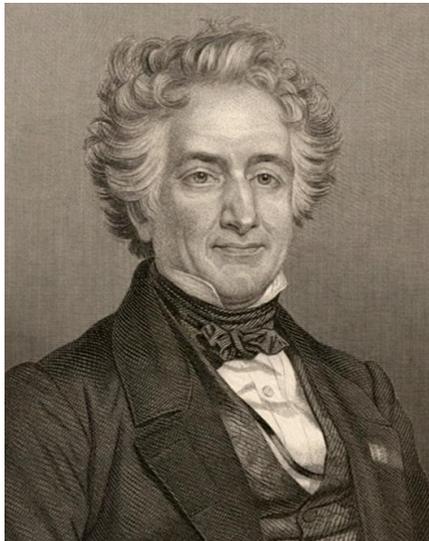


- Description et caractérisation des entités chimiques organiques -

<i>Notions et contenus</i>	<i>Capacités exigibles</i>
<p>Familles d'entités chimiques organiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Familles fonctionnelles en chimie organique : amine, amide, cétone, aldéhyde, alcool, thiol, ester, acide carboxylique, hémiacétal et acétal, anhydride phosphorique. - Familles d'entités chimiques intervenant dans la chimie du vivant : <ul style="list-style-type: none"> ◦ sucres (ou oses) et autres glucides ; ◦ acides gras, triglycérides, phosphoglycérides et autres lipides ; ◦ acides aminés, peptides et protéines ; ◦ nucléosides, nucléotides, acides nucléiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconnaître et nommer les familles fonctionnelles présentes dans la représentation d'une entité chimique. - Reconnaître et nommer la famille à laquelle appartient une entité chimique intervenant dans la chimie du vivant.
<p>Spectroscopies d'absorption UV-visible et infrarouge</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nature des transitions associées aux spectroscopies UV-visible et infrarouge, domaine du spectre des ondes électromagnétiques correspondant. - Transmittance, absorbance. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relier la longueur d'onde du rayonnement absorbé à la nature et à l'énergie de la transition associée. - Identifier, à partir du spectre infrarouge et de tables de nombres d'onde de vibration, une liaison ou un groupe caractéristique dans une entité chimique organique.
<p>Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exploitation de spectres RMN ^1H. Déplacement chimique, intégration. - Multiplicité d'un signal : couplages du premier ordre $A_m X_p$ et $A_m M_p X_q$. 	<ul style="list-style-type: none"> - Confirmer ou attribuer la structure d'une entité à partir de données spectroscopiques infrarouge et/ou de résonance magnétique nucléaire du proton et de tables de nombres d'onde ou de déplacements chimiques caractéristiques.

Michel-Eugène
CHEVREUL
(1786-1889)



Friedrich
WÖHLER
(1800-1882)



Marcelin
BERTHELOT
(1827-1907)



**Transformation
des corps gras en
savons**

**Synthèse de
l'urée**

**Synthèse du
méthane, du
méthanol, du
benzène ...**

I- Les familles d'entités chimiques organiques

1) Familles fonctionnelles en chimie organique

Famille



1 groupe d'atomes
particuliers = **GROUPE
CARACTERISTIQUE**

a/ Les **ALCANES** :



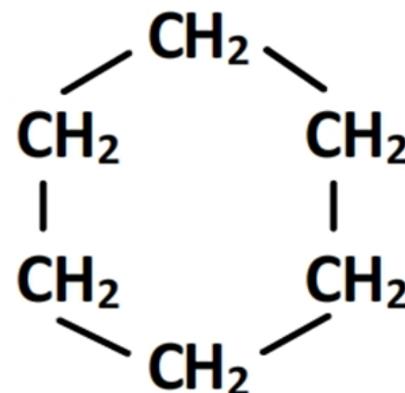
Méthane

(gaz naturel)

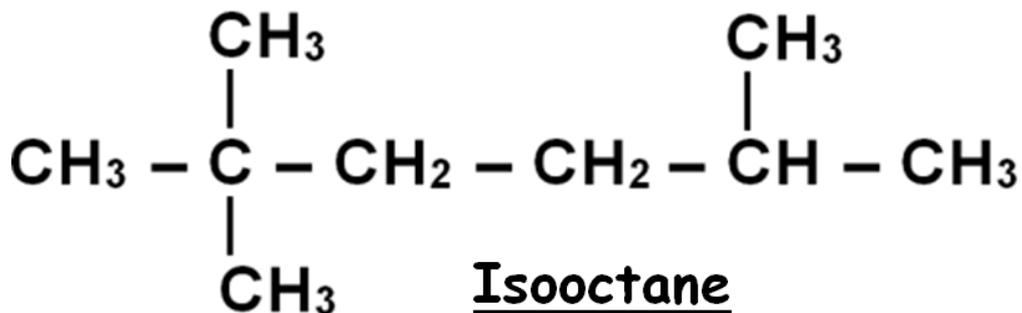


Butane

(gaz domestique)



Cyclohexane (solvant)



Isooctane

(carburant)

• Ils sont constitués **uniquement** d'atomes de **carbone** et d'**hydrogène** (on parle d'**hydrocarbures**) reliés par des **liaisons simples**.

a/ Les **ALCANES** :

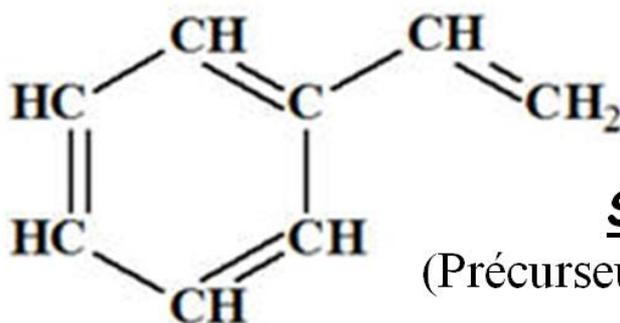
☛ Ils sont constitués **uniquement** d'atomes de **carbone** et d'**hydrogène** (on parle d'**hydrocarbures**) reliés par des **liaisons simples**.

b/ Les **ALCENES** :



Hex-1-ène

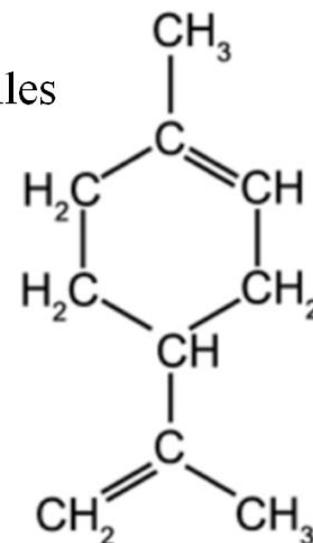
(Précurseur de lubrifiants)



Styrène

(Précurseur du polystyrène)

Limonène
(Huiles essentielles
d'agrumes)



☛ Ils possèdent une ou plusieurs **double(s) liaison(s) C = C**.

c/ Les **DERIVES HALOGENES** :



Iodométhane (Gaz émis par le riz)



1-chlorobutane (vermifuge)

b/ Les **ALCENES** :

☛ Ils possèdent une ou plusieurs **double(s) liaison(s) C = C**.

c/ Les **DERIVES HALOGENES** :

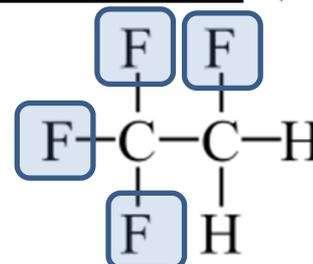


Iodométhane (Gaz émis par le riz)



1-chlorobutane (vermifuge)

1,1,1,2-tétrafluoroéthane
(Fluide réfrigérant)

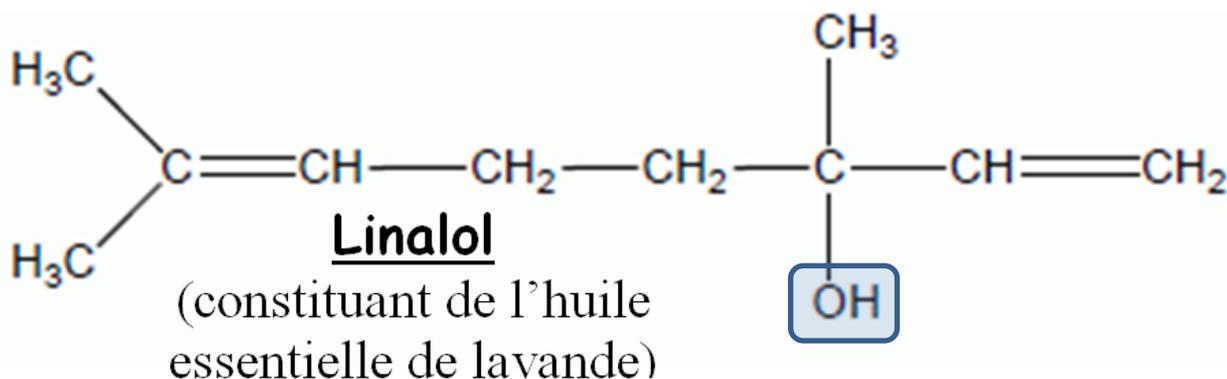


☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **F (fluoro)**, **Cl (chloro)**, **Br (bromo)** ou **I (iodo)**.

d/ Les **ALCOOLS** :



Ethanol (alcool du vin)



Linalol

(constituant de l'huile essentielle de lavande)

c/ Les **DERIVES HALOGENES** :

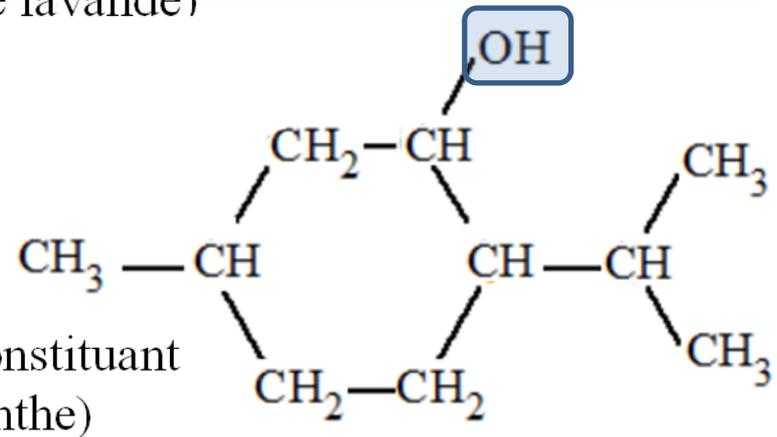
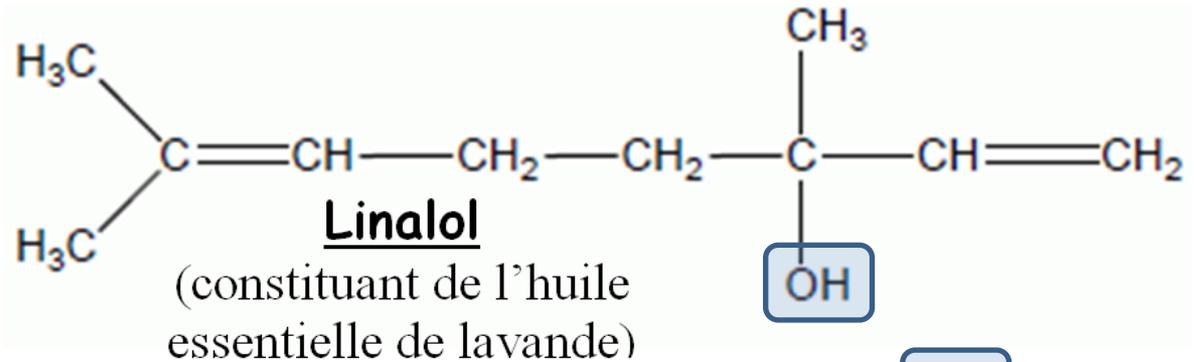
☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **F (fluoro)**, **Cl (chloro)**, **Br (bromo)** ou **I (iodo)**.

d/ Les **ALCOOLS** :



Ethanol (alcool du vin)

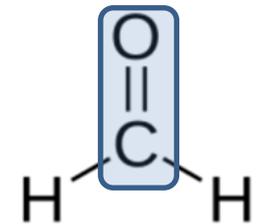
☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **OH (HYDROXYLE)** attaché à un carbone ayant 4 liaisons simples.



e/ Les **ALDEHYDES** :



Hexanal (Utilisé dans l'industrie des arômes)

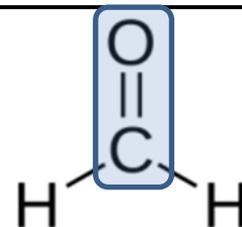


Formol (liquide de conservation des tissus utilisé en taxidermie)

d/ Les **ALCOOLS** :

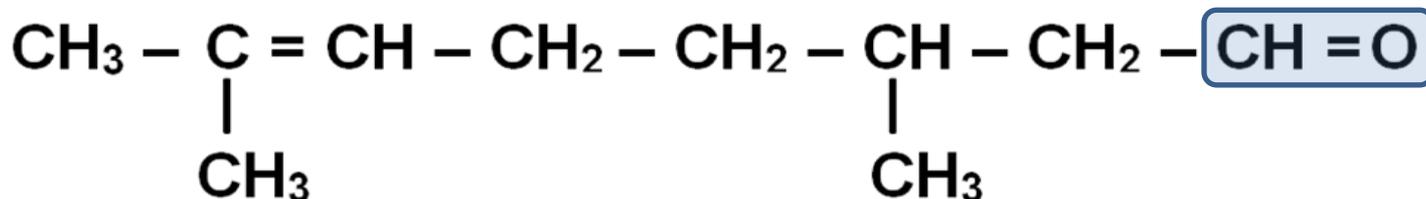
☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **OH (HYDROXYLE)** attaché à un carbone ayant 4 liaisons simples.

e/ Les **ALDEHYDES** :



Hexanal (Utilisé dans l'industrie des arômes)

Formol (liquide de conservation des tissus utilisé en taxidermie)

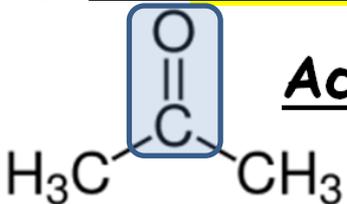


Citronellal

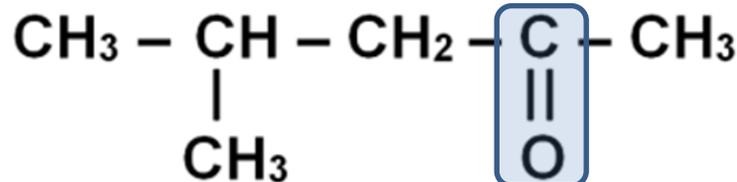
(constituant de l'huile essentielle de citronnelle)

☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **C=O (CARBONYLE)** au tout début d'une chaîne carbonée.

f/ Les **CETONES** :



Acétone (Solvant)

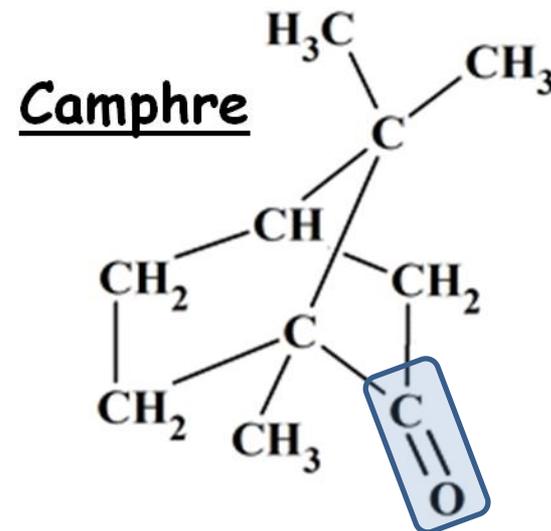
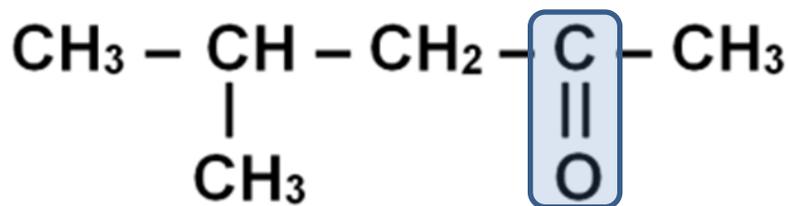
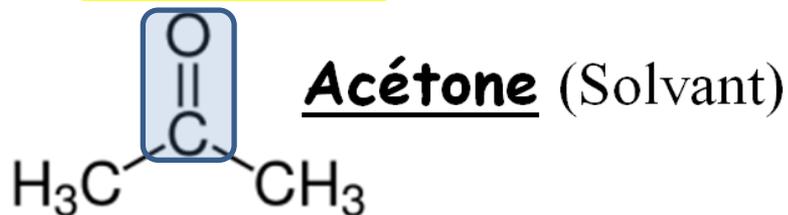


Méthylisobutylcétone (Solvant pour vernis et peintures)

e/ Les **ALDEHYDES** :

- Ils possèdent le groupe caractéristique **C=O (CARBONYLE)** au tout début d'une chaîne carbonée.

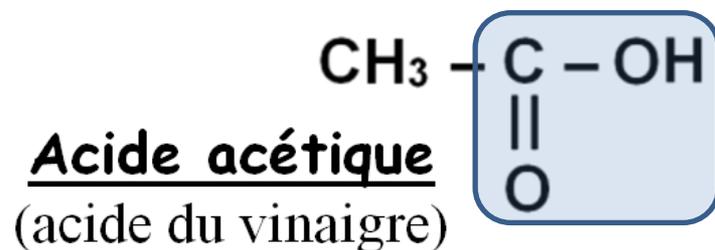
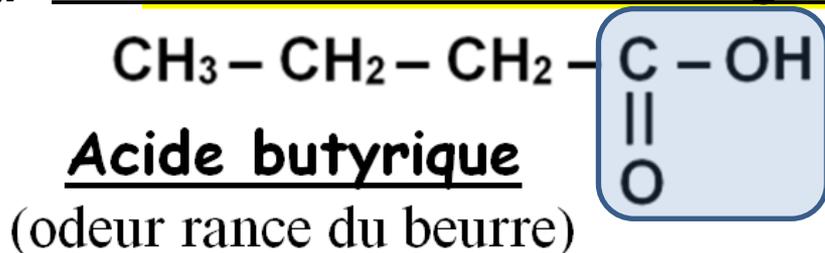
f/ Les **CETONES** :



Méthylisobutylcétone (Solvant pour vernis et peintures)

- Elles possèdent le groupe caractéristique **C=O (CARBONYLE)** « coincé » entre deux atomes de carbone.

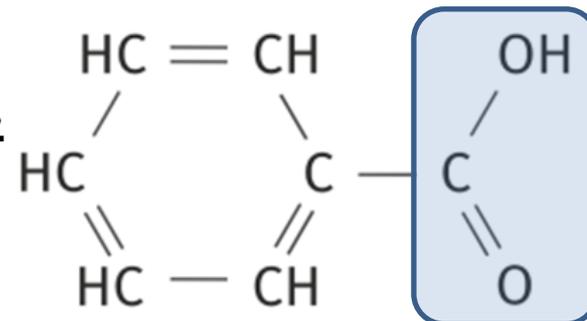
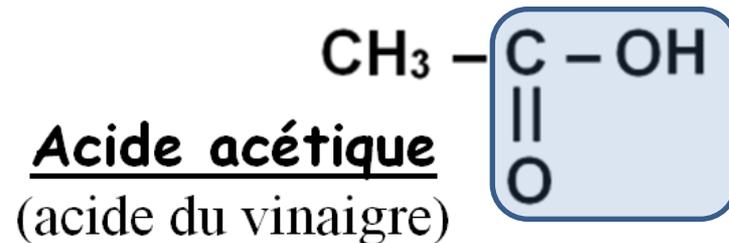
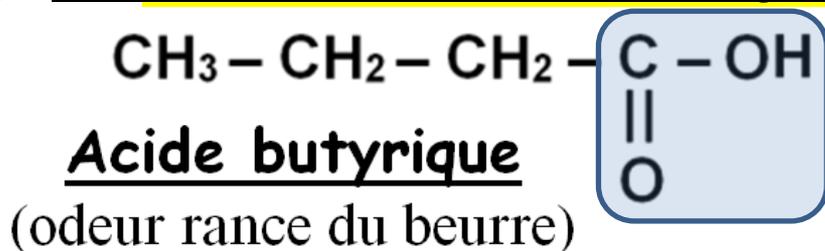
g/ Les **ACIDES CARBOXYLIQUES** :



f/ Les **CETONES** :

- Elles possèdent le groupe caractéristique **C=O** (**CARBONYLE**)
« coincé » entre deux atomes de carbone.

g/ Les **ACIDES CARBOXYLIQUES** :



- Ils possèdent le groupe caractéristique **COOH** (**CARBOXYLE**)

h/ Les **AMINES** :



Cadaverine (produit lors de la putréfaction d'animaux et de végétaux)

Butan-1-amine



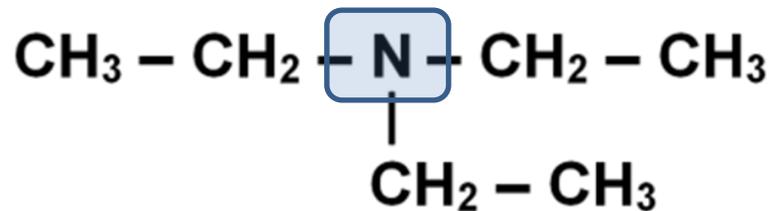
g/ Les ACIDES CARBOXYLIQUES :

☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **COOH** (CARBOXYLE)

h/ Les AMINES :



Butan-1-amine (précurseur de pesticide et de médicaments)



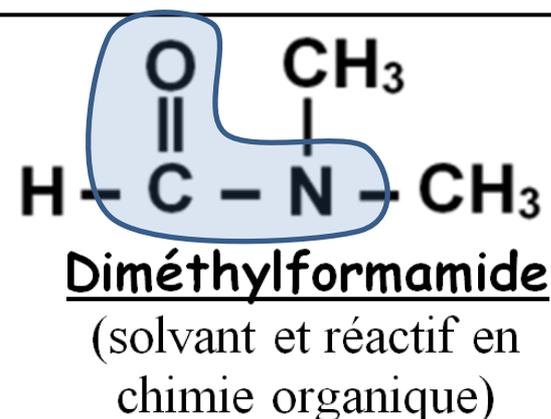
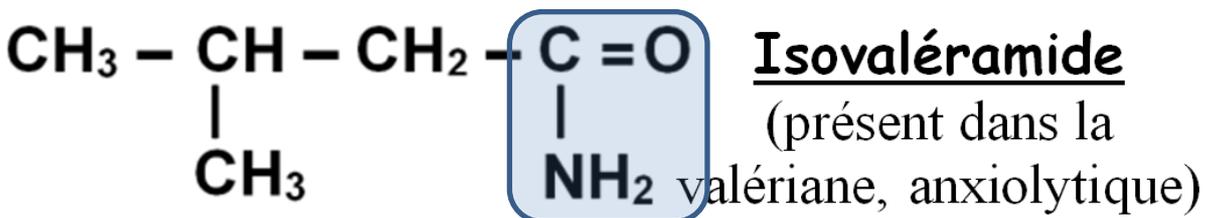
Triéthylamine (solvant)



Cadaverine (produit lors de la putréfaction d'animaux et de végétaux)

☛ Elles possèdent le groupe caractéristique **NH₂** (AMINO) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

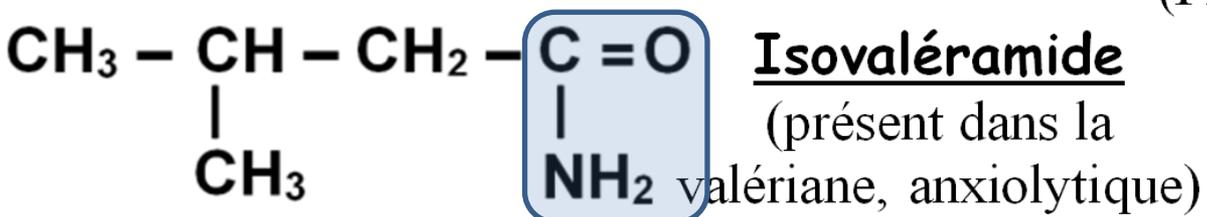
i/ Les AMIDES :



h/ Les **AMINES** :

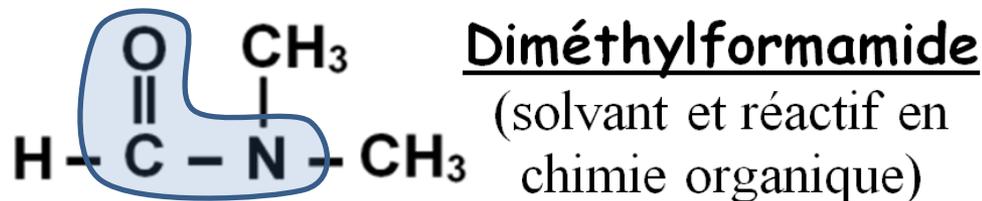
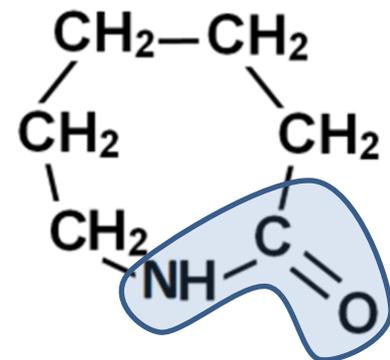
- Elles possèdent le groupe caractéristique **NH₂** (**AMINO**) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

i/ Les **AMIDES** :



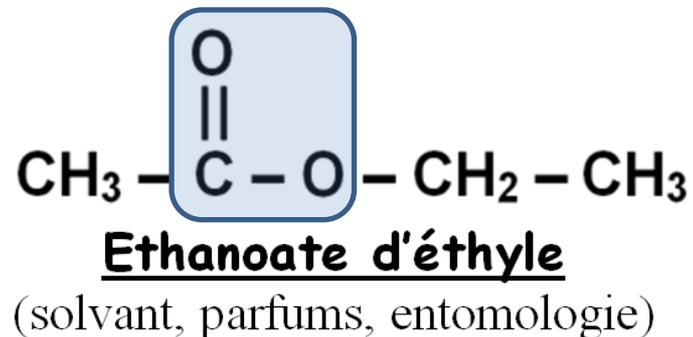
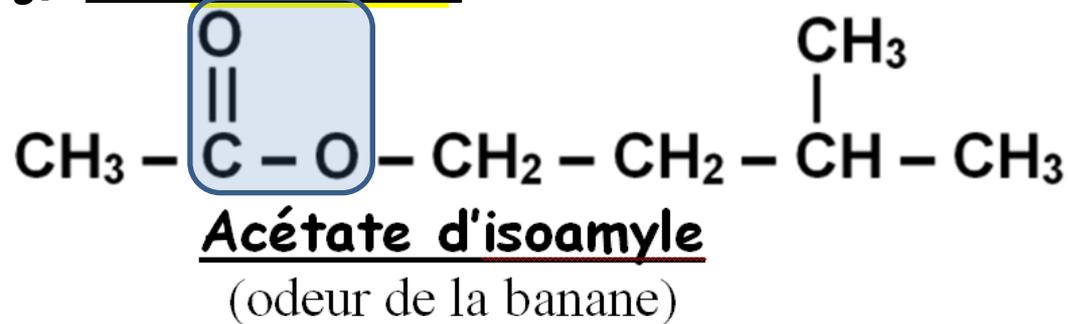
Caprolactame

