

Animation :

- reconnaître les fonctions de chimie organique (A. Willm)
- le spectrophotomètre.
- l'animation de M. Labatut [nomenclature](#)
- différents modes de vibration des molécules
- Télécharger gratuitement le logiciel [Specamp](#)
- film sur la RMN et l'IR

**Introduction:** La matière interagit avec les ondes électromagnétiques. La spectroscopie est l'étude quantitative des interactions entre la lumière et la matière. Elle permet de déterminer la nature et la concentration d'espèces chimiques présentes dans un échantillon de matière.

### I) Spectroscopie UV-visible

#### I-1 principe de fonctionnement d'un spectroscope

Clique sur l'[animation le spectrophotomètre](#)

Un spectrophotomètre UV-visible est constitué de:

- une source de lumière blanche
- un **monochromateur** permettant de sélectionner une radiation monochromatique de longueur d'onde précise (sur le schéma la longueur d'onde vaut 551 nm)
- un **séparateur de faisceau**. En sortie du séparateur, un faisceau traverse la cuve contenant le solvant (généralement de l'eau distillée), un second faisceau traverse la solution à analyser.
- la comparaison des 2 faisceaux d'intensités respectives  $I$  (la solution) et  $I_0$  (le solvant) permet de calculer l'**absorbance A de l'échantillon**.
- la courbe  $A = f(\lambda)$  qui représente l'absorbance en fonction de la longueur d'onde est appelée le **spectre de l'échantillon**.

**Vidéo de TP au laboratoire:** [absorbance en fonction de la longueur d'onde](#)

#### I-2 loi de Beer Lambert

**Vidéo de TP au laboratoire:** [loi de Beer Lambert](#)

Clique sur l'[animation](#) le spectrophotomètre.

- 1) Comment évolue l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour une solution de permanganate de potassium? Choisir la concentration  $C_0$  et déterminer la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption.
- 2) Faire varier la concentration, puis tracer la courbe  $A = f(C)$  et déterminer la relation entre l'absorbance  $A$  et la concentration  $C$ . Préciser la formule et les unités de chacun des termes de l'équation.

L'absorbance d'une solution colorée  $A(\lambda)$  est égale à : \_\_\_\_\_

-  $A$  est sans unité.

-  $\epsilon(\lambda)$  : **coefficient d'absorption molaire** qui dépend du solvant de la température et de la longueur d'onde

Unité légale:  $\text{m}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{L}$

-  $L(\text{m})$ : épaisseur de solution traversée

-  $C (\text{mol} \cdot \text{m}^{-3})$ : concentration de la solution

-  $k$  constante pour une longueur d'onde fixe exprimée en \_\_\_\_\_

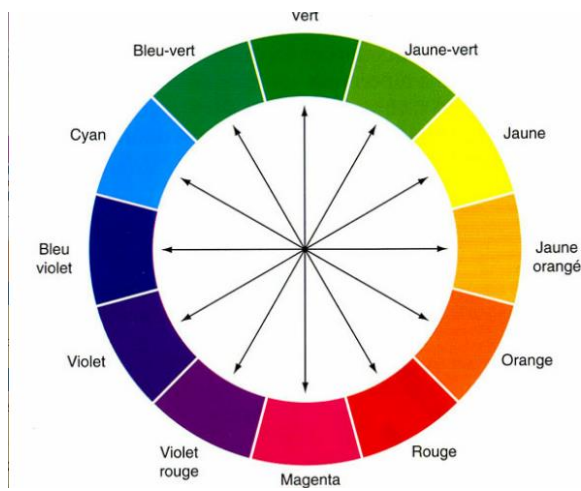
Remarque :

- Si la concentration est trop grande l'absorbance est trop élevée, cette loi n'est plus valable il faut diluer la solution.
- Une espèce chimique est caractérisée en spectroscopie UV-visible par la longueur d'onde  $\lambda(\text{max})$  du maximum d'absorption. C'est cette longueur d'onde qu'on utilisera pour tracer la courbe  $A = f(C)$  !
- on utilisera généralement la relation  $A = k \cdot C$  avec  $k = \epsilon(\lambda) \cdot L$  = constante pour une longueur d'onde fixée.

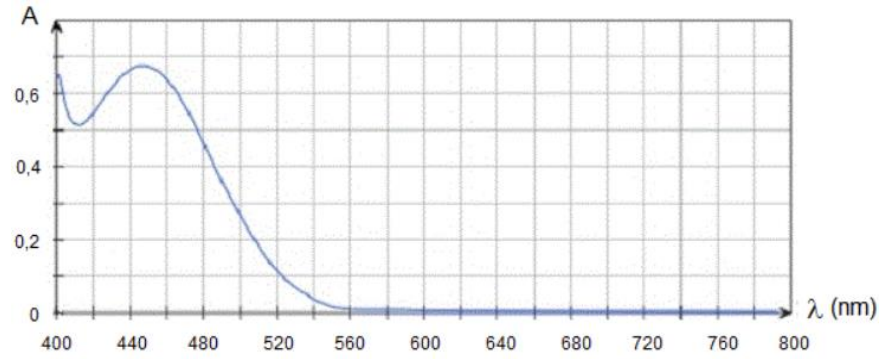
#### I-3 couleur et absorbance d'une solution colorée

Une substance **incolor**e, comme l'eau, n'absorbe aucune radiation visible: son absorbance est nulle quel que soit  $\lambda$ . La couleur d'une espèce est la somme des couleurs complémentaires des radiations qu'elle absorbe.

Le cercle chromatique représente quelques couleurs ainsi que leur couleur complémentaire (au bout de la flèche !)

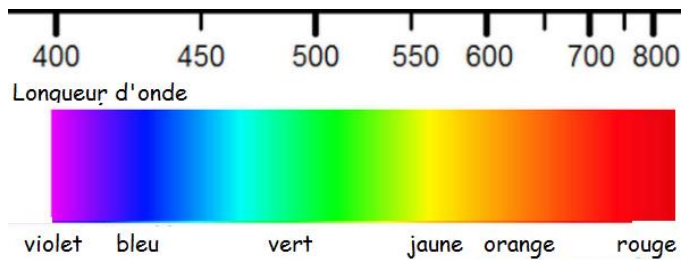


**Exercice:** le spectre d'absorption du dichromate de potassium (compris entre 400 et 600 nm) est le suivant:



Spectre de la lumière blanche

Quelle est la couleur de la solution de dichromate ? Justifier.



## II) Nomenclature des composés organiques

### II-1 groupe caractéristique et fonction

Un composé organique provient d'une **espèce vivante**. Il contient une **chaîne carbonée** et un ou plusieurs groupes caractéristiques. Les molécules possédant le **même groupe caractéristique** ont des **propriétés chimiques similaires**. Ces propriétés définissent la **fonction chimique**.

**Animation:** représentation spatiale des molécules

Donner le nom et la formule du groupe caractéristique de chacune des familles chimiques suivantes :

Famille chimique	acide carboxylique	alcool	aldéhyde	cétone	alcène	Ester	Amine	Amide
groupe caractéristique								

Exemple	acide éthanoinique <chem>CH3-COOH</chem>	2-méthylbut-2-ène <chem>CC(C)=CC</chem>	méthanoate de méthyle <chem>COC(=O)C</chem>	triméthylamine <chem>CN(C)C</chem>	propanone <chem>CCC(=O)C</chem>	N-méthylpropanamide <chem>CCC(=O)NC</chem>	éthanal <chem>CC=O</chem>
famille chimique ?							

