

Chapitre 15 : molécules organiques

I) Qu'est-ce-que la chimie organique ?

Les **espèces chimiques** qualifiées d'**organiques** sont toutes les espèces chimiques, naturelles ou de synthèse, composées majoritairement des **éléments « carbone et hydrogène »**.

La **chimie organique** est la science qui étudie ces espèces et leurs transformations.

De ce fait, les **molécules organiques** sont constituées d'une **chaîne carbonée** que l'on appelle « **chaîne principale** », c'est-à-dire d'un **enchaînement d'atomes de carbone**.

Rappel :

- Les atomes de carbone forment avec d'autres atomes 4 liaisons covalentes, soit par des liaisons simples, soit par des liaisons multiples (doubles ou triples).
- L'hydrogène ne forme qu'une seule liaison covalente.

II) Comment représenter les molécules ?

1) Types de formule chimique

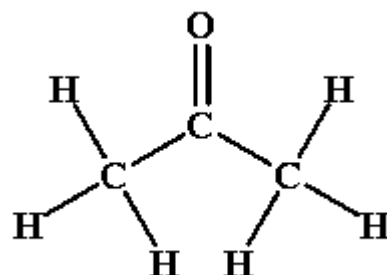
On distingue dans ce cours trois types de formules pour représenter les molécules.

Pour comprendre on utilisera l'exemple suivant : la molécule d'acétone (couramment appelée dissolvant du vernis à ongles).

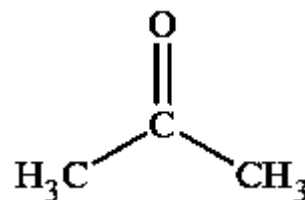
- La **formule brute** : elle n'indique que la composition de la molécule, sans préciser la nature des liaisons entre atomes.



- La **formule développée** : elle indique la géométrie de la molécule en figurant toutes les liaisons entre atomes par des traits (simples, doubles ou triples). Cette formule est complète mais lourde à écrire.



- La **formule semi-développée** : comme les atomes d'hydrogène ne forment qu'une liaison simple avec les autres atomes, on peut aisément deviner de quelle façon ils se répartissent à partir des autres atomes. On va donc simplement les indiquer à côté de l'atome auquel ils sont liés. Cela permet des représentations plus compactes, plus rapide à écrire.

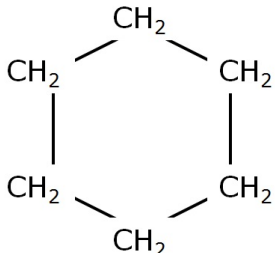
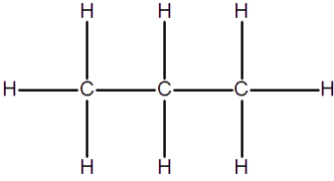
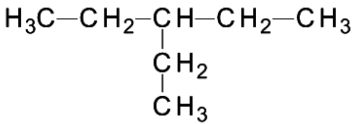


2) Structure des molécules

Une molécule peut être :

- **Linéaire** : la « chaîne principale » de carbone est linéaire
- **Ramifiée** : si au moins un atome de carbone est lié à 3 ou 4 atomes de carbone
- **Cyclique** : si l'enchaînement d'atomes de carbone est fermé sur lui-même.

Remarque : une chaîne carbonée peut être à la fois cyclique et ramifiée.

Structure	Cyclique	Linéaire	Ramifiée
Exemple de molécule			

3) Molécule saturée vs molécule insaturée

Le carbone peut se lier quatre fois de différentes façons :

- soit en formant quatre liaisons covalentes simples avec quatre atomes différents.

Une chaîne carbonée qui n'est constituée que de **liaisons simples** est dite **saturée**.

Exemple : le butane ($\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$)

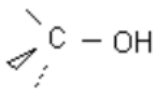
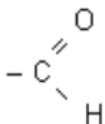
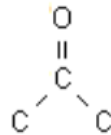
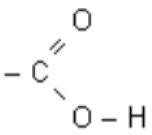
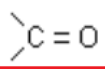
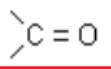
- soit en formant deux liaisons simples et une liaison double ou en formant une liaison simple et une liaison triple. Une chaîne carbonée qui est constituée de **liaisons doubles** ou **triples** est dite **insaturée**.

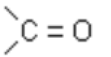
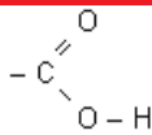
Exemples : le but-2-ène ($\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_3$) et le but-2-yne ($\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$).

III) Groupes caractéristiques

Un groupe caractéristique est un **groupe d'atome**, autre que des atomes de carbone et d'hydrogène, qui **donne à la molécule des propriétés chimiques particulières**, généralement liées à la façon dont ces groupes vont interagir avec d'autres molécules lors de réactions chimiques.

Il faut les apprendre par cœur !!!

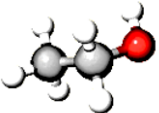
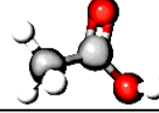
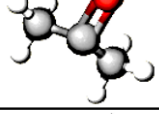
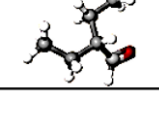
Fonction ou famille →	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique
				
Groupe présent →	Hydroxyle - OH	Carbonyle 	Carbonyle 	Carboxyle

Le groupe  $\text{C} = \text{O}$ est le groupe carbonyle. Le groupe  $\text{C} = \text{O}$ est le groupe carboxyle.

Des molécules qui possèdent les mêmes groupes caractéristiques font partie de la même famille chimique.

Attention : une molécule peut aussi avoir plusieurs groupes caractéristiques !

Exemples :

Famille	Exemple	Formule brute	Formule semi-développée	Formule développée	Modèle moléculaire
Alcool : -OH	Ethanol	C_2H_6O	H_3C-CH_2OH	$\begin{array}{c} H & O-H \\ & \\ H-C & -C-H \\ & \\ H & H \end{array}$	
Acide carboxyliques : $\begin{array}{c} OH \\ \\ R-C=O \end{array}$	Acide ethanoïque	$C_2H_4O_2$	$H_3C-C(=O)OH$	$\begin{array}{c} H & O \\ & \\ H-C & -C-O-H \\ & \\ H & \end{array}$	
Cétone : $\begin{array}{c} R-C=O \\ \\ R' \end{array}$	Propanone (acétone)	C_3H_6O	$H_3C-C(=O)CH_3$	$\begin{array}{c} H & O & H \\ & & \\ H-C & -C & -C-H \\ & & \\ H & & H \end{array}$	
Aldéhyde : $\begin{array}{c} H \\ \\ R-C=O \end{array}$	2-éthylbutanal	$C_6H_{12}O$	$CH_3-CH_2-\overset{CH_2-CH_3}{\underset{H}{\overset{1}{C}}}-C(=O)H$	$\begin{array}{c} H & H & H & H \\ & & & \\ H-C & -C & -C & -C-H \\ & & & \\ H & H & H & O \end{array}$	

IV) Comment nommer une molécule ?

