

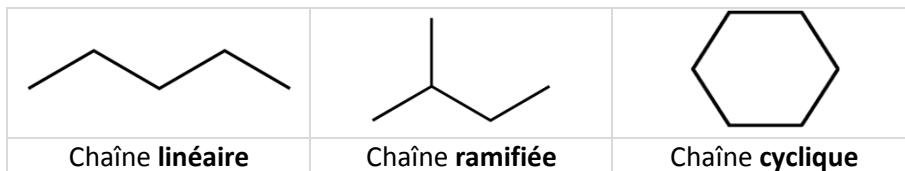
Chapitre 11 Les molécules organiques

I. Les alcanes

1. Définitions

Définitions :

- L'enchaînement des atomes de carbone constituant une molécule organique forme une « **chaîne carbonée** » ;
- Il existe une grande diversité de molécules organiques, dont les chaînes peuvent être classées en trois catégories :
 - **Chaîne carbonée linéaire** : la molécule est constituée d'atomes de carbone liés les uns à la suite des autres sans former de boucle ;
 - **Chaîne carbonée ramifiée** : au moins un des atomes de carbone (appelé carbone ramifié) est lié à trois ou quatre autres atomes de carbone ;
 - **Chaîne carbonée cyclique** : la molécule est constituée d'atomes de carbone liés les uns à la suite des autres en formant une **boucle**.



2. Les alcanes

a) Définitions

Définitions :

- Les **hydrocarbures** sont des molécules constituées uniquement d'atomes de carbone et d'hydrogène : leurs atomes de carbone sont **tétragonaux** c'est-à-dire liés à leurs voisins par quatre liaisons simples en formant un tétraèdre ;
- Un **alcano** est un hydrocarbure acyclique (chaîne linéaire ou ramifiée) dont la formule brute est :

$$\mathbf{C_nH_{2n+2}} \quad (n \text{ est un entier naturel } \geq 1)$$

b) Nomenclature des alcanes

Le **nom** d'un **alcano linéaire**, est constitué d'un **préfixe**, qui indique le nombre d'atomes de carbone contenus dans la chaîne carbonée, suivi du **suffixe** « **ane** » :

Nombre d'atomes de carbone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Préfixe	Méth	Éth	Prop	But	Pent	Hex	Hept	Oct	Non	Déc

Exemples : formules et noms des premiers alcanes linéaires

n	Formule	Nom de l'alcane
1	CH_4	Méthane
2	C_2H_6	Éthane
3	C_3H_8	Propane
4	C_4H_{10}	Butane
5	C_5H_{12}	Pentane
6	C_6H_{14}	Hexane
7	C_7H_{16}	Heptane
8	C_8H_{18}	Octane

Cas des **alcanes ramifiés** :

En retirant un atome d'hydrogène à un alcane linéaire, on obtient un **groupe alkyle** dont le nom s'établit en remplaçant la terminaison « **ane** » par la terminaison « **yle** » :

Groupes d'atomes	– CH ₃	– CH ₂ – CH ₃	– CH ₂ – CH ₂ – CH ₃
Nom du groupe	méthyle	éthyle	propyle

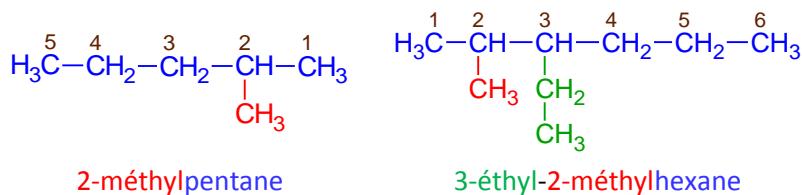
Comment nommer un alcane ramifié ?

La chaîne carbonée **la plus longue** est appelée **chaîne carbonée principale** : son nombre d'atomes de carbone détermine le nom de l'alcane ramifié.

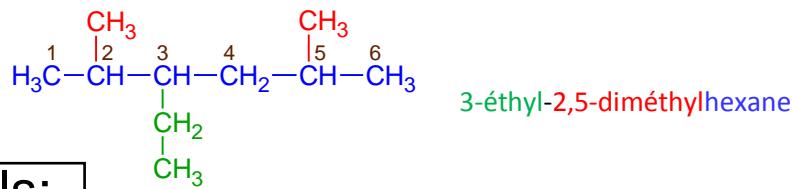
- ❶ Rechercher la chaîne principale puis la numéroter de façon à ce que le **numéro du premier atome de carbone portant une ramification soit le plus petit possible** ;

❷ Nommer la molécule en faisant précéder le nom de l'alcane linéaire, correspondant à la chaîne principale, des noms des groupes alkyles, pris dans l'ordre alphabétique, et précédés de leur indice de position sur la chaîne principale.

