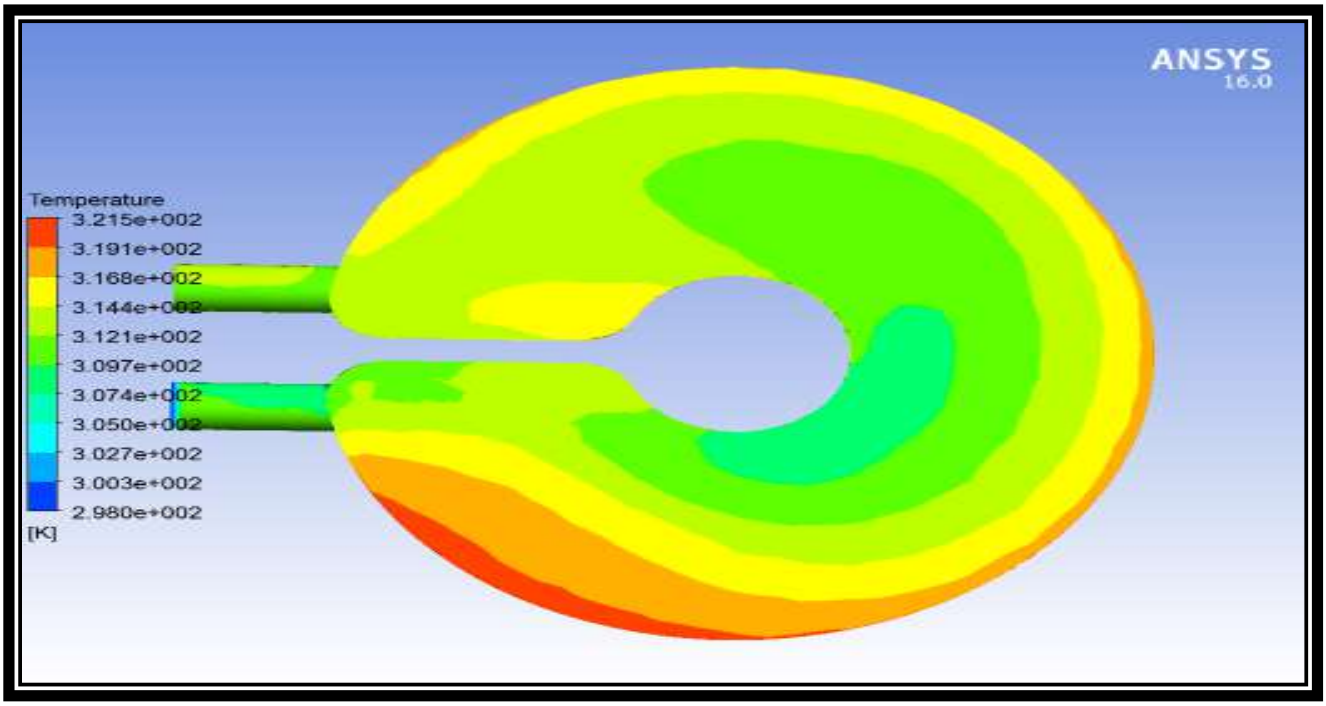


Figure A-2-5 : la variation de température sur le circuit

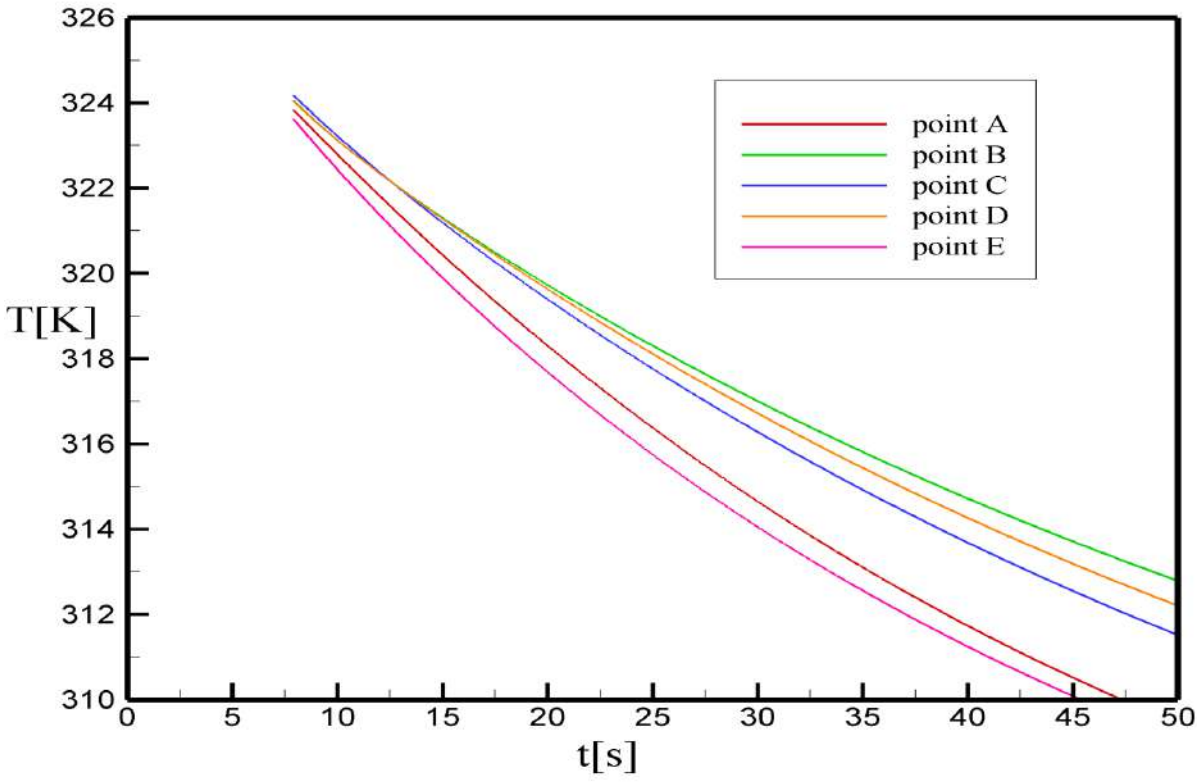


Figure A-2-6 : courbe de variation de température on fonction de temps

Cas3 (v=3 et T=298) :

Dans ce cas, nous avons changé les conditions de fluide à l'entrée (T_f=298, V_f=3m/s),Tmin=311K et Tmax=322K.On remarque la température diminue par rapport le cas précédent.

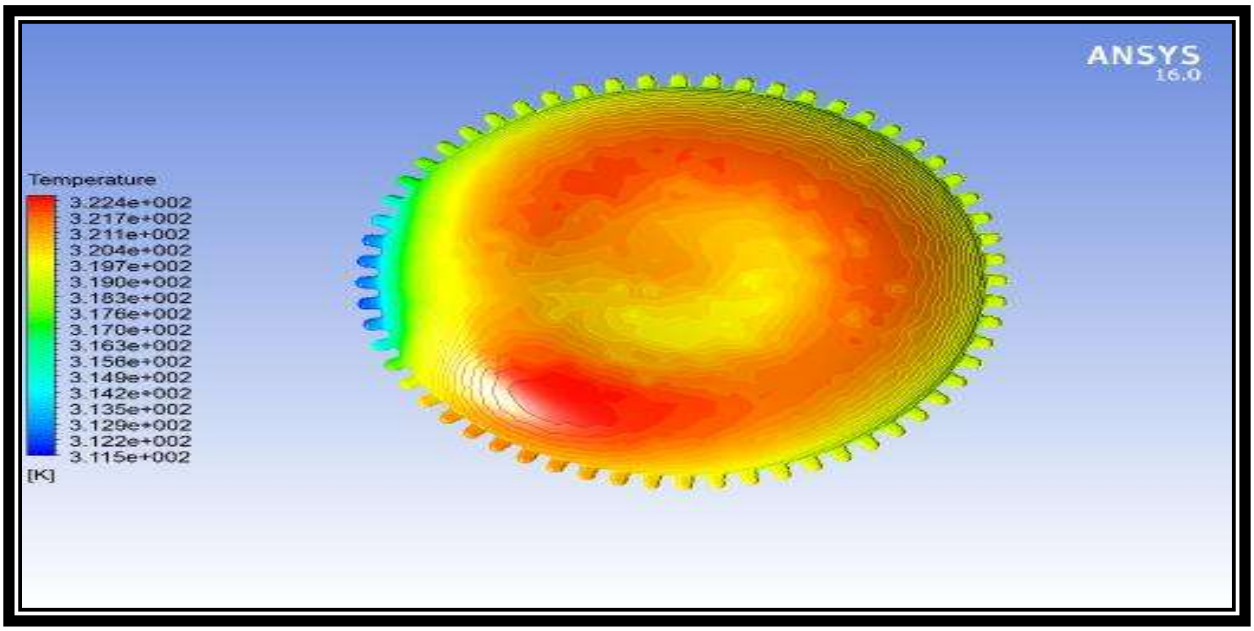


Figure A-3-1 : la variation de température sur le plat

La figureA-3-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=322 et Tmin=297).

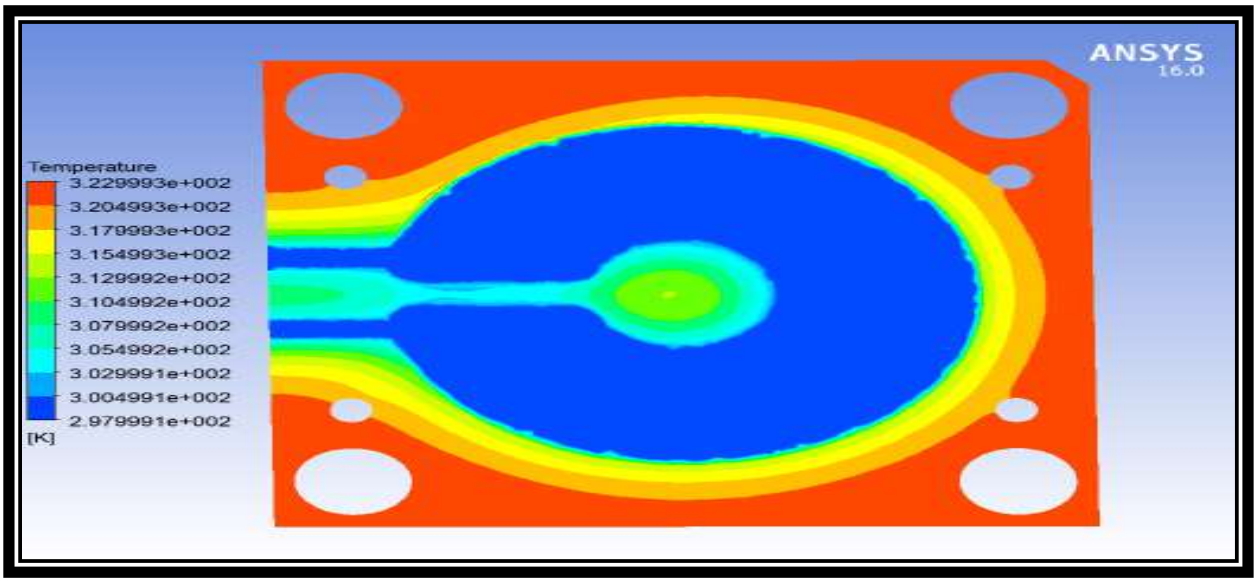


Figure A-3-2 : la variation de température sur le plan 1

La figureA-3-3 représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=322 et Tmin=298).

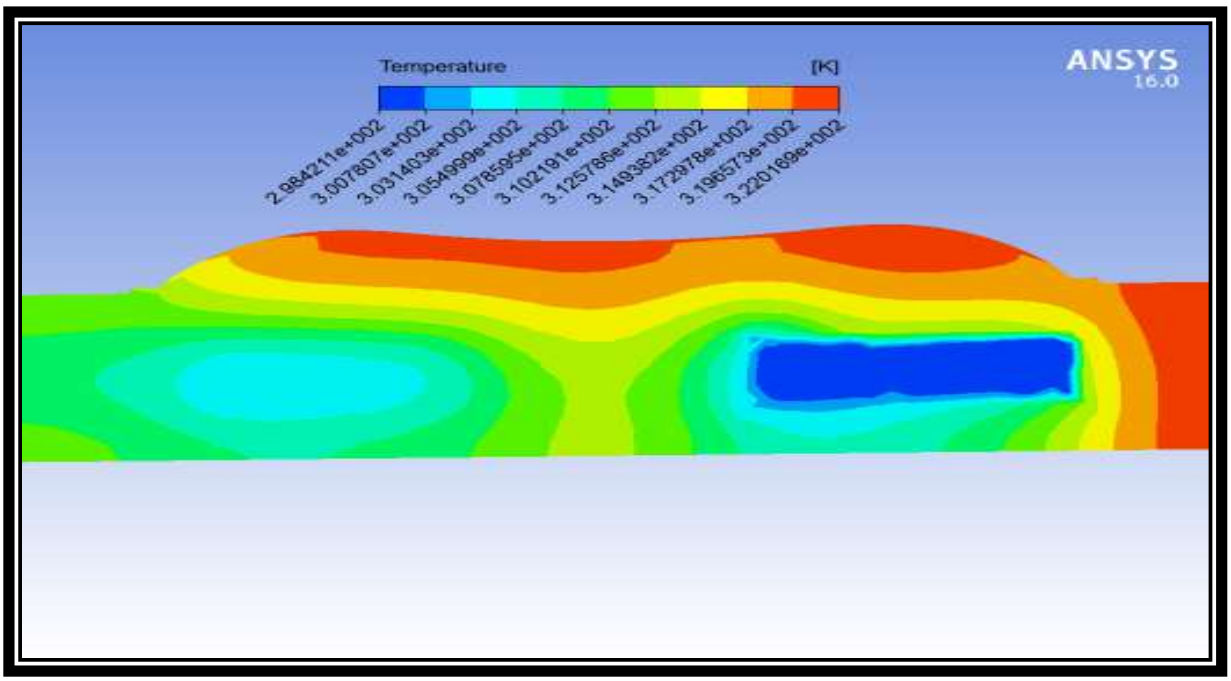


Figure A-3-3 : la variation de température sur le plan 2

La figureA-3-4 représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=322 etTmin=298).

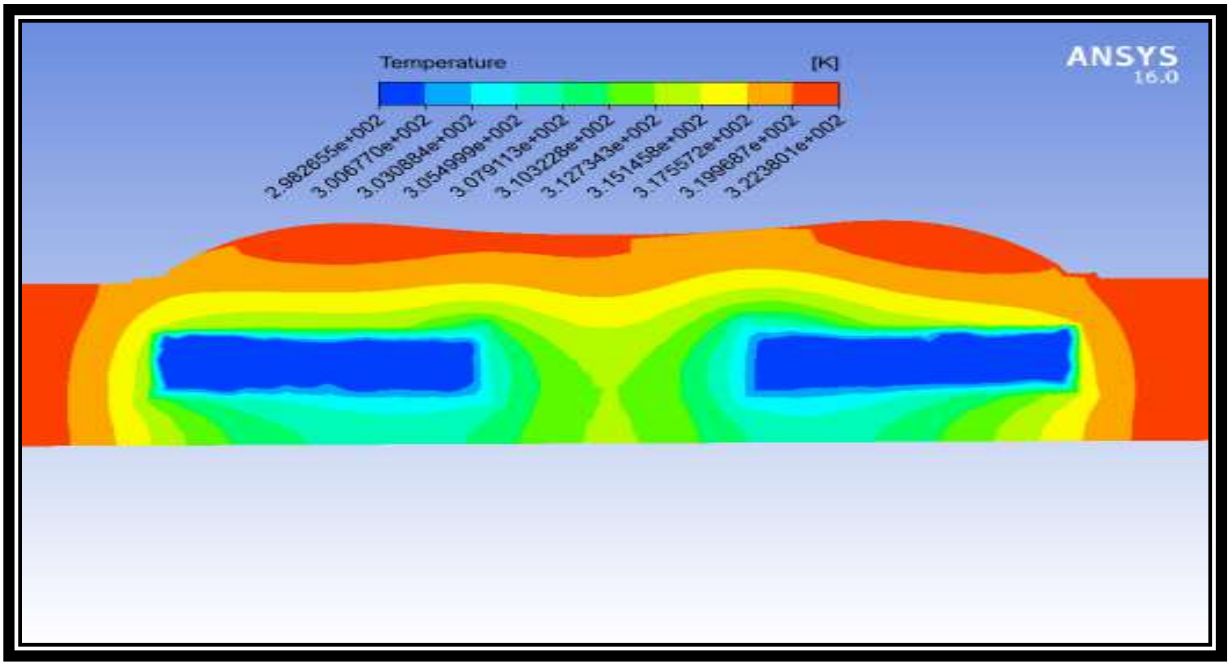


Figure A-3-4 : la variation de température sur le plan 3

La figureA-3-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=319 et Tmin=298).

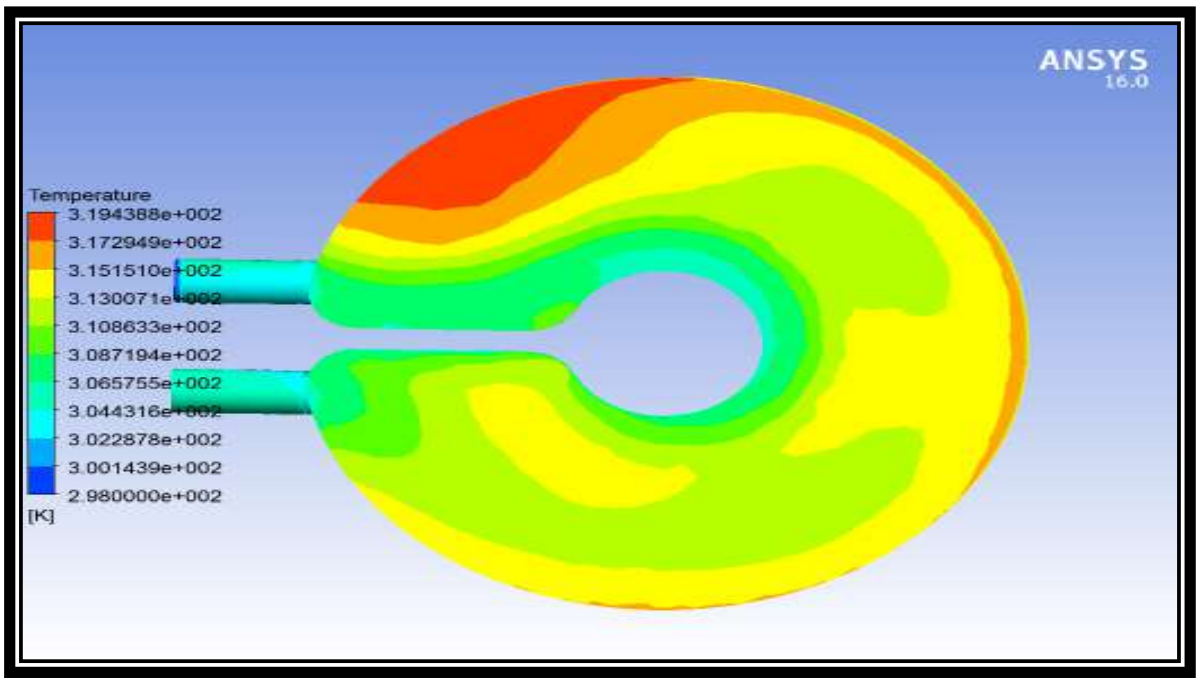


Figure A-3-5:la variation de température sur le circuit

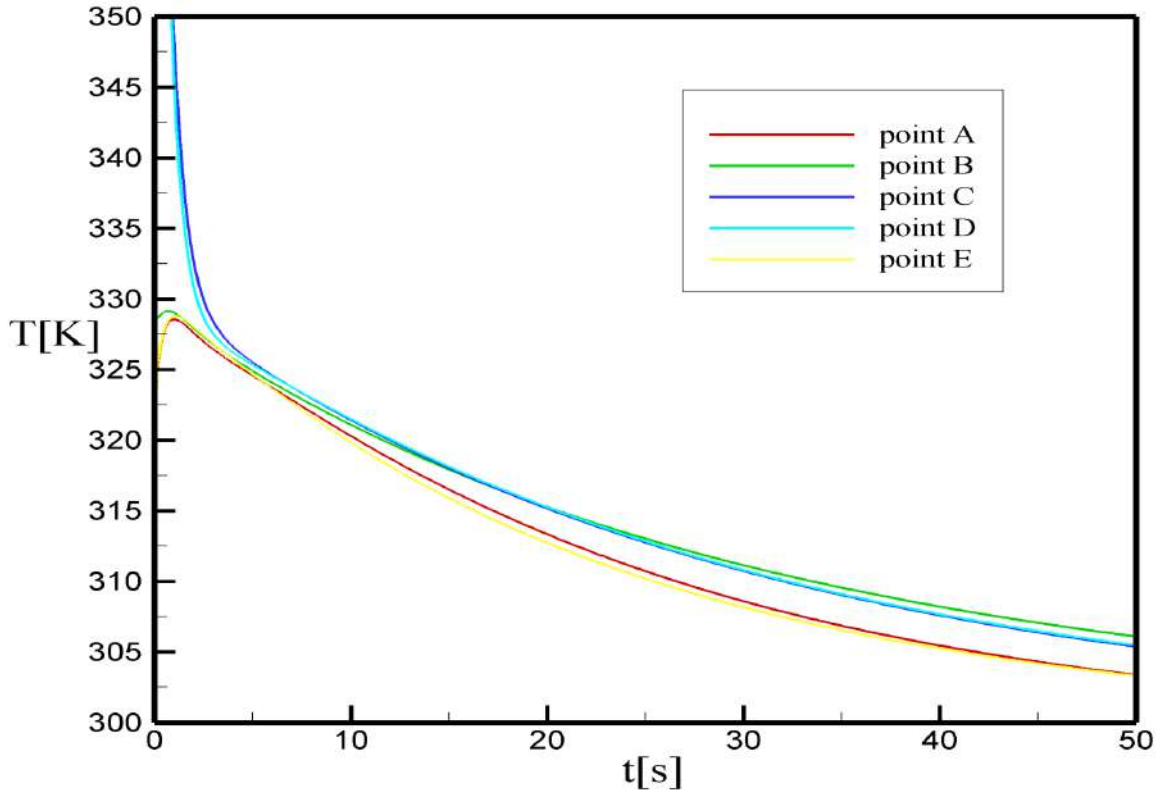


Figure A-3-6 : variation de la température en fonction du temps

Cas 4 (v=0.35 et T=283) :

Dans ce cas, nous avons changé la température du fluide à l'entrée (T_f=283), Tmin=312K et Tmax=319K , on remarque que la température est élevée dans l'extrémité de l'assiette.

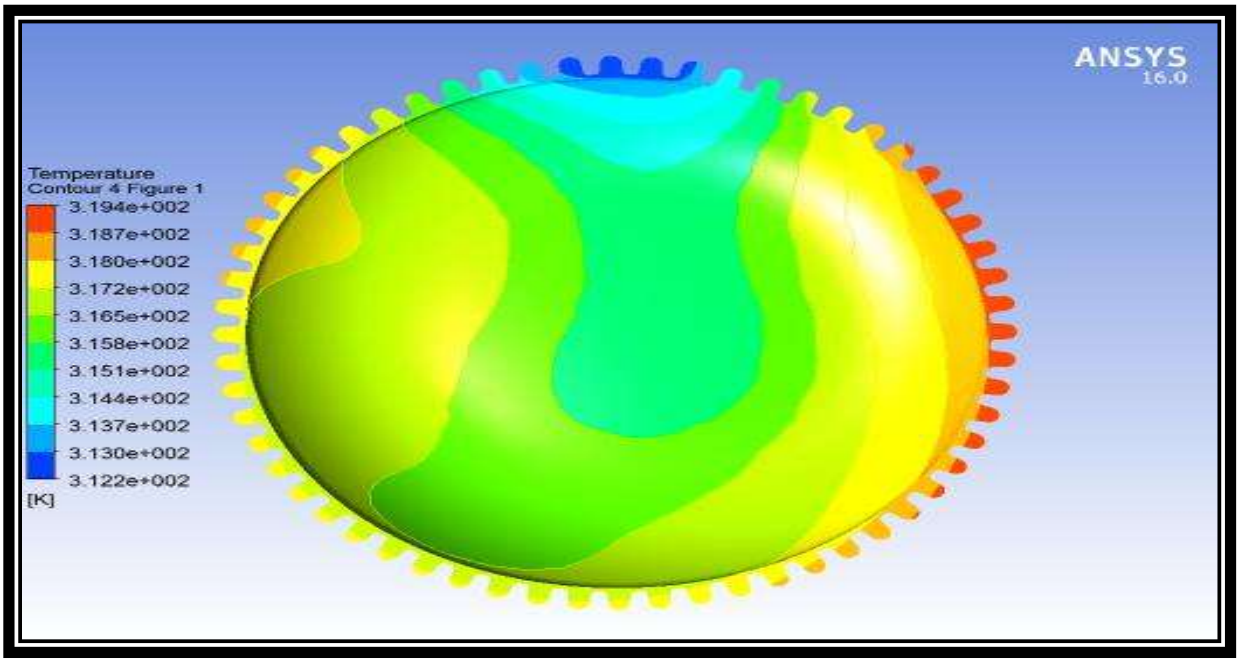


Figure A-4-1 : la variation de température sur le plat

La figureA-4-2 représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=322 et Tmin=297)

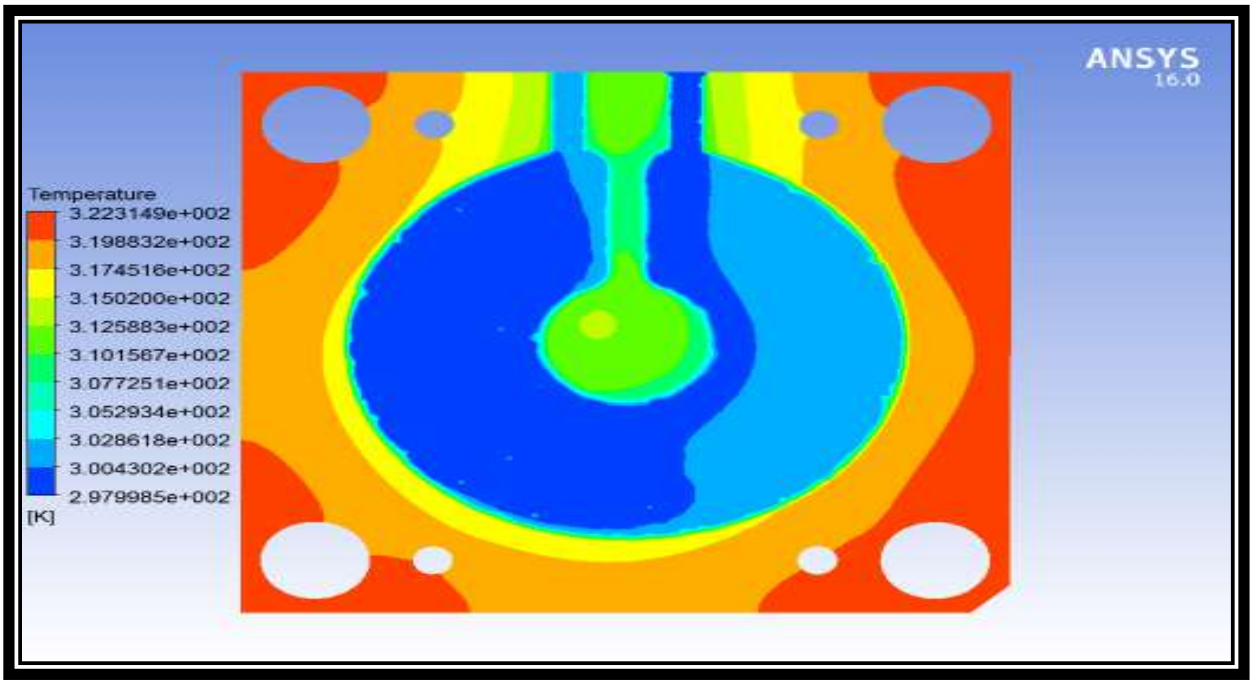


Figure A-4-2:la variation de température sur le plan 1

La figureA-4-3 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=319 et Tmin=298)

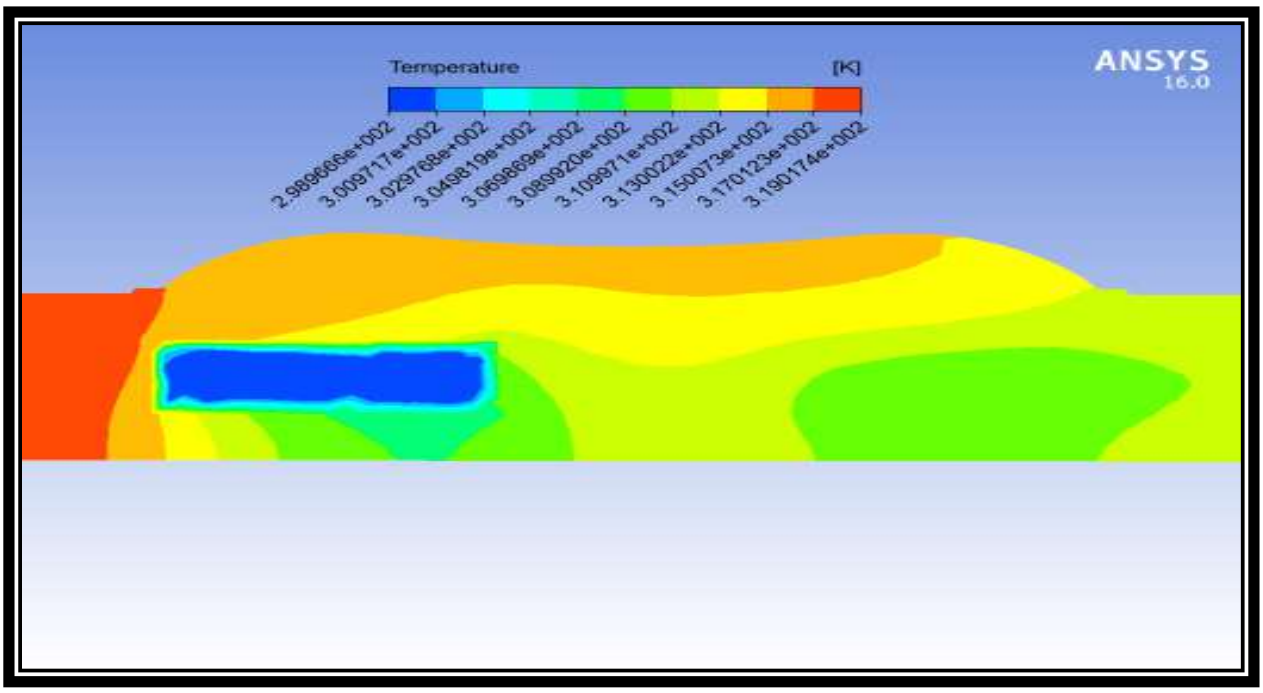


Figure A-4-3:la variation de température sur le plan 2

La figure A-4-4 représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=320 et Tmin=298)

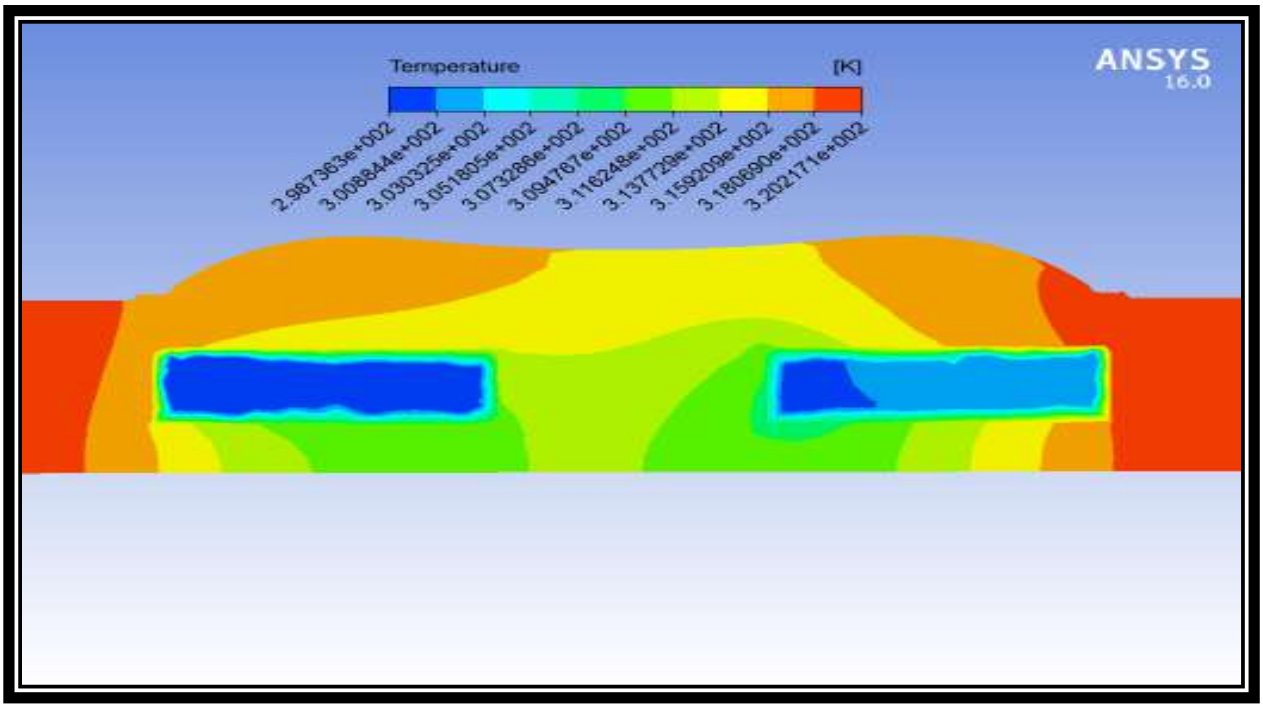


Figure A-4-4: variation de la température sur le plan 3

La figure A-4-5représente la variation de la température dans le circuit du fluide (Tmax=319 et Tmin=298).

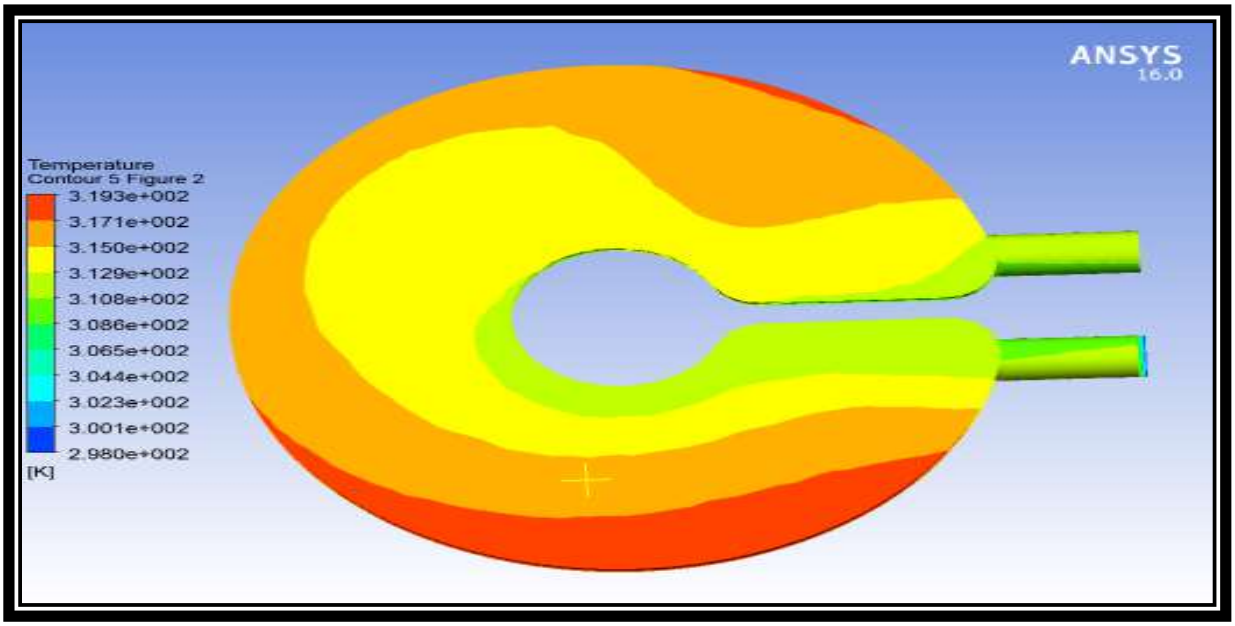


Figure A-4-5: variation de la température sur le circuit

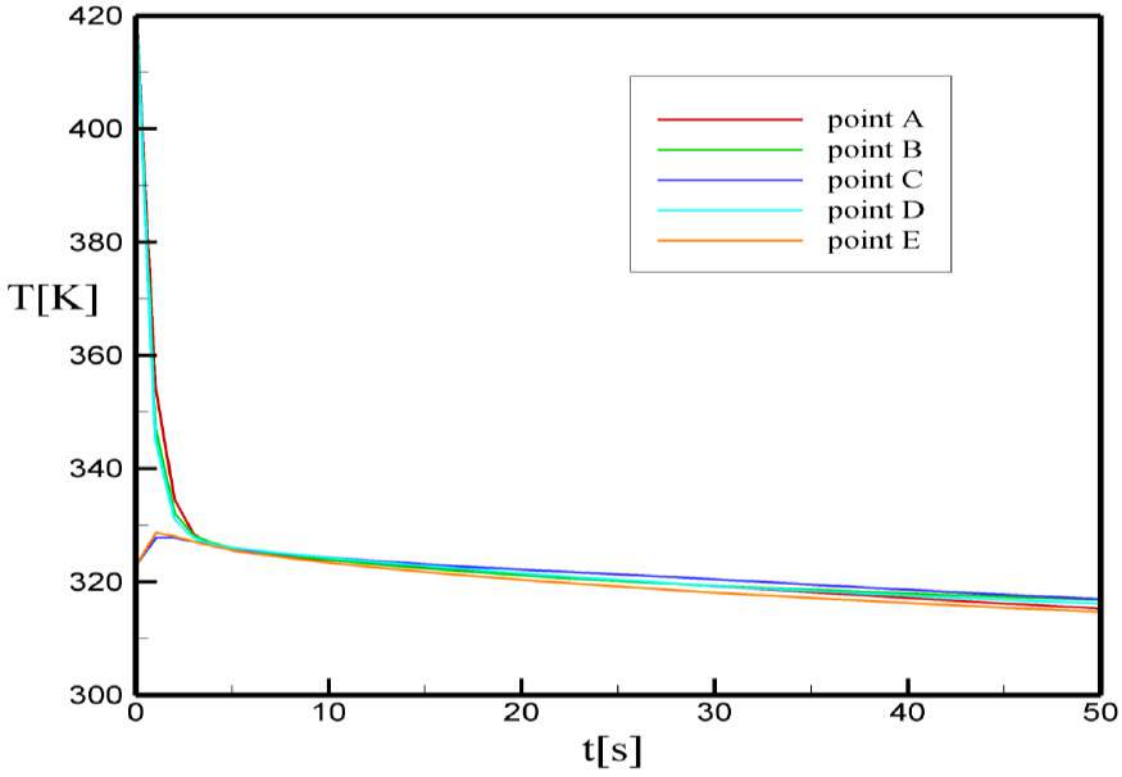


Figure A-4-6:courbe de variation de la température en fonction du temps

Cas 5 (v=0.35 et T=275) :

Dans ce cas, nous avons changé la température du fluide à l'entrée (T_f=275), Tmin=319K et Tmax=324K. On remarque que la température diminue dans l'extrémité de l'assiette et s'élève dans le centre par rapport au cas précédent.