Pour s'entraîner, clique sur l'animation [reconnaître les fonctions de chimie organique](#) (A. Willm)

### II-2 rappel sur le nom des 5 premiers alcanes à chaîne linéaire

Les alcanes à chaîne linéaire sont constitués à partir de carbone tétraédrique (lié à 4 autres atomes) et d'atomes d'hydrogène. Leur formule brute générale est  $C_nH_{2n+2}$ . Leur nom doit être connu car on va utiliser le préfixe pour nommer les composés oxygénés.

**Maman** est partie bébé pleure  
Méthane éthane propane butane pentane

Nom	Nombre d'atomes de carbone	Formule brute	formule et nom du groupement alkyle correspondant
méthane	1		
éthane	2		
propane	3		
butane	4		
pentane	5		

## II-3 règles de nomenclature

### II-3a acides carboxyliques

Pour établir le nom des acides carboxyliques

1. on recherche la **chaîne la plus longue** comportant l'atome de carbone fonctionnel
2. on **numérote les atomes de carbone** en minimisant l'indice du carbone fonctionnel
3. on repère les **ramifications alkyle** sur la chaîne principale, on écrit le numéro du carbone portant la ramification, puis un tiret et enfin le nom de la ramification avant le nom de la chaîne principale.
4. Le nom du composé est précédé du mot **acide**. On remplace ensuite le 'e' du nom de l'alcane correspondant par la terminaison 'oïque'.

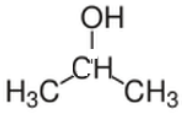
Rappel : dans la formule topologique on ne représente pas les carbones et les atomes d'hydrogène auxquels ils sont liés.

nom	formule développée ou semi-développée	formule topologique
acide méthanoïque (présent dans les venins de certains insectes, fourmi)		
_____ (présent dans l'urine de chat, qui sert de marqueur de territoire!)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	
acide 2-méthylpropanoïque (présent dans certains arbres comme le caroubier)		
_____	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{C} - \text{CH}_2 - \text{OH} \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array}$	

### II-3b alcools

Les règles sont identiques à celles des acides carboxyliques. On remplace ensuite le "e" du nom de l'alcane correspondant par la terminaison 'ol'. Alcool primaire : le carbone fonctionnel est lié à 0 ou 1 atome de carbone ; alcool secondaire : carbone fonctionnel relié à 2 atomes de carbone ; alcool tertiaire : carbone fonctionnel relié à 3 atomes de carbone.

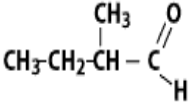
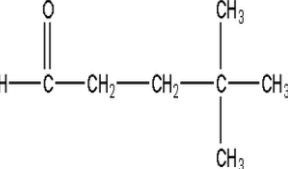
Exemple:

Nom	formule développée	semi-	classe d'alcool	formule topologique
éthanol				
				
2-méthylpropan-2-ol				

## II-3c aldéhydes et cétones

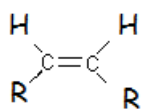
Les règles sont identiques à celles des acides carboxyliques. On remplace ensuite le "e" du nom de l'alcane correspondant par la terminaison 'al' pour les aldéhydes et 'one' pour les cétones.

Exemples:

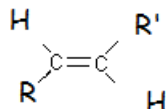
formule semi-développée	nom	formule topologique
	pentan-3-one	
		
	3-méthylbutan-2-one	
		

## II-3d alcènes

Les règles sont identiques à celles des acides carboxyliques. On remplace ensuite le "e" du nom de l'alcane correspondant par la terminaison 'ène'. On rajoute (Z) ou (E) suivi d'un tiret lorsqu'une isomérisation Z ou E existe dans la molécule



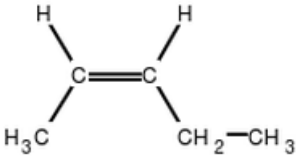
(Z) - alcène



(E) - alcène

Rappel : isomérisation Z, les 2 atomes sont du même côté de la double liaison. Isomérisation E, les atomes d'hydrogène sont de part et d'autre de la double liaison. La molécule doit avoir la formule suivante ACH=CHB avec A et B différents de H !

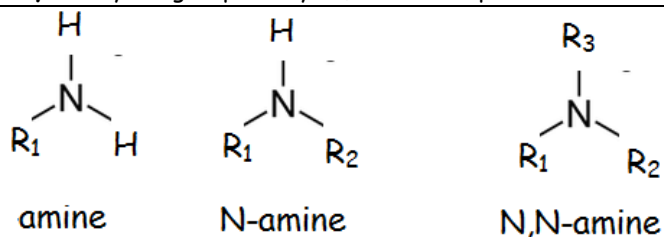
Exemple:

formule semi-développée	nom
	
	(E)-but-2-ène

$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$	
	2-méthylbut-1-ène

### II-3e les amines

Les règles sont identiques à celles des acides carboxyliques. On remplace ensuite le "e" du nom de l'alcane correspondant par la terminaison 'amine'. Lorsque l'atome d'azote est lié à d'autres groupes alkyles, le nom de l'amine est précédé de la mention **N-alkyl**. S'il y a 2 groupes alkyles, le nom est précédé de la mention **N,N-alkyl**.

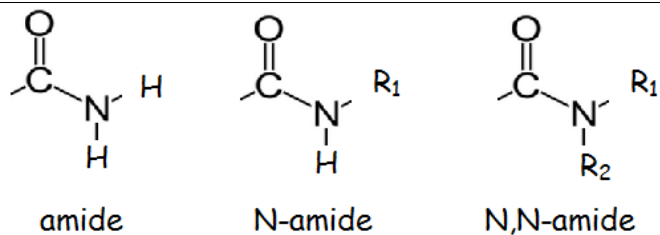


Exemple:

formule semi-développée	nom	formule topologique
	N-méthylmethanamine	
	N-méthylpentan-3-amine	

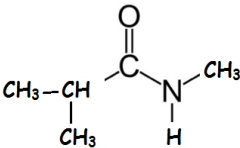
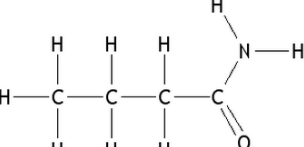
### II-3f les amides

Les règles sont identiques à celles des acides carboxyliques. On remplace ensuite le "e" du nom de l'alcane correspondant par la terminaison 'amide'. Lorsque l'atome d'azote est lié à d'autres groupes alkyles, le nom de l'amide est précédé de la mention **N-alkyl**. S'il y a 2 groupes alkyles, le nom est précédé de la mention **N,N-alkyl**.



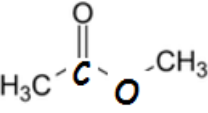
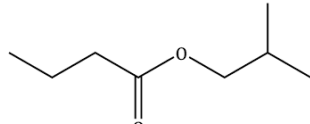
Exemple:

formule semi-développée	nom

	N,2-diméthylpropanamide
	

## II-3g les esters

Les règles sont identiques à celles des acides carboxyliques. La première partie désigne la chaîne carbonée contenant le carbone fonctionnel : on remplace la terminaison oïque de l'acide carboxylique correspondant par "oate". La seconde partie désigne la chaîne liée à l'atome d'oxygène: elle est nommée comme un radical alkyle. Attention ne pas oublier le 'e' à la fin du nom ; en cas de ramification, le carbone 1 est celui qui est relié à l'atome d'oxygène. [Vidéo de nomenclature d'ester](#)

formule semi-développée	formule topologique	nom
		
		propanoate de propyle
		
		3-méthylbutanoate de méthylethyle

Exercice : cliquer sur l'animation de M. Labatut [nomenclature](#) et effectuer les exercices à rendre sous forme de tableau avec la formule topologique, le nom de la famille, et le nom de l'espèce chimique

