



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN CHIMIE

Spécialité : Chimie physique

Par :

M^{lle} Boudellal Zineb

Sur le thème

**Etude expérimentale et modélisation des
propriétés volumétriques, acoustiques et
optiques des mélanges contenant des dérivés de
la biomasse**

Soutenu publiquement le 30 septembre 2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme NEGADI Amina	Professeur	Université de Tlemcen	Présidente
Mme OUAAR Faiza	Maître de Conférences B	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme AYAD Amal	Maître de Conférences A	Université de Tlemcen	Encadrante
Mme BELABBACI Aouicha	Maître de Conférences A	Université de Tlemcen	Co-encadrante

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au sein du laboratoire de Thermodynamique Appliquée et Modélisation Moléculaire (LATA2M) de l'Université de Tlemcen. J'exprime mes vifs remerciements à Madame NEGADI Latifa directrice du LATA2M.

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers Dieu tout-puissant, qui m'a accordé le courage nécessaire pour accomplir cette modeste mission.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers Mme AYAD Amal, Maître de Conférence A à l'Université de Tlemcen, pour sa disponibilité, sa patience et son précieux soutien. Sans son approche, ses consignes et ses conseils, ce travail n'aurait pu être accompli avec succès. Je souhaite également remercier chaleureusement Mme BELABBACI Aouicha, Maître de Conférence A à l'Université de Tlemcen, pour sa contribution significative à ce projet. Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance envers vous deux.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers Mme NEGADI Amina, Professeur à l'Université de Tlemcen, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Mme OUAAR Faiza, Maître de Conférence B à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce travail et de participer au jury.

Je tiens humblement à exprimer ma gratitude envers mes parents précieux, dont le soutien inébranlable, les encouragements constants et l'aide inestimable ont éclairé toute ma scolarité.

Qu'une santé épanouissante et une vie éternelle soient accordées par la puissance divine.

À mes précieux compagnons de voyage et de vie, mes chers frères et sœurs.

À tous les enseignants qui m'ont enseigné et approfondi leurs connaissances, ce qui m'a aidé à avancer.

À mon collègue, pour son précieux soutien et son engagement à travailler ensemble.

À toutes les personnes qui m'ont apporté leur précieux soutien et leur présence incessante dans ma vie.

Table des matières

Introduction générale	2
Références bibliographiques.....	4
Chapitre 1 Etude bibliographique.....	6
Introduction	6
1.1. La biomasses.....	6
1.2. Définition.....	7
1.3. Les types de biomasses	7
1.4 Les propriétés de la biomasse.....	7
1.4.1 Propriétés physico -chimiques	7
1.5 Les avantages et les inconvénients de la biomasse.....	9
1.5.1 Les avantages de la biomasse.....	9
1.5.2 Les inconvénients de la biomasse.....	9
1.6. Les applications de la biomasses.....	9
1.7 Le furfural.....	10
1.7.1 Définition et structure.....	10
1.7.2 Origine et production.....	10
1.7.3 Applications industrielles.....	11
1.8 L'alcool furfurylique	11
1.8.2 Origine et production.....	11
1.8.3 Applications industrielles.....	11
Références bibliographiques.....	12
Chapitre 2 Mesures expérimentales des Propriétés volumétriques, acoustiques et optiques des mélanges binaires.....	14
Introduction.....	15
2.1 Appareillage et procedure.....	15
2.1.1 Produits utilises.....	15
2.1.2 Mésure de la densité et la vitesse du son.....	16
2.1.3 Mésure de l'indice de refraction	16

2.1.4	Preparation du mélange.....	16
2.2	Resultants et discussion.....	19
2.2.1	Proprieties thermodynamiques.....	19
2.2.1.1	Densité.....	19
2.2.1.2	Vitesse de son.....	20
2.2.1.3	Indice de refraction.....	21
2.2.2	Les paramètres acoustiques et thermodynamiques.....	23
2.2.2.1	Comprésibilité isentropique	23
2.2.2.2	Longueur libre intermoléculaire	24
2.2.2.3	L'impédance acoustique	26
2.2.2.4	L'association Relative	27
2.2.2.5	Force de relaxation	28
2.2.2.6	Fonction du son molaire de Rao	30
2.2.3	Propriétés d'excès/ déviation.....	31
2.2.3.1	Volume molaire d'excès.....	31
2.2.3.2	Déviaton en compression isentropique	33
2.2.3.3	Déviaton en longueur libre intermoléculaire	35
2.2.3.4	Déviaton de l'impédance acoustique spécifique	36
2.2.3.5	Déviaton de la vitesse du son	38
2.2.3.1	Déviaton en indice de réfraction	39
2.2.4	Corrélation des propriétés d'excès et déviation	41
	Références bibliographiques.....	61
Chapitre 3	Modélisation thermodynamique de la densité.....	63
3.1.	L'équation PSRK	74
3.2.	L'équation VTPR	66
3.3	Résultats de la modélisation de la densité.....	67
3.3.1.	Modèle PSRK avec fonction α (Mathias Copeman).....	68
3.3.2.	Modèle VTPR avec la fonction α (Twu).....	69

3.3.3. Comparaison entre les équations PSRK et VTPR.....	71
Références bibliographiques.....	73
Conclusion générale.....	75

Liste des tableaux

Tableau	Titre	N° de page
Tableau 2.1	Tableau récapitulatif des produits utilisés, leur pureté, CAS #, et source.	15
Tableau 2.2	Comparaison par rapport à la littérature des valeurs expérimentales (densité ρ , vitesse du son u et indice de réfraction n_D) des corps purs à différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P=0.1$ MPa.	17
Tableau 2.3	Les valeurs expérimentales de densités ρ , de vitesse du son u , et de l'indice de réfraction pour les quatre systèmes binaires furfural (1) +1-propanol (2), ou 2-propanol (2), et alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2) ou 2-propanol (2) aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P = 0.1$ MPa.	42
Tableau 2.4	La compressibilité isentropique (K_s), la longueur libre intermoléculaire (L_f), l'impédance acoustique (Z), l'association relative (R_A), la force de relaxation (r) et la fonction du son molaire de Rao (R), et pour les systèmes binaires Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2), à différentes températures et à la pression $P = 0,1$ MPa.	47
Tableau 2.5	Le volume molaire d'excès V_m^E , la déviation en indice de réfraction Δn_D et la déviation en compression isentropique ΔK_s pour les systèmes binaires furfural(1) +1-propanol (2), ou 2-propanol (2), et alcool furfurylique(1)+1-propanol (2) ou 2-propanol(2) aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15,323.15) K et à la pression $P = 0.1$ MPa.	52
Tableau 2.6	La déviation de la longueur libre intermoléculaire (ΔL_f), déviation de l'impédance acoustique (ΔZ) et la déviation de vitesse du son (Δu) pour les systèmes binaires furfural(1) +1-propanol (2), ou 2-propanol (2), et alcool furfurylique(1)+1-propanol (2) ou 2-propanol(2) aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P = 0.1$ MPa.	55
Tableau 2.7	Valeurs des coefficients A_i , et les déviations standard σ , obtenues par l'équation de Redlich-Kister, pour les systèmes binaires furfural(1) +1-propanol (2), ou 2-propanol (2), et alcool furfurylique(1)+1-propanol (2) ou 2-propanol(2) aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P = 0.1$ MPa.	58
Tableau 3.1	Les erreurs SSQ selon l'équation PSRK avec fonction α (Mathias Copeman) pour les quatre systèmes binaires.	68
Tableau 3.2	Les paramètres d'interactions k_{ij0} et k_{ijT} , et les erreurs SSQ des trois systèmes étudiées avec l'équation de VTPR avec la fonction α (TWU) et règle de mélange (Stryjek-vera).	70

Liste des figures

Numéro de figure	Titre	N° de page
Figure 1.1	La biomasse	6
Figures 2.1	Variation de la densité (ρ) des systèmes binaires : (a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	20
Figures 2.2	Variation de la vitesse de son (u) des systèmes binaires : (a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique(1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	21
Figures 2.3	Variation de l'indice de réfraction (n_D) des systèmes binaires : (a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	22
Figures 2.4	Variation de la compressibilité isentropique (k_S) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique(1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	24
Figures 2.5	Variation de la longueur libre intermoléculaire (L_f) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	25
Figures 2.6	Variation de l'impédance acoustique spécifique (Z) du système binaire :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	26
Figures 2.7	Variation de L'association Relative (R_A) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)} et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	28

Figures 2.8	Variation de la force de relaxation (r) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2) et (d) {alcool furfurylique(1) + 2-propanol (2) } en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	29
Figures 2.9	Variation de la fonction du son molaire de Rao (R) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2) et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	31
Figures 2.10	Le volume molaire d'excès V_m^E des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural(1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique(1) + 1-propanol (2)et (d) {alcool furfurylique(1) + 2-propanol (2) } en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).	33
Figures 2.11	La déviation en compression isentropique ΔK_s des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural(1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique(1) + 1-propanol (2)et (d) {alcool furfurylique(1) + 2-propanol (2) } en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.	34
Figures 2.12	La déviation de la longueur libre intermoléculaire (ΔL_f) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural(1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique(1) + 1-propanol (2)et (d) {alcool furfurylique(1) + 2-propanol (2) } en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.	36
Figures 2.13	La déviation de l'impédance acoustique (ΔZ) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2) et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2) } en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.	37
Figures 2.14	La déviation de la vitesse du son (Δu) des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2) et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool furfurylique à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.	39
Figures 2.15	La déviation en l'indice de réfraction Δn_D des systèmes binaires :(a) {furfural (1) + 1-propanol (2)}, (b) {furfural (1) + 2-propanol (2)} et (c) {alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2) et (d) {alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)} en fonction de la fraction molaire en furfural ou alcool	40

furfurylique à 293.15K (◆), 303.15 K (■), 313.15 K (▲), 323.15 K (●).
Les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

Figures 3.1 variation de la densité des systèmes binaire : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de x_1 à 293.15K (◆) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées avec l'équation de PSRK, fonction α (MC) 69

Figures 3.2 variation de la densité (ρ) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de x_1 à 293.15K (◆) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées avec l'équation de VTPR, fonction α (Twu) 71

Figures 3.3 Comparaison entre les SSQ obtenues à l'aide des deux équations PSRK et VTPR pour les quatre systèmes étudiés. (1) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (2) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (3) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (4) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)}. 72

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, l'urbanisation, la modernisation et l'industrialisation liées à la production et à l'utilisation de l'énergie ont constitué une boucle fondamentale dans divers secteurs économiques, scientifiques et sociaux (Osman et al., 2021)

Les énergies fossiles telles que le pétrole représentent 80 % de la consommation mondiale d'énergie. L'utilisation de ces énergies fossiles contribue à l'émission et à l'accumulation des gaz à effet de serre, tels que le (CO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (Nox), qui sont responsable du réchauffement climatique et la pollution environnementale (Khiari et al, 2016).

Face à ces difficultés, la société moderne est forcément obligée de se tourner vers des produits écologiques et durables, qui peuvent être obtenus à partir d'une biomasse respectueuse de l'environnement (Mishra et al., 2020).

La biomasse est de loin la plus prometteuse parmi les énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et biomasse) en raison de son renouvellement, de sa biodégradabilité et de la quantité acceptable d'émissions de gaz (Bendiaf et al., 2017 ; Deglise et al., 2004).

Elle englobe toutes les formes de vie (végétale et animale). On la divise en deux catégories : la sèche (ligneuse) et l'humide (Deglise et al, 2004, Dannot et al, 2013).

Dans son état brut, la biomasse est difficilement exploitable comme combustible, du moins avec un rendement énergétique très faible. Cependant, sa conversion permet d'obtenir des combustibles plus courants (Bendiaf et al, 2017 ; Magloire et al., 2004).

Le furfural est un composé chimique industriel le plus couramment produit en raison de la grande flexibilité de sa production (Anthonia et Philip, 2015). Il provient de la biomasse lignocellulosique. Il sert de fondement à la fabrication de divers produits tels que des antiacides, des engrais, des matières plastiques, des peintures, etc. Il a récemment été reconnu comme l'un des produits chimiques les plus prometteurs pour la production durable de combustibles et de produits chimiques au 21^{ème} siècle.

La connaissance des propriétés thermo-physiques des mélanges liquides est essentielle pour comprendre les interactions intermoléculaires et les effets structuraux entre les composants du mélange. Dans de nombreux processus industriels (par exemple, en chimie, pétrochimie, alimentation et plastiques). Par conséquent, la connaissance de leurs propriétés

thermodynamiques est essentielle pour comprendre, concevoir et contrôler la technologie des procédés (Nduli et al., 2017).

Le but ce travail est d'étudier les propriétés volumétriques, acoustiques et optiques des mélanges binaires contenant le furfural et l'un de ses dérivés : l'alcool furfurylique en présence d'alcool (1-Propanol ou 2-Propanol), à différentes températures.

Ce mémoire comprend trois chapitres, une introduction générale et une conclusion générale.

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur la biomasse, sa définition, sa composition et ses caractéristiques.

Le deuxième chapitre est consacré aux mesures expérimentales des propriétés thermo-physiques ; densité (ρ), la vitesse du son (u) et l'indice de réfraction (n_D) à différentes températures et à pression atmosphérique pour les quatre systèmes binaires suivants :

- Furfural (1) + 1-Propanol (2)
- Furfural (1) + 2-Propanol (2)
- Alcool furfurylique (1) +1-Propanol (2)
- Alcool furfurylique (1) +2-Propanol (2)

Les résultats expérimentaux ont été utilisées pour calculer les valeurs de la compressibilité isentropique (κ_s), la longueur libre intermoléculaire (L_f), l'impédance acoustique (Z), l'association relative (R_A), la force de relaxation (r), la fonction du son molaire de Rao (R). Les propriétés d'excès/dérivées ; volume d'excès (V^E), déviation en longueur libre intermoléculaire (ΔL_f), déviation en impédance acoustique (ΔZ), déviation en vitesse du son (Δu), déviation en compressibilité isentropique ($\Delta \kappa_s$) et déviation en indice de réfraction (Δn_D) sont aussi calculés à partir des propriétés mesurées. L'équation polynomial de Redlich-Kister a été utilisée pour corréliser les propriétés d'excès/dérivées.

Enfin, le troisième chapitre est dédié à la modélisation des données expérimentales de la densité des systèmes binaires étudiés à l'aide des équations d'état PSRK (Predictive Soave-Redlich-Kwong) et VTPR (Volume Translated Peng Robinson) afin évaluer leurs performances dans la prédiction de la densité des mélanges binaires.

Références bibliographiques

Anthonia, E. E.; Philip, H. S. An overview of the applications of furfural and its derivatives. *International Journal of Advanced Chemistry* **2015**, 3 (2), 42–47.

Bendiaf L., Etude des propriétés thermodynamiques et thermophysiques des mélanges contenant des composés dérivés de la biomasse. Thèse de doctorat, 2017, Université de Tlemcen.

Deglise. X, Dannot. A, Bois énergie, Techniques de l'ingénieur, 2004, be8535.

Magloire P., Héteu T., Les certificat vert et l'électricité renouvelable, Press universitaires de Louvain, 2004, 53-55.

Mishra, D. K.; Kumar, S.; Shukla, R. S. Furfuryl alcohol—a promising platform chemical. In *Elsevier eBooks*; 2020; pp 323–353.

Nduli, M.; Deenadayalu, N. Thermophysical properties of binary mixtures of (methanol or 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate + furfural or furfuryl alcohol) at various temperatures. *Journal of Molecular Liquids* 2017, 241, 407–421.

Osman, A. I.; Mehta, N.; Elgarahy, A. M.; Al-Hinai, A.; Al-Muhtaseb, A. H.; Rooney, D. W. Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review. *Environmental Chemistry Letters* **2021**, 19 (6), 4075–4118.

Chapitre 1

Etude bibliographique

Introduction

Les énergies fossiles telles que le pétrole, le gaz naturel, le charbon, etc., semblaient perdurables. La combustion de ces ressources contribue au réchauffement climatique. Les énergies renouvelables sont essentielles pour réduire les gaz à effet de serre. Une de ces matières premières, la biomasse, est généralement définie comme « l'ensemble de toutes les matières premières renouvelables provenant de plantes ou d'animaux destinées à des usages non alimentaires ».

1.1. La biomasse

La biomasse est le terme utilisé pour désigner toutes les matières organiques capables de se convertir en énergie. Les réserves de la biomasse sont associées à la déforestation, à l'épuisement des terres agricoles et à la fermentation organique des déchets ménagers, urbains, industriels et des restes animaux, et sont un concept essentiel dans la lutte contre le changement climatique.

Trois catégories peuvent donc être identifiées :

La biomasse provenant des branches, des écorces et d'autres déchets de la forêt ;

La biomasse agricole, principalement provenant de la production végétale et animale ;

Les déchets municipaux, commerciaux et industriels constituent la biomasse urbaine.



Figure 1.1. La biomasse

1.2. Définition

La biomasse est une matière organique qui peut être transformée en énergie. Des exemples courants de biomasse incluent les cultures alimentaires, les cultures énergétiques (herbes ou prairies pérennes), les résidus de cultures (poêle à maïs), les déchets de bois et les sous-produits (résidus du moulin et biomasse traditionnellement non commerciale dans les forêts), ainsi que les engrais animaux. Au cours des dernières années, le concept de biomasse a connu une évolution pour englober des sources aussi variées que les algues, les déchets de construction, les déchets solides municipaux, les rejets de jardin et les déchets alimentaires. Les méthodes utilisées pour la valorisation de la biomasse varient en fonction du type de composant.

1.3. Les types de biomasse

La biomasse peut prendre différentes formes : solide, liquide, poussière de bois, granulés, etc. que l'on divise généralement en deux grandes catégories en fonction de leur taux d'humidité (Bendiaf et al., 2017) :

- La biomasse sèche : quand elle n'est pas trop humide, la biomasse peut être utilisée pour une combustion directe. Elle comprend la « biomasse ligneuse » (bûches, rémanents forestiers et petits bois de haie, produits connexes de la transformation du bois, élagages urbains et des bords de routes, bois de rebut, ainsi que les pailles et autres résidus de récoltes.

- La biomasse humide : quand la biomasse n'est pas trop humide, elle peut être brûlée directement en combustion. Ce type regroupe les flux de déchets organiques issus de l'activité agricole (déjections animales), des industries agroalimentaires (abattoirs, laiteries, cidreries-distilleries, etc.) et des collectivités (déchets verts, boues d'épuration, fraction fermentescible des ordures ménagères, graisses organiques et produits résiduaux).

1.4. Propriétés de la biomasse

1.4.1. Propriétés physico-chimiques

La biomasse est principalement composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, avec une faible concentration de soufre et d'azote. La teneur en humidité de la biomasse peut influencer sa densité énergétique et sa capacité de transformation.

- Contenu en cendres et en minéraux : La biomasse peut contenir des cendres et des minéraux provenant des éléments nutritifs absorbés par les plantes lors de leur croissance. La quantité de

ces cendres peuvent influencer la qualité du combustible et les processus de conversion énergétique. (Bostrom et al., 2012)

- Potentiel énergétique : Les composés organiques présents dans la biomasse peuvent être utilisés comme sources d'énergie renouvelable, car ils peuvent être convertis en chaleur, en électricité ou en carburants par combustion, pyrolyse, gazéification ou fermentation.
- Contaminants et impuretés : La biomasse peut contenir des contaminants tels que des métaux lourds, des pesticides ou des polluants organiques, qui peuvent nécessiter un traitement spécifique pour assurer la sécurité lors de son utilisation ou de sa transformation (Xu et al., 2017)
- Densité apparente : La densité apparente de la biomasse mesure la masse de la biomasse par unité de volume. Elle peut varier en fonction de la densité des matériaux constitutifs de la biomasse et de son degré de compactage.
- Taille des particules : La taille des particules de la biomasse peut varier considérablement, allant des particules fines aux morceaux plus gros ou même sous forme de pellets ou granulés dans le cas de la biomasse traitée. (Gbor et al., 2004)
- Porosité : La porosité de la biomasse mesure la quantité d'espaces vides ou de pores présents à l'intérieur de sa structure. Elle peut influencer la capacité de la biomasse à stocker de l'eau, des gaz ou des réactifs chimiques. (Chen et al., 2018)
- Conductivité thermique : La conductivité thermique de la biomasse mesure sa capacité à transférer la chaleur. Elle peut influencer son comportement lors de processus tels que la combustion ou la pyrolyse. (Zhang et al., 2013)
- Le point de fusion et de ramollissement peut être présents dans certains types de biomasse, comme les plastiques biologiques, cela peut être essentiel lorsque lors de leur transformation ou de leur utilisation dans des applications particulières.
- La stabilité mécanique de la biomasse est évaluée en fonction de sa capacité à résister à la déformation ou à la rupture en cas de contrainte. Des éléments tels que la composition, la structure et le traitement de la biomasse peuvent avoir une influence sur elle. (Kumar et al., 2024)
- Absorption d'eau : La capacité de la biomasse à absorber l'eau peut être importante dans divers contextes, tels que le stockage, le transport et le traitement de la biomasse.

1.5. Avantages et inconvénients de la biomasse

1.5.1. Avantages de la biomasse

La biomasse s'inscrit dans une approche de développement durable, en conciliant les trois aspects essentiels : l'économique, le social et l'environnemental.

- La production de ressources renouvelables produite à partir de matières organiques telles que les déchets agricoles, les résidus forestiers et les cultures énergétiques. (Pandey et al., 2012)
- Les plantes absorbent du dioxyde de carbone pendant leur croissance et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. (McKendry et al., 2002)
- La biomasse peut être produite à partir de diverses sources, réduisant ainsi la dépendance à une seule source d'énergie. (Klass et al., 1998)
- Elle peut créer des emplois locaux dans les secteurs de l'agriculture, de la forêt, de la transformation et de l'énergie. (Alo, Adeola et al ,2020)
- La biomasse peut valoriser les déchets organiques, réduire les déchets envoyés dans les décharges et promouvoir une gestion durable des déchets. (Klass et al., 1998)

1.5.1. Inconvénients de la biomasse

- L'exploitation des terres pour la production d'énergie peut concurrencer la production alimentaire, ce qui a un impact sur la biodiversité et les écosystèmes. (Pandey et al , 2012)
- La combustion de la biomasse peut libérer des particules fines, des oxydes d'azote (NOx) et des composés organiques volatils (COV), mais les émissions peuvent être réduites grâce aux technologies de contrôle des émissions. (McKendry et al, 2002)
- Les conditions météorologiques et saisonnières peuvent affecter la disponibilité de la biomasse, affectant ainsi la production d'énergie à partir de cette source. (Klass et al., 1998)

1.6. Les applications de la biomasse

- La biomasse peut être convertie en biocarburants comme le biodiesel ou l'éthanol, utilisés dans les transports pour remplacer partiellement l'énergie fossile. (Raman, S. and A. Mohr et al ,2014)

- Dans les systèmes de cogénération, la biomasse est employée afin de générer de la chaleur et de l'électricité en même temps, ce qui améliore l'efficacité énergétique du processus. (Frangopoulos et al ,2012)
- On peut décomposer la biomasse organique dans des digesteurs anaérobies afin de générer du biogaz, principalement constitué de méthane. Ce biogaz peut servir à la production d'électricité, de chaleur ou à la consommation de carburant pour les véhicules. (Weiland et al, 2010)
- Les systèmes de chauffage à biomasse, tels que les poêles à bois ou à granulés, peuvent permettre de chauffer des espaces domestiques ou industriels en utilisant des déchets de bois ou d'autres matériaux biologiques.
- La biomasse peut être utilisée pour le compostage ou la méthanisation des déchets organiques, réduisant ainsi les déchets et générant de l'énergie.

1.7. Furfural

Les dérivés furaniques tels que le furfural peut être obtenus grâce à la biomasse lignocellulosique. On considère le furfural comme une molécules plateforme, qui peut être utilisé pour produire de nombreux dérivés.

1.7.1. Définition et Structure

Le furfural est un composé organique dont le noyau furanique est remplacé par un groupe formyle (-CHO), de formule C_4H_3OCHO , il est utilisé dans divers secteurs industriels.

