

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université du 20 août 1955 Skikda



**Faculté des sciences  
Département de chimie**

**Mémoire**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**Master**

**Spécialité : chimie des matériaux**

**Thème :**

---

---

**Un projet pour obtenir un brevet dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275  
Synthèse et évaluation d'un additif copolymère (Gasoil-21) comme  
abaisseur du point d'écoulement et CFPP dans le gasoil**

---

---

**Présenté par :**

BOULHOUT Sofiane

BOUKERCHA Isra

**Soutenu le : 06/07/2023**

**Devant le jury :**

**Président HALA Daghmane**

**Encadreur BENHAMIDECHE Chahrazed**

**Prof Université 20 Août 1955-Skikda**

**Encadreur MELAIS Nedjma**

**MCB Université 20 Août 1955-Skikda**

**Examineur ZAGHDOUDI Rachida**

**Prof Université 20 Août 1955-Skikda**

**Spécialiste du modèle économique BMC**

**Wafa Boukfa**

**Chef de service de laboratoire chez Sonatrach BOUJEMAA Dendani**

**Année universitaire : 2022-2023**

# *Remerciements*

Remerciements Avant toute chose, nous remercions le bon Dieu tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience et de nous avoir gardé en bonne santé pour accomplir ce travail.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de chimie à l'université 20 aout 1955 Skikda et du laboratoire de raffinerie de Skikda.

Sous la direction de : **Pr .Benhamideche Chahrazed Dr.Melais Nedjma** à qui nous adressons.

Aujourd'hui nous sincères remerciements pour son encadrement.

Merci pour le chef département : **Pr. Ben achour naima .**

Nous remercions vivement les membres du jury qui nous ont fait le grand honneur pour la lecture de ce mémoire et aussi d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous tenons aussi à remercier le responsable de l'incubateur « **Bendieb Riad** » et tous les enseignants du chimie à leur tête le chef département, qui nous ont fait bénéficier d'une formation de très haut niveau.

Un grand merci à tout le personnel du laboratoire de chimie qui nous a accueilli chaleureusement et intégré pendant toute la durée de cette expérience surtout les ingénieurs pour l'ambiance du travail, leur aide précieuse et leur disponibilité.

Nous remercions aussi les personnes du laboratoire de raffinerie de Skikda.

Et mme BOUDJEMAA (CRAPC) Pour les produits chimiques mme Asmaa BENHAMMOU ( ingénieur polytechnique Constantine) pour analyse IR.

Univ Constantine (dep. Chimie) pour analyse RMN.

Enfin, nous rendons hommage et nous exprimons nos reconnaissances à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail

Merci à tous.

# *Dédicaces*

Je dédie ce travail :

À ma très chère mère **Yamina**, ma raison de vivre, celle qui m'a soutenue jusqu' à la fin, avec son grand amour et son aide inestimable.

À mon père **Mohamed** qui m'a embrasé par son amour, confiance et fierté.

À ma femme **Souad** et mes enfants **Haroune, Khadîdja, Baraa, Malek, Ghanou** et **Soheib**.

À mes jolies soeurs **Assai** et **Samia**, et mes frères **Nabil, Azzou , Riad** et **Djamel**.

À mes deux chefs de service laboratoire RA1k **Labouz** et **Sahraoui**.

À mon chef département laboratoire RA1k **Mr Denadani**.

Et à tous mes collègues, en particulier : Riad, **Abdou, Ali, Hafida, Mounira, Hacene, Chamsou, Azeddine, Abdelhak, Souleymane, Aziz** et **Ammar**.

Une dédicace spéciale à mon binôme **Isra**.

À tous qui sont chers je dédie ce travail.



*Sofiane*

# *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents que Dieu les garde et les bénits de

bonne santé et de longue vie.

A mes sœurs

A toute ma famille

A tous mes amis, je veux dire merci pour votre présence

avec moi.

Une dédicace spéciale à mon binôme **Sofiène**

À toutes les personnes qui ont affecté ma vie par un

geste ou une parole

A toute personne qui m'a accordé aide ou conseil

Enfin pour Tous les gens qui m'estiment espérant bien

que je n'ai oublié.



*Isra*

A decorative border composed of intricate black floral and scrollwork patterns, framing the central text. The border is rectangular with ornate corners and a repeating scroll design along the sides.

# Liste des figures

## Liste des figures

|                      |  |           |
|----------------------|--|-----------|
| <b>Figure I.1.</b>   | Poly (vinyl chloride) (PVC).   | <b>5</b>  |
| <b>Figure I.2.</b>   | polymères linéaires.   | <b>6</b>  |
| <b>Figure I.3.</b>   | Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b).  | <b>6</b>  |
| <b>Figure I.4.</b>   | Polymère réticulé avec ponts di-sulfure reliant deux chaînes.  | <b>7</b>  |
| <b>Figure I.5.</b>   | Exemples des Homopolymères.  | <b>9</b>  |
| <b>Figure I.6.</b>   | Exemple de copolymères.  | <b>10</b> |
| <b>Figure I.7.</b>   | Différent Domaines d'application des polymères.  | <b>14</b> |
| <b>Figure I.8.</b>   | Effet d'additif PPDA sur le diesel.  | <b>16</b> |
| <b>Figure I.9.</b>   | Le poly (éthylène-co-acétate de vinyle) (EVA).   | <b>16</b> |
| <b>Figure I.10.</b>  | Représentation structurale de terpolymère S-BuA-VA.  | <b>17</b> |
| <b>Figure I.11.</b>  | la modification de la morphologie cristalline du diesel.   | <b>19</b> |
| <b>Figure II.1.</b>  | la raffinerie de Skikda RA1K.  | <b>23</b> |
| <b>Figure II.2.</b>  | Principe de fonctionnement d'une tour de distillation de pétrole brut.                                       | <b>25</b> |
| <b>Figure II.3.</b>  | Unité TOPPING -RA1K réalisé par AutoCAD.   | <b>30</b> |
| <b>Figure II.4.</b>  | Unité TOPPING-colonne de distillation-RA1K réalisé par AutoCAD   | <b>30</b> |
| <b>Figure II.5.</b>  | Schéma de production et de stockage du gasoil et kérosène.   | <b>33</b> |
| <b>Figure II.6.</b>  | Rapport d'essai d'un gasoil pour le marché national.   | <b>35</b> |
| <b>Figure II.7.</b>  | additif antigel.   | <b>43</b> |
| <b>Figure II.8.</b>  | Illustration du processus de cristallisation de la cire du diesel avec différents copolymères à base de MMA. | <b>44</b> |
| <b>Figure II.9.</b>  | Illustration du processus de cristallisation de la cire du diesel non traité et traité avec R1MC-MB-NVP.     | <b>45</b> |
| <b>Figure II.10.</b> | BASF additif Keroflux®6103.  | <b>46</b> |
| <b>Figure III.1.</b> | Synthèse de p-TSA.   | <b>48</b> |
| <b>Figure III.2.</b> | Montage à reflux.  | <b>49</b> |
| <b>Figure III.3.</b> | Refroidissement du mélange réactionnel.  | <b>50</b> |
| <b>Figure III.4.</b> | schéma général de la synthèse des monomères.   | <b>50</b> |
| <b>Figure III.5.</b> | Montage de la synthèse des monomères.  | <b>51</b> |
| <b>Figure III.6.</b> | Rotta-vap pour la purification des monomères.  | <b>52</b> |

|                       |  |           |
|-----------------------|--|-----------|
| <b>Figure III.7.</b>  | Spectre IR du monomère MMA.  | <b>53</b> |
| <b>Figure III.8.</b>  | Spectre IR du monomère OMA.  | <b>53</b> |
| <b>Figure III.9.</b>  | synthèse de PBO.   | <b>55</b> |
| <b>Figure III.10.</b> | Montage de la préparation du peroxyde de benzoyle.                         | <b>56</b> |
| <b>Figure III.11.</b> | Schéma générale de la synthèse de copolymère.                              | <b>56</b> |
| <b>Figure III.12.</b> | Montage de la synthèse de copolymère.                                      | <b>57</b> |
| <b>Figure III.13.</b> | Copolymère après filtration.   | <b>58</b> |
| <b>Figure III.14.</b> | Copolymère après séchage.  | <b>58</b> |
| <b>Figure III.15.</b> | Spectre IR du copolymère n-alkyl méthacrylique, anhydrique maléique.       | <b>59</b> |
| <b>Figure III.16.</b> | La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN).                 | <b>60</b> |
| <b>Figure III.17.</b> | détermination de la masse volumique par aréomètre.                         | <b>61</b> |
| <b>Figure III.18.</b> | L'appareillage de la distillation ASTM D 86.                               | <b>62</b> |
| <b>Figure III.19.</b> | L'appareillage de mesure de la viscosité cinématique.                      | <b>62</b> |
| <b>Figure III.20.</b> | L'appareil de mesure du point d'écoulement.                                | <b>64</b> |
| <b>Figure III.21.</b> | L'appareil de Colorimètre Lovibond.  | <b>64</b> |
| <b>Figure III.22.</b> | Echelle de couleur démonstrative.  | <b>65</b> |
| <b>Figure III.23.</b> | Analyseur du point d'éclair vase clos.                                     | <b>66</b> |
| <b>Figure III.24.</b> | analyseur de carbone Conradson RCC.  | <b>67</b> |
| <b>Figure III.25.</b> | analyseur des cendres.   | <b>67</b> |
| <b>Figure III.26.</b> | analyseur de température limite de filtrabilité (CFPP).                    | <b>68</b> |
| <b>Figure III.27.</b> | Masse volumique avec additifs kérosène aux mélanges de gasoil.             | <b>78</b> |
| <b>Figure III.28.</b> | Point trouble avec additifs kérosène aux mélanges de gasoil.               | <b>78</b> |
| <b>Figure III.29.</b> | Point d'écoulement avec additifs kérosène aux mélanges de gasoil.          | <b>79</b> |
| <b>Figure III.30.</b> | CFPP avec additifs kérosène aux mélanges du gasoil.                        | <b>79</b> |
| <b>Figure III.31.</b> | Masse volumique avec additifs keroflux 6160 au gasoil (80% LGO / 20% HGO). | <b>80</b> |

|                       |  |           |
|-----------------------|--|-----------|
| <b>Figure III.32.</b> | Point d'écoulement avec additifs keroflux 6160 au gasoil (80% LGO / 20% HGO).  | <b>80</b> |
| <b>Figure III.33.</b> | Point trouble avec additifs keroflux 6160) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).  | <b>81</b> |
| <b>Figure III.34.</b> | CFPP avec additifs keroflux 6160) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).   | <b>81</b> |
| <b>Figure III.35.</b> | Masse volumique avec additifs keroflux 6103) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).  | <b>82</b> |
| <b>Figure III.36.</b> | Point d'écoulement avec additifs keroflux 6103) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).   | <b>82</b> |
| <b>Figure III.37.</b> | Point trouble avec additifs keroflux 6103 ) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).   | <b>83</b> |
| <b>Figure III.38.</b> | CFPP avec additifs keroflux 6103) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).   | <b>83</b> |
| <b>Figure III.39.</b> | Binoculaire Primo de la marque Star-Zeiss.   | <b>84</b> |
| <b>Figure III.40.</b> | Image du mélange M1 (80%LGO+20%HGO) +10 %de kérosène à 0°C et -5°C par microscope Binoculaire Primo Star-Zeiss.                | <b>84</b> |
| <b>Figure III.41.</b> | Image du mélange M1 (80%LGO+20%HGO) +10 µld'additif KEROFLUX (6103) à 0°C et -5°C par microscope Binoculaire Primo Star-Zeiss. | <b>84</b> |
| <b>Figure III.42.</b> | Spectre d'absorption UV du Keroflux (6103).  | <b>85</b> |
| <b>Figure III.43.</b> | Spectre d'absorptionUV du Keroflux(6160).  | <b>85</b> |
| <b>Figure III.44.</b> | Masse volumique avec additifs copolymère au Gasoil M1.   | <b>86</b> |
| <b>Figure III.45.</b> | Point trouble avec additifs copolymère au Gasoil M1.   | <b>87</b> |
| <b>Figure III.46.</b> | Point d'écoulement avec additifs copolymère au Gasoil M1.  | <b>88</b> |
| <b>Figure III.46.</b> | Température limite de filtrabilité avec additifs copolymère au Gasoil M1.  | <b>89</b> |

A decorative rectangular border with intricate black and white floral and scrollwork patterns, framing the central text.

# Liste des tableaux

## Liste de tableaux

|                        |  |           |
|------------------------|--|-----------|
| <b>Tableau I.1.</b>    | Types d'homopolymères.   | <b>9</b>  |
| <b>Tableau I.2.</b>    | Modes de copolymères.  | <b>10</b> |
| <b>Tableau II.1.</b>   | Unité de mesure : Tonne métrique.  | <b>26</b> |
| <b>Tableau II .2.</b>  | Qualité des produits de la colonne atmosphérique «Paramètres de colonne».              | <b>27</b> |
| <b>Tableau II.3.</b>   | Rendements des unités Topping «Design».  | <b>27</b> |
| <b>Tableau II.4.</b>   | Capacité de production journalière.  | <b>28</b> |
| <b>Tableau II.5.</b>   | Qualité produits Topping « design sortie unité » pour kérosène, le gasoil et additifs. | <b>29</b> |
| <b>Tableau II.6.</b>   | Capacité de production journalière.  | <b>30</b> |
| <b>Tableau II. 7.</b>  | Production Gasoil «Topping à 95%, Rendements actualisés».                              | <b>31</b> |
| <b>Tableau II .8.</b>  | Caractéristiques Distillats «Sortie unité».  | <b>32</b> |
| <b>Tableau II .9.</b>  | Production Distillats «Sortie Unité».  | <b>32</b> |
| <b>Tableau III.1.</b>  | Les résultats d'analyses pour le gasoil léger (LGO) Unité 10.                          | <b>68</b> |
| <b>Tableau III.2.</b>  | Les résultats d'analyses pour le gasoil léger (LGO) Unité 1.                           | <b>69</b> |
| <b>Tableau III.3.</b>  | Les résultats d'analyses pour le gasoil lourd (HGO) Unité 10.                          | <b>70</b> |
| <b>Tableau III.4.</b>  | Les résultats d'analyses pour le gasoil lourd (HGO) Unité 11.                          | <b>71</b> |
| <b>Tableau III.5.</b>  | Les résultats d'analyses pour le mélange (M 1).  | <b>72</b> |
| <b>Tableau III.6</b>   | Les résultats d'analyses pour le kérosène (Kéro) Unité 10.                             | <b>73</b> |
| <b>Tableau III.7</b>   | Les résultats d'analyses le kérosène (Kéro) Unité 11.                                  | <b>74</b> |
| <b>Tableau III.8</b>   | Les résultats d'analyses pour le mélange M 1 avec déférents % de kérosène.             | <b>75</b> |
| <b>Tableau III.9</b>   | Les résultats d'analyses pour le mélange M 2 avec déférents % de kérosène.             | <b>75</b> |
| <b>Tableau III.10</b>  | Les résultats d'analyses pour le mélange M 3 avec déférents % de kérosène.             | <b>75</b> |
| <b>Tableau III.11.</b> | Les résultats d'analyses pour le mélange M 4 avec déférents % de kérosène.             | <b>76</b> |
| <b>Tableau III.12.</b> | Les résultats d'analyses pour le mélange M 5 avec déférents % de kérosène.             | <b>76</b> |

|                        |   |            |
|------------------------|---|------------|
| <b>Tableau III.13.</b> | Les résultats d'analyses pour le mélange M 6 avec différents % de kérosène.               | <b>76</b>  |
| <b>Tableau III.14.</b> | Les résultats d'analyses pour le mélange M 7 avec différents % de kérosène.               | <b>76</b>  |
| <b>Tableau III.15.</b> | Les résultats d'analyses d'addition de keroflux 6160 au gasoil.                           | <b>78</b>  |
| <b>Tableau III.16.</b> | Les résultats d'analyses (Point d'écoulement) d'addition de keroflux 6160 au gasoil.      | <b>79</b>  |
| <b>Tableau III.17.</b> | Les résultats d'analyses (Point trouble) d'addition de keroflux 6160 au gasoil.           | <b>79</b>  |
| <b>Tableau III.18.</b> | Les résultats d'analyses (CFPP) d'addition de keroflux 6160 au gasoil.                    | <b>80</b>  |
| <b>Tableau III.19.</b> | Les résultats d'analyses (Masse volumique en kg/l) d'addition de keroflux 6103 au gasoil. | <b>80</b>  |
| <b>Tableau III.20.</b> | Les résultats d'analyses (Point d'écoulement ) d'addition de keroflux 6103 au gasoil.     | <b>81</b>  |
| <b>Tableau III.21.</b> | Les résultats d'analyses (Point trouble) d'addition de keroflux 6103 au gasoil.           | <b>82</b>  |
| <b>Tableau III.22.</b> | Les résultats d'analyses (CFPP) d'addition de keroflux 6103 au gasoil.                    | <b>82</b>  |
| <b>Tableau III.23.</b> | Les résultats d'analyses (Masse volumique) d'addition de copolymère au gasoil.            | <b>85</b>  |
| <b>Tableau III.24.</b> | Les résultats d'analyses (Point trouble) d'addition de copolymère au gasoil.              | <b>85</b>  |
| <b>Tableau III.25.</b> | Les résultats d'analyses (Point d'écoulement) d'addition de copolymère au gasoil.         | <b>86</b>  |
| <b>Tableau III.26.</b> | Les résultats d'analyses (CFPP) d'addition de copolymère au gasoil.                       | <b>87</b>  |
| <b>Tableau IV.1.</b>   | Business Model Canvas BMC.  | <b>96</b>  |
| <b>Tableau IV.2.</b>   | Coûts des produits.   | <b>101</b> |
| <b>Tableau IV.3.</b>   | Le marché du Jet A1 et pétrole lampant.   | <b>102</b> |

A decorative border composed of intricate black floral and scrollwork patterns, framing the central text. The border is rectangular with ornate corners and a repeating scroll design along the sides.

# **Liste des abréviations**

**Liste des Abréviations**

**PET** : Polyéthylène téréphtalate.

**SBR** : Le copolymère styrène-butadiène.

**PPDPA** : Le poly (acrylate de 3-pentadécylphényle).

**CP** : Le point de trouble.

**CFPP** : Le point de colmatage du filtre à froid.

**PP** : Le point d'écoulement.

**EVA** : Poly (éthylène-co-acétate de vinyle).

**C.T.E** : Centrale thermoélectrique.

**NAFTAL** : Entreprise Nationale de commercialisation et de distribution des produits pétroliers.

**ISO** : L'organisation internationale de normalisation.

**RA1K**: La raffinerie de SKIKDA.

**ASTM**: American Society for Testing and Materials International.

**MMA** : Le méthyl-métacrylate.

**MMH** : Le hexadécyl-métacrylate.

**MMO** : L'octyl-métacrylate.

**R1MC-MB-NVP**: alkyl Methacrylate -benny methacrylate-N-vinyl-2-pyrrolidone Benzyl.



# Sommaire

Sommaire

|                        |  |             |
|------------------------|--|-------------|
| Remerciements          |  |             |
| Dédicace               |  |             |
| Liste des figures      |  | <b>I</b>    |
| Liste des tableaux     |  | <b>V</b>    |
| Liste des abréviations |  | <b>VIII</b> |
| Introduction générale  |  | <b>01</b>   |
| <b>Chapitre : I</b>    | <b>Généralités sur les polymères.</b>                                  | <b>03</b>   |
| <b>I.1.</b>            | Fondement théorique des polymères.                                     | <b>04</b>   |
| <b>I.1.1.</b>          | Historique sur la découverte des polymères.                            | <b>04</b>   |
| <b>I.1.2.</b>          | Définition des polymères.  | <b>05</b>   |
| <b>I.1.3.</b>          | Structure moléculaire des polymères.                                   | <b>05</b>   |
| <b>I.1.3.1.</b>        | Chaînes polymères linéaires.   | <b>05</b>   |
| <b>I.1.3.2.</b>        | Chaînes polymères ramifiées.   | <b>06</b>   |
| <b>I.1.3.3.</b>        | Réseaux polymères réticulés.   | <b>06</b>   |
| <b>I.1.3.4.</b>        | Copolymères.   | <b>07</b>   |
| <b>I.1.4.</b>          | Propriétés physiques et chimiques des polymères.                       | <b>07</b>   |
| <b>I.1.5.</b>          | Classification des polymères en fonction de leur structure.            | <b>08</b>   |
| <b>I.1.5.1.</b>        | Homopolymères.   | <b>08</b>   |
| <b>I.1.5.2.</b>        | Copolymères.   | <b>09</b>   |
| <b>I.2.</b>            | Synthèse des polymères.  | <b>10</b>   |
| <b>I.2.1.</b>          | Techniques de polymérisation.  | <b>10</b>   |
| <b>I.2.1.1.</b>        | Polymérisation par étapes.   | <b>10</b>   |
| <b>I.2.1.2.</b>        | Polymérisation en chaîne.  | <b>11</b>   |
| <b>I.2.1.3.</b>        | Polymérisation radicalaire.  | <b>11</b>   |
| <b>I.2.2.</b>          | Facteurs influençant la cinétique et le contrôle de la polymérisation. | <b>12</b>   |
| <b>I.2.3.</b>          | Méthodes de caractérisation des polymères synthétisés.                 | <b>13</b>   |
| <b>I.3.</b>            | Application des polymères.   | <b>14</b>   |
| <b>I.3.1.</b>          | Domaines d'application des polymères.                                  | <b>14</b>   |
| <b>I.4.</b>            | Utilisation Les polymères comme additif.                               | <b>15</b>   |

|                       |  |           |
|-----------------------|--|-----------|
| <b>I.4.1.</b>         | Poly (acrylate de 3-pentadécylphényle).                              | <b>15</b> |
| <b>I.4.2.</b>         | Poly (éthylène-co-acétate de vinyle) (EVA).                          | <b>16</b> |
| <b>I.4.3.</b>         | Terpolymères comme améliorants d'écoulement.                         | <b>17</b> |
| <b>I.5.</b>           | Utilisation des polymères dans l'industrie pétrolière.               | <b>17</b> |
| <b>Chapitre : II</b>  | <b>Le gasoil</b>   | <b>20</b> |
| <b>II.1.</b>          | Composition élémentaire de pétrole brut et leurs divers groupements. | <b>21</b> |
| <b>II.2.</b>          | Définition des hydrocarbures.  | <b>22</b> |
| <b>II.3.</b>          | Le raffinage du pétrole brut.  | <b>22</b> |
| <b>II.3.1.</b>        | La distillation atmosphérique et sous vide.                          | <b>23</b> |
| <b>II.3.2.</b>        | Le raffinage en RA1K.  | <b>25</b> |
| <b>II.4.</b>          | Spécification du gasoil commercialisé.                               | <b>33</b> |
| <b>II.4.1.</b>        | Définition de gasoil.  | <b>33</b> |
| <b>II.4.2.</b>        | Composition de gasoil.   | <b>36</b> |
| <b>II.4.3.</b>        | Propriétés du Gasoil.  | <b>36</b> |
| <b>II.4.3.1.</b>      | Densité (poids spécifique).  | <b>36</b> |
| <b>II.4.3.2.</b>      | Point d'écoulement.  | <b>36</b> |
| <b>II.4.3.3.</b>      | Point trouble.   | <b>37</b> |
| <b>II.4.3.4.</b>      | la température du point de la filtrabilité.                          | <b>37</b> |
| <b>II.5.</b>          | Utilisations du gasoil.  | <b>38</b> |
| <b>II.6.</b>          | Amélioration d'écoulement du gasoil.                                 | <b>38</b> |
| <b>II.6.1.</b>        | Addition du kérosène.  | <b>40</b> |
| <b>II.6.2.</b>        | Addition d'un abaisseur de point d'écoulement.                       | <b>40</b> |
| <b>II.6.3.</b>        | Additifs antigél.  | <b>41</b> |
| <b>II.6.4.</b>        | Additifs dispersants et détergents.                                  | <b>42</b> |
| <b>II.6.5.</b>        | Additifs pour améliorer la lubrification.                            | <b>42</b> |
| <b>II.6.6.</b>        | Additifs pour réduire les émissions.                                 | <b>42</b> |
| <b>II.6.7.</b>        | Les modificateurs de point de trouble.                               | <b>42</b> |
| <b>II.6.8.</b>        | Additif à base de n-alkyl méthacrylate.                              | <b>43</b> |
| <b>II.6.9.</b>        | KEROFLUX ®6103 comme additif.  | <b>44</b> |
| <b>Chapitre : III</b> | <b>Étude rhéologique du gasoil avec kérosène et l'additif</b>        | <b>47</b> |
| <b>III.1.</b>         | Synthèse du catalyseur (le p-TSA).                                   | <b>48</b> |

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| <b>III.2.</b>     | Synthèse du monomère.   | <b>50</b> |
| <b>III.2.1.</b>   | Caractérisation du monomère synthétisé.                             | <b>52</b> |
| <b>III.2.2.</b>   | Techniques de caractérisation utilisée.                             | <b>52</b> |
| <b>III.2.1.1.</b> | La spectroscopie infrarouge (IR).                                   | <b>52</b> |
| <b>III.3.</b>     | Synthèse du réactif de polymérisation (peroxyde de benzoyle PBO).   | <b>55</b> |
| <b>III.4.</b>     | Synthèse du copolymère des méthylacrylique.                         | <b>56</b> |
| <b>III.4.1.</b>   | Polymérisation.   | <b>57</b> |
| <b>III.4.2.</b>   | Caractérisation du copolymère synthétisé.                           | <b>58</b> |
| <b>III.4.2.1.</b> | Techniques de caractérisation utilisée.                             | <b>58</b> |
| <b>III.5.</b>     | Caractérisations du gasoil.   | <b>60</b> |
| <b>III.5.1.</b>   | La masse volumique à 15 °C selon la norme ASTM D1298-12b (2017) e1. | <b>60</b> |
| <b>III.5.2.</b>   | Distillation manuelle selon la norme ASTM D86-23.                   | <b>60</b> |
| <b>III.5.3.</b>   | La viscosité cinématique à 40°C.                                    | <b>61</b> |
| <b>III.5.4.</b>   | Le point d'écoulement.  | <b>61</b> |
| <b>III.5.5.</b>   | La couleur ASTM.  | <b>63</b> |
| <b>III.5.6.</b>   | L'indice de cétane calculé.   | <b>64</b> |
| <b>III.5.7.</b>   | La teneur en eau.   | <b>64</b> |
| <b>III.5.8.</b>   | Point d'éclair manuel vase clos.                                    | <b>64</b> |
| <b>III.5.9.</b>   | Corrosion lame de cuivre.   | <b>65</b> |
| <b>III.5.10.</b>  | Teneur en soufre.   | <b>65</b> |
| <b>III.5.11.</b>  | Teneur en cendres.  | <b>65</b> |
| <b>III.5.13.</b>  | Teneur en carbone Conradson CCR                                     | <b>66</b> |
| <b>III.5.14.</b>  | Température de limite de filtrabilité CFPP.                         | <b>66</b> |
| <b>III.6.</b>     | Les résultats d'analyses physico-chimiques.                         | <b>67</b> |
| <b>III.6.1.</b>   | Résultats du gasoil.  | <b>67</b> |
| <b>III.6.2.</b>   | Résultats du kérosène.  | <b>73</b> |
| <b>III.7.</b>     | L'amélioration du gasoil avec les additifs.                         | <b>74</b> |
| <b>III.7.1.</b>   | Simulation des mélanges de gasoil avec le kérosène.                 | <b>74</b> |
| <b>III.7.2.</b>   | Simulation des mélanges de gasoil avec le keroflux.                 | <b>78</b> |
| <b>III.7.3.</b>   | Les résultats d'analyses d'addition de keroflux 6103 au gasoil.     | <b>80</b> |

|                      |  |            |
|----------------------|--|------------|
| <b>III.7.3.1.</b>    | Analyses optiques.   | <b>82</b>  |
| <b>III.7.3.2.</b>    | Analyses spectroscopique UV des additifs Keroflux (6103) et Keroflux (6160). | <b>83</b>  |
| <b>III.7.4.</b>      | Simulation des mélanges de gasoil avec le copolymère.                        | <b>85</b>  |
| <b>III.8.</b>        | Discussion.  | <b>88</b>  |
| <b>Chapitre : IV</b> | <b>L'aspect économique titre</b>   | <b>91</b>  |
| <b>IV.1.</b>         | Stratégie de marketing.  | <b>92</b>  |
| <b>IV.2.</b>         | Les entreprises les plus importantes impliquées dans notre projet.           | <b>93</b>  |
| <b>IV.3.</b>         | Mesurer l'intensité de concurrence.  | <b>93</b>  |
| <b>IV.3.1.</b>       | BASF SE.   | <b>93</b>  |
| <b>IV.3.2.</b>       | CHEVRON ORONITE.   | <b>93</b>  |
| <b>IV.3.3.</b>       | INFINEUM.  | <b>94</b>  |
| <b>IV.4.</b>         | Business Model Canvas BMC.   | <b>96</b>  |
| <b>IV.4.1.</b>       | Partenaires clés.  | <b>96</b>  |
| <b>IV.4.2.</b>       | Activités clés.  | <b>97</b>  |
| <b>IV.4.3.</b>       | Ressources clés.   | <b>97</b>  |
| <b>IV.4.4.</b>       | Proposition de valeur.   | <b>98</b>  |
| <b>IV.4.5.</b>       | Canaux de distribution.  | <b>99</b>  |
| <b>IV.4.6.</b>       | Relations clients.   | <b>99</b>  |
| <b>IV.4.7.</b>       | Segments de clients.   | <b>100</b> |
| <b>IV.4.8.</b>       | Sources de revenus.  | <b>100</b> |
| <b>IV.4.9.</b>       | Structure de coûts.  | <b>101</b> |
| <b>IV.5.</b>         | Coûts et charges.  | <b>101</b> |
| <b>IV.6.</b>         | Calcul des résultats attendus.   | <b>102</b> |
| <b>IV.7.</b>         | Plans de trésorerie.   | <b>103</b> |
| <b>IV.8.</b>         | Conclusion.  | <b>103</b> |
| Conclusion générale. |  | <b>105</b> |
| Bibliographie.       |  | <b>107</b> |
| L'annexe.            |  |            |
| Résumé de l'étude.   |  |            |

A decorative rectangular border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

# **Introduction générale**

### Introduction Générale

La synthèse et l'évaluation d'un additif copolymère en tant qu'abaisseur du point d'écoulement et du CFPP (Cold Filter Plugging Point) dans le gasoil constituent un sujet d'une grande importance dans le domaine des carburants. En effet, cela concerne l'amélioration des performances et de la qualité des carburants diesel utilisés dans diverses applications industrielles et automobiles.

L'idée du projet a été commencée lors de la participation à la sémination du gasoil avec un additif Keroflux établie par une société allemande BSAF au laboratoire de la raffinerie de Skikda en 2015.

Le point d'écoulement désigne la température minimale à laquelle un carburant peut s'écouler correctement à travers un filtre. Plus cette température n'est basse, plus les risques de colmatage des filtres et de perturbation du fonctionnement des moteurs diesel sont élevés. Quant au CFPP, il correspond à la température à laquelle le carburant commence à former des cristaux susceptibles d'obstruer le filtre à carburant. Il est donc essentiel de réduire le point d'écoulement et le CFPP afin d'assurer un bon fonctionnement des véhicules diesel, en particulier dans les régions aux climats froids.

L'utilisation d'additifs copolymères représente l'une des approches les plus prometteuses pour abaisser le point d'écoulement et le CFPP. Ces copolymères sont des polymères constitués de deux monomères ou plus. En sélectionnant des monomères spécifiques, il est possible de synthétiser des copolymères dotés de propriétés uniques, notamment une meilleure fluidité à basse température.

La synthèse d'un additif copolymère implique généralement une polymérisation contrôlée de différents monomères afin d'obtenir une structure moléculaire spécifique. Selon les caractéristiques recherchées pour l'additif copolymère, différentes méthodes de polymérisation peuvent être utilisées, telles que la polymérisation en émulsion, en solution ou en masse.

Une fois le copolymère synthétisé, une évaluation approfondie est nécessaire pour déterminer son efficacité en tant qu'abaisseur du point d'écoulement et du CFPP dans le gasoil. Cette évaluation comprend des tests rigoureux visant à mesurer l'impact de l'additif copolymère sur les propriétés du carburant. Des techniques analytiques avancées, telles que la résonance

magnétique nucléaire (RMN), la spectroscopie infrarouge (IR) et la microscopie électronique, peuvent être utilisées à cet effet.

L'objectif principal de cette recherche est de développer un additif copolymère efficace, abordable et durable pouvant être utilisé dans le gasoil afin d'améliorer ses performances par temps froid. Ceci permettrait d'assurer un fonctionnement fluide des moteurs diesel et une disponibilité accrue du carburant dans des conditions climatiques froides.

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble sur les polymères, en abordant leur historique, leur classification, leur état et leurs diverses applications dans la vie quotidienne.

Le deuxième chapitre se concentre sur le raffinage du pétrole et les spécifications du gasoil commercialisé, en définissant sa composition et en présentant ses propriétés.

Le troisième chapitre présente en détail la partie expérimentale, comprenant la synthèse et la caractérisation. Il inclut une étude rhéologique du gasoil en présence de kérosène et de l'additif. Les équipements, les produits utilisés ainsi que les techniques de caractérisation employées dans cette étude seront également décrits.

Le quatrième chapitre met en évidence les aspects innovants et la valeur économique ajoutée de notre projet.

Enfin, nous concluons notre travail par une conclusion synthétisant les principaux résultats et les implications de notre recherche.



**Chapitre I**  
**Généralités sur les polymères**

Les polymères sont omniprésents dans notre vie quotidienne et jouent un rôle essentiel dans de nombreux secteurs économiques. Ils sont largement utilisés dans des domaines tels que l'industrie, l'emballage, l'électronique, l'automobile, la médecine, les matériaux de construction, et bien d'autres encore.

## **I.1. Fondements théoriques des polymères**

### **I.1.1. historique sur la découverte des polymères**

Les polymères existent sous forme naturelle depuis le début de la vie, et ceux tels que l'ADN, les protéines et les polysaccharides jouent un rôle crucial dans la vie végétale et animale. Depuis les temps les plus reculés, l'homme a exploité les polymères naturels comme matériaux pour fournir des vêtements, des décorations, des abris, des outils, des armes, du matériel d'écriture et d'autres besoins. Cependant, les origines de l'industrie des polymères d'aujourd'hui sont généralement acceptées comme étant au XIXe siècle lorsque des découvertes importantes ont été faites concernant la modification de certains polymères naturels. [1]

- 1839 : Charles Goodyear découvre par hasard le processus de vulcanisation du caoutchouc, qui implique le chauffage du caoutchouc avec du soufre pour améliorer ses propriétés mécaniques. La vulcanisation a permis d'augmenter la stabilité du caoutchouc et d'en élargir les applications.
- 1860 : Alexander Parkes présente le Parkesine, le premier polymère synthétique. Il s'agit d'un matériau plastique fabriqué à partir de la nitrocellulose et de diverses substances chimiques. Le Parkesine est considéré comme le précurseur des plastiques modernes.
- 1907 : Leo Baekeland synthétise la bakélite, le premier polymère entièrement synthétique et commercialisé à grande échelle. La bakélite est un polymère thermodurcissable, résistant à la chaleur et à l'électricité, et elle a été utilisée dans une variété d'applications industrielles et domestiques.
- Années 1920-1930 : La découverte des polymères synthétiques se développe rapidement. Des polymères tels que le PVC (polychlorure de vinyle), le PS (polystyrène) et le PMMA (polyméthacrylate de méthyle) sont synthétisés et trouvent des utilisations dans diverses industries.
- Années 1930-1940 : Wallace Carothers et son équipe chez DuPont développent le nylon, un polymère synthétique à base de fibres utilisé dans l'industrie textile. Le nylon a été utilisé pour la fabrication de bas, de cordes, de tissus résistants et d'autres produits.

- Années 1950-1960 : L'industrie des polymères connaît une expansion majeure. De nouveaux polymères synthétiques sont découverts et commercialisés, tels que le polyéthylène, le polypropylène, le polycarbonate, le PET (polyéthylène téréphtalate), et bien d'autres encore. Ces polymères sont largement utilisés dans l'emballage, les fibres textiles, les revêtements, les pièces automobiles et une multitude d'autres applications.

Depuis lors, la recherche et le développement des polymères ont continué à progresser, permettant la découverte de nouveaux polymères aux propriétés améliorées et spécialisées. Les polymères jouent aujourd'hui un rôle central dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne et sont essentiels pour de nombreuses industries. [2]

### I.1.2. Définition des polymères

Le terme polymère (du grec polus qui signifie « nombreux, plusieurs » et meros qui signifie « unité, partie ») qui sont typiquement regroupés en toute matière formée par la répétition d'un très grand nombre  $n$  de petites molécules de faible masse moléculaire appelées monomères qui sont liés entre eux par des liaisons primaires (liaisons covalentes) sachant que le monomère est une molécule de base (pouvant être par exemple non saturée ou cyclique ou encore comportant des fonctions réactives à ses extrémités). [3] L'assemblage des monomères pour l'obtention de polymères (ou macromolécules) s'appelle la polymérisation. Un monomère peut être composé d'un à plusieurs atomes qui forment l'unité de base qui se répète pour former un polymère, comme représenté dans la figure ci-dessous : [4]

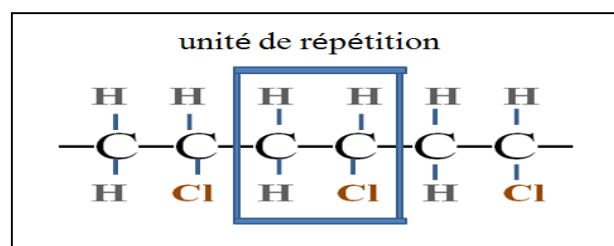


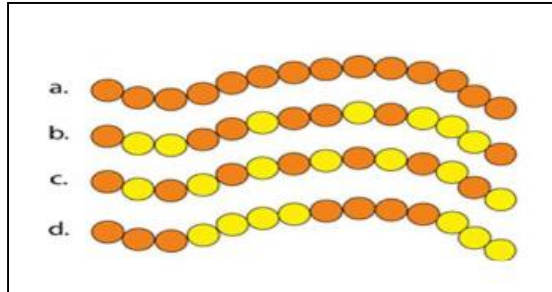
Figure I.1: Poly (vinyl chloride) (PVC). [4]

### I.1.3. Structure moléculaire des polymères

La structure moléculaire des polymères est l'organisation des chaînes polymères et des motifs répétés qui les composent. Elle joue un rôle essentiel dans les propriétés et les comportements des polymères. [5]

#### I.1.3.1. Chaînes polymères linéaires

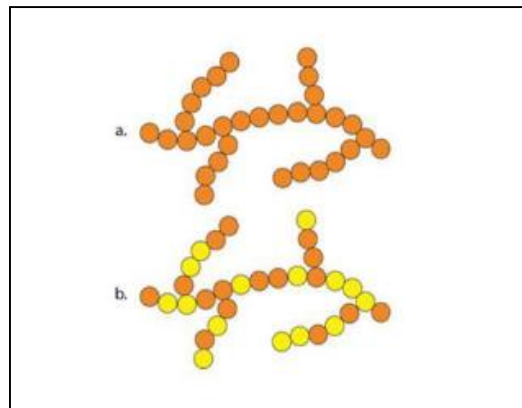
Les polymères linéaires sont des chaînes droites sans ramifications ni connexions latérales. Chaque unité de répétition (monomère) est reliée aux unités adjacentes par des liaisons covalentes, formant une chaîne continue. Les polymères linéaires sont flexibles et peuvent s'aligner dans des arrangements réguliers.