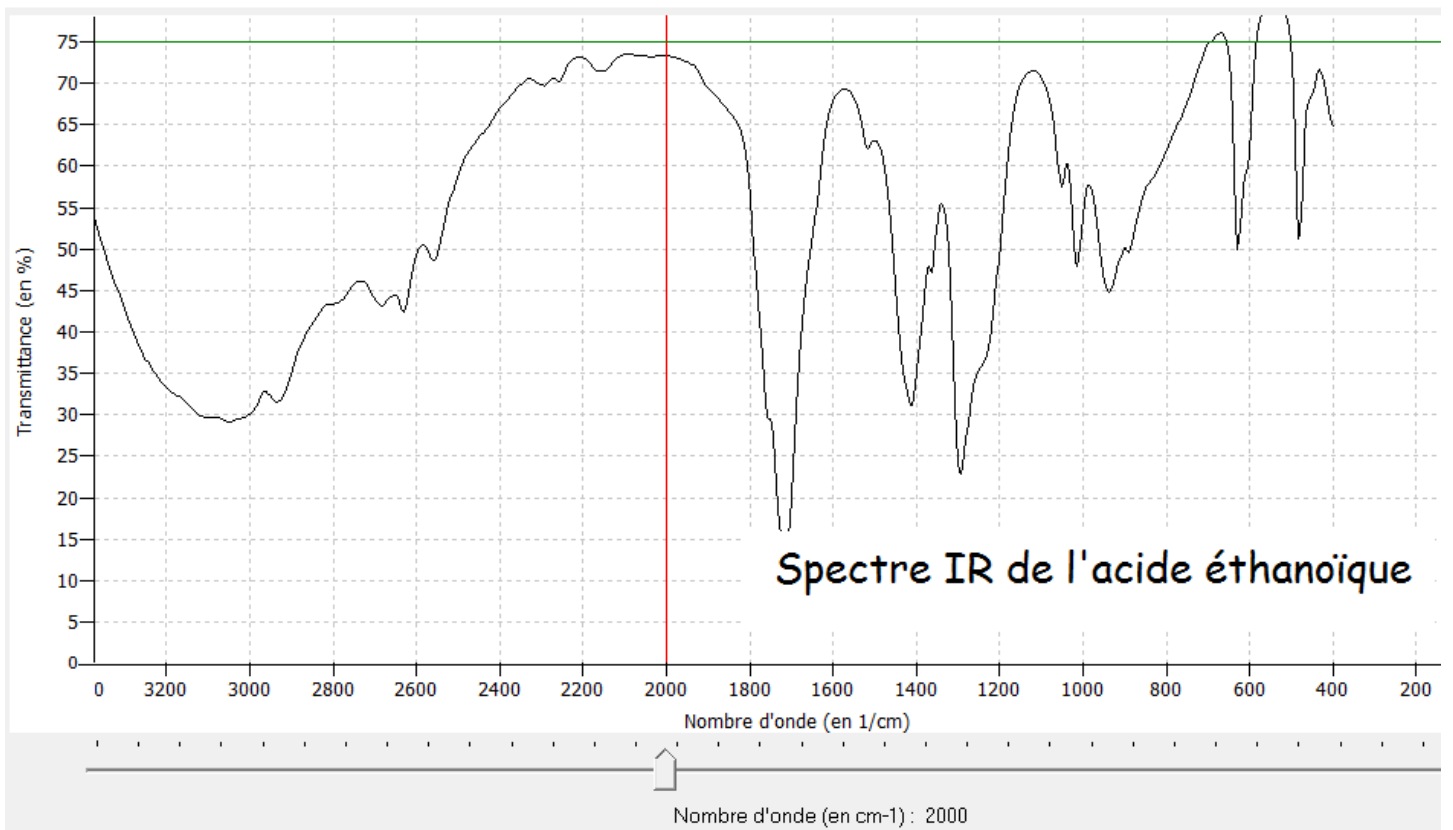
## III) spectroscopie infrarouge

### III-1 définition

La **spectroscopie infrarouge (IR)** est dans son principe identique à la spectroscopie UV-visible. Les OEM 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**. Le domaine de longueur d'onde utilisé est de 2500 nm à 25000 nm.

### III-2 le spectre IR d'une molécule

Télécharger gratuitement le [logiciel Specamp](#)



A compléter avec les mots : transmittance T en %, absorbé, nombre d'onde  $\sigma$  (2 fois).

Le spectre IR d'une espèce chimique représente sa \_\_\_\_\_ en ordonnée en fonction du \_\_\_\_\_ en abscisse. Généralement le \_\_\_\_\_ est exprimé en cm<sup>-1</sup>, il est égal à l'inverse de sa longueur d'onde  $\lambda$  :

$\sigma =$

unité légale :  $\lambda(\text{m}), \sigma(\text{m}^{-1})$

La transmittance T est égale au rapport de l'intensité transmise I à travers la substance à analyser sur l'intensité I<sub>0</sub> transmise par le solvant. La transmittance n'a pas d'unité, sa valeur est comprise entre 0 et 1 :  $T = I/I_0$ .

Une transmittance de 100 % indique que l'IR n'est pas \_\_\_\_\_. Lorsqu'un IR ou une bande d'IR est absorbé alors on observe un pic ou une bande d'absorption orienté vers le bas.

**Exercice** : quelle est la longueur d'onde, en mètre, la plus absorbé par l'acide éthanóïque ? Quelle est la valeur de la transmittance correspondante ?

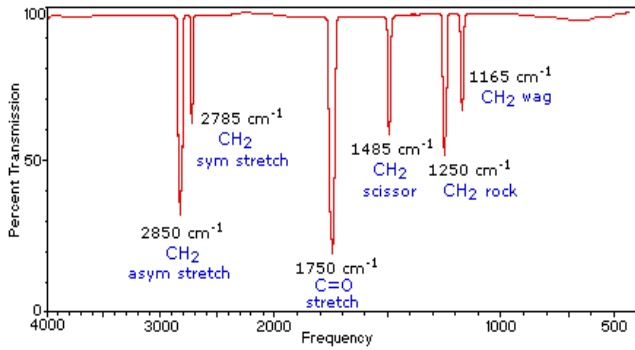
**Exemple vidéo**: [animation du spectre infrarouge du méthanal \(en anglais\)](#).

Le spectre IR du méthanal possède plusieurs pics d'absorption:

- 5 pics correspondant à la liaison entre le carbone et les 2 hydrogènes (notée CH<sub>2</sub> sur le spectre)
- un pic correspondant à la double liaison entre le carbone et l'oxygène.

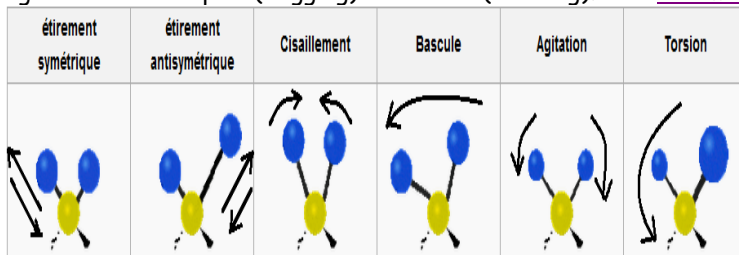
Ce spectre permet d'affirmer que l'espèce analysée et le premier aldéhyde : le méthanal. Sur le graphique sont indiqués les nombres d'onde correspondant aux absorptions les plus importantes donc aux transmittances les plus faibles.

