

A silhouette of an oil pumpjack (jackal) is positioned on the left side of the frame. The background features a bright sunset or sunrise with a line of trees silhouetted against the glowing sky. The overall color palette is dominated by warm oranges, yellows, and dark silhouettes.

Géorressources, énergies et transitions

Les hydrocarbures

Les hydrocarbures, des substances naturelles rares à la surface de la Terre (sauf cas particuliers)

car la surface de la Terre est un milieu trop oxydant

Les hydrocarbures réagissent assez vivement avec l'oxygène de l'air



Les hydrocarbures naturels

Gaz naturel

Pétrole

Charbons

Les hydrocarbures naturels

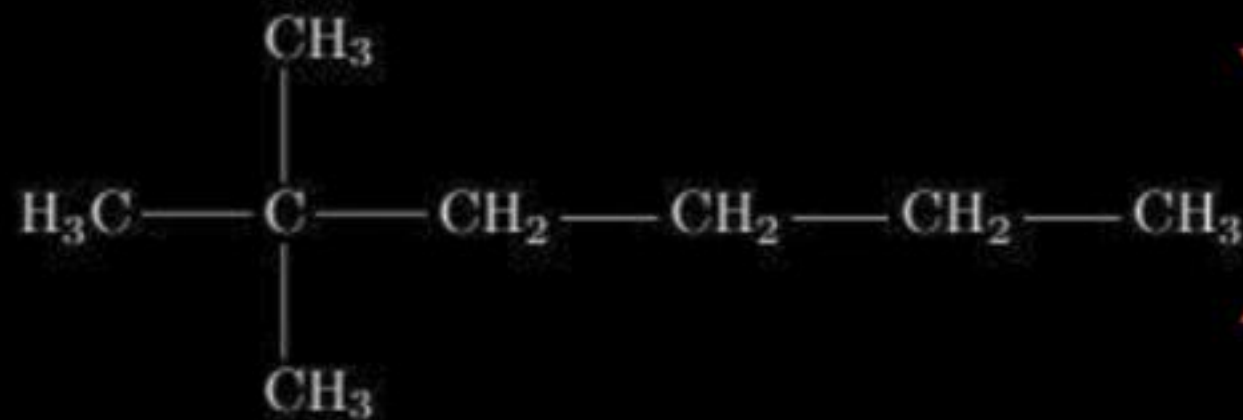
= de la vieille biomasse

= de la biomasse fossile qui a été
réduite sous terre lors de son
enfouissement avec les sédiments

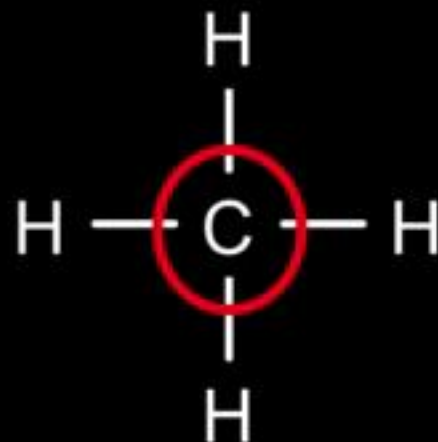
Du point de vue chimique, les hydrocarbures sont des composés constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène

Le carbone dans les hydrocarbures

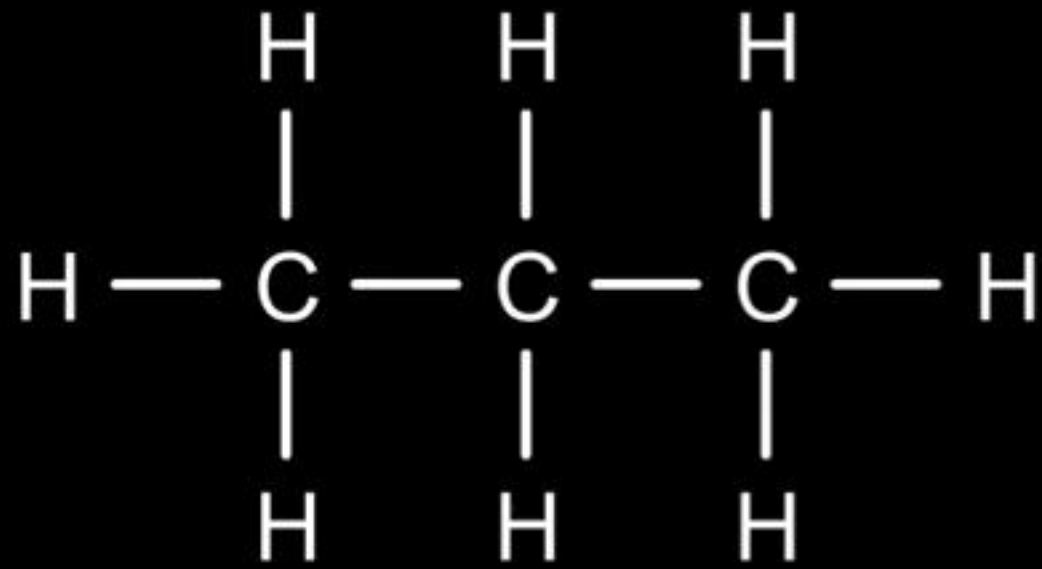
c'est du carbone sous forme réduite



Nombre d'oxydation = 0



Nombre d'oxydation = -IV

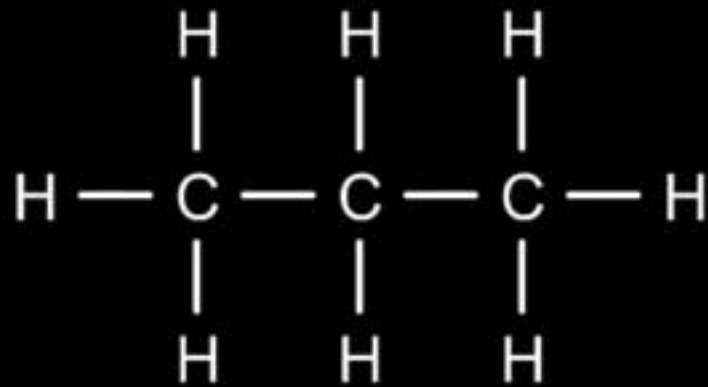


Dans une molécule d'hydrocarbures, un carbone a un nombre d'oxydation compris entre **0** et **-IV**

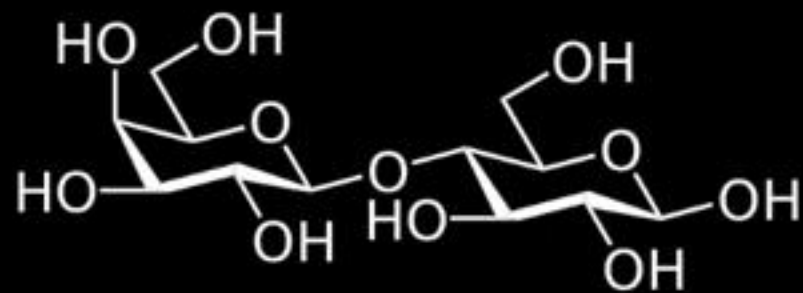


Dans une molécule de dioxyde de carbone, le carbone a un nombre d'oxydation de **+IV**

De l'intérêt énergétique des hydrocarbures



Hydrocarbures : molécules riches en énergie



Biomasse : molécules moyennement riches en énergies



Dioxyde de carbone : molécule stable pauvre en énergie

Pouvoir de combustion des hydrocarbures

Combustion du méthane

55 kJ/g

Combustion du pétrole

42 à 48 kJ/g

Combustion du charbon

25 à 35 kJ/g

Pouvoir de combustion de la biomasse

Combustion de l'éthanol

30 kJ/g

Combustion du bois

16 à 20 kJ/g

Combustion de la paille

14 à 18 kJ/g

Qu'est-ce qui explique
ces différences de
contenu énergétique
entre les hydrocarbures
et la biomasse

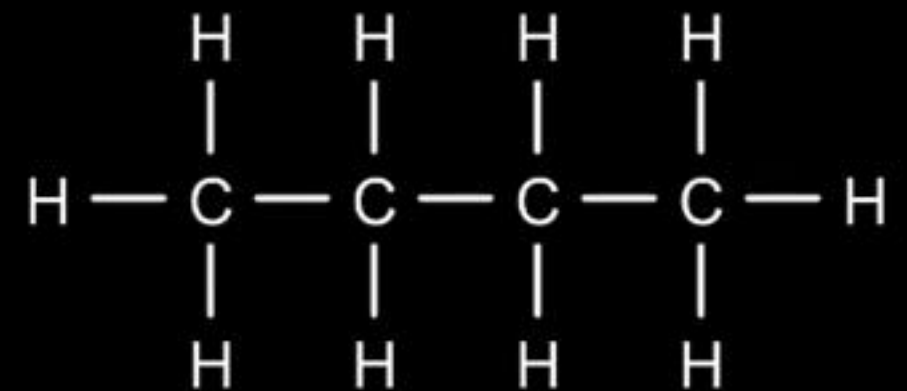
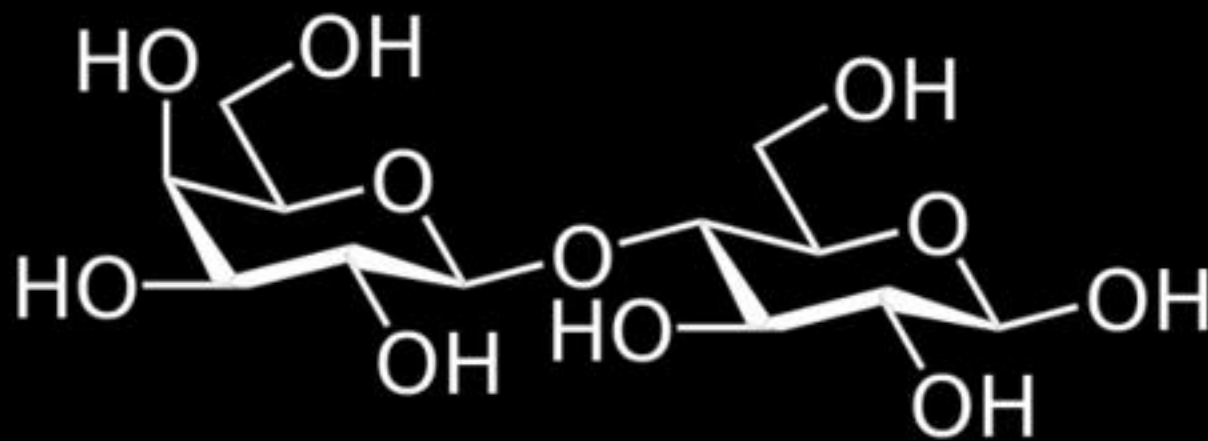
La biomasse, ce
sont beaucoup
de carbohydrates

Les carbohydrates

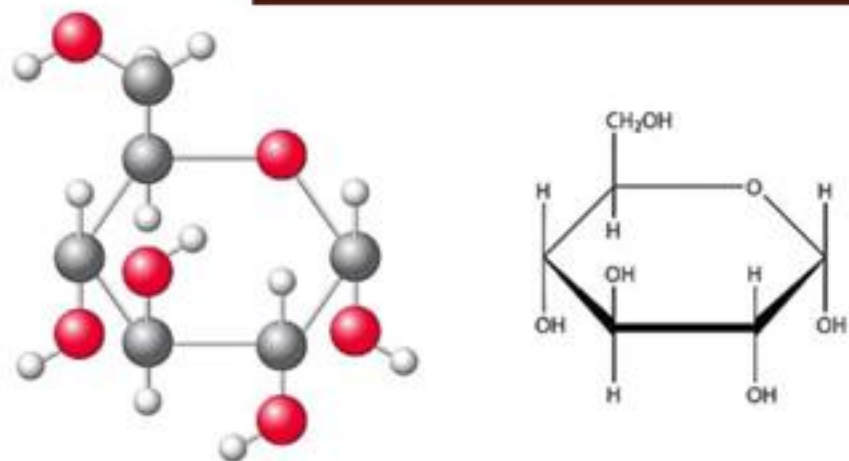
= glucides

Ce sont des composés contenant du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène !

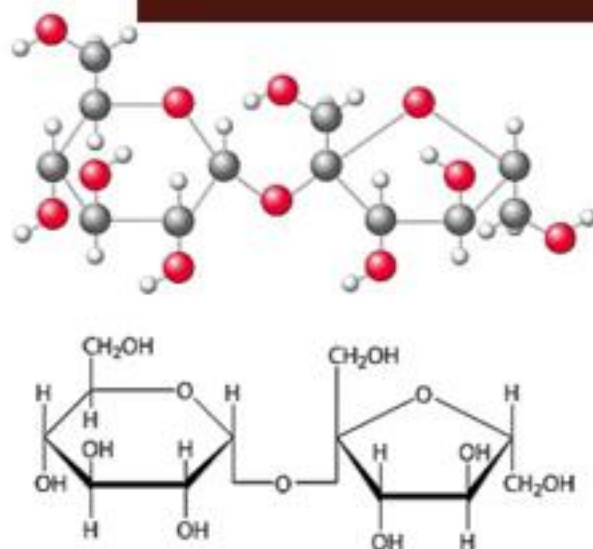
Les hydrocarbures ne contiennent pas d'oxygène



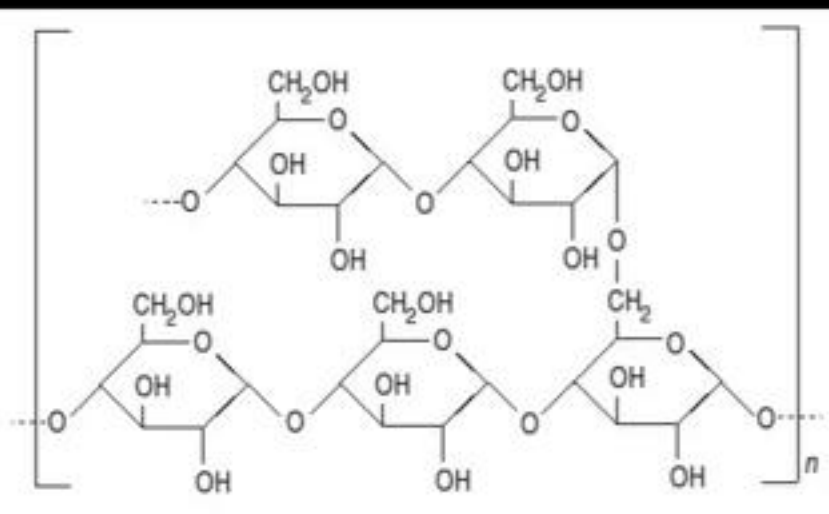
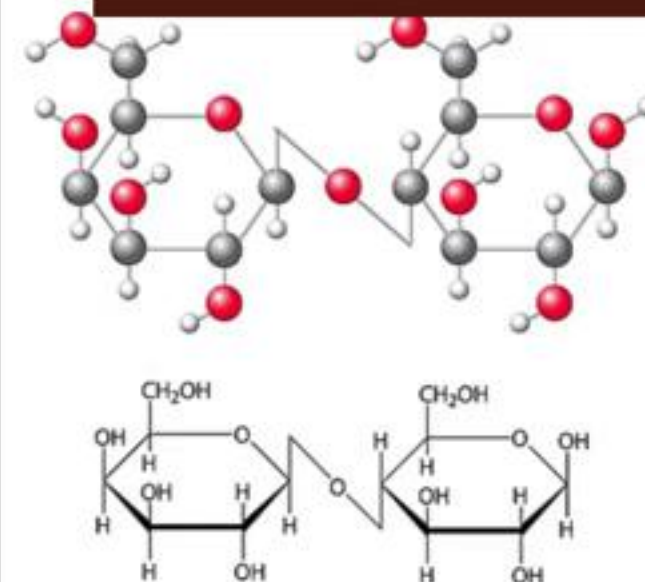
Glucose