(Précurseur du nylon)



- Elles possèdent le groupe caractéristique **CONH₂** (**AMIDO**) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

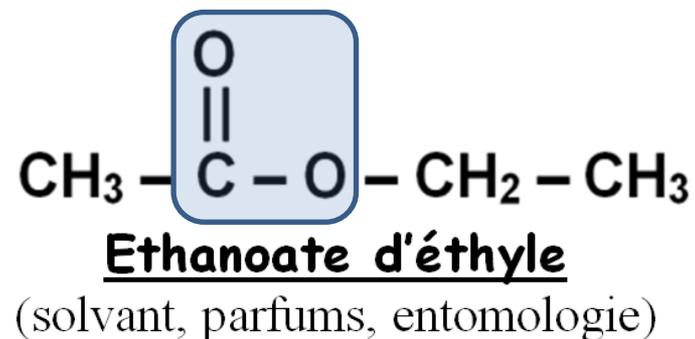
j/ Les **ESTERS** :



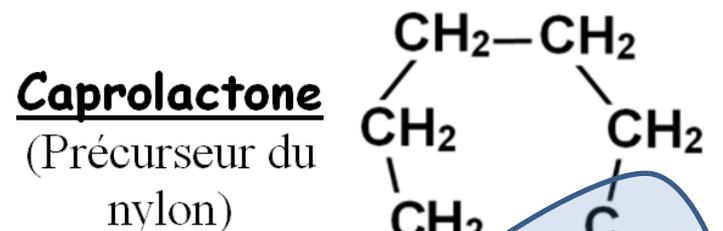
i/ Les **AMIDES** :

- Elles possèdent le groupe caractéristique **CONH₂** (**AMIDO**) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

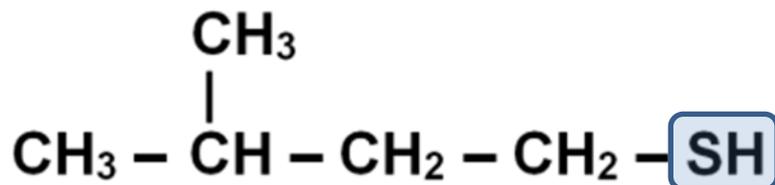
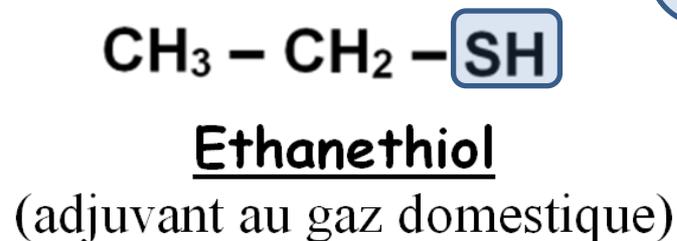
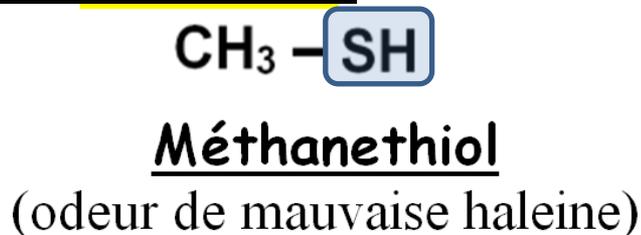
j/ Les **ESTERS** :



- Ils possèdent le groupe caractéristique **COOR** (**ESTER**) avec **R ≠ H**.



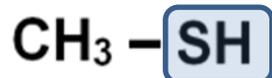
k/ Les **THIOLS** :



j/ Les **ESTERS** :

☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **COOR** (**ESTER**) avec $R \neq H$.

k/ Les **THIOLS** :



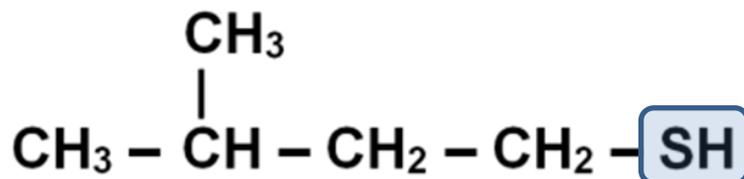
Méthanethiol

(odeur de mauvaise haleine)



Ethanethiol

(adjuvant au gaz domestique)



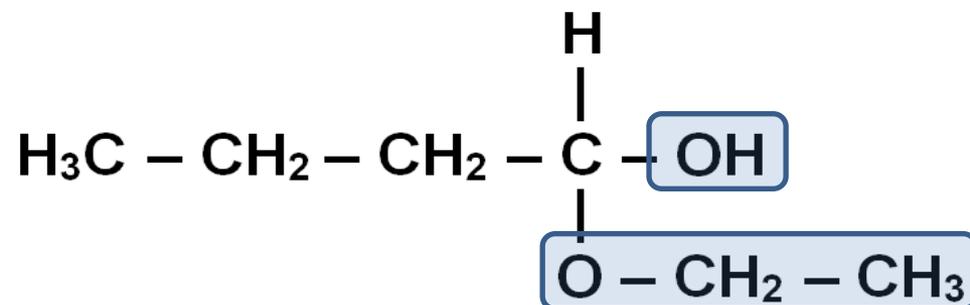
3-méthylbutan-1-thiol

(projeté par la moufette)

☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **SH** (**SULFHYDRILE**).

l/ Les **HEMIACETALS** :

☛ Ils portent les groupes d'atomes **OH** et **OR** sur le même atome de carbone.

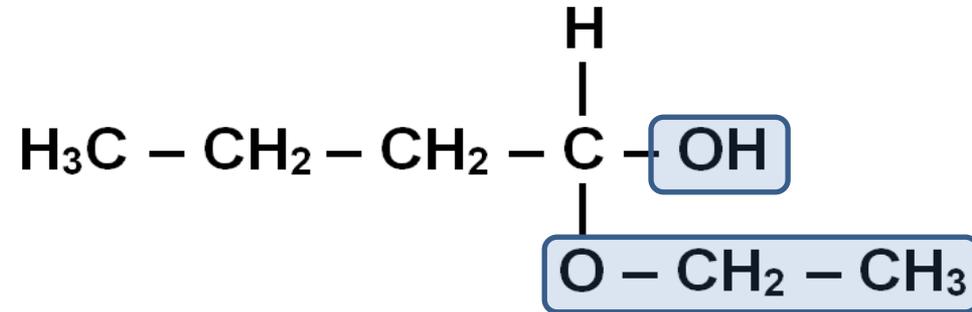


k/ Les **THIOLS** :

☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **SH** (**SULFHYDRILE**).

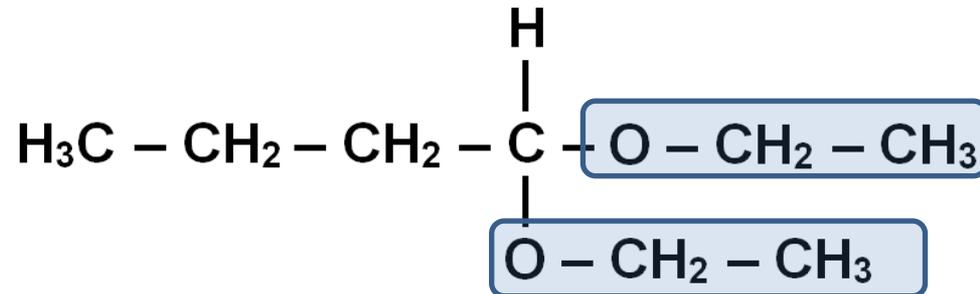
l/ Les **HEMIACETALS** :

☛ Ils portent les groupes d'atomes **OH** et **OR** sur le même atome de carbone.



m/ Les **ACETALS** :

☛ Ils portent les groupes d'atomes **OR** et **OR'** sur le même atome de carbone.



2) Familles d'entités chimiques dans la chimie du vivant

a/ Les **GLUCIDES** :

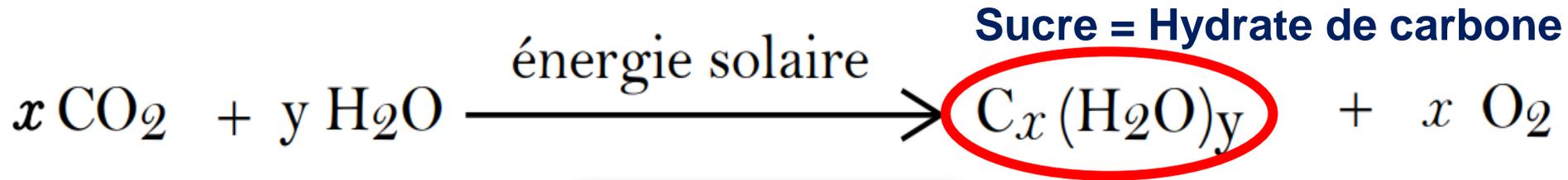
Source d'énergie de l'organisme

☛ Les glucides sont aussi appelés **SUCRES**. Leur nom se termine en général par le suffixe « **-ose** ».

a/ Les **GLUCIDES** :

- Les glucides sont aussi appelés **SUCRES**. Leur nom se termine en général par le suffixe « **-ose** ».

Fabriqués au cours de la **PHOTOSYNTHESE**

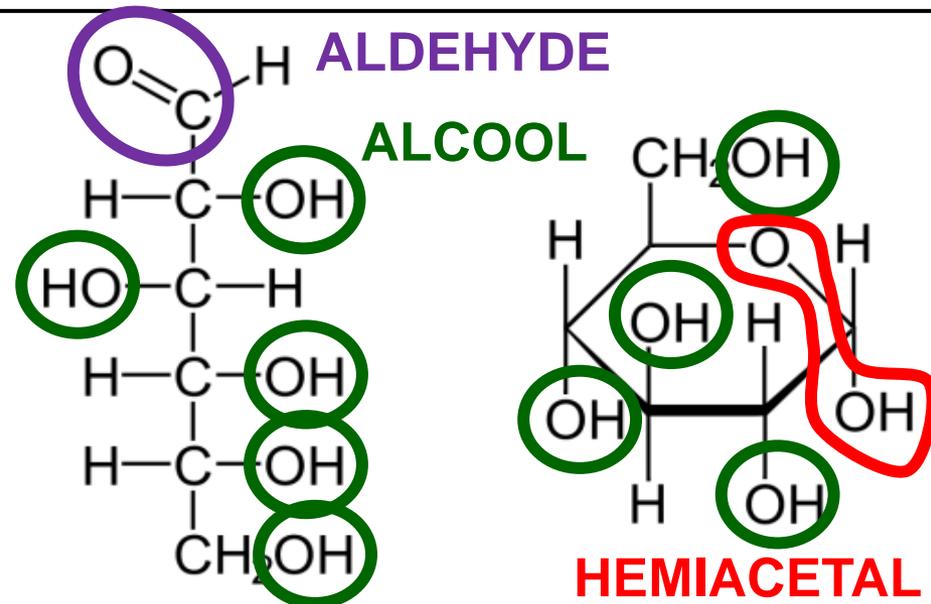


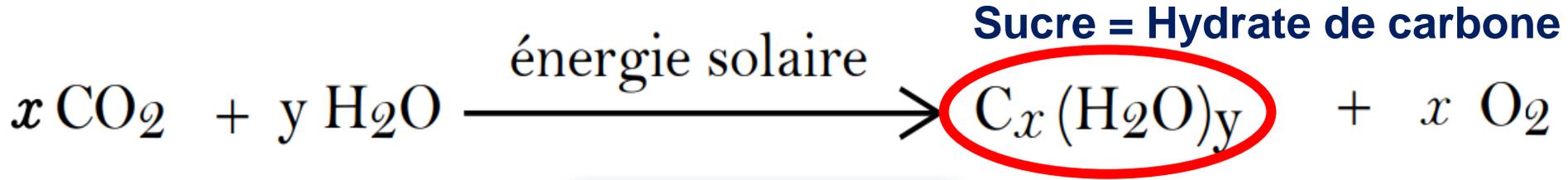
Les **OSES**

- Les oses sont les sucres **non hydrolisables**.

Ces sucres contiennent **entre 3 et 7 atomes de carbone** et appartiennent soit à la famille des aldéhydes (**aldoses**) ou des cétones (**cétoses**).

GLUCOSE (formes linéaire et cyclique) ➔

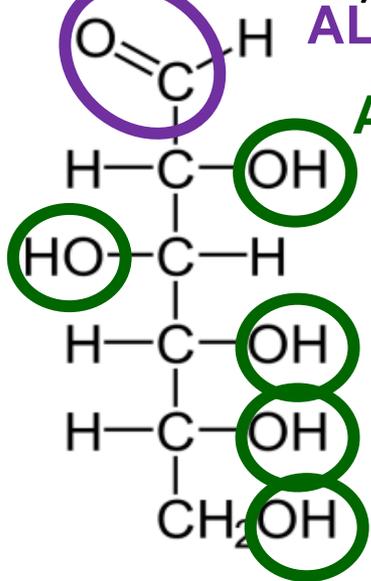




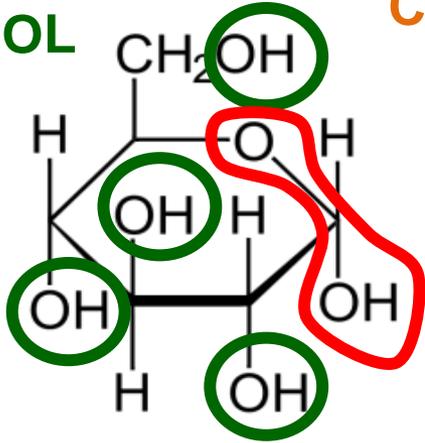
Les OSES

Les oses sont les sucres non hydrolisables.

Ces sucres contiennent **entre 3 et 7 atomes de carbone** et appartiennent soit à la famille des aldéhydes (**aldoses**) ou des cétones (**cétoses**).

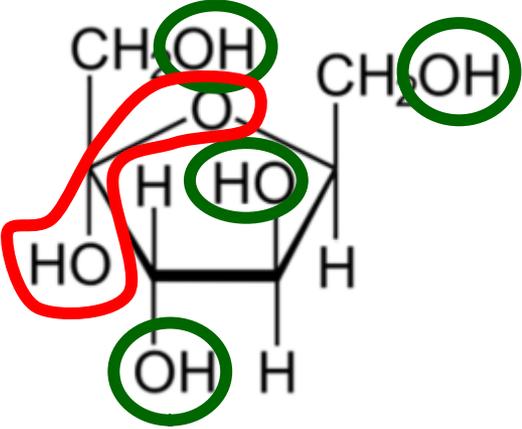
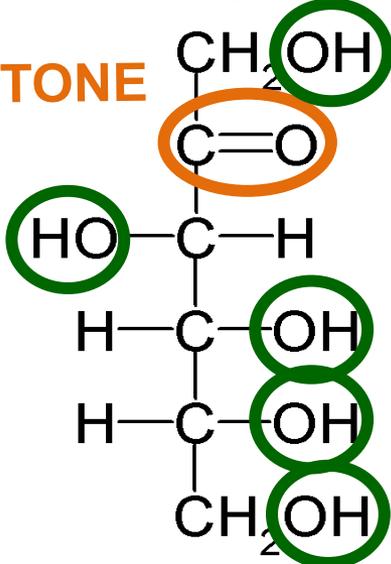


ALCOOL



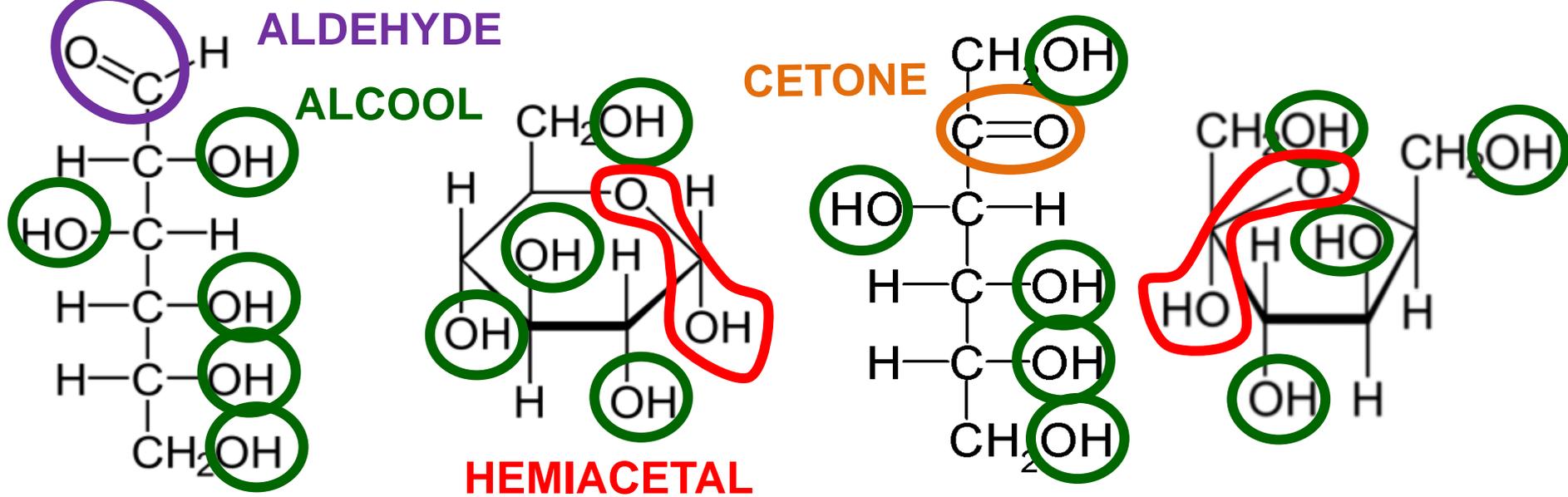
HEMIACETAL

CETONE



GLUCOSE (formes linéaire et cyclique)

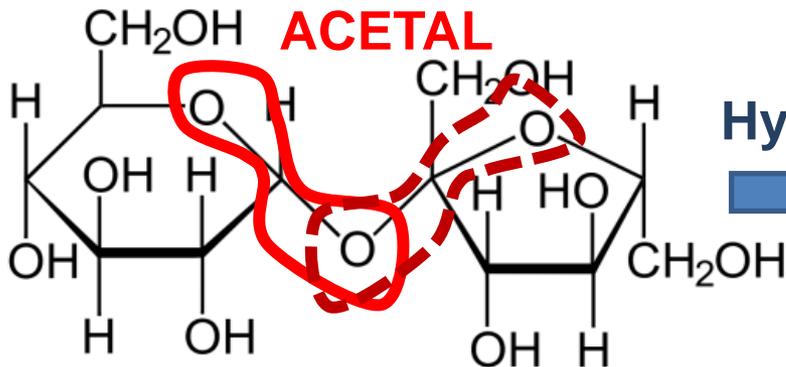
FRUCTOSE (formes linéaire et cyclique)



Les OSIDES

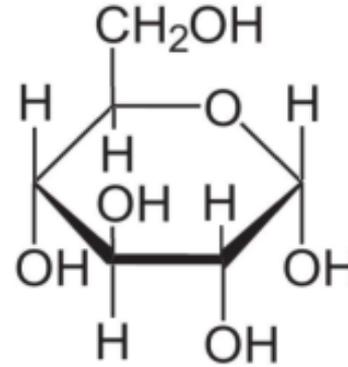
- Les osides sont les sucres **hydrolisables** : ils sont formés de *plusieurs oses qui sont libérés lors de l'hydrolyse*.

Saccharose

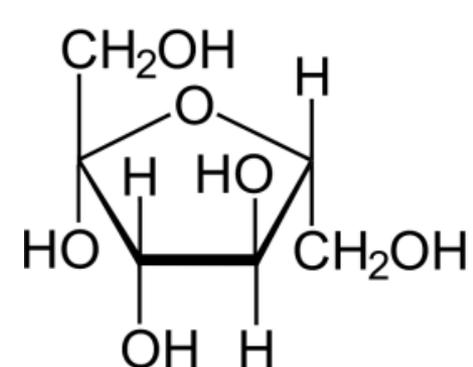


Hydrolyse

α -Glucose

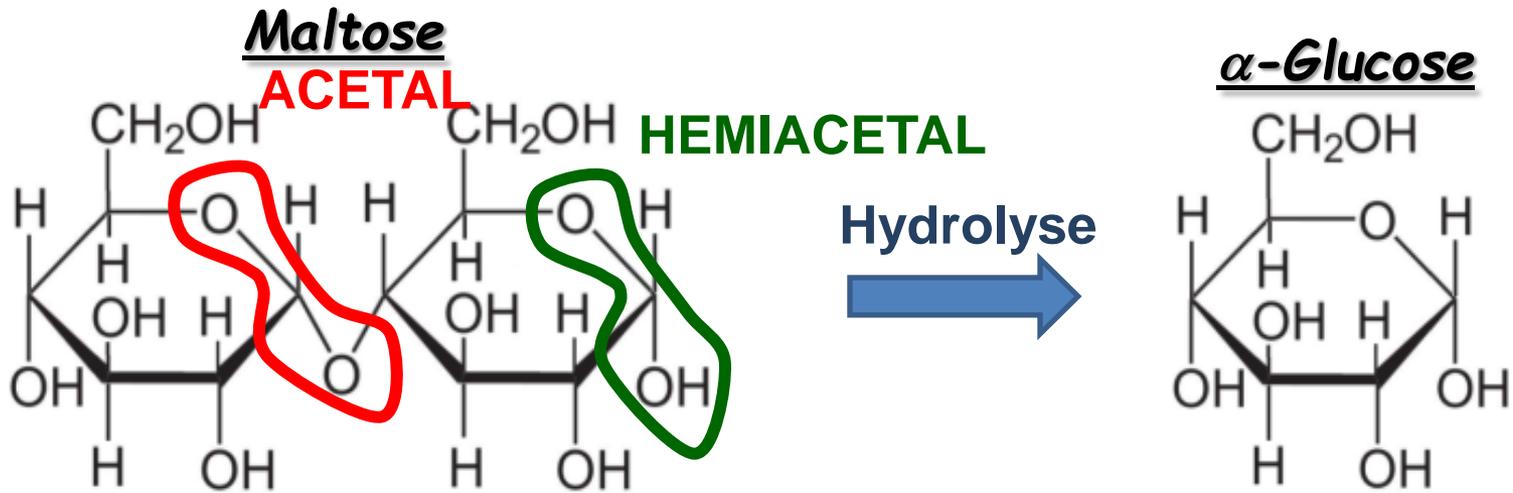
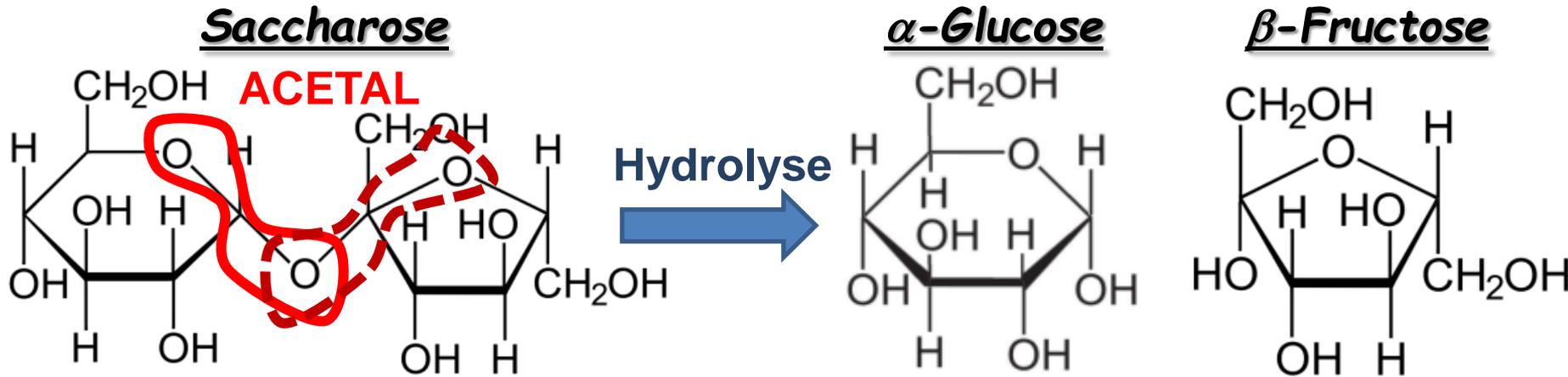


β -Fructose



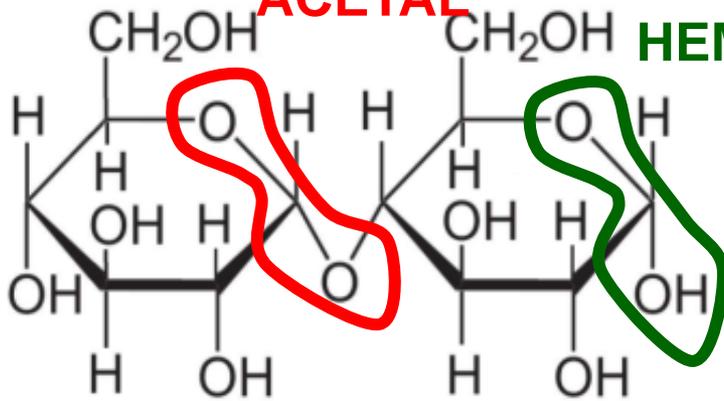
Les OSIDES

Les osides sont les sucres **hydrolisables** : ils sont formés de *plusieurs oses qui sont libérés lors de l'hydrolyse*.



