

I. Intrduction :

Dans cette partie expérimentale, nous abordons les synthèses de polymères (PMMA),(P4VP) et de nouveaux copolymères poly (MMA-co-4VP) avec des différents fractions initiales.

Ces copolymères sont des macromolécules organiques qui contiennent la fonction "pyridine" avec un doublet libre de l'atome d'azote ; en plus de "Acrylate".

Nous Avons choisis la copolymérisation du Méthacrylate de méthyle (MMA) avec le 4 -vinyl pyridine (4-VP), afin d'obtenir de nouveaux copolymères avec des propriétés intermédiaires entre celle des homopolymères.

Nous avons alors effectué la polymérisation radicalaire des deux monomères, le méthacrylate de méthyle (MMA) et le-vinyl pyridine (4-VP) séparément suivie de copolymérisation à composition variable.

II. Méthodes de caractérisation :

II. 1. UV-visible

L'Analyse spectrale qualitative et quantitative repose sur deux propriétés:

1. Portée à un certain niveau d'énergie (chaleur, lumière...), la matière est capable de la restituer sous forme de radiations spécifiques. (Les radiations caractérisent les particules, molécules ou ions qui les émettent).
2. Dans des conditions données, l'intensité de l'émission est proportionnelle au nombre de particules émettrices.

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée (**20**).

Le domaine UV-visible s'étend environ de 800 à 10 nm:

- ✓ visible : 800 nm (rouge) 400 nm (indigo)
- ✓ proche-UV : 400 nm - 200 nm
- ✓ UV-lointain : 200 nm - 10 nm.

Dans une molécule, les transitions électroniques UV-visibles mettent en jeu les énergies les plus importantes de la chimie (environ de 13000 à 50000 cm^{-1} soit 160 à 665 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$). L'ordre de grandeur des énergies mises en jeu est celui des énergies de liaison des molécules et ces rayonnements peuvent parfois provoquer des ruptures de liaisons. Plus généralement, ils provoquent des transitions électroniques entre les différents niveaux d'énergie des molécules.

- ✓ Loi de Beer-Lambert

La loi de Beer-Lambert est la combinaison des deux lois (relation entre l'absorbance et la transmittance):

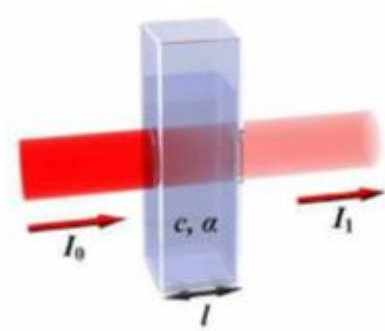
$$\text{Abs} = \log (I_0 / I) = \log (100 / T) = \varepsilon \cdot l \cdot C \quad [25]$$

Abs: Absorbance du milieu à la longueur d'onde λ .

ε : Coefficient spécifique d'absorbance molaire ($\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$).

C: Concentration molaire des molécules qui absorbent à la longueur d'onde λ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)

l : Trajet optique de la cellule (cm).



✓ Applications de la spectroscopie UV-Visible

a) - Analyse qualitative:

Les spectres UV fournissent généralement peu de renseignements sur la structure moléculaire des composés comparés aux spectres IR. Néanmoins, on les utilise soit pour une confirmation soit pour une identification grâce aux règles empiriques.

b) - Analyse quantitative:

L'analyse quantitative par la spectrométrie UV-visible est très employée (beaucoup plus que l'analyse qualitative) grâce à l'utilisation de la loi de Beer-Lambert.

Comme applications, on peut citer :

- Dosage du fer dans l'eau ou dans un médicament.
- Dosage des molécules actives dans une préparation pharmaceutique.
- Dosage du benzène dans le cyclohexane

c) - Autres applications

D'autres applications sont connues pour le contrôle de qualité ou le suivi de la cinétique d'une réaction, la détermination des constantes de dissociation des acides ou des constantes de complexation et la détermination des masses molaires...

II. 2. Spectroscopie Infra-Rouge (IR)

L'IRTF est une technique basée sur l'analyse vibrationnelle des liaisons chimiques d'un composé à une fréquence de vibration et associé un groupe moléculaire particulier. Un échantillon est traversé par des radiations électromagnétiques de longueur d'onde comprise entre 200 à 4000 nm (domaine de l'InfraRouge moyen) et l'enregistrement de l'absorption de l'énergie infrarouge en fonction de la fréquence de la radiation incidente donne le spectre IR de l'échantillon. Le type de groupes fonctionnels présents dans la molécule correspondant aux fréquences auxquelles l'absorption est observée.

Appareillage utilisé : Nous avons utilisé un spectromètre FTIR alpha- Bruker ATR (diamant) l'université d'ORAN Senia.



Figure 10: Appareil Infrarouge.

II. 3. Etude Viscosimétrique :

L'étude de la viscosité des solutions macromoléculaires est une méthode empirique très utile pour déterminer la masse macromoléculaire des polymères. Elle permet d'étudier le type d'agrégation développé par ces macromoléculaires. Elle nous permet aussi de déterminer la valeur de la concentration de recouvrement C^* indiquant le passage des chaînes de polymère du régime dilué au régime semi dilué **(21)**.

L'emploi intensif de cette méthode ainsi que son avantage résident dans la facilité, la rapidité de sa mise en œuvre et dans la possibilité de l'utiliser dans un très grand domaine de masses moléculaires **(22)**.

a. Différentes expressions de la viscosité :

La viscosité d'une solution de polymère est la mesure de son aptitude à résister à l'écoulement. Cette résistance est due aux interactions intermoléculaires. La viscosité cinématique ($\eta_{\text{ciné}}$) découle de la loi de poiseuille. Elle est donnée par la formule suivante:

$$\eta_{\text{ciné}} = \frac{\eta}{\rho} = k \cdot t \quad [26]$$

L'addition des molécules de polymère à un solvant augmente généralement sa viscosité. Pour relier cet accroissement de viscosité aux propriétés du soluté, plusieurs relations exprimant la viscosité sont définies: viscosité relative (η_{rel}), viscosité spécifique (η_{sp}), viscosité réduite ($\eta_{\text{réd}}$), viscosité inhérente (η_{inh}) et viscosité intrinsèque [η] :

- ✓ Viscosité relative:

$$\eta_{rel} = \frac{\eta}{\eta_0} \quad [27]$$

- ✓ Viscosité spécifique :

$$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1 \quad [28]$$

- ✓ Viscosité inhérente (dl/g ou mL/g) :

$$\eta_{inh} = \frac{1}{C} \ln \frac{\eta}{\eta_0} \quad [29]$$

- ✓ Viscosité réduite (dl/g ou mL/g):

$$\eta_{red} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 \cdot C} = \frac{\eta_{sp}}{C} \quad [30]$$

- ✓ Viscosité intrinsèque (dl/g ou mL/g) :

$$[\eta] = \lim_{C \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{C} \quad [31]$$

$[\eta]$: appelée aussi Indice limite de la viscosité.