1.7.2. Origine et Production

Le furfural est principalement obtenu en déshydratant les pentoses, des sucres présents dans les matières végétales comme la cellulose et les céréales. Dans un même réacteur, la transformation des pentosanes en furfural se fait en deux étapes sous pression de vapeur et en présence d'un catalyseur (acides sulfurique, acétique ou phosphorique) : la première étape consiste à hydrolyser les pentosanes en pentoses (xylose, arabinose) dans un milieu acide, et la deuxième étape consiste à déshydrater les pentoses (OUAAR et al, 2019).

1.7.3. Applications Industrielles

Le furfural est utilisé comme solvant dans diverses applications industrielles, y compris le nettoyage et le dégraissage en raison de ses capacités de dissolution des résines et des graisses (Baker et al., 1953). En tant que réactif, le furfural est employé dans la synthèse de divers composés chimiques tels que les plastiques et les résines. Il est également utilisé dans la production de produits pharmaceutiques (Kirk-Othmer et al 2000)

1.8. Alcool furfurylique

1.8.1. Définition et Structure

L'alcool furfurylique est un liquide organique de structure chimique $C_5H_6O_2$, constitué par un noyau furane, un cycle aromatique à cinq membres et un atome d'oxygène. (Patai et al., 1994) Cette substance est soluble dans l'eau et les solvants organiques, et son activité chimique comprend des réactions alcooliques typiques comme l'estérification et l'oxydation, et est sensible à l'oxygénation de l'air. (Fieser, L. F., & Fieser, M., et al 2014)

1.8.2. Production

Le furfural est la matière première dans la production de l'alcool furfurylique. C'est le dérivé le plus important du furfural, il est construit par un processus d'hydrogénation directe du furfural. L'alcool furfurylique est élaboré par la réduction du furfural, un composé de l'hydrolyse des pentoses dans les matières ligneuses, en utilisant des agents réducteurs et catalyseurs. (Zisman, et Whiting, 2010)

1.8.3. Applications Industrielles

L'alcool furfurylique est utilisé dans la fabrication de résines furaniques, Il est également utilisé comme matériau d'adhésif et composite, ainsi que pour la synthèse de produits fins, notamment agents de traitement pour les textiles et les papiers. (Van Der Heide et al., 2012)

Références bibliographiques

Alo, A. Smallholder Farmers' Understanding Of, and Attitudes To, Climate Change, Variability and Climate Smart Farming, 2020. A Case Study of South West Nigeria.

Baker, B. R., Schaub, R. E., Joseph, J. P., McEVOY, F. J., & Williams, J. H. AN ANTIMALARIAL ALKALOID FROM HYDRANGEA. XVIII. DERIVATIVES OF 4-PYRIMIDONE. *The Journal of Organic Chemistry*, 1953d, 18(2),

Bendiaf, L. Etude des propriétés thermodynamiques et thermophysiques des mélanges contenant des composés dérivés de la biomasse. Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 2017.

Boström, D., Skoglund, N., Grimm, A., Boman, C., Öhman, M., Broström, M., & Backman, R. Ash Transformation Chemistry during Combustion of Biomass. *Energy & Fuels*, 2011, 26(1), 85–93.

Chen, W., Lin, B., Colin, B., Chang, J., Pétrissans, A., Bi, X., & Pétrissans, M. Hygroscopic transformation of woody biomass torrefaction for carbon storage. *Applied Energy*, 2018, 231, 768–776.

Frangopoulos, C. A. A method to determine the power to heat ratio, the cogenerated electricity and the primary energy savings of cogeneration systems after the European Directive. *Energy*, 2012, 45(1), 52–61.

Gbor, P. K., & Jia, C. Q. Critical evaluation of coupling particle size distribution with the shrinking core model. *Chemical Engineering Science*, 2004, 59(10), 1979–1987.

Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*. 2000, In Wiley eBooks.

Kumar, P., Fiori, L., Subbarao, P. M. V., & Vijay, V. K. Development of an efficient method to blend forest biomass with agricultural residue to produce fuel pellets with improved mechanical properties. *Biofuels*, 2024, 15(8)

McKendry, P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology* (2002), 83(1), 47–54.

Nogueira, C. W., Zeni, G., & Rocha, J. B. T. Organoselenium and Organotellurium Compounds: Toxicology and Pharmacology. *Chemical Reviews*, 2004, 104(12), 6255–6286.

- Pandey, S., Singh, V. S., Gangwar, N. P., Vijayvergia, M., Prakash, C., & Pandey, D. N. Determinants of success for promoting solar energy in Rajasthan. India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(6), 3593–3598.
- Raman, S., & Mohr, A. Biofuels and the role of space in sustainable innovation journeys. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 65, 224–233.
- Vermeire, F. H., Carstensen, H., Herbinet, O., Battin-Leclerc, F., Marin, G. B., & Van Geem, K. M. The thermal decomposition of furfural: molecular chemistry unraveled. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2018, 37(1), 445–452.
- Weiland, P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2009, 85(4), 849–860.
- Xu, D., Fu, R., Liu, H., & Guo, X. Current knowledge from heavy metal pollution in Chinese smelter contaminated soils, health risk implications and associated remediation progress in recent decades. A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 286, 124989.
- Zhang, Q., Wang, Y., Wu, Y., Wang, X., Du, Z., Liu, X., & Song, J. Effects of Biochar Amendment on Soil Thermal Conductivity, Reflectance, and Temperature. *Soil Science Society of America Journal*, 2013, 77(5), 1478–1487
- Zisman, WA, & Whiting, Réactions de réduction en chimie organique .MG (2010). Springe
- Zweifel, G. S., Nantz, M. H., & Somfai, P. *Modern Organic Synthesis: An Introduction*. John Wiley & Sons. (2017b).

Chapitre 2 :

**Propriétés volumétriques
acoustiques et optiques des
mélanges binaires**

Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions les propriétés volumétriques et optiques et acoustiques telles que la densité, la vitesse du son, l'indice de réfraction des mélanges binaires {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)} et {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)}, dans un intervalle de température allant de 293,15 K à 323,15 K et à pression P=0.1 MPa en utilisant un analyseur de densité et de vitesse du son Anton Paar DSA 5000M et un réfractomètre numérique Abbemat 300.

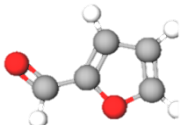
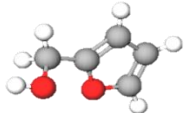
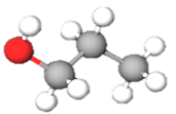
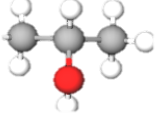
Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer les propriétés d'excès sur toute la gamme de composition. L'équation polynomiale de Redlich-Kister a été utilisée pour corrélérer les grandeurs d'excès.

2.1. Appareillage et procédure

2.1.1. Produits utilisés

Les produits chimiques employés sont des produits commerciaux, dont la structure chimique, la pureté et l'origine sont répertoriées dans le Tableau 2.1. Pour le Furfural, l'Alcool furfurylique, le 1-Propanol et le 2-Propanol, la pureté a été vérifiée en comparant les valeurs expérimentales de la densité, de la vitesse du son et de l'indice de réfraction à différentes températures avec celle de la littérature, comme présenté dans le Tableau 2.2.

Tableau 2.1 : tableau récapitulatif des produits utilisés, leur pureté, CAS #, et source.

Nom	Structure	CAS #	Source	Masse molaire (g/mol)	Pureté
Furfural		98-01-1	Sigma-Aldrich	96,08	>0.99
Alcool furfurylique		98-00-0	Sigma-Aldrich	98,10	≥0.98
1-Propanol		71-23-8	Sigma-Aldrich	60,10	≥99%
2-propanol		67-63-0	Sigma-Aldrich	60,10	≥99,8%

2.1.2. Mesure de la densité et vitesse du son

Un densimètre numérique à tube vibrant Anton Paar (DSA 5000 M) a été utilisé pour mesurer la densité et la vitesse du son des liquides purs ainsi que leurs mélanges binaires, avec une précision de température ± 0.02 K. Les mesures de vitesse du son ont été effectuées en utilisant la méthode de propagation d'ondes à une fréquence d'environ 3MHz (Fortin et al., 2013).

L'échantillon est placé entre deux capteurs piézoélectriques ultra sonores. Le premier capteur produit des ondes sonores qui traversent la cellule de mesure remplie de l'échantillon, tandis que le second capteur reçoit ces ondes. On obtient la vitesse du son en divisant la distance entre les deux capteurs par le temps de propagation des ondes sonores (Fortin et al., 2013).

2.1.3. Mesure de l'indice de réfraction

Le réfractomètre numérique Anton Paar Abbemat 300 a été utilisé pour mesurer les indices de réfraction des composants purs et des mélanges binaires, avec une précision de $\pm 0,01$ K. Le réfractomètre a été calibré avec de l'eau distillé pour chaque température. L'ensemble des mesures a été réalisé dans la plage de température indiquée. Le réfractomètre Abbemat fonctionne dans une plage de mesure de $1.26 n_D$ à $1.72 n_D$ et une plage de température allant de 4 °C à 125 °C.

2.1.4. Préparation des mélanges

Les mélanges binaires ont été préparés par peser en utilisant une balance analytique OHAUS, EX124 US, avec une précision de ± 0.0001 g. L'erreur estimée dans la fraction molaire est inférieure à 0.0007. L'homogénéité de chaque mélange préparé est assurée par agitation manuel pendant au moins 10 minutes. Un bain ultrasonique BRANSON 3510 a été utilisé pour le dégazage des liquides (corps pur et mélange).

Tableau 2.2 : Comparaison des valeurs expérimentales de la densité (ρ), de la vitesse du son (u) et de l'indice de réfraction (n_D) des corps purs à différentes températures et à pression atmosphérique avec celle de la littérature.

Corposant	T(K)	ρ (g.cm ⁻³)		u (m.s ⁻¹)		n_D	
		Exp.	Lit.	Exp.	Lit.	Exp.	Lit.
Furfural	293.15	1.162219	1.160[1]	1458.00	1458.8[2]	1.526580	1.526168[3]
			1.15933[2]		1458.52[3]		1.5261[5]
			1.160128[3]		1458.20[4]		1.5252[6]
			1.15999[4]				1.52637[4]
			1.157[1]				1.523577[3]
	298.15	1.156909	1.154805[3]	1440.04	1440.19[3]	1.523510	1.5236[7]
			1.15493[7]		1440.17[4]		1.5235[5]
			1.15467[4]				1.52375[4]
			1.151[1]				1.520969[3]
	303.15	1.151584	1.14869[2]	1421.93	1422.5[2]	1.521610	1.5206[8]
			1.149478[3]		1422.05[3]		1.52123[4]
			1.149766[8]		1422.02[4]		
			1.14935[4]				
	313.15	1.140900	1.13801[2]	1386.01	1386.5[2]	1.515740	1.515740[3]
			1.138793[3]		1385.97[3]		1.51615[4]
1.13866[4]			1386.01[4]				
323.15	1.130172	1.128061[3]	1350.36	1350.20[3]	1.510580	1.510486[3]	
		1.12792[4]		1350.29[4]		1.51112[4]	
Furfuryl alcohol	293.15	1.134703	1.13226[9]	1466.51	1464.4[9]	1.48783	1.487[10]
			1.133[10]		1465.9[10]		
	298.15	1.130076	1.128[10]	1459.50	1449.8[10]	1.48564	1.485[10]
	303.15	1.125423	1.12299[9]	1434.07	1431.9[9]	1.48358	1.483[10]
			1.124[10]		1433.6[10]		
	313.15	1.116065	1.11363[9]	1402.15	1400.0[9]	1.47934	1.479[10]
		1.114[10]		1401.7[10]			
323.15	1.106613	1.105[10]	1370.53	1370.0[10]	1.47508	1.475[10]	
1-Propanol	293.15	0.804449	0.8034[11]	1224.51	1223[11]	1.38513	1.38494[11]
			0.804[12]		1225.30[12]		1.385[12]
			0.80356[13]		1223.89[14]		1.385100[14]
			0.803756[14]				1.3855[15]
			0.7995[11]				1.38307[11]
	298.15		0.8000[12]		1206[11]		1.3837[11]
			0.79950[16]		1208.03[12]		1.383[12]
			0.79996[17]		1216[16]		1.3838[16]
			0.799710[13]		1206.85[14]		1.3826[17]
			0.799748[14]				1.383110[14]
			0.7955[11]				1.3836[15]
	303.15	0.796386	0.796[12]	1190.43	1189[11]	1.38112	1.38104[11]
			0.7955[16]		1190.90[12]		1.381[12]
			0.79593[17]		1189.76		1.3819[16]
			0.79558[13]				1.3808[17]
0.795709[14]					1.381120[14]		
313.15	0.788178	0.7873[11]	1156.6	1155[11]	1.37707	1.37676[11]	
		0.78800[12]		1157.04[12]		1.377[12]	
		0.78734[13]		1155.93[14]		1.377060[14]	
		0.787518[14]				1.3781[15]	

	323.15	0.779779	0.78000[12] 0.778970[13] 0.779137[14]	1123.02	1123.41[12] 1122.34[14]	1.37293	1.373[12] 1.372930[14]
2-Propanol	293.15	0.785898	0.78490[11] 0.78600[12] 0.78518[13] 0.785296[14]	1158.06	1156.00[11] 1159.32[12] 1157.49[14]	1.37729	1.37702[11] 1.377[12] 1.377100[14] 1.3770[15]
	298.15		0.78090[11] 0.78200[12] 0.78131[13] 0.781090[14]		1139.00[11] 1141.33[12] 1140.12[14]		1.37521[11] 1.375[12] 1.375020[14] 1.3750[15]
	303.15	0.777393	0.77660[11] 0.77700[12] 0.77666[13] 0.776811[14]	1123.09	1122.00[11] 1123.71[12] 1122.56[14]	1.373	1.37261[11] 1.373[12] 1.372900[14] 1.3730[15]
	313.15	0.768576	0.76780[11] 0.76800[12] 0.76783[13] 0.768011[14]	1087.85	1086.00[11] 1088.43[12] 1087.34[14]	1.36858	1.36821[11] 1.369[12] 1.368580[14] 1.3689[15]
	323.15	0.759379	0.75871[13] 0.758829[14]	1052.28	1051.73[14]	1.36411	1.364080[14]

[1] (Stephenson and Winkle, 1962)

[2] (Bendiaf et al.,2015)

[3] (Lomba et al, 2011)

[4] (Belhadj et al,2021)

[5] (Yan et al, 2014)

[6] (Bendiaf et al., 2014)

[7] (Naorem, and Suri, 1989)

[8] (de Almeida et al, 2012)

[9] (Zaoui-Djelloul-Daouadji et al., 2015)

[10] (Mahi et al, 2018)

[11] (Rodriguez et al, 2001)

[12] (Belhadj et al, 2020)

[13] (Awwad et al, 2008)

[14] (Ouaar et al, 2020)

[15] (Nain, 2010)

[16] (Aralaguppi et al, 1999)

[17] (Mutalik et al, 2006)

2.2. Résultats et discussion

Les systèmes binaires étudiés dans ce travail sont les suivants :

- Furfural (1) + 1-Propanol (2)
- Furfural (1) + 2-Propanol (2)
- Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)
- Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)

2.2.1. Les propriétés Thermodynamiques

Les propriétés thermodynamiques sont essentielles pour l'étude des interactions moléculaires au sein des mélanges. Pour les systèmes binaires étudiés, on a mesuré la densité (ρ), la vitesse du son (u) et l'indice de réfraction (n_D) sur toute la gamme de composition à diverses températures (293.15, 303.15, 313.15 et 323.15 K) et à une pression de 0.1 MPa. Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés dans le Tableau 2.3.

2.2.1.1. Densité

La densité est définie comme la masse de produit présente dans un volume donné, à des conditions de pression et de température bien déterminées. La densité est influencée par la température, la composition et les interactions moléculaires au sein du mélange.

Les valeurs expérimentales de la densité pour chaque température en fonction de la fraction molaire x_1 en furfural ou de l'alcool furfurylique sont données dans la **Figure 2.1 (a-d)**. On constate que, pour tous les systèmes les valeurs de densité (ρ) diminuent avec l'augmentation de la température et augmentent avec la concentration du furfural ou de l'alcool furfurylique.

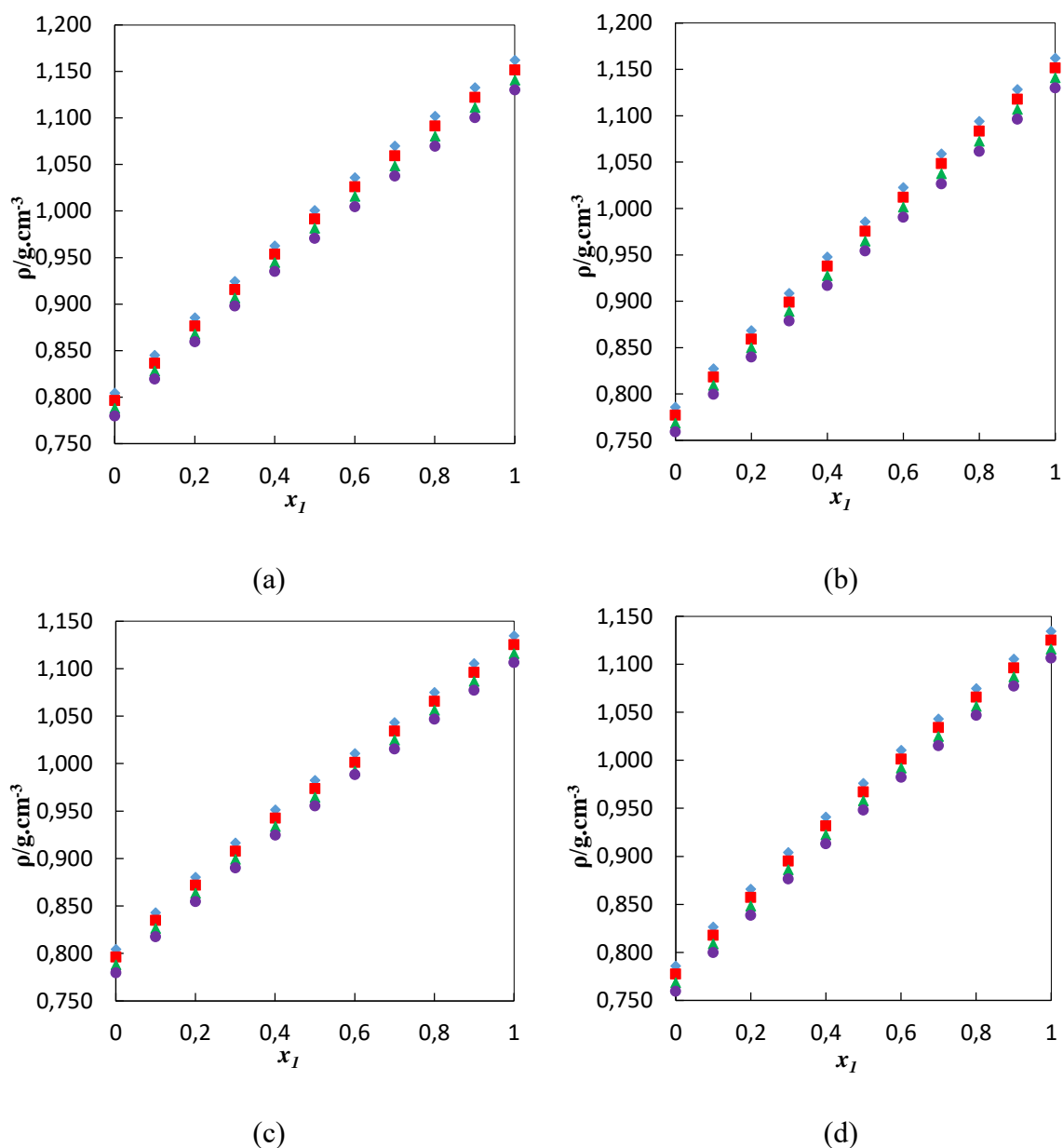


Figure 2.1: variation de la densité ρ des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●).

2.2.1.2. Vitesse du son

La vitesse du son (u) correspond à la rapidité avec laquelle les ondes sonores se propagent, c'est une propriété essentielle pour comprendre la nature des interactions entre les solutés, les solutés-solvants et les solvants-solvants présents dans un mélange.

Le tracé de la vitesse du son en fonction de la fraction molaire en furfural ou de l'alcool furfurylique à différentes températures est illustré dans la **Figure 2.2 (a-d)**. On peut voir clairement que pour les quatre systèmes binaires, les valeurs de, u , diminuent avec l'augmentation de la température et augmentent avec la composition en x_1 .

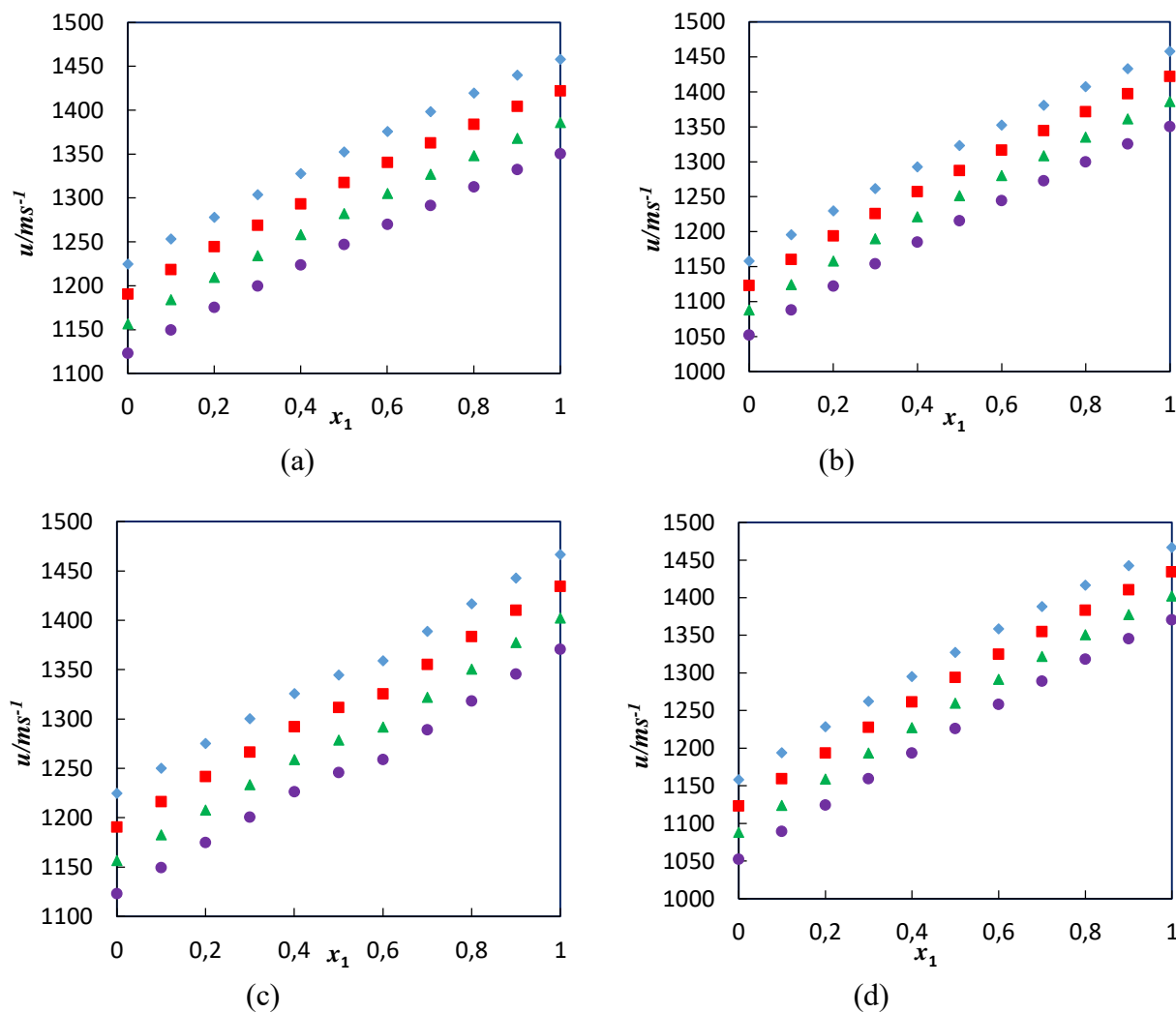


Figure 2.2 : Variation de la vitesse du son (u) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.1.3. Indice de réfraction

L'indice de réfraction n_D est une grandeur physique adimensionnelle. C'est l'une des caractéristiques les plus essentielles qui contrôlent la diffusion de la lumière à travers les matériaux. Les valeurs expérimentales de l'indice de réfraction pour les quatre systèmes

(Furfural + 1-Propanol ou 2-Propanol) et (Alcool furfurylique + 1-Propanol ou 2-Propanol) sont graphiquement schématisés sur les **Figures 2.3 (a-d)**. Les résultats obtenus montrent que les valeurs de l'indice de réfraction diminuent avec l'augmentation de la température et augmentent avec la fraction molaire x_1 allant de 0 à 1.

