

## Etude des mélanges d'huiles pour le traitement des thermoplastiques : Cas du polyéthylène

### [ Study of oil mixtures for thermoplastic treatment : Case of polyethylene ]

Mérite MUNTUMOSI-SENZEDI, Jean-Pierre MBUNGU-TSUMBU, Edmond PHUKU-PHUATI, and Richard BOPILI-MBOTIA

Département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B. P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Experiments of partial cooking of the same quantity of polyethylene were carried out at fixed temperature and pressure in different solvents consisting of a mixture of vegetable oils. The final product obtained from certain oil mixtures showed three phases: a relatively fluid polymer-poor gelatinous phase, a polymer-rich gelatinous phase, and a solid phase consisted of polymeric lumps. The final product obtained from other oil mixtures did not show a solid phase of polymeric lumps, but only the polymer-rich gelatinous phase and the relatively fluid polymer-poor gelatinous phase. The polymer fraction effectively mixed with the solvent during the experiments of partial cooking was measured by the amount of the relatively fluid polymer-poor gelatinous phase. The amount of the collected relatively fluid polymer-poor gelatinous phase was studied in accordance with the Flory-Higgins theory as a function of the volume fraction of the oil mixture components in the initial solvent. This study shows that the behavior of the Flory parameter and that of the solubility parameter of the solvent can be described by the amount of the relatively fluid polymer-poor gelatinous phase. This study also suggests a method for obtaining an optimal two-component solvent that can mix with a thermoplastic polymer as polyethylene. The optimal solvent is the one that minimizes the amount of the relatively fluid polymer-poor gelatinous phase.

**KEYWORDS:** partial cooking, gelatinous polymer phases, free enthalpy, oils mixtures, polymer fraction, optimal solvent.

**RÉSUMÉ:** Des expériences de cuisson partielle d'une même quantité de polyéthylène ont été effectuées à température et à pression fixées dans de différents solvants constitués d'un mélange d'huiles (huile végétale/pétrole lampant). Le produit final obtenu à partir de certains mélanges d'huiles a montré trois phases : une phase gélatineuse pauvre en polymère, une phase gélatineuse riche en polymère, et une phase solide composée des grumeaux polymériques. Le produit final obtenu à partir d'autres mélanges d'huiles n'a pas montré des grumeaux, mais uniquement la phase gélatineuse riche en polymère et la phase gélatineuse pauvre en polymère. Un mélange optimal entre le polyéthylène et les huiles devrait être un mélange sans grumeaux avec la totalité du polymère effectivement mélangée aux huiles. La fraction polymère effectivement mélangée au solvant au cours des expériences de cuisson partielle a été mesurée par la quantité de la phase gélatineuse pauvre en polymère. Le comportement de la phase gélatineuse pauvre en polymère en fonction des différents solvants utilisés a été discuté dans le cadre de la théorie de Flory-Higgins. Il suggère que le paramètre de Flory (par conséquent l'enthalpie libre du mélange) devient minimal lorsque la proportion d'huile végétale dans le solvant atteint une certaine valeur critique. Ce comportement suggère aussi une méthode pour obtenir un solvant optimal à deux composantes qui peut se mélanger avec un polymère thermoplastique comme le polyéthylène. Le solvant optimal est celui qui minimise la quantité de la phase gélatineuse pauvre en polymère.

**MOTS-CLEFS:** cuisson partielle, phase polymérique gélatineuse, enthalpie libre, mélange d'huiles, fraction polymère, solvant optimal.

## 1 INTRODUCTION

Les plastiques sont devenus omniprésents. On les trouve à toutes les étapes du circuit économique, de la production à la consommation en passant par la distribution des produits. Les plastiques sont utilisés dans le secteur de transport des biens et

des personnes, dans le génie civil, dans la construction mécanique, dans l'enrobage des produits pharmaceutiques et comme emballages pour la conservation et la protection des produits alimentaires [1].

Les objets plastiques les plus courants sont des bouteilles, des flacons, des seaux, des bouchons, des casiers, des jouets, des gobelets, des tasses, des assiettes, des réservoirs, des tuyaux, des pots, des sacs à ordures, des emballages, des meubles de jardin, des isolants thermiques ou électriques, etc. Ces objets sont principalement générés à partir de six polymères suivants : le polyéthylène (basse ou haute densité), le polypropylène (PP), le chlorure de polyvinyle (PVC), le polystyrène (solide ou expansé), le polyéthylène téréphtalate (PET) et le polyuréthane [1].

Les six polymères cités sont repartis en deux grandes catégories selon leurs propriétés thermiques à savoir, les thermodurcissables qui durcissent sous l'effet de la chaleur, et les thermoplastiques qui ramollissent et deviennent souples sous l'effet de la chaleur. Les objets plastiques fabriqués à partir de ces polymères peuvent durer plus de 100 ans avant de se dégrader complètement [2].

