

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Génie Mécanique

Option : Énergétique

Intitulé :

Simulation numérique d'un fluide caloporteur pseudo-plastique (non newtonien) par la loi de puissance

Présenté par :

- **Bounoua Fatima Zohra**
- **Reggas Moustafa**

Soutenu le : 30/06/2021. Devant un jury composé de:

Houari Ameer	Pr.	Centre Universitaire Naâma	Président
Kaid Noureddine	MCA	Centre Universitaire Naâma	Encadrant
Naima Khatir	MCA	Centre Universitaire Naâma	Examineur

خلاصة:

لقد اجتذب النقل الحراري في وسط السوائل المميزة بسلوكها الغير نيوتوني أثناء سيلانها عبر قنوات النقل فضول العديد من الباحثين و هذا منذ عقود بسبب دوره الفعال. من خلال هذا العمل ساهمنا في زيادة المعرفة فيما يخص النقل الحراري والتدفق في السوائل المعقدة من خلال دراستنا العددية لأحد أنواع هذه السوائل (Fluides non newtonienne) أثناء تدفقها عبر قنوات مختلفة الأشكال. فهكذا ، جرى النظر في التدفق بين ورقتين مصفحتين، من خلال أنبوب أسطواني وعند اجتيازه لتوسع مفاجئ ، لقد أظهر هذا التحليل التأثير الناجم عن العطالة والسلوك الريولوجي للسائل على الضغط والسرعة وتوزيع الحرارة. اما بمناقشتنا هذه درسنا مجموعة من المؤثرات مع مراعاة تبدد الحرارة الناجم عن لزوجة المائع. لقد مكنتنا النتائج المتحصل عليها لحساب وتصميم مرافق معالجة هذه الفئة من السوائل.

Résumé:

Le transport thermique en milieu liquide, caractérisé par son comportement non newtonien lorsqu'il s'écoule dans les canaux de transport, a attiré la curiosité de nombreux chercheurs depuis des décennies en raison de son rôle actif. A travers ce travail, nous avons contribué à approfondir les connaissances concernant le transfert de chaleur et l'écoulement dans les fluides complexes à travers notre étude numérique d'un de ces fluides (Fluides non newtonienne). Comme il coule à travers des canaux de différentes formes. Ainsi, l'écoulement a été considéré entre deux feuilles laminées, à travers un tube cylindrique et lors du passage d'une expansion brutale, cette analyse a montré l'effet provoqué par l'inertie et le comportement rhéologique du fluide sur la pression, la vitesse et la répartition de la chaleur. Quant à notre discussion, nous avons étudié un ensemble d'effets, prenant en compte la dissipation thermique provoquée par la viscosité du fluide. Les résultats obtenus nous ont permis de calculer et de concevoir des installations de traitement pour cette classe de fluides.

Abstract:

Thermal transport in liquid media, characterized by its non-Newtonian behavior as it flows through transport channels, has attracted the curiosity of many researchers for decades due to its active role. Through this work, we have contributed to deepen knowledge concerning heat transfer and flow in complex fluids through our numerical study of one of these fluids (Non-Newtonian fluids). as it flows through channels of different shapes. Thus, the flow was considered between two rolled sheets, through a cylindrical tube and during the passage of a sudden expansion, this analysis showed the effect caused by the inertia and the rheological behavior of the fluid on the pressure, speed and heat distribution. As for our discussion, we have studied a set of effects, taking into account the heat dissipation caused by the viscosity of the fluid. The results obtained have enabled us to calculate and design treatment facilities for this class of fluids.

Mots-clés : Transfert de chaleur ; fluides pseudo plastiques ; Fluide non-Newtonien ; Fluide Newtonien ; simulation.

Remerciement :

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné cette foi et cette confiance en soi, ainsi que cette volonté et ce courage, de pouvoir un jour nous voir comme un jury, d'avoir ce témoignage. Qui m'ont aidé de près ou de loin par leurs encouragements, leurs conseils et leurs critiques.

Je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à mon directeur de thèse, **le Dr Noureddine Kaid**, qui a assuré la direction scientifique de ce travail. Je le remercie pour son intérêt, sa participation quasi quotidienne, sa disponibilité dans de nombreux métiers et ses précieux conseils, ainsi que la confiance qu'il m'a accordée tout au long de ce travail. Mes sincères remerciements à ma famille, petite et grande, qui m'a aidé en toutes circonstances

Mes sincères remerciements à tous les membres du jury, pour leur acceptation de faire partie de ce jury auquel j'ai l'honneur d'assister.

J'en profite pour remercier le Coordonnateur de l'Ecole Doctorale, Monsieur le Directeur du Centre Universitaire Naama et mes honorables professeurs un à un de la Faculté de Génie Mécanique qui n'ont jamais failli à leur mission sacrée, et qui ont pris l'initiative d'assurer mon avenir mission.

Enfin, je remercie également tous mes amis de ne pas avoir besoin de les nommer ou de les épeler, car ils se reconnaîtront

Nomenclature :

symbole	signification	Unités
T	la température	[K]
F	une force constante	[N]
Φ, q	Flux de chaleur	[W]
T1	température de fluide chaud	[K]
T2	température de fluide froid	[K]
A	Surface d'échange de chaleur	[m ²]
<i>k</i>	Conductivité thermique du matériau	[-]
H, h	L'épaisseur	[m]
TE	température de la paroi gauche	[K]
TS	température de la paroi droite	[K]
<i>R</i>	Résistance thermique	[k.W-1]
<i>P</i>	la puissance	[W]
<i>A</i>	la surface de l'objet	[m ²]
<i>e</i>	l'émissivité de l'objet qui dépend de la nature de l'objet	[-]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	[-]
<i>h</i>	la constante de Planck (6.6256 x 10-34 J sec)	[-]
m ; K	l'indice de consistance du fluide	[Pa.s]
n	-l'indice de structure ; - l'indice d'écoulement. - indice de la loi de puissance.	[-]
$\dot{\gamma}$	déformation relative du fluide au bout d'un temps dt, grandeur adimensionnelle.	[-]
$\dot{\gamma}$	vitesse de déformation (définie comme la déformation par unité de temps),	[s-1]
u	déplacement du fluide, en	[m]
U	vitesse du plateau mobile	[m s-1]
t	temps	[s]
$\tau ; \gamma$	contrainte de cisaillement, tangentielle à la surface A	[Pa]
F	force tangentielle à la surface A	[N]
μ_0	la viscosité à cisaillement nul, viscosité plastique	[-]
τ_0	Contrainte de seuil (contrainte critique, seuil de plasticité)	[-]
b, et $\tau^{1/2}$	sont des paramètres d'ajustements	[-]
η	viscosité de la 1 ère région newtonienne	[Pa.s]
α	l'écart avec le comportement newtonien	[-]
$\tau^{1/2}$	Contrainte pour laquelle $\eta = \eta_0 / 2$.	[Pa]
τ_0	la contrainte pour $\dot{\gamma} = 0$	[Pa]
b	constante de temps	[s]
η_0	viscosité à cisaillement nul.	[Pa.s]

η_{∞}	la viscosité à cisaillement infini	[Pa.s]
λ	constante de temps.	[-]
τ^*	Taux de cisaillement marquant le début de la zone de pseudo-plasticité	[Pa]
η	la viscosité cinématique	[m ² s ⁻¹]
μ	La viscosité dynamique	[kg m ⁻¹ s ⁻¹]
Re	Nombre de Reynolds	[-]
U	Vitesse de l'écoulement	[m/s]
U	Vitesse de l'écoulement	[m/s]
u	Composante de la vitesse suivant x	[m/s]
v	Composante de la vitesse suivant y	[m/s]
ΔC	Distance entre deux mobiles d'agitateurs	[m]

<i>T</i>	Terme transitoire
<i>C</i>	Terme de convection
<i>D</i>	Terme de diffusion
<i>S</i>	Terme source
<i>\Gamma</i>	Coefficient de diffusion

Table de matière :

Nomenclature :
I	Classification des fluides suivant leurs comportements : [1]..... 1
1	Les fluides newtoniens : [2]..... 2
2	Les fluides non-newtoniens : [6]..... 5
2.1	Les fluides purement visqueux : [2] 6
2.1.1	Les fluides indépendants du temps [7][8] : 8
2.2	Les fluides dépendants du temps :[17] 9
2.2.1	Fluides thixotropes :[15] 10
2.2.2	Les fluides Anti-thixotropiques :[17] : 10
2.3	Résumé quelque fluide généralisé : 10
2.4	Rappels sur la rhéologie : [18] ;[19]..... 11
2.4.1	Définition dans le dictionnaire :français [20] 11
2.4.2	La rhéofluidification :[12] [19] 11
2.4.3	Comportement microscopique :[5]..... 12
2.4.4	La loi d'Ostwald-de Waele ou loi en puissance :[21]..... 12
2.4.5	Forme logarithmique :[22] 13
2.4.6	Loi du second ordre :[5] 13
3	Le comportement non-newtonien indépendant du temps:[24] 14
3.1	Le fluide sans contrainte critique : 14
3.1.1	Les rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques : 14
3.2	Lois de comportement rhéofluidifiant [23]: 16
3.2.1	Williamson : 16
3.2.2	Ellis..... 16
3.2.3	Shangraw :[29-30] : 16
3.3	Les types de modèle de viscosité non newtonienne sont :[3]..... 16
3.3.1	Modèle Pseudo-plastique :[25]..... 16
3.3.2	Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant ;[29] : 19
4	Introduction Générale :[25] 28
4.1	Mélangeurs statiques : 29
4.2	Les mélangeurs ultrasons :[25]..... 29
4.3	Mélangeur a jets (mélange par recirculation) :[58] 30
4.4	Mélangeur a cuve mobile : [25] [59] 30
4.5	L'équipement d'un système mécaniquement agitée : 31
4.5.1	Les chicanes : 31
5.	Résultats et discussions : 34
5.1	definir les paramètres : 35

5.2	Résultats et Interprétation :.....	38
6	Conclusion:.....	51

1 Classification des fluides suivant leurs comportements : [1]

Tableau(01) de Classification des Fluides

Mécanique des fluides	
Branches	Statique des fluides • Dynamique des fluides • Hydraulique
Fluides	Fluide caloporteur Fluide de Stokes Fluide hydraulique Fluide incompressible Fluide parfait Fluide intelligent Fluide électrorhéologique
Écoulements	Écoulement complexe • Écoulement de Couette • Écoulement de Poiseuille • Écoulement incompressible • Écoulement laminaire • Écoulements torrentiel et fluvial • Écoulement polyphasique
Comportement rhéologique	Fluide newtonien Fluide non newtonien indépendant du temps Fluide rhéofluidifiant ou pseudoplastique Fluide rhéoépaississant ou dilatant (en) Fluide à seuil ou viscoplastique Fluide de Bingham dépendant du temps Fluide thixotrope Fluide antithixotrope
Équations	Équations de Navier-Stokes • Théorème de Bernoulli • Équation de Darcy-Weisbach • Équations d'Euler • Équation de Prony • Équation d'Hugoniot • Équations de Saint-Venant • Écoulement de Stokes • Équation de continuité • Équations primitives atmosphériques
Principaux nombres sans dimension	Nombre d'Archimède • de Bond • de Boussinesq • de Bulygin • de Cameron • capillaire • d'Ekman • d'Ellis • de Fedorov • de Froude • de Galilée • de Görtler • de Goucher • de Grashof • de Hartmann • de Hedström • de Hersey • de Karlovitz • de Kutateladze • de Lewis • de Mach • d'Ohnesorge • de Prandtl • de Rayleigh • de Reech • de Reynolds • de Rossby • de Rouse • de Schmidt • de Stewart • de Strouhal • de Taylor • de Weber

1 Les fluides newtoniens : [2]

Si le modèle de fluide newtonien décrit bien la très grande majorité des fluides composés de molécules simples, il existe un bon nombre de fluides, dont certains sont d'usage très courant, qui ont un comportement sous écoulement plus complexe. La définition d'un fluide newtonien est assez restrictive : les contraintes de cisaillement sont proportionnelles au gradient de vitesse, ce qui implique que :

- ❖ Dans un écoulement de cisaillement simple, les seules contraintes créées par l'écoulement sont des contraintes de cisaillement.
- ❖ La viscosité est indépendante de la vitesse de cisaillement.
- ❖ La viscosité est indépendante du temps et les contraintes s'annulent immédiatement lorsque l'écoulement est arrêté.

Toute déviation de ces règles est le signe d'un comportement non-newtonien. La description de ces comportements et leur interprétation en relation avec la structure microscopique du fluide constitue la discipline appelée rhéologie. Cette discipline est assez récente ; elle a connu un développement considérable avec l'apparition des polymères synthétiques [3].

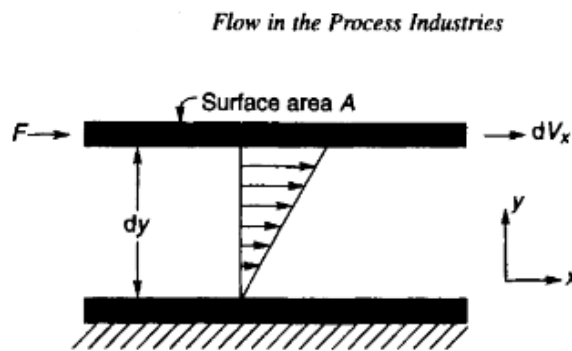
Un fluide : est un milieu matériel parfaitement déformable. On regroupe sous cette appellation les liquides, les gaz et les plasmas. Gaz et plasmas sont très compressibles, tandis que les liquides le sont très peu (à peine plus que les solides).

☑ Rhéologie :[4]

La rhéologie : est la science des déformations et écoulements de la matière, des contraintes qui en résultent et des efforts qu'il faut appliquer pour les obtenir. Cette science repose sur les bases de la mécanique des milieux continus, dont l'objet est de déterminer les contraintes et les déformations en chaque point d'un milieu continu. Elle consiste à déterminer la relation qui relie la contrainte de cisaillement au taux de déformation. Cette relation peut être linéaire ou non-linéaire dans le cas d'un fluide complexe. Ces fluides complexes dits aussi non-Newtoniens sont caractérisés différemment, soit parce que la viscosité évolue en fonction du cisaillement soit parce qu'il apparaît des termes diagonaux dans le tenseur des contraintes qui sont le signe d'effets élastiques (viscoélasticité).

☑ **Un fluide est dit newtonien** [5]: le tenseur des contraintes visqueuses est une fonction linéaire du tenseur des taux de déformation.

Considérons une couche fluide confinée entre deux plaques planes, parallèles et distantes d'une épaisseur **h**, (**Fig1**) et d'aire **A**. Si maintenant, une force constante **F** est appliquée à la plaque supérieure, le fluide s'écoule en couches planes parallèles entre elles. On admet que les couches du fluide au contact des deux surfaces planes sont solidaires de ces dernières, ce qu'on appelle l'hypothèse de non glissement à la paroi. Montre le profil de vitesse résultant en régime stationnaire. Pour un fluide Newtonien, incompressible en écoulement laminaire, la contrainte de cisaillement est proportionnelle au taux de cisaillement.



(Fig1) : Représentation Schématique de l'écoulement de cisaillement unidirectionnel

$$\dot{\gamma} = \frac{u}{H} \quad (01)$$

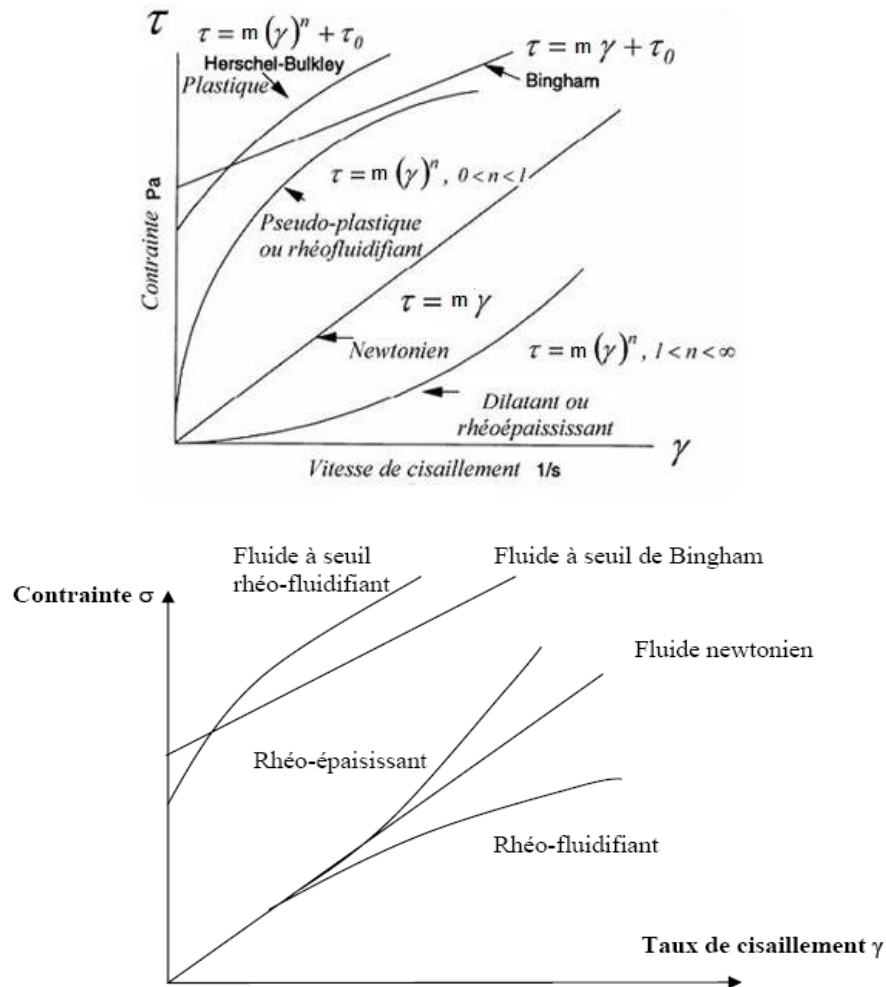
$$V_{\max} = \frac{du}{dy} \quad (02)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{u}{H} \right) \quad (03)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{d}{dt} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{V_{\max}}{H} \quad (04)$$

$$\tau = \frac{F_{\tan}}{A} \quad (05)$$

La viscosité caractérise complètement le comportement de l'écoulement d'un fluide Newtonien à température et pression constantes. Très souvent, un grand nombre de fluides couramment utilisés ont un comportement en écoulement beaucoup plus complexe.



(Fig. 1.1): Lois de comportement rhéologique.

En effet, lorsque la concentration en particules augmente, la probabilité d'interactions particules-particules et particules-paroi augmente. Les particules s'organisent en entités de plusieurs particules susceptibles de se déformer ou de s'orienter sous l'effet des forces hydrodynamiques.

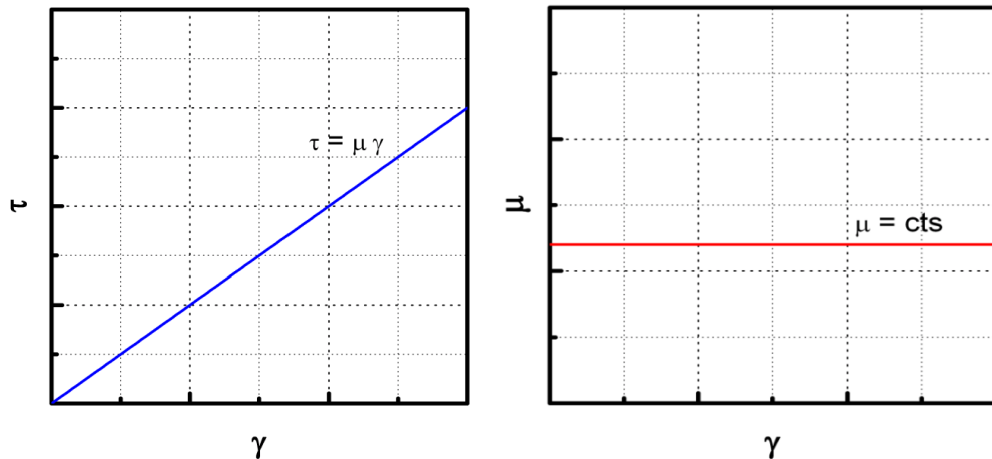


Fig. (1.2) : Rhéogramme et courbe de viscosité dynamique d'un fluide Newtonien.