Maltose

ACETAL

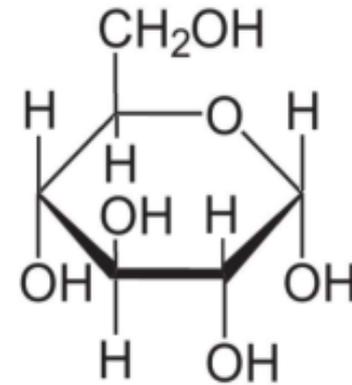


HEMIACETAL

Hydrolyse

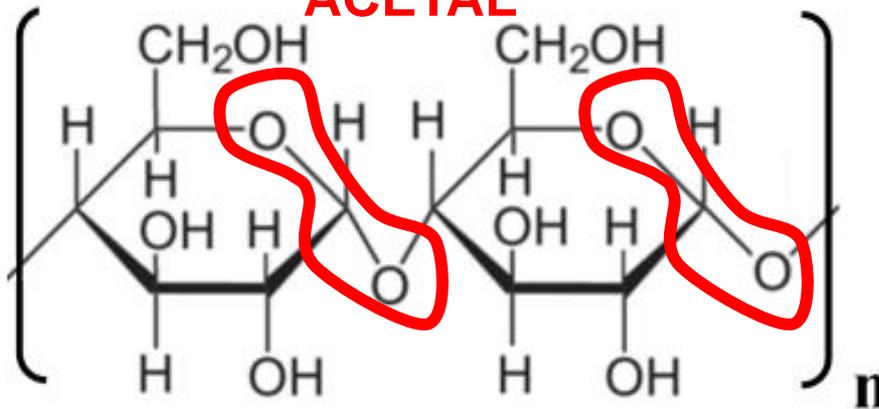


α -Glucose



Amylose

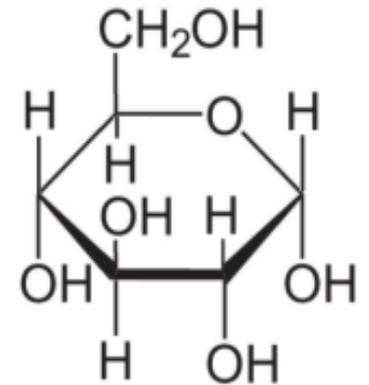
ACETAL



Hydrolyse

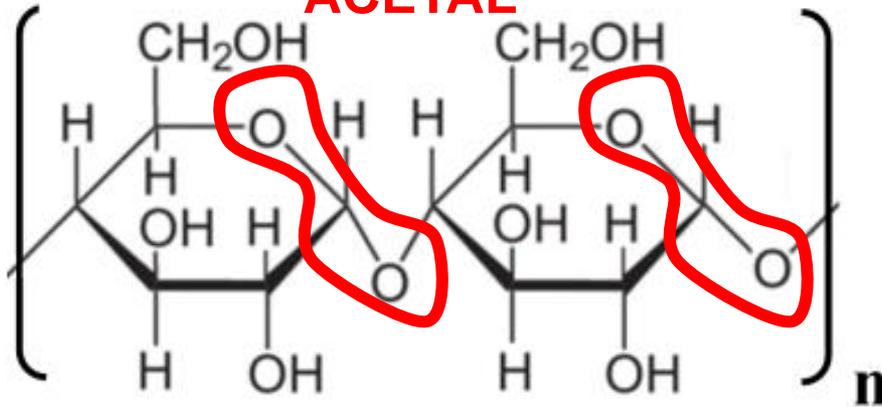


α -Glucose



Amylose

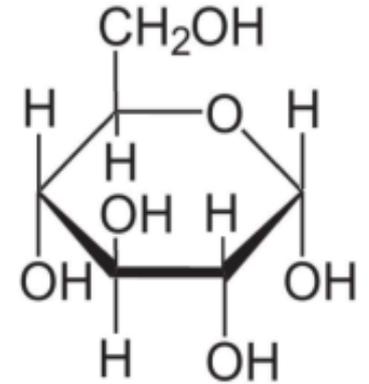
ACETAL



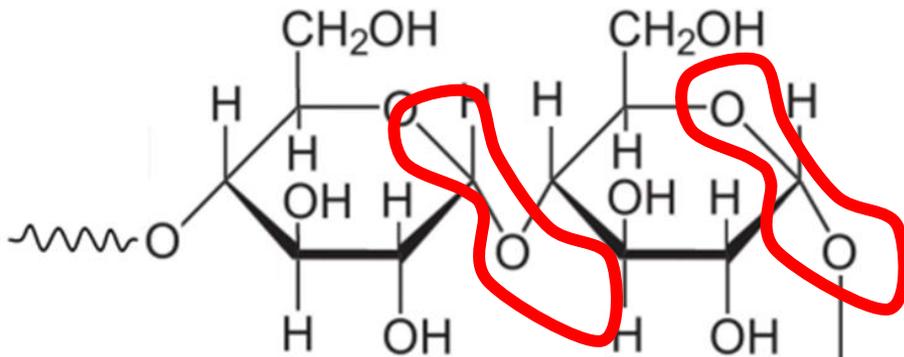
Hydrolyse



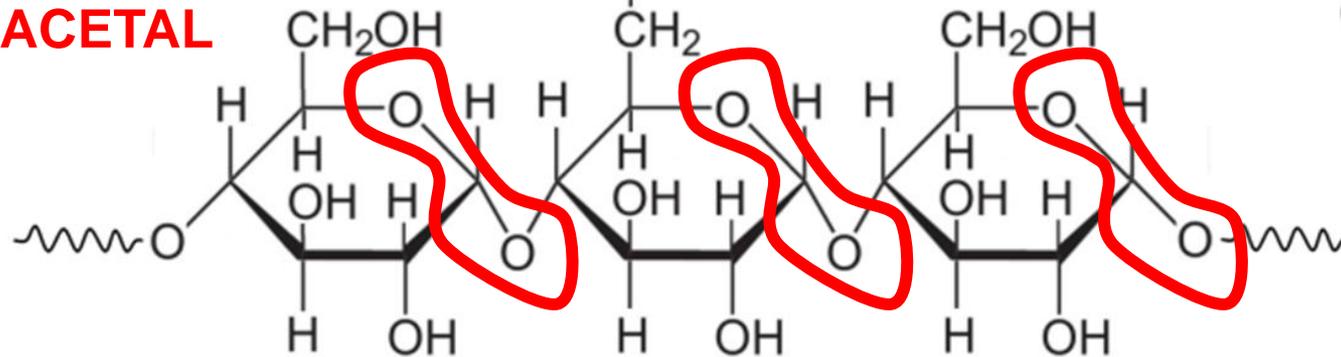
α -Glucose



Amylopectine & Glycogène



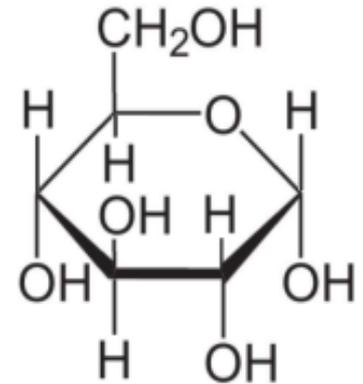
ACETAL



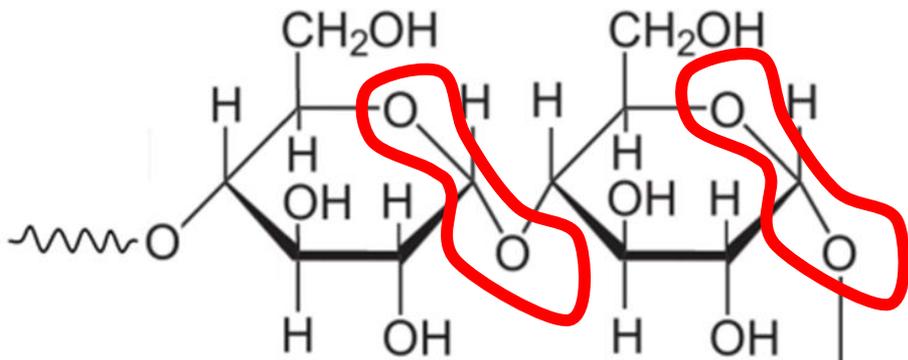
Hydrolyse



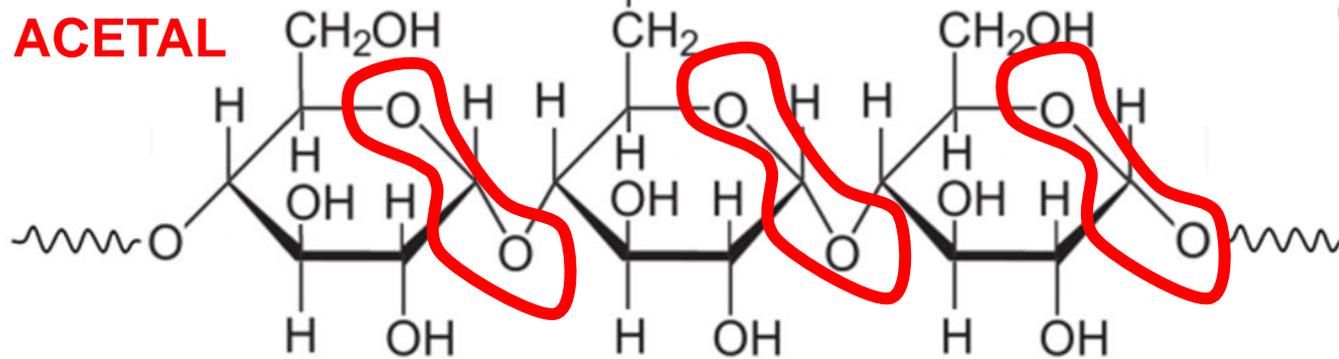
α -Glucose



Amylopectine & Glycogène



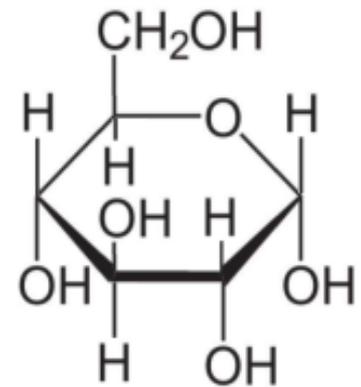
ACETAL



Hydrolyse

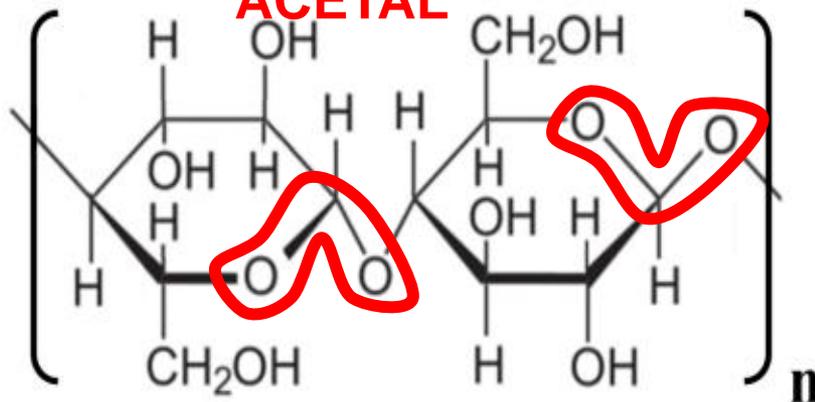


α -Glucose



Cellulose

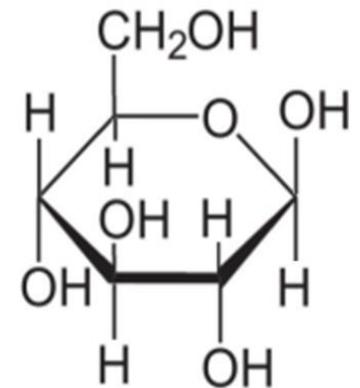
ACETAL

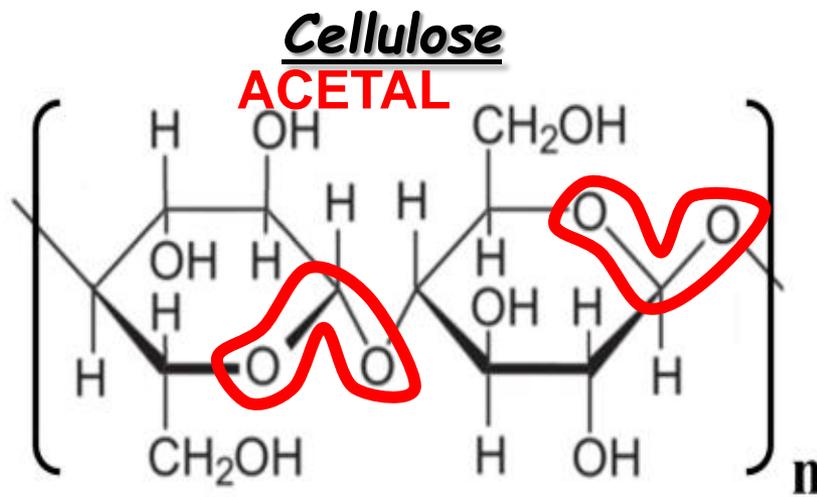


Hydrolyse

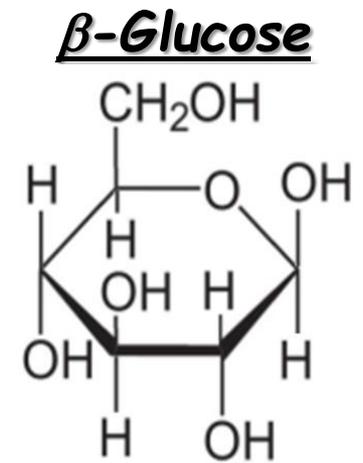


β -Glucose





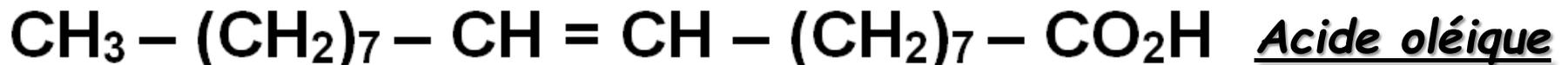
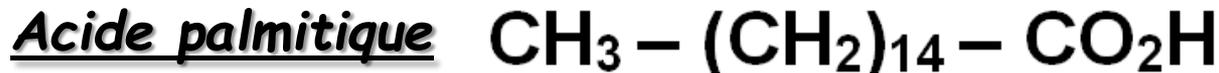
Hydrolyse



b/ Les LIPIDES :

☛ Les lipides constituent la **matière grasse** des êtres vivants.

Les ACIDES GRAS



Acide linoléique



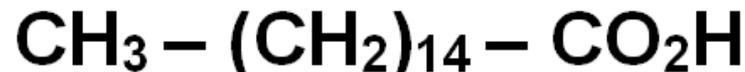
b/ Les **LIPIDES** :

☛ Les lipides constituent la **matière grasse** des êtres vivants.

Les **ACIDES GRAS**

☛ Ce sont des **acides carboxyliques linéaires** comportant un nombre pair de carbones (entre 4 et 28 C en général). Ils peuvent présenter une ou plusieurs doubles liaisons Carbone/Carbone (acides gras **INSATURES**) ou aucune (acides gras **SATURES**).

Acide palmitique



Acide oléique



Acide linoléique

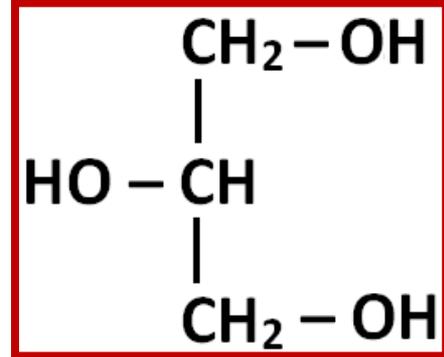
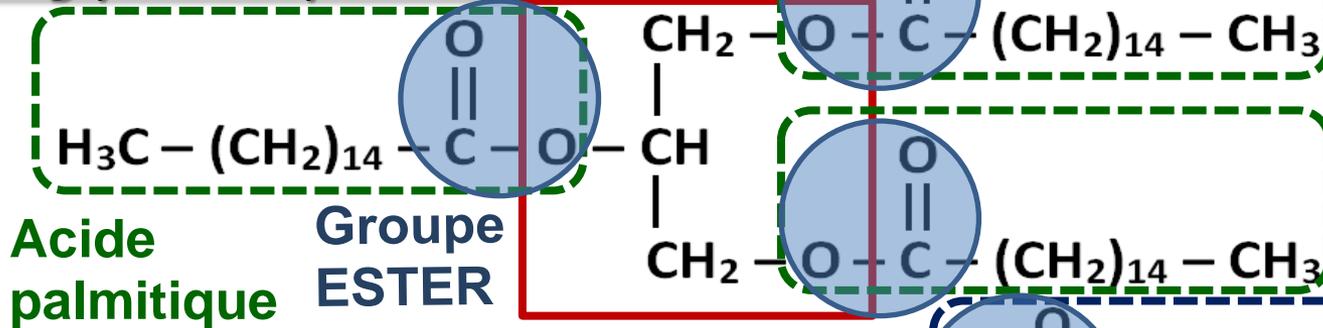


Les ACIDES GRAS

- Ce sont des **acides carboxyliques linéaires** comportant un nombre pair de carbones (entre 4 et 28 C en général). Ils peuvent présenter une ou plusieurs doubles liaisons Carbone/Carbone (acides gras **INSATURES**) ou aucune (acides gras **SATURES**).

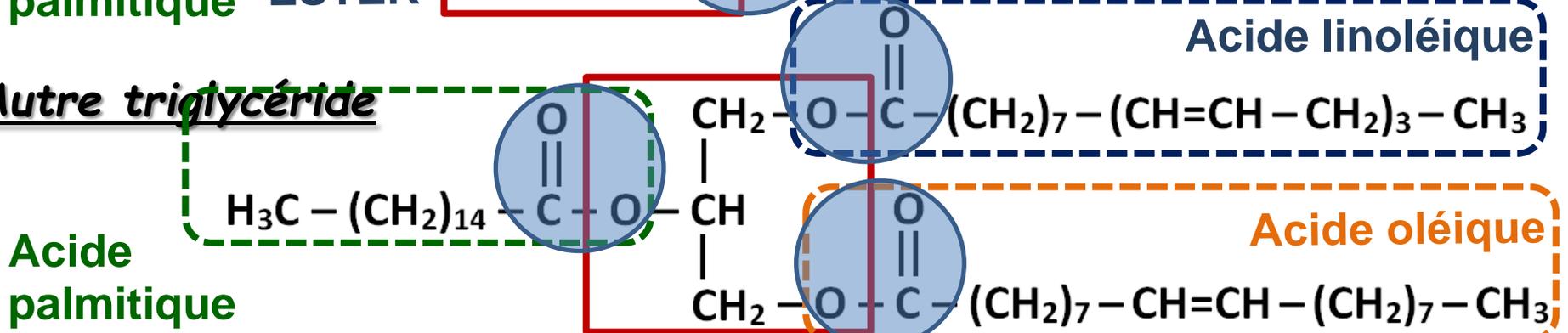
Les TRIGLYCERIDES

Triglycéride palmitique



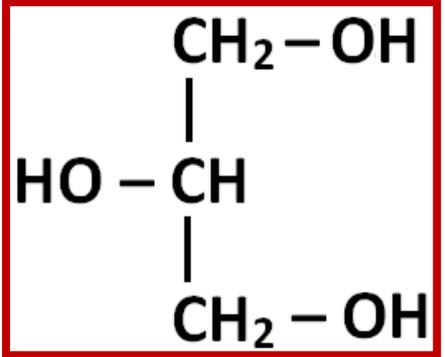
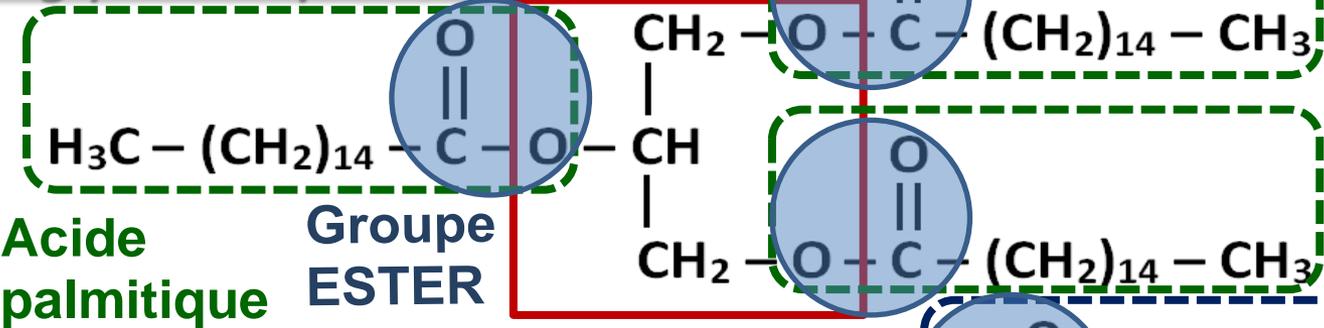
Glycérol

Autre triglycéride



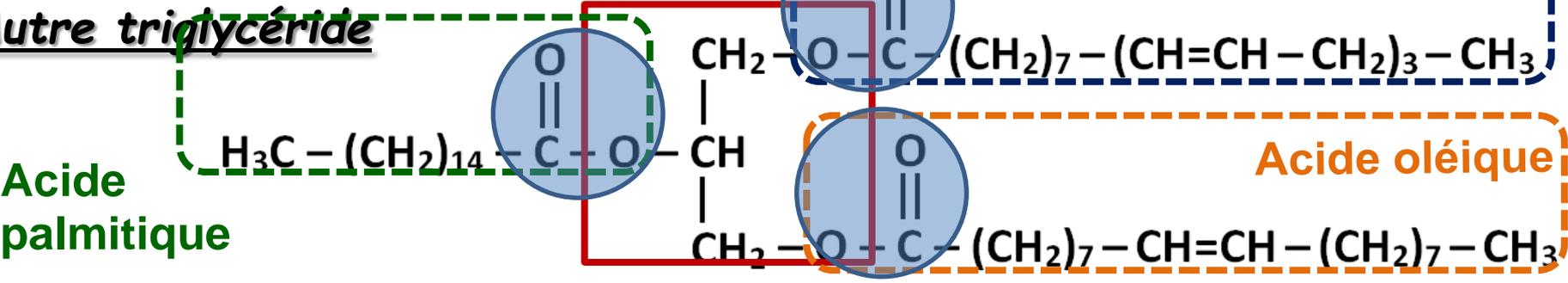
Les TRIGLYCERIDES

Triglycéride palmitique



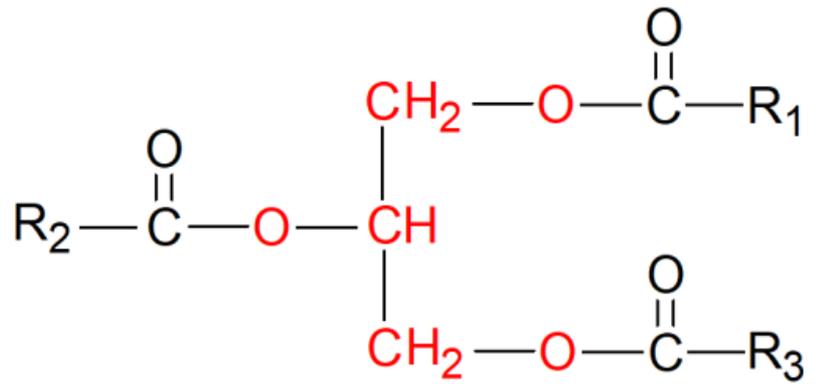
Glycérol

Autre triglycéride



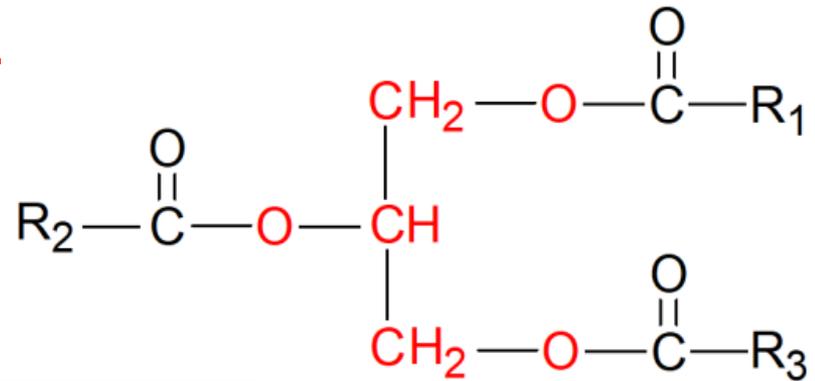
☛ Ce sont des **TRIESTERS d'acides gras et du glycérol.**

Formule générale :



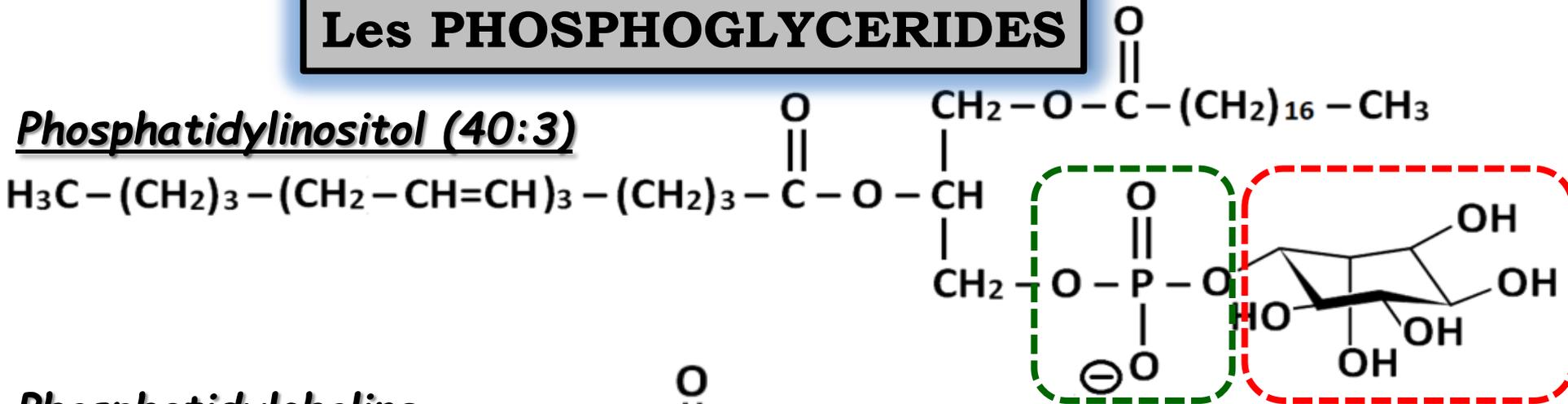
- Ce sont des **TRIESTERS d'acides gras et du glycérol.**

Formule générale :

