

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences et Technologies

Département des Sciences et Techniques



N°Réf:.....

**Projet de Fin d'Etude préparé en vue de l'obtention du
diplôme de MASTER en GENIE MECANIQUE**

Spécialité : ENERGETIQUE

**Etude de l'irréversibilité dans l'écoulement
de deux fluides non-newtoniens non-
miscibles sur une surface mobile et
incliné soumise à un flux de chaleur**

Réalisé par :

Mr. Ferni Slimane

Mr. Bouternikh Asma

Soutenu le

Mr. Berrahil Farid

Mr. Bensouici Moumtez

Mr. Saouli Salah

devant le jury :

MCA

MAA

Prof

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire: 2021/2022

Dédicace

Je dédie ce travail

A celui qui m'a fait de moi un homme,

Aux personnes les plus chères dans ma vie,

Mes parents,

Pour leur soutien moral,

Leurs amours

et leur sacrifices,

A mes chères frères et sœurs,

A tous les membres de ma famille,

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès ,

A tous ceux que j'aime.

Ferni slimane

je dédie ce mémoire

A moi même

A mes chères parents ma mère (rahima), Mon père (hamide)

Pour leurs patience , leurs amour, leurs soutien et leurs encouragements

A mes chères frères (karim , fouad)

Et ma sœur (imane) qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années

d'études

A ma chère tante (nacima)

Asma bouternikh

Remerciement

On remercie allah de tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer cette mémoire.

Tout d'abord, ce travail serait pas aussi riche et n'aurait pas avoir le jour sans l'aide de l'encadrement de **Pr S.Saouli** on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de cette mémoire.

ملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة إنتاج الانتروبي في تدفق سائلين غير نيوتونيين, غير قابلين للامتزاج على سطح متحرك ومائل يتعرض لتدفق حراري ثابت. بعد إيجاد عباراتي السرعة لكل سائل انطلاقا من معادلات الحركة (معادلات نافير-ستوكس) تم حساب عدد إنتاج الانتروبي و تمثيله بيانيا بدلالة عدة إعدادات مثل عدد رينولتس , عدد فرود , ...
الكلمات المفتاحية: إنتاج الانتروبي, غير قابل للامتزاج , مائل , سطح متحرك , غير نيوتوتي .

Abstract

The aim of this work is to study the production of entropy in the flow of two non-Newtonian, immiscible liquids on a moving and inclined surface subject to a constant heat flow.

After finding the speed expression for each liquid from momentum equations (Navier-Stokes equations), the number of entropy production was computed and graphically represented for several parameters such as the Reynolds number, the Froude number, etc.

Keywords: Entropy Production number, Immiscible, Inclined, Moving surface, Non-Newtonian.

Résumé

Le but de ce travail est l'étude de la production d'entropie dans l'écoulement de deux liquides non-newtoniens, immiscibles sur une surface mobile et inclinée soumise à un flux de chaleur constant.

Après avoir trouvé les deux expressions de vitesse pour chaque liquide à partir des équations de mouvement (équations de Navier-Stokes), le nombre de production d'entropie a été calculé et représenté graphiquement pour plusieurs paramètres tels que le nombre de Reynolds, le nombre de Froude, etc.

Mots-clés: Immiscible, Inclinée, Nombre de production d'entropie, Non-newtonien, Surface mobile.

Nomenclature

a	Diffusivité thermique	$m^2.s^{-1}$
Br	Nombre de Brinkmann	
C_p	Chaleur spécifique à pression constante	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Fr	Nombre de Froude	
g	Accélération gravitationnelle	$m.s^{-2}$
h	Epaisseur du film liquide	m
k	Consistance du film liquide	$Pa.s^n$
N_s	Nombre d'entropie	
P	Gradient de pression	
q	Flux de chaleur pariétal	$W.m^{-2}$
Re_G	Nombre de Reynoldsgénéralisé	
S_G	Taux de génération d'entropie	
T	Température	K
u	Vitesse longitudinale	$m.s^{-1}$
U	Vitesse de déplacement de la ceinture	$m.s^{-1}$
\bar{u}	Vitesse longitudinale adimensionnelle	
y	Distance transversale	m
\bar{y}	Distance transversale adimensionnelle	
Lettres grecques		
α	Rapport des coefficients de consistance	
δ	Epaisseur du film liquide	m
ε	Petit coefficient de linéarité	
θ	Angle d'inclinaison	rad
λ	Conductivité thermique	$W.m^{-1}.K^{-1}$
ρ	Masse volumique du film liquide	$kg.m^{-3}$
τ	Contrainte de cisaillement	Pa
Ω	Température adimensionnelle	

Indices

i : Phase 1 et 2

0 : Référence

Sommaire	
Chapitre I	
I.1 Introduction	1
I. 2. Définition	2
I.3 Différents types de fluides non-newtoniens	2
Chapitre II	
Formulation théorique	
II. 1. Equations du mouvement	4
II. 2. Calcul du number de production d'entropie	5
Chapitre III	
Résultats et interprétation	
III. 1. L'effet de l'indice de comportement n	8
III. 2. Effet des nombres de Reynolds généralisé Re_{G1} et Re_{G2}	11
III. 3. Effet du nombre de Froude	12
III. 4. Effet du gradient de pression adimensionnelle $\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}}$	12
III. 5. Effet du rapport des coefficients de consistance α	12
III. 6. Effet du nombre de Brinkman Br_1	13
III. 7. Effet du nombre Brinkman Br_2	13
III. 8. Effet de la température adimensionnelle Ω	13
III. 9. Effet de l'indice de comportement n	13
III. 10. Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1}	13
III. 11. Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G2}	14
III. 12. Effet du nombre de Froude	14
III. 13. Effet du gradient de pression adimensionnelle $\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}}$	14
III. 14. Effet du rapport des coefficients de consistance α	14
III. 15. Effet du nombre Brinkman Br_1	14
III. 16. Effet du nombre Brinkman Br_2	15
III. 17. Effet de la température adimensionnelle Ω	15
Conclusions et recommandations	
Conclusion	34
Références Bibliographiques	
	35
	36

Liste des figures

Figure II. 1 : Représentation schématique de l'écoulement de deux fluides non-newtoniens non-miscibles sur un plan incliné.

Figure II. 2 : Interface de EES.

Figure III. 3 : Variation du nombre d'entropie N_{s1} en fonction de la distance transversale adimensionnelle \bar{y} .

Figure III. 4 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 5 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G2} sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 6 : Effet du nombre de Froude Fr sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 7 : Effet du gradient de pression $\frac{\overline{dp}}{\overline{dx}}$ sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 8 : Effet du rapport des coefficients de consistance α sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 9 : Effet du nombre de Brinkman Br_1 sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 10 : Effet du nombre de Brinkman Br_2 sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 11 : Effet de la température adimensionnelle Ω sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 12 : Variations du nombre d'entropie N_{s2} en fonction de la distance transversale adimensionnelle \bar{y} .

Figure III. 13 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 14 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G2} sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 15 : Effet du nombre de Froude Fr sur la variation du nombre d'entropie N_{s2}

pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 16 : Effet du gradient de pression $\frac{\overline{dp}}{dx}$ sur la variation du nombre d'entropie

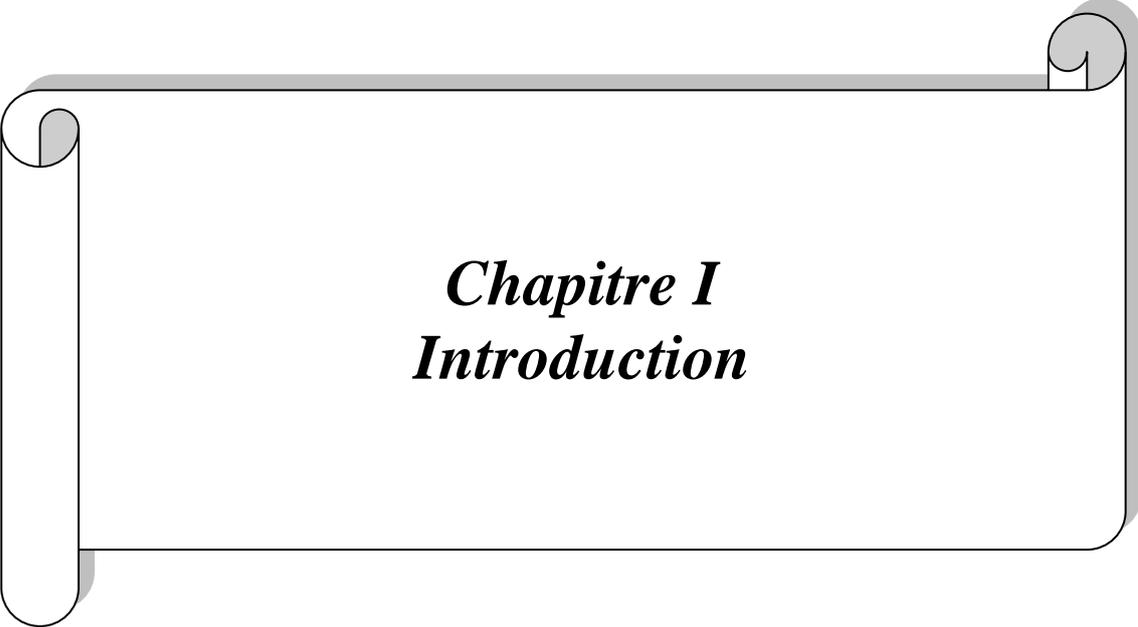
N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 17 : Effet du rapport des coefficients de consistance α sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 18 : Effet du nombre de Brinkman Br_1 sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 19 : Effet du nombre de Brinkman Br_2 sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

Figure III. 20 : Effet de la température adimensionnelle Ω sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.



Chapitre I
Introduction

I. 1.Introduction

L'étude des fluides non-newtoniens appartient à une discipline de la science dite la rhéologie, le terme rhéologie a été introduit en 1928 par Eugene Bingham, professeur à l'université Lehigh aux États-Unis, sur une suggestion de son collègue Markus Reiner. Le mot est emprunté à la fameuse expression d'Héraclite *Panta rhei* (« Tout s'écoule »). Il a été francisé en « rhéologie » en 1943[1].

La rhéologie consiste à étudier la déformation et l'écoulement des matériaux, et intervient au sein de la théorie des milieux continus, elle consiste à analyser la réponse des matériaux à des contraintes de cisaillements, l'étude des fluides non-newtoniens vise plusieurs domaines industriels, à titre d'exemple, on peut citer l'industrie des polymères et des plastiques, l'industrie agroalimentaire, la géologie, les mines, l'industrie des peintures, l'écoulement du sang et l'industrie des cosmétiques.

La rhéologie traite les problèmes des comportements des matériaux qui n'obéissent pas aux lois de Newton et de Hooke [2].

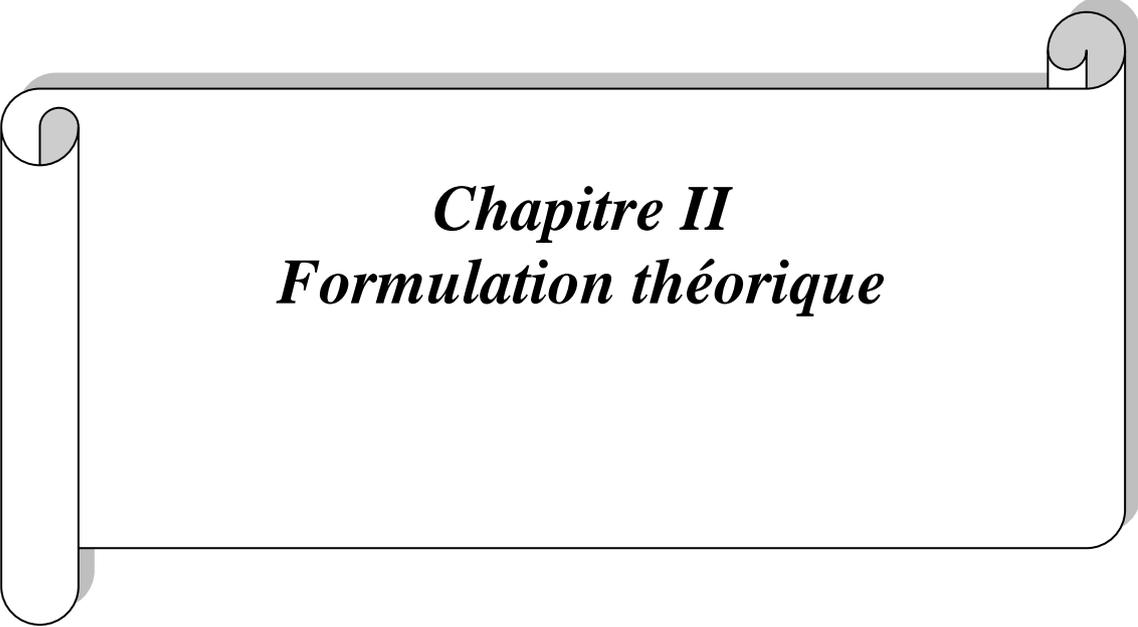
I. 2. Définition

Les fluides non-newtoniens : voient leur viscosité changer sous l'effet d'une contrainte mécanique. Elles deviennent soit plus visqueuses, soit plus fluides lorsque l'on tape dessus, qu'on la touille ou qu'on la remue. Dans le cas de la maïzena (féculé de maïs) mélangé à un peu d'eau, par exemple, le liquide réagit brutalement et devient très dure quand on la mélange, elle s'oppose à la cuillère avec laquelle on la remue [3].

I. 3. Différents types de fluides non-newtoniens

- Certains fluides non-newtoniens sont si durs qu'ils permettent de marcher dessus : leur viscosité *augmente* quand on applique une action mécanique dessus. De plus, si cette augmentation est directement fonction de l'intensité de l'action, ils sont dits rhéoépaississants ou dilatants.
- Par exemple, le sable mouillé ou la maïzena dont une préparation d'abord s'écoulent comme un liquide quand ils sont au repos, mais ils deviennent au contraire très durs quand on les remue ou qu'on appuie dessus.
- Il existe également des fluides dont la viscosité diminue sous l'effet d'une action et dont la diminution dépend de l'intensité de l'action : ils sont dits rhéofluidifiants ou pseudo-plastiques.

