

1 Introduction

La **chimie organique** est la chimie du carbone. A l'origine, le terme **organique** fait référence aux êtres vivants. Cependant, dès le XIX^{ème} siècle, il s'est avéré que ces réactions pouvaient se produire indépendamment de tout être vivant. On peut distinguer dans la chimie organique trois domaines :

- la biochimie : les réactions qui se produisent au sein des êtres vivants, essentiellement grâce à des enzymes biologiques ;
- la pétrochimie : les réactions de transformation du pétrole ;
- la chimie des polymères : les réactions permettant de produire les « plastiques ».

2 Combustion

2.1 Molécules simples : les alcanes

Les alcanes sont des molécules ayant uniquement des liaisons simples entre les carbones.

Le méthane est le gaz naturel de ville fournit par des conduites. Le méthane est aussi la principale molécule du nouveau carburant pour voiture le CNG (*Compressed Natural Gas*).

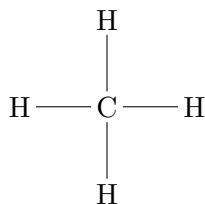


FIGURE 1 – Le méthane (CH_4)

Le propane et le butane sont les gaz présents dans les bonbonnes sous pression pour l'utilisation de cuisinière ou d'appareils de chauffage. Le LPG (*Liquified Petroleum Gas*) ou GPL (*Gaz de Pétrole Liquéfié*) est constitué également d'un mélange propane/butane.

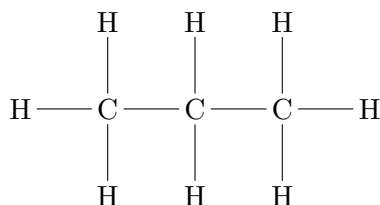


FIGURE 2 – Le propane (C_3H_8)

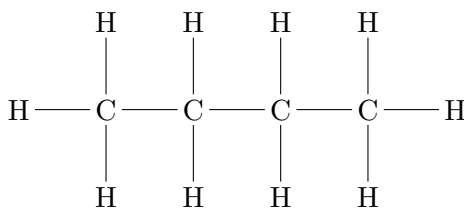
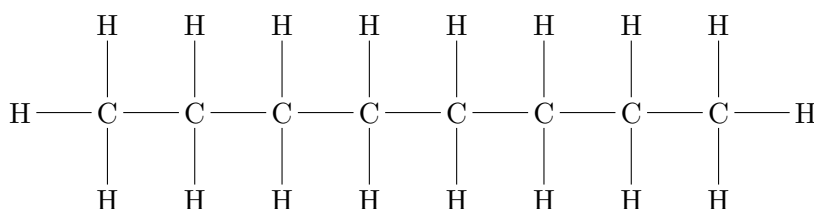


FIGURE 3 – Le butane (C_4H_{10})

L'octane est la molécule majoritaire de l'essence. Une essence 95 correspond à une essence donnant une combustion comparable à un liquide comportant 95% d'octane.

FIGURE 4 – L’octane (C_8H_{18})

2.2 Formation du pétrole

Le pétrole est le résultat d’une transformation chimique de la matière organique enfouie, en absence de dioxygène, il y a 65 à 300 millions d’années. Les pétroles les plus anciens sont les pétrole les plus lourds (sables bitumineux, fioul extra-lourd, ...).

Les pétrole est donc un mélange complexe de chaînes carbonées hydrogénées. Il est la base de production des alcanes.

Le tableau 5 reprend les produits courants issus du pétrole.

<i>Type</i>	<i>Composition</i>	<i>% approx.</i>	<i>Usage</i>
Gaz (propane, butane)	$C_3 > C_4$	1 %	Chauffage
Éther de pétrole	$C_5 < C_7$	5 %	Pétrochimie (plastique, ...)
Essence	C_8	15 %	Carburant pour voiture
Kérosène	$C_{11} < C_{16}$	5 %	Carburant pour avion à réaction
Gazole, Diesel, fioul	$C_{17} < C_{20}$	35 %	Carburant pour voiture, chauffage
Graisses, bitumes, asphalte	$> C_{20}$	39 %	Lubrifiants, revêtement des routes et des toitures

FIGURE 5 – Les sous-produits du pétrole

2.3 Transformation du pétrole

2.3.1 Distillation fractionnée

La distillation fractionnée est une technique permettant de séparer les molécules du pétrole suivant leur masse. Il s’agit de distiller le pétrole en le chauffant. La température d’ébullition de chaque molécule augmentent avec le nombre de carbone qui la compose.