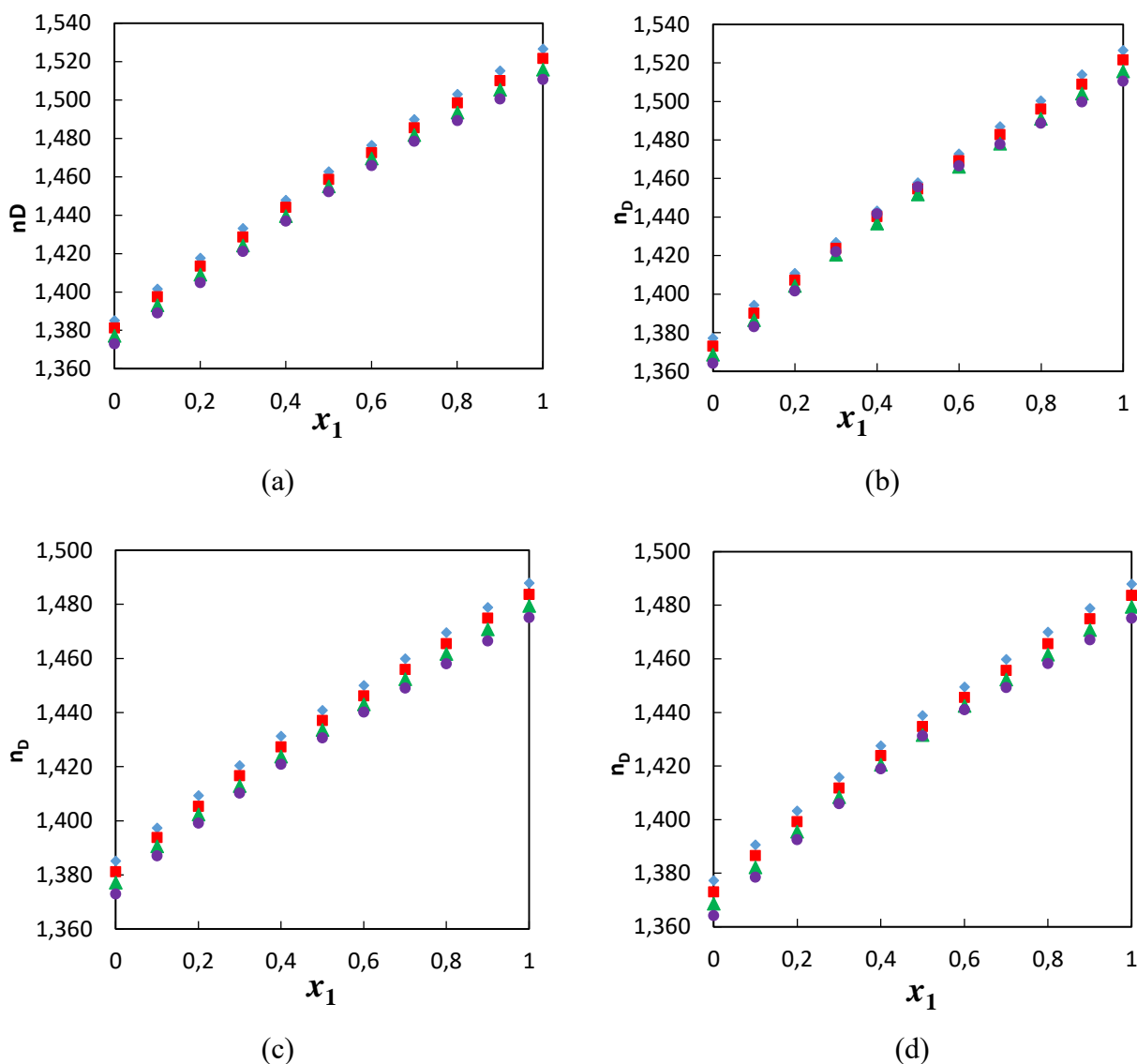


Figure 2.3 : variation de l'indice de réfraction (n_D) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.2. Les paramètres acoustiques et thermodynamiques

Les paramètres acoustiques et thermodynamiques fournissent des données cruciales concernant les interactions moléculaires dans les mélanges binaires.

Les paramètres acoustiques et thermodynamiques suivants : la compressibilité isentropique (K_s), la longueur libre intermoléculaire (L_f), l'impédance acoustique (Z), l'association relative (R_A), la force de relaxation (r) et la fonction du son molaire de Rao (R) sont calculés en utilisant les valeurs expérimentales de la densité et de la vitesse du son. Les résultats obtenus à différentes températures sont regroupés dans le Tableau 2.4.

2.2.2.1. Compressibilité isentropique

La compressibilité isentropique est une propriété importante, qui permet l'étude des structures des solutions. L'équation de Newton-Laplace a été utilisée pour calculer la compressibilité isentropique, k_s :

$$\kappa_s = \frac{1}{\rho u^2} \quad (2.1)$$

Où ρ est la densité et u est la vitesse du son de mélange.

Les valeurs de la compressibilité isentropique des quatre systèmes binaires à (293.15, 303.15, 313.15 et 323.15) K et sur toute la gamme de composition sont représentées sur les **Figures 2.4 (a-d)**.

Les valeurs de k_s diminuent avec l'augmentation de la concentration en furfural ou alcool furfurylique, tandis qu'elles augmentent avec l'augmentation de la température à composition fixe pour tous les systèmes étudiés, comme montrer dans les **Figures 2.4 (a-d)**. Une augmentation de la compressibilité isentropique indique un changement dans l'arrangement des molécules de solvant autour de la molécule de soluté subissant un changement conformationnel, ce qui entraîne un affaiblissement des interactions soluté/solvant.

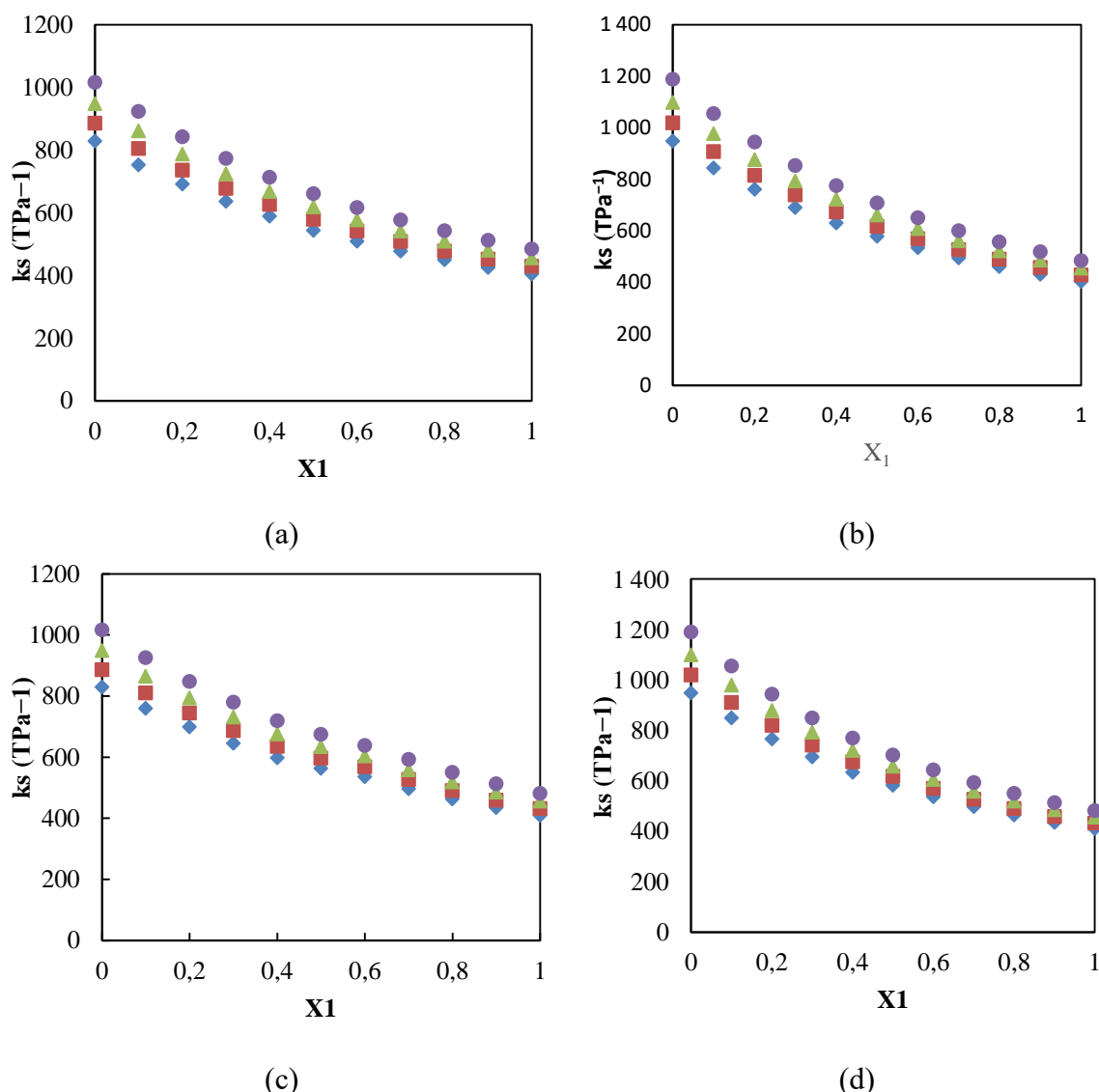


Figure 2.4 : variation de Compressibilité isentropique des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à (♦) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●).

2.2.2.2. Longueur libre intermoléculaire

La longueur libre intermoléculaire est un facteur prédominant dans la détermination de la variation de la vitesse du son dans les solutions. Elle dépend de la température selon une relation empirique établie par Jacobson en 1952 :

$$L_f = \kappa_{jacob} \kappa_s^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

La constante de Jacobson (K_{jacob}) qui est fonction de la température est égal à :

$$K_{jacob} = (93.875 + 0.375T)10^{-8} \quad (2.3)$$

Les résultats de la longueur libre intermoléculaire L_f , pour les systèmes étudiés à différentes températures (293.15, 303.15, 313.15 et 323.15) K et à une pression de 0.1 MPa sont présentées graphiquement sur la **Figure 2.5 (a-d)**.

Il est observé à partir des courbes de la **Figure 2.5 (a-d)**, que l'élévation de la température entraîne une augmentation de la longueur libre intermoléculaire L_f , tandis que L_f décroît avec l'augmentation de la fraction molaire en x_1 pour tous les systèmes étudiés.

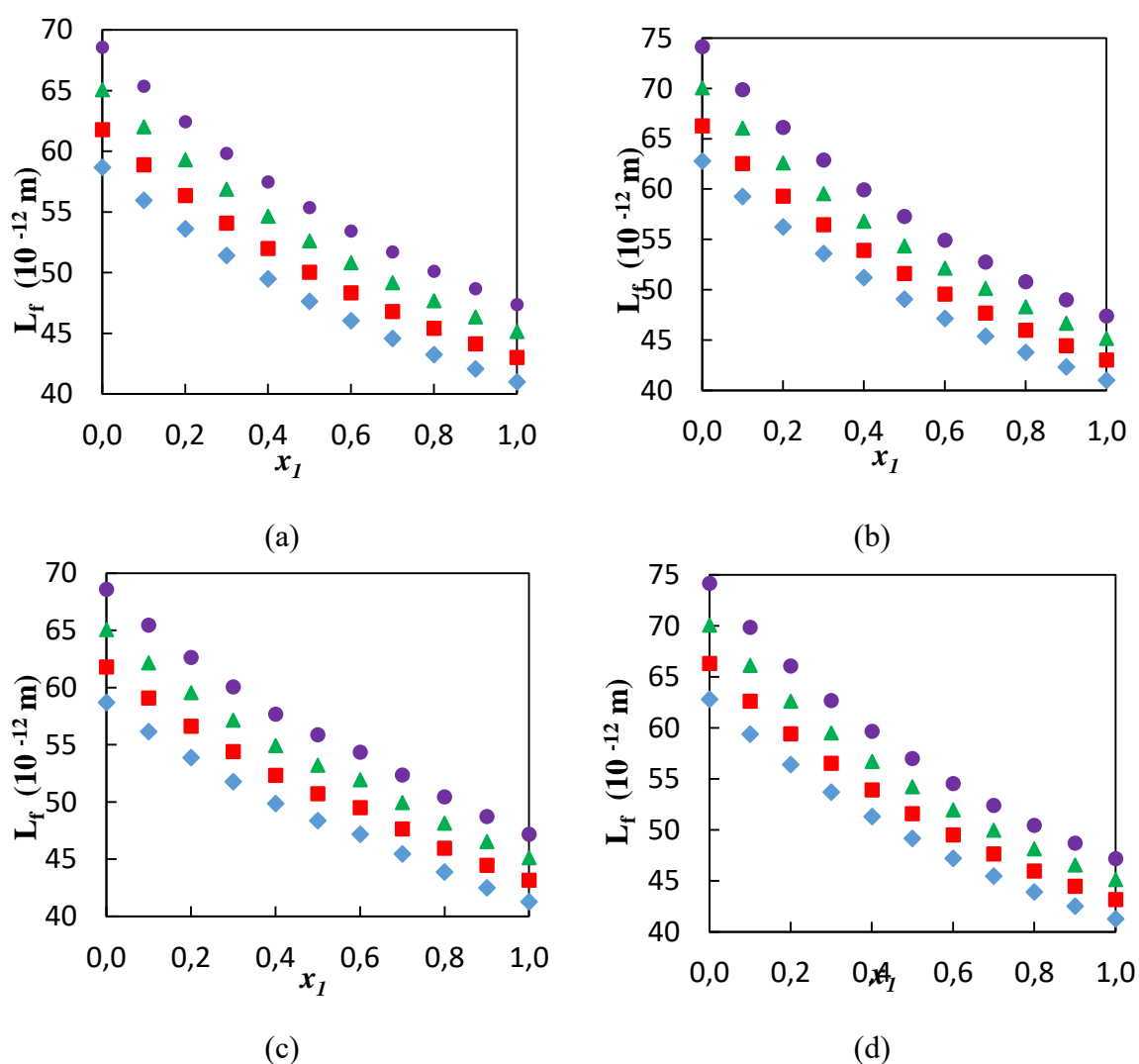


Figure 2.5 : Variation de la longueur libre intermoléculaire (L_f) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.2.3. Impédance acoustique

L'impédance acoustique spécifique d'un milieu est calculé en utilisant l'équation :

$$Z = \rho u \quad (2.4)$$

Ou, ρ , est la densité et u , la vitesse du son des systèmes binaires.

Les résultats de l'impédance acoustique (Z) pour les systèmes étudiés à différentes températures sont présenté dans la **Figure 2.6 (a-d)**.

Les valeurs de Z , diminuent avec l'augmentation de la température, tandis qu'elles augmentent avec l'augmentation de la composition x_1 pour tous les systèmes binaires étudiés.

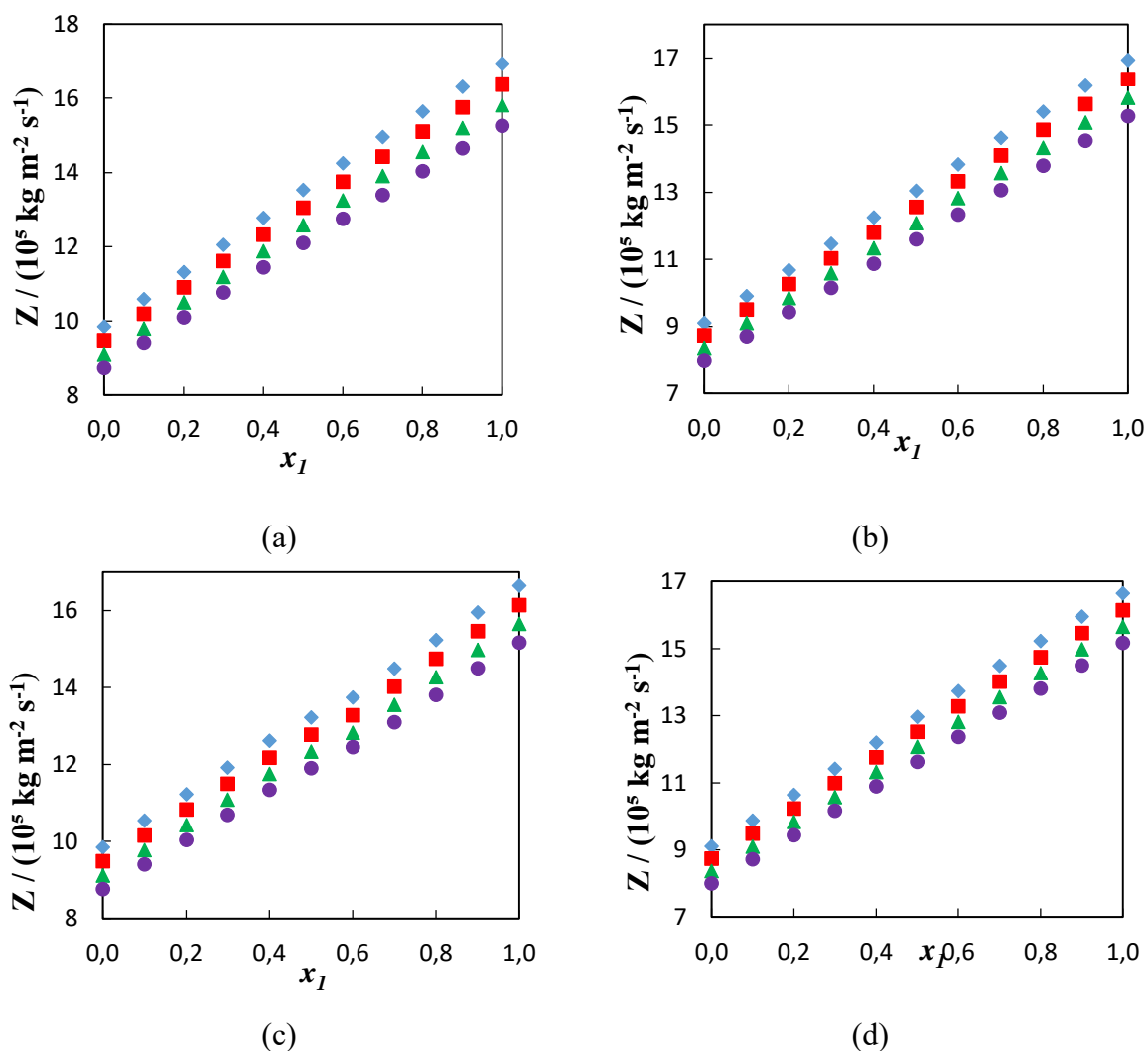


Figure 2.6 : Variation de l'impédance acoustique (Z) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.2.4. L'association Relative

L'association relative (R_A) est définie comme une mesure de l'étendue de l'interaction entre les molécules dans un mélange réel par rapport à celle dans un mélange idéal. L'association relative des systèmes binaires est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$R_A = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \left(\frac{u_0}{u}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.5)$$

Où ρ , ρ_0 et u , u_0 sont respectivement les densités et les vitesses du son du mélange et du solvant.

La variation de l'association relative R_A pour les quatre systèmes binaires est donnée dans la **Figure 2.7 (a-d)**.

On peut voir que les valeurs de R_A augmentent avec l'augmentation de concentration, tandis que R_A n'est pas affecté par la température pour tous les systèmes étudiés.

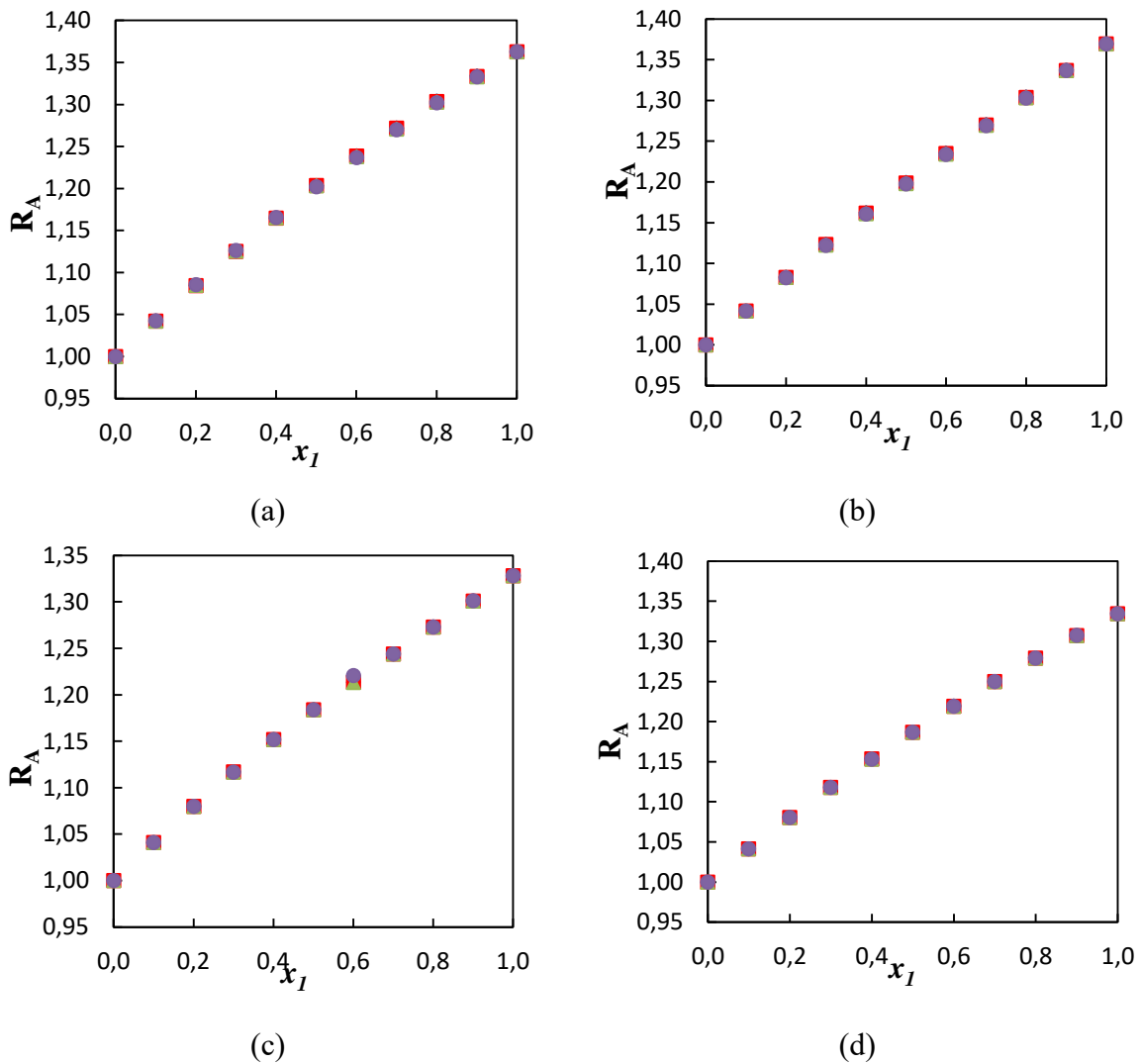


Figure 2.7 : Variation de L'association Relative (RA) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.2.5. Force de relaxation

La Force de relaxation (r) pour les systèmes étudiés a été calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$r = 1 - \left(\frac{u}{u_\infty} \right)^2 \quad (2.6)$$

Où u est la vitesse du son dans le milieu, et u_∞ est la valeur de la vitesse du son à l'infini, soit 1600 m/s.