- C'est le cas du ketchup, du sang, de la lave, de la mélasse, de certaines peintures, encres ou encore du vernis à ongles. Ils sont tout d'abord pâteux, mais deviennent pratiquement liquides quand on la remue. C'est le cas quand on presse la bouteille de ketchup, plus on appuie, plus ce qui en sort est fluide et paradoxalement, plus il est facile d'augmenter la pression.
- Certains autres fluides évoluent, mais il faut les remuer durant un certain temps, ainsi, au fur et à mesure que l'on remue un yaourt il devient de plus en plus liquide, dans ce cas, il est dit thixotrope. À l'inverse, la crème liquide devient moins fluide quand on la remue longtemps, elle se transforme en beurre, et elle est dite, dans ce cas, antithixotrope.
- Tous ces phénomènes s'expliquent par une déstructuration des liaisons intermoléculaire (thixotropie) ou au contraire d'un « nouage » des molécules entre-elles et qui épaississent un fluide (antithixotropie) [3].



Chapitre II
Formulation théorique

II. 1. Equations du mouvement

Les fluides considérés dans cette étude sont des fluides non-newtoniens d'Ostwald de Waele dont la loi rhéologique est

$$\tau = k \left(\frac{du(y)}{dy} \right)^n \quad (1)$$

Les deux films liquides non-newtoniens (fluides d'Ostwald de Waele) non-miscibles qui s'écoulent sur une surface solide mobile et inclinée d'un angle θ par rapport à l'horizontale. Appelons δ l'épaisseur totale des deux films et l'épaisseur du deuxième film.

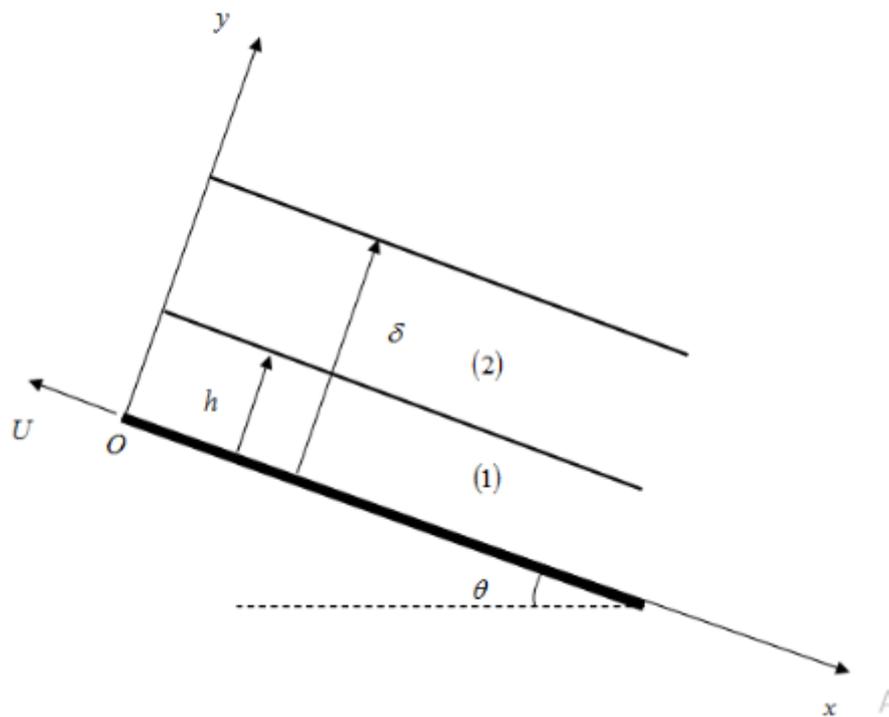


Figure II. 1: Représentation schématique de l'écoulement de deux fluides non-newtoniens non-miscibles sur un plan incliné.

Admettons que les deux fluides sont incompressibles et en écoulements laminaires et établis, sans ondes et que les épaisseurs restent constantes le long de la surface d'écoulement. Dans ce cas, l'équation de la quantité du mouvement pour les deux fluides s'écrit.

$$k_i \frac{d}{dy} \left(\frac{du_i(y)}{dy} \right)^n = \frac{dP}{dx} - \rho_i g \sin \theta \quad (2)$$

Ces équations du mouvement sont sujettes aux conditions aux limites suivantes :

Condition d'adhérence [4].

$$y = 0, u_1 = -U \quad (3)$$

Continuité de la vitesse à l'interface

$$y = h, u_1 = u_2 \quad (4)$$

Continuité de la contrainte de cisaillement à l'interface

$$y = h, k_1 \left(\frac{du_1}{dy} \right)^n = k_2 \left(\frac{du_2}{dy} \right)^n \quad (5)$$

Surface libre

$$y = \delta, \frac{du_2}{dy} = 0 \quad (6)$$

Utilisons les variables adimensionnelles

$$\bar{u}_i = \frac{u_i}{U}, \bar{x} = \frac{x}{\delta}, \bar{y} = \frac{y}{\delta}, \bar{P} = \frac{P}{\rho_i U^2}, \alpha = \frac{k_2}{k_1}, \varepsilon = \frac{h}{\delta} \quad (7)$$

En substituant ces variables adimensionnelles dans l'équation de mouvement, nous obtenons

$$\frac{d}{d\bar{y}} \left(\frac{d\bar{u}_i(\bar{y})}{d\bar{y}} \right)^n = \frac{\rho_i U^{2-n} \delta^n}{k_i} \frac{d\bar{P}}{d\bar{x}} - \frac{\rho_i U^{2-n} \delta^n}{k_i} \frac{g \delta \sin \theta}{U^2} \quad (8)$$

en introduisant le nombre de Reynolds généralisé et le nombre de Froude

$$\text{Re}_{Gi} = \frac{\rho_i U^{2-n} \delta^n}{k_i}, \text{Fr} = \frac{U^2}{g \delta \sin \theta} \quad (9)$$

- Le nombre de Reynolds est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il a été mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds. Il caractérise l'écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire et turbulent) [5].
- Le nombre de Froude, de l'hydrodynamicien anglais William Froude, est un nombre sans dimension qui caractérise dans un fluide l'importance relative de l'énergie cinétique de ses particules par rapport à son énergie potentielle gravitationnelle. Il s'exprime donc par un rapport entre la vitesse d'une particule et la force de pesanteur qui s'exerce sur celle-ci. Ce nombre apparaît essentiellement dans les phénomènes à surface libre, en particulier dans les études de cours d'eau, de barrages, de ports et de navires (architecture navale). Il est également important en météorologie pour le calcul de l'écoulement de l'air en montagne.

En dynamique des fluides il fait partie des trois nombres sans dimension les plus utilisés, il caractérise l'importance de la pesanteur alors que le nombre de Reynolds prend en compte la viscosité et le nombre de Mach la compressibilité. Le nombre de Froude peut être indicatif de la vitesse du fluide normée par une distance caractéristique. Ainsi les plus rapides ont un nombre de Froude > 1 , tandis que pour les rivières plus calmes Froude

Après l'adimensionnalisation [6], L'équation (8) devient

$$\frac{d}{d\bar{y}} \left(\frac{d\bar{u}_i(\bar{y})}{d\bar{y}} \right)^n = \text{Re}_{Gi} \left(\frac{d\bar{P}}{d\bar{x}} - \frac{1}{Fr} \right) \quad (10)$$

Les conditions aux limites pour cette équation sous forme adimensionnelle deviennent

$$\bar{y} = 0, \bar{u}_1 = -1 \quad (11)$$

$$\bar{y} = \varepsilon, \bar{u}_1 = \bar{u}_2 \quad (12)$$

$$\bar{y} = \varepsilon, \left(\frac{d\bar{u}_1}{d\bar{y}} \right)^n = \alpha \left(\frac{d\bar{u}_2}{d\bar{y}} \right)^n \quad (13)$$

$$\bar{y} = 1, \frac{d\bar{u}_2}{d\bar{y}} = 0 \quad (14)$$

Récrivons l'équation (10) sous la forme

$$\frac{d}{d\bar{y}} \left(\frac{d\bar{u}_i(\bar{y})}{d\bar{y}} \right)^n = a_i \quad (15)$$

où

$$a_i = \text{Re}_{Gi} \left(\frac{d\bar{P}}{d\bar{x}} - \frac{1}{Fr} \right) \quad (16)$$

En intégrant deux fois l'équation par rapport à la variable adimensionnelle \bar{y} nous trouvons l'équation

$$\left(\frac{d\bar{u}_i(\bar{y})}{d\bar{y}} \right)^n = a_i \bar{y} + C_{1i} \quad (17)$$

$$\bar{u}_i(\bar{y}) = \frac{n}{(n+1)a_i} (a_i \bar{y} + C_{1i})^{\frac{n+1}{n}} + C_{2i} \quad (18)$$

Ici les constantes d'intégration C_{11} et C_{12} et C_{21} et C_{22} sont obtenues à partir des conditions aux limites.

Explicitement les profils des vitesses pour les deux fluides sont :

$$\bar{u}_1(\bar{y}) = \frac{n}{(n+1)a_1} (a_1 \bar{y} + C_{11})^{\frac{n+1}{n}} + C_{21} \quad (19)$$

$$\bar{u}_2(\bar{y}) = \frac{n}{(n+1)a_2} (a_2 \bar{y} + C_{12})^{\frac{n+1}{n}} + C_{22} \quad (20)$$

$$a_1 = \text{Re}_{G1} \left(\frac{d\bar{P}}{d\bar{x}} - \frac{1}{Fr} \right), a_2 = \text{Re}_{G2} \left(\frac{d\bar{P}}{d\bar{x}} - \frac{1}{Fr} \right) \quad (21)$$

en exploitant les conditions aux limites, les constantes d'intégration s'écrivent :

$$C_{11} = \alpha a_2 (\varepsilon - 1) - a_1 \varepsilon \quad (22)$$

$$C_{12} = -a_2 \quad (23)$$

$$C_{21} = -1 - \frac{n}{(n+1)a_1} (C_{11})^{\frac{n+1}{n}} \quad (24)$$

$$C_{22} = \frac{n}{(n+1)a_1} (a_1 \varepsilon + C_{11})^{\frac{n+1}{n}} + C_{21} - \frac{n}{(n+1)a_2} (a_2 \varepsilon + C_{12})^{\frac{n+1}{n}} \quad (25)$$

Les gradients de vitesses quant à eux, ils sont donnés par les expressions

$$\frac{d\bar{u}_1(\bar{y})}{d\bar{y}} = (a_1 \bar{y} + C_{11})^{\frac{1}{n}} \quad (26)$$

$$\frac{d\bar{u}_2(\bar{y})}{d\bar{y}} = (a_2 \bar{y} + C_{12})^{\frac{1}{n}} \quad (27)$$

II. 2. Calculi du number de production d'entropie

L'entropie est un concept scientifique ainsi qu'une propriété physique mesurable qui est le plus souvent associée à un état de désordre, d'aléatoire ou d'incertitude. Le terme et le concept sont utilisés dans divers domaines, de la thermodynamique classique, où il a été reconnu pour la première fois en 1850, à la description microscopique de la nature en physique statistique et aux principes de la théorie de l'information. Il a trouvé des applications de grande envergure en chimie et en physique, dans les systèmes biologiques et leur relation avec la vie, en cosmologie, en économie, en sociologie, en météorologie, en changement climatique et en systèmes d'information, y compris la transmission d'informations dans les télécommunications[7].

$$S_G = \frac{\lambda}{T_0^2} \left[\left(\frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right] + \frac{k}{T_0} \left(\frac{\partial u(y)}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (28)$$

Parce que les films sont très minces, il est légitime de négliger les variations de la température et par conséquent leurs gradients, le terme $\frac{\lambda}{T_0^2} \left[\left(\frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right]$ qui figure dans l'expression de la production d'entropie est omis, c'est à dire

$$\frac{\lambda}{T_0^2} \left[\left(\frac{\partial T(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right] = 0 \quad (29)$$

$$N_s = \frac{\lambda T_0^2}{q^2} S_G \quad (30)$$

On à :

$$N_s = \frac{\lambda k T_0}{q^2} \frac{u^{n+1}}{\delta^{n+1}} \quad (31)$$

$$N_s = \frac{\lambda k T_0}{q^2} \frac{u^{n+1} u^2}{u^2 \delta^{n+1}} \quad (32)$$

On à :

$$N_s = \frac{k u^2 c_p^2}{q \frac{q \delta}{\lambda}} T_0 \frac{u^{n+1} \lambda}{u^2 \delta^2 c_p^2} \quad (33)$$

$$N_s = \frac{\lambda k T_0}{q^2} \frac{u^{n+1}}{\delta^{n+1}} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (34)$$

$$\Omega = \frac{\Delta T}{T_0} \quad ; \quad \Delta T = \frac{q \delta}{\lambda} \quad (35)$$

Récrivons l'équation (35) sous la forme :

$$N_s = \frac{k u^{n+1}}{\frac{q^2 \delta}{\lambda T_0} \delta^n} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (36)$$

$$N_s = \frac{k u^{n+1}}{\left(\frac{q \delta}{\lambda} \right) \frac{1}{T_0} q \delta^n} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (37)$$

Où :

$$N_s = \frac{k u^{n+1}}{\Omega q \delta^n} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (38)$$

On a

$$Br = \frac{k u^{n+1}}{q \delta^n} \quad (39)$$

Le nombre de Brinkman est un nombre sans dimension utilisé en transfert thermique et sert principalement pour la mise en forme de liquides visqueux tels les polymères. Il donne le rapport entre l'énergie des forces visqueuses dissipée et l'énergie transférée par conduction thermique. Ce nombre porte le nom d'Henry Coenraad Brinkman, physicien néerlandais [8].