Cependant, les plastiques génèrent des déchets abondants. Les déchets plastiques ont envahi tous les espaces de la vie sociale. A Kinshasa, de nombreux déchets plastiques, notamment des sachets et des bouteilles, envahissent non seulement les alentours de résidences privées, mais aussi les rues, les marchés et la plupart d'espaces publics. Ils envahissent aussi les égouts, les caniveaux, les rivières et le fleuve Congo. Ainsi, la dissémination des déchets plastiques à travers la nature est devenue un énorme problème environnemental.

Cette problématique des déchets plastiques se pose non seulement dans la ville de Kinshasa mais aussi dans les villes d'Afrique et d'outremer. Très peu d'initiatives ont été entreprises en Afrique à propos des déchets plastiques. Quelques pays africains, notamment le Madagascar et le Rwanda, ont émis une réglementation sur l'utilisation des emballages plastiques dans leurs pays. Les pays dits développés continuent à déployer des grands moyens pour limiter la prolifération des déchets plastiques dans la nature. En Belgique, par exemple, des professeurs d'université se sont impliqués dans la gestion des déchets plastiques [1]. Parmi les moyens utilisés pour limiter la prolifération des déchets plastiques dans la nature, on cite la réutilisation, la valorisation, l'incinération et la mise en décharge. Plusieurs entreprises ont développé des techniques de valorisation des déchets plastiques, soit pour leur transformation en d'autres produits, soit pour récupérer l'énergie calorifique qu'ils contiennent. La plupart de ces techniques reposent sur la dissolution des plastiques dans des solvants organiques tels que l'acétone, le toluène, le benzène, le chlorobenzène, le méthanol, le cyclohexanol, l'éthyléther, l'acétate d'éthyle, l'acide formique, le diméthylsulfoxyde (DMSO), le diméthylformamide, le 1,4-dioxane, le chloroforme, etc. Cependant, la dissolution des plastiques dans des solvants reste encore limitée à certaines résines plastiques [2 - 4].

Quelques auteurs [5 - 6] ont effectué des cuissons d'un mélange de deux polymères dans une huile pour obtenir des membranes avec des caractéristiques variées. Pour obtenir ces membranes, les auteurs ont dilué un mélange de polyfluorure de vinylidène (PVDF) et de l'alcool polyvinylique (PVA) dans le  $\epsilon$ -caprolactame (CPL). Ils ont ensuite procédé à la cuisson à 140°C dans une huile sous une atmosphère d'argon pour éviter l'oxydation de l'huile. Ces auteurs ont obtenu des membranes pour le traitement des eaux usées.

L'objectif de la présente étude est de rechercher des solvants capables de se mélanger aux thermoplastiques par la cuisson. Les produits polymériques qui en résultent peuvent avoir des applications intéressantes dans des domaines très variés [5 -11].

## 2 MÉTHODE

La méthodologie consiste à mesurer la fraction polymère effectivement mélangée au solvant à travers une série d'expériences de cuisson partielle d'une même quantité de polymère dans de différents solvants constitués d'un mélange d'huiles (huile végétale/pétrole lampant). Les différents solvants sont obtenus dans les limites entre l'huile végétale et le pétrole lampant en modifiant successivement leurs proportions respectives ( $\theta$  et  $1 - \theta$ ) dans le mélange.

A température et à pression fixées, le mélange parfait d'un polymère et d'un solvant n'est possible que si l'enthalpie libre du mélange est négative [12 - 14]. L'enthalpie libre du mélange  $\Delta G_{mél}$  comprend un terme d'enthalpie " $\Delta H_{mél}$ " et un terme d'entropie " $-T\Delta S_{mél}$ " et s'exprime de la manière suivante :

$$\Delta G_{mél} = \Delta H_{mél} - T\Delta S_{mél} \quad (1)$$

En accord avec la théorie de Flory-Huggins sur des mélanges polymère/solvant, l'enthalpie libre du mélange pourrait s'exprimer en termes des fractions volumiques  $\Phi$  et  $(1 - \Phi)$  des composantes du mélange polymère-solvant de la manière suivante :

$$\Delta G_{mel} = k_B T \chi \Phi(1 - \Phi) + k_B T \left[ \frac{\Phi}{N} \ln(\Phi) + (1 - \Phi) \ln(1 - \Phi) \right] \quad (2)$$

Le terme d'entropie " $-T\Delta S_{mél} = k_B T \left[ \frac{\Phi}{N} \ln(\Phi) + (1 - \Phi) \ln(1 - \Phi) \right]$ " tient compte du nombre d'arrangements des unités monomères dans le solvant. Tandis que le terme d'enthalpie " $\Delta H_{mél} = k_B T \chi \Phi(1 - \Phi)$ " décrit les différentes interactions entre les unités monomères et les molécules du solvant. Le paramètre  $k_B$  est la constante de Boltzmann,  $T$  est la température,  $N$  est le nombre moyen d'unités monomères par chaîne et  $\chi$  est un paramètre sans dimension appelé paramètre de Flory. C'est le paramètre de Flory  $\chi$  qui tient compte des différentes interactions dans le mélange [12, 13]. Ce paramètre de Flory s'exprime de la manière suivante :

$$\chi = \frac{Z}{k_B T} \left[ \chi_{MS} - \frac{1}{2} (\chi_{MM} + \chi_{SS}) \right] \quad (3)$$

avec  $Z$  le nombre de premiers voisins des unités monomères ou des molécules de solvant ;  $\chi_{MS}$  est l'énergie d'interaction entre une unité monomère et le solvant ;  $\chi_{MM}$  est l'énergie d'interaction entre unités monomères ;  $\chi_{SS}$  est l'énergie d'interaction entre molécules du solvant. Les interactions entre le polymère et le solvant sont du type Van der Waals.