2 Les fluides non-newtoniens : [6]

Est un fluide qui ne suit pas la loi de viscosité de Newton, c'est-à-dire une viscosité constante indépendante de la contrainte. Dans les fluides non newtoniens, la viscosité peut changer lorsqu'elle est soumise à une force pour devenir plus liquide ou plus solide. Le ketchup, par exemple, devient plus coulant lorsqu'il est secoué et est donc un fluide non newtonien. De nombreuses solutions salines et polymères fondus sont des fluides non newtoniens, tout comme de nombreuses substances couramment rencontrées telles que crème anglaise, miel, dentifrice, suspensions d'amidon, amidon de maïs, peinture, sang, beurre fondu et shampooing.

Lorsque le poids moléculaire moyen d'un liquide augmente, des effets non-newtoniens peuvent apparaître. Une réorganisation des molécules lors de l'écoulement provoque un changement de la viscosité apparente. Les principaux comportements rhéologiques non-newtoniens seront décrits brièvement dans la section suivante. Par la suite, certains modèles seront présentés

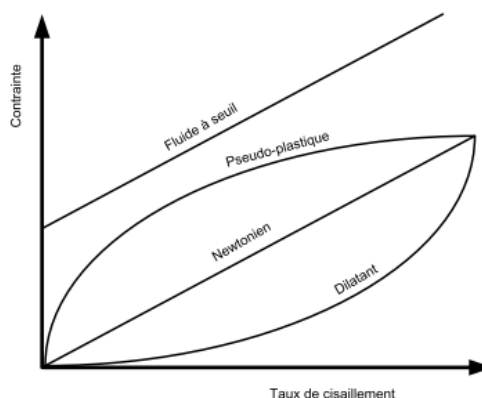
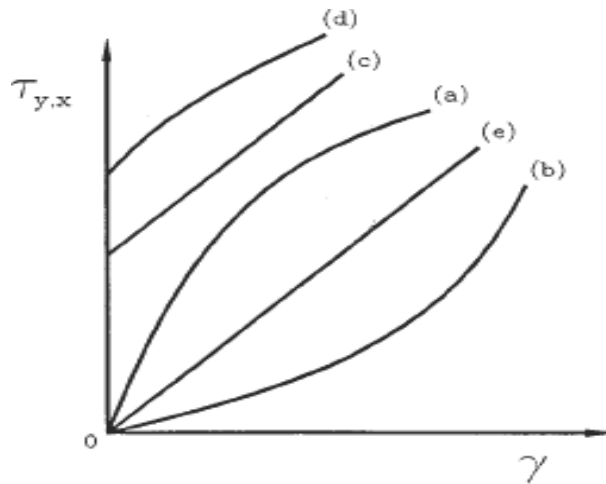


Fig 1.3: Différents comportements rhéologiques [24].

La viscosité des fluides non-newtoniens dépend du taux de cisaillement.



(Fig. 1.4): loi constitutive $\tau = f(\gamma)$ pour différents types de fluides non newtoniens indépendants dutemps , courbe(a) comportement pseudoplastique , courbe (b) comportement dilatant , (c) fluide de Bingham ,(d) fluide d'Hershel-Bulckley, (e) fluide newtonien (Kreith, 1999).

On distingue deux grandes familles de fluides non-newtoniens : les fluides purement visqueux, et les fluides viscoélastiques (Kreith, 1999).

2.1 Les fluides purement visqueux : [2]

A leurs tours les fluides purement visqueux se divisent en deux catégories : les fluides indépendants du temps et les fluides dépendants du temps, les lois constitutives de ces deux catégories s'écrivent respectivement sous la forme : $\tau = f(\tau_0, \gamma)$, $\tau = (\gamma, t)$ (kreith, 1999)

2.1.1 Les fluides indépendants du temps : [7][8]

A leurs tours les fluides indépendants du temps se divisent en deux catégories : les fluides à contrainte critique et les fluides sans contrainte critique Midou, 1993

2.1.1.1 Les fluides sans contrainte critique :[9]

Il existe plusieurs modèles rhéologiques qui ne comportent pas de contrainte critique.

2.1.1.1.1 Les fluides D'Oswald – Dewaele :[10], [11]

la loi de comportement de tels fluides s'énoncent comme suit (Kreith, 1999) : $\tau = m\gamma^n$.

La viscosité apparente s'écrit sous la forme (Kreith, 1999) : $\mu = m\gamma^{n-1}$ (06)

Pour $n=1$ le fluide est dit newtonien, et l'indice de consistance k ou m devient la viscosité newtonienne (viscosité dynamique).

si : $0 < n < 1$ le fluide est dit pseudo-plastique (Midoux, 1993)

si : $n > 1$ le fluide est dit dilatant (Midoux, 1993).

☑ **Les fluides pseudo-plastiques**[12] ou **Rhéofluidifiant** [12] :

la viscosité, en partant de l'étude du comportement newtonien de certains fluides comme les émulsions, les solutions de polymère, les dispersions, dans la plupart des cas la viscosité apparente diminue avec l'accroissement de la vitesse de déformation ($\dot{\gamma}$). Un tel comportement est dit pseudo-plastique (**shear thinning behavior**).

Loi de comportement $\tau = m\dot{\gamma}^n$ avec $0 < n < 1$

L'appellation pseudo-plastique est employée dans la littérature afin de distinguer ce type de fluide des fluides plastiques (les fluides présentant une contrainte de seuil). Exemples de fluides présentant un comportement pseudo-plastique: Les solutions de hauts polymères (dérivées de la cellulose), les ciments, les colles, les polymères fondus, le savon, certaines peintures.

-Les fluides dilatants ou Rhéo-épaississant :

Les fluides dilatants ou Rhéo-épaississant (**shear thickening**) se caractérisent par une augmentation de la viscosité avec une augmentation du taux de déformation. Ce comportement est souvent observé avec des solutions chargées en particules. Lorsque les particules subissent une contrainte, elles s'entassent et la résistance à l'écoulement croît. Ce comportement peut parfois être soudain, ce qui entraîne rupture d'arbre d'agitation ou dommage aux équipements. Par exemple, les suspensions très concentrées (au-dessus de 30% en fraction volumique) de particules solides présentent une brusque augmentation de viscosité qui est liée à un changement important de la structure de la suspension. Le comportement rhéologique de ces fluides obéit à la loi de puissance : $\tau = m\dot{\gamma}^n$
 $n > 1$ m = indice de consistance. n = indice d'écoulement. τ : La contrainte de cisaillement

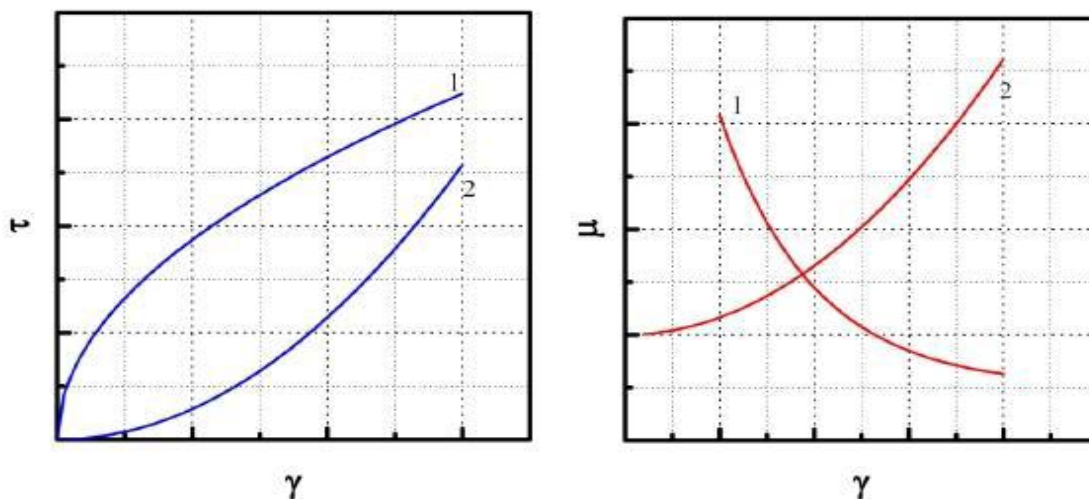


Fig. (1.5): Rhéogramme et courbe de viscosité dynamique d'un fluide pseudo-plastique (1) Et d'un fluide dilatant (2).

2.1.1.1.2 Les fluides d'Ellis: [13]

Le modèle d'Ellis est un modèle à trois paramètres, en cisaillement ($\mu_0; b, \tau^{1/2}$) simple. Il s'exprime sous la forme:

$$\tau = \frac{\mu_0 \gamma}{1 + \left| \frac{\tau}{\tau^{1/2}} \right|^{b-1}} \quad (07)$$

Avec : μ_0 : est la viscosité à cisaillement nul, b , et $\tau^{1/2}$ sont des paramètres d'ajustements.

2.1.1.1.3 Les fluides de Reiner – Phillipoff :[13]

La loi rhéologique de tels fluides comporte trois paramètres ($\mu_0, \mu_\infty, \tau_0$), et s'exprime comme :

$$\tau = \left(\mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_0} \right)^2} \right) \cdot \gamma \quad (08)$$

2.1.1.2 Les fluides avec (en présente) contrainte critique [14] :

2.1.1.2.1 Les fluides de Herschel – Bulkley :

La plus grande majorité des fluides non Newtoniens purement visqueux peuvent être représentés par le modèle de **Herschel-Bulkley** qui s'écrit sous la forme: $\tau = \tau_0 + m\gamma^n$

Avec :

τ_0 : Contrainte de seuil (contrainte critique, seuil de plasticité) ;

m : Indice de consistance du fluide ;

n : Indice de comportement (structure).

Pour $n = 0$ on retrouve la modèle de **Bingham**, pour $\tau_0 = 0$ on retrouve le modèle d'Oswald,

Pour $\tau = 0$ $n = 1$ on retrouve le modèle newtonien.

2.1.1.2.2 Les fluides de Bingham:[15]

Si la contrainte appliquée au fluide est inférieure à la contrainte seuil τ_0 , aucune déformation ne se produit, par conséquent, le fluide ne coule pas. Le modèle de **Bingham** décrit le comportement de plusieurs matériaux pseudo-plastiques pour de faibles taux de cisaillements.

Loi de comportement en fonction de la viscosité plastique μ_p s'écrit comme suit:

$$\tau - \tau_0 = -\mu_p \gamma. \quad (09)$$

Exemples de fluides présentant une contrainte de seuil: plusieurs types de suspensions, les fluides alimentaires comme la mayonnaise et le ketchup, les peintures, les encres d'imprimantes, le dentifrice.

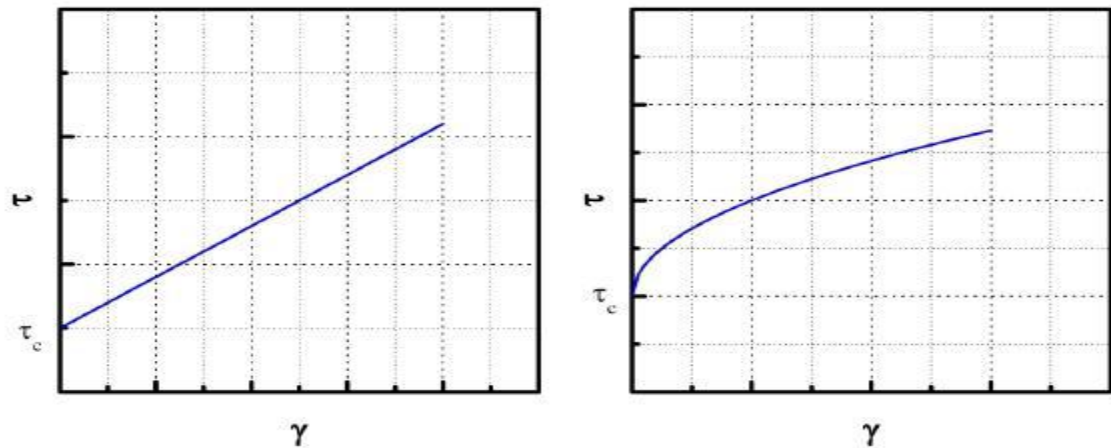


Fig. (1.6): Rhéogramme d'un fluide plastique idéal (Fluide de Bingham) et d'un fluide plastique fluidifiant.

2.1.1.2.3 les fluides de Casson : [16]

Ce modèle a été mis en évidence par **Casson en 1959**, à la base, Ce modèle a été développé pour décrire le comportement des encres d'imprimantes. Ce type de fluide non-newtonien présentant une contrainte de seuil est très utilisé dans l'industrie agroalimentaire, et il décrit particulièrement le comportement de diverses dispersions alimentaires (**chocolat, cacao**). Loi de comportement:

Pour : $\tau < \tau_0 : \gamma = 0$

Pour : $\tau > \tau_0 : \sqrt{\tau} + \mu_0 \sqrt{\dot{\gamma}}$

Avec : μ_0 viscosité plastique

2.1.1.2.4 Les fluides de Skelland : [16]

La loi rhéologique de tels fluides comporte quatre paramètres (μ_0, τ_0, m, c) et s'énonce comme

suit :

$$\tau - \tau_0 = \frac{\mu_p \dot{\gamma}}{1 + c(\tau - \tau_0)^m} \quad (10)$$

2.2 Les fluides dépendants du temps : [17]

Ce sont des fluides qui subissent une variation de leurs propriétés d'écoulement en fonction du temps de cisaillement auquel ils sont soumis. Leur comportement dépend de l'historique des contraintes qu'ils ont subi. C'est le cas des fluides de **Boltzmann**.

On distingue pour les fluides non-newtoniens dépendants du temps deux types de fluides qui ont un comportement distinct :

2.2.1 Fluides thixotropes : [15]

Les fluides thixotropes ont une viscosité qui évolue au cours du temps, on dit que le fluide se déstructure lorsqu'il devient liquide, et inversement, qu'il se structure lorsqu'une phase Viscoélastique apparaît. Ces structurations ou déstructuration sont le plus souvent liées à des phénomènes physico-chimiques. Notons qu'il est important de distinguer la thixotropie, phénomène qui correspond à des évolutions de la viscosité au cours du temps, de Le rhé fluidification qui correspond à des évolutions de la viscosité en fonction de la contrainte ou du gradient de la vitesse imposée.

Dans les domaines industriels comme dans le domaine naturel, la thixotropie apparaît comme étant mal comprise et source de problèmes aussi bien pratiques qu'économique dans certains cas. Pour n'en citer quelque uns, une mauvaise évaluation des propriétés d'un fluide de forage pétrolier peut engendrer un surcoût d'exploitation du fait du surdimensionnement des pompes nécessaires au démarrage du fluide structuré après un temps de repos assez long.

De même dans l'industrie cimentaire, la thixotropie est au cœur du développement des bétons autobloquants qui ont la propriété de pouvoir être mis en place dans des géométries complexes ou encore d'être pompés.

Dans les domaines naturels, la thixotropie est importante dans la prédiction des glissements de terrain où les sols argileux gorgés d'eau font apparaître de telles propriétés.

2.2.2 Les fluides Anti-thixotropiques : [17] :

C'est le cas inverse des fluides thixotropes, le fluide **anti-thixotropiques** ont une viscosité liquide accroît la formation de structure au sein de celui-ci.

Pas mal d'auteurs ont utilisé le terme de **Rhéopexie**, qui est aussi utilisé pour l'**anti thixotropie**. La **rhéopexie** est un phénomène extrêmement complexe qui n'a guère été étudié. Dans ce type de fluides, il apparaît qu'un faible cisaillement est susceptible de favoriser la structuration du produit.

2.3 Résumé quelque fluide généralisé : Tableau 02 qui résumé quelque fluide généralisé

L'équation rhéologique d'état générale : $\tau = m\gamma^n + \tau_0$ (11)

Type de fluid	n (indice d'écoulement)	τ_0
Newtonian	1	0
Bingham	1	>0
Herschel-Bulkley	n	>0
Rheoflu idifiant	0 < n < 1	0
Rheopaiss issant	0 < n < ∞	0

2.4 Rappels sur la rhéologie : [18] [19]

Tableau 03: modelés non newtoniens généralisés

Comportement Rhéologique	Nom du modèle	Modèle
Pseudo-plastique ou dilatant	Loi de puissance (Ostwald)	$\eta = m\dot{\gamma}I^{n-1}$
Pseudo-plastique ou dilatant	Ellis	$\tau = \frac{\dot{\gamma}\eta_0}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_{1/2}}\right)^{\alpha-1}}$
Pseudo-plastique	Carreau	$\eta = \eta_0 / (1 + [\lambda\dot{\gamma}]^2)^{\frac{n-1}{2}}$
Pseudo-plastique	Cross-Williamson	$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 + [\lambda\dot{\gamma}]^{1-n}}$
Pseudo-plastique	Carreau a 4 Paramètres	$\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 - \eta} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_{1/2}}\right)^{2-1}}$
Pseudo-plastique	Carreau Yassoda	$\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 - \eta} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_{1/2}}\right)^{\alpha-1}}$

2.4.1 Définition dans le dictionnaire :français :[20]

Fluide non newtonien indépendant du temps Fluide rhéo-fluidifiant ou pseudo-plastique. L'invention se rapporte à une composition pour l'étanchéité d'une paroi élastique d'une enceinte renfermant de l'air sous pression, ladite composition comportant un Fluide visqueux non-newtonien ; **pseudo plastique**, qui permet d'étanchéifier la paroi en caoutchouc élastique d'une enceinte renfermant de l'air sous pression.

2.4.2 La rhéo-fluidification :[12] [19]

Désigne le fait, pour un fluide, de « devenir plus fluide » lorsque la vitesse d'écoulement augmente. Plus précisément, cela désigne le fait que la viscosité dynamique diminue lorsque le taux de cisaillement augmente : η est une fonction décroissante de On parle aussi de **désépaississement au cisaillement** ou d'**amincissement au cisaillement** (shear thinning en anglais) ou encore de **pseudo-plasticité**.

Il ne faut pas confondre la **rhéo-fluidification** qui désigne la diminution de la viscosité sous l'effet de la contrainte de cisaillement, avec **la thixotropie**, propriété pour laquelle **la viscosité apparente** diminue par l'application d'une contrainte.

➤ **Exemples de fluides pseudo-plastiques :**

La lave, le ketchup, la crème fouettée, le sang, la peinture, le vernis à ongles, certaines solutions de polymères et certains polymères fondus sont des fluides pseudo-plastiques.

2.4.3 Comportement microscopique :[5]

La rhéo-fluidité s'observe en général lorsque le fluide possède de longues molécules. Au repos (aux faibles taux de cisaillement), les molécules sont disposées de manière aléatoire et s'accrochent entre elles. Lorsque le taux de cisaillement augmente, les chaînes moléculaires s'alignent et glissent les unes sur les autres, elles ne s'accrochent plus entre elles.

2.4.4 La loi d'Ostwald-de Waele ou loi en puissance :[21]

La loi d'Ostwald-de Waele ou loi en puissance est une loi de puissance définissant les fluides sans seuil. Elle relie la contrainte de cisaillement au taux de cisaillement

Cette loi simple permet de modéliser un fluide non-newtonien sans seuil en reliant la contrainte de cisaillement τ (tau) au taux de cisaillement. K est une constante appelée l'indice de consistance et n est l'indice d'écoulement. Dans le cas d'un fluide La rhéo-fluidité, $n < 1$ Et $\tau = k * \dot{\gamma}^n$ (12)

Si nous prenons la loi puissance pour équation rhéologique.

$$\tau = k * \dot{\gamma}^n \quad (13) \quad \text{Alors } f(\tau) = (\tau/k)^{1/n}$$

Où : K : est une constante : l'indice de consistance.

n : un nombre sans dimension : l'indice d'écoulement.

$$\text{La viscosité dynamique apparente est alors donnée par : } \eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = k * \dot{\gamma}^{n-1} \quad (14)$$

Nous avons cherché à comprendre l'influence de chacun des paramètres sur la longueur d'établissement de l'écoulement. Pour cela, nous avons réalisé plusieurs simulations. Dans chacune d'entre elles, nous imposons une vitesse négative aux parois du piston. Ceci permet au fluide d'avoir le même comportement que s'il était injecté par un piston. La vitesse V_0 est donc la vitesse imposée aux parois.