1) Nomenclature des hydrocarbures et des alcanes

a) Hydrocarbures

Un **hydrocarbure** est une espèce chimique constituée uniquement des éléments chimiques carbone et hydrogène

b) Alcanes













Si tous les atomes de carbone sont liés par des liaisons simples, l'hydrocarbure est un **alcane**. La formule brute d'un alcane linéaire ou ramifié est C_nH_{2n+2} (où n est un entier) et celle des alcanes cycliques est C_nH_{2n} .

Nomenclature des alcanes linéaires :

Le nom d'un alcane linéaire comporte deux parties : un **radical** et un **suffixe** :

Exemple : **pentane**, **éthane**, **octane**...

- Le radical est donné par la longueur de la chaîne (= nombre de carbone) (**voir tableau à apprendre par cœur !**)
- Le suffixe « **ane** » est placé à la suite du radical.

MÉTHANE	CH_4		HEPTANE	C_7H_{16}	
ÉTHANE	C_2H_6		OCTANE	C_8H_{18}	
PROPANE	C_3H_8		NONANE	C_9H_{20}	
BUTANE	C_4H_{10}		DÉCANE	$C_{10}H_{22}$	
PENTANE	C_5H_{12}		UNDÉCANE	$C_{11}H_{24}$	
HEXANE	C_6H_{14}		DODÉCANE	$C_{12}H_{26}$	

Exemple : Écrire la formule semi-développée de :

Éthane : $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$

Propane : $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Pentane : $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Nomenclature des alcanes ramifiés :

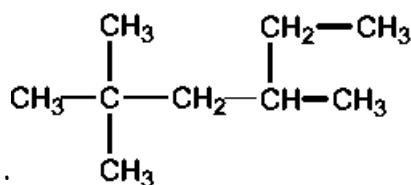
Lorsqu'un alcane est ramifié, il faut regarder quelle est la suite la plus longue d'atomes de carbone car c'est elle qui va donner le nom principal (= chaîne principale)

Les ramifications sont appelées groupes **alkyles**, elles sont formées en retirant un atome d'hydrogène à l'alcane correspondant et reprennent le **même préfixe que les alcanes**, mais avec une terminaison en **-yle**.

Exemple : le groupe $-\text{CH}_3$ est le groupe **méthyle**, $-\text{C}_2\text{H}_5$ **éthyle**, $-\text{C}_3\text{H}_7$ **propyle**, $-\text{C}_4\text{H}_9$ **butyle**

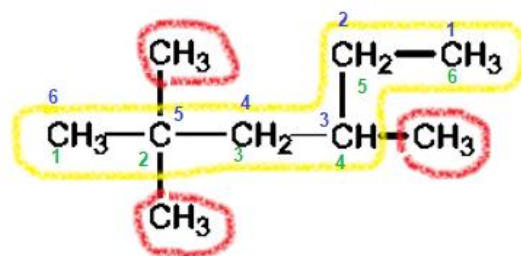
- On numérote alors la chaîne principale de l'alcane de telle sorte que le premier atome possédant une ramification possède le **numéro le plus petit possible**. Les groupes alkyles sont alors placés **dans l'ordre alphabétique**, en enlevant le **-e** terminal, et précédés de leur indice de position.
- Si plusieurs alkyles identiques** sont placés dans la même molécule, leur nombre sera indiqué par un préfixe l'indiquant (**di-**, **tri-**, **tétra-**) et précédé de leurs indices de position.
- On termine par le nom de l'alcane formé par la plus longue chaîne carbonée.
- Les chiffres sont toujours séparés d'une virgule entre eux et d'un tiret entre un chiffre et une lettre.

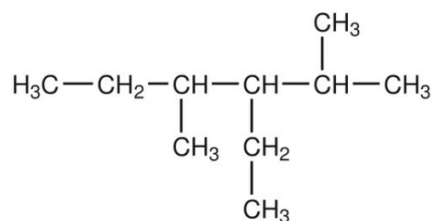
Exemple détaillé :



a) Nom de cette molécule :

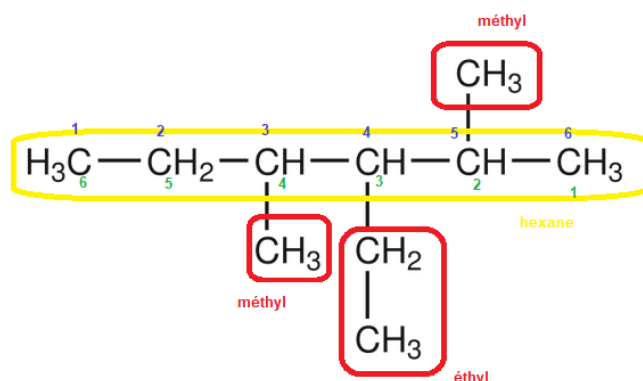
- On repère la chaîne de carbone la plus longue (en jaune). Cette chaîne à 6 carbones donc cet alcane sera un dérivé de l'hexane.
- On numérote cette chaîne de carbone (jaune). Il y a deux possibilités (numérotation bleue ou verte).
- On repère les groupements alkyles (en rouge) c'est-à-dire les ramifications. Ici il y en a trois qui sont identiques : trois CH_3 soit du **triméthyl**
- On sélectionne la numérotation qui mène aux numéros les plus petits possibles.
En bleu on a des **méthyl** en position 3, 5 et 5
En vert on a des **méthyl** en 2, 2 et 4.
On garde donc la solution verte.
- Cette molécule s'appelle donc **2,2,4-triméthylhexane**.





b) Nom de cette molécule

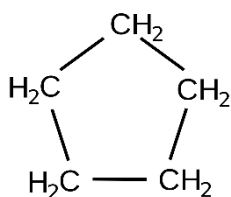
- On repère la chaîne de carbone la plus longue (en jaune). Cette chaîne à 6 carbones donc cet alcane sera un dérivé de l'hexane.
- On numérote cette chaîne de carbone (jaune). Il y a deux possibilités (numérotation bleue ou verte).
- On repère les groupements alkyls (en rouge) c'est-à-dire les ramifications. Ici il y en a deux groupements **méthyl** soit **diméthyl** et un groupement **éthyl**.
- On sélectionne la numérotation qui mène aux numéros les plus petits possibles en pensant qu'on s'intéresse d'abord au groupement **éthyl** qui il vient avant **méthyl** dans l'ordre alphabétique.
En bleu on a **4-éthyl-3,5-diméthylhexane**.
En vert on a **3-éthyl-2,4-diméthylhexane**.
On garde donc la solution verte car le numéro 3 est plus petit que le 4 pour étyl.
- Cette molécule s'appelle donc **3-éthyl-2,4-diméthylhexane**.



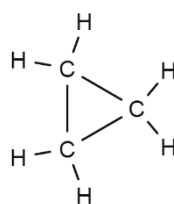
Nomenclature des alcanes cycliques

Le nom d'un alcane cyclique est déduit de l'alcane linéaire correspondant et précédé du préfixe cyclo.

Exemples : cyclopentane



cyclopropane



2) Nomenclature des alcools

Un alcool est une molécule organique dans laquelle un groupe **hydroxyl -OH** est fixé sur un atome de carbone tétragonal qui est lié uniquement à d'autres atomes de carbone et d'hydrogène, sans être rattaché à d'autres groupes caractéristiques ou double liaison.