**Figure I.2** : polymères linéaires. [5]

### I.1.3.2. Chaînes polymères ramifiées

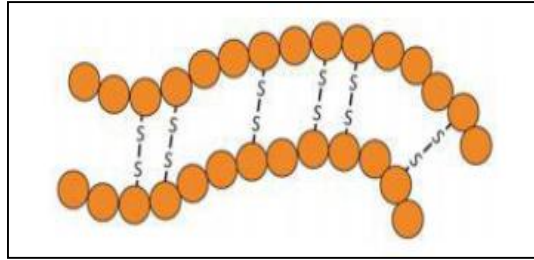
Les polymères ramifiés sont des chaînes polymères avec des ramifications ou des connexions latérales. Ces branches latérales peuvent être formées pendant la réaction de polymérisation ou par modification chimique ultérieure du polymère linéaire. Les polymères ramifiés présentent souvent des propriétés différentes de celles des polymères linéaires en raison des interactions entre les chaînes principales et les branches.



**Figure I.3** : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b). [5]

### I.1.3.3. Réseaux polymères réticulés

Les polymères réticulés sont formés par des liaisons chimiques supplémentaires entre les chaînes polymères, créant un réseau tridimensionnel. Ces liaisons chimiques, appelées liaisons réticulées ou ponts réticulants, augmentent la rigidité et la résistance du polymère. Les polymères réticulés sont souvent utilisés pour fabriquer des matériaux résistants à la chaleur, aux solvants et mécaniquement robustes.



**Figure I.4 :** Polymère réticulé avec ponts di-sulfure reliant deux chaînes. [5]

#### I.1.3.4. Copolymères

Les copolymères sont des polymères formés à partir de deux ou plusieurs types de monomères différents. Les monomères peuvent être répartis de manière aléatoire le long de la chaîne (copolymère aléatoire), ou ils peuvent être disposés en blocs distincts (copolymère en bloc) ou sous la forme de motifs alternés (copolymère séquencé). Les copolymères combinent les propriétés des différents monomères et peuvent présenter des comportements uniques. [6]

#### I.1.4. Propriétés physiques et chimiques des polymères

Les polymères présentent un large éventail de propriétés physiques et chimiques qui déterminent leurs applications et leurs comportements, il faut noter que ces propriétés peuvent être ajustées et modifiées en modifiant la composition chimique du polymère, la structure moléculaire, les conditions de fabrication et les traitements post-polymérisation. Les propriétés les plus courantes des polymères sont :

- ✓ **Rigidité et flexibilité :** Les polymères peuvent varier en termes de rigidité et de flexibilité. Certains polymères sont rigides et résistants, tandis que d'autres sont flexibles et malléables. Cette propriété dépend de la structure moléculaire, de la longueur de la chaîne et de la présence de ramifications ou de réticulations.
- ✓ **Résistance mécanique :** Les polymères peuvent présenter une résistance mécanique élevée, ce qui signifie qu'ils peuvent résister à des charges, à la déformation et à la rupture. Cette propriété est liée à la structure moléculaire et à la taille des chaînes polymères, ainsi qu'à la présence de liaisons réticulées.
- ✓ **Élasticité :** Certains polymères sont élastiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent être étirés ou déformés sous l'application d'une force, mais ils retrouvent leur forme initiale une fois la force retirée. Cela est dû à la capacité des chaînes polymères à se déplacer et à se réorganiser.
- ✓ **Ténacité :** La ténacité est la capacité d'un polymère à absorber l'énergie avant de se rompre. Certains polymères ont une ténacité élevée, ce qui les rend résistants aux chocs et aux impacts.

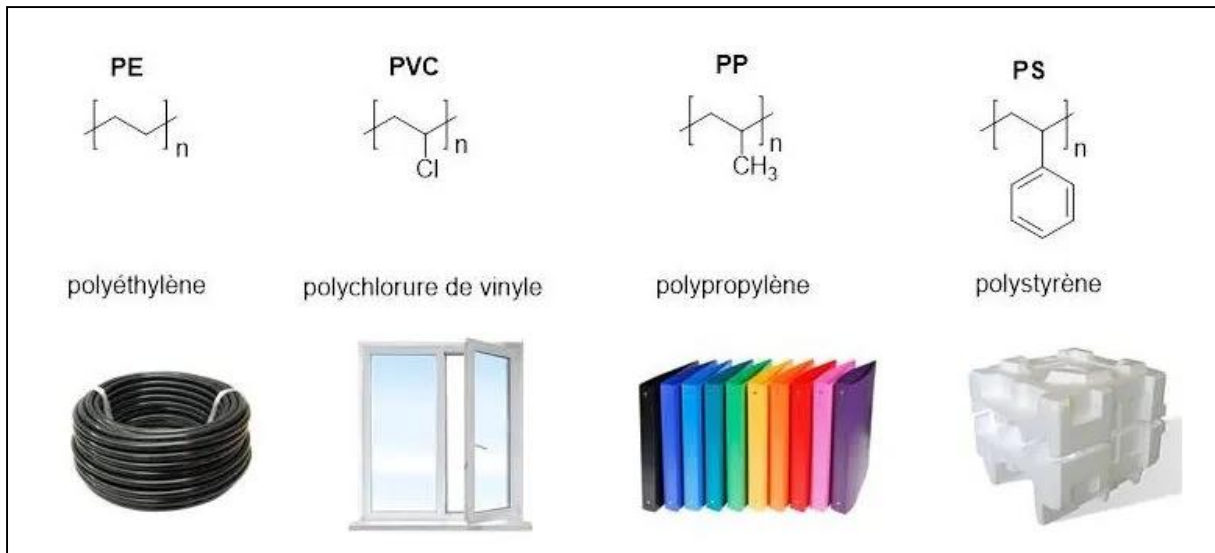
- ✓ **Transparence et opacité** : Les polymères peuvent être transparents, semi-transparentes ou opaques, en fonction de la structure moléculaire, de l'ordre des chaînes et de la présence de domaines cristallins ou amorphes.
- ✓ **Conductivité** : Certains polymères peuvent être conducteurs d'électricité, comme le polyaniline ou le polypyrrole, tandis que d'autres sont isolants. La conductivité des polymères dépend de leur structure moléculaire et de la présence de groupes fonctionnels conducteurs.
- ✓ **Solubilité** : Les polymères peuvent présenter différents degrés de solubilité dans les solvants. Certains polymères sont solubles dans certains solvants, tandis que d'autres sont insolubles. La solubilité dépend de l'affinité entre les groupes chimiques du polymère et le solvant utilisé.
- ✓ **Résistance chimique** : Les polymères peuvent être résistants à divers produits chimiques, tels que les acides, les bases, les solvants organiques, etc. Cette résistance dépend de la nature chimique des monomères et de la structure moléculaire du polymère.
- ✓ **Stabilité thermique** : Certains polymères sont stables à des températures élevées, tandis que d'autres peuvent se dégrader ou fondre. La stabilité thermique dépend de la structure moléculaire et des forces intermoléculaires présentes dans le polymère.
- ✓ **Perméabilité** : Les polymères peuvent présenter une perméabilité sélective aux gaz ou aux liquides. Certains polymères sont utilisés comme barrières pour empêcher la diffusion de substances indésirables ou pour permettre une séparation sélective. [7]

### I.1.5. Classification des polymères en fonction de leur structure

Les homopolymères et les copolymères sont deux types de polymères qui diffèrent par la composition de leurs monomères constitutifs.

#### I.1.5.1. Homopolymères



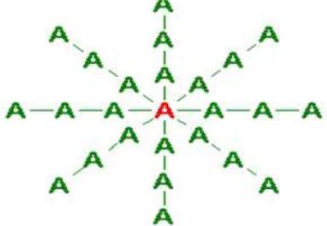
Les homopolymères sont des polymères constitués d'un seul type de monomère répété le long de la chaîne polymère. Dans les homopolymères, tous les monomères sont identiques et reliés par des liaisons covalentes pour former une chaîne linéaire ou ramifiée. Par exemple, le polyéthylène est un homopolymère constitué de répétitions d'unités d'éthylène. Nous trouvons aussi le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polystyrène (PS) qui représentent à eux seuls 80% de la production mondiale. [8]



**Figure I.5:** Exemples des Homopolymères

Les différents types d’homopolymères sont représentés dans le Tableau I.1. Notons que A représente l’unité de l’homopolymère.

**Tableau I.1. Types d’homopolymères [9]**

| Types                        | Formes   |
|------------------------------|--|
| les homopolymères linéaires. |  |
| les homopolymères branchés.  |  |
| Les homopolymères étoilés    |  |

### I.1.5.1. Copolymères

Les copolymères sont des polymères formés à partir de deux ou plusieurs types de monomères différents, qui sont liés ensemble dans une seule chaîne polymère. Les copolymères peuvent être classés en fonction de la distribution des monomères le long de la chaîne polymère tel que le copolymère statistique où les monomères sont distribués de manière aléatoire le long de la chaîne polymère. Par conséquent, les monomères A et B sont mélangés de manière aléatoire, créant une séquence aléatoire d'unités A et B. Un exemple courant est le copolymère styrène-butadiène (SBR). [10]

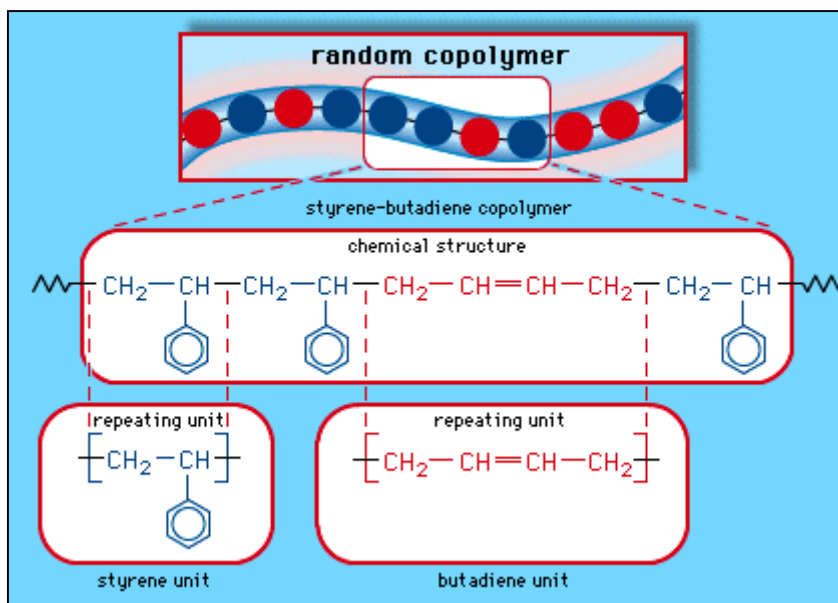


Figure I.6 : Exemple de copolymères

Les autres modes de copolymères sont résumés dans le Tableau I.2 :

Tableau I.2 : Modes de copolymères [11]

| Mode                 | Forme                                |
|----------------------|--------------------------------------|
| le mode statistique. | A-A-B-A-B-B-B-B-A-A-B-A              |
| le mode alterné.     | A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A                |
| le mode séquencé.    | A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B            |
| le mode greffé       | A-A-A-A-A-A-A<br>B-B-B-B-B-B-B-B-B-B |

## I.2. Synthèse des polymères

### I.2.1. Techniques de polymérisation

Le principe de base de la synthèse des polymères repose sur la réaction chimique de polymérisation, au cours de laquelle les monomères se lient entre eux pour former des chaînes polymériques plus longues.

#### I.2.1.1. La polymérisation en chaîne

Dans la polymérisation en chaîne, les monomères s'associent sans réaction d'élimination simultanée. C'est le procédé le plus utilisé dans l'industrie : le polyéthylène, le polypropylène,

le polystyrène, l'alcool polyvinylique sont des exemples de polymères obtenus par polymérisation en chaîne. Cette polymérisation comporte les étapes suivantes : [12]

- **L'amorçage** : c'est la formation des centres actifs à partir du monomère.
- **La propagation** : croissance des chaînes de polymère par additions successives.
- **La terminaison** : destruction du centre actif et interruption de la croissance des chaînes.

### I.2.1.2. Polymérisation par étape (polycondensation)

Les polymères de condensation sont obtenus par la réaction aléatoire de deux molécules, Une molécule participant à une réaction de polycondensation peut être un monomère, un oligomère ou un intermédiaire de poids moléculaire supérieur ayant chacun des unités terminales fonctionnelles complémentaires, telles que des groupes acide carboxylique ou hydroxyle. En règle générale, les polymérisations par condensation se produisent par la libération d'une petite molécule sous la forme d'un gaz, d'eau ou de sel. Toute réaction de condensation à haut rendement telle que l'estérification ou l'amidation peut être utilisée pour obtenir un polymère de haut poids moléculaire. [13]

### I.2.1.3. Polymérisation radicalaire

La Polymérisation radicalaire est une réaction en chaîne et fait intervenir comme espèce active des radicaux ; elle se déroule en trois étapes: amorçage, propagation et terminaison. Dans le cas des polymérisations radicalaires, les plus courantes, l'amorçage s'effectue sous l'action de la chaleur, par irradiation ou par des molécules spécifiques. Les espèces actives sont des radicaux libres. Le polymère ainsi obtenu est dit atactique: il a une structure totalement désorganisée [14], ou amorphe.

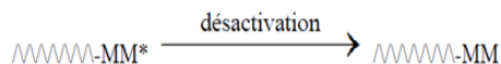
- **L'Amorçage** : Elle correspond à l'activation d'une molécule de monomère qui se fait grâce à un amorceur A, le début de l'équation de la polymérisation es de la forme :



- **La propagation** : Elle correspond à la propagation du centre actif à d'autres monomères. L'activité de ce monomère et activé a d'autre monomères.



- **La terminaison** : Elle correspond à la rencontre d'un polymère ayant un monomère activé au bout de la chaîne et d'une espèce qui désactive le monomère.



### I.2.2. Facteurs influençant la cinétique et le contrôle de la polymérisation

La cinétique et le contrôle de la polymérisation peuvent être influencés par plusieurs facteurs. Les principaux facteurs à prendre en compte sont : [15]

- a. **Température** : La température joue un rôle crucial dans la cinétique de la réaction de polymérisation. Une augmentation de la température peut accélérer la vitesse de réaction, tandis qu'une diminution de la température peut ralentir la réaction. La température peut également influencer le degré de polymérisation, la distribution de taille des chaînes polymériques et les propriétés du polymère final.
- b. **Concentration des réactifs** : La concentration des monomères et des initiateurs dans le milieu réactionnel peut affecter la vitesse de la réaction de polymérisation. Une concentration élevée de monomères peut favoriser une réaction plus rapide, tandis qu'une concentration élevée d'initiateurs peut augmenter la formation de radicaux libres et accélérer la réaction.
- c. **Nature des monomères** : Les monomères utilisés dans la polymérisation peuvent avoir des réactivités différentes. Certains monomères peuvent réagir rapidement, tandis que d'autres peuvent nécessiter des conditions spécifiques ou des catalyseurs pour amorcer la réaction. La structure chimique des monomères peut également influencer la cinétique de polymérisation et les propriétés du polymère résultant.
- d. **Catalyseurs** : Certains systèmes de polymérisation utilisent des catalyseurs pour accélérer la réaction de polymérisation. Les catalyseurs peuvent être de différents types, tels que les catalyseurs métalliques, les catalyseurs organiques ou les catalyseurs enzymatiques. Le choix du catalyseur peut influencer la vitesse de réaction, la sélectivité des réactions et les propriétés du polymère final.
- e. **Solvants** : Les solvants utilisés dans la polymérisation peuvent jouer un rôle dans la cinétique et le contrôle de la réaction. Certains solvants peuvent faciliter la dissolution des monomères, augmentant ainsi la réactivité et la vitesse de la réaction. D'autres solvants peuvent ralentir la réaction ou influencer la structure des chaînes polymériques formées.
- f. **Méthode de polymérisation** : La méthode de polymérisation utilisée, telle que la polymérisation en chaîne, la polymérisation par étapes ou la polymérisation en émulsion, peut influencer la cinétique de la réaction et le contrôle de la polymérisation.

Chaque méthode a ses propres exigences et conditions de réaction, ce qui peut influencer la vitesse de réaction, la distribution de taille des chaînes polymériques et les propriétés du polymère final.

- g. Inhibiteurs ou régulateurs de polymérisation :** Certains composés, tels que les inhibiteurs ou les régulateurs de polymérisation, peuvent être utilisés pour ralentir ou contrôler la réaction de polymérisation. Ces composés peuvent être ajoutés pour moduler la vitesse de réaction, la durée de la polymérisation ou la structure du polymère final.

### I.2.3. Méthodes de caractérisation des polymères synthétisés

Les méthodes couramment utilisées pour caractériser les polymères sont les suivants : [16]

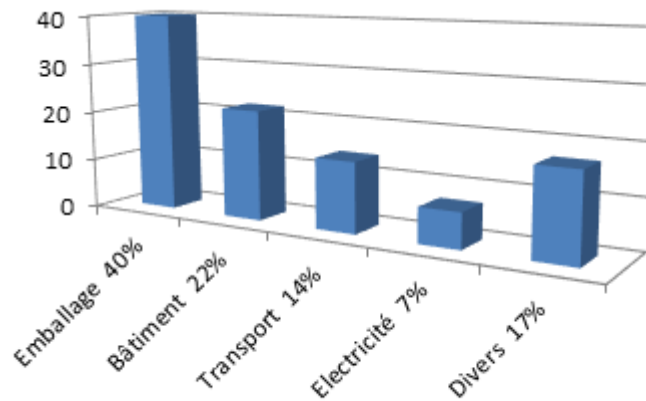
- **Spectroscopie infrarouge (IR) :** La spectroscopie infrarouge permet d'analyser les vibrations moléculaires des polymères, offrant ainsi des informations sur leur structure chimique, leur composition et leur conformation.
- **Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN) :** La RMN est une technique puissante qui permet d'analyser la structure et la conformation des polymères à l'échelle moléculaire. Elle peut être utilisée pour déterminer la séquence, la distribution des monomères et les liaisons chimiques dans les polymères.
- **Chromatographie en phase gazeuse (CPG) :** La CPG est utilisée pour séparer, identifier et quantifier les différents composants d'un mélange de polymères. Elle est particulièrement utile pour déterminer la distribution de poids moléculaire et les propriétés thermiques des polymères.
- **Analyse thermique différentielle (ATD) et thermogravimétrie (ATG) :** Ces techniques permettent d'étudier les propriétés thermiques des polymères, telles que la température de transition vitreuse, la stabilité thermique, la décomposition et la cristallinité.
- **Microscopie électronique (ME) :** La ME, y compris la microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie électronique à transmission (MET), permet de visualiser la morphologie, la structure et la topographie des polymères à une échelle microscopique.
- **Analyse mécanique :** L'analyse mécanique, telle que la rhéométrie et la traction, permet de caractériser les propriétés mécaniques des polymères, telles que la rigidité, la résistance à la traction, la flexibilité et l'élasticité.
- **Diffraction des rayons X (DRX) :** La DRX est utilisée pour étudier la structure cristalline des polymères, la taille des cristallites et la présence d'amorphie.

- **Microscopie à force atomique (MFA)** : La MFA permet d'observer et de mesurer les propriétés de surface des polymères, telles que la rugosité, l'adhérence et la topographie à l'échelle nanométrique.
- **Techniques de diffusion de la lumière** : Les techniques de diffusion de la lumière, telles que la diffusion statique de la lumière (DSL) et la diffusion dynamique de la lumière (DDL), sont utilisées pour déterminer la masse moléculaire, la distribution de poids moléculaire et la taille des particules des polymères en solution.

### I.3. Applications des polymères

#### I.3.1. Domaines d'application des polymères

Les polymères ont un large éventail d'applications dans de nombreux domaines tels que : [17]



**Figure I.7** : Diffèrent Dmaines d'application des polymères

- ↪ **Industrie automobile** : Les polymères sont utilisés dans la fabrication de pièces automobiles, telles que les pare-chocs, les intérieurs de véhicules, les pneus, les joints d'étanchéité et les revêtements de carrosserie, en raison de leur légèreté, de leur résistance aux chocs et de leur facilité de moulage.
- ↪ **Emballage** : Les polymères sont largement utilisés dans l'industrie de l'emballage pour fabriquer des films, des sacs, des bouteilles et des contenants. Ils offrent des avantages tels que la légèreté, la transparence, la flexibilité, la résistance aux chocs, la barrière aux gaz et à l'humidité, et la facilité de recyclage.
- ↪ **Électronique** : Les polymères conducteurs et semi-conducteurs sont utilisés dans la fabrication de composants électroniques tels que les transistors organiques, les diodes

électroluminescentes organiques (OLED), les batteries, les panneaux solaires souples et les capteurs.

- ↪ **Textiles et vêtements** : Les polymères synthétiques, tels que le polyester, le nylon et l'élasthanne, sont utilisés dans l'industrie textile pour fabriquer des vêtements, des tissus d'ameublement et des textiles techniques. Les polymères offrent des propriétés telles que la résistance à l'usure, la résistance aux taches, la respirabilité et la facilité d'entretien.
- ↪ **Construction** : Les polymères sont utilisés dans l'industrie de la construction pour fabriquer des matériaux de construction tels que les revêtements de sol, les isolants, les adhésifs, les mastics, les membranes d'étanchéité et les matériaux de renforcement des structures. Ils offrent des avantages tels que la durabilité, la résistance aux intempéries, la légèreté et la facilité de mise en œuvre.
- ↪ **Médecine et dispositifs médicaux** : Les polymères sont utilisés dans la fabrication de dispositifs médicaux tels que les prothèses, les implants, les sutures, les cathéters et les emballages pharmaceutiques. Les polymères biocompatibles offrent des propriétés telles que la résistance aux réactions chimiques, la flexibilité, la stérilité et la résistance aux fluides corporels.
- ↪ **Secteur de l'énergie** : Les polymères sont utilisés dans les secteurs de l'énergie renouvelable, tels que les panneaux solaires, les batteries, les membranes d'électrolyte et les revêtements antireflets. Les polymères sont également utilisés dans les applications d'isolation électrique et thermique.
- ↪ **Sports et loisirs** : Les polymères sont utilisés dans la fabrication d'articles de sport tels que les raquettes, les balles, les skis, les planches de surf et les équipements de protection. Ils offrent des propriétés de légèreté, de résistance et d'amortissement des chocs.

#### **I.4. Utilisation Les polymères comme additif**

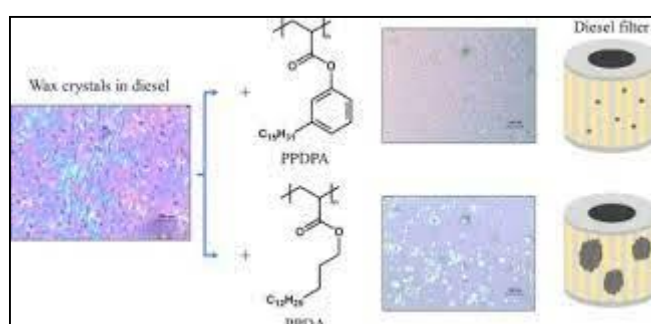
##### **I.4.1. Poly (acrylate de 3-pentadécylphényle) ayant une structure en forme de goupillon pour améliorant d'écoulement de distillat moyen haute performance**

Le poly(acrylate de 3-pentadécylphényle) (PPDPA) structuré en forme de goupillon a été préparé et s'est avéré être un améliorant efficace de l'écoulement du distillat moyen (MDFI) pour améliorer les propriétés à froid du diesel, telles que le point de trouble (CP), le point de colmatage du filtre à froid (CFPP) et le point d'écoulement (PP).

Par exemple, lorsque 250 ppm de PPDPA ont été ajoutés au diesel de base, les valeurs CP, CFPP et PP du diesel ont diminué de 3, 9, et 15 °C à 6, 13, et 24 °C, respectivement.

Fait intéressant, lorsqu'un autre polymère brosse à bouteille, le poly(acrylate de n-pentadécyle) (PPDA), avec une structure chimique très similaire a été préparé et ajouté au diesel à une concentration de 250 ppm, le CFPP a augmenté à 8 °C. Calorimétrie à balayage différentiel et polarisé les résultats de microscopie optique ont indiqué que le groupe phényle supplémentaire sur la chaîne latérale limitait la cristallisation du groupe latéral pentadécyle.

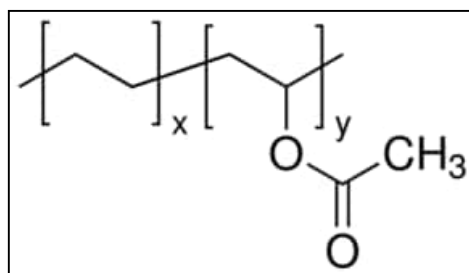
Le PPDP, avec le groupe latéral 3-pentadécylphényle, a entravé la cristallisation de la cire dans le diesel, tandis que le PPDA, avec le groupe latéral 3-pentadécyle sans la structure phényle, a facilité la cristallisation de la cire. [18]



**Figure I.8 :** Effet d'additif PPDA sur le diesel. [19]

#### I.4.2. Poly (éthylène-co-acétate de vinyle) (EVA) comme inhibiteur de cire d'un pétrole brut brésilien (viscosité de l'huile, point d'écoulement et comportement de phase des solutions organiques)

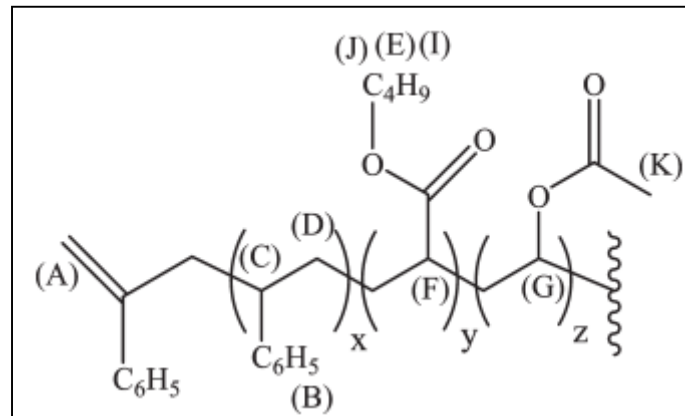
Plusieurs techniques ont été utilisées pour minimiser les problèmes causés par le dépôt de cire, et l'ajout continu d'inhibiteurs polymères est considéré comme une alternative technologique intéressante. L'ajout de copolymères comme les polyacrylates, les polyméthacrylates ou le poly (éthylène-co-acétate de vinyle) (EVA) permet d'inhiber le phénomène de dépôt ; néanmoins, cet effet est spécifique, c'est-à-dire que des copolymères similaires présentent des performances différentes en fonction de leurs propriétés physico-chimiques en solution. [20]



**Figure I.9:** Le poly(éthylène-co-acétate de vinyle) (EVA). [20]

### I.4.3. Terpolymères comme améliorants d'écoulement pour les pétroles bruts mexicains

Le comportement rhéologique de solutions diluées de différents terpolymères a été étudié sur une large gamme de températures (20-45 °C). L'enquête se concentre sur l'effet de la teneur en trois comonomères, leur poids moléculaire, le terpolymère et la relation viscosité-température d'un pétrole brut mexicain (MCO). Des terpolymères avec différents teneurs en styrène (S), en acrylate de n-butyle (BA) et en acétate de vinyle (VA). La composition des terpolymères a été évaluée par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN). Le pétrole brut non traité et celui traité avec une solution de terpolymère ont présenté un comportement non newtonien. Les résultats confirment que la viscosité du pétrole brut est réduite lorsque les terpolymères ont un pourcentage élevé de S et de petites quantités de BA ou VA. Le poids moléculaire des terpolymères joue un rôle fondamental dans leurs performances en tant que réducteurs de viscosité. [21]



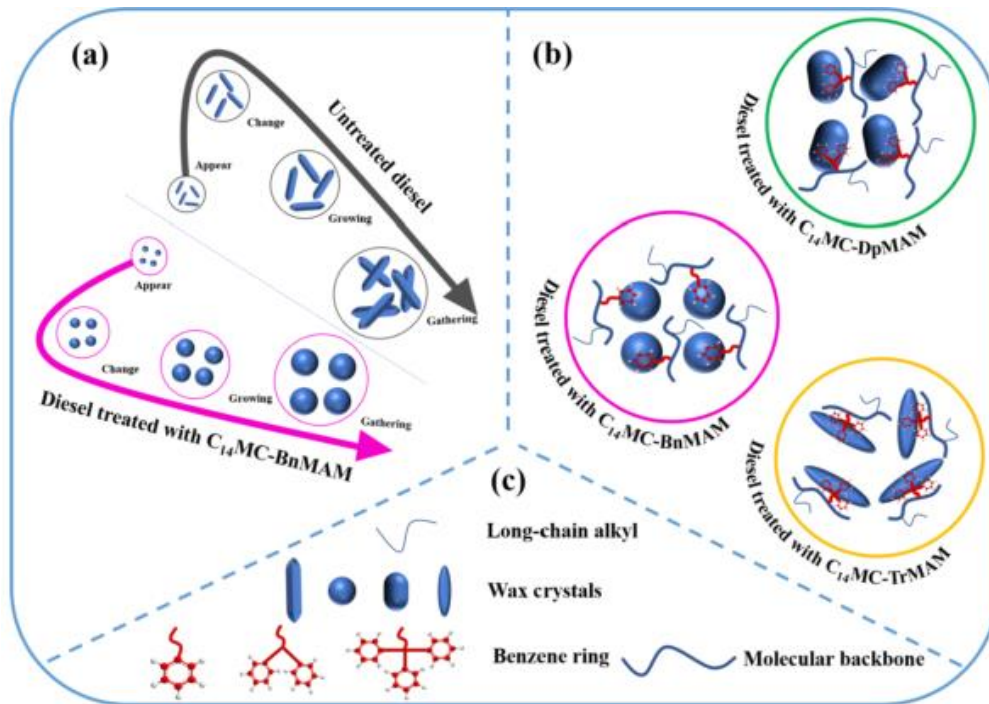
**Figure I.10** : Représentation structurale de terpolymère S-BuA-VA. [21]

### I.5. Utilisation des polymères dans l'industrie pétrolière

L'utilisation des polymères comme additifs dans l'industrie pétrolière est courante et offre plusieurs avantages. Les polymères sont des macromolécules constituées de répétitions de petites unités appelées monomères. Ils peuvent être synthétiques, tels que le polyacrylamide, le polyéthylène ou le polypropylène, ou naturels, tels que la gomme arabique ou l'amidon.

Dans l'industrie pétrolière, les polymères sont principalement utilisés comme additifs pour améliorer les propriétés des fluides de forage, des fluides de complétion et des fluides de récupération assistée du pétrole. On vous présente quelques utilisations courantes des polymères dans l'industrie pétrolière. [22]

- **Fluides de forage** : Les polymères sont utilisés dans les fluides de forage pour réguler la viscosité et la rhéologie du fluide. Ils améliorent la capacité du fluide à transporter les déblais de forage à la surface et à maintenir la stabilité des parois du puits. Les polymères synthétiques tels que le polyacrylamide sont couramment utilisés car ils offrent une large gamme de propriétés rhéologiques ajustables en fonction des besoins spécifiques du forage.
- **Fluides de complétion** : Lors de la phase de complétion du puits, les polymères sont ajoutés aux fluides de complétion pour réduire la friction et faciliter l'installation de la tubulure de forage. Ces polymères réduisent l'usure des équipements de forage et améliorent l'efficacité des opérations de complétion. Les polymères utilisés dans les fluides de complétion comprennent souvent des copolymères acryliques ou des polymères à base de styrène.
- **Récupération assistée du pétrole** : Lorsque les méthodes de production traditionnelles ne suffisent pas à extraire tout le pétrole d'un gisement, des polymères peuvent être utilisés pour augmenter la viscosité de l'eau injectée dans le réservoir. Cela permet de déplacer plus efficacement le pétrole vers les puits de production. Les polymères utilisés pour la récupération assistée du pétrole comprennent des polymères hydrosolubles tels que le polyacrylamide, qui peuvent être injectés dans le réservoir avec de l'eau pour améliorer l'efficacité du processus de récupération.
- **Additifs de qualité de carburant** : Certains polymères sont utilisés comme additifs dans les carburants pour améliorer leur qualité et leurs performances. Par exemple, des polymères dispersants peuvent être ajoutés aux carburants pour prévenir la formation de dépôts dans les moteurs et maintenir la propreté des systèmes d'injection. Des polymères lubrifiants peuvent également être utilisés pour réduire l'usure des pièces mobiles du moteur et améliorer l'efficacité de la combustion. [23]



**Figure I.11 : la modification de la morphologie cristalline du diesel.**

Le choix du polymère dépendra des besoins spécifiques de l'application et des conditions environnementales. De plus, la compatibilité du polymère avec les autres composants du fluide ou du carburant doit être prise en compte pour assurer une performance optimale et éviter les problèmes de compatibilité.

L'utilisation de polymères comme additifs dans l'industrie pétrolière est un domaine de recherche et de développement continu, visant à améliorer les performances des opérations pétrolières tout en minimisant l'impact environnemental.



## **Chapitre II**

### **Le gasoil**

Le pétrole formé sous la surface de la terre par la décomposition d'organismes marins. Les restes d'organismes minuscules qui vivent dans la mer et, dans une moindre mesure. [24]

### II.1. Composition élémentaire de pétrole brut et leurs divers groupements

Les éléments essentiels qui composent le pétrole sont, le carbone (83 à 87%) et l'hydrogène (11 à 14%) qui forment les divers groupements d'hydrocarbures. Parmi les composants du pétrole on compte également des composés d'oxygène, de soufre et d'azote dont la teneur varie entre 1 % et 7 % en fonction de type du pétrole. On a pu constater la présence dans les cendres du pétrole de Cl, P, Si, As et les métaux K, Na, Fe, Ni et enfin presque tous les éléments du tableau périodique de MENDELIEVE. Les hydrocarbures contenus dans le pétrole appartiennent aux six groupements principaux suivants :

#### a) hydrocarbures paraffiniques (alcanes)

Ce sont des hydrocarbures saturés de formules brute  $C_n H_{2n+2}$  et se sont :  
**Des gaz : (C 1 à C4 )** : Qui peuvent être utilisés comme combustibles ménagers et industriels ou comme matière première pour la pétrochimie (pour l'obtention des alcools gras, noir de carbone ....etc.).

**Des liquides (C 5 à C20)** : Dans les conditions normales de pression et de température) : ils font partie intégrante de l'essence, kérosène et de gasoil, mais ils peuvent être utilisés comme matière première pour la pétrochimie pour l'obtention des alcools gras et des acides gras et des détergents.

**Des produits visqueux ou solides : (C20 et plus ; dans la température ambiante)** : Ils font partie intégrante des paraffines et des résines.

#### b) Hydrocarbures naphténiques

Ce sont des hydrocarbures cycliques saturés de formule brute  $C_n H_{2n}$ . Le pétrole à base naphténiq est utilisé pour l'obtention des huiles car ils possèdent un grand indice de viscosité, mais aussi ce sont des bons composants des carburateurs à cause de leur grand pouvoir calorifique. [25]

Les propriétés des hydrocarbures naphténiques elles se trouvent comprises entre celles des paraffiniques et celles des aromatiques.

#### c) Hydrocarbures aromatiques

Ce sont des hydrocarbures cycliques non saturés de formule brute  $C_n H_n$ , le premier nombre de cette famille est le benzène. Le benzène est désiré dans les essences car il améliore son indice

d'octane. Les hydrocarbures aromatiques à plus grande masse moléculaire se trouvent dans le kérosène et le gasoil et la majeure partie dans les huiles. Plus de ces trois principaux groupements il existe dans le pétrole.

#### **d) Les composés sulfurés**

Pratiquement tous les pétroles contiennent des composés sulfurés et leurs teneurs varient largement d'un pétrole à un autre. Ils diminuent l'indice d'octane des essences et ils forment des gommages dans les essences, on les divise généralement en trois parties :

- Les composés sulfurés à base d'acide ( $H_2S$  : acide sulfurés, RSH mercaptans), ils peuvent se dissoudre dans l'eau et donner l'acide sulfurique  $H_2SO_4$  (corrosif).
- Les sulfures et les polysulfures (R-S-R' sulfures, R-SS-R' polysulfures), avec l'augmentation de température il y a formation de  $H_2S$  et R-SH.
- Les composés sulfurés à grande masse moléculaire, se trouvent principalement dans les mazouts et les goudrons.

#### **e) Les composés azotés**

Ils sont indésirables dans le pétrole et les produits pétroliers, ils sont toxiques pour les catalyseurs.

#### **f) Les composés oxygénés**

Pratiquement tous les pétroles renferment des composés oxygénés, ce sont des homologues de phénol et des acides naphthéniques R-COOH qui se concentrent principalement dans les gasoils et les huiles.

Les acides naphthéniques forment un bon additif pour les huiles (qui augmente la détergence), et peuvent être aussi utilisés comme engrais ou comme aliments des poulets. [25]

## **II.2. Définition des hydrocarbures**

Les composés organiques qui ne contiennent que des éléments de carbone (C) et d'hydrogène (H) sont appelés hydrocarbures et forment le plus grand groupe de composés organiques. Il pourrait y avoir jusqu'à plusieurs milliers de composés d'hydrocarbures différents dans les fluides des réservoirs pétroliers. Les composés d'hydrocarbures ont une formule générale fermée de  $C_xH_y$ , où x et y sont des nombres entiers.

Généralement, les hydrocarbures sont divisés en quatre groupes : [26]

- (1) les paraffines, (2) les oléfines, (3) les naphthènes et (4) les aromatiques.

## **II.3. Le raffinage du pétrole brut**

Le raffinage du pétrole correspond à l'ensemble des procédés de traitement et de transformation que le pétrole va subir dans la raffinerie afin de produire une quantité maximale de produits à haute valeur commerciale, comme les différents carburants utilisés dans les moteurs à combustion et les monomères qui serviront à alimenter l'industrie pétrochimique.

Le design d'une raffinerie va tenir compte des propriétés physico-chimiques du ou des bruts qu'elle servira à traiter. Il peut arriver pour des gisements importants qu'une raffinerie ne soit utilisée que pour le traitement de ce seul brut, mais en général, les raffineries européennes sont construites afin de traiter une gamme de bruts assez large. De manière générale, la structure des raffineries va être plus simple dans les pays en développement que dans les pays développés et aussi dans les régions où les besoins en carburants sont élevés. Dans le dernier cas, le nombre d'unités de traitement sera plus important. Seules les étapes de séparation et une partie des étapes de conversion en rapport avec le sujet seront décrites dans cette partie de la thèse.