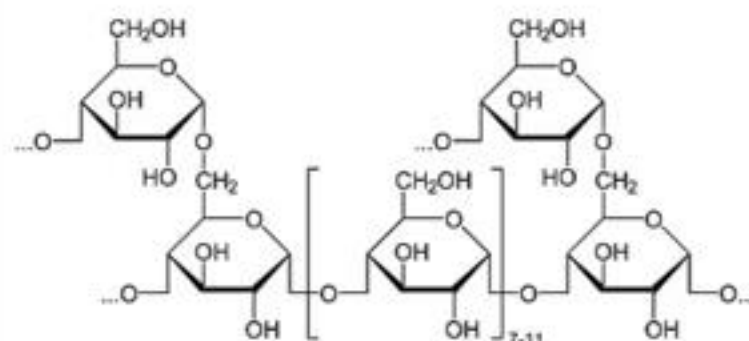
Saccharose



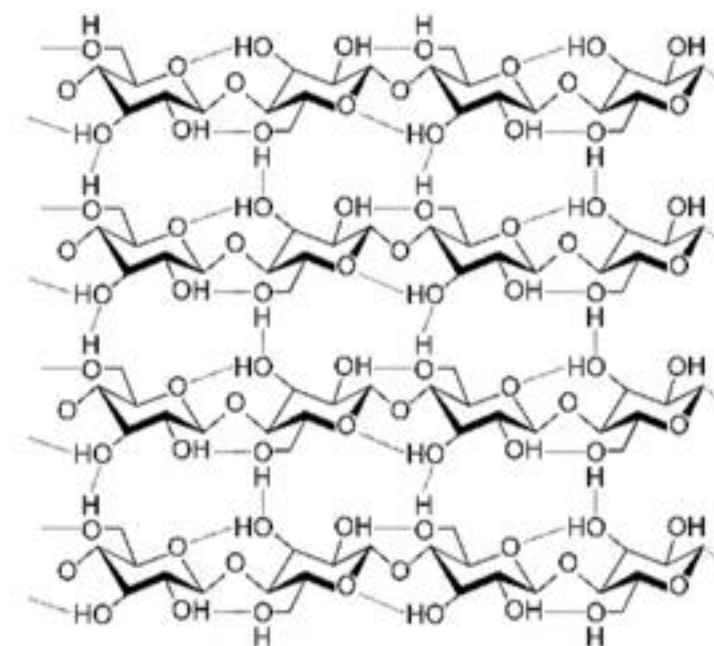
Lactose



Amidon

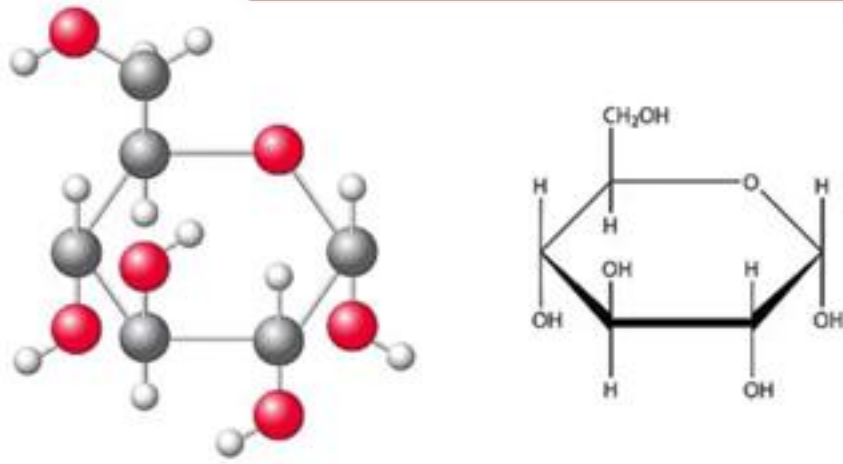


Glycogène



Cellulose

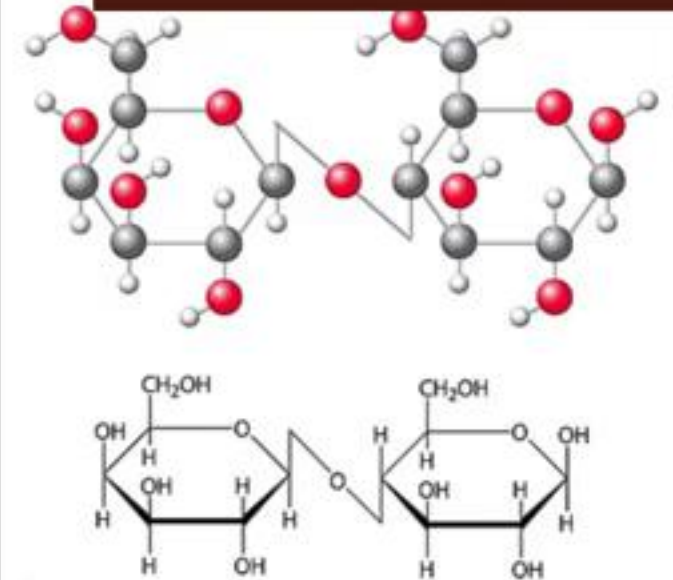
Glucose



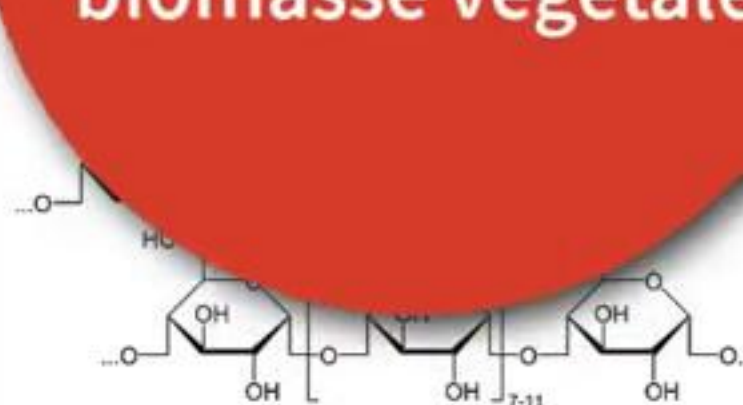
Saccharose



Lactose

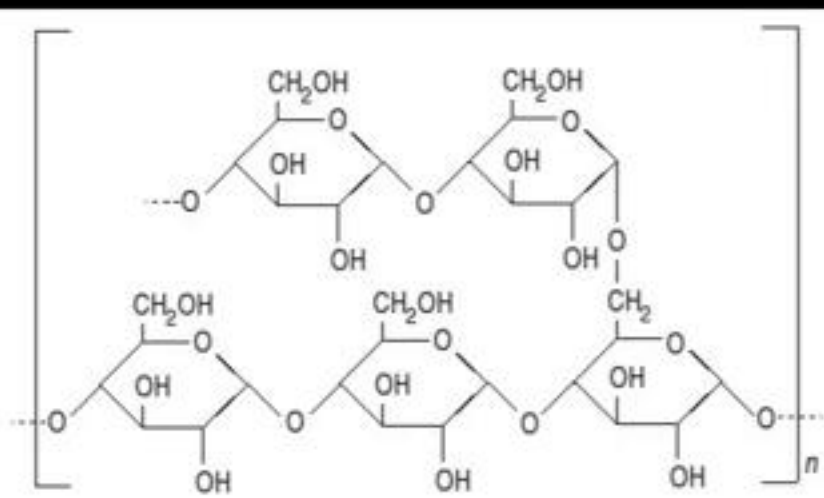


Constituant
principal de la
biomasse végétale

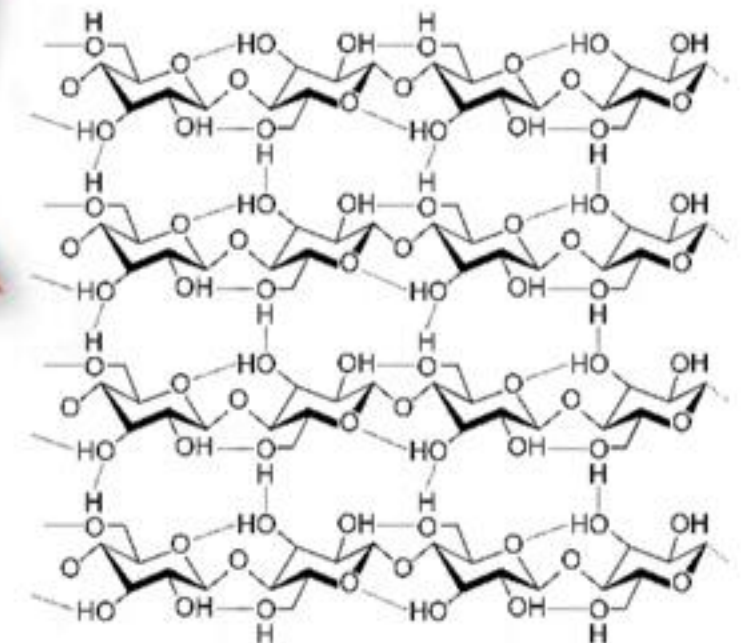


Glycogène

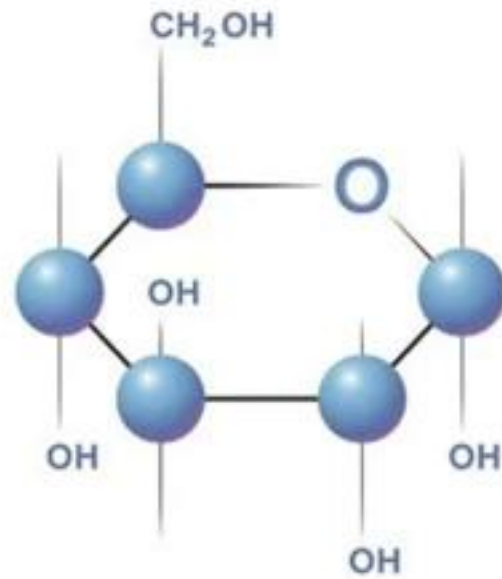
Amidon



Cellulose

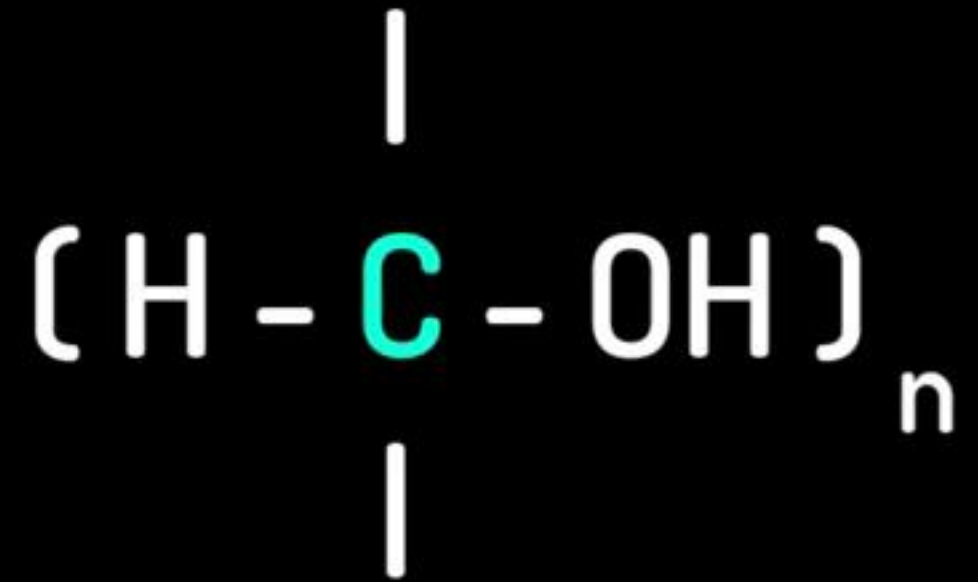


Les carbohydrates



Glucose

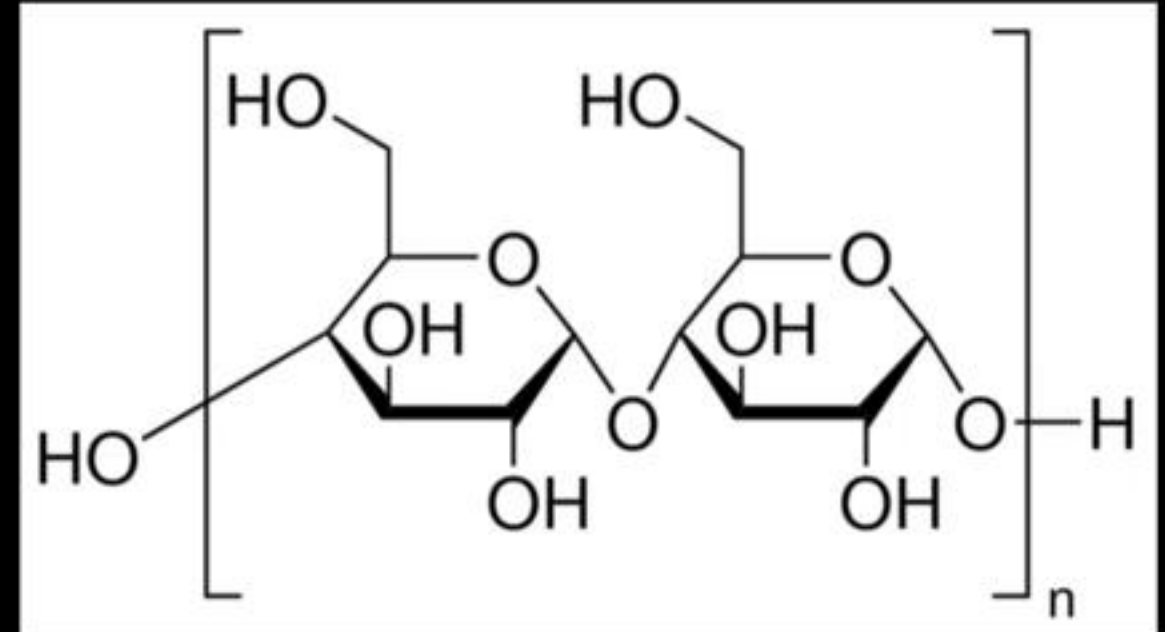
Ce que la photosynthèse fabrique à partir du CO₂



Le carbone a une nombre d'oxydation de 0

C'est plus réduit que dans le gaz carbonique, mais c'est plus oxydé que dans les hydrocarbures

La matière organique,
c'est du carbone plus
énergétique que le
dioxyde de carbone

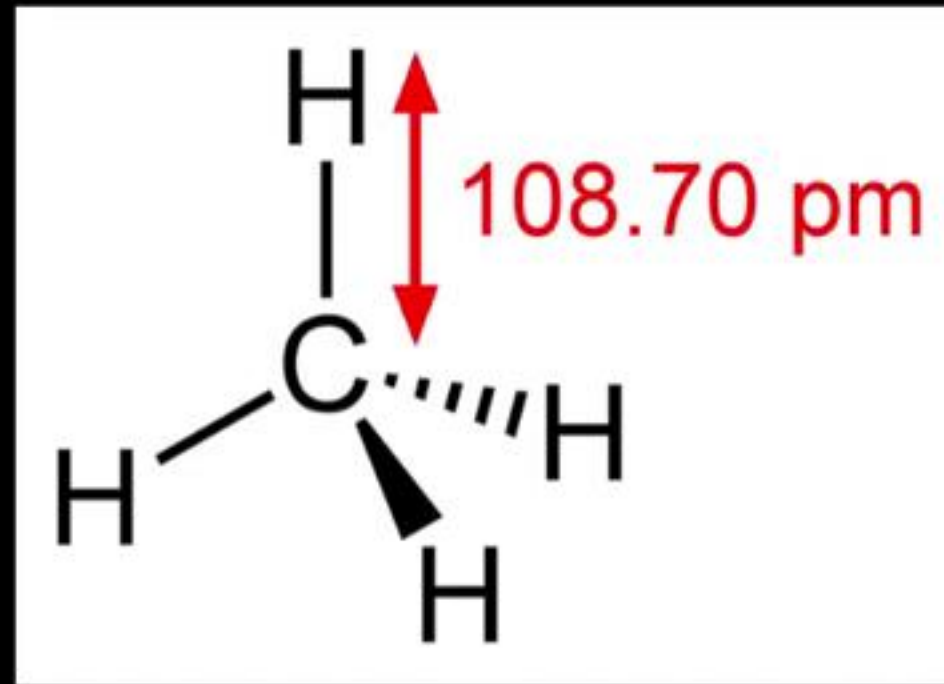


Le dioxyde de carbone
est une molécule très
stable



La forme de carbone la plus énergétique est ...

le méthane
(CH₄)

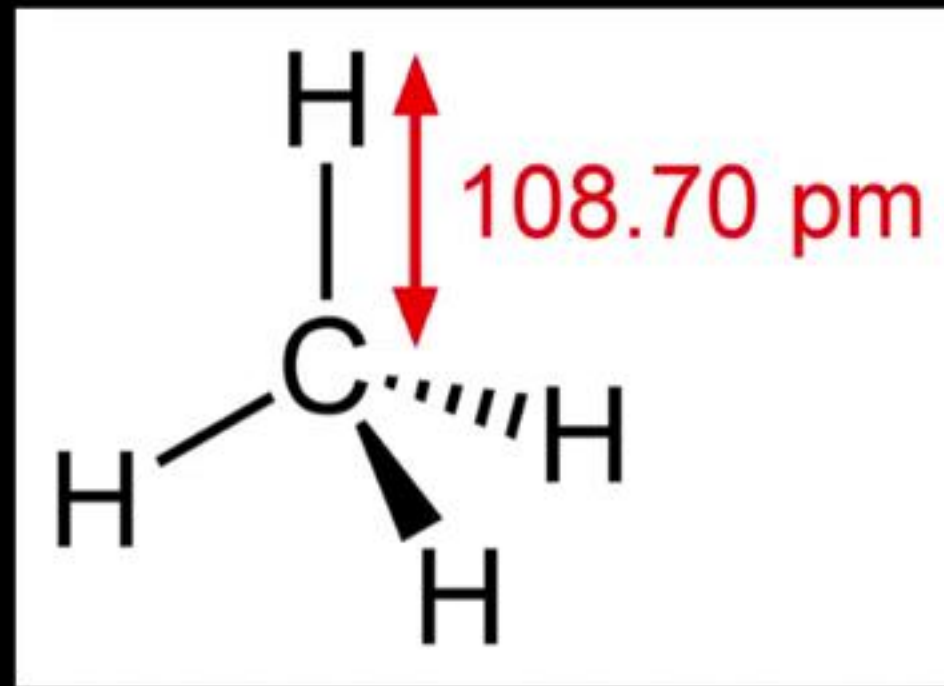


Le méthane est dangereux, car inflammable et explosif au contact de l'air

La forme de carbone la plus énergétique est ...

le méthane
(CH₄)

mais très
instable



Le méthane est dangereux, car inflammable et explosif au contact de l'air

**Heureusement, la biomasse
terrestre est plutôt faite de
carbohydrates que d'hydrocarbures !**

Des lacs de méthane sur
Titan (satellite de Saturne)



Ce qui explique, en premier lieu, les différences d'énergie entre les hydrocarbures et les carbohydrates, ...

c'est le nombre
d'oxydation du carbone !

C'est la proportion relative
d'oxygène et d'hydrogène

Plus il y a d'oxygène,

car l'oxygène est plus
électronégatif que le carbone

plus le nombre d'oxydation
du carbone sera augmenté

**et plus la molécule sera
pauvre en énergie**

Plus il y a d'hydrogène

plus le nombre d'oxydation
du carbone sera diminué

**et plus la molécule sera
riche en énergie**

L'oxygène diminue la quantité d'énergie

L'hydrogène augmente la quantité d'énergie

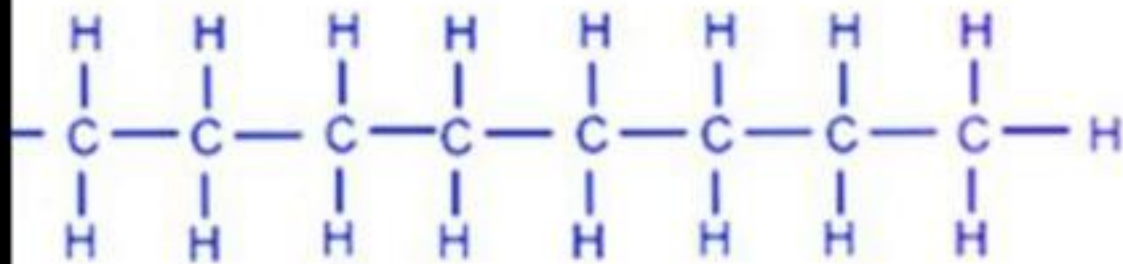
Les charbons sont relativement peu énergétiques

*car ils sont issus d'une biomasse plus
riche en atomes d'oxygène*

Les charbons sont relativement peu énergétiques

*car ils sont issues d'une biomasse plus riche en atomes d'**oxygène** (cellulose de la biomasse végétale terrestre)*

Le pétrole est plus énergétique



Chaîne carbonée (atomes de carbones et d'hydrogènes)

*car cela provient d'une biomasse plus riches en **hydrogène**, car plus riches en lipides (membranes lipidiques des cellules planctoniques)*



La quantité d'eau produite ou
dégagée par la combustion du
combustible (hydrocarbures
ou biomasse) intervient aussi !



On en parlera
plus tard ...