La fraction polymère effectivement mélangée au solvant est supposée correspondre à la négativité de l'enthalpie libre du mélange. En effet, plus négative sera l'enthalpie libre du mélange, plus le mélange entre le polymère et le solvant sera parfait [12].

L'objectif des expériences de cuisson est d'obtenir le meilleur solvant pour un mélange optimal entre le polymère et un solvant choisi parmi les différents solvants utilisés dans les limites entre l'huile végétale et le pétrole lampant.

Selon l'approche de Hildebrand [12], le meilleur solvant sera celui qui minimise le paramètre de Flory, c'est-à-dire celui dont le paramètre de solubilité est le plus proche de celui du polymère. En effet, dans l'approche de Hildebrand, le paramètre de Flory peut s'écrire en termes des paramètres de solubilité du solvant ( $\delta_{\text{solvant}}$ ) et du polymère ( $\delta_{\text{polymère}}$ ) de la manière suivante :

$$\chi = \frac{v_m}{RT} (\delta_{\text{solvant}} - \delta_{\text{polymère}})^2 \quad (4)$$

avec  $R$  la constante des gaz parfaits et  $v_m$  le volume molaire du polymère. Les cuissons étant effectuées dans les mêmes conditions de température et de pression pour une même quantité de polymère et de solvant, seul le paramètre de Flory est supposé varier avec le changement de solvant dans l'expression de l'enthalpie libre. Ainsi, le degré du mélange polymère/solvant exprime le comportement du paramètre de Flory lequel ne dépend que du paramètre de solubilité du solvant.

La fraction polymère effectivement mélangée au solvant pendant une cuisson partielle indique la qualité du mélange polymère/solvant. Les cuissons partielles ont été effectuées sous la pression atmosphérique, à une température fixée pendant un temps fixé. Ce temps de cuisson a été fixé en vue d'obtenir une fusion suffisante du polymère dans le solvant pour favoriser le mélange.

### 3 MATÉRIELS ET EXPÉRIENCES

Parmi les matériels utilisés dans ces expériences figurent du polyéthylène, des huiles végétales et du pétrole lampant. Le polyéthylène est utilisé par des entreprises locales comme matière première dans la fabrication des objets plastiques les plus courants. Les huiles végétales sont très abondantes sur le marché de Kinshasa, notamment les huiles de palme brutes obtenues de façon artisanale et les huiles de palme raffinées. Le choix du pétrole lampant réside dans le fait qu'il dérive du pétrole comme le polyéthylène. Le pétrole lampant est le moins cher des produits dérivés du pétrole sur le marché local et reste parmi le moins dangereux des produits dérivés du pétrole dans les manipulations au laboratoire.

En outre, les masses spécifiques à 15°C de l'huile de palme brute, de l'huile de palme raffinée, du pétrole lampant et du polyéthylène sont comparables ; elles valent 0.90 – 0.91g/cm<sup>3</sup> pour l'huile de palme brute et l'huile de palme raffinée, 0.758-0.867 g/cm<sup>3</sup> pour le pétrole lampant et 0.917-0.960 g/cm<sup>3</sup> pour le polyéthylène [15 - 17]. Le point de fusion du polyéthylène situé autour de 110°C est très en dessous des points d'éclair des huiles végétales utilisées dans ce travail (>220°C pour l'huile de palme brute et 280-300°C pour l'huile de palme raffinée) [15 - 17]. Le Point d'éclair d'une substance est la température à laquelle la substance émet suffisamment de vapeurs pour qu'elle s'enflamme en contact d'une flamme ou d'une étincelle. Le point d'ébullition du kérosène paraffine est situé entre 150°C et 300°C [17]. Nous pouvons ainsi supposer que leurs volumes molaires sont comparables.

Les huiles végétales utilisées sont des huiles oléagineuses avec des propriétés variables selon leur origine et le mode d'obtention [18 - 20]. Des pelletes de polyéthylène de type LUPOLEN 1800 S fournies par la firme allemande BASELL ont été utilisées [21].

Des échantillons de mélange huile de palme brute/pétrole lampant de 100 ml ont été préparés avec une fraction relative d'huile de palme brute allant de 5 à 95 %. Ces échantillons ont été reposés à la température ambiante pendant 24 heures. Les

mélanges avec une fraction relative d'huile de palme brute supérieure à 60% se sont fixés pendant le repos de 24 heures et ont été écartés des expériences. Les échantillons de mélange qui sont restés fluides à la température ambiante pendant le repos ont été filtrés avec un tamis ordinaire de cuisine pour les débarrasser des impuretés inhérentes aux huiles de palme artisanales.