## Gas Phase Infrared Spectrum of Formaldehyde, H<sub>2</sub>C=O



### III-3 Pourquoi l'espèce chimique absorbe-t-elle les IR?

Les atomes de la molécule peuvent se déplacer dans toutes les directions. Par exemple les atomes du groupe CH<sub>2</sub> peuvent vibrer de 6 manières différentes : étirements (stretching), symétrique et anti symétrique, cisaillement (scissoring), bascule (rocking), agitation hors du plan (wagging) et torsion (twisting). Voir [l'animation wikipédia](#).



A chaque vibration correspond une énergie  $E_n$ . Lorsque les IR correspondant à cette énergie interagissent avec l'espèce chimique, ils sont absorbés, leur transmittance est alors faible.

### III-4 Méthode pour analyser un spectre IR

- 1) 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) 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.
- 3) vérifier que toutes les bandes caractéristiques des groupes retenus se trouvent dans le spectre IR
- 4) utiliser éventuellement les valeurs précises des nombres d'onde pour départager les groupes.

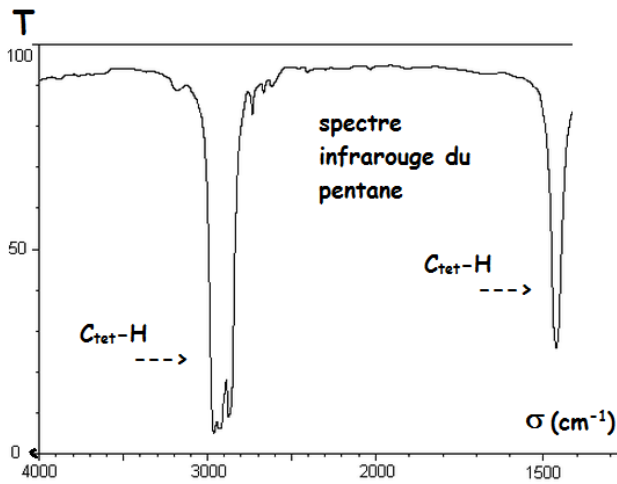
Plus la liaison est forte, plus le nombre d'onde  $\sigma$  d'absorption est élevé

## IV) quelques bandes d'absorption caractéristiques

Les nombres d'ondes utiles à la recherche des groupes caractéristiques sont supérieurs à 1500 cm<sup>-1</sup> (à part quelques exceptions comme pour la liaison C-O, voir tableau ci-dessous). Ceux inférieurs à 1500 cm<sup>-1</sup> ne sont utiles que pour comparer les spectres.

liaison	nombre d'onde (cm-1)	intensité
O-H libre	3580 à 3650	F, fine
O-H lié	3200 à 3400	F, large
N-H	3100 à 3500	M
C <sub>tri</sub> -H (carbone trigonal)	3000 à 3100	M
C <sub>tet</sub> -H (carbone tétraogonal)	2800 à 3000	F
C=O <sub>ester</sub>	1700 à 1740	F
C=C	1625 à 1685	F
C=O <sub>acide</sub>	1680 à 1710	F
C=O <sub>amide</sub>	1650-1700	F
C <sub>tet</sub> -H	1415 à 1470	F
C-O	1050 à 1450	F
C-C	1000-1250	F
C-N	1020-1220	m





### IV-1 bandes C-H

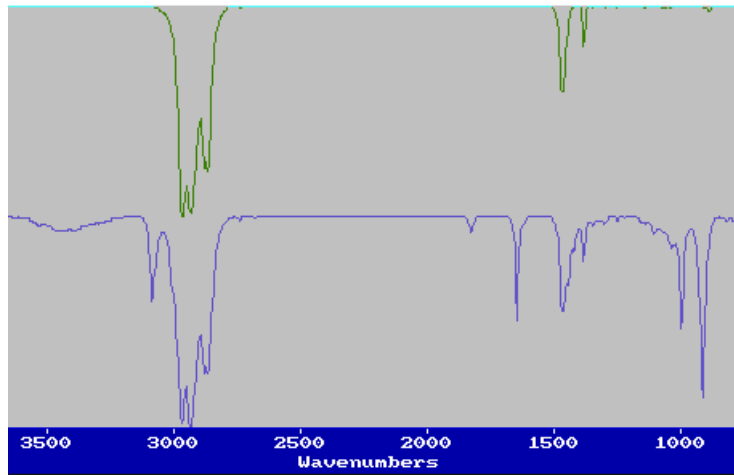
Le nombre d'onde  $\sigma(C-H)$  dépend de la nature du carbone. Par exemple, le carbone tétragonal est présent dans les alcanes comme l'éthane  $H_3C_{tet}-C_{tet}H_3$ . Le carbone trigonal est présent dans les alcènes comme l'éthène  $H_2C_{tri}=C_{tri}H_2$ . D'après le tableau ci-dessus Un alcane présentera deux bandes d'absorption due à la liaison C-H:

- entre 2800 et 3000  $cm^{-1}$  d'intensité forte
- entre 1415 et 1470  $cm^{-1}$  (lié à la déformation angulaire des liaisons C-H) d'intensité forte. Un alcène présentera une bande d'absorption de moyenne intensité due à la liaison  $C_{tri}-H$  comprise entre 3000 et 3100  $cm^{-1}$ .

### IV-2 bande C=C

Elle se retrouve dans les alcènes et également dans les composés aromatiques comme le benzène ou elle est moins forte car délocalisée (le nombre d'onde est alors plus faible  $\sigma(C_{aromat}=C)$  (compris entre 1450 et 1600  $cm^{-1}$ ).

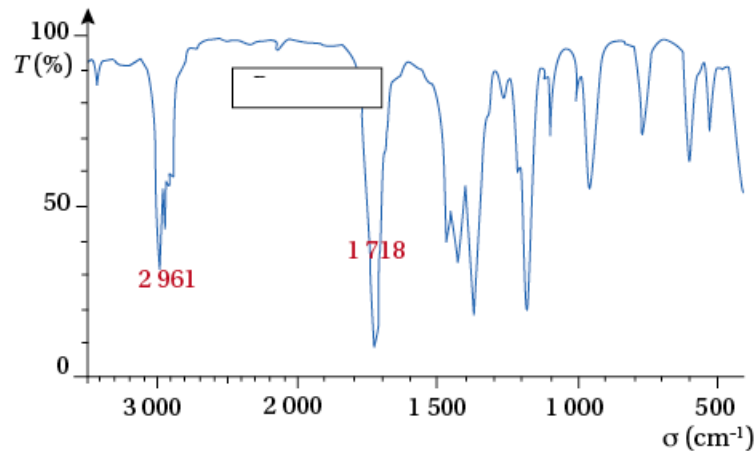
aromatiques comme le benzène ou elle est moins forte car délocalisée (le nombre d'onde est alors plus faible  $\sigma(C_{aromat}=C)$



**Exercice :** voici un extrait des spectres IR de l'hexane et de l'alcène hexène. A l'aide du tableau ci-dessus, repérer les liaisons correspondantes aux différents pics et en déduire quel est l'alcène.

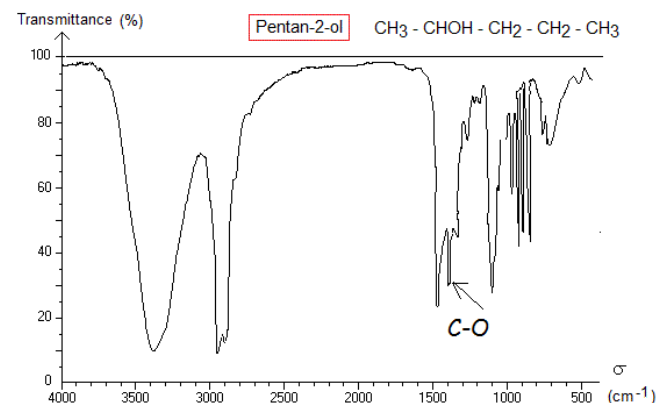
**IV-3 bande C=O:** la liaison C=O est présente dans les **aldéhydes, cétones, esters, amides** etc. ; La position de la bande d'absorption dépend du type de fonction. Elle se situe entre 1650 et 1740  $cm^{-1}$  environ.