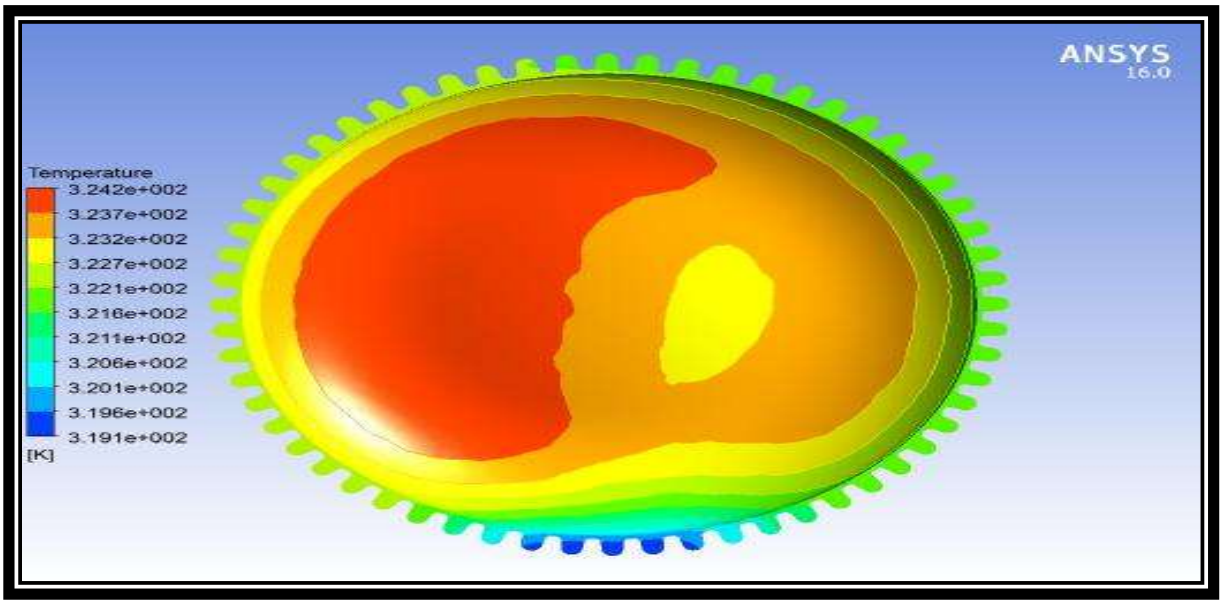


Figure A-5-1:la variation de température sur le plat

La figureA-5-2 représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=323 et Tmin=295)

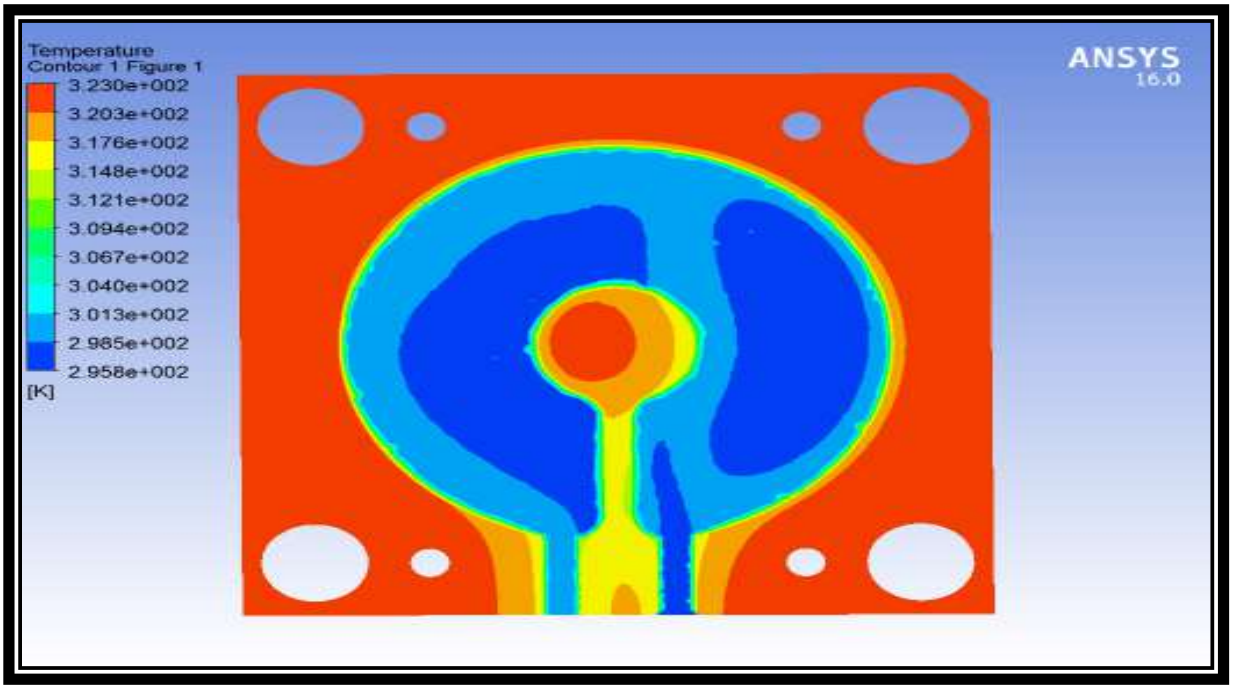


Figure A-5-2:la variation de température sur le plan 1

La figureA-5-3 représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=324 et Tmin=297)

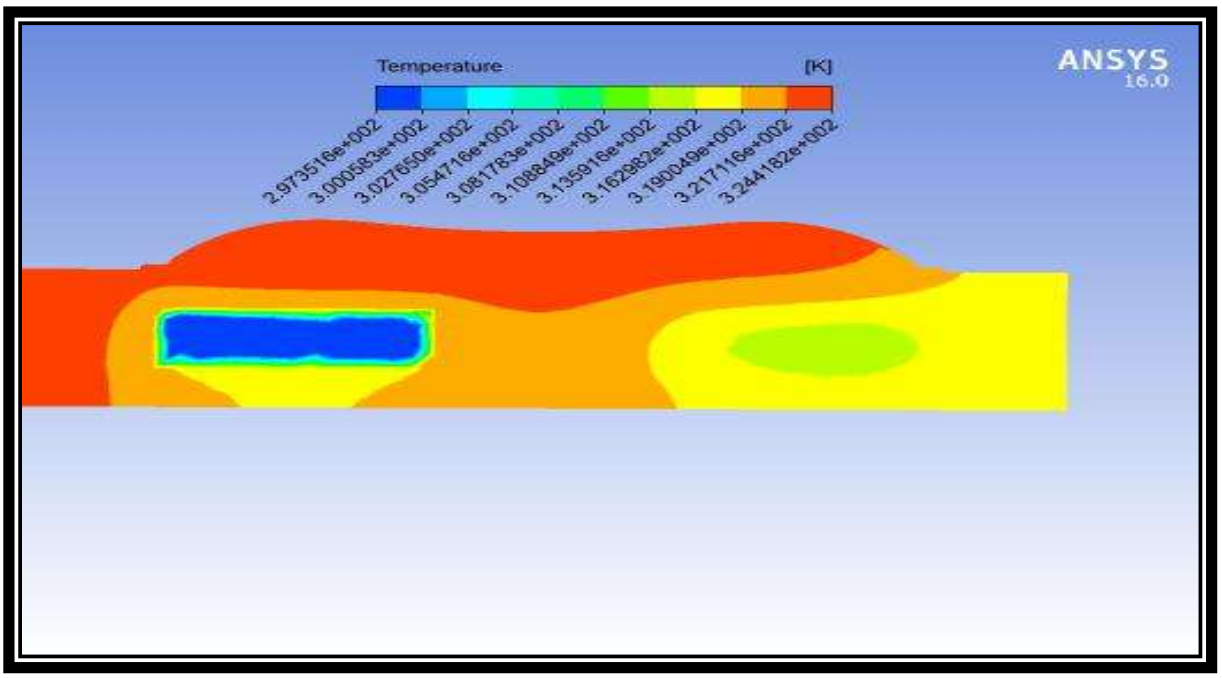


Figure A-5-3 : la variation de température sur le plan 2

La figureA-5-4représente la variation de température dans le plans 3(Tmax=324 et Tmin=295)

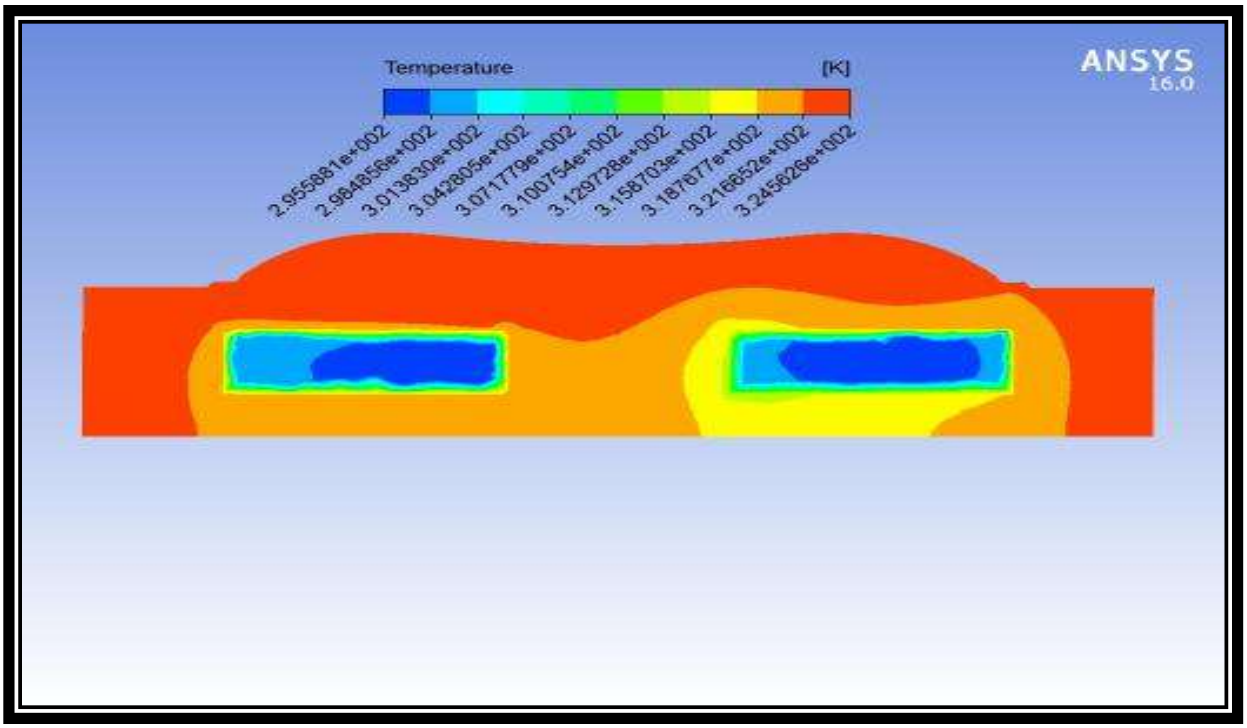


Figure A-5-4 : la variation de température sur le plan 3

La figure A-5-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=321 et Tmin=298)

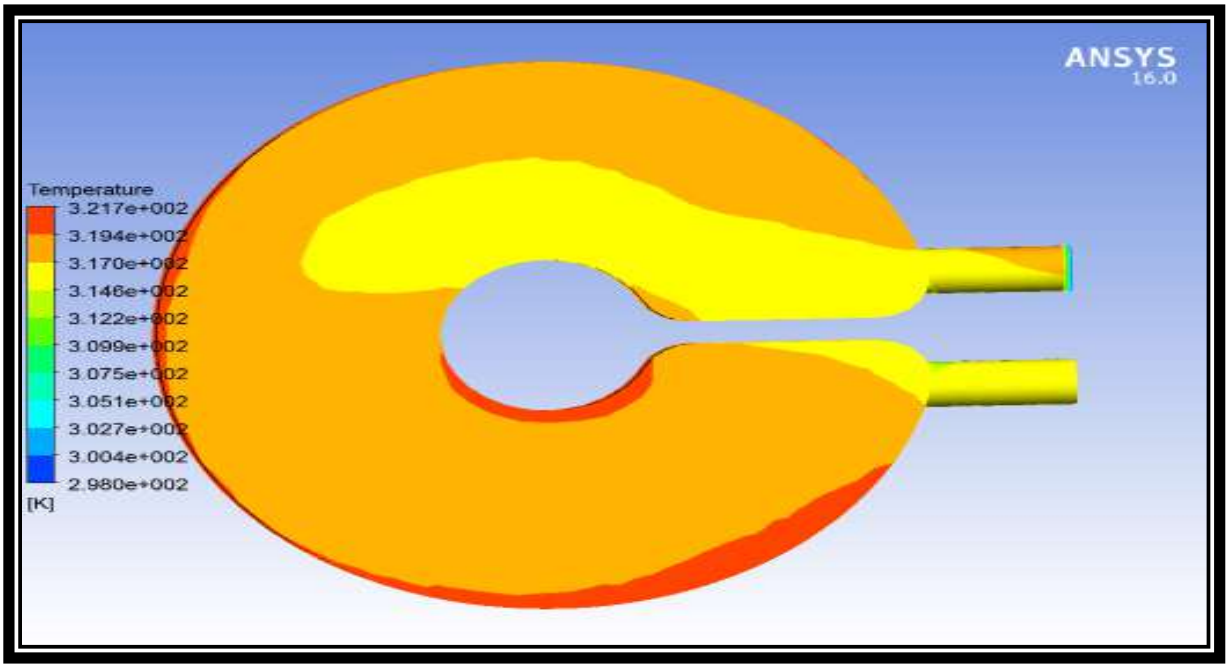


Figure A-5-5 : la variation de température sur le circuit

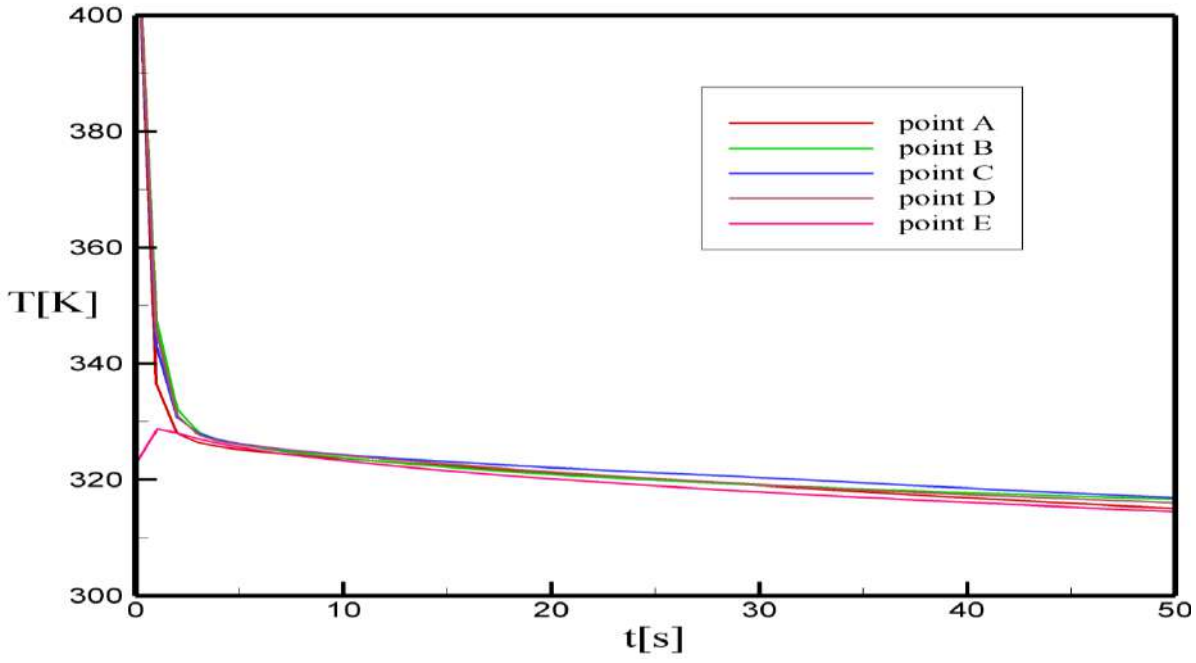


Figure A-5-6 : courbe de variation de température en fonction de temps

B-Circuit fermé :

Cas 1 (v=0.35 et T=298) :

La figureB-1-1 représente la variation de température dans l'assiette avec le température de polymère=423k et les conditions de fluide à l'entrée sont (T_f=298K,V_f=0.35m/s).On a eu Tmin=311K. On remarque que la température est élevée dans l'extrémité de l'assiette Tmax=317K

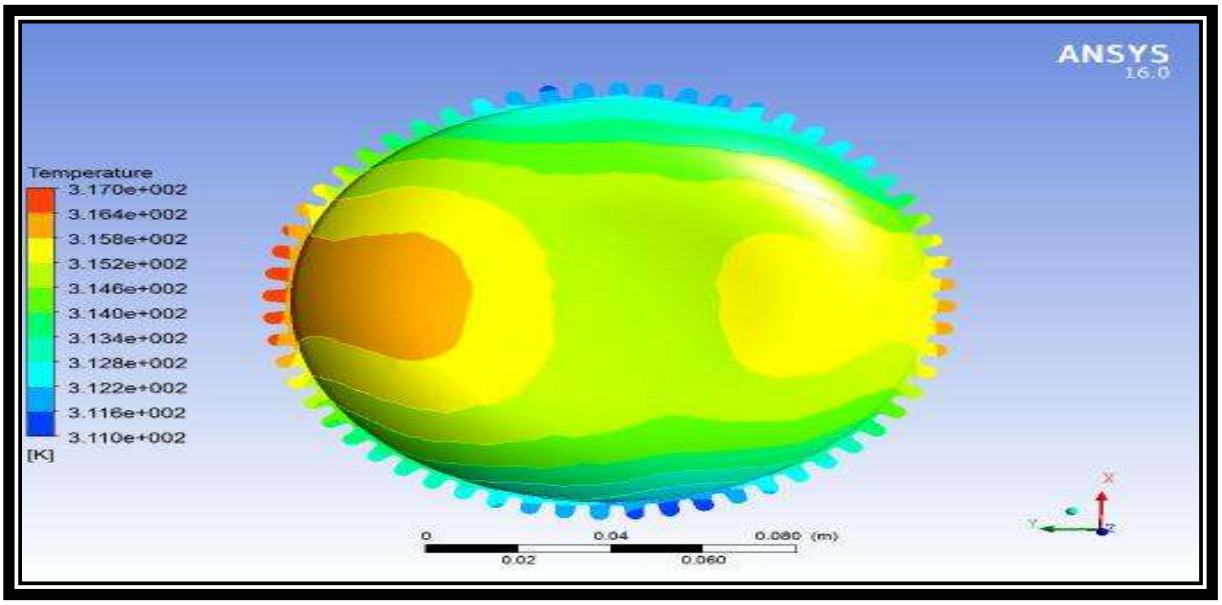


Figure B-1-1:la variation de température sur le plat

La figure B-1-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=319 et Tmin=298)

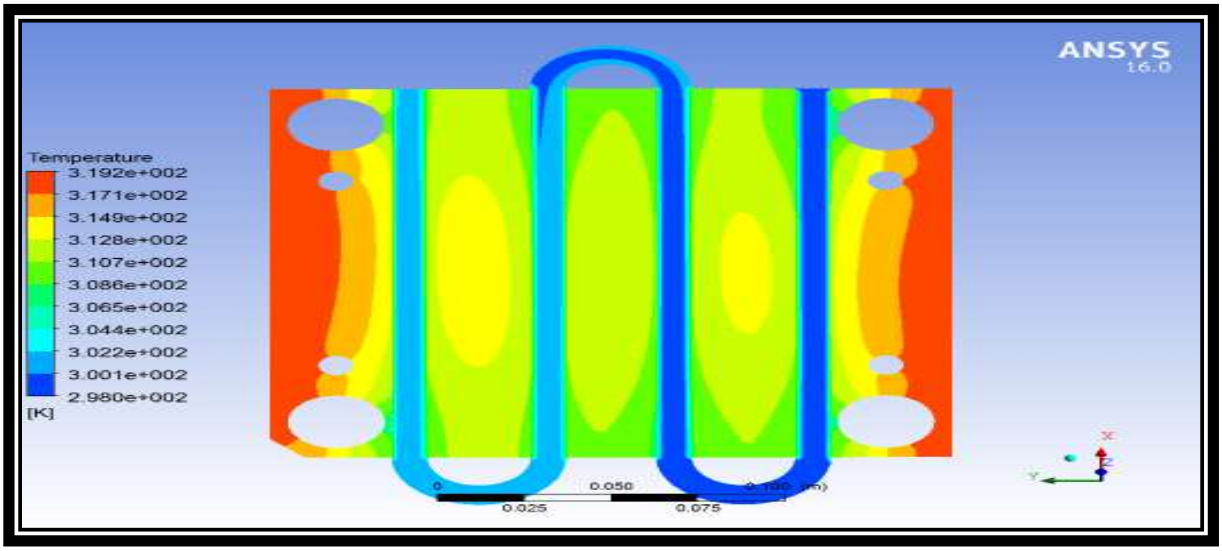


Figure B-1-2:la variation de température sur le plan 1

La figure B-1-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=315 et Tmin=299)

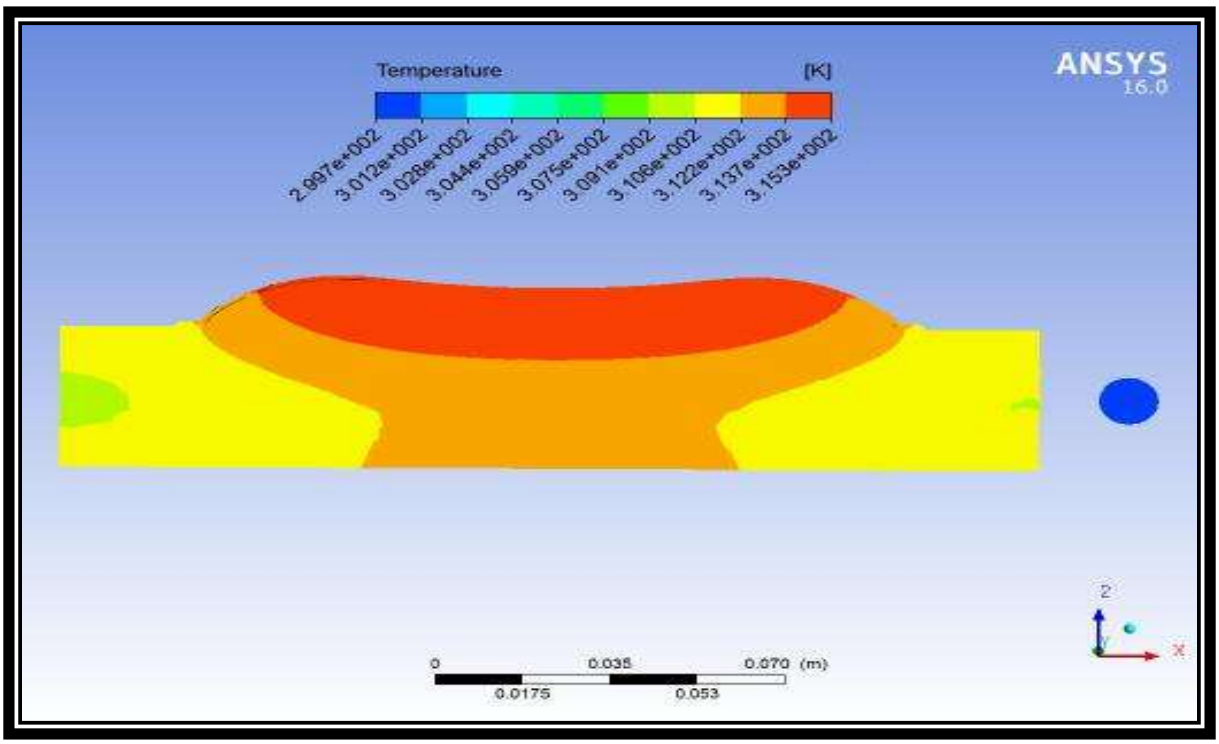


Figure B-1-3 : la variation de température sur le plan 2

La figureB-1-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=318 et Tmin=298).

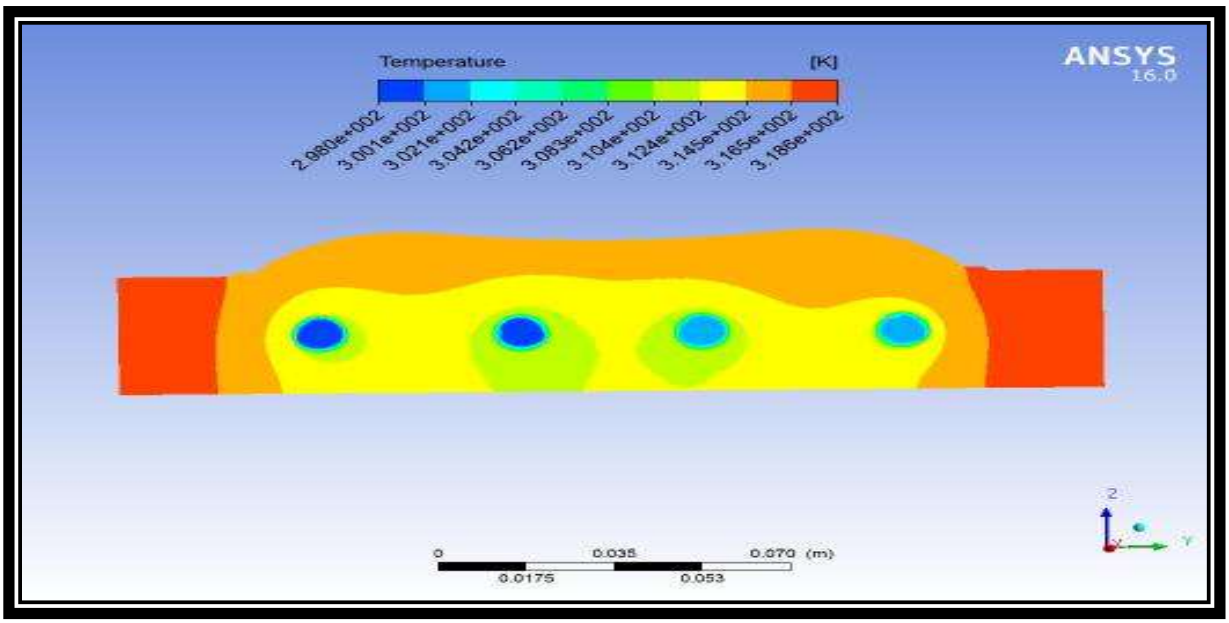


Figure B-1-4 : la variation de température sur le plan 3

La figureB-1-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=313 et Tmin=298)

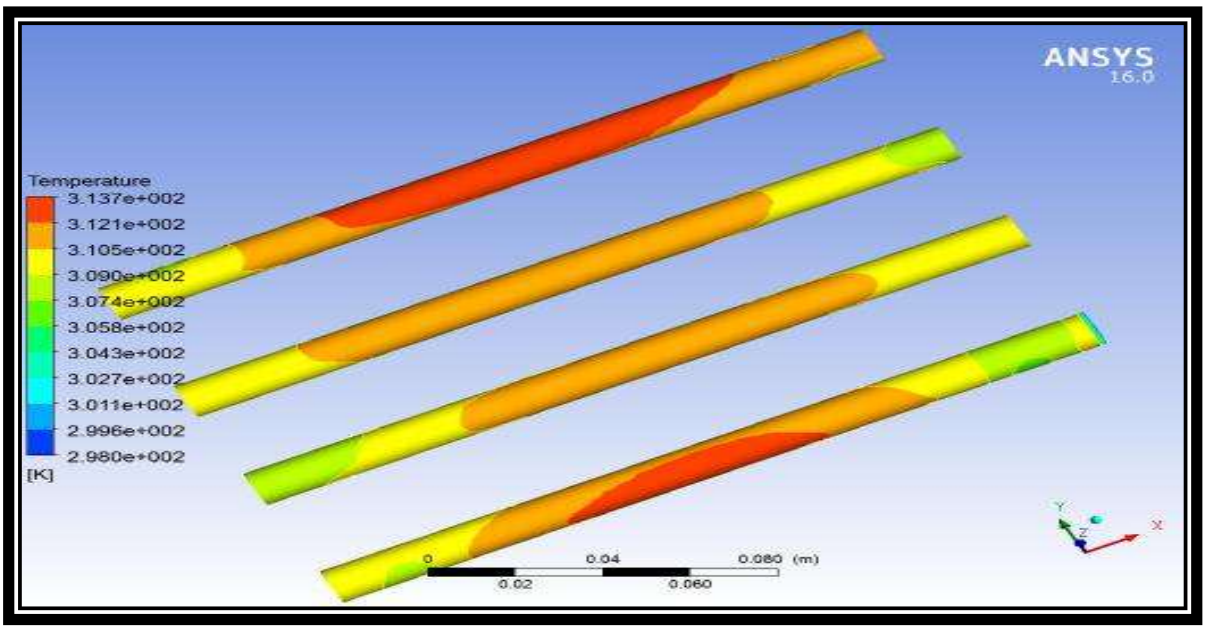


Figure B-1-5:la variation de température sur le circuit

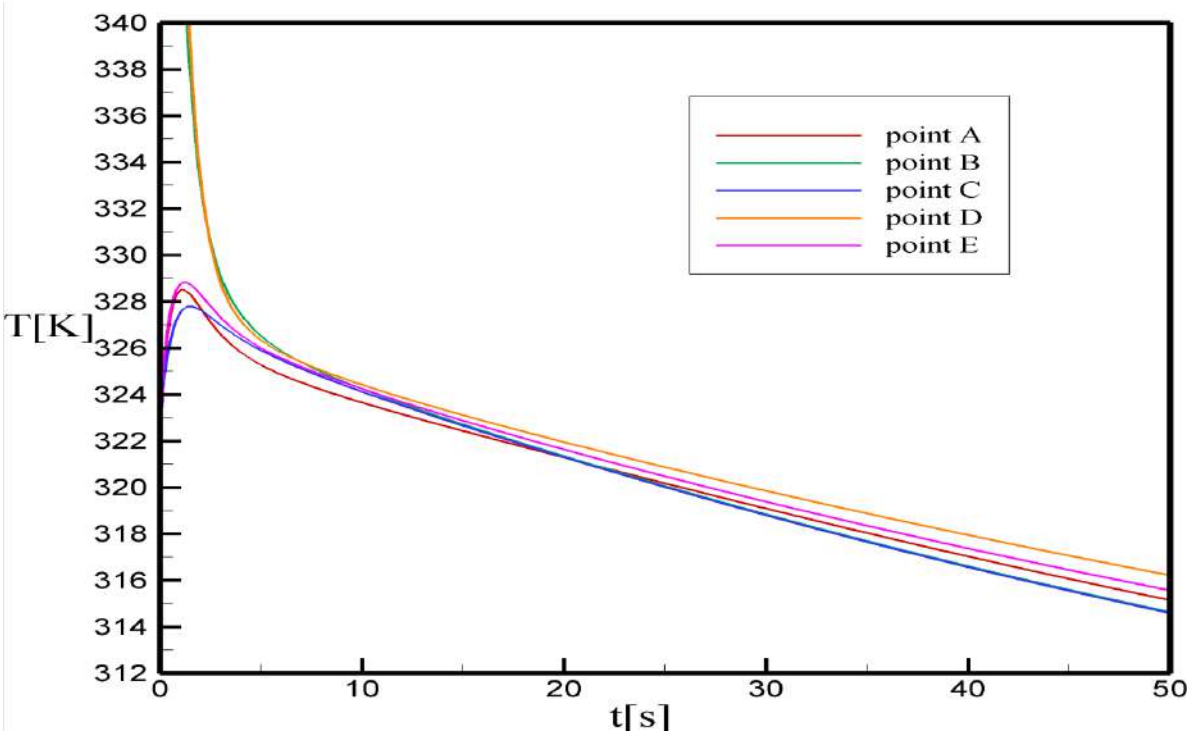


Figure B-1-6:courbe de variation de température en fonction de temps

Cas 2 (v=1 et T=298) :

Dans ce cas, nous avons changé les conditions de fluide à l'entrée (T_f=298, V_f=1m/s),Tmin=304K et Tmax=311K.On remarque que la température totale diminue par rapport au cas1 mais elle reste élevée dans l'extrémité de l'assiette par rapport le centre.

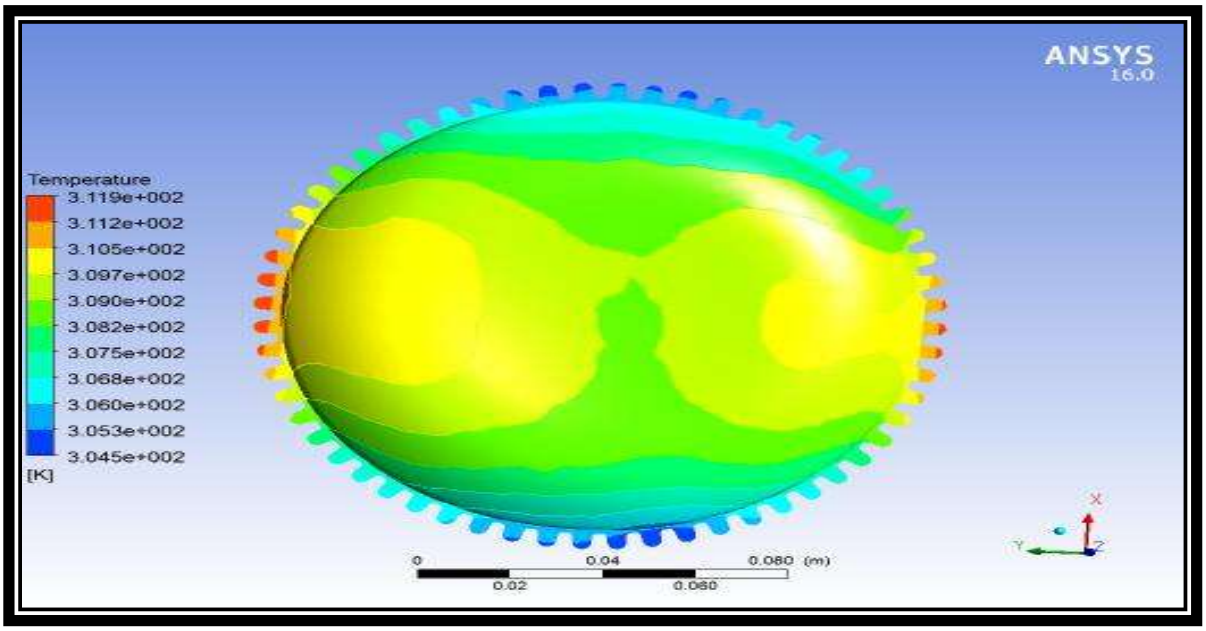


Figure B-2-1:la variation de température sur le plat

La figure B-2-2 représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=316 et Tmin=298)

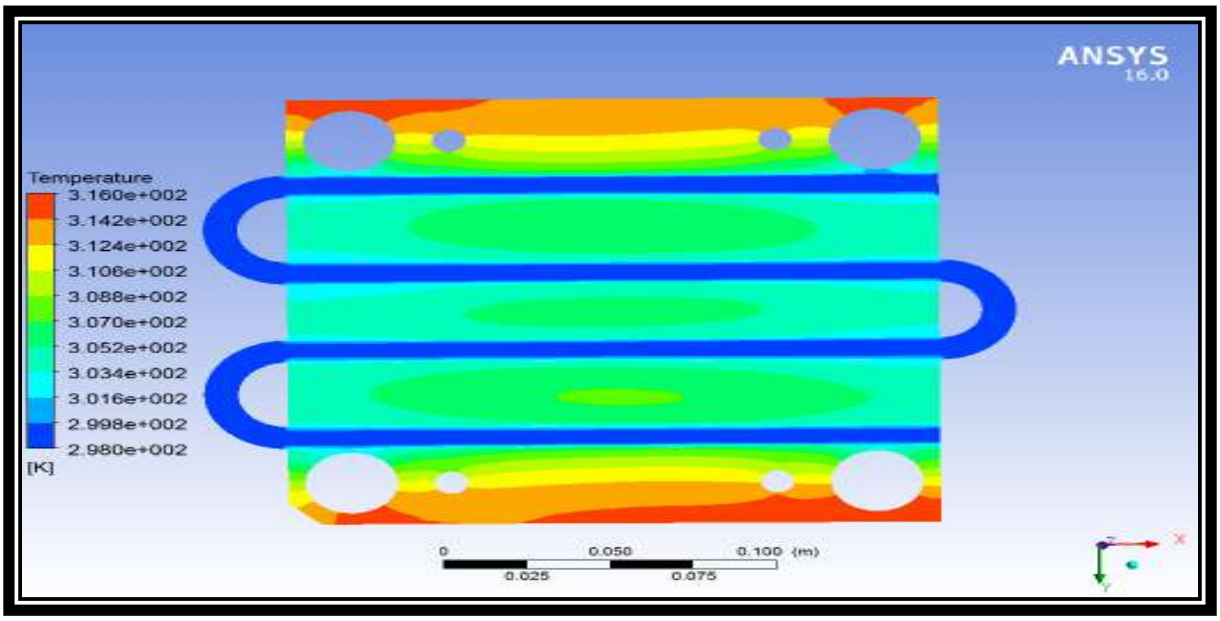


Figure B-2-2:la variation de température sur le plan 1

La figure B-2-3 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=309 et Tmin=298)

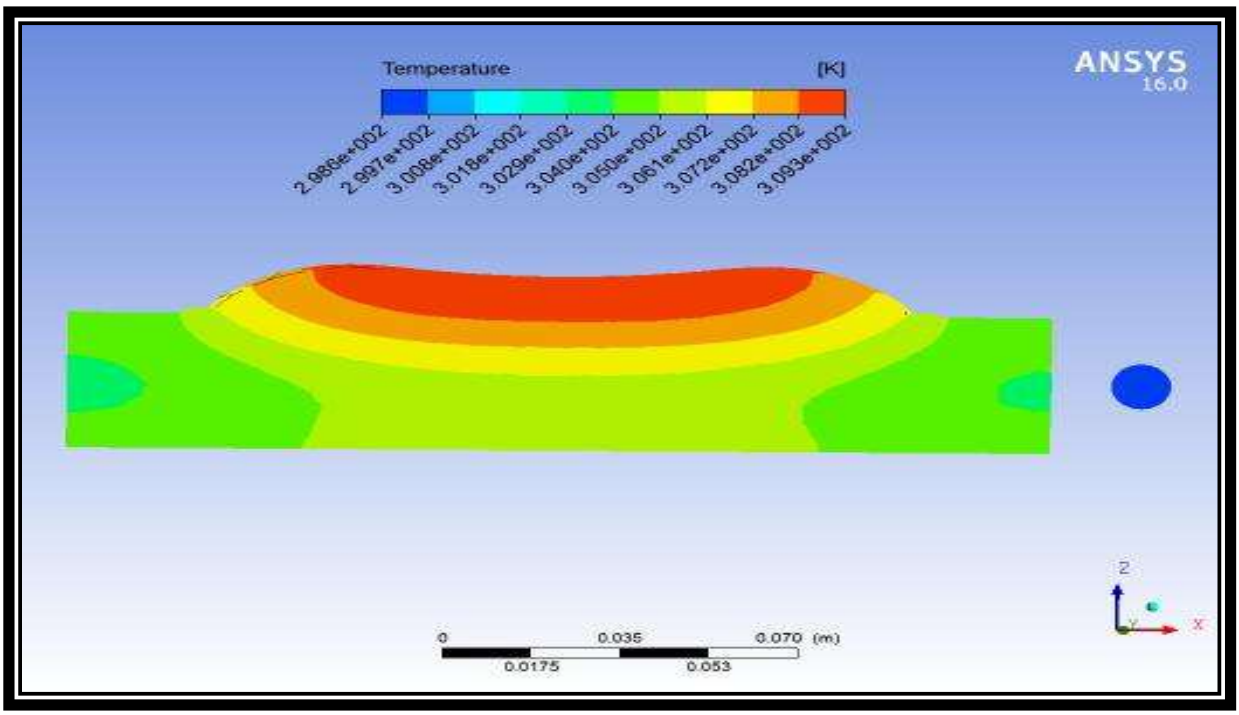


Figure B-2-3:la variation de température sur le plan

La figure B-2-4 représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=314 et Tmin=298)

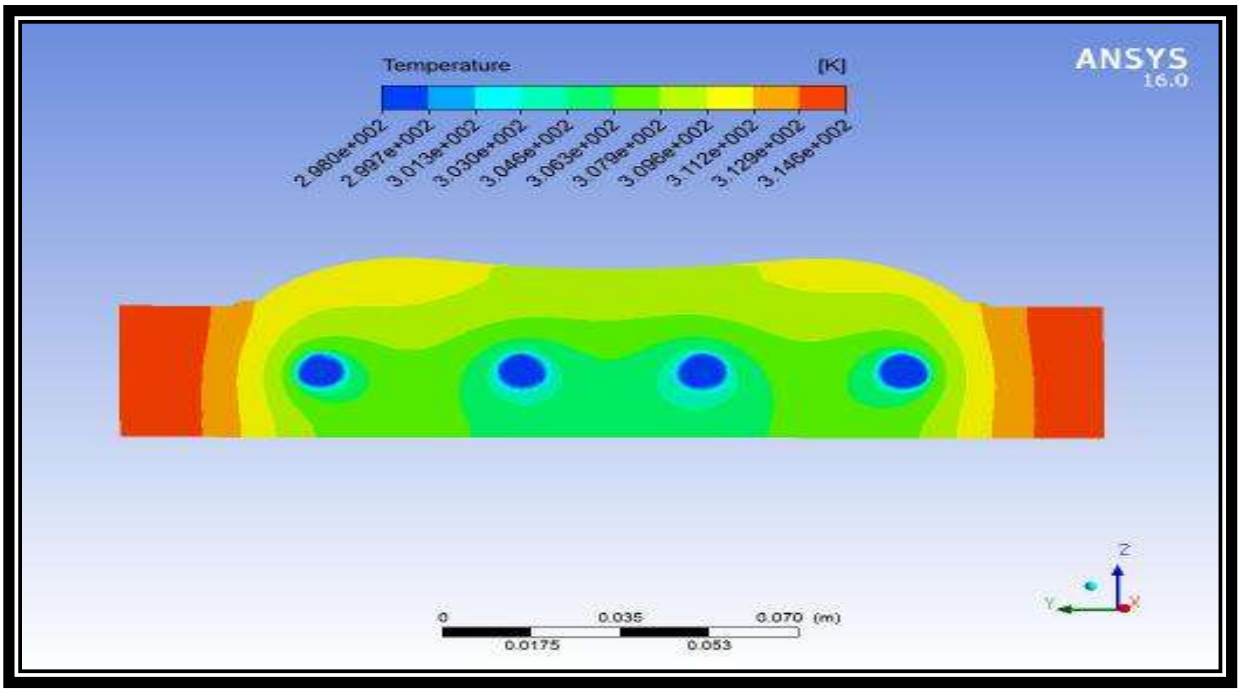


Figure B-2-4:la variation de température sur le plan 3

La figure B-2-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=306 et Tmin=298)

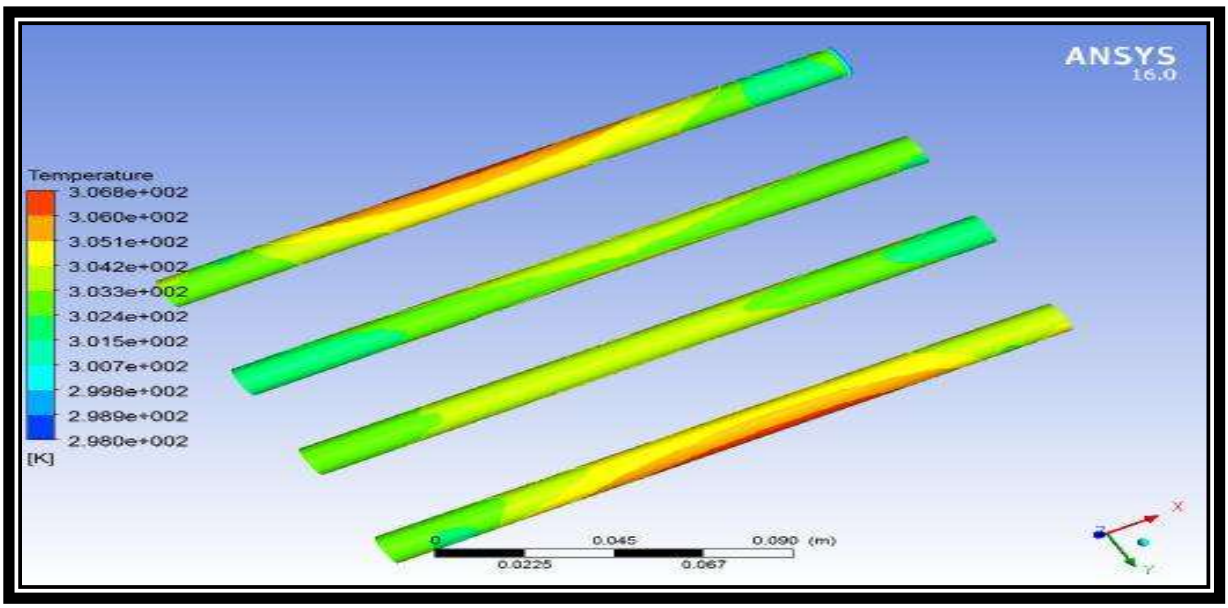


Figure B-2-5:la variation de température sur le circuit

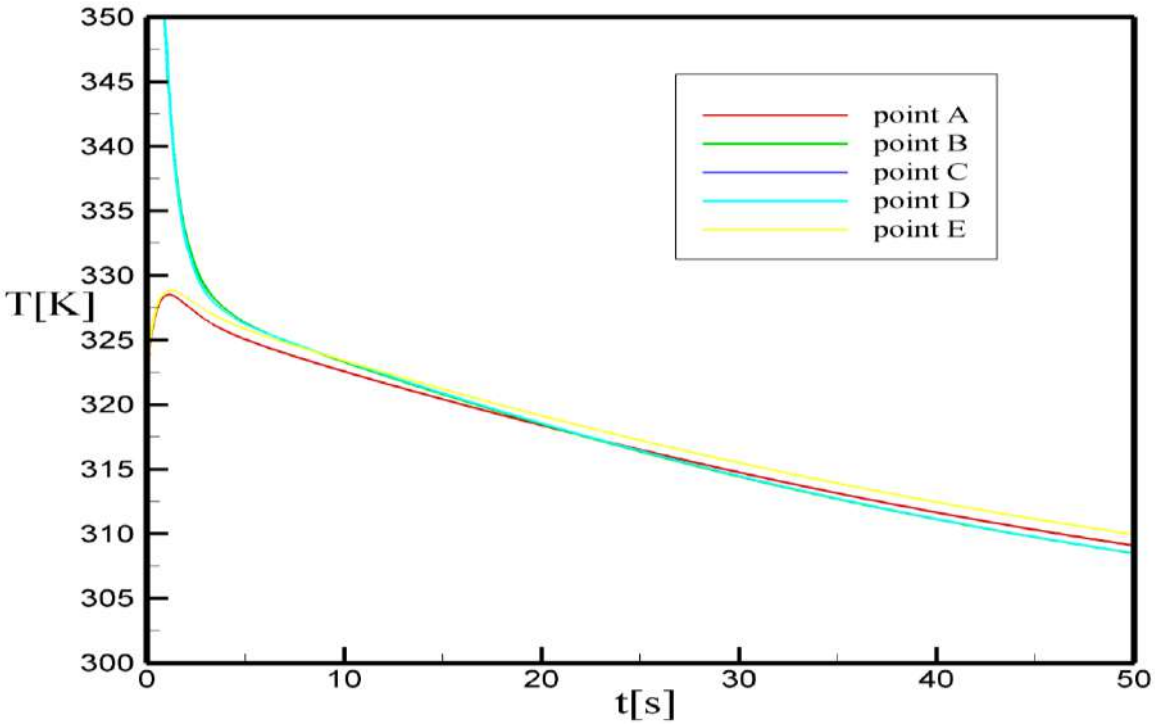


Figure B-2-6:courbe de variation de température en fonction du temps

Cas 3 (v=3 et T=298) :

Dans ce cas, nous avons changé les conditions de fluide à l'entrée (T_f=298, V_f=3m/s),Tmin=300K et Tmax=307K.on remarque que la température totale diminue encore par rapport le cas 2.