Ainsi si :

$0 < n < 1$: le fluide est rhé fluidifiant ou pseudo plastique ;

$n = 1$, il est newtonien ;

$n > 1$, il est rhé épaisissant ou dilatant.

Cette modélisation est approximative puisqu'elle n'est valide que dans une gamme de cisaillement dont l'intervalle dépend du fluide lui-même. Elle omet les deux plateaux newtoniens (η_0 et η_∞) qui sont bien modélisés par la loi de Carreau-Yasuda. Toutefois, elle modélise bien le comportement des polymères fondus sur une large gamme de taux de cisaillement correspondant aux valeurs typiques de l'injection plastique, et est donc fréquemment utilisée dans ce domaine.

2.4.5 Forme logarithmique :[22] ; Comme toutes les lois de ce type, elle admet une forme logarithmique affine :

$$\mathbf{Ln\eta_a = LnK + (n-1).Ln\dot{\gamma}} \quad (15)$$

Le graphe de la fonction dans une échelle logarithmique est une droite. Il est donc facile de dériver les paramètres de la loi à partir de données expérimentales

Dépendance de la température :[23]

Certains auteurs rajoutent un terme pour obtenir une dépendance en température plutôt que d'avoir un jeu de paramètres (K, n) par température.

$$\mathbf{Ln\eta_a = k \dot{\gamma}^{n-1} e^{ct}} \quad (16)$$

Où T est la température thermodynamique et ct est une constante caractéristique du matériau.

La forme logarithmique devient. $\mathbf{Ln\eta_a = LnK + (n-1).Ln\dot{\gamma} + ct}$

2.4.6 Loi du second ordre :[5]

Certains logiciels de simulation, en particulier Autodesk **Mold Flow**, proposent une loi de second ordre à partir de la forme logarithmique de la loi en puissance:

$$\mathbf{Ln\eta_a = A_0 + A_1 Ln\dot{\gamma} + A_2 \cdot T + A_2 T Ln\dot{\gamma} + A_3 \cdot T Ln\dot{\gamma} + A_4 Ln^2\dot{\gamma} + A_5 T^2} \quad (17)$$

Il s'agit d'une loi purement empirique, donc sans justification fondamentale particulière. Le fait d'avoir des termes de second ordre permet d'étendre la validité de la loi, c'est-à-dire d'avoir un modèle en adéquation avec les mesures sur une plus grande plage de valeurs de taux de cisaillement et de température.

3 : Le comportement non-newtonien indépendant du temps:[24]

3.1 : Le fluide sans contrainte critique :

3.1.1 : Les rhéo-fluidifiants ou pseudo-plastiques :

Le comportement rhéo-fluidifiant est défini par un rhéo-gramme dont la concavité est tournée vers le bas. Dans ce type d'écoulement la viscosité décroît lorsque le cisaillement augmente.

En général, ces fluides sont représentés, par une loi de puissance ou encore loi d'Ostwald (Equation) $\tau = k * \dot{\gamma}^n$ (18)

Avec :

$0 < n < 1$; k : représente l'indice de consistance (Pa.s),

n : l'indice d'écoulement (sans dimension).

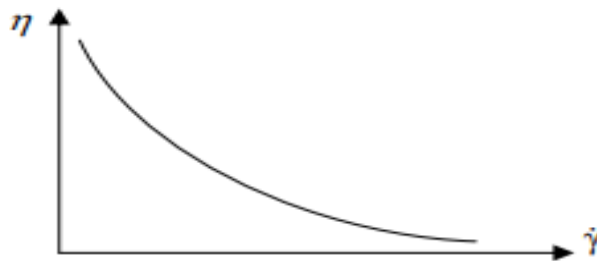


Fig. (1.6) : Variation de la viscosité en fonction du gradient de vitesse.

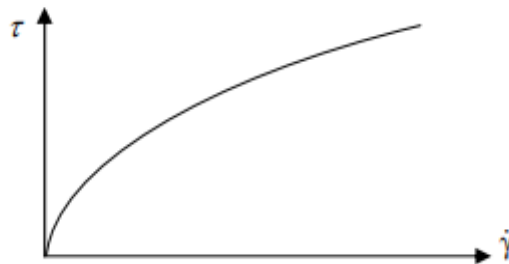


Fig. (1.7): Comportement rhéofluidifiant.

L'équation de la loi de puissance ou loi d'Ostwald s'exploite facilement en passant aux logarithmes (recherche par régression linéaire pour validation du modèle). En effet, l'équation devient :

$$\text{Log } \tau = \text{log}K + (n) \cdot \text{ln} \dot{\gamma} \quad (19)$$

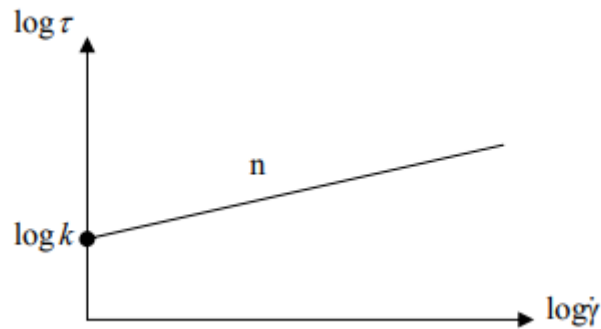


Fig. (1.8) :L'expression logarithmique

La loi de puissance permet de résoudre bon nombre de problèmes d'écoulement de fluides non newtoniens. Les limites de ce type de loi interviennent lorsque le rhéogramme présente deux régions newtoniennes, l'une à faible vitesse de cisaillement et l'autre à forte vitesse de cisaillement. Ces comportements rhéologiques particuliers sont ajustés par des relations à trois ou quatre paramètres.

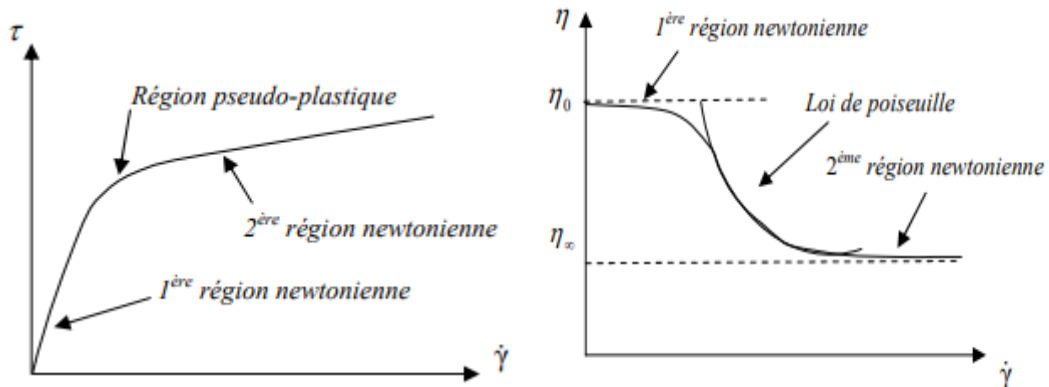


Fig. (1.9) :[14] Comportement rhéofluidifiant avec deux régions newtoniennes

Les exemples courants de fluides rhéo-fluidifiant sont le yaourt, certaines crèmes, pommades cosmétiques et certains gels d'amidon.

3.2 : Lois de comportement rhéofluidifiant [23] :

3.2.1 : Williamson
$$\tau = \frac{A\dot{\gamma}}{B+\dot{\gamma}} + \eta_{\infty}\dot{\gamma} \quad (20)$$

Ou : viscosité de la 2^{ème} région newtonienne (pa.s).

A, B sont des constantes.

3.2.2 : Ellis
$$\tau = \frac{\dot{\gamma}\eta_0}{1+(\frac{\tau}{\tau_{1/2}})^{\alpha-1}} \quad (21)$$

Avec η_0 : viscosité de la 1 ère région newtonienne (Pa.s).

$\alpha > 1$: traduit l'écart avec le comportement newtonien (sans dimension).

$\tau_{1/2}$: Contrainte (Pa) pour laquelle $\eta = \eta_0 / 2$.

3.2.3 : Shangraw :[29-30]
$$\tau = \tau_0(1 - e^{-bt}) \quad (22)$$

τ_0 : La contrainte pour $\dot{\gamma} = 0$ et **b** : constante de temps (s).

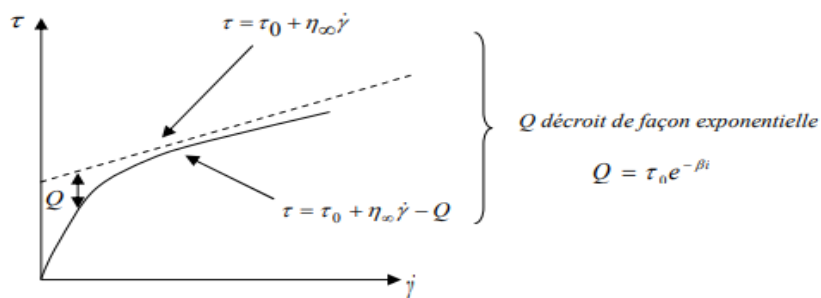


Fig. (2) : Le débit d'écoulement par rapport à la variation de la contraint en fonction de gradient de vitesse.

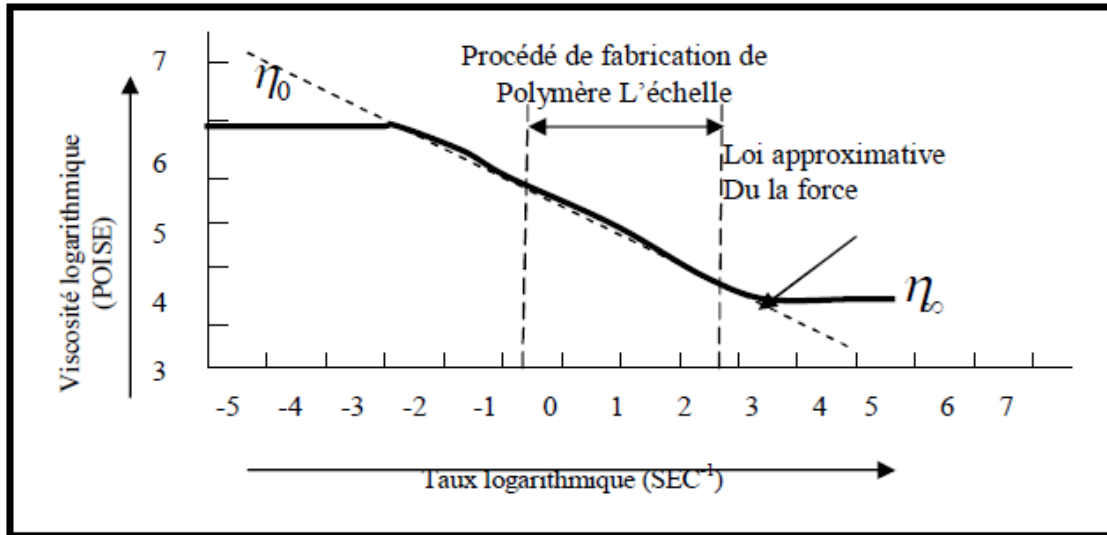
3.3 :Les types de modèle de viscosité non newtonienne sont :[3]

3.3.1 :Modèle Pseudo-plastique :[25]

3.3.1.1 : Loi de puissance :

La plupart des polymères (exemples) n'ont pas une comporte newtonienne. Cela signifie que leur viscosité n'est pas indépendante de la vitesse de cisaillement mais décroît en fonction de la vitesse de cisaillement. La pseudo-plastique est la propriété d'un matériau qui exprime le fait que la viscosité Soit une fonction décroissante du taux de cisaillement.

- ❖ **Les modèles rhéologiques proposes sont :[26]** : Le premier modèle de comportement pour un fluide non gazéifie a été développé par Ostwald et de Waele .Le modèle est basé sur l'observation d'une plage linéaire de la viscosité en fonction taux de cisaillement sur un graphique log-log (**Fig.21**).

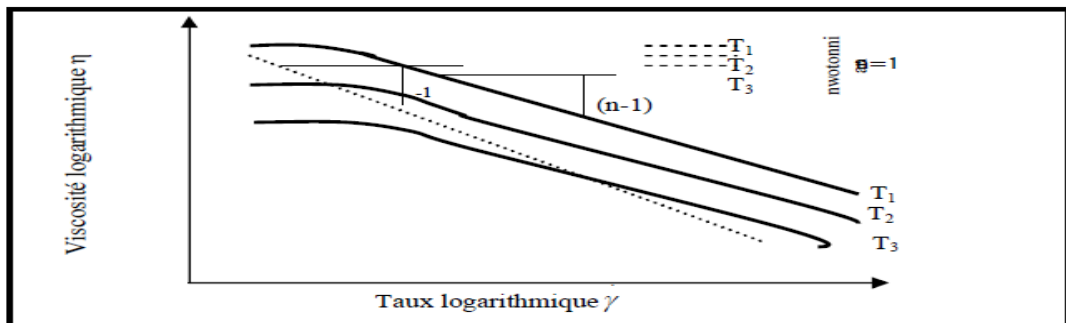


(Fig.2.1) loi de puissance

K : Est la consistance du liquide [N.sec²/m²]

n : Indice de pseudo-plasticité.

La relation entre **η** et **γ̇** est en général représenté en échelles logarithmiques la loi de Puissance se traduisant alors par une droite de pente **n-1** (Fig.2.2).



(Fig.2.2): Loi de puissance pour différentes températures.

3.3.1.2 : Modèle de Carreau :[27]

Le modèle de la loi de puissance s'applique sur une plage limitée de la courbe de viscosité(Fig.2.3). En réalité à des faibles taux de cisaillement les (polymères exemples) ont un comportement newtonien, c.-à-d. que la viscosité est indépendante du taux de cisaillement. Carreau à développer un modèle qui représente complètement la courbe de viscosité et qui prend en charge ce plateau,

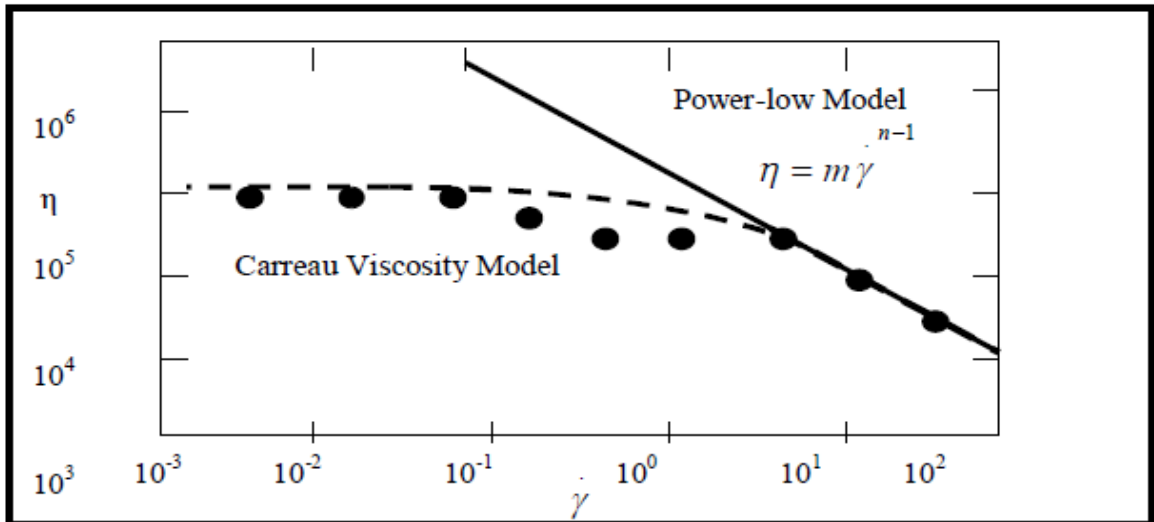
son modèle s'écrit :

$$\eta = \eta_0 (1 + [\lambda \dot{\gamma}]^2)^{\frac{n-1}{2}} \quad (23)$$

η₀ : viscosité à cisaillement nul.

λ: constante de temps.

n: indice de la loi de puissance



(Fig.2.3).Modèle de Carreau

3.3.1.3 Modèle de Cross :[28]

Le modèle de cross est une variante du modèle carreau, il s'écrit. (Fig2.4) :

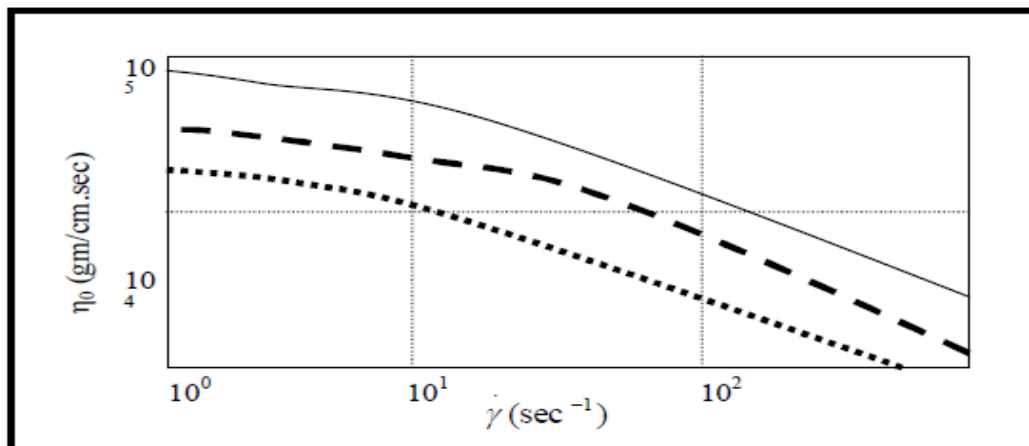
$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1+[\lambda\dot{\gamma}]^{1-n}} \quad (24)$$

Sous une autre forme :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1+\left(\frac{\eta_0\dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}} \quad (25)$$

τ^* : Taux de cisaillement marquant le début de la zone de pseudo-plasticité.

On trouve sur la figure suivante, trois courbes expérimentales de viscosité ainsi que trois courbes calculées à partir du modèle de cross pour une résine de PS.



(Fig2.4) : Modèle de Cross.

3.3.2 Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant [29] :

Le modèle pseudo-plastique thermo-dépendant tient compte de la variation de la viscosité en fonction du taux de cisaillement et de la température.

Une augmentation de température résulte en une diminution de la viscosité due à l'augmentation de mobilité des chaînes de polymères. En règle générale la viscosité des polymères amorphes est plus sensible aux variations de la température que la viscosité des polymères semi-cristallins.

1-Etudes bibliographique sur les fluides non newtoniens notamment les fluides pseudo plastique : Directory of Open Access Journals (Sweden)[30]

J.I. Orisaleye 2018-04-01. : [31]

Dans cette étude, un modèle analytique approprié pour concevoir une extrudeuse à vis pour des matériaux légèrement non newtoniens a été développé. Le modèle a été utilisé pour prédire les performances de l'extrudeuse à vis lors du traitement de matériaux avec des indices de loi de puissance légèrement différents de l'unité (le cas newtonien). En utilisant l'analyse non dimensionnelle, les effets des paramètres de conception et de fonctionnement ont été étudiés. Des expressions permettant de déterminer la profondeur optimale du canal et l'angle d'hélice ont également été dérivées. Le modèle est capable de prédire les performances de l'extrudeuse à vis dans la plage des indices de loi de puissance considérés. L'indice de loi de puissance influence le choix de la profondeur optimale du canal et de l'angle d'hélice de l'extrudeuse à vis. Mots clés: Extrudeuse à vis euh, Légèrement non newtonien, Amincissement par cisaillement, Pseudo-plastique, Bio polymère, Loi de puissance.

Javier Andrés Martínez 2011 :[32]

En étudier l'application de la technique de synthèse directe de Tiabâ€™™s à des fluides dilatants non newtoniens / newtoniens.