Pour nommer les alcools, on cherche la **chaîne carbonée la plus longue** contenant l'atome de carbone lié au groupe hydroxyle -OH et on utilise le même préfixe que pour les alcanes, mais avec la terminaison **-ol**.

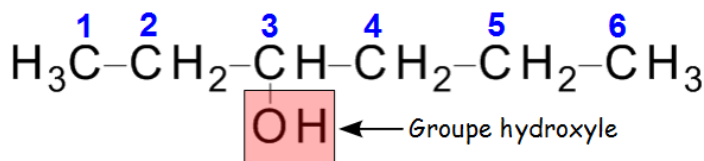
Si le groupe hydroxyle n'est pas en bout de molécule, on numérote la chaîne carbonée de telle sorte que le **groupe hydroxyle ait le numéro le plus petit possible**.

Voici quelques exemples :

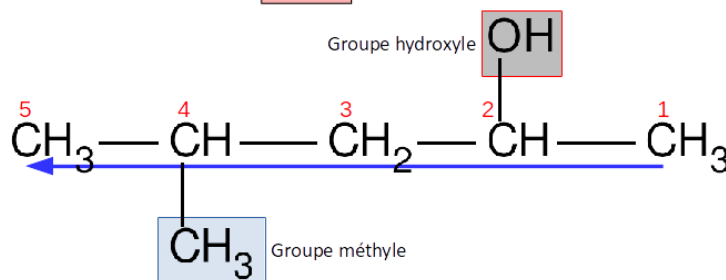
Ethanol ou éthan-1-ol :



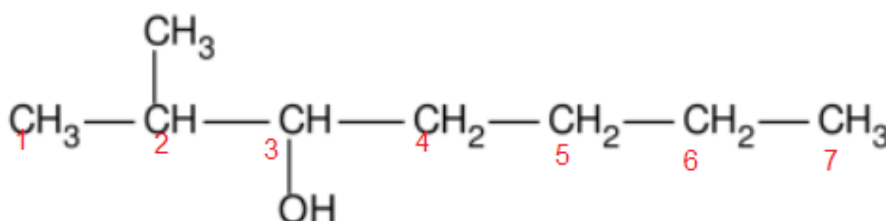
hexan-3-ol :



4-méthylpentan-2-ol :



2-méthylheptan-3-ol :



Note : il est également possible d'indiquer la position 1 si le groupe hydroxyle est en bout de chaîne. Ainsi éthan-1-ol et éthan-1-ol représentent la même molécule !

Si un alcool possède une chaîne carbonée ne comportant que des liaisons simples (on dira qu'il est saturé) et n'est pas cyclique, sa formule brute sera exprimée de type $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$

3) Nomenclature des aldéhydes et des cétones

Les aldéhydes et les cétones ont en commun un groupement constitué d'un atome d'oxygène lié par une double liaison à un atome de carbone qui n'est lié qu'à d'autres atomes de carbone ou d'hydrogène : $\text{C}=\text{O}$. On nomme ce groupe « **carbonyle** ».

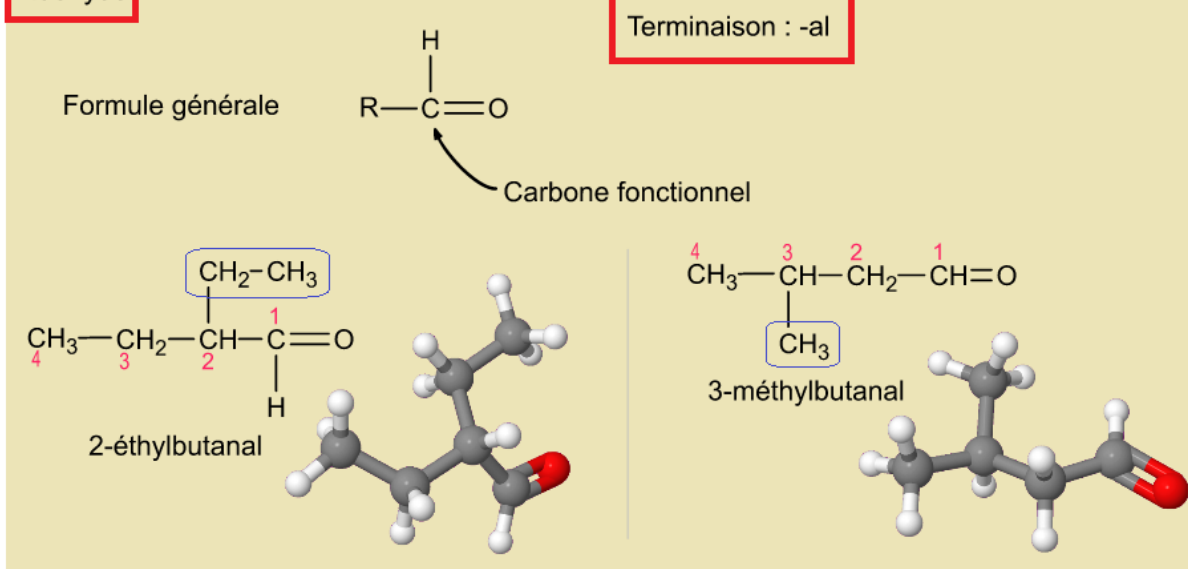
La différence entre les aldéhydes et les cétones vient de la position de ce groupe fonctionnel dans la molécule.

Aldéhyde

Dans les aldéhydes, ce groupe est situé en extrémité de molécule et l'atome de carbone doublement lié à l'oxygène est également lié à un atome d'hydrogène.

Le nom des aldéhydes se termine en « **al** » dont il n'est pas nécessaire de préciser la position puisque l'atome de carbone lié doublement à l'atome d'oxygène débute toujours la numérotation de la chaîne. Le nom dérivera de la chaîne carbonée la plus longue qui se termine avec le groupement carbonyle.