C: concentration du polymère en g/dl ou en g/ml.

η_0 : viscosité du solvant pur.

La viscosité intrinsèque d'un échantillon macromoléculaire est déterminée graphiquement à partir de la mesure directe de η_{red} à une température donnée.

Le procédé graphique employé le plus souvent pour déterminer les viscosités intrinsèques $[\eta]$ pour des solutions de polymères neutres et en régime dilué découle de l'équation empirique de Huggins **(23)**.

$$\overline{\eta}_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C} = \overline{[\eta]} + k_H \overline{[\eta]}^2 C \quad [32]$$

K_H : est la constante de Huggins qui est indépendante de la concentration. C'est une constante empirique liée aux interactions hydrodynamiques intermoléculaires (interactions polymère/solvant).

b. Relation entre la viscosité et la masse molaire :

Staudinger **(24)** proposait une relation empirique:

$$\overline{[\eta]} = Cste.M \quad [33]$$

Cette équation est valable pour les polymères non ramifiés de structure peu flexibles. Plusieurs chercheurs ont proposé d'autres équations empiriques pour les chaînes macromoléculaires douées d'une bonne flexibilité. Il convient surtout de retenir la relation publiée par Mark-Houwink **(25)** et qui généralise la relation de Staudinger :

L'équation de Mark-Houwink met en évidence la relation entre la masse moléculaire moyenne viscosimétrique et la viscosité intrinsèque du polymère.

$$\overline{[\eta]} = K \cdot \overline{M}_v^a \quad [34]$$

Où K et a : sont des constantes pour un système polymère-solvant à une température donnée.

c. Relation entre la viscosité intrinsèque et le temps d'écoulement :

Selon la loi de poiseuille, la viscosité dynamique d'un liquide est donnée par :

$$\eta = \rho \cdot k \cdot t \quad [35]$$

Avec

η : viscosité de la solution appelée aussi viscosité absolue ou dynamique (Pois ou g/sec.cm).

ρ : la densité de la solution.

K : la constante de proportionnalité qui dépend des caractéristiques du capillaire.

t : le temps d'écoulement de la solution.

Donc :

$$\eta_{rel} = \frac{(\rho \cdot t)}{(\rho_0 \cdot t_0)} \quad [36]$$

ρ_0 : la densité de solvant pur.

t_0 : le temps d'écoulement de solvant pur.

Pour une solution diluée, on peut supposer que $\rho_0 = \rho$

Donc :

$$\eta_{rel} = \frac{t}{t_0} \quad [37]$$

et

$$\eta_{sp} = \frac{(t - t_0)}{t_0} \quad [38]$$

et

$$\eta = \frac{t - t_0}{c \cdot t_0} \quad [39]$$

d. Paramètres influençant la viscosité des polymères :

- Nature du solvant: La viscosité est une méthode de caractérisation liée directement aux propriétés hydrodynamiques des macromolécules en solution. Elle varie avec le solvant.
- Influence de la température: Des mesures viscosimétriques effectuées à température variable montrent que la viscosité intrinsèque augmente ou diminue avec la température selon le couple polymère/solvant considéré. La viscosité intrinsèque peut être indépendante de la température **(26)**.

e. Appareillage utilisé:

Les mesures viscosimétriques ont été effectuées via un viscosimètre capillaire type 53233/IIIc App.Nr-904849(Ubbelohde) placé dans un bain thermostaté à [25-30]°C.

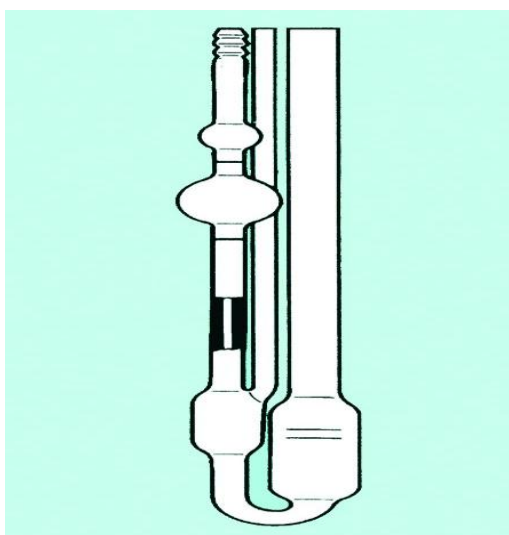


Figure 11: Viscosimètre à capillaire utilisé type Ubbelohde.

Le principe de la mesure est basé sur la détermination du temps d'écoulement d'un volume V de la solution à travers un capillaire.

Pour déterminer la masse des polymères ; La première étape consiste à mesurer le temps d'écoulement de solvant (t_0) et les temps d'écoulement des différentes concentrations de polymères.

Les mesures de temps d'écoulement ont été réalisées à l'aide de viscosimètre de type Ubbelohde placés dans un bain thermostaté à 30°C. Toutes les solutions introduites dans le viscosimètre sont préalablement filtrés.

Une solution mère est préparée par dissolution du polymère dans le solvant choisi. Un volume donné de la solution mère est introduit dans le viscosimètre et la mesure de temps d'écoulement est effectuée. Pour obtenir les valeurs à d'autres concentrations, cette première solution est diluée par additions successives de volumes connus de solvant.

Après addition du solvant, la solution est agitée et le capillaire du viscosimètre est rincé par la nouvelle solution après plusieurs passages de celle-ci dans le capillaire. Les temps d'écoulement dans le capillaire sont mesurés pour chaque solution. En portant la viscosité réduite (η_{red}) en fonction de la concentration (C), on obtient pour tous les polymères des droites dont l'extrapolation à C=0 fournit la viscosité intrinsèque.

II. 4. Point de fusion :

La prise du point de fusion d'un solide au banc Kofler, est une méthode rapide et simple à mettre en œuvre. C'est pourquoi cette mesure est un critère de pureté très répandu au laboratoire. En effet, un produit pur présente un point de fusion bien net.

Les température de fusion ont été réalisé dans le laboratoire de chimie de la faculté des Sciences de Matière (université Ibn Khaldoun).