Texte intégral disponible Les fluides non newtoniens, tels que les solutions polymères, sont utilisés par l'industrie pétrolière depuis de nombreuses années comme agents de fracturation et boue de forage. Ces solutions, qui comprennent normalement de l'eau épaissie et des fluides gélifiés, sont injectées dans la formation pour améliorer la récupération d'huile en améliorant l'efficacité du balayage. Il est à noter que certaines huiles lourdes se comportent de manière non newtonienne. Les fluides non newtoniens n'ont pas de proportionnalité directe entre la contrainte de cisaillement appliquée et le taux de cisaillement et la viscosité varie avec le taux de cisaillement selon que le fluide est pseudo plastique ou dilatant. La viscosité diminue à mesure que le taux de cisaillement augmente pour le premier tandis que l'inverse se produit pour les dilatants.

Science.gov (United States).

:Zou, L.; Håkansson, U.; 2017-12-01 : [33]

En étudier l'écoulement de fluide non newtonien dans les réseaux de fractures 2D.

La modélisation de l'écoulement de fluides non newtoniens (par exemple, les fluides de forage et les coulis de ciment) dans les roches fracturées est intéressante dans de nombreuses pratiques géophysiques et industrielles, telles que les opérations de forage, la récupération assistée du pétrole et l'injection de roches. Dans les masses rocheuses fracturées, les voies d'écoulement sont dominées par des fractures, qui sont souvent représentées comme des réseaux de fractures discrets (DFN). Dans la littérature, de nombreuses études ont été consacrées à l'écoulement des fluides newtoniens (par exemple, les eaux souterraines) dans la roche fracturée en utilisant le concept DFN, mais peu de travaux sont consacrés aux fluides non

newtoniens. Dans cette étude, une équation d'écoulement généralisée pour les non-newtoniens communs fluides (tels que Bingham, loi de puissance et Herschel-Bulkley).

International Nuclear Information System (INIS)

Li, Si-Ning; Zhang, Hong-Na; Li, Xiao-Bin; Li, Qian; Li, Feng-Chen; Qian, Shizhi; Joo, Sang Woo 2017 :[30]

Etude numérique sur les performances de transfert de chaleur d'un écoulement de fluide non newtonien dans un dissipateur thermique à micro canaux de collecteur.

Points forts:
• Les performances de transfert de chaleur d'un écoulement de fluide non newtonien dans un MHS sont étudiées.
• L'écoulement de fluide pseudo-plastique peut clairement favoriser l'efficacité du transfert de chaleur dans la MMC.
• L'amélioration du transfert de chaleur est attribuée à l'émergence d'un flux secondaire.
• L'uniformité du transfert de chaleur peut également être améliorée par un écoulement de fluide pseudo-plastique. - Résumé: performances de transfert de chaleur, y compris l'efficacité du transfert de chaleur et l'uniformité de la distribution de la température, ainsi que l'influence des configurations d'entrée / sortie sur l'écoulement du fluide et le transfert de chaleur.

Science.gov (United States)

Palaksha, C. P.; Shivaprakash, S.; Jagadish, H. P. 2016-09-01 :[34]

En étudier les caractéristiques dynamiques de l'amortisseur à film à compression de fluide non newtonien. Les fluides qui ne suivent pas de relation linéaire entre le taux de déformation et la contrainte de cisaillement sont appelés fluides non newtoniens. Les fluides non newtoniens sont généralement classés comme ceux dans lesquels la contrainte de cisaillement dépend uniquement des taux de cisaillement, les fluides pour lesquels la relation entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement dépend du temps et les fluides visco-inélastiques qui possèdent à la fois des propriétés élastiques et visqueuses. Il est assez difficile de fournir une relation constitutive unique qui puisse être utilisée pour définir un fluide non newtonien en raison d'une grande diversité trouvée dans sa structure physique. Les fluides non newtoniens peuvent présenter un comportement rhéologique complexe impliquant des effets de fluidification par cisaillement, viscoélastiques ou thixotropes. La caractérisation rhéologique des fluides complexes est une question importante dans de nombreux domaines.

Directory of Open Access Journals (Sweden)

J. Javorova 2016-06-01 :[35]

En étudier l'analyse des paliers lisses HD en tenant compte de la déformation élastique et du modèle de fluide de Rabinowitsch non newtonien Texte intégral disponible Le but de cet article est d'étudier les performances d'un palier à tourillon de longueur finie, en tenant compte des effets de la rhéologie d'écoulement non newtonienne de Rabinowitsch et des déformations élastiques du revêtement du palier. Selon le modèle de fluide de Rabinowitsch, l'équation constitutive de la contrainte cubique est utilisée pour rendre compte des effets non newtoniens des lubrifiants

pseudoplastiques et dilatants. Et Couche limite pour les fluides non newtoniens sur des surfaces courbes.

International Nuclear Information System (INIS) :

Stenger, N. 1981-04-01 :[36]

En étudiant l'utilisation de l'équation de base du mouvement des fluides (conservation de la masse et de la quantité de mouvement), les paramètres de la couche limite pour un écoulement de fluide non newtonien, incompressible et laminaire, ont été évalués. A titre d'essai, la couche limite de la plaque plane est d'abord analysée et ensuite, un cas avec gradient de pression, permettant la séparation, est étudié. Dans le cas des surfaces courbes, le problème est d'abord développé en général et ensuite particularisé à un cylindre circulaire. Enfin, l'aspiration et le glissement dans l'interface d'écoulement sont examinés. Le modèle de loi de puissance est utilisé pour représenter la relation contrainte-déformation dans un écoulement non newtonien.

Science.gov (United States)

Mucha, Piotr B.; Peszek, Jan; 2018-06-01 :[37]

En étudiant le Flocage des particules dans un fluide épaississant de cisaillement non newtonien . Nous prouvons l'existence de solutions fortes au modèle de flocage Cucker - Smale couplé à un fluide non newtonien visqueux incompressible avec le tenseur de contrainte d'une structure de loi de puissance pour. La partie fluide du système admet des solutions fortes tandis que les solutions de la partie CS sont faibles. Le couplage est effectué par une force de traînée sur un domaine spatial périodique. De plus, nous construisons une fonctionnelle de Lyapunov déterminant le comportement dans le temps des solutions du système.

Science.gov (United States)

Kiran, M.; Dasgupta, Sunando; Chakraborty, Suman 2017-11-01 :[38]

Pour étudier Interaction de structure fluide non newtonienne dans des microcanaux biomimétiques flexibles .Et étudier les interactions complexes de la structure du fluide dans un microcanal physiologiquement pertinent avec une paroi déformable et un fluide non newtonien qui s'écoule à l'intérieur, nous avons fabriqué des microcanaux cylindriques de diverses douceur à partir de PDMS. Des expériences pour mesurer la chute de pression transitoire à travers le canal ont été réalisées avec des fréquences d'échantillonnage élevées pour capturer la physique complexe des écoulements. En particulier, nous avons montré que les formes d'onde varient considérablement pour chacun des cas non newtonien et newtonien pour les microcanaux non déformables et déformables en termes d'amplitude de crête, d'amplitude r.m.s et de facteur de crête. De plus, nous avons réalisé des expériences de balayage de fréquence pour évaluer la réponse en fréquence du système. Nous pensons que ces résultats aideront à la conception de fantômes microfluidiques à base de polymères pour les études FSI artérielles.

Science.gov (United States) Huizinga, R.J. 1996-01-01 :[39]

En étudiant du canal à rotation verticale à l'aide de fluides non newtoniens .en fait trois essais sur des fluides non newtoniens ont été utilisés pour vérifier l'utilisation d'un canal à rotation verticale (VRF) pour l'étude des propriétés rhéologiques de l'écoulement des débris. Le VRF est décrit et une procédure pour l'analyse des résultats des tests effectués avec le VRF est présentée. Les principaux avantages du VRF sont un champ d'écoulement conforme à celui que l'on trouve dans la nature, un seuil de grand diamètre de particules, un fonctionnement peu coûteux et une vérification utilisant plusieurs matériaux différents; les limitations majeures sont un manque de contrôle de la température et une certaine erreur résultant de l'utilisation du modèle plastique de Bingham pour décrire un phénomène plus complexe. Il peut être étudié pour mesurer les propriétés rhéologiques de matériaux à écoulement de débris à gros grains.

Science.gov (United States)

Etemad, S Gh; Thibault, J; Hashemabadi, S H 2003-10-01 :[40]

En étudiant le calcul du facteur de correction du tube de Pitot pour les fluides newtoniens et non newtoniens.

En et Cet article présente l'investigation numérique réalisée pour calculer le facteur de correction des tubes de Pitot. Les fluides non newtoniens purement visqueux avec l'équation constitutive du modèle de loi de puissance ont été considérés. Il a été démontré que l'indice de loi de puissance, le nombre de Reynolds et la distance entre les tubes d'impact et statiques ont une influence majeure sur le facteur de correction du tube de Pitot. Le problème a été résolu pour un large éventail de ces paramètres. Il a été montré que l'utilisation de l'équation de Bernoulli pouvait conduire à de grandes erreurs, qui dépendent de l'ampleur des termes d'énergie cinétique et de perte d'énergie par frottement. Un modèle de réseau neuronal a été utilisé pour corrélérer le facteur de correction d'un tube de Pitot en fonction de ces trois paramètres. Cette étude est valable pour la plupart des fluides newtoniens, pseudo plastiques et dilatants à faible nombre de Reynolds.

International Nuclear Information System (INIS)

Zvyagin, V G; Kondrat'ev, S K 2014-01-01 :[41]

En étudiant l'attracteurs d'équations de la dynamique des fluides non newtonienne.

Cette étude décrit une version de la méthode de l'attracteur de trajectoire, qui est appliquée pour étudier le comportement asymptotique limite des solutions d'équations de la dynamique des fluides non newtonienne. En étudiant pour de nombreuses équations de dynamique des fluides non newtonienne.

International Nuclear Information System (INIS)**Wilson, Helen J 2012-01-01** :[42]

En étudiant problèmes mathématiques ouverts concernant les fluides non newtoniens. Nous présentons trois problèmes ouverts dans la modélisation mathématique de l'écoulement des fluides non newtoniens. Le premier problème est assez ancien: une discontinuité dans la dépendance de la vitesse de montée d'une bulle de gaz à son volume. Ceci est très bien caractérisé expérimentalement mais pas, jusqu'à présent, entièrement reproduit ni numériquement ni analytiquement. Encore de prédiction analytique ou semi-analytique de l'instabilité linéaire qui doit être présente. (Article invité).

Science.gov (United States)**Demianov, A. Yu; Doludenko, A. N.; Inogamov, N. A.; Son, E. E. 2013-07-01** :[43]

En étudiant le mélange turbulent de fluides non newtoniens La turbulence causée par l'instabilité de Rayleigh-Taylor représente un phénomène compliqué. Il est généralement lié aux principales activités hydrodynamiques, à l'enchevêtrement de la limite de contact du milieu, à la fusion, à la séparation et au mélange des structures initiales initialement lissées. Un rôle important dans la théorie de l'instabilité de Rayleigh-Taylor est joué par la discontinuité de densité sur une interface de contact entre deux fluides homogènes (en termes de densité). Une modélisation numérique du mélange de deux fluides de rhéologie différente dont les densités diffèrent deux fois en raison de l'instabilité de Rayleigh-Taylor a été réalisée.

National Research Council Canada - National Science Library**Balmforth, Neil 2004** :[44]

En étudiant les modèles conceptuels du programme d'étude climatique 2003: dynamique de fluides géophysiques non newtoniennes.

Les fluides non newtoniens se produisent couramment dans notre monde. Ces fluides, tels que le dentifrice, la salive, les huiles, la boue et la lave, présentent un certain nombre de comportements différents des fluides newtoniens et ont un certain nombre de propriétés matérielles supplémentaires.

[47] Science.gov (United States)**Huh, Hyung Kyu; Ha, Hojin; Lee, Sang Joon 2015-08-01** :[45]

En étudiant l'Effet de la viscosité non newtonienne sur les caractéristiques de dynamique des fluides dans les vaisseaux sténosés.

Bien que le sang soit connu pour avoir des propriétés anticoagulantes et viscoélastiques, les effets de ces propriétés sur les caractéristiques hémodynamiques dans divers environnements vasculaires ne sont pas encore entièrement compris. Dans cette étude, trois liquides analogues sanguins de même indice de réfraction avec des viscosités différentes sont préparés - un newtonien et deux analogues non newtoniens - qui correspondent à un sang sain avec 45% d'hématocrite (c'est-à-dire

non newtonien normal) et du sang obèse avec viscosité plus élevée (c.-à-d. non newtonienne anormale).

Science.gov (United States)

Binous, Housam 2007-01-01 :[46]

En étudions quatre problèmes de mécanique des fluides non newtoniens en utilisant Mathématique [R]. Les équations constitutives décrivant le comportement des modèles de loi de puissance, de Bingham et de Carreau sont rappelées. Le profil de vitesse est obtenu pour l'écoulement horizontal des fluides de loi de puissance dans les tuyaux et les anneaux. Pour le flux de film laminaire vertical d'un fluide Bingham, nous déterminons le ...

2-Etudes bibliographique sur les échangeurs:[47],[48]

Les chercheurs actuellement s'intéressent sont par exemple : écoulement d'un fluide à la présence du transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur afin d'améliorer le coefficient du transfert, comportement des écoulements turbulents dans les échangeurs. Quelques recherches ont été entamées, citons

S. Petitot2002 :[49]

Etude numérique du champ de vitesse dans un échangeur à vortex L'étude numérique du champ de vitesse dans une cellule d'échangeur à vortex en conditions isothermes est menée à l'aide du code CFD-ACE. La turbulence est modélisée par un modèle classique K-epsilon. On obtient ainsi une meilleure compréhension de la dynamique de l'écoulement secondaire : le modèle K-epsilon rend compte de sa forte dépendance vis-à-vis du nombre de Reynolds comme cela avait déjà été mis en évidence par les mesures expérimentales.

J. Castaing , F. STrub, C. Peuvrel, J. Bedecarrats ,2004 :[50]

En étudier Optimisation des conditions de fonctionnement des échangeurs a coulis de glace par l'analyse exergetique, Université de Pau des pays de l'Adour (UPPA) Laboratoire thermique, énergétique et procédés (La TEP)BP1155-64013Pau, Nancy- France, COFRET 04,22-24 avril ,

Optimisation des conditions de fonctionnement des échangeurs a coulis de glace par l'analyse exergetique, Université de Pau des pays de l'Adour (UPPA) Laboratoire thermique, énergétique et procédés (La TEP) , ils ont fait l'analyse énergétique et énergétique des échangeurs de chaleur fonctionnant avec des coulis de glace comme fluide caloporteur, ils ont trouvés comme résultat à travers l'exemple du couple eau /éthanol.

Duinea,2008 :[51]

En étudie la modélisation mathématique du fonctionnement d'un échangeur de chaleur, annales of the university of Craiova , electrical engineering séries° 32, ISSN 1842 -4805.[

Duinea].Le modélisation mathématique du fonctionnement d'un échangeur de chaleur .cette étude présente le bilan thermique réel d'un échangeur tube et calandre on considérant un échangeur de chaleur de surface eau-eau , type ½ - un passage d'agent thermique primaire par le manteau et deux

passage d'agent thermique secondaire par le faisceau de tubes en mode d'écoulement contre-courant .

J. Castaing Lasvinottes, M. Moussa, J. Marie perrier cornet, 77 :[52]

Fait les études sur les échangeurs tubulaires et échangeurs à surface raclée, (2002).

Ont fait une étude sur l'échangeur coaxial, et développer des équations analytiques donnant les températures des fluides pour un écoulement à contre-courant et co courant en régime stationnaire aussi les puissances d'échanges , l'efficacité de cet échangeur et l'étude des profils de température dans un échangeur à contre-courant en fonction des valeurs prises par les débits de capacité thermique.

K. Talbi, A. Donnot, Z. Nemouchi et M.O. Rigo :[53]

Fait une étude expérimentale par LDA d'un écoulement tridimensionnel turbulent de l'air dans un cyclone, européen journal mechanical and environmental engineering, Vol 48, N°4, Décembre , (2003).],

En étudiant expérimentale par LDA d'un écoulement tridimensionnel turbulent de l'air dans un cyclone. Il a présenté une étude par LDA et simulation de l'écoulement turbulent tridimensionnel dans un échangeur cyclone, des mesures des vitesses moyennes et des intensités de la turbulence axiales tangentiels ont été effectuées par LDA. Aussi il a fait une étude de simulation par fluent sur la même configuration géométrique, il a utilisé deux modèles de turbulence le modèle RSM et le modèle K-epsilon, Il a fait une comparaison des profils de vitesse moyenne tangentielle sous le conduit de sortie et l'obtention du mouvement ondulatoire de l'axe de l'écoulement par rapport à l'axe du cyclone.

M. Elouardi : [54]

Fait l'étude du couplage entre les grandeurs classiques et les propriétés thermo physique dans un échangeur à tube et calandre à contre- courant, revue des énergies renouvelables Vol N°2 (2011)313 -328) , 20 juin (2011) .],

On étudie le couplage entre les grandeurs classiques et les propriétés thermo -physiques dans un échangeur à tube et calandre à contre-courant, il a fait une étude numérique sur l'échangeur à tube et calandre en mode contre-courant ces calculs repose en partie sur les calculs élémentaires que l'on peut effectuer sur les échangeurs double tube, définit le système comme étant constitué du fluide froid et du fluide chaud dans leur traversée de l'échangeur .cette échange attribuée à leur couplage avec les propriétés thermo physiques.

Timothy J. Rennie, Vijaya G.S. Raghavan:[55]

Study effect of fluid thermal properties on the heat transfer characteristics in a double-pipe helical heat exchanger, International Journal of Thermal Sciences, 45 1158–1165. Canada, (2006).]

Ont fait une modélisation numérique d'un échangeur à double-tube hélicoïdal , et déterminer l'effet des propriétés thermiques des liquides sur le transfert thermique en réalisant deux études , la première avec trois nombres différents de Prandtl (7.0,12.8 et 70.3) et la seconde avec des conductivités thermiques dépendantes de la température des liquides. Pour la deuxième étude les deux modes d'écoulement co-courant et contrecourant ont été étudiés. Le nombre de Nusselt dépendait du nombre de Prandtl, d'après la première étude.

L'étude du transfert thermique dans la région d'entrée d'un échangeur de chaleur est d'une grande importance vu qu'elle permet de prédire avec précision le coefficient d'échange global de l'échangeur. Parmi les premiers travaux dans ce domaine, on cite :

R.P. Stein, Prog.Symp. Se, N°59, pp. 78-87, (1965) :[56]

Qui a étendu la solution analytique du problème de Graetz (écoulement laminaire dans un tube circulaire à paroi isotherme) au cas d'un échangeur de chaleur à double tube en configuration Courants parallèles.

R.J.Nunge et al :[57]

[56] : R.J. Nunge and W.N. Gill, an Analytical Study of Laminar Concurrent Flow Double Pipe Heat Exchanger, A. I. Ch .E Journal, Vol 12, N°2, pp. 279-289, (1966).

Ont proposé la solution pour la configuration courante inversée. Cependant, on trouve peu de travaux qui prennent en considération l'effet de la conduction axiale dans la région d'entrée d'un échangeur. Parmi ces travaux, on cite.

4 Introduction Générale :[25]

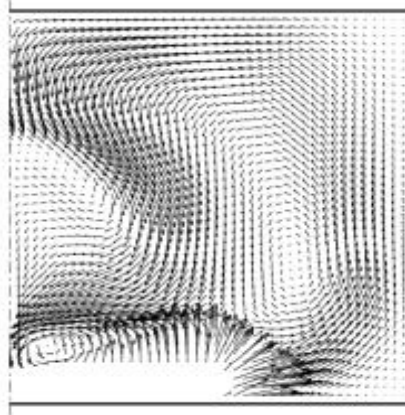
Il est difficile de concevoir un procédé industriel dans lequel il n'y ait au moins une unité de mélange, soit la dissolution de phases miscibles ou l'agitation de différentes phases immiscibles. Ainsi, on trouve des opérations de dissolution de solides en liquides ou liquides en liquides, de formation de suspensions de solides en liquides ou de bulles de gaz en liquides. On peut citer certainement une liste non exhaustive des secteurs industriels concernés : La chimie est la pétrochimie, l'industrie pharmaceutique humaine et animale, agroalimentaire, des cosmétiques, métallurgiques, nucléaire, la production et le traitement des eaux...etc.