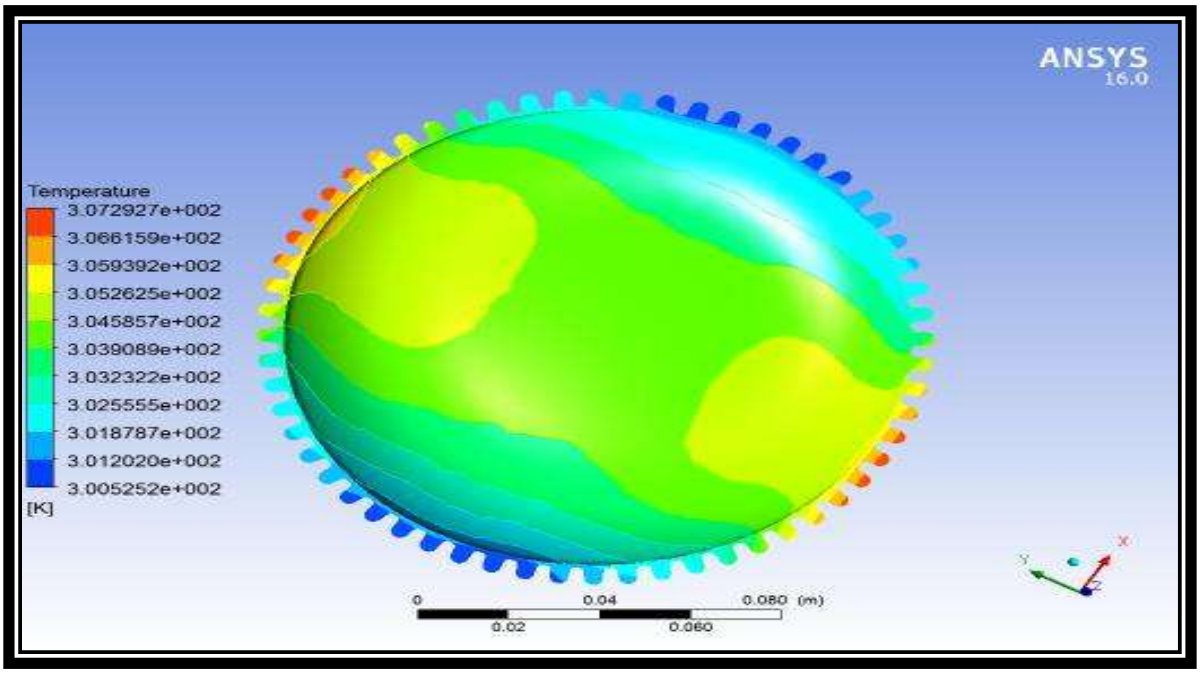


Figure B-3-:la variation de température sur le plat

La figureB-3-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=312 et Tmin=297)

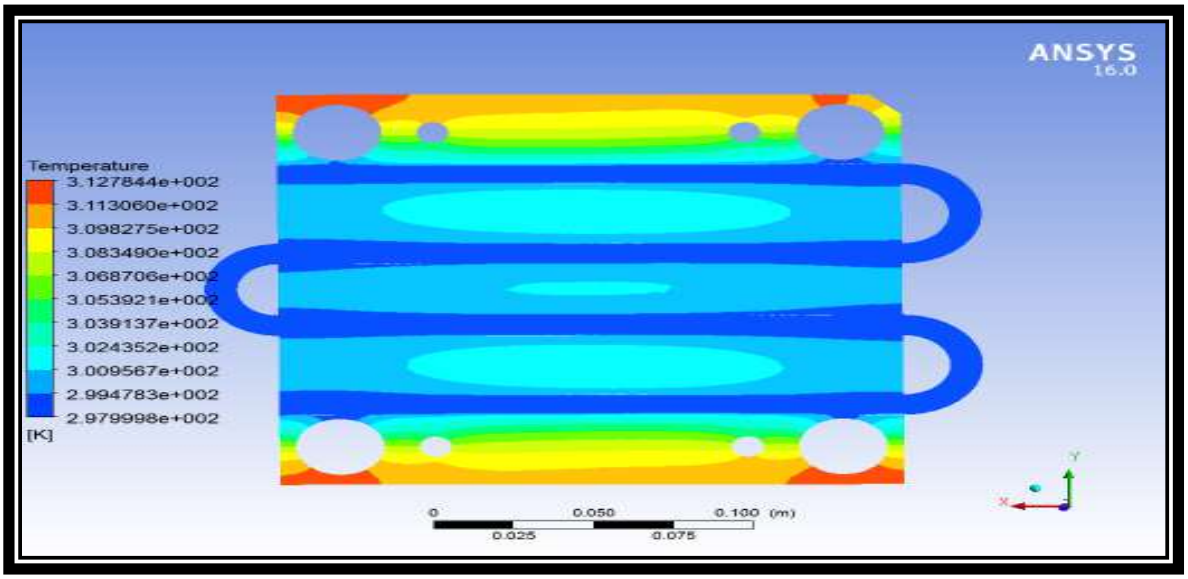


Figure B-3-2:la variation de température sur le plan

La figure B-3-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=304 et Tmin=298)

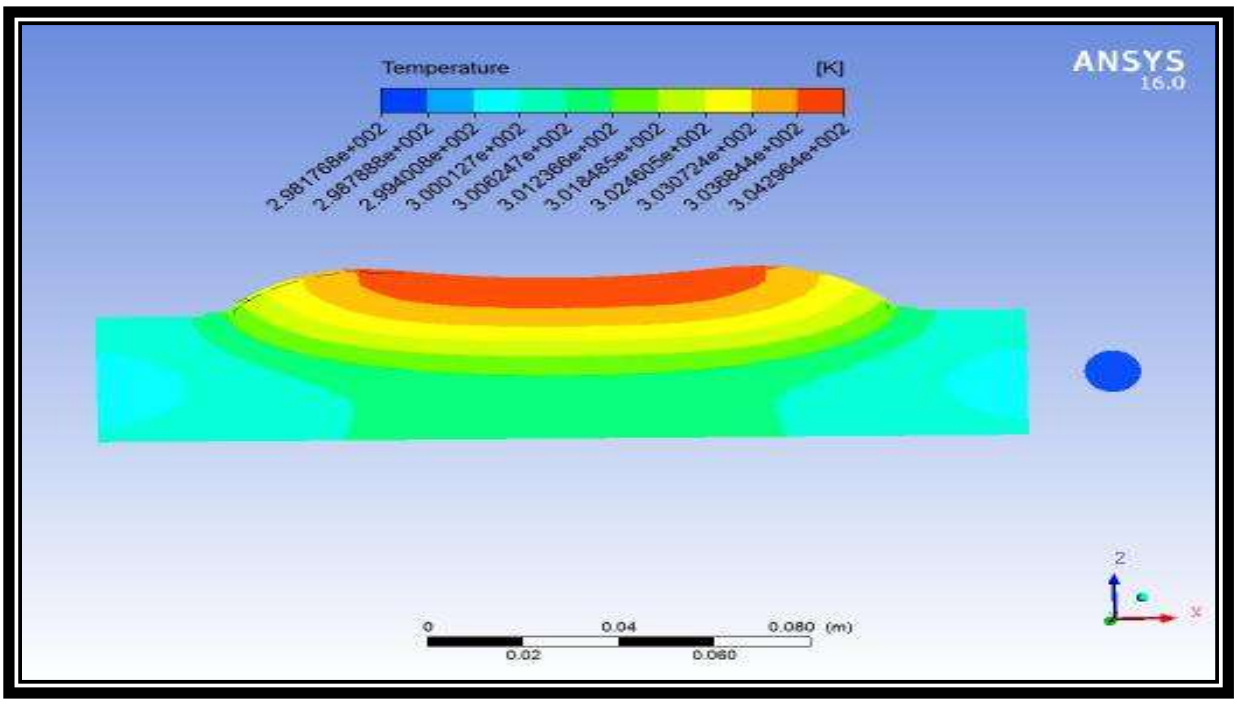


Figure B-3-3:la variation de température sur le plan 2

La figure B-3-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=310 et Tmin=298)

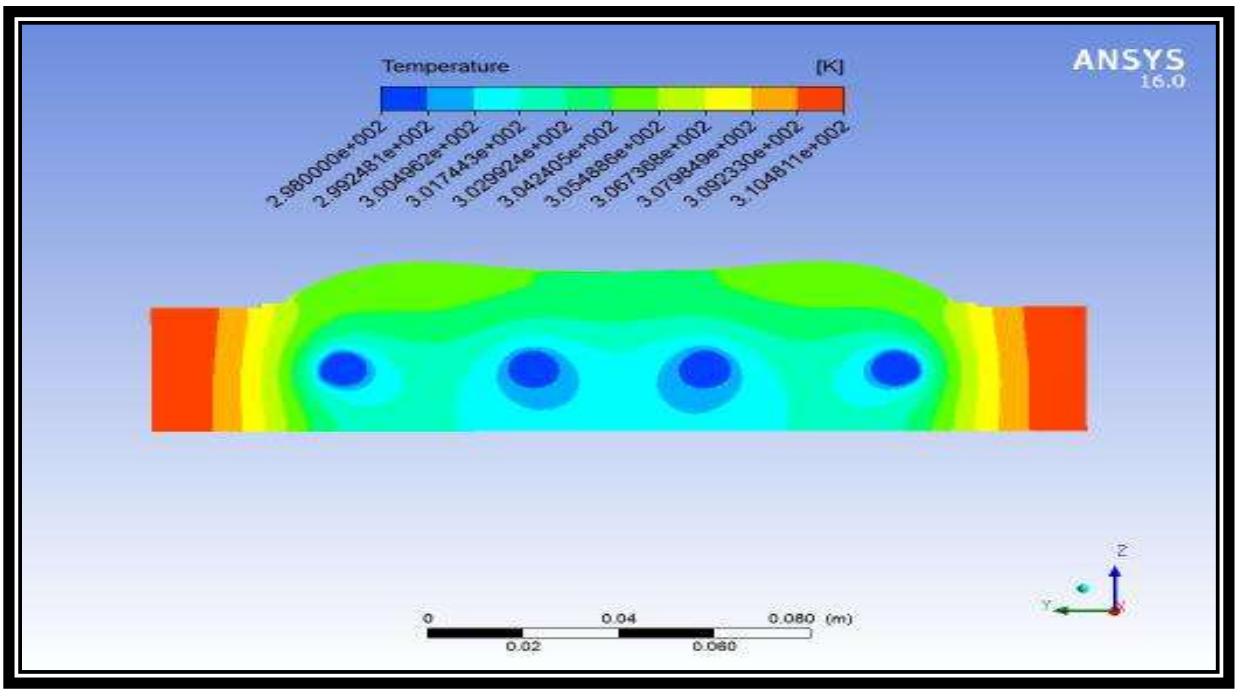


Figure B-3-4:la variation de température sur le plan 3

La figure B-3-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=301 et Tmin=298)

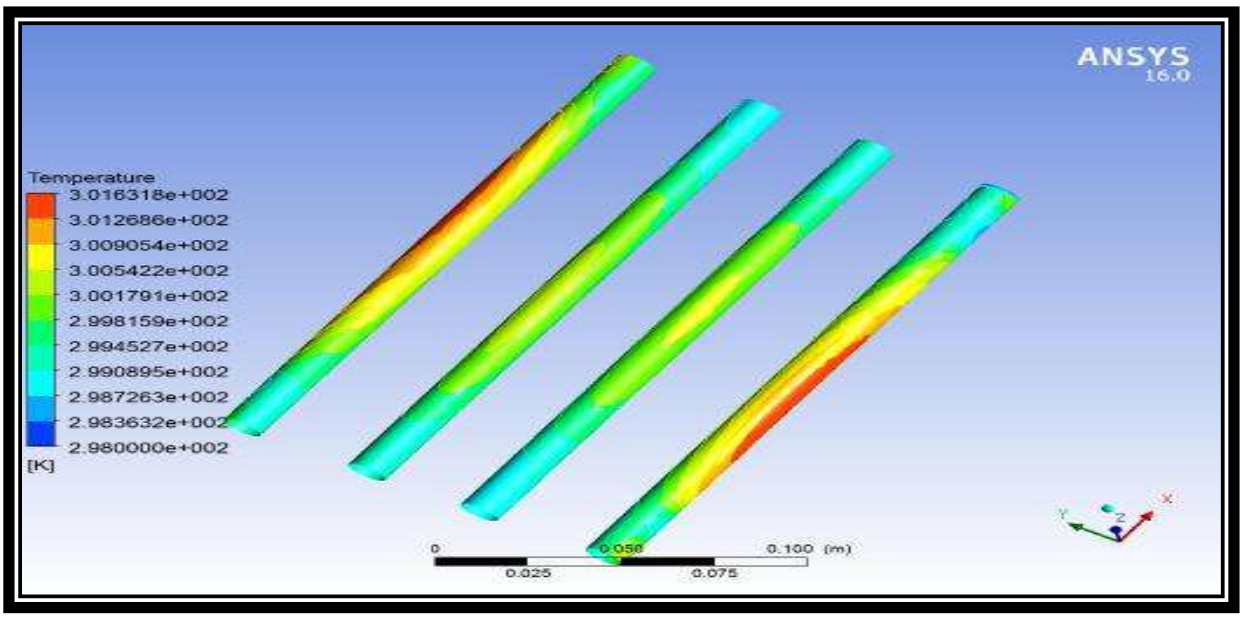


Figure B-3-5:la variation de température sur le circuit

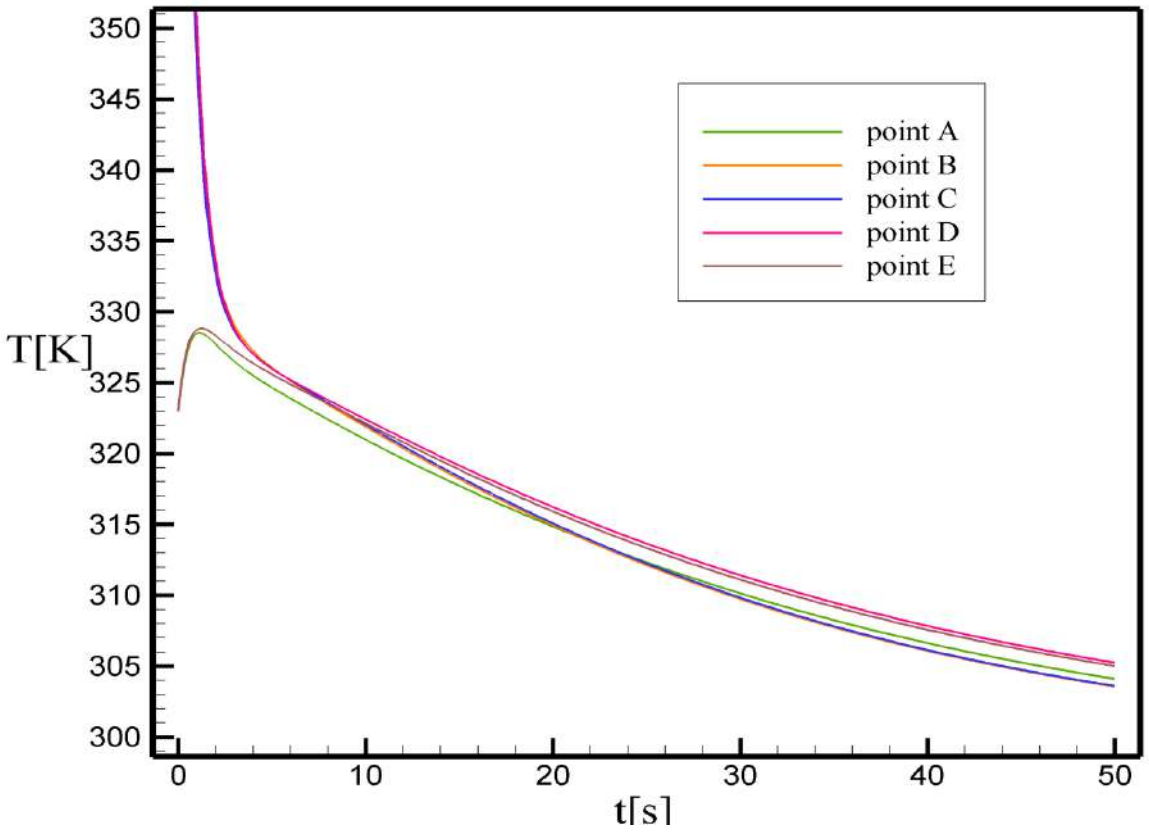


Figure B-3-6:courbe de variation de température en fonction du temps

Cas 4 (v=0.35 et T=283) :

Dans ce cas, nous avons changé la température de fluide à l'entrée (T_f=283), Tmin=310K et Tmax=316K , on remarque que la température est élevée dans l'extrémité de l'assiette

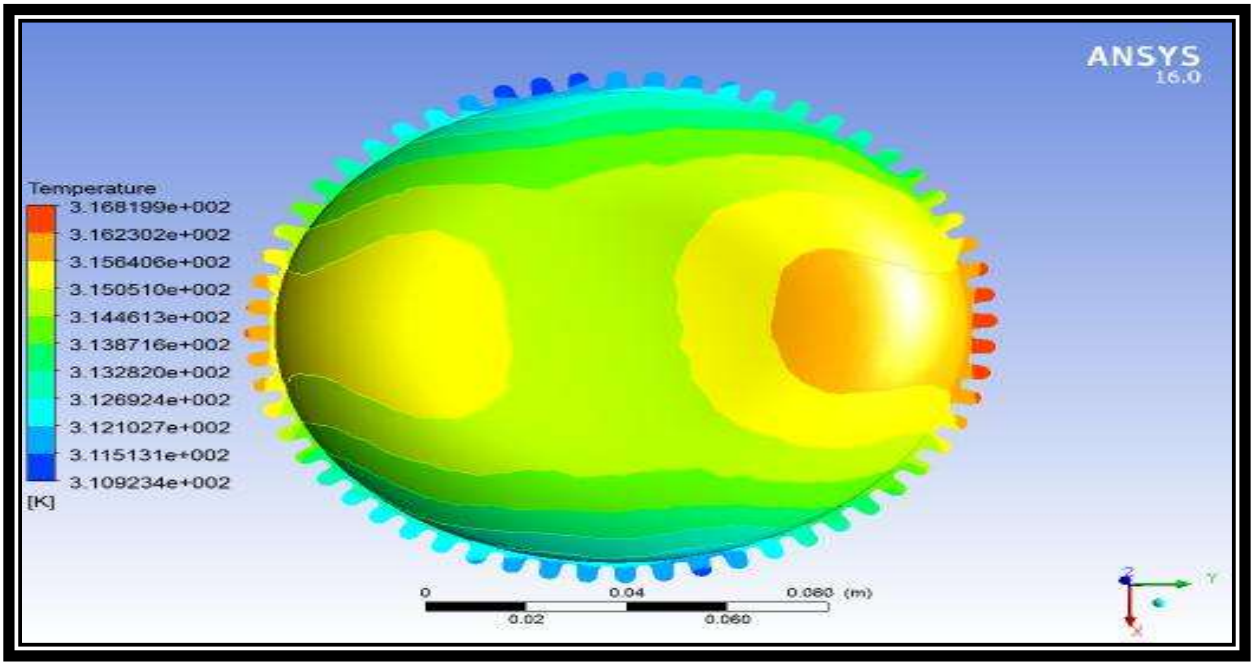


Figure B-4-1:la variation de température sur le plat

La figure B-4-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=318 et Tmin=297)

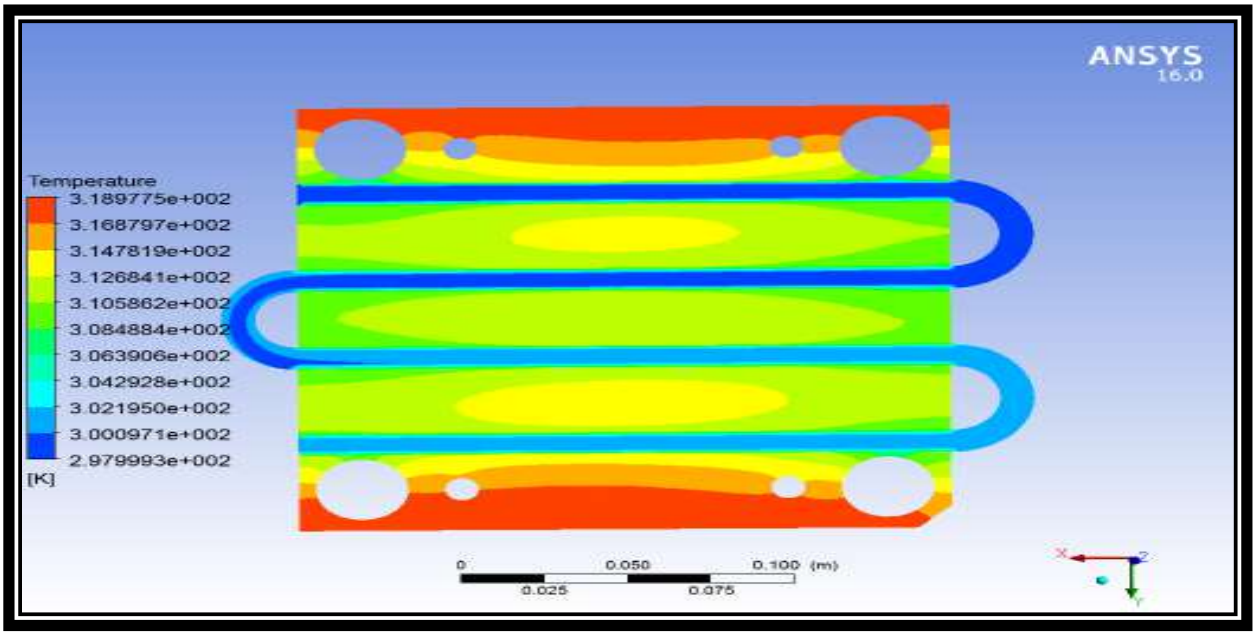


Figure B-4-2:la variation de température sur le plan 1

La figure B-4-3 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=315 et Tmin=299)

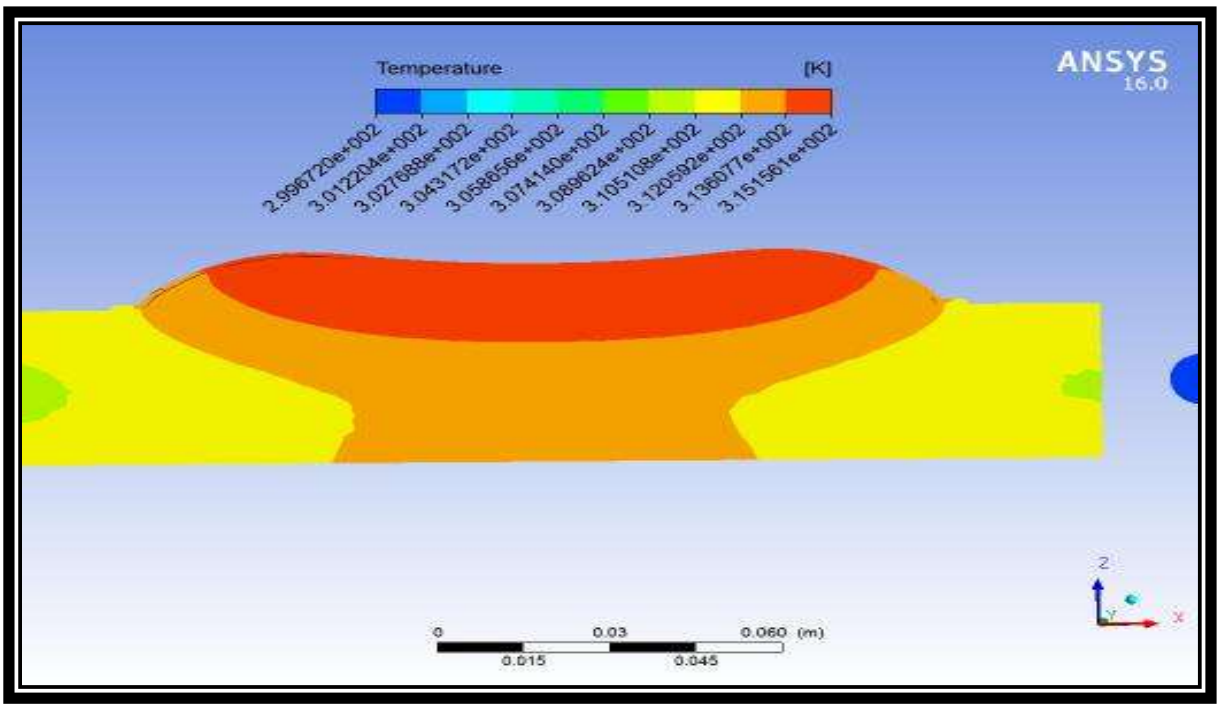


Figure B-4-3:la variation de température sur le plan 2

La figure B-4-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=318 et Tmin=298)

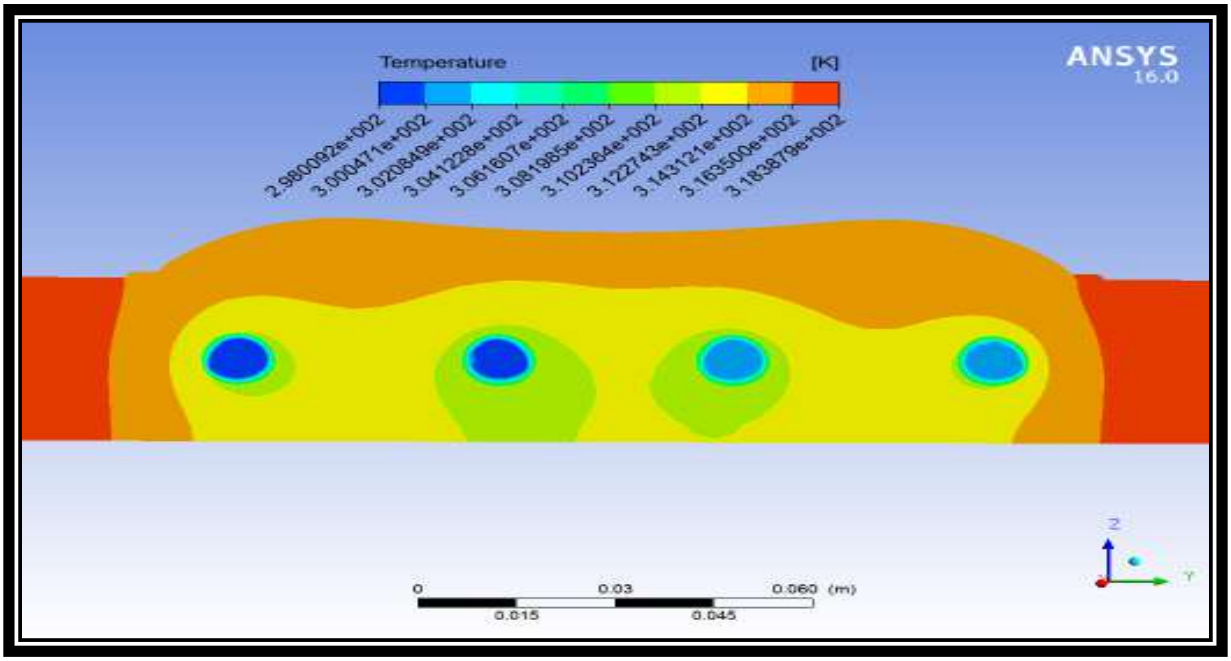


Figure B-4-4:la variation de température sur le plan 3

La figure B-4-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=313 et Tmin=298)

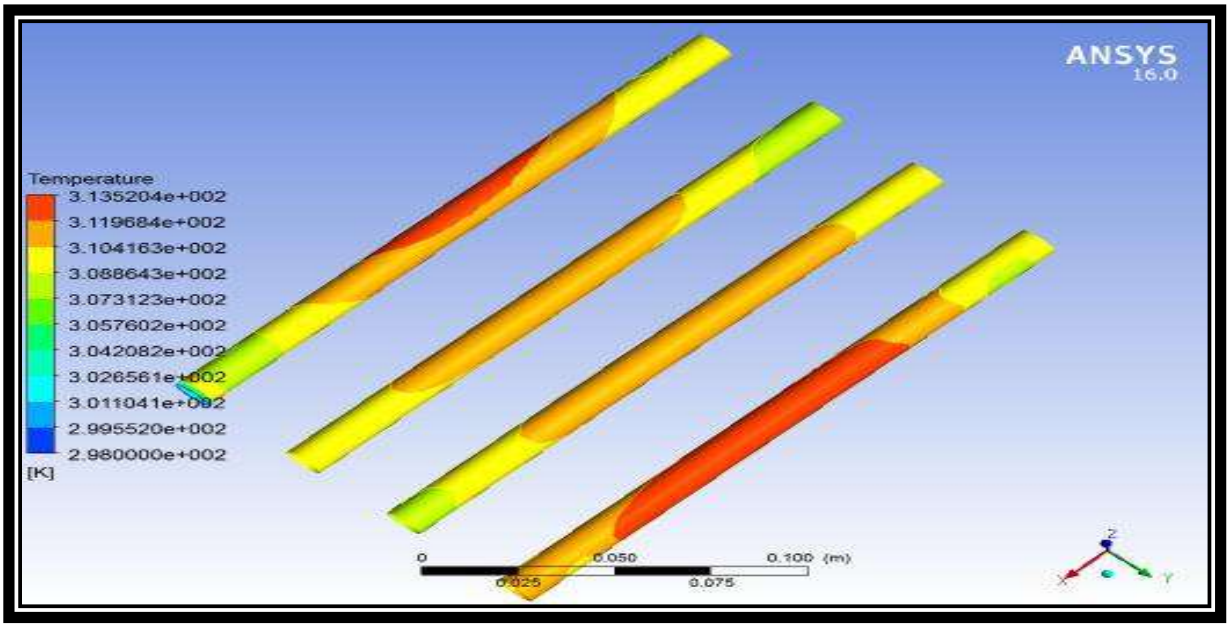


Figure B-4-5:la variation de température sur le circuit

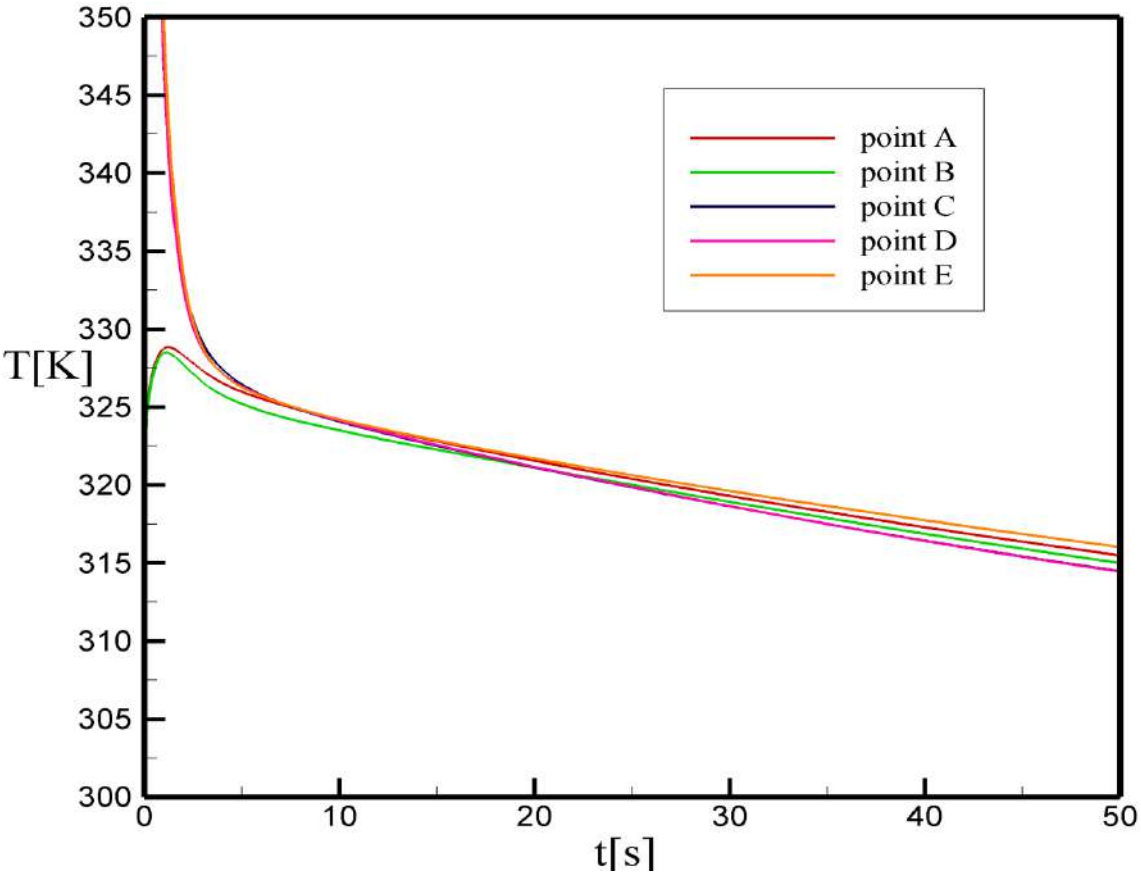


Figure B-4-6:courbe de variation de température en fonction du temps

Cas 5 (v=0.35 et T=275) :

Dans ce cas ,on change la température de fluide à l'entrée (T_f=283), Tmin=310K et Tmax=316K, on remarque que la température s'élève dans l'extrémité de l'assiette.

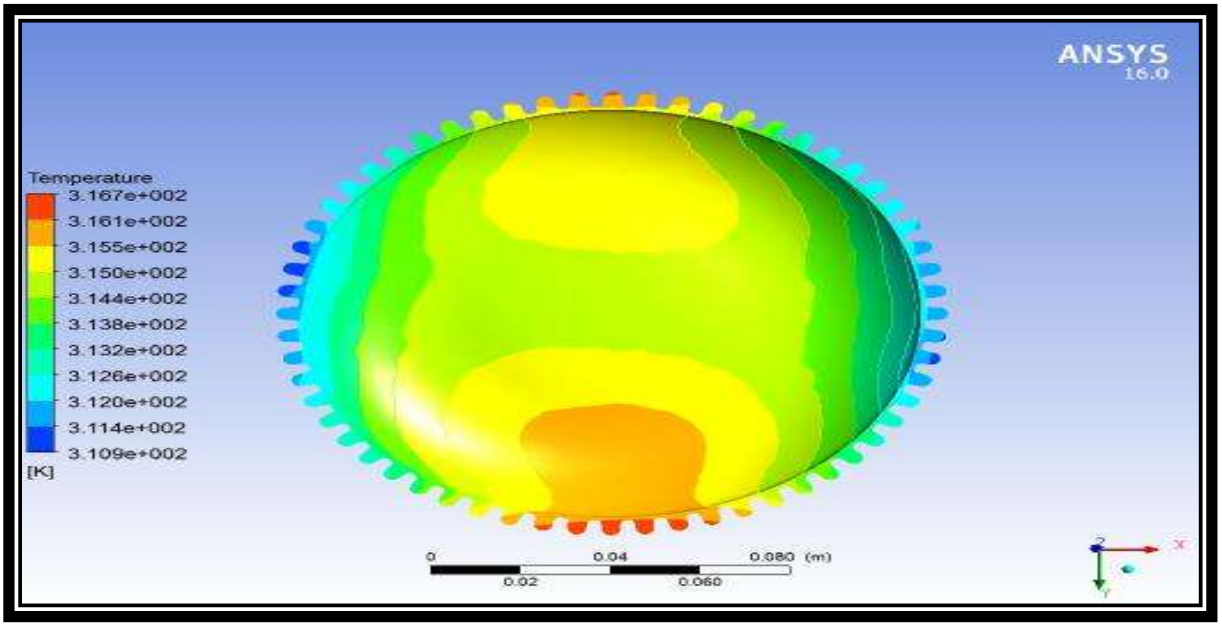


Figure B-5-1:la variation de température sur le plat

La figure B-5-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=318 et Tmin=298)

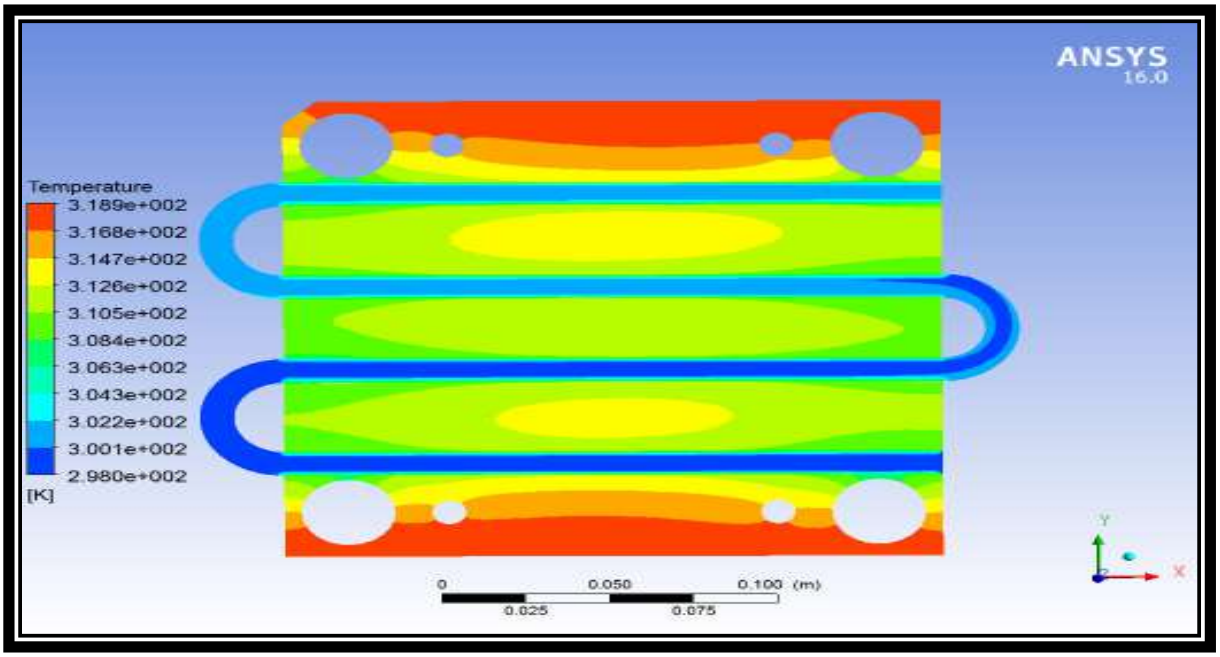


Figure B-5-2:la variation de température sur le plan 1

La figure B-5-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=318 et Tmin=299)

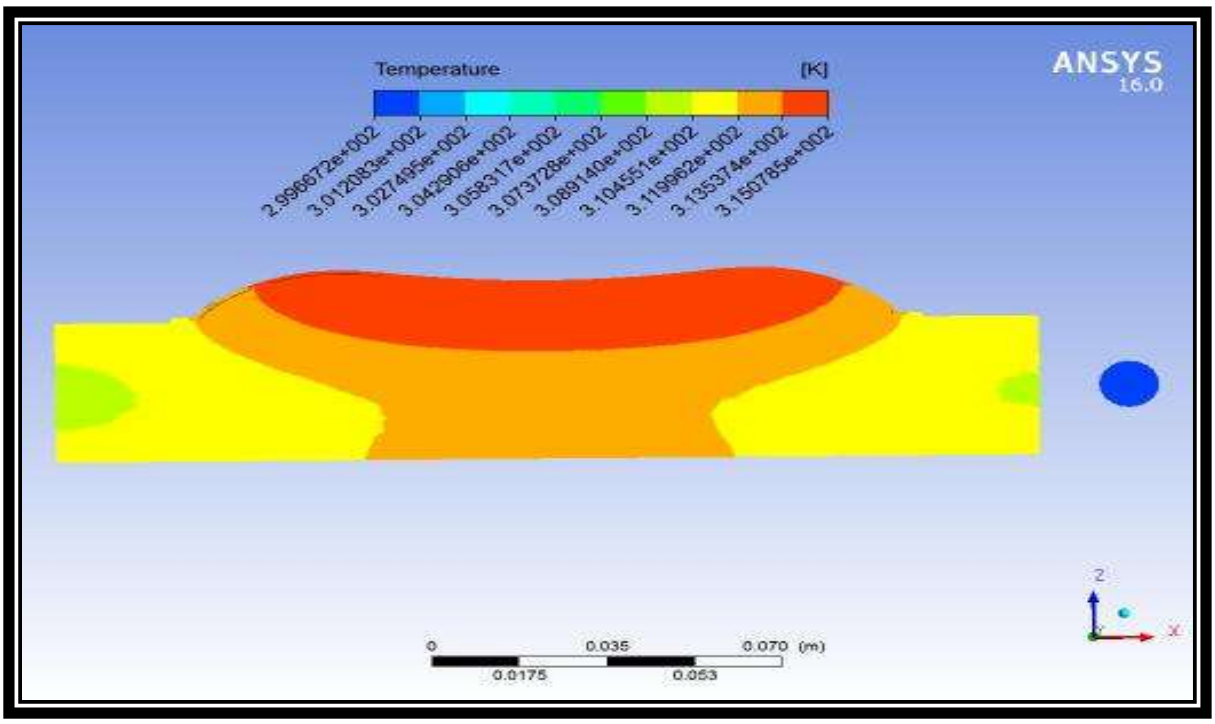


Figure B-5-3:la variation de température sur le plan 2

La figure B-5-4 représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=318 et Tmin=298)

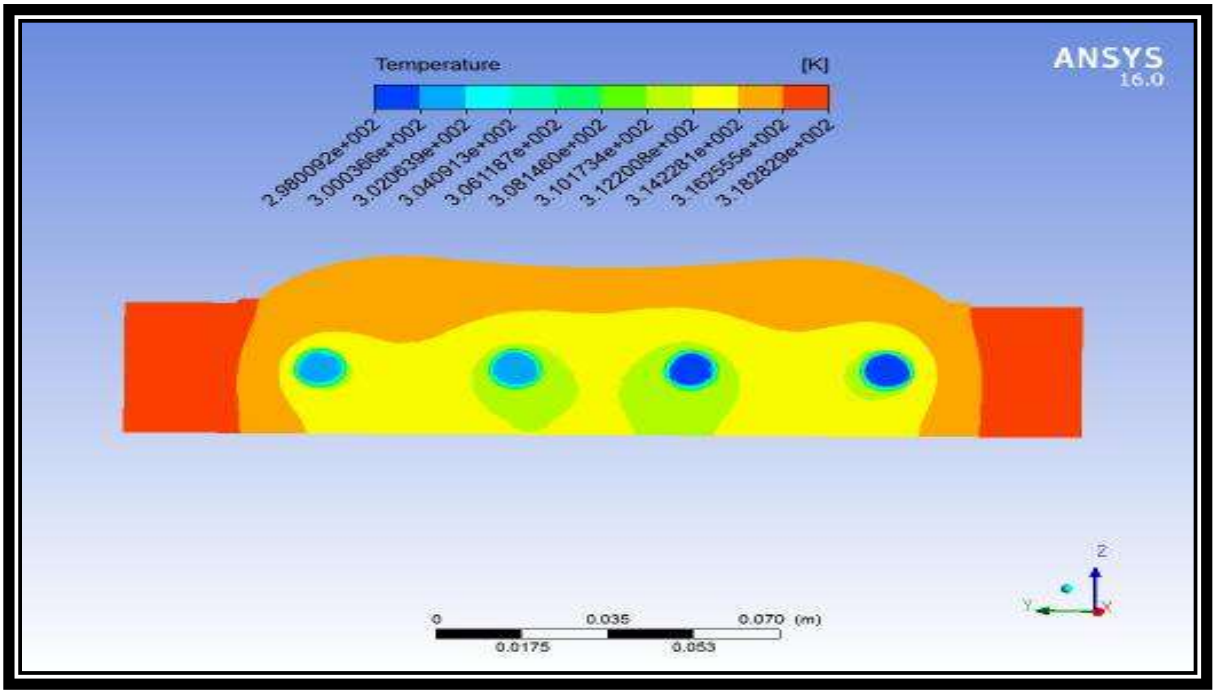


Figure B-5-4:la variation de température sur le plan 3

La figure B-5-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=313 et Tmin=298)

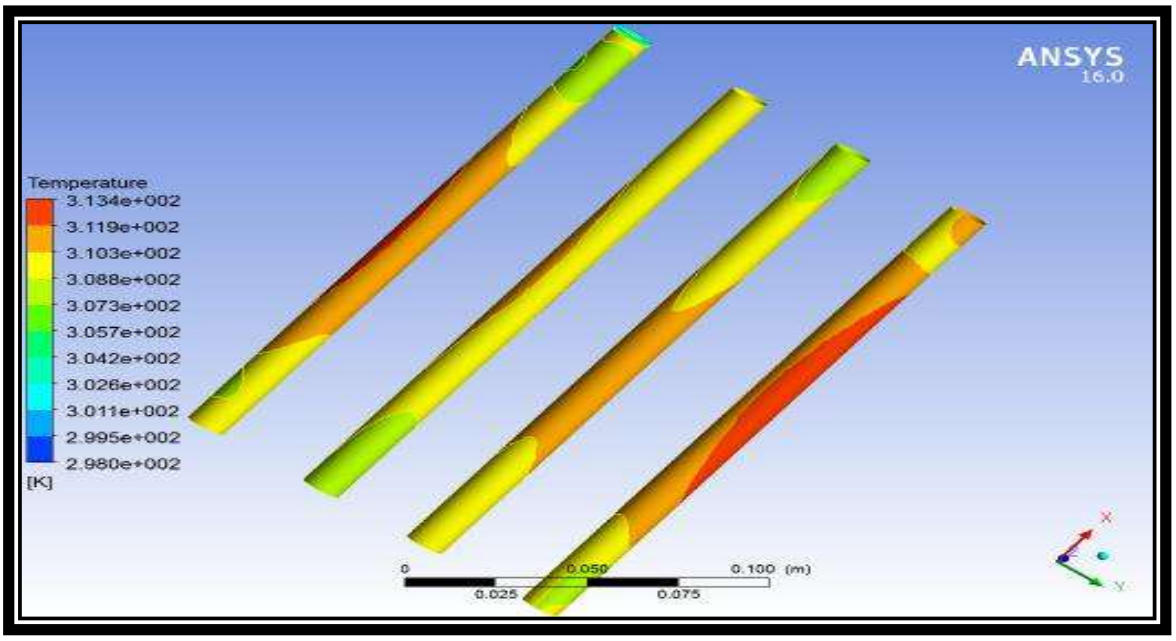


Figure B-5-5:la variation de température sur le circuit

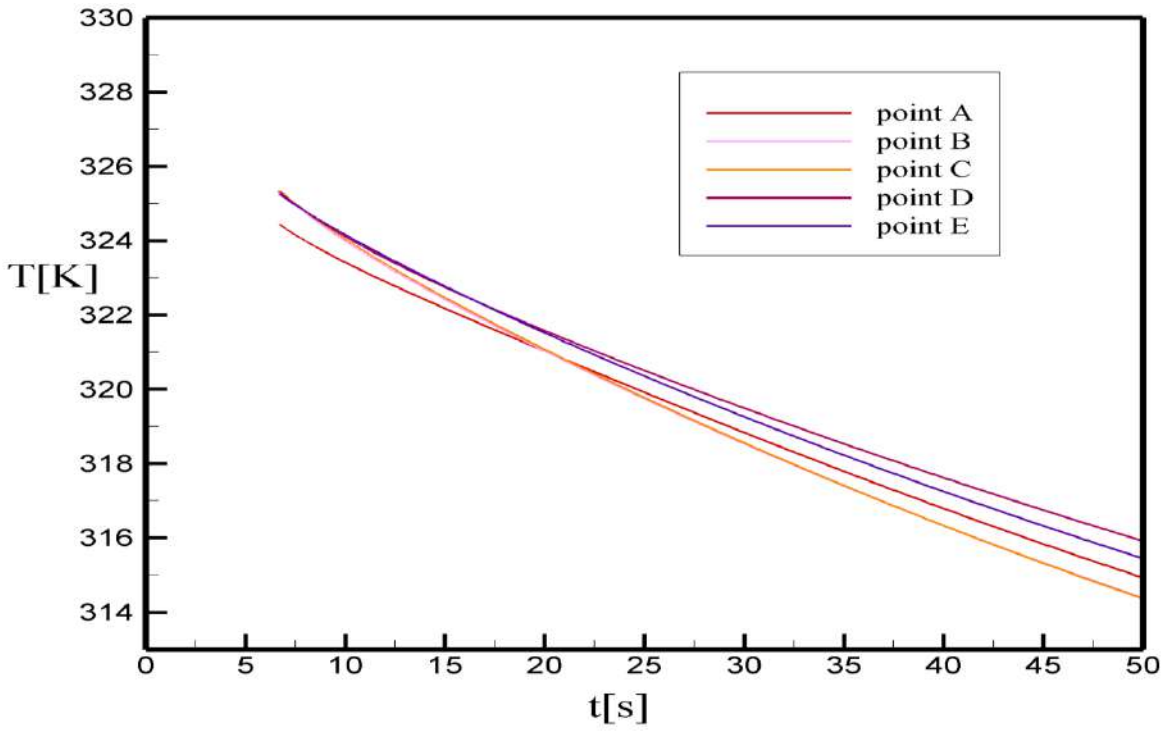


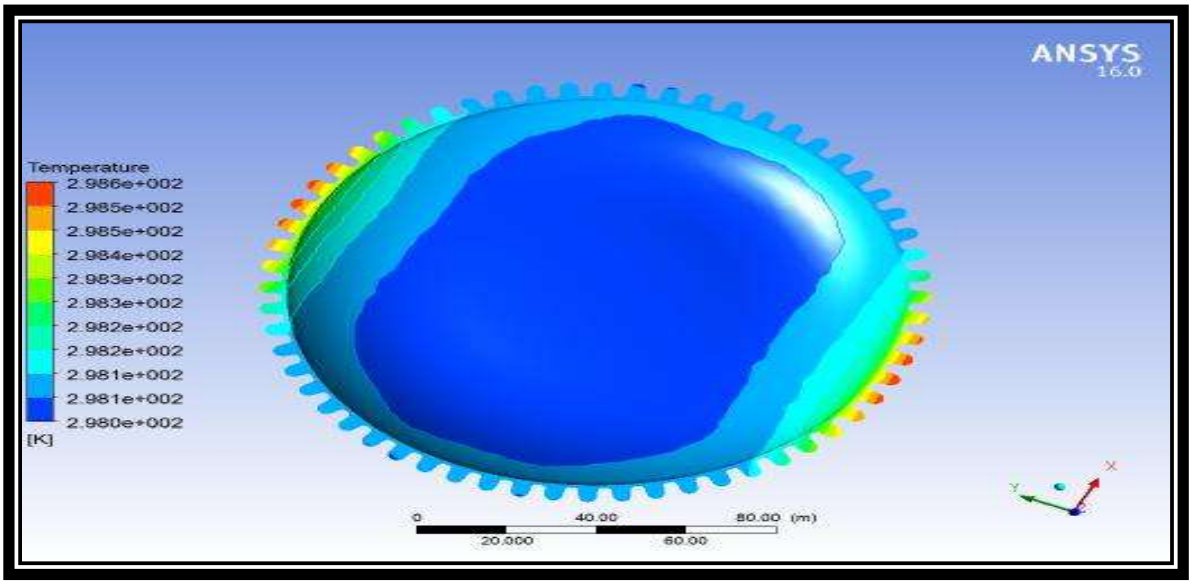
Figure B-5-6:courbe de variation de température en fonction du temps

C: Ajout des plaques de cuivre

Cas 1(T=298 et V=0.35) :

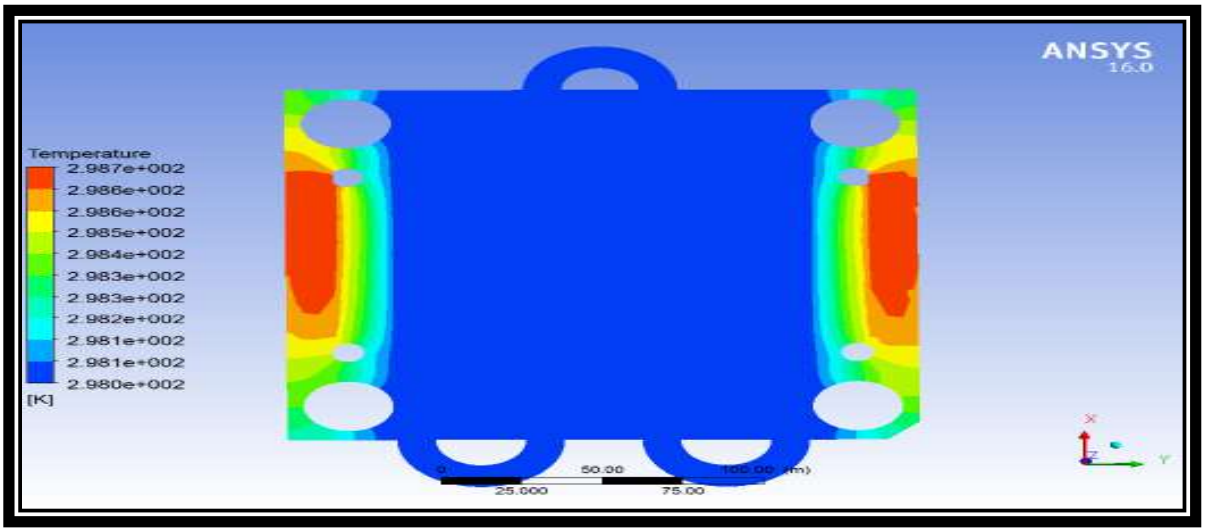
La figure C-1-1représente la variation de température dans l'assiette avec le température de polymère=423k et les condition de fluide à l'entrée sont (T_f=298K,V_f=0.35m/s).