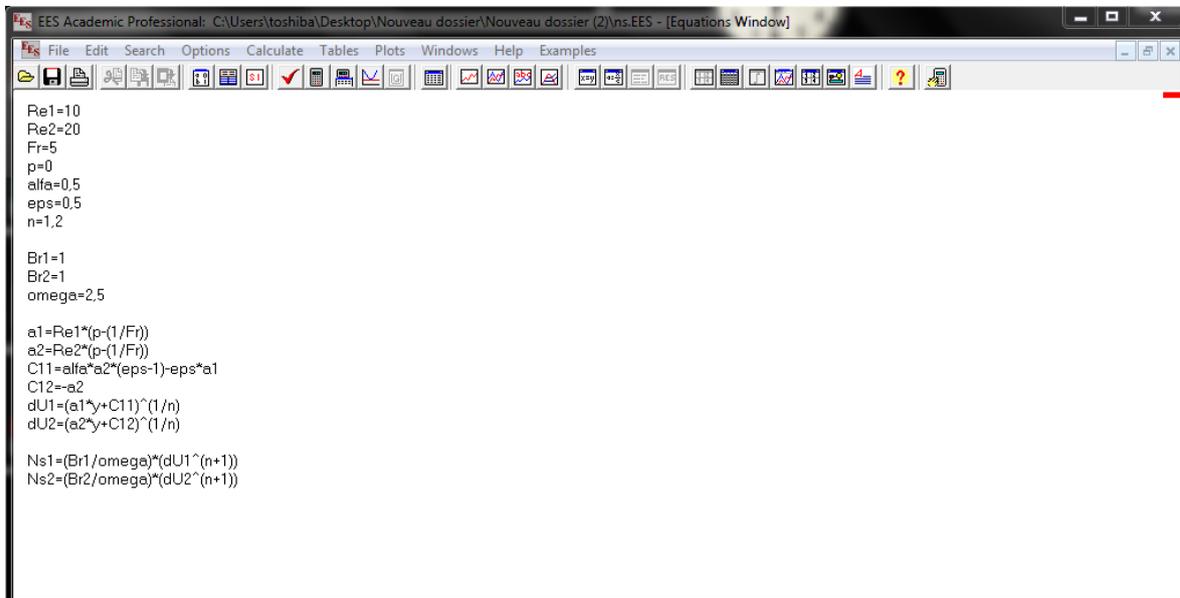
$$N_s = \frac{Br}{\Omega} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (40)$$

Dance :

$$N_{s1} = \frac{Br_1}{\Omega} \left(\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (41)$$

$$N_{s2} = \frac{Br_2}{\Omega} \left(\frac{\partial \bar{u}_2}{\partial y} \right)^{n+1} \quad (42)$$

Et nous avons mis les résultats dans le programme EES pour extraire les courbes comme indiqué :



```

EES Academic Professional: C:\Users\toshiba\Desktop\Nouveau dossier\Nouveau dossier (2)\ns.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
Re1=10
Re2=20
Fr=5
p=0
alfa=0.5
eps=0.5
n=1.2

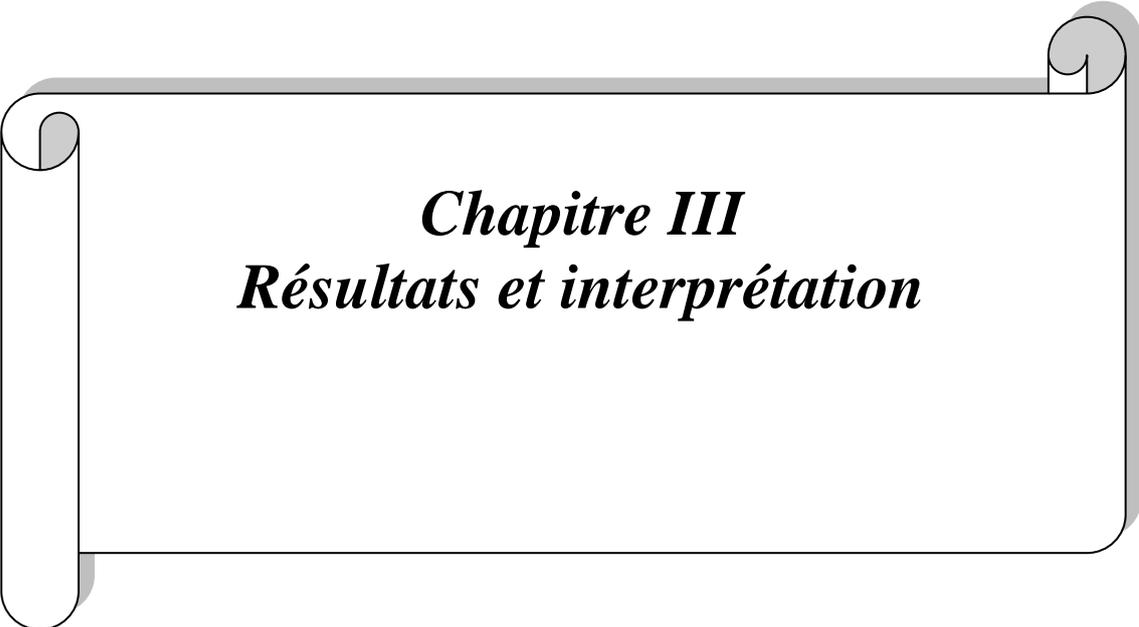
Br1=1
Br2=1
omega=2.5

a1=Re1*(p-(1/Fr))
a2=Re2*(p-(1/Fr))
C11=alfa*a2*(eps-1)-eps*a1
C12=a2
dU1=(a1*y+C11)^(1/n)
dU2=(a2*y+C12)^(1/n)

Ns1=(Br1/omega)*(dU1^(n+1))
Ns2=(Br2/omega)*(dU2^(n+1))

```

Figure II. 2 : Interface de EES.



Chapitre III
Résultats et interprétation

Résultats et interprétation

III. 1. L'effet de l'indice de comportement n

L'effet de l'indice de comportement n sur les variations du nombre d'entropie N_{S1} est illustré sur la figure III. 2. Pour une valeur donnée de l'indice de comportement, les nombres d'entropie diminuent avec la distance transversale adimensionnelle. Pour une position transversale donnée, les différences de nombre d'entropie diminuent avec l'indice de comportement.

III. 2. Effet des nombres de Reynolds généralisé Re_{G1} et Re_{G2}

La figure III. 3 et figure III. 4 montrent l'effet des nombres de Reynolds généralisé Re_{G1} et Re_{G2} sur les variations du nombre d'entropie N_{S1} pour les fluides pseudo-plastiques ($n=0,8$) et les fluides dilatants ($n=1,2$). Nous remarquons que la variation du nombre d'entropie diminue avec diminution des nombres de Reynolds généralisé Re_{G1} et Re_{G2} que ce soit pour les fluides pseudo-plastiques ou les fluides dilatants.

III. 3. Effet du nombre de Froude

Figure III. 5 représente le nombre d'entropie N_{S1} pour différentes valeur du nombre de Froude Fr pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$). Dans les deux cas, quand le nombre de Froude augmente, le nombre d'entropie diminue.

III. 4. Effet du gradient de pression adimensionnelle $\frac{d\bar{p}}{dx}$

L'influence du gradient de pression adimensionnelle $\frac{d\bar{p}}{dx}$ sur la variation du nombre

d'entropie N_{S1} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) sont illustrés sur la figure III. 6. L'augmentation du gradient de pression adimensionnel entraîne la diminution de la force agissante sur les fluides dans la direction de l'écoulement, et par conséquent, ce ci conduit à diminuer la variation du nombre d'entropie.

III. 5. Effet du rapport des coefficients de consistance α

La figure III. 7 montre l'impact du rapport des coefficients de consistance α des fluides sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$). Comme nous pouvons le voir, quand le rapport des coefficients de consistance des fluides augmente, la variation du nombre d'entropie de fluide augmente, cela est dû à l'influence des coefficients de consistance des fluides sur les contraintes de cisaillement interfaciales.

III. 6. Effet du nombre de Brinkman Br_1

L'effet du nombre Brinkman Br_1 sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) est illustré sur la figure III. 8. il est clair, quand le nombre Brinkman augmente, cela entraîne l'augmentation du nombre d'entropie.

III. 7. Effet du nombre Brinkman Br_2

L'effet du nombre Brinkman Br_2 sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) est illustré à la figure III. 9. Comme nous pouvons voir, quand le nombre Brinkman augmente, le nombre d'entropie reste constant, car il n'y a pas de relation entre le nombre de Brinkman Br_2 et la variation du nombre d'entropie N_{S1} .

III. 8. Effet de la température adimensionnelle Ω

L'influence de la température adimensionnelle Ω sur les variations du nombre d'entropie N_{S1} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) est illustrée sur la figure III. 10. L'augmentation de la température adimensionnelle entraîne la diminution du nombre d'entropie.

III. 9. Effet de l'indice de comportement n

L'effet de l'indice de comportement n sur les variances du nombre d'entropie N_{S2} est illustré à la figure III 11. Pour une valeur donnée de l'indice de comportement, les variances du nombre d'entropie diminuent avec la distance de section sans dimension. Pour une position transversale donnée, les différences de nombre d'entropie diminuent avec l'augmentation de l'indice de comportement.

III. 10. Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1}

La figure III 12 montre l'effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} sur les variations du nombre d'entropie N_{S2} pour les fluides pseudo-plastiques ($n=0,8$) et les fluides dilatants ($n=1,2$). Nous remarquons que la variation du nombre d'entropie est constante avec diminution du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} que ce soit pour les fluides pseudo-plastiques ou les fluides dilatants. Car il n'y a pas de relation entre le nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} et la variation du nombre d'entropie N_{S2} .

III. 11. Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G2}

La figure III 13 montre l'effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} sur les variations du nombre d'entropie N_{S2} pour les fluides pseudo-plastiques ($n=0,8$) et les fluides dilatants ($n=1,2$). Nous remarquons que la variation du nombre d'entropie diminue avec diminution du nombre de Reynolds généralisé que ce soit pour les fluides pseudo-plastiques ou les fluides dilatants.

III. 12. Effet du nombre de Froude

Figure III 5 représente le nombre d'entropie N_{S2} pour différentes valeur du nombre de Froude Fr pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$). Dans les deux cas, quand le nombre de Froude augmenta, le nombre d'entropie diminue.

III. 13. Effet du gradient de pression adimensionnelle $\frac{d\bar{p}}{dx}$

L'influence du gradient de pression adimensionnelle $\frac{d\bar{p}}{dx}$ sur la variation du nombre

d'entropie N_{S2} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) sont illustrés sur la figure III 15. L'augmentation du gradient de pression adimensionnel entraîne diminution de la force agissante sur les fluides dans la direction de l'écoulement, et par conséquent, ce ci conduit à diminuer la variation du nombre d'entropie.

III. 14. Effet du rapport des coefficients de consistance α

La figure III 16 montre l'impact du rapport des coefficients de consistance α des fluides sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$). Comme nous pouvons voir, quand le rapport des coefficients de consistance des fluides augmente, la variation du nombre d'entropie de fluide constante.

III. 15. Effet du nombre Brinkman Br_1

L'effet du nombre Brinkman Br_1 sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) est illustré à la figure III 17. Comme nous pouvons voir, quand le nombre Brinkman augmente, la variation du nombre d'entropie est constante, Car il n'y a pas de relation entre le nombre Brinkman Br_1 et la variation du nombre d'entropie N_{S2} .

III. 16. Effet du nombre Brinkman Br_2

L'effet du nombre Brinkman Br_2 sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) est illustré à la figure III 18. Comme nous pouvons voir, quand le nombre Brinkman augmente, la variation du nombre d'entropie augmente.

III. 17. Effet de la température adimensionnelle Ω

L'influence de la température adimensionnelle Ω sur la variation du nombre d'entropie N_{s2} pour un fluide pseudo-plastique ($n=0,8$) et pour un fluide dilatant ($n=1,2$) sont illustrés sur la figure III 19. L'augmentation de la température adimensionnelle entraîne la diminution du nombre d'entropie.

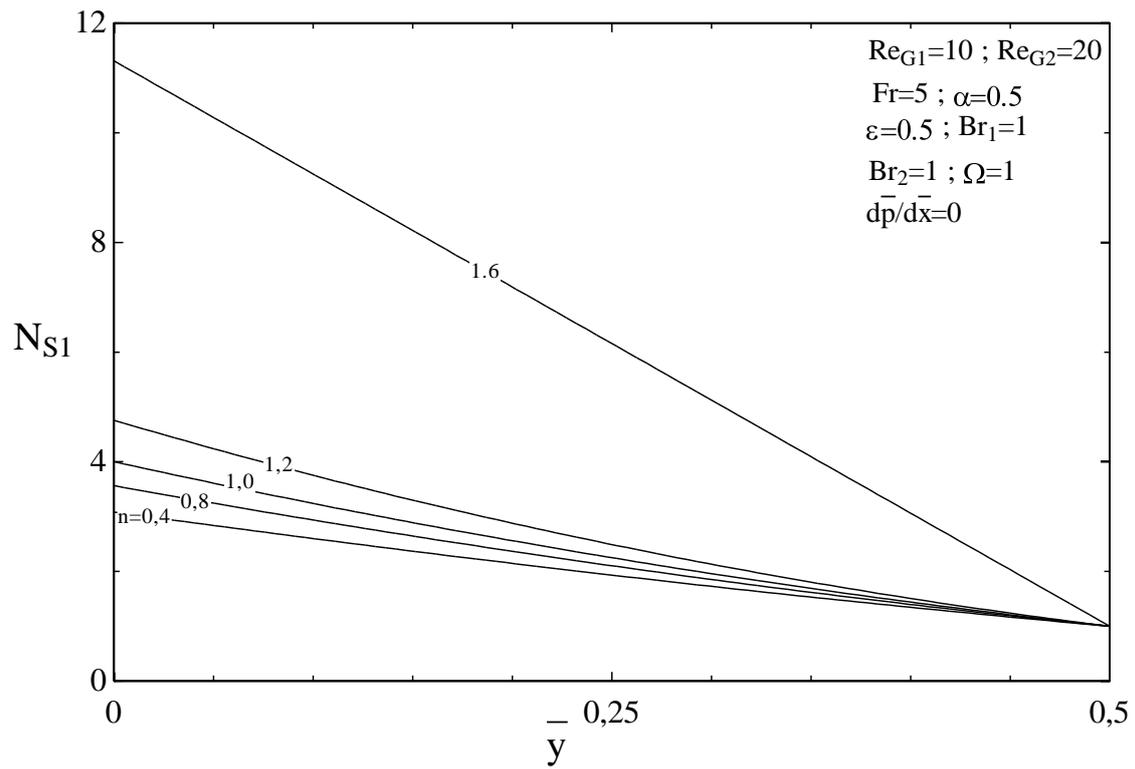


Figure III. 3 : La variation du nombre d'entropie N_{S1} en fonction de la distance transversale adimensionnelle \bar{y} .