On obtiendra des produits des plus légers (gaz, essence) au plus lourd (bitume, fioul, ...).

Étant donné que la composition des pétroles ne correspond pas aux demandes du marché, les industriels formeront les molécules attendues par les techniques de craquage/reformage.

2.3.2 Hydrocraquage

Le craquage (« cracking » en anglais) est une technique permettant de casser de longues molécules carbonées en de plus petites. La présence d’eau permet l’apport d’hydrogène nécessaire pour compléter le carbone terminal. C’est la méthode principale pour la production de kérosène et de diesel. Ce type de transformation peut se faire à haute température (800 °C), en absence d’oxygène et en présence d’un catalyseur.

2.3.3 Reformage catalytique

Le reformage est une technique permettant de modifier de longues chaînes carbonées par déshydrogénation (retrait d’atome d’hydrogène). La réaction se fait à haute température (500-550 °C) en présence de catalyseur, à haute pression, en absence de dioxygène. Comme la quantité d’octane dans le pétrole est assez faible (< 5 %), c’est la méthode principale pour former de l’essence à partir du pétrole lourd. Le dihydrogène produit sert à compléter le carbone terminal.

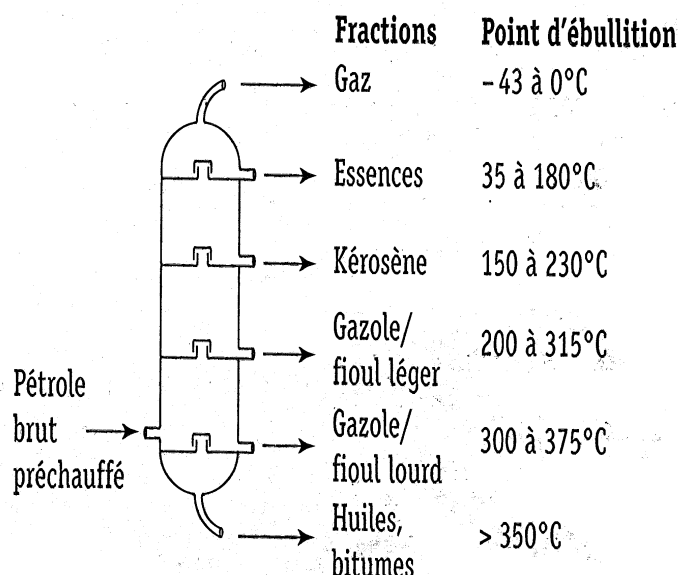


FIGURE 6 – La distillation fractionnée du pétrole

2.4 Combustion des alcanes

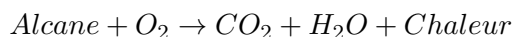
2.4.1 La combustion

La réaction de combustion est une réaction redox permettant une production d'énergie calorifique. Un carburant réagit avec un comburant pour dégager de la chaleur. Généralement, le comburant le plus utilisé est le dioxygène (O_2).

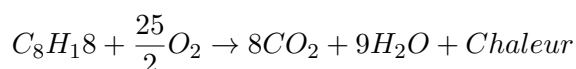
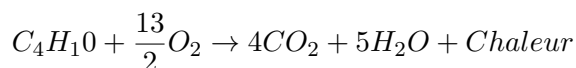
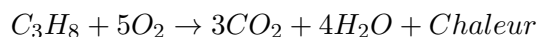
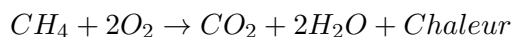


2.4.2 La combustion de quelques alcanes

Dans le cas de la combustion des alcanes, c-à-d de chaînes carbonées simples, les résidus de la combustion sont le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau (H_2O).



Les réactions de combustion de quelques alcanes courant sont repris ci-dessous.



2.4.3 Le pouvoir thermique de quelques alcanes

Plus synthétiquement, on peut mesurer l'énergie dégagée de chaque carburant. Le pouvoir thermique du carburant sera la quantité d'énergie libérée par kilogramme de carburant (cfr. tableau 7). On peut remarquer que plus la longueur des chaînes carbonées est courte, plus la quantité d'énergie libérée est importante.