Des expériences de cuisson partielle de 0.4 g de polyéthylène ont ensuite été effectuées dans chacun des échantillons de mélange huile de palme brute/pétrole lampant restés fluides à la température ambiante après le repos de 24 heures. La cuisson a été effectuée à l'air libre en utilisant une plaque chauffante (labbox SBS CE 2012) munie d'un agitateur magnétique et d'un régulateur de température. Un thermomètre à mercure gradué de 0°C à 250°C était fixé dans la vapeur à environ un centimètre au-dessus de la surface libre du mélange. Un Becher (labbox LBG 3.3) de 500 ml a été utilisé comme récipient pour les cuissons. Une balance (Tanita modèle 1230) a été utilisée pour les pesées des échantillons. La figure 1 montre le montage expérimental.

Une fois le régulateur de température ajusté à 225 °C, l'évolution de la cuisson montre un chauffage rapide d'environ 35 minutes à partir de la température ambiante suivi d'une cuisson d'environ 10 minutes autour de 160°C, et ensuite d'un refroidissement libre jusqu'à la température ambiante à la suite de l'arrêt de chauffage. L'agitateur magnétique est resté opérationnel pendant toute la durée de la cuisson partielle. La figure 2 montre en fonction du temps l'évolution de la température dans la vapeur au-dessus de la surface libre du mélange pendant environ 2 heures avec le régulateur de température de la plaque chauffante ajusté à 225 °C. Elle montre aussi que les processus de dégradation du polyéthylène ne deviennent importants qu'après une heure de cuisson dans les conditions de cuisson fixées. Ainsi, la dégradation du polyéthylène peut être minimisée pendant les cuissons de 45 minutes.

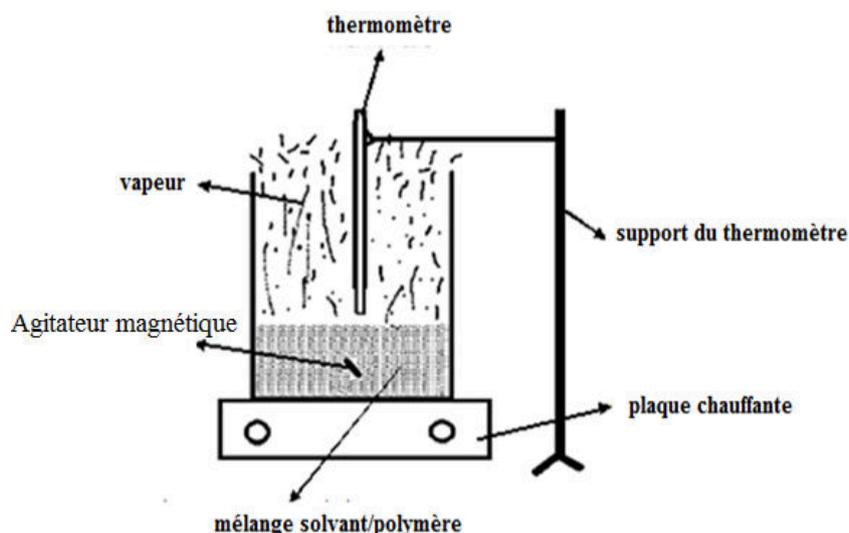
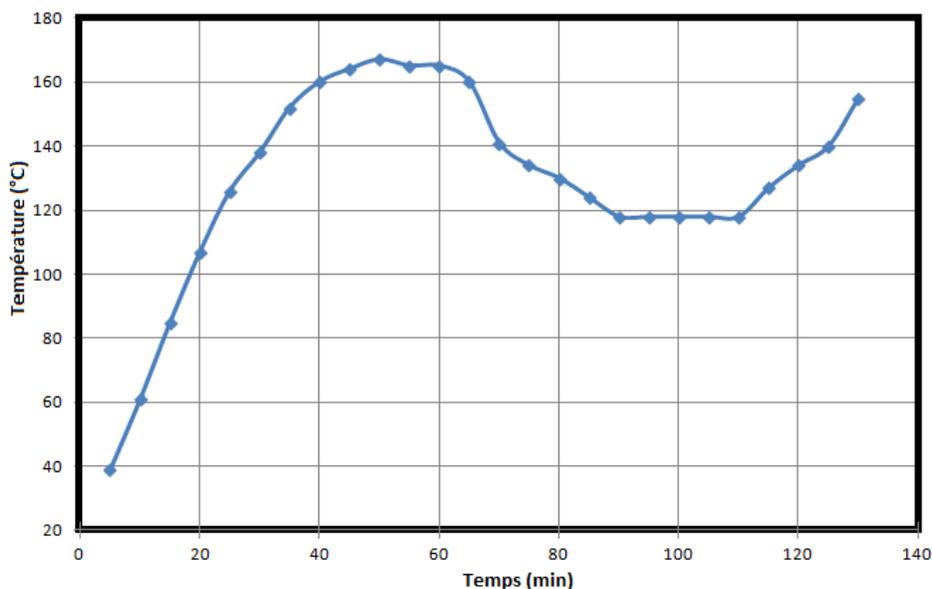