Dans ce cas, nous avons ajouté deux plaques de cuivre. on a Tmin=298K, on remarque que le système est homogène Tmax=298K



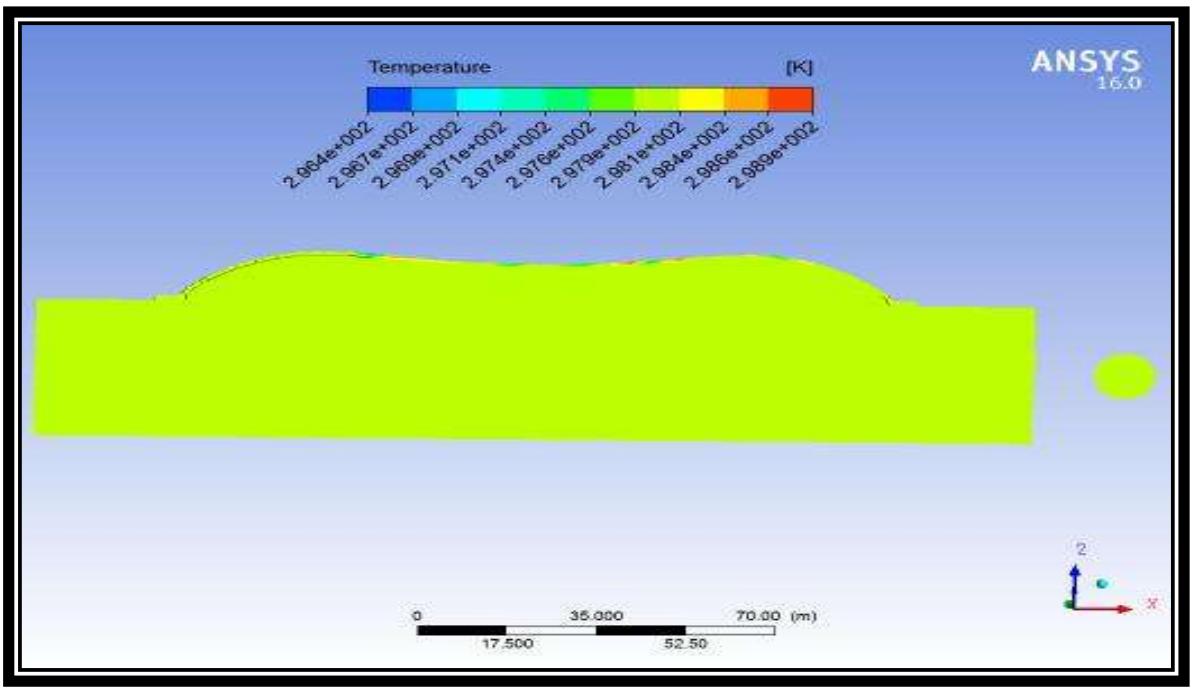
FigureC-1-1:la variation de température sur le plat

La figureC-1-2 représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=298et Tmin=298)



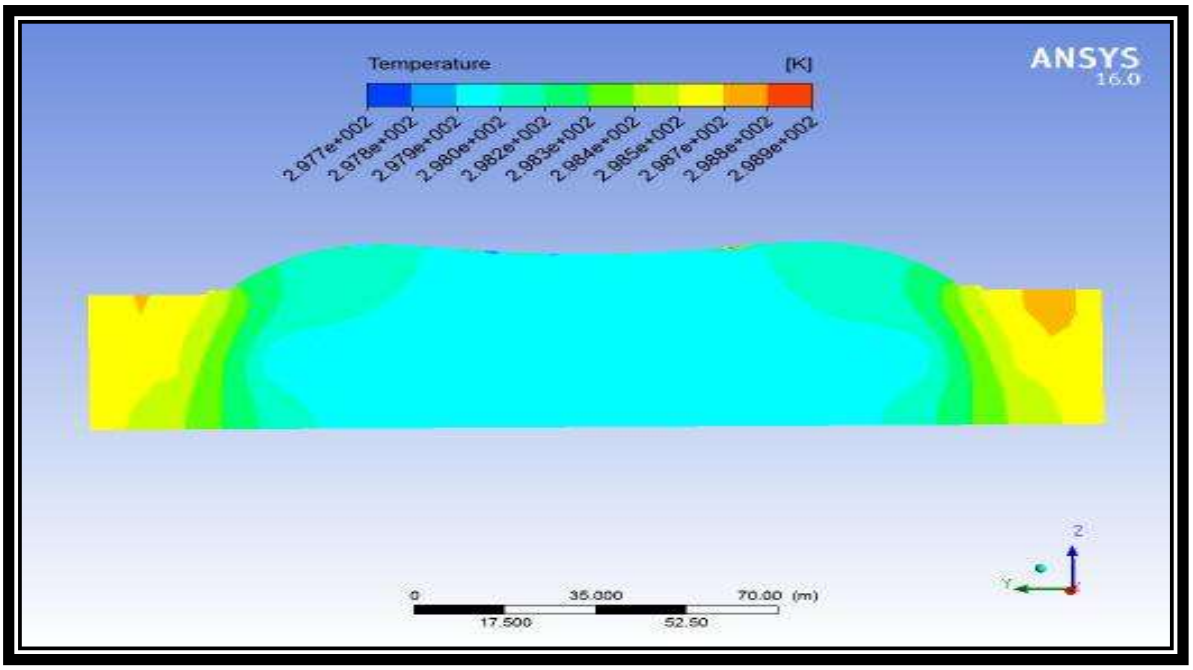
FigureC-1-2:la variation de température sur le plan 1

La figure C-1-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=298 et Tmin=298)



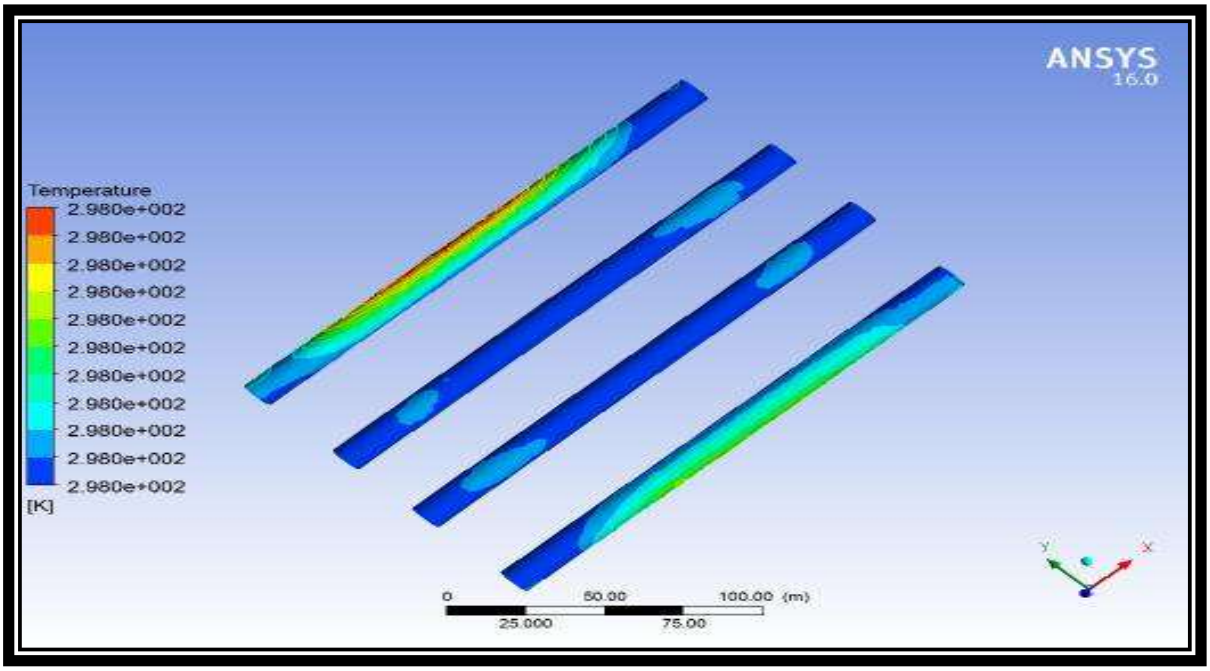
FigureC-1-3:la variation de température sur le plan 2

La figure C-1-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=298 et Tmin=297)



FigureC-1-4:la variation de température sur le plan 3

La figure C-1-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=298 et Tmin=298)



FigureC-1-5:la variation de température sur le circuit

La figure **C-1-6** représente la variation de température dans les plaques de cuivre (Tmax=298 et Tmin=298)

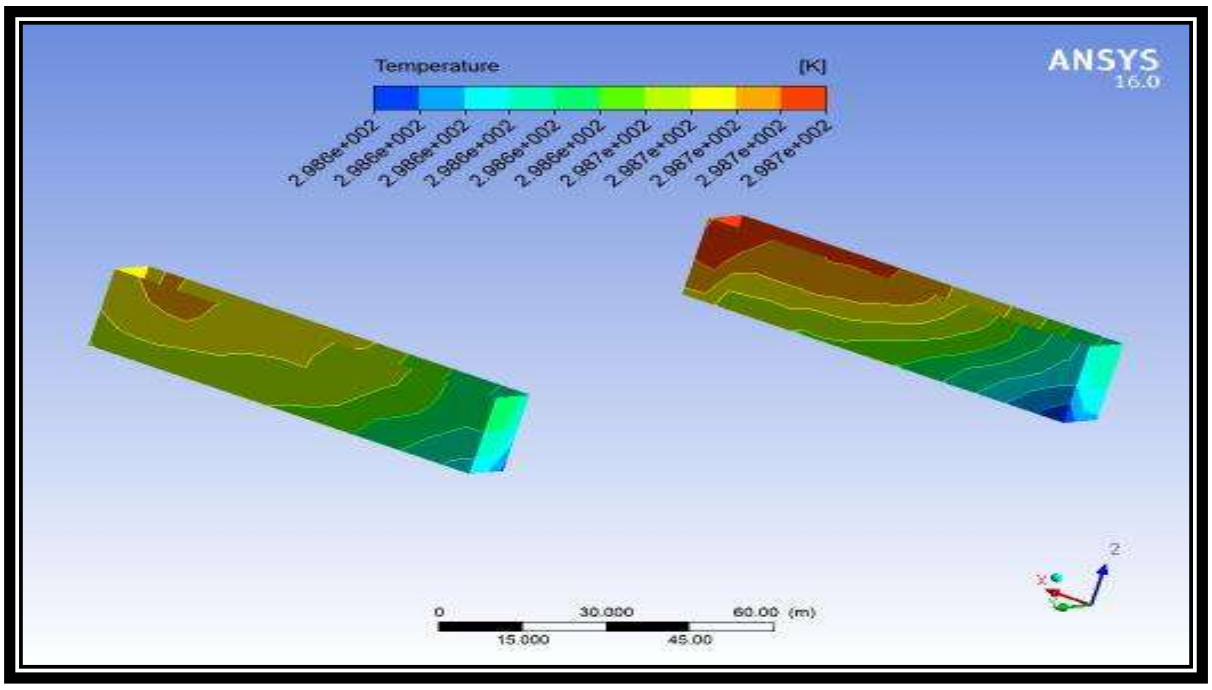


Figure C-1-6:la variation de température sur le domaine de cuivre

Cas 2 (T=283 et V=0.35) :

Dans ce cas nous changeons la température de fluide à l'entrée (T_f=283), Tmin=323K et Tmax=323K, on remarque que le système est encore homogène

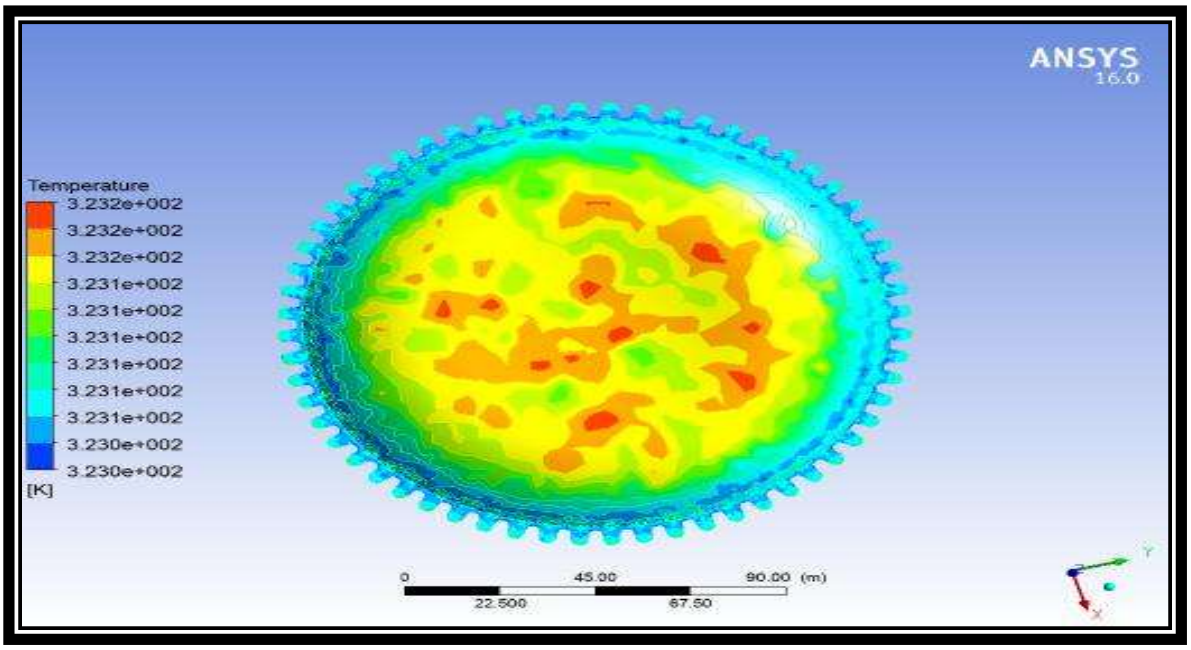
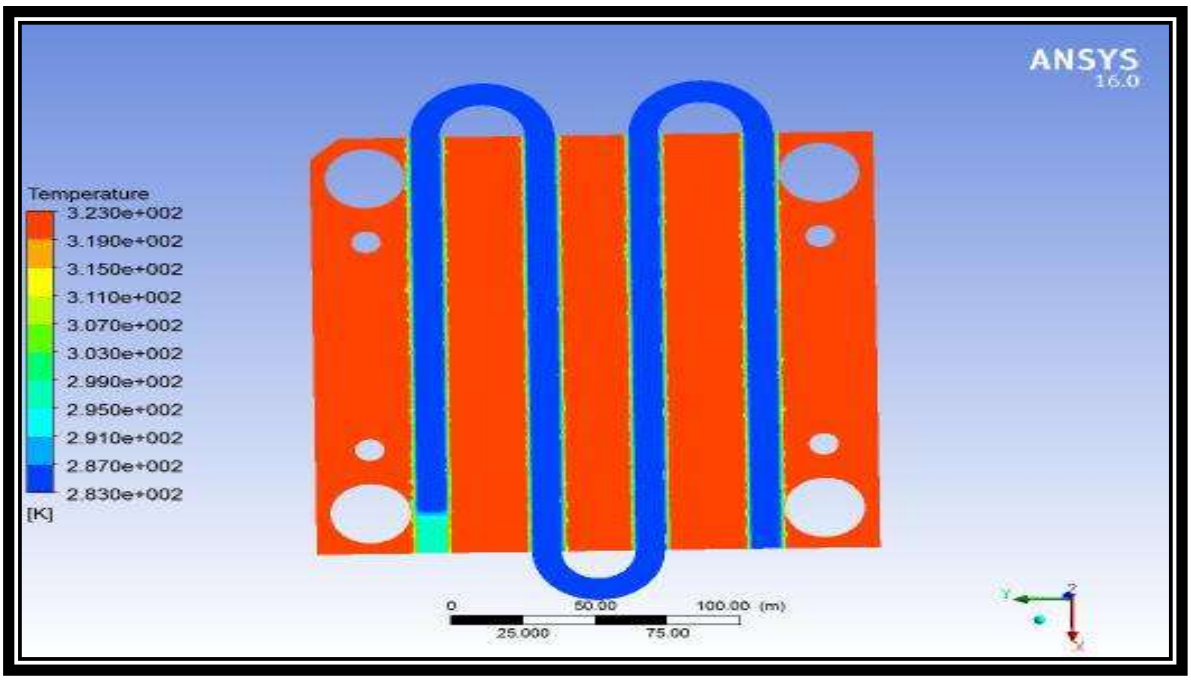


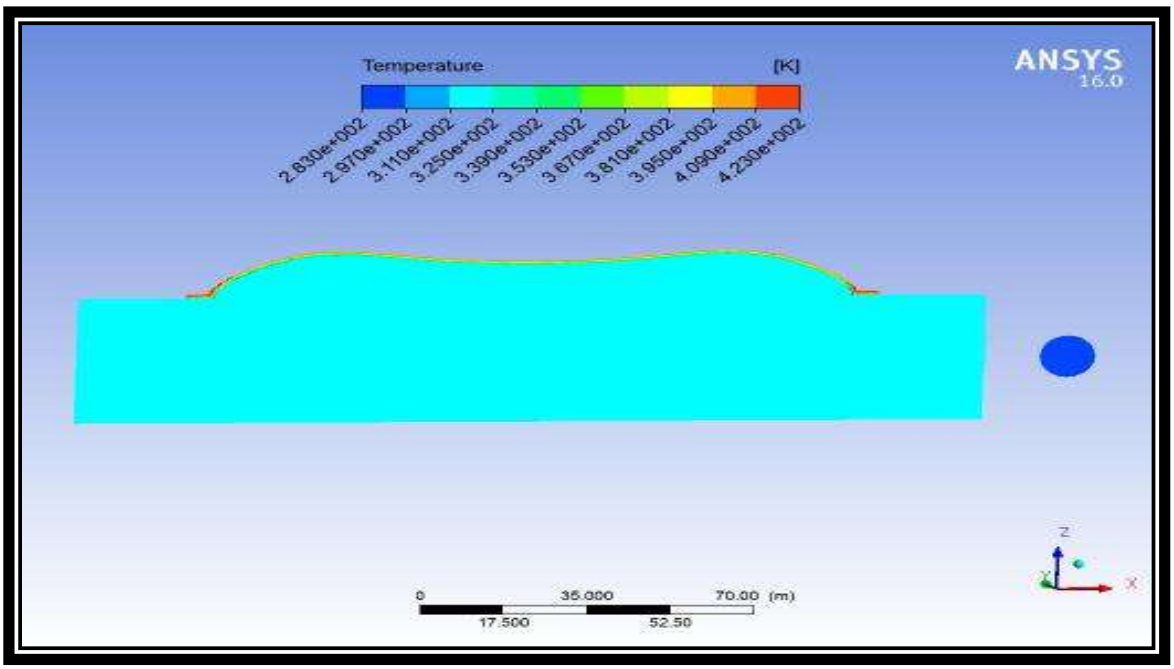
Figure C-2-1:la variation de température sur le plat

La figure C-2-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=323 et Tmin=283)



FigureC-2-2:la variation de température sur le plan 1

La figure C-2-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=423 et Tmin=283)



FigureC-2-3:la variation de température sur le plan 2

La figure C-1-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=423 et Tmin=283)

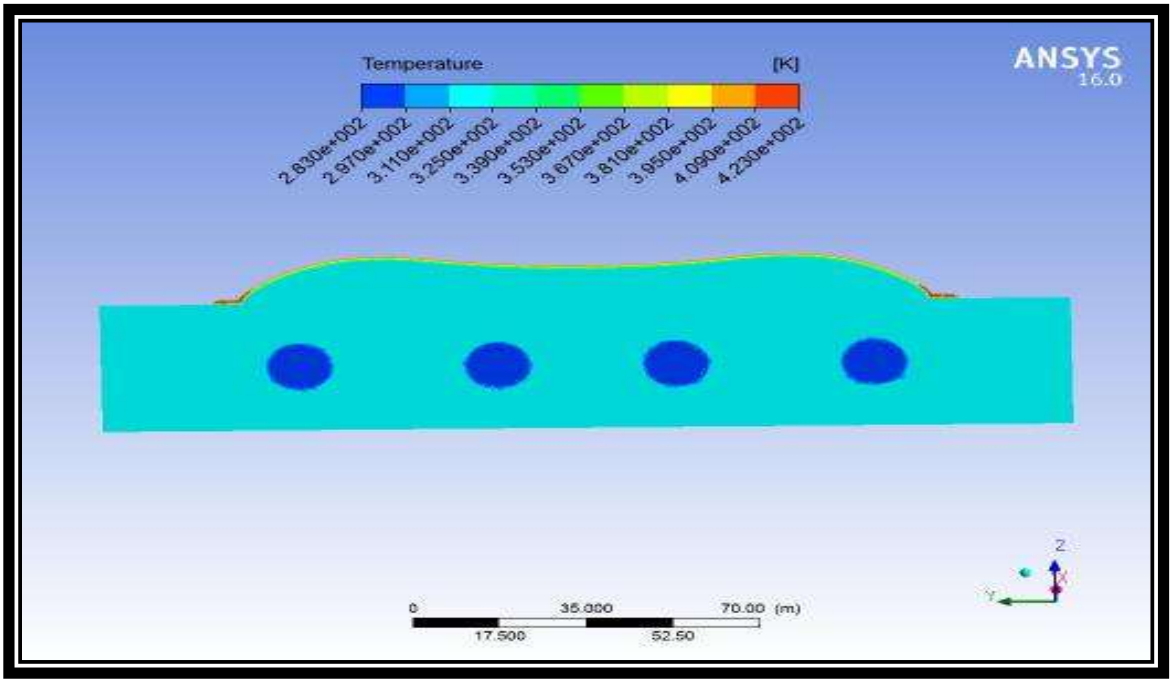
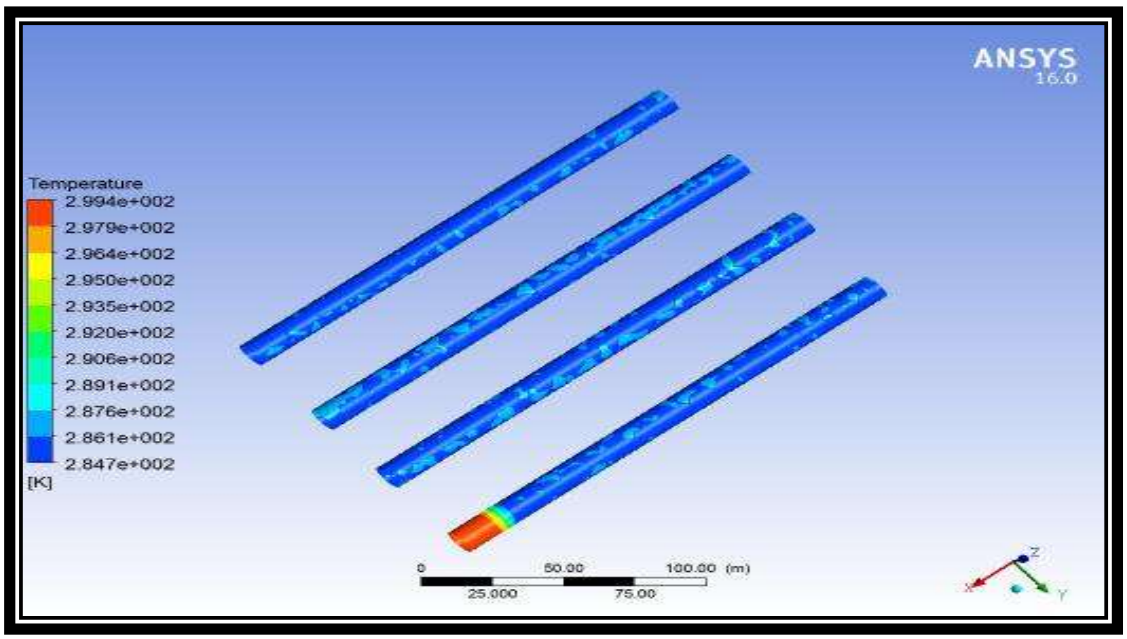


Figure C-2-4:la variation de température sur le plan 3

La figure C-2-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=299 et Tmin=284)



FigureC-2-5:la variation de température sur le circuit

La figure **C-1-6** représente la variation de température dans les plaques de cuivre (Tmax=323 et Tmin=323)

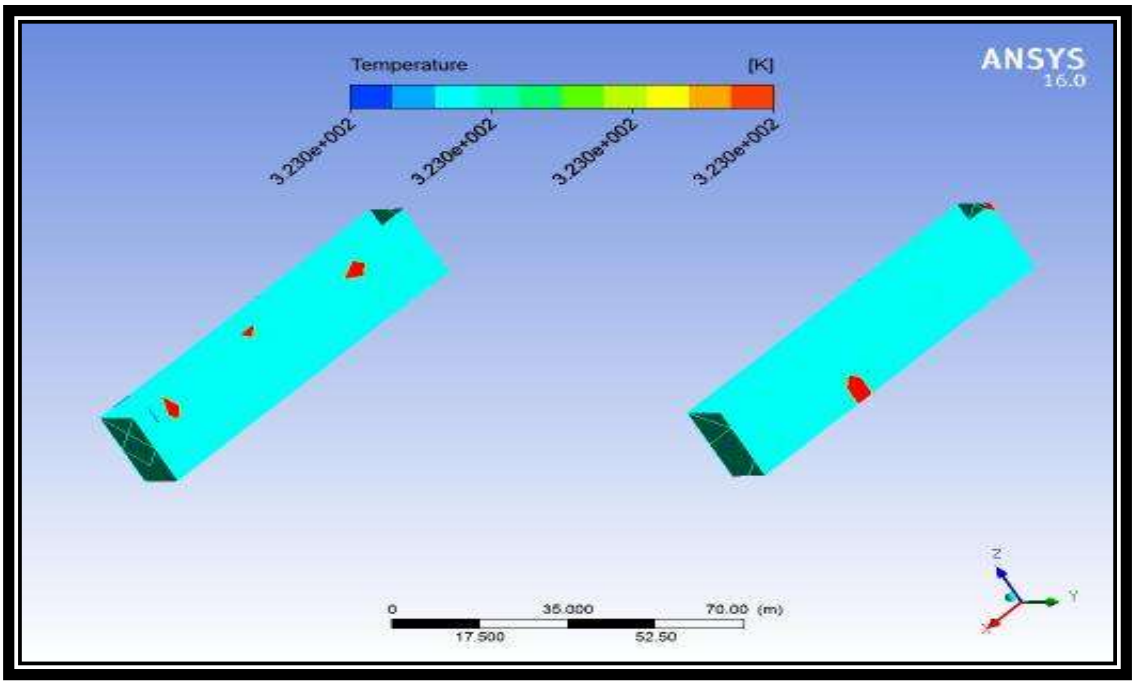


Figure C-2-6:la variation de température sur le domaine de cuivre

Cas 3 (T=275 et V=0.35) :

La figure C-3-1 représente la variation de température dans l'assiette avec les condition de fluide à l'entrée sont (T_f=275K,V_f=0.35m/s) on aTmin=323K, on remarque que le système est homogène Tmax=323K

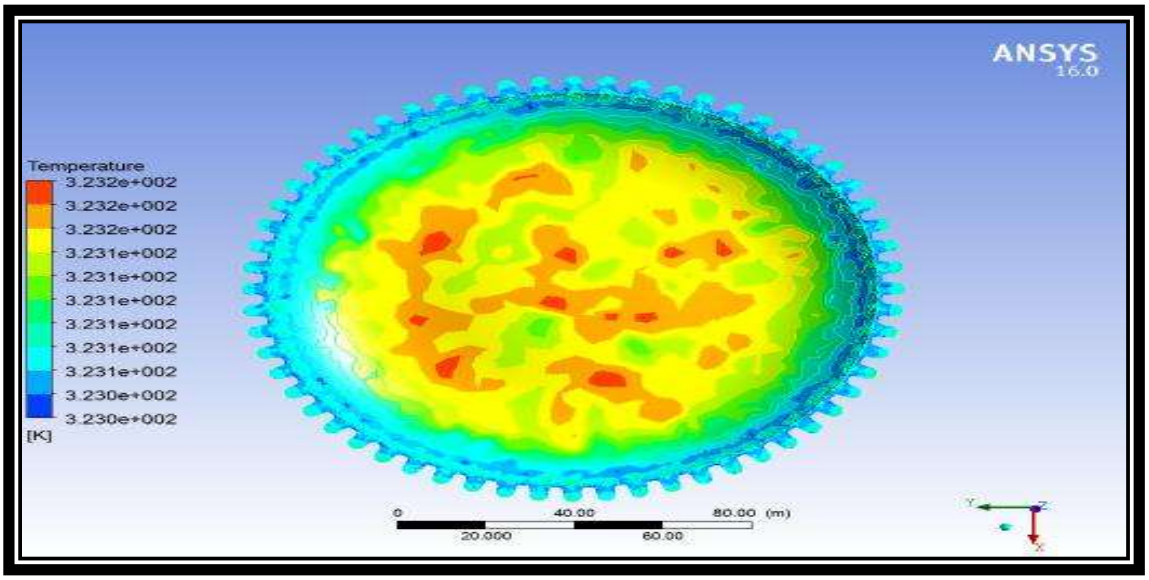


Figure C-3-1:la variation de température sur le plat

La figure C-3-2représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=323 et Tmin=275)

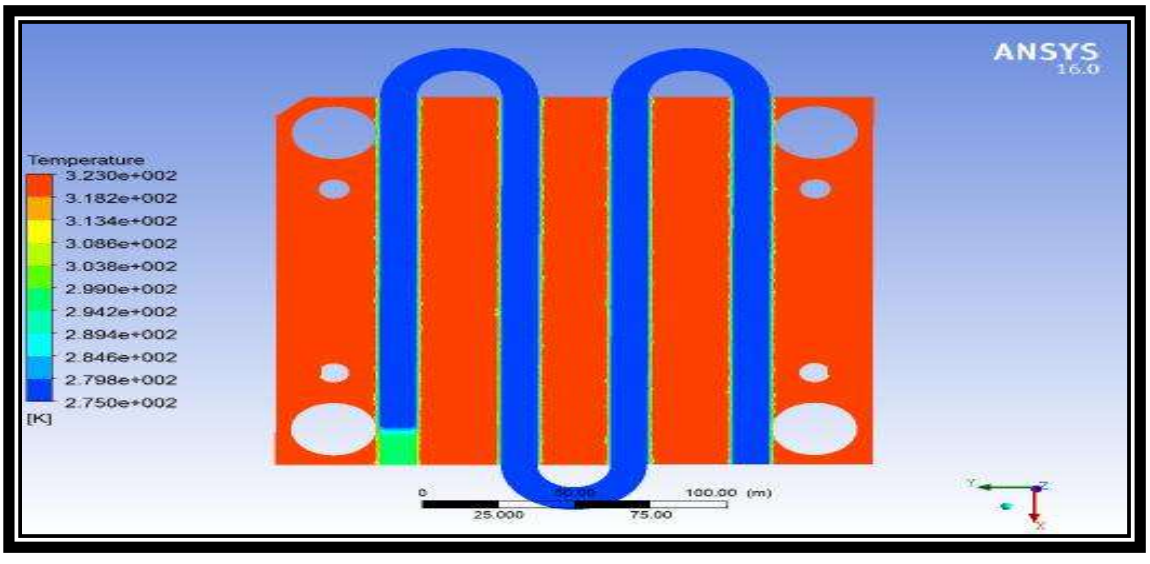
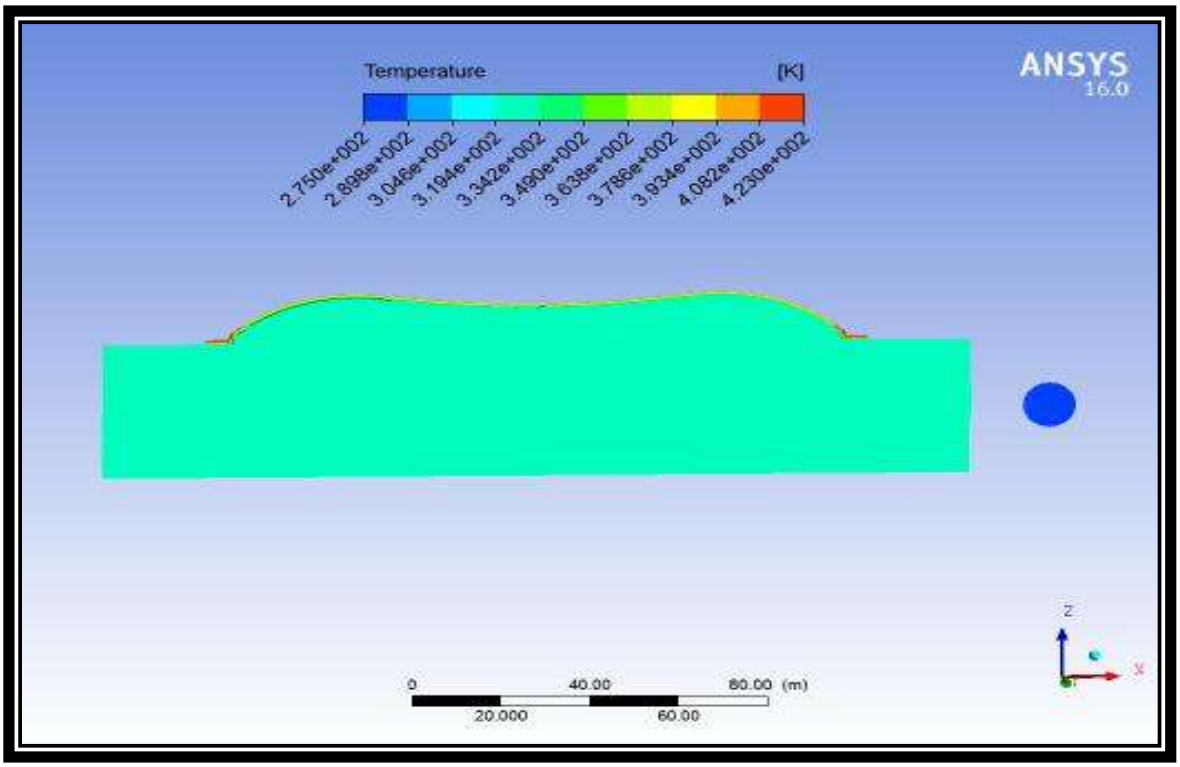


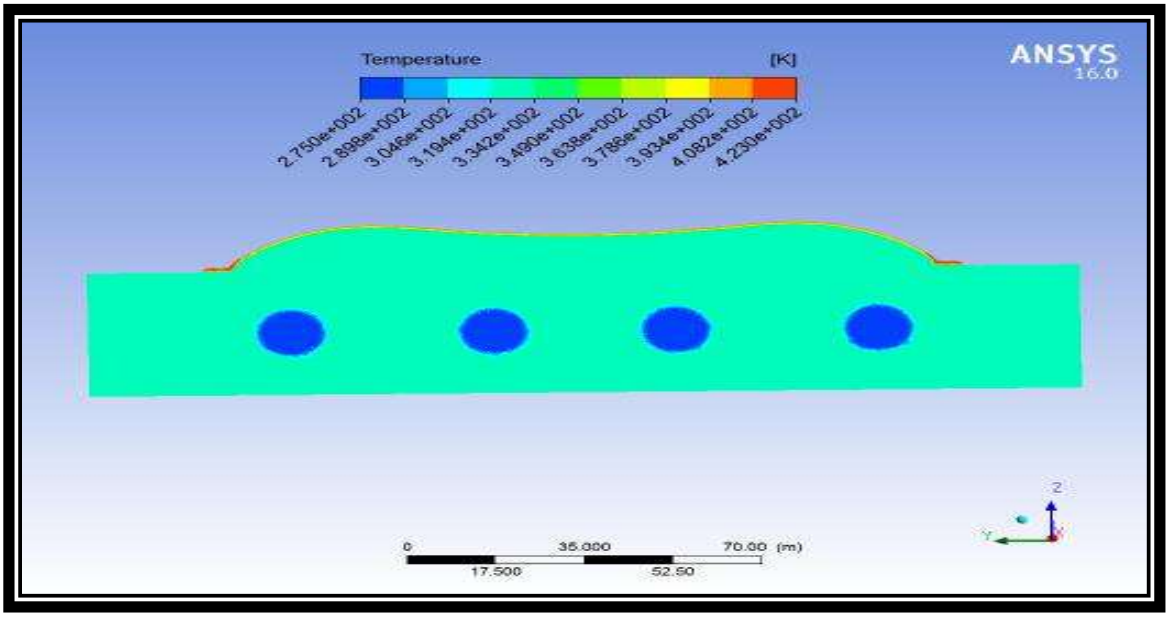
Figure C-3-2:la variation de température sur le plan1

La figure C-3-3représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=275)



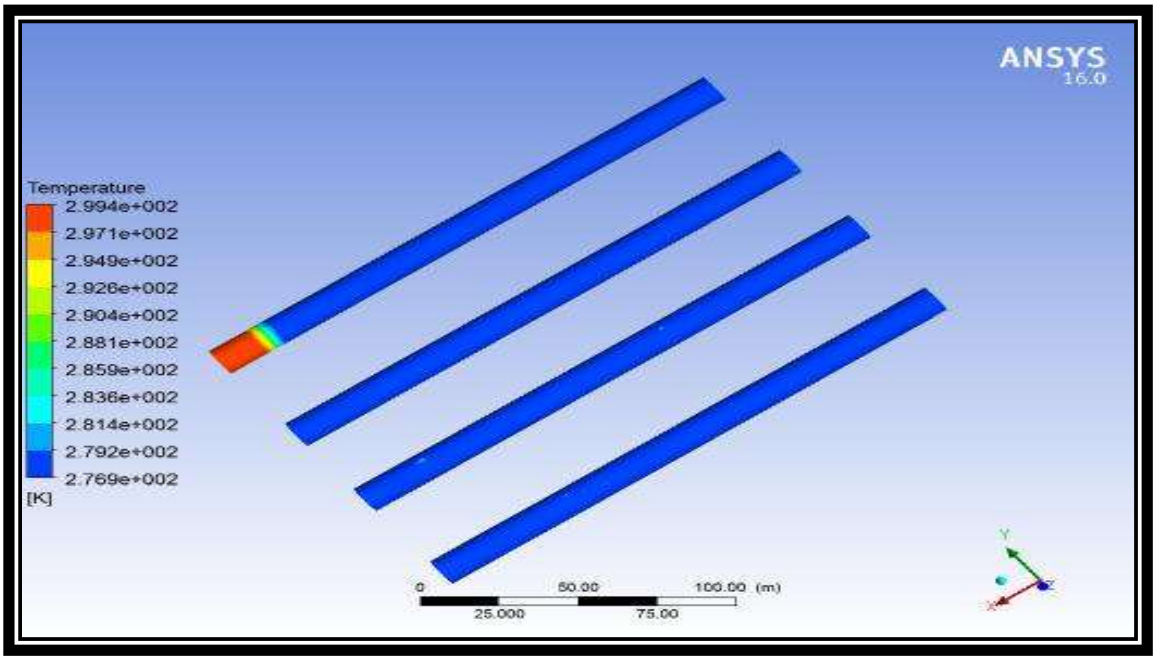
FigureC-3-3:la variation de température sur le plan 2