Exemples :



Remarque : Lorsque plusieurs groupes alkyles sont identiques, on utilise les préfixes di, tri, tétra mais cela ne change rien à l'ordre alphabétique.



II. Les alcools:

1. Définitions

Définitions :

- Un **alcool** est une molécule organique dans laquelle un atome de **carbone tétragonal** porte le groupe caractéristique « **OH** » et n'est lié à aucun autre groupe caractéristique ni engagé dans une double liaison ;
 - La formule brute d'un alcool à chaîne carbonée saturée acyclique est :



→ Les **alcools** sont des molécules organiques dont la structure dérive simplement de celle des alcanes : un **groupe hydroxyle** « OH » est fixé sur un atome de carbone tétragonal (\Leftrightarrow les 4 liaisons covalentes forment un tétraèdre).

2. Nomenclature des alcools

Le **nom** d'un **alcool** dérive de celui de l'alcane correspondant : on remplace le « **e** » final par la terminaison « **ol** », précédée, si nécessaire, de l'indice de position du groupe hydroxyle dans la chaîne carbonée principale.

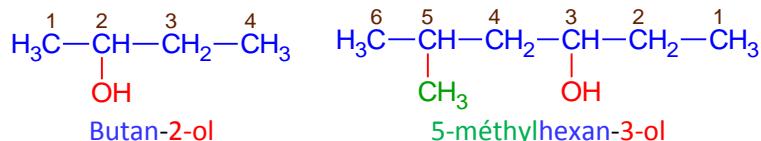
Comment nommer un alcool ?

- ① Repérer la chaîne carbonée la plus longue comportant le groupe caractéristique hydroxyle « OH » ;
② Numéroter cette chaîne carbonée afin que l'atome de carbone portant le groupe caractéristique « OH » (ou carbone fonctionnel) ait le plus petit numéro ;

❶ Identifier les substituants éventuels et les nommer ;

❷ Nommer l'alcool en suivant les mêmes règles que pour les alcanes, mais en remplaçant la terminaison « **ane** » par la terminaison « **ol** », précédée de l'indice de position de l'atome de carbone fonctionnel sur la chaîne principale.

Exemples :



3. Classe d'un alcool

Définitions :

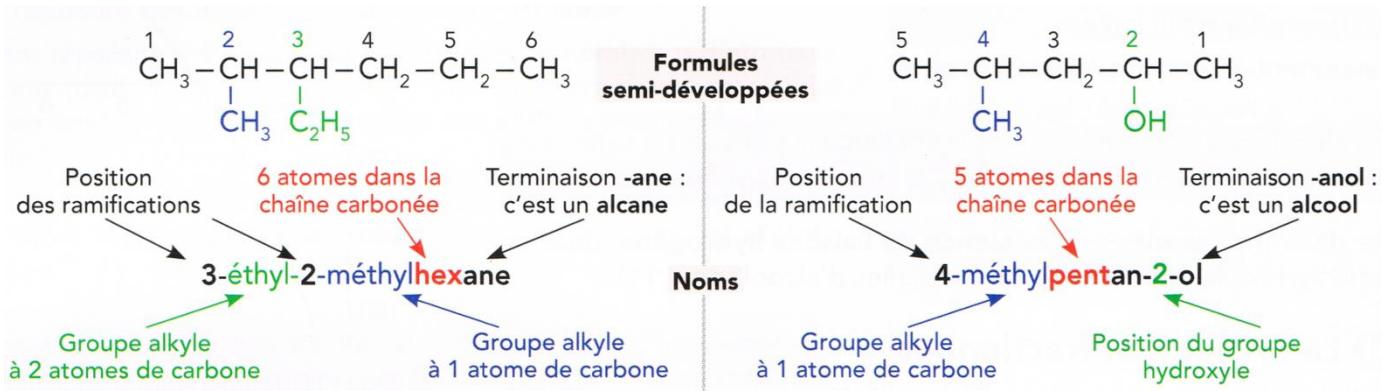
Suivant la position du groupe caractéristique « OH » sur la molécule, on range les alcools en **trois classes différentes** :

- Un alcool est dit « **primaire** » si l'atome de carbone fonctionnel (\Leftrightarrow carbone qui porte le groupe caractéristique « OH ») n'est lié qu'à des atomes d'hydrogène ou à un seul autre atome de carbone ;
- Un alcool est dit « **secondaire** » si l'atome de carbone fonctionnel est lié à **deux autres atomes de carbone** ;
- Un alcool est dit « **tertiaire** » si l'atome de carbone fonctionnel est lié à **trois autres atomes de carbone**.