**Figure II.1** : la raffinerie de Skikda RA1K

Le raffinage s'opère en plusieurs étapes :

Exemple :

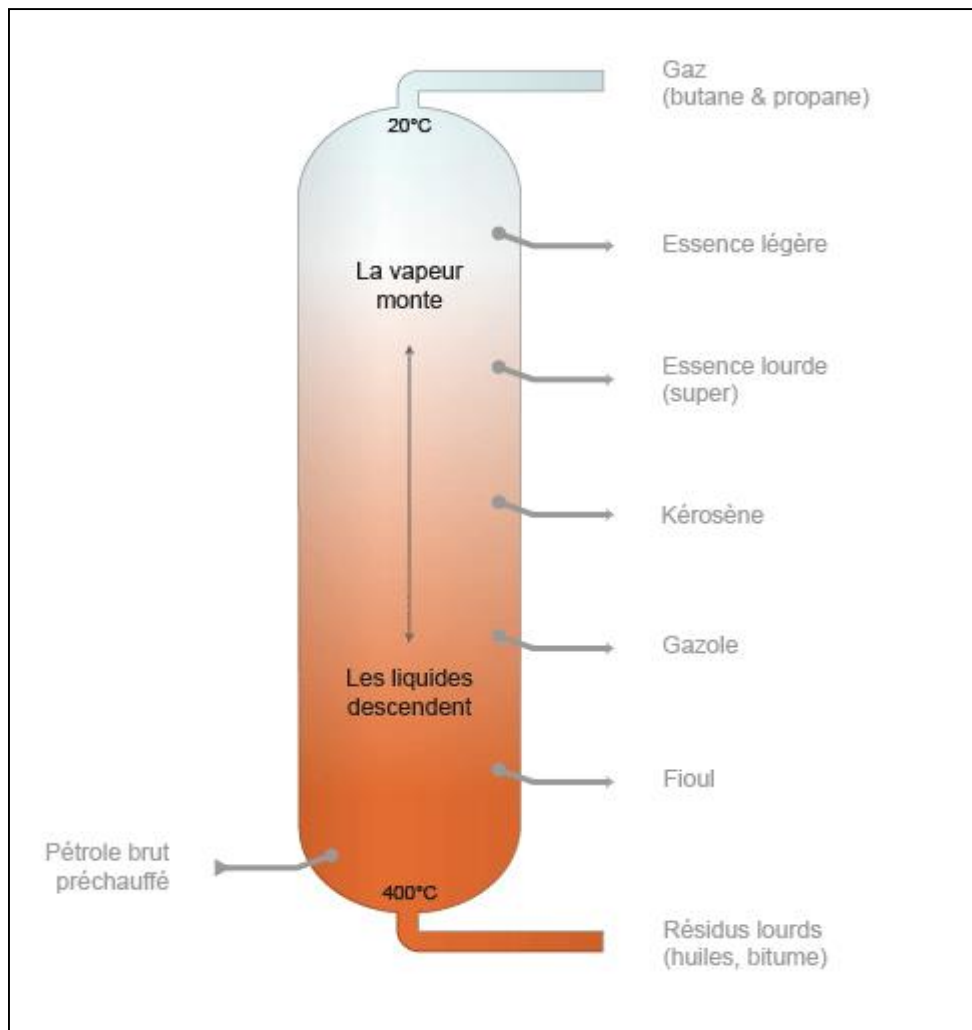
### **II.3.1. La distillation atmosphérique et sous vide**

La distillation s'effectue en deux étapes : d'abord la distillation atmosphérique, puis la distillation sous vide.

Durant la distillation atmosphérique, le pétrole brut est chauffé et introduit dans une colonne à distillation. Les différentes coupes pétrolières sont ainsi extraites et envoyées vers d'autres unités de la raffinerie afin de poursuivre leurs traitements plus ou moins lourds selon la coupe considérée ainsi que la qualité du pétrole brut introduit initialement. Les coupes extraites du pétrole brut vont être détaillées ci-dessous :

- Les gaz.
- Les essences légères.
- Les essences lourdes.
- Le kérosène.
- Les diesels légers.
- Les diesels lourds.
- Le distillat atmosphérique.
- Le résidu atmosphérique.

Les gaz et les essences sont extraits sous forme gazeuse en tête de colonne et sont ensuite traités dans des colonnes de distillation à deux produits. Les coupes kérosène, diesel et distillat sont soutirés latéralement et le résidu atmosphérique est soutiré par le fond. [26]



**Figure II.2 :** Principe de fonctionnement d'une tour de distillation de pétrole brut [27]

Durant la distillation sous vide, on utilise comme charge le résidu atmosphérique issu de la première étape de distillation afin de la séparer en plusieurs coupes pétrolières. Le découpage réalisé va dépendre à la fois de la composition du résidu atmosphérique servant de charge, mais aussi des utilisations souhaitées pour les coupes obtenues.

Les coupes formées sont alors :

- Les distillats sous vide (DSV).
- Le résidu sous vide (RSV).

Le gazole et les distillats sous vide sont soutirés latéralement tandis que le résidu sous vide est soutiré par le fond de la colonne. [26]

### II.3.2. Le raffinage en RA1K

La raffinerie de SKIKDA a pour mission de transformer le pétrole brut en produits pétroliers répondants à des spécifications requises « Normes Nationales et Internationales ».

Ces produits « GPL, Carburants, Bitumes, Aromatiques » sont destinés à la satisfaction des besoins du marché national et les excédents sont exportés.

La raffinerie est conçue pour le traitement des charges suivantes :

- Brut Hassi Messaoud « B.H.M », et un brut « Mélange d'Arzew » avec une capacité annuelle de 16.5 millions de tonnes.
- Brut réduit « B.R.I » importé pour la production des bitumes « Bitumes routiers et bitumes oxydés » avec une capacité annuelle de 275 000 T/M.

La raffinerie de Skikda dispose de deux unités de reformage catalytique « Reforming I & Reforming II » et deux unités d'aromatiques « U.200 & U.400 » et deux unités d'isomérisation « ISOM 1 U. (700,701) » & « ISOM 2 U. (702,703) » avec une unité de production de l'hydrogène « U 900 » et une unité d'isomérisation des xylènes « U 500 ».

En plus des unités de production, la raffinerie dispose d'une centrale thermoélectrique « C.T.E » pour la production des utilités et l'énergie nécessaire au fonctionnement de ses unités.

Le stockage des charges et des produits finis et semi-finis se fait dans des bacs spécialisés selon le type du produit à stocker « Toit Fixe, Toit Flottant, Sphères, Cigares ».

Les expéditions des produits finis vers les ports, entrepôts NAFTAL et camions sont réalisées par le biais des stations d'expédition spécifiques à chaque type de produit. [28]

Les unités de production sont regroupées dans le tableau suivant avec la capacité de traitement annuelle design.

**Tableau II.1 : Unité de mesure : Tonne métrique.**

| Unités de production                         | Désignations | Capacité de Traitement Design |
|--|--------------|-------------------------------|
| C.T.E. « Centrale thermoélectronique »       | Utilités     | -                             |
| Topping 10 « Distillation Atmosphérique »    | U. 10        | 8 291 248                     |
| Topping 11 « Distillation Atmosphérique »    | U. 11        | 8 291 248                     |
| Gas Plant U.30/31/104 « Séparation des GPL » | U. 30        | 341 168                       |
|  | U. 31        | 311 064                       |
|  | U. 104       | 96 568                        |

|   |                   |             |
|---|-------------------|-------------|
| <b>Magnaforming U.100</b> « Reforming Catalytique »         | <b>U. 100</b>     | 1 163 200   |
| <b>Platforming U.101/103</b> « Reforming Catalytique »      | <b>U. 101</b>     | 1 220 000   |
|   | <b>U. 103</b>     | 989 920     |
| <b>Isomérisation 1&amp;2 U.700/701 ; 702/703</b> « Isom »   | <b>U. 700/701</b> | 347 000     |
|   | <b>U. 702/703</b> | 347 000     |
| <b>U. 200</b> « Extraction des Aromatiques »                | <b>U. 200</b>     | 593 976     |
| <b>U. 400</b> « Séparation et cristallisation du P-Xylène » | <b>U. 400</b>     | 425 700     |
| <b>U. 500</b> « Isomérisation des xylènes »                 | <b>U. 500</b>     | 1 370 560   |
| <b>U. 70</b> « Distillation sous Vide »                     | <b>U. 70</b>      | 275 000     |
| <b>Off Sites</b> " Zone Nord, Zone Est, Zone Sud "          | <b>Melex</b>      | <b>147.</b> |

**Tableau II .2 : Qualité des produits de la colonne atmosphérique « Paramètres de colonne »**

| Brut          | HASSI-MESSAOUD | MELANGE D'ARZEW |
|---------------|----------------|-----------------|
| Essence       | PI-180         | PI-180          |
| Kérosène      | 180-235        | 180-235         |
| Gas-oil léger | 235-320        | 235-320         |
| Gas-oil lourd | 320-360        | 320-375         |
| Résidu        | 360+           | 375+            |

**Tableau II.3 : Rendements des unités Topping « Design »**

| Traitement | Topping 10 |       | Topping 11 |       |
|------------|------------|-------|------------|-------|
|            | % mass     | TM/J  | % mass     | TM/J  |
| B.H.M      | 100 %      | 24873 | 100 %      | 24873 |

|          |        |      |        |      |
|----------|--------|------|--------|------|
| Produits |        |      |        |      |
| G.P.L    | 3.8%   | 933  | 3.8%   | 933  |
| Naphta A | 04 %   | 1005 | 04 %   | 1005 |
| Naphta B | 14 %   | 3484 | 14 %   | 3484 |
| Naphta C | 11.4 % | 2829 | 11.4 % | 2829 |
| Coupe C6 | 01 %   | 216  | 01 %   | 216  |
| Kéro     | 09 %   | 2250 | 09 %   | 2250 |
| L.G.O    | 21 %   | 5221 | 21 %   | 5221 |
| H.G.O    | 7.4 %  | 1850 | 7.4 %  | 1850 |
| Fuel BTS | 28 %   | 6972 | 28 %   | 6972 |
| Pertes   | 0.4 %  | 109  | 0.4 %  | 109  |

Tableau II.4 : Capacité de production journalière

| Désignation  | Cas de Marche |          |          |
|--------------|---------------|----------|----------|
|              | Cas A         | Cas B    | Cas C    |
| Butane       | 339.2         | 339.2    | 339.2    |
| Naphta       | 12 236.8      | 10 515.6 | 12 236.8 |
| Jet A1       | -             | 3 007.7  | 1 289.8  |
| Gasoil Léger | 2 196.8       | 908.8    | 908.8    |
| Gasoil Lourd | 349.1         | 349.1    | 349.1    |
| Pertes       | 30.1          | 31.6     | 28.3     |
| Total        | 15 152.0      | 15 152.0 | 15 152.0 |

**Tableau II.5 : Qualité produits Topping « design sortie unité » pour kérosène, l gasoil et résidu**

|                       | Topping 10 / 11    |                |             |                        |
|-----------------------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|
|                       | Kérosene           | LGO            | HGO         | Résidu " Fuel BTS<br>" |
| Densité               | 0,7850 à<br>0,7900 | 0,8300         | 0,8600      | 0,9050                 |
| Pt de Flash °C        | 59                 | 83 à 91        | 126 à 132   | 164                    |
| Pt de Trouble °C      | -                  | - 16 à inf -20 | + 3 à +9    | -                      |
| Pt D'écoulement<br>°C | -                  | -27 à inf -24  | + 9 à +12   | +15 à +27              |
| Pt de Fumée °C        | -                  | -              | -           | -                      |
| Indice Diesel         | -                  | 62,6 à 64,08   | 60,3 à 58,9 | -                      |
| Indice Cétane         | -                  | 53,5 à         | 44 à        | -                      |
| CFPP °C               | -                  | -18 à -23      | +5 à +10    | -                      |
| Distillation          | -                  | -              | -           | -                      |
| PI                    | 166                | 178 à 203      | 239 à 249   | 307 à 317              |
| 10%                   | 182                | 225 à 235      | 279 à 300   | 355 à 356              |
| 50%                   | 220                | 266 à 266      | 327 à 340   | 382 à 388              |
| PF                    | 230                | 319 à 329      | 376 à 386   | -                      |

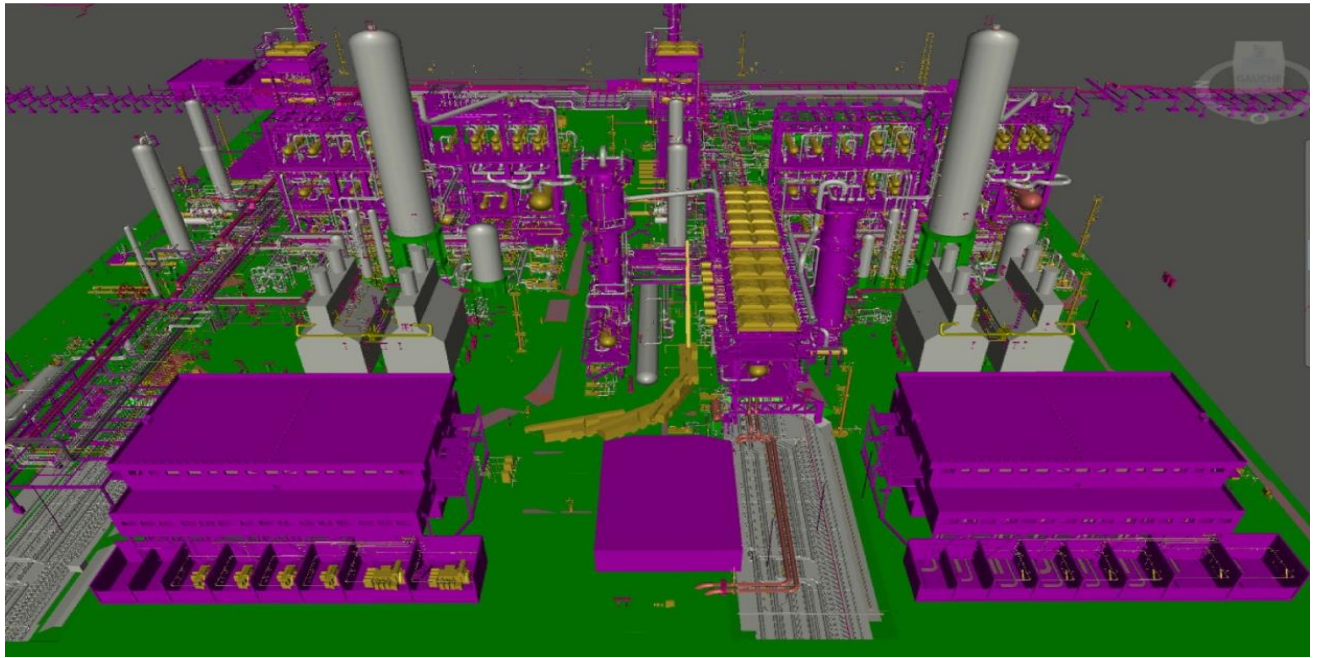


Figure II.3 : Unite TOPPING -RA1K realisé par AutoCAD

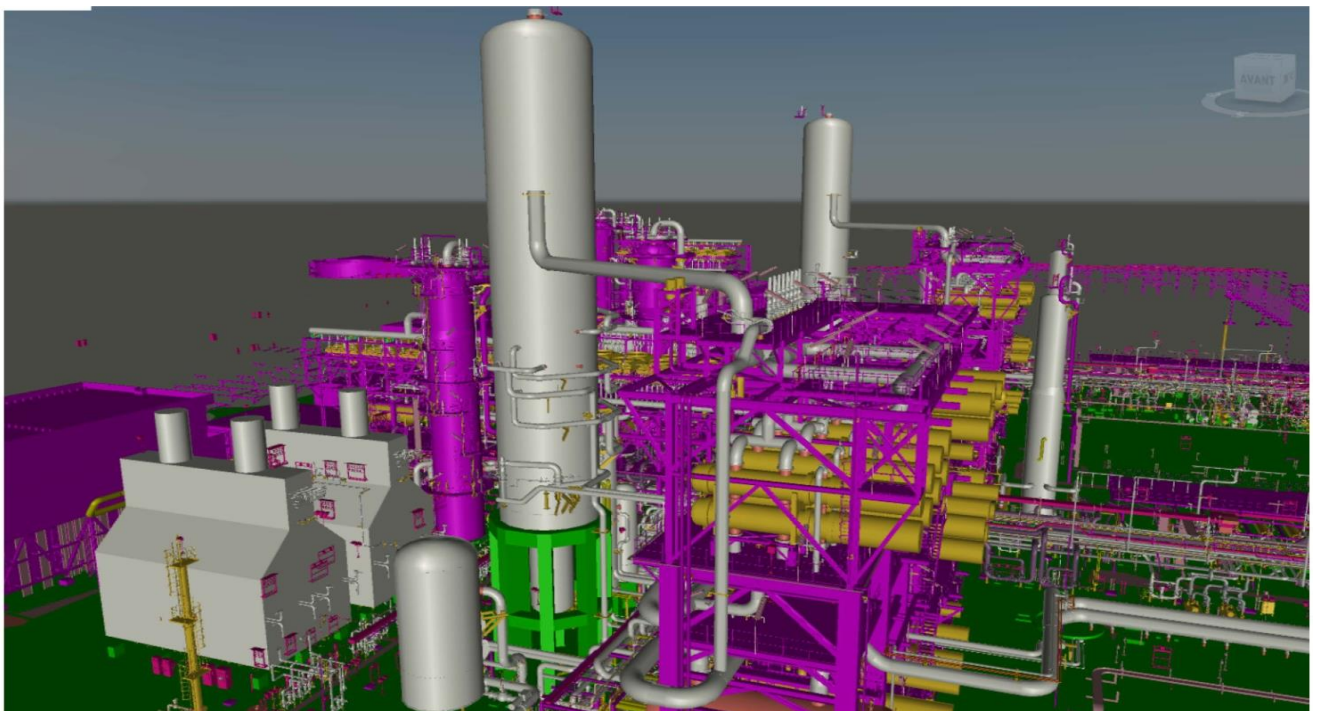


Figure II.4 : Unité TOPPING-colonne de distillation-RA1K realisé par AutoCAD

Tableau II.6 : Capacité de production journalière

| Désignation | Cas de Marche |       |       |
|-------------|---------------|-------|-------|
|             | Cas A         | Cas B | Cas C |
|             |               |       |       |

|              |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|
| Butane       | 339.2    | 339.2    | 339.2    |
| Naphta       | 12 236.8 | 10 515.6 | 12 236.8 |
| Jet A1       | -        | 3 007.7  | 1 289.8  |
| Gasoil Léger | 2 196.8  | 908.8    | 908.8    |
| Gasoil Lourd | 349.1    | 349.1    | 349.1    |
| Pertes       | 30.1     | 31.6     | 28.3     |
| Total        | 15 152.0 | 15 152.0 | 15 52.0  |

### Bilan Gasoil

Le gasoil RA1K est un mélange de trois produits intermédiaires à savoir :

- ❖ KEROSENE
- ❖ Gasoil Léger
- ❖ Gasoil Lourd

Le Blender gasoil peut fonctionner par le biais des bacs intermédiaires " Selon le schéma du design" ou dans les bacs des produits finis directement des unités Topping.

**Tableau II. 7 : Production Gasoil « Topping à 95%, Rendements actualisés »**

| Designatio<br>n | Topping 10        |      |        | Topping 11        |      |        |
|-----------------|-------------------|------|--------|-------------------|------|--------|
|                 | M <sup>3</sup> /H | Tm/J | % mass | M <sup>3</sup> /H | Tm/J | % mass |
| KERO            | 135               | 3240 | 10,07% | 130               | 3120 | 9,69%  |
| LGO             | 278               | 6672 | 20,75% | 289               | 6936 | 21,55% |
| HGO             | 71                | 1836 | 5,30%  | 75                | 1800 | 5,59%  |

Tableau II .8 : Caractéristiques Distillats « Sortie unité »

| Designation<br>n | Topping 10 |     |            | Topping 11 |     |            |
|------------------|------------|-----|------------|------------|-----|------------|
|                  | Densité    | PM  | écoulement | Densité    | PM  | écoulement |
| KERO             | 0,7888     | 50  | -          | 0,7884     | 49  | -          |
| LGO              | 0,8273     | 89  | -27 à -24  | 0,8270     | 88  | -27 à -24  |
| HGO              | 0,8542     | 126 | 0 à +12    | 0,8586     | 128 | 0 à +12    |

Tableau II .9 : Production Distillats « Sortie Unité »

| Designation        | Topping 10 à 95%                              |       |         | Topping 11 à 95%  |       |         |
|--------------------|---|-------|---------|-------------------|-------|---------|
|                    | M <sup>3</sup> /H                             | Tm/J  | mensuel | M <sup>3</sup> /H | Tm/J  | mensuel |
| 40% KERO           | 58  | 1 098 | 32 940  | 58                | 1 097 | 32 924  |
| LGO                | 180   | 3 574 | 107 218 | 180               | 3 573 | 107 179 |
| HGO                | 90  | 1 845 | 55 352  | 90                | 1 855 | 55 637  |
| Gasoil             | 328   | 6 517 | 195 511 | 328               | 6 525 | 195 740 |
| KERO               | 87  | 1 651 | 49 536  | 87                | 1 652 | 49 552  |
| Pool Gasoil        |   |       |         |                   |       |         |
| KERO               | 18%   |       |         |                   |       |         |
| LGO                | 60%   |       |         |                   |       |         |
| HGO                | 22%   |       |         |                   |       |         |
| Densité            | 0,8284  |       |         |                   |       |         |
| Spécification<br>n | 0,8100 mini "M. Int." , 0,8200 mini "M. Ext." |       |         |                   |       |         |

**N.b.** : Les proportions du KERO Excédentaire peuvent varier selon les stocks de gasoil.

**Cas 1 : Maximisation Gasoil :** Injection maximum de KERO en respectant les points suivants :

- Densité : 0,8100 mini "0,8200 mini M. Ext.
- PM : 55 °C Mini.
- Indice de Cétane : 50 Mini.

**Cas 2 : Maximisation KERO :** Injection minimum de KERO dans le blender gasoil pour garantir le point suivant :

- Point d'écoulement : -12 Hiver, -7 Été [28]..

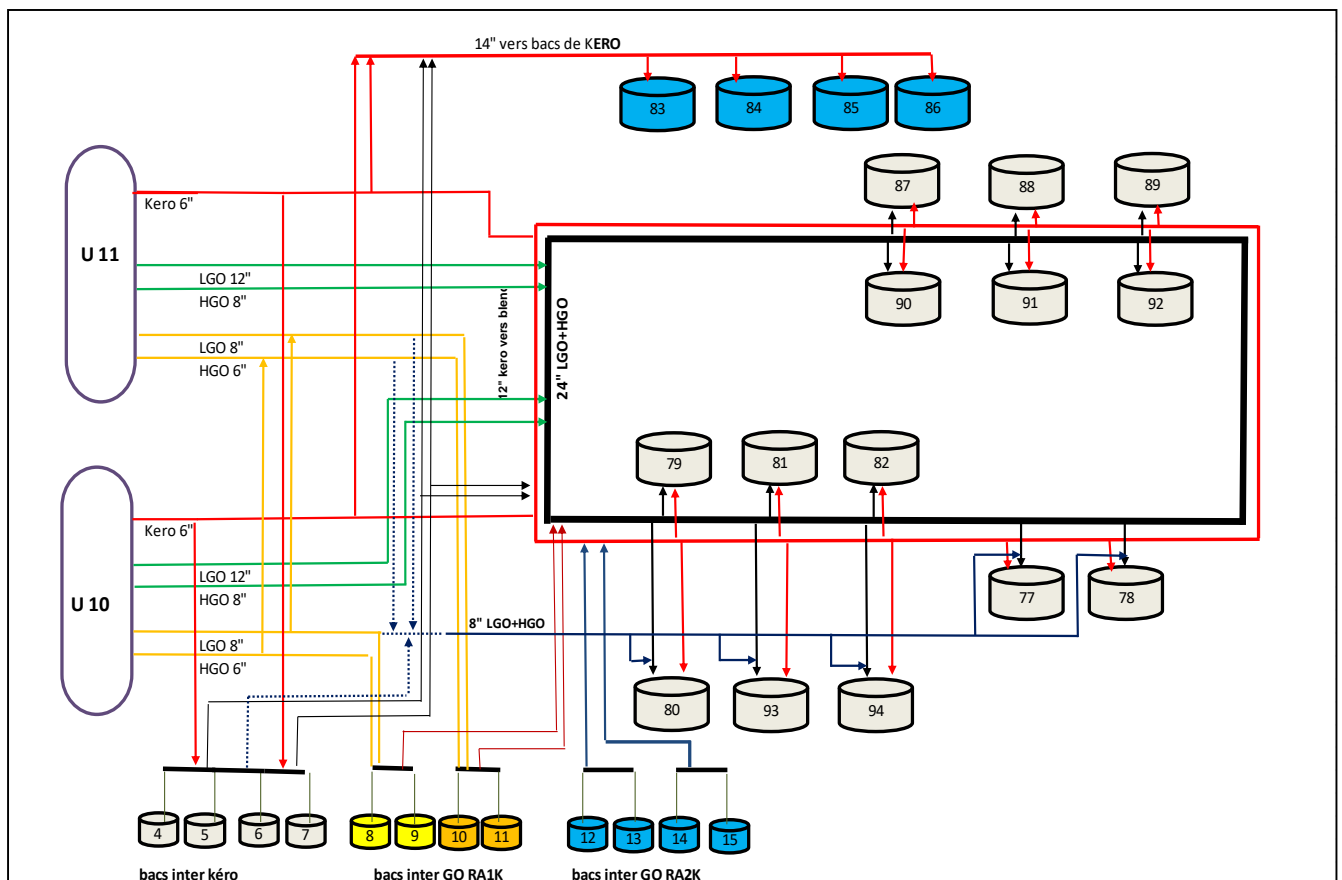


Figure II.5 : Schéma de production et de stockage du gasoil et kérosène [28].

## II.4. Spécification du gasoil commercialisé



### II.4.1. Définition de gasoil

Le carburant gasoil est destiné à l'alimentation des moteurs Diesel équipant des voitures particulières et des véhicules utilitaires depuis la camionnette légère jusqu'au poids lourd de 38 tonnes en charge. Une telle diversité des usages peut compliquer la recherche de critères de qualité pertinents ; mais dans chaque situation ce sera le type d'application le plus exigeant très souvent en l'occurrence la voiture particulière qui déterminera les spécifications du carburant.

On notera également que d'autres types de moteurs Diesels non routiers – bateaux de pêche engins de travaux publics, tracteurs agricoles et gros navires ... utilisent des carburant distincts du gazole (Diesel marine, fuel domestique, fuel lourd). Certaines caractéristiques imposées ou recommandées pour ces produits tiennent compte du fait qu'ils sont destinés à subir une combustion de type Diesel. [29]

Le gazole est une huile lourde composée d'un mélange d'hydrocarbures (paraffiniques, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques). Il est utilisé comme carburant dans les moteurs diesel, dont la température de distillation se situe entre 200 et 380°C, leur point d'éclair est toujours supérieur à 50 et leur densité supérieure à 0,82. [30]

Avant 2023 le gasoil à été commercialisé selon la norme algérienne NA8110 délivré avec un certificat de qualité ou un rapport d'essai établi par le laboratoire de la raffinerie de Skikda :

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br><b>sonatrach</b><br>Raffinerie de Skikda RA1K<br>Département : Laboratoire | <b>RAPPORT D'ESSAI</b><br><br>Rapport N° : 350/G/2022 Rév.00<br>Délivré le : 14/07/2022 | <br>ALGERAC<br>الهيئة الجزائرية للاعتماد<br>Organisme Algérien d'Accreditation<br>Essais 1-2-016 |
|---|---|---|

| <b>GAS-OIL (Marché national)</b>  |
|---|
| Spécifications: NA8110<br>Références: S.78<br>Date de réception: 11/07/2022<br>Date d'analyse: 11/07/2022<br>Moyen de transfert (Pipe/Navire/Caboteur) : PIPE<br>Destination: DEPOT DE KHROUB |

| CARACTÉRISTIQUES               |                      | UNITÉS | METHODES D'ESSAI           | NORMES ALGÉRIENNES | LIMES       | RÉSULTATS      |
|--------------------------------|----------------------|--------|----------------------------|--------------------|-------------|----------------|
| COULEUR                        |                      |        | ASTMD1500                  | NA1145             | 2.5 MAX.    | 0.5            |
| (*) MASSE VOLUMIQUE A 15°C     |                      | Kg/L   | ASTM D1298-12b(2017)       | NA417              | 0.810-0.860 | 0.8186 ±0.0013 |
| (*) DISTILLATION MANUELLE      | 65 %VOL              | °C     | ASTM D86-20b               | NA1445             | 250 MIN.    | 279 ±1.9       |
|                                | 90 %VOL              |        |                            |                    | 350 MAX.    | 346 ±3.3       |
|                                | PF %VOL              |        |                            |                    | 390 MAX.    | 381 ±3.3       |
| (*) VISCOSITÉ À 20°C           |                      | cSt    | ASTM D445-21 <sup>E1</sup> | NA 1443            | 9MAX.       | 3.273 ±0.010   |
| TENEUR EN SOUFRE,              |                      | % Pds  | ASTM D1552                 | NA 8116            | 0.25 MAX.   | 0.0400         |
| TENEUR EN CENDRES              |                      | % Pds  | ASTM D482                  | NA 1660            | TND         | TND            |
| TENEUR EN EAU                  |                      | % Pds  | ASTM D95                   | NA 421             | TND         | TND            |
| (*) POINT D'ÉCLAIR MANUEL      |                      | °C     | ASTMD 93-20                | NA 2658            | 55 MIN.     | 62 ±3.8        |
| (*) POINT D'ÉCLAIR AUTOMATIQUE |                      | °C     | ASTMD 93-20                | NA 2658            | 55 MIN.     | / ±3.9         |
| POINT DÉCOULEMENT              | HIVER :1/11 AU 30/03 | °C     | ASTM D 97                  | NA 2660            | -12 MAX.    | /              |
|                                | ÉTÉ:1/04 AU 30/10    |        |                            |                    | -7 MAX      | -12            |
| INDICE DE CETANE               |                      |        | ASTMD 976                  | NA 8117            | 48 MIN      | 55.07          |

Légende : TND Teneur non décelable.

- Seuls les essais repérés par (\*) sont effectués sous le couvert de l'accréditation.
- Produit conforme aux spécifications :  Oui  Non
- Les résultats du présent rapport ne se rapportent qu'à l'objet soumis à l'essai.
- Le rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans l'autorisation du laboratoire.

Visa du Responsable Laboratoire

**Figure II.6. : Rapport d'essai d'un gasoil pour le marché national.**

A partir du premier 2023, il ont changé le rapport d'essai selon le règlement N°2022-1247/ARH/RE de l'autorité de régulation des hydrocarbures (ARH) :

(Règlement technique relatif aux spécifications techniques du gasoil sur la marche nationale)

|  |   |   |
|--|---|---|
|  <p><b>سوناطراك</b><br/><b>sonatrach</b></p> <p>Raffinerie de Skikda RA1K<br/>Département : Laboratoire</p> | <h2>RAPPORT D'ESSAI</h2> <p>Edition N° : 01<br/>Date d'effet : 14/06/2023</p> |  <p><b>ALGERAC</b><br/>الهيئة الجزائرية للإعتماد<br/>Organisme Algérien d'Accreditation<br/>Essais 1-2-016</p> |
|  | <p>Rapport N° 277/G/2023 Rév.00<br/>Délivré le : 14/06/2023</p>               |   |

| <b>GAS-OIL (Marché national)</b>   |
|--|
| <p>Spécifications : NA8110<br/>Références : S.78<br/>Date de réception : 12/06/2023<br/>Date d'analyse : 12/06/2023<br/>Moyen de transfert (Pipe/Navire/Caboteur) : PIPE<br/>Destination : DEPOT DE SKIKDA</p> |

| CARACTÉRISTIQUES                   | UNITÉ                 | MÉTHODE D'ESSAI                      | NORME ALGÉRIENNE | LIMITTES            | RÉSULTATS      |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------|---------------------|----------------|
| (*) MASSE VOLUMIQUE A 15°C         | Kg/l                  | ASTM D1298-12b (2017) e <sup>1</sup> | NA417            | <b>0.810-0.860</b>  | 0.8211 ±0.0009 |
| (*) DISTILLATION MANUELLE          | 65 % Vol              | ASTMD 86-23                          | NA1445           | <b>250 MIN.</b>     | 264 ±1.8       |
|                                    | 90 % Vol              |                                      |                  | <b>360 MAX.</b>     | 347 ±4.1       |
|                                    | PF % Vol              |                                      |                  | <b>390 MAX.</b>     | 375 ±4.3       |
| (*) VISCOSITÉ A 40°C               | Cst                   | ASTM D 445-21e <sup>2</sup>          | /                | <b>2 MIN-9 MAX.</b> | 2.324 ±0.03    |
| TENEUR EN SOUFRE                   | % pds                 | ASTMD 4294                           | /                | <b>0.25 MAX.</b>    | 0.040          |
| TENEUR EN CENDRES                  | % pds                 | ASTM D 482                           | /                | <b>TND</b>          | TND            |
| TENEUR EN EAU                      | % vol                 | ASTM D 95                            | NA 421           | <b>TND</b>          | TND            |
| (*) POINT D'ECLAIR MANUEL          | °C                    | ASTM D 93-20                         | NA 2658          | <b>55 MIN.</b>      | 62 ±4.1        |
| (*) POINT D'ECLAIR AUTOMATIQUE     | °C                    | ASTM D 93-20                         | NA 2658          | <b>55 MIN.</b>      | / ±4.2         |
| TEMPÉRATURE LIMITE DE FILTRABILITE | HIVER : 1/11 AU 31/03 | ASTMD 6371                           | /                | <b>-5 MAX.</b>      | /              |
|                                    | ÉTÉ : 1/04 AU 31/10   |                                      |                  | <b>5 MAX</b>        | -7             |
| INDICE DE CETANE                   | /                     | ASTMD D 976                          | NA 8117          | <b>48 MIN</b>       | 53.88          |
| CARBONE CONRADSON                  | % pds                 | ASTM D189                            | /                | <b>0.3 MAX</b>      | TND            |

Légende : TND Teneur non décelable.

- Seuls les essais repérés par (\*) sont effectués sous le couvert de l'accréditation.
- Produit conforme aux spécifications :  Oui  Non
- Les résultats du présent rapport ne se rapportent qu'à l'objet soumis à l'essai.
- Le rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans l'autorisation du laboratoire.

Visa du Responsable Laboratoire

**Nb** : La caractérisation de notre gasoil est basée sur les essais du rapport d'essai.

### II.4.2. Composition de gasoil

La composition chimique du gasoil peut varier en fonction de la source du pétrole brut et des processus de raffinage utilisés pour produire cette fraction pétrolière. Cependant, en général, le gasoil est principalement composé d'hydrocarbures saturés et insaturés, d'hydrocarbures aromatiques, de composés soufrés et d'azote. (75% alcanes / 25% aromatiques et naphènes).

Les hydrocarbures saturés représentent généralement la plus grande partie du gasoil.

Ce sont des composés tels que les alcanes et les cycloalcanes, qui ne contiennent que des liaisons simples entre les atomes de carbone. Les hydrocarbures insaturés, tels que les alcènes et les alcynes, peuvent également être présents en petites quantités.

Les hydrocarbures aromatiques, tels que le benzène, le toluène et le xylène, sont également présents dans le gasoil, bien qu'en quantités plus faibles que dans l'essence.

Les composés soufrés, tels que le sulfure de diméthyle et le sulfure de diéthyle, sont également présents dans le gasoil, bien qu'en quantités beaucoup plus faibles que dans le fioul lourd.

Enfin, des composés d'azote, tels que l'indole et le pyrrole, peuvent également être présents en petites quantités dans le gasoil.

La composition exacte du gasoil dépendra des spécifications de qualité, des technologies de raffinage et des traitements de désulfuration qui ont été appliqués lors de la production de cette fraction pétrolière. [27]

### **II.4.3. Propriétés du Gasoil**

#### **II.4.3.1. Densité (poids spécifique)**

La densité (ou poids spécifique) est une indication de la densité ou le poids par unité de volume du carburant Diesel. La densité du gasoil à 15°C doit être comprise entre 0,820 et 0,860 dans les pays tempérés. La fixation d'une valeur minimale de la densité se justifie par le souci d'obtenir une puissance maximale suffisante pour le moteur, au moyen d'une pompe d'injection dont le réglage de débit s'effectue en volume ; plus la densité du gasoil est élevée, plus la quantité d'énergie délivrée à pleine charge est importante. Par ailleurs, on impose une limite maximale à la densité, afin de réduire les émissions de certains polluants et d'éviter la formation de fumées noires, à pleine charge. [26, 28]

#### **II.4.3.2. Point d'écoulement**

Le point d'écoulement est la température la plus basse à laquelle le gasoil est encore susceptible de couler. Lorsque le gasoil circule dans le circuit d'alimentation du moteur il doit traverser un filtre à mailles très fines (quelques micromètres) avant de pénétrer dans la pompe d'injection, car celle-ci constitue un organe d'une très grande précision mécanique dont le bon fonctionnement risquerait d'être perturbé par des impuretés et des particules en suspension dans

le liquide. Contrairement aux autres carburants pétroliers tels que l'essence et le kérosène, le diesel perd sa clarté et sa fluidité à basse température (à partir de 0°C).

Ce phénomène est dû à l'apparition de cristaux dans le carburant, dont la présence peut provoquer divers incidents tels que le colmatage du filtre, le désamorçage de la pompe d'injection... Ces considérations justifient une spécification très stricte du comportement des diesels à froid, même si certains dispositifs technologiques (réchauffage des filtres sur les véhicules récents) contribuent à atténuer les risques d'incidents en service.

Plusieurs procédures normalisées sont utilisées pour apprécier le comportement à froids du gasoil. Elles conduisent à définir respectivement le point de trouble, le point d'écoulement et la température limite de filtrabilité [29].

#### **II.4.3.3. Point trouble**

Le point de trouble d'un carburant Diesel est un guide à la température à laquelle elle obstrue les systèmes de filtrage et de limiter le débit. Le point de trouble est plus important pour les combustibles utilisés à grande vitesse des moteurs Diesel, notamment en raison de la tendance à équiper ces moteurs avec des filtres plus fins. Plus le filtre est fin plus il sera cassé facilement par de petites quantités de précipités de cire. Dans la méthode de test simple du point de congélation (ASTM D-2500), l'échantillon est d'abord chauffé à une température supérieure au point de trouble puis refroidie à une vitesse spécifiée et examinés périodiquement. La température à laquelle un flou est d'abord observé sur le fond du récipient d'essai est inscrite comme point de trouble. [30,31]

#### **II.4.3.4. la température du point de la filtrabilité**

la température du point de la filtrabilité est adaptée pour estimer la température minimale à laquelle un combustible Diesel introduit le trouble libre dans certains systèmes à carburant (ASTM D-6371, IP 309). Dans ce test, soit on utilise des appareils manuels ou automatisés, un échantillon de combustible est refroidi dans des conditions spécifiées et, à intervalles de 1 °C, l'échantillon est aspiré dans une pipette sous vide contrôlé à travers un filtre normalisé métallique. Comme l'échantillon continu à refroidir, la procédure est répétée pour chaque 1 °C en dessous du premier test de température. L'essai se poursuit jusqu'à ce que la quantité de cristaux de cire, qui se sont séparés de la solution est suffisante pour arrêter ou ralentir l'écoulement de sorte, que le temps nécessaire pour remplir la pipette est supérieur à 60 secondes où le carburant ne retourne pas totalement au récipient d'essai après le carburant est refroidi par 1°C. [30, 32, 33]

### II.5. Utilisations du gasoil

Le gasoil est principalement utilisé comme carburant pour les moteurs diesel. Il est utilisé dans une variété de véhicules tels que les voitures particulières, les camions, les bus, les locomotives et les navires. Le gasoil est également utilisé dans certains générateurs d'électricité et équipements industriels.

### II.6. Amélioration d'écoulement du gasoil

En général, les hydrocarbures saturés de poids moléculaire plus élevé ont une température de solidification plus élevée, tandis que les hydrocarbures saturés de poids moléculaire plus faible ont une température de solidification plus basse. Les hydrocarbures saturés ayant une chaîne linéaire ont également tendance à avoir une température de solidification plus basse que les hydrocarbures saturés ayant une chaîne ramifiée.

Les paraffines (ou hydrocarbures saturés) sont classées en fonction de leur longueur de chaîne carbonée, qui peut varier de quelques atomes de carbone à plusieurs dizaines d'atomes de carbone.

Les paraffines de poids moléculaire plus élevé ont une température de solidification plus élevée que celles de poids moléculaire plus faible, car les molécules de plus grande taille ont une structure plus complexe et sont plus susceptibles de former des cristaux à des températures plus basses.