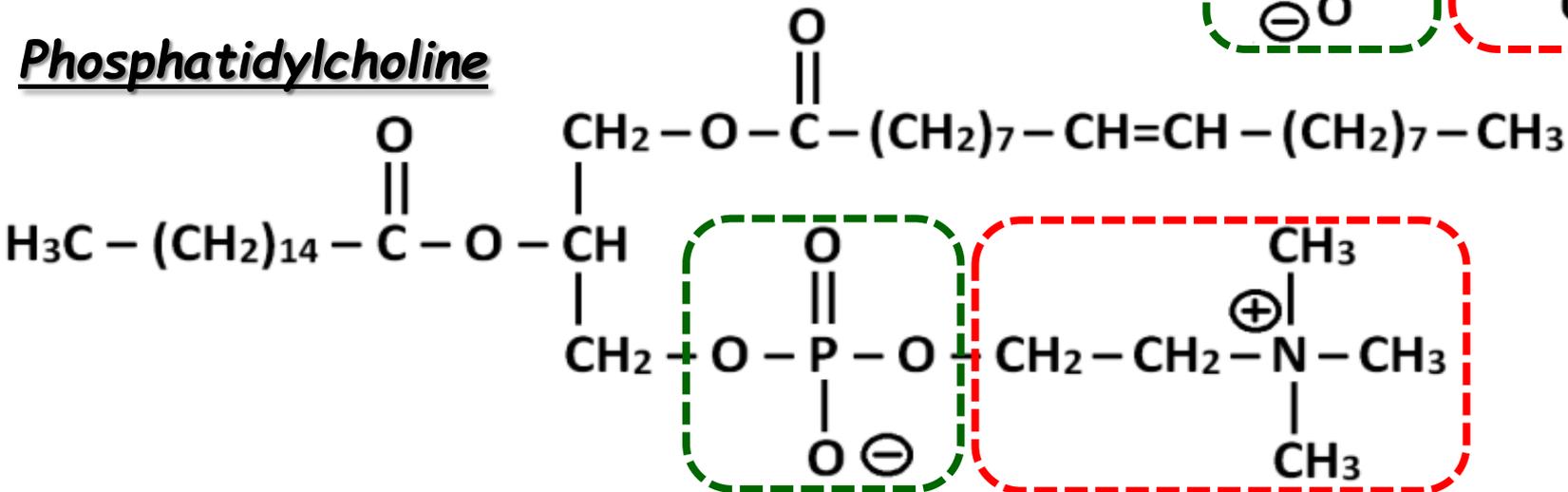


Les PHOSPHOGLYCERIDES

Phosphatidylinositol (40:3)

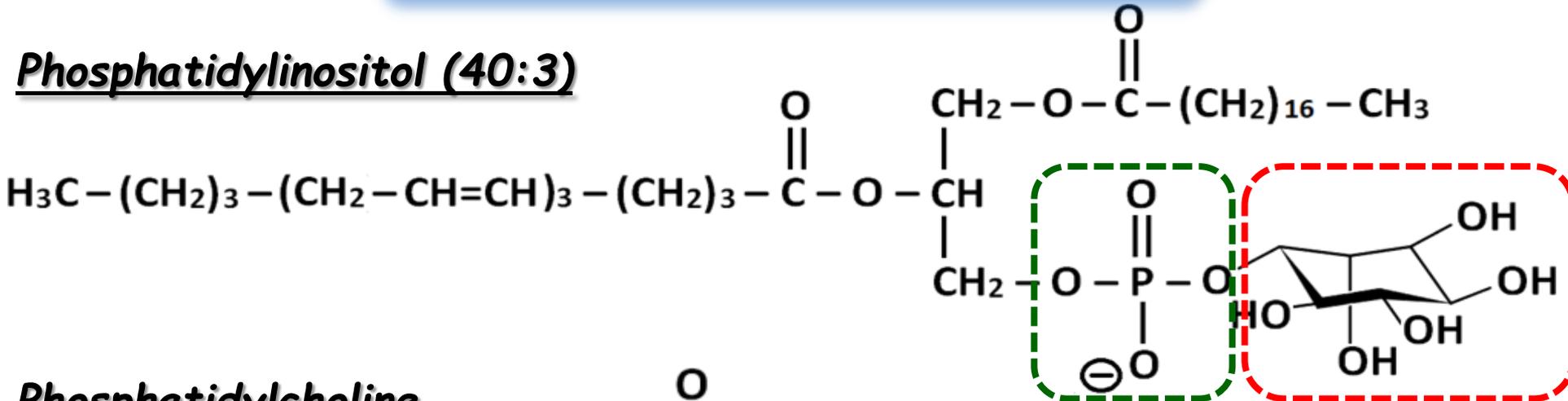


Phosphatidylcholine

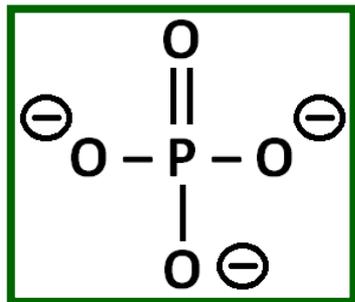
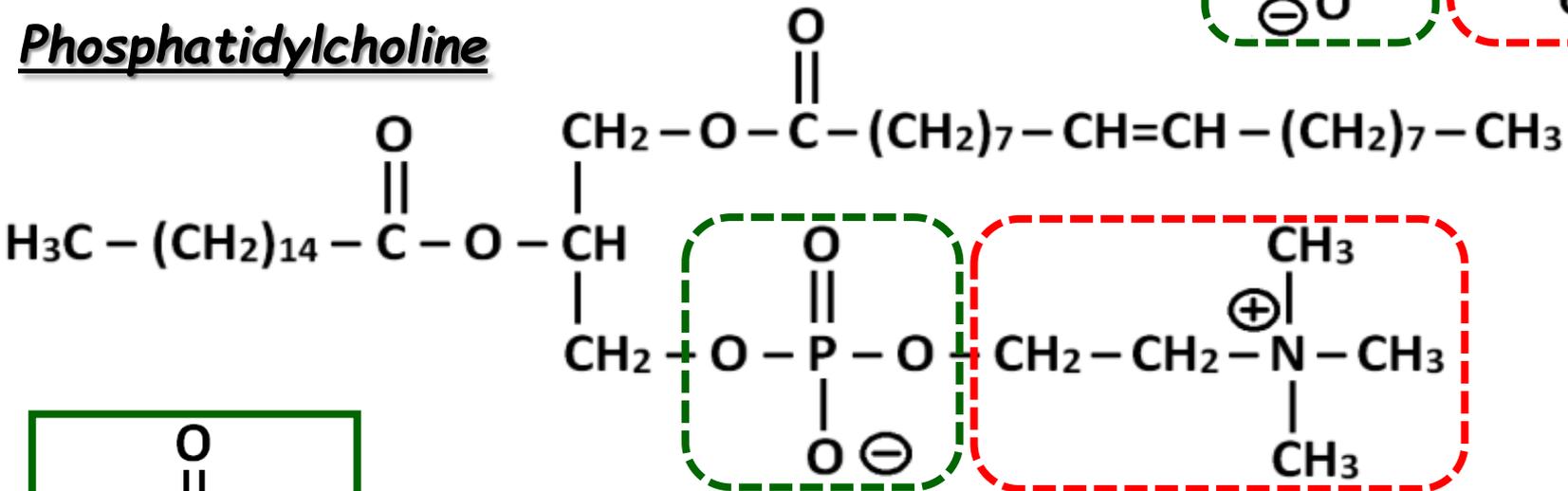


Les PHOSPHOGLYCERIDES

Phosphatidylinositol (40:3)



Phosphatidylcholine



Phosphate

➔ Ce sont des triglycérides dont l'une des 3 branches est remplacée par un groupe phosphate lié à un groupe polaire.

Les PHOSPHOGLYCERIDES

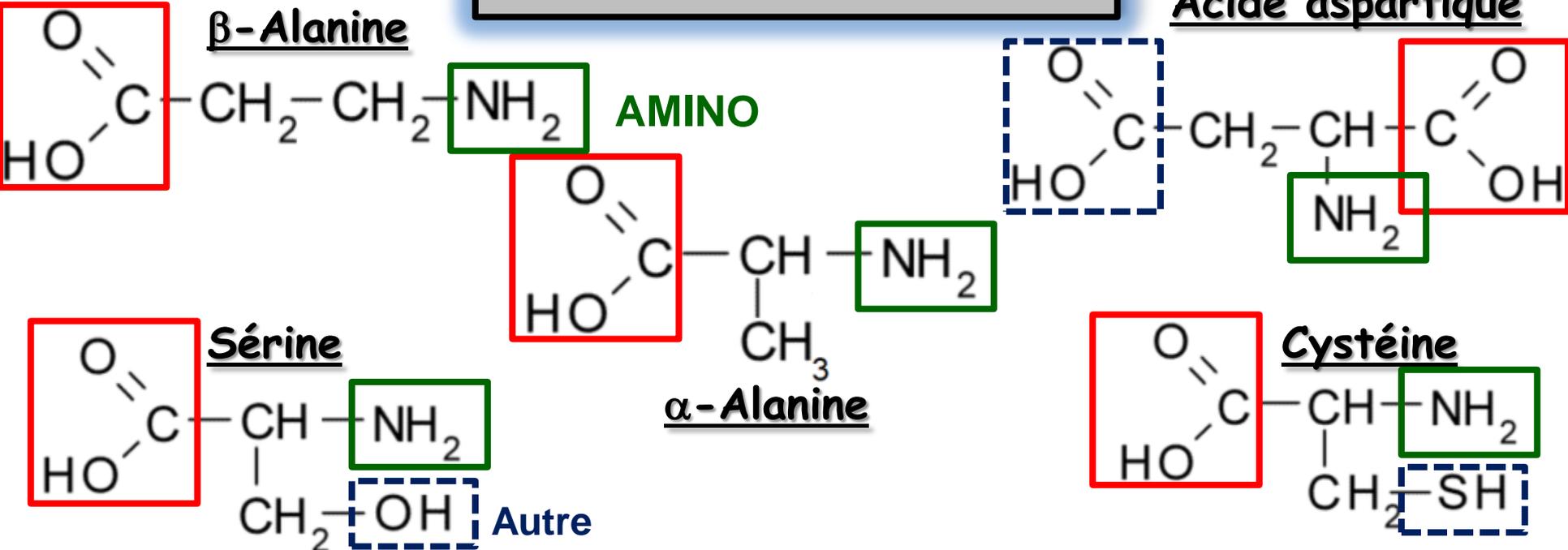
- Ce sont des triglycérides dont l'une des 3 branches est remplacée par un groupe phosphate lié à un groupe polaire.

c/ Les **PROTIDES** :

Rôle primordial dans la **structure**, le **métabolisme** et la **physiologie** des cellules des êtres vivants

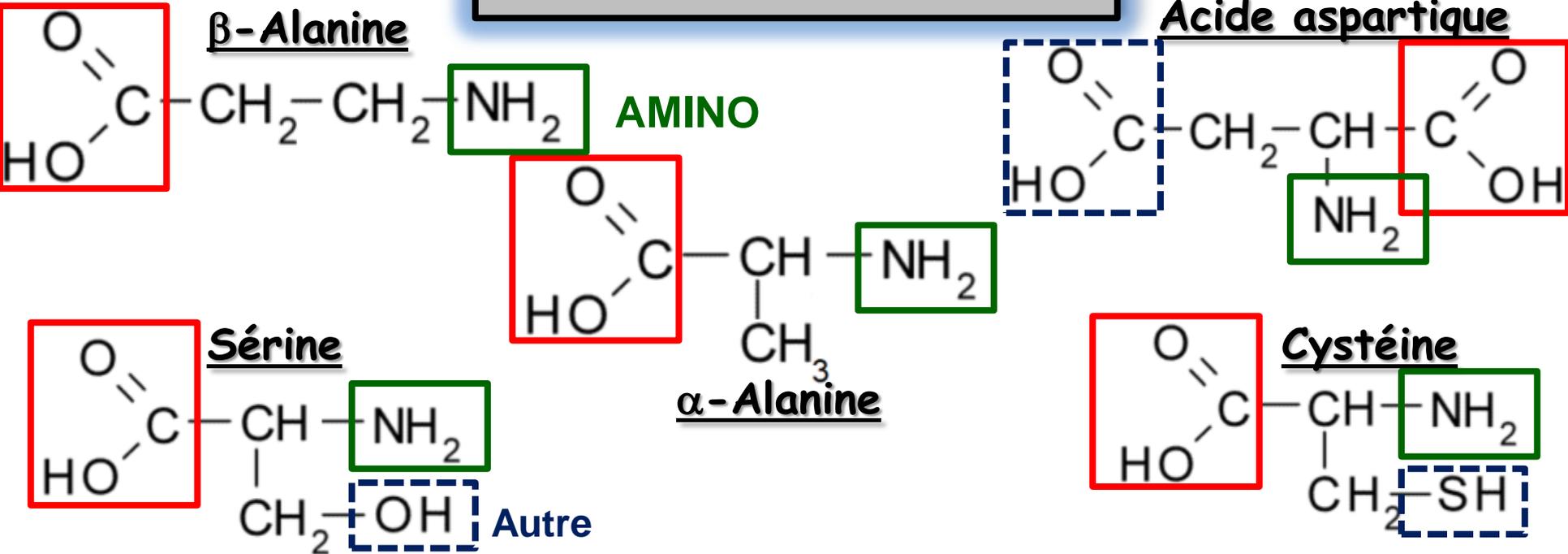
Les ACIDES AMINES

CARBOXYLE



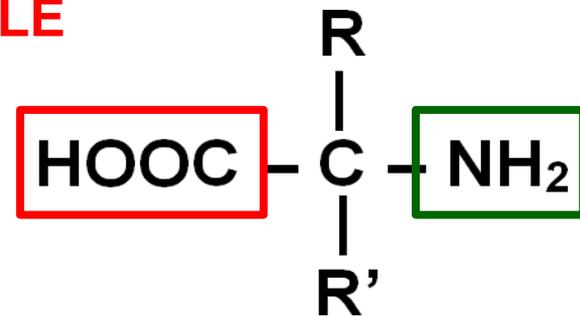
Les ACIDES AMINES

CARBOXYLE



Les acides aminés ont tous un groupe **CARBOXYLE** et un groupe **AMINO**.

Lorsque ces deux groupes sont portés par le même atome de carbone, on parle d'**acide α-aminé**.



Acide α-aminé

(R et R' peuvent être des H, des groupes alkyles ou avoir une structure plus complexe)

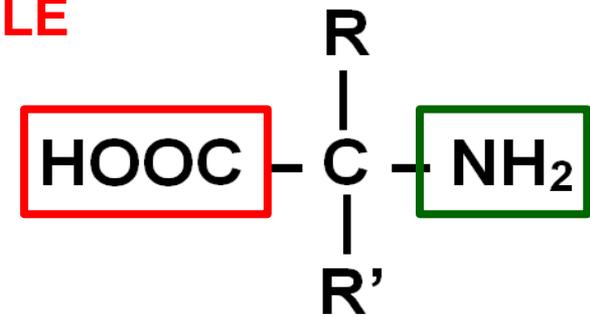


Parmi la vingtaine d'acides α-aminés, 9 sont dits **essentiels** car l'organisme ne peut pas les synthétiser ils sont apportés par l'alimentation.

- Les acides aminés ont tous un groupe **CARBOXYLE** et un groupe **AMINO**.

Lorsque ces deux groupes sont portés par le même atome de carbone, on parle d'acide α -aminé.

(R et R' peuvent être des H, des groupes alkyles ou avoir une structure plus complexe)

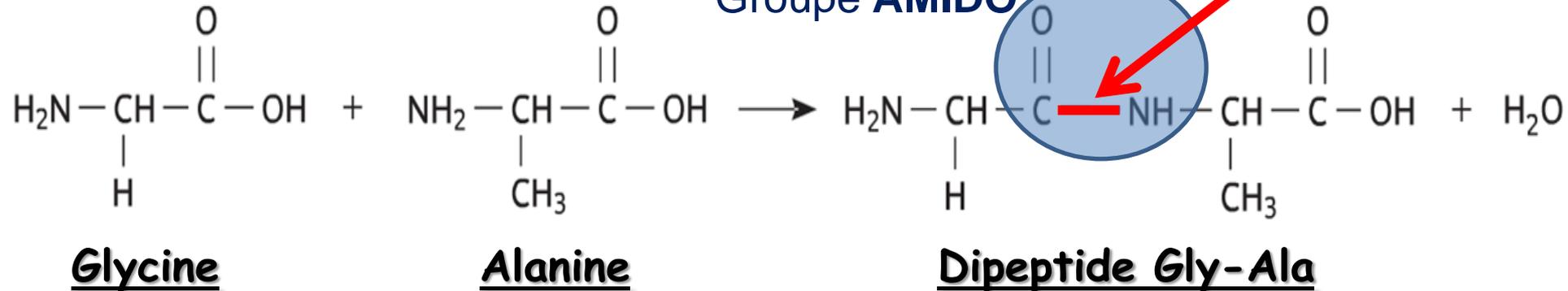


Acide α -aminé

Les PEPTIDES et les PROTEINES

Liaison peptidique

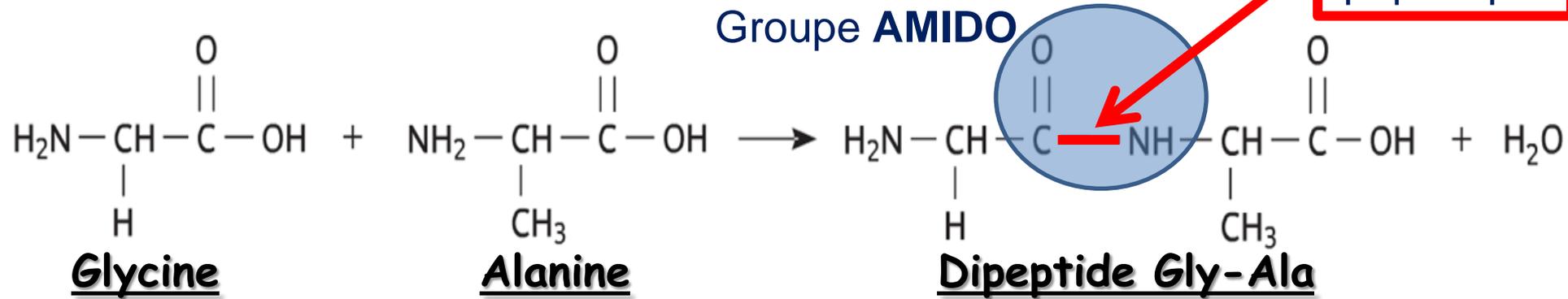
Groupe **AMIDO**



- Les peptides et les protéines sont des **chaînes d'acides aminés**, les protéines étant plus longues que les peptides.

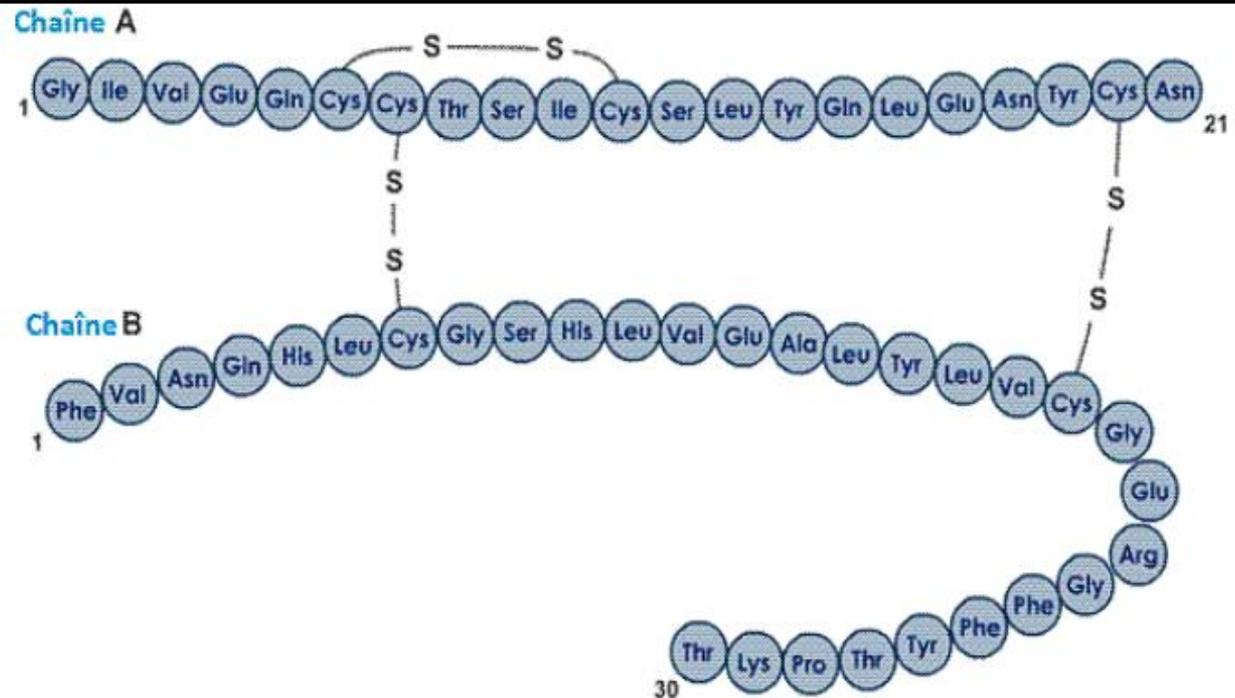
Les PEPTIDES et les PROTEINES

Liaison peptidique



Les peptides et les protéines sont des **chaînes d'acides aminés**, les **protéines** étant plus longues que les **peptides**.

Structure primaire de l'insuline bovine ➔



- ☛ Les peptides et les protéines sont des **chaînes d'acides aminés**, les **protéines** étant plus longues que les **peptides**.

d/ Des **NUCLEOSIDES** aux **ACIDES NUCLEIQUES** :

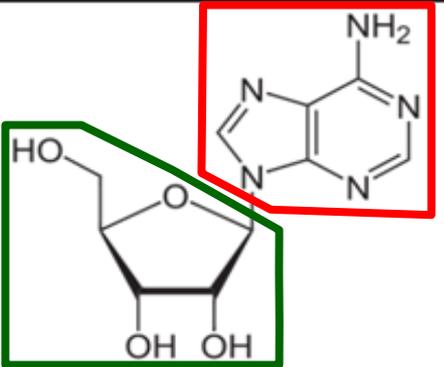
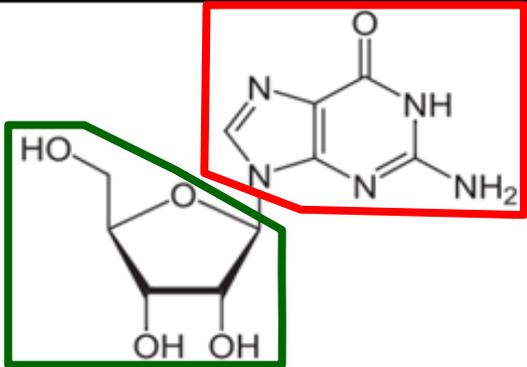
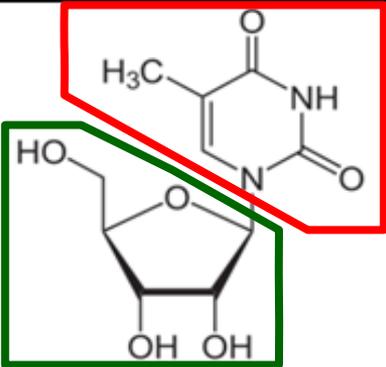
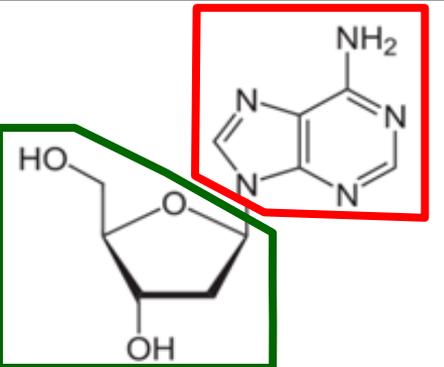
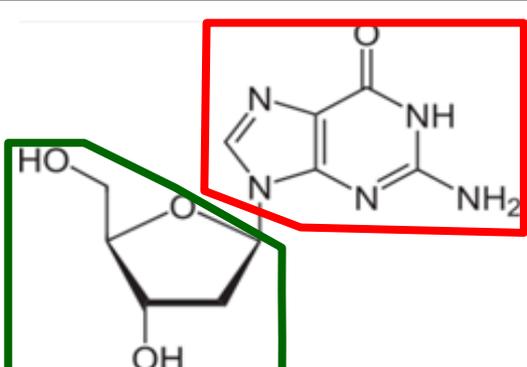
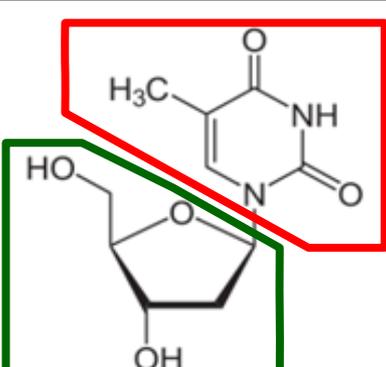
- ☛ Il existe deux acides nucléiques : l'**ADN** (**A**cide **D**ésoxyribo**N**ucléique) et l'**ARN** (**A**cide **R**ibo**N**ucléique).

Ces deux molécules sont constituées de briques décrites ci-dessous.

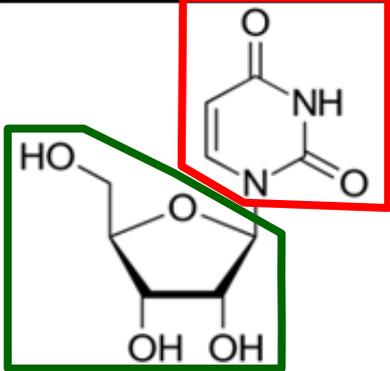
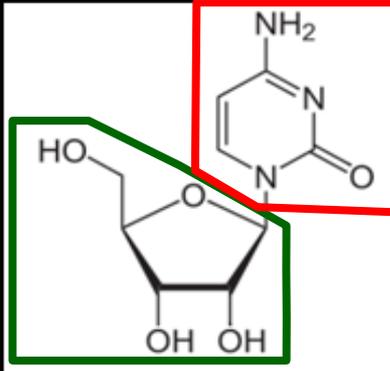
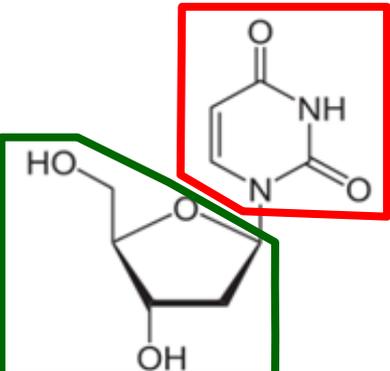
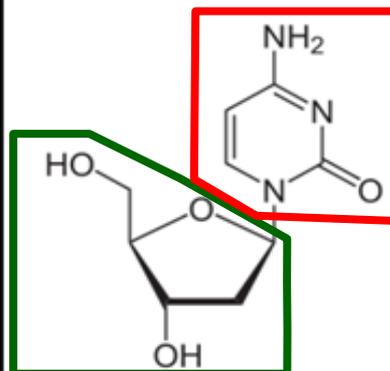
Les NUCLEOSIDES

- ☛ Un **nucléoSide** est l'association d'une **BASE AZOTEE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.