III. Synthèse et caractérisation des homopolymères :

Pour la préparation des polymères, on a utilisé deux monomères:

- **Le méthacrylate de méthyle (MMA) :** C'est un composé organique dont la formule semi-développée est $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{CH}_3$. Il présente le monomère du polyméthacrylate de méthyle (PMMA). Cet ester méthylique de l'acide méthacrylique est un monomère qui se présente sous la forme d'un liquide incolore utilisé pour la fabrication de verres transparents et de plastique en polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

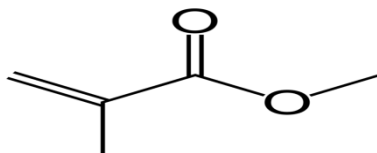


Figure 12: Structure Chimique du (MMA).

- **Le 4- Vinyl Pyridine:** C'est un composé organique répondant à la formule $\text{CH}_2\text{CHC}_5\text{H}_4\text{N}$. C'est un dérivé de la pyridine avec un groupe vinyle en position 4, c'est un liquide marron. Il est utilisé industriellement comme un précurseur de polymères spéciaux et comme intermédiaire dans les industries chimiques.

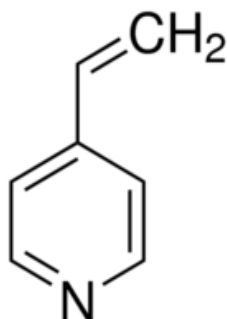


Figure 13: Structure Chimique du(4-VP).

III. 1. Matériels et Produits:**• Matériels utilisés:**

- Des tubes de polymérisation.
- Une plaque chauffante, un agitateur magnétique et un barreau aimanté.
- Un bain d'huile et un thermomètre.
- Un bécher et une burette.

• Produits utilisés :

- Méthacrylate de méthyle.
- 4-Vinyl pyridine.
- AIBN (azobisisobutyronitrile : $(\text{CH}_3)_2\text{-C}(\text{CN})\text{-N}=\text{N}\text{-C}(\text{CN})\text{-}(\text{CH}_3)_2$).
- Ethanol.
- Chloroforme et l'heptane.
- Acétone, Dichlorométhane (DCM), Méthanol, Dioxane, Tétrahydrofurane (THF), Toluène, Ether de pétrole.

III.2-Polymérisation du (MMA) :**a. Mode opératoire:**

Dans un tube de polymérisation, on place 4 g (0.039 mole) de monomère MMA et on introduit 0.05g d'amorceur AIBN, le tube est placé dans un bain d'huile durant 5h à 65-70 °C.

La polymérisation a été réalisée en masse par voie radicalaire.

Le polymère est ensuite dissout dans un solvant (Chloroforme) puis précipité à plusieurs reprises dans le non solvant (heptane). Le polymère est ensuite filtré puis séché à l'étuve à 40°C jusqu'à une masse constante.

On obtient à la fin un solide blanc de masse de 3,5g.



Figure 14: Représentation de l'aspect physique de PMMA.

b. Réaction de polymérisation du (MMA) :

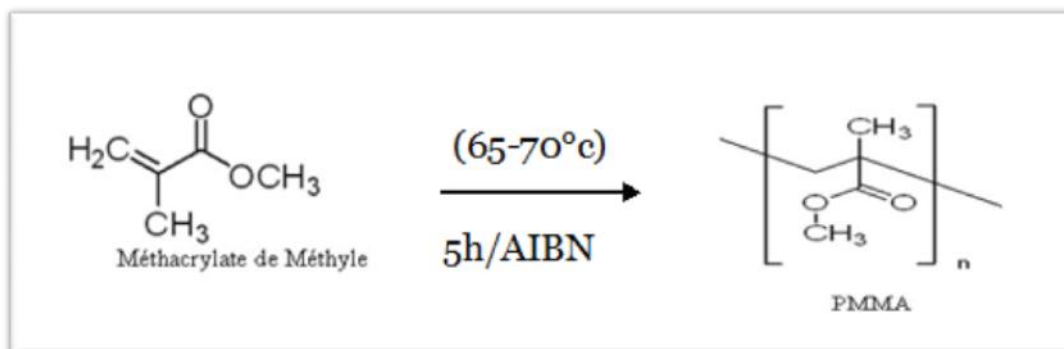


Figure 15: Réaction de polymérisation du MMA

c. Test de solubilité :

Solvant	Solubilité
Acétone	Soluble
Dichlorométhane (DCM)	Soluble
Méthanol	Insoluble
Dioxane	Insoluble
Tétrahydrofurane (THF)	Soluble
Toluène	Insoluble
Ether de pétrole	Insoluble

Tableau 4: Tests de solubilité du PMMA.d. Taux de conversion et Point de fusion :

Le taux de conversion et la température de fusion sont donnés dans le tableau suivant:

Masse théorique	4g
Masse expérimentale	3,5g
Taux de conversion%	87%
Point de fusion	157±2°C

Tableau 5: Taux de conversion et point de fusion du PMMA.

III.3-Polymérisation du (4-VP) :a. Mode opératoire:

Dans le tube de polymérisation, on place (0.038 mole) de 4-VP ($m = 4$ g) que l'on dissout dans 8mL d'éthanol comme solvant ; puis on ajoute 0.05 g d'AIBN comme amorceur.

Le tube de polymérisation est placé dans un bain d'huile à 65-70 °C durant 5h.

Le polymère est ensuite dissout dans un solvant (Chloroforme) puis précipité à plusieurs reprises dans le non solvant (heptane). Le polymère est filtré puis séché à l'étuve à 40°C jusqu'à une masse constante.



Figure 16: Représentation de l'aspect physique de P 4-VP.