Les paraffines à chaîne linéaire ont généralement une température de solidification plus basse que les paraffines à chaîne ramifiée, car les molécules linéaires ont une structure plus simple et s'empilent plus facilement pour former des cristaux. Les paraffines ramifiées ont une structure plus complexe et ne peuvent pas s'empiler aussi facilement, ce qui rend plus difficile la formation de cristaux à des températures basses.

En résumé, les paraffines sont les principaux composants du gasoil et sont responsables de sa capacité de refroidissement rapide. Leur température de solidification relativement basse et leur forte conductivité thermique les rendent efficaces pour dissiper la chaleur et refroidir rapidement.

Les composants insaturés et aromatiques du gasoil ont généralement une température de solidification plus élevée et une conductivité thermique plus faible que les hydrocarbures saturés, ce qui les rend moins efficaces pour refroidir rapidement.

Cependant, il est important de noter que la capacité de refroidissement d'un carburant dépend également des conditions d'utilisation, telles que la température extérieure, la vitesse de circulation du carburant et la conception du système de refroidissement du moteur.

Pour améliorer l'écoulement du gasoil en hiver, lorsque les températures sont basses et que le carburant peut présenter une plus grande viscosité, voici quelques mesures que nous pouvons prendre :

- ❖ Utiliser du carburant d'hiver : Les raffineries produisent du carburant spécialement formulé pour les conditions hivernales. Le carburant d'hiver contient des additifs qui abaissent le point de solidification et améliorent la fluidité du gasoil par temps froid.
- ❖ Utilisez du carburant adapté aux températures hivernales recommandées pour votre région.
- ❖ Ajouter des additifs antigel : Des additifs antigel spéciaux peuvent être ajoutés au gasoil pour améliorer son écoulement par temps froid. Ces additifs aident à prévenir la formation de paraffine, qui est responsable de la gélification du carburant à des températures basses. Ils aident également à abaisser le point de congélation du gasoil, ce qui facilite son écoulement.
- ❖ Stocker le véhicule dans un endroit chaud : Si possible, gardez votre véhicule dans un endroit chauffé pendant la nuit ou par temps froid. Cela permet de maintenir une température plus élevée autour du réservoir de carburant, réduisant ainsi les risques de gélification.
- ❖ Utiliser des chauffe-réservoirs : Les chauffe-réservoirs sont des dispositifs installés sur le réservoir de carburant qui utilisent une source de chaleur pour prévenir la gélification du gasoil.

Ils maintiennent le carburant à une température suffisamment élevée pour éviter les problèmes d'écoulement par temps froid.

- ❖ Éviter les mélanges avec des carburants non adaptés : Évitez de mélanger du gasoil d'hiver avec du gasoil d'été ou d'autres carburants non adaptés aux basses températures. Les mélanges incompatibles peuvent provoquer des problèmes d'écoulement et de gélification du carburant.
- ❖ Garder le réservoir de carburant plein : Lorsque votre véhicule est inactif par temps froid, maintenez le réservoir de carburant plein autant que possible. Cela limite l'espace pour la condensation, réduisant ainsi les risques de formation d'eau qui peut geler et obstruer le système de carburant.

### II.6.1. Addition du kérosène

L'ajout de kérosène au gasoil est une pratique parfois utilisée pour améliorer l'écoulement du carburant par temps froid. Cependant, il est important de noter que cette pratique peut avoir des effets indésirables et n'est pas recommandée. Voici quelques raisons pour lesquelles l'ajout de kérosène au gasoil peut être problématique :

- ❖ **Violation des spécifications du carburant :** L'ajout de kérosène au gasoil peut entraîner une violation des spécifications et normes du carburant définies par les autorités réglementaires. Les carburants sont conçus pour répondre à des normes spécifiques en termes de composition chimique, de performance et d'émissions. L'ajout de kérosène peut entraîner une non-conformité et peut entraîner des problèmes de performance et de pollution de l'air.
- ❖ **Risques pour la durabilité du moteur :** Les moteurs diesel sont conçus pour fonctionner avec du gasoil, qui a des propriétés spécifiques de combustion et de lubrification. L'ajout de kérosène peut modifier ces propriétés et entraîner une détérioration de la durabilité du moteur.

Cela peut entraîner une usure accrue des composants du moteur et des problèmes de performance à long terme. [34]

- ❖ **Réduction de la teneur en soufre :** Le kérosène a une teneur en soufre généralement plus faible que le gasoil. L'ajout de kérosène au gasoil peut réduire temporairement la teneur en soufre du mélange. Cela peut sembler avantageux en termes de réduction des émissions de soufre, mais il est important de noter que cela peut également entraîner des problèmes de lubrification et de corrosion des composants du moteur.
- ❖ **Impact sur les émissions :** L'ajout de kérosène peut affecter les propriétés de combustion du carburant, ce qui peut entraîner une augmentation des émissions polluantes, y compris des particules fines, des oxydes d'azote (NOx) et des composés organiques volatils (COV). Cela peut avoir un impact néfaste sur la qualité de l'air et la santé humaine. [35] [36] [37] [38]

### II.6.2. Addition d'un abaisseur de point d'écoulement

L'ajout d'additifs abaisseurs de point d'écoulement au gasoil peut être une option pour améliorer l'écoulement par temps froid. Ces additifs sont spécialement formulés pour réduire la température à laquelle le carburant commence à se gélifier et à former des cristaux de paraffine. Ils peuvent aider à prévenir la formation de dépôts de cire qui obstruent les filtres à carburant et les conduites, ainsi qu'à maintenir la fluidité du carburant à des températures plus basses. Cependant, il est important de choisir des additifs spécifiquement conçus pour une

utilisation dans les moteurs diesel et de les utiliser conformément aux recommandations du fabricant de l'additif.

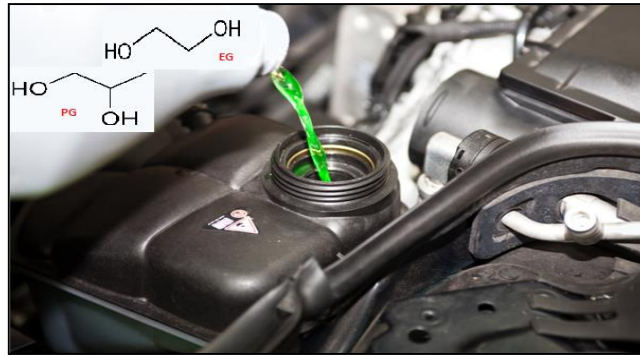
Voici quelques points à prendre en compte :

- **Qualité des additifs :** Optez pour des additifs de haute qualité, provenant de fabricants réputés. Les additifs de qualité inférieure peuvent ne pas être efficaces ou peuvent contenir des composants indésirables qui pourraient endommager le moteur.
- **Respect des dosages recommandés :** Suivez attentivement les instructions du fabricant concernant les dosages recommandés. L'excès d'additif peut avoir des effets négatifs sur les performances du carburant et sur le moteur lui-même.
- **Compatibilité avec les autres additifs :** Évitez de mélanger différents additifs, sauf indication contraire du fabricant. Certains additifs peuvent interagir de manière indésirable lorsqu'ils sont mélangés, entraînant une diminution de l'efficacité ou des problèmes de performance.
- **Stockage approprié :** Conservez les additifs dans un endroit approprié, conformément aux instructions du fabricant, pour maintenir leur efficacité. Veillez à respecter les dates de péremption et à ne pas utiliser d'additifs périmés.
- **Consultation du fabricant du véhicule :** Si vous envisagez d'utiliser des additifs abaisseurs de point de congélation, il est recommandé de consulter le fabricant du véhicule pour connaître leur avis. Certains fabricants peuvent avoir des recommandations spécifiques ou des restrictions concernant l'utilisation d'additifs.

Il existe plusieurs types d'additifs utilisés dans les carburants diesel améliore leur performance et prévenir les problèmes liés aux basses températures. Voici quelques exemples courants d'additifs ; utilisés pour ces proposes :

### II.6.3. Additifs antigel

Ces additifs sont conçus pour abaisser le point d'écoulement du carburant diesel et prévenir la formation de cristaux de paraffine. Ils aident à maintenir la fluidité du carburant à des températures plus basses. Certains additifs antigel utilisés dans les carburants diesel contiennent de L'éthylène glycol (EG) ( $\text{OH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) ou du propylène glycol (PG) ( $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-OH}$ ).



**Figure II.7 : Additif antigel**

#### **II.6.4. Additifs dispersants et détergents**

Ces additifs aident à prévenir la formation de dépôts et de contaminants dans le système de carburant du moteur diesel. Ils permettent de maintenir les injecteurs et les conduites de carburant propres, assurant ainsi une meilleure combustion et des performances optimales.

Ces additifs peuvent contenir des dérivés d'alkyl phénol, de polyisobutylène (PIB) ou d'autres composés spécialement formulés pour maintenir les injecteurs et les conduites de carburant propres. [39]

#### **II.6.5. Additifs pour améliorer la lubrification**

Certains additifs sont utilisés pour améliorer la lubrification des composants du moteur diesel. Ils réduisent l'usure et la friction, ce qui peut être bénéfique, notamment lors de l'utilisation de carburants à faible teneur en soufre.

#### **II.6.6. Additifs pour réduire les émissions**

Certains additifs sont formulés pour réduire les émissions polluantes, notamment les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les particules fines et les gaz à effet de serre. Ils aident à améliorer la combustion du carburant et à minimiser l'impact environnemental.

Les additifs réducteurs d'émissions peuvent contenir des composés tels que les nitrates d'alcalins, comme le nitrate de sodium ( $\text{NaNO}_3$ ) ou le nitrate de potassium ( $\text{KNO}_3$ ). Ces composés agissent comme des agents oxydants et favorisent une combustion plus complète et plus propre, réduisant ainsi les émissions de polluants.

#### **II.6.7. Les modificateurs de point de trouble**

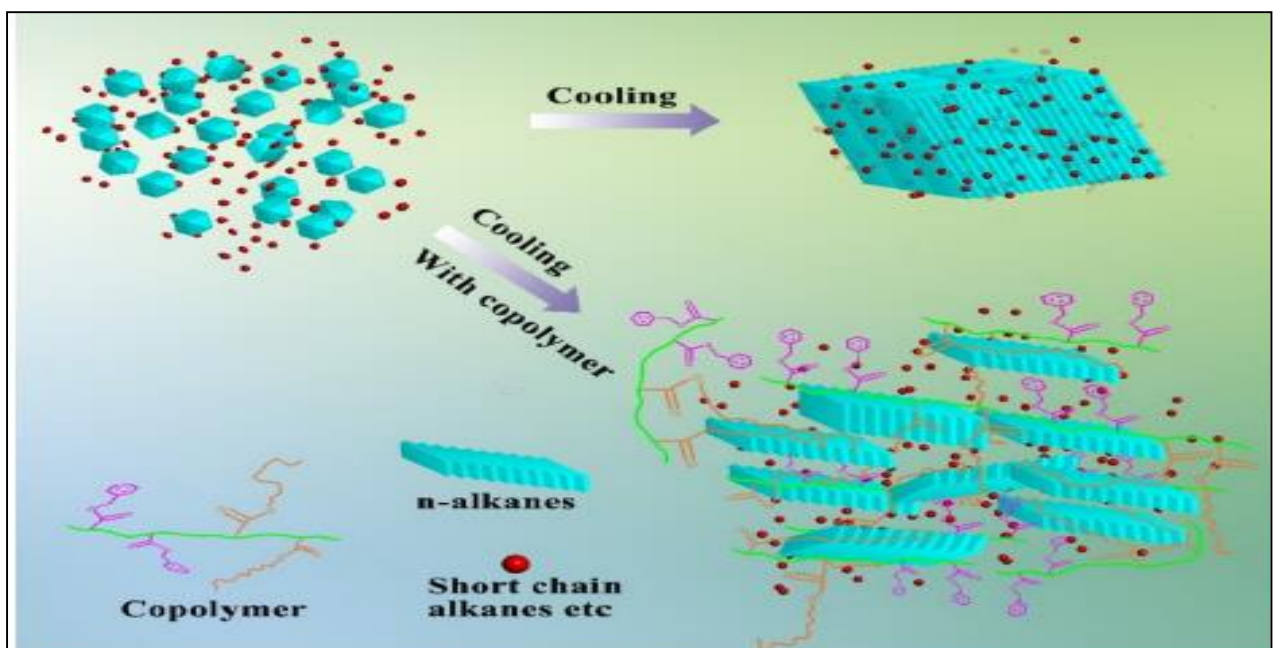
Ces additifs aident à empêcher la formation de cristaux de paraffine dans le gasoil à des températures basses, en réduisant la température à laquelle les cristaux commencent à se former. Les modificateurs de point de trouble agissent en perturbant la formation des cristaux de paraffine, ce qui permet au carburant de rester liquide à des températures plus basses.

Il est important de noter que chaque additif peut avoir des propriétés spécifiques et des utilisations recommandées. Les fabricants de carburants et d'additifs peuvent proposer différents produits répondant à des besoins spécifiques, en fonction du climat, des réglementations locales et des exigences du moteur.

Il est important de noter que les mélanges d'additifs peuvent varier en fonction des besoins spécifiques du moteur, des conditions environnementales et des réglementations locales. Il est recommandé de consulter les recommandations du fabricant du véhicule et les informations fournies par les fabricants d'additifs pour vous assurer de l'adéquation et de la compatibilité des additifs utilisés.

### II.6.8. Additif à base de n-alkyl méthacrylate

Un exemple d'additif utilisé pour améliorer les propriétés de refroidissement des paraffines dans le gasoil est le méthyl-métacrylate (MMA). Le MMA est un polymère qui est souvent utilisé comme additif d'amélioration de la fluidité pour réduire la viscosité du gasoil à des températures basses.



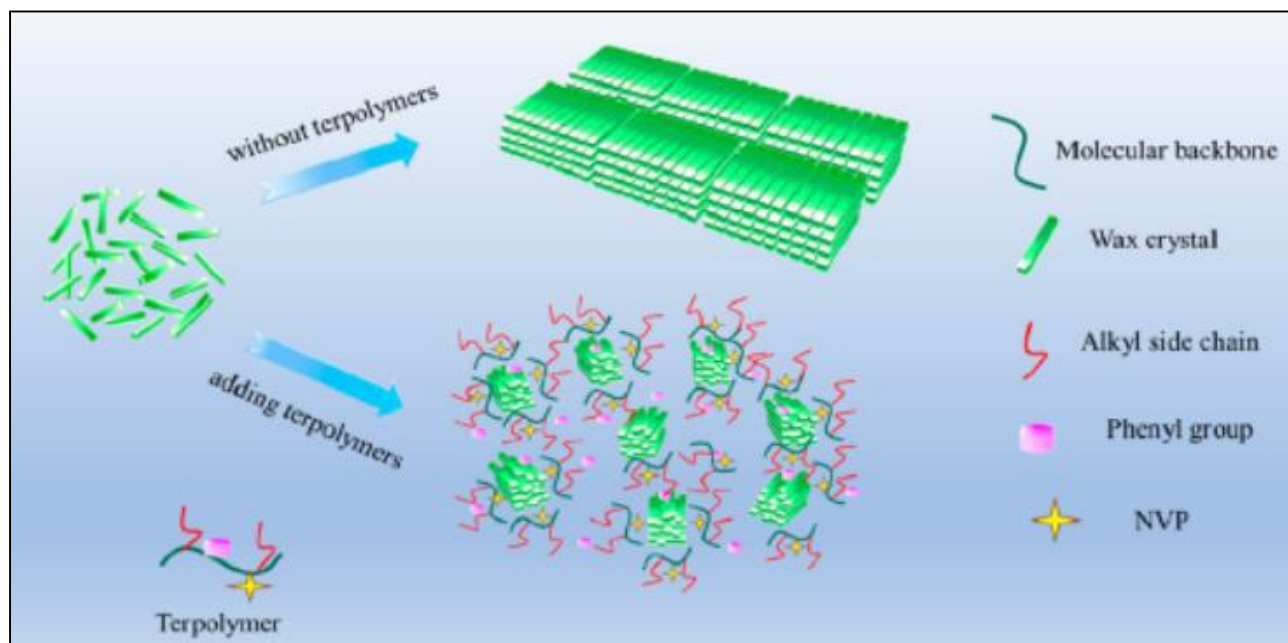
**Figure II.8. : Illustration du processus de cristallisation de la cire du diesel avec différents copolymères à base de MMA [40]**

Le MMA est ajouté au gasoil en petite quantité, généralement moins de 0,1 % en poids, et il fonctionne en interférant avec la cristallisation des paraffines à des températures basses.

Le polymère agit comme un inhibiteur de croissance de cristaux, ce qui empêche les molécules de paraffine de se rassembler et de former des cristaux de grande taille. Cela permet aux cristaux

de paraffine de rester sous forme de cristaux plus petits et plus dispersés dans le carburant, ce qui réduit leur impact sur la fluidité et le filtrage du carburant.

Le MMA est également efficace pour améliorer la fluidité du carburant à basse température en réduisant la viscosité du carburant, ce qui facilite son écoulement à travers les filtres et les conduites de carburant. Cela les copolymères à base de MMA permettent d'assurer un fonctionnement efficace des moteurs à diesel à des températures basses et de prévenir les obstructions du système de carburant.



**Figure II.9 : Illustration du processus de cristallisation de la cire du diesel non traité et traité avec R1MC-MB-NVP. [41]**

### II.6.9. KEROFLUX ®6103 comme additif

BASF (Badische Anilin-& Soda-Fabrik) est une société allemande créée en 1865, elle a un vaste réseau de recherche mondial plus de 34000 employés travaillent au développement, aux essais, à la fabrication et à la vente de plusieurs milliers de produits chimiques parmi eux les additifs chimiques comme : la série KEROFLUX qui est faite pour améliorer les performances à basse température du gasoil. [42]

#### a) Identification de l'additif KEROFLUX ®6103

La série Keroflux de BASF propose des solutions sur mesure pour améliorer les performances à basse température de diesel, des mazouts et des carburants distillés marins, contribuant ainsi à assurer le fonctionnement continu des équipements lorsque la température baisse.



Figure II.10 : BASF additif Keroflux®6103

### b) Identification des dangers

#### □ Pictogrammes de danger :



Dangereux, nocif et irritant



Produit dangereux pour la santé



Polluant pour l'environnement

Dans le cas d'exposition à ce produit voici les mesures de premier secours à prendre compte :

- ❖ Cas d'inhalation : Sortez à l'air frais, traiter les symptômes. Consulter un médecin.
- ❖ Cas de contact avec la main : Rincer immédiatement à l'eau courante pendant au moins 15 minutes. Consulter un médecin dans le cas où l'irritation persiste.
- ❖ Cas de contacts avec les yeux : Rincer immédiatement et abondamment à l'eau courante pendant au moins 15 minutes. Consulter un médecin.
- ❖ Cas d'ingéressions : Ne pas vomir, Rincer la bouche, Obtenir des soins médicaux en cas de symptômes.

### c) Manipulation et stockage

#### ❖ Manipulation :

Pour une manipulation sécuritaire, éviter le contact avec la peau et les yeux. Prendre les mesures nécessaires pour éviter la décharge d'électricité statique (qui pourrait provoquer l'inflammation des vapeurs organiques). Tenir éloigné du feu, des étincelles et des surfaces chauffées. Ne pas respirer les poussières fumées, gaz, brouillards, vapeurs et aérosols. Se laver les mains bien après utilisation.

Manipulés conformément aux bonnes pratiques d'hygiène industrielle et de sécurité.

Enlever et laver les vêtements contaminés avant de les réutiliser. Laver le visage, les mains et toute peau exposée soigneusement après manipulation. Utiliser l'équipement de protection personnel recommandé.

❖ **Stockages :**

Tenir à l'écart de la chaleur et de la source d'inflammation. Tenir à l'écart des agents oxydants. Garder hors de la portée des enfants. Garder le récipient bien fermé. Conserver dans des récipients étiquetés appropriés. [42]



## **Chapitre III**

### III.1. Synthèse du catalyseur (le *p*-TSA)

La synthèse d'un catalyseur efficace revêt une importance primordiale dans de nombreuses réactions chimiques. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes concentrés sur la synthèse du catalyseur para-Toluène Sulfonique Acide (*p*-TSA). Le *p*-TSA est un acide organique sulfonique largement utilisé en chimie organique et en polymérisation pour sa capacité à catalyser diverses réactions.

Le *p*-TSA est obtenu par une réaction de sulfonation du toluène. Ce catalyseur présente de nombreux avantages, tels qu'une acidité élevée, une stabilité thermique et une solubilité dans divers solvants organiques.

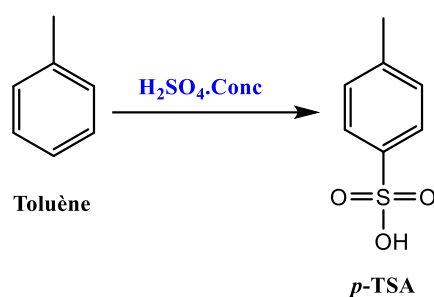


Figure III.1: synthèse de *p*-TSA

L'objectif de cette synthèse du catalyseur *p*-TSA est de fournir un outil réactif efficace pour la prochaine étape de notre recherche, à savoir la synthèse du monomère et la polymérisation subséquente du copolymère des méthyl acrylique. En caractérisant soigneusement le catalyseur, nous serons en mesure de mieux comprendre son influence sur les réactions ultérieures et d'optimiser les conditions de synthèse pour obtenir un copolymère de haute qualité.

#### A. Préparation des réactifs

Toluène A – L'acide sulfurique concentré 98% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )- Hydrogénocarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) - Chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ )

#### B. Protocole expérimental détaillé



**Figure III.2 : Montage à reflux**

Dans un ballon de 250 ml, placer 29 g d'acide sulfurique concentré (0,3 mole) et 23 g de toluène (0,25 mole). Adapter le réfrigérant et porter à reflux pendant une heure tout en maintenant une agitation efficace.

Lorsque la réaction est terminée, retirer la source de chaleur et laisser le mélange de réaction refroidir à température ambiante. Puis, verser le mélange réactionnel dans un bécher de 1 l contenant 80 ml d'eau distillée. Effectuer ce mélange avec précaution. Ajouter lentement 13 g d'hydrogène nocarbonate de sodium pour neutraliser le milieu.

Attention, lors de cette opération, le dioxyde de carbone se dégage et le milieu réactionnel mousse.

Il faut refroidir afin d'éviter la désulfonation en milieu acide dilué chaud. Les cristaux de paratoluènesulfonate de sodium commencent à apparaître. Faciliter leur précipitation en saturant la phase aqueuse avec du chlorure de sodium: ajouter environ 30 g de NaCl. Refroidir dans un bain de glace. Recueillir les cristaux par filtration. Rincer avec deux portions de 20 ml d'une solution aqueuse glacée saturée en chlorure de sodium. Le solide recueilli est donc du paratoluène sulfonate de sodium à haut point de fusion contenant du chlorure de sodium. Le produit est identifié en précipitant le *para*-toluènesulfonate.



Figure III.3 : Refroidissement du mélange réactionnel

### III.2. Synthèse du monomère

La préparation de monomères spécifiques est une étape essentielle dans la production de polymères aux propriétés désirées. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur la synthèse d'un monomère particulier en utilisant une réaction d'estérification de l'acide méthacrylique avec le méthanol et l'octanol. Cette réaction est catalysée par l'acide para-toluènesulfonique (p-TSA), un catalyseur efficace pour la conversion des acides carboxyliques en esters.

L'acide méthacrylique est un composé organique comportant un groupe fonctionnel acide carboxylique, tandis que le méthanol et l'octanol sont des alcools possédant respectivement un groupe méthyle et un groupe octyle. Lorsque ces réactifs sont combinés en présence du catalyseur p-TSA, une réaction d'estérification se produit, entraînant la formation d'esters d'acide méthacrylique.

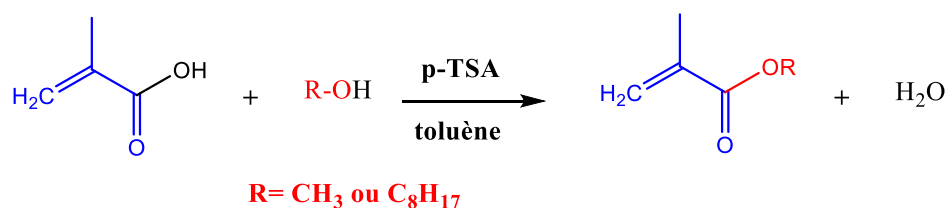


Figure III.4 : schéma général de la synthèse des monomères.

#### A. Préparation des réactifs :

- ✓ Acide méthacrylique (10 ml).
- ✓ Alcool octanol/ méthanol (10 ml).
- ✓ Toluène (50 ml).

- ✓ Para-toluène sulfonique (0,1 g).
- ✓ Hydroquinone (0,05 g).
- ✓ Ballon de réaction équipé d'un réfrigérant à eau.
- ✓ Agitateur magnétique ou autre moyen d'agitation.
- ✓ Thermomètre.
- ✓ Bécher ou flacon d'échantillonnage.
- ✓ Système de refroidissement (bain-marie, glace, etc.).
- ✓ Système de distillation (facultatif).

### B. Mise en place de l'appareillage expérimental

1. Préparez votre matériel et vos produits chimiques dans un espace de travail approprié et sécurisé.
2. Dans un ballon de réaction, fournissez l'acide méthacrylique ( 10 ml), l'alcool octanol ( 10 ml), le toluène (50 ml), le para-toluène sulfonique ( 0,1 g) et l'hydroquinone ( 0,05 g).
3. Placez le ballon de réaction sur un agitateur magnétique et testez à agiter la solution.
4. Insérez un thermomètre dans le ballon de réaction pour la température pendant la réaction.
5. Refroidissez le ballon de réaction en utilisant un système de refroidissement (bain-marie, glace, etc.) pour maintenir une température contrôlée pendant la réaction. La température recommandée peut varier en fonction des conditions spécifiques et des propriétés des réactifs, mais elle peut généralement se situer entre 40°C et 60°C.



**Figure III.5 : Montage de la synthèse des monomères**

6. Laissez la réaction se dérouler pendant une durée ainsi, généralement entre quelques heures et une nuit. La durée de réaction peut également dépendre des conditions spécifiques et des objectifs de votre expérience.
7. Après la réaction, refroidissez le ballon de réaction à température ambiante.

8. Transférez le contenu du ballon de réaction dans un bécher ou un flacon d'échantillonnage.
9. Pour séparer les phases, accompagner de l'eau dans le bécher contenant la solution réactionnelle. Agissez énergiquement pour permettre la séparation des phases.
10. Une fois les phases séparées, récupérez la phase organique (contenant le produit estérifié) et éliminez la phase aqueuse.
11. Pour éliminer les impuretés restantes et l'excès de catalyseur, vous pouvez effectuer un lavage de la phase organique avec une solution aqueuse basique, comme une solution d'hydrogénocarbonate de sodium (bicarbonate de soude). Agissez doucement, séparez les phases et récupérez la phase organique.
12. Pour éliminer les traces d'eau résiduelles, ajouter un agent desséchant approprié, tel que du sulfate de sodium anhydre, dans le bécher contenant la phase organique. Agitez et laissez reposer pendant un certain temps pour permettre la dessiccation.
13. Filtrez la solution desséchée pour éliminer les éventuelles impuretés solides.
14. Si vous souhaitez obtenir un produit approprié, vous pouvez envisager une distillation pour séparer l'ester méthacrylique de l'octanol des autres composés. Cependant, veillez à prendre les précautions nécessaires lors de la manipulation des liquides inflammables et volatils, et consultez des ressources spécialisées pour obtenir des informations détaillées sur la distillation.



Figure III.6 : Rotta-vap pour la purification des monomères

### III.2.1. Caractérisation du monomère synthétisé

#### III.2.2. Techniques de caractérisation utilisée

Nous avons essayé d'analyser et caractériser le produit obtenu à l'aide de techniques appropriées, telles que la spectrométrie infrarouge (IR) ou la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN), pour confirmer son identité et sa pureté.

##### III.2.1.1. La spectroscopie infrarouge (IR)



### Interprétation des résultats obtenus

1. L'interprétation d'un spectre infrarouge (IR) de méthyle méthacrylate (MMA) implique l'analyse des différentes bandes d'absorption infrarouge observées dans le spectre et leur correspondance avec les vibrations moléculaires caractéristiques de cette molécule. Voici une interprétation générale des principales bandes d'absorption infrarouge attendues pour le méthyle méthacrylate :

- ❖ **Groupe méthyle (CH<sub>3</sub>)** : Il apparaît à une bande d'absorption entre 2800 et 3000 cm<sup>-1</sup>, qui est généralement associée aux vibrations de stretching (étirement) des groupes méthyle.
- ❖ **Groupe méthylène (CH<sub>2</sub>)** : nous pouvons observer une ou plusieurs bandes d'absorption entre 2800 et 3000 cm<sup>-1</sup>, généralement plus faibles que celles du groupe méthyle, qui correspondent aux vibrations de stretching des groupes méthylène.
- ❖ **Groupe carbonyle (C=O)** : Une bande d'absorption caractéristique des groupes carbonyle se situe généralement entre 1700 et 1750 cm<sup>-1</sup>. Cette bande est associée à la vibration de stretching du groupe carbonyle.
- ❖ **Groupe ester (C-O)** : Une ou deux bandes d'absorption sont attendues entre 1100 et 1300 cm<sup>-1</sup>, correspondant aux vibrations de stretching des liaisons C-O du groupe ester.
- ❖ **Groupe double liaison (C=C)** : Une bande d'absorption typique pour la double liaison se situe généralement entre 1600 et 1680 cm<sup>-1</sup>. Cette bande est associée à la vibration de stretching de la double liaison.

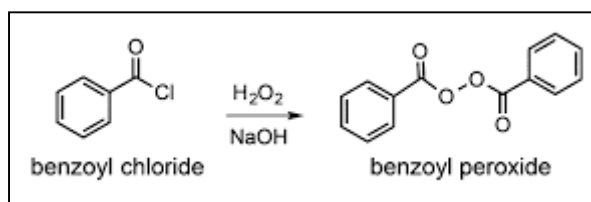
2. L'interprétation du spectre infrarouge (IR) de l'octyle méthacrylate (OMA), voici une analyse des principales bandes d'absorption infrarouge attendues :

- ❖ **Groupe méthyle (CH<sub>3</sub>)** : il apparaît à une bande d'absorption entre 2800 et 3000 cm<sup>-1</sup>, correspondant aux vibrations de stretching (étirement) des groupes méthyle.
- ❖ **Groupe méthylène (CH<sub>2</sub>)** : Des bandes d'absorption entre 2800 et 3000 cm<sup>-1</sup> peuvent être observées, généralement moins intenses que celles du groupe méthyle, correspondant aux vibrations de stretching des groupes méthylène.
- ❖ **Groupe carbonyle (C=O)** : Une bande d'absorption caractéristique du groupe carbonyle se situe généralement entre 1700 et 1750 cm<sup>-1</sup>, associée à la vibration de stretching du groupe carbonyle.
- ❖ **Groupe ester (C-O)** : On peut observer une ou deux bandes d'absorption entre 1100 et 1300 cm<sup>-1</sup>, correspondant aux vibrations de stretching des liaisons C-O du groupe ester.
- ❖ **Groupe octyle (C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>)** : les bandes d'absorption du groupe -CH (hybridé sp<sub>3</sub>) apparaissent entre 2800 et 3000 cm<sup>-1</sup>.

### III.3. Synthèse du réactif de polymérisation (peroxyde de benzoyle PBO) :

La synthèse du réactif de polymérisation est une étape essentielle dans la production de polymères. Le peroxyde de benzoyle est l'un des réactifs couramment utilisés dans la polymérisation de nombreux monomères, notamment le méthyl acrylique. Ce peroxyde organique est un initiateur de polymérisation efficace, capable de déclencher la réaction de polymérisation et d'initier la formation de liaisons covalentes entre les monomères.

La synthèse du peroxyde de benzoyle implique généralement une réaction chimique entre deux molécules de chlorure de benzoyle et un agent oxydant approprié, tel que le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ). Cette réaction conduit à la formation du peroxyde de benzoyle, qui est un composé instable et réactif, prêt à libérer des radicaux libres nécessaires à la polymérisation.



**Figure 9: synthèse de PBO**

La présence du peroxyde de benzoyle en tant que réactif de polymérisation est essentielle pour induire la formation de chaînes polymères à partir des monomères. Les radicaux libres générés par le peroxyde de benzoyle réagissent avec les monomères, amorçant ainsi la réaction de polymérisation en chaîne.

Dans cette partie expérimentale, nous détaillerons le protocole opératoire utilisé pour la synthèse du peroxyde de benzoyle, réactif de polymérisation dans la fabrication du copolymère de méthyl acrylique. Cela comprendra la préparation des réactifs, les conditions réactionnelles, les étapes de purification et la caractérisation du peroxyde de benzoyle obtenu.

#### Protocole expérimental détaillé

Dans un ballon mettre (0.5 ml  $H_2O_2$  + 7.3 ml NaOH 1M) et après ajoute 1.1 ml de chlorure de benzoyle avec précaution maintenir bain de glace et sous agitation au moins pendant 3h

**Observation** : précipité blanc c'est le peroxyde de benzoyle .

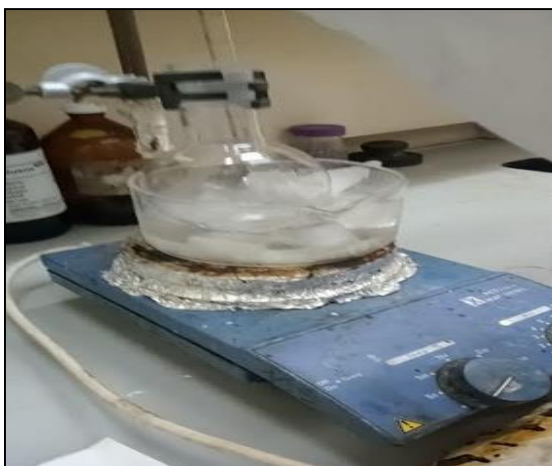


Figure III.10: Montage de la préparation du peroxyde de benzoyle

### III.4. Synthèse du copolymère des méthylacrylique

La synthèse de copolymères est une approche essentielle dans le domaine de la chimie des polymères pour obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques et adaptées à différentes applications. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur la synthèse d'un copolymère à partir de monomères de méthylacrylique et d'un autre monomère spécifique.

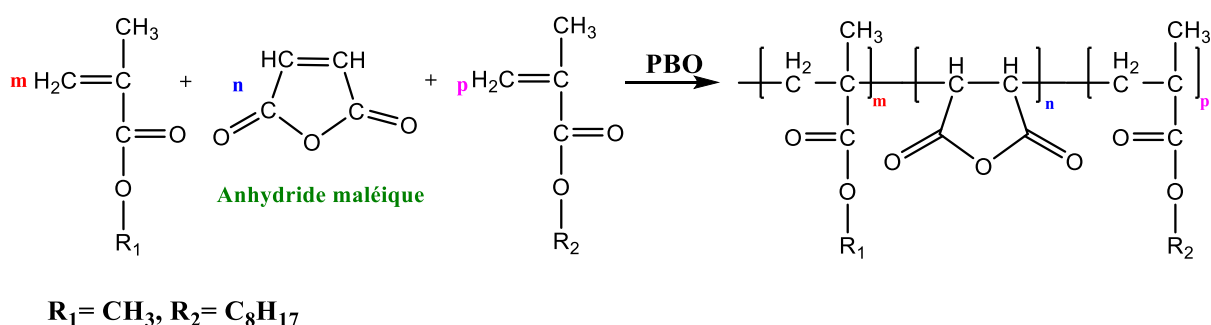


Figure III.11. : Schéma générale de la synthèse de copolymère.

Dans cette partie expérimentale, nous décrirons en détail le protocole opératoire utilisé pour la synthèse du copolymère de méthylacrylique. Cela comprendra la préparation des monomères, la méthode de polymérisation choisie, les conditions réactionnelles, les étapes de purification et la caractérisation du copolymère obtenu.

Les sections suivantes présenteront en détail le protocole expérimental utilisé pour la synthèse du copolymère de méthylacrylique, les contrôles réalisés et les résultats de caractérisation obtenus. Ces informations nous permettront de mieux comprendre la structure, la composition et les propriétés du copolymère synthétisé, ainsi que son potentiel d'utilisation dans diverses applications.

#### A. Préparation des réactifs

- Méthacrylate d'octanol : 10 g.
- Méthacrylate de méthyle : 15 g.
- Anhydride maléique : 5 g.
- Solvant toluène : quantité suffisante pour dissoudre les monomères et faciliter la polymérisation.
- Initiateur PBO (benzoate de peroxyde) : 0,2 g.

## B. Protocole expérimental détaillé

### Préparation de la solution de monomères

- Dans un récipient approprié, mélangez les quantités spécifiées de méthacrylate d'octanol, de méthacrylate de méthyle et d'anhydride maléique.
- Ajoutez suffisamment de toluène pour dissoudre les monomères et obtenir une solution homogène.
- Agitez soigneusement le mélange jusqu'à ce que tous les monomères soient dissous.

### III.4.1. Polymérisation

- Ajoutez l'initiateur PBO (0,2 g) à la solution de monomères dans le toluène et mélangez bien pour assurer une distribution uniforme de l'initiateur.
- Transférez la solution de monomères dans un réacteur approprié équipé d'un système de reflux.
- Chauffez la solution à une température spécifique, par exemple 80 °C.
- Maintenez la température pendant une période spécifiée, par exemple 4 heures, pour permettre la polymérisation des monomères. Pendant la polymérisation, assurez-vous de bien agiter la solution à intervalles réguliers pour favoriser une réaction homogène.