La variation de la force de relaxation en fonction de la concentration en furfural ou Alcool furfurylique pour les systèmes étudiés est illustré dans les **Figure 2.8 (a-d)**.

Les valeurs de la force de relaxation diminuent avec l'augmentation de la concentration, et augmentent de façon linéaire avec la température à une composition fixe pour tous les systèmes étudiés. La diminution des valeurs de r suggère la présence d'interactions soluté-solvant.

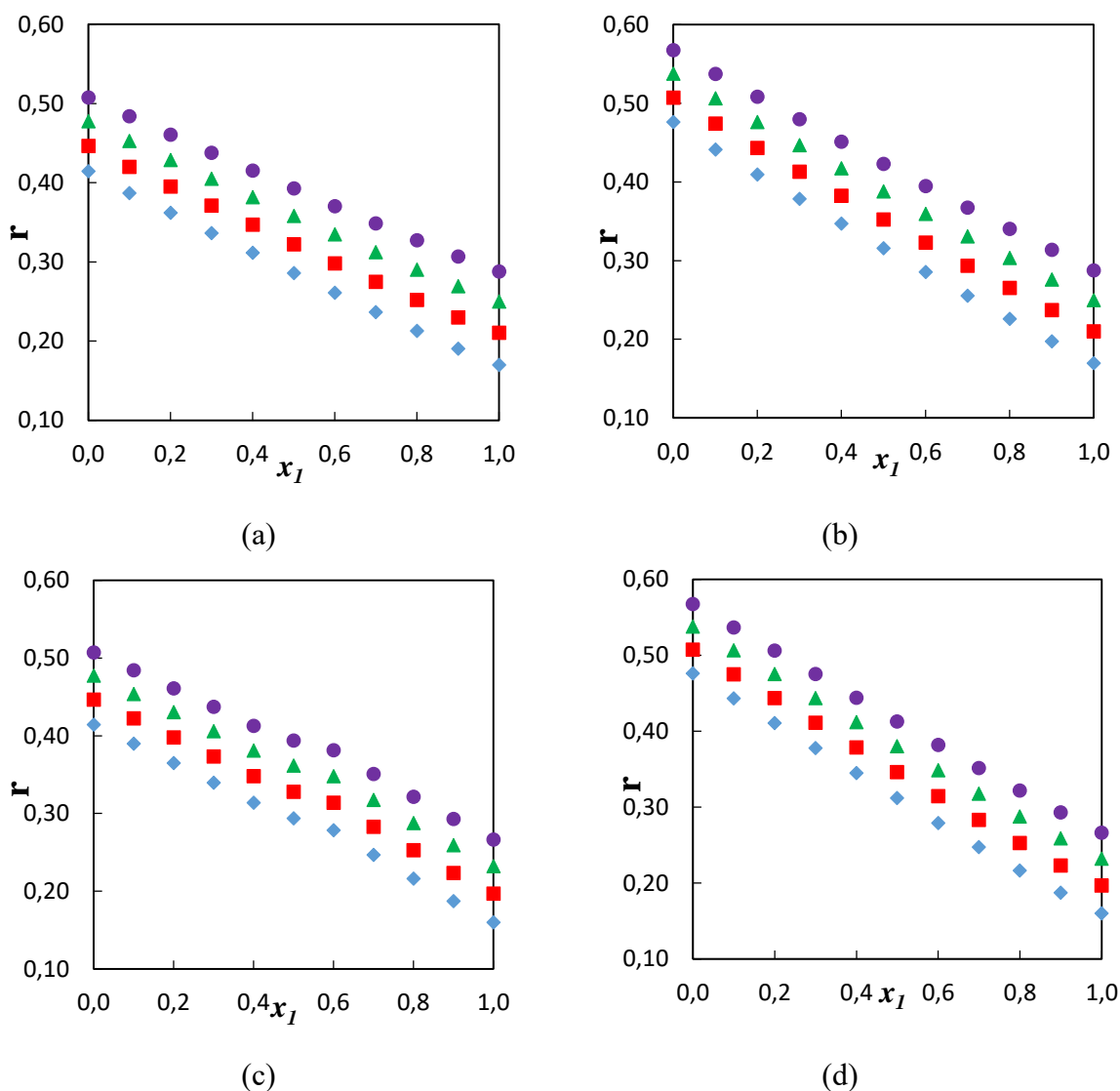


Figure 2.8 : Variation de la force de relaxation (r) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.2.6. Fonction du son molaire de Rao

La fonction du son molaire de Rao (R) est reliée à la densité et la vitesse du son par la formule suivante :

$$R = \left(\frac{M}{\rho}\right) u^3 \quad (2.7)$$

Avec

M, ρ et u représentent la masse molaire, la densité et la vitesse du son de mélange respectivement.

Les valeurs de la fonction du son molaire de Rao pour tous les systèmes binaires à différentes températures sont présentées dans la **Figure 2.9 (a-d)**.

D'après les courbes de **la Figure 2.9**, on constate que les valeurs de R, augmentent d'une façon linéaire avec l'augmentation de la concentration x_1 , pour les quatre systèmes binaires. On constate aussi que la température n'influe pas sur les valeurs de R.

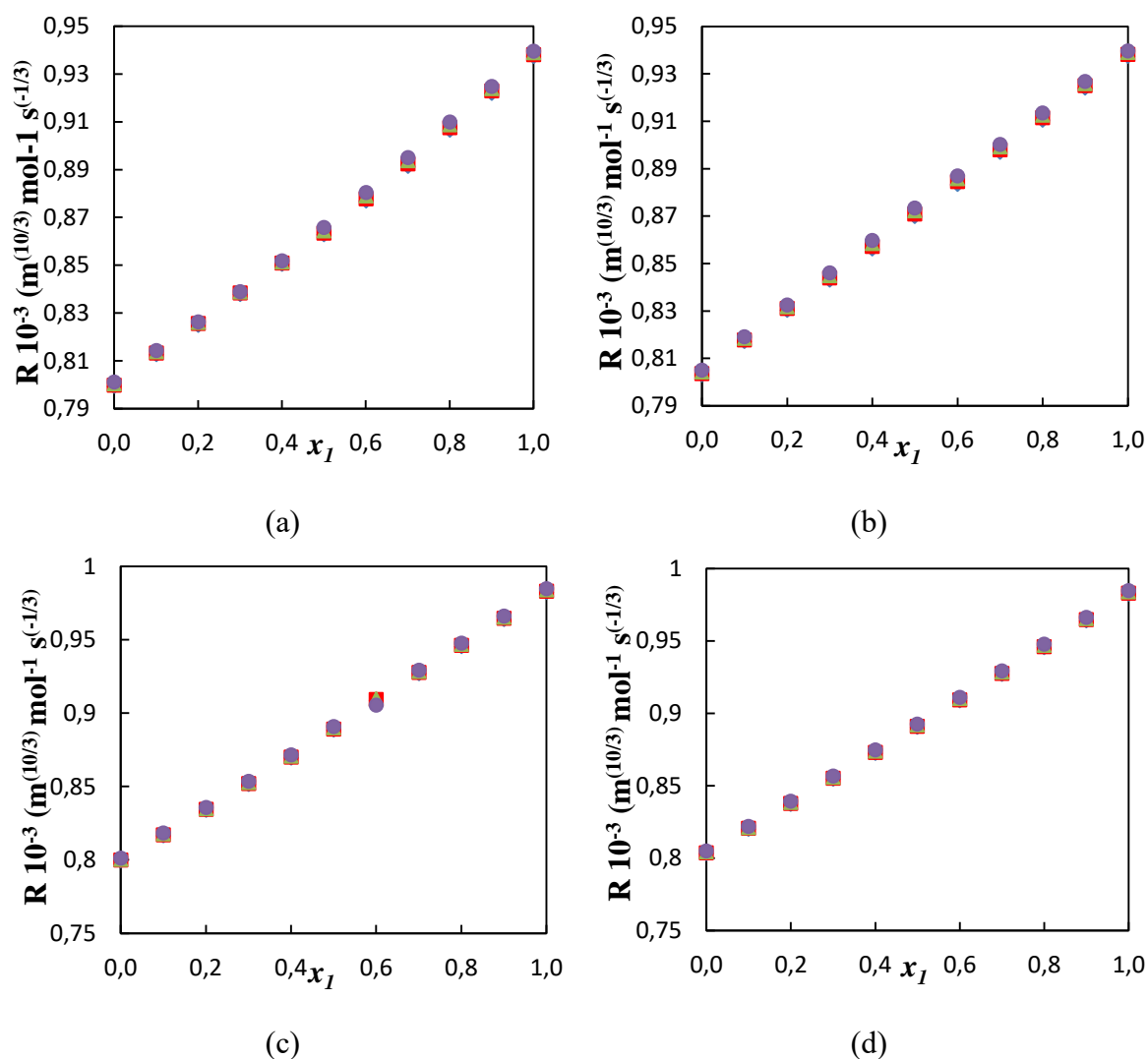


Figure 2.9 : variation de la fonction du son molaire de Rao (R) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●).

2.2.3. Propriétés d'excès/déviations

La déviation dans les propriétés d'excès par rapport à l'idéalité permet une meilleure compréhension de la nature et la force des interactions intermoléculaire au sein des mélanges binaire.

2.2.3.1. Volume molaire d'excès

Les volumes molaires d'excès (V_m^E) des systèmes binaires {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)} et {Alcool

furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} sont calculés à partir des densités expérimentales à l'aide de l'équation :

$$V_m^E = \sum_{i=1}^2 x_i M_i (\rho^{-1} - \rho_i^{-1}) \quad (2.8)$$

Où ρ représente la densité du mélange et ρ_i , x_i et M_i sont la densité, la fraction molaire et la masse molaire du constituant i , respectivement.

Les résultats obtenus sont donnés dans le Tableau 2.5 et graphiquement schématisés sur les **Figures 2.10 (a-d)** pour les températures 293.15, 303.15, 313.15 à 323.15 K.

- ***Systèmes contenant le furfural***

D'après la **Figure 2.10 (a et b)**, les valeurs de volume molaire d'excès V_m^E sont négatives pour les systèmes (furfural + 1-propanol ou 2-propanol), indiquant des interactions attractives dominantes entre les molécules des deux composants. Pour le système (furfural + 1-propanol), V_m^E diminue avec la température jusqu'au point $x_1 = 0,5001$, où une inversion se produit, entraînant une augmentation de V_m^E avec la température.

Pour le système (furfural + 2-propanol), les valeurs de V_m^E augmentent avec la température sur toute la gamme de composition, comme illustré sur la **Figure 2.10 (b)**. Les valeurs les plus négatives sont observées pour (furfural + 1-propanol), ceci indique que les interactions sont plus fortes entre le furfural et 1-propanol.

- ***Systèmes contenant l'alcool furfurylique***

L'analyse des courbes de la **Figure 2.10 (c et d)** montre que les valeurs de V_m^E sont négatives et positives (sinusoïdales) pour le système (alcool furfurylique + 1-propanol) et négatives sur toute la gamme de composition pour le système (alcool furfurylique + 2-propanol). Ce qui signifie que les interactions sont plus fortes entre l'alcool furfurylique et le 2-propanol. Les valeurs négatives indiquent des interactions attractives, tandis que les valeurs positives suggèrent des interactions répulsives entre les molécules des deux composants.

De plus, les valeurs les plus basses de V_m^E sont observées pour le système (alcool furfurylique + 2-propanol) par rapport au système (alcool furfurylique + 1-propanol),

indiquant que les interactions sont plus forte entre le l'alcool furfurylique et 2-propanol que celle avec le 1-propanol en raison de la position du groupe alkyle dans le propanol.

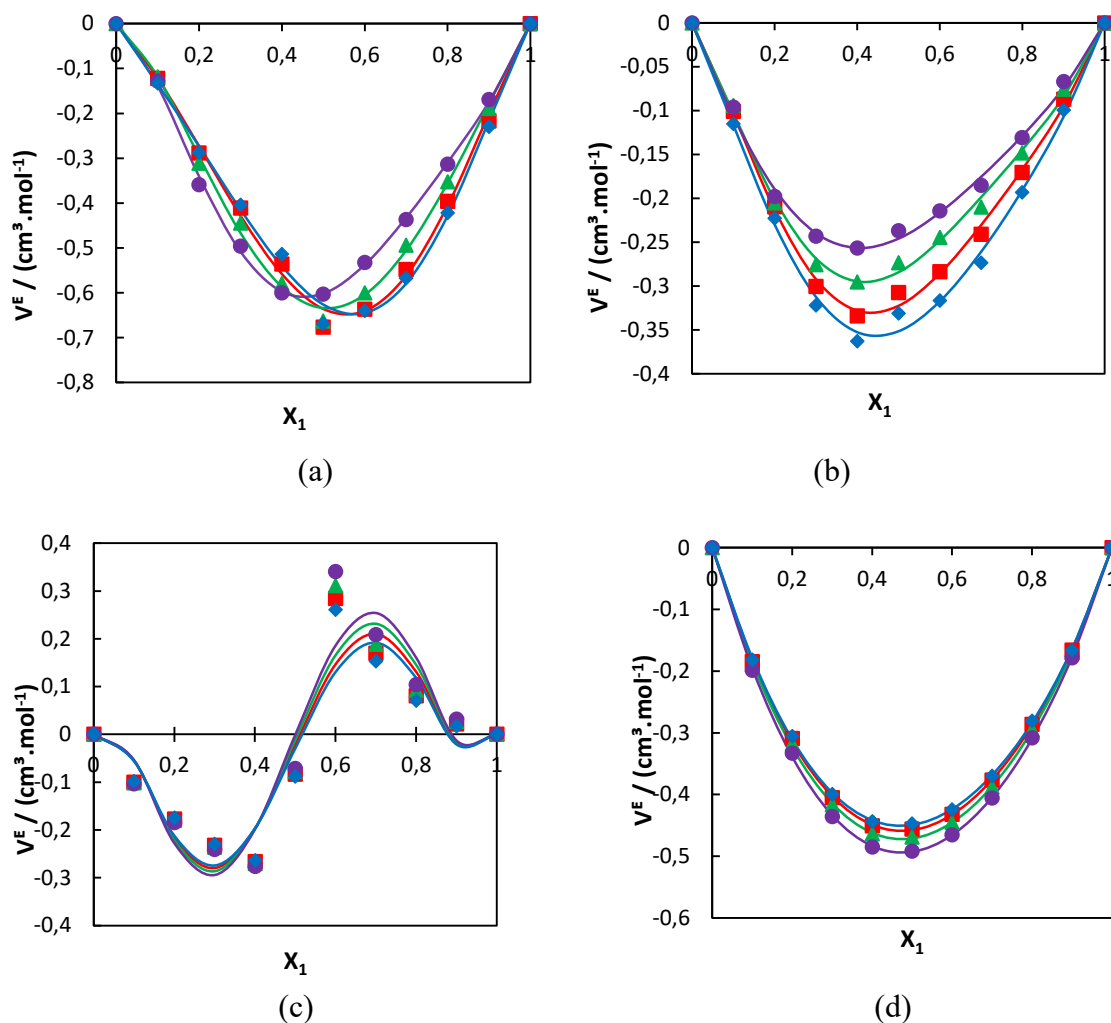


Figure 2.10 : variation du volume molaire d'excès V_m^E des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

2.2.3.2. Déviation en compression isentropique

La déviation en compression isentropique Δk_S , a été calculée au moyen de l'équation suivante :

$$\Delta k_S = k_S - \sum_{i=1}^2 x_i k_{Si} \quad (2.9)$$

Avec k_S désigne le facteur de compressibilité du mélange et k_{Si} , x_i désignent respectivement le facteur de compressibilité et la fraction molaire du composé i

Les valeurs de ΔK_s , calculées selon l'équation (2.9), sont présentées dans le Tableau 2.5 et illustrées sur les figures 2.11 (a-d).

D'après les figures 2.11 (a-d), on constate que les valeurs de ΔK_s sont négatives et diminuent avec l'augmentation de la température sur toute la plage de x_1 (furfural ou alcool furfurylique) et pour chaque système binaire. Une déviation négative de la compressibilité isentropique peut être expliquée par une diminution de l'espace libre à cause de l'existence de fortes interactions dipôle-dipôle entre les espèces différentes dans le mélange.

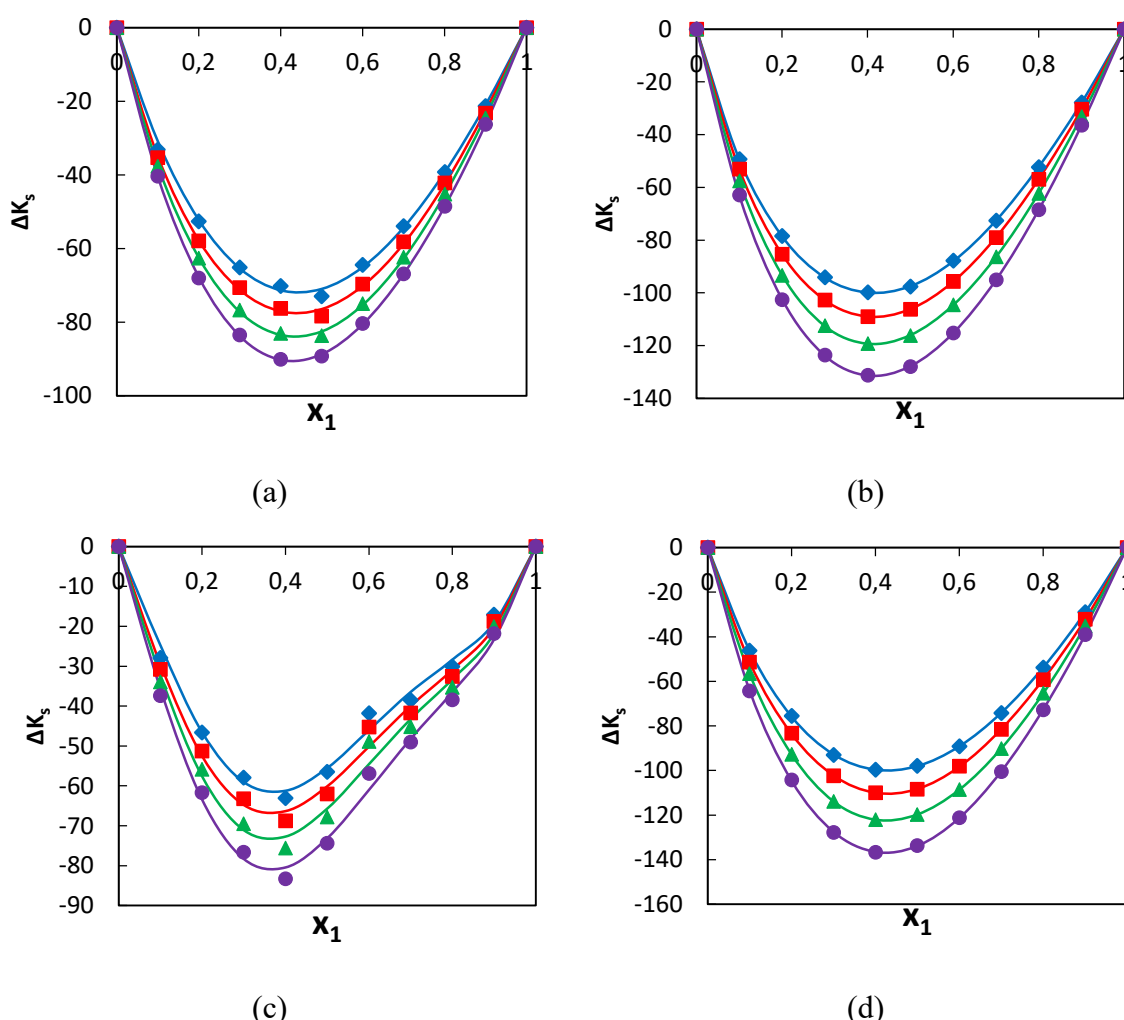


Figure 2.11 : Variation de la déviation en compression isentropique ΔK_s des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (♦). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

2.2.3.3. Déviation en longueur libre intermoléculaire

Les déviations en longueur libre intermoléculaire ΔL_f des quatre systèmes binaires sont calculées en utilisant l'équation suivante :

$$\Delta L_f = L_f - \sum_{i=1}^2 x_i L_{fi} \quad (2.12)$$

Où

L_f et L_{fi} représentent la longueur libre intermoléculaire du mélange et du composé i respectivement. x_i est la fraction molaire du composé i .

Les résultats de la longueur libre intermoléculaire pour les systèmes étudiés à (293.15, 303.15, 313.15 et 323.15) K et à pression atmosphérique sont regroupés dans le Tableau 2.6 et graphiquement présentée sur les **Figure 2.12 (a-d)**.

Il est observé à partir de la **Figure 2.12 (a-d)**, que les valeurs de ΔL_f sont négatif sur toute la gamme de composition et pour tous les systèmes binaires. Les valeurs de ΔL_f diminuent avec l'augmentation de la température à une composition fixe. Les valeurs négatives indiquent soit une interaction intermoléculaire intense, soit un changement de conformation ou d'orientation des molécules en solution, ce qui entraîne la formation des liaisons hydrogène entre des molécules différentes.

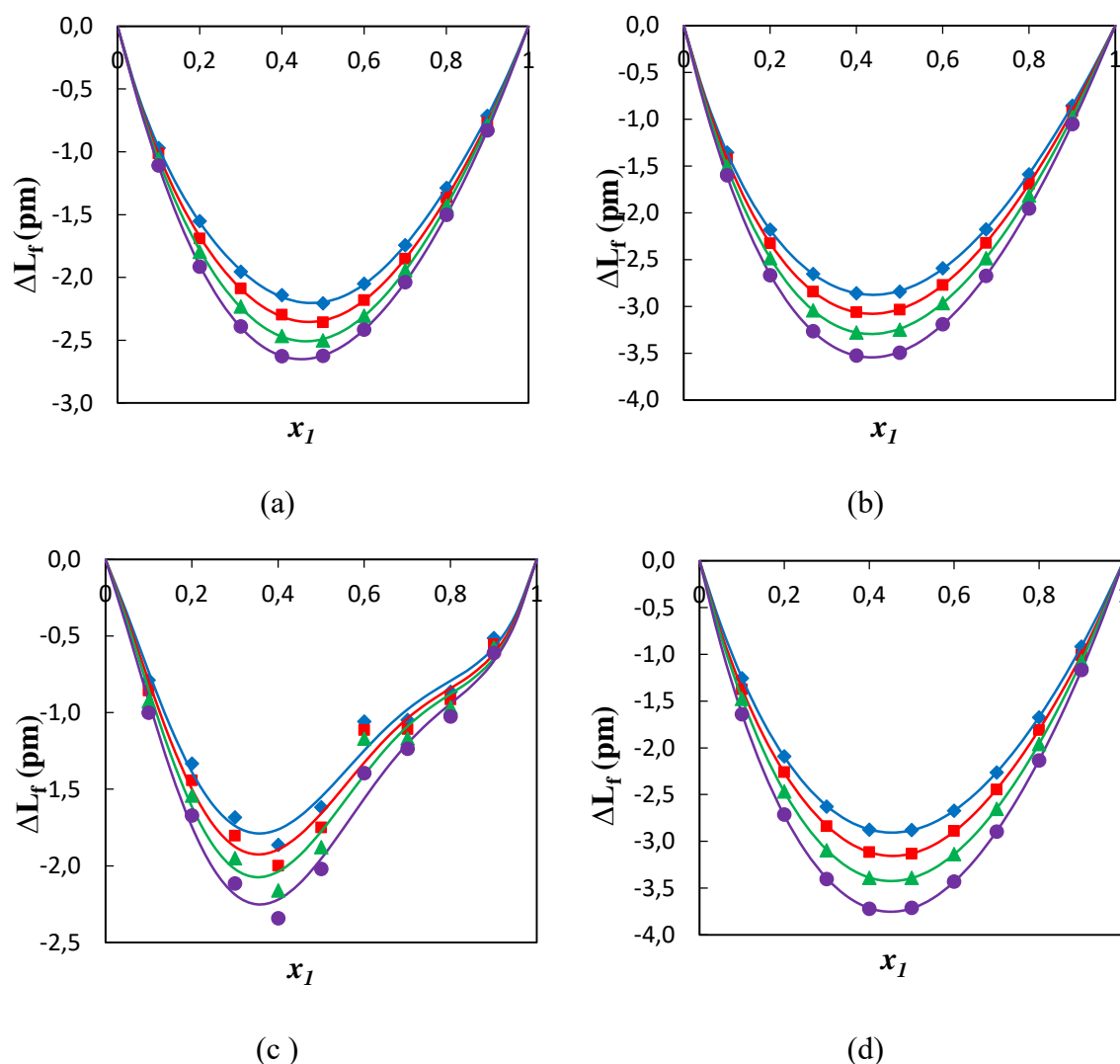


Figure 2.12 : Variation de la déviation de la longueur libre intermoléculaire (ΔL_f) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

2.2.3.4. Déviation de l'impédance acoustique spécifique

La déviation en impédance acoustique spécifique, Δz , a été calculée en utilisant de l'équation suivante :

$$\Delta z = z - \sum_{i=1}^2 x_i z_i \quad (2.13)$$

Où

z et z_i sont l'impédance acoustique spécifique du mélange et du composé i respectivement.

x_i est la fraction molaire du composé i

Les résultats de ΔZ sont indiqués dans le Tableau 2.6 et illustrée dans la **Figure 2.13 (a-d)**.