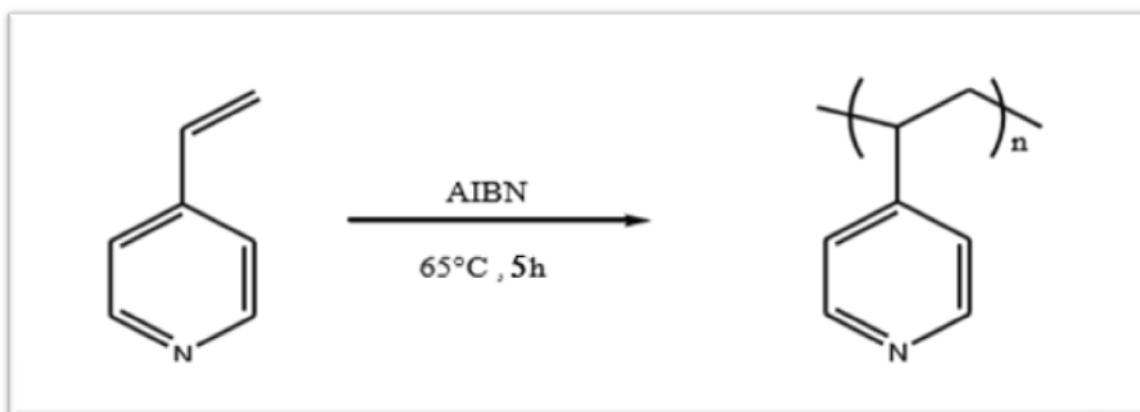
b. Réaction de polymérisation du (4-VP) :

Figure 17: Réaction de polymérisation de 4-VP.

c. Test de solubilité :

Solvant	Solubilité
Acétone	Insoluble
Dichlorométhane (DCM)	Soluble
Méthanol	Soluble
Dioxane	Insoluble
Tétrahydrofurane (THF)	Insoluble
Toluène	Insoluble
Ether de pétrole	Insoluble

Tableau 6: Tests de solubilité du 4-VP.d. Taux de conversion et Point de fusion :

Le taux de conversion et la température de fusion sont donnés dans le tableau suivant:

Masse théorique	4g
Masse expérimentale	2g
Taux de conversion%	50%
Point de fusion	120±1°C

Tableau 7: Taux de conversion et point de fusion du P4-VP.

III.4-Synthèse et caractérisation des copolymères:

a. Mode opératoire:

Dans un tube de polymérisation, on place une masse donnée de 4-VP puis on ajoute une autre masse de monomère MMA, cela correspond aux proportions de (4VP/MMA) choisis.

On introduit 0.05 g d'amorceur d'AIBN. Le tube est placé à 65-70 °C dans un bain de huile, durant 5h. Le copolymère est dissout dans le chloroforme puis précipité dans l'heptane comme non solvant, le polymère est ensuite séché à l'étuve à 40 °C jusqu'à une masse constante .

Le même processus a été répété pour l'obtention de toutes les compositions en copolymères poly (MMA-4VP).

Les taux de monomères (4VP) dans le mélange réactionnel de départ sont les suivants :20, 30, 50, 80 et 90% .

b. Réaction de copolymérisation entre le (4-VP) et le (MMA) :

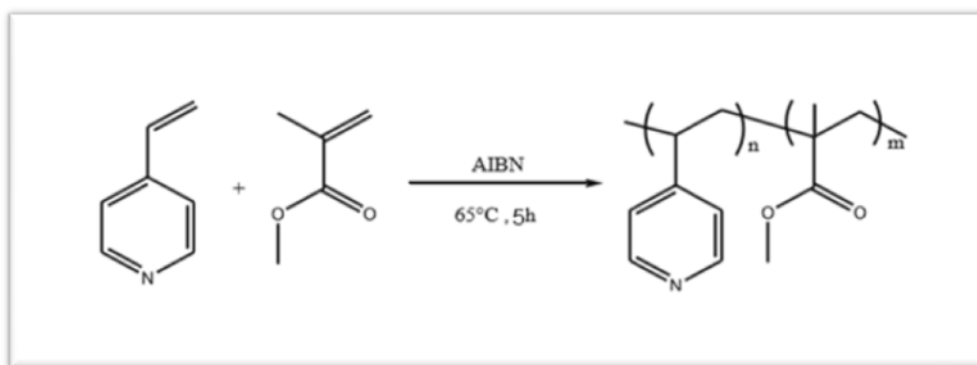


Figure 18: Réaction de copolymérisation entre MMA et 4-VP.

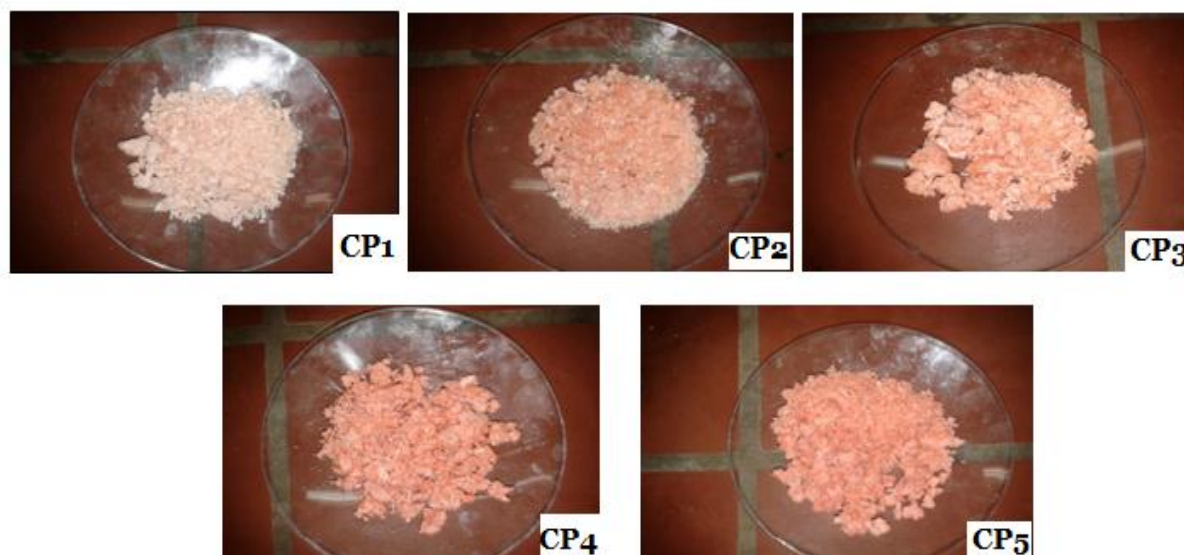


Figure 19: Représentation de l'aspect physique de CP₁₋₅

Les masses et les nombres des moles sont comme ceci :

<i>Copolymère</i>	<i>% du MMA</i>	<i>% de 4-VP</i>	<i>Masse de MMA</i>	<i>Masse de 4-VP</i>	<i>Nombre de mole de MMA</i>	<i>Nombre de mole de 4-VP</i>
CP1	80	20	8g	2.1g	0.08	0.02
CP2	70	30	7g	3.2g	0.07	0.03
CP3	50	50	5g	5.3g	0.05	0.05
CP4	20	80	2g	8.4g	0.02	0.08
CP5	10	90	1g	9.5g	0.01	0.09