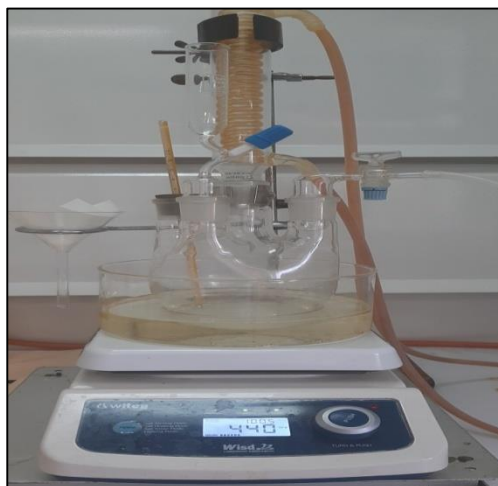


Figure III.12 : Montage de la synthèse de copolymère

**Fin de la polymérisation**

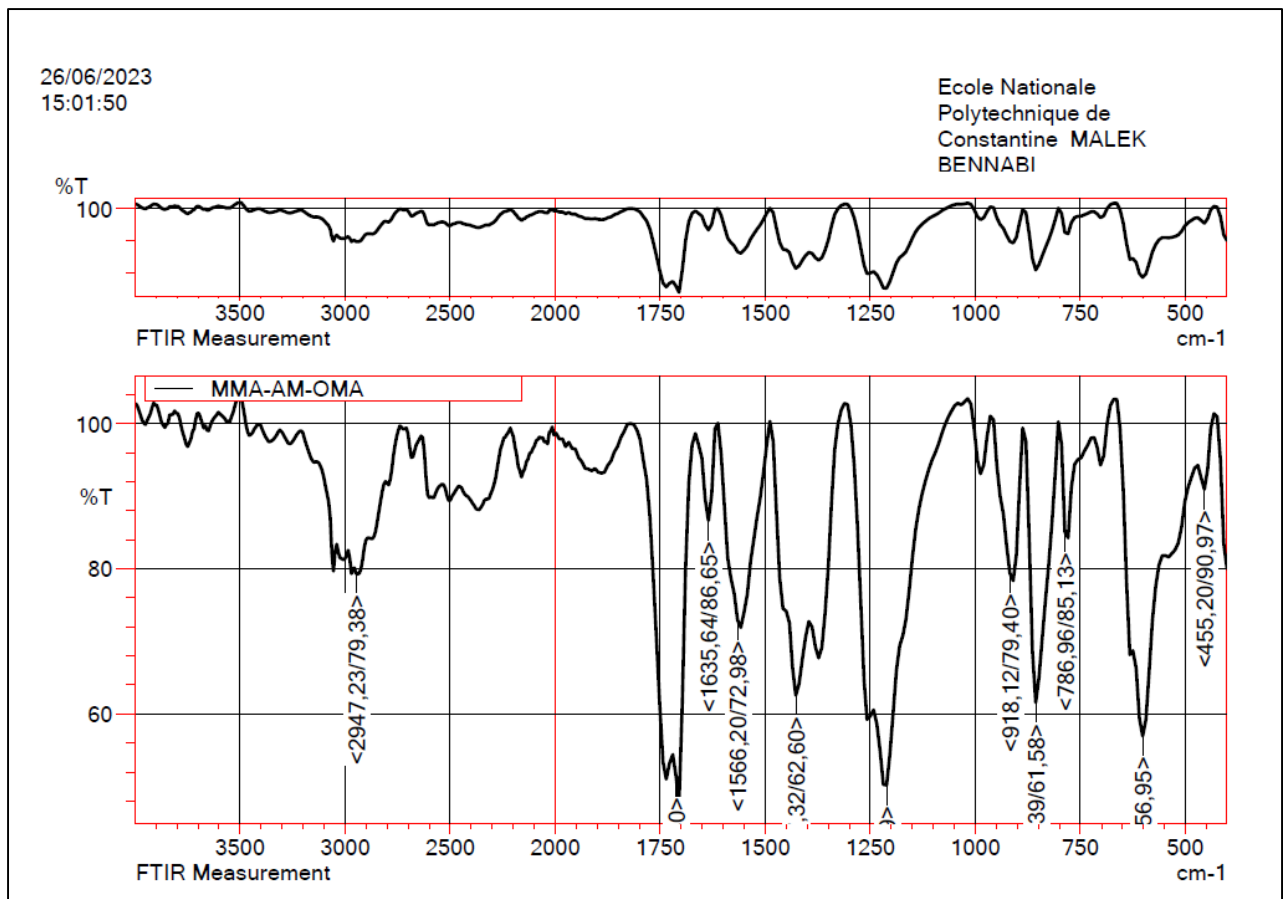
- Une fois la polymérisation terminée, refroidissez la solution et récupérez le polymère formé.
- Éliminez le toluène et tout autre résidu non réagissant par évaporation ou par d'autres méthodes de purification appropriées.
- Lavez le polymère avec un solvant approprié pour éliminer les résidus de solvant ou d'autres impuretés.
- Finalement, séchez le polymère obtenu.



**Figure III.13 : Copolymère après filtration**      **Figure III.14 : Copolymère après séchage**

Nb : pour l'addition de ce copolymère au gasoil, il doit être dissous dans solvant approprié tel que le toluène ou le xylène.

**III.4.2. Caractérisation du copolymère synthétisé****III.4.2.1. Techniques de caractérisation utilisée**



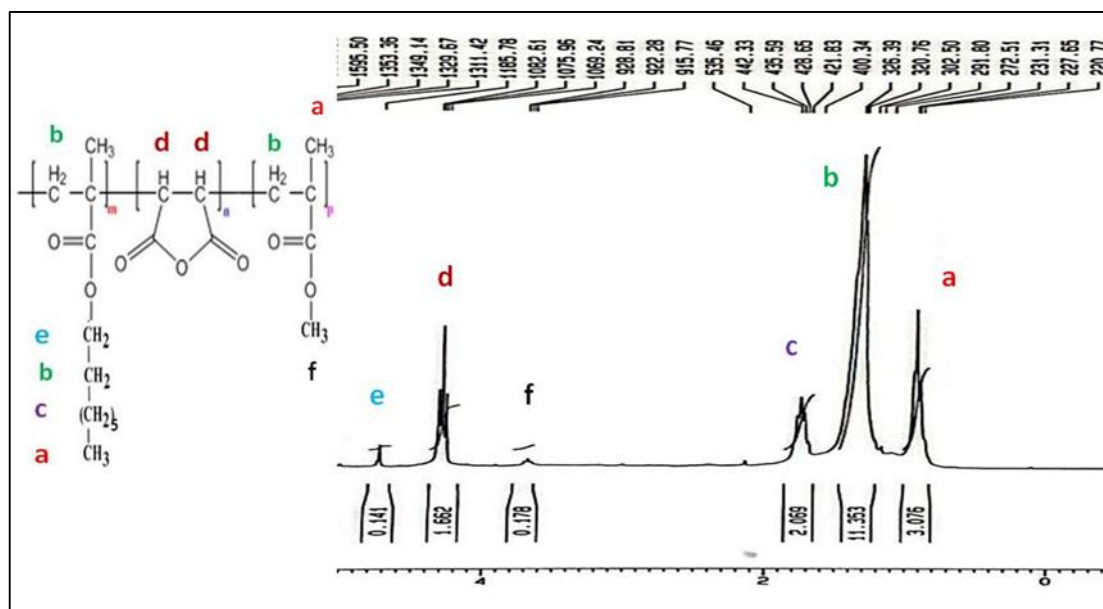
**Figure III.15 : Spectre IR du copolymère n-alkyl méthacrylique, anhydrique maléique**

L'interprétation du spectre infrarouge (IR) d'un copolymère peut fournir des informations sur les groupes fonctionnels présents dans la structure chimique du polymère. Dans le cas du copolymère octyle méthacrylate, anhydride maléique, méthyle méthacrylate, voici une interprétation générale des groupes fonctionnels que vous pourriez trouver dans le spectre IR :

- ❖ **Groupes acrylates** : Les pics caractéristiques d'un groupe acrylate apparaîtront généralement entre 1740 et 1720  $\text{cm}^{-1}$ . Ces pics indiquent la présence de groupes C=O (carbonyle) dans la structure du polymère.
- ❖ **Groupes esters** : Les pics correspondants aux groupes esters se situent généralement entre 1750 et 1735  $\text{cm}^{-1}$ . Ces pics confirment la présence de liaisons C=O caractéristiques des esters dans le copolymère.
- ❖ **Groupes anhydrides** : Les groupes anhydrides sont généralement associés à des pics entre 1850 et 1770  $\text{cm}^{-1}$ . Ces pics indiquent la présence de groupes caractéristiques de l'anhydride maléique.

- ❖ **Groupes méthyle** : Les pics correspondants aux groupes méthyle ( $\text{CH}_3$ ) se trouvent généralement entre  $2950$  et  $2850 \text{ cm}^{-1}$ . Ces pics confirment la présence de groupes  $\text{CH}_3$  dans le copolymère.

### 1.2. La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN) :



**Figure III.16 : La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN).**

$^1\text{H-NMR}$  :

- Méthyle méthacrylate (MMA) :
  - Les protons du groupe méthyle ( $\text{CH}_3$ ) lié à C : autour de  $0,8-1,2$  ppm.
  - Les protons du groupe méthyle ( $\text{CH}_3$ ) lié à O : autour de  $3,5-4,0$  ppm.
  - Les protons du groupe méthacrylate ( $\text{CH}_2=$ ) : autour de  $1,6-2,4$  ppm.
- Anhydride maléique (AM) :
  - Les protons des groupes anhydride : autour de  $4,5-5,5$  ppm.
- Octyle méthacrylate (OMA) :
  - Les protons du groupe méthyle ( $\text{CH}_3$ ) : autour de  $0,8-1,2$  ppm.
  - Les protons du groupe méthacrylate ( $\text{CH}_2=$ ) : autour de  $1,6-2,4$  ppm.
  - Les protons du groupe méthyle ( $\text{CH}_2=$ ) lié à O : autour de  $4,2-5,0$  ppm

## III.5. Caractérisations du gasoil

### III.5.1. Lamasse volumique à $15^\circ\text{C}$ selon la norme ASTM D1298-12b (2017)e1

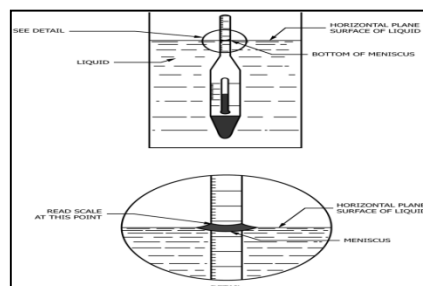
Cette méthode couvre la détermination en laboratoire, à l'aide d'un aréomètre en verre, de la masse volumique à 15°C des pétroles bruts, des produits pétroliers liquides et des mélanges des produits pétroliers et non pétroliers qui sont normalement manipulés à l'état liquide, et dont la pression de vapeur Reid ne dépasse pas 101.325 kPa[47].

#### a) Définition

La masse volumique est la masse par unité de volume, exprimée soit en kilogrammes par mètre cube, soit en grammes par millilitre à 15 °C et 101,325 kPa [48].

#### B) Principe

L'échantillon est amené à une température prescrite, et une prise d'essai est introduite dans une éprouvette amenée à approximativement la même température. L'aréomètre approprié, dont la température a aussi été réglée, est introduit dans la prise d'essai et laissé au repos. Lorsque l'équilibre de température est atteint, on relève la valeur sur l'échelle de l'aréomètre, la température de la prise d'essai est notée, et la lecture de l'aréomètre est convertie à 15 °C en utilisant les tables de mesure normalisées. Si nécessaire, l'éprouvette et son contenu sont placés dans un bain à température constante pour éviter une variation trop grande au cours de l'essai [49].



**FigureIII.17 : détermination de la masse volumique par aréomètre. [49]**

#### III.5.2. Distillation manuelle selon la norme ASTM D86-23

Cette méthode d'essai couvre la distillation atmosphérique de produits pétroliers et de carburants liquides à l'aide d'une distillation en laboratoire pour déterminer quantitativement les caractéristiques de la plage d'ébullition de produits tels que les distillats légers et moyens, l'automobile carburants pour moteurs à allumage commandé avec ou sans composés oxygénés, essences aviation, carburants pour turbines aviation, carburants diesel, mélanges de biodiesel jusqu'à 20 %, 30 % en volume, carburants marins, essences de pétrole spéciales, naphas, alcools blancs, kérosènes et grades Combustibles 1 et 2 brûleurs. [50]



Figure III.18 : L'appareillage de la distillation ASTM D 86. [50]

### III.5.3. La viscosité cinématique à 40°C selon la norme ASTM D445-21ε2

#### Définition :

La viscosité cinématique caractérise la résistance qu'apportent les molécules à une force tendant à les déplacer les unes par rapport aux autres. Elle est définie comme le rapport de la viscosité absolue à la densité mesurée à la même température. Et son unité est exprimée en centistokes (Cst) [51].

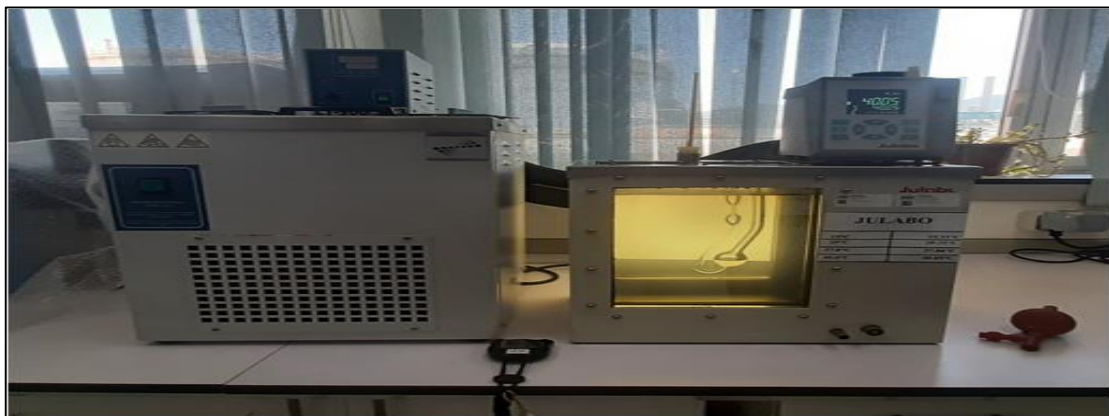


Figure III.19 : L'appareillage de mesure de la viscosité cinématique [51]

### III.5.4. Le point d'écoulement selon la norme ASTM D97b-2017

Cette méthode couvre la détermination du point d'écoulement des produits pétroliers (Fuel-oil, Gas-oil et huile)[52].

#### a) Définition

Le point d'écoulement est la plus basse température, à laquelle un produit pétrolier peut encore couler lorsqu'il est refroidi, sans agitation dans des conditions normalisées [53].

#### b) Mode opératoire

1. Noter les conditions ambiantes du milieu au début et à la fin de l'essai.

2. Verser l'échantillon dans le tube à essais jusqu'au trait de jauge et le chauffer suffisamment au bain d'eau pour permettre son écoulement.
  3. Refermer hermétiquement le tube à essais avec un bouchon muni du thermomètre ASTM 5C, maintenu verticalement et bien centré, la naissance du capillaire du thermomètre étant 3 mm au-dessous de la surface d'échantillon.
  4. Pour un point d'écoulement inférieur ou égale ( $-33^{\circ}\text{C}$ ), chauffer sans agiter jusqu'à une température de  $45^{\circ}\text{C}$  dans un bain d'eau maintenu à une température de  $48^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$  au maximum.
  5. Refroidir ensuite l'échantillon à  $27^{\circ}\text{C}$  soit dans l'air, soit dans un bain-marie maintenu approximativement à  $24^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ .
  6. Si l'échantillon n'a pas cessé de couler quand la température atteint  $27^{\circ}\text{C}$ , placer le tube à essais dans la jaquette d'un second bain réglé à  $(0^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C})$ .
- NB :** l'opération complète de d'enlèvement et de la remise en place ne doit pas demander plus de trois secondes (3s).
7. Commencer les mesures à une température de préférence multiple de  $3^{\circ}\text{C}$  et supérieure de  $12^{\circ}\text{C}$  à celle du point d'écoulement présumé.
  8. Examiner le tube à essais avec précaution et l'incliner juste assez pour rendre compte s'il y a encore un mouvement de l'échantillon dans le tube à essais toutes les fois que la température baisse de  $3^{\circ}\text{C}$ .
  9. Si l'échantillon n'a pas cessé de couler quand la température atteint  $9^{\circ}\text{C}$ , placer le tube à essais dans la jaquette d'un second bain réglé à  $(-18^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C})$ .
  10. Si l'échantillon n'a pas cessé de couler quand la température atteint  $-6^{\circ}\text{C}$ , placer le tube à essais dans la jaquette d'un second bain réglé à  $(-33^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C})$ .
  11. Si l'échantillon n'a pas cessé de couler quand la température atteint  $-24^{\circ}\text{C}$ , placer le tube à essais dans la jaquette d'un second bain réglé à  $(-51^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C})$ .
- NB :**
- Pour la détermination des points d'écoulement très bas, utiliser des bains de température de plus en plus basse, l'écart entre deux bains successifs étant d'environ  $17^{\circ}\text{C}$ .
  - Dans chaque cas, transporter le tube à essais dans le nouveau bain dès que l'écart entre la température de l'échantillon et celle de ce bain n'est plus que  $28^{\circ}\text{C}$ .
12. Si dans l'échantillon contenue dans le tube à essai apparaît un mouvement quelconque dans ces conditions, replacer immédiatement le tube à essais dans la jaquette et répéter l'essai d'écoulement à une température inférieur de  $3^{\circ}\text{C}$ .

13. Continuer l'essai de la même manière jusqu'à ce que la surface d'échantillon ne se déforme pas pendant cinq secondes (5 s) durant lesquelles le tube à essais est maintenu horizontalement. [47]

**NB :** En cas d'interruption de l'essai à cause d'une chute de tension ou autre, refaire l'essai après avoir les bonnes conditions.

**c) Expression des résultats :**

Noter à ce moment la température indiquée par le thermomètre, le point d'écoulement s'obtient en ajoutant  $+3^{\circ}\text{C}$  à cette température.



Figure III.20 : L'appareil de mesure du point d'écoulement [47].

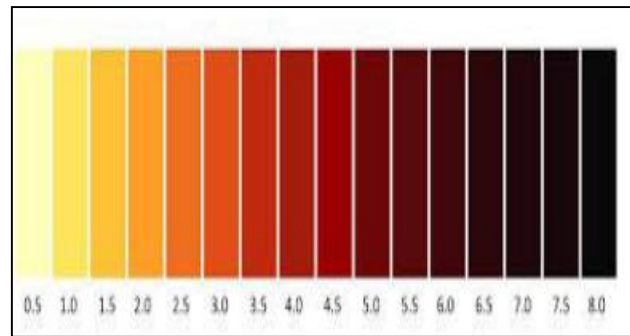
**III.5.5. La couleur selon la norme ASTM D1500:**

**Définition :**

La couleur est une caractéristique qui s'applique aux produits dits blancs mais, en réalité, plus ou moins colorés depuis le jaune très pâle jusqu'au brun foncé [50].



Figure III.21 : L'appareil de Colorimètre Lovibond [49].



**Figure III.22 : Echelle de couleur démonstrative [49].**

### **III.5.6.L'indice de cétane calculé selon la norme NA 8117 équivalente ASTM D 976**

#### **Définition :**

L'indice de cétane mesure l'aptitude des carburants Diesel à s'auto-enflammer dans une chambre de combustion de moteur à allumage par compression, il caractérise le délai d'auto-inflammation du gazole [54].

### **III.2.7.La teneur en eau selon la norme ASTM D95**

#### **a) Définition :**

L'apparition de l'eau dans les gasoils provient par des phénomènes de condensation lors des différentes phases de stockage en présence d'air et réservoir en métal léger, et ces derniers favorisent la formation d'émulsions dans le carburant. Elle est souvent exprimée en % du volume [55].

### **III.2.8. Point d'éclair manuel vase clos selon la norme ASTM D93-20**

#### **Définition**

Le point éclair est la température la plus basse à partir de laquelle un produit pétrolier dégage assez de vapeurs pour former un mélange inflammable dans des conditions normalisées. [56]



Figure III.23 : Analyseur du point d'éclair vase clos [56].

### III.5.9. Corrosion lame de cuivre selon la norme ASTM D130.

#### a) Définition :

La corrosion à la lame de cuivre est utilisée comme une épreuve pour déterminer l'apparition des composés soufrés en utilisant le cuivre étant particulièrement sensible à la présence de ces composés corrosifs. [57]

### III.5.10. Teneur en soufre selon la norme ASTM D4294 :

#### a) Définition :

C'est un non-métal multivalent abondant, insipide, et insoluble dans l'eau.

Le soufre est surtout connu sous la forme de cristaux jaunes et se trouve dans beaucoup de minéraux (sulfure et sulfate) et même sous forme native, particulièrement dans les régions volcaniques[55].

L'essentiel du soufre exploité est cependant d'origine sédimentaire.

### III.5.11. Teneur en cendres selon la norme ASTM D482 :

#### Définition :

La connaissance de la quantité de matériau formant des cendres présente dans un produit peut fournir des informations permettant de déterminer si le produit convient ou non à une utilisation dans une application donnée. Les cendres peuvent provenir de composés métalliques solubles dans l'huile ou dans l'eau ou de solides étrangers tels que la saleté et la rouille. L'échantillon contenu dans un récipient approprié est enflammé et laissé brûler jusqu'à ce qu'il ne reste que des cendres et du carbone. Le résidu carboné est réduit en cendres par chauffage dans un four à moufle à 775 ° C, refroidi et pesé.



Figure III.24 : analyseur de carbone Conradson RCC[55].

### III.2.12. Teneur en carbone Conradson CCR selon la norme ASTM D4530 :

Le résidu de carbone est formé par évaporation et la dégradation thermique d'un matériau contenant du carbone. [55]



Figure III.25: analyseur des cendres[55].

### III.5.12. Température de limite de filtrabilité CFPP ( Cold Filter Plugging Point) selon la norme ASTM D6371

#### Mode opératoire :

- Filtrer l'échantillon.
- Chauffer l'échantillon à 48 °C pendant 30 minutes (pour assurer la solubilité de toute les cristaux paraffines).
- Démarrer l'équipement et le PC.
- Démarrer la pompe d'aspiration pour créer une pression de 20mbar.
- Après 10 minutes lancer l'analyse.
- Appuyer sur l'icône COLD PROPETIES.
- Appuyer sur CFPP.

- Appuyer sur CLEAN Pour rincer le tube à essai et la cuve et le filtre (en le N. Heptane après l'Acétone).
- Placer le tube à essai et appuyer sur START après cliquer ok.
- Remplir les cases :
  - Température de début d'essai.
  - Température de fin d'essai.
  - Nom d'échantillon.
- Appuyer sur OK pour lancer l'essai.
- Après la fin d'essai le résultat s'affiche sur l'écran.
- Rincer le tube à essai, la cuve et le filtre en appuyant sur CLEAN (par le N. Heptane après l'Acétone).
- Éteindre le PC, la pompe d'aspiration et l'équipement. [52]



Figure III.26: analyseur de température limite de filtrabilité (CFPP) [52]

### III.6. Les résultats d'analyses physico-chimiques

#### III.6.1. Résultats du gasoil

Tableau III.1: Les résultats d'analyses pour le gasoil légère (LGO)Unité 10 .

| LGO Unité 10  |                            |                    |                   |                                     |   |                         |                        |
|---|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|---|-------------------------|------------------------|
| Caractéristiques  | Normes                     | Valeurs            |                   | Conditions ambiantes                |   |                         |                        |
|   |                            | Lues               | Corrigées         |                                     | Avant                                   | Après                   |                        |
| *Msse volumique en (kg/l)   | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.8220<br>à 25,5°C | 0.8294<br>à 15 °C | Température<br>Humidité<br>pression | 23,6<br>43,6<br>1019,8                  | 24,1<br>41,0<br>1019,5  |                        |
| *Distillation manuelle – température en °C  | ASTM D 86                  | PI                 | 188               | 188                                 | Température<br>Humidité<br>pression     | 23,6<br>43,6<br>1019,8  | 24,1<br>41,0<br>1019,5 |
|   |                            | 5%                 | 220               | 220                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 10%                | 233               | 233                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 20%                | 246               | 246                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 30%                | 257               | 257                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 40%                | 265               | 265                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 50%                | 275               | 275                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 60%                | 284               | 284                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 70%                | 296               | 296                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 80%                | 312               | 312                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 90%                | 332               | 332                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 95%                | 350               | 350                                 |   |                         |                        |
|   |                            | PF                 | 357               | 357                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 65% distillat      | 290               | 290                                 |   |                         |                        |
|   |                            | 85% distillat      | 320               | 320                                 |   |                         |                        |
|   |                            | V récupérer        | 98,0              |                                     |   |                         |                        |
| V résidu  | 1,6                        | 1,60               |                   |                                     |   |                         |                        |
| V perte   | 0,4                        | 0,30               |                   |                                     |   |                         |                        |
| Total récupérer   | 99,6                       | 98,10              |                   |                                     |   |                         |                        |
| *Point d'éclair auto en °C  | ASTM D 93                  | 72                 | 72                | Température<br>Humidité<br>pression | 23 ,8<br>41,9<br>1019,8                 | 23,8<br>41,9<br>1019,8  |                        |
| Point d'écoulement en °C  | ASTM D 97                  | -12                |                   |                                     |   |                         |                        |
| Soufre total ppm  | ASTM D4294<br>ASTM D5453   | 421                |                   |                                     |   |                         |                        |
| *Viscosité cinématique à 20 °C en mm <sup>2</sup> /s<br>V moyenne =(V <sub>1</sub> +V <sub>2</sub> ) /2<br>F=0,008016 | ASTM D445                  | T <sub>1</sub>     | 369               | 2.958                               | Tempéra<br>ture<br>Humidité<br>pression | 23 ,8<br>41,9<br>1019,8 | 23,8<br>41,9<br>1019,8 |
| V <sub>1</sub>  |                            | 2.958              |                   |                                     |   |                         |                        |
| T <sub>2</sub>  |                            | 369                |                   |                                     |   |                         |                        |
| V <sub>2</sub>  |                            | 2.958              |                   |                                     |   |                         |                        |
| CFPP  | ASTM D6371                 | -10                |                   |                                     |   |                         |                        |
| Indice de cétane  | ASTM D976                  | 55,91              |                   |                                     |   |                         |                        |
| Couleur   | ASTM D 1500                | <0.5               |                   |                                     |   |                         |                        |
| Point trouble en °C   | ASTM D2500                 | -5                 |                   |                                     |   |                         |                        |
| Aspect  | Visuelle                   | Clair              |                   |                                     |   |                         |                        |
| Teneur en cendre en % Pds   | ASTM D 482                 | TND                |                   |                                     |   |                         |                        |
| Teneur en eau en % Vol  | ASTM D 95                  | TND                |                   |                                     |   |                         |                        |
| RCC en % Pds  | ASTM D 189                 | <0.01              |                   |                                     |   |                         |                        |

(\*) : Essais accrédités selon la norme ISO 17025.

Tableau III.2: Les résultats d'analyses pour le gasoil léger (LGO) Unité11.

| LGO Unité 11 Le 21/03/2023  |                            |                    |                   |                                     |                                     |                        |                        |
|---|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Caractéristiques  | Normes                     | Valeurs            |                   | Conditions ambiantes                |                                     |                        |                        |
|   |                            | Lues               | Corrigées         |                                     | Avant                               | Après                  |                        |
| *Masse volumique en (kg/l)  | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.8230<br>à 22,5°C | 0.8283<br>à 15 °C | Température<br>Humidité<br>pression | 23,2<br>45,7<br>1018,6              | 23,4<br>43,9<br>1018,4 |                        |
| *Distillation manuelle – température en °C  | ASTM D 86                  | PI                 | 190               | 190                                 | Température<br>Humidité<br>pression | 22,2<br>45,7<br>1018,6 | 23,4<br>43,9<br>1018,4 |
|   |                            | 5%                 | 211               | 211                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 10%                | 233               | 233                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 20%                | 245               | 245                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 30%                | 256               | 256                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 40%                | 265               | 265                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 50%                | 277               | 277                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 60%                | 280               | 280                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 70%                | 291               | 291                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 80%                | 305               | 305                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 90%                | 325               | 325                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 95%                | 342               | 342                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | PF                 | 350               | 350                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 65% distillat      | 285               | 285                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | 85% distillat      | 314               | 314                                 |                                     |                        |                        |
|   |                            | Vol récupérer      | 98                |                                     |                                     |                        |                        |
|   |                            | Vol résidu         | 1,5               | 1,5                                 |                                     |                        |                        |
| Vol perte   | 0,5                        | 0,41               |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Total récupérer   | 99,5                       | 98,09              |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| *Point d'éclair auto en °C  | ASTM D 93                  | 69                 | 69                | Température<br>Humidité<br>pression | 22,4<br>43,7<br>1018,4              | 23,5<br>43,2<br>1018,2 |                        |
| Point d'écoulement en °C  | ASTM D 97                  | -15                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Soufre total ppm  | D4294/D5453                | 0,409              |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| *Viscosité cinématique<br>à 40 °C en mm <sup>2</sup> /s<br>V moyenne = (V1+V2) /2<br>F=0,008016 | ASTM<br>D445               | T1                 | 359               | 2,878                               | Température<br>Humidité<br>pression | 22,4<br>43,7<br>1018,4 | 23,5<br>43,2<br>1018,2 |
| V1  |                            | 2,878              |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| T2  |                            | 359                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| V2  |                            | 2,878              |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| CFPP  | ASTM D6371                 | -12                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Indice de cétane  | ASTM D 976                 | 56,70              |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Couleur   | ASTM D 1500                | <0.5               |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Point trouble en °C   | ASTM D2500                 | -5                 |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Aspect  | Visuelle                   | Clair              |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Teneur en cendre en % Pds   | ASTM D 482                 | TND                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Teneur en eau en % Vol  | ASTM D 95                  | TND                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| RCC en % Pds  | ASTM D 189                 | <0.01              |                   |                                     |                                     |                        |                        |

(\*) : Essais accrédités selon la norme ISO 17025.

Tableau III.3 : Les résultats d'analyses pour le gasoil lourd (HGO) Unité 10 .

| HGO Unité 10 Le 22/03/2023   |               |                            |                     |                   |                                     |                                     |                        |                        |
|--|---------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Caractéristiques   |               | Normes                     | Valeurs             |                   | Conditions ambiantes                |                                     |                        |                        |
|  |               |                            | Lues                | Corrigées         |                                     | Avant                               | Après                  |                        |
| *Masse volumique en (kg/l)   |               | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.8500<br>à 24,0 °C | 0.8562<br>à 15 °C | Température<br>Humidité<br>pression | 22,9<br>44,9<br>1018,6              | 23,4<br>43,4<br>1018,5 |                        |
| *Distillation manuelle – température en °C   | PI            | ASTM D 86                  | 231                 | 231               | Température<br>Humidité<br>pression | 22,9<br>44,9<br>1018,6              | 23,4<br>43,4<br>1018,5 |                        |
|  | 5%            |                            | 286                 | 286               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 10%           |                            | 300                 | 300               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 20%           |                            | 316                 | 316               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 30%           |                            | 327                 | 327               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 40%           |                            | 338                 | 338               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 50%           |                            | 348                 | 348               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 60%           |                            | 357                 | 357               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 70%           |                            | 367                 | 367               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 80%           |                            | 377                 | 377               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 90%           |                            | 388                 | 388               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 95%           |                            | 397                 | 397               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | PF            |                            | 400                 | 400               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 65% distillat |                            | 362                 | 362               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | 85% distillat |                            | 382                 | 382               |                                     |                                     |                        |                        |
|  | V récupérer   |                            | 97                  |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| V résidu   | 2,0           | 2,0                        |                     |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| V perte  | 1,0           | 0,91                       |                     |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Total récupérer  | 99,0          | 97,09                      |                     |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| *Point d'éclair auto en °C   |               | ASTM D 93                  | 110                 | 110               | Température<br>Humidité<br>pression | 22,8<br>43,6<br>1018,1              | 22,9<br>43,8<br>1018,2 |                        |
| Point d'écoulement en °C   |               | ASTM D 97                  | +12                 |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Soufre total ppm   |               | D4294/D5453                | 1230                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| *Viscosité cinématique à 40 °C<br>mm <sup>2</sup> /s<br>V moyenne = (V1+V2) /2<br>F=0,008208 |               | ASTM<br>D445               | T1                  | 1051              | 8,627                               | Température<br>Humidité<br>pression | 22,8<br>43,6<br>1018,1 | 22,9<br>43,8<br>1018,2 |
|  |               |                            | V1                  | 8,627             |                                     |                                     |                        |                        |
|  |               |                            | T2                  | 1051              |                                     |                                     |                        |                        |
|  |               |                            | V2                  | 8,627             |                                     |                                     |                        |                        |
| CFPP   |               | ASTM D6371                 | +12                 |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Indice de cétane   |               | ASTM D 976                 | 56,28               |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Couleur  |               | ASTM D 1500                | <0.5                |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Point trouble en °C  |               | ASTM D2500                 | +15                 |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Aspect   |               | Visuelle                   | Clair               |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Teneur en cendre en % Pds  |               | ASTM D 482                 | TND                 |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| Teneur en eau en % Vol   |               | ASTM D 95                  | TND                 |                   |                                     |                                     |                        |                        |
| RCC en % Pds   |               | ASTM D 189                 | <0.01               |                   |                                     |                                     |                        |                        |

(\*) : Essais accrédités selon la norme ISO 17025.

Tableau III.4 : Les résultats d'analyses pour le gasoil lourd (HGO) Unité 11 .

| HGO Unité 11 Le 21/03/2023   |               |                            |                    |                   |                                     |                                     |                            |                        |
|--|---------------|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Caractéristiques   |               | Normes                     | Valeurs            |                   | Conditions ambiantes                |                                     |                            |                        |
|  |               |                            | Lues               | Corrigées         |                                     | Avant                               | Après                      |                        |
| *Masse volumique en (kg/l)   |               | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.8485<br>à 22,5°C | 0.8539<br>à 15 °C | Température<br>Humidité<br>pression | 24,5<br>43,2<br>1019,<br>7          | 23,8<br>47,4<br>1020,0     |                        |
| *Distillation manuelle – température en °C   | PI            | ASTM D 86                  | 253                | 253               | Température<br>Humidité<br>pression | 24,5<br>43,2<br>1019,<br>7          | 23,8<br>47,4<br>1020,0     |                        |
|  | 5%            |                            | 275                | 275               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 10%           |                            | 290                | 290               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 20%           |                            | 310                | 310               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 30%           |                            | 322                | 322               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 40%           |                            | 332                | 332               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 50%           |                            | 342                | 342               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 60%           |                            | 351                | 351               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 70%           |                            | 360                | 360               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 80%           |                            | 369                | 369               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 90%           |                            | 380                | 380               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 95%           |                            | 389                | 388               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | PF            |                            | 392                | 391               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 65% distillat |                            | 355                | 355               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | 85% distillat |                            | 374                | 374               |                                     |                                     |                            |                        |
|  | Vol récupérer |                            | 98                 |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Vol résidu   | 1,8           | 1,8                        |                    |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Vol perte  | 0,2           | 0,09                       |                    |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Total récupérer  | 99,8          | 98,11                      |                    |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| *Point d'éclair auto en °C   |               | ASTM D 93                  | 118                | 118               | Température<br>Humidité<br>pression | 23,4<br>43,6<br>1019,<br>1          | 23,5<br>43,2<br>1020,2     |                        |
| Point d'écoulement en °C   |               | ASTM D 97                  | +9                 |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Soufre total ppm   |               | D4294/D5453                | 1108               |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| *Viscosité cinématique à 40 °Cen mm <sup>2</sup> /s<br>V moyenne =(V1+V2) /2<br>F=0,008208 |               | ASTM D445                  | T1                 | 937               | 7,691                               | Température<br>Humidité<br>pression | 23,4<br>43,6<br>1019,<br>1 | 23,5<br>43,2<br>1020,2 |
|  |               |                            | V1                 | 7,691             |                                     |                                     |                            |                        |
|  |               |                            | T2                 | 937               |                                     |                                     |                            |                        |
|  |               |                            | V2                 | 7,691             |                                     |                                     |                            |                        |
| CFPP   |               | ASTM D6371                 | +11                |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Indice de cétane   |               | ASTM D 976                 | 56,59              |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Couleur  |               | ASTM D 1500                | <0.5               |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Point trouble en °C  |               | ASTM D2500                 | +12                |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Aspect   |               | Visuelle                   | Clair              |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Teneur en cendre en % Pds  |               | ASTM D 482                 | TND                |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| Teneur en eau en % Vol   |               | ASTM D 95                  | TND                |                   |                                     |                                     |                            |                        |
| RCC en % Pds   |               | ASTM D 189                 | <0,01              |                   |                                     |                                     |                            |                        |

(\*) : Essais accrédités selon la norme ISO 17025.

Tableau III.5 : Les résultats d'analyses pour le mélange (M<sub>1</sub>).

| M1  |               | LGOU10 (40%), LGOU11 (40%), HGOU10 (10%), HGOU11(40%)<br>Le 23/03/2023 |                      |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
|---|---------------|--|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Caractéristique   |               | Normes   | Valeur               |                                    | Condition ambiantes                 |                                     |                        |                        |
|   |               |  | Lues                 | Corrigées                          |                                     | Avant                               | Après                  |                        |
| *Masse volumique moyenne (kg/l)   |               | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052   | 0.8290<br>à 22.5°C   | 0.8342<br>à 15 °C                  | Température<br>Humidité<br>pression | 23.9<br>47.8<br>1020.1              | 23.5<br>44.9<br>1020.2 |                        |
| *Distillation manuelle – température en c°  | PI            | ASTM D 86  | 195                  | 195                                | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.5<br>46.3<br>1020.2              | 23.4<br>44.9<br>1020.3 |                        |
|   | 5%            |  | 216                  | 215                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 10%           |  | 240                  | 239                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 20%           |  | 253                  | 252                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 30%           |  | 264                  | 263                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 40%           |  | 273                  | 272                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 50%           |  | 286                  | 285                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 60%           |  | 298                  | 297                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 70%           |  | 311                  | 310                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 80%           |  | 331                  | 330                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 90%           |  | 355                  | 354                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 95%           |  | 375                  | 374                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | PF            |  | 379                  | 378                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 65% distillat |  | 304                  | 303                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | 85% distillat |  | 340                  | 339                                |                                     |                                     |                        |                        |
|   | V récupérer   |  | 98                   |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
|   | V résidu      |  | 1.7                  | 1.7                                |                                     |                                     |                        |                        |
| V perte   | 0.3           | 0.16   |                      |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Total récupérer   | 99.7          | 98.14  |                      |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| *Point d'éclair auto en °C  |               | ASTM D 93  | 75                   | 75                                 | Température<br>Humidité<br>pression | 22,4<br>43,7<br>1020,4              | 23,5<br>43,2<br>1020,2 |                        |
| Point d'écoulement en °C  |               | ASTM D 97  | -6                   |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Soufre total ppm  |               | D4294/D5453  | 589                  |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| *Viscosité cinématique à 40 °C en mm <sup>2</sup> /s<br>V moyenne =(V1+V2) /2<br>F=0,008016 |               | AST<br>M<br>D445   | T1<br>V1<br>T2<br>V2 | 446.63<br>3.580<br>446.33<br>3.579 | 3.579                               | Température<br>Humidité<br>pression | 23,5<br>43,2<br>1020,2 | 23,5<br>43,2<br>1020,2 |
| CFPP en °C  |               | ASTMD6173  | -2                   |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Indice de cétane  |               | ASTM D 976   | 56,10                |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Couleur   |               | ASTM D 1500  | <0.5                 |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Point trouble en °C   |               | ASTM   | -1                   |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Teneur en cendre en %Pds  |               | ASTM D 482   | TND                  |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| Teneur en eau en % Vol  |               | ASTM D 95  | TND                  |                                    |                                     |                                     |                        |                        |
| RCC en %Pds   |               | ASTM D 189   | <0.01                |                                    |                                     |                                     |                        |                        |

(\*) : Essais accrédités selon la norme ISO 17025.