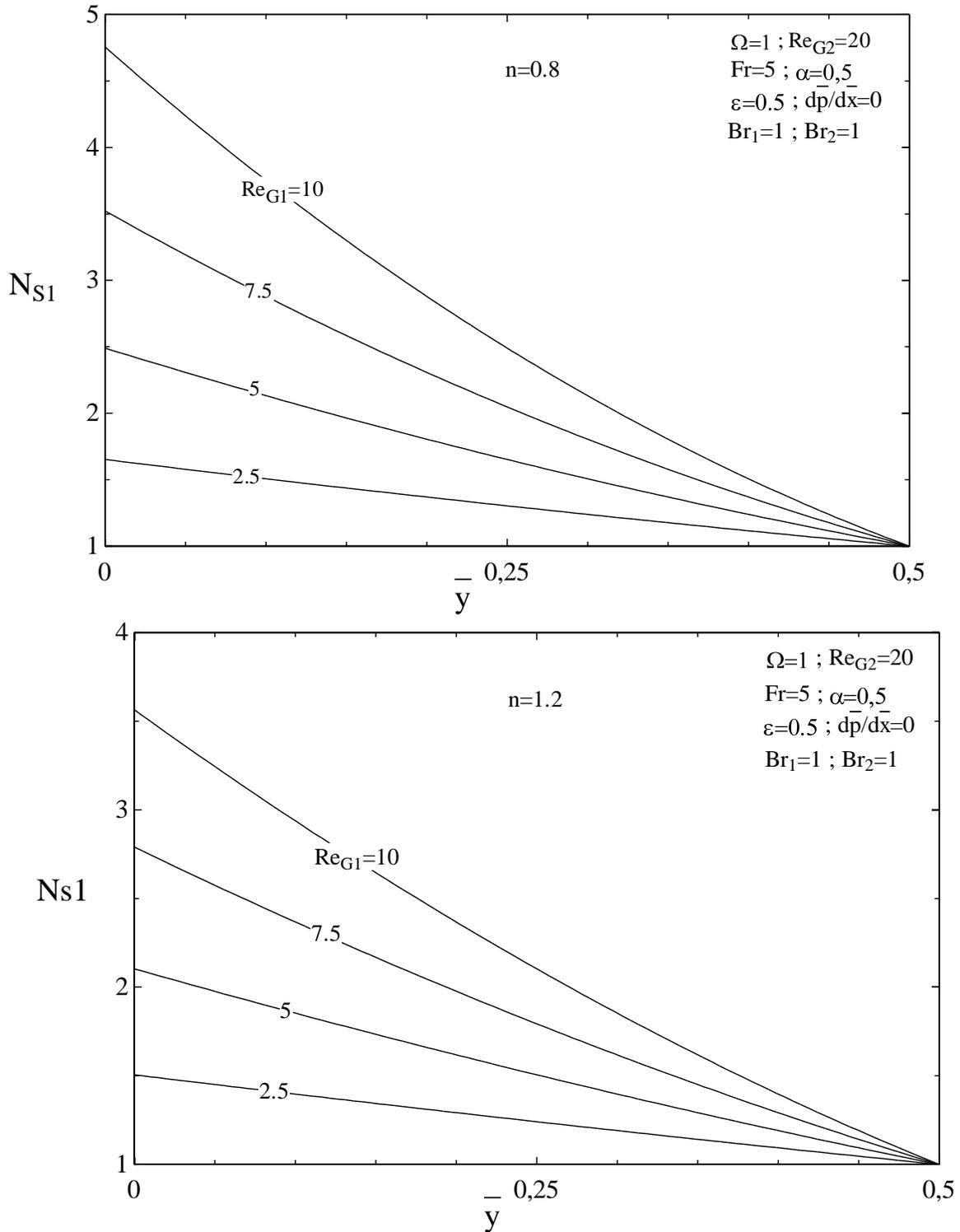


Figure III. 4 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

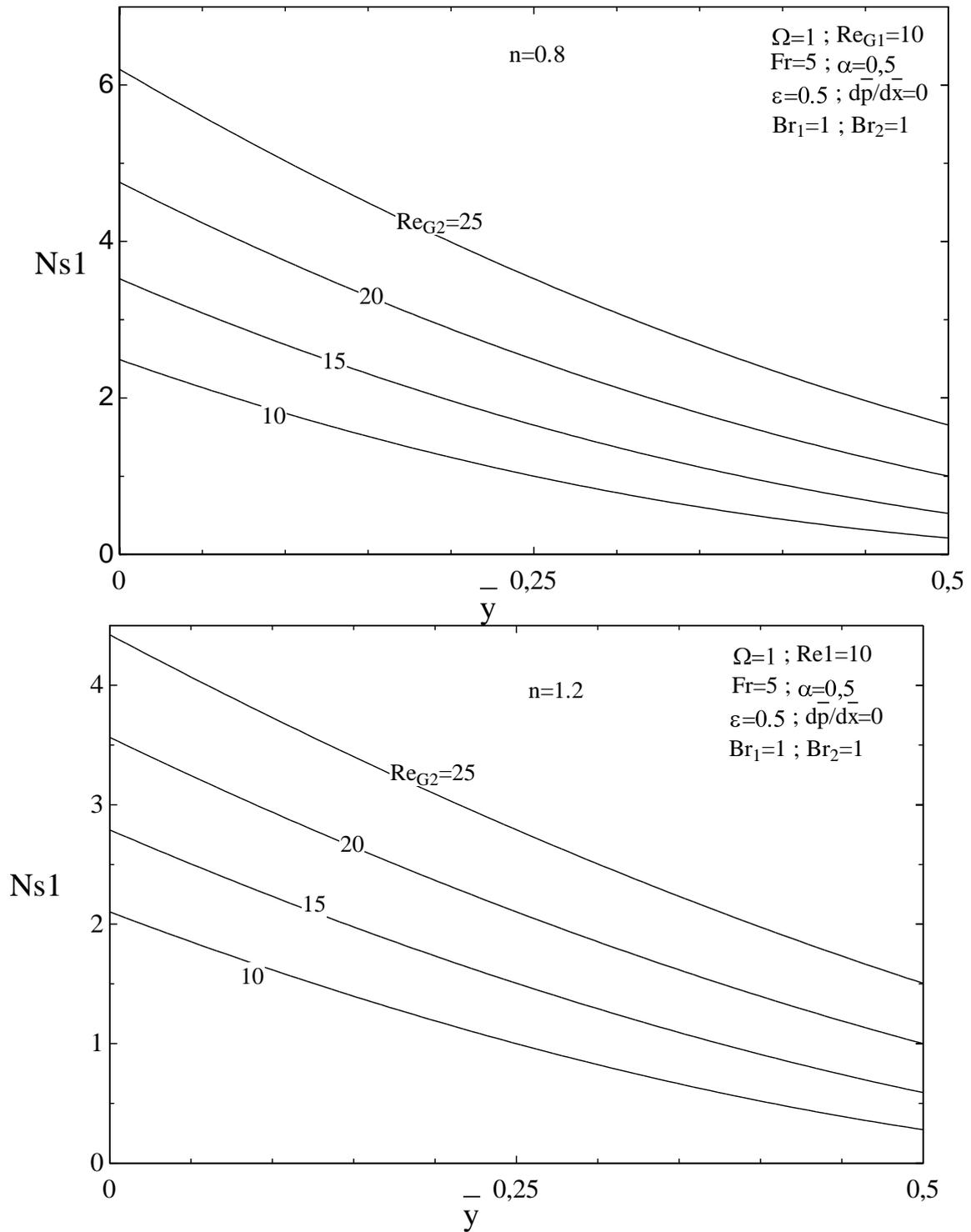


Figure III. 5 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G2} sur la variation du nombre d'entropie N_{s1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

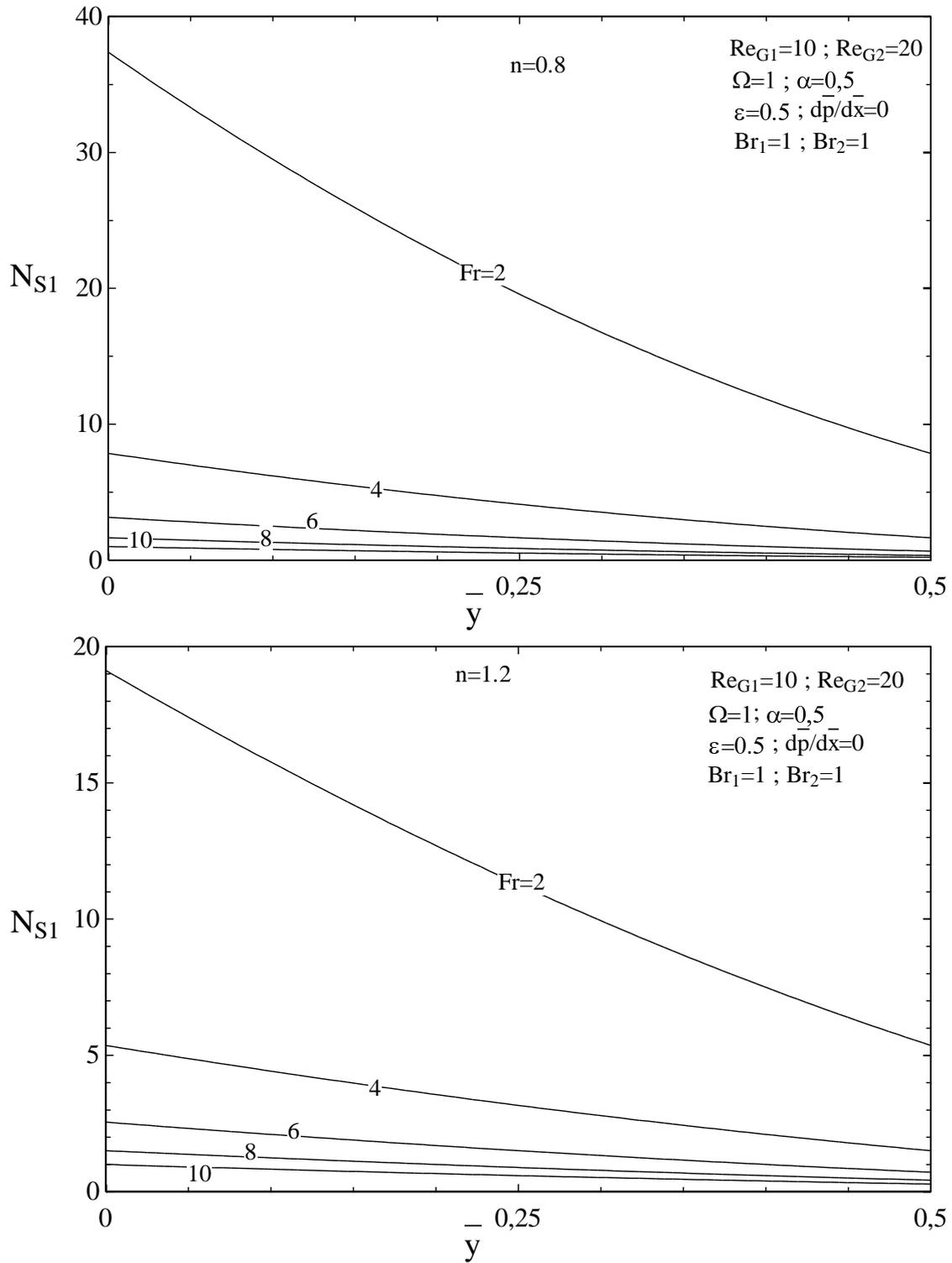


Figure III. 6 : Effet du nombre de Froude Fr sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

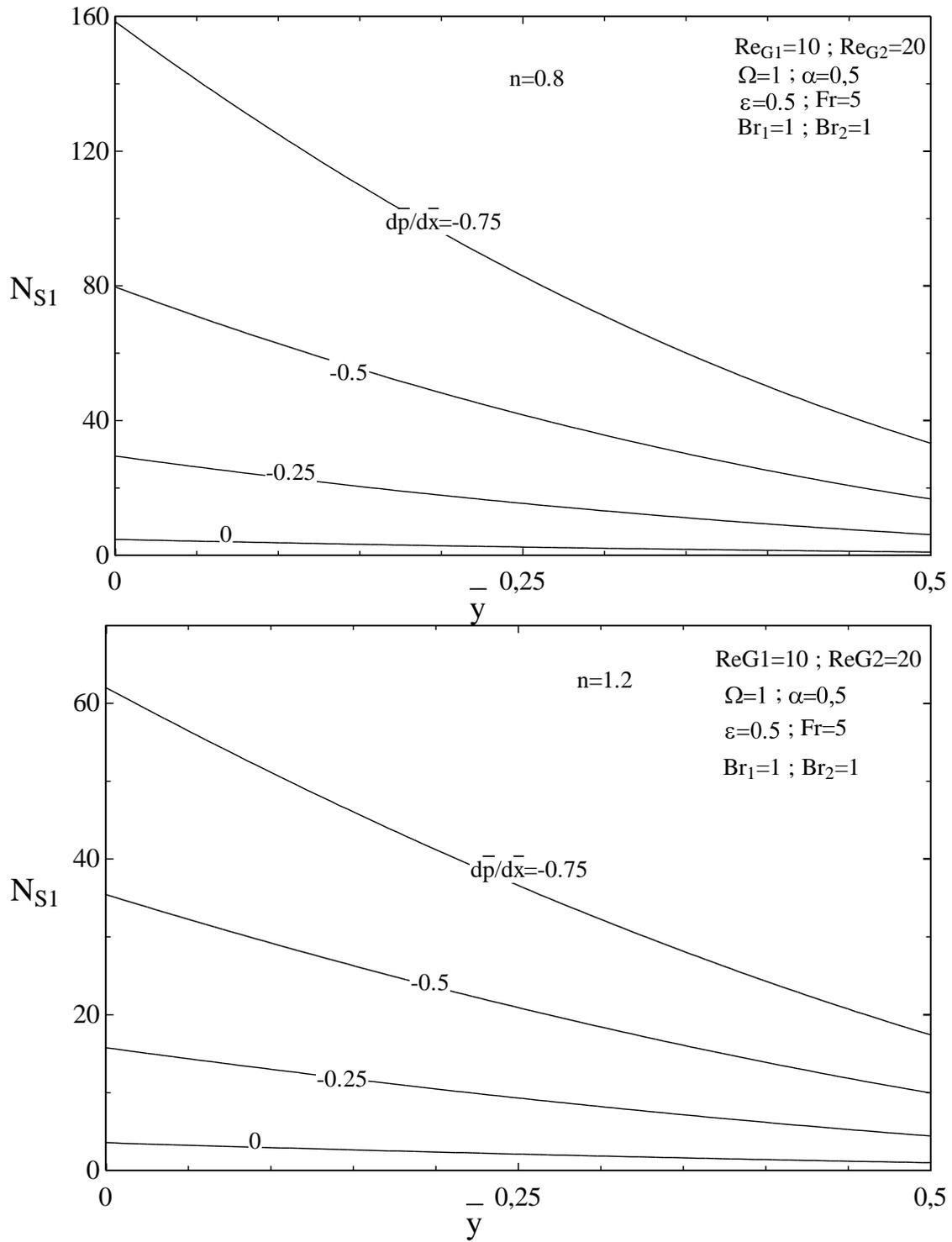


Figure III. 7 : Effet du gradient de pression $\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}}$ sur la variation du nombre d'entropie