Repérer 2 liaisons correspondant à cette cétone. Elle



comporte 4 carbones. Quelle est son nom ?

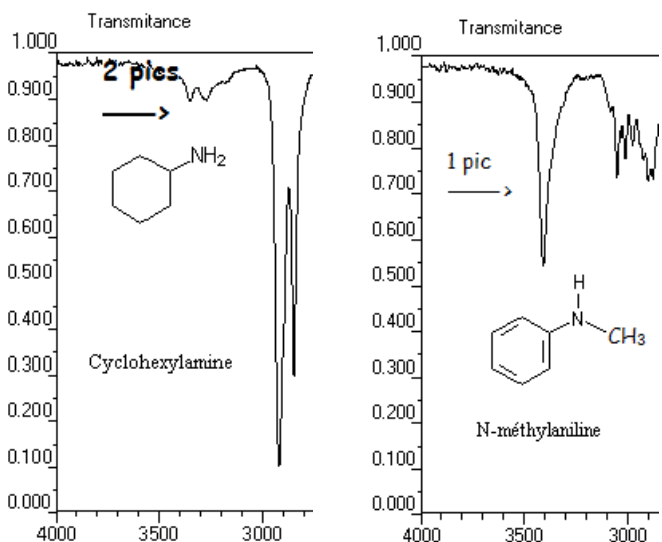
**IV-4 bande C-O:** la liaison C-O est présente dans les **acides carboxyliques, alcools** etc. ; La position de la bande d'absorption dépend du type de fonction (voir tableau). Sa



bande se situe entre 1050 et 1450  $cm^{-1}$ .

**IV-5 bande N-H:** la liaison N-H est présente dans les **amines et amides** etc. ; La position de la bande d'absorption dépend du type de fonction (voir tableau). Sa bande se situe entre 3100 et 3500  $cm^{-1}$ . Remarque, le spectre IR d'une amine  $RNH_2$  donne 2 bandes (ou 2 pics) alors que celui d'une amine  $RNR'H$  ne donne qu'une bande (1 seule liaison N-H).

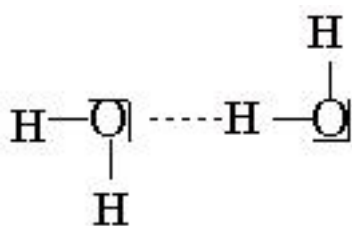
Exemple: spectre IR de la N-méthylamine et du cyclohexylamine



#### IV-6 cas de la liaison O-H

**Rappel:** une liaison hydrogène se forme lorsqu'un atome d'hydrogène, lié à un atome A très électronégatif, interagit avec un atome B, également très électronégatif et porteur d'un doublet non liant (O, N, Cl, F). Cette liaison est notée en pointillé et les trois atomes concernés sont alignés.

Ex : Liaison hydrogène entre deux molécules d'eau :

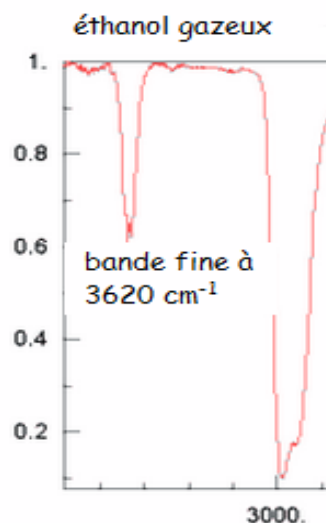
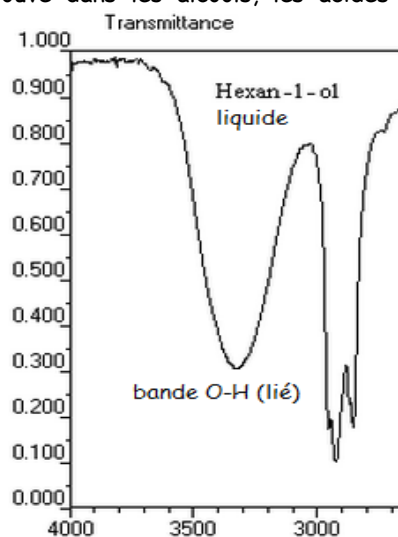


La liaison hydrogène correspond à une interaction électrostatique entre l'atome d'hydrogène, qui porte un excès de charge partielle positive, et le doublet non liant d'un atome O, N ou F.

**Remarques :** Les liaisons hydrogènes sont plus intenses que les liaisons de Van der Waals mais beaucoup moins intense qu'une liaison covalente.

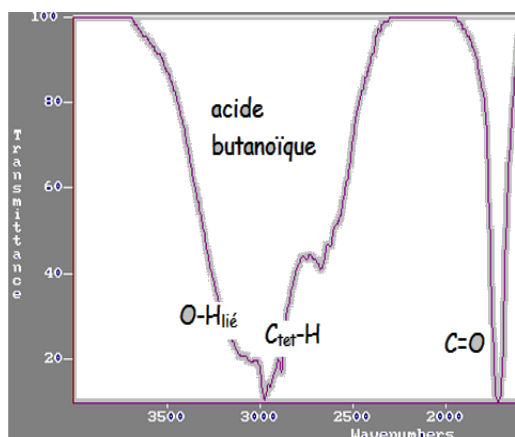
La liaison O-H se trouve dans les alcools, les acides carboxyliques.

Dans le cas des alcools, La liaison hydrogène affaiblie la liaison O-H. Elle a tendance à la rompre. A l'état gazeux il n'existe pas de liaison hydrogène entre les molécules car elles se trouvent à de grandes distances les unes des autres. La liaison O-H est alors appelée O-H<sub>libre</sub>. A l'état gazeux la liaison O-H<sub>libre</sub> donne une bande d'absorption **forte et fine** vers **3620 cm<sup>-1</sup>**. A l'état liquide la liaison hydrogène existe, la liaison O-H est alors notée O-H<sub>lié</sub>. Elle est affaiblie par conséquent le nombre



d'onde est plus faible et la bande plus large. Elle est

comprise entre 3200 et 3400 cm<sup>-1</sup>.



Pour les acides carboxyliques sous forme liquide, l'élargissement de la bande correspondant à la liaison O-H<sub>lié</sub> provoque un chevauchement avec la bande d'absorption C<sub>tet</sub>-H.