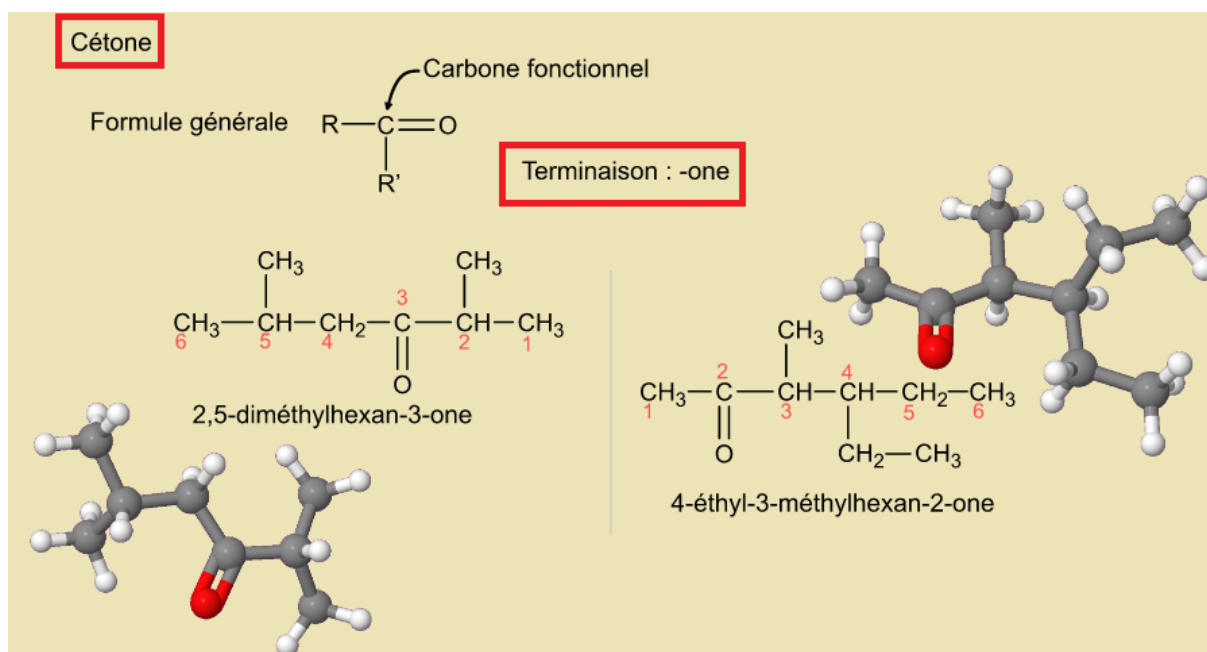
Aldéhyde



Comme pour les alcanes et les alcools vus précédemment, on placera en début de molécule, et par ordre alphabétique, la position et le nom des groupements de ramifications par rapport à la chaîne principale.

Cétone

Dans les cétones, l'atome de carbone fonctionnel (qui possède la double liaison avec l'atome d'oxygène) est lié à **deux autres atomes de carbone** à l'intérieur de la chaîne carbonée la plus longue. Pour nommer la molécule, il faut faire en sorte que cet atome fonctionnel ait le numéro le plus petit possible dans la chaîne la plus longue. **La terminaison de la molécule se fait alors en « one »**. La nomenclature du reste de la molécule suit les règles habituelles :

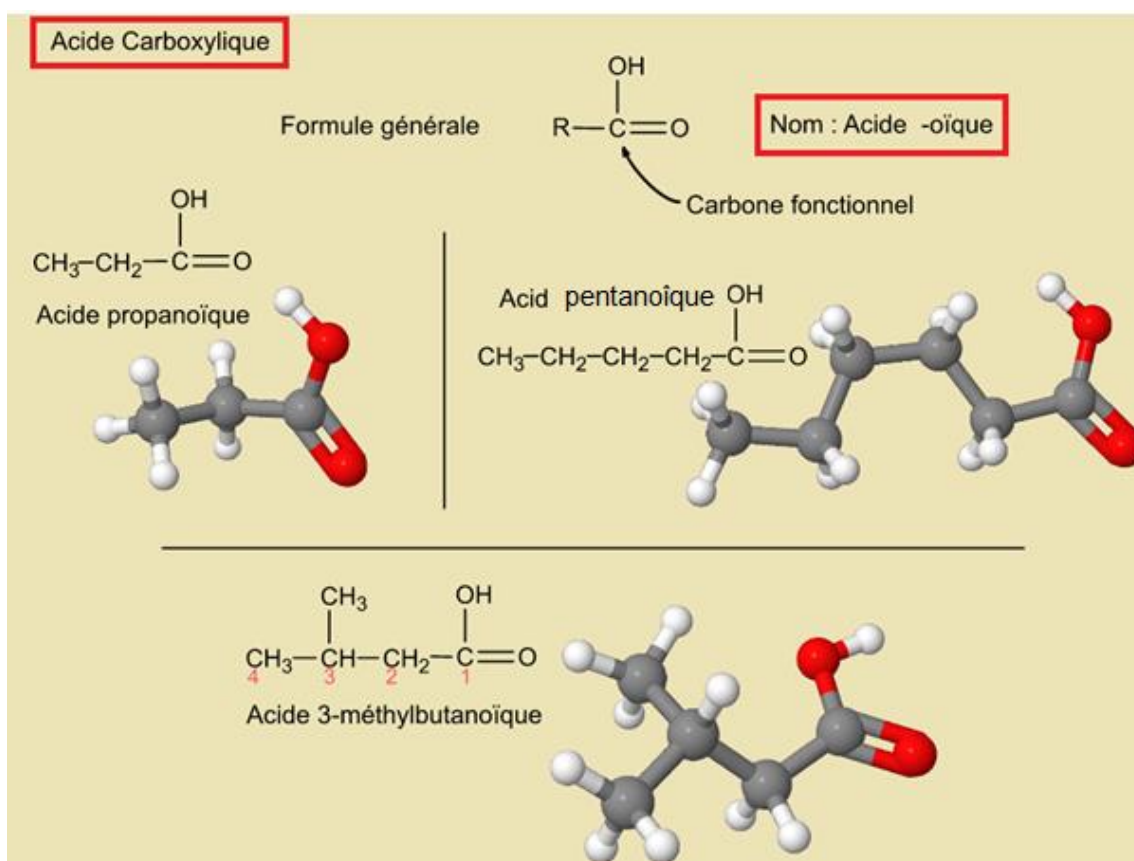


Il est à noter que dans le cas d'une cétone, la terminaison -one est toujours précédée de la position du groupement carbonyle !

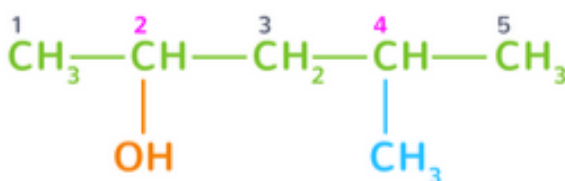
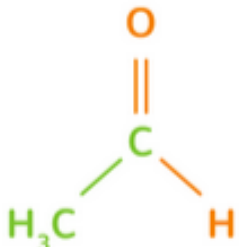
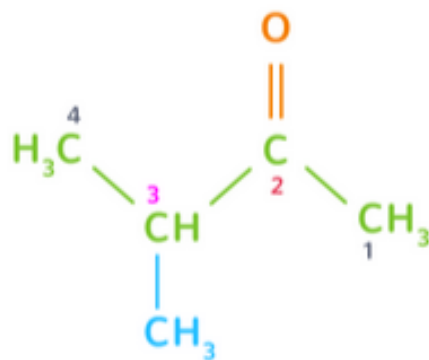
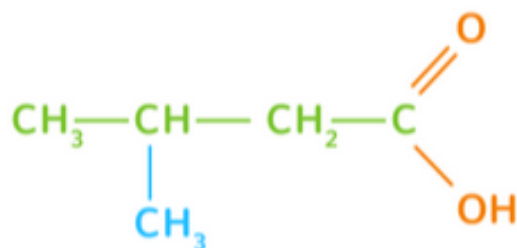
4) Nomenclature des acides carboxyliques

Dans un acide carboxylique il y a également un atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène, mais l'atome de carbone fonctionnel est également lié à un groupement OH (oxygène-hydrogène). On verra souvent ce groupe sous la dénomination **COOH** dans les formules brutes qui font ressortir la nature des molécules et ce groupe est appelé « **carboxyle** ».