III.6.2.Résultats du kérosène:

Tableau III.6 : Les résultats d'analyses pour le kérosène (Kéro) Unité 10 .

| Kéro Unité 10 Le 24/03/2023               |               |                            |                     |                   |                                     |                        |                        |
|---|---------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Caractéristiques                          |               | Normes                     | Valeurs             |                   | Conditions ambiantes                |                        |                        |
|   |               |                            | Lues                | Corrigées         |                                     | Avant                  | Après                  |
| Masse volumique en (kg/l)                 |               | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.7810<br>à 23.0 °C | 0.7870<br>à 15 °C | Température<br>Humidité<br>pression | 23,2<br>45,7<br>1018,6 | 23,4<br>43,9<br>1018,4 |
| Distillation manuelle – température en °C | PI            | ASTM D 86                  | 165                 | 165               | Température<br>Humidité<br>pression | 23,2<br>45,7<br>1019,6 | 23,4<br>43,9<br>1019,0 |
|   | 5%            |                            | 168                 | 168               |                                     |                        |                        |
|   | 10%           |                            | 171                 | 171               |                                     |                        |                        |
|   | 20%           |                            | 179                 | 179               |                                     |                        |                        |
|   | 30%           |                            | 182                 | 182               |                                     |                        |                        |
|   | 40%           |                            | 186                 | 186               |                                     |                        |                        |
|   | 50%           |                            | 189                 | 189               |                                     |                        |                        |
|   | 60%           |                            | 193                 | 193               |                                     |                        |                        |
|   | 70%           |                            | 195                 | 195               |                                     |                        |                        |
|   | 80%           |                            | 201                 | 201               |                                     |                        |                        |
|   | 90%           |                            | 207                 | 207               |                                     |                        |                        |
|   | 95%           |                            | 212                 | 212               |                                     |                        |                        |
|   | PF            |                            | 232                 | 232               |                                     |                        |                        |
|   | 65% distillat |                            | 194                 | 194               |                                     |                        |                        |
|   | 85% distillat |                            | 204                 | 204               |                                     |                        |                        |
|   | Vol récupérer |                            | 99                  |                   |                                     |                        |                        |
| Vol résidu                                | 0.8           | 0,8                        |                     |                   |                                     |                        |                        |
| Vol perte                                 | 0.2           | 0,11                       |                     |                   |                                     |                        |                        |
| Total récupérer                           | 99,8          | 99,09                      |                     |                   |                                     |                        |                        |
| Point d'éclair auto en °C                 |               | ASTM D 93                  | 58                  | 58                | Température<br>Humidité<br>pression | 23,8<br>43,6<br>1019,2 | 24,0<br>43,4<br>1018,9 |
| Point de décongélation en °C              |               | ASTM D7154/D2386           | -53.93              | /                 | /                                   | /                      | /                      |
| Soufre total ppm                          |               | ASTM D4294                 | 106                 | /                 | /                                   | /                      | /                      |
| Couleur                                   |               | ASTM D 156                 | +30                 | /                 | /                                   | /                      | /                      |
| Aspect                                    |               | Visuelle                   | Clair               | /                 | /                                   | /                      | /                      |

Tableau III.7 : Les résultats d'analyses le kérosène (Kéro) Unité 11 .

| Kéro Unité 11 Le 24/03/2023               |                            |                     |                   |                                     |                        |                         |
|---|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Caractéristiques                          | Normes                     | Valeurs             |                   | Conditions ambiantes                |                        |                         |
|   |                            | Lues                | Corrigées         |                                     | Avant                  | Après                   |
| Masse volumique en (kg/l)                 | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.7830<br>à 23.0 °C | 0.7889<br>à 15 °C | Température<br>Humidité<br>pression | 23,3<br>45,8<br>1018,7 | 23,3<br>43,7<br>1018,5  |
| Distillation manuelle – température en °C | ASTM D 86                  | PI                  | 167               | 167                                 |                        |                         |
|   |                            | 5%                  | 170               | 170                                 |                        |                         |
|   |                            | 10%                 | 172               | 172                                 |                        |                         |
|   |                            | 20%                 | 180               | 180                                 |                        |                         |
|   |                            | 30%                 | 183               | 183                                 |                        |                         |
|   |                            | 40%                 | 187               | 187                                 |                        |                         |
|   |                            | 50%                 | 190               | 190                                 |                        |                         |
|   |                            | 60%                 | 194               | 194                                 |                        |                         |
|   |                            | 70%                 | 198               | 198                                 |                        |                         |
|   |                            | 80%                 | 202               | 202                                 |                        |                         |
|   |                            | 90%                 | 208               | 208                                 |                        |                         |
|   |                            | 95%                 | 214               | 214                                 |                        |                         |
|   |                            | PF                  | 234               | 234                                 |                        |                         |
|   |                            | 65% distillat       | 196               | 196                                 |                        |                         |
|   |                            | 85% distillat       | 204               | 204                                 |                        |                         |
|   |                            | Vol récupérer       | 99                |                                     |                        |                         |
|   |                            | Vol résidu          | 0,8               | 0,8                                 |                        |                         |
| Vol perte                                 | 0,2                        | 0,11                |                   |                                     |                        |                         |
| Total récupérer                           | 99,8                       | 98,09               |                   |                                     |                        |                         |
| Point d'éclair auto en °C                 | ASTM D 93                  | 52                  | 52                | Température<br>Humidité<br>pression | 236<br>43,6<br>1018,2  | 23,7<br>43,5<br>1018,39 |
| Point de décongélation en °C              | ASTMD7154/D2386            | -55.11              |                   |                                     |                        |                         |
| Soufre total ppm                          | ASTM D4294                 | 120                 |                   |                                     |                        |                         |
| Couleur                                   | ASTM D 156                 | +30                 |                   |                                     |                        |                         |
| Aspect                                    | Visuelle                   | Clair               |                   |                                     |                        |                         |

### III.7. L'amélioration du gasoil avec les additifs :

#### III.7.1. Simulation des mélanges de gasoil avec le kérosène :

**Tableau III.8 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>1</sub> avec différents % de kérosène.**

| M1                             | M1 (100%), Kérosène ( 0%)  |                |                                     |        |        |
|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------------------------|--------|--------|
| Caractéristique                | Normes                     | Valeur         | Condition ambiantes                 |        |        |
|                                |                            |                |                                     | Avant  | Après  |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052 | 0.8342 à 15 °C | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.7   | 23.5   |
| Point d'écoulement en °C       | ASTM D 97                  | -6             |                                     | 47.8   | 44.9   |
| CFPP en °C                     | ASTM D6371                 | -2             |                                     | 1020.1 | 1020.2 |
| Point trouble en °C            | ASTM D2500                 | -1             |                                     |        |        |

**Tableau III.9 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>2</sub> avec différents % de kérosène.**

| M2                             | M1 (95%), Kérosène (5% : 2.5% U10 et 2.5% U11) |                |                                     |        |        |
|--------------------------------|--|----------------|-------------------------------------|--------|--------|
| Caractéristique                | Normes   | Valeur         | Condition ambiantes                 |        |        |
|                                |  |                |                                     | Avant  | Après  |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052                     | 0.8325 à 15 °C | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.5   | 23.6   |
| Point d'écoulement en °C       | ASTM D 97                                      | -9             |                                     | 43.8   | 46.2   |
| CFPP en °C                     | ASTM D6371                                     | -6             |                                     | 1020.2 | 1020.2 |
| Point trouble en °C            | ASTM D2500                                     | -1             |                                     |        |        |

**Tableau III.10 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>3</sub> avec différents % de kérosène.**

| M3                             | M1 (93%), Kérosène (7% : 3.5% U10 et 3.5% U11) |                |                                     |        |        |
|--------------------------------|--|----------------|-------------------------------------|--------|--------|
| Caractéristique                | Normes   | Valeur         | Condition ambiantes                 |        |        |
|                                |  |                |                                     | Avant  | Après  |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052                     | 0.8313 à 15 °C | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.6   | 23.6   |
| Point d'écoulement en °C       | ASTM D 97                                      | -12            |                                     | 46.6   | 49.29  |
| CFPP en °C                     | ASTM D6371                                     | -9             |                                     | 1020.1 | 1019.9 |
| Point trouble en °C            | ASTM D2500                                     | -2             |                                     |        |        |

**Tableau III.11 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>4</sub> avec différents % de kérosène.**

| <b>M4</b>                      | <b>M1 (90%) , Kérosène ( 10%: 5% U10 et 5% U11)</b> |                |                                     |        |        |
|--------------------------------|---|----------------|-------------------------------------|--------|--------|
| Caractéristique                | Normes  | Valeur         | Condition ambiantes                 |        |        |
|                                |   |                | Avant                               | Après  |        |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052                          | 0.8306 à 15 °C | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.6   | 23.6   |
| Point d'écoulement en °C       | ASTM D 97   | -15            |                                     | 49.29  | 48.9   |
| CFPP en °C                     | ASTM D6371  | -9             |                                     | 1019.9 | 1019.8 |
| Point trouble en °C            | ASTM D2500  | -3             |                                     |        |        |

**Tableau III.12 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>5</sub> avec différents % de kérosène.**

| <b>M5</b>                      | <b>M1 (85%), Kérosène (15%: 7.5% U10 et 7.5% U11)</b> |                |                                     |        |        |
|--------------------------------|---|----------------|-------------------------------------|--------|--------|
| Caractéristique                | Normes  | Valeur         | Condition ambiantes                 |        |        |
|                                |   |                | Avant                               | Après  |        |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052                            | 0.8276 à 15 °C | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.9   | 23.5   |
| Point d'écoulement en °C       | ASTM D 97   | -15            |                                     | 47.8   | 44.9   |
| CFPP en °C                     | ASTM D6371  | -10            |                                     | 1020.1 | 1020.2 |
| Point trouble en °C            | ASTM D2500  | -4             |                                     |        |        |

**Tableau III.13 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>6</sub> avec différents % de kérosène.**

| <b>M6</b>                      | <b>M1 (80%), Kérosène (20% : 10% U10 et 10% U11)</b> |                |                                     |        |        |
|--------------------------------|--|----------------|-------------------------------------|--------|--------|
| Caractéristique                | Normes   | Valeur         | Condition ambiantes                 |        |        |
|                                |  |                | Avant                               | Après  |        |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D1298<br>ASTM D4052                             | 0.8248 à 15 °C | Température<br>Humidité<br>Pression | 23.9   | 23.5   |
| Point d'écoulement en °C       | ASTM D 97  | -15            |                                     | 47.8   | 44.9   |
| CFPP en °C                     | ASTM D6371   | -11            |                                     | 1020.1 | 1020.2 |
| Point trouble en °C            | ASTM D2500   | -5             |                                     |        |        |

**Tableau III.14 : Les résultats d'analyses pour le mélange M<sub>7</sub> avec différents % de kérosène.**

| <b>M7</b>                      | <b>M1 (75%) , Kérosène ( 25%: 12.5% U10 et 12.5% U11)</b> |                |                         |       |      |
|--------------------------------|---|----------------|-------------------------|-------|------|
| Caractéristique                | Normes  | Valeur         | Condition ambiantes     |       |      |
|                                |   |                | Avant                   | Après |      |
| Masse volumique moyenne (kg/l) | ASTM D 1298<br>ASTM D 4052                                | 0.8226 à 15 °C | Température<br>Humidité | 23.9  | 23.5 |
|                                |   |                |                         | 47.8  | 44.9 |

|                          |            |     |          |        |        |
|--------------------------|------------|-----|----------|--------|--------|
| Point d'écoulement en °C | ASTM D 97  | -18 | Pression | 1020.1 | 1020.2 |
| CFPP en °C               | ASTM D6371 | -12 |          |        |        |
| Point trouble en °C      | ASTM D2500 | -6  |          |        |        |

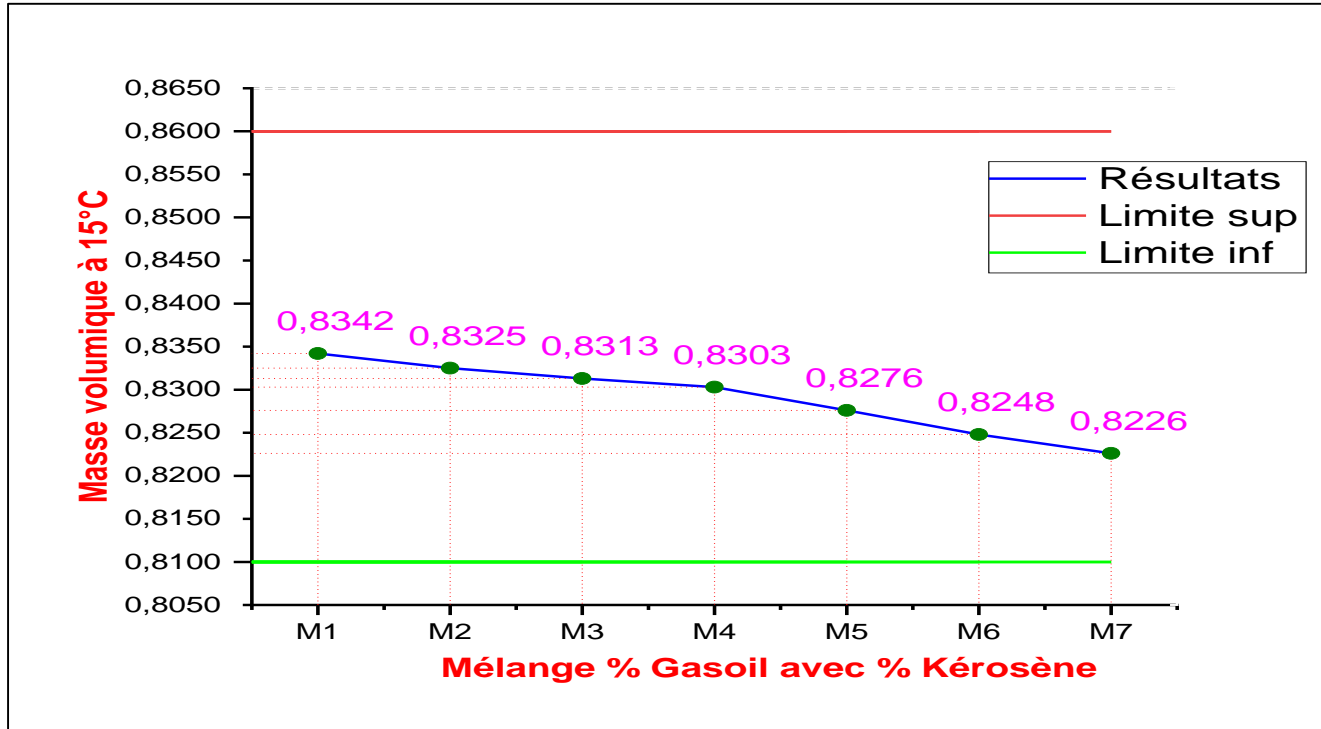


Figure III.27 : Masse volumique avec additifs kérosène aux mélanges de gasoil

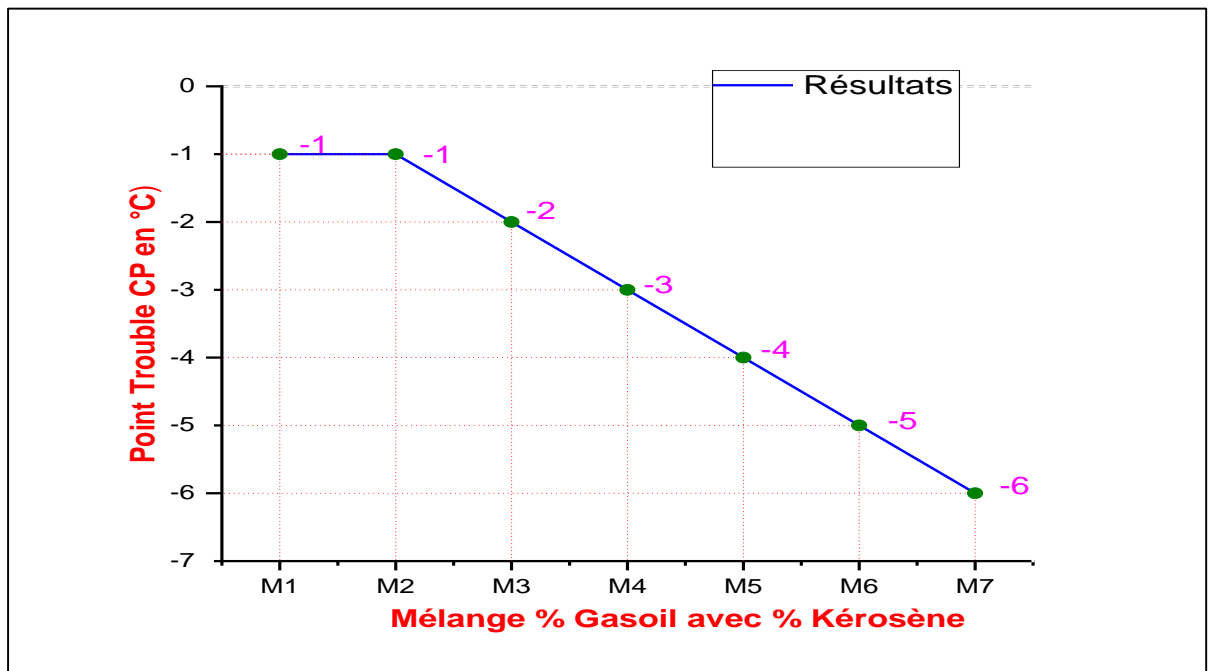


Figure III.28 : Point trouble avec additifs kérosène aux mélanges de gasoil .

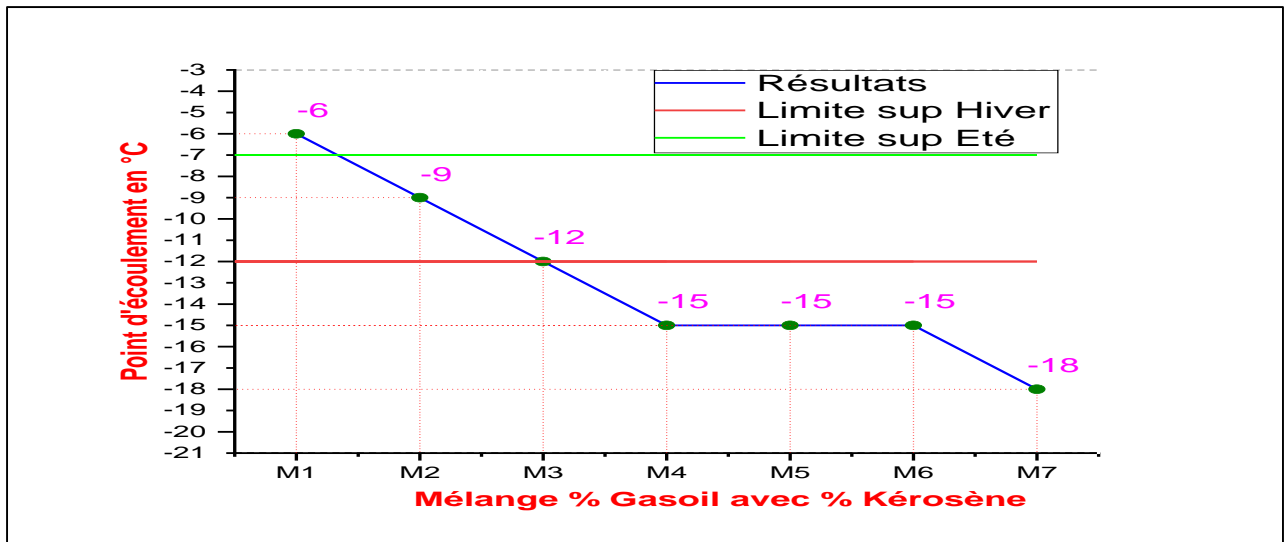


Figure.III.29 : Point d'écoulement avec additifs kérosène aux mélanges de gasoil

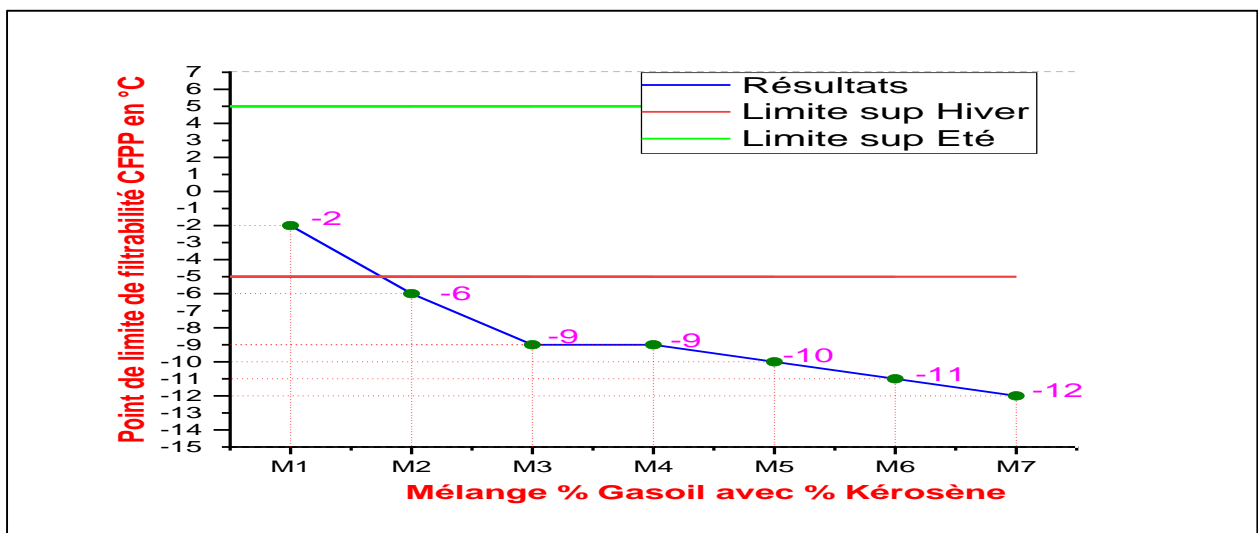


Figure. III.30: CFPP avec additifs kérosène aux mélanges du gasoil.

### III.7.2.Simulation des mélanges de gasoil avec le keroflux

-Les résultats d'analyses d'addition de keroflux 6160 au gasoil

Tableau III.15 : Les résultats d'analyses d'addition (Masse volumique en kg/l) de keroflux 6160 au gasoil

| Additif Keroflux6160 au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 10 µl  | 15 µl  | 20 µl  | 25 µl  |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Masse volumique en kg/l                          | 0,8346 | 0,8345 | 0,8345 | 0,8345 |

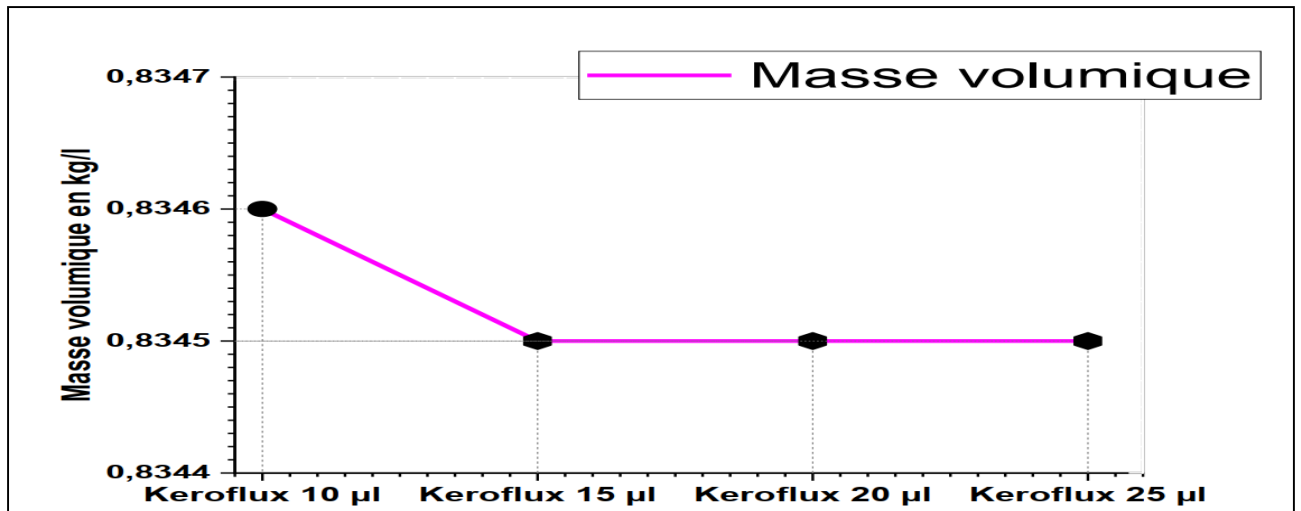


Figure.III.31: Masse volumique avec additifs keroflux 6160 au gasoil (80% LGO / 20% HGO).

Tableau III.16 : Les résultats d'analyses (Point d'écoulement) d'addition de keroflux 6160 au gasoil

| Additif Keroflux 6160 au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 10 µl | 15 µl | 20 µl | 25 µl |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Point d'écoulement en °C                          | -21   | -24   | -27   | -30   |

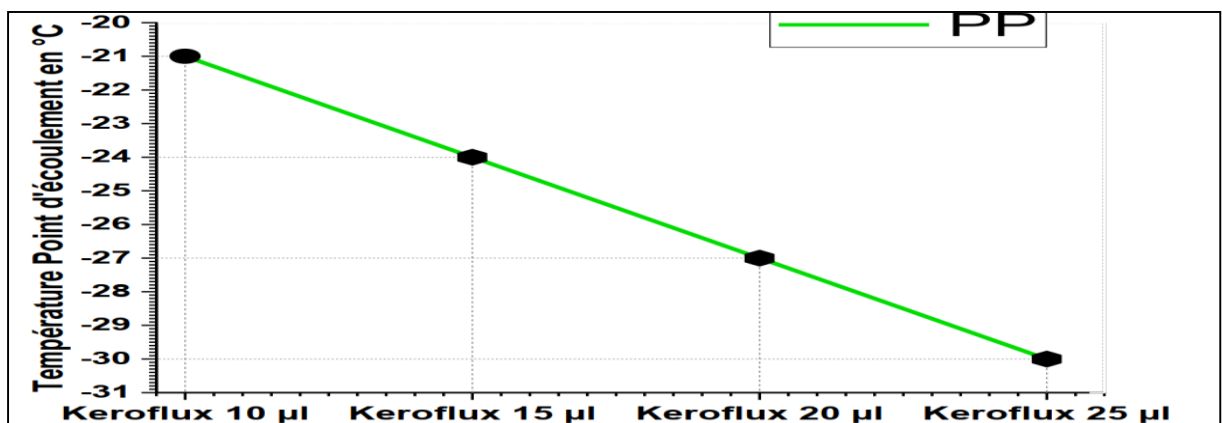


Figure.III.32 : Point d'écoulement avec additifs keroflux 6160 au gasoil (80% LGO / 20% HGO).

Tableau III.17 : Les résultats d'analyses (Point trouble) d'addition de keroflux 6160 au gasoil

| Additif Keroflux 6160 au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 10 µl | 15 µl | 20 µl | 25 µl |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Point trouble en °C                               | -2    | -4    | -5    | -6    |

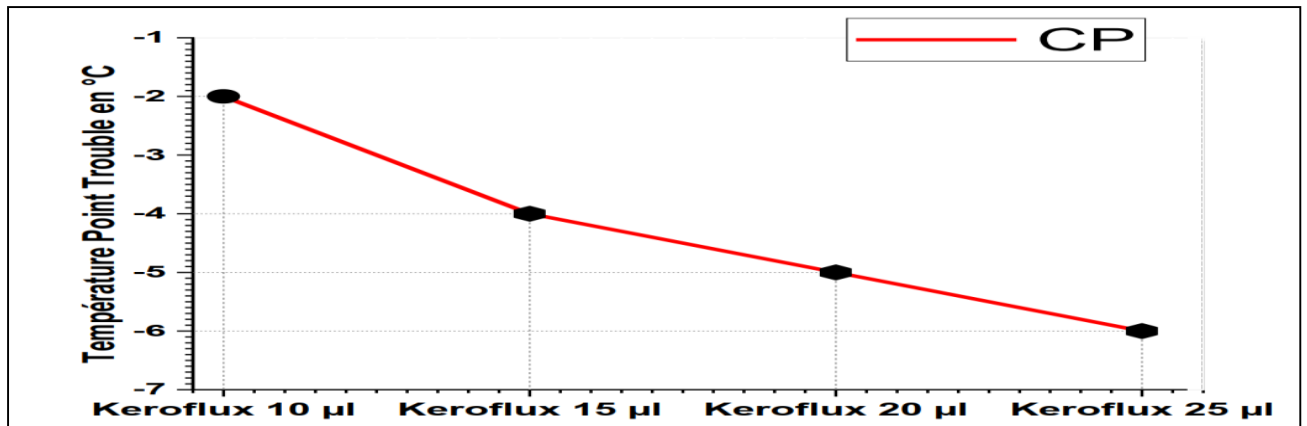


Figure III.33: Point trouble avec additifs keroflux 6160) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).

Tableau III.18 : Les résultats d'analyses (CFPP) d'addition de keroflux 6160 au gasoil

| Additif Keroflux 6160 au Gasoil (80% LGO /20% HGO) | 10 µl | 15 µl | 20 µl | 25 µl |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Température limite de filtrabilité en °C (CFPP)    | -18   | -22   | -25   | -27   |

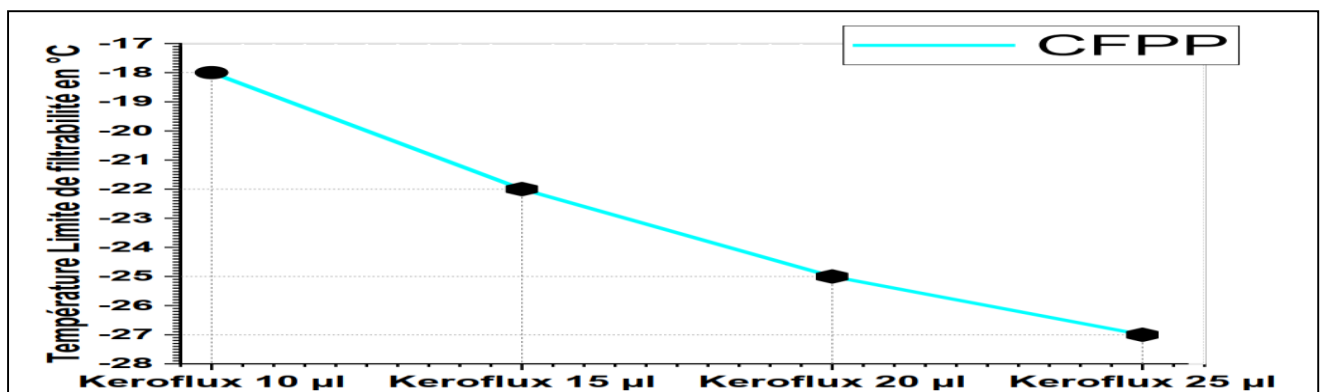


Figure.III.34: CFPP avec additifs keroflux 6160) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).

III.7.3. Les résultats d'analyses d'addition de keroflux 6103 au gasoil :

Tableau III.19 : Les résultats d'analyses (Masse volumique en kg/l) d'addition de keroflux 6103 au gasoil

| Additif Keroflux 6103 au Gasoil (80% LGO /20% HGO) | 10 µl  | 15 µl  | 20 µl  | 25 µl  |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Masse volumique en kg/l                            | 0,8343 | 0,8344 | 0,8344 | 0,8344 |

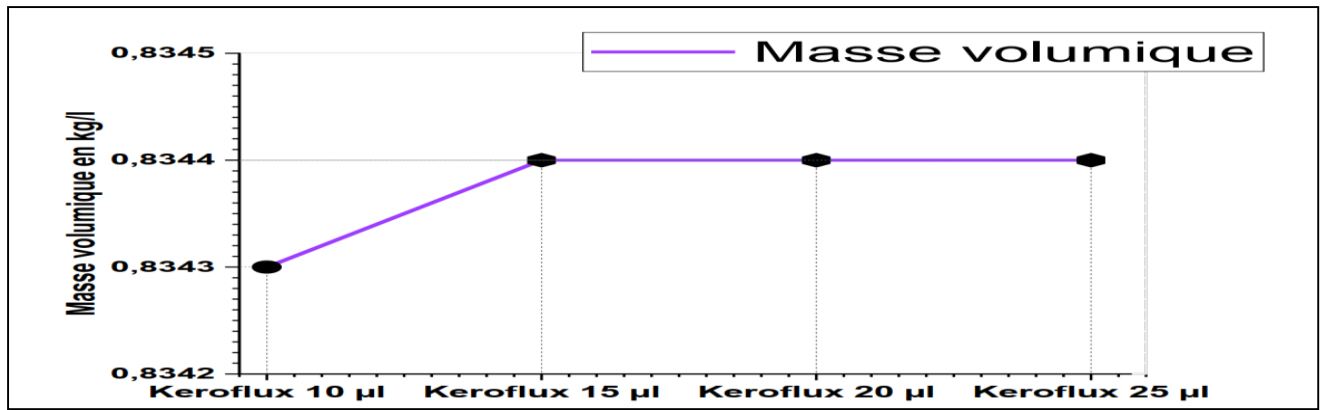


Figure.III.35 : Masse volumique avec additifs keroflux 6103) au gasoil (80% LGO / 20% HGO)

Tableau III.20 : Les résultats d'analyses (Point d'écoulement ) d'addition de keroflux 6103 au gasoil

| Additif Keroflux 6103 au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 10 µl | 15 µl | 20 µl | 25 µl |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Point d'écoulement en °C                          | -12   | -15   | -18   | -24   |

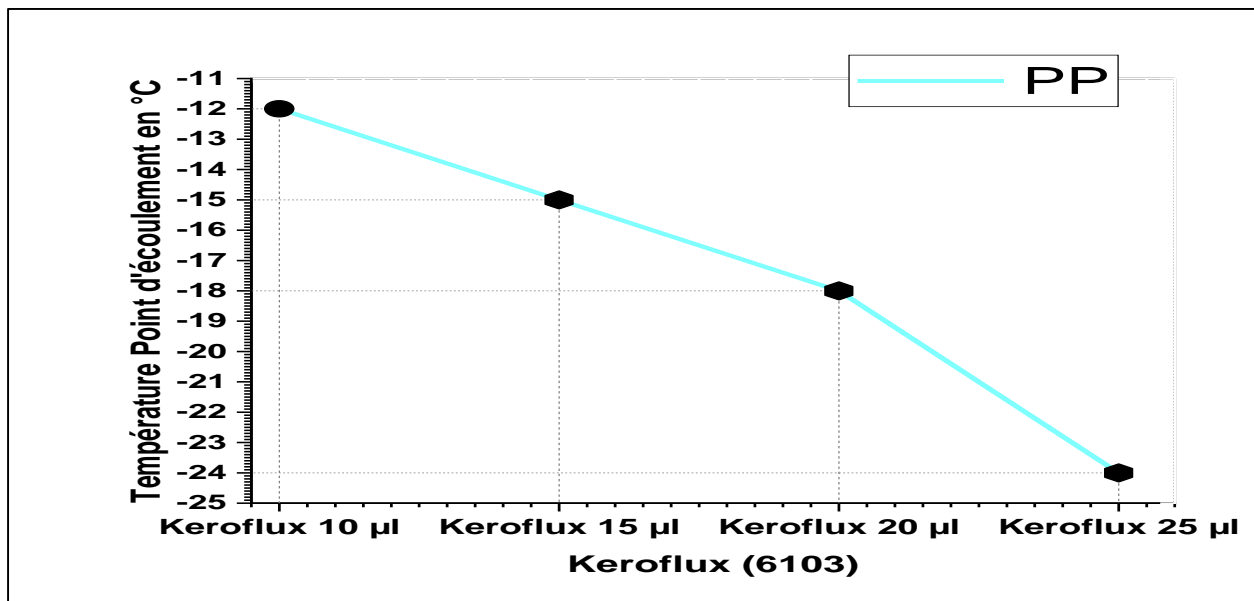


Figure.III.36 : Point d'écoulement avec additifs keroflux 6103) au gasoil (80% LGO / 20% HGO).

Tableau III.21 : Les résultats d'analyses (Point trouble) d'addition de keroflux 6103 au gasoil

| Additif Keroflux 6103 au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 10 µl | 15 µl | 20 µl | 25 µl |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Point trouble en °C                               | +2    | +1    | 0     | -2    |

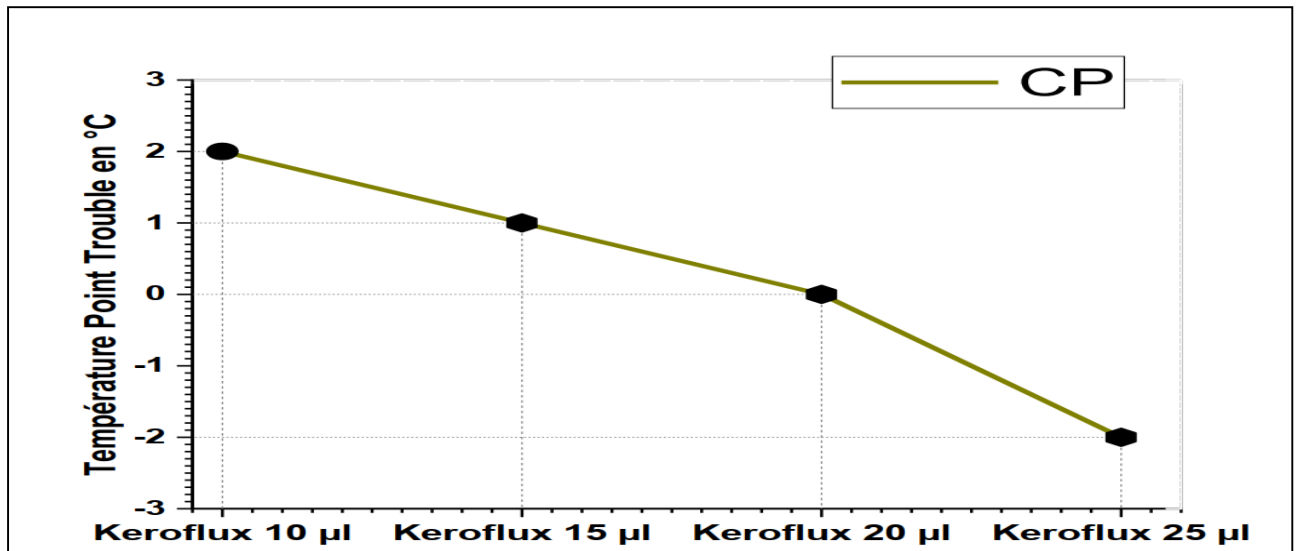


Figure .III.37: Point trouble avec additifs keroflux 6103 ) au gasoil (80% LGO / 20% HGO) .