L'impédance acoustique spécifique ΔZ est positive sur toute la gamme de composition pour les systèmes {Furfural (1) + 1-Propanol (2)} et {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)}. Pour les deux systèmes {Furfural (1) + 2-Propanol (2)} et {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)} représentent un comportement sinusoïdal. En général, les écarts positifs dans ΔZ suggèrent la présence de fortes interactions entre les molécules dissemblables dans le mélange, tandis que les écarts négatifs dans ΔZ indiquent des interactions faibles.

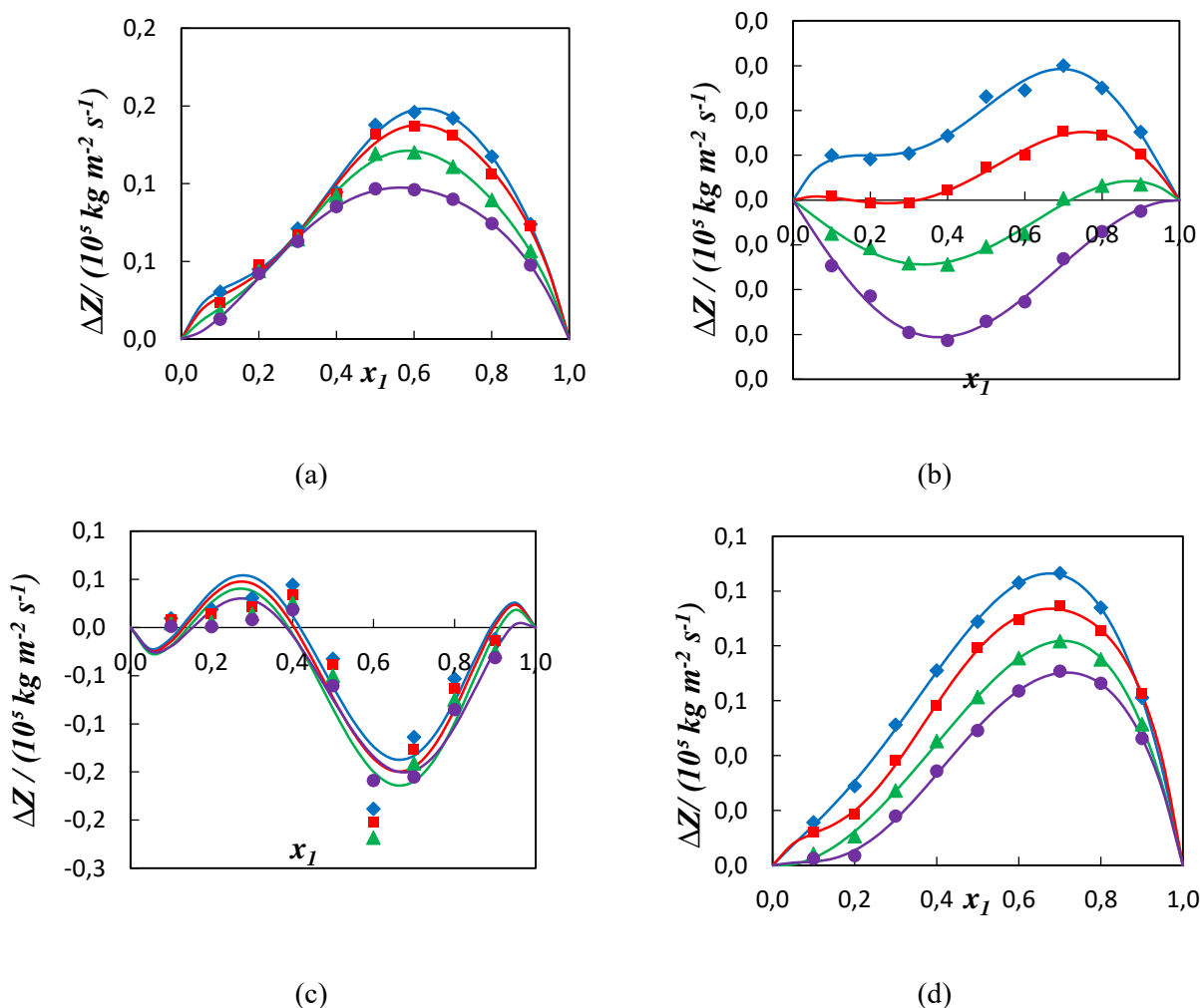


Figure 2.13 : variation de la déviation de l'impédance acoustique (ΔZ) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

2.2.3.5. Déviation de la vitesse du son

Les déviations de la vitesse du son Δu pour les systèmes étudiés ont été calculés en utilisant l'équation suivante :

$$\Delta u = u - \sum_{i=1}^2 x_i u_i \quad (2.14)$$

Où

u et u_i représentent la vitesse du son du mélange et du composé i respectivement. x_i est la fraction molaire du composé i .

Les valeurs de Δu pour les quatre systèmes binaires à différentes températures sont reportés dans le Tableau 2.6 et graphiquement représentés dans les **Figures 2.14 (a-d)**.

D'après les **Figures 2.14 (a-d)**, on constate que la déviation de la vitesse du son Δu est positive pour les systèmes (furfural + 1-propanol ou 2-propanol) et (Alcool furfurylique + 2-propanol) sur toute la gamme de composition. Un comportement sinusoïdal est observé pour le système (Alcool furfurylique + 1-propanol).

Pour les systèmes (furfural + 1-propanol ou 2-propanol) et (Alcool furfurylique + 2-propanol), les valeurs de Δu diminuent avec l'augmentation de la température à une composition fixe.

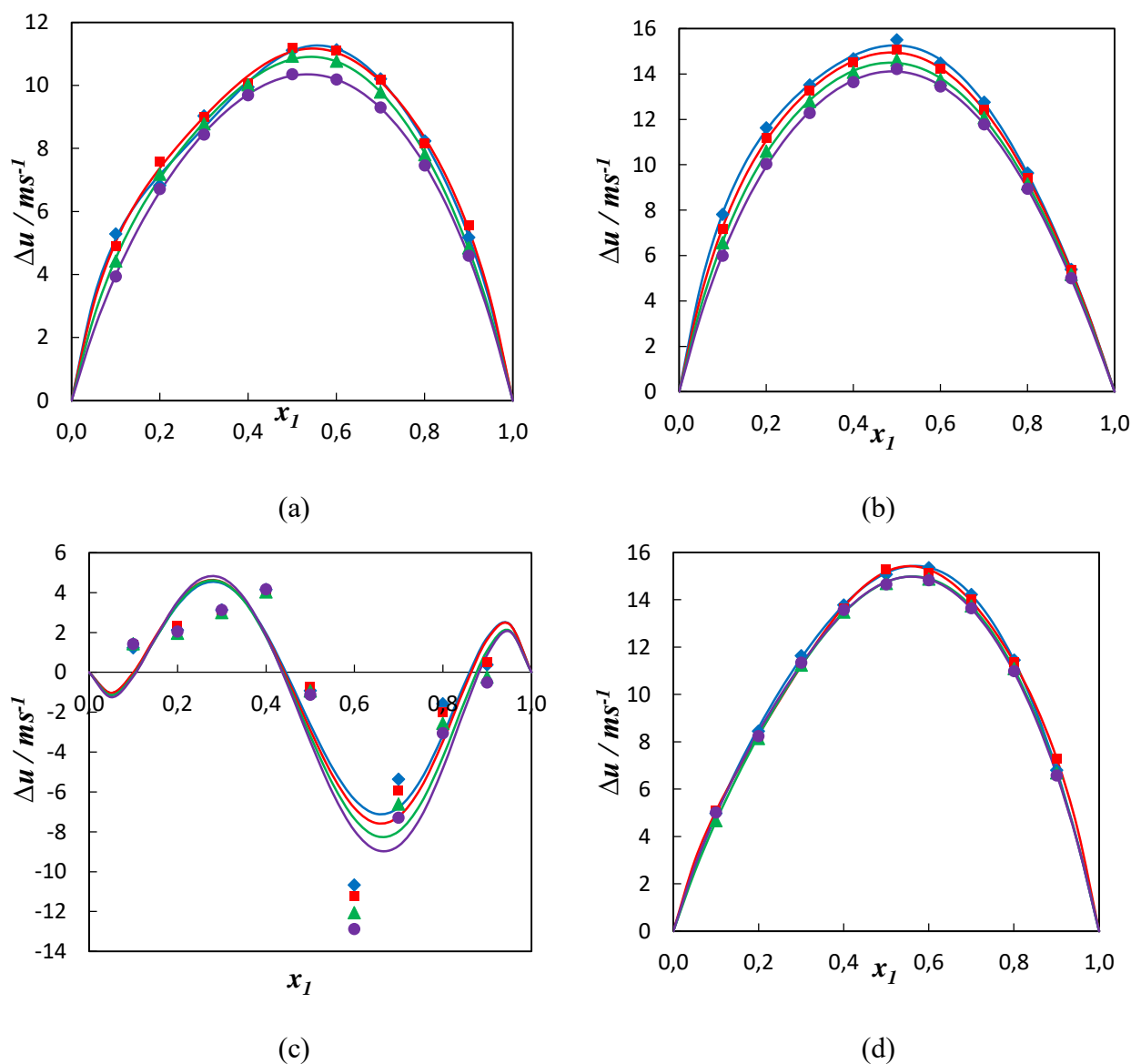


Figure 2.14 : Variation de la déviation de la vitesse du son (Δu) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (◆). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

2.2.3.6. Déviation en indice de réfraction

La déviation en indice de réfraction, Δn_D , est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$\Delta n_D = n_D - \sum_{i=1}^2 x_i n_{Di} \quad (2.15)$$

Où n_D et n_{Di} désignent l'indice de réfraction du mélange et du composé i pur respectivement.

Les valeurs de la déviation de l'indice de réfraction, Δn_D , pour les quatre systèmes binaires à 293.15 K, 303.15 K, 313.15 K et 323.15 K sont regroupées dans le Tableau 2.15 et représentées graphiquement sur les **Figures 2.15 (a-d)**.

Il est observé à partir des **Figure 2.15 (a-d)**, que les valeurs de Δn_D , sont positives et augmentent avec l'élévation de la température à composition fixe pour tous les systèmes étudiés et sur toute la gamme de composition.

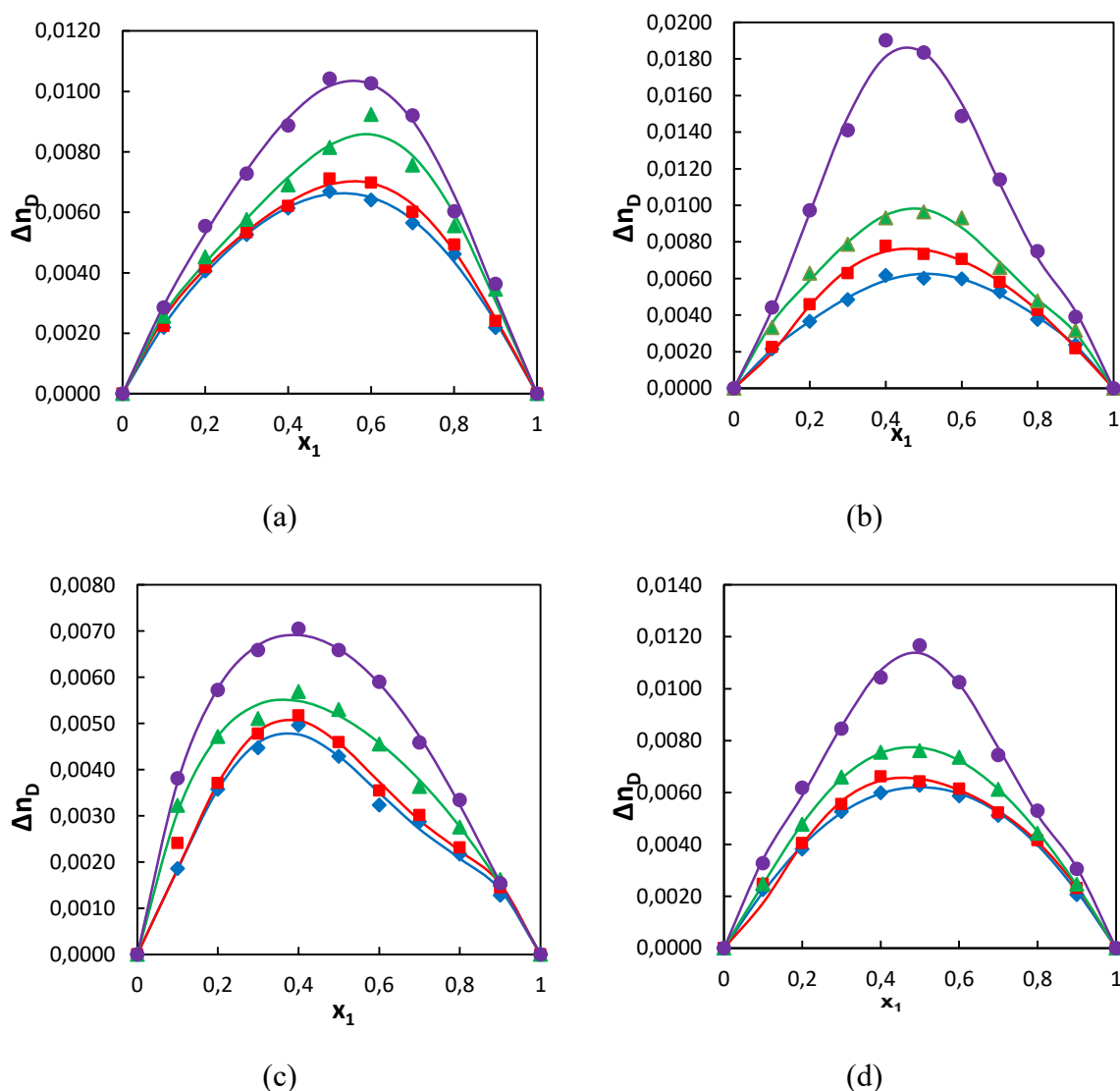


Figure 2.15 : variation de la déviation en l'indice de réfraction Δn_D des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de la fraction molaire x_1 à 293.15K (♦). 303.15 K (■). 313.15 K (▲). 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées en utilisant l'équation de Redlich-Kister.

2.2.4. Corrélation des propriétés d'excès/ déviation

Les propriétés excès/déviation des systèmes binaires {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)} et {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)}, telles que V_m^E , $\Delta\kappa_s$, ΔL_f , ΔZ , Δu et Δn_D , ont été corrélées sur un domaine de température allant de 293.15 K à 323.15 K à pression atmosphérique en utilisant l'équation polynômial de Redlich-Kister (Redlich et al., 1948) :

$$Y = x_1 x_2 \sum_{i=1}^k A_i (2x_1 - 1)^{i-1} \quad (2.16)$$

Où Y représente V_m^E , $\Delta\kappa_s$, ΔL_f , ΔZ , Δu et Δn_D .

Les paramètres A_i de l'équation (2.16) sont déterminés en utilisant la méthode des moindres carrés. Les écarts-types notés σ , calculés selon l'équation suivante :

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{exp} - Y_{cal})^2}{(N - k)} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

Avec

N c'est le nombre de points expérimentaux et k est le nombre de coefficients A_i utilisés dans l'équation de Redlich-Kister.

Les paramètres A_i ainsi que la déviation standard σ de chaque isotherme sont reportés dans le Tableau (2.7).

Tableau 2.3 : les valeurs expérimentales de densités ρ , de vitesse du son u , et de l'indice de réfraction pour les quatre systèmes binaires Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2), aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P = 0,1$ MPa.

x_1	$\rho / (\text{g.cm}^{-3})$	$u / (\text{m.s}^{-1})$	n_D
Furfural (1) + 1-Propanol (2)			
T=293.15 K			
0	0.804449	1224.51	1.385130
0.1000	0.845118	1253.14	1.401480
0.2000	0.885313	1278.01	1.417550
0.3000	0.924401	1303.56	1.433080
0.3999	0.962635	1327.78	1.447830
0.5001	1.000917	1352.33	1.462560
0.6002	1.036140	1375.72	1.476440
0.7000	1.069890	1398.07	1.489790
0.8004	1.102159	1419.54	1.502970
0.9001	1.132800	1439.75	1.515110
1.0000	1.162236	1457.89	1.526580
T=303.15 K			
0	0.796386	1190.43	1.381120
0.1000	0.836593	1218.47	1.397410
0.2000	0.876583	1244.29	1.413410
0.3000	0.915431	1268.86	1.428600
0.3999	0.953559	1293.05	1.443960
0.5001	0.991359	1317.35	1.458490
0.6002	1.026196	1340.43	1.472430
0.7000	1.059515	1362.6	1.485470
0.8004	1.091502	1383.81	1.498500
0.9001	1.122141	1404.29	1.509980
1.0000	1.151602	1421.86	1.521610
T=313.15 K			
0	0.788178	1156.6	1.377070
0.1000	0.828010	1183.97	1.393100
0.2000	0.867964	1209.65	1.408970
0.3000	0.906638	1234.2	1.424130
0.3999	0.944603	1258.33	1.439430
0.5001	0.981434	1282.22	1.455000
0.6002	1.015739	1305.04	1.469540
0.7000	1.048611	1326.93	1.481700
0.8004	1.080546	1347.98	1.493380
0.9001	1.111228	1367.89	1.505340
1.0000	1.140921	1385.96	1.515740
T=323.15 K			
0	0.779779	1123.02	1.372930

0.1000	0.819385	1149.69	1.389040
0.2000	0.859439	1175.19	1.404760
0.3000	0.897871	1199.66	1.421080
0.3999	0.935213	1223.6	1.436850
0.5001	0.970810	1247.04	1.452190
0.6002	1.004795	1269.64	1.465820
0.7000	1.037598	1291.42	1.478490
0.8004	1.069588	1312.41	1.489140
0.9001	1.100362	1332.21	1.500460
1.0000	1.130189	1350.33	1.510580

Furfural (1) + 2-Propanol (2)

T=293.15 K

0	0.785898	1158.06	1.377290
0.1001	0.827511	1195.87	1.394370
0.2001	0.868499	1229.69	1.410820
0.2999	0.908752	1261.49	1.426910
0.4000	0.947892	1292.67	1.443180
0.5000	0.985717	1323.47	1.457950
0.6000	1.022724	1352.44	1.472850
0.7001	1.059028	1380.74	1.487090
0.7998	1.094069	1407.5	1.500460
0.9001	1.128550	1433.31	1.514030
1.0000	1.162236	1457.89	1.526580

T=303.15 K

0	0.777393	1123.09	1.373000
0.1001	0.818540	1160.17	1.390113
0.2001	0.859239	1194.04	1.407330
0.2999	0.899112	1225.93	1.423860
0.4000	0.937916	1257.12	1.440240
0.5000	0.975497	1287.52	1.454640
0.6000	1.012260	1316.56	1.469230
0.7001	1.048384	1344.71	1.482850
0.7998	1.083392	1371.47	1.496130
0.9001	1.11787	1397.35	1.508950
1.0000	1.151602	1421.86	1.521610

T=313.15 K

0	0.768576	1087.85	1.368580
0.1001	0.809359	1124.24	1.386630
0.2001	0.849801	1158.1	1.404320
0.2999	0.889189	1190.05	1.420590
0.4000	0.927602	1221.18	1.436760
0.5000	0.964944	1251.51	1.451800
0.6000	1.001560	1280.48	1.466190
0.7001	1.037620	1308.64	1.478220
0.7998	1.072611	1335.44	1.491060
0.9001	1.107122	1361.33	1.504190

1.0000	1.140921	1385.96	1.515740
--------	----------	---------	----------

T=323.15 K

0	0.759379	1052.28	1.364110
0.1001	0.799902	1088.09	1.383180
0.2001	0.839992	1121.96	1.401670
0.2999	0.878877	1153.95	1.422060
0.4000	0.917016	1185.15	1.441730
0.5000	0.954231	1215.52	1.455690
0.6000	0.990759	1244.56	1.466540
0.7001	1.026772	1272.74	1.477823
0.7998	1.061765	1299.6	1.488740
0.9001	1.096321	1325.55	1.499840
1.0000	1.130189	1350.33	1.510580

Alcool Furfurylique+ 1-Propanol (2)

T=293.15 K

0	0.804449	1224.51	1.385130
0.0999	0.843121	1249.91	1.397240
0.2000	0.880551	1275.04	1.409240
0.2999	0.916580	1300.21	1.420400
0.4001	0.951470	1325.5	1.431180
0.5000	0.982699	1344.6	1.440770
0.6000	1.010718	1359.04	1.449980
0.7000	1.043525	1388.56	1.459890
0.7999	1.075101	1416.51	1.469450
0.8999	1.105524	1442.67	1.478830
1.0000	1.134703	1466.51	1.487830

T=303.15 K

0	0.796386	1190.43	1.381120
0.0999	0.834855	1216.14	1.393760
0.2000	0.872097	1241.47	1.405320
0.2999	0.907959	1266.43	1.416620
0.4001	0.942704	1291.89	1.427290
0.5000	0.973755	1311.54	1.436950
0.6000	1.001511	1325.36	1.446140
0.7000	1.034280	1355.07	1.455860
0.7999	1.065833	1383.31	1.465390
0.8999	1.096246	1410.17	1.474770
1.0000	1.125423	1434.07	1.483580

T=313.15 K

0	0.788178	1156.6	1.377070
0.0999	0.826446	1182.56	1.390510
0.2000	0.863504	1207.68	1.402240
0.2999	0.899215	1233.23	1.412840
0.4001	0.933822	1258.89	1.423680

0.5000	0.964681	1278.45	1.433510
0.6000	0.992167	1291.87	1.442980
0.7000	1.024912	1321.88	1.452290
0.7999	1.056458	1350.46	1.461630
0.8999	1.086874	1377.35	1.470720
1.0000	1.116065	1402.15	1.479340