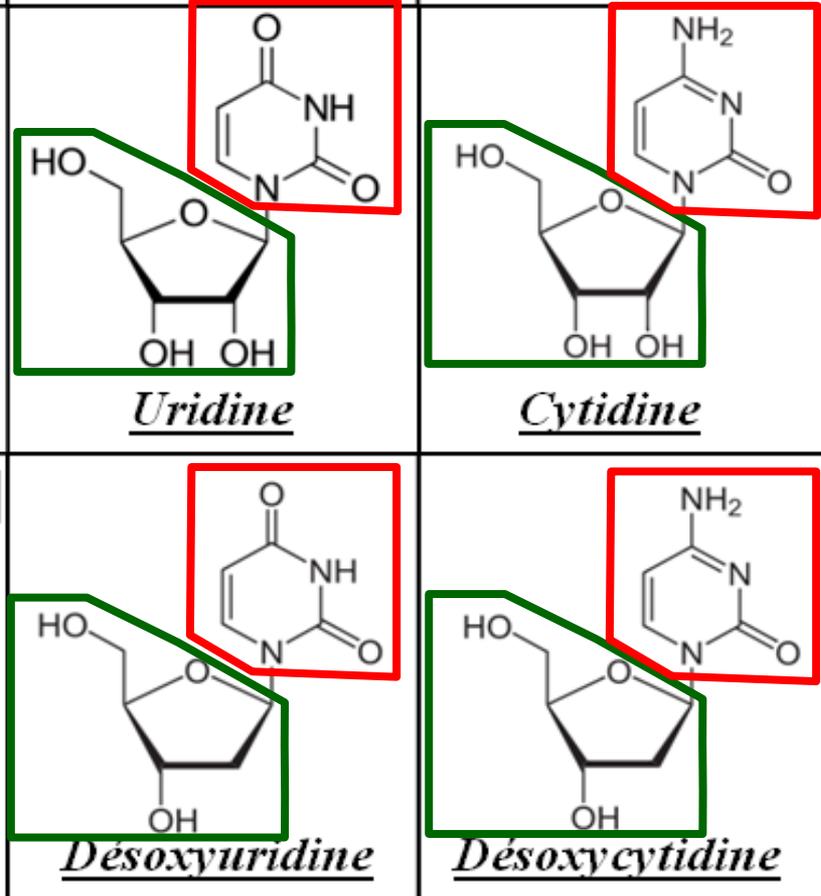
Un **nucléoside** est l'association d'une **BASE AZOTÉE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.

		Bases azotées		
		ADENINE	GUANINE	THYMINE
Sucres	RIBOSE			
	DESOXYRIBOSE			
		<i><u>Adénosine</u></i>	<i><u>Guanosine</u></i>	<i><u>Ribothymidine</u></i>
		<i><u>Désoxyadénosine</u></i>	<i><u>Desoxyguanosine</u></i>	<i><u>Thymidine</u></i>

Un **nucléoside** est l'association d'une **BASE AZOTÉE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.

		Bases azotées	
		URACILE	CYTOSINE
Sucres	RIBOSE	 <p><i>Uridine</i></p>	 <p><i>Cytidine</i></p>
	DESOXYRIBOSE	 <p><i>Desoxyuridine</i></p>	 <p><i>Déoxycytidine</i></p>

☛ Un **nucléoSide** est l'association d'une **BASE AZOTEE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.



Les NUCLEOTIDES

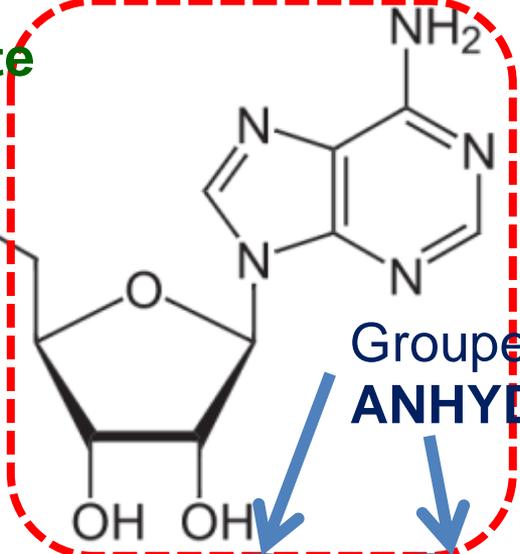
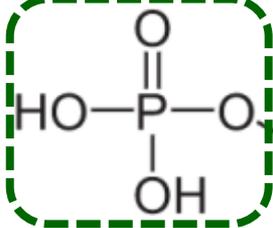
☛ Un **nucléoTide** est l'association d'un **NUCLEOSIDE** et d'un (ou plusieurs) **PHOSPHATE(S)** via le sucre du nucléoside.

Les NUCLEOTIDES

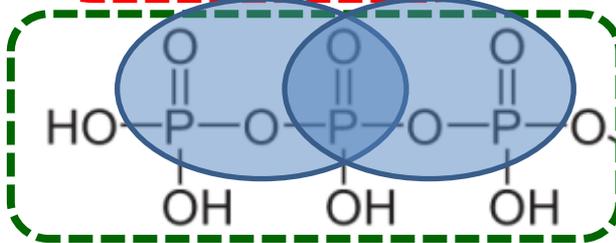
Un **nucléotide** est l'association d'un **NUCLEOSIDE** et d'un (ou plusieurs) **PHOSPHATE(S)** via le sucre du nucléoside.

Adénosine MonoPhosphate (AMP)

1 phosphate



Groupes
ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE

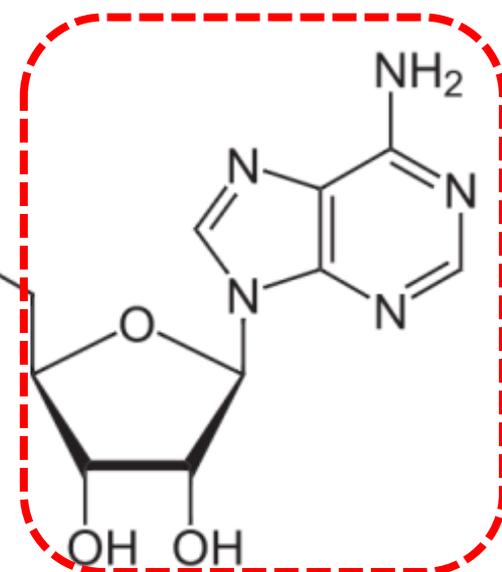
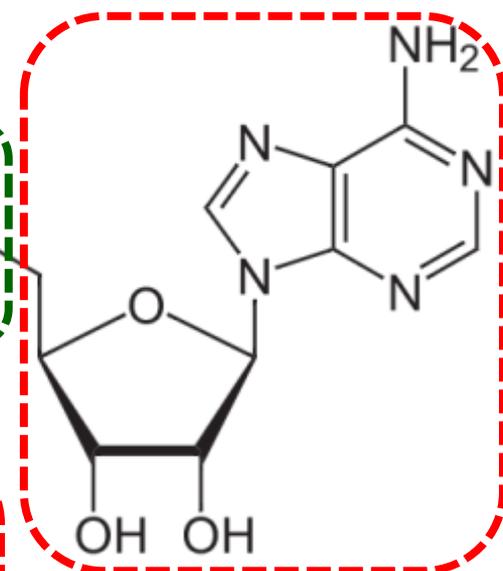
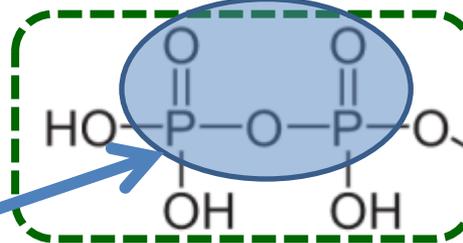


3 phosphates

Adénosine TriPhosphate (ATP)

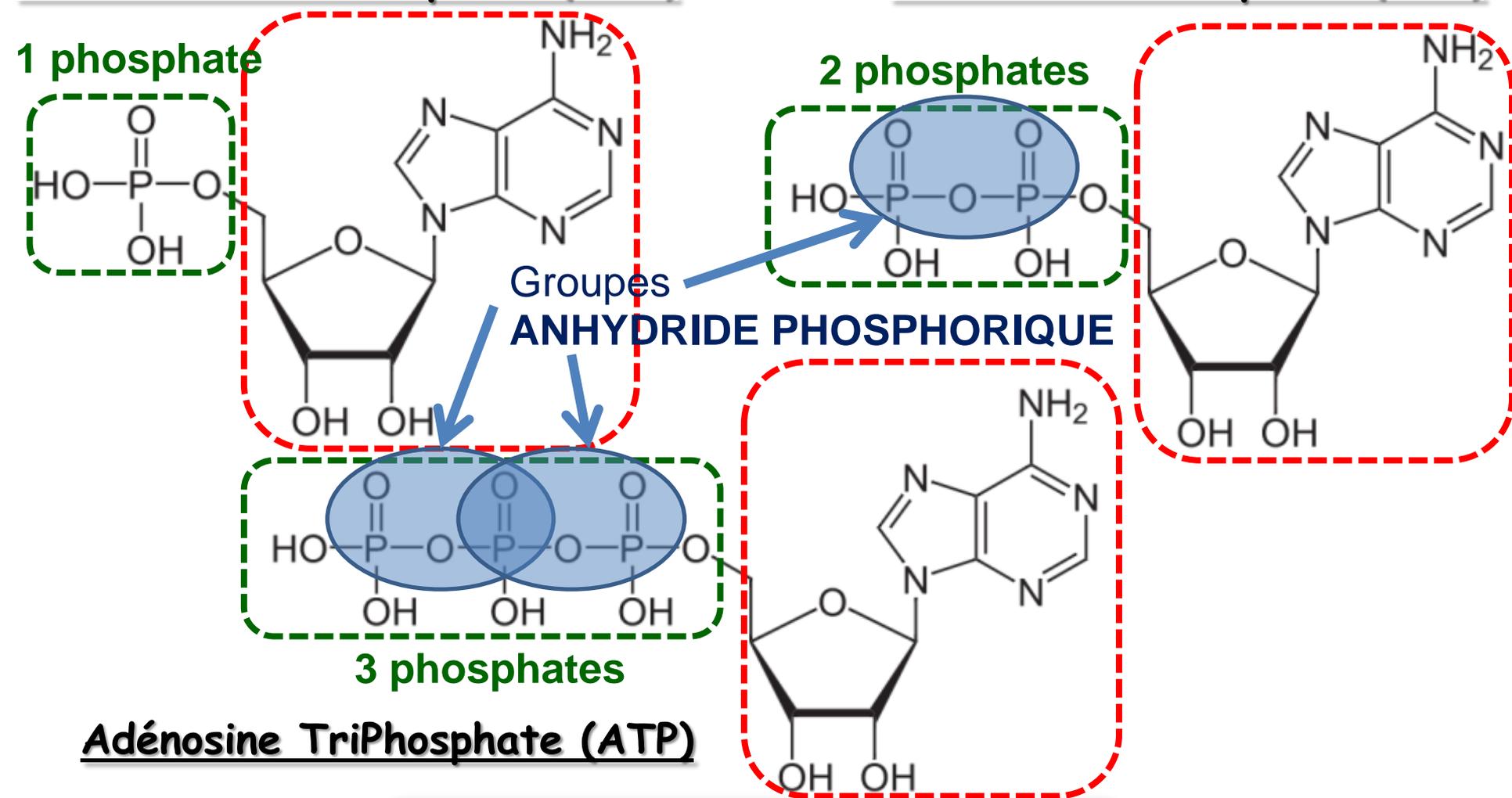
Adénosine DiPhosphate (ADP)

2 phosphates



Adénosine MonoPhosphate (AMP)

Adénosine DiPhosphate (ADP)



Les ACIDES NUCLEIQUES

- Les acides nucléiques **ADN** et **ARN** sont des polymères formés d'un très grand nombre de NUCLEOTIDES monophosphatés.

Les ACIDES NUCLEIQUES

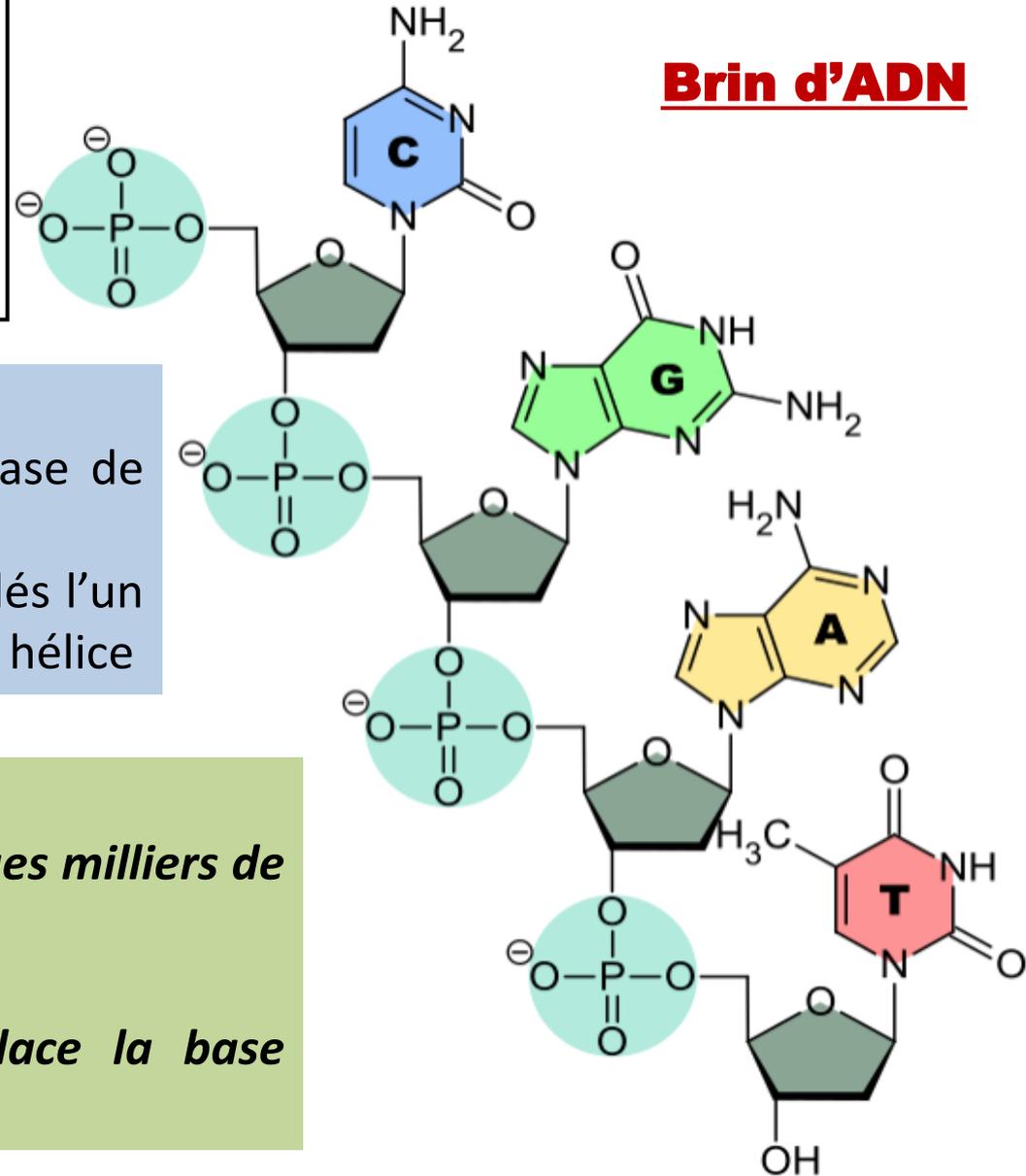
Les acides nucléiques **ADN** et **ARN** sont des polymères formés d'un très grand nombre de NUCLEOTIDES monophosphatés.

ADN

- ➔ des *milliards de nucléotides* à base de *désoxyribose*
- ➔ *2 brins d'acides nucléiques* enroulés l'un autour de l'autre en forme de double hélice

ARN

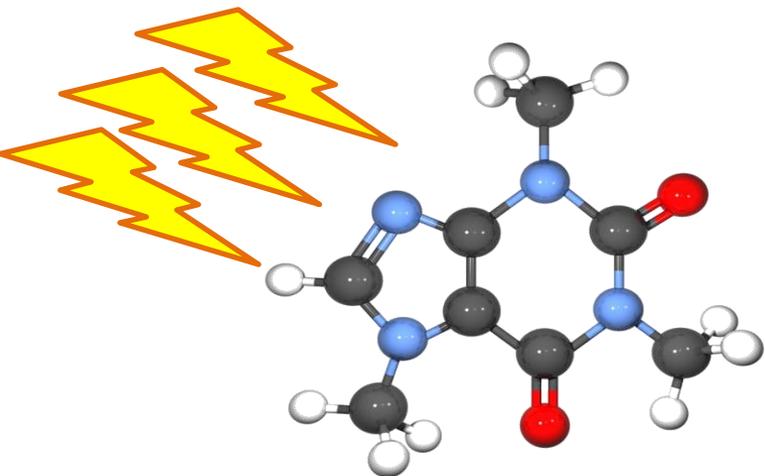
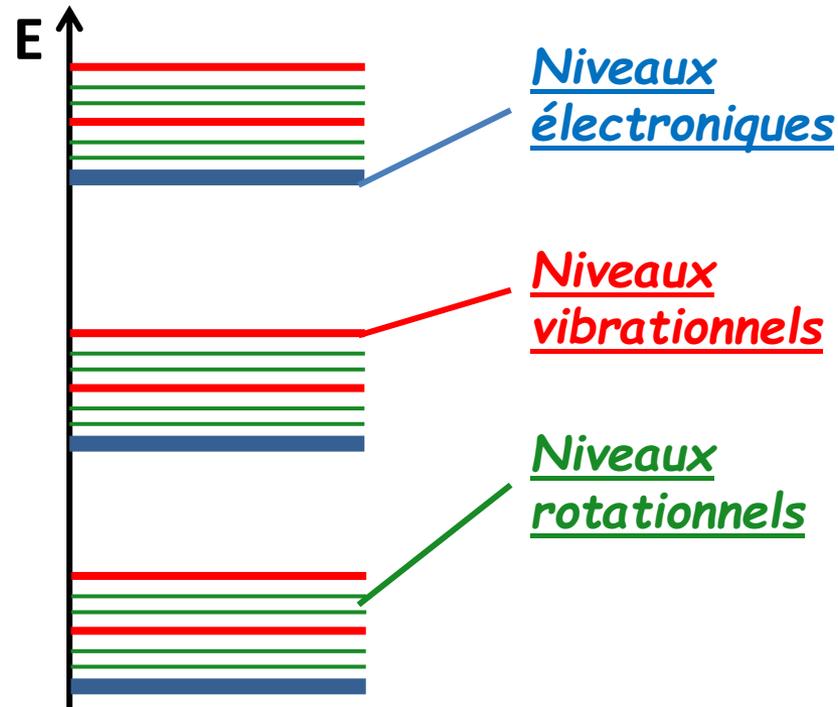
- ➔ *quelques dizaines à quelques milliers de nucléotides* à base de *ribose*
- ➔ de *structure monobrin*
- ➔ la base *uracile U* remplace la base *thymine T* de l'ADN.



II- La spectroscopie pour caractériser les espèces chimiques

Les niveaux d'énergie dans une molécule sont QUANTIFIÉS

$$E_{\text{édifice}} = E_{\text{électronique}} + E_{\text{vibrationnel}} + E_{\text{rotationnel}}$$



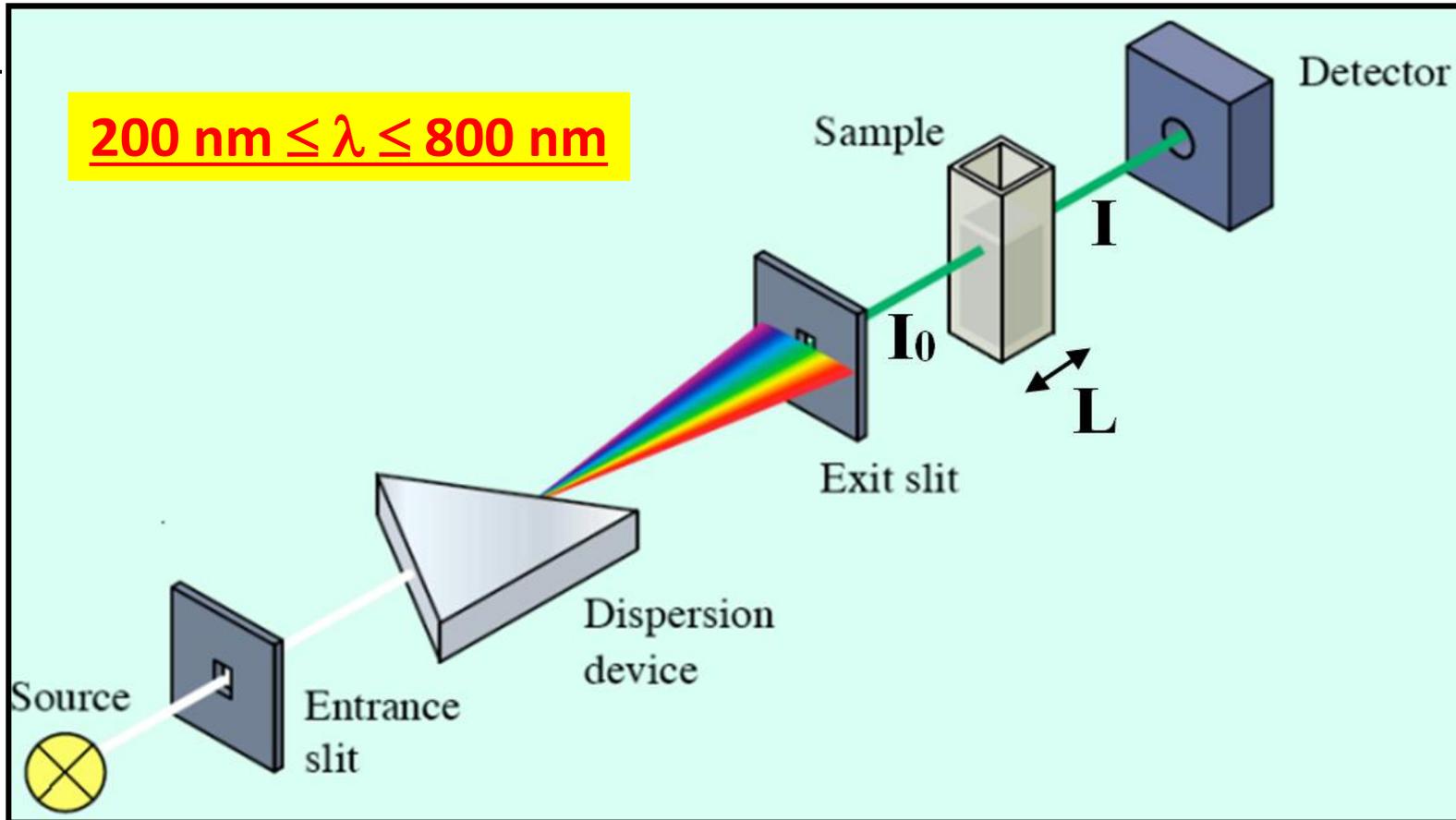
→ Différentes **absorptions** possibles

→ Différentes **spectroscopies** possibles

→ Différentes **informations** sur la molécule

1) La spectroscopie UV-visible :

a/ Principe



• Absorbance :

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

⇒ Grandeur **sans unité** ;

⇒ **$A = 0$** si l'espèce *n'absorbe pas* ;

$A \rightarrow +\infty$ si l'espèce *absorbe totalement*.

⇒ Quand la solution absorbe, **les électrons de valence de la molécule changent de niveau d'énergie électronique.**

☛ **Absorbance** : \Rightarrow Grandeur **sans unité** ;

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

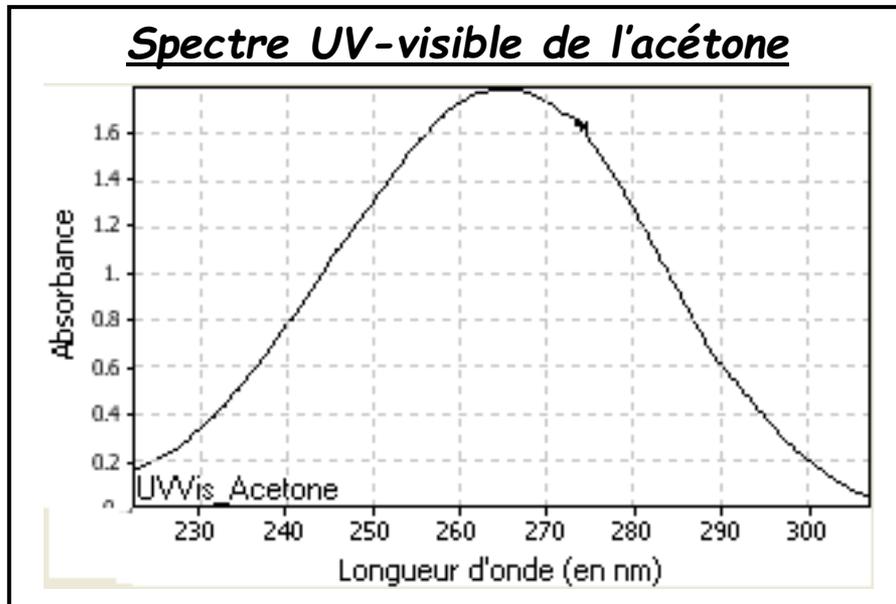
\Rightarrow **A = 0** si l'espèce *n'absorbe pas* ;

A $\rightarrow +\infty$ si l'espèce *absorbe totalement*.