La composition chimique des hydrocarbures

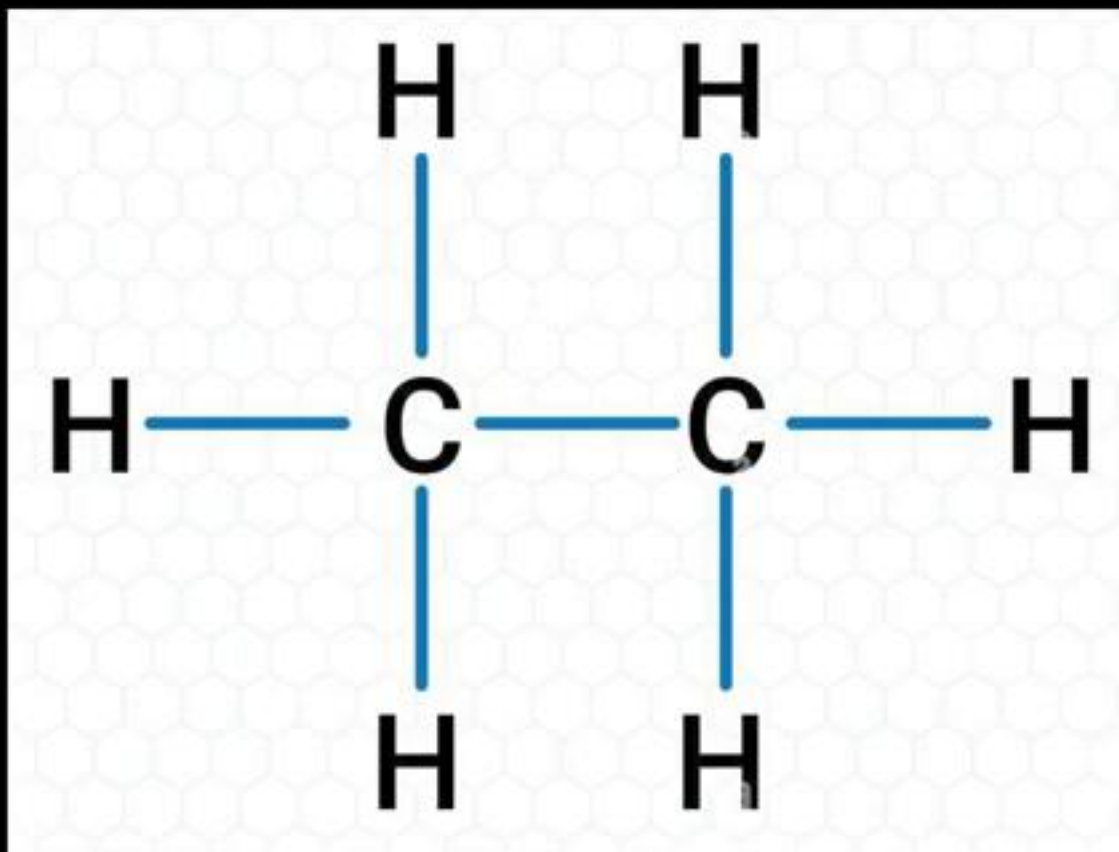


les saturés

les insaturés

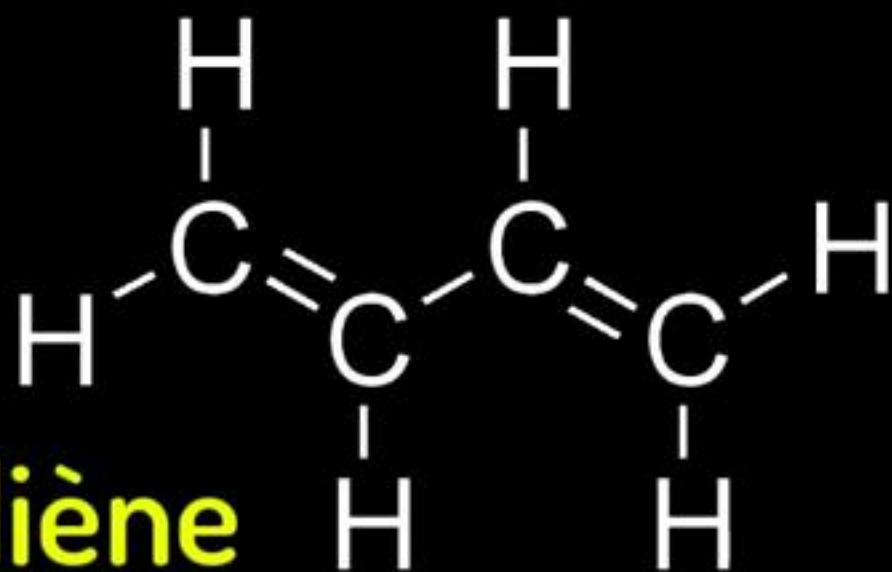
Les saturés

Liaisons simples C-C ou C-H



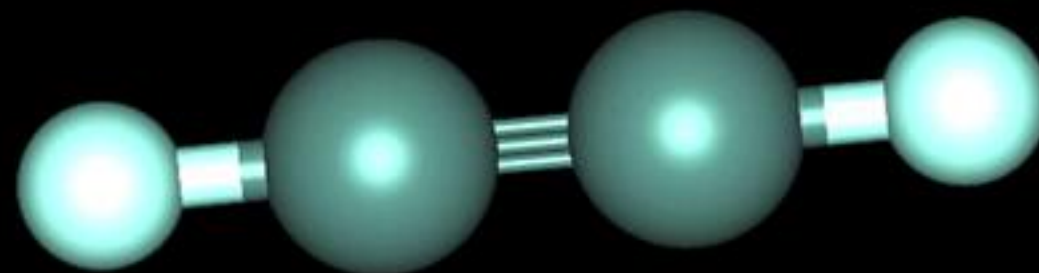
Les insaturés

Ils contiennent des liaisons doubles ou triples entre les atomes de carbone



Butadiène

Liaison double



Acétylène

Liaison triple

Les hydrocarbures saturés comprennent

Les paraffines

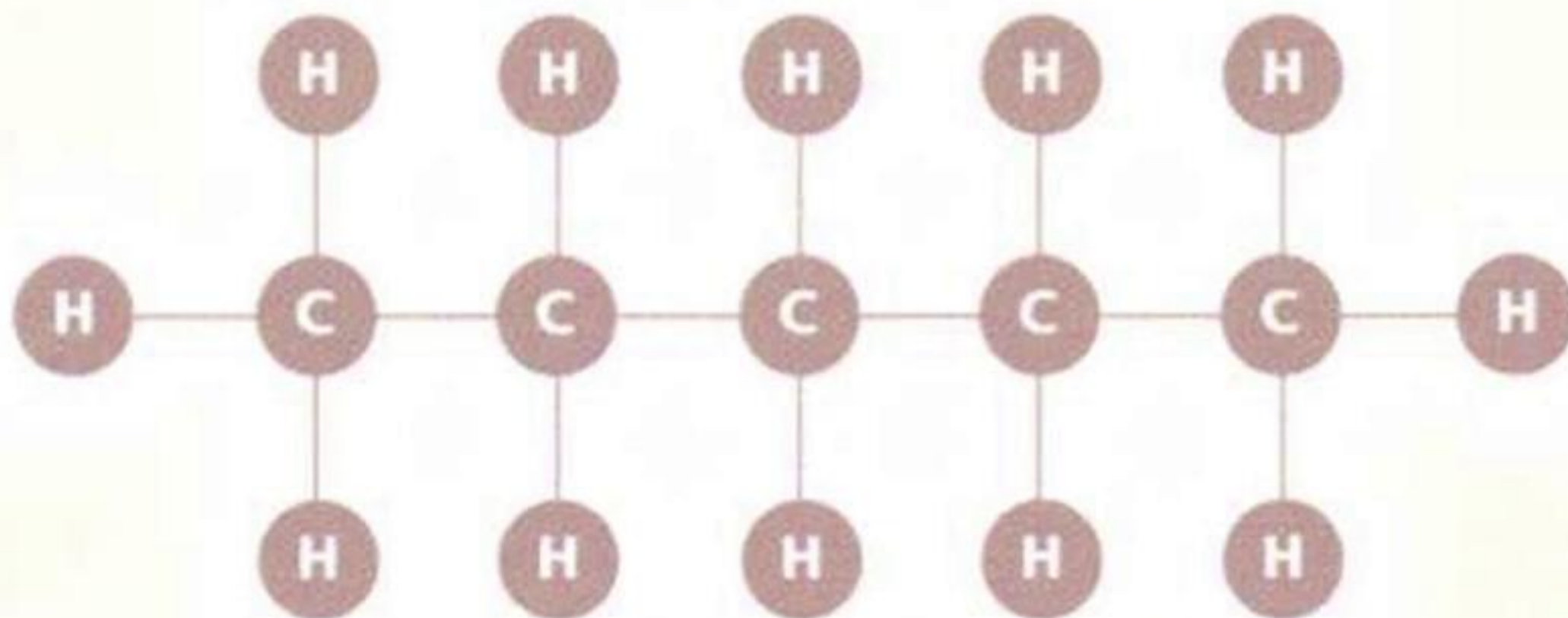
Les naphènes

Les paraffines

chaînes linéaires

(alcane)

Paraffines normales (C_nH_{2n+2})

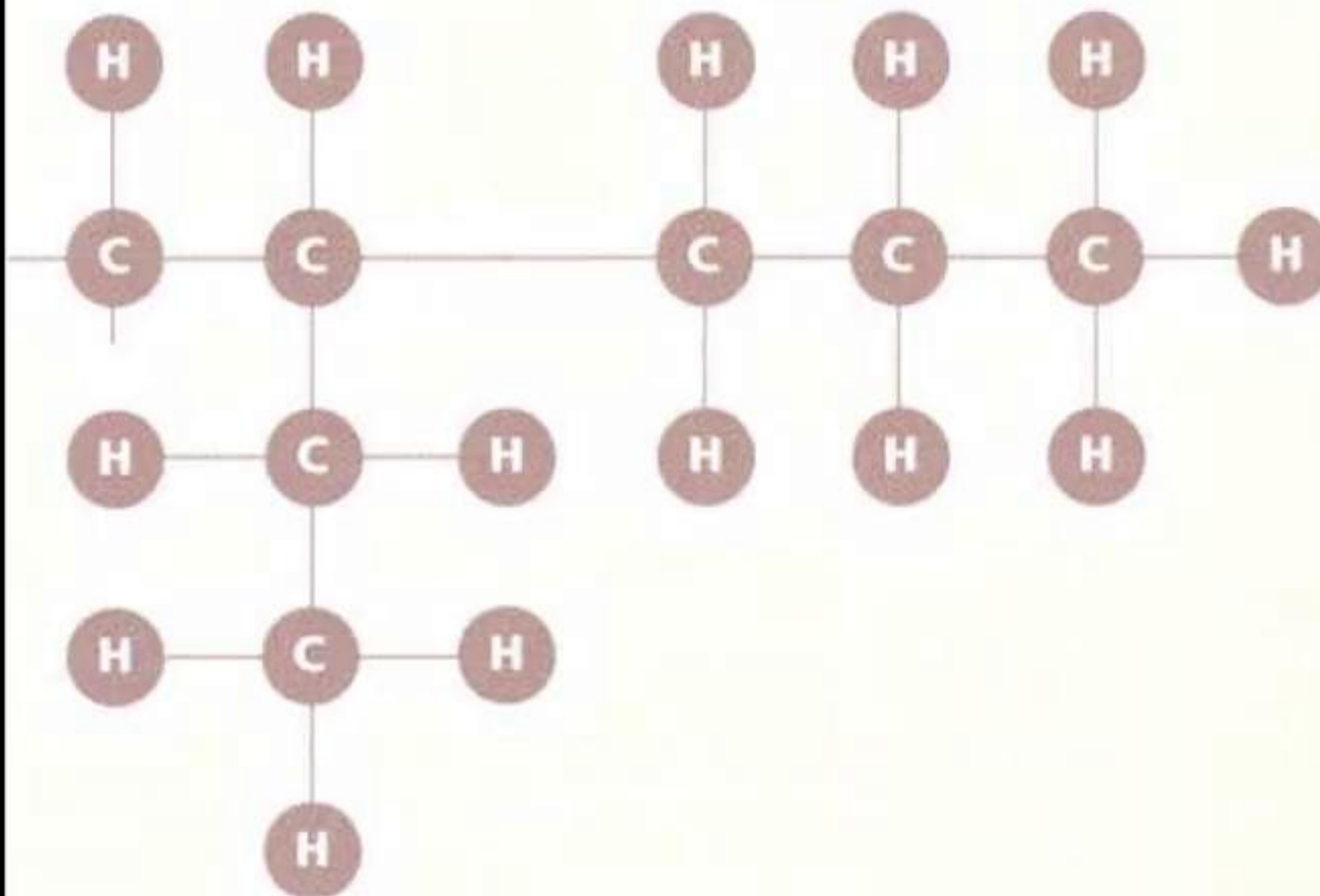


Les paraffines

chaînes ramifiées

(alcane)

Iso paraffines (C_nH_{2n+2})



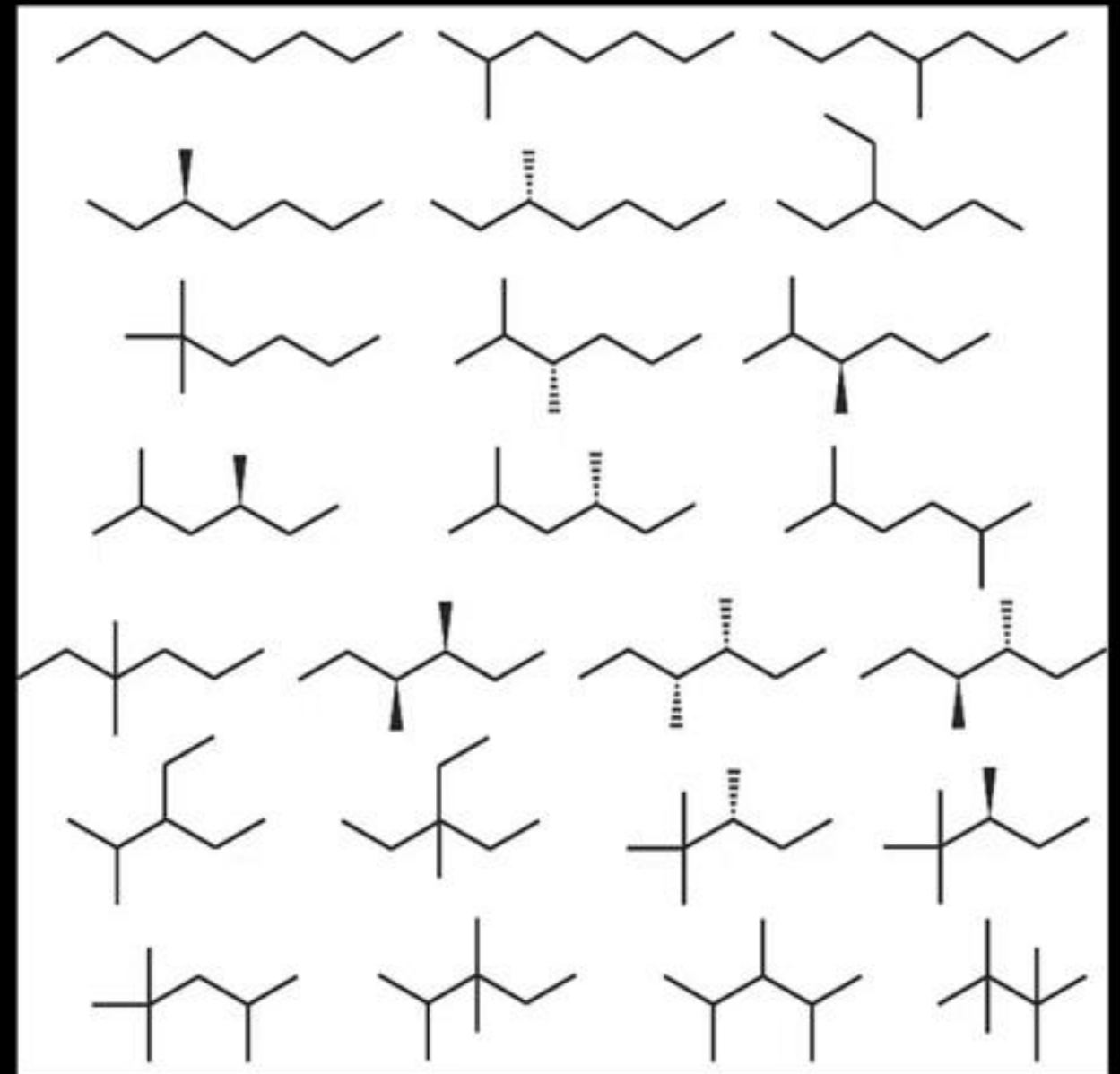
Nomenclature des alcanes

Paraffines normales

Nombre d'atomes de carbone	Formule brute	Nom
1	CH ₄	méthane
2	C ₂ H ₆	éthane
3	C ₃ H ₈	propane
4	C ₄ H ₁₀	<i>n</i> -butane
5	C ₅ H ₁₂	<i>n</i> -pentane
6	C ₆ H ₁₄	<i>n</i> -hexane
7	C ₇ H ₁₆	<i>n</i> -heptane
8	C ₈ H ₁₈	<i>n</i> -octane
9	C ₉ H ₂₀	<i>n</i> -nonane
10	C ₁₀ H ₂₂	<i>n</i> -décane
11	C ₁₁ H ₂₄	<i>n</i> -undécane
12	C ₁₂ H ₂₆	<i>n</i> -dodécane
13	C ₁₃ H ₂₈	<i>n</i> -tridécane
14	C ₁₄ H ₃₀	<i>n</i> -tétradécane
15	C ₁₅ H ₃₂	<i>n</i> -pentadécane