T=323.15 K

0	0.779779	1123.02	1.372930
0.0999	0.817850	1149.16	1.386940
0.2000	0.854756	1174.58	1.399080
0.2999	0.890312	1200.38	1.410150
0.4001	0.924794	1226.22	1.420850
0.5000	0.955452	1245.67	1.430600
0.6000	0.988667	1258.65	1.440120
0.7000	1.015408	1288.99	1.449020
0.7999	1.046965	1317.96	1.457980
0.8999	1.077403	1345.25	1.466390
1.0000	1.106613	1370.53	1.475080

Alcool Furfurylique+ 2-Propanol (2)

T=293.15 K

0	0.785898	1158.06	1.377290
0.0998	0.826690	1193.83	1.390570
0.1999	0.866109	1228.18	1.403210
0.3000	0.904276	1262.23	1.415710
0.4001	0.941011	1295.24	1.427500
0.4998	0.976264	1327.29	1.438810
0.6002	1.010578	1358.55	1.449500
0.7001	1.043465	1388.22	1.459790
0.8001	1.075137	1416.3	1.469910
0.9001	1.105609	1442.5	1.478840
1.0000	1.134703	1466.51	1.487830

T=303.15 K

0	0.777393	1123.09	1.373000
0.0998	0.817994	1159.24	1.386510
0.1999	0.857243	1193.45	1.399150
0.3000	0.895288	1227.68	1.411720
0.4001	0.931930	1261.13	1.423850
0.4998	0.967119	1293.8	1.434680
0.6002	1.001367	1324.87	1.445510
0.7001	1.034216	1354.82	1.455630
0.8001	1.065871	1383.25	1.465630
0.9001	1.096343	1410.3	1.474840
1.0000	1.125423	1434.07	1.483580

T=313.15 K

0	0.768576	1087.85	1.368580
0.0998	0.809016	1123.9	1.382110
0.1999	0.848147	1158.84	1.395500
0.3000	0.886095	1193.38	1.408390
0.4001	0.922666	1227.08	1.420440
0.4998	0.957793	1259.62	1.431540
0.6002	0.992017	1291.37	1.442410
0.7001	1.024846	1321.62	1.452240
0.8001	1.056495	1350.41	1.461620
0.9001	1.086964	1377.44	1.470730
1.0000	1.116065	1402.15	1.479340

T=323.15 K

0	0.759379	1052.28	1.364110
0.0998	0.799725	1089.06	1.378460
0.1999	0.838763	1124.15	1.392470
0.3000	0.876656	1159.09	1.405850
0.4001	0.913187	1193.17	1.418940
0.4998	0.948307	1225.98	1.431240
0.6002	0.982506	1258.12	1.440960
0.7001	1.015338	1288.72	1.449230
0.8001	1.047000	1317.89	1.458190
0.9001	1.077500	1345.32	1.467050
1.0000	1.106613	1370.53	1.475080

Tableau 2.4 : La compressibilité isentropique (K_s), la longueur libre intermoléculaire (L_f), l'impédance acoustique (Z), l'association relative (R_A), la force de relaxation (r) et la fonction du son molaire de Rao (R), et pour les systèmes binaires Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2), à différentes températures et à la pression $P = 0.1$ MPa.

x_1	$\kappa_s/(\text{TPa}^{-1})$	$L_f/(10^{-12} \text{ m})$	$Z/(10^5 \text{ kgm}^{-2} \text{ s}^{-1})$	R_A	r	$R(\text{m}^{(10/3)} \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{(-1/3)})$
Furfural (1) + 1-Propanol (2)						
T=293.15 K						
0	829.04	58.682	9.851	1.0000	0.4143	0.7993
0.1000	753.50	55.945	10.591	1.0425	0.3866	0.8126
0.2000	691.57	53.596	11.314	1.0849	0.3620	0.8249
0.3000	636.62	51.423	12.050	1.1254	0.3362	0.8378
0.3999	589.23	49.472	12.782	1.1648	0.3113	0.8505
0.5001	546.31	47.636	13.536	1.2037	0.2856	0.8628
0.6002	509.94	46.023	14.254	1.2390	0.2607	0.8769
0.7000	478.19	44.568	14.958	1.2725	0.2365	0.8913
0.8004	450.26	43.246	15.646	1.3042	0.2129	0.9065
0.9001	425.87	42.059	16.309	1.3342	0.1903	0.9219
1.0000	404.81	41.006	16.944	1.3631	0.1697	0.9374
T=303.15 K						
0	886.071	61.783	9.480	1.0000	0.4464	0.7998
0.1000	805.112	58.893	10.194	1.0424	0.4201	0.8132
0.2000	736.824	56.340	10.907	1.0846	0.3952	0.8257
0.3000	678.495	54.064	11.616	1.1253	0.3711	0.8384
0.3999	627.223	51.981	12.330	1.1648	0.3469	0.8510
0.5001	581.255	50.040	13.060	1.2035	0.3221	0.8635
0.6002	542.352	48.337	13.755	1.2386	0.2981	0.8778
0.7000	508.342	46.797	14.437	1.2718	0.2747	0.8924
0.8004	478.435	45.399	15.104	1.3035	0.2520	0.9076
0.9001	451.896	44.122	15.758	1.3335	0.2297	0.9230
1.0000	429.521	43.016	16.374	1.3629	0.2103	0.9382
T=313.15 K						
0	948.439	65.075	9.116	1.0000	0.4775	0.8004
0.1000	861.555	62.023	9.803	1.0424	0.4524	0.8138
0.2000	787.370	59.293	10.499	1.0849	0.4284	0.8261
0.3000	724.094	56.860	11.190	1.1257	0.4050	0.8388
0.3999	668.593	54.638	11.886	1.1653	0.3815	0.8513
0.5001	619.746	52.604	12.584	1.2031	0.3578	0.8644
0.6002	578.056	50.804	13.256	1.2379	0.3347	0.8789
0.7000	541.614	49.176	13.914	1.2709	0.3122	0.8937
0.8004	509.319	47.688	14.566	1.3027	0.2902	0.9088
0.9001	480.944	46.340	15.200	1.3332	0.2691	0.9239
1.0000	456.292	45.137	15.813	1.3628	0.2497	0.9389
T=323.15 K						
0	1016.842	68.577	8.757	1.0000	0.5074	0.8011
0.1000	923.316	65.347	9.420	1.0426	0.4837	0.8144
0.2000	842.498	62.422	10.100	1.0856	0.4605	0.8263

0.3000	773.873	59.826	10.771	1.1264	0.4378	0.8390
0.3999	714.185	57.472	11.443	1.1655	0.4152	0.8519
0.5001	662.377	55.348	12.106	1.2023	0.3925	0.8658
0.6002	617.392	53.436	12.757	1.2369	0.3703	0.8804
0.7000	577.878	51.698	13.400	1.2701	0.3485	0.8951
0.8004	542.806	50.104	14.037	1.3022	0.3272	0.9100
0.9001	512.058	48.664	14.659	1.3330	0.3067	0.9248
1.0000	485.254	47.374	15.261	1.3630	0.2877	0.9396

Furfural (1) + 2-Propanol (2)

T=293.15 K

0.0000	948.79	62.777	9.101	1.0000	0.4761	0.8031
0.1001	845.00	59.244	9.896	1.0417	0.4414	0.8171
0.2001	761.45	56.239	10.680	1.0832	0.4093	0.8302
0.2999	691.49	53.593	11.464	1.1238	0.3784	0.8429
0.4000	631.34	51.209	12.253	1.1627	0.3473	0.8561
0.5000	579.19	49.049	13.046	1.1997	0.3158	0.8698
0.6000	534.57	47.122	13.832	1.2357	0.2855	0.8833
0.7001	495.30	45.358	14.622	1.2708	0.2553	0.8968
0.7998	461.38	43.777	15.399	1.3045	0.2261	0.9104
0.9001	431.32	42.327	16.176	1.3375	0.1975	0.9240
1.0000	404.81	41.006	16.944	1.3696	0.1697	0.9374

T=303.15 K

0.0000	1019.836	66.283	8.731	1.0000	0.5073	0.8036
0.1001	907.647	62.531	9.496	1.0416	0.4742	0.8177
0.2001	816.297	59.301	10.260	1.0829	0.4431	0.8310
0.2999	740.039	56.463	11.022	1.1233	0.4129	0.8439
0.4000	674.656	53.911	11.791	1.1620	0.3827	0.8572
0.5000	618.395	51.614	12.560	1.1990	0.3525	0.8709
0.6000	569.937	49.551	13.327	1.2349	0.3229	0.8845
0.7001	527.500	47.670	14.098	1.2700	0.2937	0.8980
0.7998	490.729	45.979	14.858	1.3038	0.2653	0.9114
0.9001	458.140	44.426	15.621	1.3370	0.2373	0.9249
1.0000	429.521	43.016	16.374	1.3693	0.2103	0.9382

T=313.15 K

0.0000	1099.449	70.065	8.361	1.0000	0.5377	0.8042
0.1001	977.554	66.067	9.099	1.0416	0.5063	0.8184
0.2001	877.386	62.590	9.842	1.0829	0.4761	0.8317
0.2999	794.101	59.546	10.582	1.1228	0.4468	0.8449
0.4000	722.901	56.814	11.328	1.1613	0.4175	0.8584
0.5000	661.651	54.353	12.076	1.1982	0.3882	0.8721
0.6000	608.944	52.144	12.825	1.2342	0.3595	0.8857
0.7001	562.757	50.127	13.579	1.2694	0.3310	0.8991
0.7998	522.768	48.313	14.324	1.3034	0.3034	0.9125
0.9001	487.391	46.650	15.072	1.3367	0.2761	0.9258
1.0000	456.292	45.137	15.813	1.3693	0.2497	0.9389

T=323.15 K

0.0000	1189.265	74.164	7.991	1.0000	0.5675	0.8050
0.1001	1055.926	69.883	8.704	1.0417	0.5375	0.8191
0.2001	945.736	66.136	9.424	1.0828	0.5083	0.8325

0.2999	854.472	62.864	10.142	1.1223	0.4798	0.8460
0.4000	776.384	59.923	10.868	1.1607	0.4513	0.8597
0.5000	709.287	57.275	11.599	1.1976	0.4229	0.8734
0.6000	651.629	54.897	12.331	1.2337	0.3949	0.8869
0.7001	601.238	52.732	13.068	1.2691	0.3672	0.9002
0.7998	557.638	50.784	13.799	1.3032	0.3402	0.9135
0.9001	519.123	48.999	14.532	1.3368	0.3136	0.9267
1.0000	485.254	47.374	15.261	1.3696	0.2877	0.9396

Alcool Furfurylique (1) + 1-Propanol (2)

T=293.15 K

0.0000	829.04	58.682	9.851	1.0000	0.4143	0.7993
0.0999	759.19	56.156	10.538	1.0409	0.3897	0.8163
0.2000	698.55	53.866	11.227	1.0799	0.3650	0.8337
0.2999	645.36	51.775	11.917	1.1168	0.3396	0.8514
0.4001	598.20	49.847	12.612	1.1519	0.3137	0.8694
0.5000	562.85	48.352	13.213	1.1841	0.2938	0.8884
0.6000	535.68	47.170	13.736	1.2135	0.2785	0.9085
0.7000	497.01	45.436	14.490	1.2440	0.2468	0.9269
0.7999	463.57	43.881	15.229	1.2731	0.2162	0.9453
0.8999	434.61	42.488	15.949	1.3012	0.1870	0.9638
1.0000	409.78	41.256	16.641	1.3282	0.1599	0.9822

T=303.15 K

0.0000	886.071	61.783	9.480	1.0000	0.4464	0.7998
0.0999	809.882	59.067	10.153	1.0409	0.4223	0.8169
0.2000	743.983	56.613	10.827	1.0799	0.3980	0.8343
0.2999	686.707	54.390	11.499	1.1168	0.3735	0.8519
0.4001	635.585	52.327	12.179	1.1519	0.3481	0.8700
0.5000	597.018	50.714	12.771	1.1839	0.3281	0.8892
0.6000	568.429	49.485	13.274	1.2134	0.3138	0.9092
0.7000	526.549	47.627	14.015	1.2438	0.2827	0.9276
0.7999	490.311	45.959	14.744	1.2730	0.2525	0.9460
0.8999	458.721	44.454	15.459	1.3010	0.2232	0.9646
1.0000	432.059	43.143	16.139	1.3281	0.1967	0.9830

T=313.15 K

0.0000	948.439	65.075	9.116	1.0000	0.4775	0.8004
0.0999	865.245	62.156	9.773	1.0408	0.4537	0.8176
0.2000	794.021	59.543	10.428	1.0799	0.4303	0.8349
0.2999	731.220	57.140	11.089	1.1167	0.4059	0.8526
0.4001	675.710	54.928	11.756	1.1518	0.3809	0.8707
0.5000	634.233	53.215	12.333	1.1837	0.3615	0.8899
0.6000	603.917	51.928	12.818	1.2132	0.3481	0.9100
0.7000	558.379	49.932	13.548	1.2437	0.3174	0.9284
0.7999	519.020	48.140	14.267	1.2729	0.2876	0.9468
0.8999	484.989	46.535	14.970	1.3010	0.2589	0.9653
1.0000	455.745	45.110	15.649	1.3280	0.2320	0.9838

T=323.15 K

0.0000	1016.842	68.577	8.757	1.0000	0.5074	0.8011
0.0999	925.903	65.439	9.398	1.0408	0.4842	0.8183
0.2000	847.994	62.625	10.040	1.0799	0.4611	0.8357

0.2999	779.507	60.043	10.687	1.1167	0.4371	0.8534
0.4001	719.148	57.671	11.340	1.1517	0.4127	0.8716
0.5000	674.505	55.853	11.902	1.1837	0.3939	0.8908
0.6000	638.469	54.340	12.444	1.2206	0.3812	0.9053
0.7000	592.735	52.358	13.089	1.2437	0.3510	0.9292
0.7999	549.874	50.429	13.799	1.2729	0.3215	0.9477
0.8999	512.880	48.703	14.494	1.3010	0.2931	0.9662
1.0000	481.091	47.170	15.166	1.3280	0.2663	0.9847

Alcool Furfurylique (1) + 2-Propanol (2)

T=293.15 K

0.0000	948.79	62.777	9.101	1.0000	0.4761	0.8031
0.0998	848.74	59.375	9.869	1.0413	0.4433	0.8199
0.1999	765.43	56.386	10.637	1.0807	0.4108	0.8371
0.3000	694.10	53.694	11.414	1.1181	0.3776	0.8545
0.4001	633.44	51.294	12.188	1.1535	0.3447	0.8723
0.4998	581.43	49.144	12.958	1.1870	0.3118	0.8903
0.6002	536.14	47.191	13.729	1.2192	0.2790	0.9086
0.7001	497.29	45.449	14.486	1.2499	0.2472	0.9269
0.8001	463.69	43.886	15.227	1.2793	0.2164	0.9453
0.9001	434.68	42.491	15.948	1.3075	0.1872	0.9638
1.0000	409.78	41.256	16.641	1.3345	0.1599	0.9822

T=303.15 K

0.0000	1019.836	66.283	8.731	1.0000	0.5073	0.8036
0.0998	909.710	62.602	9.483	1.0412	0.4751	0.8205
0.1999	819.007	59.399	10.231	1.0806	0.4436	0.8377
0.3000	741.083	56.503	10.991	1.1180	0.4113	0.8551
0.4001	674.679	53.912	11.753	1.1533	0.3787	0.8730
0.4998	617.712	51.586	12.513	1.1867	0.3461	0.8911
0.6002	568.932	49.507	13.267	1.2191	0.3143	0.9093
0.7001	526.775	47.637	14.012	1.2497	0.2830	0.9276
0.8001	490.336	45.960	14.744	1.2791	0.2526	0.9461
0.9001	458.596	44.448	15.462	1.3072	0.2231	0.9646
1.0000	432.059	43.143	16.139	1.3344	0.1967	0.9830

T=313.15 K

0.0000	1099.449	70.065	8.361	1.0000	0.5377	0.8042
0.0998	978.560	66.101	9.093	1.0412	0.5066	0.8211
0.1999	877.975	62.611	9.829	1.0805	0.4754	0.8384
0.3000	792.432	59.483	10.574	1.1179	0.4437	0.8559
0.4001	719.796	56.691	11.322	1.1532	0.4118	0.8738
0.4998	658.035	54.205	12.065	1.1868	0.3802	0.8918
0.6002	604.477	51.952	12.811	1.2190	0.3486	0.9101
0.7001	558.635	49.943	13.545	1.2497	0.3177	0.9284
0.8001	519.041	48.141	14.267	1.2790	0.2877	0.9469
0.9001	484.886	46.530	14.972	1.3073	0.2589	0.9653
1.0000	455.745	45.110	15.649	1.3343	0.2320	0.9838

T=323.15 K

0.0000	1189.265	74.164	7.991	1.0000	0.5675	0.8050
0.0998	1054.279	69.828	8.709	1.0411	0.5367	0.8220
0.1999	943.435	66.055	9.429	1.0805	0.5064	0.8392

Chapitre 2 Propriétés volumétriques acoustiques et optiques des mélanges binaires

0.3000	849.056	62.664	10.161	1.1178	0.4752	0.8567
0.4001	769.194	59.644	10.896	1.1532	0.4439	0.8746
0.4998	701.591	56.963	11.626	1.1868	0.4129	0.8926
0.6002	643.014	54.533	12.361	1.2190	0.3817	0.9110
0.7001	593.024	52.371	13.085	1.2497	0.3513	0.9293
0.8001	549.914	50.431	13.798	1.2791	0.3215	0.9477
0.9001	512.781	48.699	14.496	1.3074	0.2930	0.9662
1.0000	481.091	47.170	15.166	1.3344	0.2663	0.9847

Tableau 2.5 : Volume molaire d'excès V_m^E , la déviation en compression isentropique $\Delta\kappa_s$ et la déviation en indice de réfraction Δn_D pour les systèmes binaires Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2), aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P = 0.1$ MPa.

	293.15 K			303.15 K			313.15 K			323.15 K		
	$V^E/$ ($\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$)	$\Delta\kappa_s/$ (TPa^{-1})	Δn_D	$V^E(\text{cm}^3\text{mol}^{-1})$	$\Delta\kappa_s/(\text{TPa}^{-1})$	Δn_D	$V^E/(\text{cm}^3\text{mol}^{-1})$	$\Delta\kappa_s/(\text{TPa}^{-1})$	Δn_D	$V^E/(\text{cm}^3\text{mol}^{-1})$	$\Delta\kappa_s/(\text{TPa}^{-1})$	Δn_D
Furfural (1) + 1-Propanol (2)												
0	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000
0.1000	-0.1327	-33.108	0.0022	-0.1218	-35.292	0.0022	-0.1179	-37.6560	0.0026	-0.1273	-40.353	0.0029
0.2000	-0.2873	-52.627	0.0041	-0.2880	-57.935	0.0042	-0.3106	-62.6369	0.0045	-0.3585	-68.024	0.0055
0.3000	-0.4039	-65.139	0.0053	-0.4109	-70.590	0.0053	-0.4442	-76.6781	0.0058	-0.4955	-83.468	0.0073
0.3999	-0.5132	-70.172	0.0061	-0.5359	-76.285	0.0062	-0.5793	-83.0488	0.0069	-0.6002	-90.088	0.0089
0.5001	-0.6684	-72.932	0.0067	-0.6761	-78.354	0.0071	-0.6630	-83.7002	0.0081	-0.6027	-89.201	0.0104
0.6002	-0.6398	-64.466	0.0064	-0.6364	-69.684	0.0070	-0.5998	-74.9815	0.0092	-0.5321	-80.375	0.0103
0.7000	-0.5670	-53.909	0.0057	-0.5477	-58.164	0.0060	-0.4932	-62.3443	0.0076	-0.4361	-66.876	0.0092
0.8004	-0.4215	-39.237	0.0046	-0.3959	-42.217	0.0049	-0.3521	-45.2095	0.0056	-0.3132	-48.557	0.0060
0.9001	-0.2299	-21.330	0.0022	-0.2170	-23.235	0.0024	-0.1892	-24.5148	0.0035	-0.1691	-26.303	0.0036
1.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000
Furfural (1) + 2-Propanol (2)												
0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000
0.1001	-0.1150	-49.362	0.0021	-0.1007	-53.124	0.0022	-0.0942	-57.543	0.0033	-0.0960	-62.898	0.0044
0.2001	-0.2225	-78.487	0.0037	-0.2094	-85.406	0.0046	-0.2052	-93.356	0.0063	-0.1980	-102.644	0.0097
0.2999	-0.3220	-94.154	0.0048	-0.3002	-102.752	0.0063	-0.2755	-112.456	0.0079	-0.2429	-123.650	0.0141
0.4000	-0.3625	-99.832	0.0062	-0.3340	-109.024	0.0078	-0.2954	-119.254	0.0093	-0.2564	-131.243	0.0190

Chapitre 2 Propriétés volumétriques acoustiques et optiques des mélanges binaires

0.5000	-0.3310	-97.625	0.0060	-0.3073	-106.293	0.0073	-0.2735	-116.230	0.0096	-0.2370	-127.984	0.0183
0.6000	-0.3164	-87.821	0.0060	-0.2834	-95.695	0.0071	-0.2447	-104.594	0.0093	-0.2141	-115.211	0.0149
0.7001	-0.2732	-72.627	0.0053	-0.2409	-79.028	0.0058	-0.2097	-86.386	0.0066	-0.1851	-95.115	0.0114
0.7998	-0.1930	-52.342	0.0038	-0.1704	-56.975	0.0043	-0.1481	-62.287	0.0048	-0.1309	-68.562	0.0075
0.9001	-0.0993	-27.855	0.0024	-0.0870	-30.371	0.0022	-0.0755	-33.172	0.0032	-0.0669	-36.483	0.0039
1.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000

Alcool Furfurylique (1) + 1-Propanol (2)

0	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000
0.0999	-0.0984	-27.976	0.0019	-0.1001	-30.846	0.0024	-0.1018	-33.9869	0.0032	-0.1034	-37.432	0.0038
0.2000	-0.1749	-46.640	0.0036	-0.1773	-51.288	0.0037	-0.1797	-55.8805	0.0047	-0.1845	-61.700	0.0057
0.2999	-0.2294	-57.956	0.0045	-0.2322	-63.220	0.0048	-0.2359	-69.4741	0.0051	-0.2410	-76.679	0.0066
0.4001	-0.2634	-63.088	0.0050	-0.2664	-68.828	0.0052	-0.2705	-75.5929	0.0057	-0.2764	-83.330	0.0070
0.5000	-0.0882	-56.541	0.0043	-0.0835	-62.028	0.0046	-0.0777	-67.8374	0.0053	-0.0717	-74.438	0.0066
0.6000	0.2605	-41.814	0.0032	0.2842	-45.247	0.0035	0.3109	-48.9176	0.0045	0.3403	-56.936	0.0059
0.7000	0.1532	-38.539	0.0029	0.1699	-41.709	0.0030	0.1887	-45.1680	0.0036	0.2085	-49.076	0.0046
0.7999	0.0703	-30.107	0.0022	0.0807	-32.597	0.0023	0.0923	-35.3138	0.0028	0.1041	-38.422	0.0033
0.8999	0.0169	-17.135	0.0013	0.0216	-18.782	0.0014	0.0269	-20.0711	0.0016	0.0318	-21.836	0.0015
1.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.000

Alcool Furfurylique (1) + 2-Propanol (2)

0	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.0000
0.0998	-0.1816	-46.256	0.0022	-0.1843	-51.457	0.0025	-0.1888	-56.6379	0.0025	-0.1987	-64.300	0.0033
0.1999	-0.3056	-75.596	0.0038	-0.3091	-83.309	0.0040	-0.3179	-92.7721	0.0048	-0.3327	-104.237	0.0062
0.3000	-0.3991	-92.997	0.0053	-0.4048	-102.428	0.0055	-0.4164	-113.9148	0.0066	-0.4358	-127.767	0.0085

Chapitre 2 Propriétés volumétriques acoustiques et optiques des mélanges binaires