\Rightarrow Quand la solution absorbe, **les électrons de valence de la molécule changent de niveau d'énergie électronique**.

b/ Les informations d'un spectre d'absorption $A = f(\lambda)$

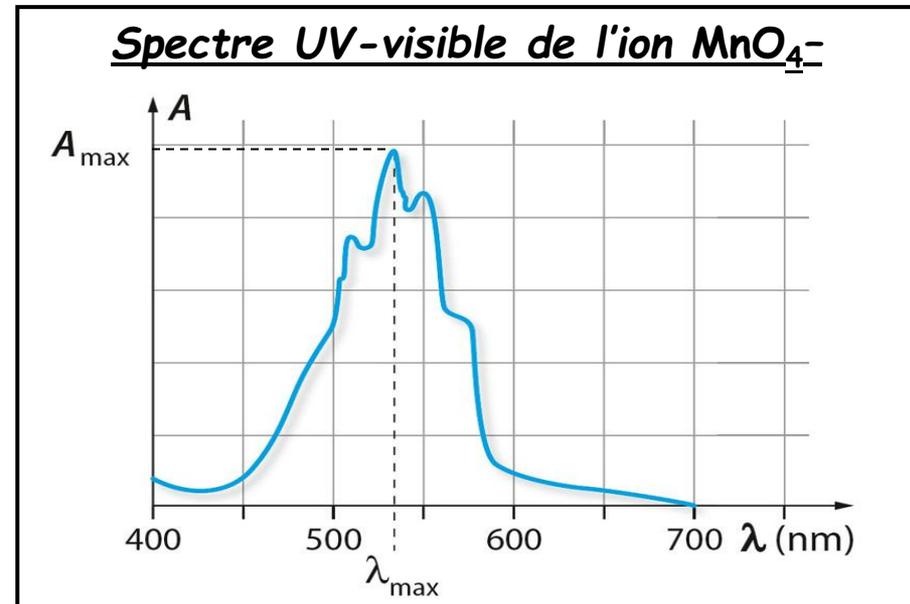
☛ Couleur d'une solution :



- Exemple 1 : l'acétone :

$\lambda_{\text{MAX}} = 265 \text{ nm}$ \notin au domaine visible

\Rightarrow **Espèce INCOLORE**



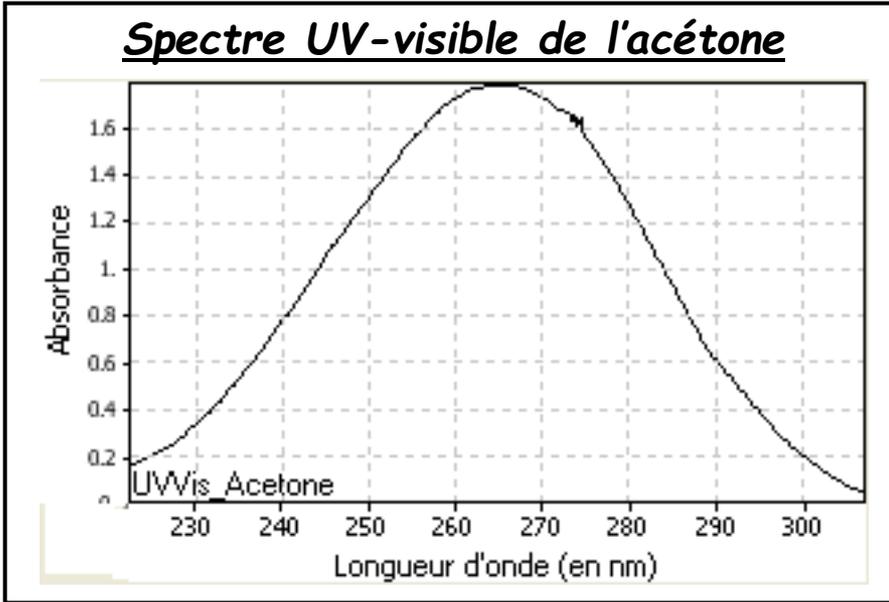
- Exemple 2 : l'ion permanganate :

$\lambda_{\text{MAX}} = 535 \text{ nm}$ \in au domaine visible

\Rightarrow **Espèce COLOREE**

b/ Les informations d'un spectre d'absorption $A = f(\lambda)$

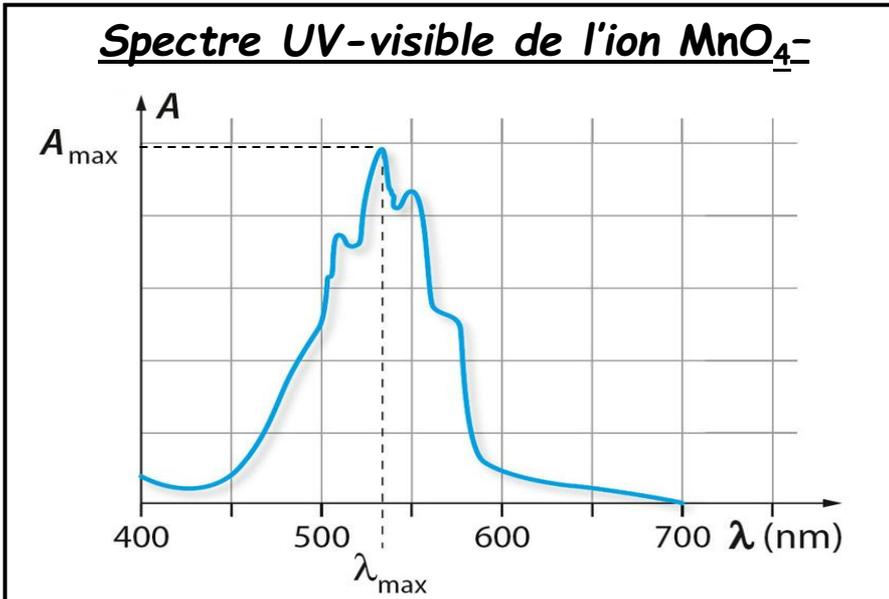
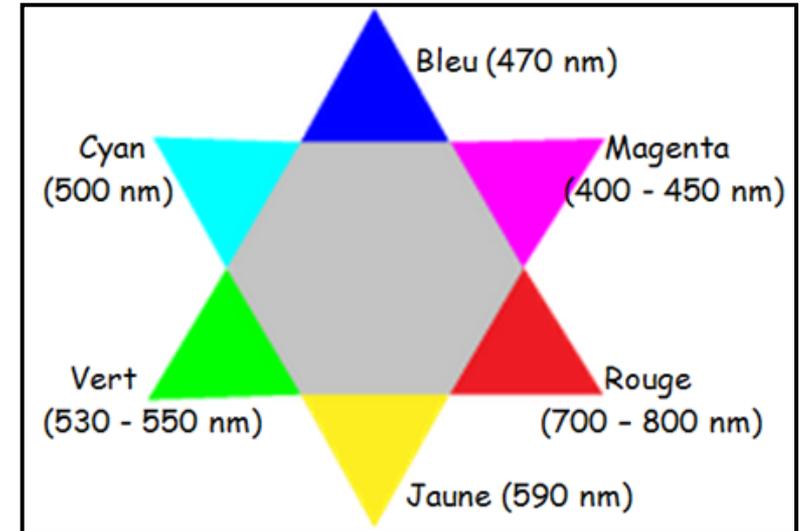
• Couleur d'une solution :



- Exemple 1 : l'acétone :

$\lambda_{\text{MAX}} = 265 \text{ nm} \notin$ au domaine visible

\Rightarrow Espèce INCOLORE



- Exemple 2 : l'ion permanganate :

$\lambda_{\text{MAX}} = 535 \text{ nm} \in$ au domaine visible

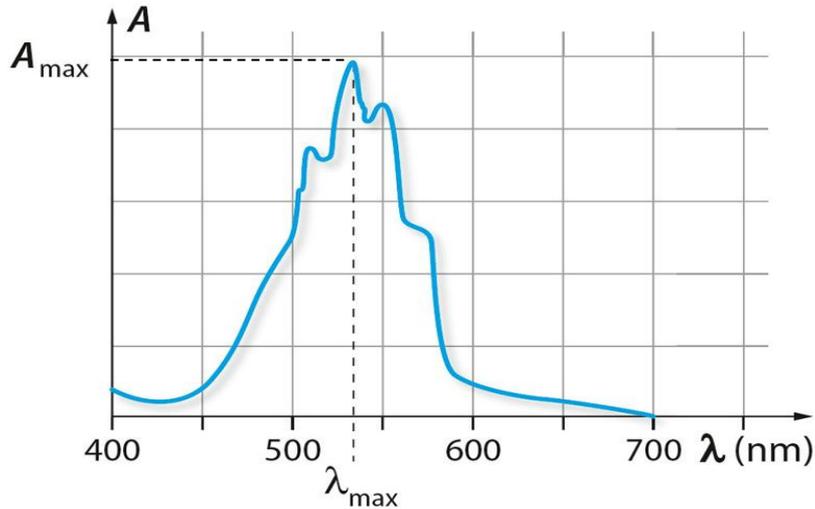
\Rightarrow Espèce COLOREE

535 nm = couleur complémentaire du magenta

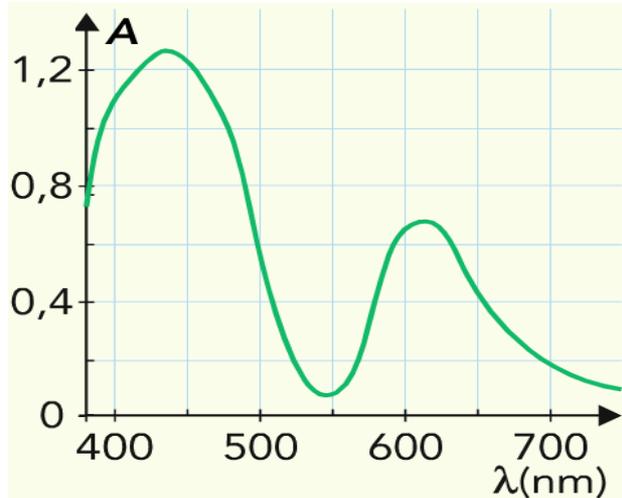
\rightarrow Couleur de l'ion MnO_4^-

Couleur d'une solution :

Spectre UV-visible de l'ion MnO_4^-



Spectre UV-visible de l'ion Cr^{3+}



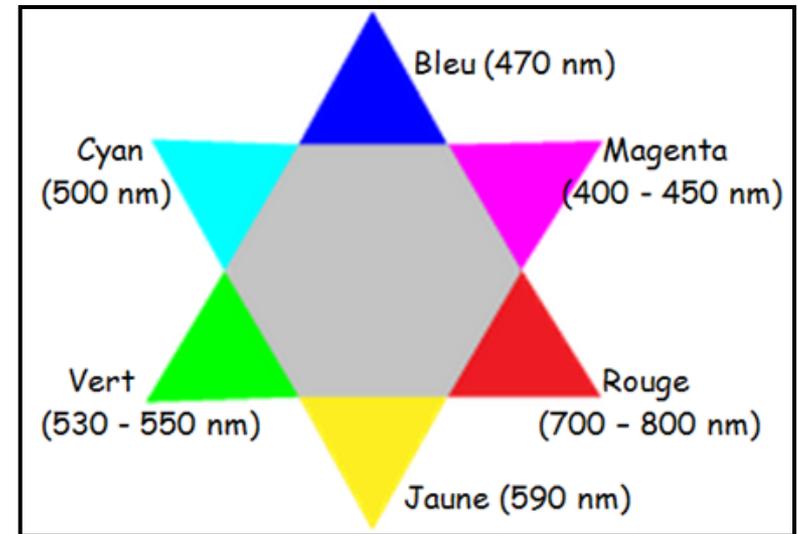
- Exemple 2 : l'ion permanganate :

$\lambda_{MAX} = 535 \text{ nm} \in$ au domaine visible

\Rightarrow Espèce COLOREE

535 nm = couleur complémentaire
du **magenta**

\rightarrow Couleur de l'ion MnO_4^-



- Exemple 3 : l'ion chrome(III) :

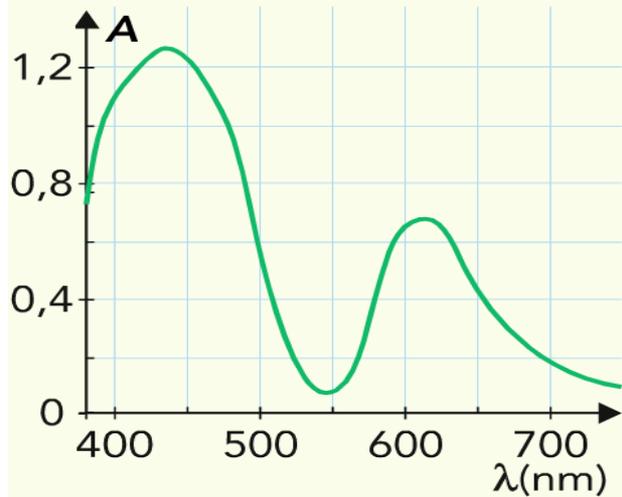
$\lambda_{MAX,1} = 440 \text{ nm} ; \lambda_{MAX,2} = 610 \text{ nm}$

\in au domaine visible

\Rightarrow Espèce COLOREE

$\lambda_{TRANSMIS} = 550 \text{ nm} =$ **Vert** \rightarrow Couleur de l'ion Cr^{3+}

Spectre UV-visible de l'ion Cr^{3+}



- Exemple 3 : l'ion chrome(III) :

$$\lambda_{\text{MAX},1} = 440 \text{ nm} ; \lambda_{\text{MAX},2} = 610 \text{ nm}$$

∈ au domaine visible

⇒ Espèce COLOREE

$$\lambda_{\text{TRANSMIS}} = 550 \text{ nm} = \text{Vert}$$

Couleur de l'ion Cr^{3+}

• Influence de la conjugaison :

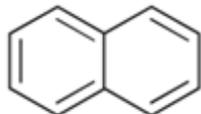
λ_{MAX} = longueur d'onde la plus absorbée

Benzène(incolor)



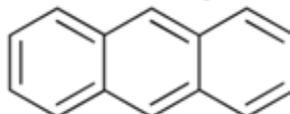
$$\lambda_{\text{max}} = 254 \text{ nm}$$

Naphtalène(incolor)



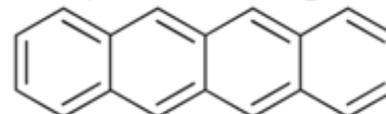
$$\lambda_{\text{max}} = 314 \text{ nm}$$

Anthracène(jaune)



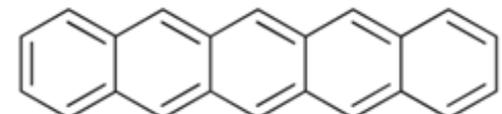
$$\lambda_{\text{max}} = 380 \text{ nm}$$

Naphtacène(orange)



$$\lambda_{\text{max}} = 480 \text{ nm}$$

Pentacène(violet)

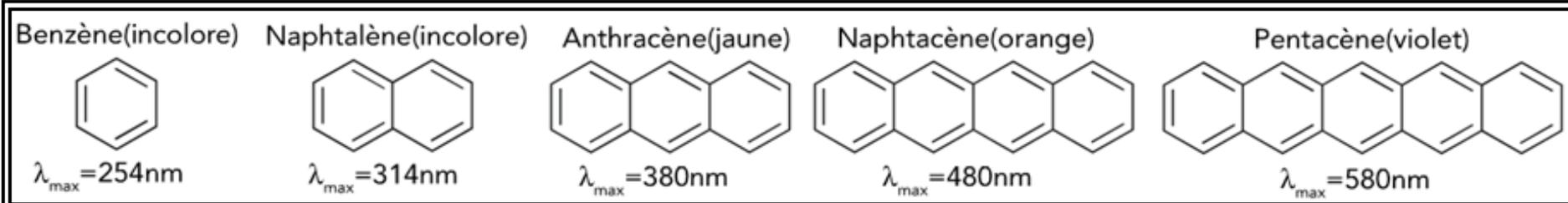


$$\lambda_{\text{max}} = 580 \text{ nm}$$

⇒ **Plus une molécule possède de doubles liaisons conjuguées** (alternance π - σ - π) , **plus la valeur de λ_{MAX} augmente** (car ΔE diminue).

⇒ Une molécule possédant au moins **7 doubles liaisons conjuguées** est **colorée**.

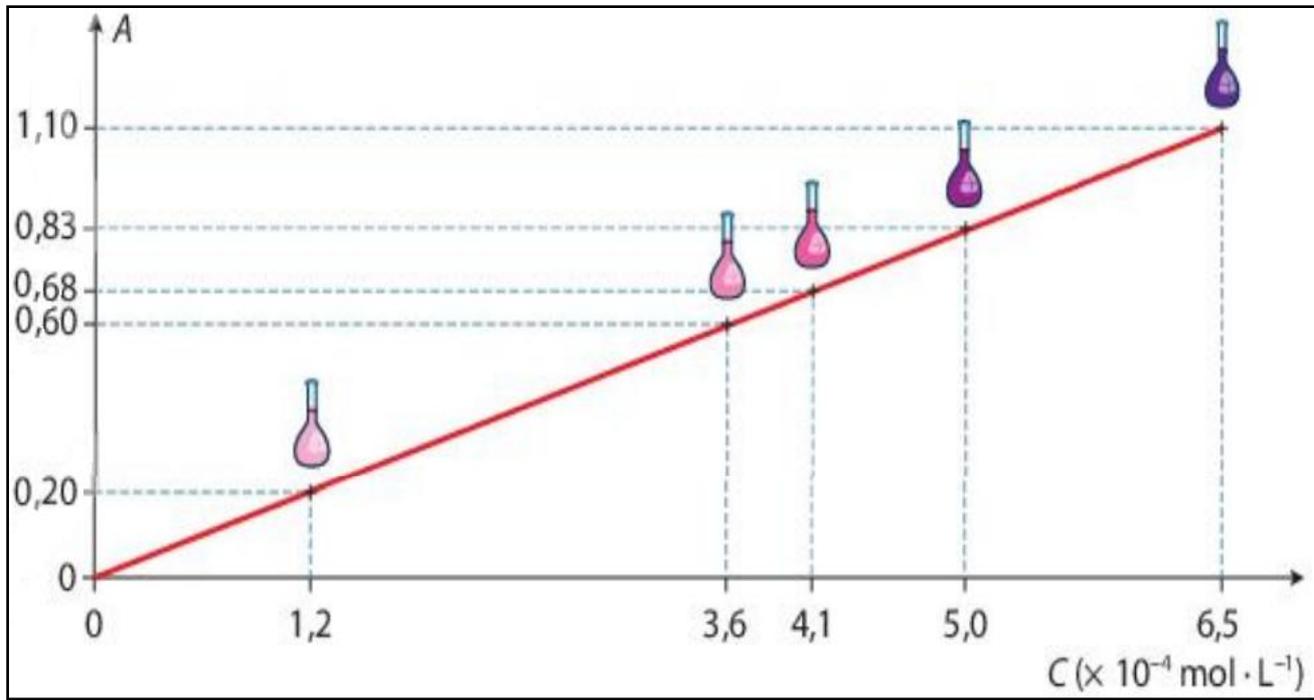
• Influence de la conjugaison : λ_{MAX} = longueur d'onde la plus absorbée



⇒ Plus une molécule possède de doubles liaisons conjuguées (alternance π - σ - π) , plus la valeur de λ_{MAX} augmente (car ΔE diminue).

⇒ Une molécule possédant au moins 7 doubles liaisons conjuguées est colorée.

c/ La loi de Beer-Lambert



c/ La loi de Beer-Lambert

☛ La loi de Beer-Lambert traduit la **proportionnalité** entre l'absorbance **A** d'une solution et la concentration molaire **C** de l'espèce absorbante.

$$A = \varepsilon_{\lambda} \times L \times C$$

- **A** : Absorbance (**sans unité**) ;
- **L** : épaisseur de solution traversée (**en cm**) ;
- **C** : concentration molaire de l'espèce absorbant (**en mol.L⁻¹**) ;
- **ε_{λ}** : constante de proportionnalité appelée **coefficient d'absorption molaire** (en **L.mol⁻¹.cm⁻¹**) et qui dépend de la longueur d'onde λ .



- La loi de Beer-Lambert n'est en réalité valable que pour des **solutions diluées** ($C < 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$) ;

- La loi de Beer-Lambert peut aussi s'exprimer **en fonction d'une concentration massique** : dans ce cas, l'unité de ε_{λ} est le $\text{L.g}^{-1}.\text{cm}^{-1}$;

- La loi de Beer-Lambert est **additive**, c'est à dire que si plusieurs espèces absorbent à une longueur d'onde donnée, la relation précédente devient :

$$A = A_1 + A_2 + \dots = \sum_i \varepsilon_i \cdot l \cdot c_i$$

c/ La loi de Beer-Lambert

☛ La loi de Beer-Lambert traduit la **proportionnalité** entre l'absorbance **A** d'une solution et la concentration molaire **C** de l'espèce absorbante.

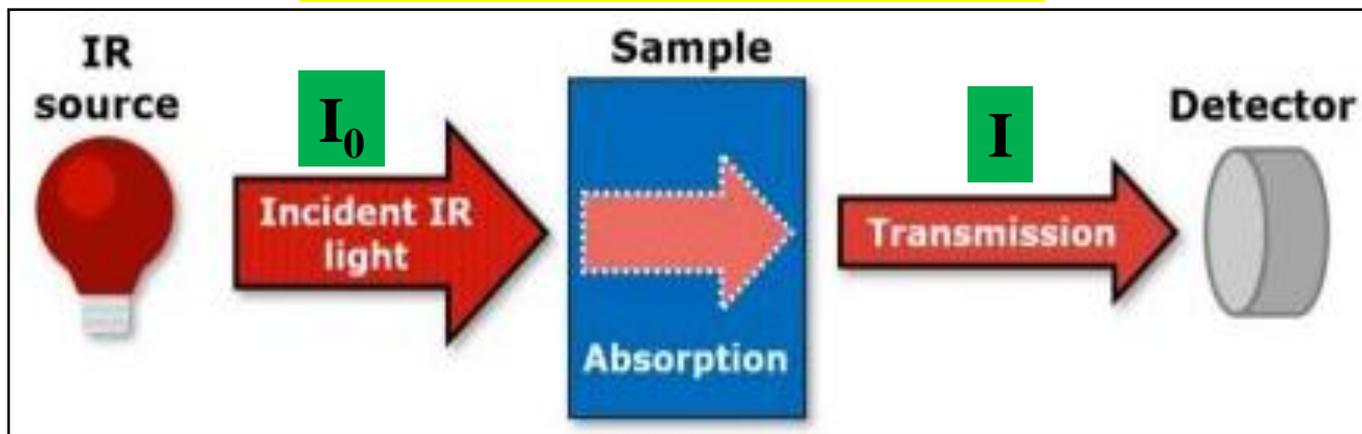
$$A = \varepsilon_{\lambda} \times L \times C$$

- **A** : Absorbance (**sans unité**) ;
- **L** : épaisseur de solution traversée (**en cm**) ;
- **C** : concentration molaire de l'espèce absorbant (**en mol.L⁻¹**) ;
- ε_{λ} : constante de proportionnalité appelée **coefficient d'absorption molaire** (en **L.mol⁻¹.cm⁻¹**) et qui dépend de la longueur d'onde λ .

2) La spectroscopie Infrarouge :

a/ Principe

$$2000 \text{ nm} \leq \lambda \leq 20\,000 \text{ nm}$$



2) La spectroscopie Infrarouge :

a/ Principe

☛ Transmittance : \Rightarrow Grandeur **sans unité** (exprimée en %)

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

\Rightarrow **T = 0** si l'espèce *absorbe totalement* ;

T = 1 si l'espèce *n'absorbe rien*.