Exemples :

Alcool primaire	Alcool secondaire	Alcool tertiaire
$\text{H}_3\text{C} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \text{OH}$ Éthanol	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \text{---} \overset{1}{\text{CH}} \text{---} \overset{2}{\text{CH}_2} \text{---} \overset{3}{\text{CH}_3} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ Propan-2-ol	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} \text{---} \overset{1}{\text{C}} \text{---} \overset{2}{\text{CH}_3} \\ \\ \text{OH} \end{array}$ 2-méthylpropan-2-ol

4. En résumé

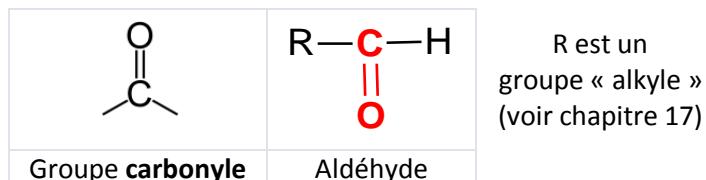


III. Les aldéhydes

1. Définition

Définition :

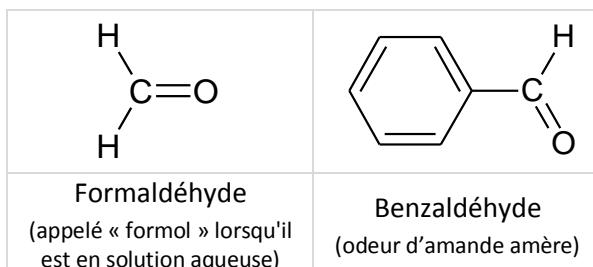
Un **aldéhyde** est une molécule organique oxygénée qui contient le groupe caractéristique « **C = O** », appelé **groupe carbonyle**, directement lié à au moins un atome d'hydrogène :



Remarques :

- ❖ Dans un aldéhyde, le groupe carbonyle est toujours situé à l'extrême de la chaîne carbonée ;
- ❖ La formule semi-développée générale d'un aldéhyde est : **RCHO** ou **R-CHO**.

Exemples :



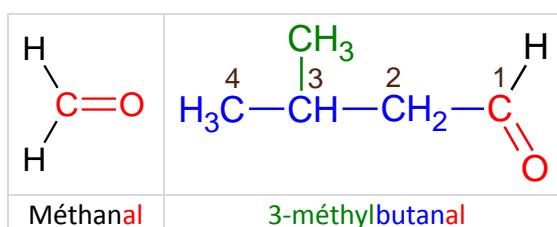
2. Nomenclature

Le **nom d'un aldéhyde** dérive de celui de l'alcane correspondant : on remplace le « **e** » final par la terminaison « **al** ».

Comment nommer un aldéhyde ?

- ❶ Repérer la chaîne carbonée la plus longue comportant le groupe caractéristique carbonyle « **C = O** » ;
- ❷ Numéroter cette chaîne carbonée afin que l'atome de carbone portant le groupe caractéristique « **C = O** » (ou carbone fonctionnel), qui se trouve obligatoirement en bout de chaîne, porte le numéro 1 ;
- ❸ Identifier les substituants éventuels et les nommer ;
- ❹ Nommer l'aldéhyde en suivant les mêmes règles que pour les alcanes, mais en remplaçant le « **e** » final par la terminaison « **al** ».