Tableau 8: Composition initiale des copolymères en comonomères.

c. Test de solubilité :

	CP₁	CP₂	CP₃	CP₄	CP₅
Acétone	soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble
Dioxane	soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble
DCM	soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble
THF	soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble
Toluène	insoluble	Insoluble	Insoluble	insoluble	insoluble
Ether de Pétrole	insoluble	Insoluble	Insoluble	Insoluble	insoluble
Méthanol	soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble

Tableau 9: Tests de solubilité des copolymères.d. Taux de conversion et Point de fusion :

Les taux de conversion et les températures de fusion sont donnés dans le tableau 10. Les points de fusion de chaque polymère a été faite trois fois:

Les copolymères	Taux de conversion	Point de fusion
CP₁	79,21%	141±1°C
CP₂	60,78%	139±1°C
CP₃	66,99%	136±1°C
CP₄	67,30%	132±1°C
CP₅	57,14%	126±1°C

Tableau 10: Taux de conversion et points de fusion des copolymères

IV. Caractérisation des homopolymères et des copolymères:**IV.1- Spectroscopie Infra-Rouge (IR):**

Les spectres IR ont été enregistrés sur un spectromètre FTIR alpha- Bruker ATR (diamant) l'université d'ORAN Senia.

On donne par la suite les spectres de: poly MMA, poly 4-VP, CP1 et CP5, les autres sont classées dans l'annexe.

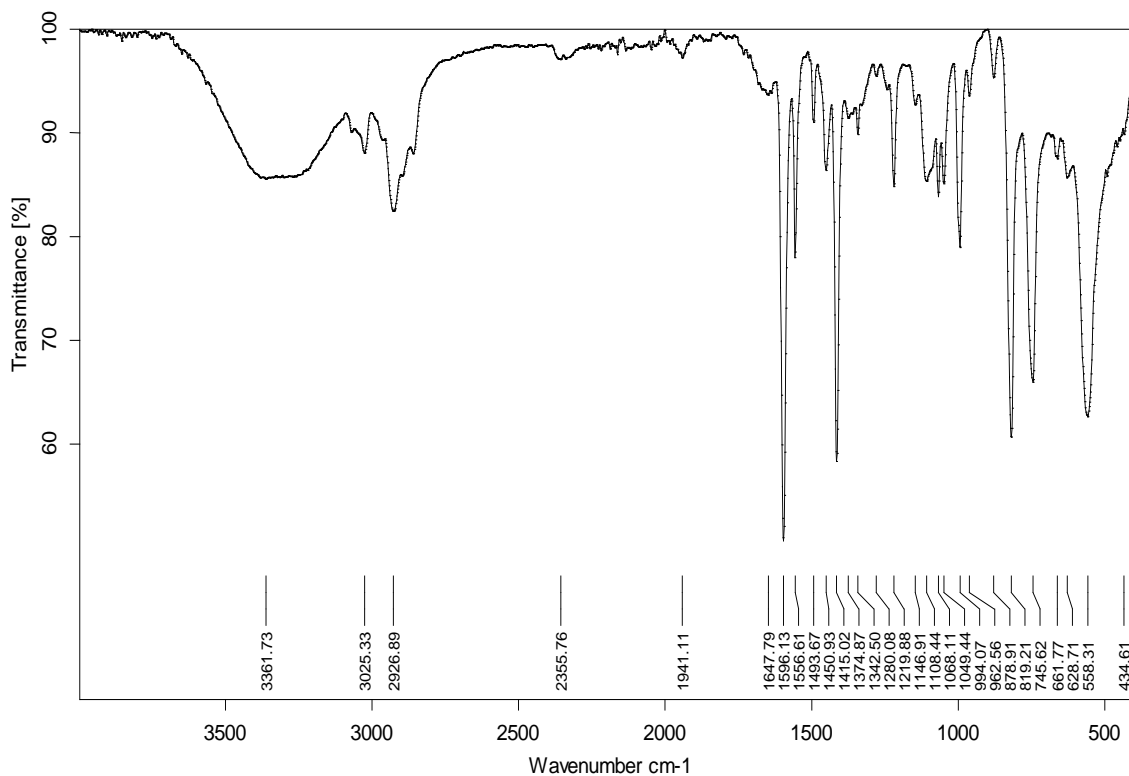


Figure 20: Spectre IR de Poly 4-VP.