Tableau III.22 : Les résultats d'analyses (CFPP) d'addition de keroflux 6103 au gasoil

| Additif Keroflux 6103 au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 10 µl | 15 µl | 20 µl | 25 µl |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Température limite de filtrabilité en °C (CFPP)   | -10   | -13   | -16   | -27   |

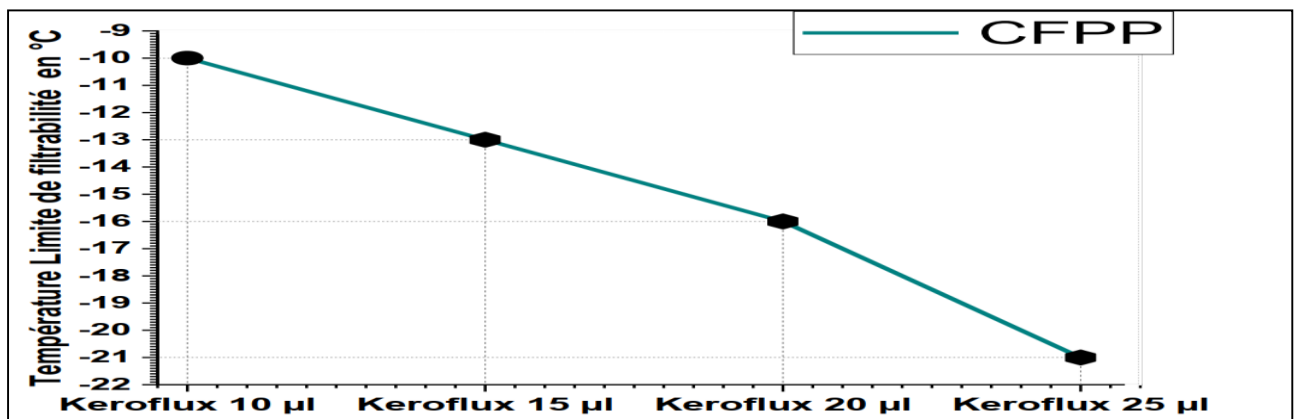


Figure .III.38 : CFPP avec additifs keroflux 6103) au gasoil (80% LGO / 20% HGO)

III.7.3.1. Analyses optiques

L'appareil utilisé est : Microscope Binoculaire Primo de la marque Star-Zeiss



Figure.III.39 : Binoculaire Primo de la marque StarZeiss

| Caractéristique du microscope |               |
|-------------------------------|---------------|
| Microscope                    | Axio observer |
| Objective                     | 40x           |
| Zoom                          | 4.x           |
| Réflecteur                    | BF            |
| Camera adapter                | 0.4x          |
| Total magnification           | 64x           |

### 1. Mélange dugasoil (90%) M<sub>1</sub> avec (10%) Kérosène

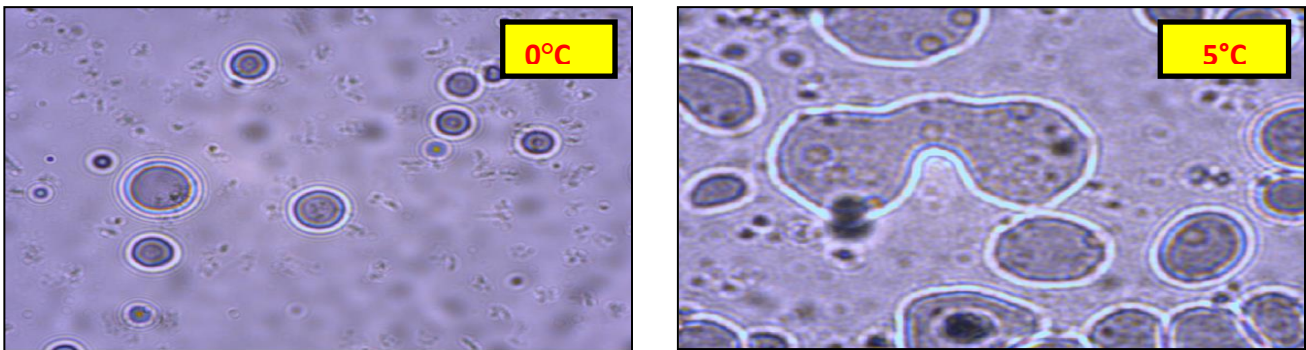


Figure.III.40: Image du mélange M<sub>1</sub> (80%LGO+20%HGO) +10 %de kérosène à 0°C et -5°C par microscope Binoculaire Primo Star-Zeiss

### 2. Mélange du gasoil (100%) M<sub>1</sub> avec (10µl) Keroflux 6103

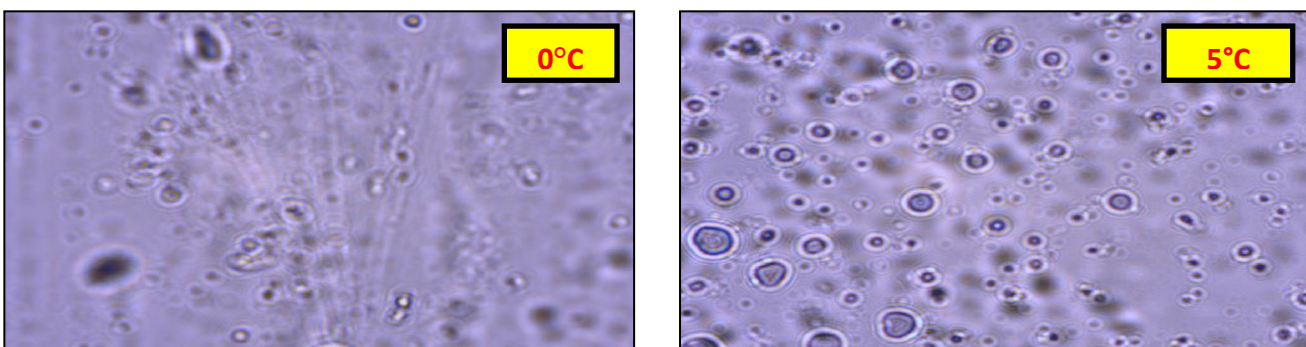


Figure.III.41: Image du mélange M<sub>1</sub> (80%LGO+20%HGO) +10 µld'additif KEROFLUX (6103) à 0°C et -5°C par microscope Binoculaire Primo Star-Zeiss

### III.7.3.2.Analyses spectroscopique UV des additifs Keroflux (6103) et Keroflux (6160)

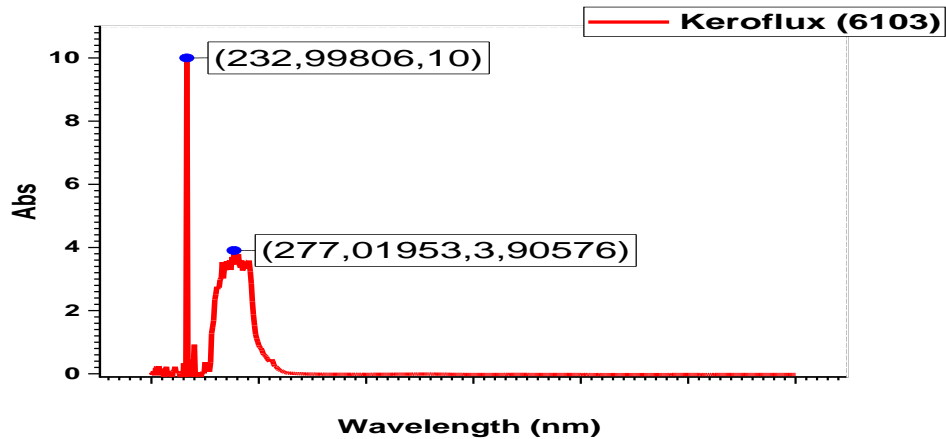


Figure.III.42 : Spectre d'absorption UV du Keroflux (6103)

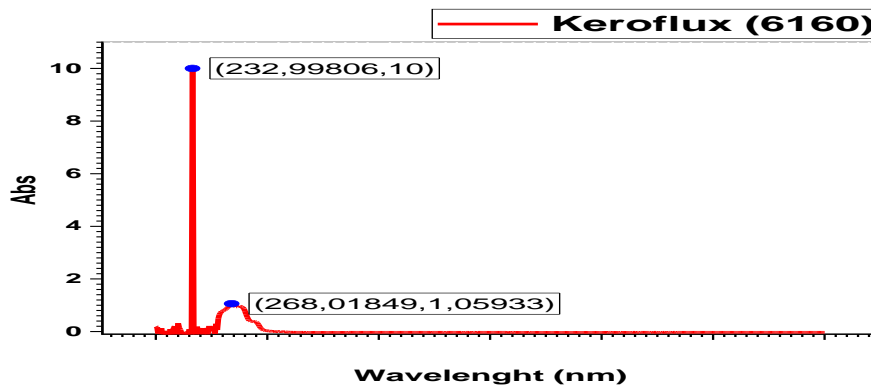


Figure.III.43 : Spectre d'absorption UV du Keroflux(6160)

#### Discussion :

- ❖ Les deux pics similaires à  $\lambda = 232,99$  nm dans les spectres UV des additifs Keroflux 6103 et Keroflux 6160 suggèrent la présence d'une structure moléculaire ou de groupes fonctionnels communs dans les deux composés. Cela peut indiquer que ces additifs partagent certains composants ou qu'ils sont des variantes similaires.
- ❖ Cependant, les deux pics différents à  $\lambda = 277,01$  nm pour Keroflux 6103 et  $\lambda = 268,01$  nm pour Keroflux 6160 indiquent des différences dans les propriétés chimiques ou la structure moléculaire des deux additifs. Ces variations peuvent être dues à des substituants différents, à des arrangements spatiaux distincts ou à d'autres facteurs qui influencent les interactions entre les molécules et la lumière UV.

III.7.4. Simulation des mélanges de gasoil avec le copolymère

Tableau III.23 : Les résultats d'analyses (Masse volumique) d'addition de copolymère au gasoil

| Additif copolymère au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 100 µl | 150 µl | 200 µl | 250 µl |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Masse volumique en kg/l                        | 0,8344 | 0,8344 | 0,8345 | 0,8345 |

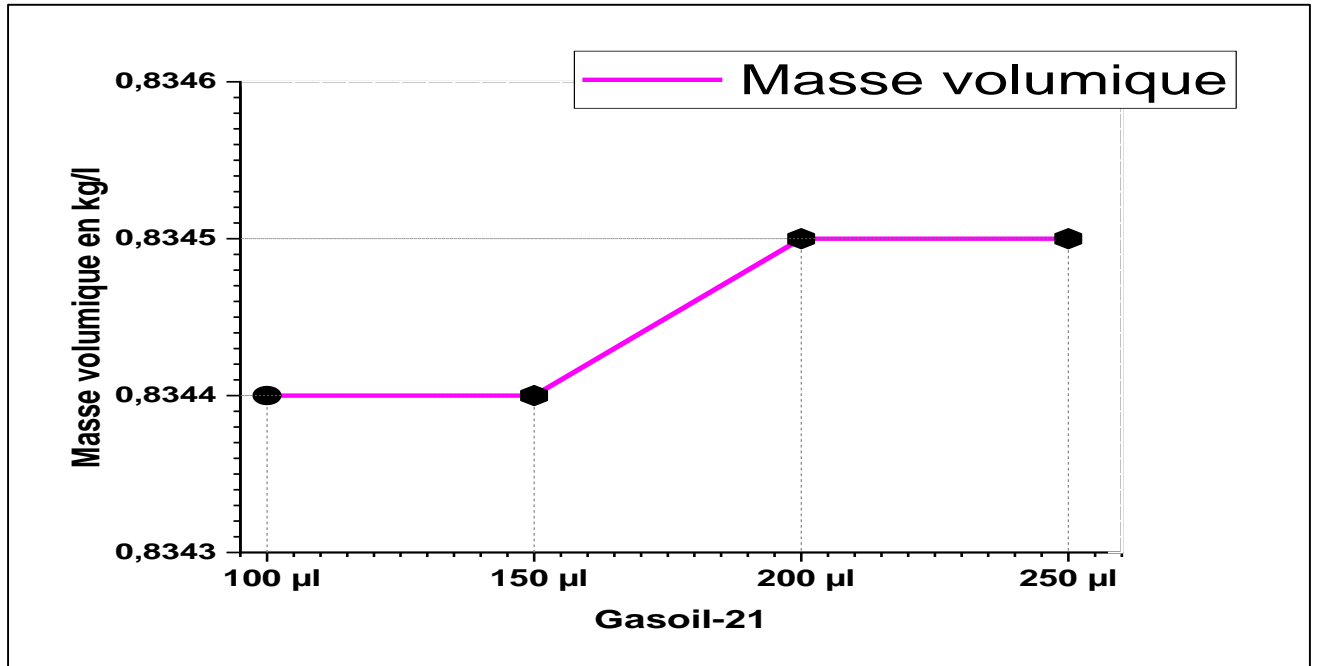


Figure.III.44 : Masse volumique avec additifs copolymère au Gasoil M1

Tableau III.24 : Les résultats d'analyses (Point trouble ) d'addition de copolymère au gasoil

| Additif copolymère au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 100 µl | 150 µl | 200 µl | 250 µl |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Point trouble en °C                            | 0      | -1     | -3     | -5     |

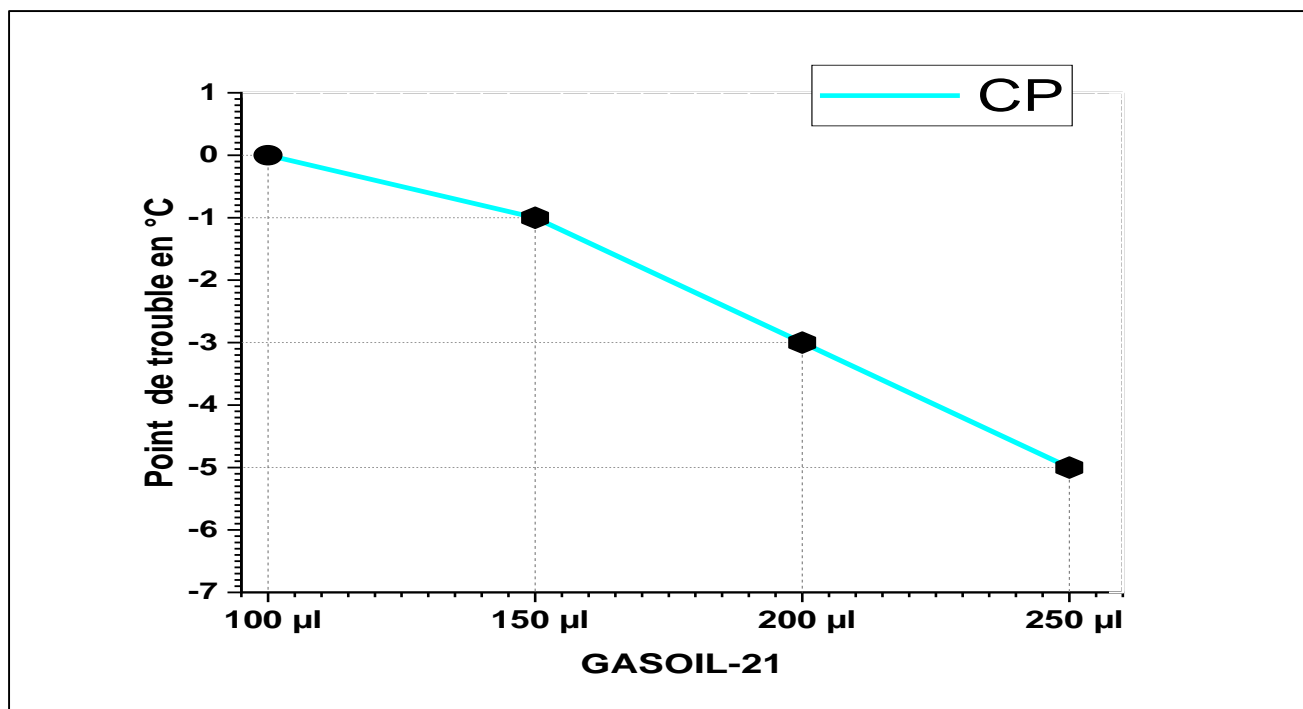


Figure.III.45 : Point trouble avec additifs copolymère au Gasoil M<sub>1</sub>

Tableau III.25 : Les résultats d'analyses (Point d'écoulement) d'addition de copolymère au gasoil

| Additif copolymère au Gasoil (80% LGO /20%HGO) | 100 µl | 150 µl | 200 µl | 250 µl |
|--|--------|--------|--------|--------|
| Point d'écoulement en °C                       | -9     | -12    | -15    | -18    |

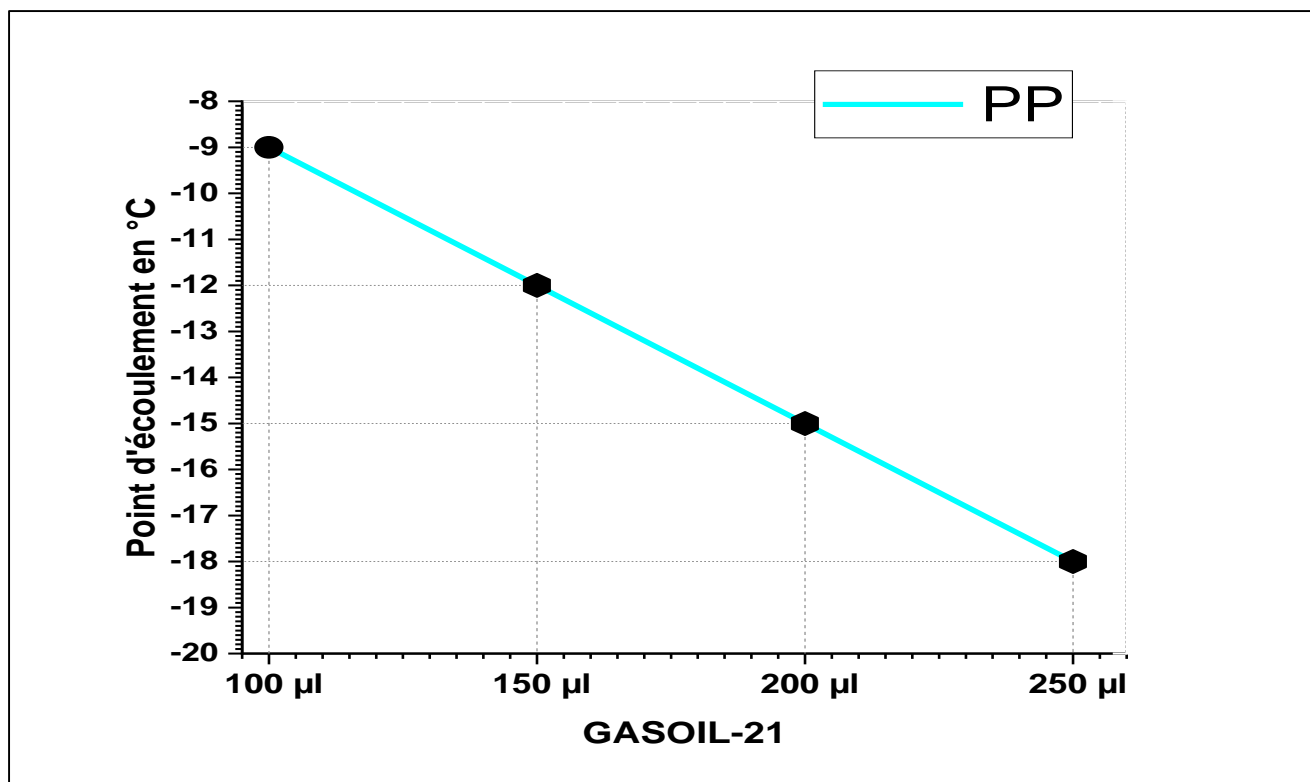


Figure.III.46 : Point d'écoulement avec additifs copolymère au Gasoil M<sub>1</sub>

Tableau III.26 : Les résultats d'analyses (CFPP) d'addition de copolymère au gasoil

| Additif copolymère au Gasoil (80% LGO /20%HGO)  | 100 µl | 150 µl | 200 µl | 250 µl |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Température limite de filtrabilité en °C (CFPP) | -6     | -9     | -10    | -11    |

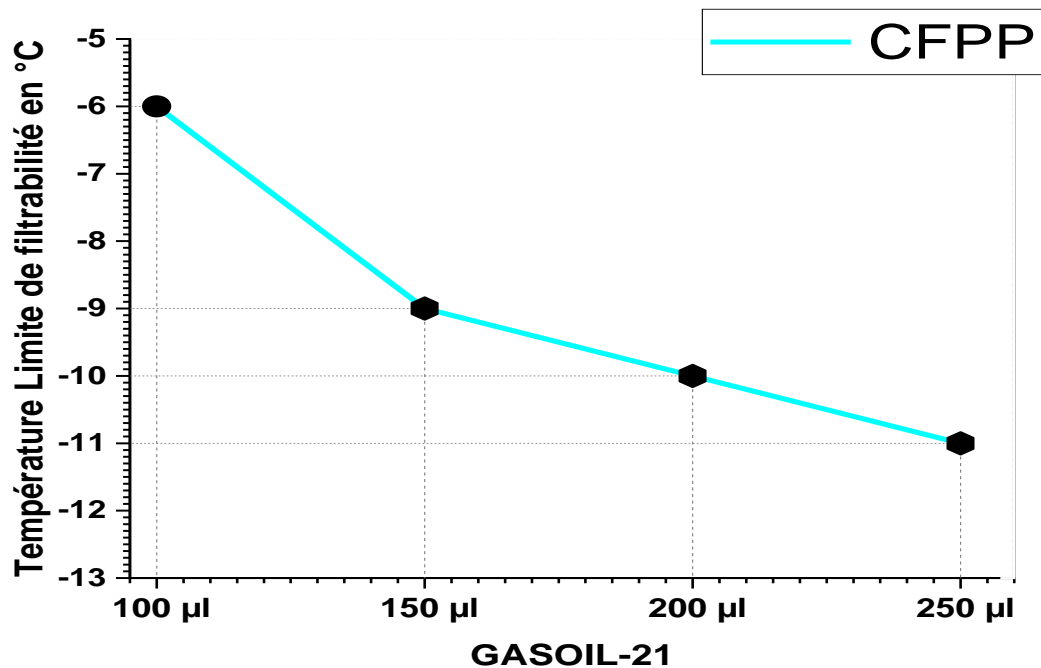


Figure.III.47 : Température limite de filtrabilité avec additifs copolymère au Gasoil M<sub>1</sub>

### III.8. Discussion :

1. D'après les informations concernant les courbes (1, 5, 11 et 13) , l'effet de l'addition d'un copolymère synthétisé au laboratoire et du keroflux sur la masse volumique.
  - a) Selon ces courbes, il n'y a pas de changement notable dans la masse volumique lorsque ces deux additifs sont utilisés ensemble.
  - b) Cependant, il y a une observation différente lorsque le kérosène est ajouté. Dans ce cas, il y a un abaissement très important de la masse volumique. Il est possible que la quantité de kérosène ajoutée soit excessive par rapport aux autres additifs, ce qui expliquerait cet abaissement significatif.
2. D'après les courbes (3,7,9 et 14), nous constatons que :
  - a) L'addition du copolymère synthétisé au laboratoire et du keroflux 6103 montre des résultats presque identiques en termes de point trouble. Cela indique que ces deux additifs combinés ont un effet similaire sur la formation des cristaux de paraffine, ce qui peut aider à éviter la formation de dépôts à des températures plus basses,
  - b) Lorsque nous utilisons le kérosène et le keroflux 6160, les résultats sont également similaires en termes de point trouble, bien que légèrement inférieurs à ceux obtenus avec

les deux premiers additifs. Cela suggère que ces additifs ont également une influence sur la formation des cristaux de paraffine, mais peut-être dans une moindre mesure.

- c) Dans l'ensemble, ces observations suggèrent que le type d'additif utilisé peut avoir une influence sur le début de formation des cristaux de paraffine, ce qui peut affecter le point trouble du mélange.
3. D'après les courbes (2,6, 12 et 15) nous constatons qu'avec l'addition des différents volumes du copolymère synthétisé au laboratoire et du keroflux, donnent des résultats du point d'écoulement plus moins que les résultats avec le kérosène, quelques points à prendre en compte :
- a) L'addition des différents volumes du copolymère synthétisé au laboratoire et du keroflux montre des résultats du point d'écoulement qui sont généralement inférieurs à ceux obtenus avec l'addition de kérosène. Cela indique que ces additifs, lorsqu'ils sont utilisés ensemble, ont un effet positif sur la réduction du point d'écoulement du mélange.
- b) L'observation suggère que l'addition des additifs, tels que le copolymère synthétisé au laboratoire et le keroflux, a un effet d'empêcher la formation des cristaux de paraffine, ce qui améliore les propriétés d'écoulement du mélange.
- c) Il est important de noter que les résultats peuvent varier en fonction des concentrations d'additifs utilisées et des autres conditions expérimentales.
4. D'après les informations concernant les courbes (4, 8, 10 et 16), il semble y avoir une observation sur l'effet de l'addition de différents volumes du copolymère synthétisé au laboratoire et du keroflux sur la température limite de filtrabilité, comparé aux résultats obtenus avec l'addition de kérosène, quelques points à prendre en compte :
- a) L'addition des différents volumes du copolymère synthétisé au laboratoire et du keroflux montre des résultats de température limite de filtrabilité généralement inférieurs à ceux obtenus avec l'addition de kérosène. Cela indique que ces additifs ont un effet de retardement sur la formation des cristaux de paraffine.
- b) L'observation suggère que l'addition des additifs, tels que le copolymère synthétisé au laboratoire et le keroflux, contribue à la formation de cristaux de paraffine dont la taille est inférieure à 45  $\mu\text{m}$ , qui est le diamètre du filtre utilisé pour mesurer la température limite de filtrabilité (CFPP). Cela signifie que les additifs aident à empêcher la formation de cristaux de paraffine de grande taille qui pourraient obstruer les filtres.
- c) Il est important de noter que les résultats peuvent varier en fonction des concentrations d'additifs utilisées et des autres conditions expérimentales.

5. Concernant les images qui sont obtenues par microscope optique du mélange gasoil (90%) M1 avec (10%) Kérosène et du mélange gasoil (100%) M1 avec (10 $\mu$ l) Keroflux 6103, nous voyons que à 0°C il y a une apparition des cristaux moins qu'avec le keroflux par rapport au kérosène, la même chose à -5°C mais ils sont plus grands qu'à 0°C.

L'interprétation des observations est :

- a) Pour le mélange de gasoil (90%) M1 avec du kérosène (10%), on a observé une apparition de cristaux à 0°C, mais leur nombre semble être inférieur à celui observé avec l'addition de keroflux. Cela suggère que le kérosène a un effet sur la formation des cristaux de paraffine à cette température, mais peut-être moins prononcé que le keroflux.
- b) À -5°C, nous avons également observé l'apparition de cristaux dans le mélange avec le kérosène, mais leur taille semble être plus grande qu'à 0°C. Cela peut indiquer que les conditions plus froides favorisent la formation de cristaux de paraffine plus importants dans ce mélange.
- c) Dans le mélange de gasoil (100%) M1 avec l'addition de 10  $\mu$ l de Keroflux 6103, nous avons observé une apparition de cristaux à 0°C et -5°C inférieure à ce de kérosène. Il est important de noter que les observations concernant la taille et la quantité de cristaux peuvent dépendre de la concentration d'additif utilisée et des conditions expérimentales.
- d) Ces observations indiquent que le type d'additif utilisé, tel que le kérosène ou le keroflux, peut influencer la formation et la taille des cristaux de paraffine dans le mélange de gasoil.



**Chapitre IV**  
**L'aspect économique titre**

### IV.1. Stratégie de marketing

La stratégie de marketing est l'ensemble des actions et des décisions prises par une entreprise pour atteindre ses objectifs commerciaux en identifiant et en satisfaisant les besoins des consommateurs de manière rentable. Les éléments clés à considérer lors de l'élaboration d'une stratégie de marketing sont :

- Analyse du marché Commencer par analyser le marché du gasoil et identifier les besoins et les problèmes spécifiques aux quels notre produit peut répondre. Comprendre également les tendances et les réglementations du secteur.
- Définition des objectifs : Les objectifs doivent être spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et temporellement définis (objectifs SMART). de la marque, etc.
- Segmenter votre marché cible : Identifier les segments de marché qui peuvent bénéficier le plus de notre produit. Cela peut inclure les propriétaires de flottes de véhicules, les entreprises de transport, les agriculteurs, etc.
- Définir votre proposition de valeur : Mettre en évidence les avantages et les caractéristiques uniques de notre produit. Par exemple, expliquer comment il réduit l'écoulement du gasoil par temps froid, améliore les performances du moteur ou prolonge la durée de vie du carburant.
- Élaborer un plan de marketing : Développer une stratégie marketing détaillée pour promouvoir notre produit. Cela peut inclure la création d'une marque distinctive, l'identification des canaux de distribution appropriés et la définition des tactiques de communication.
- Communication et promotion : Utiliser différents canaux pour communiquer et promouvoir votre produit. Cela peut inclure la création d'un site web informatif, l'utilisation des médias sociaux pour atteindre votre public cible, la participation à des salons professionnels de l'industrie, la diffusion d'annonces publicitaires ciblées, etc.
- Établir des partenariats : Identifier des partenaires potentiels tels que des distributeurs de carburant, des garages automobiles, des fournisseurs de flottes de véhicules, etc. Établir des relations solides avec eux pour étendre notre réseau de distribution et augmenter la visibilité de notre produit.
- Témoignages et retours d'expérience : Collecter des témoignages de clients satisfaits et des retours d'expérience positifs pour renforcer la crédibilité de notre produit. Utiliser ces témoignages dans nos matériaux marketing et sur notre site web.
- Suivi et amélioration continue : Suivre les performances de notre produit sur le marché.

- Respecter les réglementations en vigueur concernant les produits chimiques et les additifs, et assurez-vous que votre produit est conforme aux normes de qualité et de sécurité.

#### IV.2. Les entreprises les plus importantes impliquées dans notre projet

- 1) **La société algérienne des hydrocarbures, SONATRACH** : En tant qu'acteur majeur de l'industrie pétrolière et gazière en Algérie, SONATRACH peut jouer un rôle clé dans la mise en œuvre et l'application de notre innovation dans les raffineries et les stations de stockage des carburants.
- 2) **L'incubateur de l'université** : L'incubateur de l'université joue un rôle crucial en fournissant un soutien et un accompagnement aux entrepreneurs et aux projets innovants. Il peut aider à soutenir notre projet dans sa phase de développement et à faciliter son intégration dans le marché.
- 3) **Le CRAPC (Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques)** : Le CRAPC peut apporter son expertise et ses ressources en matière d'analyses physico-chimiques pour évaluer et caractériser notre produit. Leur contribution est essentielle pour valider scientifiquement notre innovation.
- 4) **La maison d'entrepreneuriat** : La maison d'entrepreneuriat peut offrir un soutien et des conseils en matière de gestion d'entreprise, de stratégie de commercialisation et d'accès aux financements. Leur expertise peut contribuer à la viabilité et à la croissance de notre projet.

La collaboration entre ces différentes entités est cruciale pour la réussite et la mise en œuvre de notre projet innovant dans le domaine des hydrocarbures et de la pétrochimie.

#### IV.3. Mesurer l'intensité de concurrence

Les fameux producteurs de ces additifs :

##### IV.3.1. BASF SE

- **Points forts** : BASF est l'une des plus grandes entreprises chimiques au monde, ce qui lui confère une vaste expertise et des ressources considérables en recherche et développement. Ils offrent une large gamme d'additifs et bénéficient d'une solide réputation en matière de qualité et de performance de leurs produits.
- **Points faibles** : La concurrence dans l'industrie chimique est intense, ce qui peut affecter la part de marché de BASF. De plus, l'entreprise peut être confrontée à des défis liés à la réglementation et aux contraintes environnementales.

##### IV.3.2. CHEVRON ORONITE

- 
- **Points forts** : Chevron Oronite est soutenu par la solide présence mondiale de Chevron Corporation et bénéficie d'une expérience considérable dans l'industrie pétrolière et gazière. Ils ont développé une expertise dans la formulation d'additifs pour répondre aux besoins spécifiques des carburants et lubrifiants.
  - **Points faibles** : Comme d'autres entreprises du secteur pétrolier et gazier, Chevron Oronite peut être soumise à la volatilité des prix du pétrole et des matières premières, ce qui peut avoir un impact sur son activité. De plus, les réglementations environnementales de plus en plus strictes peuvent créer des défis pour l'industrie.
  - **IV.3.3. INFINEUM**
  - **Points forts** : En tant que coentreprise entre ExxonMobil et Shell, Infineum bénéficie de l'expertise combinée de ces deux grandes entreprises énergétiques. Ils ont une présence mondiale et proposent une large gamme d'additifs de haute qualité.
  - **Points faibles** : Les coentreprises peuvent être confrontées à des défis liés à la coordination des activités et à la prise de décisions stratégiques. De plus, Infineum peut être affecté par les fluctuations des prix du pétrole et des carburants, ainsi que par les pressions réglementaires.

# Canvas Business Model

Titre : Synthèse et évaluation d'un additif copolymère  
(Gasoil-21) comme abaisseur du point d'écoulement et  
CFPP dans le gasoil .

Pour obtenir un diplôme projet innovant dans le cadre de  
l'arrêté ministériel 1275

## Business Model Canvas



Tableau IV.1: Business Model Canvas BMC.

### IV.4.1. Partenaires clés

- **Sociétés pétrolières** : Établissement des partenariats stratégiques avec des producteurs et des distributeurs de carburants pour intégrer l'additif dans leurs produits et accéder à leur réseau de distribution, tel que la société algérienne des l'hydrocarbure SONATRACH, c'est notre partenaire stratégique qui nous accompagne et soutient dans la fabrication de cet additif abaisseur du point d'écoulement et du CFPP du gasoil et c'est lui qui nous en place dans sons usines, aussi il assure un approvisionnement régulier et fiable de l'additif à la société pétrolière.
- **Laboratoires de recherche et centres techniques** : tel que CRAPC et CRD, on Collabore avec des experts en analyses physico-chimiques pour mener des études approfondies sur les performances de l'additif, son impact sur les carburants et pour valider leur efficacité.

- **Co-développement** : Collaboration avec des sociétés pétrolières pour développer conjointement des formulations de carburant améliorées en utilisant l'additif, par exemple on participe par cet additif dans les essais inter laboratoires.
- **Échange de connaissances** : on partage des connaissances et des expertises avec les partenaires de recherche pour améliorer continuellement l'additif et développer de nouvelles solutions.
- **Fournisseurs de matières premières** : Établissement des relations solides avec les fournisseurs de matières premières pour garantir un approvisionnement régulier et de haute qualité des produits préliminaires nécessaires à la fabrication de l'additif.

#### IV.4.2. Activités clés

- Nous avons fait des recherches approfondies pour la synthèse du copolymère additif et nous avons optimisé ses performances.
- Nous avons mis en place un processus de fabrication efficace pour produire l'additif en quantités suffisantes.
- Nous avons réalisé des tests approfondis sur l'efficacité de l'additif dans différentes conditions de température et de composition de carburant.
- Nous avons obtenu des résultats fiables (y compris des tests de point d'écoulement, de CFPP et d'autres propriétés) conformément aux normes et réglementations en vigueur dans l'industrie pétrolière (Certificat de qualité du gasoil).
- **Amélioration continue** : on doit continuer à améliorer les propriétés et l'efficacité de l'additif grâce à la recherche et au développement continus.
- **Marketing et ventes** : on doit concevoir et mettre en œuvre des stratégies de marketing pour promouvoir l'additif auprès des clients potentiels, en mettant en avant ses avantages par rapport au kérosène.
- **Éducation des clients** : on doit fournir des informations techniques et des conseils aux clients sur l'utilisation optimale de l'additif et ses avantages pour abaisser le point d'écoulement et le CFPP du gasoil.
- **Support technique** : on doit fournir un support technique aux clients pour les aider à intégrer et à utiliser efficacement l'additif dans leurs carburants.
- **Surveillance et évaluation** : on doit suivre les performances de l'additif chez les clients, recueillir des commentaires et effectuer des évaluations régulières pour identifier les opportunités d'amélioration et d'optimisation.

#### IV.4.3. Ressources clés

- Ressources humaines : Chercheurs, scientifiques et experts en polymères pour la synthèse du copolymère additif (nos encadreurs qui sont spécialisés dans la chimie des polymères).
- Installations de laboratoire : au début, on a fait des tests pour fabriquer l'additif au laboratoire de l'université 20 août 1955- Skikda, après on a complété les essais au laboratoire de la raffinerie de Skikda qui est accrédité sur les analyses physico-chimies selon la norme ISO 17025 et contient des équipements sophistiqués comme l'analyseur du point trouble et d'écoulement, l'analyseur de soufre, l'analyseur de température limite de filtrabilité (CFPP), densimètre automatique et d'autres.
- Aussi, on a fait les caractéristiques du copolymère au laboratoire de recherche du CRAPC.
- Propriété intellectuelle : on a inscrit au niveau de l'incubateur, après on a envoyé un dossier contenant notre projet au startup.dz pour obtenir label d'un projet innovant, puis on va déposer une demande de brevet au niveau d'ENAPI.
- Formation et perfectionnement : on doit investir dans la formation continue des chercheurs et des équipes pour rester à jour avec les dernières avancées scientifiques et technologiques.
- Installations de production : pour produire l'additif fiable à grande échelle et conforme aux réglementations en vigueur on doit construire une usine de fabrication avec des équipements de production avancés conformément aux normes de sécurité et de qualité.
- Elargir l'équipe du projet par un personnel commercial et marketing pour promouvoir l'additif, gérer les relations clients et développer des partenariats. La maison d'entrepreneuriat peut offrir un soutien et des conseils en matière de gestion d'entreprise, de stratégie de commercialisation et d'accès aux financements. Leur expertise peut contribuer à la viabilité et à la croissance de notre projet.

#### IV.4.4. Proposition de valeur

- Copolymère additif abaisseur du point d'écoulement et du CFPP du gasoil : Offrir un additif efficace et économique pour réduire le point d'écoulement et le CFPP du gasoil, améliorant ainsi les performances à basse température et éliminant le besoin d'ajouter du kérosène.
- Réduction des coûts : Offrir une alternative rentable au kérosène en tant qu'additif abaisseur du point d'écoulement et du CFPP du gasoil, permettant ainsi de réduire les coûts de production et d'exploitation pour les sociétés pétrolières.
- Performances améliorées : Fournir un additif efficace qui améliore les performances du gasoil en réduisant le point d'écoulement et le CFPP, ce qui facilite l'utilisation dans des conditions de température plus froides.

- **Durabilité environnementale** : Mettre en avant les avantages environnementaux de l'additif, tels que la réduction des émissions et l'amélioration de l'efficacité énergétique, répondant ainsi aux exigences croissantes en matière de durabilité.
- **Gain de devises** : Souligner le potentiel d'augmentation des exportations de kérosène et la possibilité d'économiser des devises pour les clients, contribuant ainsi à renforcer leur position financière.

#### IV.4.5. Canaux de distribution

- **Ventes directes** : Fournir le copolymère additif aux clients par le biais d'un réseau de vente directe.
- **Partenariats stratégiques** : Établir des partenariats stratégiques avec des acteurs clés de l'industrie, tels que des fabricants de carburants ou des fournisseurs d'additifs, pour intégrer l'additif dans leurs canaux de distribution existants.
- **Publications scientifiques** : Publier les résultats des recherches et des tests dans des revues scientifiques spécialisées pour accroître la visibilité et la crédibilité de l'additif.
- **Participation à des conférences et des salons professionnels** : Présenter les avantages et les performances de l'additif lors de conférences et de salons spécialisés pour attirer l'attention des acteurs de l'industrie.
- **Distributeurs et revendeurs** : Collaborer avec des distributeurs et des revendeurs spécialisés dans le secteur des produits chimiques et des carburants pour élargir la portée de distribution de l'additif à un réseau plus vaste de clients potentiels.
- **Plateformes en ligne** : Mettre en place une plateforme en ligne pour permettre aux clients de passer des commandes d'additif de manière pratique et efficace, en offrant des options de livraison flexibles.
- **Salons et foires commerciales** : Participer à des salons et à des foires commerciales de l'industrie pétrolière pour présenter l'additif, établir des contacts et conclure des accords de distribution avec des clients potentiels.
- **Collaboration avec les laboratoires de recherche** : Travailler en collaboration avec des laboratoires de recherche et des centres techniques pour promouvoir l'additif et le rendre accessible aux clients grâce à des publications, des présentations et des recommandations.
- **Service logistique** : Mettre en place une logistique efficace pour le stockage, l'emballage et la livraison de l'additif, en s'assurant de respecter les réglementations et les normes de sécurité appropriées.

#### IV.4.6. Relations clients

- **Support technique** : Fournir une assistance technique pour l'utilisation optimale de l'additif et l'optimisation des performances du gasoil.
- **Partenariats de recherche** : Collaborer avec d'autres laboratoires de recherche, universités ou centres techniques pour partager des connaissances et des ressources, et développer conjointement de nouvelles solutions
- **Relations partenariales** : Établir des relations étroites avec les sociétés pétrolières en tant que clients clés, en favorisant une communication ouverte et une collaboration continue.
- **Compréhension des besoins** : Comprendre les besoins spécifiques des sociétés pétrolières en termes de réduction du point d'écoulement et du CFPP du gasoil, et adapter l'additif en conséquence.
- **Gestion de compte** : Affecter des gestionnaires de compte dédiés pour offrir un service personnalisé et être à l'écoute des préoccupations et des demandes des clients.
- **Échange de connaissances** : Organiser des ateliers et des séminaires pour partager des informations techniques et des études de cas, et fournir des supports de formation pour maximiser l'utilisation efficace de l'additif.
- **Suivi des performances** : Surveiller les performances de l'additif chez les clients, recueillir des données et des commentaires pour évaluer l'efficacité de l'additif et proposer des recommandations d'amélioration.
- **Service après-vente** : Fournir une assistance technique continue pour résoudre les problèmes éventuels, répondre aux questions des clients et optimiser l'utilisation de l'additif. Répondre rapidement aux demandes des clients, traiter les problèmes de manière efficace et maintenir une relation de confiance à long terme.