#### IV-7 exercice

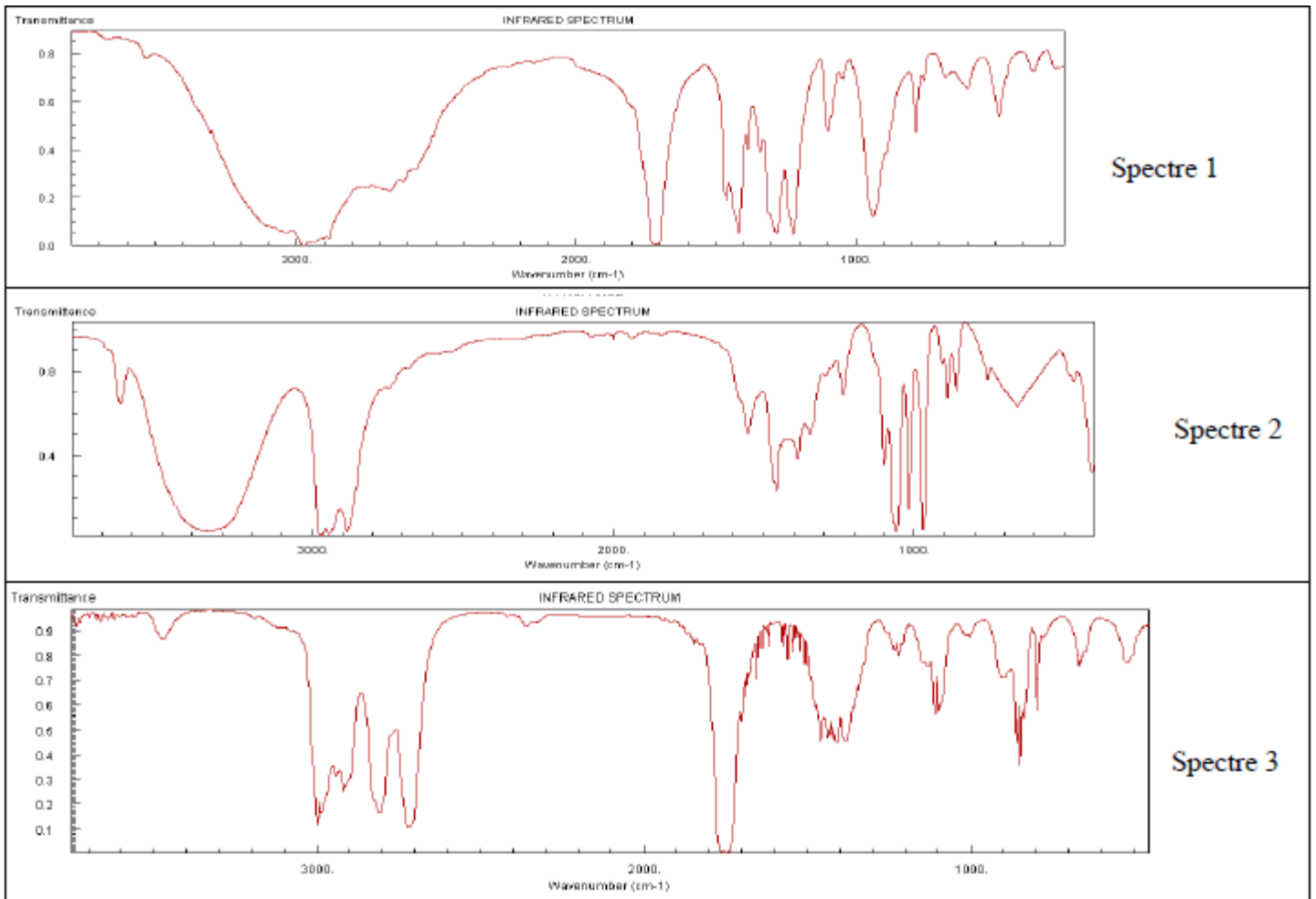
Par oxydation de l'espèce A, on obtient l'espèce B. Lorsque l'oxydant est en excès, l'espèce B est à son tour oxydée en une espèce C.

Espèces	A	B	C
Formules	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{O}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})=\text{O}$
Nom des groupes caractéristiques			
Familles			
Noms			

Données :

liaison	O-H (acide)	O-H (alcool)	C=O	C=C	C <sub>tet</sub> -H	N-H
Nombre d'onde en cm <sup>-1</sup>	2500-3200	3200-3650	1700-1740	1620-1690	2750-2900	3100-3500

Les trois spectres IR des trois espèces sont les suivants :



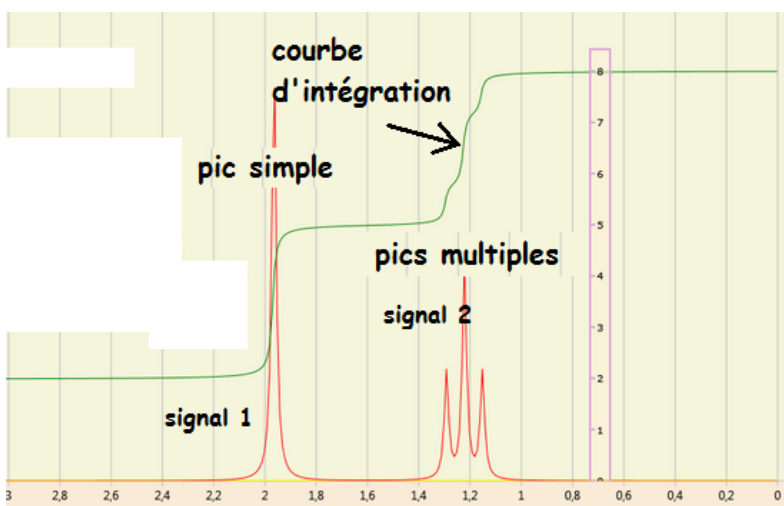
- 1) Dans le tableau entourer les groupes caractéristiques.
- 2) Compléter le tableau.
- 3) Attribuer un spectre à chacune des espèces A, B et C. (à justifier sur les spectres).

## V) la résonance magnétique nucléaire

### V-1 Principe

La **résonance magnétique nucléaire (RMN)** est une technique qui permet d'identifier les **atomes d'hydrogène** d'une molécule ainsi que la **nature** et le **nombre d'atomes** de leur environnement proche. L'appareil émet une **OEM** qui **interagit** avec le noyau des atomes d'hydrogène donc avec le **proton** d'où le nom de **RMN du proton**. On place un échantillon de matière dans un champ magnétique  $B_0$ . On envoie une OEM qui fait **entrer en résonance le proton** qui vibre à une fréquence  $f$ . En retournant à son état initial le proton émet une OEM de fréquence  $f$  qui est enregistrée puis traitée afin d'obtenir le spectre RMN. La RMN permet ainsi de distinguer dans la molécule d'éthanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  les protons du groupe  $\text{CH}_3$  ceux du groupe  $\text{CH}_2$  et celui du groupe  $\text{OH}$ .

### V-2 le spectre RMN



Un spectre RMN est constitué d'un ensemble de **signaux**, constitués d'un ou plusieurs pics fins. Chaque signal correspond à un atome ou groupe d'atomes d'hydrogène. L'environnement de l'atome ou du groupe d'atome influence sur:

- la **position du signal**, repérée en abscisse par une valeur appelée le déplacement chimique  $\delta$ .

Le déplacement chimique  $\delta$  d'un atome d'hydrogène dépend des atomes présents dans son environnement. Son unité est la ppm (partie par million). Il dépend de la fréquence de résonance de l'atome d'hydrogène.

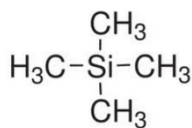
- sa **multiplicité** (nombre de pics le composant)

Une **courbe d'intégration** se superpose au spectre. Elle est constituée de paliers successifs (voir le 5 pour la signification de la hauteur des paliers).