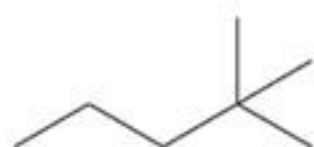
Les isoparaffines (ou isoalcanes)

Les isomères du n-C8,
alias le n-octane

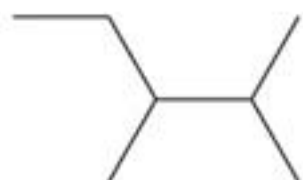


Les paraffines

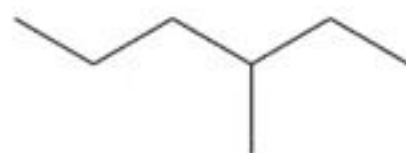
Formule générale



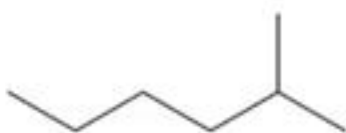
2, 2-Dimethylpentane



2, 3-Dimethylpentane



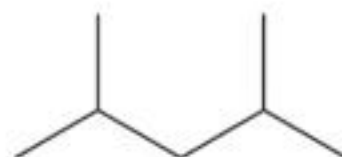
3-Methylhexane



2-Methylhexane



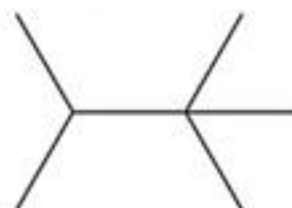
3,3-Dimethylpentane



2, 4-Dimethylpentane



3-Ethylpentane



2, 2, 3-Trimethylbutane



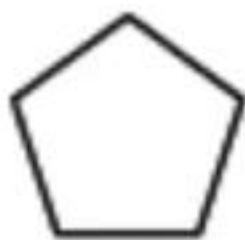
Heptane

Les isomères du n-C7

Les naphtènes ou cycloalcanes



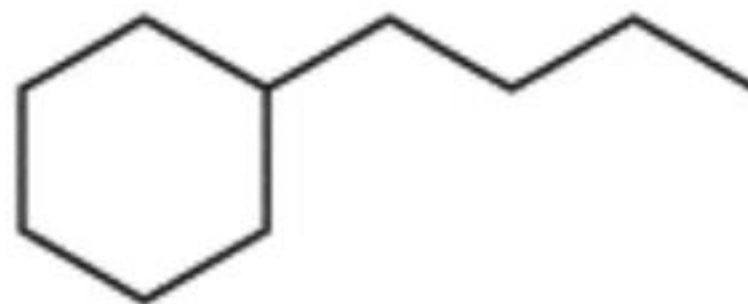
Un cycle saturé



Cyclopentane



Cyclohexane



n-Butylcyclohexane

Un cycle à 5
atomes de carbone

Un cycle à 6
atomes de carbone

Une chaîne alkyle
greffée sur un cycle

Les aromatiques

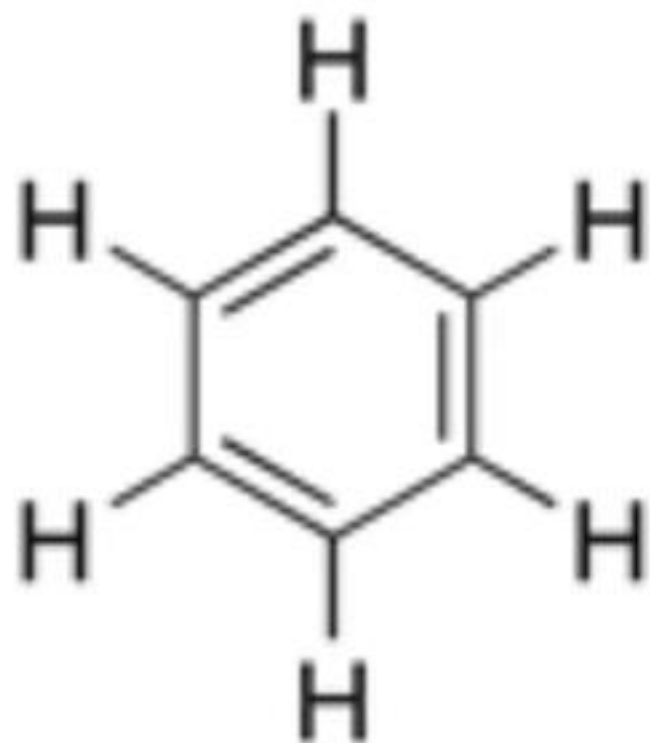
Ce sont des hydrocarbures insaturés

Ils comportent un ou plusieurs cycles à 6 atomes de carbone que l'on va appeler un **noyau aromatique**



Représentation d'un cycle aromatique

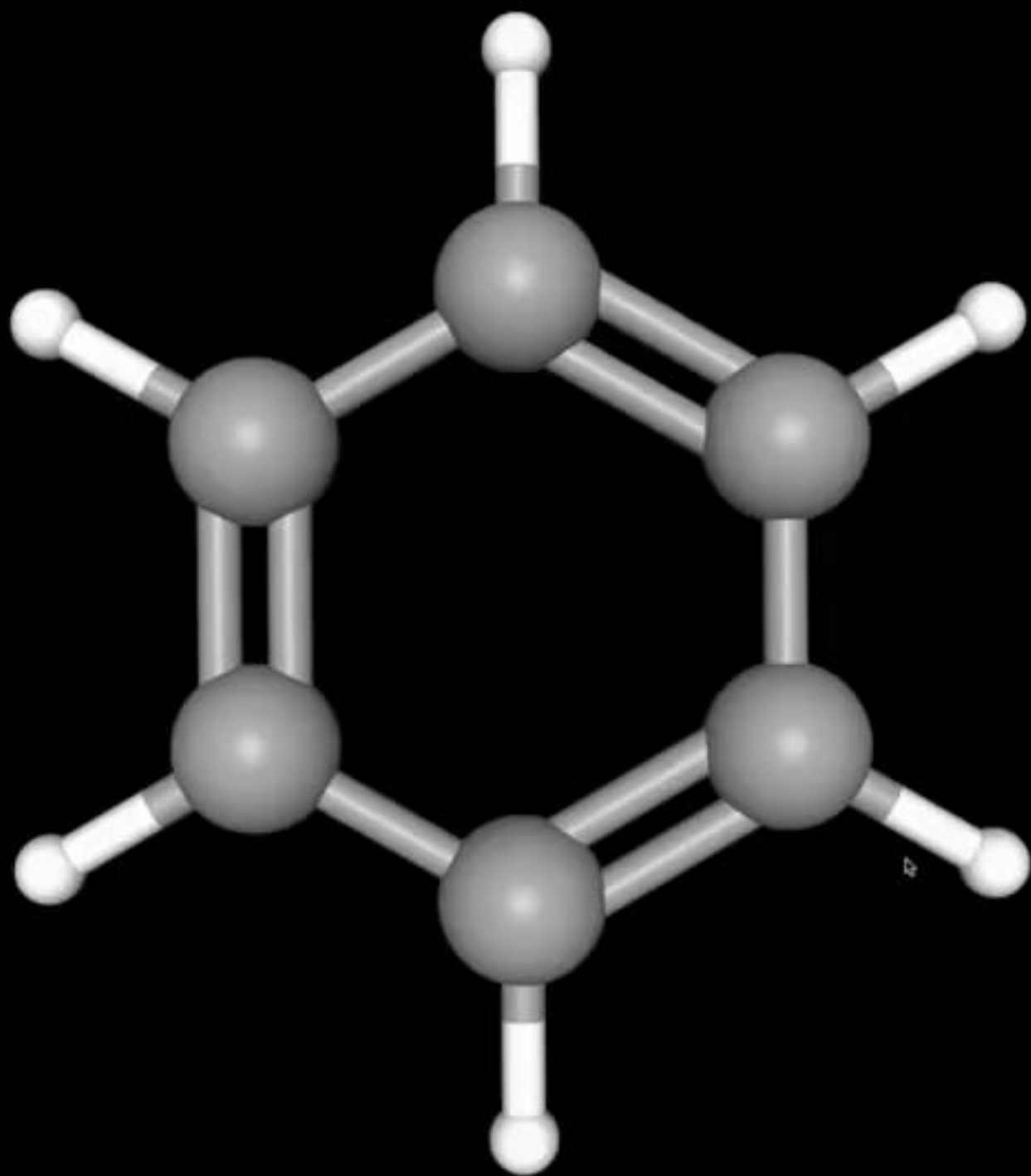
Aromaticité chimique



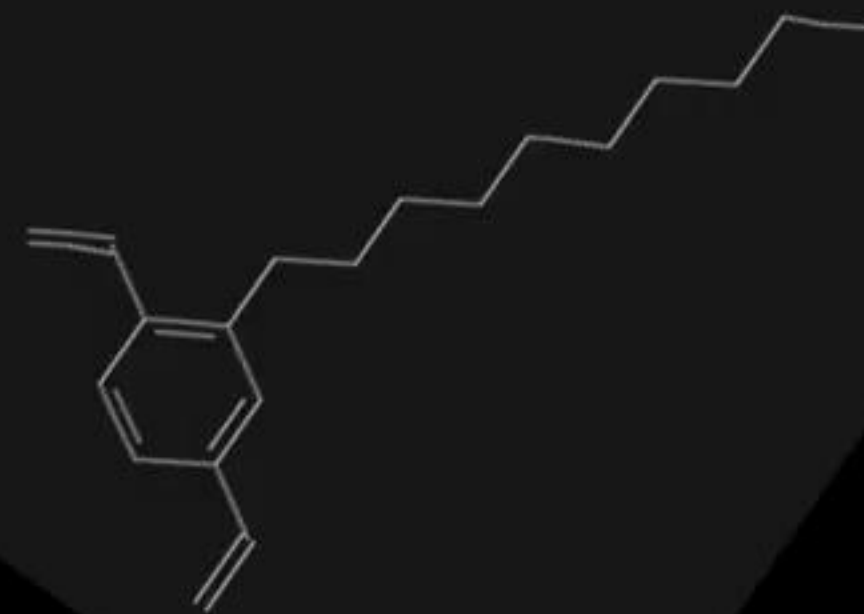
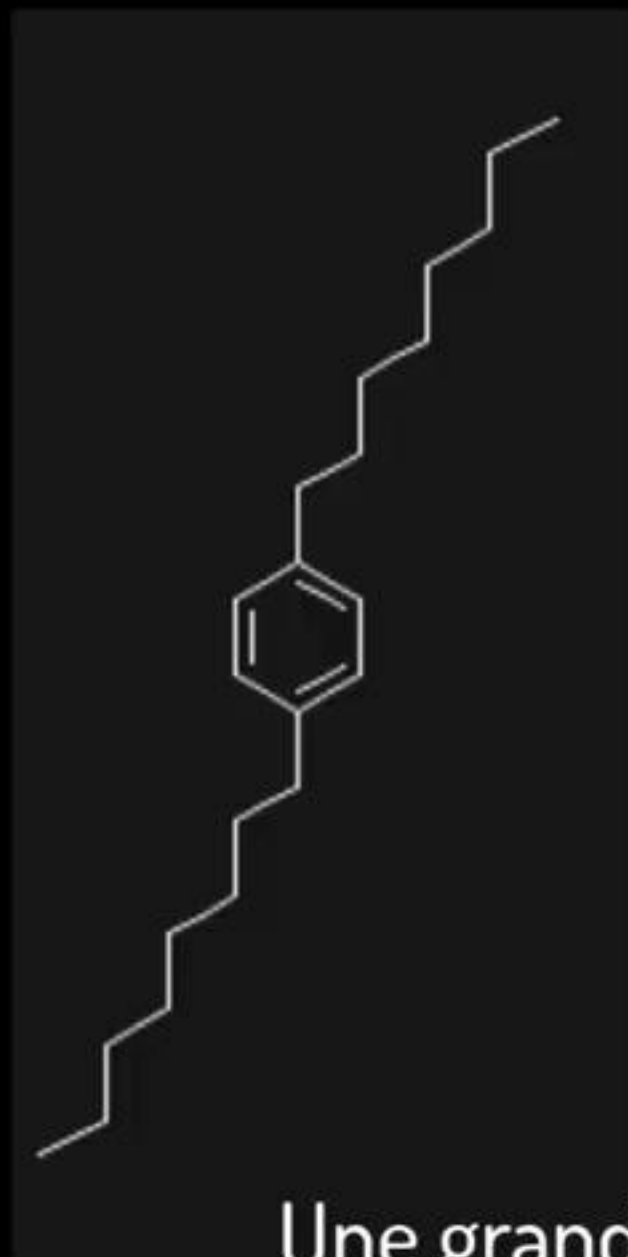
**avec une alternance
de liaisons simples
et de liaisons doubles**

**noyau aromatique
(électrons délocalisés)**

Le benzène



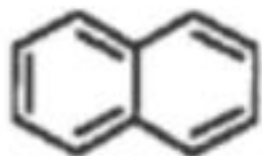
Les alkylaromatiques



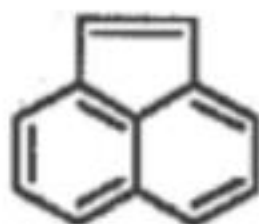
Une grande variété de molécules

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

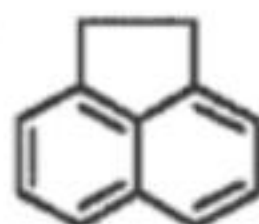
obtenus par condensation de noyaux aromatiques simples