Exemples :

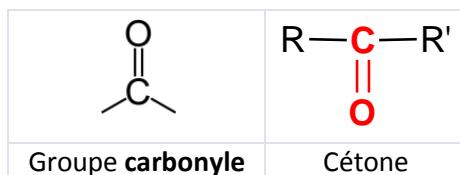


IV Les cétones

1. Définition

Définition :

Une **cétone** est une molécule organique oxygénée qui contient le groupe caractéristique « **C = O** » (groupe **carbonyle**, directement lié à deux atomes de carbone) :

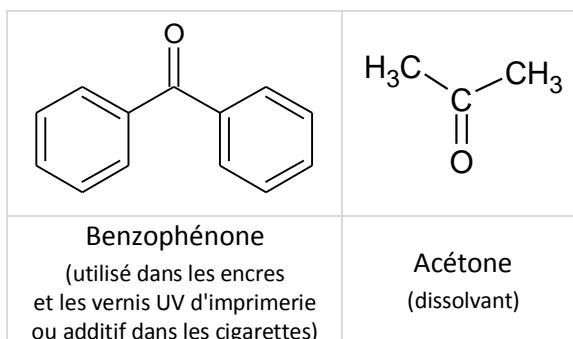


R et R' sont des groupes « alkyles » (voir chapitre 17)

Remarques :

- ❖ Dans une cétone, le groupe carbonyle ne peut pas être situé à l'extrême de la chaîne carbonée, contrairement à un aldéhyde ;
- ❖ La formule semi-développée générale d'une cétone est : **RCOR'** ou **R-CO-R'**.

Exemples :



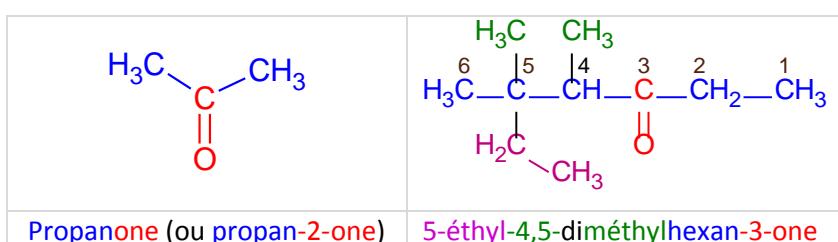
2. Nomenclature

Le **nom d'une cétone** dérive de celui de l'alcane correspondant : on remplace le « **e** » final par la terminaison « **one** », précédée, si nécessaire, de l'indice de position du groupe carbonyle dans la chaîne carbonée principale.

Comment nommer une cétone ?

- ❶ Repérer la chaîne carbonée la plus longue comportant le groupe caractéristique carbonyle « **C = O** » ;
- ❷ Numérotter cette chaîne carbonée afin que l'atome de carbone portant le groupe caractéristique « **C = O** » (ou carbone fonctionnel) ait le plus petit numéro ;
- ❸ Identifier les substituants éventuels et les nommer ;
- ❹ Nommer la cétone en suivant les mêmes règles que pour les alcanes, mais en remplaçant le « **e** » final par la terminaison « **one** », précédée de l'indice de position de l'atome de carbone fonctionnel sur la chaîne principale.

Exemples :

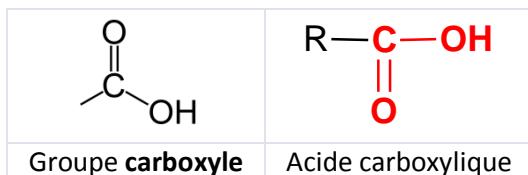


V. Les acides carboxyliques

1. Définition

Définition :

Un **acide carboxylique** est une molécule organique oxygénée qui contient le groupe caractéristique « **-COOH** » (groupe **carboxyle**, directement lié à un atome de carbone) :

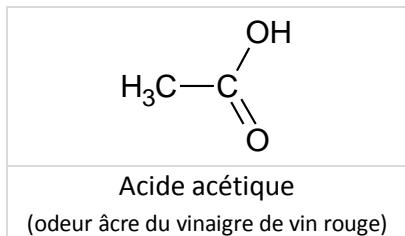


R est un
groupe « alkyle »
(voir chapitre 17)

Remarques :

- ❖ Dans un acide carboxylique, le groupe carboxyle est toujours situé à l'extrême de la chaîne carbonée ;
- ❖ La formule semi-développée générale d'un acide carboxylique est : **RCOOH** ou **R-COOH**.

Exemples :



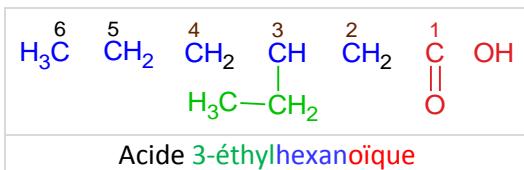
2. Nomenclature

Le **nom d'un acide carboxylique** dérive de celui de l'alcane correspondant : on remplace le « **e** » final par la terminaison « **oïque** » et on le fait précédé par le mot « **acide** ».