Du fait de cette double liaison carbone et groupement OH, l'atome fonctionnel de l'acide carboxylique est toujours situé en bout de molécule. On le nommera donc par rapport à sa chaîne la plus longue avec une **terminaison en « oïque »**. Le nom sera toujours **précédé de la mention « acide »**.

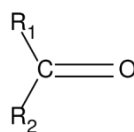
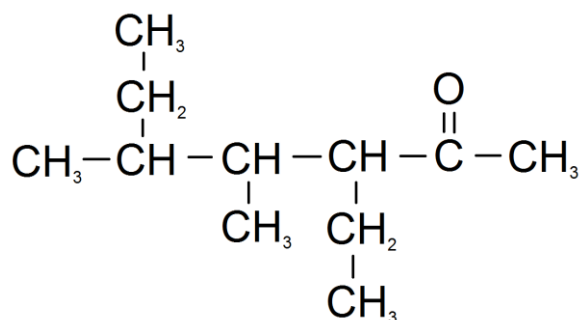


Résumé rapide (apprendre par cœur les 2 premières colonnes) :

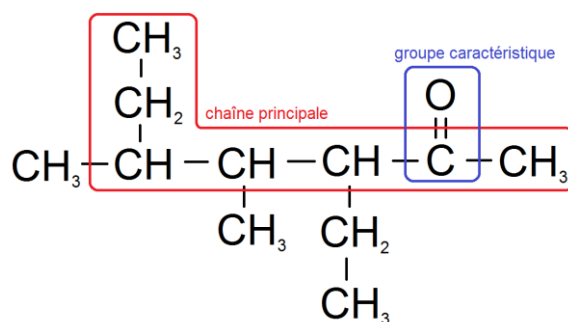
Nombre et formule du groupe caractéristique	Fonction + construction du nom	Exemple
<p>Hydroxyle</p> $R - \overset{\text{—}}{\underset{\text{—}}{\text{O}}} - H$	<p>Alcool</p> <p>Suffixe -ol</p>	 <p>4-méthylpentan-2-ol</p>
<p>Carbonyle</p> $R - \overset{\text{—}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - R'$	<p>Aldéhyde (si R ou R' est un H)</p> <p>Suffixe -al</p>	 <p>Éthanal</p>
<p>Carbonyle</p> $R - \overset{\text{—}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - R'$	<p>Cétone (si ni R ni R' est un H)</p> <p>Suffixe -one</p>	 <p>4-méthylbutan-2-one</p>
<p>Carboxyle</p> $R - \overset{\text{O}}{\parallel} \underset{\text{O}}{\text{C}} - H$	<p>Acide carboxylique</p> <p>"acide" et suffixe -oïque</p>	 <p>Acide 3-méthylbutanoïque</p>

Un exemple un peu plus difficile

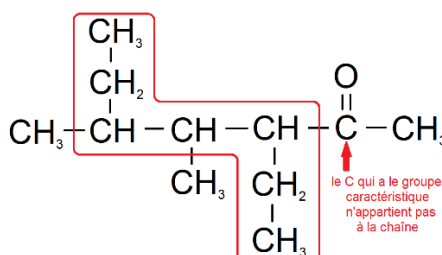
On va chercher le nom de cette molécule :



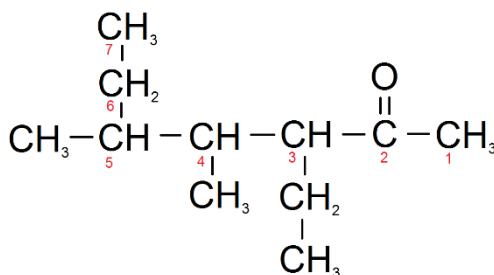
- 1) On reconnaît un groupement du type $\begin{array}{c} \text{R}_1 \\ | \\ \text{C} = \text{O} \\ | \\ \text{R}_2 \end{array}$, c'est donc une **cétone** !
- 2) La plus grande chaîne carbonée contient forcément le C du groupe caractéristique. Ici il est assez facile de voir que c'est la chaîne suivante :



Remarque : la chaîne suivante est aussi longue (7 carbones) mais ne contient pas le C du groupe caractéristique donc ce n'est pas la chaîne principale :



- 3) On numérote les C de la chaîne principale pour que le C du groupe caractéristique ait le plus petit numéro possible, ici c'est simple :



On peut désormais donner un nom temporaire de la molécule correspondant à la chaîne principale.

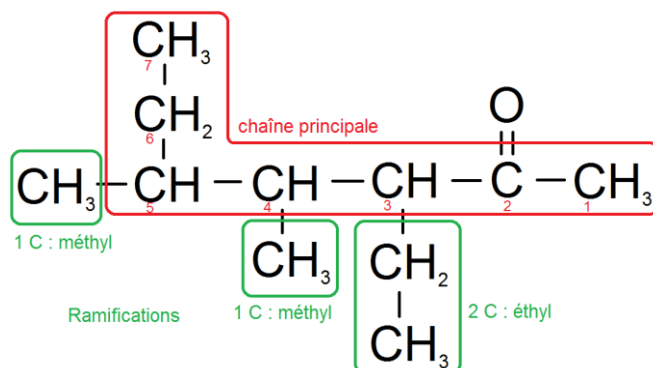
7 carbones, cela donne hept comme préfixe, et comme c'est une cétone on a anone comme suffixe, donc heptanone.

Il ne faut pas oublier de mettre le chiffre du C portant le groupe caractéristique : ici le C numéro 2.

On a donc du **heptan-2-one**.

A ce stade nous n'avons pas encore les ramifications, alors passons à l'étape suivante !

4) On identifie les ramifications avec leur nom : facile, ce sont les C qui ne font pas partie de la chaîne principale :



5) Dans cet exemple on a deux groupes méthyl sur les C numéro 4 et 5, cela donnera du 4,5-diméthyl (on oublie pas le di car il y en a 2 !!!)

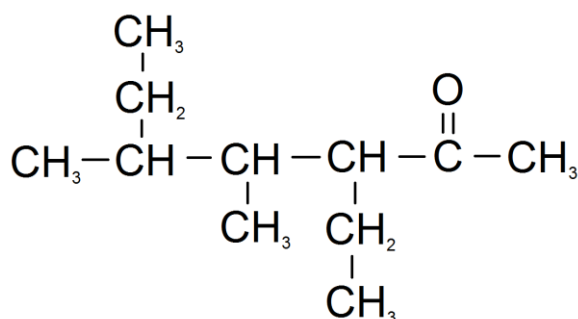
On a aussi un groupe éthyl sur le C numéro 3, ce qui donne du 3-éthyl.

Comme on les met dans l'ordre alphabétique, ce sera d'abord éthyl et ensuite méthyl, ce qui donne

3-éthyl-4,5-diméthyl.

(on n'oublie pas de mettre des tirets entre les chiffres et les lettres, des virgules entre les chiffres, et rien entre les lettres).

6) Il reste encore à rajouter le nom de la chaîne principale : on obtient du



3-éthyl-4,5-diméthylheptan-2-one.

V) Comment détecter les molécules organiques ?