L'analyse des opérations de mélange est presque sans exception, d'une extraordinaire difficulté. D'une part, il y a le phénomène hydrodynamique, fréquemment de type turbulent où interviennent la géométrie de l'élément de mélange, le débit de fluide et la vitesse de l'agitateur, la puissance consommée et la viscosité des différentes phases. D'une autre part, il faut aussi compter la teneur et la nature des composants, qui peuvent exhiber un rôle dominant sur le résultat du mélange, spécialement si une ou plusieurs des substances détiennent une activité interrassiale. La situation devient plus compliquée dans les systèmes concentrés car des comportements fortement non-Newtonien, du type viscoplastique et viscoélastique, font leur apparition et s'accroissent au fur et à mesure que la concentration augmente.

Par conséquent, on peut comprendre pourquoi l'état de l'art concernant le mélange est encore très empirique, surtout le savoir-faire au niveau industriel. Cet état des choses se reflète sur les statistiques mondiales pour l'année 1989 : une enquête réalisée aux Etats Unis conclurait qu'environ **5%** des pertes de production dans l'industrie chimique étaient liées à des problèmes d'agitation et de mélange.

Une autre enquête en **1991** conclure que les pertes industrielles dues aux échecs opérationnels en matière de mélange et dispersion ont été de l'ordre de **1 à 60 millions d'US\$**. Dix années après cette situation n'a pas beaucoup changé malgré les efforts qui ont été consacrés à ce sujet.

Agitateurs magnétiques : L'agitation magnétique est de loin la plus pratique et la plus simple à mettre en œuvre. On place un barreau magnétique recouvert d'un revêtement inerte (le plus souvent **TEFLON, quelque fois du verre**) dans le mélange à agiter, suivant les récipients, il existe différentes formes de barreau : des barreaux simples pour les récipients à fond plat, en forme d'olive pour les ballons et en forme de croix pour les tubes à essai. Le barreau magnétique présent dans le milieu est entraîné par un aimant tournant situé sous le récipient :



(Fig.2) : champ de vitesse créé par un agitateur magnétique:[25]

4.1 Mélangeurs statiques : Les mélangeurs statiques sont des obstacles fixes, plus ou moins hélicoïdaux, placés dans une conduite pour y mélanger les flux transversalement de manière systématique, en écoulement axial co-courant de type piston. Ils ne comportent pas de pièce mobile, mais la perte de charge qu'ils provoquent apporte l'énergie nécessaire au mélange. Des formes très variées sont proposées, plus ou moins ouvertes et complexes (**fig.3**), plusieurs éléments sont souvent placés en série dans la conduite pour atteindre le degré de mélange souhaité. Ces mélangeurs sont bien adaptés à de nombreux problèmes



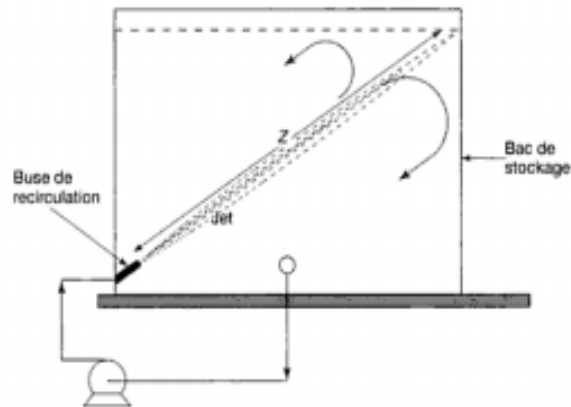
(Fig.3) : Mélangeur statique pour fluide visqueux ou pâteux

4.2 Les mélangeurs ultrasons :[25]

Le filet fluide passe sur une lame qui vibre à des fréquences ultrasoniques. L'utilisation de ce type de mélangeur est répandue pour accélérer des réactions chimiques homogènes (liquides ou solides) ou hétérogènes (liquide-solide).

4.3 Mélangeur a jets (mélange par recirculation) : [58]

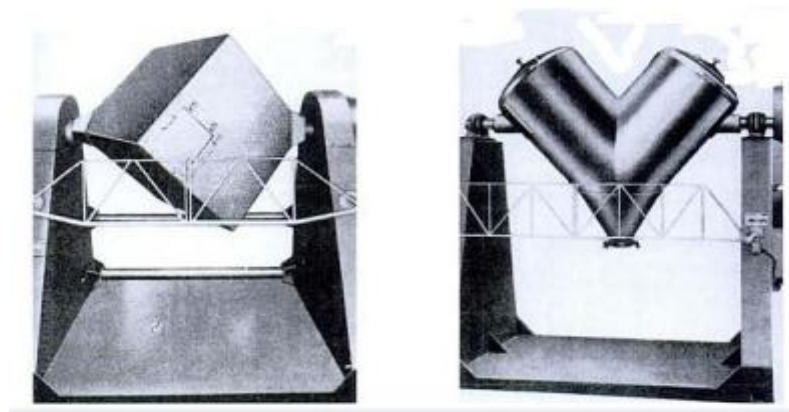
Si la qualité du mélange n'est pas suffisante, on peut avoir recours au mélange par recirculation pour améliorer l'homogénéité. Des produits étant coulés dans un bac après mélange en ligne, la méthode consiste à recirculer pendant un certain temps les produits sur eux-mêmes. Une pompe les aspire à la base du réservoir et les refoule également à la base dans une tubulure simple ou munie d'un convergent intérieur qui projette le liquide à la façon d'un jet et provoque ainsi des courants favorables au mélange. (Fig.4)



(Fig.4) : principe d'un mélangeur par jet dans une cuve de stockage.

4.4 Mélangeur a cuve mobile : [25]

Ces appareils sont des récipients clos qui tournent sur eux-mêmes et contiennent les produits à mélanger. Leurs formes très variables: cylindriques (peu efficace), cubique (très réponde), mélangeur a double cuve de forme de V (fig. 5):

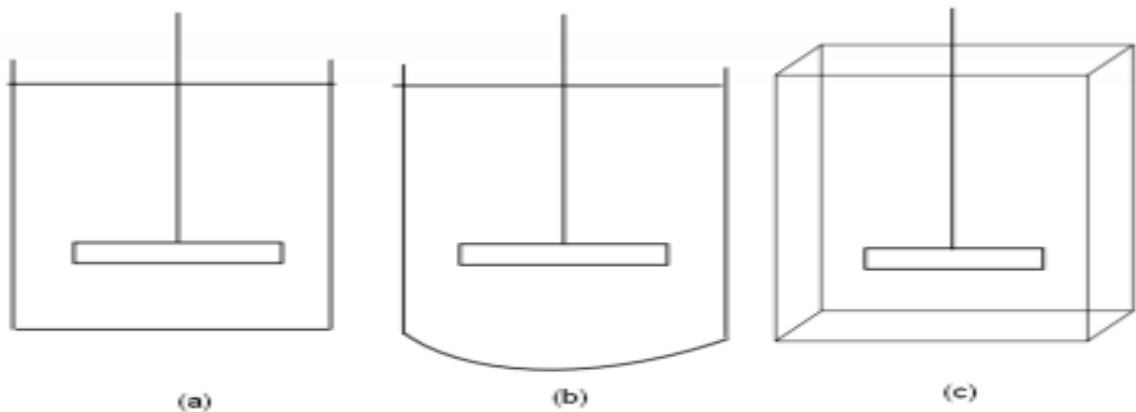


(fig.5) Mélangeur a cuve mobile.

4.5 L'équipement d'un système mécaniquement agitée :

4.5.1 les cuves : [58]

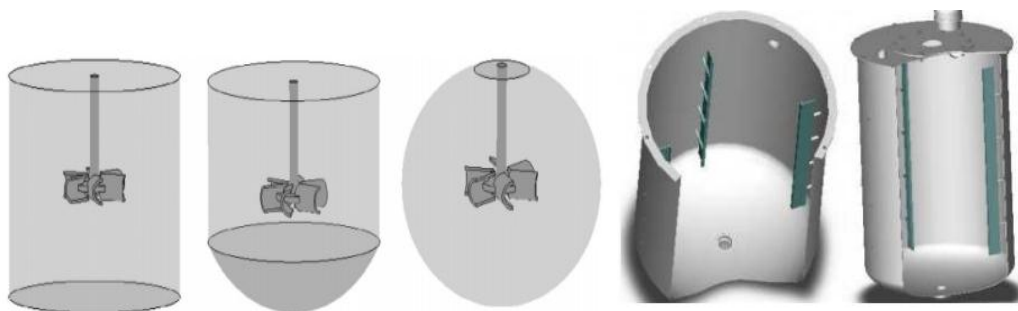
Les cuves utilisées dans les équipements d'un agitateur peuvent être de différentes formes selon l'application. Ce sont soit des récipients cylindriques à fond plat, soit des récipients cylindriques avec un fond rond et de forme rectangulaire comme le montre la **(Fig.6)**. Les cuves à fond rond sont utilisées principalement pour l'agitation solide-liquide tandis que les cuves à fond plates servent mieux pour plusieurs types de fluides visqueux. Leurs diamètres peuvent aller de 10cm pour des dispositifs de laboratoire à 10m et plus pour des installations industrielles.



(Fig.6): Cuve agitée :a)cuve à fond plat b) cuve fond rond c)cuve à fond rectangle

4.5.2 Les chicanes :

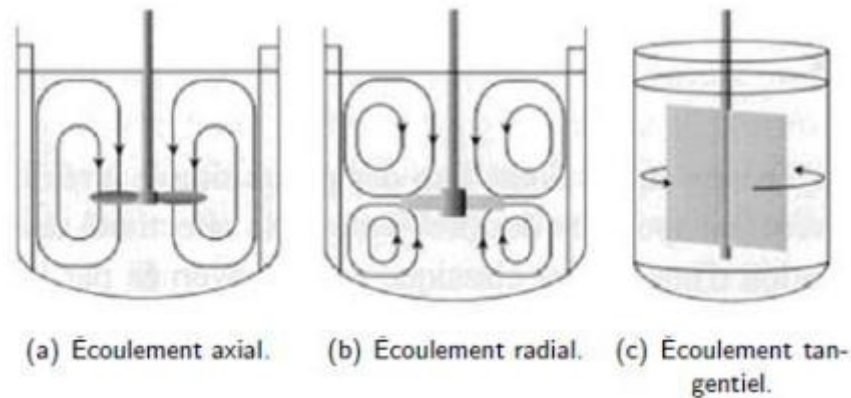
Besoins en énergie dans la cuve de mélange. La présence des chicanes créer une circulation optimale du fluide dans la cuve. Ils peuvent être fixés sur la paroi de la cuve ou peut être réglée à partir du mur. D'un point de vue optimal, il est conseillé d'utiliser même nombre de contre-pals dans la cuve que de nombre de pales de l'agitateur. **(Fig.7)**



(Fig.7): les chicanes et son emplacement des chicanes dans la cuve.

❖ Les écoulements :

(Fig.8), Présentation schématique des types d'écoulements: axial (a), radial (b) et tangential (c) tirée de la référence. [58]



(Fig.8) : les types d'écoulements

❖ Les mobiles d'agitation de fluides peu visqueux : Les turbines :[58]

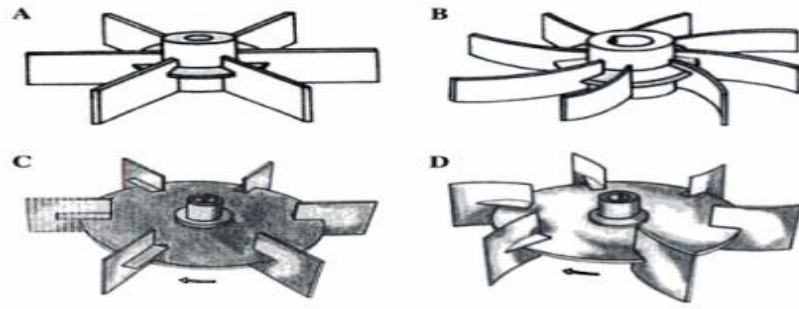
Les turbines sont typiquement constituées de pales radiales et de pales verticales montées sur un disque horizontal délivrant essentiellement un débit radial avec un fort cisaillement en bout de pale (Fig.9). Elles sont donc très souvent utilisées dès qu'il s'agit de fragmenter un fluide en bulles ou en gouttes.

Le modèle de base à pales plates dit turbine Rushton est caractérisé par :

- le diamètre, souvent égal au tiers, sinon entre **1/5 et 2/3** du diamètre du réacteur.
- le nombre de pales, le plus souvent égales à **6**; les dimensions des pales rapportées au diamètre de la turbine, en particulier largeur entre **1/10** et **1/4** du diamètre de la turbine.

De très nombreuses variantes se distinguent par le nombre, la forme, l'inclinaison des pales, leur courbure ainsi que par la présence ou non d'un disque central.

Les turbines exigent **10 à 20** fois plus d'énergie que les hélices



(Fig.9) : Agitateur de type Turbine

- A. turbine 6 pales plates.
- B. turbine à 8 pales incurvées.
- C. turbine à 6 pales plates montées sur un disque.
- D. turbine à 6 pales courbées montées sur un disque.

5 Résultats et discussions

☑ Introduction à la simulation : COMSOL 4.4.0.150

☑ Optimisation et vérification des appareils et des processus du monde réel avec la simulation :

Les ingénieurs et les scientifiques utilisent le logiciel COMSOL Multiphysics® pour simuler des conceptions, des dispositifs et des processus dans tous les domaines de l'ingénierie, de la fabrication et de la recherche scientifique.

COMSOL Multiphysics® est une plate-forme de simulation qui englobe toutes les étapes du flux de travail de modélisation - de la définition des géométries, des propriétés des matériaux et de la physique qui décrivent des phénomènes spécifiques à la résolution et au post-traitement des modèles pour produire des résultats précis et fiables.

Pour créer des modèles à utiliser dans des domaines d'application spécialisés ou des domaines d'ingénierie, vous pouvez augmenter COMSOL Multiphysics® avec n'importe quelle combinaison de produits complémentaires de la suite de produits. Lorsque vous avez développé un modèle, vous pouvez même le convertir en une application de simulation avec une interface utilisateur dédiée, qui peut être conçue pour une utilisation très spécifique par des personnes extérieures au service R&D.

☑ La modélisation multi physique fournit des résultats précis :

Souvent, la clé du succès des simulations d'ingénierie consiste à développer des modèles validés expérimentalement qui remplacent l'utilisation d'expériences et de prototypes seuls, et donnent une meilleure compréhension de la conception ou du processus étudié. Par rapport à l'exécution de méthodes expérimentales ou au test de prototypes, la modélisation permet une optimisation plus rapide et souvent plus efficace et précise des processus et des dispositifs.

Des modèles multiphasiques précis prennent en compte un large éventail de conditions de fonctionnement et d'effets physiques possibles. Cela permet d'utiliser des modèles pour comprendre, concevoir et optimiser les processus et les dispositifs pour des conditions de fonctionnement réalistes.

Applications de simulation de construction

Dans de nombreuses organisations, un petit groupe d'experts en simulation numérique est au service d'un groupe beaucoup plus important de personnes travaillant dans le développement de produits, la production ou en tant qu'étudiants étudiant les phénomènes et processus physiques. Pour permettre à ce petit groupe de servir le groupe beaucoup plus important, le logiciel COMSOL Multiphysics® contient des fonctionnalités pour la construction d'applications de simulation. L'Application Builder est inclus dans COMSOL Multiphysics® et permet aux experts en simulation de créer des interfaces utilisateur intuitives et très spécifiques pour leurs modèles informatiques par ailleurs généraux — des applications personnalisées prêtes à l'emploi.

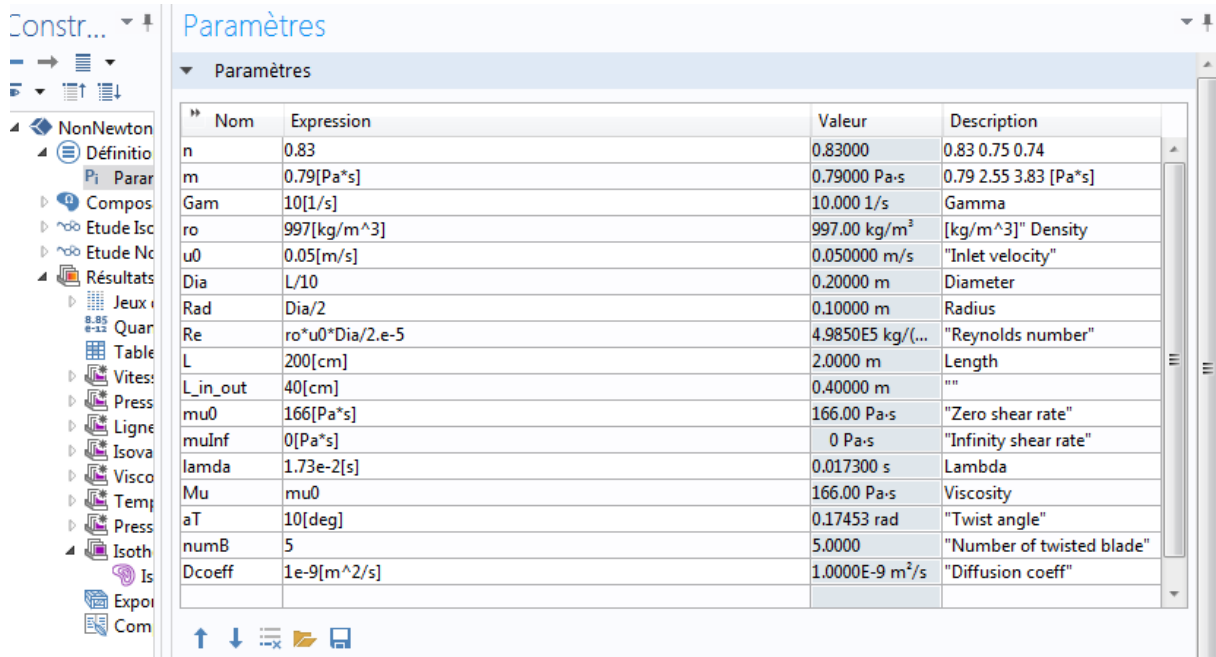
5.1 : Définir les paramètres

Étape 1 :

Créer la Géométrie dans COMSOL- multi physique :

Choix le types et la forme de géométrie l'échangeur :

Choix le types fluides non newtonien:

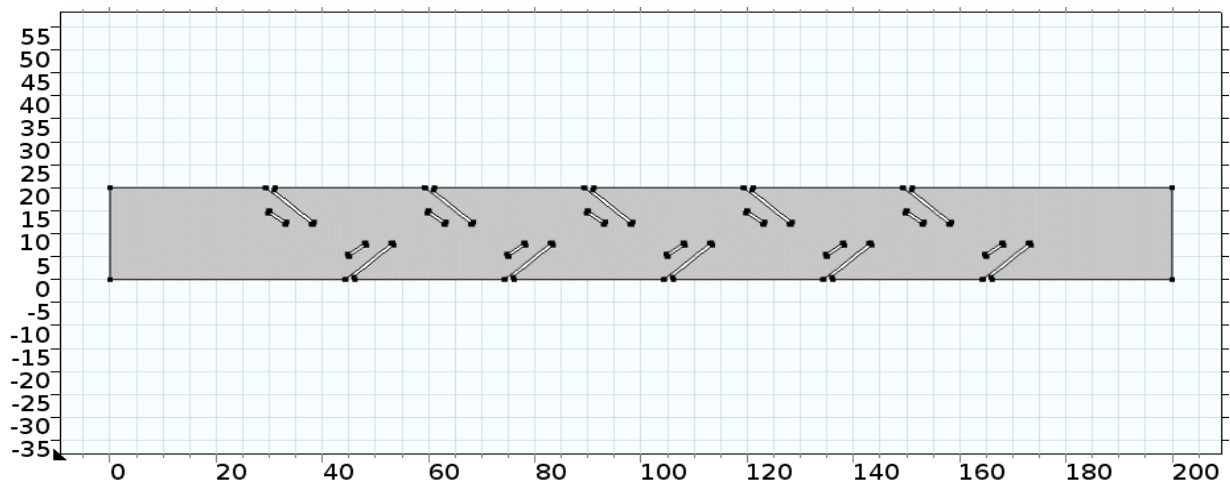


Suite : à x:, entrez la valeur 0.