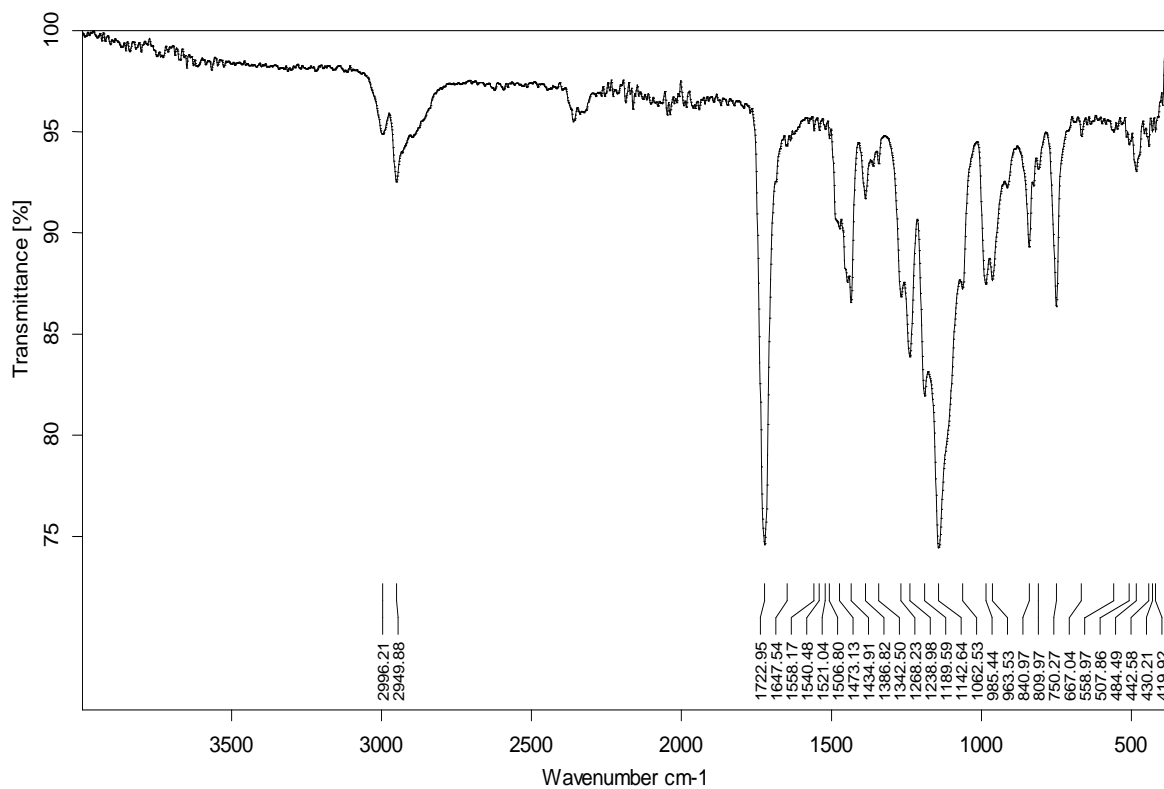


Figure 21: Spectre IR de Poly MMA

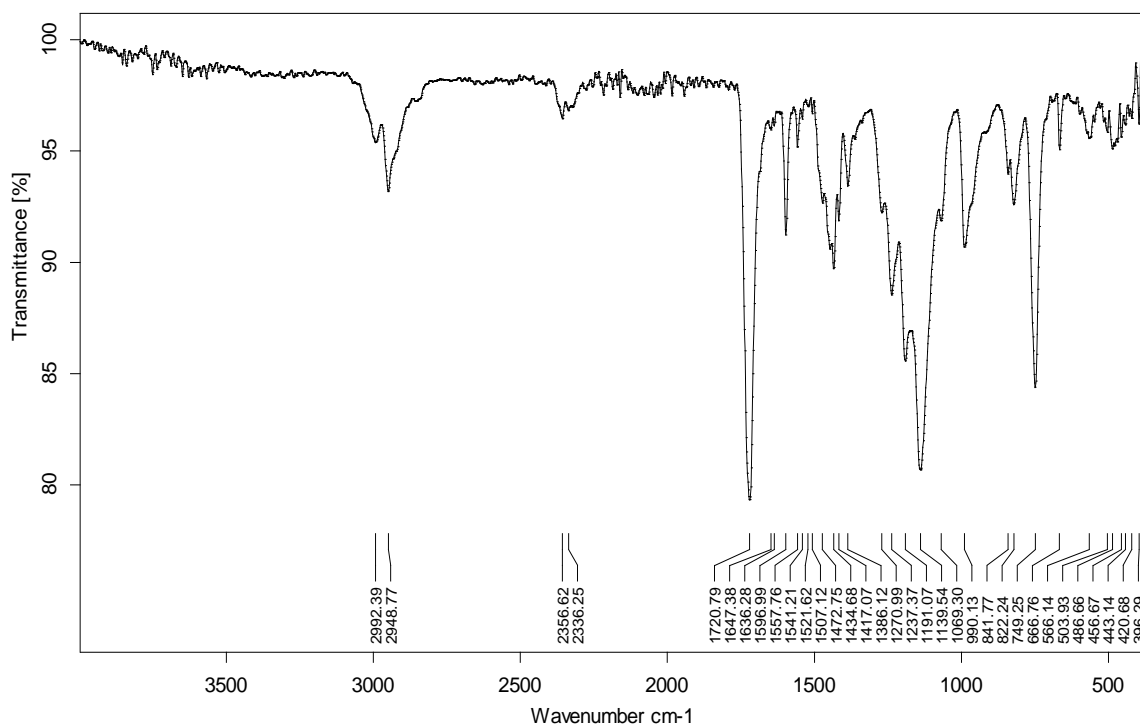


Figure 22: Spectre IR de CP1.

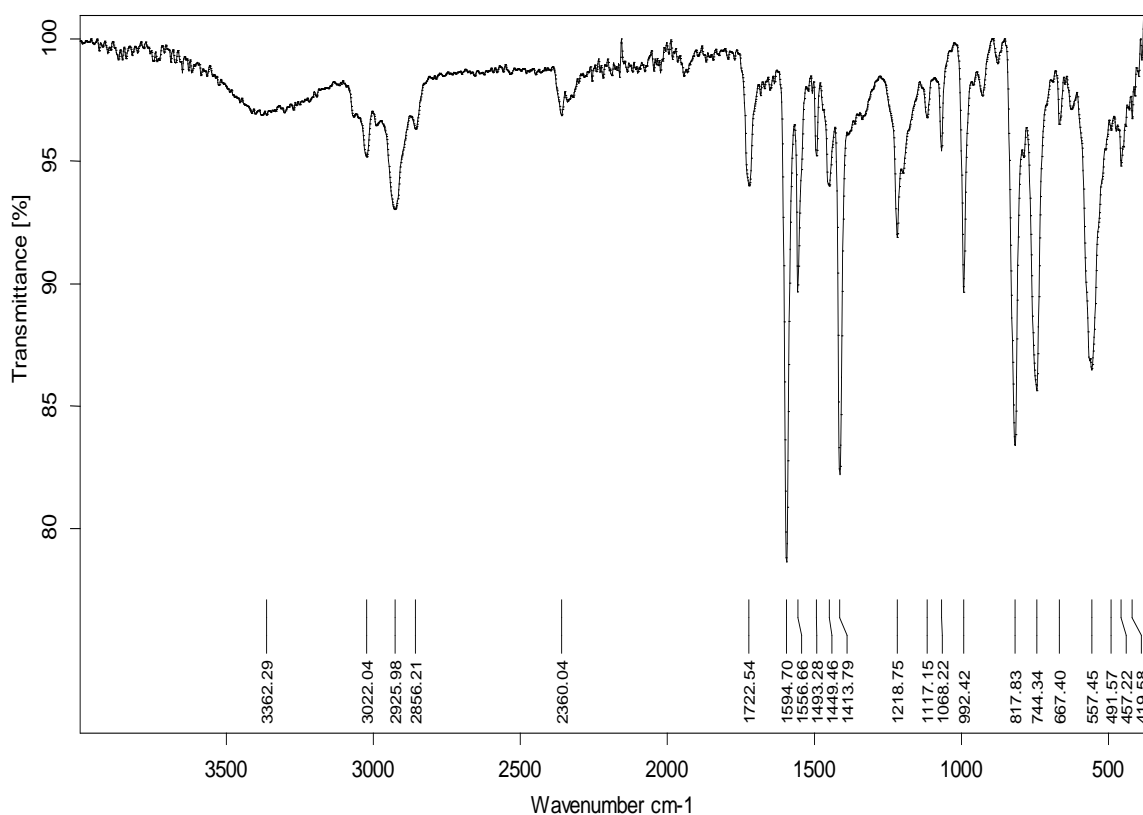


Figure 23: Spectre IR de CP5

A partir des spectres IR des homopolymères et des copolymères, on remarque la présence des bandes caractéristiques au voisinage de 2900 cm⁻¹ du squelette polymérique vinylique pour toutes les polymères.