Fig. 1. Montage expérimental pour la cuisson du polyéthylène dans un mélange d'huiles

Pendant la cuisson au-dessus de 130 °C, il a été observé une fusion progressive du polyéthylène dans le mélange huile de palme/ pétrole lampant. Ensuite, au cours du refroidissement à partir de 75°C environ, il est apparu trois phases dans le produit final obtenu avec certains mélanges d'huiles. Les trois phases sont : une phase gélatineuse relativement fluide pauvre en polymère, une phase gélatineuse riche en polymère, et une phase solide composée des grumeaux polymériques. Les grumeaux polymériques se présentent soit en boules, soit en lamelles selon la proportion de pétrole lampant dans le solvant initial utilisé. Le produit final obtenu avec d'autres mélanges d'huiles n'a pas montré de phase solide composée des grumeaux, mais uniquement la phase gélatineuse riche en polymère et la phase gélatineuse pauvre en polymère. Un mélange optimal entre le polyéthylène et les huiles devrait être un mélange sans grumeaux avec la totalité du polymère effectivement mélangée aux huiles.

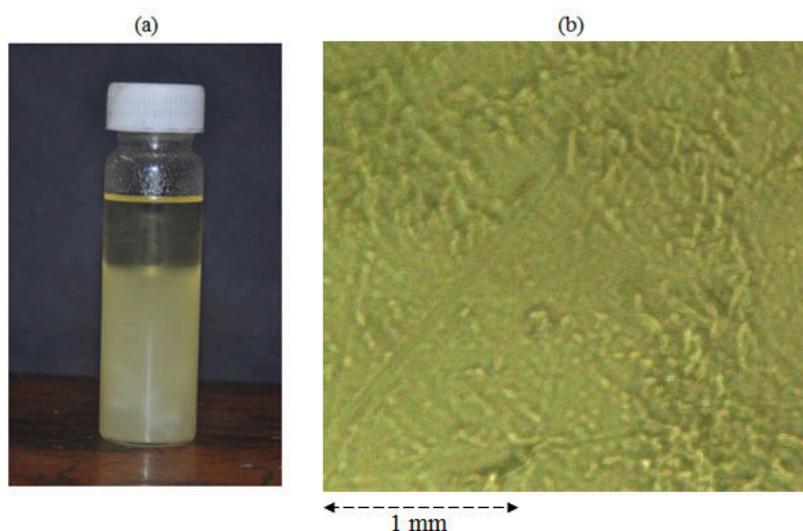


**Fig. 2.** Evolution de la température dans la vapeur au-dessus de la surface libre du mélange

Les mêmes expériences de cuisson ont été effectuées en utilisant l’huile de palme raffinée à la place de l’huile de palme brute dans le solvant. Des observations analogues sur le comportement du produit final de cuisson ont été faites en utilisant l’huile de palme raffinée à la place de l’huile de palme brute dans le solvant. L’huile de palme raffinée a été obtenue en commerce sur le marché local. Contrairement à l’huile de palme brute pour laquelle certains mélanges avec le pétrole lampant se fixent, tous les mélanges du pétrole lampant avec l’huile de palme raffinée sont restés fluides.

Le produit final résultant de la cuisson partielle a été versé dans un pied gradué à travers un filtre de cuisine afin de recueillir la phase gélatineuse relativement plus fluide, pauvre en polymère. Cette quantité de la phase gélatineuse pauvre en polymère recueillie dans le pied gradué (que nous appelons phase gélatineuse légère) est une mesure de la fraction polymère effectivement mélangée au solvant pendant la cuisson. En effet, il a été observé que plus grande était la quantité de la phase gélatineuse légère, plus grande était aussi la quantité des grumeaux dans le produit final de cuisson, et donc moins importante la fraction polymère effectivement mélangée au solvant. Les grumeaux polymériques représentent la fraction polymère non mélangée au solvant.

Une façon plus simple de mesurer la fraction polymère non mélangée au solvant serait de peser la phase solide composée des grumeaux polymériques. Il faudrait alors parvenir à laver cette phase solide des phases gélatineuses qui l’émergent complètement.



**Photo 1 :** (a) produit final à deux phases; (b) vue au microscope d'une phase gélatineuse

Cette présentation du mélange optimal en deux phases (photo 1) ressemble aux observations de nombreux auteurs qui ont élaboré des membranes polymériques poreuses à des finalités médicales par des techniques TIPS (Techniques de séparation des phases induite thermiquement) [22 - 26]. Yihong Gong et al. (2005), par exemple, ont dissout à 80°C un polymère biodégradable, le Poly L – acide lactique (PLLA), dans un mélange dioxanne/eau pour élaborer un composé à deux phases polymériques, l'une riche en polymère et l'autre moins riche en polymère. Ces auteurs ont séché la partie riche en polymère pour obtenir une membrane poreuse avec des pores supérieurs à 300 µm [10].