Suite : à y:, entrez la valeur 0.

Suite à (ces valeur doivent être par défaut). Cliquez sur Construire toute la séquence

Répétez ce processus pour créer les points restants pour obtenir le suivant (Fig.10) :



(Fig.10) : Géométrie initiale

Étape 2:

Création des lignes Géométrie Command Botton choisi de l'unité de forme rectangulaires (cm) les valeurs suivant 20 et 200. Fig. (11) :

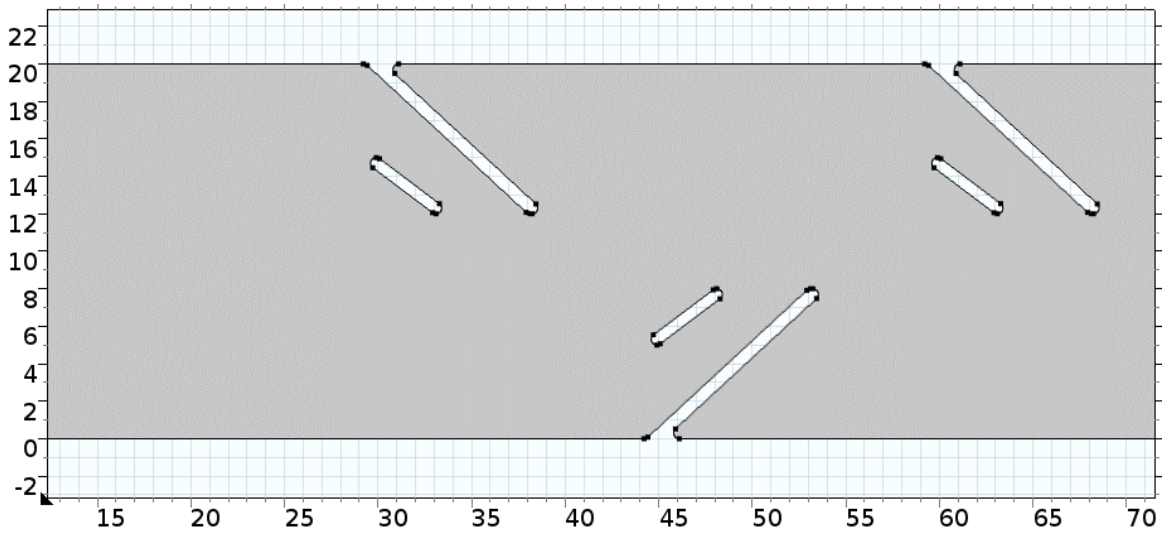
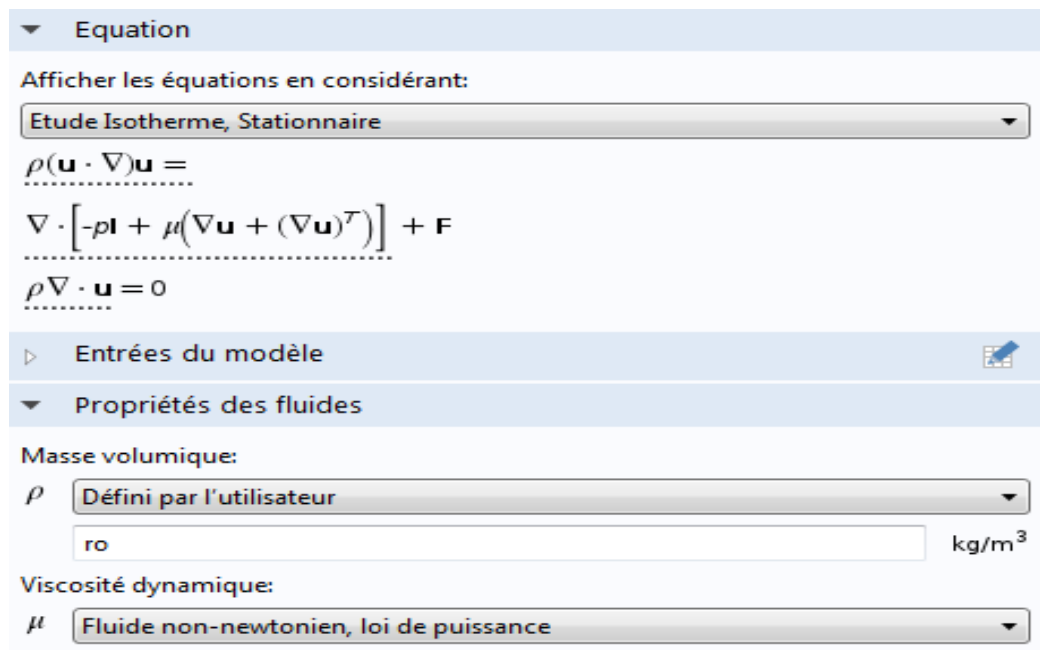


Fig. (11) : modélisation un échangeur avec des chicanes

Étape 3 :

Choisi le type d'écoulement laminaire et les équations et des propriétés des fluides choisis.



Sélectionnez : Le modèle de fluide non isotherme et stationnaire.

Étape 4 :

Pour la simulation des écoulements de fluide et du transfert de chaleur dans des géométries complexes il faut trouver la formule correcte et le type d'écoulement et le type

Des fluides (**non newtonien .ex**).

- La masse volumique définie par l'utilisateur **ro : ρ kg/m³**.
- Puis choisi viscosité et la loi étudiée -loi de puissance – [notre modèle].

Sélection à la paroi : choisi puis [condition à la limite] :

Condition aux limites:
Non-glissement

▼ Propriétés des fluides

Masse volumique:
 ρ Défini par l'utilisateur
ro kg/m³

Viscosité dynamique:
 μ Fluide non-newtonien, loi de puissance

$$\mu = m(\dot{\gamma})^{n-1}$$

$$\dot{\gamma} = \max(\sqrt{\mathbf{D}:\mathbf{D}}, \dot{\gamma}_{\min}), \quad \mathbf{D} = \frac{1}{2}[\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T]$$

Coefficient de consistance du fluide:
 m m

Indice de comportement de l'écoulement:
 n n 1

Limite inférieure de vitesse de cisaillement:
 $\dot{\gamma}_{\min}$ 0.01[1/s] 1/s

Étapes 5 : Sélectionner : le domaine de  **Transfert de chaleur dans les fluides (ht)**.

Puis choisir le domaine des températures choisi : **T1 = 373.15 [K] ; T2 = 293.15 [K]**.

Choisi le type de maillage (**gros**). **Fig. (12)**

La méthodologie de maillage décrite dans cet article est illustrée par des exemples d'applications dans le domaine de la mise en forme des matériaux. On introduit la définition d'un maillage à partir d'un argument de volume minimal que l'on démontre. On montre qu'il est possible d'améliorer des maillages au départ non conformes. On donne une forme générique à l'algorithme d'optimisation globale, basé sur la combinaison d'amélioration locale autour des nœuds et des arêtes. L'introduction d'un ensemble d'éléments frontières virtuels permet de coupler fortement les remaillages surfacique et volumique. La taille de maille est directement introduite dans le facteur de forme des éléments. L'optimisation du maillage conduit alors à respecter des tailles prescrites et produit donc un maillage adapté. Le cycle d'adaptation consiste à calculer une carte de maille, à adapter le maillage,

recalculer la carte de maille et adapter de nouveau le maillage jusqu' à convergence. Des exemples d'adaptation statique et dynamique sont présentés.

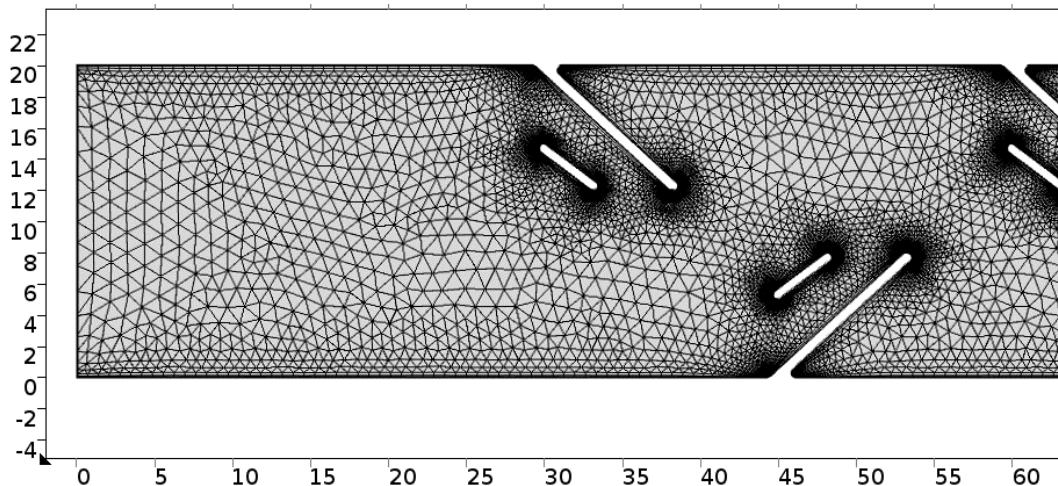


Fig. (12): Représentation du maillage et domaine de calcul.

5.2 Résultats et Interprétation :

Pour la simulation des écoulements de fluide et du transfert de chaleur dans des géométries complexes.

Pour meilleure évaluation, une compréhension du comportement d'écoulement à l'intérieur de ces canaux est essentielle. Par conséquent, un bon aperçu de la physique de l'écoulement est obtenu en analysant les contours de vitesse et les lignes de courant dans le fluide autour et dans la perforation des chicane.

Description du problème :

Le logiciel " COMSOL 4.4.0.150t" a été utilisé pour simuler le transport de l'écoulement et l'évolution de la température.

Sens de vitesse d'écoulement :

-le transfert de chaleur est grandement amélioré avec la présence de chicane. La comparaison

Entre les cas **01et03. Fig. (13)**

-montre le refroidissement efficace du fluide pseudo-plastique par la chicane de perforation circulaire. **Alors** la viscosité diminue avec l'augmentation vitesse de gradient

La principale raison de l'amélioration du transfert de chaleur dans ce système est la présence ou l'absence des chicane.

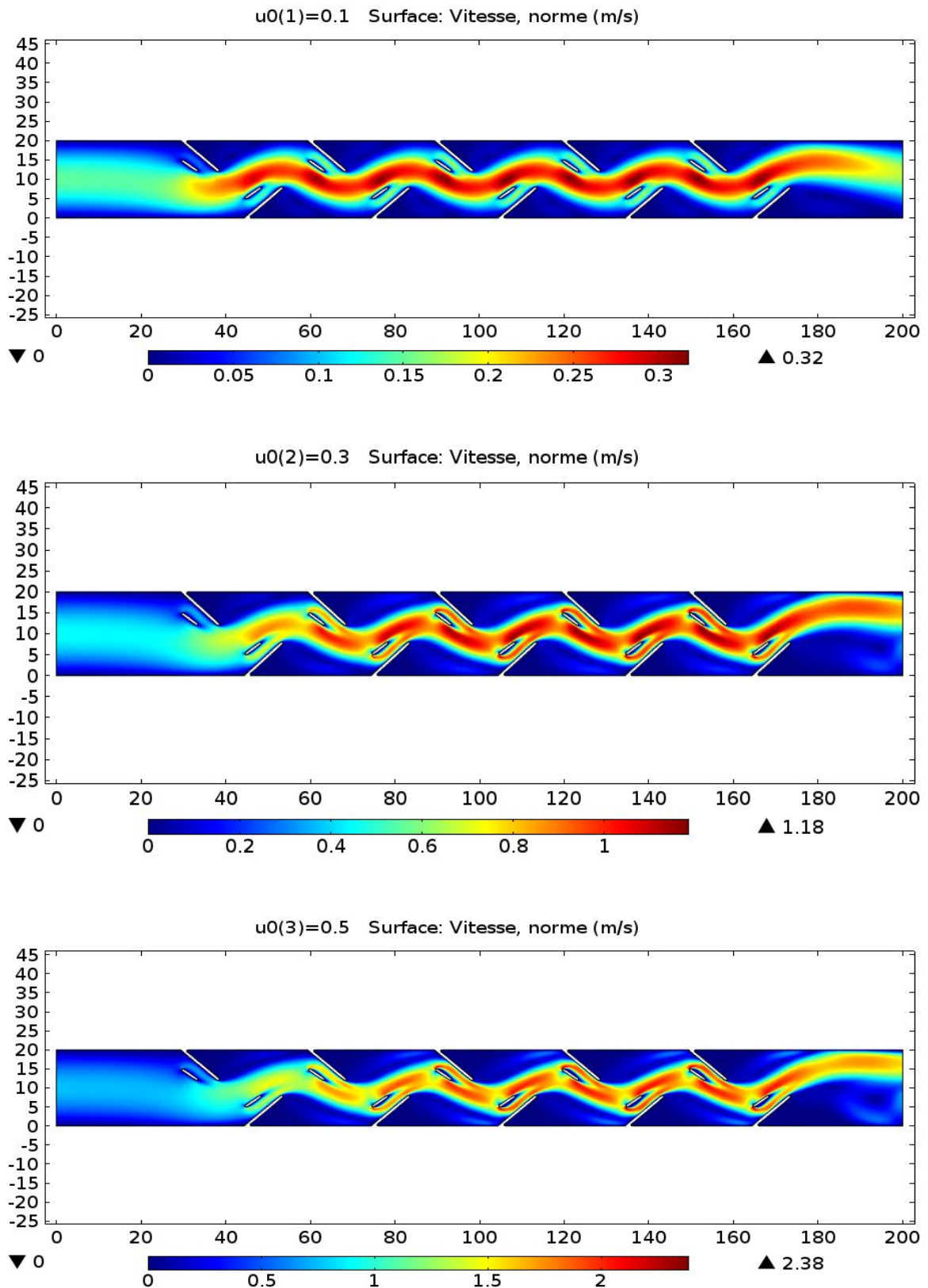
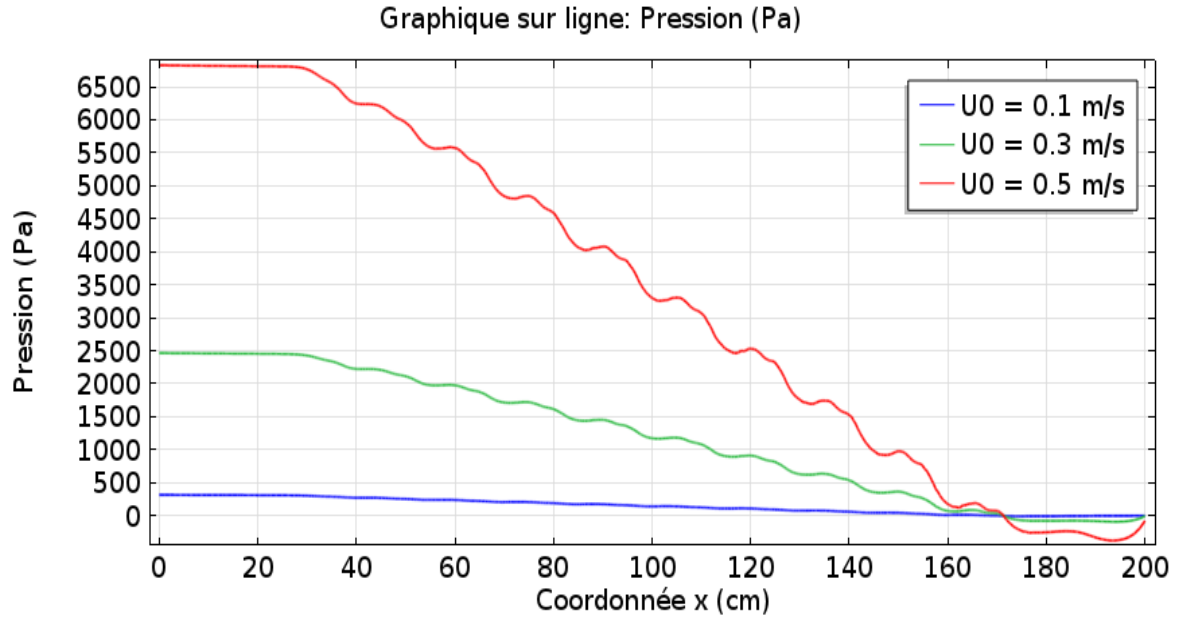


Fig.(13) : Représentations de la simulation de vitesse dans l'échangeur ($U(0)=0.1, 0.3, 0.5$)

Pression découlement : Outre la perte de charge provoquée par la formation de recirculation d'écoulement et la modification du sens d'écoulement, un autre problème est la formation de points

chauds à proximité des parois. La présence de points chauds réduit le transfert de chaleur de l'échangeur de chaleur piégé ou obstrué. Si on dépasse **170 cm** de la longueur de l'échangeur, la pression sera perdue peu importe combien on change la vitesse dans tous les cas étudiés.

(Fig.14)



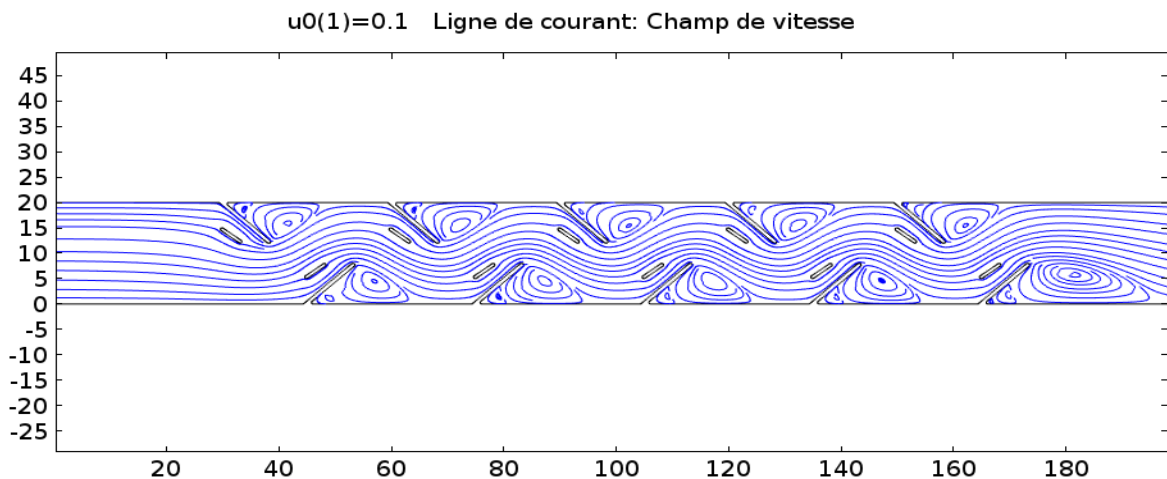
(Fig.14) : Représentation graphique de pression.

Ligne de courant d'écoulement :

En sélectionner trois valeurs des vitesses : $U(0)=0.1, 0.3, 0.5$ m/s

La ligne actuelle est la courbe de l'espace qui décrit le mouvement d'un fluide et à quel moment il a une tangente parallèle à la vitesse des particules fluides.