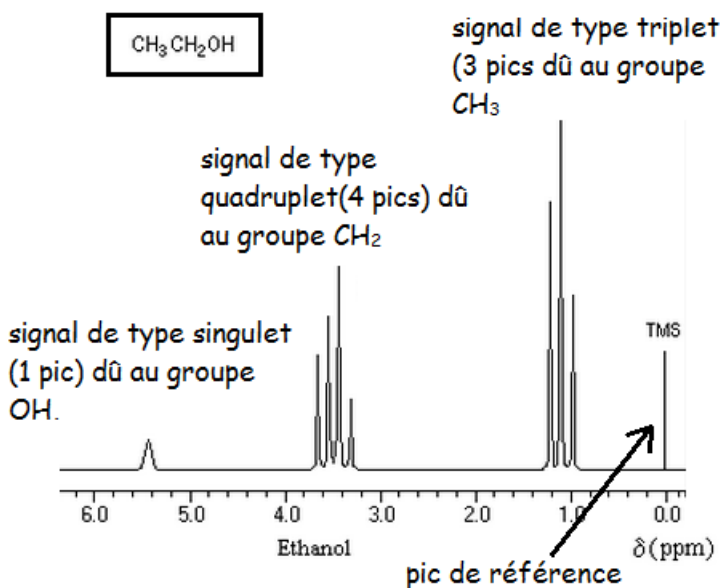
### V-3 le déplacement chimique $\delta$ (ppm)

L'axe des déplacements chimiques est orienté de droite à gauche, généralement de 0 à 15 ppm. A un déplacement chimique nul

$\delta$  (ppm) = 0 correspond les hydrogènes du tétraméthylsilane (TMS):



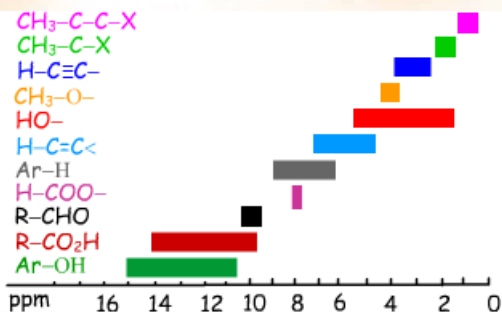
Cette substance est ajoutée à la substance à analyser. Chaque signal constitué d'un ou plusieurs pics traduit une absorption d'énergie par les protons. Ceux-ci entre alors en résonance.



Dans l'éthanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  les hydrogènes du groupe  $\text{CH}_3$  résonnent vers 1,2 ppm, ceux du groupe  $\text{CH}_2$  vers 3,6 ppm et celui du groupe  $\text{OH}$  vers 4,7 ppm.

Le proton du groupe carboxyle  $\text{-CO}_2\text{H}$  résonne entre 8,5 et 13 ppm; celui du groupe carbonyle des aldéhydes  $\text{-COH}$  résonnent entre 9 et 10 ppm. Voir p 595 les déplacements chimiques des protons en RMN.

Quelques déplacements chimiques de protons:



### V-4 les protons équivalents

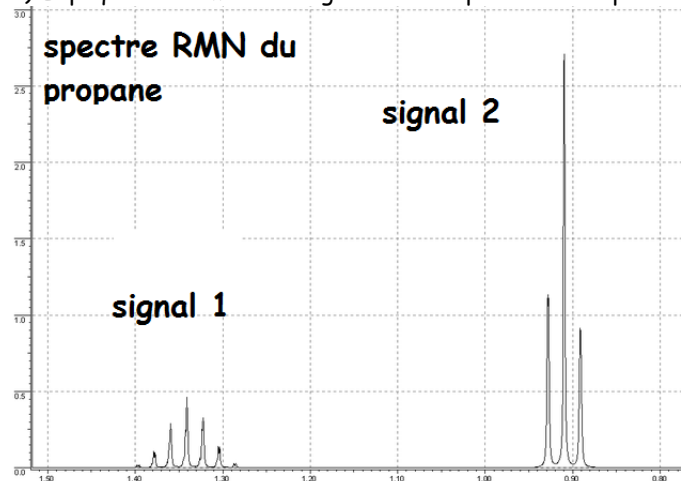
Dans le cas des molécules simples les protons sont dit **équivalents**, ils ne donnent qu'un seul signal sur le spectre Les protons sont équivalents si :

- les protons sont portés par un même atome de carbone.
- si la molécule présente une **symétrie**, les protons qui se correspondent sont **équivalents** (les protons équivalents sont liés à des carbone possédant le même environnement)

### Exercices

1) Dans la molécule de propane  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  quels sont les groupes de protons équivalents ?

2) Expliquer le nombre de signaux correspondant au spectre RMN du propane.



3) Combien de signaux sont générés par la molécule de méthoxyméthane  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ .

### V-5 multiplicité du signal: explication du nombre de pics dans un signal

Dans une molécule les protons liés à un atome de carbone **interagissent** avec les protons portés par les atomes de carbone voisins : il y a **couplage** entre les atomes (les protons équivalents ne se couplent pas). Un proton ou un groupe de protons équivalents ayant **n protons équivalents voisins** (porté par des carbone voisins) donne un signal constitué de **(n+1) pics** appelé **multiplet**. Les protons non liés à des atomes de carbone ne donnent qu'un seul pic (1 singulet). Ils ne peuvent se coupler à d'autres atomes d'hydrogène. Il s'agit des protons des groupes

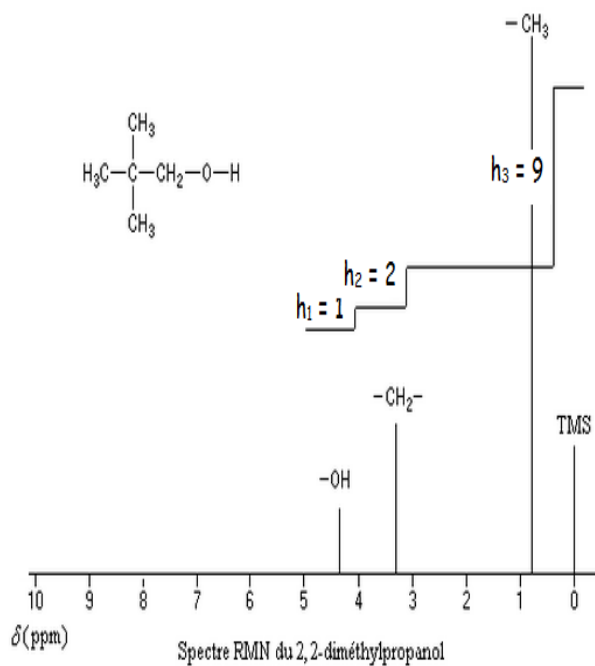
hydroxyle  $\text{-OH}$ , carboxyle  $\text{-CO}_2\text{H}$ , amine  $\text{-NH}_2$  ou  $\text{NH}$ .

**Exercice :** attribuer à chaque signal du spectre de l'éthanol  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  le proton ou le groupe de protons équivalents. Même question pour le propane.