La figure C-1-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=423 et Tmin=275)



FigureC-3-4:la variation de température sur le plan 3

La figure C-3-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=299 et Tmin=276)



FigureC-3-5:la variation de température sur le circuit

La figure C-3-6représente la variation de température dans les plaques de cuivre (Tmax=323 et Tmin=323)

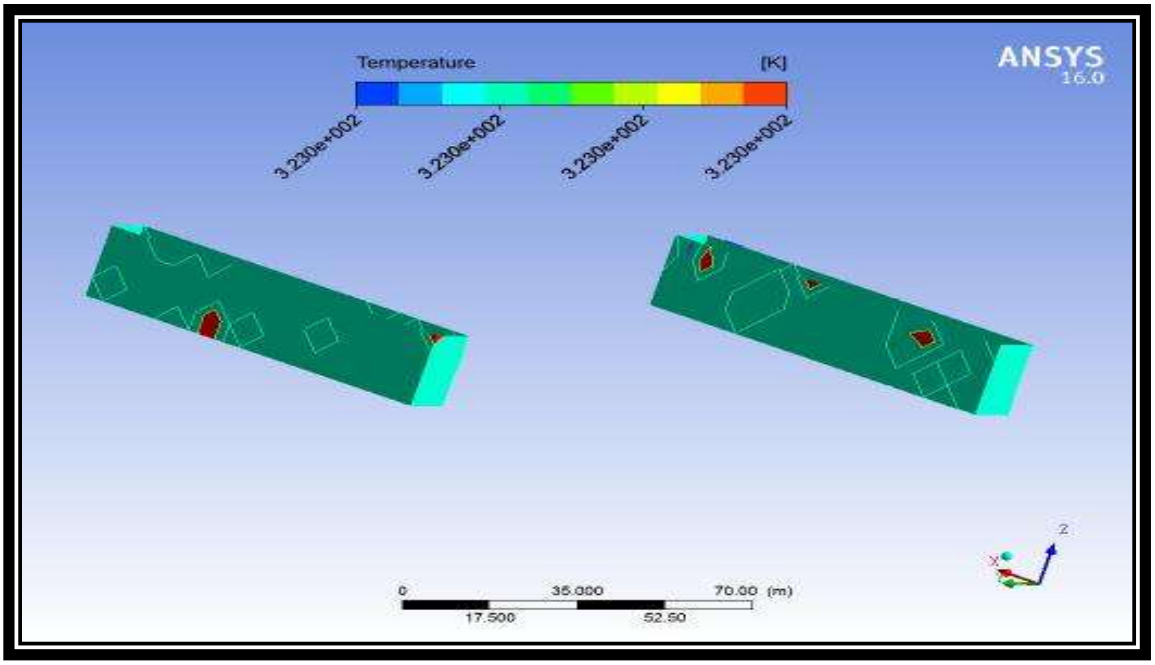


Figure C-3-6:la variation de température sur le domaine de cuivre

Cas 4 (T=298et V=1) :

dans ce cas nous changeons la température de fluide a l'entrée (V_F=1), Tmin=323K et Tmax=323K, on remarque que le système est homogène

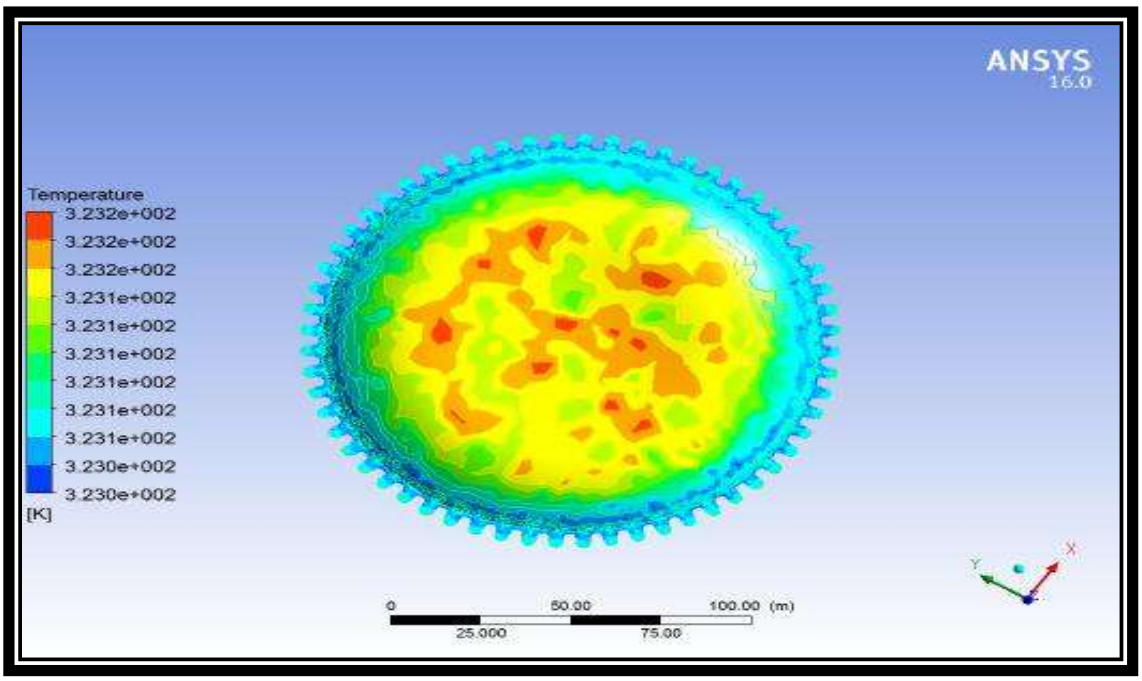
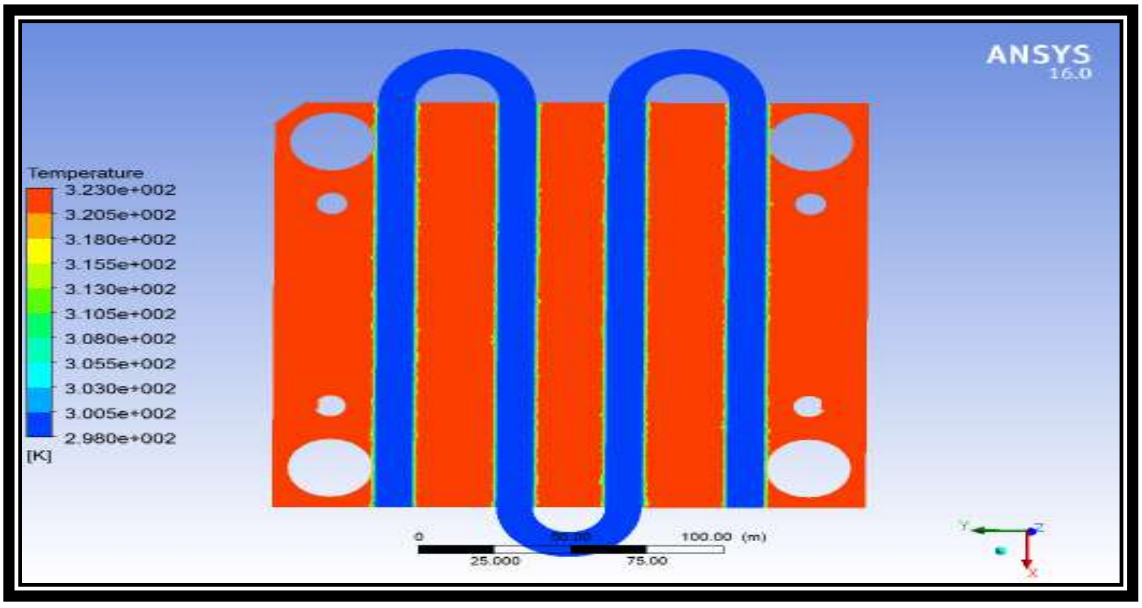


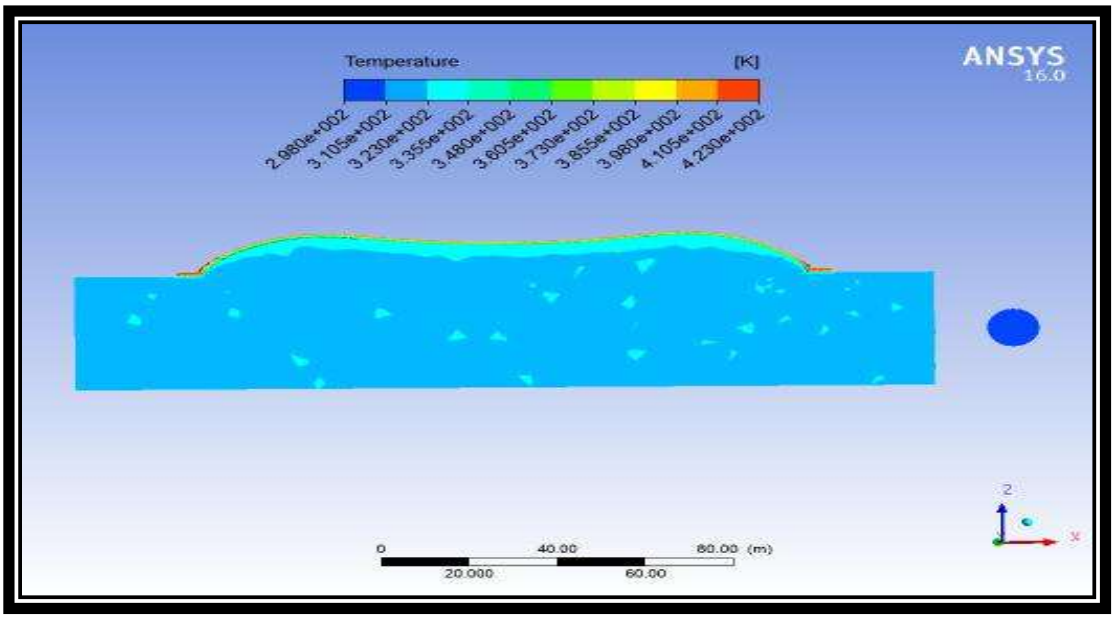
Figure C-4-1:la variation de température sur le plat

La figure C-4-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=323 et Tmin=298)



FigureC-4-2:la variation de température sur le plan 1

La figure C-4-3 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=423 et Tmin=298)



FigureC-4-3:la variation de température sur le plan 2

La figure C-4-4 représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=423 et Tmin=298)

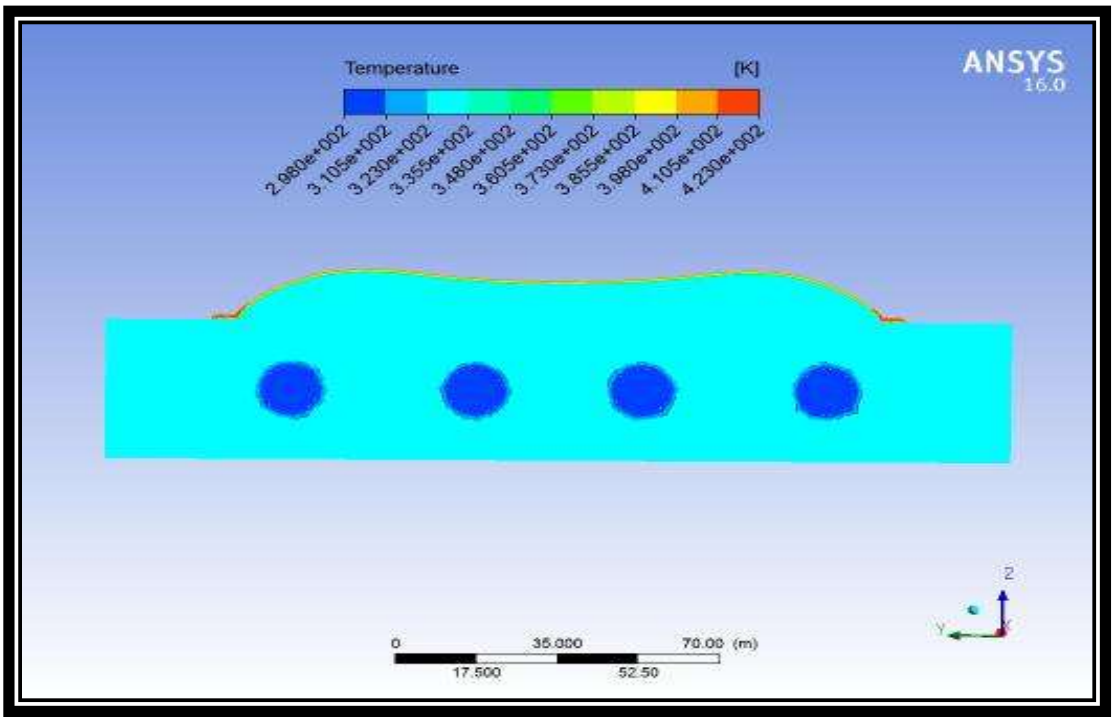


Figure C-4-4:la variation de température sur le plan 3

La figure C-4-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=300 et Tmin=298)

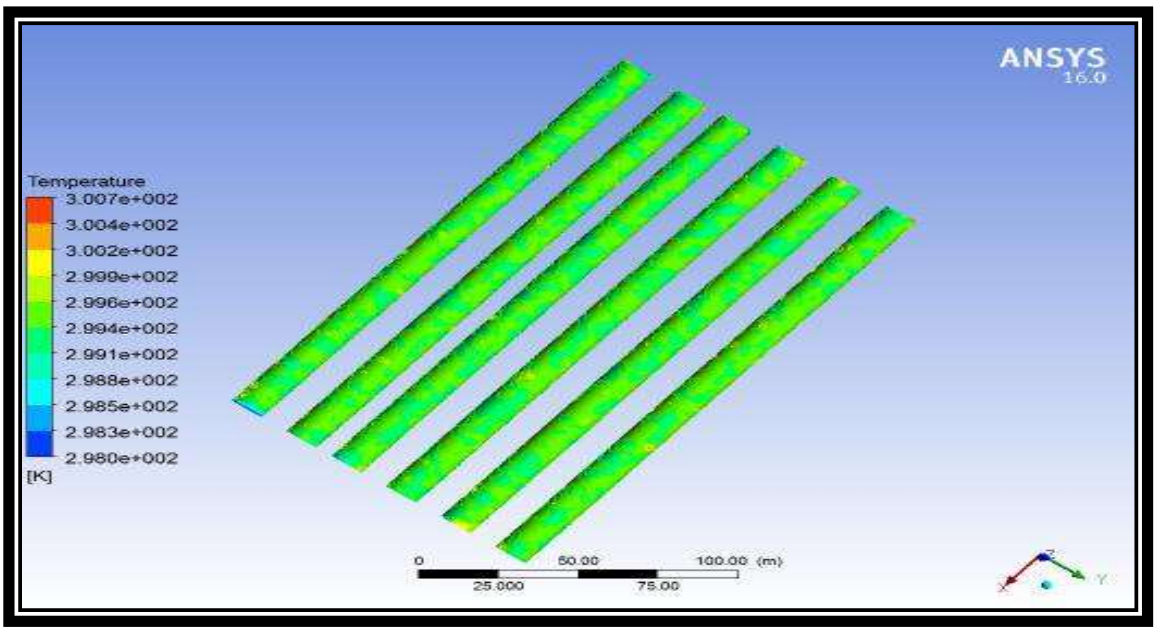


Figure C-4-5:la variation de température sur le circuit

La figure C-4-6 représente la variation de température dans les plaques de cuivre (Tmax=323 et Tmin=323)

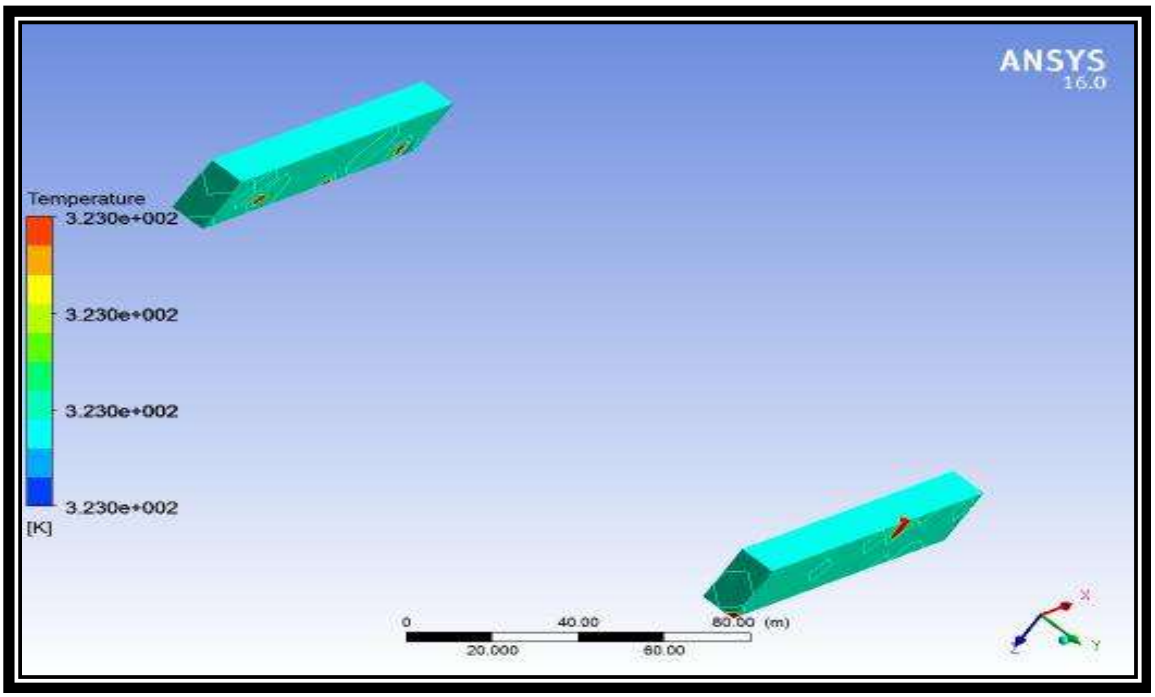


Figure C-4-6:la variation de température sur le domaine de cuivre

Cas 5 (T=298et V=3) :

La figure C-5-1représente la variation de température dans l'assiette avec les condition de fluide à l'entrée sont (T_f=298 K,V_f=3m/s) on aTmin=323K, on remarque que le système est homogène Tmax=323K

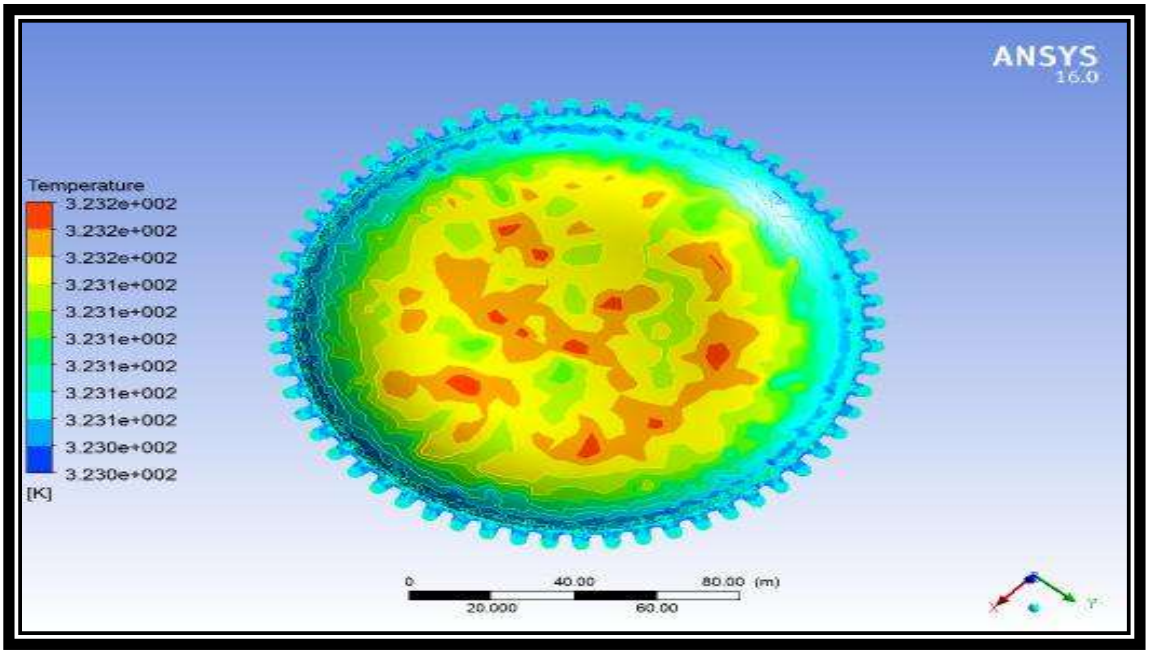


Figure C-5-1:la variation de température sur le plat

La figure C-5-2représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=323 et Tmin=298)

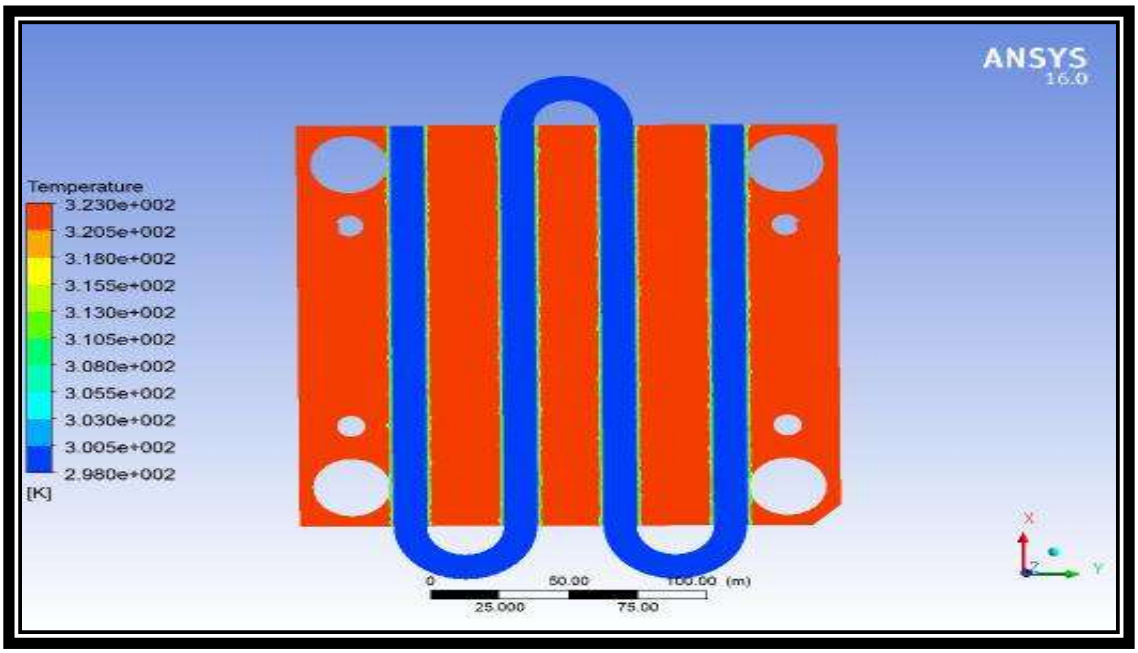
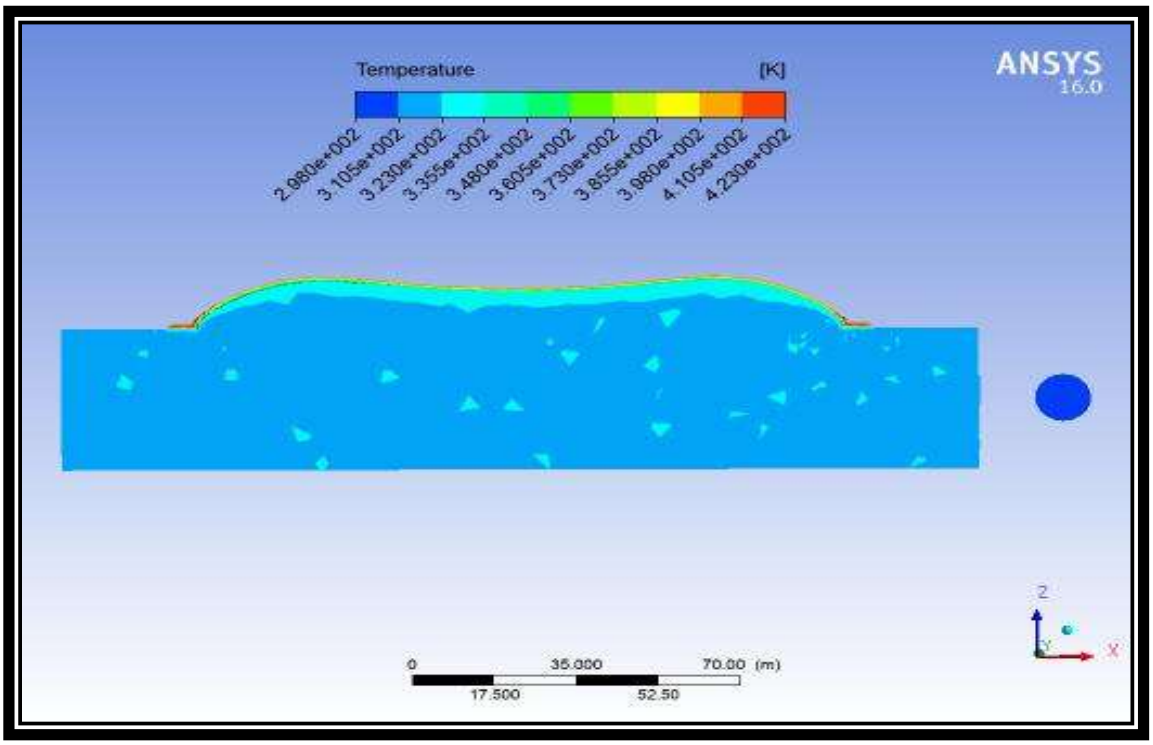


Figure C-5-2:la variation de température sur le plan 1

La figure C-5-3représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=298)



FigureC-5-3:la variation de température sur le plan 2

La figure C-5-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=423 et Tmin=298)

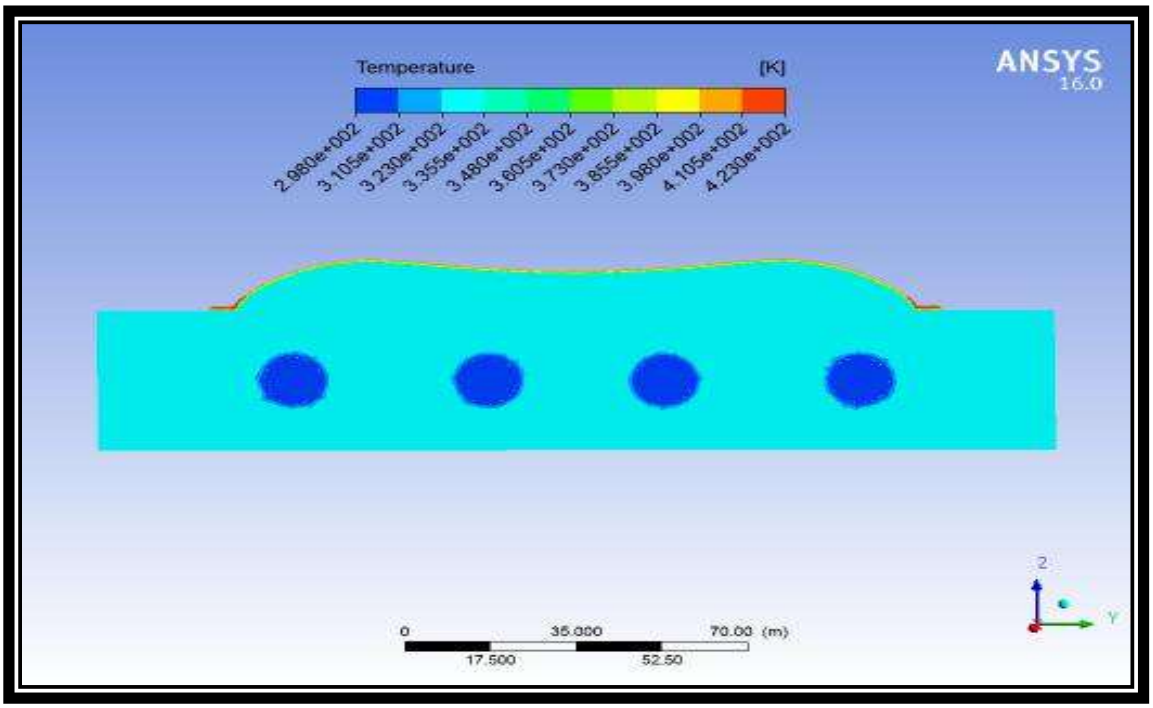


Figure C-5-4:la variation de température sur le plan 3

La figure C-5-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=298 et Tmin=298)

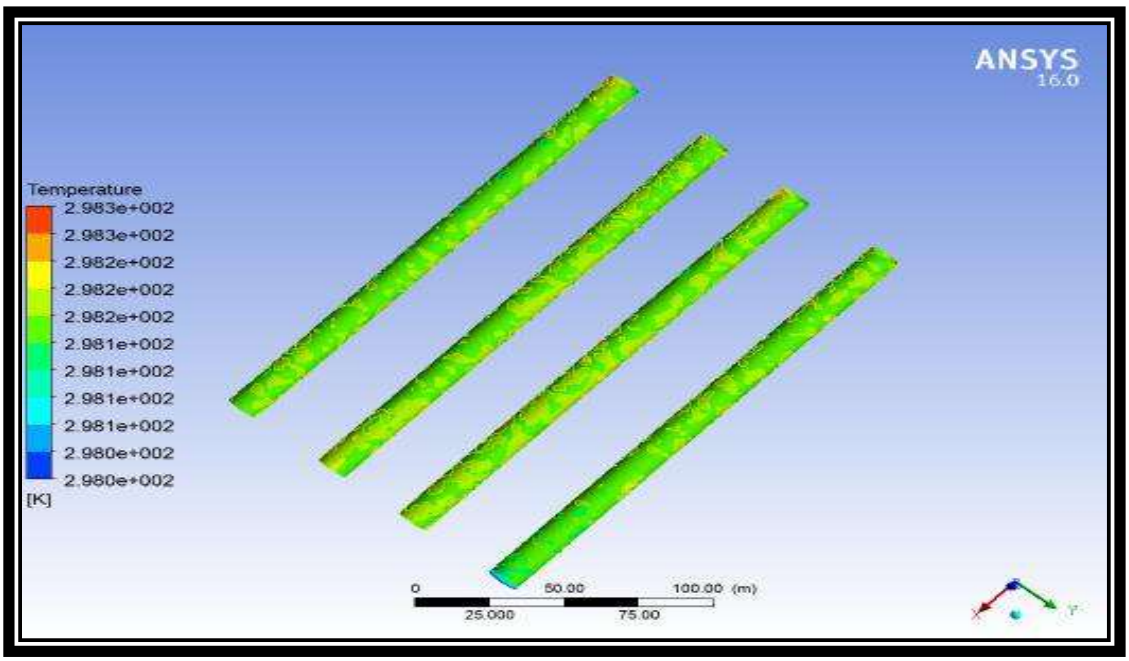


Figure C-5-5:la variation de température sur le circuit

La figure c-5-5 représente la variation de température dans les plaques de cuivre (Tmax=323 et Tmin=323)

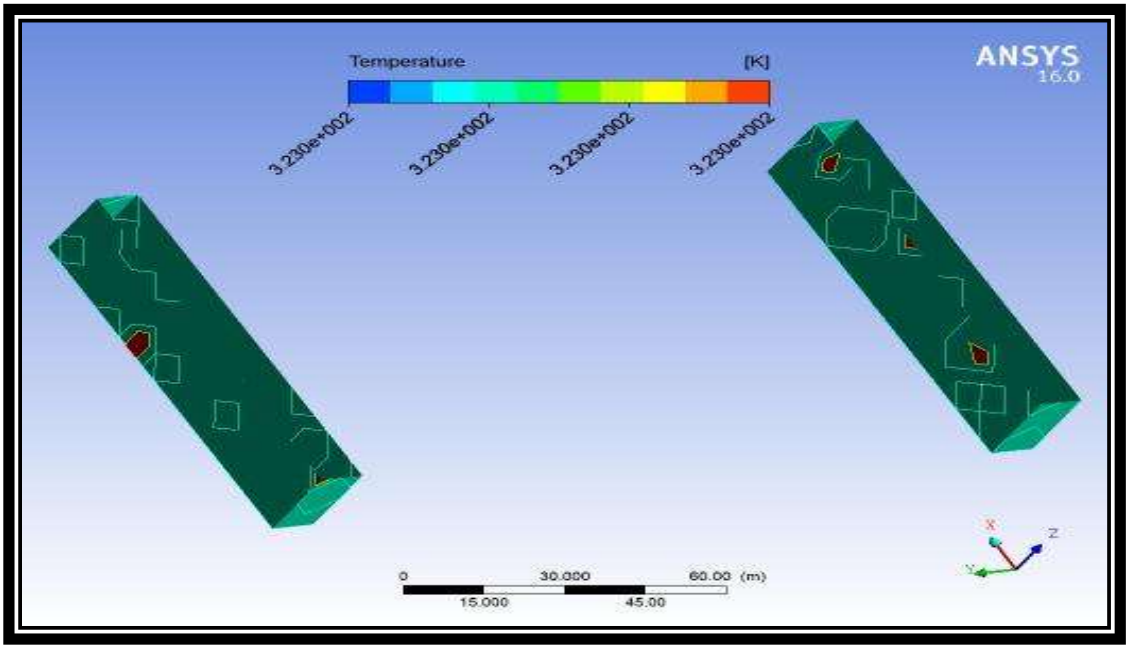


Figure C-5-6:la variation de température sur le domaine de cuivre

D:circuit fermé à 5 coudes :

Cas 1(T=298 et V=0.35) :

La figure D-5-1représente la variation de température dans l'assiette avec les conditions de fluide à l'entrée sont (T_f=298 K,V_f=0.35m/s).on aTmin=323K. On remarque que le système est homogène Tmax=323K.

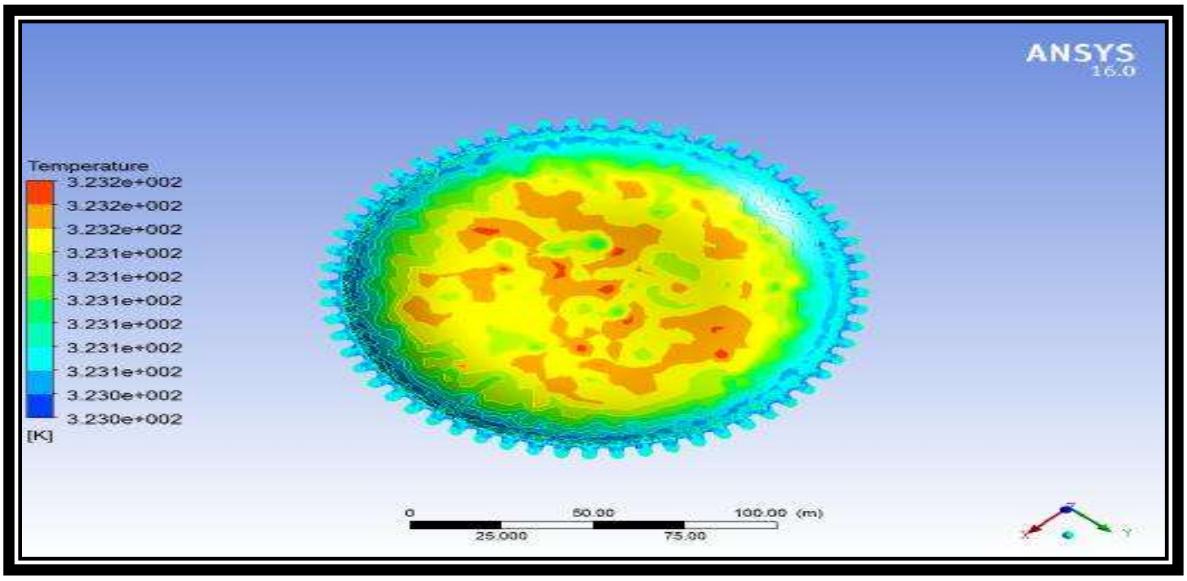


Figure D-1-1:la variation de température sur le plat

La figure D-5-2représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=323 et Tmin=298)

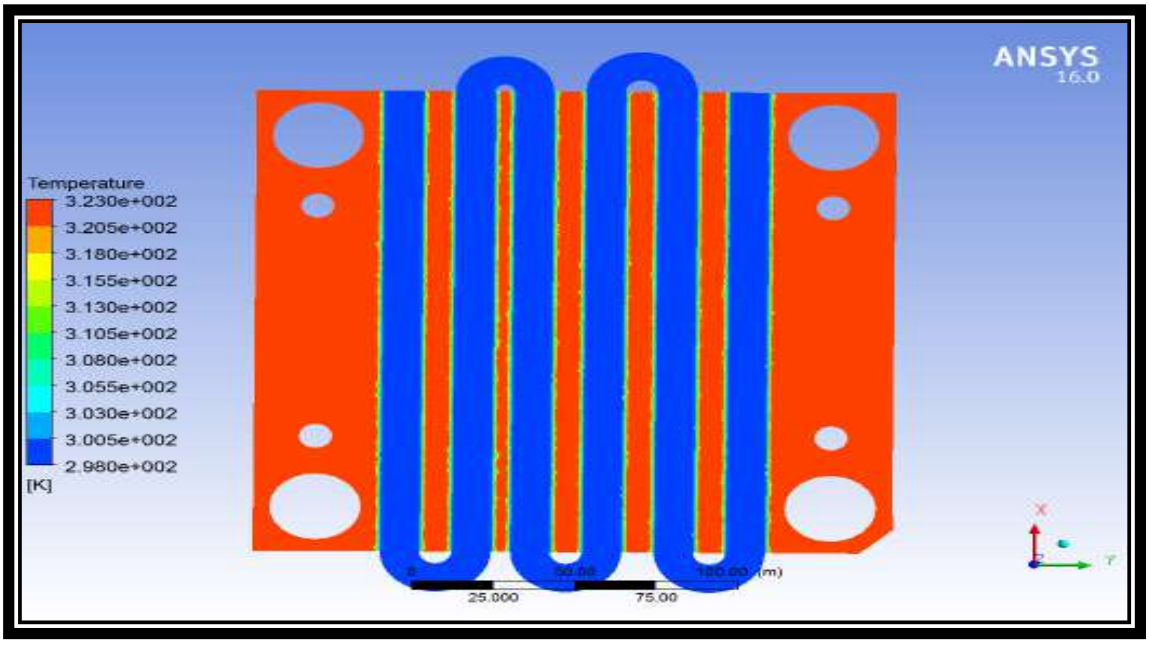


Figure D-1-2:la variation de température sur le plan 1

La figure D-5-3représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=298)

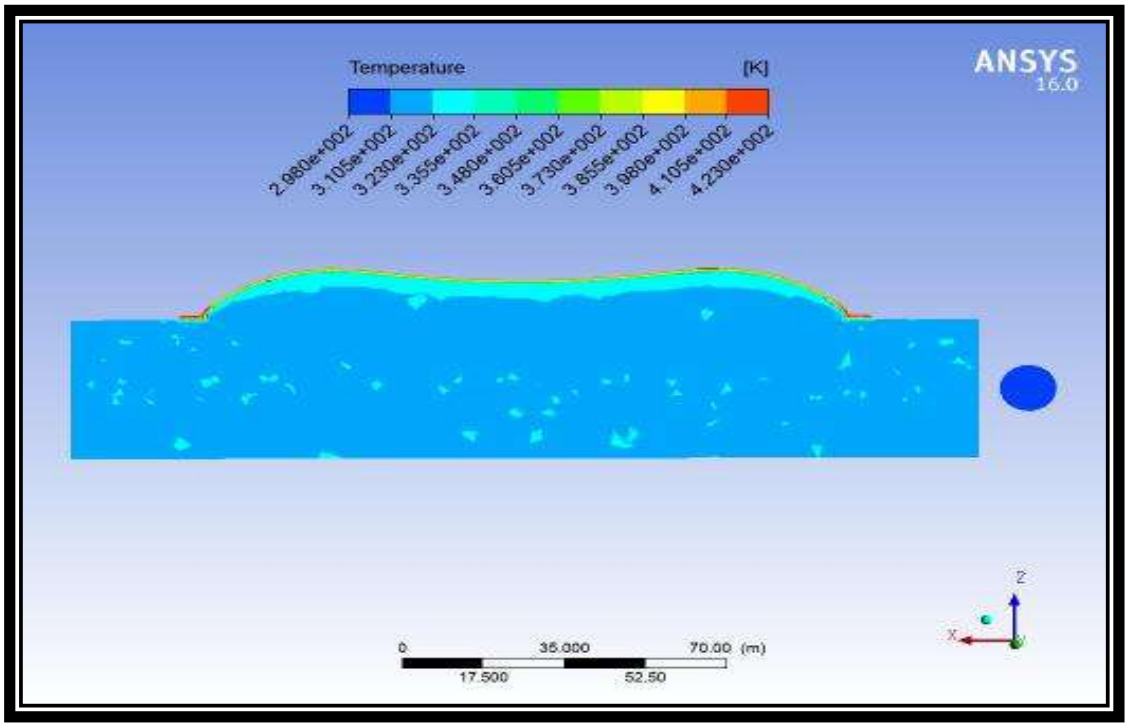


Figure D-1-3:la variation de température sur le plan 2

La figure D-5-4représente la variation de température dans le plans2 (Tmax=423 et Tmin=298)

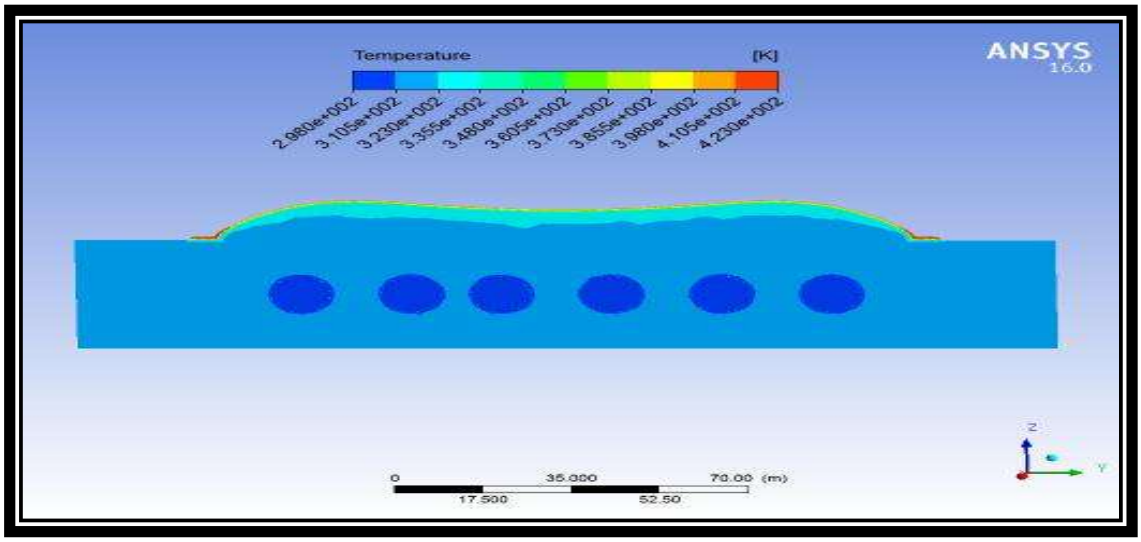


Figure D-1-4: la variation de température sur le plan 3

La figure B-5-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=300 et Tmin=298)

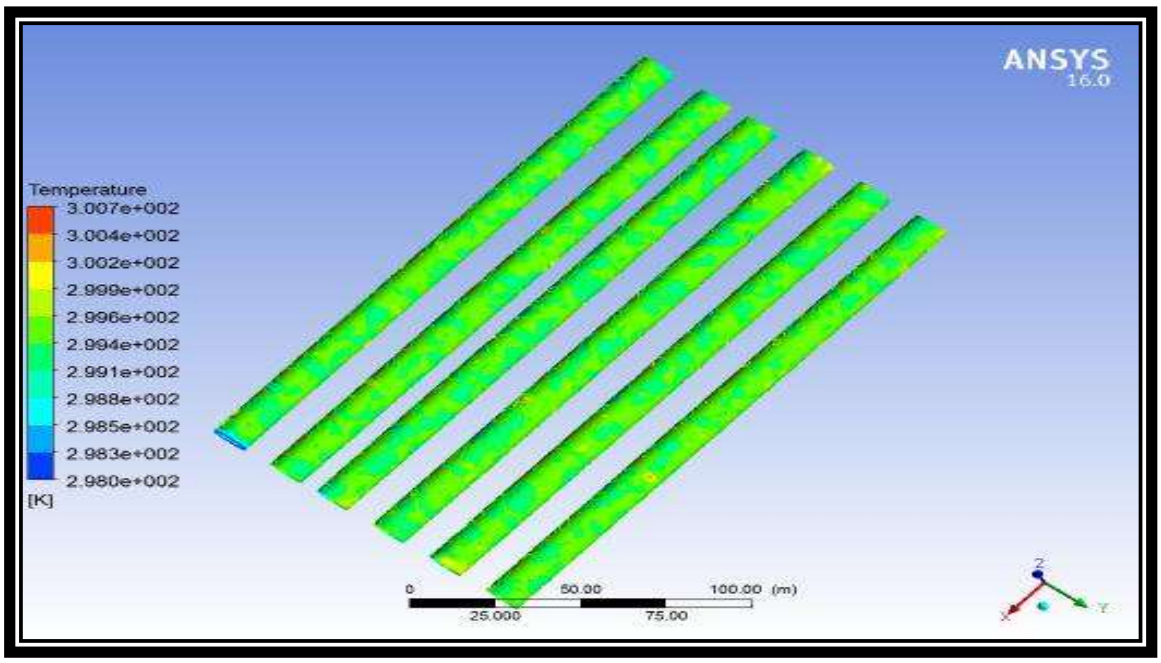


Figure D-1-5: la variation de température sur le circuit

Cas 2(T=283 et V=0.35) :