Aux chicanes, des cercles en spirale se forment en raison du manque de vitesse du fluide, peu importe comment nous modifions sa vitesse de l'écoulement. Les lignes de courant ne varient pas dans le temps. **Fig. (15)**



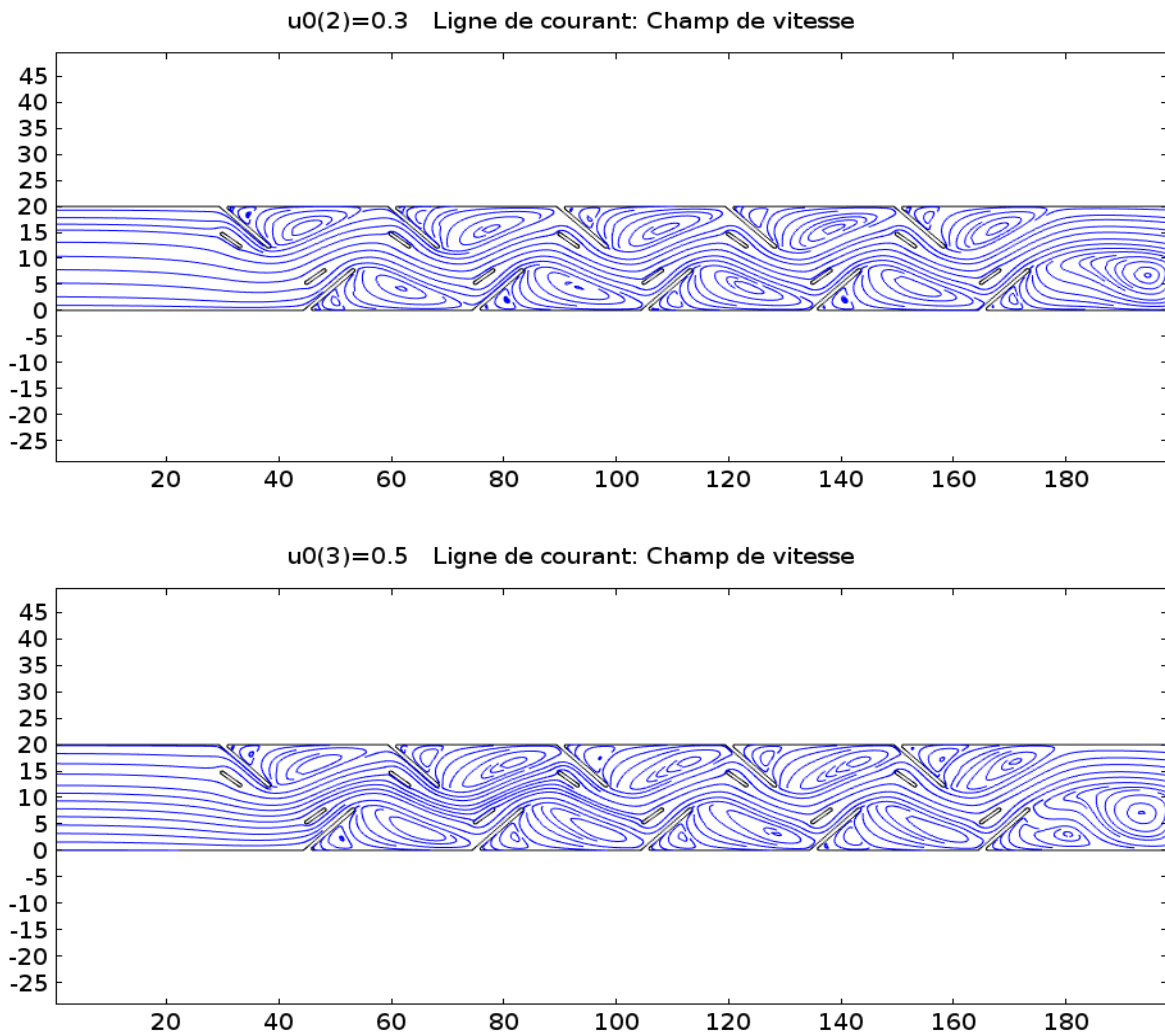


Fig. (15) : 03 Représentation de la simulation de ligne de courant de vitesse dans l'échangeur.

Température d'écoulement :

La distribution de la température le long du canal est montrée dans les trois cas.

Il apparaît clairement que la présence de chicane améliore le refroidissement fluide pseudo-plastique. La présence des chicanes permet une réduction supplémentaire de la température le long de l'échangeur de chaleur.

Le transfert de chaleur par convection est un phénomène physique qui a plusieurs influences, dont la nature du fluide porteur et la vitesse d'écoulement. La distribution de température sera fonction du champ de vitesse, mais si ce dernier dépend de la température, et il a deux types de thermiques naturels, sinon on dit que c'est forcé. **Fig. (16)**

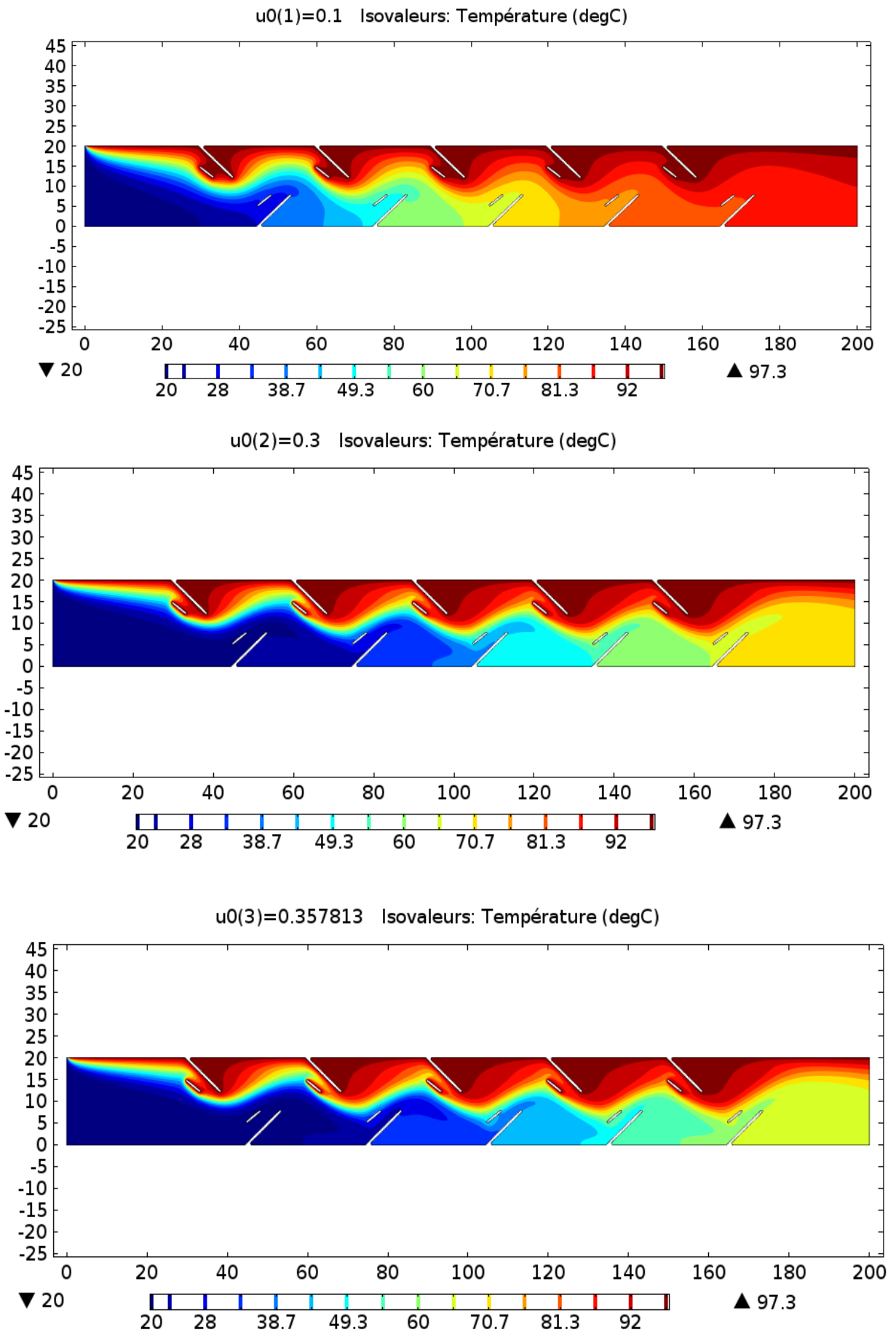
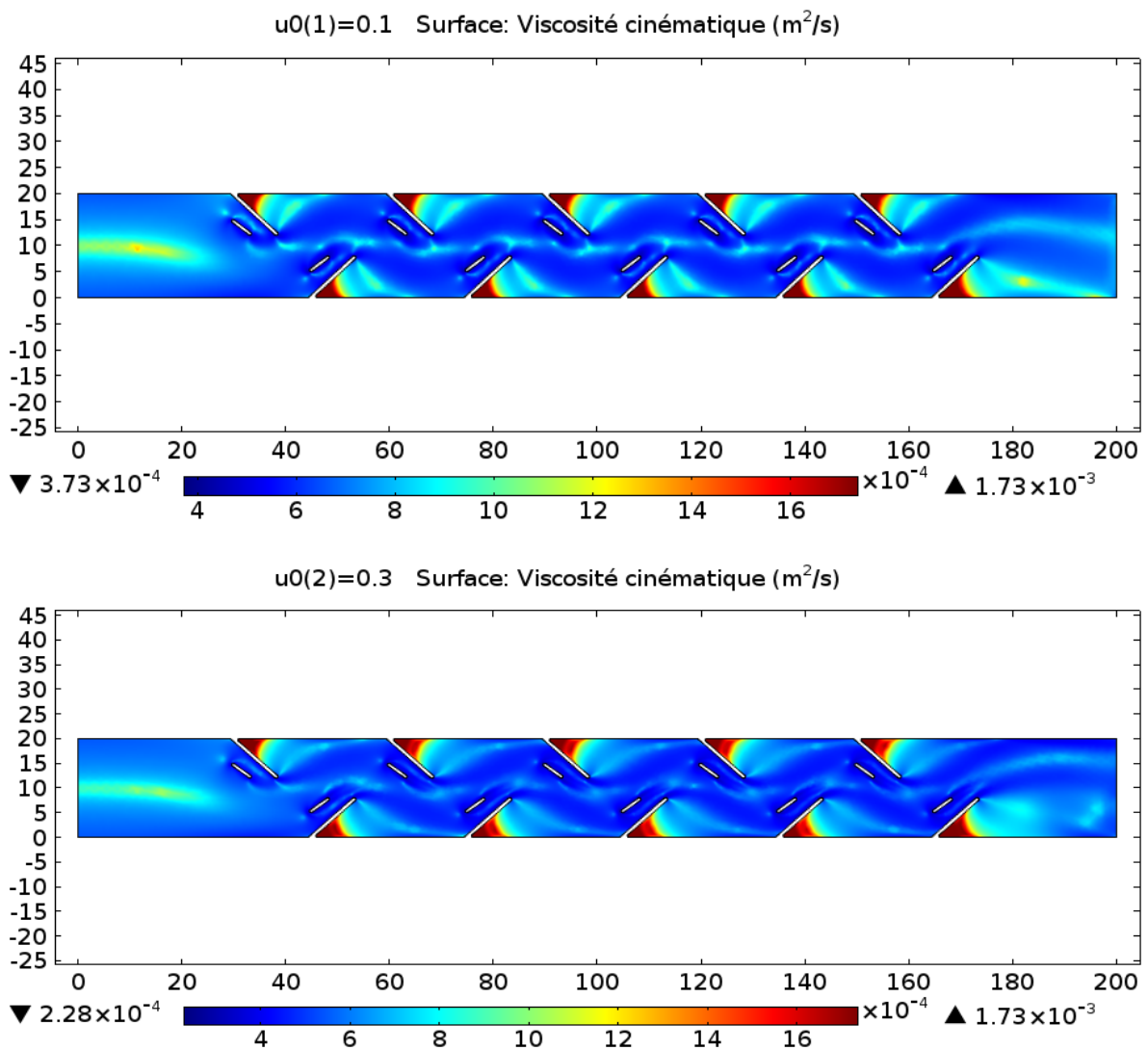


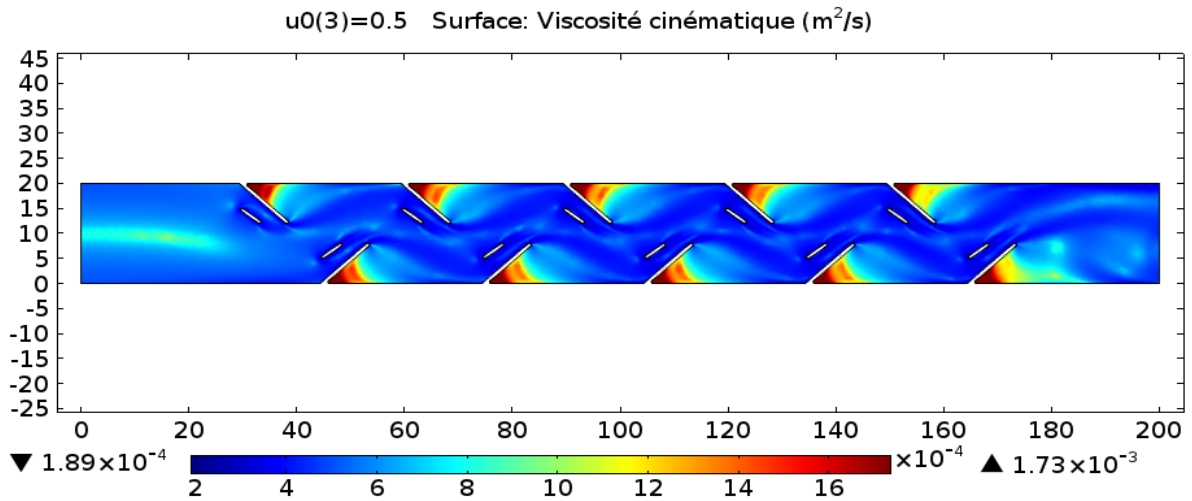
Fig. (16) : Représentations des variations de température sur le long de la ligne centrale du canal.

☑ **viscosité cinématique d'écoulement :**

La viscosité est la propriété physique intrinsèque impliquant une dépendance entre les contraintes et les vitesses de déformations, en l'occurrence entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement.

Nous avons étudié la variance de la viscosité cinématique en fonction des variables de température et de vitesse de cisaillement. La méthode de simulation à effectuer des mesures de viscosité en fonction de l'évolution du taux de cisaillement pour une certaine température, puis à lier le résultat de la viscosité en fonction de l'évolution du taux de cisaillement pour une température donnée .alors la viscosité diminue avec l'augmentation vitesse de gradient. (Fig.17)

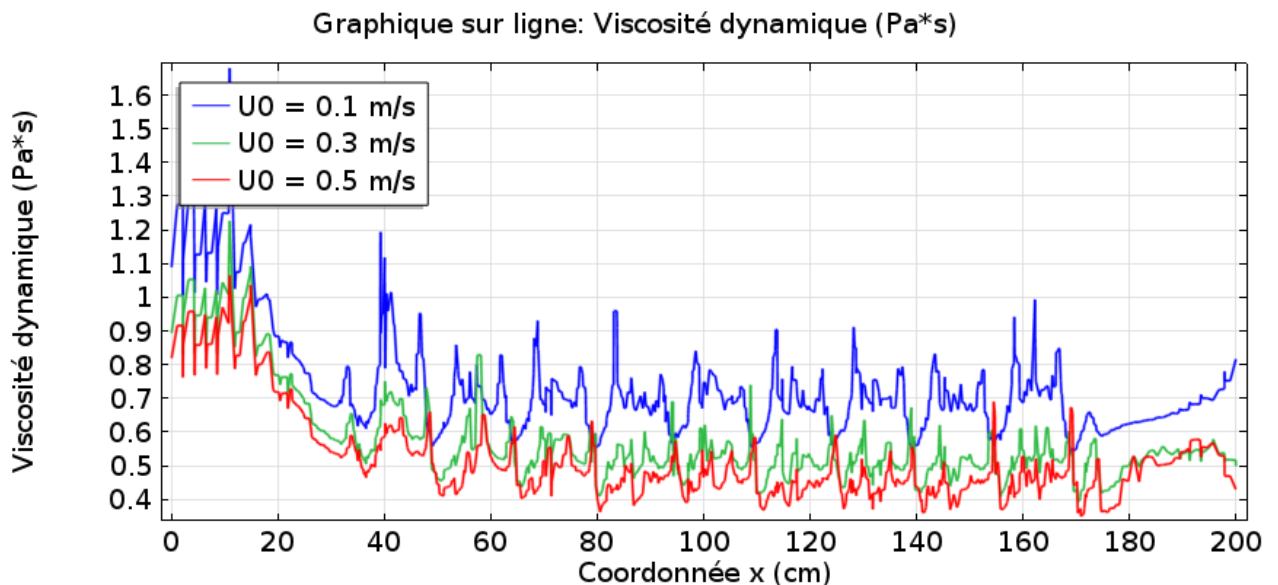




(Fig.17) : Représentations des viscosités cinématique sur le long du échangeur.

Courbe de viscosité dynamique :

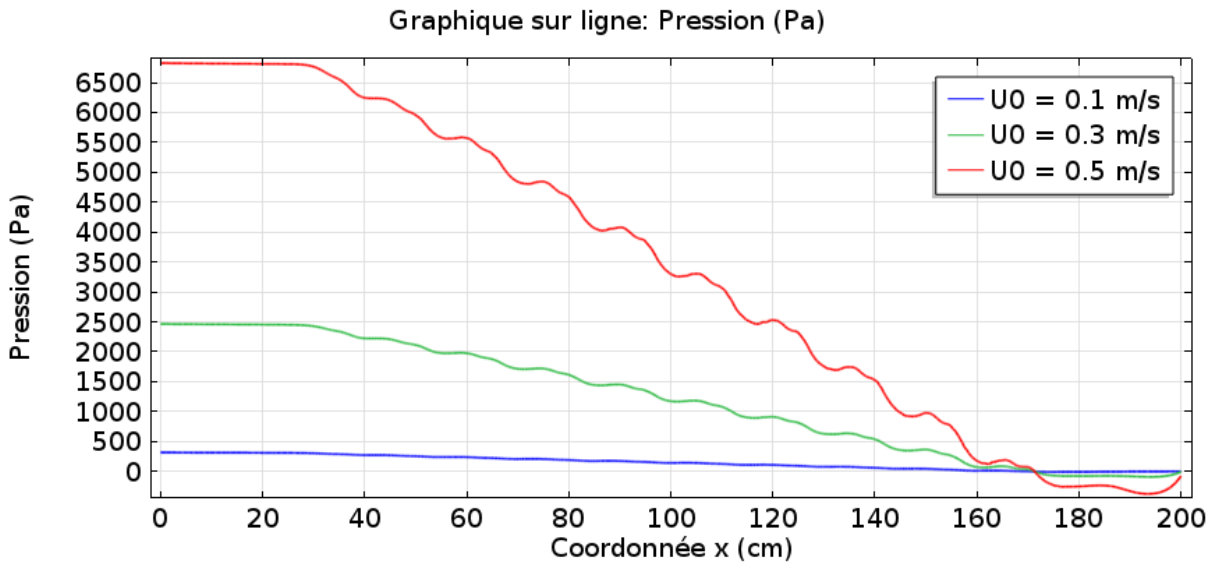
La viscosité (Fig.18) donne une explication de l'augmentation du facteur de friction sur le long de l'échangeur de chaleur en présences des chicanes. Le coefficient de frottement s'accompagne toujours d'une augmentation de la perte de charge.



(Fig.18) : Représentations des variations pression

☑ **Pression d'écoulement :**

L'augmentation du transfert de chaleur par la technologie à membrane entraîne souvent une perte de charge le long de l'échangeur de chaleur, comme indiqué sur la (Fig.19) en bas.