#### 4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de mesure obtenus pour chaque expérience de cuisson comprennent les quantités relatives de la phase gélatineuse légère recueillie à l'issu de chaque cuisson ainsi que les quantités relatives des composants du solvant initial. Ces données peuvent être présentées dans un tableau ou dans un graphique. Les figures 3 et 4 présentent la quantité relative de la phase gélatineuse légère recueillie en fonction de la fraction volumique d'huile de palme dans le solvant initial utilisé pendant la cuisson.

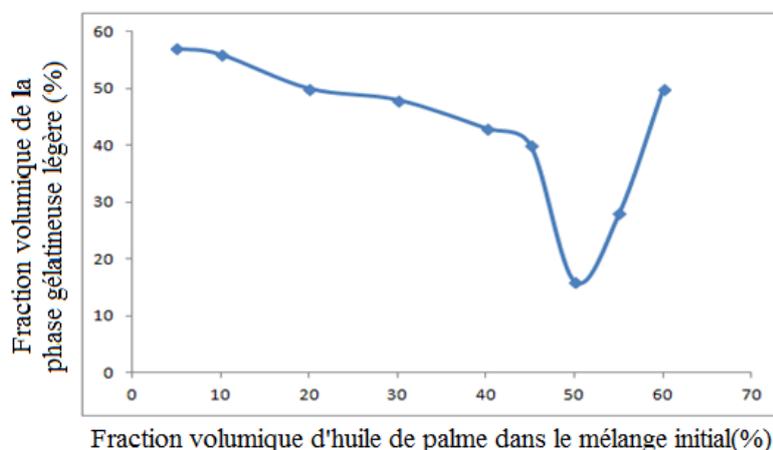


Fig. 3. Quantité relative de la phase gélatineuse légère en fonction de la fraction volumique d'huile de palme brute dans le solvant initial

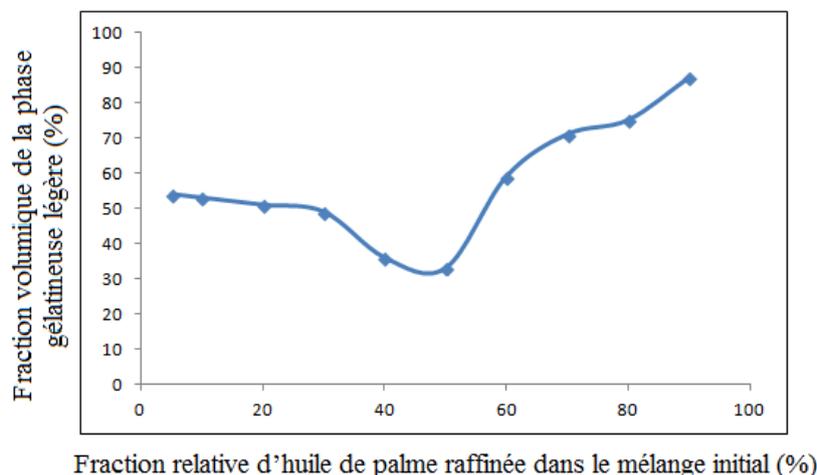


Fig. 4. Quantité relative de la solution légère en fonction de la fraction volumique d'huile de palme raffinée dans le solvant initial

La figure 3 montre que la phase gélatineuse légère diminue d'abord de manière monotone lorsque la fraction volumique d'huile de palme dans le solvant augmente de 5% à 45%, qu'elle manifeste un pic de décroissance relativement très fin, autour de la valeur de 50% de la fraction volumique d'huile de palme, et qu'elle augmente ensuite rapidement avec des valeurs de la fraction volumique d'huile de palme supérieures à 50%.

Sur la figure 4, on observe que la phase gélatineuse légère diminue d'abord de manière monotone lorsque la fraction volumique d'huile de palme raffinée dans le solvant augmente de 5% à 30%, qu'elle manifeste un pic de décroissance

relativement large, entre les valeurs de 30% et 60% de la fraction volumique d'huile de palme raffinée, et qu'elle augmente ensuite rapidement avec des valeurs de la fraction volumique d'huile de palme raffinée supérieures à 60%.

On peut aussi observer dans les deux figures 3 et 4 que le volume de la phase gélatineuse légère se situe entre 50% et 60 % du volume initial du solvant lorsque la fraction volumique d'huile de palme est inférieure à 30%. Dans la figure 4, le volume de la phase gélatineuse légère approche le volume initial du solvant lorsque la fraction volumique d'huile végétale raffinée est supérieure à 60%.

Le comportement des mélanges polymériques avec l'huile de palme brute est semblable à celui des mélanges avec l'huile raffinée. Toutefois, la fraction d'huile de palme brute à appliquer dans le mélange pour obtenir une phase gélatineuse polymérique se situe dans un domaine beaucoup plus étroit que celui dans lequel se situe la fraction d'huile végétale raffinée. Le pic de décroissance plus prononcé et étroit avec l'huile de palme brute est probablement dû au fait que les huiles artisanales contiennent plus d'acides gras que les huiles raffinées qui ont subi un traitement d'élimination des acides gras.