On relève les autres bandes caractéristiques, et on les classe dans le tableau suivant :

Polymère	Bandes caractéristiques IR
PMMA	C=O (1722,95 cm ⁻¹), C-O (1142,64 cm ⁻¹) , CH (CH ₃) (2949,88cm ⁻¹)
P 4-VP	C=C (1596,61 cm ⁻¹), C=N(1556,13 cm ⁻¹), - C-H (CH ₃) (2926,89 cm ⁻¹)
CP1	C=O (1720,79 cm ⁻¹),C-O (1139,54 cm ⁻¹) , C=C (1596,13 cm ⁻¹), C=N (1557,76 cm ⁻¹) CH (CH ₃)(2948,77 cm ⁻¹)
CP2	C=O (1719,43 cm ⁻¹),C-O (1139,25cm ⁻¹), C=C (1597,15 cm ⁻¹), C=N (1557,88 cm ⁻¹) CH (CH ₃)(2948 cm ⁻¹)
CP3	C=O (1720,17 cm ⁻¹),C-O (1134,34cm ⁻¹), C=C (1592,82 cm ⁻¹), C=N (1557,20cm ⁻¹) CH (CH ₃)(2946 cm ⁻¹)
CP4	C=O (1722,27 cm ⁻¹),C-O (1117,12 cm ⁻¹) , C=C(1594,99cm ⁻¹), C=N(1556,76 cm ⁻¹), CH (CH ₃)(2930 cm ⁻¹)
CP5	C=O (1722,54 cm ⁻¹),C-O (1117,15cm ⁻¹) , C=C (1594,70 cm ⁻¹), C=N (1556,66 cm ⁻¹), CH (CH ₃)(2956 cm ⁻¹)

Tableau 11: Bandes FTIR caractéristiques des polymères.

IV.2-Masse viscosimétrique M_v des homopolymères et des CP1-5 :

Nous avons évalués les masses molaires viscosimétriques M_v à l'aide d'un viscosimètre Ubbelohde plongé dans un thermostat réglé à (25°-30°)C.

La solution de PMMA a été préparée dans l'acétone, la solution de poly 4-VP et celle des CP₁₋₅ sont préparés dans le chloroforme. Des différentes concentrations ont été utilisées pour tracer les droites viscosimétriques $\eta_{red} = f(C \text{ (g/ml)})$ (**figure 24 à 26**).

Le temps d'écoulement du solvant pur (l'acétone) est de l'ordre de 7,70 seconde et de chloroforme est de l'ordre de 7,51 seconde.

On donne ci après les droites viscosimétriques du PMMA , CP1 et de CP5, les autres résultats sont classés en annexe.

Concentration (g/ml)	0.01	0.0091	0.0077	0.0071	0.0067
Temps d'écoulement (sec)	8.19	8.14	8.05	8.05	7.96
$\eta_{rel} = \frac{t}{t_0}$ (ml/g)	1.064	1.057	1.045	1.04	1.033
$\eta_{sp} = \frac{t}{t_0} - 1$ (ml/g)	0.064	0.057	0.045	0.04	0.033
$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c}$ (ml/g)	6.4	6.26	5.84	5.63	4.92

Tableau 12: Résultats viscosimétriques de PMMA

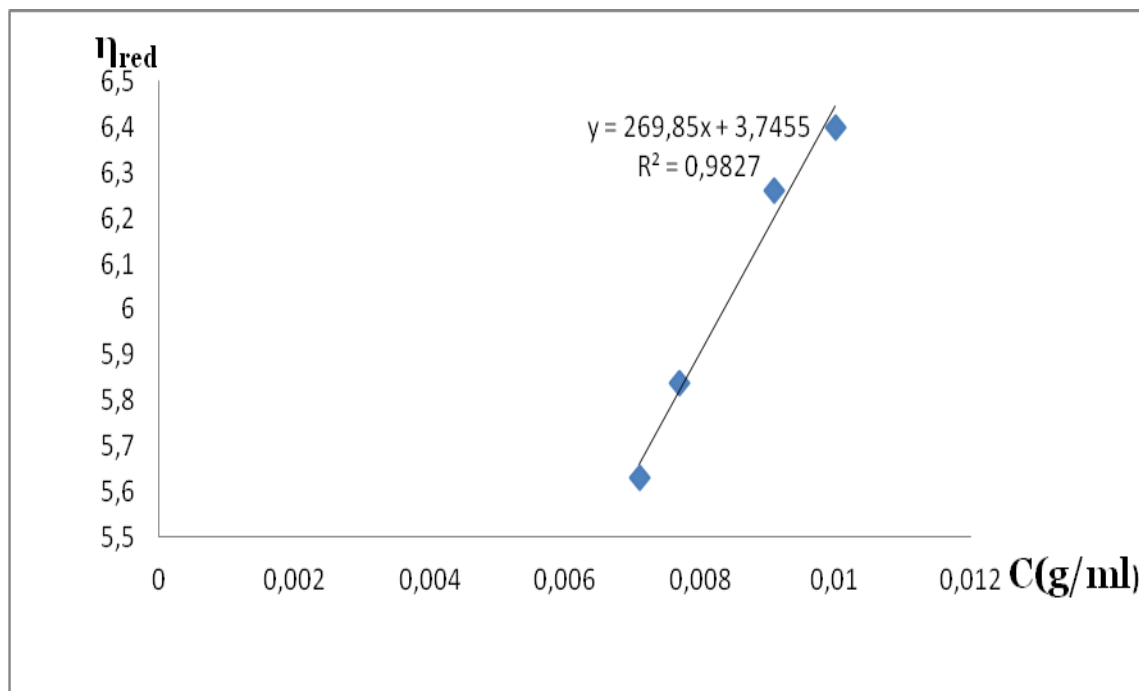


Figure 24: Droite viscosimétrique de PMMA.

Concentration (g/ml)	0.01	0.0091	0.0083	0.0077	0.0071
Temps d'écoulement(sec)	8.00	7.95	7.9	7.87	7.83
$\eta_{rel} = \frac{t}{t_0}$ (ml/g)	1.065	1.058	1.051	1.047	1.042
$\eta_{sp} = \frac{t}{t_0} - 1$ (ml/g)	0.065	0.058	0.051	0.047	0.042
$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c}$ (ml/g)	6.5	6.41	6.25	6.1	5.9

Tableau 13: Les résultats viscosimétriques de CP₁.