#### IV.4.7. Segments de clients

- **Société SONATRACH** : Producteur des carburants (gasoil).
- Société NAFTAL distributeur des carburants (gasoil).
- **Laboratoires de recherche tels que le CRAPC** : Centres de recherche spécialisés dans l'analyse physico-chimique.
- Entreprises disposant de grandes flottes de véhicules utilisant du gasoil.
- **Consommateurs finaux** : Conducteurs de véhicules diesel.
- **Ministères de l'énergie et de l'environnement** : Collaborer avec les ministères de l'énergie et de l'environnement pour promouvoir l'utilisation de carburants plus propres et plus efficaces.

#### IV.4.8. Sources de revenus

- **Ventes d'additifs** : Générer des revenus grâce à la vente directe de l'additif aux clients, y compris la société SONARTACH et d'autres distributeurs de carburants.
- **Modèle de vente** : Adopter un modèle de vente basé sur la quantité d'additif fournie ou sur des accords contractuels à long terme.
- **Tarifification compétitive** : Fixer des prix compétitifs pour l'additif, tout en tenant compte de la valeur ajoutée qu'il apporte en termes de réduction des coûts du kérosène.
- **Services de conseil et de support technique** : Offrir des services de conseil et de support technique aux clients pour optimiser l'utilisation de l'additif et résoudre d'éventuels problèmes.
- **Tarifification des services** : Facturer des frais pour les services de conseil et de support technique en fonction de la durée ou de la complexité de l'engagement.
- **Revenus récurrents** : Établir des contrats d'approvisionnement à long terme avec les clients pour assurer des revenus récurrents et une stabilité financière.
- **Extensions de produit** : Développer des variantes ou des formulations personnalisées de l'additif pour répondre aux besoins spécifiques des clients et générer des revenus supplémentaires.
- **Propriété intellectuelle** : Exploiter les droits de propriété intellectuelle associés à l'additif pour conclure des accords de licence ou poursuivre des violations potentielles afin de générer des revenus.

#### IV.4.9. Structure de coûts

- **Recherche et développement** : Allouer des ressources financières pour la recherche et le développement de l'additif (achats des articles concernant la synthèse des copolymères abaisseurs le pont d'écoulement et CFPP).
- **Fabrication et production** :
  - Coûts des matières premières : Inclure les coûts des produits préliminaires nécessaires à la fabrication du copolymère.

#### IV.5. Coûts et charges

Pour fabriquer note additifs, le prix des réactifs selon le site

Web <http://fishersci.fr> :

| Produit                  | Prix       |
|--------------------------|------------|
| Méthacrylique de méthyle | 78 €/0.5kg |

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Anhydrique maléique | 33.0 €/1 kg   |
| Toluène             | 29.8 €/1Litre |
| Peroxyde benzoyle   | 95.6 €/1 kg   |
| Total               | 236 €         |

**Tableau IV.2: Coûts des produit.**

- Coûts énergétiques : Prendre en compte les coûts liés à la consommation d'énergie lors du processus de fabrication.
- Marketing et ventes :
- Coûts de promotion : Engager des dépenses pour promouvoir l'additif et sensibiliser les clients potentiels.
- Coûts de distribution : Inclure les coûts associés à la distribution de l'additif aux clients.
- Comparaison avec le kérosène : Analyser les coûts associés à l'ajout de kérosène en tant qu'additif dans le gasoil.
- Le marché du Jet A1 et pétrole lampant :

| Carburant                    | HTVA           |
|------------------------------|----------------|
| Jet A1 <sup>2</sup>          | 0,75€/ litre   |
|                              |                |
| Pétrole lampant <sup>1</sup> | 1,1455 €/litre |

**Tableau IV.3: Le marché du Jet A1 et pétrole lampant.**

sources:

<sup>1</sup> <https://economie.fgov.be/fr>

<sup>2</sup> <https://jet-a1-fuel.com>

#### IV.6. Calcul des résultats attendus

- Pour fabriquer 20g de copolymère on a besoin de 14.1 g de méthacrylate de méthyle, 4.9g d'Anhydrique maléique, 35 ml de toluène et 0.15 g de peroxyde benzoyle avec un prix total 3.41€.

Cette quantité d'additif peut améliorer 13333 litre de gasoil.

- Pour obtenir les mêmes résultats en ajoutant au gasoil plus de 7% de kérosène l'équivalent de (1004 litre) avec un prix de 753 €.

- Donc si on utilise notre additif, on gagne plus de 749 €.

#### **IV.7. Plans de trésorerie**

La capacité de traitement de pétrole brut à la raffinerie de Skikda est 16,5 million tonnes/ans avec une production du gasoil de 3.45million tonnes/6 mois (la saison hivernale). L'addition de notre produit pour améliorer le refroidissement du gasoil dans cette période est 6235kg avec un prix de 1,06 million € par contre 0.31 million tonnes de kérosène l'équivalent de 234,75 millions €.

#### **IV.8. Conclusion**

Un copolymère à base de méthacrylate peut en effet être utilisé comme additif pour abaisser le point d'écoulement à froid et (CFPP) du diesel.

Le CFPP (Cold Filter Plugging Point), ou point de limite de filtrabilité est la température à laquelle le carburant commence à s'épaissir et à former des cristaux de paraffine, ce qui peut entraîner des problèmes de démarrage et de circulation du carburant dans le moteur.

Les copolymères à base de méthacrylate sont des polymères synthétiques qui peuvent être ajoutés au diesel pour modifier ses propriétés d'écoulement à basse température. Ces additifs fonctionnent en interférant avec la cristallisation des paraffines présentes dans le diesel, empêchant ainsi la formation de cristaux et réduisant le risque de colmatage des filtres à carburant.

En modifiant la structure moléculaire du diesel, les copolymères à base de méthacrylate réduisent la température à laquelle le carburant commence à s'épaissir. Cela permet au diesel de rester fluide à des températures plus basses, facilitant ainsi le démarrage du moteur par temps froid.

Avec l'utilisation d'une faible concentration de l'additif (copolymère), des bons résultats seront obtenus par rapport à l'ajout de kérosène, ce qui permettra d'économiser une grande quantité de ce dernier.

Ce kérosène peut être commercialisé sous forme de Jet A1 ou pétrole lampant, avec un bénéfice en devises fortes.

A decorative rectangular border with intricate floral and scrollwork patterns, framing the central text.

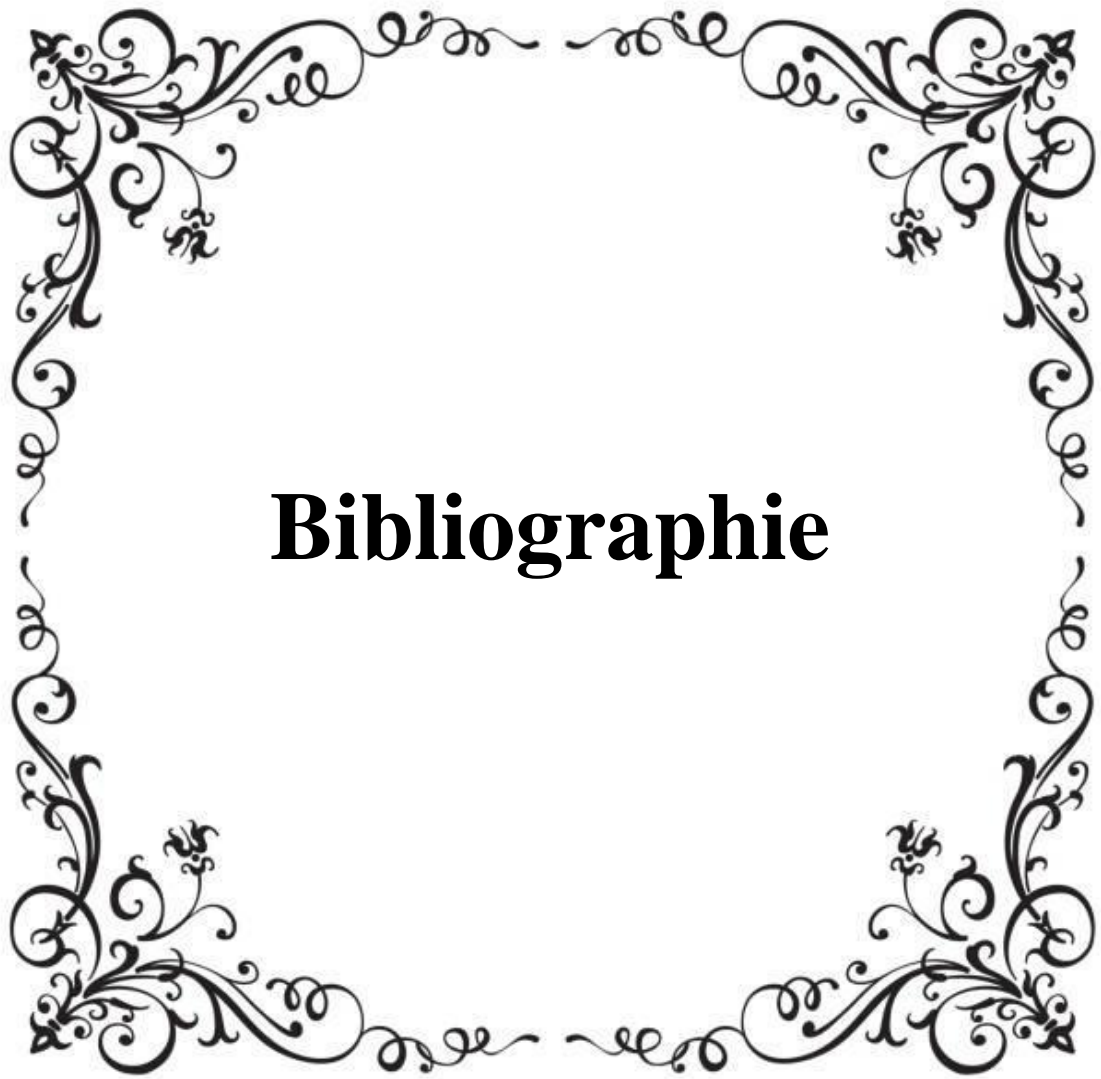
## **Conclusions générale**

### Conclusion générale

Les résultats obtenus indiquent que l'ajout d'une faible quantité de copolymère présente des avantages significatifs par rapport à l'ajout d'une grande quantité de kérosène. En effet, l'incorporation d'une petite quantité de copolymère dans le gazole a permis d'abaisser efficacement le point d'écoulement et le CFFP, améliorant ainsi la fluidité du carburant à basse température.

Cette approche offre plusieurs avantages économiques et environnementaux. Premièrement, l'ajout de copolymère en quantité réduite permet de réduire les coûts associés à l'approvisionnement en kérosène, ce qui se traduit par un gain économique pour l'entreprise. Deuxièmement, une meilleure fluidité du carburant diesel entraîne une combustion plus efficace et une réduction des émissions polluantes, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

Par conséquent, il est recommandé d'adopter l'ajout d'une faible quantité de copolymère comme une solution rentable et écologique pour améliorer les propriétés de fluidité du gazole, tout en générant des bénéfices en termes de gain de kérosène à vendre en devises. Cette approche pourrait être mise en œuvre à grande échelle dans l'industrie pétrolière, offrant des opportunités d'optimisation et de rentabilité pour les entreprises du secteur.



# **Bibliographie**

### Bibliographie

- [1] : Robert J. Young et Peter A. Lovell livre de "Introduction to Polymers" date de version : 20110718 .
- [2] Jean-Marie Michel , Histoire industrielle des polymères, BUP n°888 (2006), p. 1445-1462
- [3]. Jean-Marie Doriot, Jean-Paul Bailon, and J. Masounave, Des Matériaux. 2 ed, ed. É.P.d. montréal. 1986. 467.
- [4] Dr. Ronald Redwing, Senior Lecturer, Department of Material Sciences and Engineering, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University 2020
- [5] : P. Weiss, La chimie des polymères, «Support de Cours (Version PDF)», Université Médicale Virtuelle Francophone, Société Francophone de Biomatériaux Dentaires (2010).
- [6] A. Ram, « Fundamentals of polymer engineering », Ed. Plenum Press, Chapter 2, 14-28 (1997).
- [7] : BENABID Fatma-Zohra, Découverte (Polymères) , Département de Génie des Procédés, UNIVERSITE Ferhat ABBAS SETIF-1, Septembre 2018
- [8] MichealRubinstein , Ralph H. Colby , livre : Polymer physics oxford university press 26 June 2003
- [9] william D .Callister, Jr. science et génie des matériaux, johnWiley et Sons,Inc (2006)
- [10].Charles E. Carraher, Jr,Carraher's POLYMER CHEMISTRY, Eighth Edition, Number-13: 978-1-4398-0956-3
- [11] william D .Callister, Jr. science et génie des matériaux, johnWiley et Sons,Inc (2006) .
- [12] : Kenneth J. Anusavice, « Phillip's Science of Dental Materials », Saunders Elsevier Science USA.
- [13]. Joel R. Fried ,livre de « P OLYMER S CIENCE AND T ECHNOLOGY” Third Edition page 6 May 2014
- [14] :Ruyter I.E, « Monomer systems and polymerization » dans : Vanherle G., Smith D. C., ed. Posterior Composite Resin Dental. Netherland : Peter SzulcPublishing, 1985.
- [15] : Meier, M.A.R., et al. "Controlled Polymerization: Fundamentals and Applications." MacromolecularRapid Communications 30, no. 13 (2009): 1047-1057.
- [16] : Allen, N.S., Edge, M., Sandoval, G., Liauw, C.M., and Catalina, F. "Analytical Techniques and Methods for Polymer Characterization." Elsevier, 2018.
- [17] :Albertsson, A.C., and Varma, I.K. "Recent Developments in Ring-Opening Polymerization of Lactones for Biomedical Applications." Biomacromolecules 4, no. 6 (2003): 1466-1486.

- [18] Sangwan Kim, Ji-Hoon Baik, Dong Gi Hong, Woo Hyun Kim, Kwangseop Jung, JongChan Lee « European Polymer Journal » 151 (2021) 110425
- [19] : Kim, S., Baik, J. H., Hong, D. G., Kim, W. H., Jung, K., & Lee, J. C. (2021). Poly (3-pentadecylphenyl acrylate) having a bottlebrush-like structure for high-performance middle distillate flow improver. *European Polymer Journal*, 151, 110425.
- [20] André L.C. Machado, Elizabete F. Lucas a, Gaspar González *Journal of Petroleum Science and Engineering* 32 (2001) 159 – 165
- [21] Laura V. Castro, Eugenio A. Flores, and Flavio Vazquez, *Energy Fuels* 2011, 25, 539–544
- [22]: Lucas, E. F., Mansur, C. R., Spinelli, L., & Queirós, Y. G. (2009). Polymer science applied to petroleum production. *Pure and Applied Chemistry*, 81(3), 473-494.
- [23] : Xue, Y., Yang, T., Lin, H., Zheng, S., & Han, S. (2022). Effect of methacrylate-methacrylamide copolymers with various polar pendants on the cold flow properties of diesel fuels. *Fuel*, 315, 123112
- [24] Mustafa Mahmoud Mawad, *Journal of Power and Energy Engineering* Vol.8 No.8, August 2020.
- [25] . PIERRE WUITHIER, *Raffinage et Génie Chimique*, Tome II, 2eme édition 1972-Paris. PP.506-519.
- [26] M. R. Riazi "Characterization and Properties of Petroleum Fractions" First Edition Printed in the U.S.A. January 2005.
- [27] BP Statistical Review of World Energy, *Le marché pétrolier*, CPDP. juin 2018.
- [28] Manuel de Programmation-RA1K, Code : MO-PROG-1, Date d'effet : 01 / 11 / 2022.
- [29] JAMES G. SPEIGHT.- *Handbook of Petroleum Product Analysis*, New York, 2002.
- [30]. Publications Un. "2000 Annuaire des statistiques de l'énergie", pp. 114-117. Nations Unies, 2002.
- [31] Philip de Vaal. *Diesel and Its Properties*, Dept of Chemical Engineering University of Pretoria, Conmesa Seminar, june 2003.
- [32] J-C, GUIBET, « Carburants et moteurs », Tome 1, édition Technip.
- [33] INRS, Fiche toxicologique "White-spirit". (1998), INRS. 5 p.
- [34] SURINDER PARKAS.- *Refining Processes Handbook*. New York, 2003.
- [35] IRWIN, WIEHE.- *Process Chemistry of Petroleum Macromolecules*. New Jersey, 2008.
- [36] Jean-Pierre WAUQUIER. *Le raffinage de pétrole :Pétrole brut, produit pétroliers, schémas*
- [37] Bernard Bensaïd et Valérie Saint-Antonin, "Le Diesel aux Etats-Unis", *Panorama* 2004, Site de l'Institut Français du Pétrole.

- [38] : INRS, Fiche toxicologique "White-spirit". (1998), INRS. 5 p.
- [39] : ZM. AYISSI. Essai d,,élaboration et analyse chimico-calorifique d,,un biocarburant à base de manioc (2007). Mémoire de master DIPET II. École normale supérieure d,,enseignement technique, Cameroun (Douala), 2007.74p.
- [40] :Maiying Xiea, Fengfei Chena, Jinbao Liua,b, Taishun Yanga, Suya Yina, Hualin Lina, Yuan Xuea,\*,Sheng Hana, Synthesis and evaluation of benzyl methacrylate-methacrylate copolymers as pour point depressant in diesel fuel , [https://www.elsevier.com/locate/fuel-255\(2019\)](https://www.elsevier.com/locate/fuel-255(2019)).
- [41] ( <https://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.9b03603> ).
- [42] Keroflux 6103 fiche technique.
- [47] : ASTM D 1298-99. " Méthode d'essai standard pour la densité, la densité relative (gravité spécifique), ou API Gravité de pétrole brut et de produits pétroliers liquides par Hydromètre Méthode." ASTM International, 2005.
- [48]: J.-P. WAUQUIER . "Le raffinage du pétrole: pétrole brut, produits pétroliers et schémas de fabrication". Tome 1, pp. 188-216 . Éditions OPHRYS, 1994.
- [49] : Manuel d'entreprise NAFTAL."Recueil De Normes Algériennes -Produits Carburants ", pp. 1-19.
- [50] : ASTM D86. "Méthode d'essai standard pour la distillation des produits pétroliers à la pression atmosphérique". ASTM International, 2012.
- [51] : P. WUITHIER. "Le pétrole raffinage et génie chimique ". Tome 1, pp. 5-30. Éditions Technip, 1972
- [52] : ASTM D 97. " Méthode d'essai standard pour point d'écoulement de produits pétroliers". ASTM International, 2012.
- [53] : J.-P. FAVENNEC (1998). " Le Raffinage du pétrole : Exploitation et gestion de la raffinerie". Tome 5, pp. 55-126. Éditions OPHRYS, 1998.
- [54]: J-C. GUIBET. " Carburants et moteurs : Technologies, énergie, environnement". Tomes 1 et 2, pp. 339-375. Éditions Technip, 1997.
- [55] : T. GAYET. "Présence d'eau dans les gazoles". MécaTech produits de maintenance haute performances: lubrifiants spéciaux, pp. 5- 6. 2005
- [56] : Manuel d'entreprise NAFTAL."Recueil De Normes Algériennes -Produits Carburants ", pp. 1-19
- [57] : ASTM D130. " Méthode d'essai standard pour corrosive sur le cuivre à partir de

produits pétroliers par Test Cuivre bande". ASTM International, 2012.



# **L'annexe**



# **Résumé**

## 1. Préparation des copolymères non conformes comme additifs au gasoil

### 1.1. Dans laboratoire de l'université :

#### ✚ Synthèse N°1 :

Copolymérisation de benzoate de vinyle et anhydride maléique :

(5 m. mole) de L'anhydride maléique (AM) et le solvant toluène ont été ajoutés dans un ballon rond à quatre cols équipés en :

azote, d'un condenseur, d'un thermomètre, d'un agitateur mécanique. Le ballon a été rincé à l'azote gaz, puis le mélange réactionnel a été progressivement chauffé. Le flux d'azote était continu et une agitation vigoureuse était appliquée simultanément. Lorsque la température de réaction de mélange a atteint 80 °C, (5 m.mole) benzoate de vinyle et 1% de peroxyde de benzoyle dispersé dans le toluène a été ajouté progressivement au mélange réactionnel. La température de réaction a été maintenue à 80°C pendant 3 heure.



Figure.I.1 : dispositif pour la synthèse du copolymère

Résultat :

Après addition de méthanol formé d'un copolymère solide + poudre

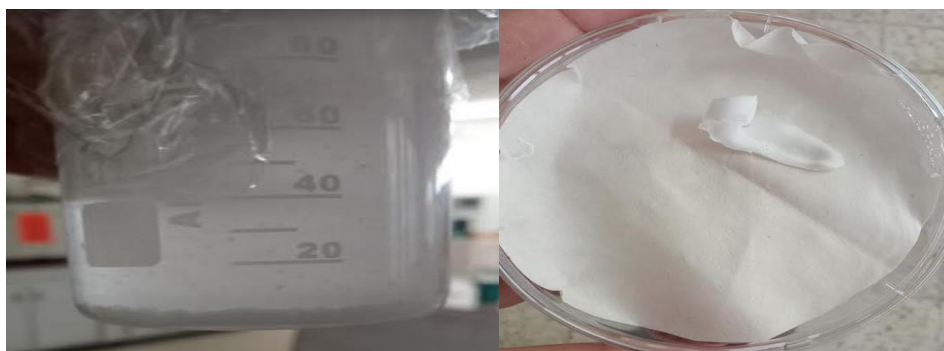


Figure.I.2 : Mélange copolymère avec le méthanol

Figure.I.3 : copolymère à l'état sec

#### ✚ . Synthèse N°2 :

Copolymérisation de benzoate de vinyle et anhydride maléique :

Les mêmes étapes de la 1<sup>ère</sup> synthèse en multipliant les quantité en 5

Résultat : formation un peut de poudre

Après addition de méthanol rien ne s'est formé

### Discutez du résultat

La quantité d'azote ce n'était pas suffisant

#### ✚ Synthèse N°3 :

Copolymérisation de l'acétate de vinyle et anhydride maléique : (5\*5 mmole) de L'anhydride maléique (AM) et le solvant toluène ont été ajoutés dans un ballon rond à quatre cols équipé en :

azote, d'un condenseur, d'un thermomètre, d'un agitateur mécanique. Le ballon a été rincé à l'azote gaz, puis le mélange réactionnel a été progressivement chauffé. Le flux d'azote était continu et une agitation vigoureuse était appliquée simultanément. Lorsque la température de réaction de mélange a atteint 80 °C, (5\*5 mmole) l'acétate de vinyle (AV) et 1% de peroxyde de benzoyle dispersé dans le toluène a été ajouté progressivement au mélange réactionnel. La température de réaction a été maintenue à 80°C pendant 3 heures.

#### Résultat :

Après addition de méthanol rien ne s'est formé

#### ✚ Synthèse N°4 :

Ter polymérisation de laurate de vinyle et anhydride maléique et l'acrylamide : (5\*5 m.mole) de L'anhydride maléique (AM) et l'acrylamide et le solvant toluène ont été ajoutés dans un ballon rond à quatre cols équipés en :

Azote, d'un condenseur, d'un thermomètre, d'un agitateur mécanique. Le ballon a été rincé à l'azote gaz, puis le mélange réactionnel a été progressivement chauffé. Le flux d'azote était continu et une agitation vigoureuse était appliquée simultanément. Lorsque la température de réaction de mélange a atteint 80 °C, (5\*5 m.mole) l'acétate de vinyle (AV) et 1% de peroxyde de benzoyle dispersé dans le toluène a été ajouté progressivement au mélange réactionnel. La température de réaction a été maintenue à 80°C pendant 2.5 heures.

#### Résultat :

Après addition de méthanol formé d'un Ter polymère solide non soluble dans le gasoil.

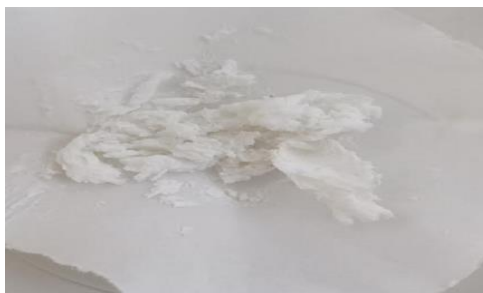


Figure.I.4 : copolymère

#### ✚ Synthèse N°5 :

Copolymérisation de laurate de vinyle et anhydride maléique : (5x3 m.mole) de L'anhydride maléique (AM) et le solvant toluène ont été ajoutés dans un ballon rond à quatre cols équipés en :

Azote, d'un condenseur, d'un thermomètre, d'un agitateur mécanique. Le ballon a été rincé à l'azote gaz, puis le mélange réactionnel a été progressivement chauffé. Le flux d'azote était continu et une agitation vigoureuse était appliquée simultanément. Lorsque la température de réaction de mélange a atteint 80 °C, (5x3 mmol) l'acétate de vinyle (AV) et 1% de peroxyde de benzoyle dispersé dans le toluène a été ajouté progressivement au mélange réactionnel. La température de réaction a été maintenue à 80°C pendant 1 heure.

**Résultat :** Après addition de méthanol rien ne s'est formé.

#### ✚ Synthèse N°6 :

Préparation d'un monomère acrylique : Estérification d'un acide acrylique avec un alcool Dans un ballon de 25 ml équipé d'un condenseur à reflux, ont été ajoutés de l'alcool benzoïque (11 mmol) de l'acide Acrylique (10 mmol), et du para toluène sulfonique(5 mmol).

Le mélange réactionnel a été chauffé à 100 °C pendant 3 h. Après achèvement le mélange réactionnel a été refroidir et désactivé avec de l'eau (100 ml) et extrait avec de l'acétate d'éthyle (2x100 ml). La phase organique a été lavée avec la solution du Na Cl saturée séchée sur du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> après nous filtrons le Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> et nous mettons la solution dans le Rota-Vap

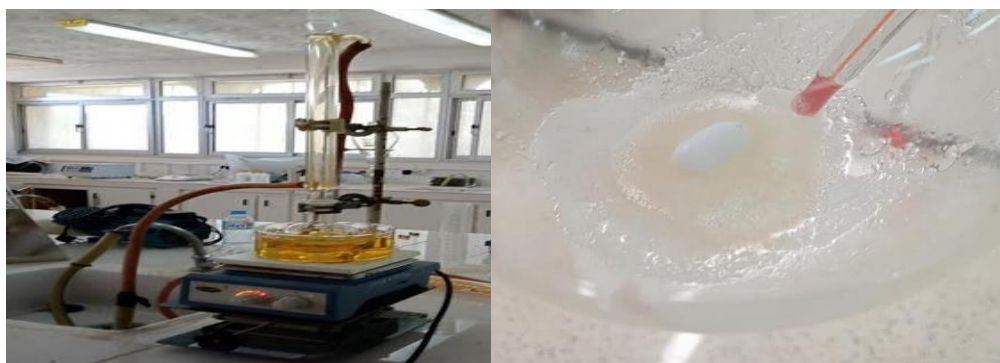


Figure.I.5: synthese de copolymère

Figure.I.6: presense du copolymère sur le ballon

## 1.2. Dans laboratoire du raffinerie Skikda :

Tableau .I.2. Les synthèses dans laboratoire du raffinerie Skikda

| Dates      | Copolymères  | Conditions de synthèse  | Observations   |
|------------|--|---|--|
| 25/03/2023 | Pour 4.0 mol de monomère <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.84g d'acrylamide</li> <li>• 2.88g d'acide acrylique</li> <li>• 0.27g de persulfate de potassium</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 30°C</li> </ul>   | Soluble dans l'eau   |
| 28/03/2023 | Un volume de MA /2 Volume de VA <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.299 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 33.08 ml d'acétate de vinyle</li> <li>• Toluène.</li> <li>• Peroxyde benzoyle</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 80°C</li> </ul>   | Non soluble dans le gasoil   |
| 02/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.5 d'acrylamide</li> <li>• 2 ml d'acétate de vinyle</li> <li>• 2 ml benzoyle alcool</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 30°C<br/>ajouter 0.1 g de persulfate de potassium</li> <li>• à température de 80°C<br/>ajouter 0.6g de peroxyde benzoyle</li> <li>• Rotation : 450 rpm</li> </ul> | Soluble dans le toluène mais aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 06/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.16g benzoyle alcool</li> <li>• 0.71 g d'acrylamide</li> <li>• 2.26g Lauric Acid vinyl ester</li> <li>• 0.0142g peroxyde benzoyle</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 85°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> </ul>   | aucun résultat pour le gasoil comme additif                              |
| 08/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.66g polyéthylène</li> <li>• 0.71 g d'acrylamide</li> <li>• 1.13g Lauric Acid vinyl ester</li> <li>• 0.04g peroxyde benzoyle</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 120°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> </ul>  | aucun résultat pour le gasoil comme additif                              |

|            |  |  |   |
|------------|--|--|---|
| 18/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4.90 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 4.30g d'acétate de vinyle</li> <li>• 7.71g d'acrylamide</li> <li>• 0.05g peroxyde benzoyle</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 85°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> </ul>                                | aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 19/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.45 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 2.15g d'acétate de vinyle</li> <li>• 5.66g Lauric Acid vinyl ester</li> <li>• 0.05g peroxyde benzoyle</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 80°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> </ul>                                | aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 19/04/2023 | Préparation d'acrylate de benzoyle <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.188g benzoyle alcool</li> <li>• 0.72g d'acide acrylique</li> <li>• 0.85g de para toluène sulfonique</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 100°C pendant 3 heures</li> </ul>  | aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 20/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.63 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 0.22g d'acrylate de benzoyle</li> <li>• 0.456g d'acrylamide</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 80°C</li> <li>• Rotation : 380 rpm</li> </ul>                                | Soluble dans l'eau                          |
| 25/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9.8056 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 7.3482g d'acétate de vinyle</li> <li>• 0.08369g peroxyde benzoyle</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 85°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> </ul>                                | aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 30/04/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4.0 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 3.5g d'acétate de vinyle</li> <li>• 3.02g de benzoite de vinyle</li> <li>• 0.05g peroxyde benzoyle</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 85-90°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> <li>• Pendant 6 heures</li> </ul> | aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 30/04/2023 | Préparation de butyle acrylate : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25ml d'acide acrylique</li> <li>• 250ml de butanol</li> <li>• 0.25 ml d'acide sulfurique</li> <li>• Carbonate de sodium</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans un bain de glace</li> </ul>  | aucun résultat pour le gasoil comme additif |
| 01/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5g polyéthylène</li> <li>• 1.75 g d'acétate de vinyle</li> <li>• 0.75g butyle acrylate</li> <li>• 0.05g peroxyde benzoyle</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 115°C</li> <li>• Rotation : 500 rpm</li> <li>• Pendant 5 heures</li> </ul>   | aucun résultat pour le gasoil comme additif |

|            |   |  |   |
|------------|---|--|---|
| 04/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.0g d'acrylamide</li> <li>• 17.5g d'acide décanoïque AD</li> <li>• 0.1 g de DMAP</li> <li>• 0.2g de TEA</li> <li>• 50 ml de toluène</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température ambiante</li> <li>• Pendant 2 heures</li> </ul>   | Non soluble dans le toluène pendant la réaction de polymérisation |
| 07/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.39g d'ester d'acide acrylique</li> <li>• 2.39g d'anhydrique maléique</li> <li>• 2.39g de benzoïte de vinyle</li> <li>• 0.0239g de peroxyde benzoyle</li> <li>• 30 ml de toluène</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• température de 90°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> <li>• Pendant 4 heures</li> </ul>  | aucun résultat pour le gasoil comme additif                       |
| 08/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.0g d'acétate de vinyle</li> <li>• 2.0g d'anhydrique maléique</li> <li>• 0.089g de N.décanoyle acrylamide</li> <li>• 0.0239g de peroxyde benzoyle</li> <li>• 30 ml de toluène</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• température de 00°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> <li>• Pendant 6 heures</li> </ul>  | Non soluble dans le gasoil  |
| 11/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 ml de butyle acrylate</li> <li>• 45 ml d'acétate de vinyle</li> <li>• 0.5g peroxyde benzoyle</li> <li>• 100 ml de cyclohexane</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 60°C</li> <li>• Rotation : 350 rpm</li> <li>• Pendant 4 heures</li> </ul>  | aucun résultat pour le gasoil comme additif                       |
| 16/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.9g de Polymère AV/AM</li> <li>• 0.4g d'acrylate de butyle</li> <li>• 0.02g de peroxyde benzoyle</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 85°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> <li>• Pendant 6 heures</li> </ul>  | aucun résultat pour le gasoil comme additif                       |
| 22/05/2023 | <p>Préparation de hexadécanol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 ml Hexadécane</li> <li>• 150ml Acide sulfurique</li> <li>• 20g Dichromate de potassium</li> <li>• Eau distillée</li> <li>• Sulfate de sodium</li> <li>• 50 ml Hydroxyde de potassium(10%)</li> <li>• Acide chlorhydrique</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 60-70°C</li> <li>• 1<sup>ère</sup> étape pendant 3 heures</li> <li>• 2<sup>ème</sup> étape pendant 2 heures</li> </ul> | Produit précipité blanc   |

|            |  |   |  |
|------------|--|---|--|
|            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ether diéthylique</li> </ul>  |   |  |
| 23/05/2023 | Préparation de méthacrylate de méthyle : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 90 ml de méthanol</li> <li>• 45 g d'acide acrylique</li> <li>• 0.9 ml d'Acide sulfurique</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 70-80°C</li> <li>• pendant 6-8 heures</li> <li>• collecte le distillat à 80-90°C</li> </ul> | Produit distillé incolore                              |
| 24/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 7.0g méthacrylate de méthyle</li> <li>• 3.0 g d'Acrylate de méthyle</li> <li>• 0.05g peroxyde benzoyle</li> <li>• 30 ml de toluène</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 85°C</li> <li>• Rotation : 400 rpm</li> <li>• Pendant 6 heures</li> </ul>                   | Produit final 4.45g transparent soluble dans l'acétone |
| 26/05/2023 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.0 g d'anhydrique maléique</li> <li>• 7.0g de metacrylate de méthyle</li> <li>• 0.05g peroxyde benzoyle</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• à température de 80°C</li> <li>• Rotation : 300 rpm</li> <li>• Pendant 7 heures</li> </ul>                   | Poudre noir  |

## **Résumé**

Ce mémoire présente une étude approfondie sur la synthèse et l'évaluation d'un additif innovant, appelé "gasoil -21", dans le but d'améliorer les propriétés de fluidité du gazole, en particulier en abaissant le point d'écoulement et le CFFP.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275. La méthodologie de cette recherche implique la synthèse de l'additif "gasoil -21" en utilisant des techniques avancées de chimie organique. Différentes formulations ont été développées et testées pour optimiser l'efficacité de l'additif, notamment en combinant des agents dispersants et lubrifiants. Les résultats obtenus ont démontré que l'additif "gasoil -21" présente une capacité significative à abaisser le point d'écoulement et le CFFP du gazole. Des tests en laboratoire ont montré des améliorations notables de la fluidité du carburant à basse température, sans compromettre la qualité globale du diesel. Les implications pratiques de cette recherche sont considérables, notamment pour l'industrie pétrolière et les constructeurs de moteurs diesel.

L'utilisation de l'additif "gasoil -21" pourrait permettre une meilleure performance des moteurs dans des environnements froids, tout en contribuant à la réduction des émissions polluantes conformément aux normes réglementaires. En conclusion, ce mémoire présente un additif novateur, "gasoil -21", qui a démontré sa capacité à améliorer les caractéristiques de fluidité du gazole en abaissant son point d'écoulement et son CFFP.

Ce projet ouvre de nouvelles perspectives pour l'industrie pétrolière et offre des opportunités d'optimisation et d'extension de l'application de cet additif dans d'autres types de carburants. Avec l'utilisation d'une faible concentration de l'additif (copolymère), des bons résultats sont obtenus par rapport à l'ajout de kérosène, ce qui permettra d'économiser une grande quantité de ce dernier. Ce kérosène peut être commercialisé sous forme de Jet A1 ou pétrole lampant, avec un bénéfice en devises fortes.

**Mots clé :** synthèse, additif copolymère, abaisseur, point d'écoulement et le CFFP, gazole.

**Abstract:**

This thesis presents an in-depth study on the synthesis and evaluation of an innovative additive, known as "gasoil -21," aimed at improving the fluidity properties of diesel fuel, particularly by lowering the pour point and CFPP.

This project aligns with the requirements outlined in Ministerial Order 1275. The methodology employed in this research involves the synthesis of the "gasoil -21" additive using advanced organic chemistry techniques. Various formulations were developed and tested to optimize the effectiveness of the additive, including the combination of dispersants and lubricants. The obtained results demonstrated that the "gasoil -21" additive exhibits significant capability in reducing the pour point and CFPP of diesel fuel. Laboratory tests revealed notable improvements in fuel fluidity at low temperatures without compromising overall diesel quality. The practical implications of this research are substantial, particularly for the petroleum industry and diesel engine manufacturers.

The utilization of the "gasoil -21" additive could enhance engine performance in cold environments while contributing to the reduction of pollutant emissions in accordance with regulatory standards. In conclusion, this thesis presents an innovative additive, "gasoil -21," which has shown its capacity to improve the fluidity characteristics of diesel fuel by lowering its pour point and CFPP.

This project opens new prospects for the petroleum industry and offers opportunities for optimization and extension of the additive's application to other fuel types. Which the use of allow concentration of additive (copolymer) ,good results will be obtained compared to the addition of kerosene ,which will allow for a significant amount of savings of the latter. This kerosene can be marketed as Jet A1 or lamp oil, resulting in strong currencies.

**Keywords:** synthesis, copolymer additive, lowering, pours point and CFPP, diesel fuel.

## ملخص الدراسة

تقدم هذه الرسالة دراسة معمقة حول تصنيع وتقييم مضاف مبتكر، المعروف باسم "ديزل-21"، بهدف تحسين خواص سيولة الديزل، خاصةً من خلال خفض نقطة التدفق ونقطة الانسداد عند التبريد. يندرج هذا المشروع ضمن متطلبات القرار الوزاري 1275. تتضمن منهجية هذا البحث تصنيع مضاف "ديزل-21" باستخدام تقنيات لتفاعلات عضوية متقدمة. تم تطوير واختبار تراكيب مختلفة لتحسين فعالية المضاف، بما في ذلك توافق الفاعل والمزلاقات.

أظهرت النتائج المتحققة أن مضاف "ديزل-21" لديه القدرة على خفض نقطة التدفق ونقطة الانسداد عند التبريد للديزل بشكل ملحوظ. أظهرت الاختبارات المخبرية تحسينات ملموسة في سيولة الوقود في درجات حرارة منخفضة دون المساس بجودة الديزل بشكل عام.

تتمثل الآثار العملية لهذا البحث في أهمية كبيرة، لا سيما بالنسبة لصناعة البترول ومصنعي محركات الديزل. يمكن أن يسهم استخدام مضاف "ديزل-21" في تحسين أداء المحرك في البيئات الباردة، مع المساهمة في تقليل انبعاثات الملوثات وفقاً للمعايير التنظيمية.

في الختام، تقدم هذه الرسالة مضافاً مبتكراً باسم "ديزل-21"، باستخدام تركيز منخفض من المضاف (البولمر) سيتم تحقيق نتائج جيدة: باستخدام تركيز منخفض من المضاف (البوليمر)، سيتم تحقيق نتائج جيدة مقارنة بإضافة الكيروسين، مما سيسمح بتوفير كمية كبيرة من هذا الأخير. يمكن تسويق هذا الكيروسين بشكل وقود الطائرات والمصابيح ما يجعل تحقيق ربح بالعملة الصعبة.

**الكلمات المفتاحية:** تصنيع البوليمر المضاف، خفض درجة التدفق ونقطة الانسداد عند التبريد، الديزل.