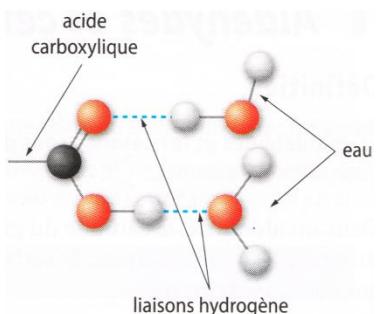
Comment nommer un acide carboxylique ?

- ❶ Repérer la chaîne carbonée la plus longue comportant le groupe caractéristique carbonyle « **-COOH** » ;
- ❷ Numérotter cette chaîne carbonée afin que l'atome de carbone portant le groupe caractéristique « **-COOH** » (ou carbone fonctionnel) ait le plus petit numéro ;
- ❸ Identifier les substituants éventuels et les nommer ;
- ❹ Nommer l'acide carboxylique en suivant les mêmes règles que pour les alcanes, mais en remplaçant le « **e** » final par la terminaison « **oïque** », précédée du mot « **acide** ».

Exemples :



3. Propriétés



- ❖ Les acides carboxylique dont la chaîne carbonée possède au moins 5 atomes de carbone sont très solubles dans l'eau en raison de la formation de liaisons hydrogène entre les molécules d'acide carboxylique et les molécules d'eau (voir ci-contre) ;
- ❖ En solution aqueuse, un acide carboxylique peut libérer des ions hydrogène (H^+), qui s'hydratent pour devenir des ions hydronium ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$), selon la réaction :



→ L'acidité d'une solution aqueuse d'acide carboxylique se détermine par son pH que l'on peut mesurer grâce à du papier pH ou à un pH-mètre ou à un **indicateur coloré** « acido-basique ».

VI. La spectroscopie infrarouge

1) définition

La spectroscopie infrarouge (IR) est dans son principe identique à la spectroscopie UV-visible. Le domaine de longueur d'onde utilisé est l'infrarouge. Les ondes électromagnétiques interagissent avec **les liaisons covalentes de la molécule**.

Pour cette raison la spectroscopie IR permet de repérer la présence de certaines liaisons et d'en déduire **les groupes caractéristiques présents dans la molécule**.

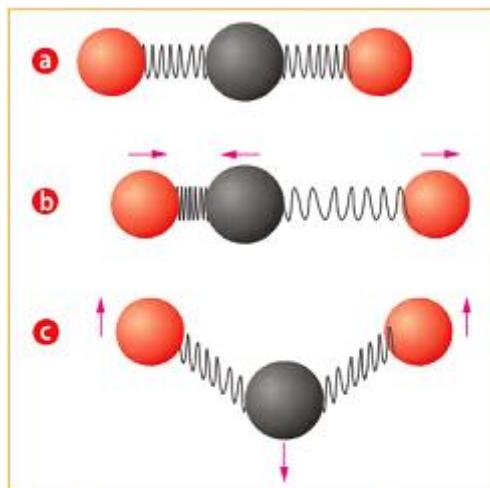


Fig. Une molécule de CO_2 : a au repos ; b en mouvement d'élargissement ; c en mouvement de déformation.

2) le spectre IR d'une molécule

On spectroscopie infrarouge, on utilise par convention l'inverse de la longueur d'onde qu'on appelle le nombre d'onde et qu'on note σ (en m^{-1})

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

En spectroscopie IR, λ varie entre $2,5 \mu\text{m}$ et $25 \mu\text{m}$ et donc σ varie entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} .