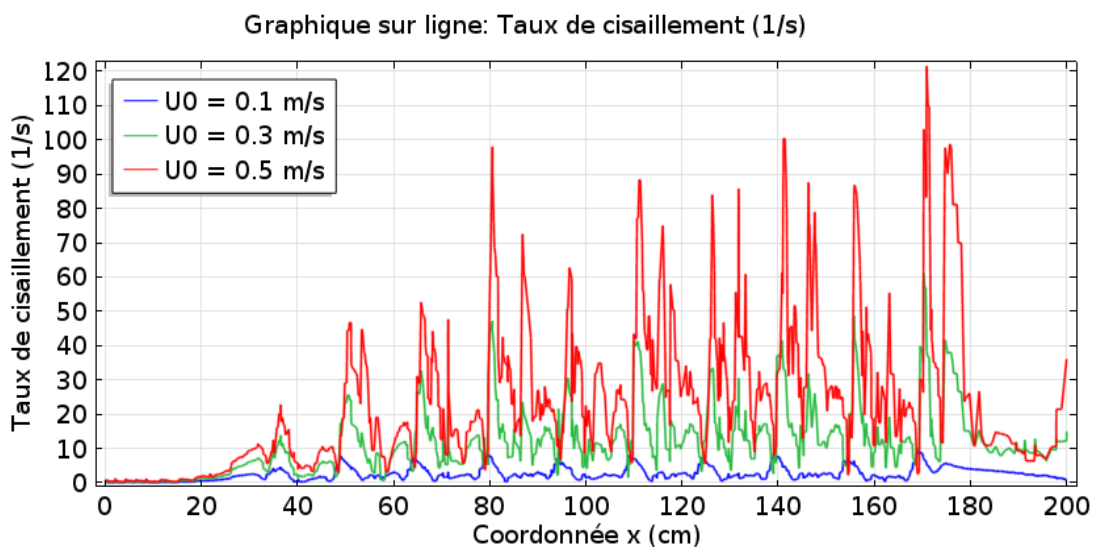


(Fig.19) : Représentations des variations pression.

☑ **Courbe de taux de cisaillement :**

Caractérisé par un faible La pente graduelle ou la contrainte de cisaillement sur le taux de cisaillement. Ces fluides sont appelés fluidification par cisaillement, car la viscosité diminue avec l'augmentation vitesse de gradient.

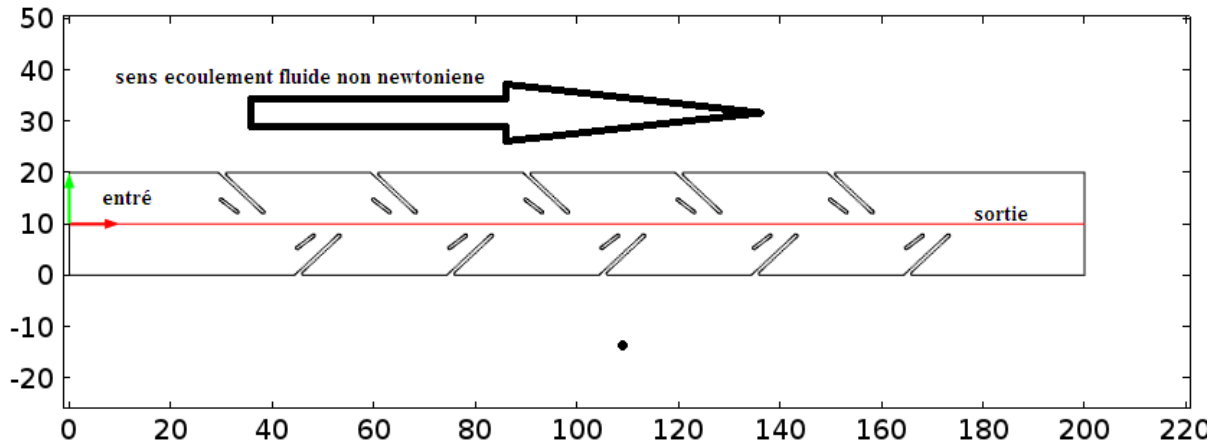
Dans cette courbe, on remarque un écart entre les valeurs de taux de cisaillement et la vitesse d'écoulement et la longueur de l'échangeur, de sorte que plus la vitesse est faible, la vitesse de cisaillement est très faible. Plus la vitesse est élevée, plus le taux cisaillement est grande et variable sur toute la longueur de l'échangeur de chaleur. (Fig.20)



(Fig.20) : taux de cisaillement et la vitesse d'écoulement et la longueur de l'échangeur

☑ **Coupe longitudinale de l'échangeur de chaleur : (fig.21) au-dessous**

Une section montrant la direction du liquide



(fig.21): la direction du liquide

☑ **Le flux de chaleur convectif, et les champs de vitesse : fig. (22-23) :**

Respectivement contrairement aux courbes précédentes pour le flux convectif, et les champs de vitesses on note que plus la vitesse n'est grande, plus le débit n'est important, mais on remarque son absence quelle que soit l'évolution de la vitesse après une certaine longueur de l'échangeur, c'est-à-dire à la valeur **170 cm** en présence des chicane.

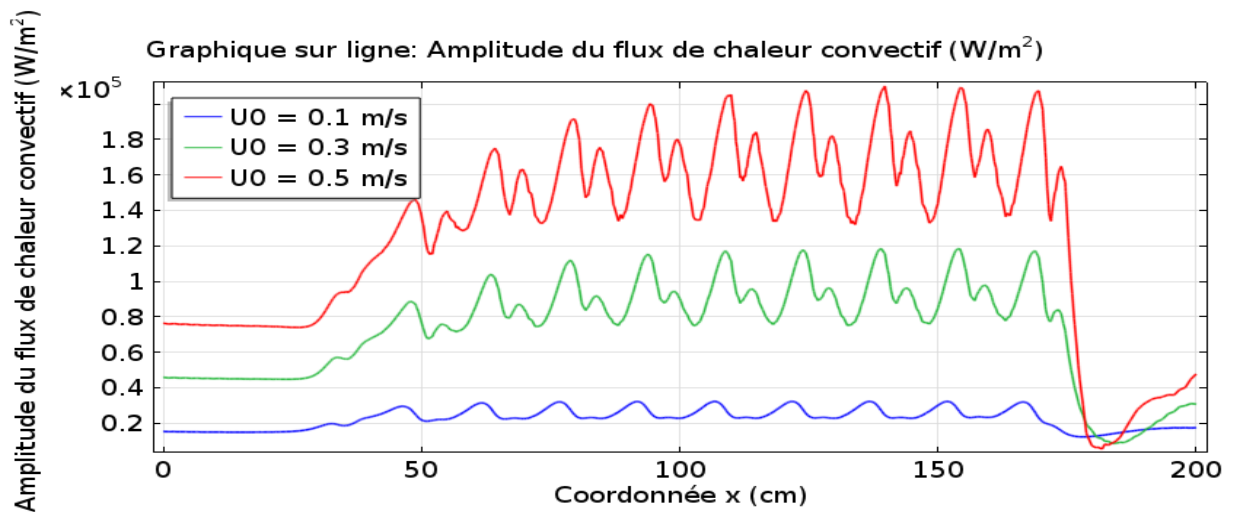


Fig. (22) : Représentations des flux de chaleurs.

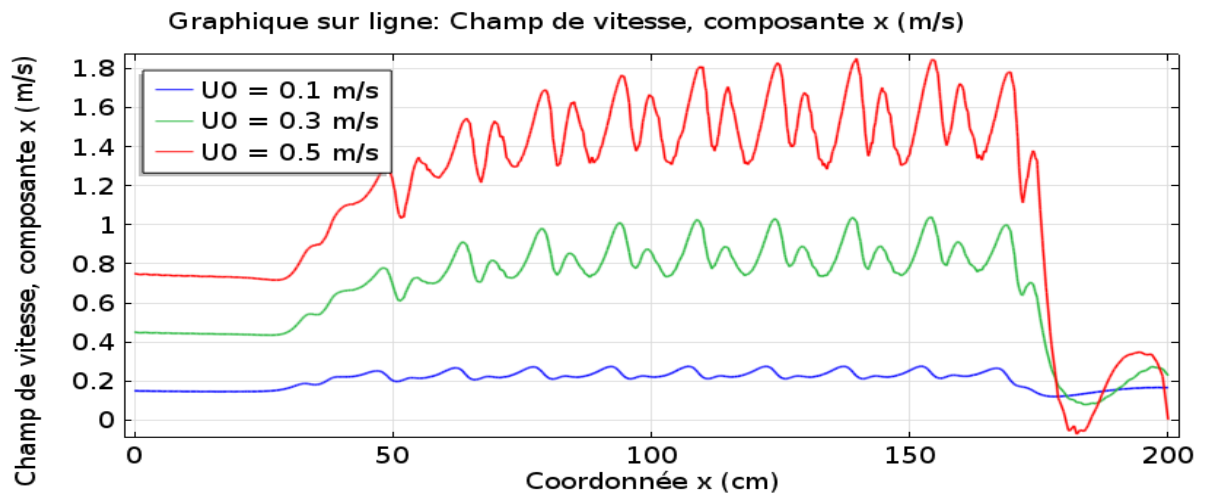


Fig. (23) : Représentations des variations pression

6 Conclusion :

La simulation numérique et les figures précédentes représentent les profils de vitesse, de pression, de température, de forme d'échangeur de chaleur et de confinement des chicanes, respectivement.

On note que ces couleurs changent du **bleu** au **jaune** en passant par le **rouge**, et cela peut s'expliquer soit par une vitesse croissante ou une pression croissante ou une température croissante ou décroissante en fonction de l'écoulement du fluide non newtonien

Le coefficient de vitesse et de température par rapport à la viscosité en tenant compte de l'écoulement qui se produit le long de **x**. Spécifie la zone de débit élevé, faible ou nul. Nous soulevons tous les échangeurs de chaleur longitudinaux avant les chicanes .En raison du débit lent. Ce freinage est important pour l'angle 0, et il est décroissant avec cornières de montage. Pour les vitesses maximales, elles sont obtenues par l'espace entre le septum et la paroi supérieure du canal. Nous notons toujours que ce La valeur maximale touche l'angle 0, puis diminue progressivement avec l'augmentation angles. Des valeurs minimales sont obtenues en aval de chaque rectangle (échangeur de chaleur).

- [1] M. des Fluides and E. Transferts, <https://www.emse.fr/~bonnefoy/Public/MecaFlu-EMSE.pdf>, vol. Mécanique. 2020.
- [2] R. P. Chhabra, “Non-Newtonian Fluids : An Introduction,” pp. 1–33.
- [3] A. Benchabane and K. Bekkour, “Etude de l ’ effet d ’ un polymère anionique sur le comportement rhéologique de suspensions de bentonite,” *Distribution*, vol. 7, pp. 201–205, 2004.
- [4] “[https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_\(mati%C3%A8re\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_(mati%C3%A8re)),” « *Comment faire de l’Oobleck* » [archive], 9\15\2020. .
- [5] “[] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_\(mati%C3%A8re\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_(mati%C3%A8re)),” *Lois Comport. NEWTONIEN NO NEWT.*
- [6] hanser, “Polymer Processing Principles and Modeling 2nd Edition,” 2017.
- [7] P. M. Coelho and F. T. Pinho, “Vortex shedding in cylinder flow of shear-thinning fluids I. Identification and demarcation of flow regimes,” *J. Nonnewton. Fluid Mech.*, vol. 110, no. 2–3, pp. 143–176, 2003, doi: 10.1016/S0377-0257(03)00007-7.
- [8] B. S. Roopa BS, “<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5156629/>,” *Characterisation and modelling of time-independent and time-dependent flow behaviour of sodium alginate dispersions*, 2009. .
- [9] D. D. K. H. Zhu, Y.D. Kim, “www.sciencedirect.com/journal/journal-of-non-newtonian-fluid-mechanics,” *J. Non- Newton. Fluid Mech.* 129 177–181.),, 2005.
- [10] R. González, A. Tamburrino, A. Vacca, and M. Iervolino, “Pulsating flow of an Ostwald-de Waele fluid between parallel plates,” *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 4, 2020, doi: 10.3390/W12040932.
- [11] I. Les *et al.*, “Chapitre I : Chapitre I : définitions Rhéologie et classification des fluides non-newtoniens Les fluides sans contrainte critique .”
- [12] Cadlm, “Rappels sur la fatigue.”
- [13] these magister, “http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=2279,” *Rhéologie des fluides complexes*. .
- [14] K. Ben Azouz Ahmed, “Relations entre propriétés rhéologiques et structure microscopique de dispersions de particules d ’ argile dans des solutions de polymères,” *Thèse*, p. 188, 2012.
- [15] M. M. Denn and D. Bonn, “Issues in the flow of yield-stress liquids,” *Rheol. Acta*, vol. 50, no. 4, pp. 307–315, 2011, doi: 10.1007/s00397-010-0504-3.
- [16] E. Guazzelli and E. Guazzelli, “Rhéologie des fluides complexes To cite this version : HAL Id : cel-01522165 Rh ’ eologie des fluides complexes,” 2017.

- [17] C. Fang, Y. Lee, C. M. Kuo, Y. J. Lin, and C. Kuo, “Anti-thixotropic non-Newtonian fluid in complex conduct: Gluing process simulation of railway ballast,” *Appl. Rheol.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–7, 2015, doi: 10.3933/APPLRHEOL-25-14381.
- [18] D. Feys, R. Cepuritis, S. Jacobsen, K. Lesage, E. Secrieru, and A. Yahia, “Measuring Rheological Properties of Cement Pastes: Most common Techniques, Procedures and Challenges,” *RILEM Tech. Lett.*, vol. 2, pp. 129–135, 2017, doi: 10.21809/rilemtechlett.2017.43.
- [19] Abdoulaye FALL, “https://www.researchgate.net/publication/30515545_RHEOPHYSIQUE_DES_FLUIDES_COMPLEXES_ECOULEMENT_ET_BLOCAGE_DE_SUSPENSIONS,” *Rhéophysique des fluides complexes Ecoulement et Blocage de Suspensions concentrées*, 2008.
- [20] J. Koszkuł et J. Nabialek, “https://www.frwiki.org/wiki/Loi_d%27Ostwald_%28fluide%29,” *Viscosity models in simulation*, 2004. .
- [21] D. S. Loenko, A. Shenoy, and M. A. Sheremet, “Natural convection of non-Newtonian power-law fluid in a square cavity with a heat-generating element,” *Energies*, vol. 12, no. 11, 2019, doi: 10.3390/en12112149.
- [22] B. S. Roopa BS, “Roopa BS, Bhattacharya S. Characterisation and modelling of time-independent and time-dependent flow behaviour of sodium alginate dispersions. *Int J Food Sci Technol*. 2009;44:2583–2589. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.02088.x. [CrossRef] [Google Scholar],” 2009;442583–2589. doi 10.1111/j.1365-2621.2009.02088.x. [CrossRef] [Google, 2009.
- [23] wikipedia.org, “[https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_\(mati%C3%A8re\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fluide_(mati%C3%A8re)),” *World Journal of Mechanics*. .
- [24] C. Rhéologique, “Comportement Rhéologique du Polymère,” pp. 19–31.
- [25] K. Youcef *et al.*, “Etude de l ’ écoulement d ’ un fluide non newtonien dans une cuve mécaniquement agitée par une Turbine de Rushton,” 2011.
- [26] T. D. E. Doctorat and D. E. L. U. Paris, “Département de Physique de l ’ Ecole Normale Supérieure Présentée par Rhéophysique des fluides complexes : Ecoulement et Blocage de suspensions concentrées,” 2008.
- [27] J.-F. Agassant, P. Avenas, J.-P. Sergent, and P. J. Carreau, *Polymer Processing. Principles and Modelling*. 2017.
- [28] P. Kováts, C. Velten, M. Mansour, D. Thévenin, and K. Zähringer, “Mixing characterization in different helically coiled configurations by laser-induced fluorescence,” *Exp. Fluids*, vol.

- 61, no. 9, pp. 0–17, 2020, doi: 10.1007/s00348-020-03035-0.
- [29] F. Chabane and D. Bensahal, “Etude numérique du comportement rhéologique du polymère fondu,” no. December, 2014.
- [30] <https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>., “No Title,” 2021. .
- [31] J.I. Orisaleye, “worldwidescience.org/wws/desktop/fr/results.html,” *Dir. Open Access Journals*, 2018.
- [32] Javier Andrés Martínez, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” 2011.
- [33] V. Cvetkovic, “worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html,” *Sci. (United States)*, 2017.
- [34] H. P. Palaksha, C. P.; Shivaprakash, S.; Jagadish, “worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#,” *Int. Nucl. Inf. Syst.*, 2016.
- [35] J. Javorova, “worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#,” *Directory of Open Access Journals (Sweden)*, 2016. .
- [36] N. Stenger, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html>,” *International Nuclear Information System (INIS)*, 1981. .
- [37] J. Mucha, Piotr B.; Peszek, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html>,” *Science.gov (United States)*, 2018. .
- [38] S. Kiran, M.; Dasgupta, Sunando; Chakraborty, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Science.gov (United States)*, 2017. .
- [39] R. . Huizinga, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Science.gov (United States)*, 1996. .
- [40] S. H. Etemad, S Gh; Thibault, J; Hashemabadi, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Science.gov (United States)*, 2003. .
- [41] S. K. Zvyagin, V G; Kondrat’ev, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Int. Nucl. Inf. Syst.*, 2014.
- [42] H. J. Wilson, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *International Nuclear Information System (INIS)*, 2012. .

- [43] E. E. Demianov, A. Yu; Doludenko, A. N.; Inogamov, N. A.; Son, “<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Sci. (United States)*, 2013.
- [44] N. Balmforth, :“<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *National Research Council Canada - National Science Library*, 2004. .
- [45] S. J. Huh, Hyung Kyu; Ha, Hojin; Lee, :“<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Sci. (United States)*, 2015.
- [46] H. Binous, :“<https://worldwidescience.org/topicpages/p/pseudoplastic+non-newtonian+fluid.html#>,” *Science.gov (United States)*, 2007. .
- [47] “ <https://worldwidescience.org/wws/desktop/fr/results.html>. □ <https://worldwidescience.org/wws/desktop/fr/results.html>,” *science direct*.
- [48] J. H. Lienhard V, John H.and Lienhard IV, <https://www.emse.fr/~bonnefoy/Public/MFTBibliography/Heat%20transfers%20by%20Lienhard.pdf>. 2017.
- [49] S. Petitot, “S. Petitot, Etude numérique du champ de vitesse dans un échangeur à vortex, comptes rendus mécanique volume 330, n°11 pages 749-756 novembre (2002),” 2002. .
- [50] J. B. J. Castaing , F. STrub, C. Peuvrel, “En étudiant Optimisation des conditions de fonctionnement des échangeurs a coulis de glace par l’analyse exergetique, Université de Pau des pays de l’Adour (UPPA) Laboratoire thermique, énergétique et procédés (La TEP)BP1155-64013Pau, Nancy- France, COFRET.”
- [51] Duinea, “<https://worldwidescience.org/wws/desktop/fr/results.html>,” *Duinea, modélisation mathématique du fonctionnement d’un échangeur de chaleur, annales of the university of Craiova , electrical engineering series,N° 32, , ISSN 1842 -4805 année (2008).*, 2008. .
- [52] S. Bakhri, “No Title空間像再生型立体映像の研究動向,” *Nhk技研*, vol. 151, no. 1, pp. 10–17, 2015.
- [53] et al K.Talbi, “No Title,” *européen journal mechanical and environmental engineering*, Vol 48, N°4, Décembre , 2003. .
- [54] M. El Ouardi, “No Title,” *Elouardi, étude du couplage entre les Gd. classiques les propriétés thermophysique dans un échangeur à tube calendrier à contre courant*, *Rev. des énergies renouvelables Vol N° 2 (2011)313 -328*), 2011.
- [55] J. Timothy et al, “J. Timothy et al,” *International Journal of Thermal Sciences*, 45 1158–

Références bibliographiques

1165. *Canada*, 2006. .
- [56] Ceux de Stein, “R.P. Stein, the Graetz Problem in Concurrent Flow Double Pipe Heat Exchangers, *Chem, Engng. Prog.Symp. Se, N°59*, pp. 78-87, (1965,” 1965. .
- [57] R. J. N. et Al, “R.J. Nunge and W.N. Gill, an Analytical Study of Laminar Concurrent Flow Double Pipe Heat Exchanger, *A. I. Ch .E Journal*, Vol 12, N°2, pp. 279-289, (1966).],” *A. I. Ch .E Journal*, Vol 12, N°2, pp. 279-289, (1966).], 1966.
- [58] “<https://ystral.com/fr/machines/melangeur/melangeur-a-jet-dirige/>.”