N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

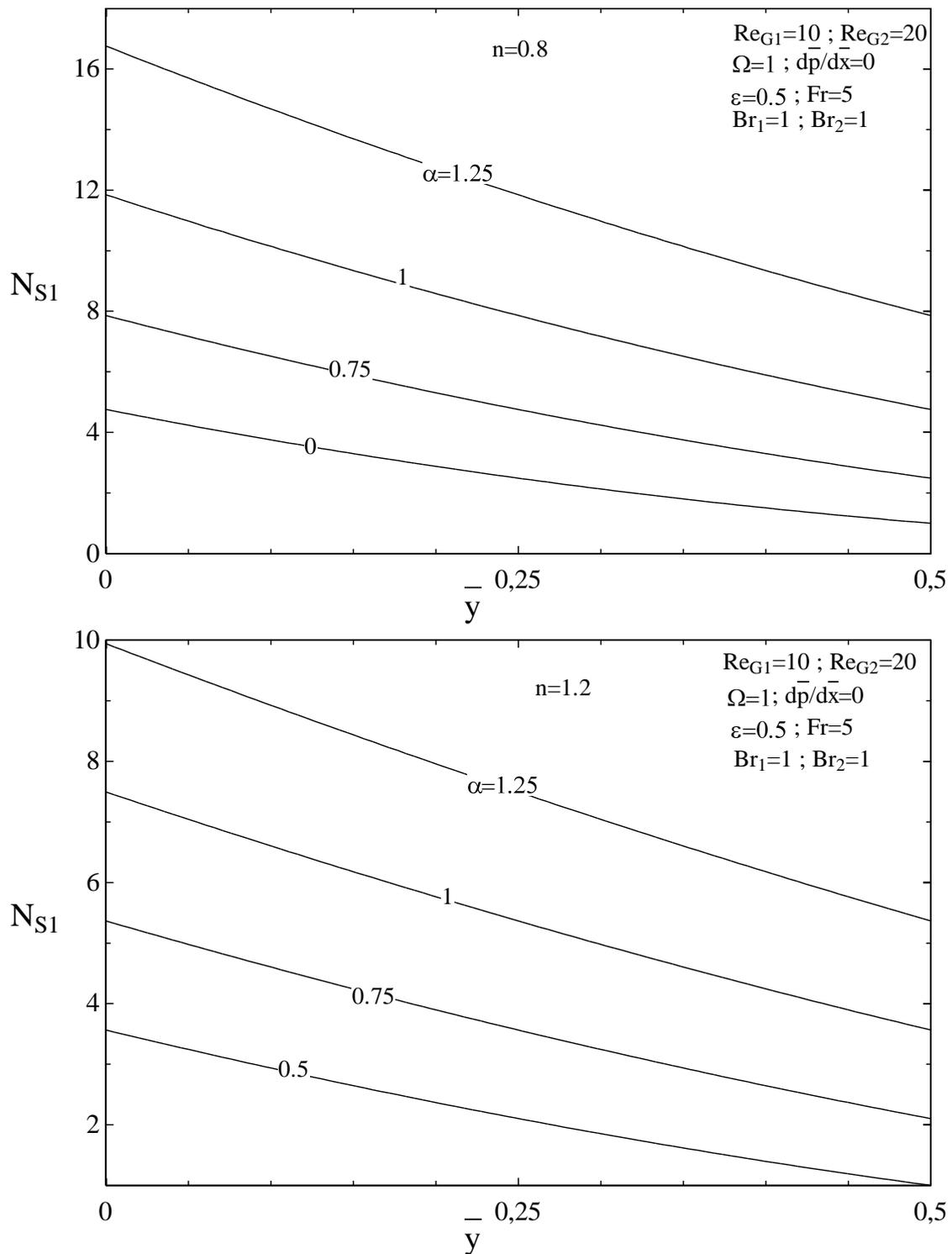


Figure III. 8 : Effet du rapport des coefficients de consistance α sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

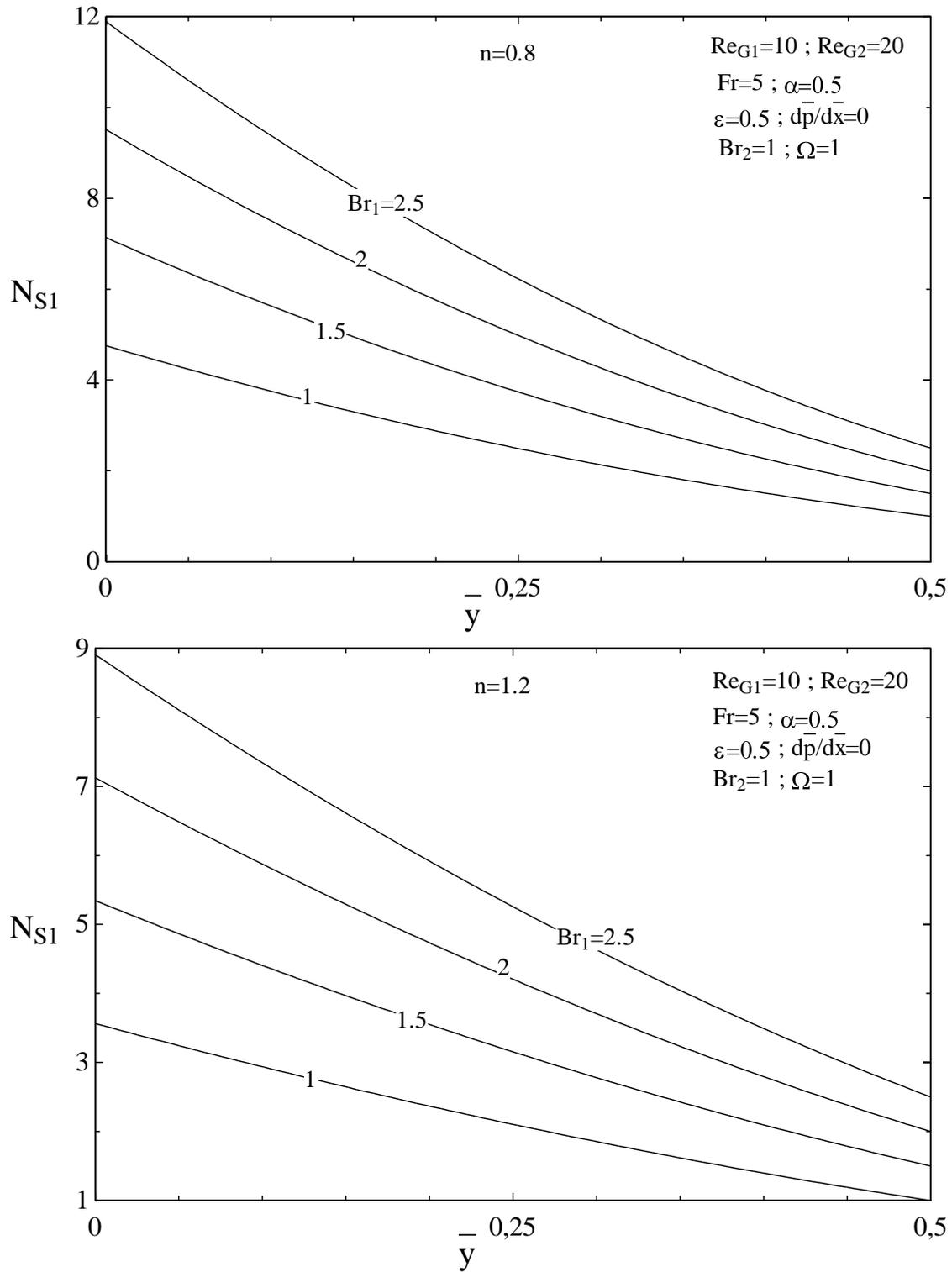


Figure III. 9 : Effet du nombre Brinkman Br_1 sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

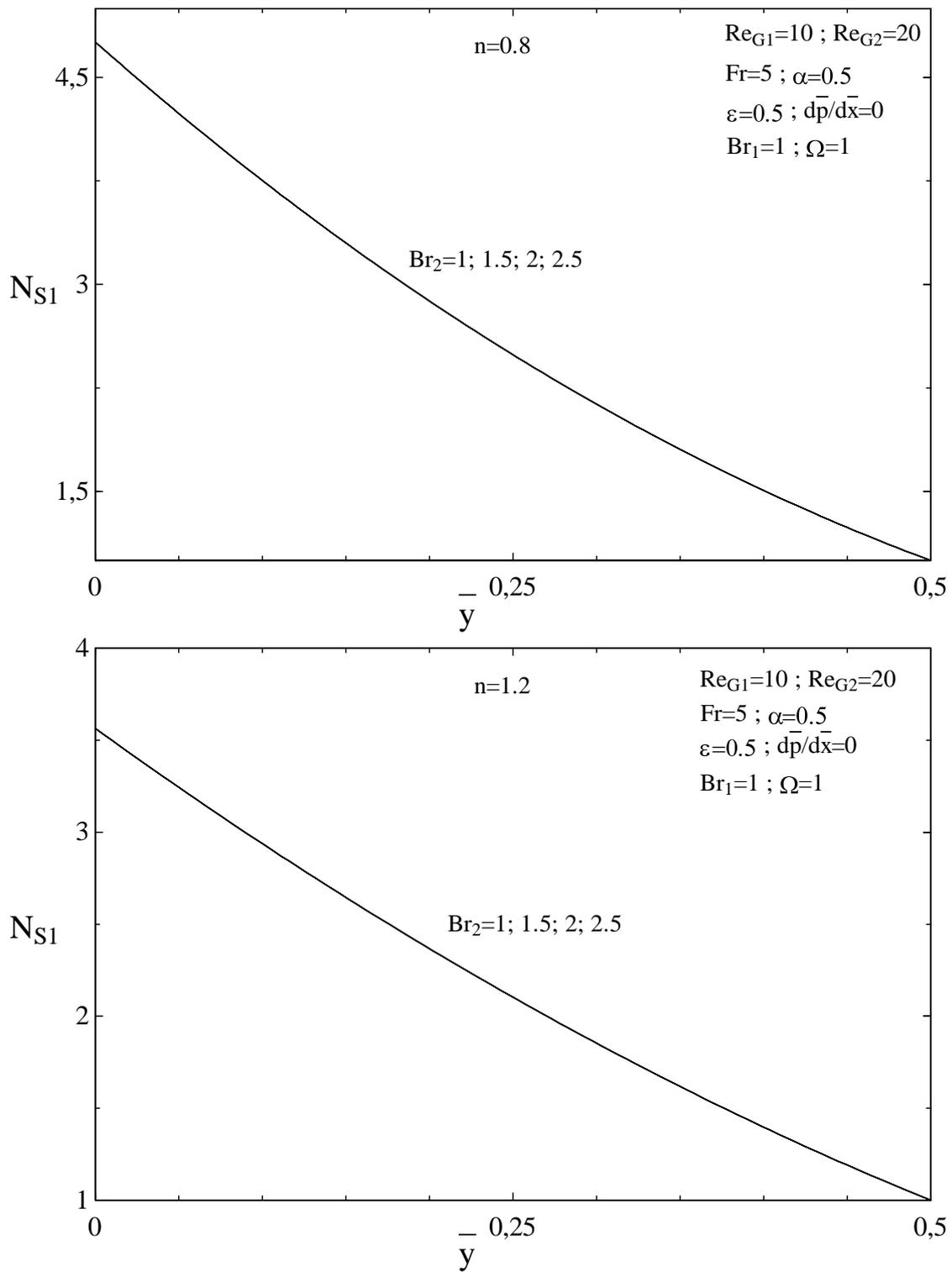


Figure III. 10 : Effet du nombre Brinkman Br_2 sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