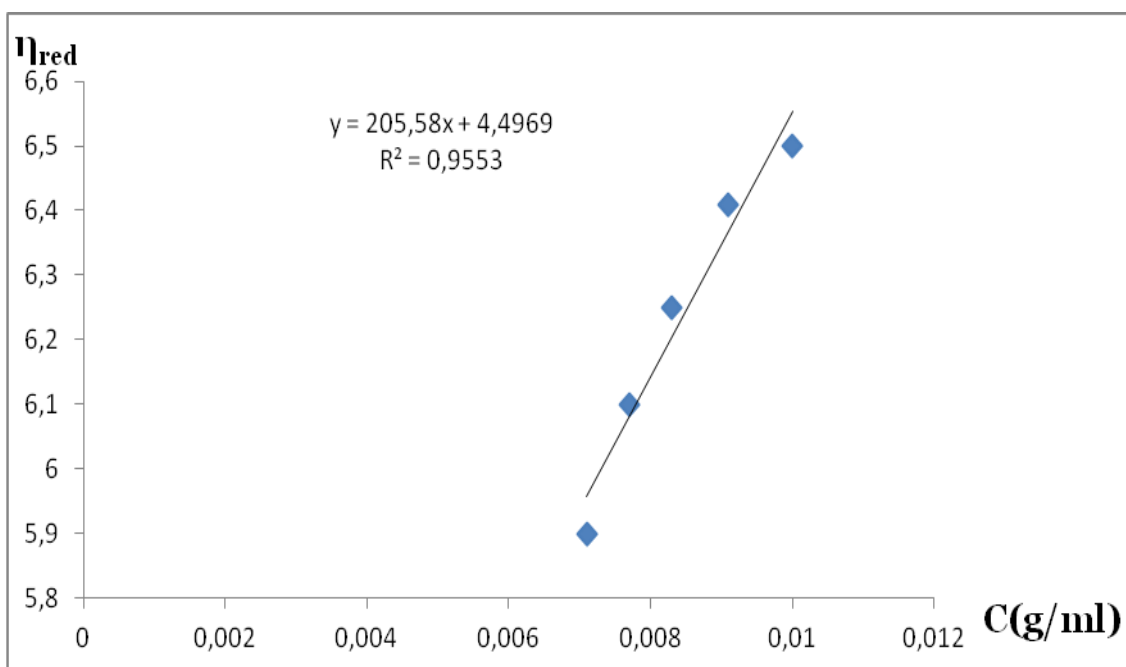


Figure 25: Droite viscosimétrique de CP1.

Concentration (g/ml)	0.01	0.0091	0.0083	0.0077	0.0071
Temps d'écoulement(sec)	8.23	8.14	8.05	8.01	7.96
$\eta_{rel} = \frac{t}{t_0}$ (ml/g)	1.095	1.083	1.072	1.066	1.060
$\eta_{sp} = \frac{t}{t_0} - 1$ (ml/g)	0.095	0.083	0.072	0.066	0.060
$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c}$ (ml/g)	9.5	9.12	8.67	8.57	8.45

Tableau 14: Les résultats viscosimétriques de CP₅.

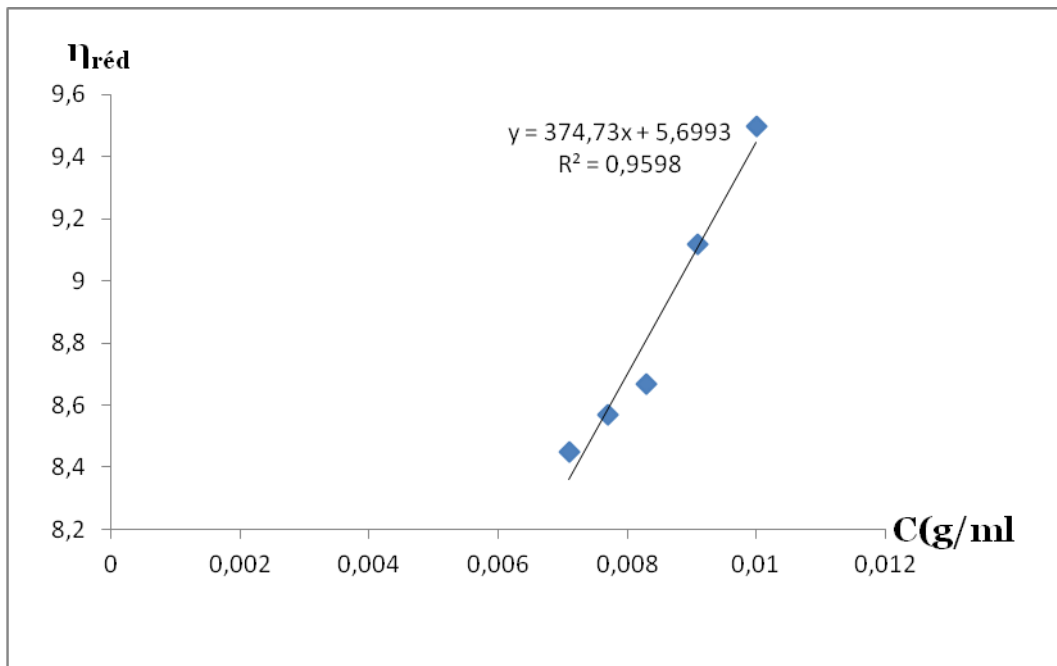


Figure 26: Droite viscosimétrique de CP₅.

- **Détermination de la masse moléculaire :**

Les masses moléculaire M_v des polymères préparés ont été déterminées à partir de la relation de « MARK-HOUWINK » :

$$[\eta] = K \bar{M}_v^a \quad [40]$$

K et **a** sont des paramètres caractéristiques d'un système «polymère/solvant ».

Dans notre cas nous avons retenu comme paramètres **(27)**:

$K = 6.76 \cdot 10^{-3}$ / $a = 0.71$ pour le PMMA.

et

$K = 0.012$ / $a = 0.59$ pour le reste des polymères

On donne les calculs de M_v dans le tableau suivant :

	PMMA	P4-vp	CP ₁	CP ₂	CP ₃	CP ₄	CP ₅
M_v	7386	7552	23020	33460	18610	25300	34310

Tableau 15 : Masses viscosimétriques des polymères.