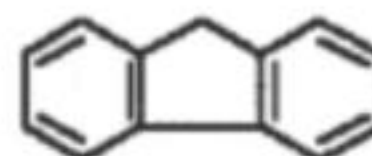
Naphthalene
128.2 g



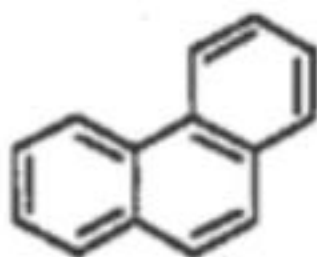
Acenaphthylene
152.2 g



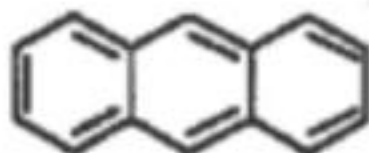
Acenaphthene
154.2 g



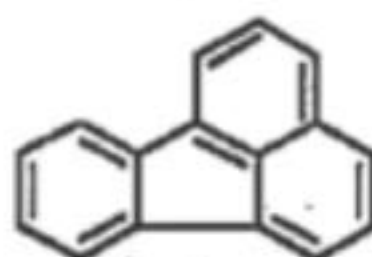
Fluorene
166.2 g



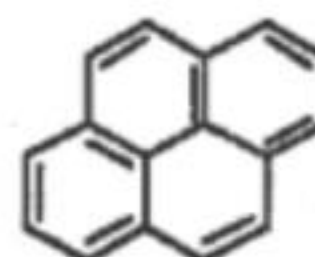
Phenanthrene
178.2 g



Anthracene
178.2 g



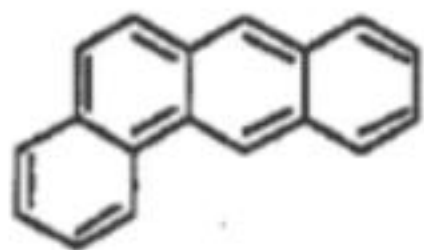
Fluoranthene
202.3 g



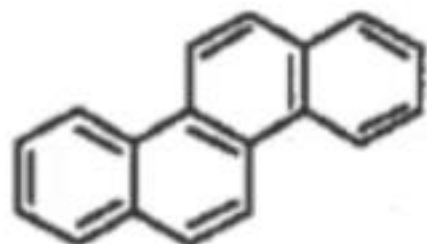
Pyrene
202.3 g

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

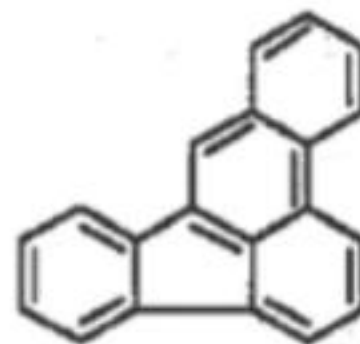
obtenus par condensation de noyaux aromatiques simples



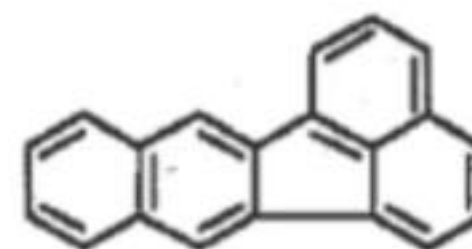
Benz[a]anthracene
228.3 g



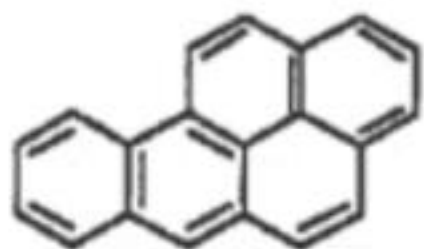
Chrysene
228.3 g



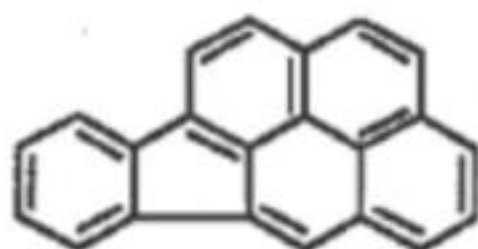
Benzo[b]fluoranthene
252.3 g



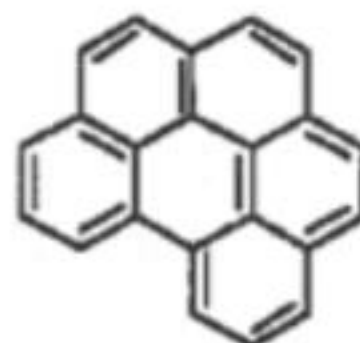
Benzo[k]fluoranthene
252.3 g



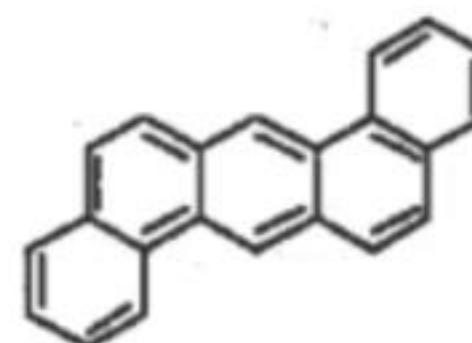
Benzo[a]pyrene
252.3 g



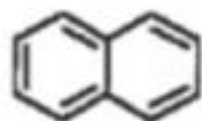
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene
276.3 g



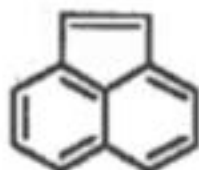
Benzo[g,h,i]perylene
276.3 g



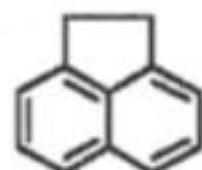
Dibenz[a,h]anthracene
278.4 g



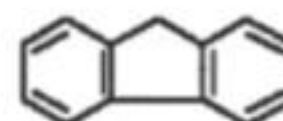
Naphthalene
128.2 g



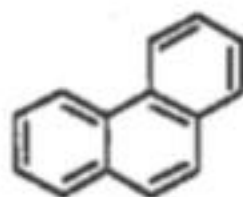
Acenaphthylene
152.2 g



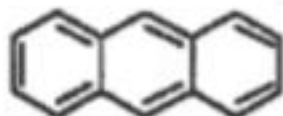
Acenaphthene
154.2 g



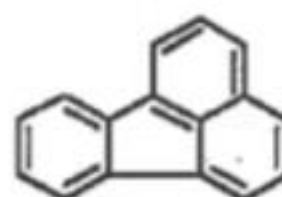
Fluorene
166.2 g



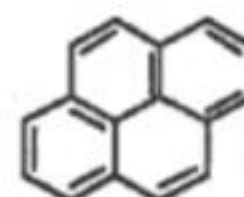
Phenanthrene
178.2 g



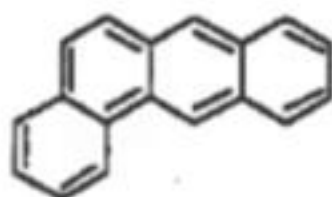
Anthracene
178.2 g



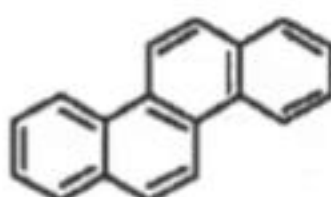
Fluoranthene
202.3 g



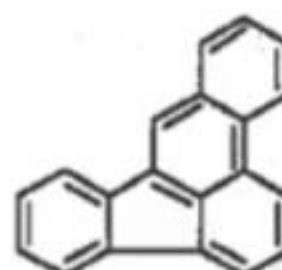
Pyrene
202.3 g



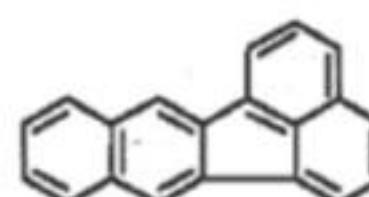
Benz[a]anthracene
228.3 g



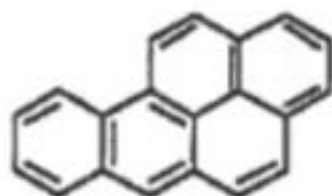
Chrysene
228.3 g



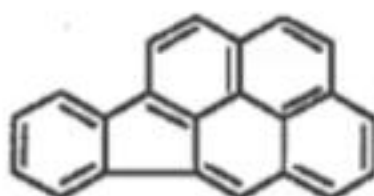
Benzo[b]fluoranthene
252.3 g



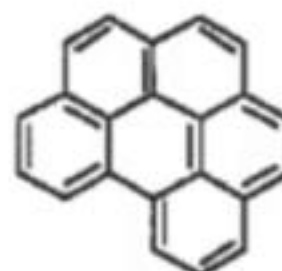
Benzo[k]fluoranthene
252.3 g



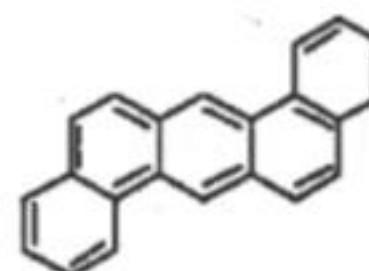
Benzo[a]pyrene
252.3 g



Indeno[1,2,3-c,d]pyrene
276.3 g



Benzo[g,h,i]perylene
276.3 g



Dibenz[a,h]anthracene
278.4 g

Attention !

Les aromatiques sont toxiques
(irritations, cancers, etc)