### V-6 intégration du signal: déterminer le nombre de protons équivalents

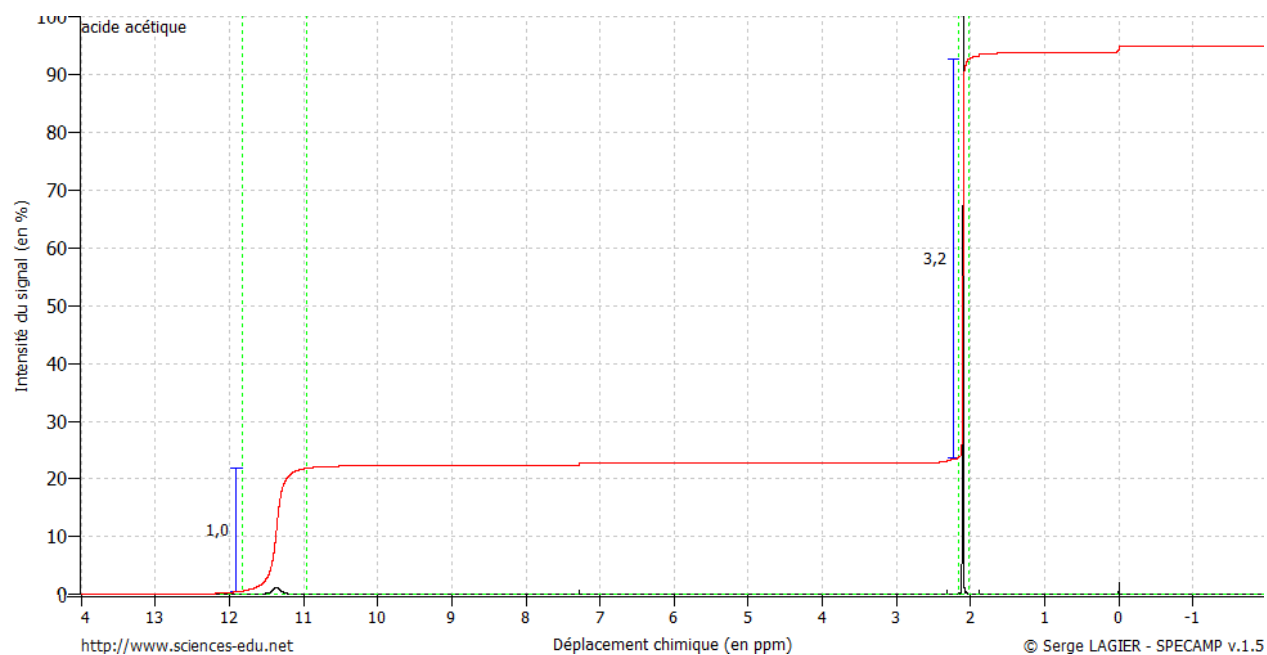
On superpose parfois sur les spectres **une courbe d'intégration**. Elle est constituée de **paliers successifs**. La hauteur séparant deux paliers successifs est **proportionnelle** aux nombre de **protons qui résonnent**.

**Exercice 1** : expliquer la hauteur des paliers de la courbe d'intégration du 2,2-diméthylpropanol.

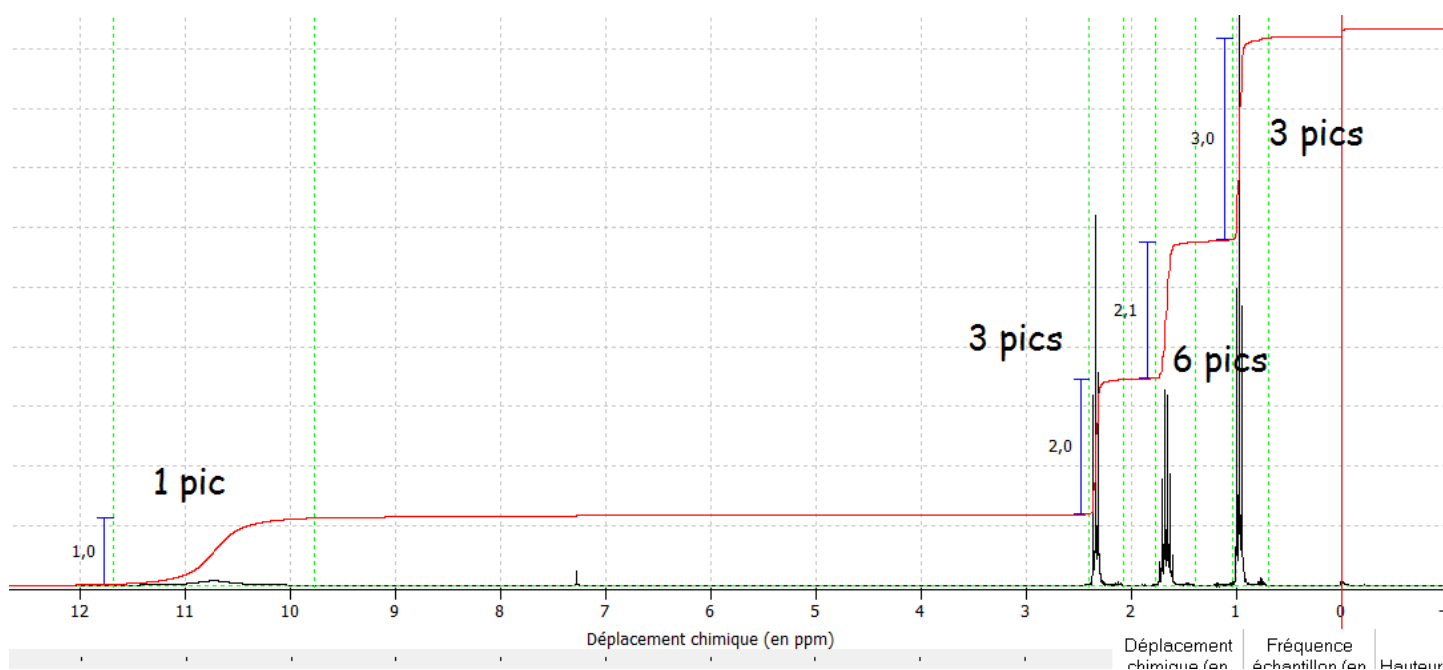


## Exercice

1) Expliquer l'allure du spectre RMN de l'acide éthanóïque :



2)



2) Le spectre suivant est-il celui de l'acide propanoïque, du propan-1-ol, du butan-1-ol ou de l'acide butanoïque ?

Pour sa culture générale : [film sur la RMN et l'IR](#)

**Programme officiel**

**Observer**

**Ondes et matière**

Les ondes et les particules sont supports d'informations.

Comment les détecte-t-on ? Quelles sont les caractéristiques et les propriétés des ondes ?

Comment réaliser et exploiter des spectres pour identifier des atomes et des molécules ?

Notions et contenus	Compétences exigibles
<b>Spectres UV-visible</b> Lien entre couleur perçue et longueur d'onde au maximum d'absorption de substances organiques ou inorganiques	<i>Mettre en œuvre un protocole expérimental pour caractériser une espèce colorée.</i> Exploiter des spectres UV-visible
<b>Spectres IR</b>	Exploiter un spectre IR pour déterminer des groupes

Identification de liaisons à l'aide du nombre d'onde correspondant ; détermination de groupes caractéristiques. Mise en évidence de la liaison hydrogène.	caractéristiques à l'aide de tables de données ou de logiciels. Associer un groupe caractéristique à une fonction dans le cas des alcools, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amine, amide. Connaître les règles de nomenclature de ces composés ainsi que celles des alcanes et des alcènes.
<b>Spectres RMN du proton</b> Identification de molécules organiques à l'aide : - du déplacement chimique ; - de l'intégration ; - de la multiplicité du signal : règle des (n+1)-uplets.	Relier un spectre RMN simple à une molécule organique donnée, à l'aide de tables de données ou de logiciels. Identifier les protons équivalents. Relier la multiplicité du signal au nombre de voisins. Extraire et exploiter des informations sur différents types de spectres et sur leurs utilisations.

### Préparer le DS

1) Enoncer la loi de Beer Lambert

2) Connaître les fonctions et les groupes caractéristiques

Famille chimique	acide carboxylique	alcool	aldéhyde	cétone	alcène	Ester	Amine	Amide
groupe caractéristique								

3) Connaître les règles de nomenclature : cliquer sur l'animation de M. Labatut [nomenclature](#) et effectuer 10 exercices à rendre sous forme de tableau avec la formule topologique, le nom de la famille, et le nom de l'espèce chimique.

4) Savoir ce qu'est un spectre IR. Reconnaître un composé à partir de son spectre IR : exercice 3 du chapitre 4 d'exovideo.com

5) Savoir ce qu'est un spectre RMN. Reconnaître un composé à partir de son spectre RMN : exercice 3 de l'exercice 8 du chapitre 4 d'exovideo.com