0.4001	-0.4432	-99.712	0.0060	-0.4506	-110.008	0.0066	-0.4638	-122.1281	0.0075	-0.4851	-136.755	0.0104
0.4998	-0.4473	-97.976	0.0063	-0.4560	-108.373	0.0064	-0.4691	-119.7120	0.0076	-0.4916	-133.752	0.0117
0.6002	-0.4243	-89.141	0.0059	-0.4321	-98.127	0.0061	-0.4450	-108.6283	0.0074	-0.4652	-121.213	0.0102
0.7001	-0.3698	-74.165	0.0051	-0.3768	-81.582	0.0052	-0.3879	-90.1829	0.0061	-0.4054	-100.477	0.0074
0.8001	-0.2806	-53.846	0.0042	-0.2864	-59.228	0.0042	-0.2949	-65.3897	0.0044	-0.3081	-72.751	0.0053
0.9001	-0.1659	-28.946	0.0021	-0.1657	-32.180	0.0023	-0.1699	-35.1622	0.0025	-0.1783	-39.054	0.0031
1.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.000	0.0000

Tableau 2.6: La déviation de la longueur libre intermoléculaire (ΔL_f), déviation de l'impédance acoustique (ΔZ) et la déviation de vitesse du son (Δu) pour les systèmes binaires Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2), aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression P = 0,1 MPa.

x_1	293.15 K			303.15 K			313.15 K			323.15 K		
	$\Delta L_f / (10^{-12} m)$	$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\Delta u \text{ (ms}^{-1}\text{)}$	$\Delta L_f / (10^{-12} m)$	$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\Delta u \text{ (ms}^{-1}\text{)}$	$\Delta L_f / (10^{-12} m)$	$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\Delta u \text{ (ms}^{-1}\text{)}$	$\Delta L_f / (10^{-12} m)$	$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\Delta u \text{ (ms}^{-1}\text{)}$
Furfural (1) + 1-Propanol (2)												
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1000	-0.9693	0.0304	5.2858	-1.0129	0.0237	4.8908	-1.0579	0.0175	4.4279	-1.1089	0.0127	3.9329
0.2000	-1.5505	0.0451	6.8227	-1.6895	0.0480	7.5727	-1.7949	0.0439	7.1768	-1.9144	0.0421	6.7068
0.3000	-1.9556	0.0712	9.0253	-2.0879	0.0667	8.9904	-2.2326	0.0644	8.7815	-2.3895	0.0628	8.4366
0.3999	-2.1417	0.0946	9.9471	-2.2973	0.0929	10.0768	-2.4648	0.0923	10.0146	-2.6262	0.0853	9.6843
0.5001	-2.2067	0.1379	11.1135	-2.3579	0.1319	11.1886	-2.5008	0.1193	10.9238	-2.6255	0.0968	10.3489
0.6002	-2.0489	0.1461	11.1284	-2.1818	0.1372	11.0889	-2.3039	0.1202	10.7714	-2.4143	0.0962	10.1818
0.7000	-1.7419	0.1421	10.2043	-1.8503	0.1312	10.1792	-1.9430	0.1109	9.7881	-2.0380	0.0900	9.2931
0.8004	-1.2880	0.1174	8.2344	-1.3628	0.1062	8.1452	-1.4292	0.0895	7.8020	-1.5018	0.0744	7.4528
0.9001	-0.7132	0.0740	5.1752	-0.7687	0.0726	5.5504	-0.7886	0.0567	4.8436	-0.8275	0.0476	4.5888
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Furfural (1) + 2-Propanol (2)												
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1001	-1.3547	0.0100	7.8101	-1.4240	0.0009	7.1861	-1.5039	-0.0074	6.5622	-1.6006	-0.0146	5.9882
0.2001	-2.1816	0.0092	11.6287	-2.3260	-0.0007	11.1609	-2.4859	-0.0106	10.5929	-2.6667	-0.0214	10.0350
0.2999	-2.6544	0.0104	13.5066	-2.8418	-0.0007	13.2345	-3.0430	-0.0141	12.7924	-3.2651	-0.0295	12.2804
0.4000	-2.8582	0.0144	14.6633	-3.0639	0.0022	14.5073	-3.2790	-0.0143	14.0714	-3.5238	-0.0313	13.6354

Chapitre 2 Propriétés volumétriques acoustiques et optiques des mélanges binaires

0.5000	-2.8433	0.0232	15.5000	-3.0355	0.0074	15.0500	-3.2479	-0.0103	14.6100	-3.4944	-0.0270	14.2200
0.6000	-2.5923	0.0246	14.4742	-2.7714	0.0100	14.2002	-2.9639	-0.0074	13.7562	-3.1915	-0.0227	13.4422
0.7001	-2.1763	0.0300	12.7545	-2.3222	0.0154	12.4366	-2.4846	0.0004	12.0687	-2.6745	-0.0131	11.7807
0.7998	-1.5875	0.0251	9.6373	-1.6952	0.0145	9.4251	-1.8144	0.0032	9.1629	-1.9530	-0.0070	8.9409
0.9001	-0.8545	0.0152	5.3820	-0.9151	0.0102	5.3460	-0.9782	0.0035	5.1601	-1.0518	-0.0025	5.0041
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Alcool Furfurylique+ 1-Propanol (2)

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0999	-0.7861	0.0096	1.2308	-0.8542	0.0075	1.3770	-0.9256	0.0047	1.4362	-1.0004	0.0012	1.4205
0.2000	-1.3308	0.0188	2.1307	-1.4420	0.0146	2.3127	-1.5397	0.0057	1.9707	-1.6706	0.0009	2.0587
0.2999	-1.6818	0.0308	3.1314	-1.8031	0.0214	2.9396	-1.9489	0.0143	2.9968	-2.1147	0.0081	3.1391
0.4001	-1.8626	0.0444	4.1614	-1.9982	0.0339	3.9752	-2.1591	0.0258	4.0410	-2.3402	0.0184	4.1667
0.5000	-1.6165	-0.0325	-0.9205	-1.7480	-0.0390	-0.7206	-1.8765	-0.0498	-0.9357	-2.0198	-0.0603	-1.1158
0.6000	-1.0564	-0.1884	-10.6673	-1.1140	-0.2021	-11.2513	-1.1685	-0.2182	-12.0573	-1.3927	-0.1588	-12.8732
0.7000	-1.0478	-0.1136	-5.3527	-1.1075	-0.1265	-5.9107	-1.1676	-0.1410	-6.6077	-1.2340	-0.1552	-7.2898
0.7999	-0.8627	-0.0529	-1.5752	-0.9136	-0.0631	-2.0070	-0.9653	-0.0746	-2.5548	-1.0242	-0.0853	-3.0426
0.8999	-0.5126	-0.0118	0.3828	-0.5546	-0.0139	0.4869	-0.5736	-0.0249	-0.2219	-0.6092	-0.0312	-0.5057
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Alcool Furfurylique+ 2-Propanol (2)

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0998	-1.2543	0.0156	4.9822	-1.3712	0.0122	5.1097	-1.4732	0.0041	4.6783	-1.6413	0.0025	5.0140
0.1999	-2.0888	0.0288	8.4484	-2.2571	0.0187	8.1826	-2.4640	0.0106	8.1487	-2.7112	0.0035	8.2390
0.3000	-2.6271	0.0512	11.6395	-2.8384	0.0380	11.3005	-3.0957	0.0272	11.2446	-3.4017	0.0178	11.3397
0.4001	-2.8732	0.0709	13.7795	-3.1134	0.0581	13.6274	-3.3898	0.0452	13.4891	-3.7200	0.0343	13.5689
0.4998	-2.8782	0.0888	15.0771	-3.1326	0.0792	15.2927	-3.3886	0.0613	14.6935	-3.7100	0.0491	14.6494

Chapitre 2 Propriétés volumétriques acoustiques et optiques des mélanges binaires

0.6002	-2.6700	0.1030	15.3618	-2.8875	0.0895	15.1333	-3.1353	0.0755	14.8807	-3.4290	0.0636	14.8299
0.7001	-2.2629	0.1064	14.2268	-2.4459	0.0945	14.0256	-2.6518	0.0816	13.7414	-2.8958	0.0707	13.6462
0.8001	-1.6723	0.0939	11.4535	-1.8085	0.0854	11.3493	-1.9581	0.0751	11.0930	-2.1352	0.0664	10.9826
0.9001	-0.9149	0.0610	6.8029	-1.0064	0.0625	7.2956	-1.0730	0.0514	6.6873	-1.1678	0.0462	6.5818
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tableau 2.7: valeurs des coefficients A_i , et les déviations standard σ , obtenues par l'équation de Redlich-Kister, pour les systèmes binaires Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2), aux différentes températures (293.15, 303.15, 313.15, 323.15) K et à la pression $P = 0.1$ MPa.

	T (K)	A1	A2	A3	A4	A5	σ
Furfural (1) + 1-Propanol (2)							
$V_m^E / (cm^3 mol^{-1})$	293.15	-2.541	-1.120	1.531	0.860	-1.247	0.026
	303.15	-2.586	-0.877	1.987	0.515	-1.531	0.024
	313.15	-2.571	4.000	2.043	-0.777	-1.230	0.021
	323.15	-2.388	5.000	0.733	0.076	0.57279	0.039
$\Delta\kappa_s / (TPa^{-1})$	293.15	-285.888	59.567	35.642	32.547	-99.706	1.044
	303.15	-308.155	70.776	20.578	23.228	-78.756	0.9
	313.15	-330.426	85.763	-16.214	5.211	-16.298	0.8
	323.15	-355.554	100.838	-16.335	-3.917	-14.250	0.3
$\Delta L_\beta / (10^{-12} m)$	293.15	-8.785	1.006	0.402	1.143	-1.981	0.012
	303.15	-9.374	1.319	0.204	0.730	-1.665	0.014
	313.15	-9.960	1.703	0.146	0.338	-1.040	0.011
	323.15	-10.486	2.196	-0.474	-0.325	0.019	0.007
$\Delta Z / (10^5 kg m^{-2} s^{-1})$	293.15	0.528	0.492	-0.248	-0.308	0.523	0.005
	303.15	0.504	0.403	-0.284	-0.158	0.540	0.006
	313.15	0.461	0.272	-0.288	-0.029	0.356	0.004
	323.15	0.382	0.118	-0.085	0.181	0.033	0.002
$\Delta u / (m.s^{-1})$	293.15	44.371	11.791	-2.741	-17.551	36.197	0.274
	303.15	44.287	8.003	3.020	-8.159	28.944	0.212
	313.15	43.329	6.996	3.855	-7.658	14.480	0.109
	323.15	41.226	4.981	5.740	-1.324	6.320	0.061
Δn_D	293.15	0.026	0.003	0.003	-0.004	-0.008	0.0002
	303.15	0.027	0.007	-0.002	-0.013	0.006	0.0002
	313.15	0.015	-0.011	-0.019	0.018	0.015	0.0004
	323.15	0.012	-0.017	-0.015	0.014	0.012	0.0004
Furfural (1) + 2-Propanol (2)							
$V_m^E / (cm^3 mol^{-1})$	293.15	-1.406	0.382	0.257	-0.503	-	0.013
	303.15	-1.290	0.464	0.287	-0.633	-	0.010
	313.15	-1.137	0.508	0.155	-0.594	-	0.010
	323.15	0.431	-0.029	-0.322	0.431	-	0.009
$\Delta\kappa_s / (TPa^{-1})$	293.15	-389.801	121.653	-39.943	41.986	-33.512	0.146
	303.15	-424.908	136.198	-46.915	33.256	-22.280	0.1
	313.15	-464.165	151.345	-60.732	27.333	-2.384	0.1
	323.15	-511.267	166.138	-62.161	28.115	-3.710	0.2
$\Delta L_\beta / (10^{-12} m)$	293.15	-11.343	2.662	-0.813	1.235	-1.016	0.006
	303.15	-12.127	2.972	-0.963	0.865	-0.623	0.003
	313.15	-12.971	3.241	-1.197	0.653	-0.150	0.004
	323.15	-13.952	3.448	-1.285	0.614	0.053	0.007
293.15	0.083	0.133	0.077	-0.145		0.0016	

$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1})$	303.15	0.026	0.097	0.052	-0.049	-	0.0008
	313.15	-0.043	0.081	0.047	-0.012	-	0.0011
	323.15	-0.110	0.094	0.043	-0.025	-	0.0014
	293.15	61.028	-0.772	6.414	-25.539	20.792	0.173
$\Delta u / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	303.15	59.759	-2.513	6.954	-16.623	13.747	0.093
	313.15	57.955	-2.876	7.272	-11.277	6.696	0.097
	323.15	56.410	-2.021	6.114	-8.323	2.491	0.106
	293.15	0.025	0.0008	-0.008	0.001	0.012	0.0002
Δn_D	303.15	0.030	-0.005	-0.004	0.011	-0.011	0.0002
	313.15	0.039	-0.007	-0.029	0.005	0.039	0.0004
	323.15	0.073	-0.028	-0.080	0.043	0.062	0.0007

Alcool Furfurylique (1) + 1-Propanol (1)

$V_m^E / (\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1})$	293.15	-0.119	3.619	-0.488	-5.273	-	0.084
	303.15	-0.084	3.802	-0.512	-5.535	-	0.089
	313.15	-0.045	4.014	-0.536	-5.843	-	0.094
	323.15	-0.004	4.257	-0.576	-6.207	-	0.099
$\Delta \kappa_s / (\text{TPa}^{-1})$	293.15	-222.116	166.376	-33.598	-198.212	-	2.6
	303.15	-240.403	175.603	-56.516	-174.248	-	3.1
	313.15	-262.715	196.972	-59.226	-194.499	-	3.6
	323.15	-292.322	210.223	-54.904	-193.501	-	2.9
$\Delta L_f / (10^{-12} \text{ m})$	293.15	-6.200	5.657	-1.674	-7.136	-	0.121
	303.15	-6.630	6.229	-1.875	-7.808	-	0.134
	313.15	-7.106	6.919	-1.888	-8.590	-	0.153
	323.15	-7.815	7.210	-1.587	-8.451	-	0.122
$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1})$	293.15	-0.247	-1.516	0.348	2.566	-	0.042
	303.15	-0.292	-1.552	0.355	2.609	-	0.042
	313.15	-0.338	-1.596	0.307	2.624	-	0.044
	323.15	-0.300	-1.395	0.088	2.129	-	0.025
$\Delta u / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	293.15	-10.475	-93.446	30.940	165.453	-	2.737
	303.15	-11.590	-97.286	32.240	169.954	-	2.826
	313.15	-12.707	-102.046	28.158	172.880	-	3.022
	323.15	-13.9	-109.2	27.5	182.5	-	3.153
Δn_D	293.15	0.017	-0.013	0.001	0.016	-	0.0002
	303.15	0.018	-0.014	0.0008	0.019	-	0.0001
	313.15	0.020	-0.009	0.007	-0.002	-	0.0002
	323.15	0.026	-0.010	0.004	-0.007	-	0.0001

Alcool Furfurylique (1) + 2-Propanol (1)

$V_m^E / (\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1})$	293.15	-1.796	0.192	-0.167	-0.143	-	0.003
	303.15	-1.830	0.175	-0.144	-0.098	-	0.003
	313.15	-1.884	0.177	-0.140	-0.099	-	0.003
	323.15	-1.971	0.188	-0.152	-0.101	-	0.004
$\Delta \kappa_s / (\text{TPa}^{-1})$	293.15	-392.181	108.528	-31.423	16.979	-13.567	0.166
	303.15	-433.224	120.490	-19.037	18.827	-47.301	0.2
	313.15	-478.992	140.116	-43.067	6.739	-19.905	0.0
	323.15	-535.629	157.626	-40.131	24.759	-31.494	0.3
293.15	-11.524	2.075	-0.572	0.393	-0.386	0.006	

	303.15	-12.518	2.263	0.032	0.358	-1.738	0.008
$\Delta L_f / (10^{-12} \text{ m})$	313.15	-13.567	2.585	-0.574	0.258	-0.525	0.005
	323.15	-14.864	2.904	-0.533	0.500	-0.967	0.010
	293.15	0.359	0.338	0.068	-0.024	0.046	0.001
$\Delta Z / (10^5 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1})$	303.15	0.314	0.332	-0.090	0.033	0.378	0.001
	313.15	0.249	0.323	0.033	0.018	0.087	0.001
	323.15	0.201	0.319	0.014	-0.007	0.136	0.002
	293.15	60.528	16.876	3.837	-5.659	5.508	0.103
$\Delta u / (m.s^{-1})$	303.15	60.774	16.516	-11.933	-1.408	38.143	0.131
	313.15	58.985	15.226	0.820	-1.247	8.581	0.070
	323.15	59.010	14.754	-0.812	-4.480	13.838	0.138
Δn_D	293.15	0.024	-0.00001	0.0008	0.0002	-0.002	0.0002
	303.15	0.026	-0.004	0.001	0.013	-0.010	0.0001
	313.15	0.030	-0.003	-0.004	0.004	-0.002	0.0001
	323.15	0.045	-0.005	-0.051	0.005	0.058	0.0003

Références bibliographiques

Aralaguppi, M, C, Jadar, and T, Aminabhavi, Density, viscosity, refractive index, and speed of sound in binary mixtures of acrylonitrile with methanol, ethanol, propan-1-ol, butan-1-ol, pentan-1-ol, hexan-1-ol, heptan-1-ol, and butan-2-ol, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 1999, 44(2): p, 216-221.

Awwad, A,M, et al., Densities and volumetric properties of (N-(2-hydroxyethyl) morpholine+ ethanol,+ 1-propanol,+ 2-propanol,+ 1-butanol, and+ 2-butanol) at (293,15, 298,15, 303,15, 313,15, and 323,15) K, *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 2008, 40(4): p, 592-598.

Belhadj, D, et al, Density, speed of sound, refractive index and related derived/excess properties of binary mixtures (furfural+ dimethyl sulfoxide),(furfural+ acetonitrile) and (furfural+ sulfolane) at different temperatures, *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 330: p, 115436.

Belhadj, D., et al, Thermodynamic, ultrasonic, and transport study of binary mixtures containing 2-(2-methoxyethoxy) ethanol and alcohols at (293,15–323,15) K, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2020, 65(11): p, 5192-5209.

Bendiaf, L., et al, Effects of alkyl group and temperature on the interactions between furfural and alcohol: Insight from density and sound velocity studies, *Thermochimica acta*, 2015, 599: p, 13-22.

Bendiaf, L, et al., Isothermal vapor–liquid equilibria of binary systems containing green solvents derived from biomass:(Furfuryl alcohol+ toluene),(furfuryl alcohol+ ethanol), or (furfural+ toluene), *Fuel*, 2014, 122: p, 247-253.

de Almeida, B,F, et al., Experimental and calculated liquid–liquid equilibrium data for water+ furfural+ solvents, *Fluid phase equilibria*, 2012, 334: p, 97-105.

Fortin, T., J, Laesecke, A., Freund, M., and Outcalt, S. (2013). Advanced calibration, adjustment, and operation of a density and sound speed analyzer. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 57 :276–285.

Lomba, L, et al, Physicochemical properties of green solvents derived from biomass, *Green chemistry*, 2011, 13(8): p, 2062-2070.

Mahi, M,R, et al., Excess/deviation properties of binary mixtures of 2, 5-dimethylfuran with furfuryl alcohol, methyl isobutyl ketone, 1-butanol and 2-butanol at temperature range of (293,15–323,15) K, *Oil & Gas Sciences and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles*, 2018, 73: p, 64.

Mutalik, V, et al., Excess molar volumes, deviations in viscosity and refractive index of the binary mixtures of mesitylene with ethanol, propan-1-ol, propan-2-ol, butan-1-ol, pentan-1-ol, and 3-methylbutan-1-ol at 298,15, 303,15, and 308,15 K, *Journal of molecular liquids*, 2006, 129(3): p, 147-15

Nain, A,K, Deviations in refractive indices and applicability of mixing rules in aniline+ alkanol binary mixtures at different temperatures, *Physics and Chemistry of Liquids*, 2010, 48(1): p, 41-49.

Naorem, H, and S,K, Suri, Excess molar enthalpies for binary liquid mixtures of furfural with some aromatic hydrocarbons, *Journal of solution chemistry*, 1989, 18: p, 493-497.

Ouaar, F, et al., Vapor–liquid equilibria, density, sound velocity, and refractive index for binary mixtures containing 2-(2-ethoxyethoxy) ethanol and 1-propanol or 2-propanol or 1-butanol or 2-butanol at different temperatures, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2020, 65(5): p, 2351-2372.

Rodriguez, A, J, Canosa, and J, Tojo, Density, refractive index, and speed of sound of binary mixtures (diethyl carbonate+ alcohols) at several temperatures, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2001, 46(6): p, 1506-1515.

Stephenson, R, and M, Van Winkle, Modification of Relative Volatilities by Addition of Solvent, *Journal of Chemical and Engineering Data*, 1962, 7(4): p, 510-516.

Yan, K, et al., Production, properties and catalytic hydrogenation of furfural to fuel additives and value-added chemicals, *Renewable and sustainable energy reviews*, 2014, 38: p, 663-676.

Zaoui-Djelloul-Daouadji, M,, et al,, Volumetric and acoustic properties of binary systems (furfural or furfuryl alcohol+ toluene) and (furfuryl alcohol+ ethanol) at different temperatures, *Thermochimica acta*, 2015, 611: p, 47-5

Chapitre 3
Modélisation
Thermodynamique de la densité

Introduction

L'étude complète du comportement des systèmes chimiques nécessitent une modélisation thermodynamique, afin de comprendre et anticiper les propriétés physiques et les interactions moléculaires au sein des mélanges.

Les équations prédictives, PSRK (Predictive Soave-Redlich-Kwong) et VTPR (Volume-Translated Peng-Robinson) sont deux modèles thermodynamiques qui utilise le concept de contribution de groupes. Ces deux équations se distinguent par leur précision et leur capacité à décrire les propriétés thermo-physiques ainsi que les équilibres entre phases pour les mélanges liquide.

L'équation PSRK est amélioration de l'équation de Soave-Redlich-Kwong par l'introduction des paramètres empiriques ajustables afin d'améliorer la précision de prédiction. De plus, l'équation d'état VTPR combine l'équation de Peng-Robinson avec un nouveau terme d'attraction, des règles de mélange améliorées utilisant une approche de contribution de groupe, et une translation de volume pour une meilleure représentation des propriétés des mélanges à haute pression.

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de la modélisation de la densité à l'aide des équations PSRK et VTPR des quatre systèmes étudiés à différentes températures. Les calculs ont été effectués en utilisant le logiciel Simulis Thermodynamics (PROSIM).

3.1. L'équation PSRK

L'équation d'état PSRK (Predictive Soave-Redlich-Kwong) est basée sur l'équation de Soave et Redlich-Kwong développée en 1972 (Soave et al, 1972). C'est une équation prédictive est basée sur la méthode de contribution de groupe. L'équation PSRK est donnée par :

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a(T)}{V(V + b)} \quad (3.1)$$

Pour améliorer la prédiction de l'équation d'état et inclure les mélanges de composés polaires et non polaires, deux modifications ont été apportés. La première modification

concerne la variation de température du paramètre a_i de composé pur, initialement exprimé par Soave en fonction du facteur acentrique ω .

Les formulations originales des paramètres attractifs a_i et du covolume b_i pour les composés purs, exprimés par Soave sont donnés par :

$$a_i(T) = 0,42748 \frac{R^2 T_{c,i}^2}{P_{c,i}} \alpha(T_r) \quad (3.2)$$

$$\alpha(T) = [1 + c_1 (1 - T_r^{0,5})]^2 \quad (3.3)$$

$$c_1 = 0,48 + 1,574 \omega - 0,176 \omega^2 \quad (3.4)$$

$$b_i = 0,08664 \frac{R T_{c,i}}{P_{c,i}} \quad (3.5)$$

Cette dépendance de la température permet d'obtenir des données précises pour les composés non polaires. Toutefois, pour améliorer la prédiction des composés polaires, des ajustements supplémentaires sont nécessaires.