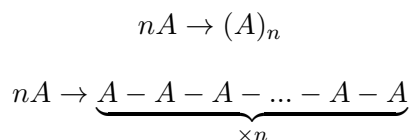
<i>Carburant</i>	<i>Pouvoir thermique (MJ/kg)</i>
méthane	55,7
éthane	51,9
propane	50,7
butane	49,8
essence (octane)	47,7
kérosène	46,1
gazole, diesel	44,7
fioul	42,6
charbon	26,3
bois sec	18,8

FIGURE 7 – Pouvoir thermique de quelques carburants

3 Monomères et polymères

3.1 Principe

Un polymère est une chaîne moléculaire présentant une séquence d'atomes identiques. On appelle monomère, la molécule de base qui permettra de former le polymère. Soit A un monomère, alors $(A)_n$ est son polymère..



La polymérisation est un type de réaction particulier qui permettra de former une longue chaîne répétant une séquence identique de structures atomiques. Cette polymérisation peut s'effectuer par échange de protons et/ou par échange d'électrons.

3.2 Molécules simples : les alcènes

Les alcènes sont des molécules ayant au moins une liaison double entre les carbones. L'alcène le plus utilisé est l'éthène (appelé aussi éthylène).

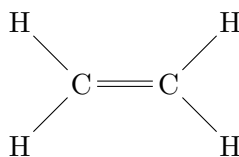


FIGURE 8 – Éthylène ou éthène

3.3 Les principaux plastiques








Monomère	Polymère	Symbole et numéro d'identification	Usages
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$ éthylène	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ polyéthylène	P.E. P.E.b.d.  P.E.h.d. 	<ul style="list-style-type: none"> • couvertures de piscines • feuilles pour serres • films d'emballage • sacs à glaçons • sacs poubelles • flacons souples • couches internes de briques pour lait, jus de fruits, ... • flacons plus ou moins rigides • poubelles • tuyaux • seaux • jerricans • casiers de manutention • récipients Tupperware • réservoirs à essence • bouteilles • sachets cuiseurs pour riz, pâtes
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$ propylène	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ polypropylène	P.P. 	<ul style="list-style-type: none"> • récipients pour margarine • meubles de jardin • emballages pour gâteaux • fibres pour certains tapis de sol • classeurs • valisettes • boîtes de stockage • conduits d'aération • pare-chocs
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$ isobutène	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ -\text{C} - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ polyisobutène	(others) ou 	<ul style="list-style-type: none"> • chambres à air • composants de cires synthétiques • supports de rubans adhésifs
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$ chlorure de vinyle	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ polychlorure de vinyle	P.V.C. 	<ul style="list-style-type: none"> • barquettes alimentaires • bouteilles • cartes de crédit • châssis et portes • tuyaux • ustensiles de ménage • jouets • gouttières • clôtures
$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ styrène	$\left(\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$ polystyrène	P.S. 	<ul style="list-style-type: none"> • gobelets • boîtiers de radio, de magnétophones • pare-douche • isolation thermique et phonique (polystyrène expansé P.S.E.) • tableaux de bord des voitures
$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ \text{C} = & \text{C} \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array}$ tétrafluoréthylène	$\left(\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} - & \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right)_n$ polytétrafluoréthylène (téflon) P.T.F.E.	(others) ou 	<ul style="list-style-type: none"> • isolants électriques • revêtements d'ustensiles de ménage (ex : poêles) • joints de plomberie • garnitures de pompes • récipients de laboratoire pour liquides corrosifs

FIGURE 9 — D'après De Boeck, Sciences de base 5/6.

Divers additifs sont ajoutés aux polymères :

- des colorants pour teinter dans la masse le produit ;
- des substances (phtalates, ...) modifiant les propriétés mécaniques (flexibilité, rigidité) ;
- des substances modifiant la durabilité des produits (protection contre les U.V., la chaleur, ...) ;
- des retardateurs de flammes pour prévenir les incendies.

Afin de faciliter leur recyclage, des symboles précis sont apposés sur les objets en plastiques.