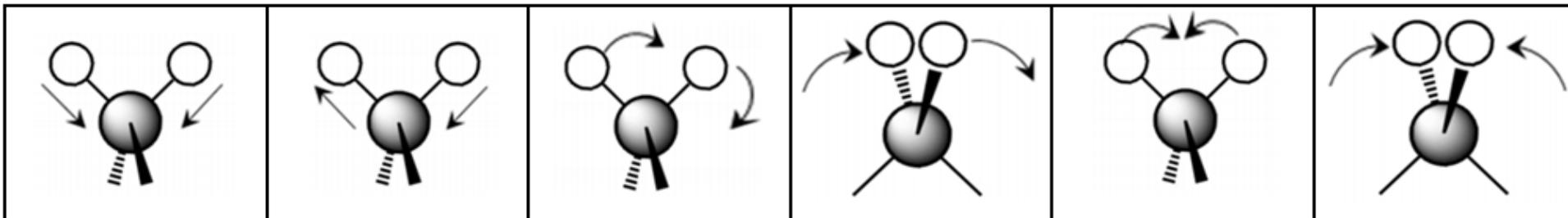
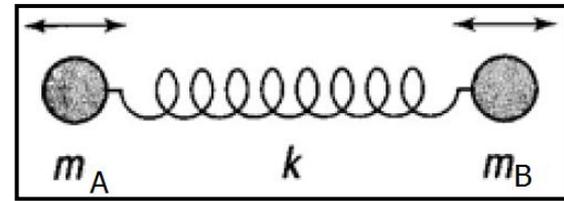
\Rightarrow L'absorption d'un rayonnement **IR** permet de **changer de niveau d'énergie vibrationnel et rotationnel**

☛ Origine de l'absorption :

Liaison covalente modélisable par le modèle de l'**oscillateur harmonique**

Ressort de constante de raideur k

Masse réduite $\mu = \frac{m_A \times m_B}{m_A + m_B}$



\Rightarrow Fréquence de résonance :

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

Absorption d'un photon $h \cdot \nu_0$
 \Rightarrow La liaison AB rentre en résonance

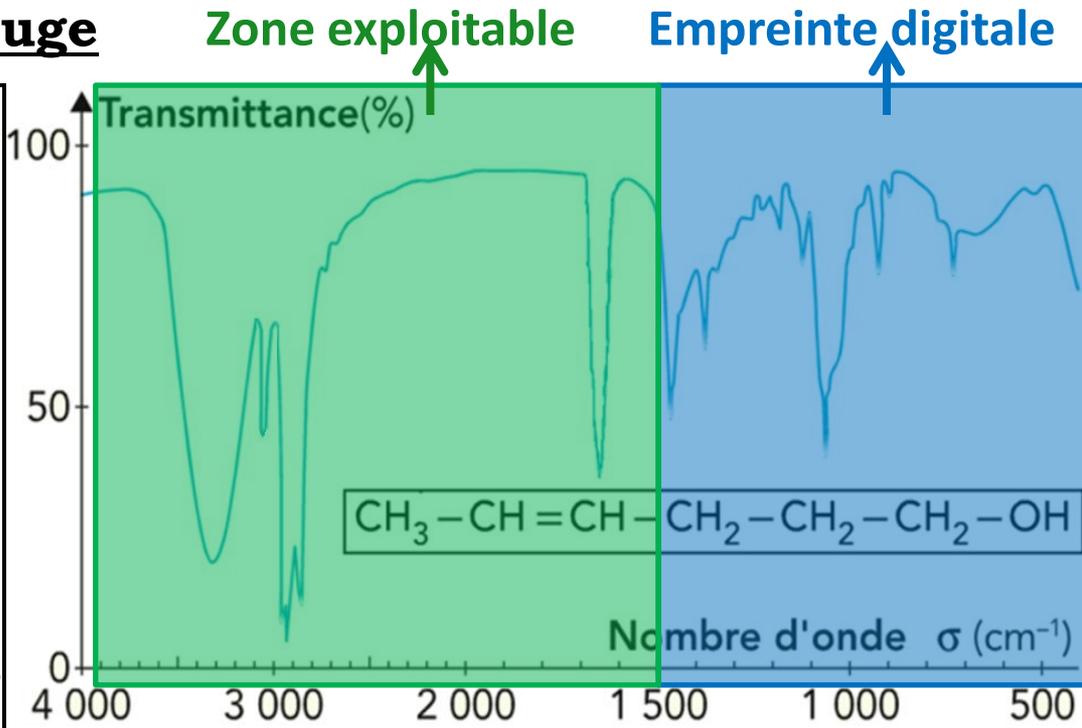
b/ Allure d'un spectre infrarouge

• Ordonnée : **Transmittance**
 • Abscisse : **Nombre d'onde**
 = inverse de la longueur d'onde

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

cm^{-1} — σ — cm

Exemple : Si $\lambda = 10\,000\text{ nm}$,
 $\sigma = \frac{1}{10000 \cdot 10^{-7}}$ soit $\sigma = 1000\text{ cm}^{-1}$



• Allure d'un spectre infrarouge :

⇒ **NOMBRE D'ONDE**, **FORME** et **INTENSITE** des pics sont caractéristiques de chaque liaison.

$$\sigma_0 = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{\nu_0}{c} = \frac{1}{2\pi c} \times \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

Forme		Intensité		
large	fine	<u>F</u> orte	<u>m</u> oyenne	<u>f</u> aible

- ⇒ 2 zones dans le spectre IR :
- ➔ $\sigma < 1500\text{ cm}^{-1}$: l'« empreinte digitale » : difficilement exploitable
 - ➔ $\sigma > 1500\text{ cm}^{-1}$: partie exploitable

Annexe n°1

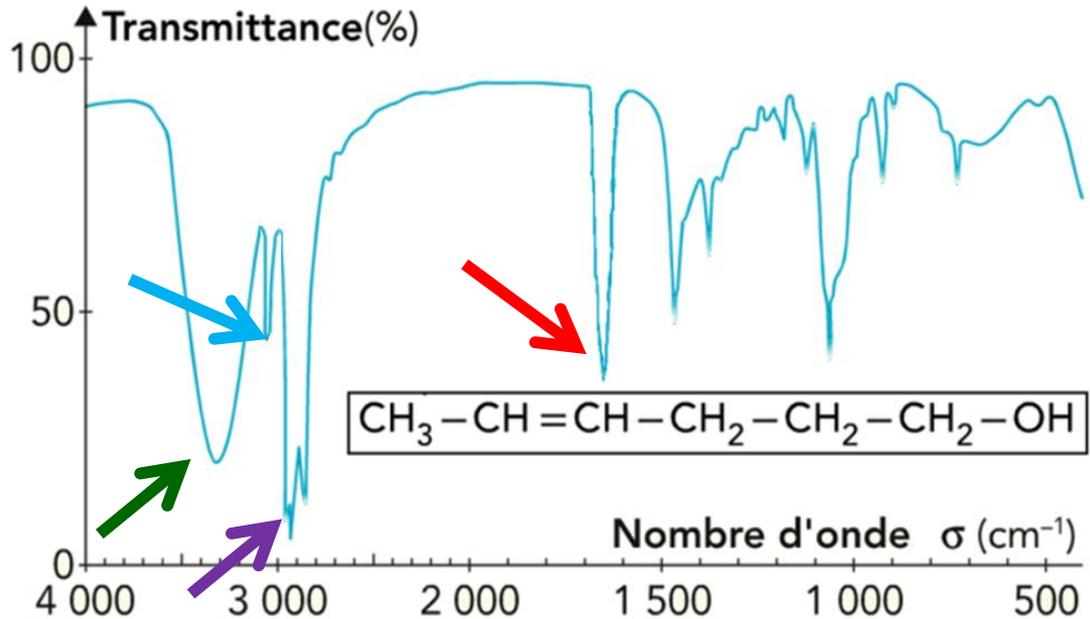
Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité / Forme	Particularités
O – H alcool libre	3580 – 3670	Moyenne / Fine	Se superpose à la précédente
O – H alcool lié	3200 – 3400	Forte / Large	
N – H amine (v)	3100 – 3500	Moyenne	2 bandes si l'atome d'azote est lié à 2 atomes d'hydrogène
N – H amide (v)	3100 – 3500	Forte	
C – H alcyne	3300 – 3310	Faible à Moyenne	
C – H alcène	3000 – 3100	Moyenne	
C – H aromatique	3030 – 3080	Moyenne	
C – H alcane	2800 – 3000	Forte	
C – H aldéhyde	2750 – 2900	Moyenne	
O – H acide carboxylique	2500 – 3200	Moyenne à Forte / Large	
C ≡ C alcyne	2100 – 2250	Faible	2 bandes
C = O anhydride	1700 – 1840	Forte	
C = O chlorure d'acide	1770 – 1820	Forte	
C = O ester	1700 – 1740	Forte	
C = O aldéhyde et cétone	1650 – 1730	Forte	
C = O acide carboxylique	1680 – 1710	Forte	
C = O amide	1650 – 1695	Forte	

Annexe n°1

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité / Forme	Particularités
C = C alcène	1625 – 1685	Moyenne	3 à 4 bandes
C = C aromatique	1450 – 1600	Variable	
N = O	1510 – 1580 1325 – 1365	Forte	2 bandes
C = N	1600 – 1680	Forte	
N – H amine et amide (d)	1560 – 1640	Moyenne à Forte	
C – H alcane (d)	1415 – 1470	Forte	
C – O ester	1050 – 1330	Forte	
C – O éther	1000 – 1250	Forte	
C – O alcool	970 – 1260	Forte	
C – C	1000 – 1250	Forte	
C – F	1000 – 1040	Forte	
C – Cl	700 – 800	Forte	
C – Br	600 – 750	Forte	
C – I	500 – 600	Forte	

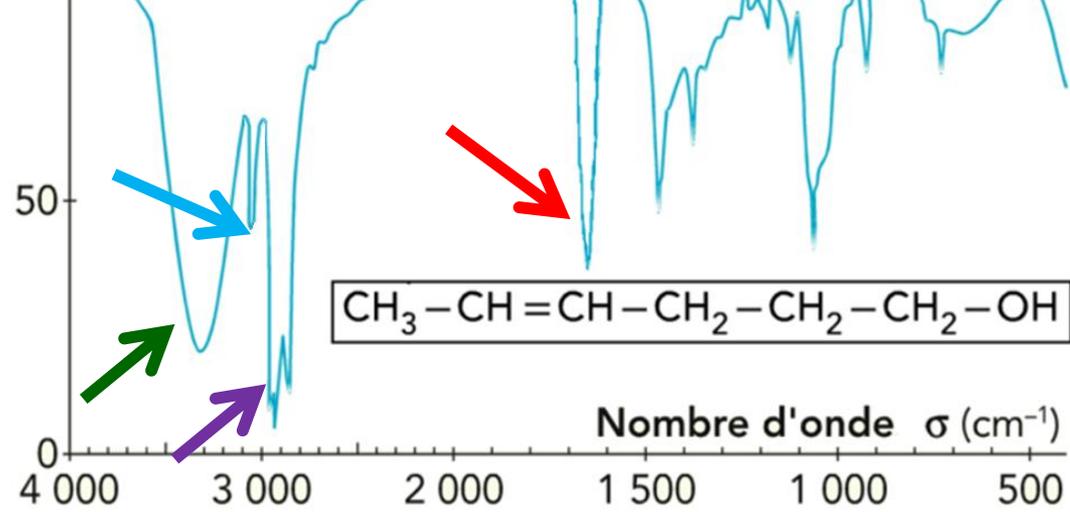
Application 1 : Justifier l'allure du spectre infrarouge ci-dessus.

- **Liaison O – H alcool :**
bande centrée sur $\sigma = 3350 \text{ cm}^{-1}$
- **Liaison C – H alcane :**
bande centrée sur $\sigma = 2900 \text{ cm}^{-1}$
- **Liaison C = C alcène :**
bande centrée sur $\sigma = 1650 \text{ cm}^{-1}$
- **Liaison C – H alcène :**
bande centrée sur $\sigma = 3050 \text{ cm}^{-1}$



Liaison	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité / Forme	Particularités
O – H alcool libre	3580 – 3670	Moyenne / Fine	Se superpose à la précédente
O – H alcool lié	3200 – 3400	Forte / Large	
N – H amine (v)	3100 – 3500	Moyenne	2 bandes si l'atome d'azote est lié à 2 atomes d'hydrogène
N – H amide (v)	3100 – 3500	Forte	
C – H alcyne	3300 – 3310	Faible à Moyenne	3 à 4 bandes
C – H alcène	3000 – 3100	Moyenne	
C – H aromatique	3030 – 3080	Moyenne	
C – H alcane	2800 – 3000	Forte	
C – H aldéhyde	2750 – 2900	Moyenne	
C = C alcène	1625 – 1685	Moyenne	
C = C aromatique	1450 – 1600	Variable	

- Liaison **O – H** alcool :
bande centrée sur $\sigma = 3350 \text{ cm}^{-1}$
- Liaison **C – H** alcane :
bande centrée sur $\sigma = 2900 \text{ cm}^{-1}$
- Liaison **C = C** alcène :
bande centrée sur $\sigma = 1650 \text{ cm}^{-1}$
- Liaison **C – H** alcène :
bande centrée sur $\sigma = 3050 \text{ cm}^{-1}$



c/ Cas particulier de la liaison O-H

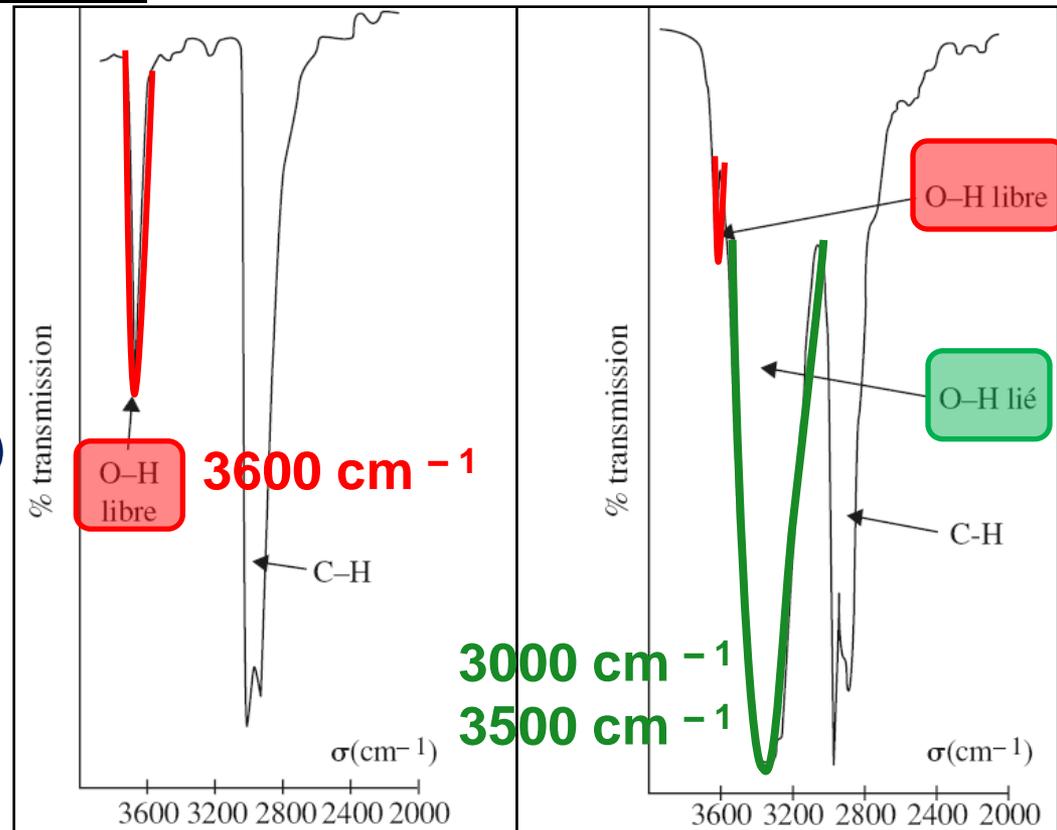
Pour la liaison O-H caractéristique des alcools, les tables de données distinguent le cas « **O-H lié** » du cas « **O-H libre** ». De quoi s'agit-il ?

Spectre de gauche : OH libre

Les molécules d'alcools n'interagissent pas entre elles (phase gaz)

Spectre de droite : OH lié

Les molécules d'alcools interagissent entre elles via leur groupe hydroxyle et forment des **liaisons H** (phase solide ou liquide)



c/ Cas particulier de la liaison O-H

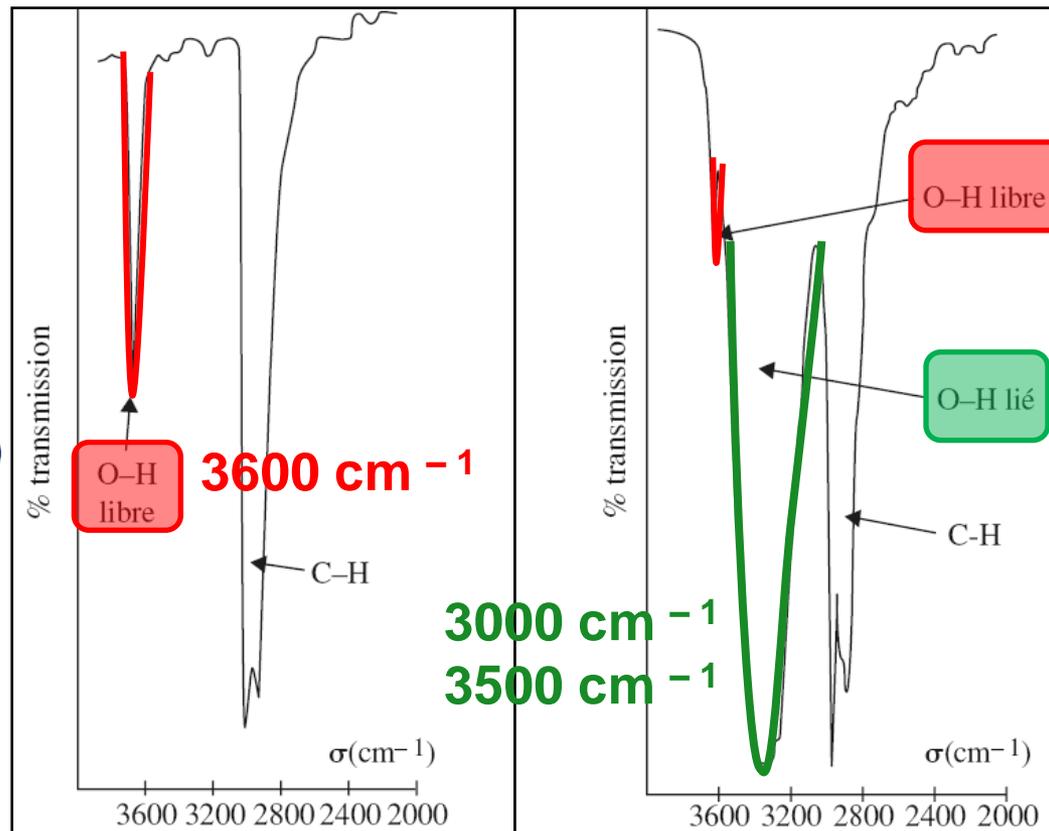
Pour la liaison O-H caractéristique des alcools, les tables de données distinguent le cas « **O-H lié** » du cas « **O-H libre** ». De quoi s'agit-il ?

Spectre de gauche : OH libre

Les molécules d'alcools n'interagissent pas entre elles (phase gaz)

Spectre de droite : OH lié

Les molécules d'alcools interagissent entre elles via leur groupe hydroxyle et forment des **liaisons H** (phase solide ou liquide)



3) Spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN ^1H)

- Principe : - Molécule plongée dans un **champ magnétique** $B_0 \approx 1 \text{ T}$
 - Les **H absorbent des photons** de fréquence $\nu \approx 100 \text{ MHz}$
- pour orienter leur moment magnétique dans le sens opposé à B_0 .

3) Spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN ^1H)

- ☛ Principe : - Molécule plongée dans un **champ magnétique** $B_0 \approx 1 \text{ T}$
- Les **H absorbent des photons** de fréquence $\nu \approx 100 \text{ MHz}$
- pour orienter leur moment magnétique dans le sens opposé à B_0 .

a/ Protons équivalents d'une molécule

La fréquence ν_i du photon absorbé par les protons d'une molécule **dépend de leur environnement chimique.**

On appelle **Groupe de Protons Equivalents (GPE)** d'une molécule l'ensemble des protons qui ont le même environnement chimique.

Pour simplifier, ce sont les **protons liés** :

- **à un même atome de carbone** engagé uniquement dans des liaisons simples ;
- **à des atomes de carbone différents** mais pour lesquels il existe une **relation de symétrie**.

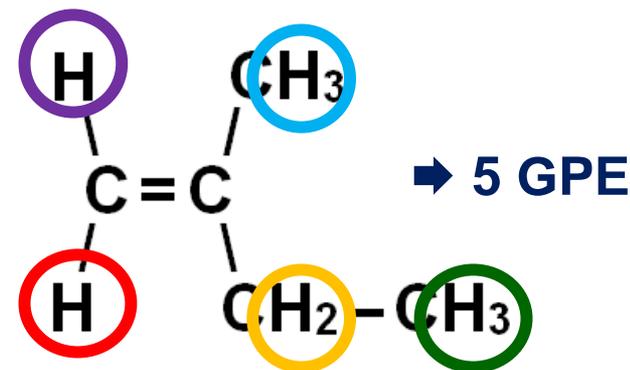
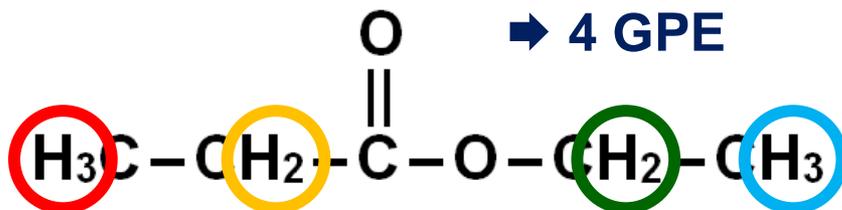
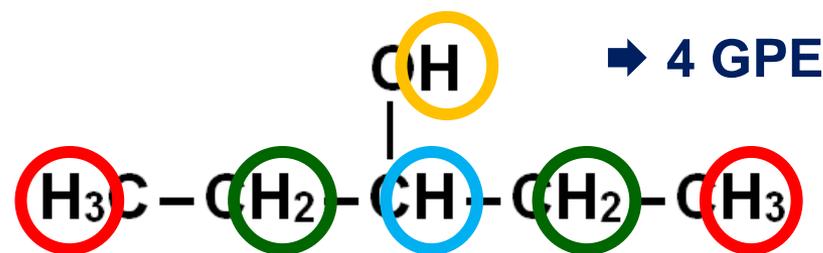
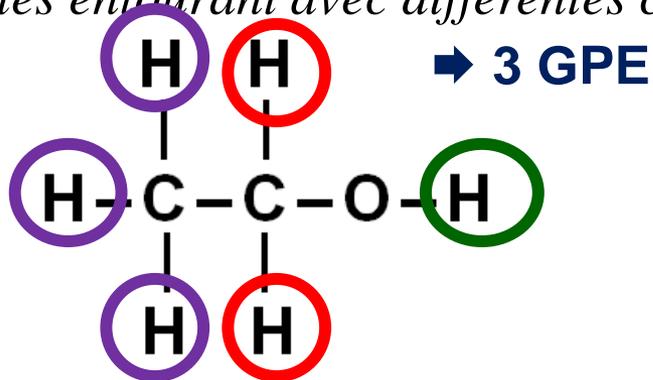
a/ Protons équivalents d'une molécule

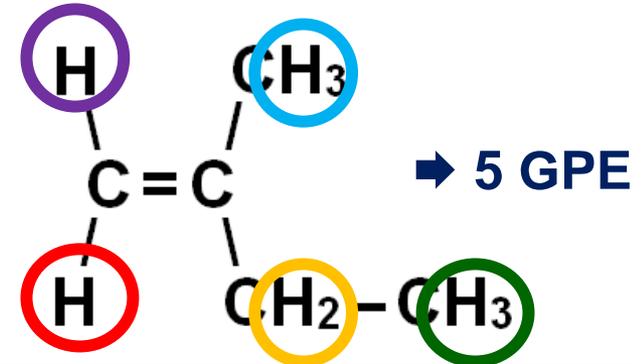
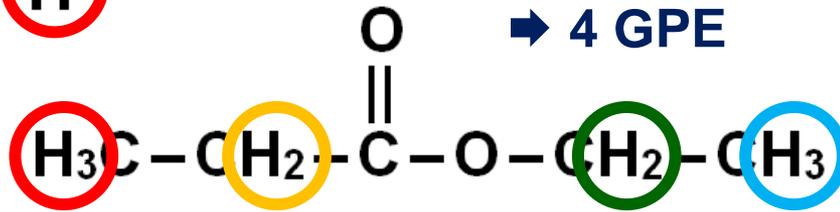
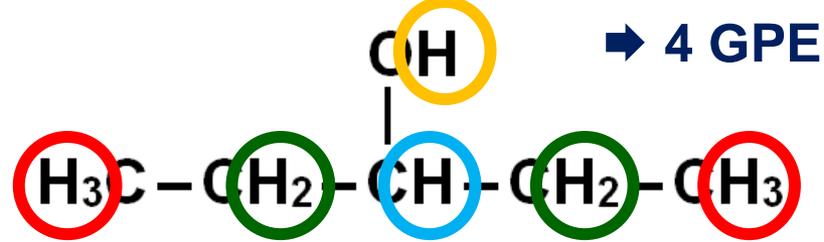
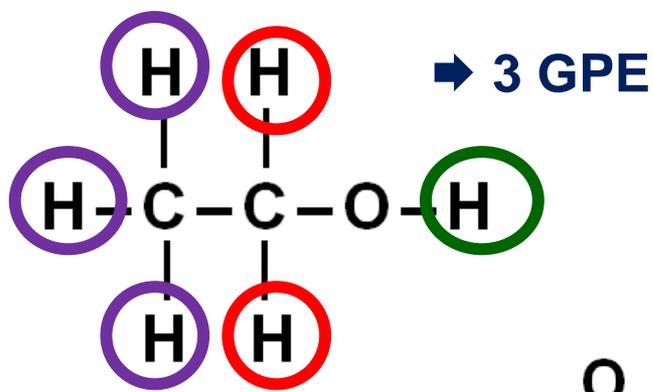
On appelle **Groupe de Protons Equivalents (GPE)** d'une molécule l'ensemble des protons qui ont le même environnement chimique.

Pour simplifier, ce sont les **protons liés** :

- **à un même atome de carbone** engagé uniquement dans des liaisons simples ;
- **à des atomes de carbone différents** mais pour lesquels il existe une **relation de symétrie**.

☞ - **Application 2** : Pour chaque molécule ci-dessous, déterminer le nombre de GPE en les entourant avec différentes couleurs.