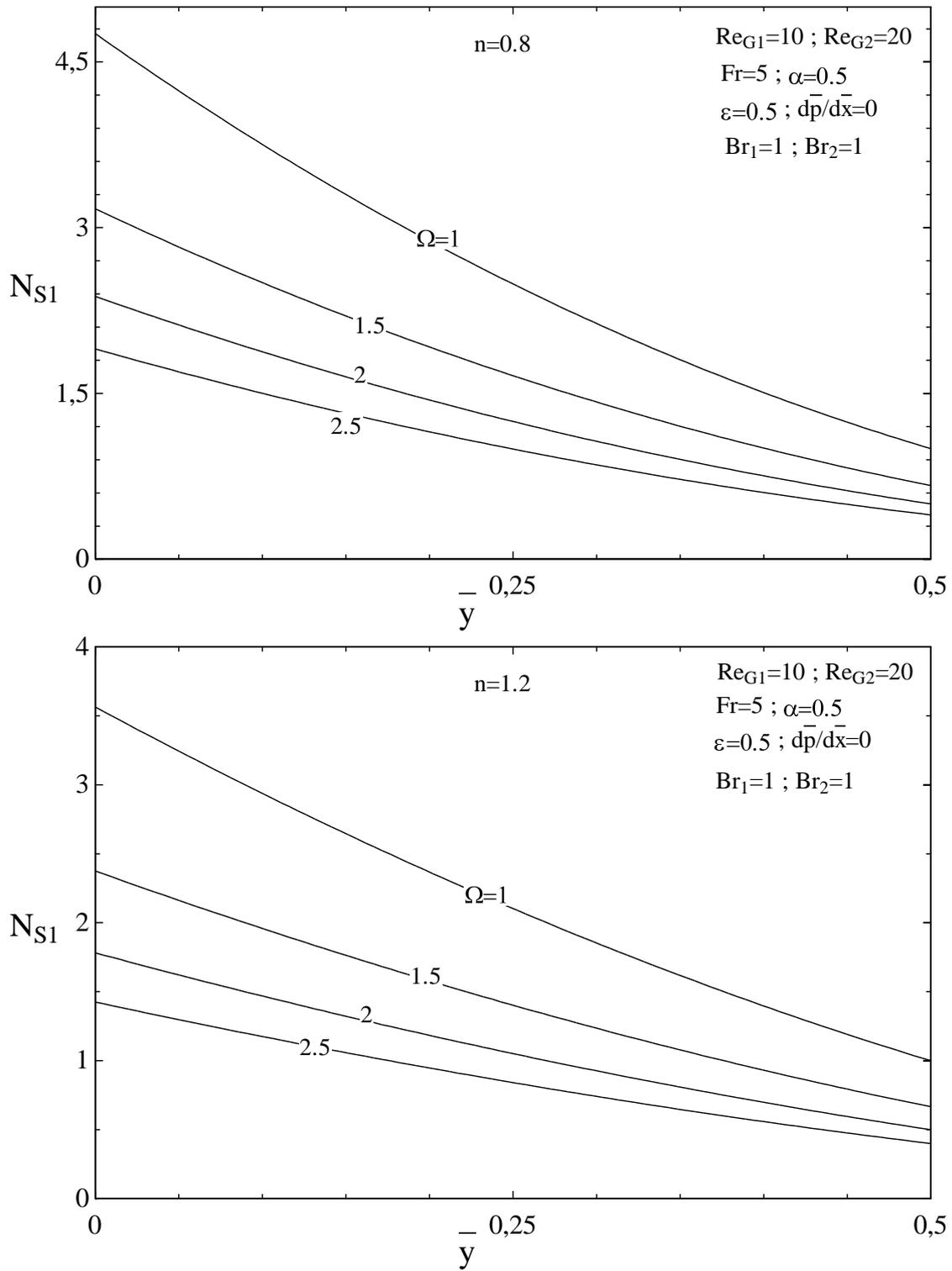


Figure III. 11 : Effet du la température adimensionnelle Ω sur la variation du nombre d'entropie N_{S1} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

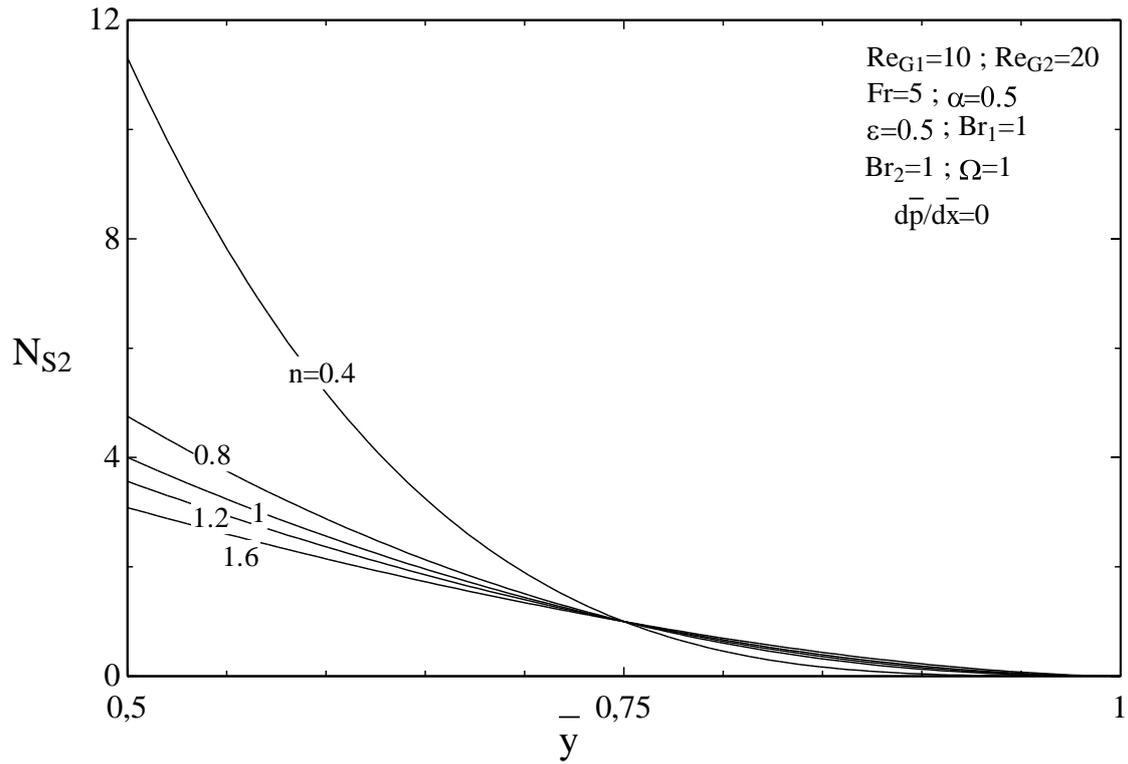


Figure III. 12 : La variation du nombre d'entropie N_{S2} en fonction de la distance transversale adimensionnelle \bar{y} .

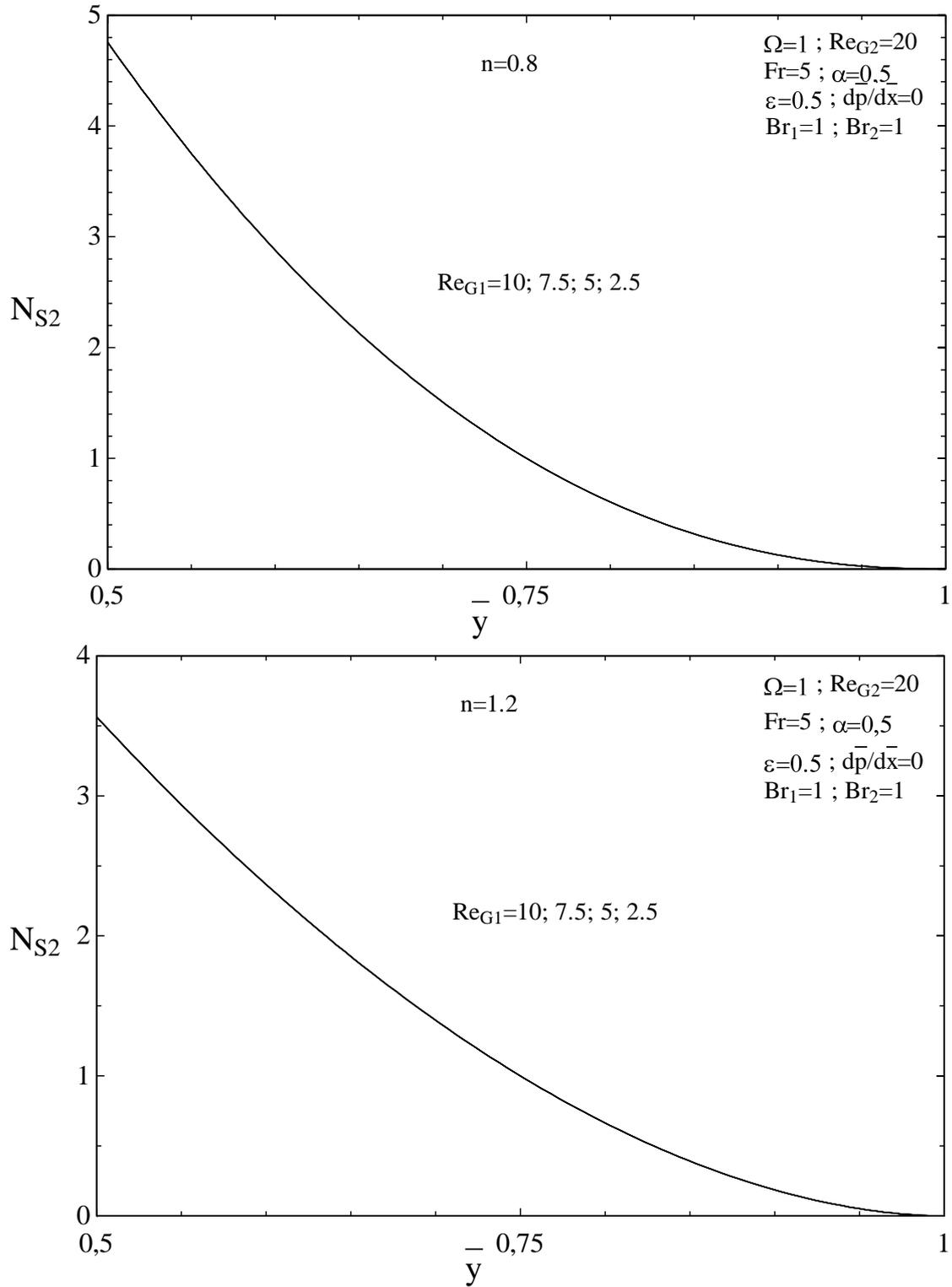


Figure III. 13 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G1} sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

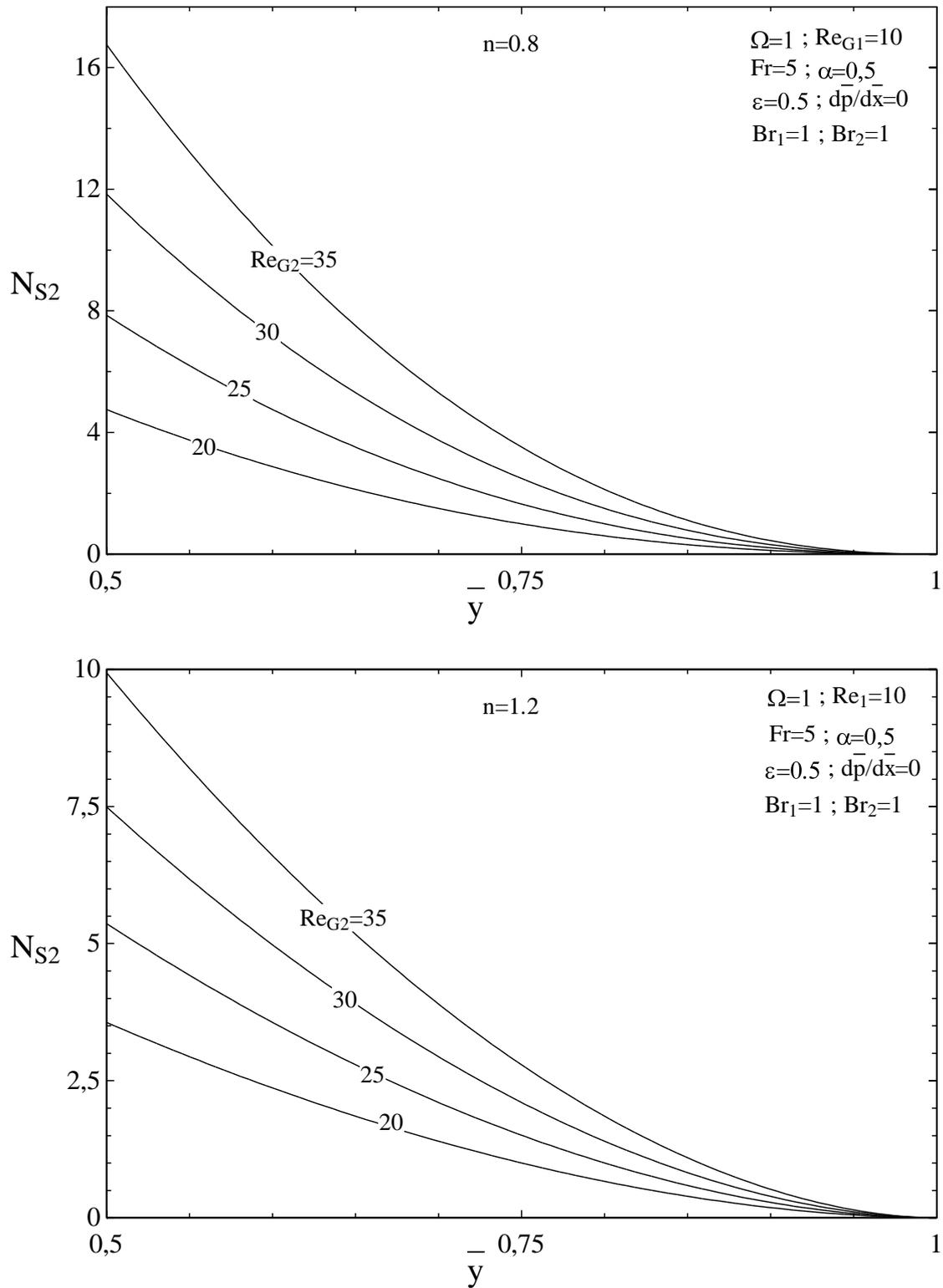


Figure III. 14 : Effet du nombre de Reynolds généralisé Re_{G2} sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