Le comportement de la phase gélatineuse légère dans la figure 3 et dans la figure 4 pourrait s'expliquer dans le cadre de la théorie de Flory-Higgins. Le pic de décroissance observé sur la figure 3 ou sur la figure 4 autour de 50% suggère que le paramètre de solubilité du solvant devient plus proche de celui du polymère et que le paramètre de Flory devient minimal lorsque la proportion d'huile végétale dans le solvant atteint une certaine valeur critique située autour de 50%, ceci selon l'approche de Hildebrand (équation 4). Le pic de décroissance observé suggère aussi que l'enthalpie libre du mélange atteint sa valeur minimale lorsque la proportion d'huile végétale dans le solvant atteint une certaine valeur critique située autour de 50%. Ainsi, lorsque l'enthalpie libre du mélange atteint sa valeur minimale, les différentes molécules des huiles sont plus proches des monomères et interagissent beaucoup plus facilement pour former une phase gélatineuse polymérique. Les interactions monomère-solvant dominant dans le paramètre de Flory (équation 3), et les interactions entre unités monomères ou entre molécules du solvant ont presque disparus dans ces conditions du solvant. En outre, lorsque la proportion d'huile végétale dans le solvant s'éloigne de cette valeur critique autour de 50% dans un sens comme dans l'autre (figure 3 et figure 4), les interactions entre unités monomères ou entre molécules du solvant dominant pendant que les interactions monomère-solvant disparaissent progressivement dans le paramètre de Flory. On peut alors comprendre que la variation de l'enthalpie du mélange  $\Delta H_{mél}$  (équation 1) pendant les processus de cuisson apporte une contribution indispensable pour obtenir un mélange optimal entre le polyéthylène et les huiles utilisées dans ce travail.

Ces expériences montrent que la quantité de la phase gélatineuse légère du produit final recueilli est une mesure de la fraction polymère effectivement mélangée au solvant. Elles montrent aussi que le comportement de l'enthalpie du mélange " $\Delta H_{mél} = k_B T \chi \Phi(1 - \Phi)$ " en fonction du paramètre de Flory peut être décrit par la quantité de la phase gélatineuse légère du produit final recueilli lorsque la quantité de polymère reste fixée.

## 5 CONCLUSION

Ce travail suggère une méthode pour obtenir un solvant optimal à deux composantes capable de se mélanger avec un polymère thermoplastique. Il s'agit d'effectuer une série d'expériences de cuisson partielle d'une même quantité de polymère dans de différents mélanges d'huiles en variant la proportion de l'une des composantes dans le mélange. Il s'agit ensuite de porter en graphique la quantité de la phase gélatineuse légère après la cuisson partielle en fonction de la proportion de l'une des composantes d'huiles dans le mélange. Le comportement de la quantité de la phase gélatineuse légère après la cuisson partielle révèle un pic de décroissance lorsque la proportion d'une des huiles dans le mélange atteint une certaine valeur critique.

La quantité de la phase gélatineuse légère après la cuisson partielle est une mesure de la fraction polymère effectivement mélangée au solvant. Le solvant optimal est celui qui minimise la quantité de la phase gélatineuse légère obtenue après la cuisson partielle. Le comportement de la quantité de la phase gélatineuse légère après la cuisson partielle a été relié à l'évolution du paramètre de Flory, selon l'approche de Hildebrand en accord avec la théorie de Flory-Higgins.

Les résultats de ce travail constituent une contribution pouvant être exploitée pour traiter et revaloriser des thermoplastiques. Des mélanges polymériques à base d'huiles végétales peuvent servir à des applications diverses (telles que la fabrication des vernis [27]).

## REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude au programme ARES-CCD sur le renforcement des capacités à l'Université de Kinshasa pour la bourse accordée à l'un des auteurs.