La spectroscopie infrarouge

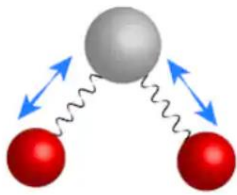
1) Principe général

Pour identifier des molécules organiques, on peut utiliser la technique de la spectroscopie infrarouge. Elle fait appel à une machine qui va illuminer les molécules avec une lumière dont longueur d'onde se situe dans le domaine des infrarouges (de 750 nm à 0,1 mm) et mesurer l'absorption de cette lumière par les molécules. Celles-ci vont en effet absorber les ondes électromagnétiques transmises par la lumière infrarouge et **se mettre à vibrer de différentes façons comme si les liaisons étaient des ressorts.**

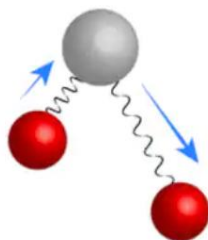
Une liaison covalente peut être modélisée par un petit ressort.



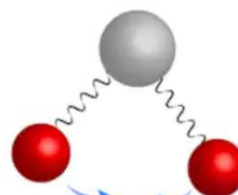
En mesurant le spectre d'absorption infrarouge d'une substance, on va avoir des **informations sur le type de liaisons présentes** (la fréquence de vibration dépend de la raideur des ressorts et de la masse des atomes) et donc la présence ou l'absence de certains groupes fonctionnels.



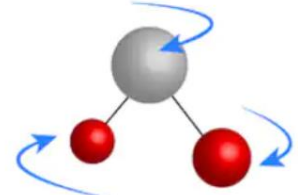
symmetric stretching vibration



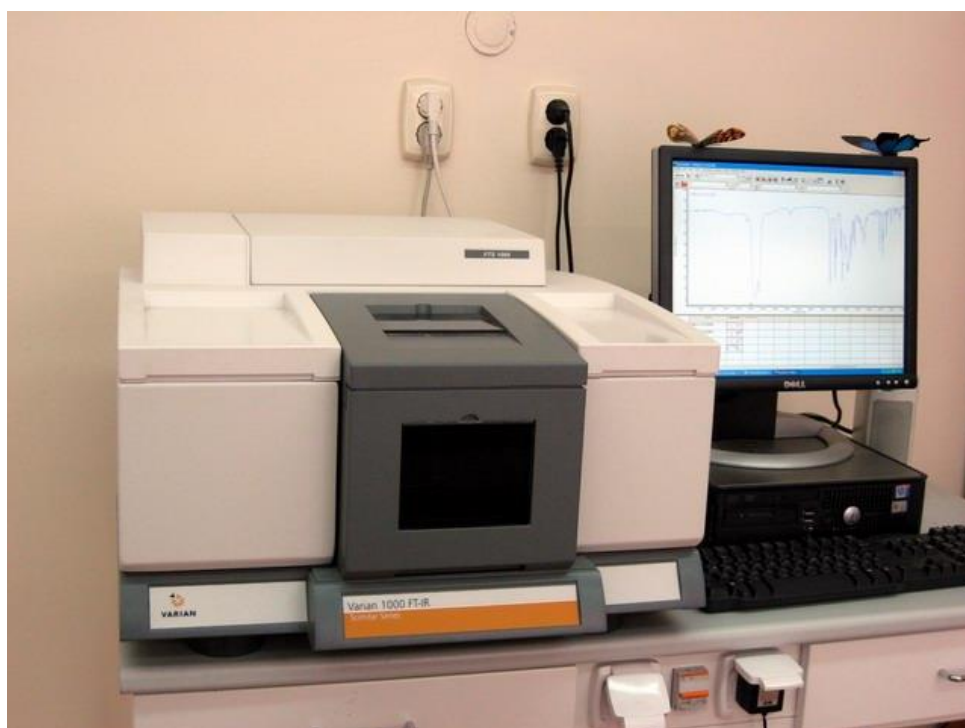
asymmetric stretching vibration



deformation vibration



rotation



2) En pratique

On envoie une onde électromagnétique à travers l'échantillon à analyser.

Si cette onde à une fréquence correspondant à un mode vibration possible d'une liaison, alors elle est absorbée.

On mesure alors la transmittance T :

Une transmittance de 100 % signifie que l'onde n'est pas absorbée.

Une transmittance de 0 % signifie absorption totale de l'onde.

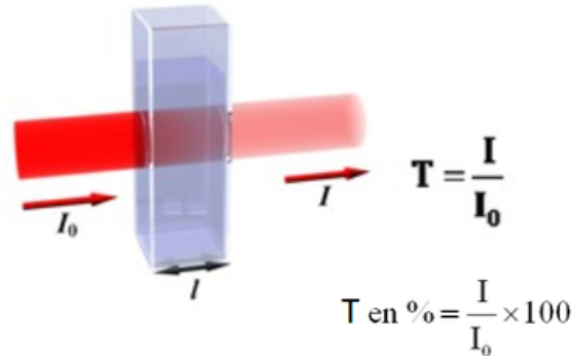
De ce fait, les spectres possèdent des **bandes d'absorption orientées vers le bas**.

Un spectre IR représente la transmittance en fonction du **nombre d'onde σ** des radiations envoyées.

Le nombre d'onde à l'avantage d'être à la fois proportionnel à la fréquence et à l'énergie de l'onde envoyée :

$$\sigma = \frac{1}{\lambda}$$

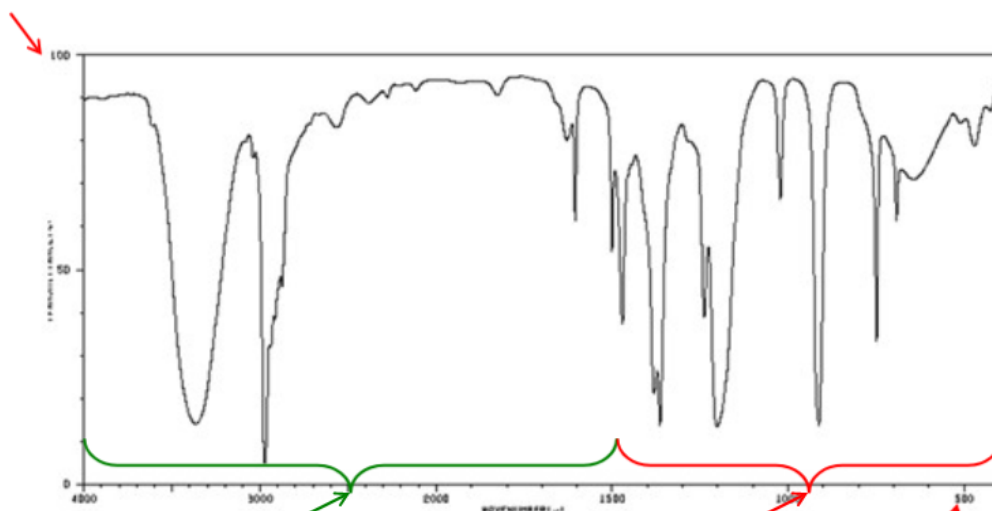
L'unité utilisée en IR pour le nombre d'onde est le **cm^{-1}** (ce n'est pas l'unité SI)



3) Type de spectre obtenu

Lecture d'un spectre

Transmittance



Zone de bandes caractéristiques de certaines liaisons
(Facilement exploitable, à l'aide de tables de données)