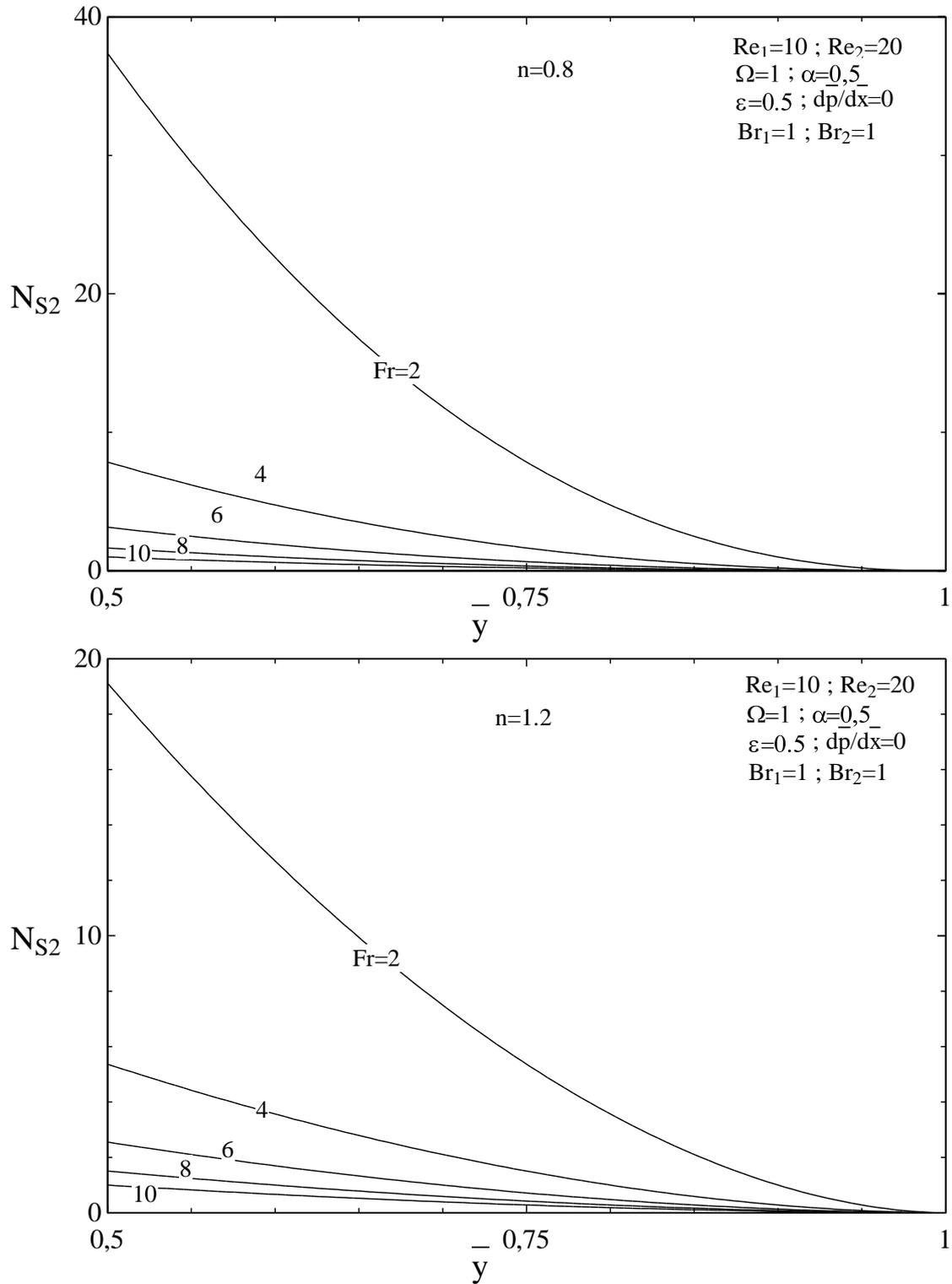


Figure III. 15 : Effet du nombre de Froude Fr sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

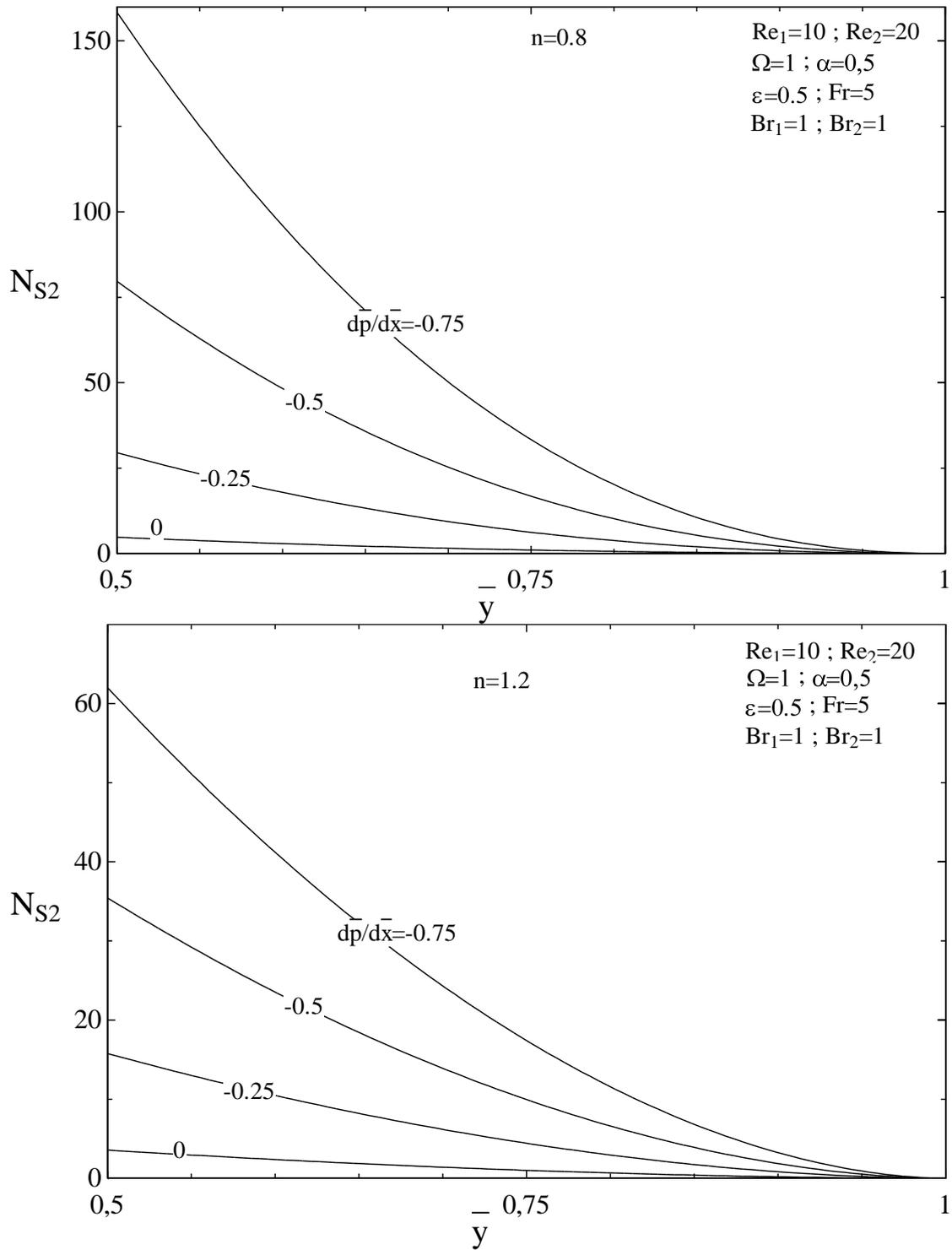


Figure III. 16 : Effet du gradient de pression $\frac{d\bar{p}}{dx}$ sur la variation du nombre d'entropie

N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

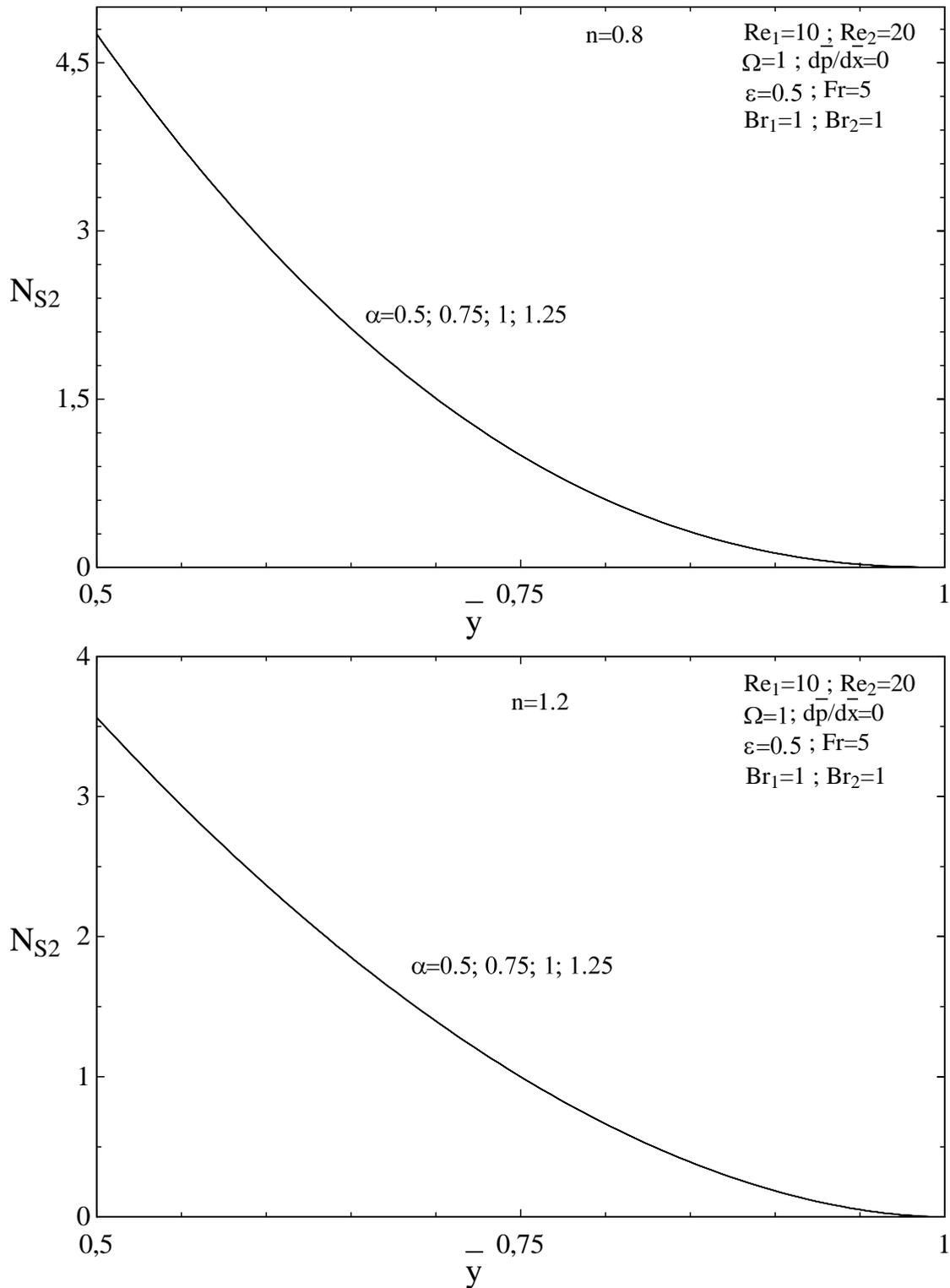


Figure III. 17 : Effet du rapport des coefficients de consistance α sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

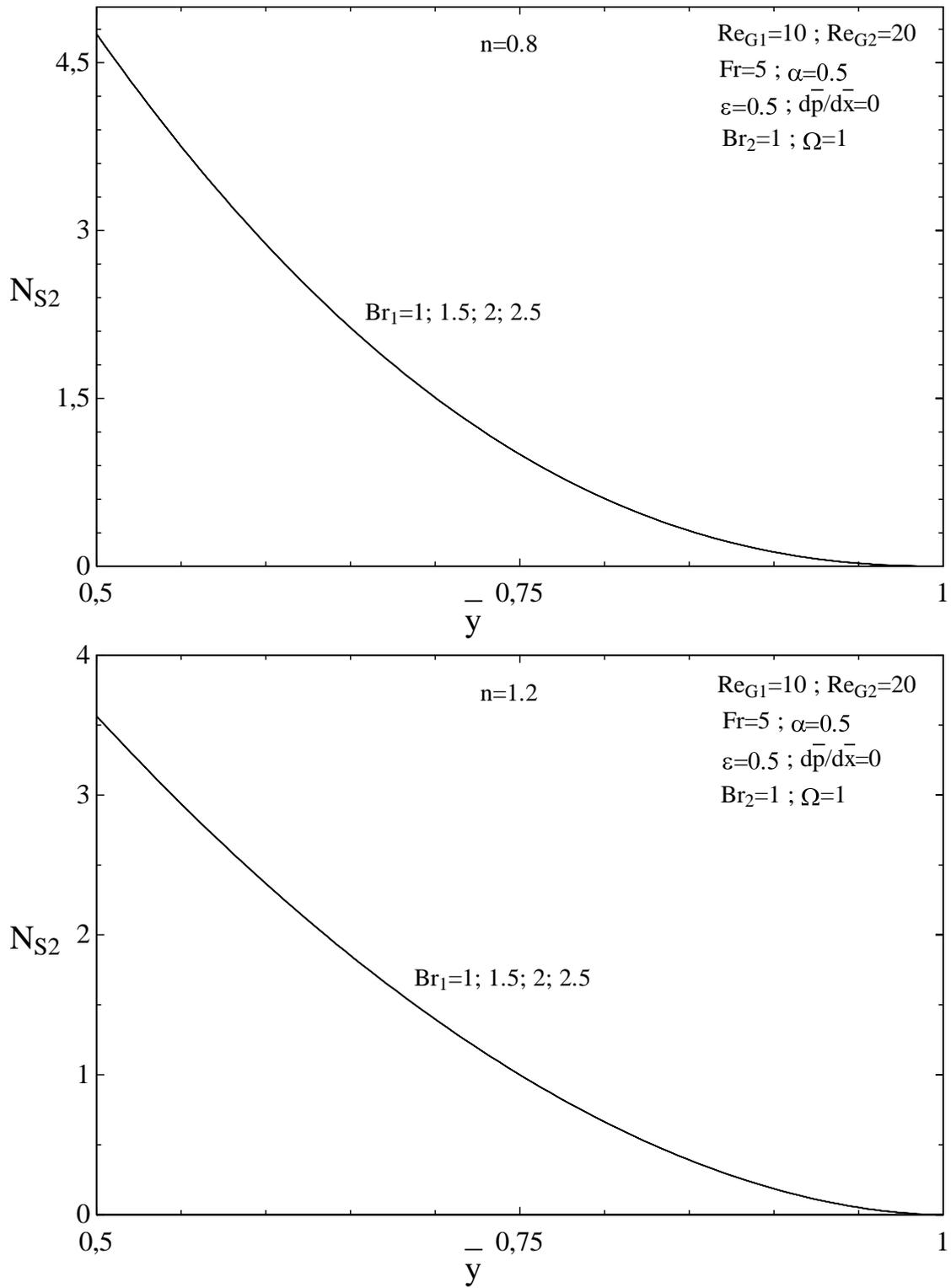


Figure III. 18 : Effet du nombre Brinkman Br_1 sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