Dans ce cas nous avons changé la température de fluide à l'entrée (T=283), Tmin=323K et Tmax=323K, on remarque que le système est homogène

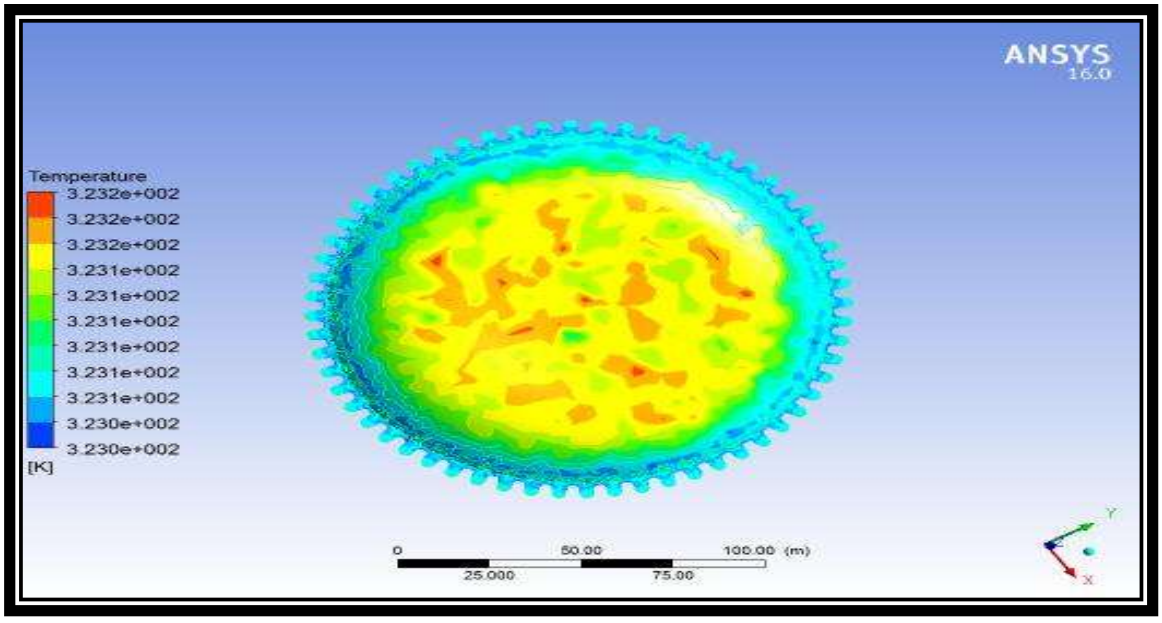


Figure D-2-1:la variation de température sur le plat

La figure D-2-2 représente la variation de température dans le plans1 (Tmax=323 et Tmin=283)

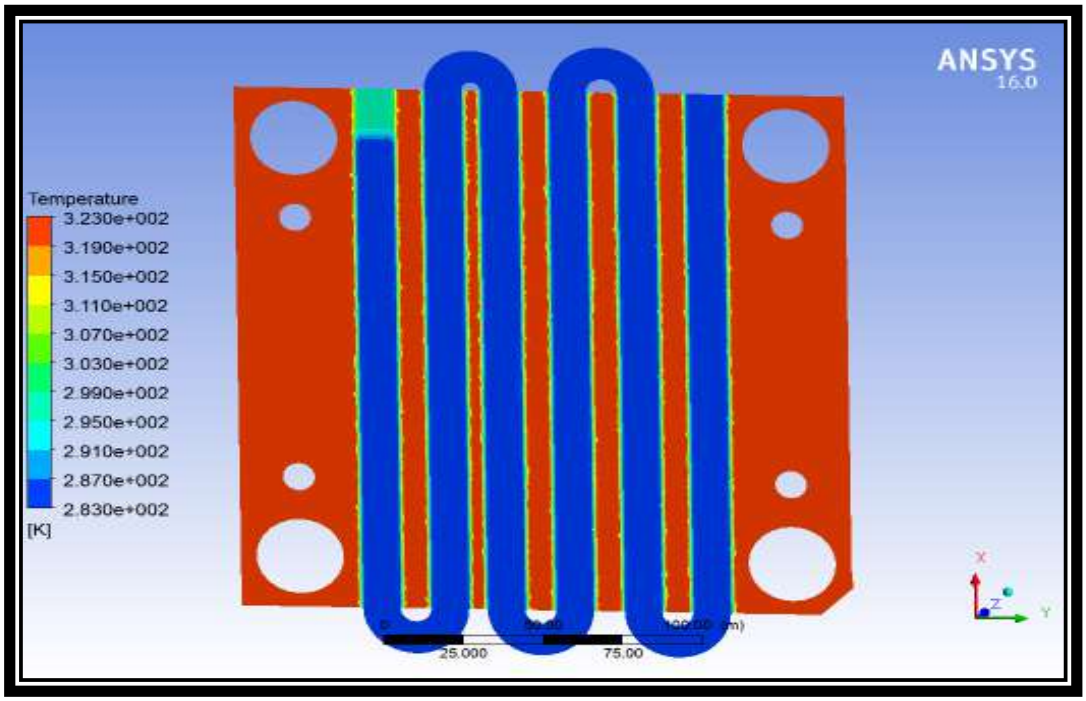


Figure D-2-2:la variation de température sur le plan 1

La figure D-2-3représente la variation de température dans le plans2 (Tmax=423 et Tmin=298)

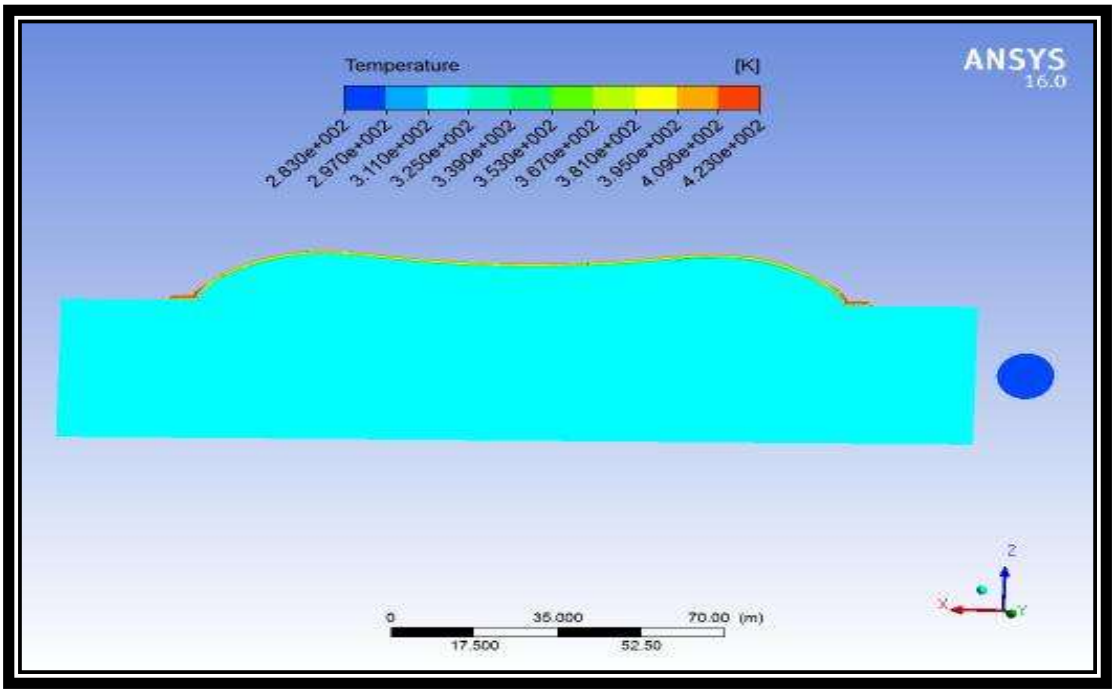


Figure D-2-3:la variation de température sur le plan 2

La figure D-2-4représente la variation de température dans le plans3(Tmax=423 et Tmin=283)

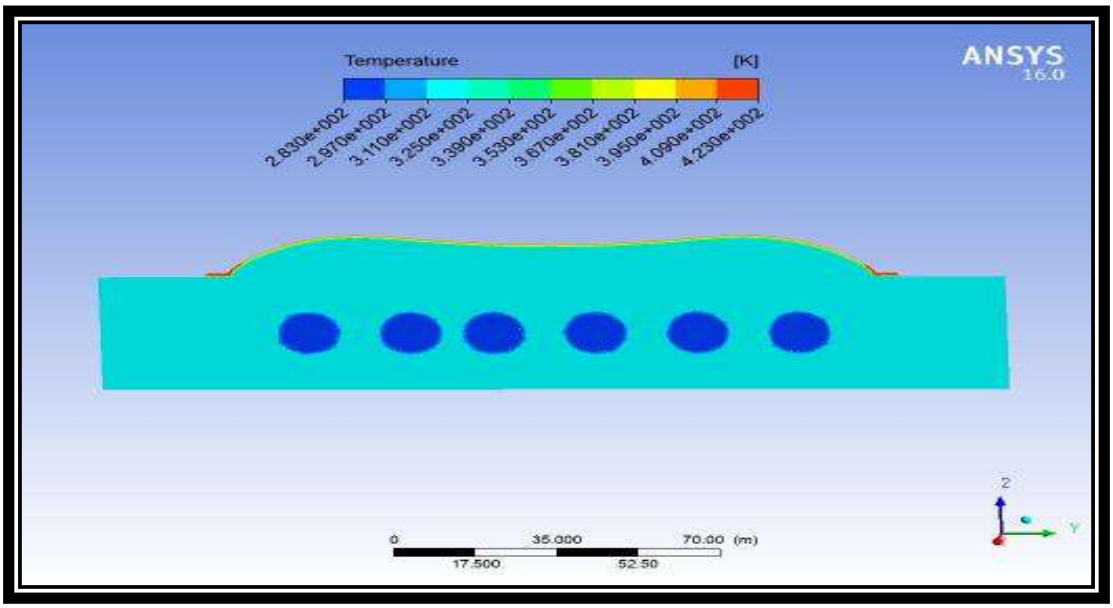


Figure D-2-4:la variation de température sur le plan 3

La figure D-2-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=300 et Tmin=284)

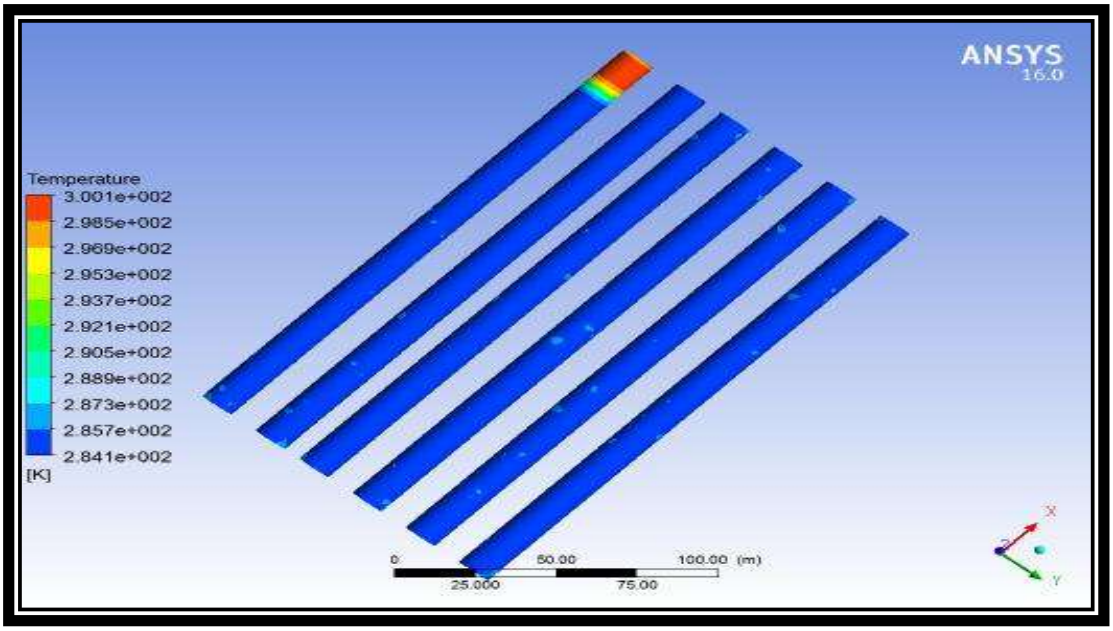
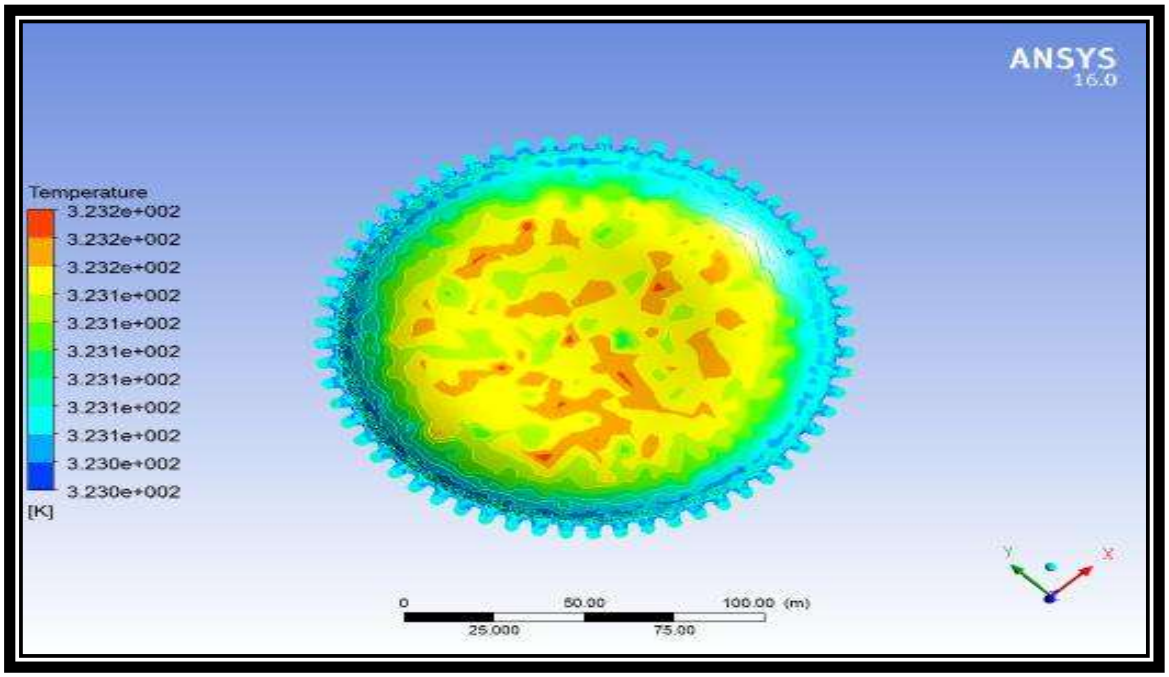


Figure D-2-5:la variation de température sur le circuit

Cas 3(T=275 et V=0.35) :

La figure D-3-1représente la variation de température dans l'assiette avec les condition de fluide à l'entrée sont (T_f=275 K,V_f=0.35m/s) on a Tmin=323K, on remarque que le système est homogène Tmax=323K



FigureD-3-1:la variation de température sur le plat

La figure D-3-2 représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=323 et Tmin=275)

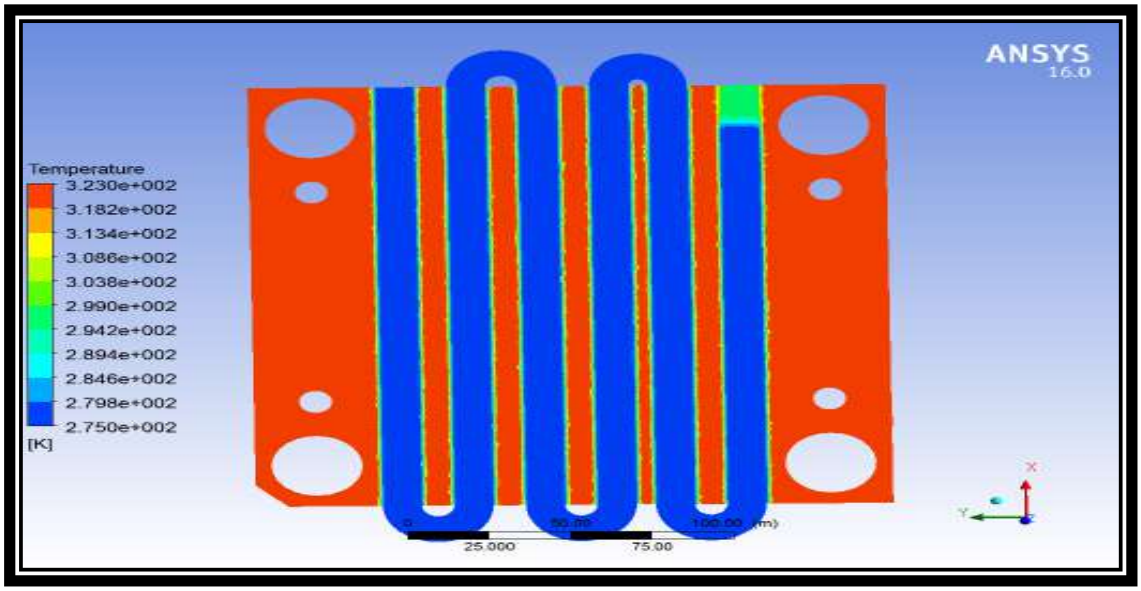


Figure D-3-2:la variation de température sur le plan 1

La figure D-3-3représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=275)

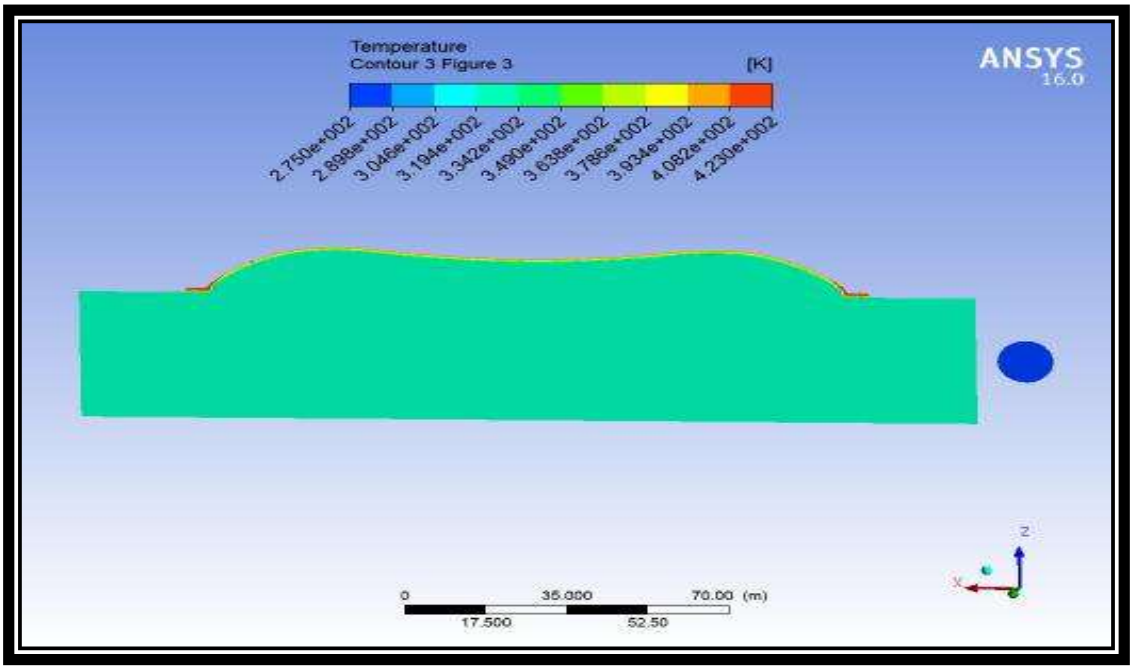


Figure D-3-3:la variation de température sur le plan 2

La figure D-3-4 représente la variation de température dans le plans 3(Tmax=423 et Tmin=275)

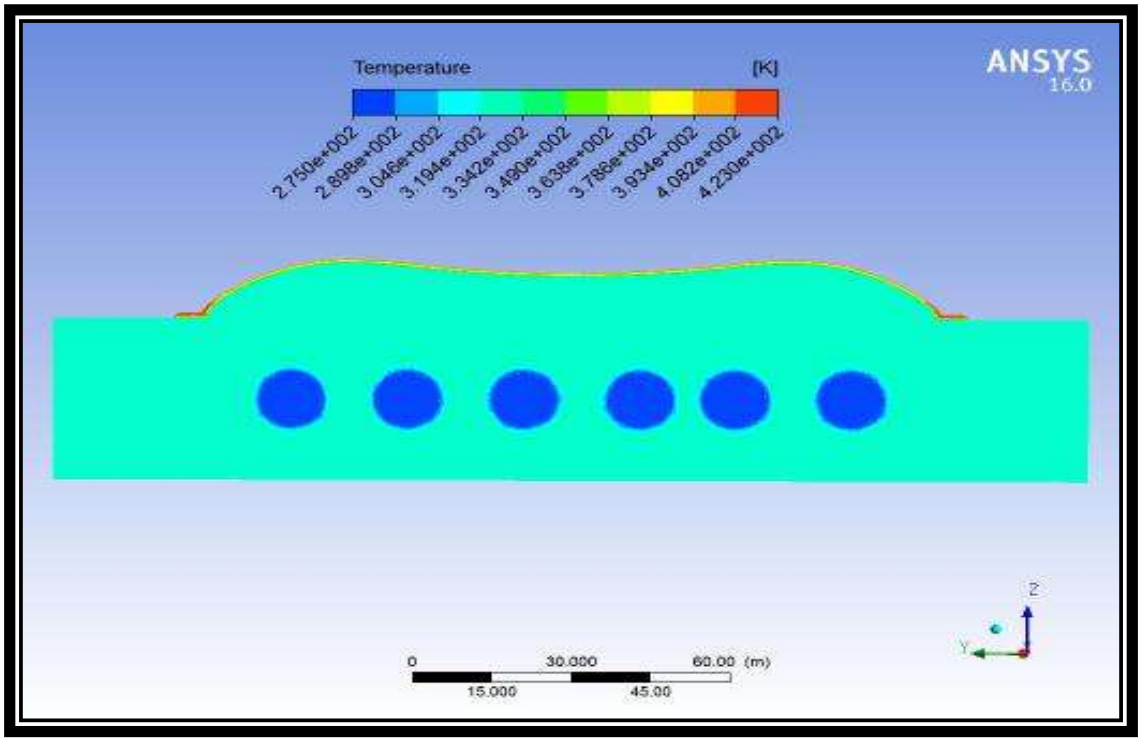


Figure D-3-4:la variation de température sur le plan 3

La figure D-3-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=300 et Tmin=276)

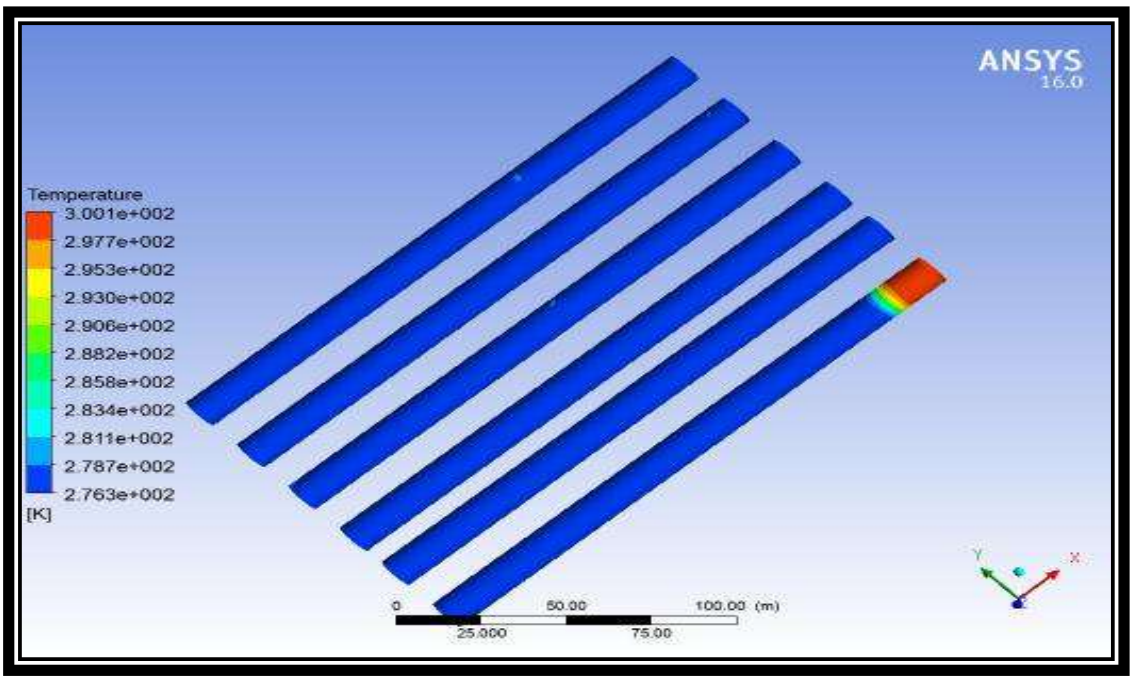


Figure D-3-5:la variation de température sur le circuit

Cas 4(T=298 et V=1) :

dans ce cas nous avons changé la température de fluide à l'entrée (**V=1 m/s**), Tmin=323K et Tmax=323K , on remarque que le système est homogène

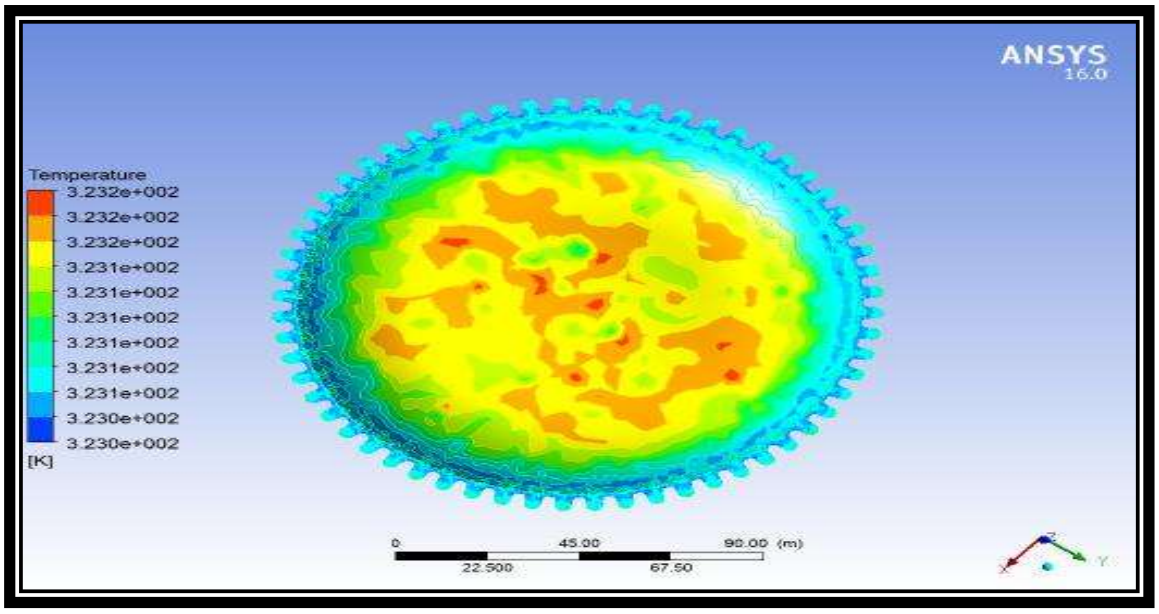
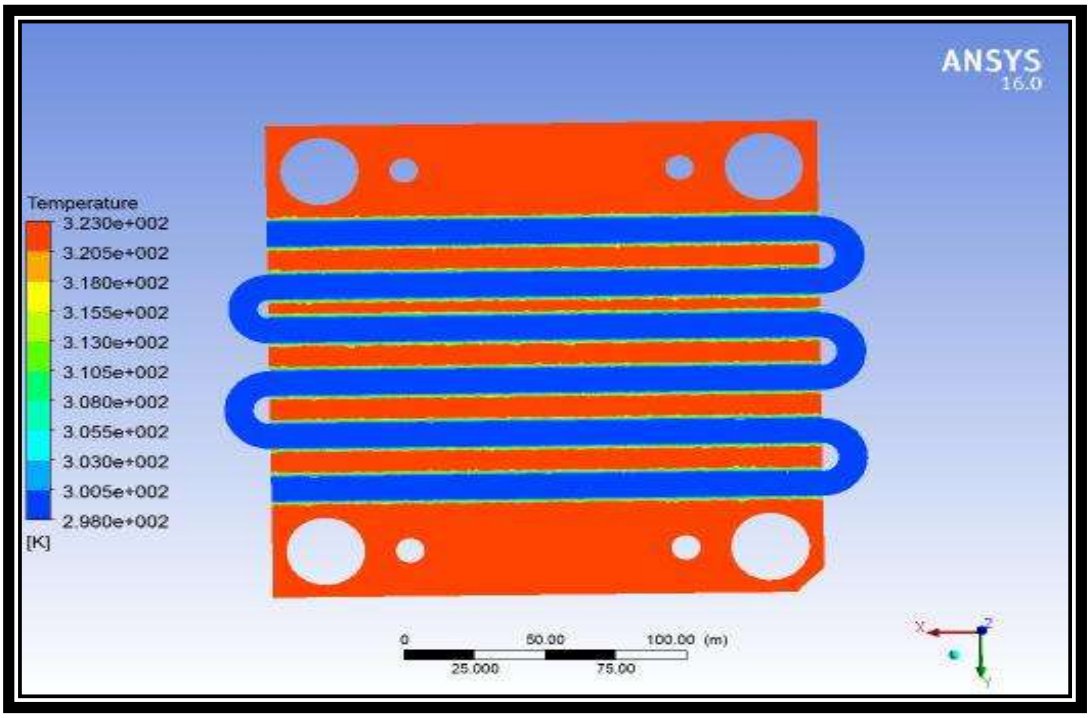


Figure D-4-1:la variation de température sur le plat

La figure D-4-2représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=323 et Tmin=298)



FigureD-4-2:la variation de température sur le plan 1

La figure D-4-3représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=298)

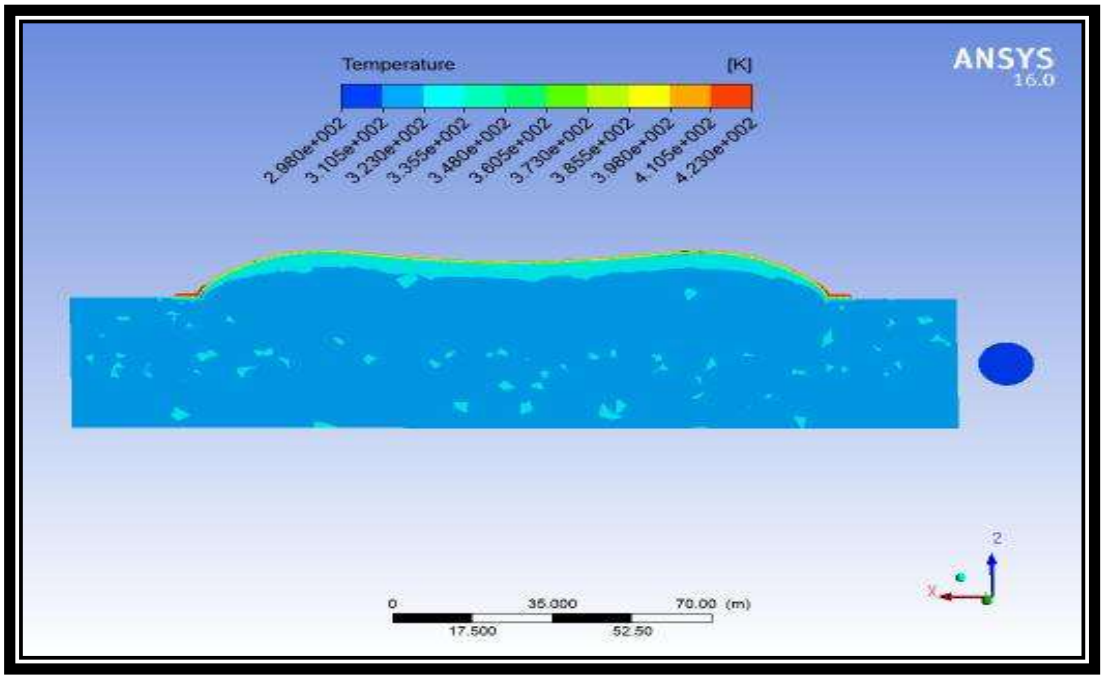
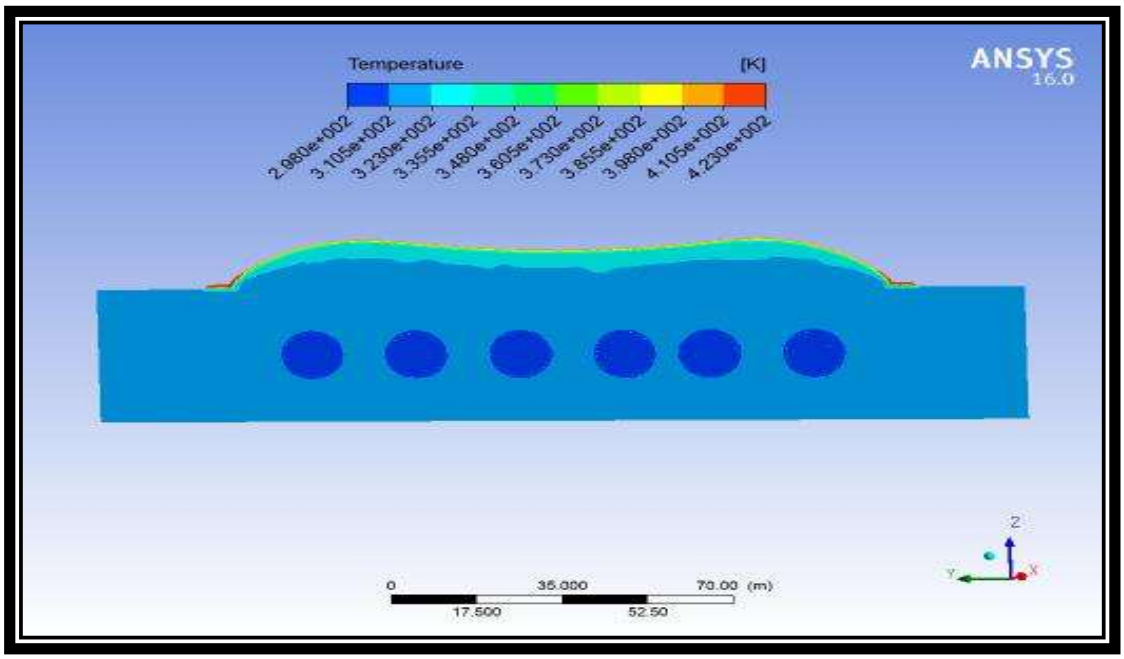


Figure D-4-3:la variation de température sur le plan 2

La figure D-4-4représente la variation de température dans le plans 3(Tmax=423 et Tmin=275)



FigureD-4-4:la variation de température sur le plan 3

La figure D-4-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=300 et Tmin=298)

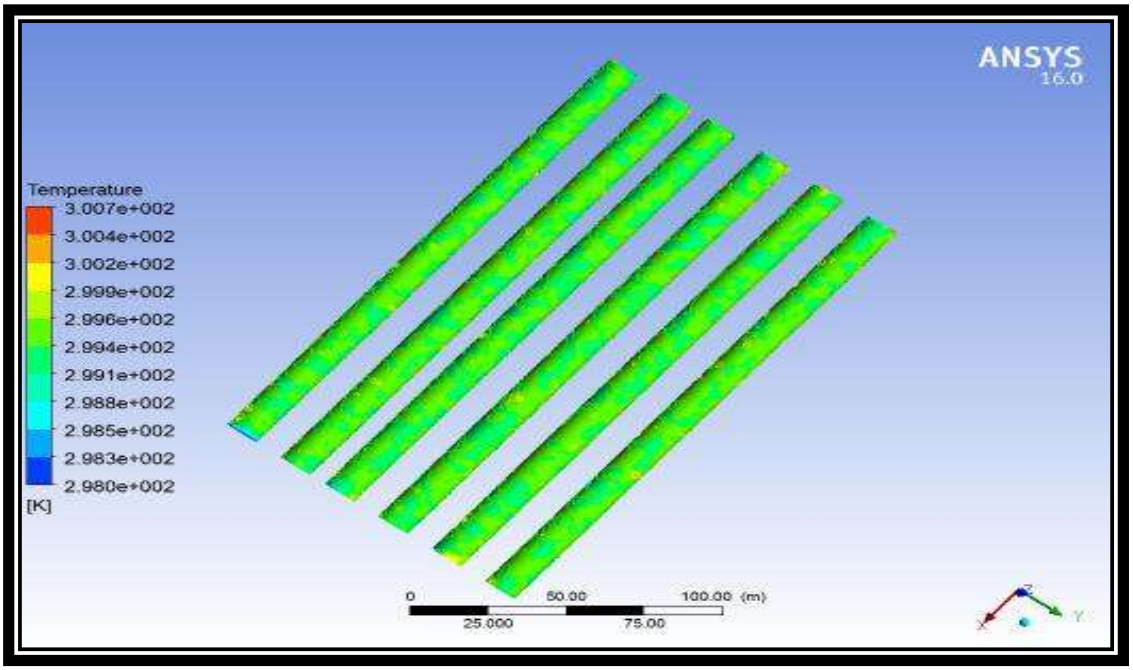


Figure D-4-5: la variation de température sur le circuit

Cas 5(T=298 et V=3 m/s) :

La figure D-5-1représente la variation de température dans l'assiette avec les condition de fluide a l'entrée sont (T_f=298 K,V_f=3m/s) on aTmin=323K, on remarque que le système est homogène Tmax=323K

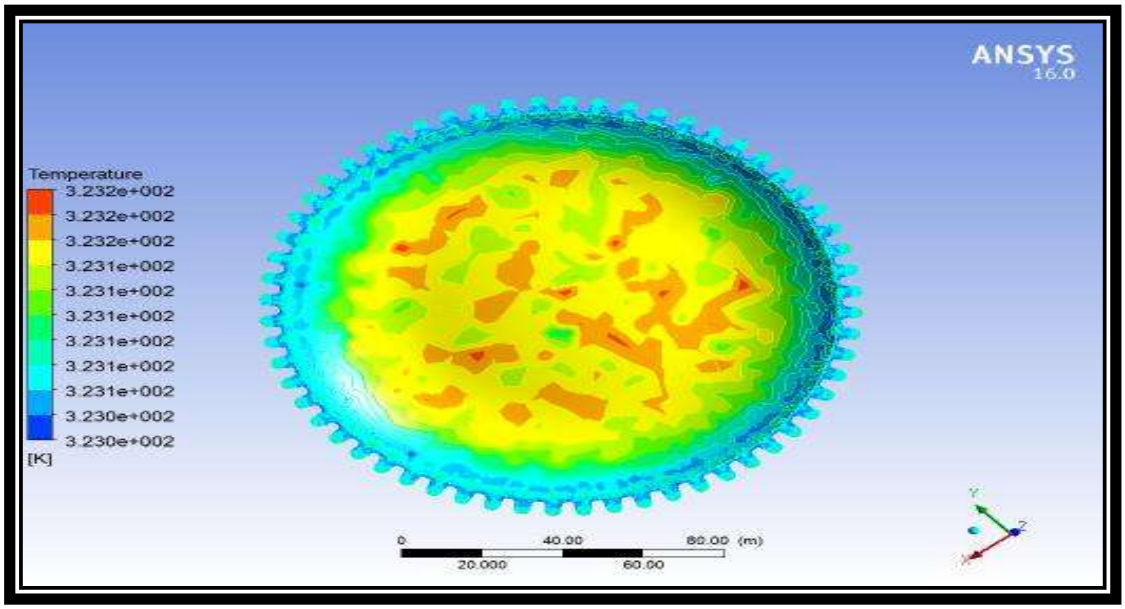


Figure D-5-1:la variation de température sur le plat

La figure D-5-2représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=323 et Tmin=298)

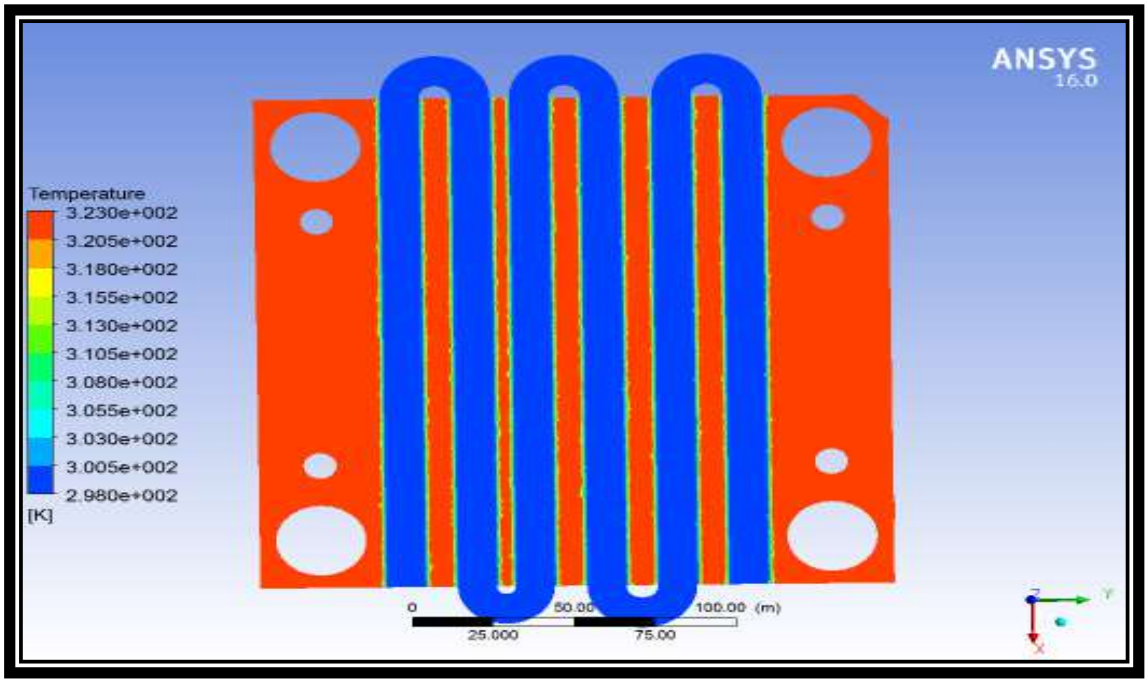


Figure D-5-2:la variation de température sur le plan 1

La figure D-5-3représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=298)