Health Hazard



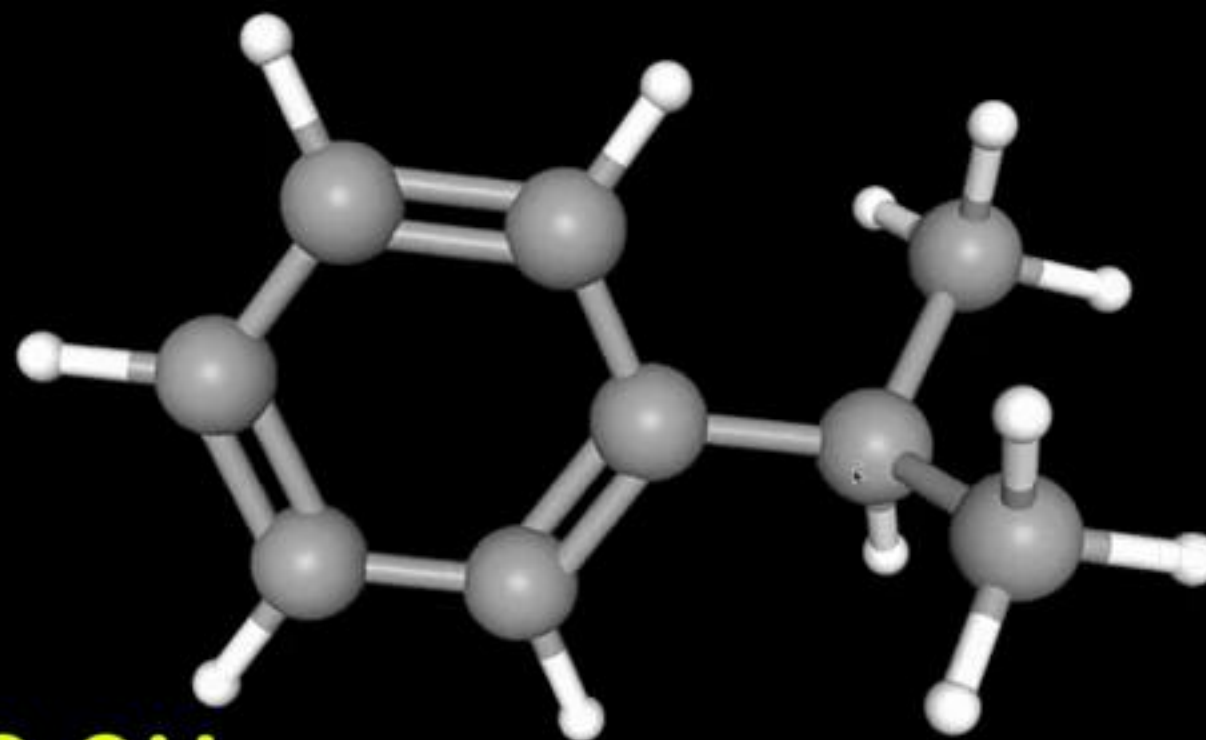
Irritant



Flammable



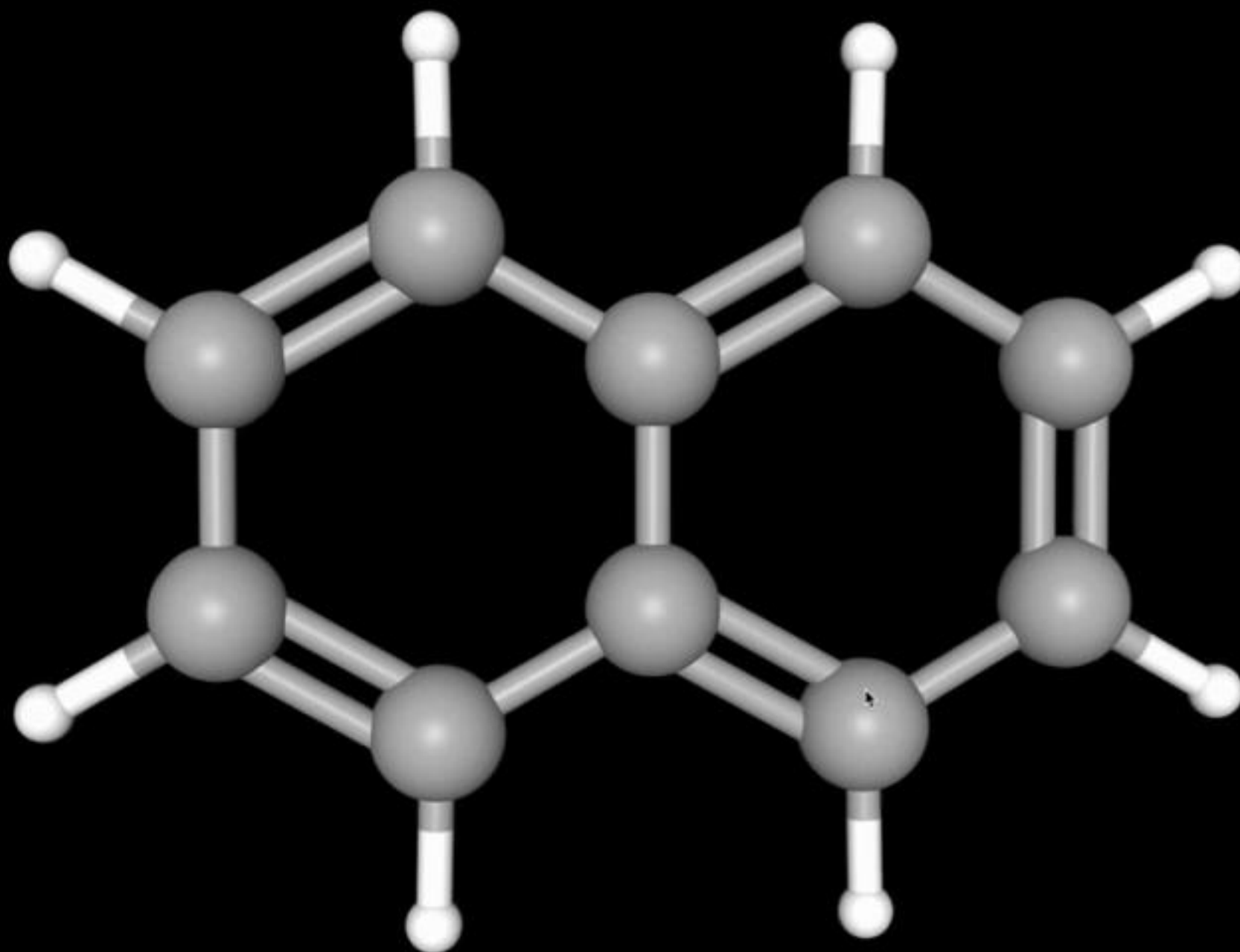
Environmental Hazard

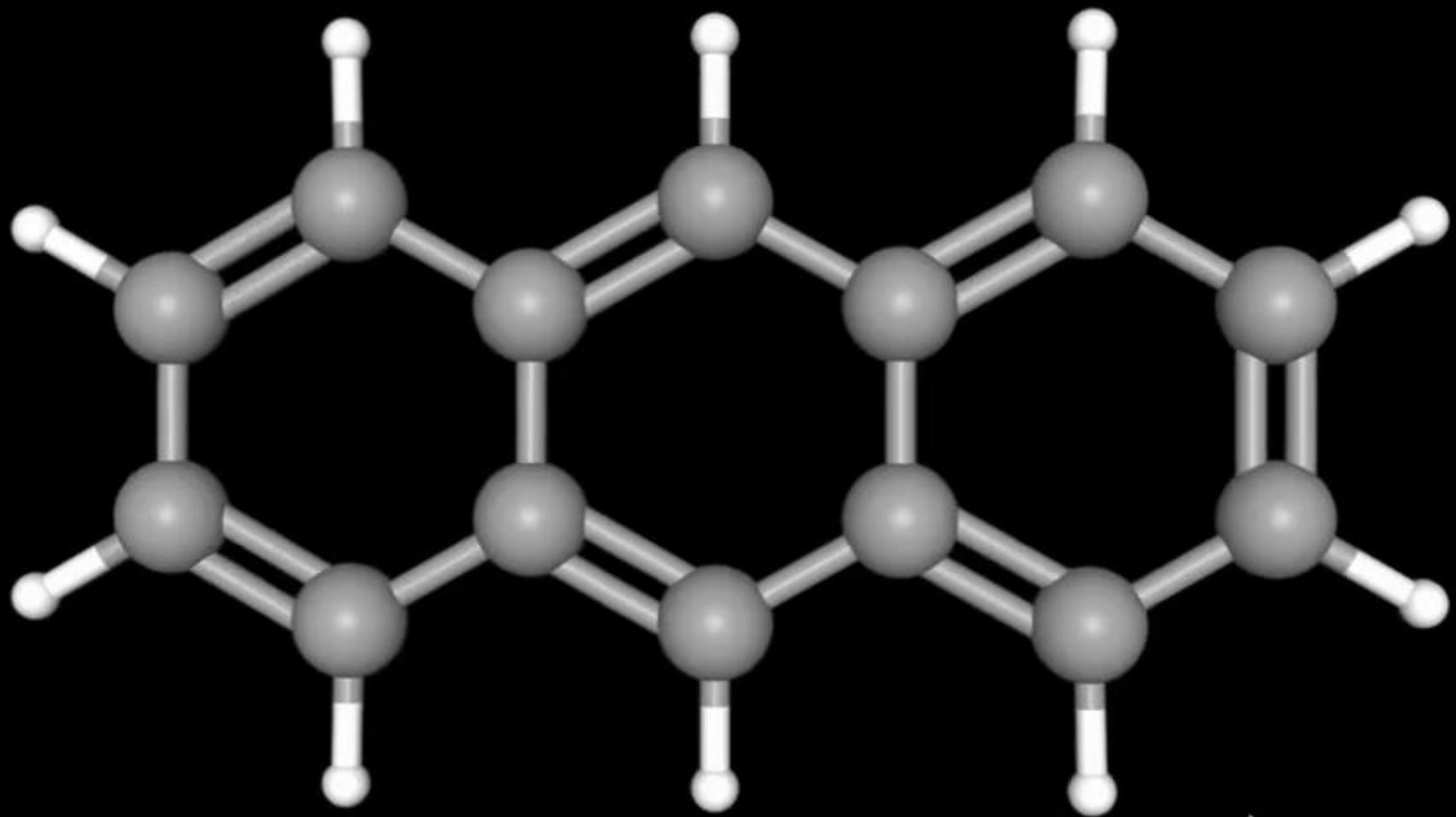


Cumène ou
isopropylbenzène

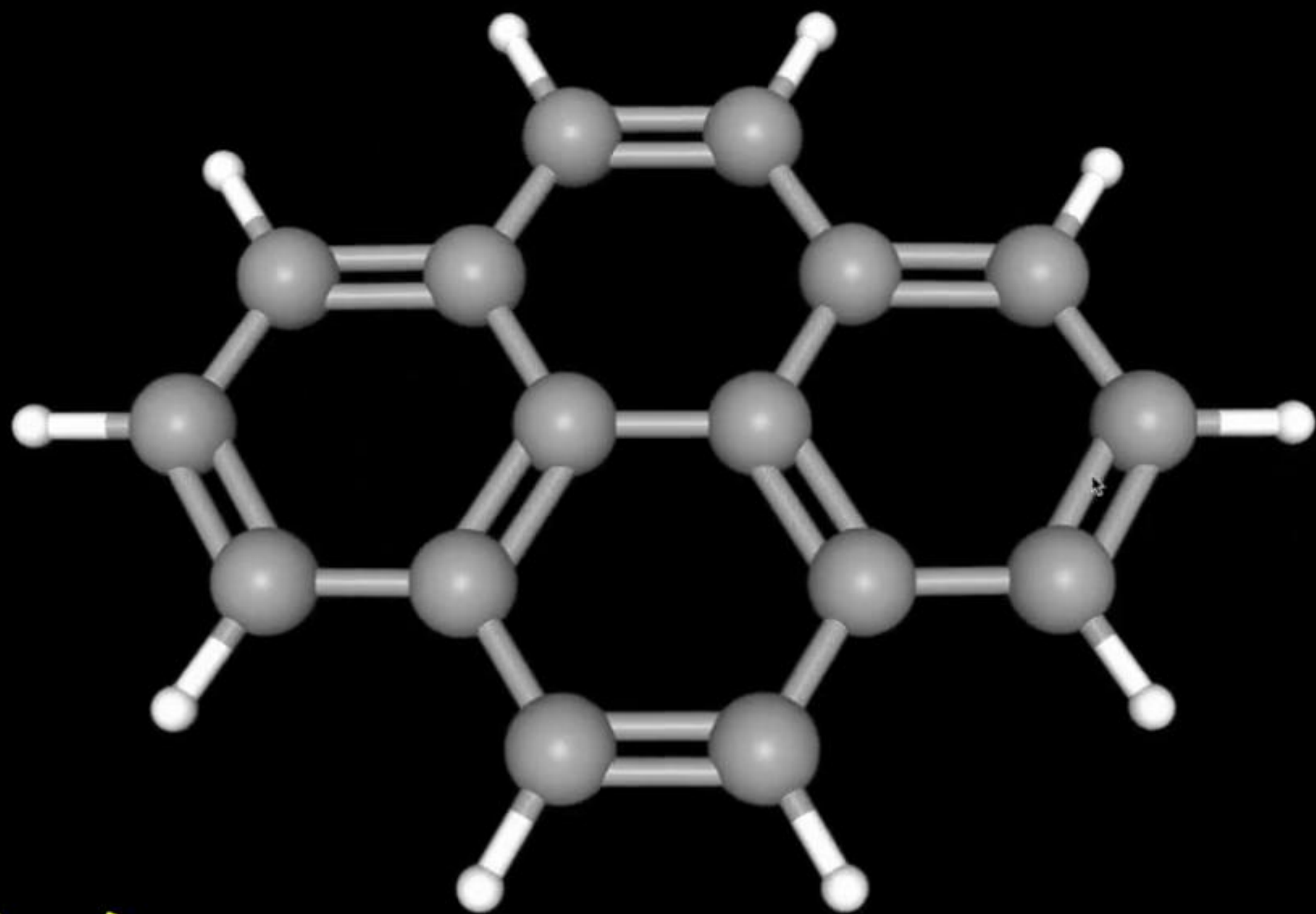
Exemple de la naphthalène (ou naphthaline)

Deux cycles
aromatiques
condensés





Anthracène

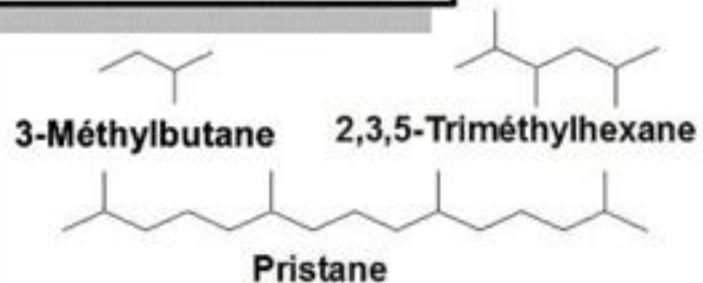


Pyrène

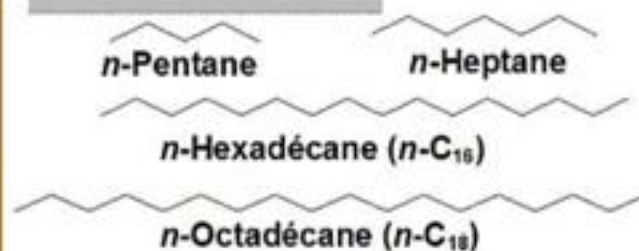
Saturés

Paraffines

Alcanes ramifiés

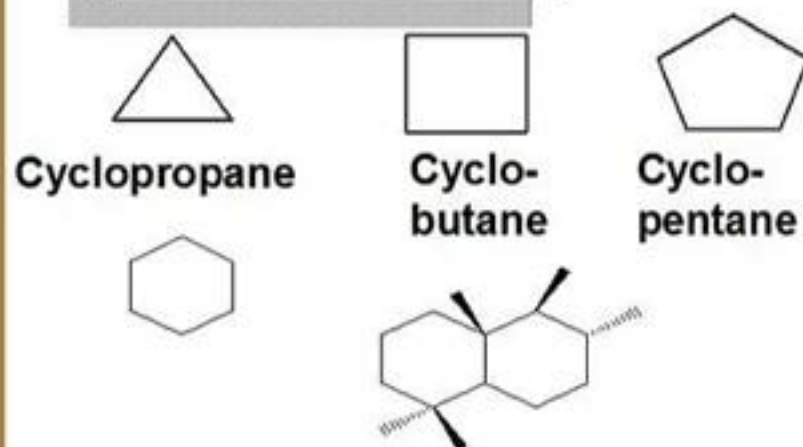


n-Alcanes

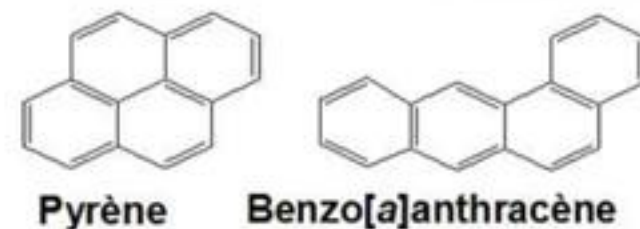
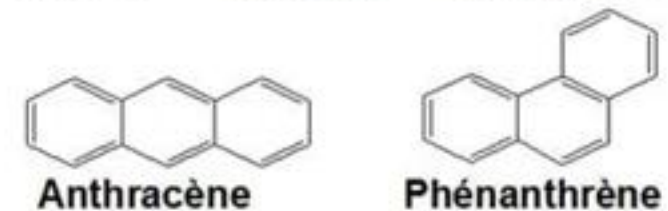
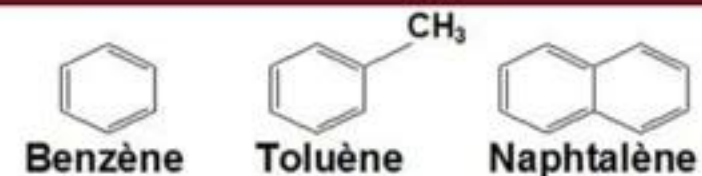