3.3.1 Les polyéthylènes

Les polyéthylènes sont les plastiques les plus simples formés de chaînes de carbones hydrogénées. On distingue deux grands types de polyéthylènes :

- les polyéthylènes basse densité, fortement ramifiés, ce qui leur donne la propriété de s'étirer (film, sac, ...) ;
- les polyéthylènes haute densité, faiblement ramifiés, ce qui leur donne plus de rigidité (récipients divers : seaux, casiers, bouteilles, flacons, ...) ;

Les polyéthylènes sont facilement recyclés par thermoformage.



3.3.2 Le PVC

Le polychlorure de vinyl (PolyVinyl Chloride, en anglais) est un polymère courant des plastiques assez résistant mécaniquement. Suivant l'ajout de différents additifs, il peut être très stable et durable.

Il existe sous deux grandes formes :

- les PVC rigides : tuyaux d'évacuation, cartes au format bancaire, casier, châssis, ... ;
- les PVC souples : manches d'outils, tuyaux, revêtement de sols (« vinyl »), .. .

La combustion du PVC produit de l'acide chlorhydrique (chlorure d'hydrogène). Il peut être recyclé pour produire des palettes ou des châssis, par exemple.



3.3.3 Le PET

Le polytéréphtalate d'éthylène (PET) est un polymère de type polyester. Le terme « tergal » était auparavant utilisé pour les tissus synthétiques de ce polymère. Actuellement, on utilise plutôt les termes « polaire » ou « microfibre » sont utilisés.

Quelques exemples d'utilisation du PET :

- film à l'intérieur des canettes en aluminium
- film transparent des écrans plats
- film supérieur des barquettes pour micro-ondes
- bouteilles de sodas



Le PET est un des rares polymères d'origine pétrolière où une dégradation bactérienne a pu être mise en évidence.

Le PET est facilement recyclé par thermoformage. Sa durée de vie dans la nature avant dégradation complète en absence de soleil et sans oxygène est de plusieurs centaines d'années.

3.3.4 Le polypropylène

Le polypropylène (PP) est un polymère très commun, car il est très résistant à la fatigue par flexion (à l'inverse du PVC, du PET et PE). Sa résistance exceptionnelle à la fatigue en fait un matériau de choix pour les pièces qui doivent être déformées (articulation entre un couvercle et une boîte par exemple).

Quelques exemples d'utilisation du PP :

- barquettes alimentaires
- mobilier de jardin
- carrosserie de voiture (pare-chocs, pièces autour des roues, ...)



3.3.5 Le polystyrène

Le polystyrène expansé est plus connu en Belgique sous le nom de « frigolite ». Il est très utilisé comme isolant mécanique, thermique et phonique.

Sa combustion génère des composés extrêmement toxiques. Sa durée de vie dans la nature avant dégradation complète en absence de soleil et sans oxygène est de plusieurs centaines d'années.

3.3.6 Le polyisobutène

Le polyisobutène est le « caoutchouc synthétique ». On utilise aussi le terme de « caoutchouc butyl ». Il s'agit d'un produit relativement élastique et imperméable.

Quelques applications :

- pneu de vélos
- intérieur des pneus
- chewing-gums
- mastics d'étanchéité
- revêtements de cuves



Un sigle reprend les plastiques « autres ». Pour ces plastiques, aucune méthode de recyclage n'est connue actuellement.

3.3.7 Le téflon

Le téflon est un polymère à base de fluor.

Ces grandes caractéristiques sont une grande résistance à la chaleur, une très faible dilatation à la chaleur et un très faible pouvoir adhésif.

Quelques applications :

- revêtements de poêles et casseroles
- ustensiles de cuisines
- textile isolant et résistant (gore-tex)
- film d'étanchéité pour gaz et eau
- revêtement lubrifiant permanent à l'usure mécanique



FIGURE 10 – Le symbole des plastiques « Autres ».

3.4 Recyclage et valorisation des plastiques

3.4.1 Recyclage physique

Le recyclage physique peut prendre plusieurs formes :

- la consigne
- le thermoformage

La consigne est un simple processus de reprise de l'objet entre l'utilisateur final et le producteur. Elle existe pour les casiers de bouteilles, les bouteilles elle-même, les palettes ou tout autre récipient de conditionnement

Le thermoformage consiste à fondre le plastique, sans en modifier la structure moléculaire, pour couler de nouveaux objets (bouteilles, palettes, sacs, ..). Ce type de valorisation est utilisé avec le polyéthylène et le polypropylène.