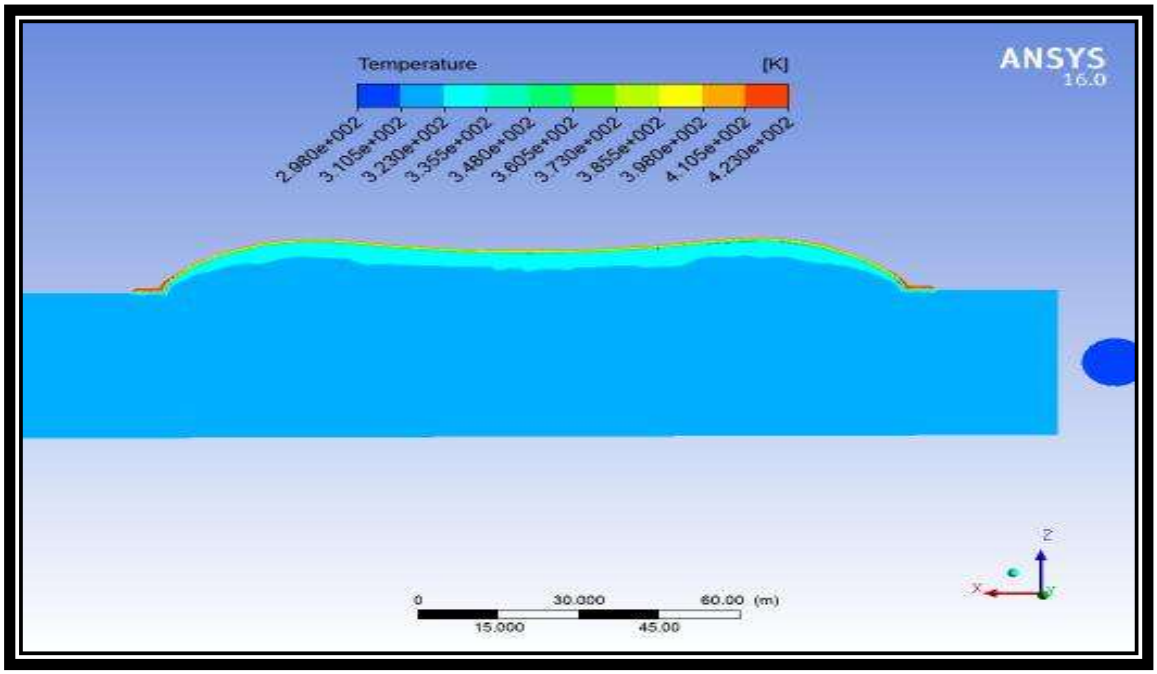


Figure D-5-3:la variation de température sur le plan 2

La figure D-5-4représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=423 et Tmin=298)

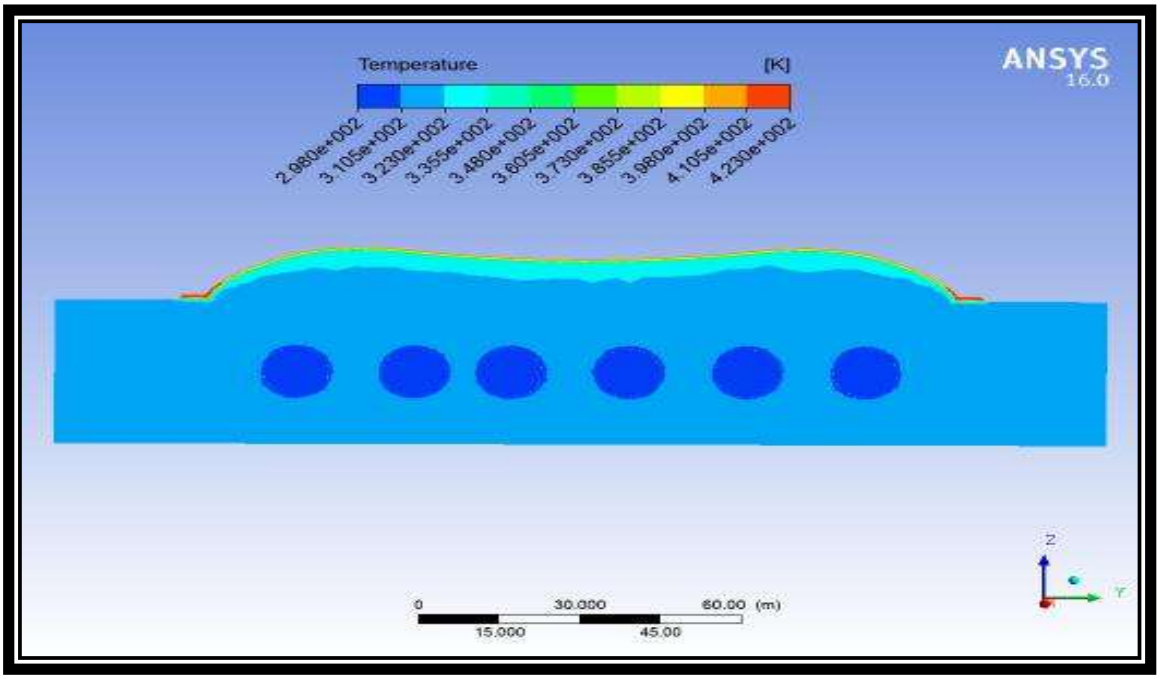


Figure D-5-4:la variation de température sur le plan 3

La figure D-5-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=298 et Tmin=298)

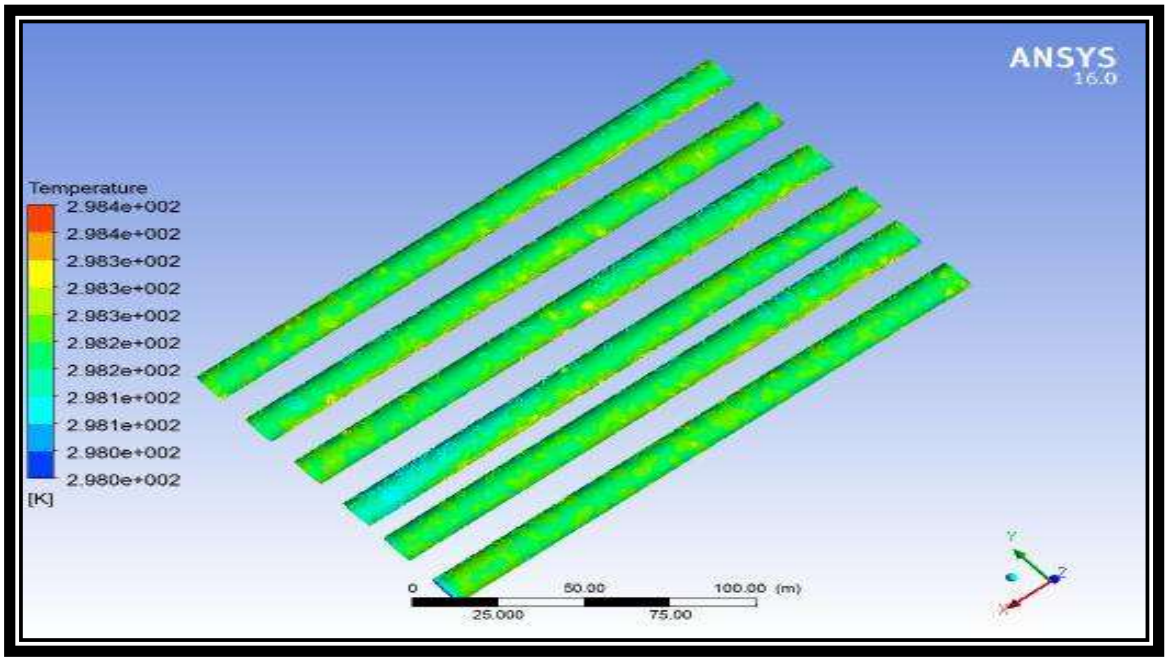


Figure D-5-5:la variation de température sur le circuit

E : la matière ABS (circuit fermé) :

Cas 1(T=298 et V=0.35) :

La figure E-1-1représente la variation de température dans l'assiette avec les conditions de fluide a l'entrée sont (T_f=298 K, Vf=0.35m/s) on a Tmin=311K, on remarque que la température est élever dans l'extrémité de l'assiette Tmax=317K

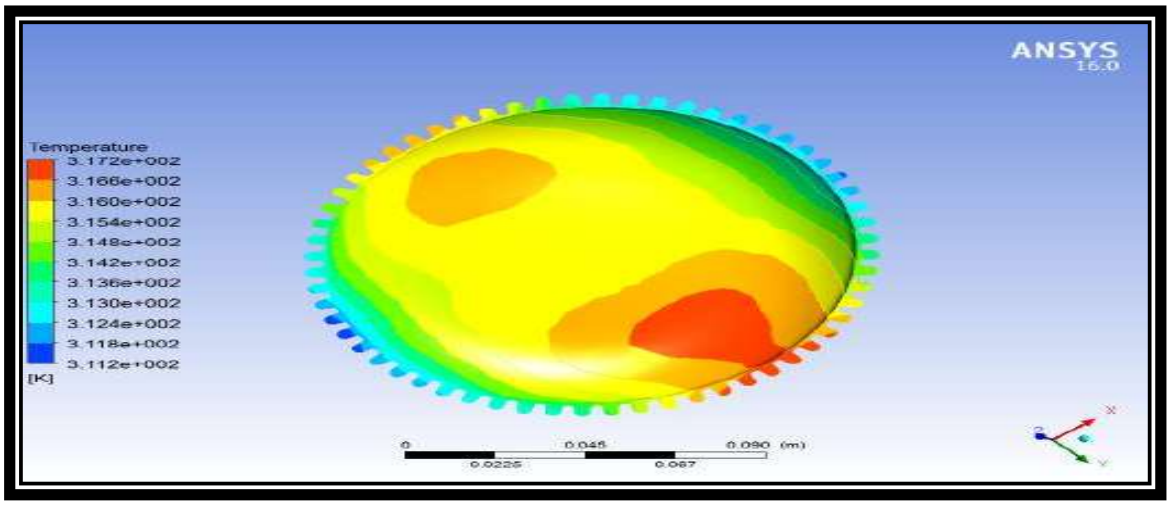


Figure E-1-1:la variation de température sur le plat

La figure E-1-2 représente la variation de température dans le plans 1(Tmax=319 et Tmin=298)

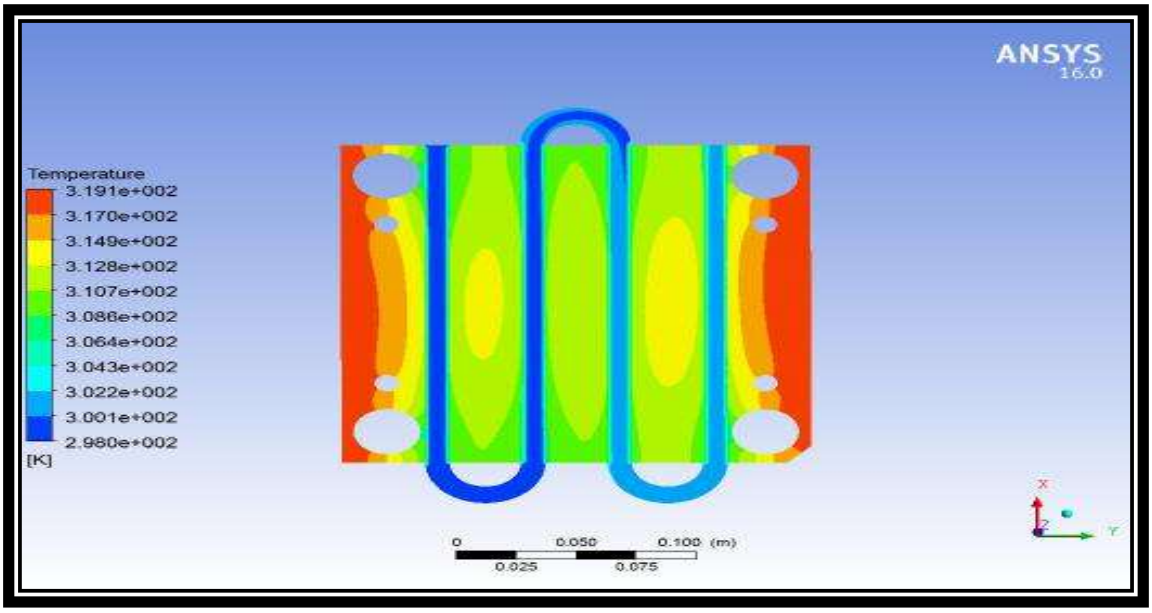


Figure E-1-2:la variation de température sur le plan 1

La figure E-1-3 représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=396 et Tmin=299)

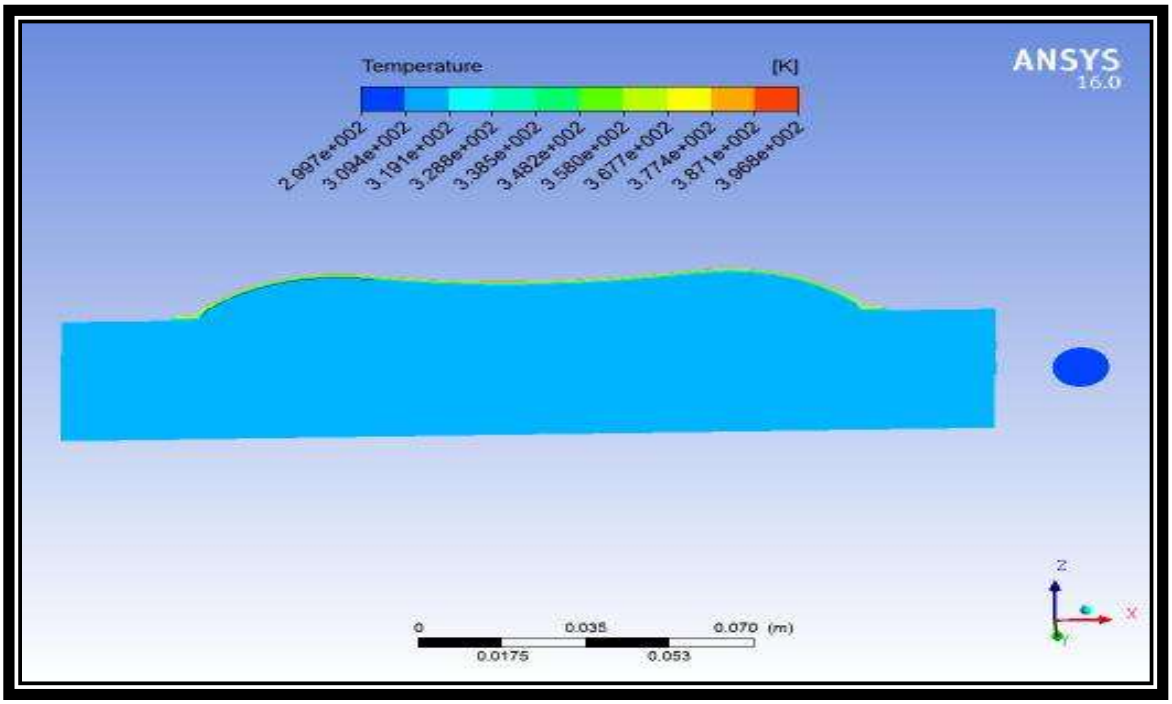
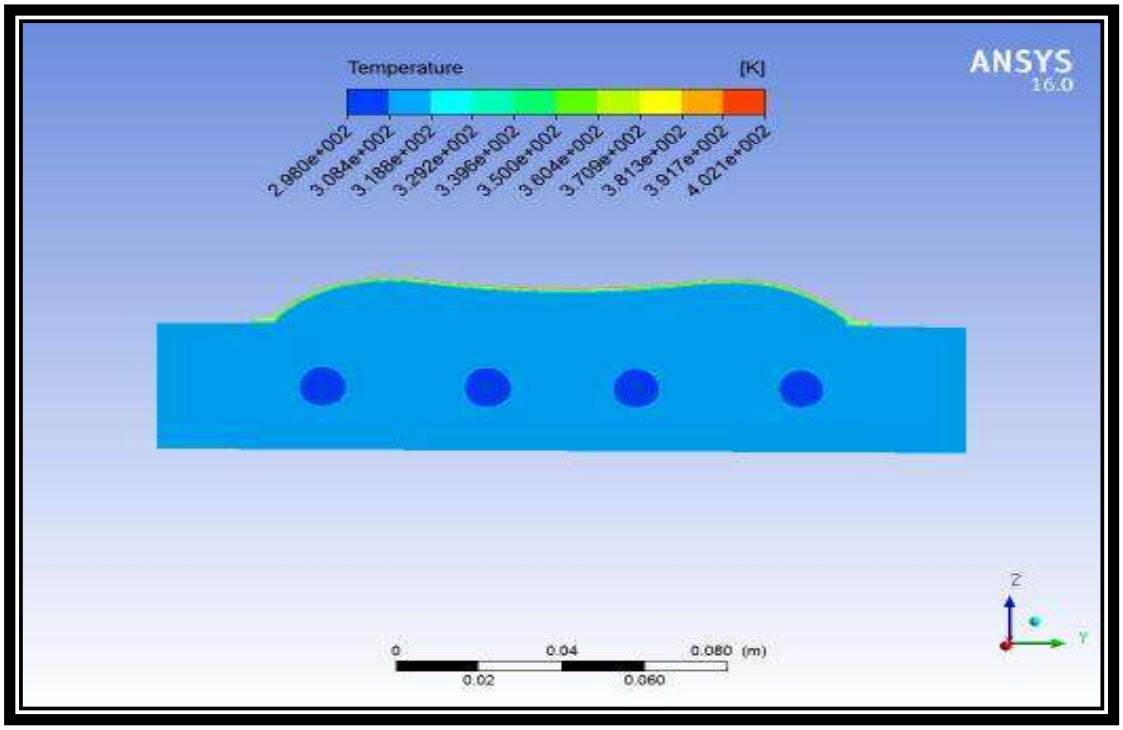


Figure E-1-3:la variation de température sur le plan 2

La figure E-1-4représente la variation de température dans le plans 3(Tmax=402 et Tmin=298)



FigureE-1-4:la variation de température sur le plan 3

La figure E-1-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=313 et Tmin=298)

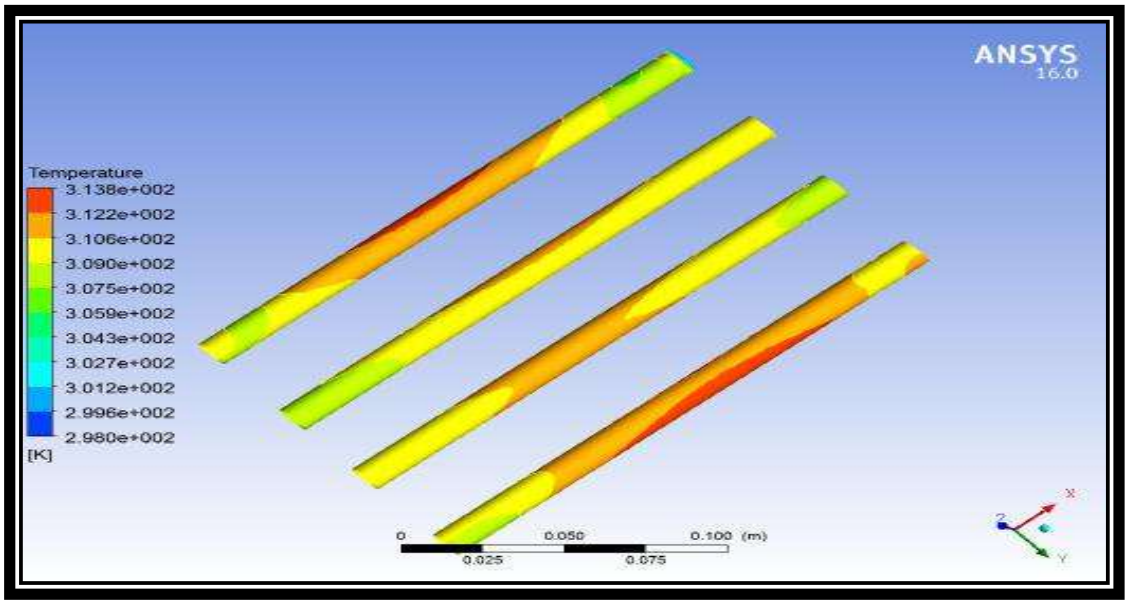


Figure E-1-5:la variation de température sur le circuit

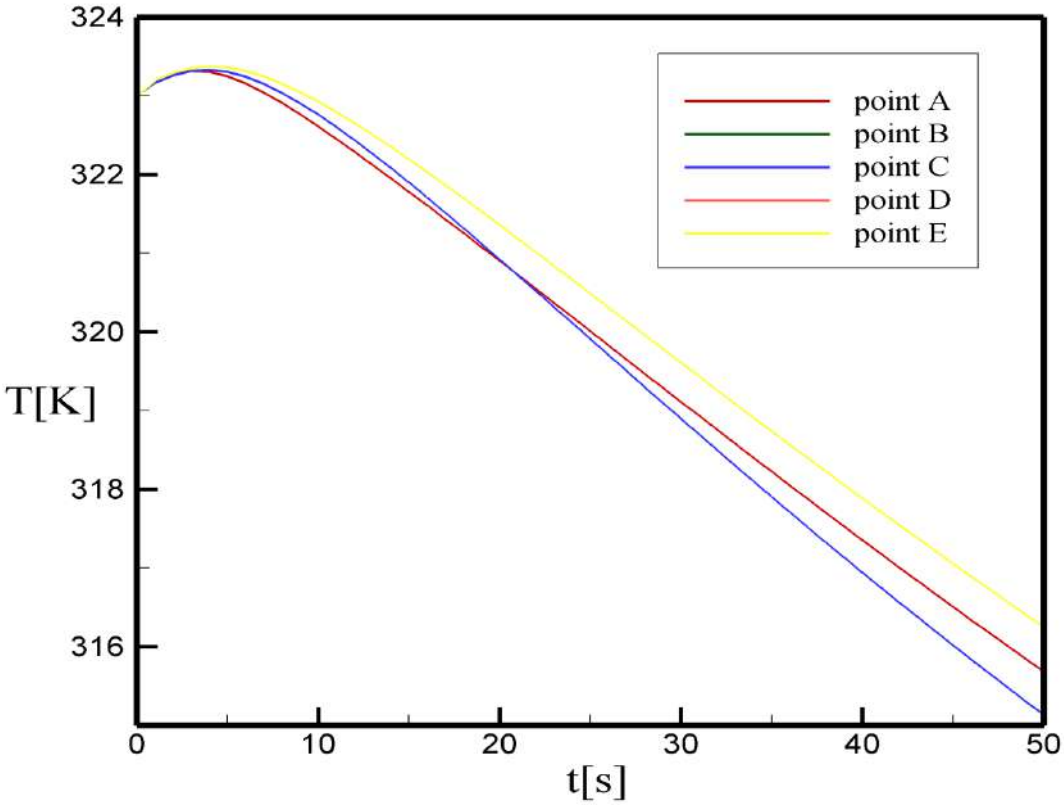


Figure E-1-6:courbe de variation de température en fonction du temps

Cas 2(T=283 et V=0.35) :

La figure E-2-1 représente la variation de température dans l'assiette avec le température de polymère=423k et les condition de fluide a l'entrée sont (T_f=275K,V_f=0.35m/s) on a Tmin=311K, on remarque que la température élever dons l' extrémités de l'assiette Tmax=317K

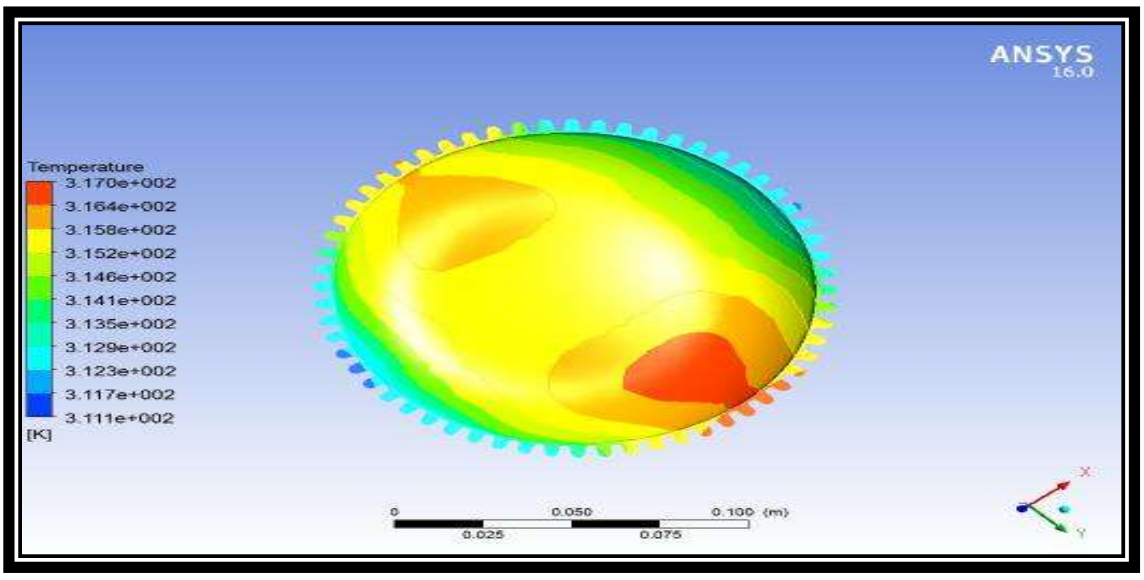


Figure E-2-1:la variation de température sur le plat

La figure E-2-2 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=318et Tmin=298)

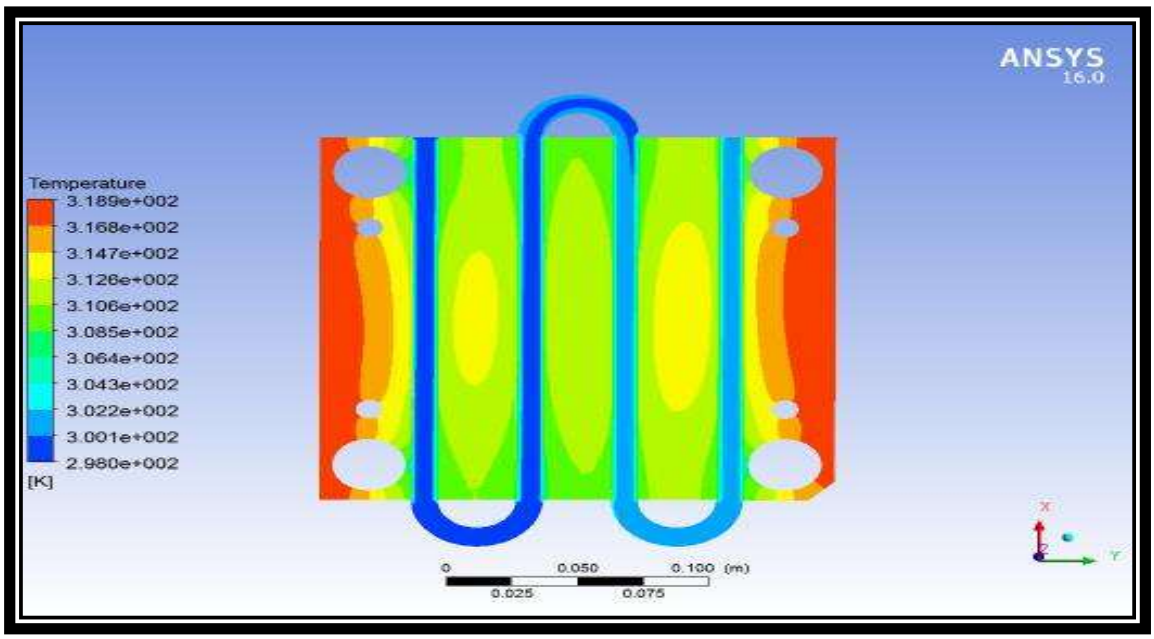


Figure E-2-2:la variation de température sur le plan 1

La figure E-2-3représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=396et Tmin=299)

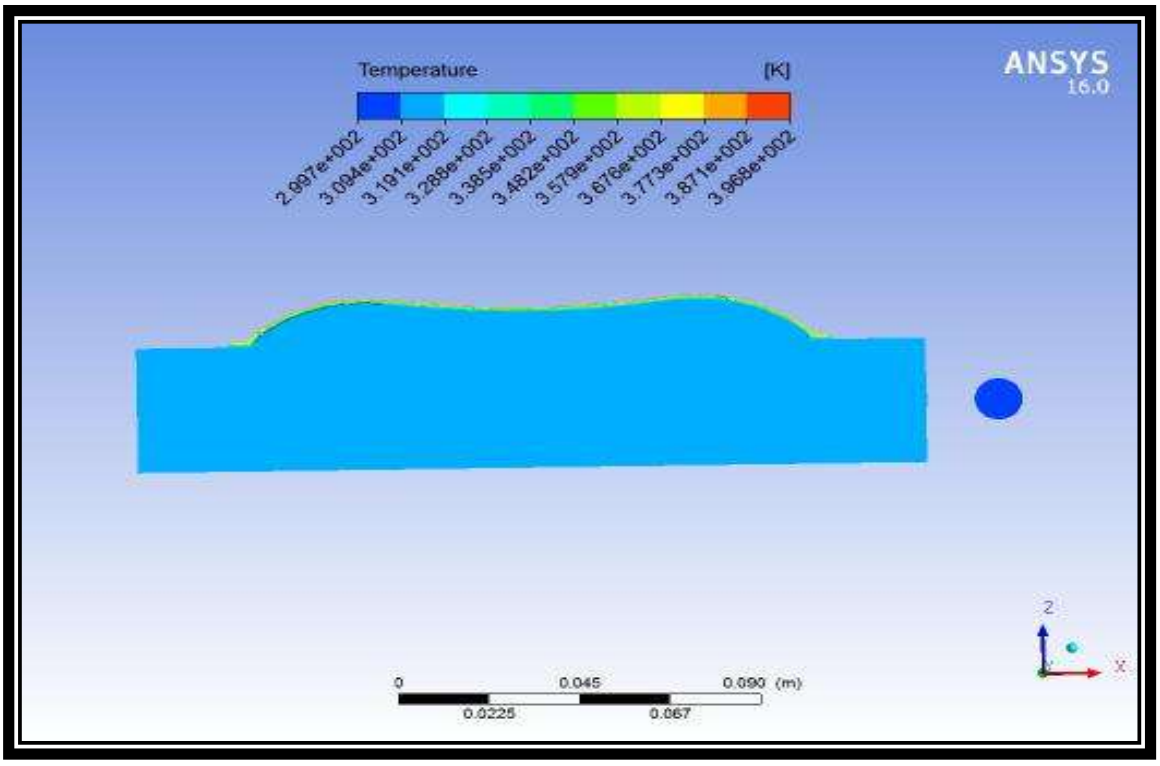


Figure E-2-3:la variation de température sur le plan 2

La figure E-2-4représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=402et Tmin=298)

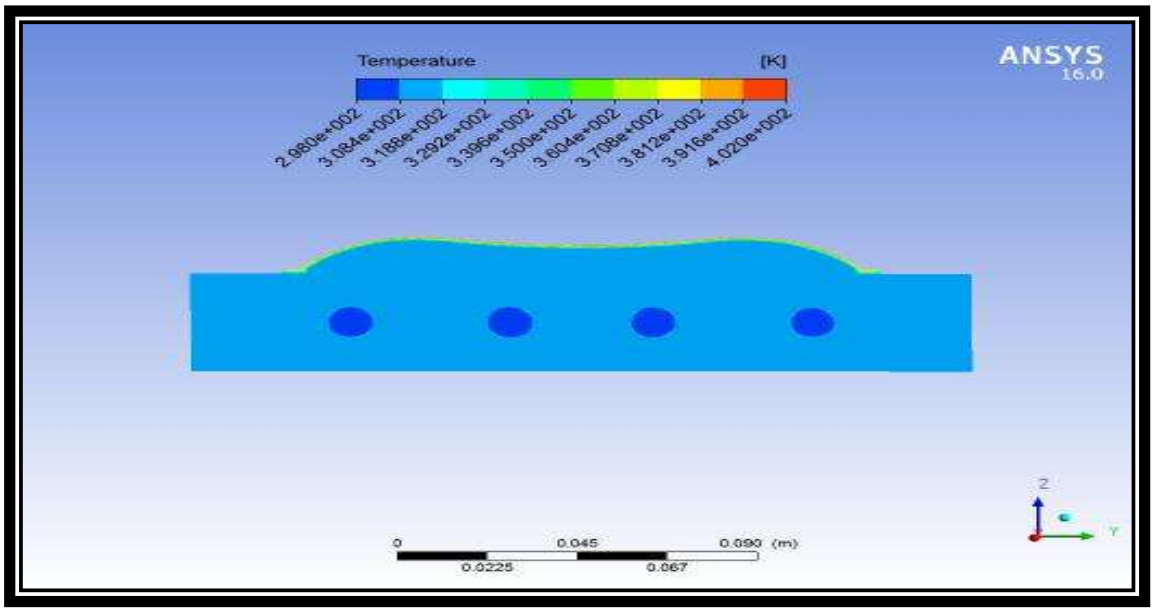


Figure E-2-4:la variation de température sur le plan 3

La figure E-2-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=313 et Tmin=298)

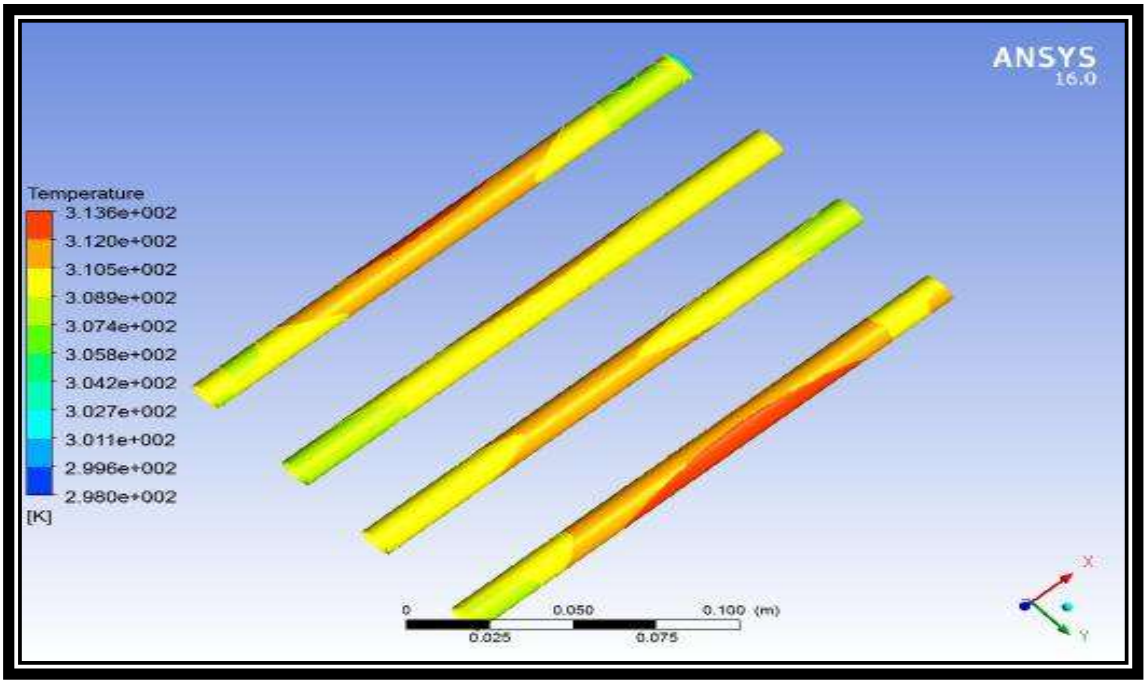


Figure E-2-5:la variation de température sur le circuit

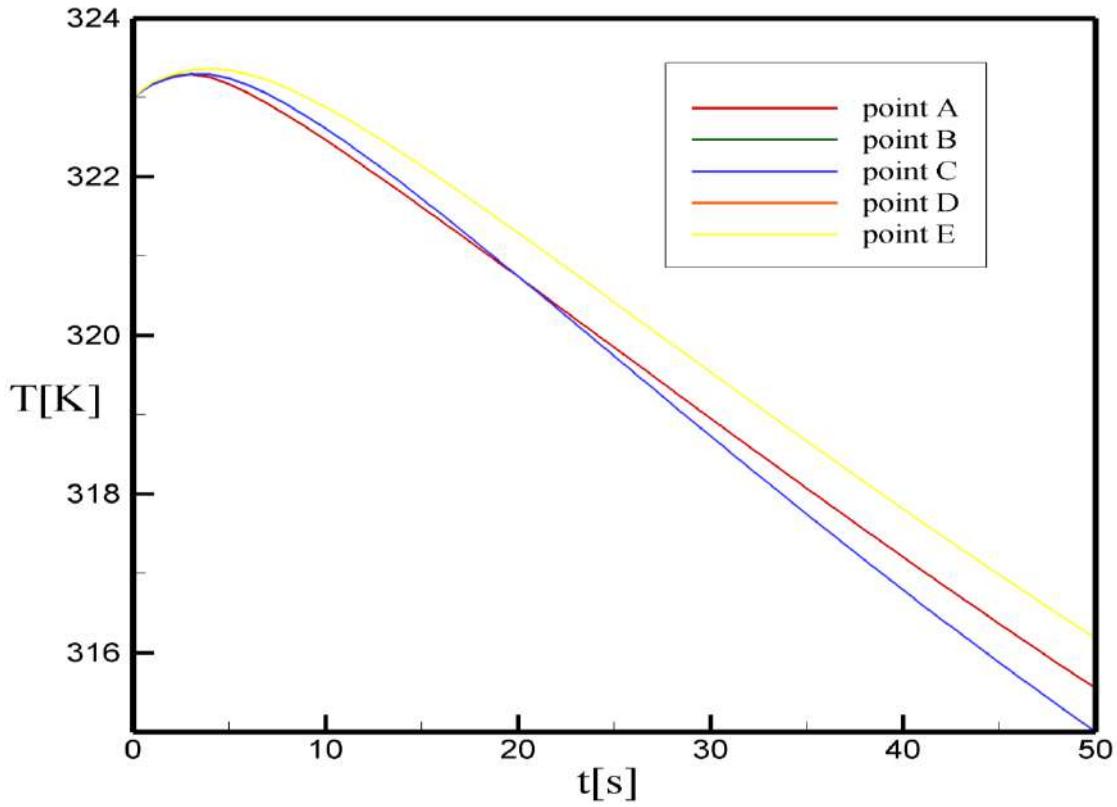


Figure E-2-6:courbe de variation de température en fonction de temps

Cas 3(T=275 et V=0.35) :

La figure E-3-1 représente la variation de température dans l'assiette avec le température de polymère=423k et les condition de fluide a l'entrée sont (T_f=275K,V_f=0.35m/s) on a Tmin=311K, on remarque que la température est élevée dans les extrémités de l'assiette Tmax=316K

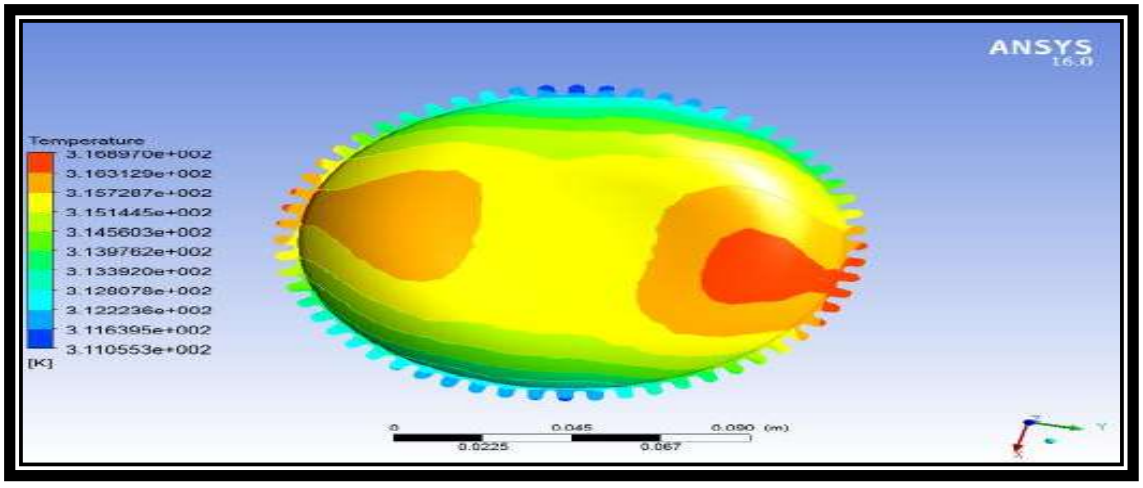


Figure E-3-1:la variation de température sur le plat

La figure E-3-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=318 et Tmin=298)

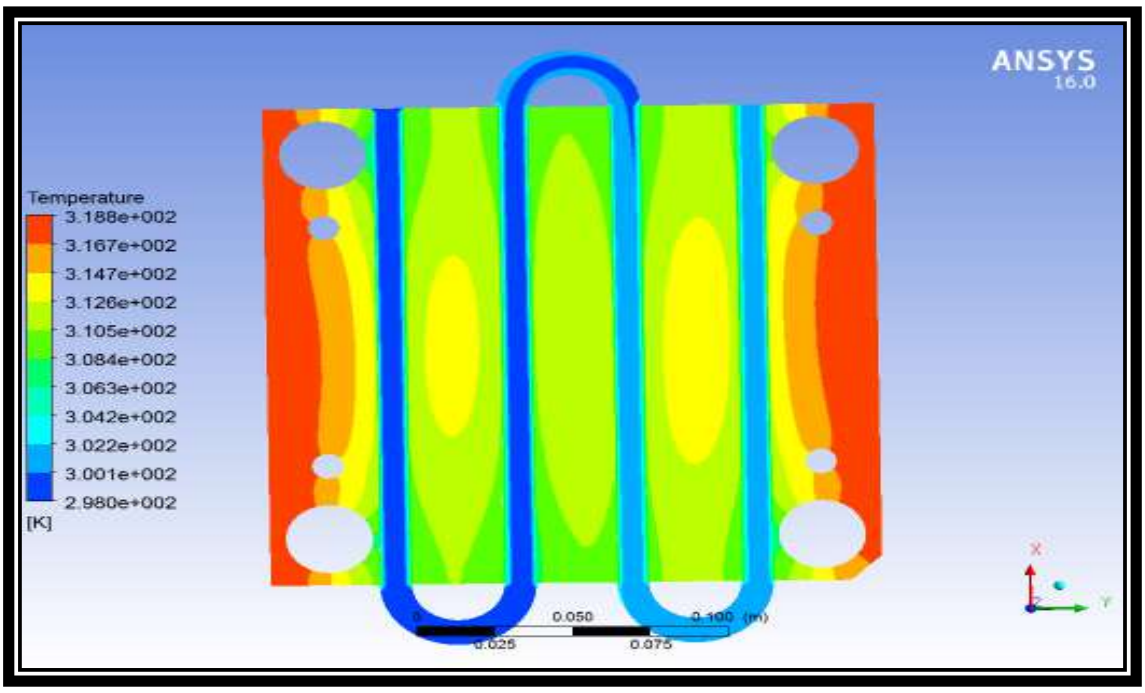


Figure E-3-2:la variation de température sur le plan 1

La figure E-3-3 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=396 et Tmin=299)

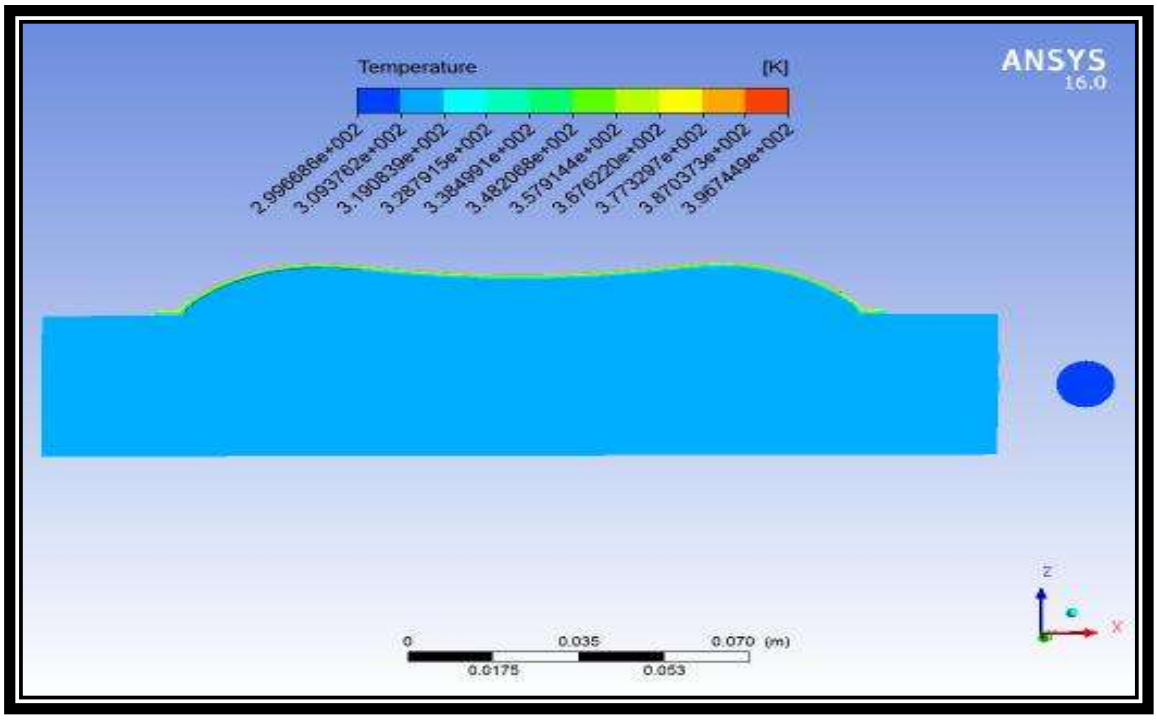
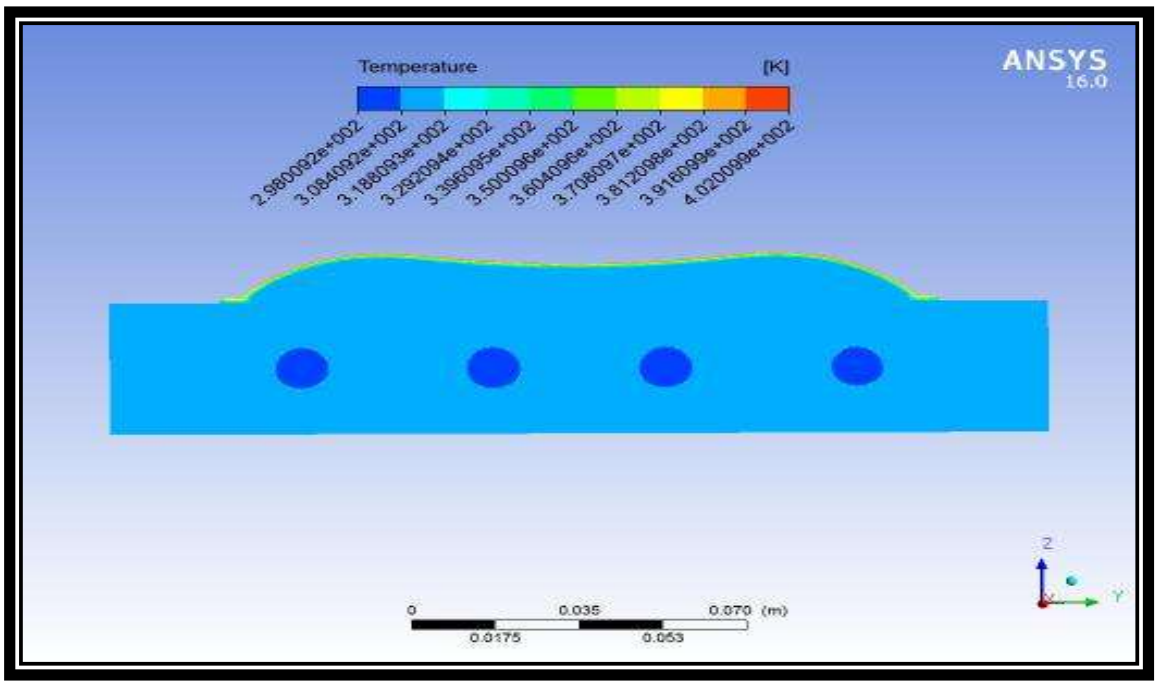