Naphtènes

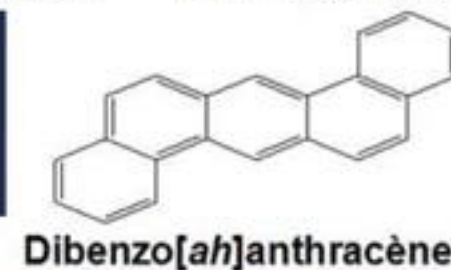
Cycloalcanes



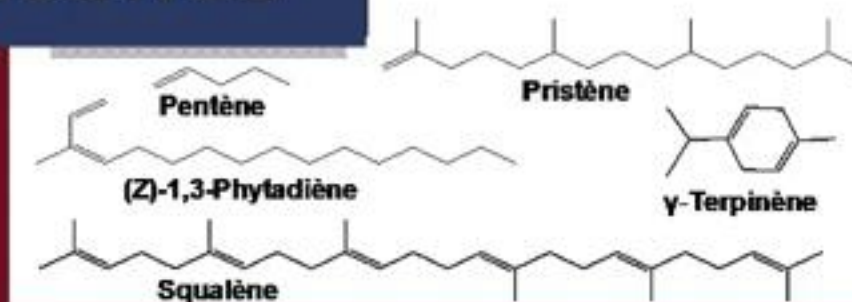
Insaturés



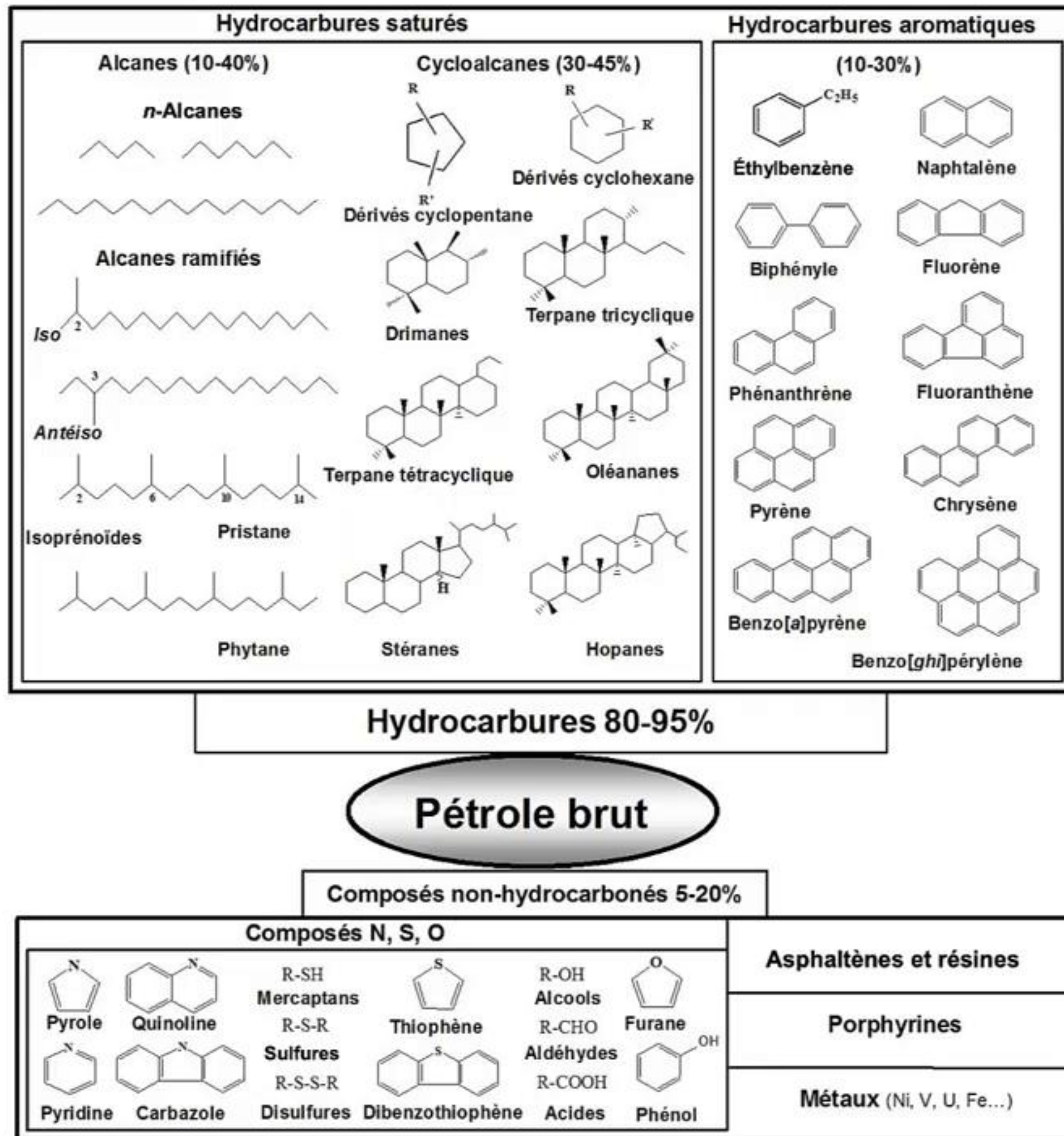
Aromatiques



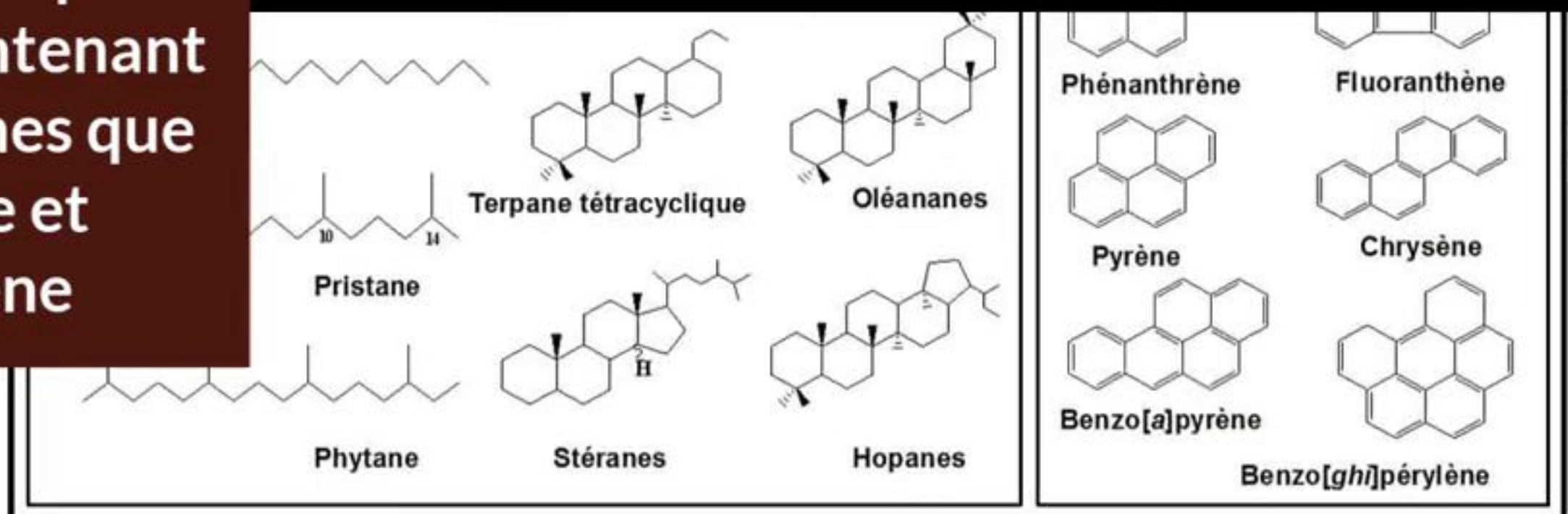
Alcènes



Et aussi des composés chimiques contenant d'autres atomes que le carbone et l'hydrogène



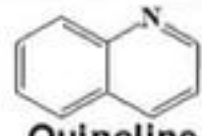
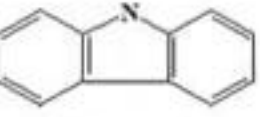
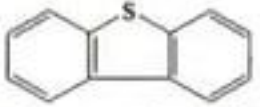
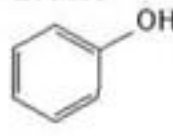
Et aussi des composés chimiques contenant d'autres atomes que le carbone et l'hydrogène



Hydrocarbures 80-95%

Pétrole brut

Composés non-hydrocarbonés 5-20%

Composés N, S, O						Asphaltènes et résines	
		R-SH Mercaptans		R-OH Alcools		Porphyrines	
		R-S-R Sulfures		R-CHO Aldéhydes			
Pyridine	Carbazole	R-S-S-R Disulfures	Dibenzothiophène	R-COOH Acides	Phénol		
						Métaux (Ni, V, U, Fe...)	

Et aussi des composés chimiques contenant d'autres atomes que le carbone et l'hydrogène

Atomes de soufre (S)

Atomes d'azote (N)

Atomes d'oxygène (O)

et autres ...

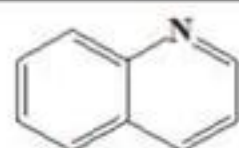
Pétrole brut

Composés non-hydrocarbonés 5-20%

Composés N, S, O



Pyrole



Quinoline

R-SH
Mercaptans

R-S-R

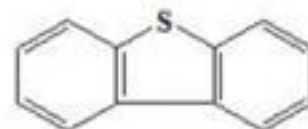
Sulfures

R-S-S-R

Disulfures



Thiophène



Dibenzothiophène

R-OH
Alcools

R-CHO

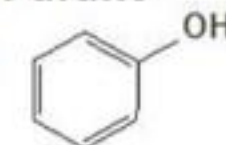
Aldéhydes

R-COOH

Acides



Furane



Phénol

Asphaltènes et résines

Porphyrines

Métaux (Ni, V, U, Fe...)

La composition chimique en hydrocarbures et autres influe sur la nature des fluides pétroliers et gaziers qui seront exploités

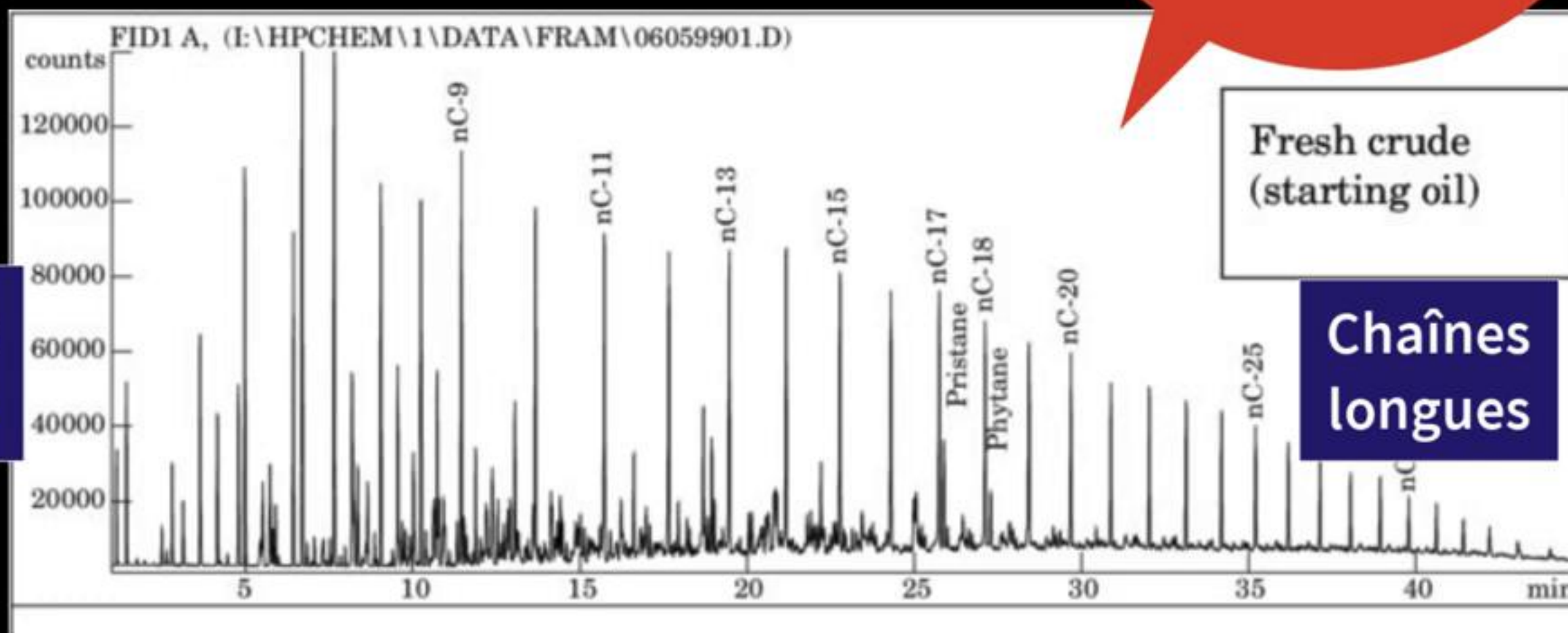
**Analyse en
laboratoire de la
composition
chimique d'un pétrole**

Petroleum Testing and Inspection



Plus un pétrole contient des hydrocarbures à longue chaîne, plus il sera visqueux et difficile à exploiter !

Analyse des teneurs en paraffines lourdes d'un brut pétrolier par spectrométrie de masse - chromatographie en phase gazeuse



La composition et la nature d'un fluide pétrolier, c'est primordial pour établir sa valeur économique et son utilisation future

Par exemple, un pétrole naphtéénique
n'aura pas la même application qu'un
pétrole aromatique