« Zone d'empreinte digitale »
(Difficilement exploitable, ou alors en comparaison avec un spectre de référence)

Nombre d'onde (en cm^{-1})
Axe orienté vers la droite

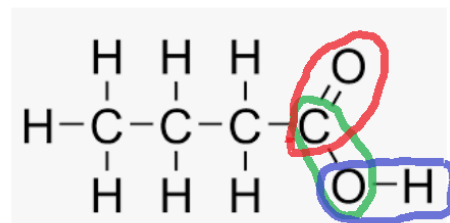
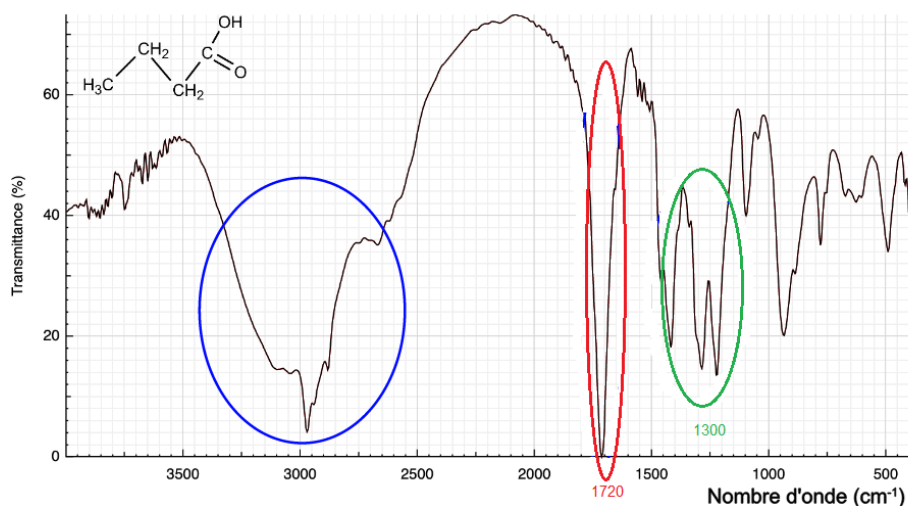
On va donc essentiellement s'intéresser à la zone verte comprise entre 4000 cm^{-1} et 1500 cm^{-1} pour identifier les groupes fonctionnels par comparaison avec des données de référence.

L'analyse des spectres montrent que plus une liaison est forte, plus le nombre d'ondes d'absorption σ est élevé.

Tableau de référence

Liaison	Nombre d'ondes (cm^{-1})	Intensité et commentaire
Liaison OH libre	Entre 3590 et 3650 cm^{-1}	Bande forte et fine
Liaison OH liée (liaison hydrogène)	Entre 3200 et 3600 cm^{-1}	Bande forte et large
Liaison C=O	Entre 1625 et 1820 cm^{-1}	Bande forte et de largeur moyenne
Liaison C=O des acides carboxyliques	Entre 1660 et 1740 cm^{-1}	Bande forte
Liaison C-H de CHO (carbone trigonal)	Entre 2650 et 2800 cm^{-1}	Bande moyenne
Liaison C-H (carbone tétraédrique)	Entre 2800 et 3000 cm^{-1}	Bande forte
Liaison C-O des alcools	Entre 1000 et 1150 cm^{-1}	Bande forte
Liaison OH des acides carboxyliques	Entre 2500 et 3300 cm^{-1}	Bande forte et large
Liaison C-O des acides carboxyliques	Entre 1200 et 1320 cm^{-1}	Bande forte