REFERENCES

- [1] Van der Auweraert A., Caubergs R., Thoen C., De Ron A., Franco D., Du Prez F., De Caevel B., Van Acker P., Vanstraelen J., Vossen A., Debruyen E., Vandenhende B., Scheys G., *Le recyclage des plastiques*, MENS, Belgique, 2001.
- [2] [Online] Available : [www.2mens.com](http://www.2mens.com) (September 2018)
- [3] R. Messal, "*La valorisation des déchets plastiques en Europe et en France, Encore des progrès à faire...*", L'actualité chimique, Numéro 371-372, 4pp, 2013.
- [4] Kleiner M., *Les solvants*, Cours de Conservation, Institut Royal du Patrimoine Artistique, Bruxelles, 1994.
- [5] Wong S.L., Ngadi N., Abdullah T.A.T., *Study on Dissolution of Low Density Polyethylene (LDPE)*, Universiti Teknologi Malaysia, 81300 Skudai, Johor, Malaysia, 2014.
- [6] Ningen H., Tonghu X., Xinhai C., Lining D., Yuhua F., Xing Y., *Preparation and Characterization of Hydrophilically Modified PVDF Membranes by a Novel Nonsolvent Thermally Induced Phase Separation Method*. *Membranes* 6, 47, 2016. [Online] Available : doi:10.3390/membranes6040047 [www.mdpi.com/journal/membranes](http://www.mdpi.com/journal/membranes)
- [7] Takakshi T., Nao H., Hiroshi U., *Fabrication of Porous (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) Monoliths via thermally Induced Phase Separation*, 2016. [Online] Available : [www.mdpi.com/journal/polymers](http://www.mdpi.com/journal/polymers) 2016
- [8] Takuya Y., Yoshinari T., Masato T., *Preparation of porous Silicone with Phase Inversion in Parallel with Non Solvent Induced Phase Separation and Application to Hollow Particle Formation*. *Materials Sciences and application*, 5, 649-659, 2014.
- [9] G. Wang and H. Uyama, *Facile synthesis of flexible macroporous polypropylene sponges for separation of oil and water*, *Sci. Rep.* 6, 21265, 2016. doi: 10.1038/srep21265
- [10] Xin, Y., Fujimoto, T., Uyama, H., *Facile Fabrication of Polycarbonate Monolith by Non-Solvent Induced Phase Separation method*. *Polymer*, 53, 2847-2853, 2012. [Online] Available : <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2012.04.029> (september 2018)
- [11] Yihong Gong, Zuwei Ma, Changyou Gao, Wei Wang, Jiancong Shen, *Specially elaborated thermally induced phase separation to fabricate Poly (L-lactic acid) scaffolds with ultra large pores and good interconnectivity*. Wiley Interscience, 2005. [Online] Available : [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com) (september 2018)
- [12] Teyssandier F., *Formulation et morphologies de mélanges de polymères thermoplastiques à base d'amidon*. Autre. INSA de Lyon, 2011. Français. <NNT : 2011ISAL0125>. <tel-00708484>
- [13] Van Dijk M. A., Wakker A., *Concepts of polymer thermodynamics*, CRC Press, 209 p, 1997.
- [14] Vidal J. *Thermodynamique : Application au génie chimique et à l'industrie pétrolière*. Eds. TECHNIP, 500p, 1997.
- [15] Von Solms N. *Thermodynamic of polymer solution*, 2015. [Online] Available : <https://www.researchgate.net/publication> (september 2018)
- [16] Lussis B., Meyer S., *Calcul de coefficients d'émission de l'huile de palme ; Université libre de Belgique*, Rapport final 2005.
- [17] P.C. Navaez, S.M. Rincon, L.Z. Castaneda, F.J. Sanchez, "*Determination of some physical and transport properties of palm oil and of its methyl esters*," *Latin American applied research* v.38 n.1, 2008.
- [18] V. Paleu, "*On Kerosene lubrication of hybrid ball bearings*," *Annals of university "Dunarea de Jos" of Galati Fascicle VIII*, 2007 (XIII, ISSN 1221-4590) *Tribology*
- [19] Kabele Ngiefu, Loota Ekofankomo, "*Perspectives sur le développement de la chimie des corps gras en rapport avec la mise en valeur des plantes oléagineuses du zaïre*," *Annales de la Faculté des Sciences-Zaïre : Numéro spéciale I*, 1984.
- [20] Th. Silou, "*Caractérisation physicochimique et composition en acide gras des huiles de Raphia sese et raphia laurentii*," *Tropicicultura*, 18,1, 26-31,2000.
- [21] Mboui Ondo S.E, *Huile de palmiste traditionnelle*, Thèse de doctorat, Université Cheik Anta Diop. Sénégal, 2003.
- [22] Données techniques, *Lyondellbasell technicadata sheet*, 2017. [Online] Available : <http://www.engineeringtoolbox.com/boiling-points-fluids-gases-d>, (september 2018)
- [23] Mabrouk Benhamou. *Séparation de phase des mélange des polymères*. Cours de DEA, Université Ben M'Sik de Casablanca, Maroc, 2006.
- [24] Y. Arntz, V. Ball, N. Benkirane-Jessel, F. Boulmedais, C. Debry, M. Dimitrova, R. Elkaim, Y. Haikel, J. Hemmerlé, P. Lavalley, F. Meyer, S. Muller, J. Ogier, P. Schaaf, B. Senger, V. Stanic, D. Vautier, H. Tenenbaum, C. Vodoué, D. Volodkin, J.-C. Voegel, S. Werner, "*Les polymères utilisés dans le domaine des biomatériaux : de la fonctionnalisation de surface à l'ingénierie tissulaire*," *L'actualité chimique* - n° 310, 2007.
- [25] Forgacz C, *Elaboration de matériaux poreux à partir de sous-produits de la biomasse par polymérisation d'émulsions concentrées*, Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, 2011.
- [26] Gyselincq F, *Elaboration de composites polymères/ cristaux liquides : approche comparative de deux méthodes de polymérisation sous rayonnement*, Thèse de doctorat, Université des Sciences de Lille, France, 2000.
- [27] Mbey J. A., *Films composites Amidon de manioc/Kaolinite : de la dispersion de l'argile et des interactions argile-amidon sur les propriétés des films*, Thèse de doctorat, Université de Lorraine, France, 2013.
- [28] BANDRES M., *Synthèse de solvants et plastifiants d'origine naturelle selon une démarche d'éco-conception : Application à la formulation de vernis à ongles*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 2006.