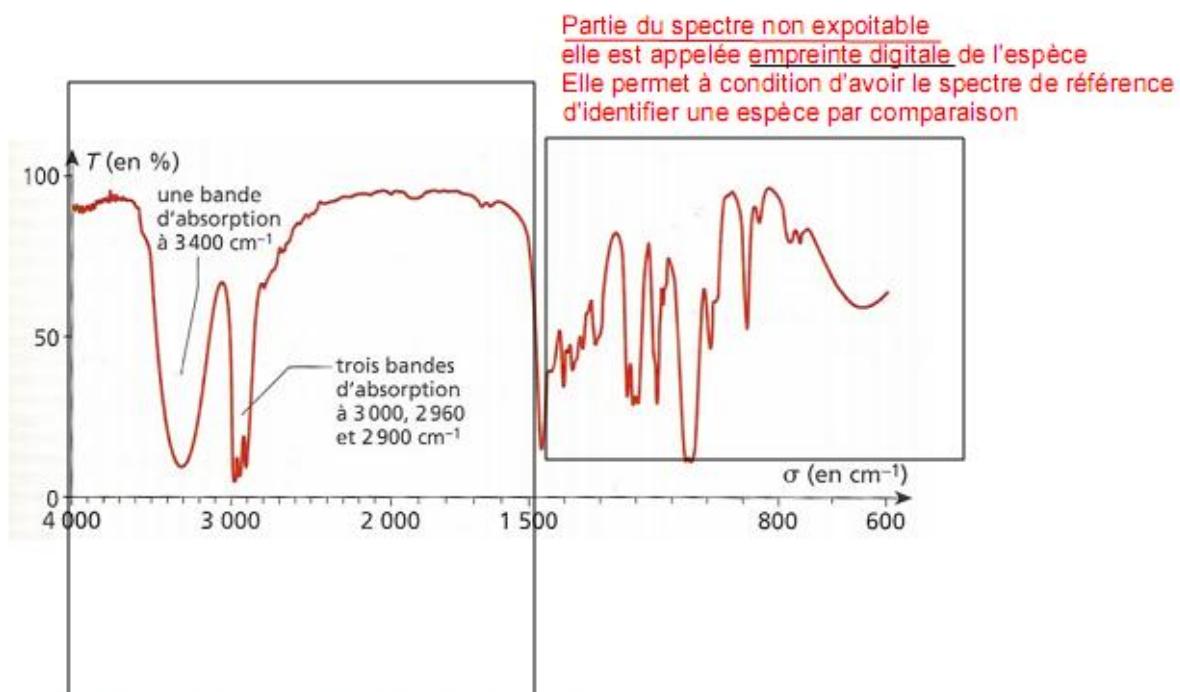
La transmittance T (exprimée en %) est égale au rapport de l'intensité transmise I à travers la substance à analyser sur l'intensité I_0 de la radiation incidente. La transmittance n'a pas d'unité, sa valeur est comprise entre 0 et 100%.

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$$\Delta = -\log T$$

La transmittance et l'absorbance évolue en sens inverse. A un pic d'absorbance correspond un creux de transmittance.

Le spectre IR d'une espèce chimique représente la transmittance T en ordonnée en fonction du nombre d'onde σ en abscisse. Généralement le nombre d'onde est exprimé en cm^{-1} .

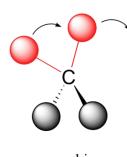
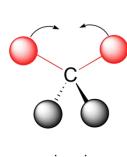
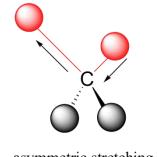
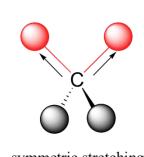


Partie du spectre permettant d'identifier les liaisons

nombre d'onde supérieur à 1500 cm^{-1} .

3) Pourquoi l'espèce chimique absorbe les IR?

Les atomes de la molécule peuvent se déplacer dans toutes les directions. Par exemple les atomes peuvent vibrer de différentes manière : étirements (stretching), symétrique et anti symétrique, cisaillement (scissoring), bascule (rocking),.....



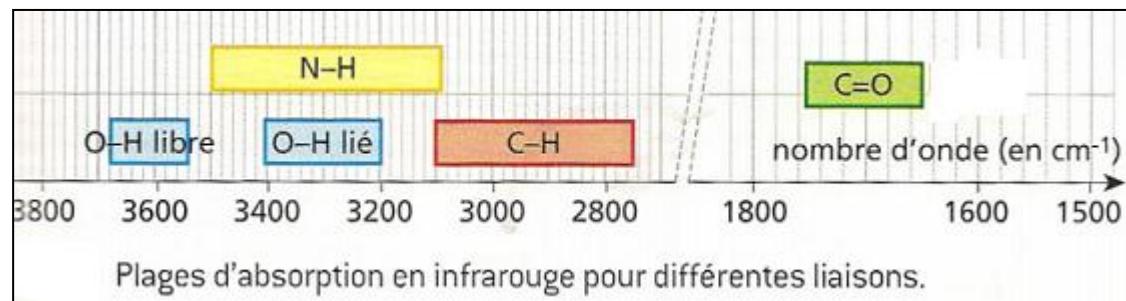
A chaque vibration correspond une énergie E_n . Lorsque les IR correspondant à cette énergie interagissent avec l'espèce chimique, ils sont absorbés, l'absorbance augmente et donc leur transmittance diminue.