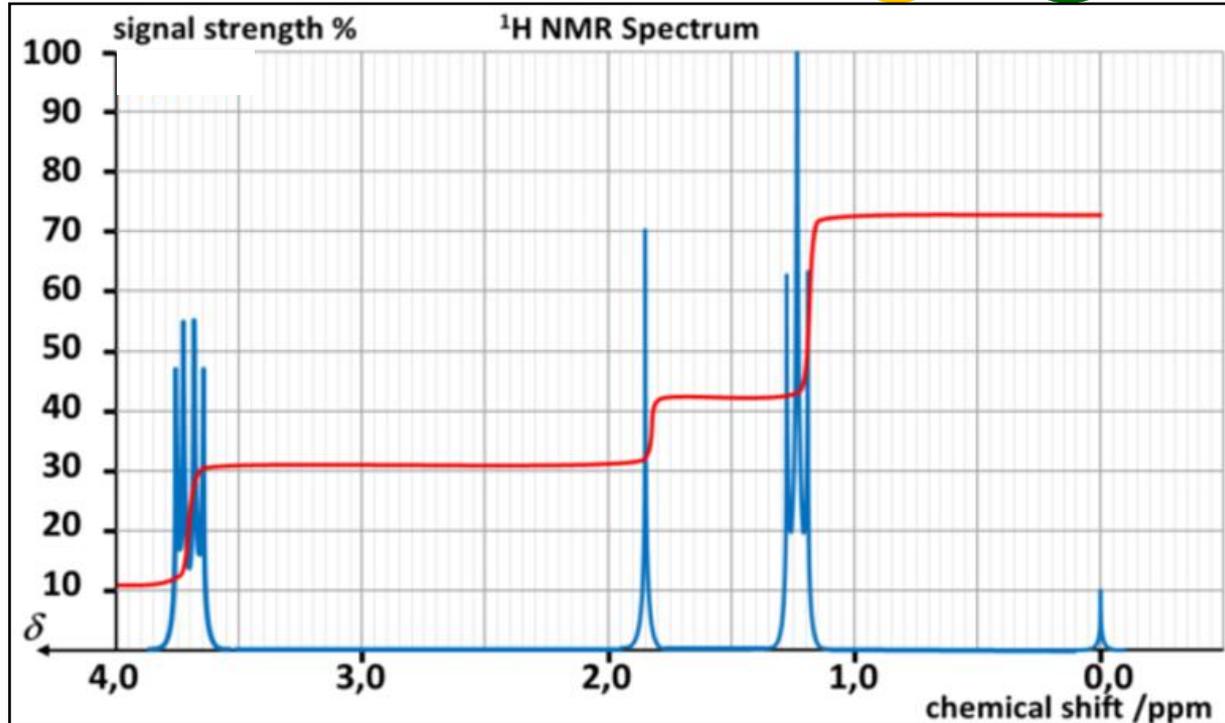




• Nombre de signaux dans un spectre de RMN :

Il y en a autant que de **Groupes de Protons Equivalents (GPE)**

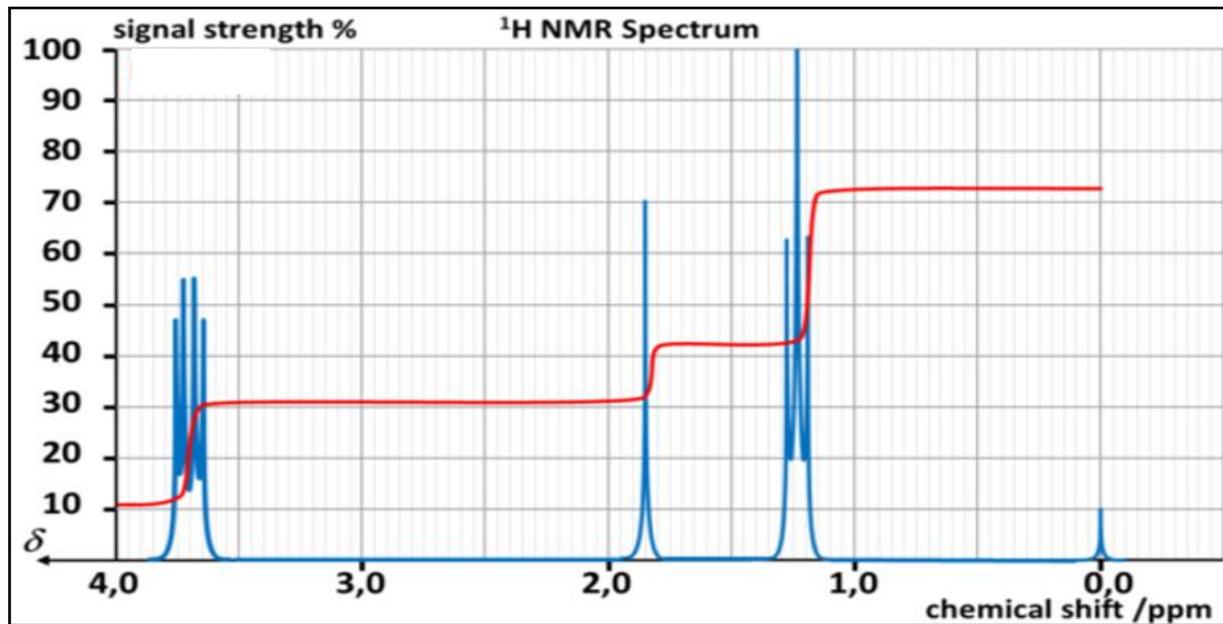
Grandeur portée en abscisse : **Le déplacement chimique**, noté δ , et exprimé en **ppm (partie par million)**



☛ Nombre de signaux dans un spectre de RMN :

Il y en a autant que de **Groupes de Protons Equivalents (GPE)**

Grandeur portée en abscisse : **Le déplacement chimique**, noté δ , et exprimé en **ppm**



Annexe n°2 – Table des déplacements chimiques en RMN ¹H

Protons CH ₃	δ	Protons CH ₂	δ	Protons CH	δ
Liés à un carbone tétraédrique					
CH ₃ -C	0,9	-CH ₂ -C	1,3	CH-C	1,5
CH ₃ -C-C=C	0,95-1,1	-CH ₂ -C-C=C	1,3		
CH ₃ -C-C=O	0,95-1,1	-CH ₂ -C-C=O	1,5		
CH ₃ -C-C≡N	1,15	-CH ₂ -C-C≡N	1,7		
CH ₃ -C-NH ₂ (ou NR ₂)	1,15	-CH ₂ -C-NH ₂ (ou NR ₂)	1,3	CH-C-NH ₂ (ou NR ₂)	
CH ₃ -C-Ar	1,25	-CH ₂ -C-Ar	1,6		
CH ₃ -C-OH(ou OR)	1,15-1,3	-CH ₂ -C-OH(ou OR)	1,8	CH-C-OH	1,6-2
CH ₃ -C-Cl	1,5	-CH ₂ -C-Cl	1,7	CH-C-Cl	1,6

Protons CH ₃	δ	Protons CH ₂	δ	Protons CH	δ
En α d'une insaturation					
CH ₃ -C=C	1,6	-CH ₂ -C=C	2,1-2,3	CH-C=C	2,5
CH ₃ -C≡C	1,8	-CH ₂ -C≡C	2,6		
CH ₃ -C≡N	2,0	-CH ₂ -C≡N	2,4	CH-C≡N	2,7
CH ₃ -CO-OR	2,0	-CH ₂ -CO-OR	2,2		
CH ₃ -CO-OH	2,1	-CH ₂ -CO-OH	2,35	CH-CO-OH	2,6
CH ₃ -CO-NH ₂ (ou NR ₂)	2-2,1	-CH ₂ -CO-NH ₂ (ou NR ₂)	2,1-2,2		
CH ₃ -C=C-C=O	2,0	-CH ₂ -C=C-C=O	2,4		
CH ₃ -CO-R	2,1-2,2	-CH ₂ -CO-R	2,4	CH-CO-R	2,5-2,7
CH ₃ -Ar	2,3-2,4	-CH ₂ -Ar	2,7	CH-Ar	3,0
CH ₃ -CO-Ar	2,6	-CH ₂ -CO-Ar	2,9	CH-CO-Ar	3,3
		C=C-CH ₂ -C=C	2,9		
		C=C-CH ₂ -C=O	3,1-3,2		
		O=C-CH ₂ -C=O	3,4		

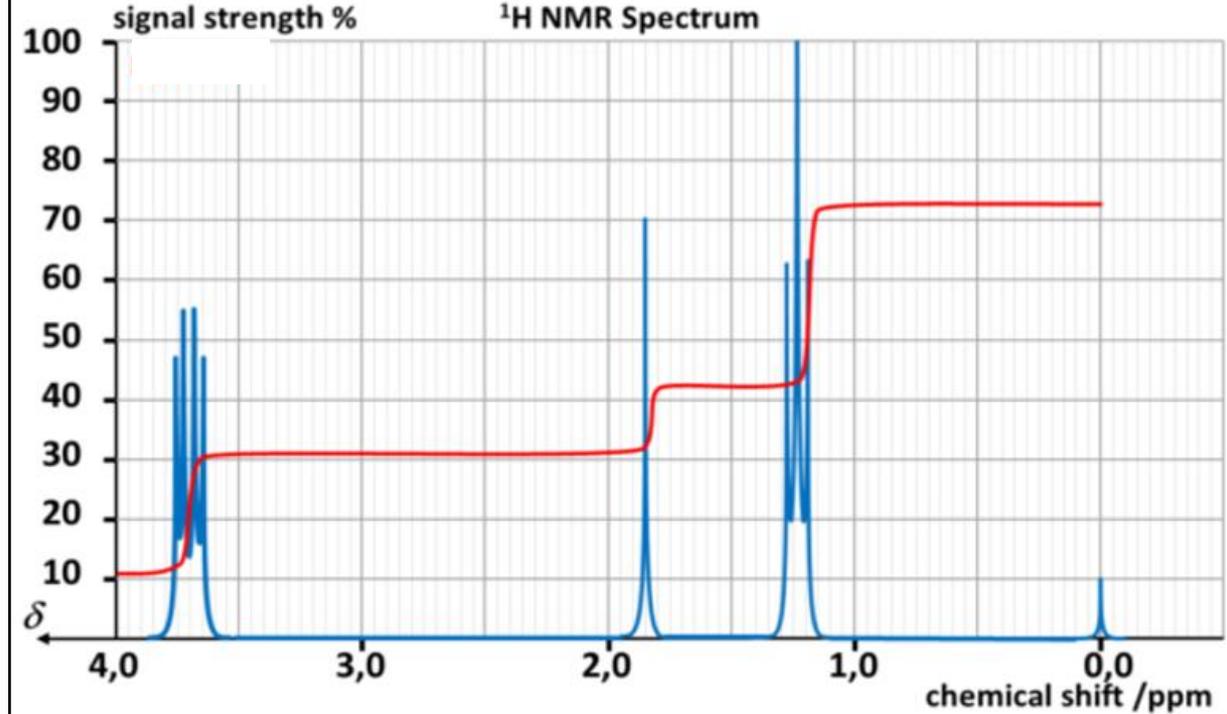
Annexe n°2 – Table des déplacements chimiques en RMN ¹H

Protons CH ₃	δ	Protons CH ₂	δ	Protons CH	δ
Liés à un hétéroatome					
CH ₃ – SH (ou SR)	2,0-2,1	–CH ₂ – SH (ou SR)	2,4-2,5	CH – SH (ou SR)	3,2
CH ₃ – NH ₂ (ou NR ₂)	2,1-2,3	–CH ₂ – NH ₂ (ou NR ₂)	2,5	CH – NH ₂ (ou NR ₂)	2,9
CH ₃ – NH – COR	2,8-2,9	–CH ₂ – NH – COR	3,3	CH – NH – COR	3,8-4,1
CH ₃ – Cl	3,0	–CH ₂ – Cl	3,6	CH – Cl	4,0
CH ₃ – OR	3,3	–CH ₂ – OR	3,4	CH – OR	3,7
CH ₃ – OH	3,4	–CH ₂ – OH	3,6	CH – OH	3,9
CH ₃ – OCOR	3,7	–CH ₂ – OCOR	4,2	CH – OCOR	4,8-5,1
CH ₃ – OAr	3,8	–CH ₂ – OAr	4,0	CH – OAr	4,0
CH ₃ – NO ₂	4,3	–CH ₂ – NO ₂	4,4	CH – NO ₂	4,5-4,7
H liés à un C insaturé		H portés par un hétéroatome (la position dépend du solvant et de la concentration)			
–C≡CH	1,8-3,1	OH		NH	
–C=CH	4,5-6,0	alcool (ROH)	0,7-5,5	amine aliphatique	0,6-5,0
		phénol (ArOH)	4,5-7,1	amine aromatique	2,9-4,7
ArH benzène	6,5-8,2 7,27	oxime (C=NOH)	8,5-12,0	amides (–CO–NH ₂ , –CO–NH–)	6,0-8,5
–N=CH–	6,8-8,2	acide R–CO–OH	10,5-12,5		
RCH=O ; ArCH=O	9,5-10,5	énoI (=C–OH)	15-20		
H–CO–O–	8,0-8,2				

☛ Nombre de signaux dans un spectre de RMN :

Il y en a autant que de **Groupes de Protons Equivalents (GPE)**

Grandeur portée en abscisse : **Le déplacement chimique**, noté δ , et exprimé **en ppm (partie par million)**



☞ - Application 3 : Le spectre correspond à une des 4 molécules précédentes : laquelle ?
Ce spectre présente **3 signaux**, comme **l'éthanol** : le signal à **0 ppm** n'est pas à prendre en compte (il correspond à une molécule de référence servant à étalonner l'appareil, le tétraméthylsilane TMS).

b/ La courbe d'intégration

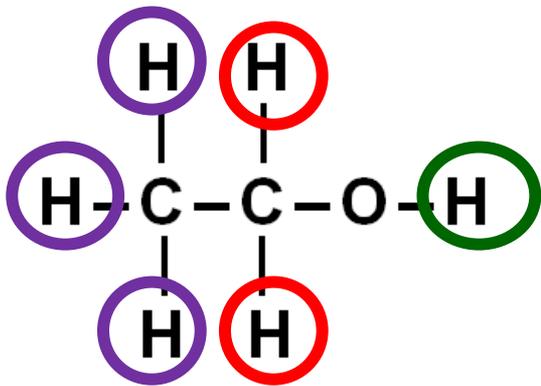
Courbe supplémentaire en forme de **marches d'escaliers**

La **hauteur de la marche** d'un GPE est **proportionnelle au nombre de protons de ce GPE** (en réalité, c'est l'aire entre le signal et l'axe des abscisses).

b/ La courbe d'intégration

La hauteur de la marche d'un GPE est **proportionnelle au nombre de protons de ce GPE** (en réalité, c'est l'aire entre le signal et l'axe des abscisses).

🔗 - **Application 4** : Indiquer le nombre de protons équivalents pour chaque marche de la courbe d'intégration et attribuer chaque signal à un GPE précis de la molécule étudiée.

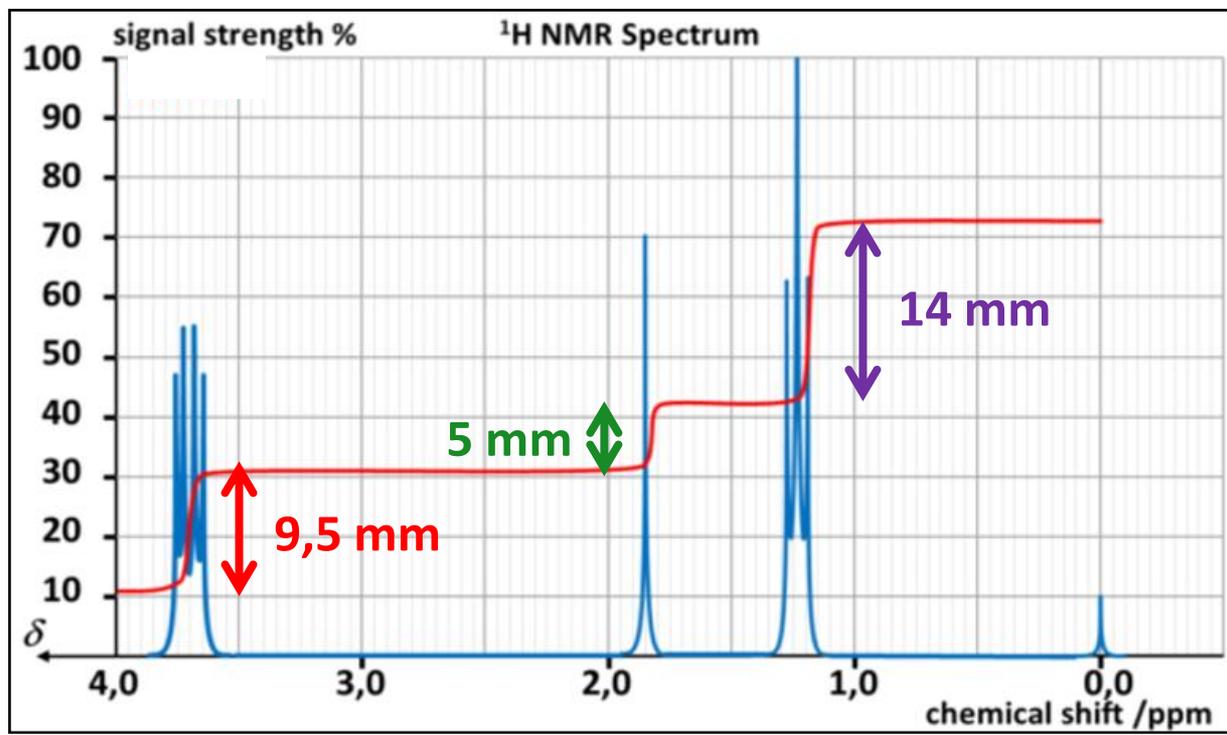


28,5 mm pour **6 H**

9,5 mm pour **2 H**

5 mm pour **1 H**

14 mm pour **3 H**



c/ Le nombre de pics des signaux



Singulet



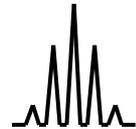
Doublet



Triplet



Quadruplet



Quintuplet

c/ Le nombre de pics des signaux



Singlet



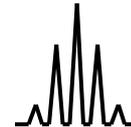
Doublet



Triplet



Quadruplet



Quintuplet

**Influence de protons voisins EQUIVALENTS ENTRE EUX
(couplage $A_m X_q$)**

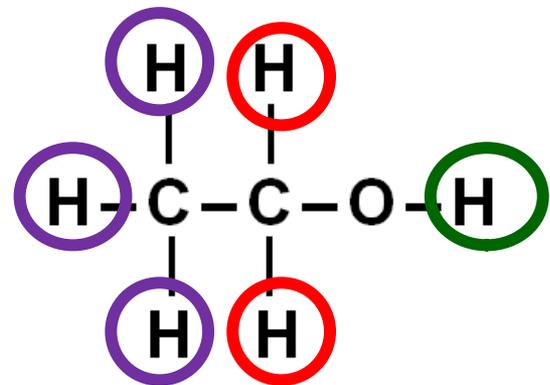
➤ Un groupe de m protons équivalents, voisins de q protons qui ne leur sont pas équivalents mais qui sont équivalents entre eux, apparaît sous la forme d'un **multiplet de $(q+1)$ pics**.

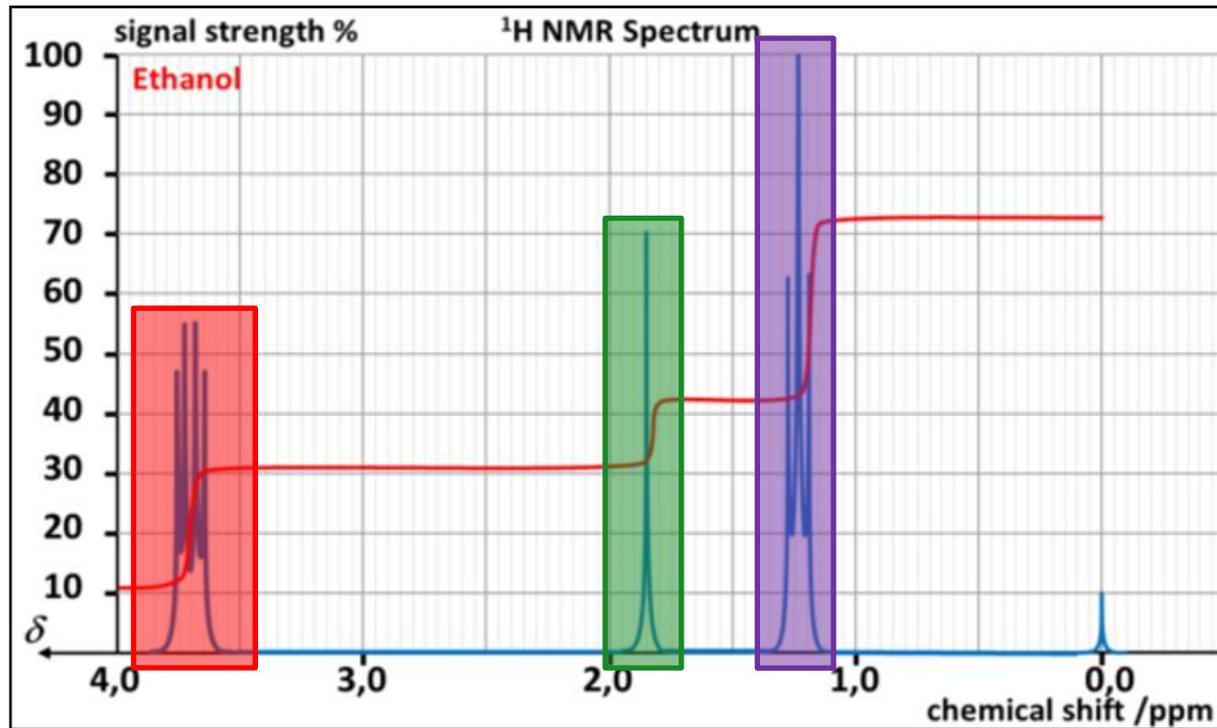


Un proton porté par un hétéroatome (O, N ...) donne un SINGULET;

➤ - **Application 5** : Justifier l'allure des signaux pour le spectre étudié précédemment.

- ♦ **3 H** ayant **2 H** voisins :
⇒ signal = **triplet** (d'intégration 3)
- ♦ **2 H** ayant **3 H** voisins :
⇒ signal = **quadruplet** (d'intégration 2)
- ♦ **1 H** lié à un hétéroatome :
⇒ signal = **singulet** (d'intégration 1)





Application 5 : Justifier l'allure des signaux pour le spectre étudié précédemment.

◆ 3 H ayant 2 H voisins :

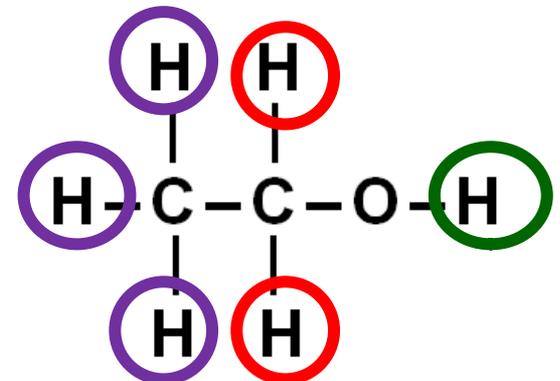
⇒ signal = triplet (d'intégration 3)

◆ 2 H ayant 3 H voisins :

⇒ signal = quadruplet (d'intégration 2)

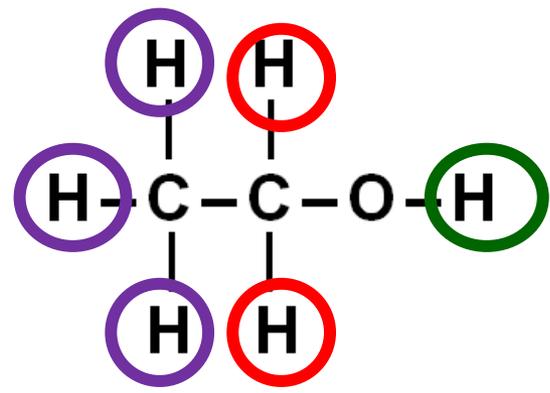
◆ 1 H lié à un hétéroatome :

⇒ signal = singulet (d'intégration 1)



🔍 - **Application 5** : Justifier l'allure des signaux pour le spectre étudié précédemment.

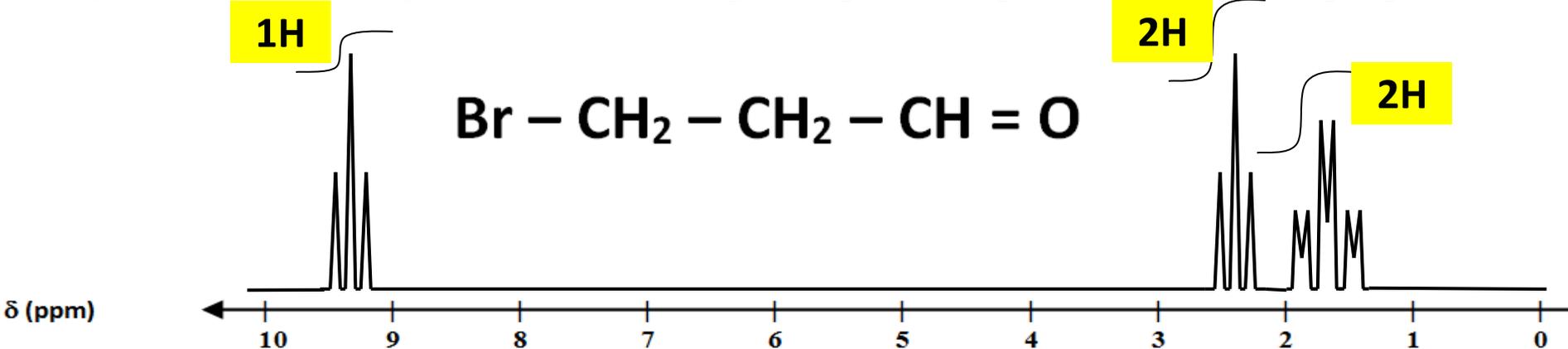
- ◆ **3 H** ayant **2 H** voisins :
 ⇒ signal = **triplet** (d'intégration 3)
- ◆ **2 H** ayant **3 H** voisins :
 ⇒ signal = **quadruplet** (d'intégration 2)
- ◆ **1 H** lié à un hétéroatome :
 ⇒ signal = **singulet** (d'intégration 1)



**Influence de protons voisins NON EQUIVALENTS ENTRE EUX
 (couplage $A_m M_p X_q$)**

➤ Un groupe de **m** protons équivalents, **voisins de p protons et de q autres protons** apparaît sous la forme d'un **(p+1)-uplet de (q+1)-uplets** ou inversement.

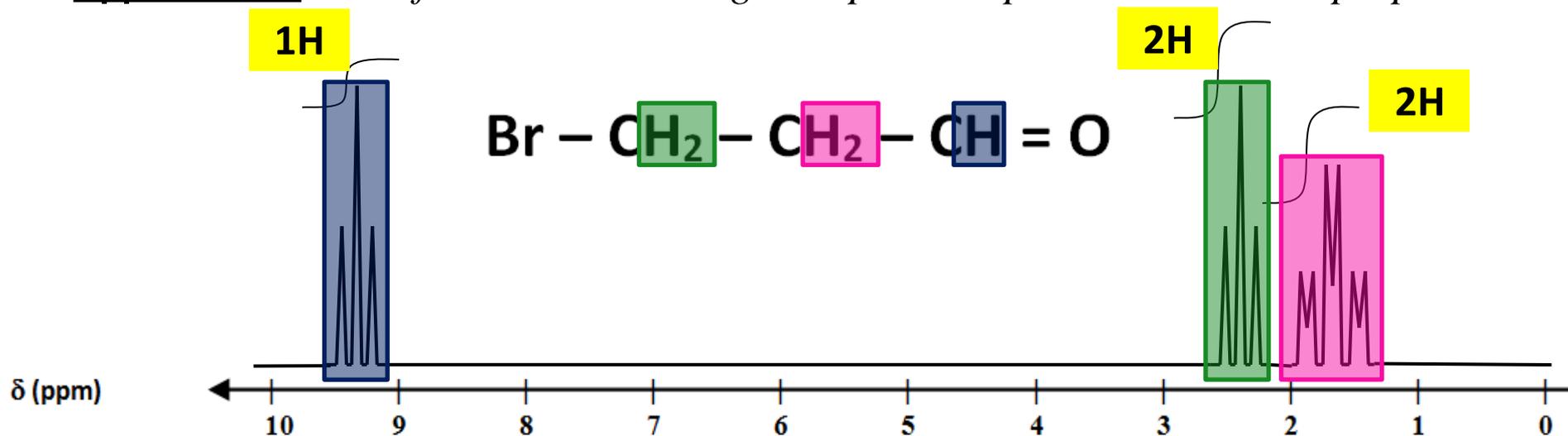
🔍 - **Application 6** : Justifier l'allure des signaux pour le spectre du 3-bromopropanal.



Influence de protons voisins NON EQUIVALENTS ENTRE EUX (couplage $A_m M_p X_q$)

Un groupe de m protons équivalents, voisins de p protons et de q autres protons apparaît sous la forme d'un $(p+1)$ -uplet de $(q+1)$ -uplets ou inversement.

Application 6 : Justifier l'allure des signaux pour le spectre du 3-bromopropanal.



♦ 1 H ayant 2 H voisins : \Rightarrow signal = TRIPLLET (d'intégration 1)

♦ 2 H ayant 2 H voisins : \Rightarrow signal = TRIPLLET (d'intégration 2)

♦ 2 H ayant 2 H et 1 H voisins non équivalents entre eux :

\Rightarrow signal = TRIPLLET DE DOUBLLETS (d'intégration 2)