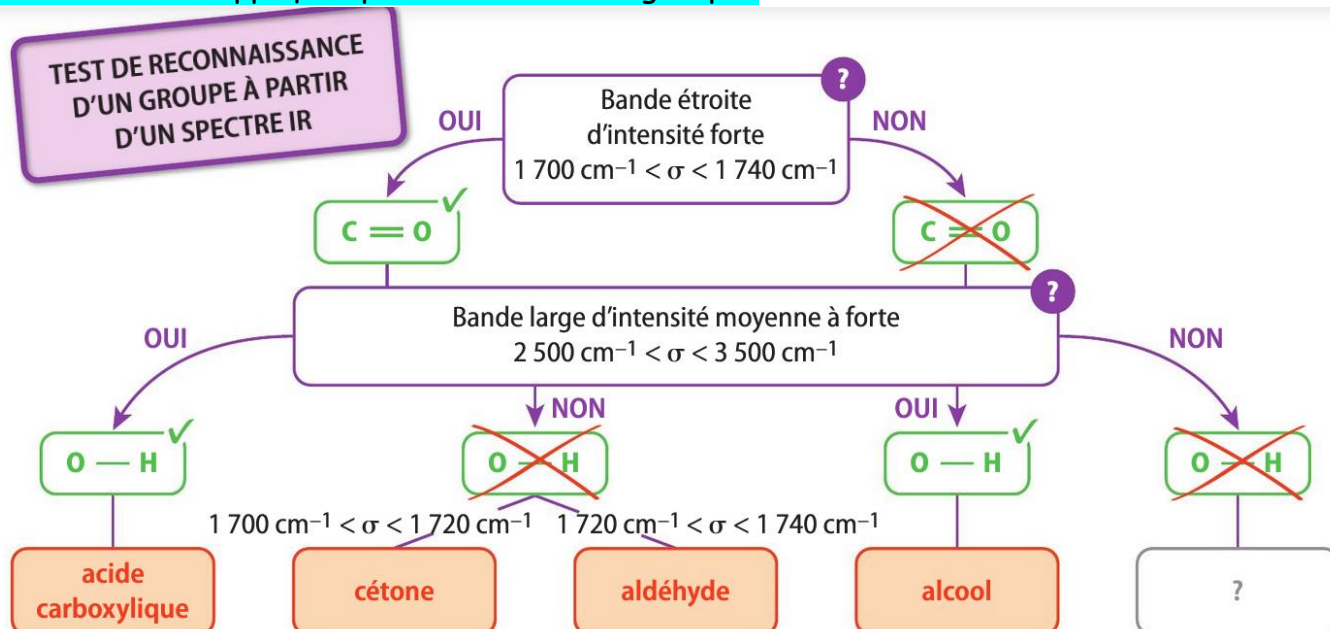
Exemple détaillé : l'acide butanoïque



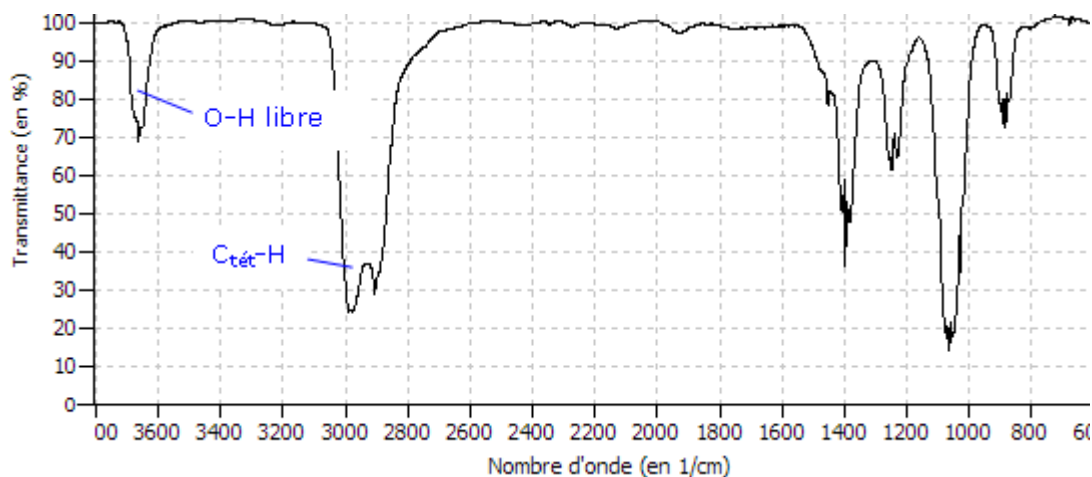
On y reconnaît les 3 bandes correspondant à l'acide carboxylique : **C-O** autour de 1300 cm^{-1} , **C=O** vers 1720 cm^{-1} et **O-H** autour de 3000 cm^{-1} . Cette dernière bande est si large qu'elle cache les bandes des liaisons C-H du reste de la molécule.

Cette technique nous permet de vérifier qu'on a bien un acide carboxylique.

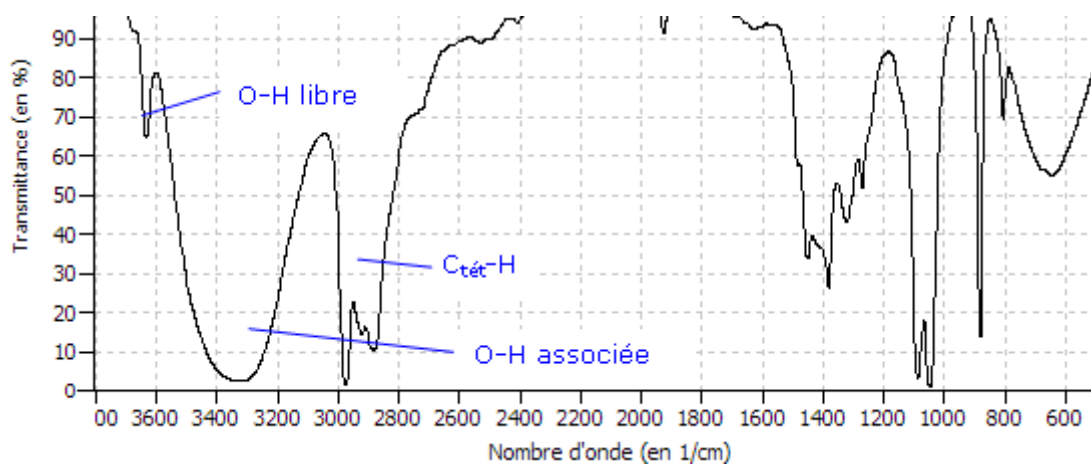
4) Méthode à appliquer pour identifier les groupes



5) Cas particulier : la liaison OH



Ethanol gazeux (ou solution diluée)



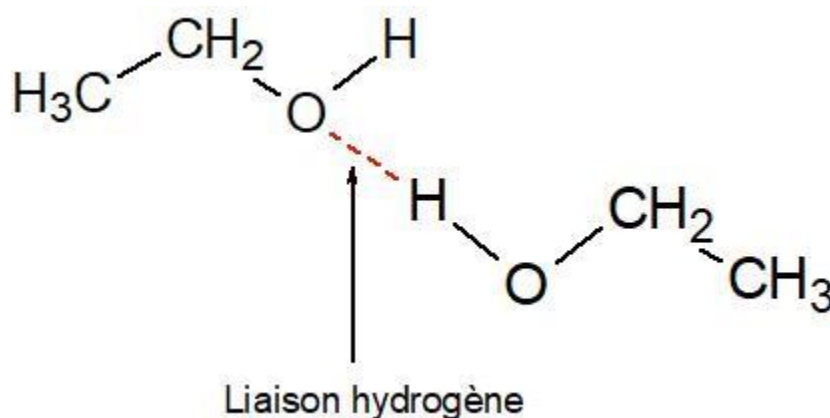
Ethanol liquide (ou phase condensée)

Ci-dessus les spectres infrarouges de l'éthanol à l'état gazeux et à l'état liquide (ou phase condensée = solide ou liquide).

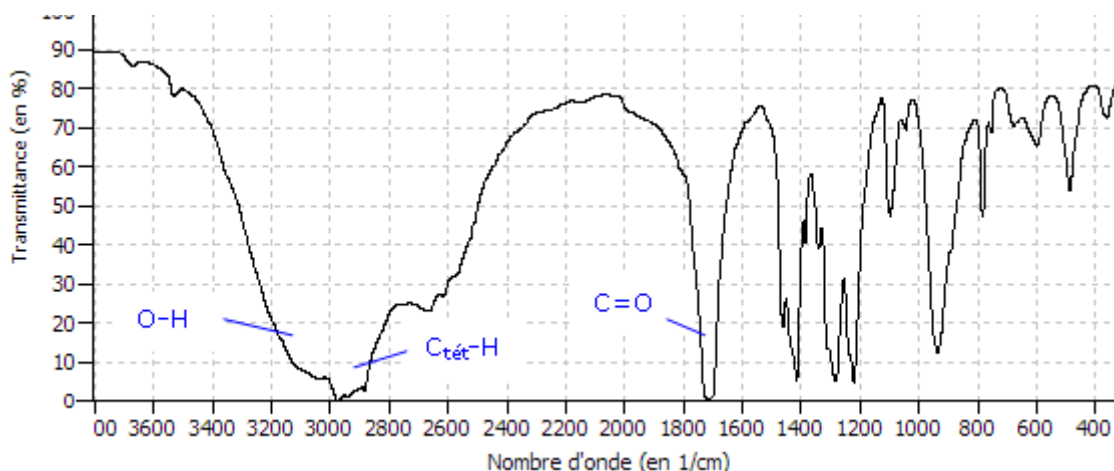
- **À l'état gazeux**, la liaison O-H donne une bande d'absorption forte et fine vers 3620cm^{-1} .

À l'état gazeux, il n'existe **pas de liaison hydrogène** entre les molécules d'éthanol et la liaison O-H n'est pas affaiblie, elle est dite libre. Il en est de même lorsque l'alcool est, **en solution, très diluée** dans un solvant ne pouvant établir de liaison hydrogène.

- **À l'état liquide**, la liaison O-H se manifeste par une bande d'absorption forte et large de 3200cm^{-1} à 3400cm^{-1} . **Les liaisons hydrogène** établies entre les molécules d'alcool affaiblissent les liaisons covalentes O-H et conduisent à l'abaissement du nombre d'ondes σ O-H et à un élargissement de la bande. La liaison O-H est dans ce cas dite associée ou liée.



Remarque : Pour les acides carboxyliques en solution relativement concentrée, le déplacement de la bande O-H dû aux liaisons hydrogène est si important que l'on observe le chevauchement des bandes d'absorption des liaisons O-H et C-H conduisant à un aspect très caractéristique du spectre dans le domaine 2600cm^{-1} - 3200cm^{-1} .



Acide butanoïque