4) bandes d'absorption caractéristiques

Pour déterminer le type de liaison correspondant à une bande d'absorption, on relève la position de la bande, puis on s'intéresse à l'allure de la bande (largeur, intensité).

Une table des absorptions caractéristiques des liaisons dans le domaine de l'IR donne les fourchettes des nombres d'onde et l'allure des bandes pour différents types de liaison.

Liaison	nombre d'onde (cm ⁻¹)	Largeur de bande	intensité
O-H libre (gazeux)	3500 à 3700	fine	moyenne
O-H lié (condensé : liquide, solide)	3200 à 3400	large	forte
N-H	3300 à 3500	Variable	variable
C-H	2900 à 3100	large	Moyenne à forte
C=O	1700 à 1800	Fine	forte
C=C	1500 à 1700	variable	Moyenne à forte



Remarque :

La liaison C-C donne une très faible absorption vers 1150 cm^{-1} généralement non exploitable, se trouvant dans le domaine de l'empreinte digitale ($\sigma < 1500\text{ cm}^{-1}$)

5) comment analyser un spectre IR ?

1^{ère} étape :

- repérer les liaisons chimiques (C-H, N-H, C=O etc..) grâce à leurs nombres d'onde. Attention à une liaison peut correspondre plusieurs bandes d'absorption car la liaison peut vibrer de différentes façons (symétrique, cisaillement etc..)

2^{ème} étape :

- rechercher les groupes caractéristiques (hydroxyle OH, carboxyle -COOH etc..) possédant ces liaisons.

Attention certaines liaisons appartiennent à plusieurs groupes. Par exemple la liaison C=O appartient aux groupes carboxyle et carbonyle.

- utiliser éventuellement les valeurs précises des nombres d'onde pour départager les groupes.

6) Mise en évidence de la liaison hydrogène :

En phase gazeuse, les liaisons hydrogènes intermoléculaires sont négligeables car les molécules se déplacent à de grandes vitesses de façon très désordonnée. Par conséquent, les atomes de la liaison O-H ne participant pas aux liaisons hydrogène, la liaison O-H n'est donc pas affaiblie.

En phase condensée (liquide), la liaison O-H est affaiblie car les atomes participent aux liaisons hydrogènes.

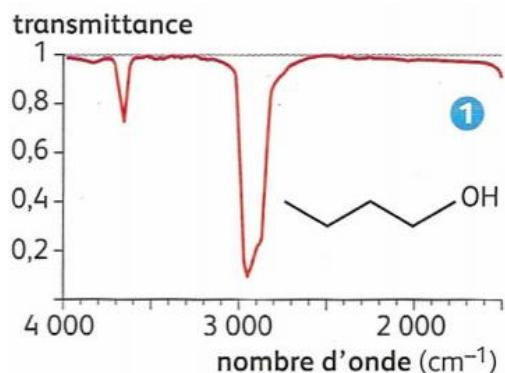
Or plus une liaison est forte, plus le nombre d'onde d'absorption σ est élevé

Cela explique la différence du nombre d'onde d'absorption de la liaison OH en phase condensée et en phase gazeuse.

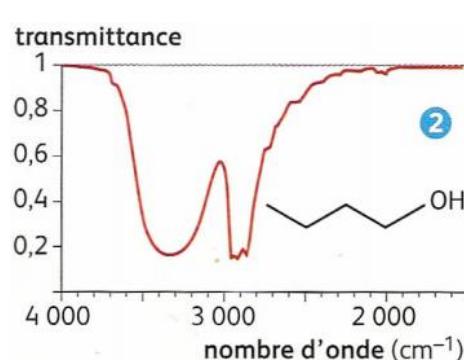
σ O-H libre (gazeux) = 3500 à 3700 cm^{-1}

σ O-H lié (condensé) = 3200 à 3400 cm^{-1}

La présence de liaisons hydrogène au sein d'un échantillon est mise en évidence sur un spectre IR par la présence d'une bande très large et de très forte absorption autour de 3300 cm^{-1} .



Spectre IR du butan-1-ol en phase gazeuse



Spectre IR du butan-1-ol en phase condensé