Figure E-3-3:la variation de température sur le plan 2

La figure E-3-4représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=402 et Tmin=298)



FigureE-3-4:la variation de température sur le plan 3

La figure E-3-5représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=313 et Tmin=298)

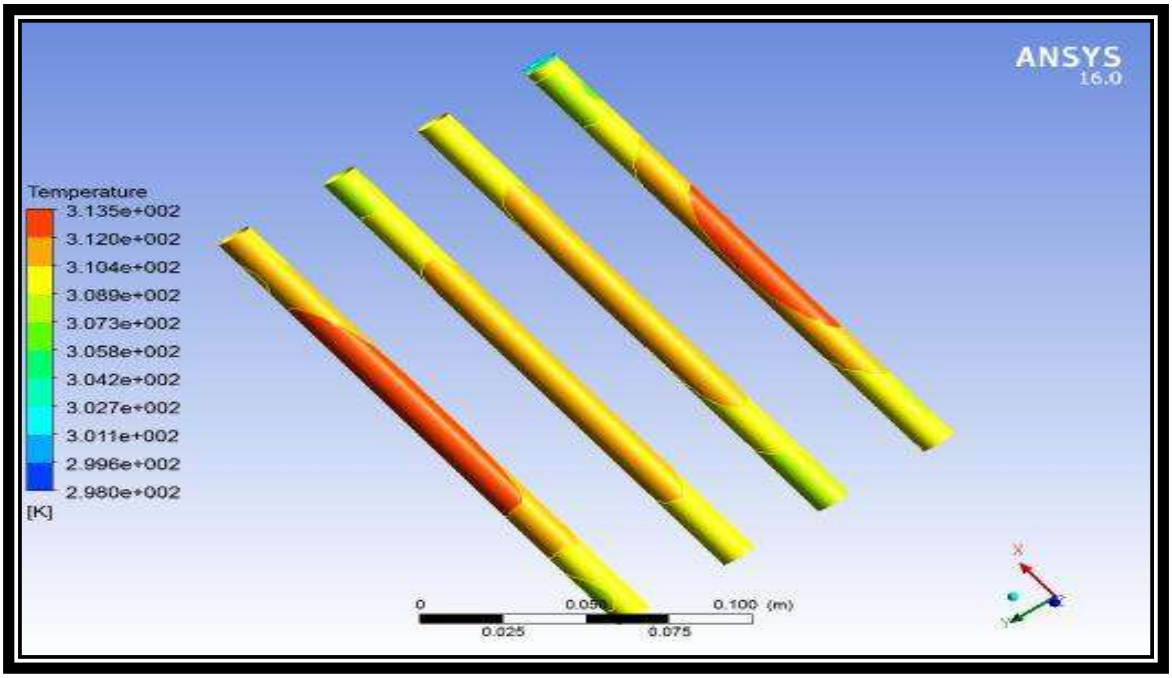


Figure E-3-5:la variation de température sur le circuit

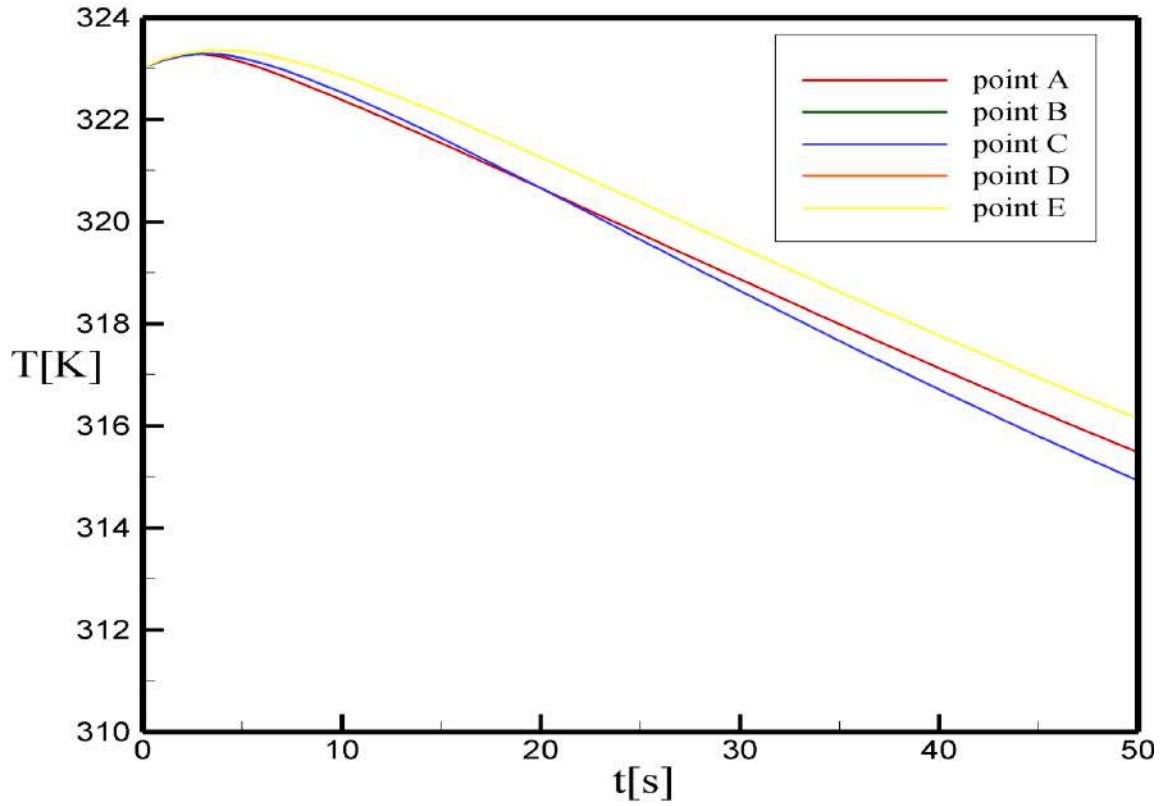


Figure E-3-6 : courbe de variation de température en fonction du temps

Cas 4(T=298 et V=1) :

Dans ce cas nous avons changé la température de fluide à l'entrée (V=1),Tmin=312K et Tmax=304K, on remarque que la température est élever dans l'extrémité de l'assiette

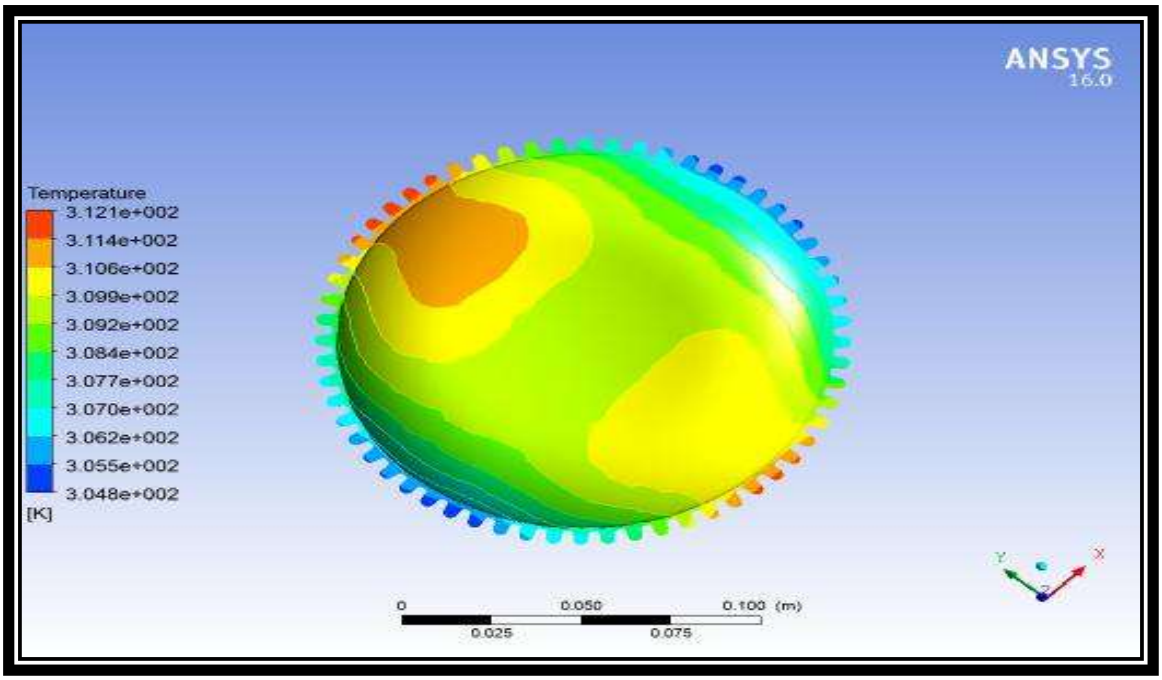


Figure E-4-1:la variation de température sur le plat

La figure E-4-2 représente la variation de température dans le plans 1 (Tmax=315 et Tmin=298)

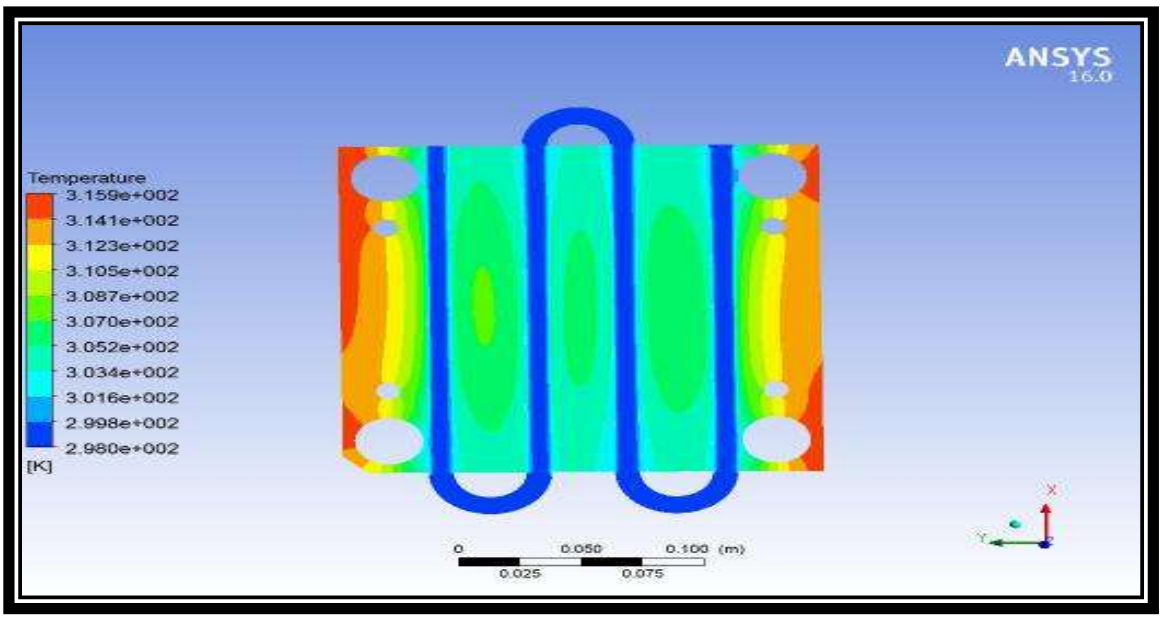


Figure E-4-2:la variation de température sur le plan 1

La figure E-4-3 représente la variation de température dans le plans 2(Tmax=396 et Tmin=298)

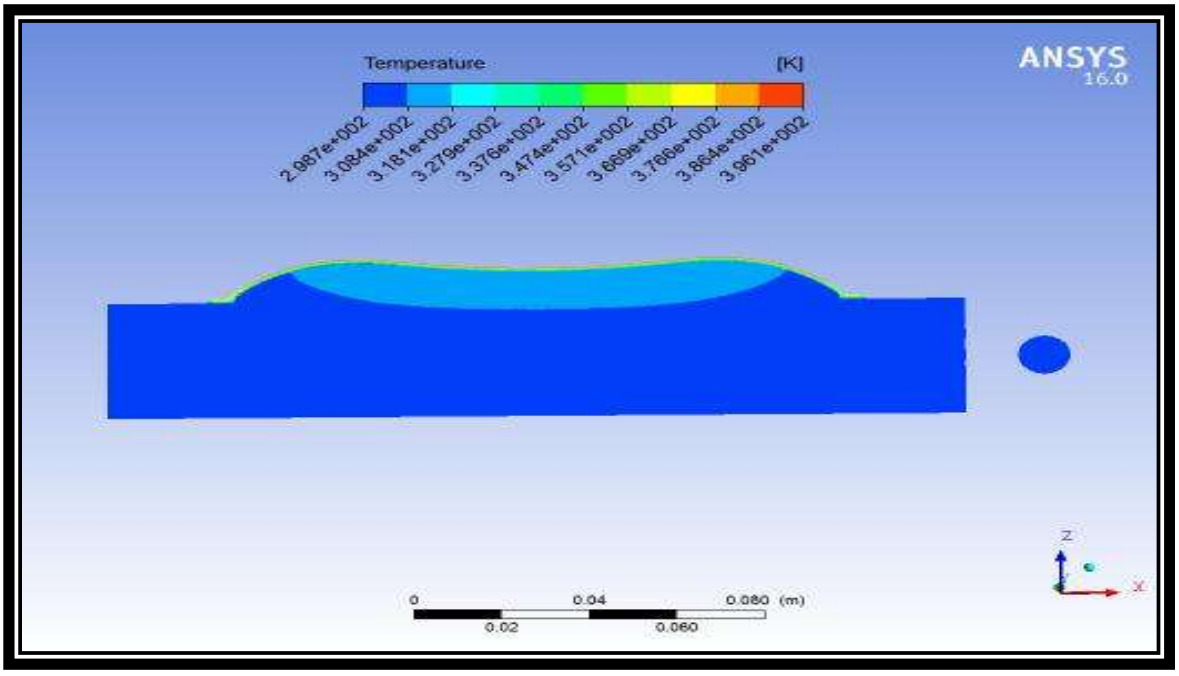


Figure E-4-3:la variation de température sur le plan 2

La figure E-4-4 représente la variation de température dans le plans 3 (Tmax=401 et Tmin=298)

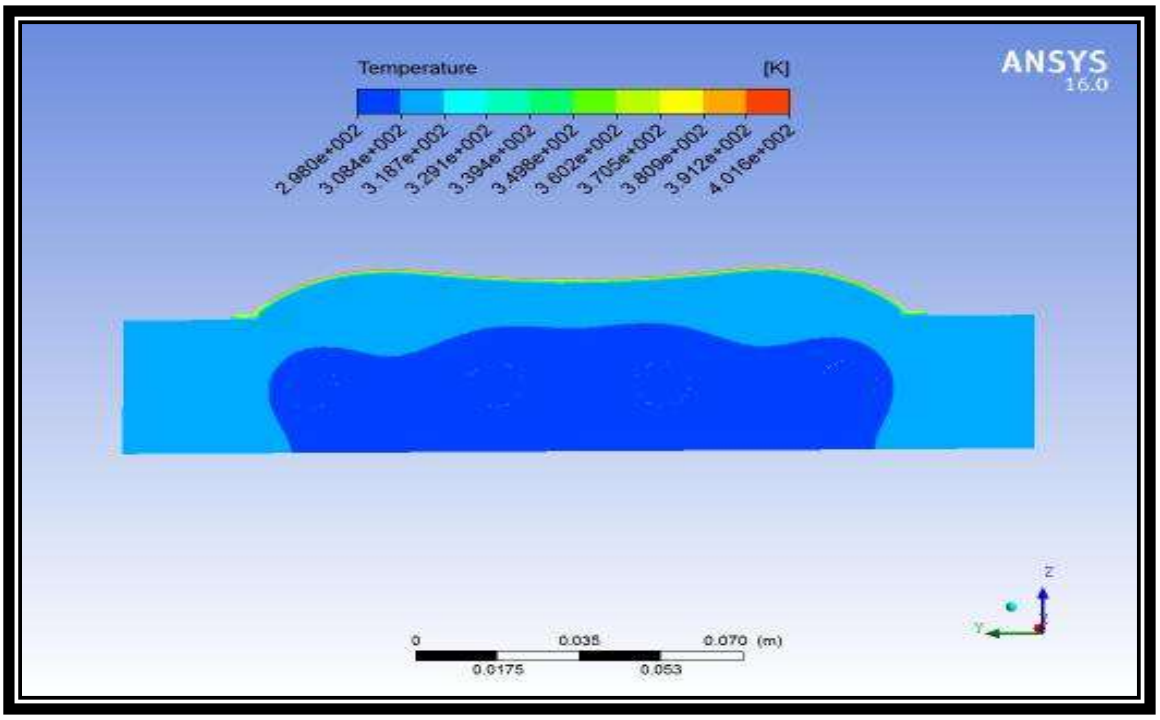


Figure E-4-4:la variation de température sur le plan 3

La figure E-4-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=306 et Tmin=298)

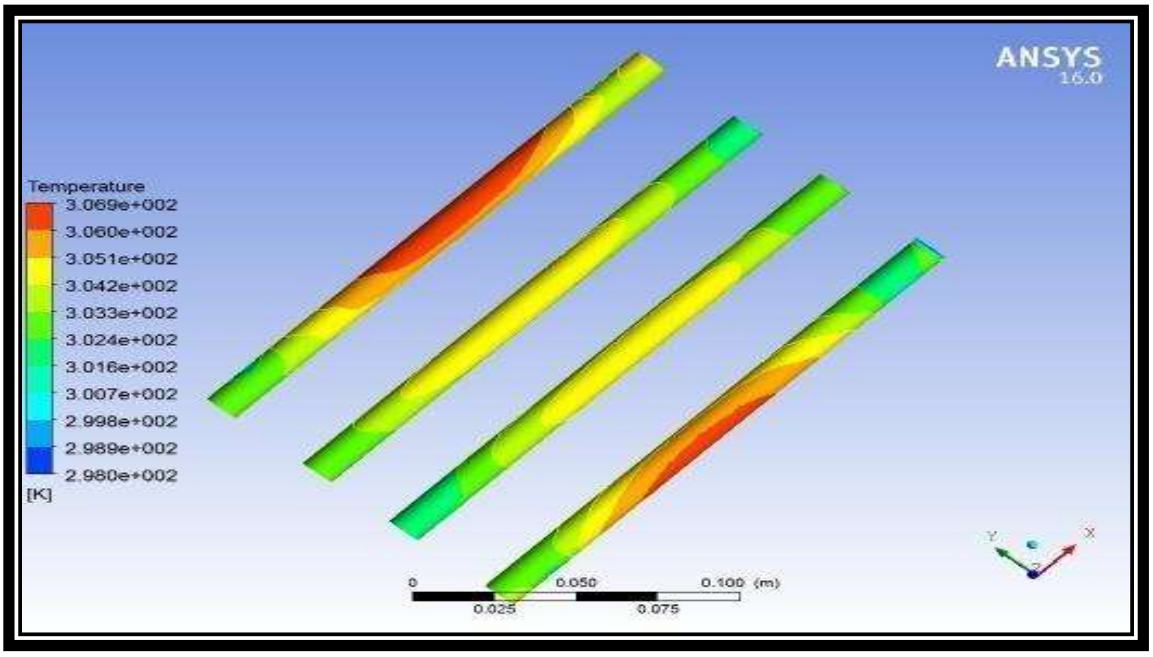


Figure E-4-5:la variation de température sur le circuit

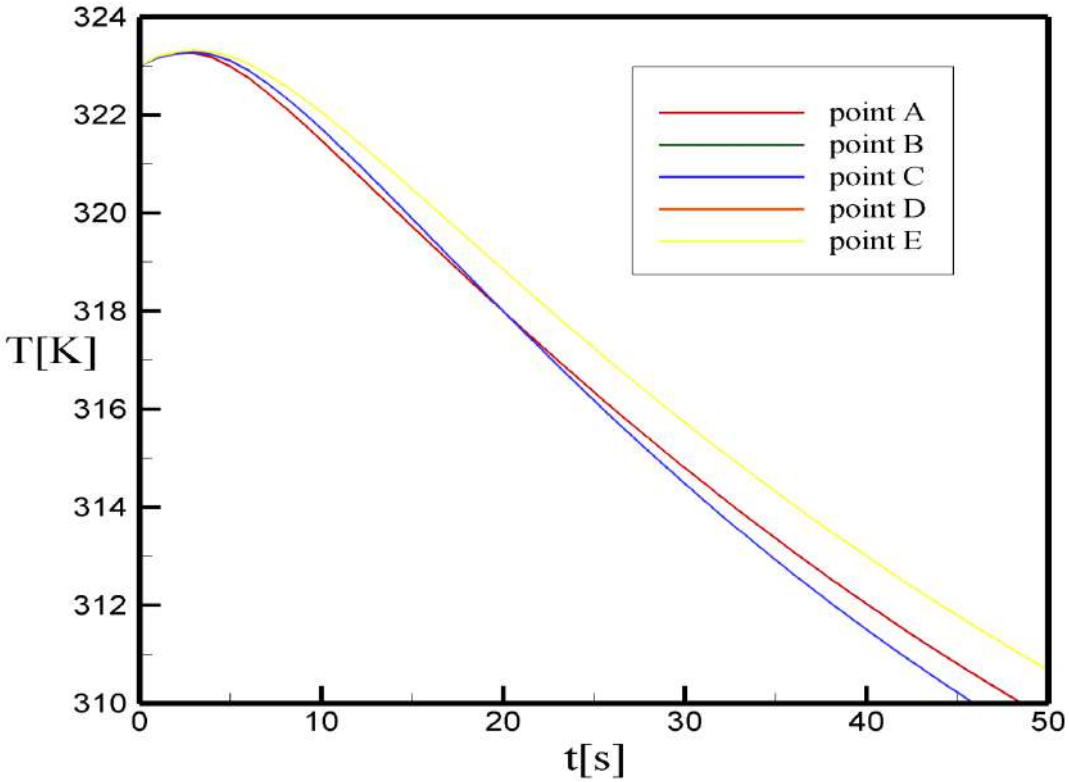


Figure E-4-6 : courbe de variation de température en fonction de temps

Cas 5(T=298 et V=3) :

La figure-5-1représente la variation de température dans l'assiette avec le température de polymère=423k et les condition de fluide a l'entrée sont (T_f=275K,V_f=0.35m/s) on a Tmin=300 K, on remarque que la température diminue par rapport au cas précèdent Tmax=307K

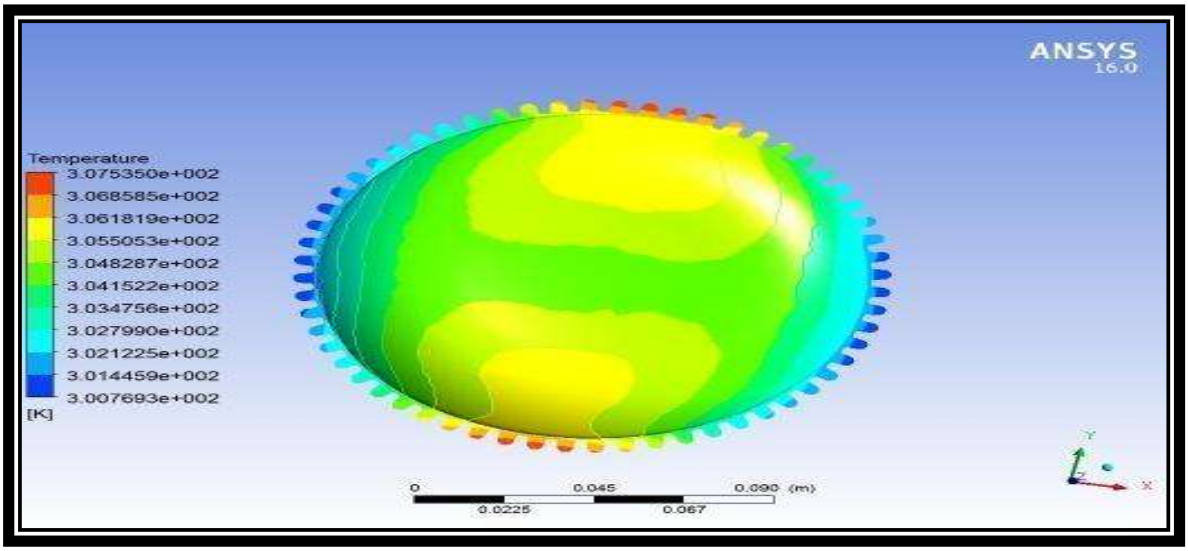


Figure E-5-1:la variation de température sur le plat

La figure E-5-2représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=312et Tmin=298)

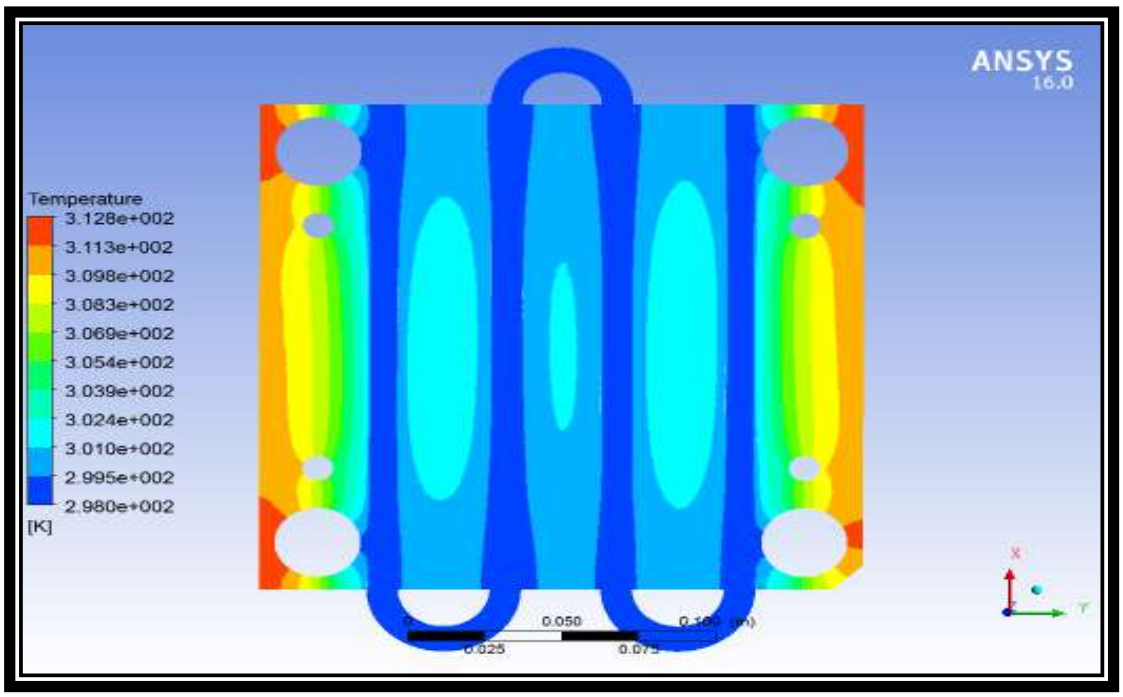


Figure E-5-2:la variation de température sur le plan 1

La figure E-5-3 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=395et Tmin=298)

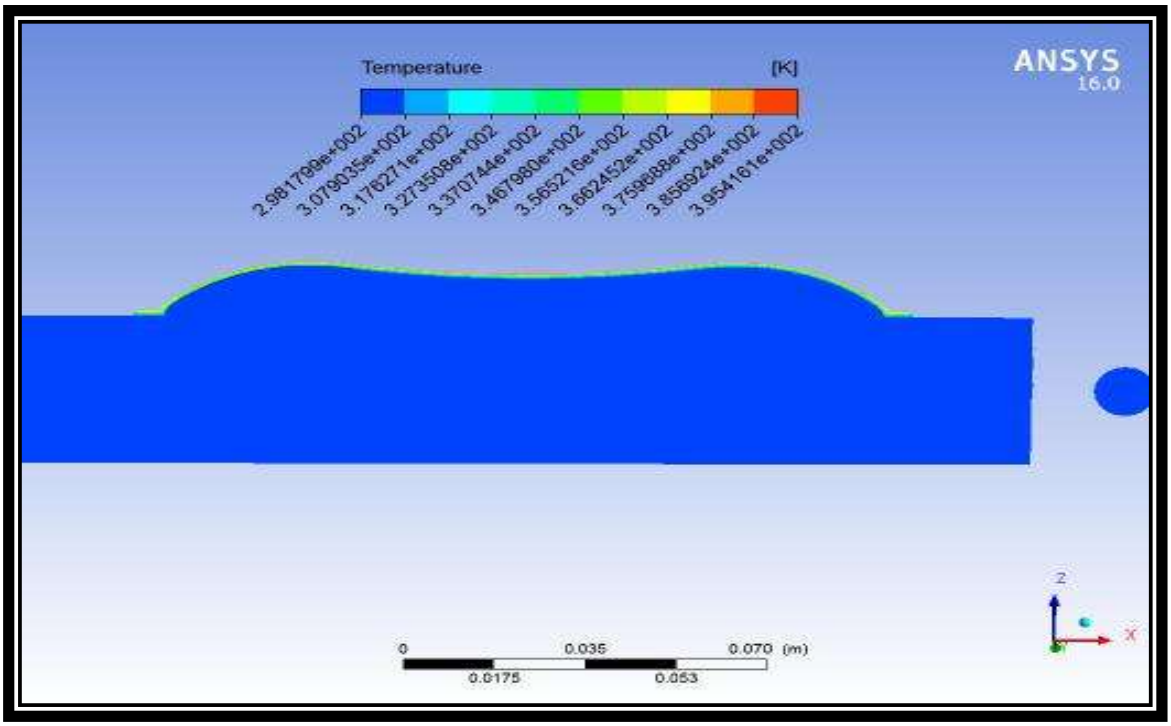


Figure E-5-3:la variation de température sur le plan 2

La figure E-5-4 représente la variation de température dans le plans 2 (Tmax=401et Tmin=298)

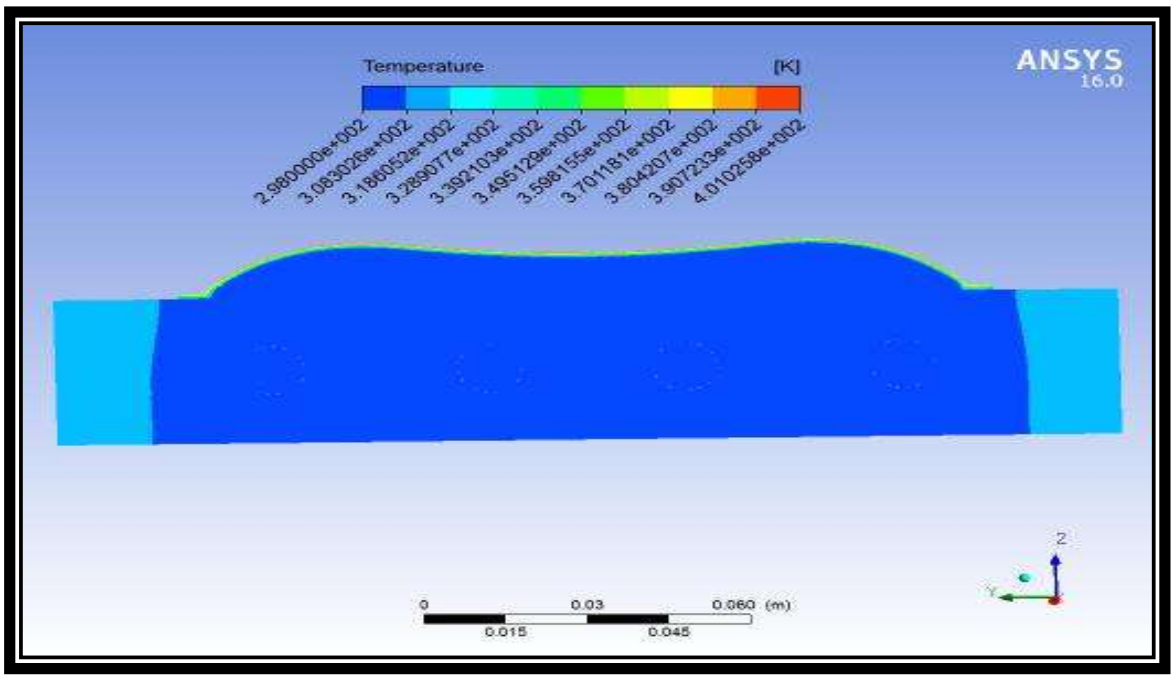


Figure E-5-4:la variation de température sur le plan 3

La figure E-5-5 représente la variation de température dans le circuit de fluide (Tmax=301et Tmin=298)

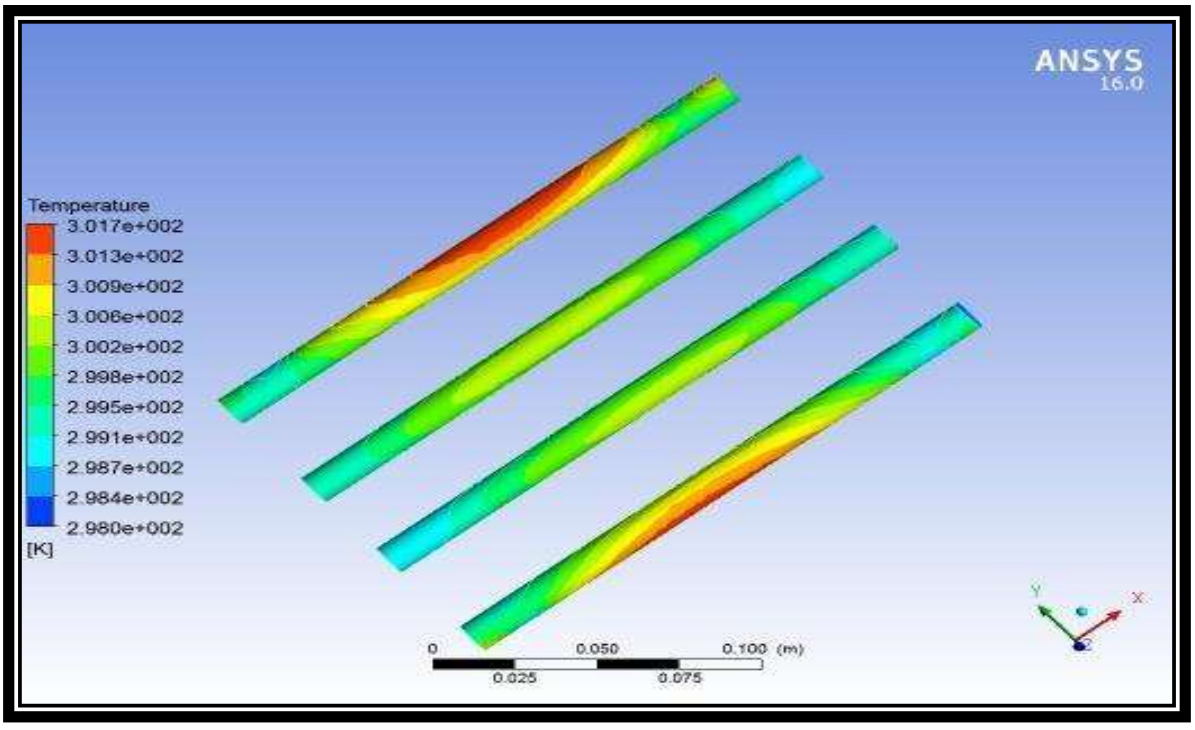


Figure E-5-5:la variation de température sur le circuit

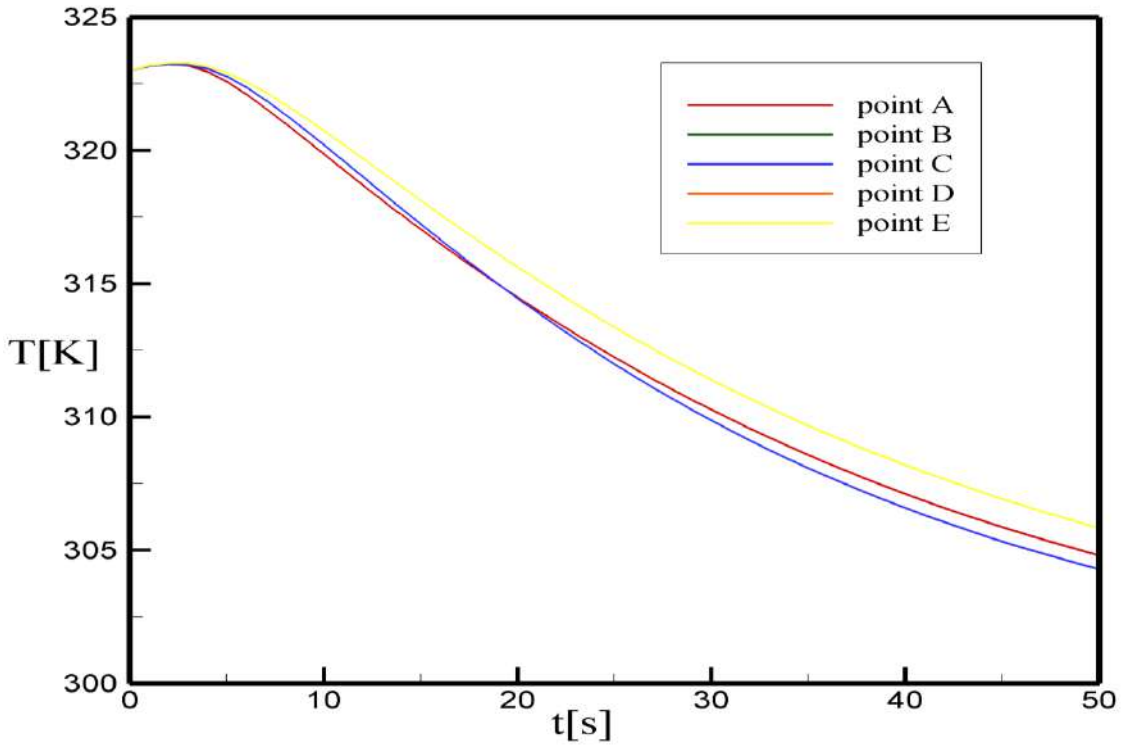


Figure E-5-6: courbe de variation de température en fonction de temps

5-4/CONCLUSION :

Les résultats de simulation obtenus pour les différentes configurations de refroidissement proposées et la nature de polymère utilisé permettent de conclure que le refroidissement d'une pièce plastique dépend de plusieurs paramètres :

1/La forme du circuit de refroidissement (circuit fermé et circuit ouvert) : la configuration à circuit fermé (3 coudes) donne meilleurs résultats par rapport à une configuration de circuit ouvert ; on obtient une différence de températures (entre la température max et min) dans le circuit fermé (ex la simulation de T=283) de 5K tandis que dans le circuit ouvert la différence est de 7K.

2/La nature de polymère utilisé (PS et ABS) (circuit 3 coudes) : l'utilisation du polymère PS donne un bon résultat par rapport à l'utilisation d'un polymère ABS. La différence de températures entre max et min dans le polymère PS est inférieure à celle obtenue pour le polymère ABS.

3/Les plaques de cuivre améliorent le refroidissement (en absorbant la température de la pièce moulée) (circuit 3 coudes) : les résultats de refroidissement avec les plaques de cuivre sont meilleurs et donnent un système homogène par rapport au cas précédent.

4/le nombre de serpentin améliore aussi le refroidissement puisque le circuit à 5 coudes donne de bons résultats par rapport au circuit à 3 coudes. Ainsi, le nombre de serpentin joue un rôle important dans le refroidissement.

5/Les conditions d'entrée du fluide (la vitesse et la température) jouent aussi un rôle très important dans le refroidissement des pièces moulées puisque une grande vitesse d'entrée du fluide plus froid donne de meilleure résultats.

Conclusion générale

Le procédé de moulage par injection a pris une importance considérable sur le marché de la mise en forme des polymères.L'optimisation du fonctionnement de ce procédé s'avère indispensable sur le plan coût et méthode.

La simulation numérique d'un procédé industriel comme le moulage par injection est donc très intéressante dans l'optique de mieux prédire les évolutions et proposer des conditions opératoires susceptibles de donner les meilleurs résultats.

Dans ce travail, on a fait la conception d'un moule à injection plastique et la pièce moulée. Ensuite, on a réalisé une série de simulations numériques du refroidissement de la matière plastique moulée en proposant différentes configurations de système de refroidissement et différentes conditions opératoires. Pour cela, on a utilisé le logiciel Ansys CFX.

L'analyse des résultats obtenus montre que :

- L'utilisation de plaques de cuivre dans la conception du moule améliore l'efficacité du système de refroidissement.
- L'utilisation d'un circuit de refroidissement à plusieurs coudes permet d'avoir un bon refroidissement. Le problème d'encombrement du moule peut poser un problème dans la réalisation du moule.
- Une grande vitesse d'entrée (acceptable) du fluide de refroidissement à basse température permettent d'avoir un bon rendement du système de refroidissement utilisé.

Références bibliographiques :

[1] : D_r ZIRARI MOUNIR,cours simulation des procédé (généralités sur le moulage) (université de Médéa), Master Energétique, 2015.

[2] : MICHEL CHEVALIER, traité plastique et composites, Technique de l'ingénier.

[3] : BOUAMRAN TOUFIK, conception d'un moule à injection plastique d'une roue de la pompe centrifuge 125 NVA, mémoire de PFE (master), université de Médéa, 2011.

[4] : A.IKHLEF,mise en forme des métaux, mémoire PFE master, université Mostaganem.2009

[5] : GASSOU MOSTAFA et RAHMANI AHMED, étude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection,mémoire de PFE (master), université d'Ouargla, 2013.

[6] : MICHEL CHATAIN et ALEXANDER DOPRACZYNSKI, injection des thermoplastique des moules, Editions techniques de l'ingénieur, Paris 1995.

[7] : GONEI KASMIR, développement d'un outil de design pour les bus thermiques des moules à canaux chauds, Thèse de Doctorat, Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 1999.

[8] : DJOUDI TAREK et DJEMEL HOCINE,Etude de la phase de remplissage du moulage par injection dans le cas d'un moule,Mémoire PFE d'ingénieur, université de Biskra, 2001.

[9] : DOBRACZINSKY A., PIPRAUD M. et TROTIGNONJ P., précis de la matière plastique,AFNOR-NATHAN , 2006.

[10] : J.C. Ferreira et A. Mateus,studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding, universityLisbon, Portugal, 2003.

[11] :H. S. PARK and N. H. PHAM,design of conformal cooling channels for an automotive part, university of ulsan, korea, 2008.

[12] :Muhammad Khan- S. Kamran Afaq- Nizar Ullah Khan- and Saboor Ahmad,Cycle Time Reduction in Injection Molding Process by Selection of Robust Cooling Channel Design, university, taxila, Pakistan, 2014.

[13] :C.L. Li- C.G. Li- A.C.K. Mok,Automatic layout design of plastic injection mould cooling system, university of hongkong, China, 2004.

[14] : AGAZZI A. ,SOBOTKA V. , PEREZ L. , JARNY Y. etDELAUNAY D.,Optimisation du refroidissement d'un moule d'injection de thermoplastique, Ecole Polytechnique de l'université de Nantes,France,2008

[15] : cour transfert de chaleur, Université de technologie Compiègne, France. 2013.