L'expression $\alpha(T_r)$ proposée par Mathias et Copeman en 1983 est utilisée dans l'équation PSRK:

$$\alpha(Tr) = [1 + c_1 (1 - Tr^{0,5}) + c_2 (1 - Tr^{0,5})^2 + c_3 (1 - Tr^{0,5})^3]^2 Tr < 1 \quad (3.6)$$

$$\alpha(Tr) = [1 + c_1 (1 - Tr^{0,5})]^2 \quad Tr > 1 \quad (3.7)$$

Les paramètres ajustables c_1 , c_2 et c_3 sont disponibles dans la base de données Dortmund Data Bank (D.D.B) pour de nombreux composés purs.

La deuxième modification concerne la règle de mélange du paramètre a_i . Pour estimer $a(T)$, la méthode de contribution de groupes UNIFAC (Fredenslund, et al 2002) est utilisée, comme recommandé par Holderbaum et Gmehling (1991). Les règles de mélange PSRK sont ainsi formulées :

$$\frac{a}{bRT} = \sum_i x_i \frac{a_i}{b_i RT} + \frac{g_0^E}{RT} + \frac{\sum_i x_i \ln b/b_i}{0,64663} \quad (3.8)$$

Avec

$$b = \sum_{i=1}^n x_i b_i \quad (3.9)$$

Ces règles de mélange peuvent être utilisées pour les équations d'état cubiques.

L'équation PSRK est efficace pour prédire les équilibres liquide-vapeur ainsi que les solubilités de gaz à différentes pressions. Elle offre des prédictions fiables sur une large gamme de températures et de pressions.

3.2. L'équation VTPR

L'équation d'état VTPR (Volume-Translated Peng-Robinson), introduite par Ahlers et Gmehling entre 2001 et 2004. Cette équation a été développée pour améliorer la modélisation des mélanges liquides, surmontant les limitations du modèle PSRK, notamment pour les densités liquides, l'enthalpie d'excès etc.

Basée sur l'équation de Peng-Robinson (PR), VTPR intègre une correction de volume pour mieux appréhender les interactions moléculaires non idéales. Contrairement à Peng-Robinson, VTPR prédit précisément les densités des mélanges binaires liquides en utilisant une combinaison linéaire des volumes molaires des composants.

L'équation d'état VTPR combine l'équation de Peng-Robinson avec la méthode de contribution de groupes UNIFAC (Do) (Weidlich, U. and J. Gmehling, et al, 1987). De plus, elle utilise des règles de mélange améliorées suggérées par Chen (2002) et intègre des paramètres d'interaction dépendant de la température, offrant ainsi une modélisation plus complète et précise du comportement des mélanges liquides.

L'équation VTPR est définie par l'expression suivante :

$$p = \frac{RT}{v + c - b} - \frac{a(T)}{(v + c)(v + c + b) + b(v + c - b)} \quad (3.10)$$

Le paramètre attractif a_i et le covolume b_i des composés purs peuvent être calculés directement à partir des données critiques :

$$a_i(T) = 0,45724 \frac{R^2 T_{c,i}^2}{P_{c,i}} \alpha(T_r) \quad (3.11)$$

$$b_i = 0,0778 \frac{R T_{c,i}}{P_{c,i}} \quad (3.12)$$

La dépendance de la température du paramètre d'attraction est prise en compte en utilisant la fonction $\alpha(T)$ proposée par Twu en 1991 (Twu et al., 1991). Cette fonction est définie comme suit pour une température réduite T_r :

$$\alpha(T_r) = T_r^{N(M-1)} \exp [L (1 - T_r^{NM})] \quad (3.13)$$

Les paramètres N , M et L pour les composés purs sont déterminées par régression des données expérimentales de pression de vapeur.

Pour $T_r > 1$, une forme généralisée de la fonction α a été proposée par Twu :

$$\alpha(T_r) = \alpha^{(0)} + \omega (\alpha^{(1)} - \alpha^{(0)}) \quad (3.14)$$

Dans cette forme généralisée, la valeur de la fonction α est calculée en prenant en compte le facteur acentrique ω et les paramètres L , M et N généralisés, dérivés des solubilités des gaz azote et hydrogène dans les alcanes à longues chaînes.

La fonction alpha de Soave-Boston-Mathias (S.B.M) est une modification de la forme originale proposée par Soave :

$$\alpha(T_r) = [1 + k(1 - T_r)]^2 \quad (3.15)$$

Le paramètre k est donné comme suit :

$$k = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 \quad (3.16)$$

Avec ω étant le facteur acentrique de la substance.

3.3. Résultats de la modélisation de la densité

Dans cette partie, nous présentons les résultats de calcul de la densité des systèmes binaires {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)} et {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)}, dans un intervalle de température allant de 293,15 K à 323,15 K en utilisant les équations PSRK et VTPR avec la règle de mélange de Stryjek-Vera.

Pour effectuer les calculs de la densité avec les équations PSRK et VTPR, il faut d'abord :

- ❖ Connaître les propriétés critique des corps purs, la température critique (T_c), la pression critique (P_c), et le facteur acentrique.
- ❖ Le découpage des composés étudiés.

Les paramètres d'ajustement des deux modèles sont obtenus par minimisation de l'erreur (SSQ) entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculer comme suit :

$$SSQ = \frac{100}{N} \sum \left(\frac{\rho_{exp} - \rho_{cal}}{\rho_{exp}} \right)^2 \quad (3.17)$$

Ou N représente le nombre de points.

3.3.1. Modèle PSRK avec fonction α (Mathias Copeman)

Les résultats de calculs de la densité des quatre systèmes binaires en utilisant l'équations PSRK avec la fonction α de Mathias Copeman (MC) sont représentés dans les Figures 3.1 (a-d). Les valeurs SSQ sont données dans le Tableau 3.1.

D'après les Figures 3.1 (a-d), on observe une bonne corrélation entre les valeurs expérimentales de la densité et celle obtenues par calcul à l'aide de l'équation PSRK en utilisant la fonction α de « Mathias Copeman » pour chaque température et sur toute la gamme de composition.

Tableau 3.1 : Les erreurs SSQ selon l'équation PSRK avec avec la fonction α (Mathias Copeman) des systèmes étudiés.

Système binaire	SSQ
Furfural (1) + 1-propanol (2)	0.0011
Furfural (1) + 2-propanol (2)	0.0002
Alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)	0.0001
Alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)	0.0007

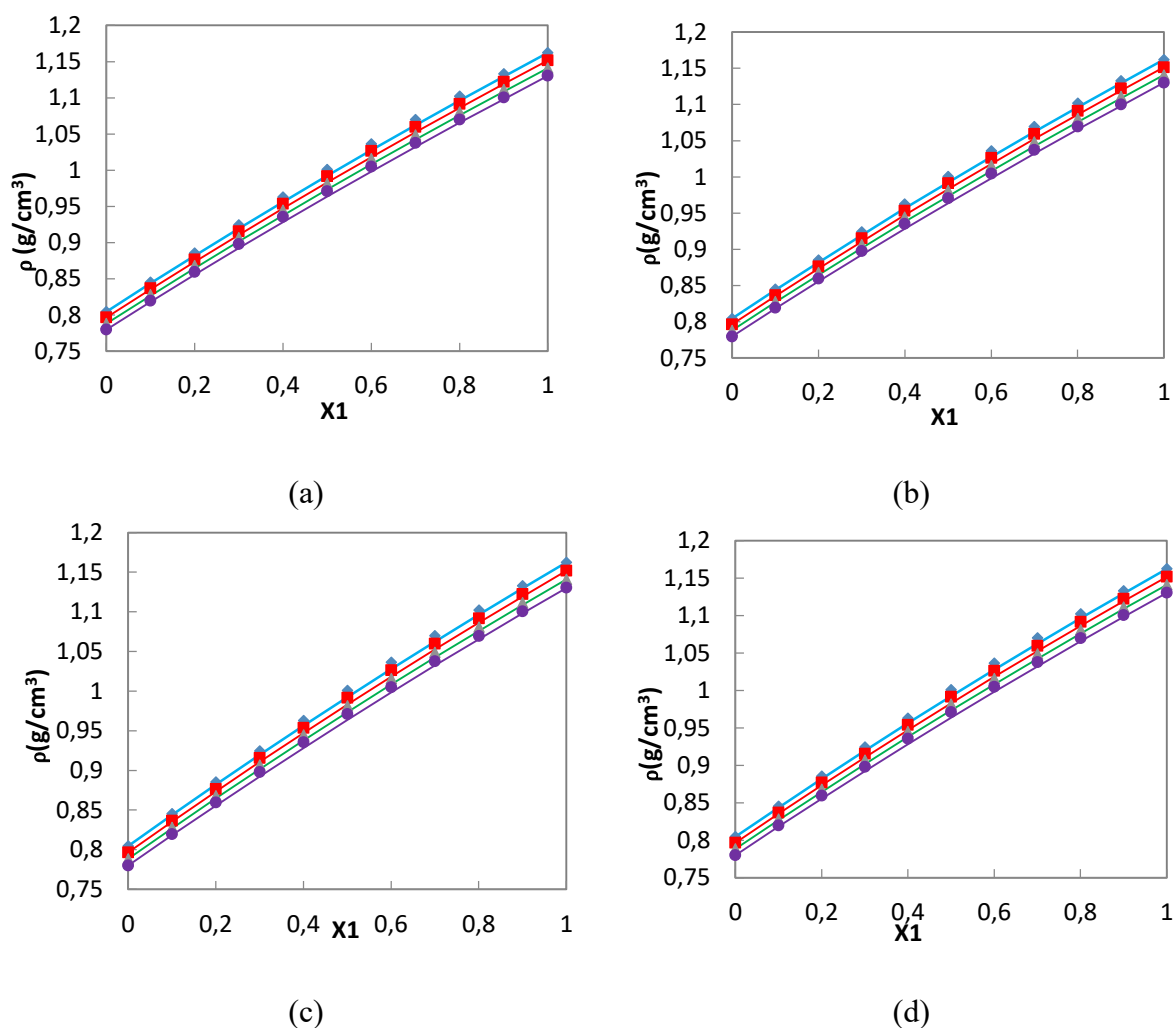


Figure 3.1: variation de la densité des systèmes binaire : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de x_1 à 293.15K (◆) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées avec l'équation de PSRK, fonction α (MC)

3.3.2. Modèle VTPR avec la fonction α (Twu)

Les résultats de la modélisation de la densité en utilisant l'équation VTPR avec la fonction α de (Twu) et la règle de mélange (Stryjek-Vera) pour les systèmes étudiés à différentes températures sont montrés dans les **Figures 3.2 (a-d)**. Pour chaque système binaire les paramètres k_{ij0} et k_{ijT} ont été optimisés sur les données expérimentales. Les valeurs des paramètres d'interaction binaires ainsi que l'erreur SSQ sont données dans le Tableau 3.2.

D'après le Tableau 3.2, nous avons constaté que les valeurs de k_{ij0} et k_{ijT} sont faibles et ne dépendent pas de la température pour tous les systèmes étudiés.

Le modèle VTPR avec la fonction α (Twu) et la règle de mélange (Stryjek-Vera) est capable de représenter correctement nos valeurs expérimentales de la densité pour {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, néanmoins on constate une déviation entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées dans la région riche en furfural.

Pour les systèmes {Alcool furfurylique(1) + 1-Propanol (2)}, { Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} l'équation VTPR avec la règle de mélange (Stryjek-Vera) a été capable de reproduire correctement les valeurs de la densité, une légère déviation a été observé pour les températures 313.15 et 323.15 K dans la région riche en alcool furfurylique.

Tableau 3.2 : Les paramètres d'interactions k_{ij0} et k_{ijT} de l'équation VTPR avec la fonction α (Twu) et règle de mélange (Stryjek-vera) et les erreurs SSQ des systèmes étudiées

Systeme binaire	K_{IJ0}	K_{IJT}	SSQ
Furfural (1) + 1-propanol (2)	-0.3295	0.00	0.0131
Furfural (1) + 2-propanol (2)	-0.1818	0.00	0.0133
Alcool furfurylique (1) + 1-propanol (2)	0.2640	0.00	0.0015
Alcool furfurylique (1) + 2-propanol (2)	0.2658	0.00	0.0013

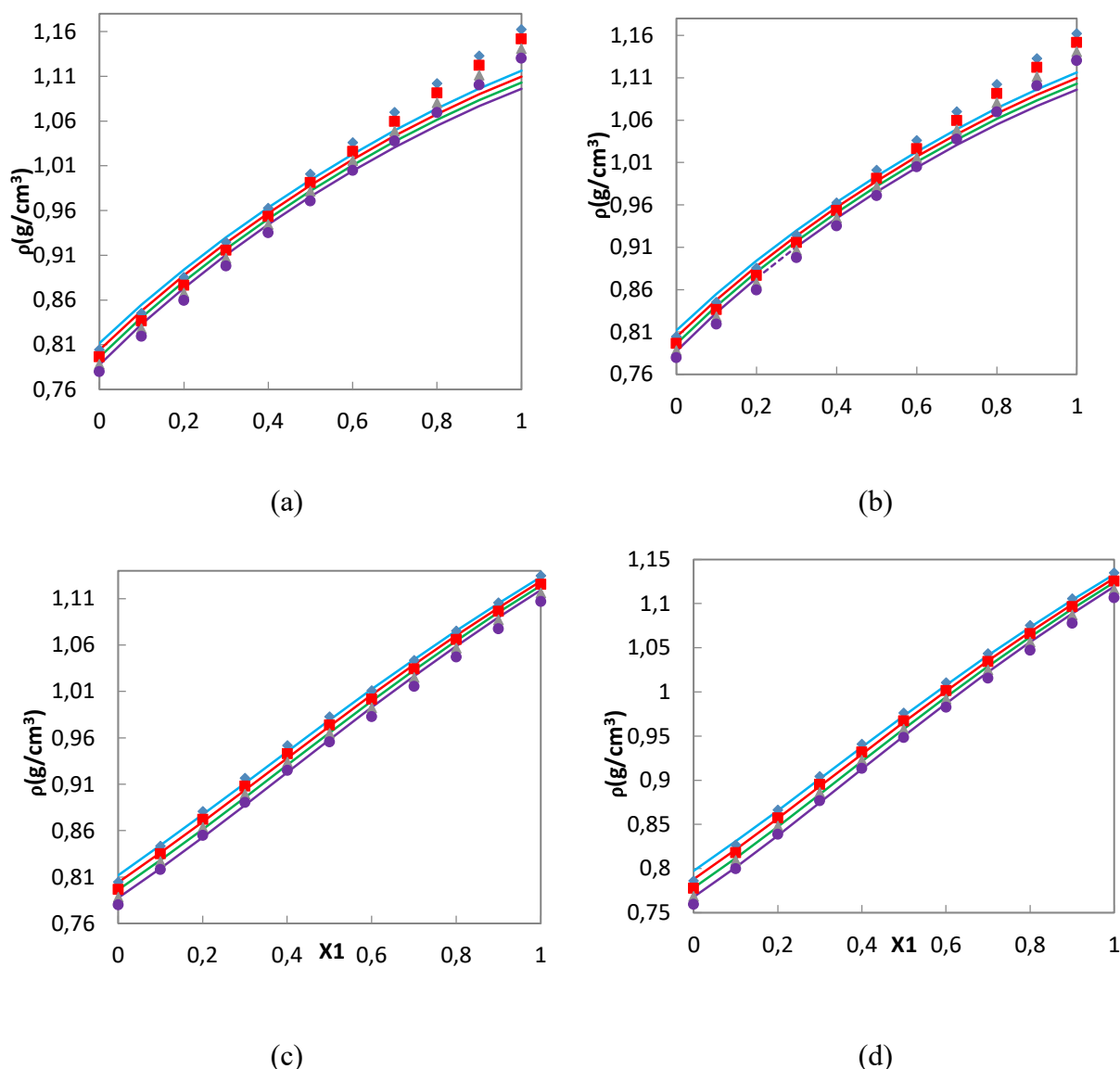


Figure 3.2 : variation de la densité (ρ) des systèmes binaires : (a) {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, (b) {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, (c) {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, (d) {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)} en fonction de x_1 à 293.15K (◆) 303.15 K (■) 313.15 K (▲) 323.15 K (●). Les lignes représentent les valeurs calculées avec l'équation de VTPR, fonction α (Twu)

3.3.3. Comparaison entre les équations PSRK et VTPR

Une comparaison graphique entre les valeurs SSQ des deux équations PSRK avec la fonction α (MC) et VTPR avec la fonction α (Twu) et la règle de mélange (Stryjek-vera) est donnée dans la figure 3.3. On remarque que les valeurs de SSQ les plus faibles sont obtenues à l'aide de l'équation PSRK. On constate que l'équation PSRK est meilleurs dans la modélisation des valeurs de la densité.

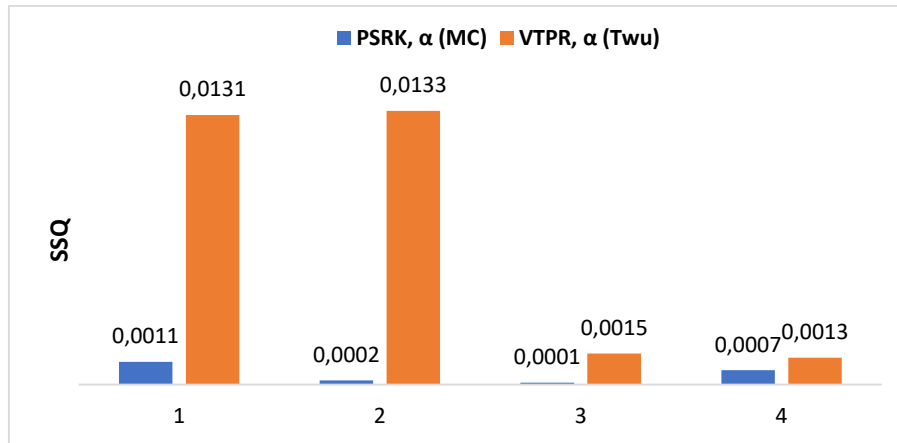


Figure 3.3 : Comparaison entre les SSQ obtenues à l'aide des deux équations PSRK et VTPR pour les quatre systèmes étudiés. **(1)** {Furfural (1) + 1-Propanol (2)}, **(2)** {Furfural (1) + 2-Propanol (2)}, **(3)** {Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2)}, **(4)** {Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2)}.

Références bibliographiques

Ahlers, J.; Gmehling, J. Development of a Universal Group Contribution Equation of State

Chen, J.; Fischer, K.; Gmehling, J. Modification of PSRK mixing rules and results for vaporliquid equilibria, enthalpy of mixing and activity coefficients at infinite dilution. Fluid Phase Equilib. 2002, 200,411.

Coefficients in NonIdeal Liquid Mixtures. AIChE Journal. 1975, 21, 1086-1098.

Fredenslund, A., Jones, R.L., Prausnitz, J.M. Group-Contribution Estimation of Activity III. Prediction of Vapor-Liquid Equilibria, Excess Enthalpies, and Activity Coefficients at Infinite Dilution with the VTPR Model. Ind. Eng. Chem. Res. 2002b, 41, 5890-5899

Twu, C.H., et al., A cubic equation of state with a new alpha function and a new mixing rule. Fluid Phase Equilibria, 1991. 69: p. 33-50.

Weidlich, U.; Gmehling, J. A Modified UNIFAC Model: 1. Prediction of VLE, HE, and γ_{∞} . Ind. Eng. Chem. Res. 1987, 26, 1372 - 1381.

Conclusion générale

Dans le cadre de ce mémoire nous avons étudié les propriétés thermo-physiques des composés issus de la biomasse (furfural et l'alcool furfurylique) avec 1-propanol ou 2-propanol. L'intérêt est de mieux comprendre la nature et l'influence des interactions intermoléculaires sur les propriétés mesurées.

Dans un premier temps, nous avons mesuré la densité, la vitesse du son et l'indice de réfraction à différentes températures $T = (293.15, 303.15, 313.15 \text{ et } 323.15) \text{ K}$ et à pression $P = 0.1 \text{ MPa}$ pour les systèmes binaires : Furfural (1) + 1-Propanol (2), Furfural (1) + 2-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 1-Propanol (2), Alcool furfurylique (1) + 2-Propanol (2).

Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer diverses propriétés thermodynamiques, notamment la compressibilité isentropique, la longueur libre intermoléculaire, l'impédance acoustique, l'association relative, la force de relaxation, la fonction du son molaire de Rao, ainsi que les propriétés d'excès ; volume molaire d'excès, la déviation en compressibilité isentropique, la déviation en longueur libre intermoléculaire, la déviation en impédance acoustique, la déviation en vitesse du son et la déviation en indice de réfraction.

Les résultats obtenus ont été interprétés en termes la nature des interactions moléculaires au seins des mélanges étudiés.

La seconde partie de ce travail a été consacrée à la modélisation de la densité des quatre systèmes binaires à différentes températures et sur toute la gamme de composition, à l'aide des équations PSRK et VTPR. L'application de ces deux équations a permis de représenter correctement nos valeurs expérimentales de la densité des systèmes étudiés.

Dans le futur, ces travaux seront complétés par :

- ❖ La détermination des propriétés thermodynamique (viscosité, capacité calorifique, l'enthalpie d'excès...etc.).
- ❖ La modélisation des caractéristiques thermodynamiques et thermo-physiques en utilisant l'équation l'état PC-SAFT pour les systèmes qui présentent un intérêt dans le domaine industriel.

ملخص

من بين مصادر الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية، الرياح، المائية، الحرارية الجوفية و الكتلة الحيوية)، تُعتبر الكتلة الحيوية الأكثر شيوعاً بشكل رئيسي بسبب قابليتها للتجديد، وقابليتها للتحلل البيولوجي، والكمية المقبولة من انبعاثات الغاز.

الهدف من هذا العمل هو دراسة الخصائص الحرارية والفيزيائية للخلائط الثنائية التي تحتوي على مركبات مشتقة من الكتلة الحيوية (Furfural, Alcool furfurilique) تم قياس الكثافة وسرعة الصوت ومعامل الانكسار عند درجات حرارة مختلفة وضغط جوي لأربعة خلائط ثنائية. تم استخدام النتائج التي تم الحصول عليها لحساب خصائص الفانص. تم استخدام معادلة ريدليش- كيبستر لربط خصائص الفانص
تم نمذجة البيانات التجريبية للكثافة باستخدام معادلات الحالة PSRK و VTPR للأنظمة الثنائية.

الكلمات المفتاحية : Furfural ، Alcool furfurilique ، الخصائص الحرارية-الفيزيائية، خصائص الفانص ، PSRK ، VTPR

Résumé

Parmi les énergies renouvelables (énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et biomasse), la biomasse est principalement la plus prometteuse en raison de son renouvellement, de sa biodégradabilité et de la quantité acceptable d'émissions de gaz.

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés thermo-physiques des mélanges binaires contenant des composés dérivés de la biomasse (Furfural, Alcool furfurilique). La densité, vitesses du son et l'indice de réfraction ont été mesurés à différentes températures et à pression atmosphérique pour quatre mélanges binaires. Les résultats obtenus ont été utilisés pour calculer les propriétés d'excès. L'équation de Redlich-Kister a été utilisée pour corrélérer les propriétés d'excès.

Les données expérimentales de la densité ont été modélisées en utilisant les équations d'état PSRK et VTPR des systèmes binaires.

Mots clés : Furfural, Alcool furfurilique, propriétés thermo-physique, Propriétés d'excès, PSRK, VTPR.

Abstract

Among renewable energies (solar, wind, hydro, geothermal, and biomass), biomass is the most promising mainly because of its renewal, biodegradability, and acceptable amount of gas emissions.

The objective of this work is to study the thermophysical properties of binary mixtures containing biomass derived compounds (furfural, furfuryl alcohol). Density, speed of sound, and refractive index were measured at different temperatures and at atmospheric pressure for the four binary mixtures. From the obtained results, excess properties were calculated. The Redlich-Kister equation was used to correlate the excess properties.

Experimental data of density were modeled using the PSRK and VTPR state equations of binary systems.

Keywords: furfural, furfuryl alcohol, thermo-physical properties, excess properties, PSRK, VTPR.