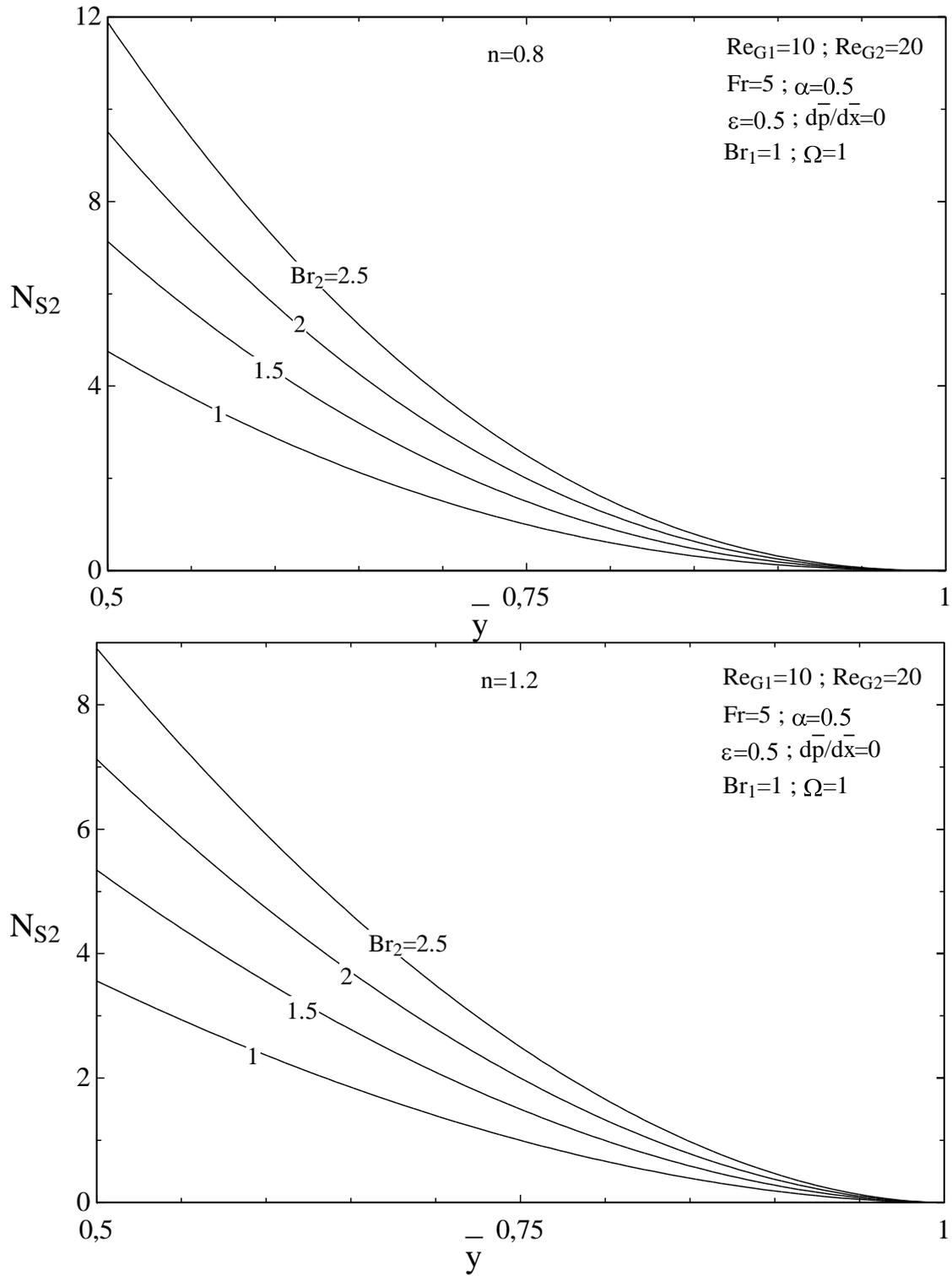


Figure III. 19 : Effet du nombre Brinkman Br_2 sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

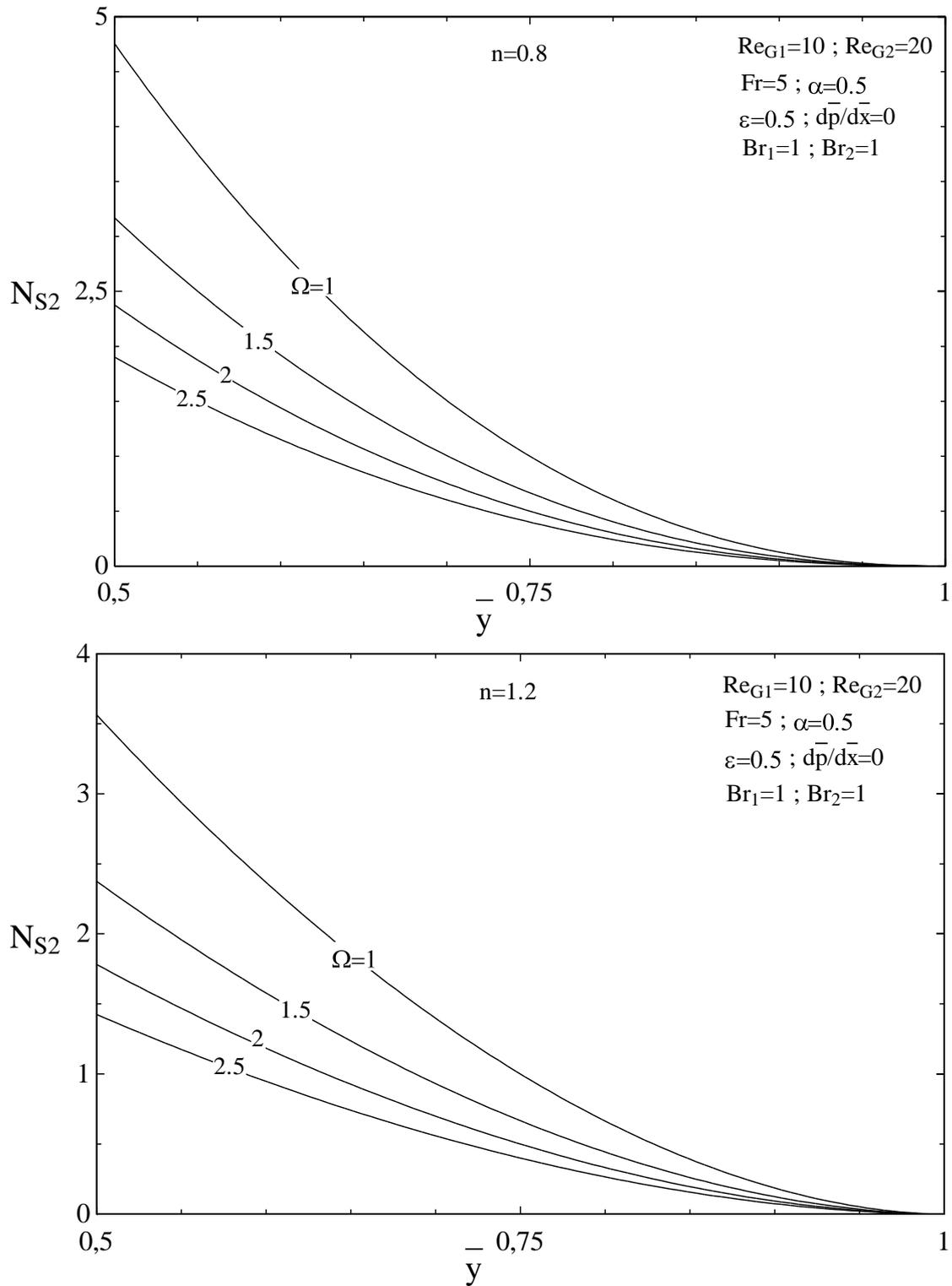
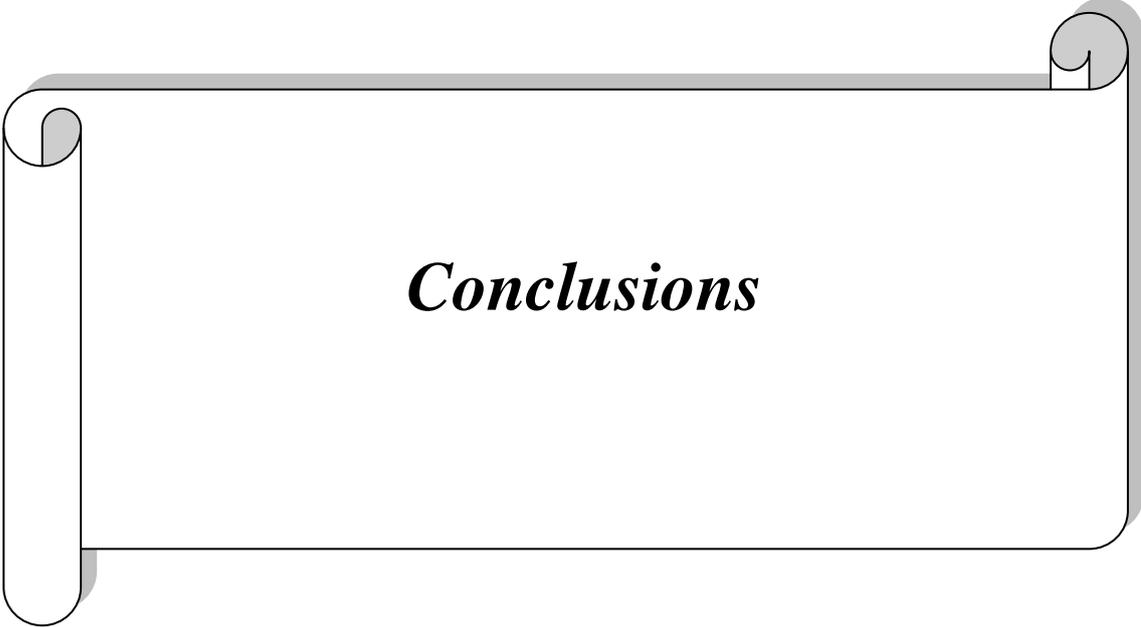


Figure III. 20 : Effet de la température adimensionnelle Ω sur la variation du nombre d'entropie N_{S2} pour $n=0.8$ et $n=1.2$.

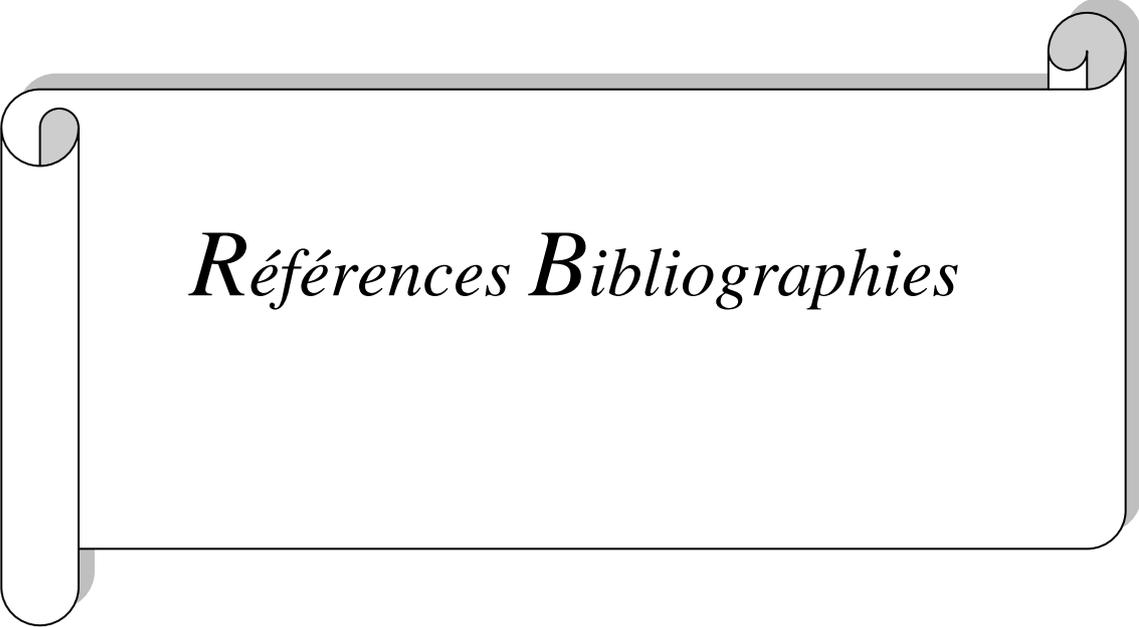


Conclusions

Conclusion

En considérant les deux films minces et non newtoniens sur une surface inclinée et mobile soumise à un flux de chaleur constant, les équations de production d'entropie ont été déduites à partir des équations du mouvement (équations de Navier-Stokes) et analysées pour chaque film. Les effets des nombres de Reynolds généralisés, le nombre de Froude, le gradient de pression, le rapport des coefficients de consistance et de l'indice de puissance sur le nombre de production d'entropie de production sont présentés et discutés.

De là, nous concluons que la production du nombre d'entropie est liée à tous les paramètres mentionnés ci-dessus. Chaque fois que nous modifions la valeur des paramètres, la valeur de production du nombre d'entropie change.



Références Bibliographies

- [1] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Rh%C3%A9ologie>
- [2] : Mémoire de Magister Etude théorique du transfert de chaleur d'un fluide non-newtonien en écoulement laminaire à l'intérieur d'une conduite Mecili Mourad 2008
- [3] : <https://couleur-science.eu/?d=c102e1--cest-quoi-un-fluide-newtonien-non-newtonien>
- [4] : Projet de Fin d'Etude de Maiche Fatima Zahra et Lemmoussi Hiyam Année universitaire : 2019/2020
- [5] : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Nombre-de-Reynolds.html>
- [6] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Nombre_de_Froude
- [7] : <https://dbpedia.org/page/Entropy>
- [8] : https://wikimonde.com/article/Nombre_de_Brinkman