3.4.2 Recyclage chimique

Le recyclage chimique peut prendre plusieurs formes :

- la dépolymérisation totale ou partielle
- une transformation en hydrocarbures qui pourront être incorporés dans le processus industriel dont est issus les plastiques

3.4.3 Revalorisation énergétique

Une dernière possibilité est d'utiliser les plastiques comme carburant et donc de produire une combustion pour dégager de la chaleur. Cette chaleur peut ensuite être utilisée pour produire de l'électricité et chauffer des habitations. C'est le cas à Bruxelles où 5% de l'électricité consommée est produite par l'incinérateur de Neder-Over-Heembeek.

3.4.4 Plastiques biodégradables

L'avantage des plastiques biodégradables est que, même dispersé dans la nature, leur dégradation totale ou partielle ne prendra que quelques semaines. Il faut savoir que plusieurs centaines d'années sont nécessaires pour dégrader les plastiques. Perdus dans la nature, ils tendent à polluer et/ou asphyxier les sols, à étouffer les animaux (par obstruction des voies respiratoires), à s'accumuler en des lieux précis des océans où ils forment des gyres¹, appelées aussi (improprement "îles de déchets").

Actuellement, deux types de plastiques biodégradables sont utilisés : les PLA (Poly Lactic Acid, polymère d'acide lactique) et les plastiques issus de l'amidon. Leur inconvénient est leur coût beaucoup plus élevé que les plastiques traditionnels. Les PLA sont des polymères d'acide lactique. L'acide lactique est produit par synthèse bactérienne.

Les plastiques en amidon sont formés par une trame tressée de polyéthylène sur laquelle on dépose un film d'amidon modifié. Ils ne sont donc pas entièrement biodégradables ; la part de polyéthylène représente généralement 5%.

1. accumulation concentriques sur plusieurs mètres de hauteur

3.5 Polymères et biologie

La polymérisation est un phénomène fortement lié à la chimie du carbone et donc à la biochimie. Les êtres vivants forment de vrais polymères comme :

- l'amidon est un polymère de glucose permettant aux végétaux de stocker de l'énergie ;
- le glycogène est une molécule similaire en structure et en rôle à l'amidon, mais produits par les animaux ;
- la cellulose est aussi un polymère de glucose (constitutif du bois, mais beaucoup moins ramifié que le glycogène ou l'amidon ; de ce fait, la molécule est beaucoup plus résistante à la dégradation ;
- la chitine est un polymère de glucose aminé qui est constitutif de la cuticule des arthropodes (insectes, crustacés, ...) et joue un rôle structurel chez les champignons.

Toute une série de molécules essentielles à la vie sont des répétitions de molécules, mais les unités varient à chaque répétition. Elles ne peuvent donc être dites à proprement parler de polymère.

Il s'agit :

- des protéines issues du chaînage des acides aminés (21 acides aminés différents chez les eucaryotes) ;
- de l'ARN (Acide RiboNucléique), une molécule mono-brin constituée d'une succession de 4 bases utilisée pour transporter l'information génétique ;
- de l'ADN (Acide DesoxyriboNucléique), une molécule double-brin constituée d'une succession de 4 bases utilisée pour stocker l'information génétique.

Table des matières

1	Introduction	1
2	Combustion	1
2.1	Molécules simples : les alcanes	1
2.2	Formation du pétrole	2
2.3	Transformation du pétrole	2
2.3.1	Distillation fractionnée	2
2.3.2	Hydrocraquage	2
2.3.3	Reformage catalytique	2
2.4	Combustion des alcanes	3
2.4.1	La combustion	3
2.4.2	La combustion de quelques alcanes	3
2.4.3	Le pouvoir thermique de quelques alcanes	3
3	Monomères et polymères	4
3.1	Principe	4
3.2	Molécules simples : les alcènes	4
3.3	Les principaux plastiques	5
3.3.1	Les polyéthylènes	6
3.3.2	Le PVC	6
3.3.3	Le PET	6
3.3.4	Le polypropylène	7
3.3.5	Le polystyrène	7
3.3.6	Le polyisobutène	7
3.3.7	Le téflon	7
3.4	Recyclage et valorisation des plastiques	8
3.4.1	Recyclage physique	8
3.4.2	Recyclage chimique	8
3.4.3	Revalorisation énergétique	8
3.4.4	Plastiques biodégradables	8
3.5	Polymères et biologie	9