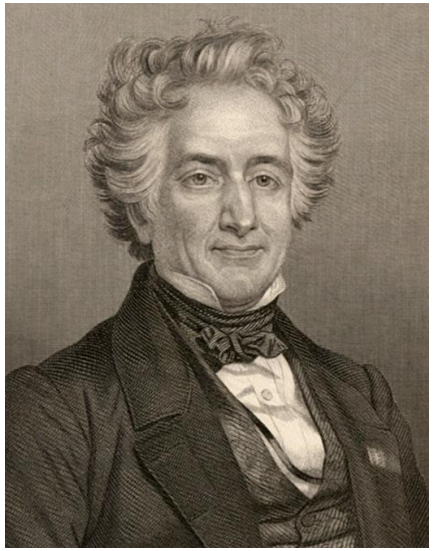
Cours Chimie 03 — BCPST 1C

- Description et caractérisation des entités chimiques organiques -

Notions et contenus	*Capacités exigibles*
Familles d'entités chimiques organiques *- 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 :* *◦ sucres (ou oses) et autres glucides ;* *◦ acides gras, triglycérides, phosphoglycérides et autres lipides ;* *◦ acides aminés, peptides et protéines ;* *◦ nucléosides, nucléotides, acides nucléiques.*	*- 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.*
Spectroscopies d'absorption UV-visible et infrarouge *- Nature des transitions associées aux spectroscopies UV-visible et infrarouge, domaine du spectre des ondes électromagnétiques correspondant.* *- Transmittance, absorbance.*	*- 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.*
Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton *- Exploitation de spectres RMN ^{1}H.Déplacement chimique, intégration.* *- Multiplicité d'un signal : couplages du premier ordre A_mX_p et $A_mM_pX_q$.*	*- 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)



Transformation des corps gras en savons

Friedrich WÖHLER

(1800-1882)



Synthèse de l'urée

Marcelin BERTHELOT

(1827-1907)



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**

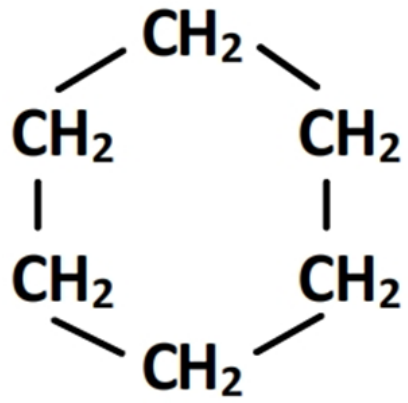
a/ Les ALCANES :

CH_4

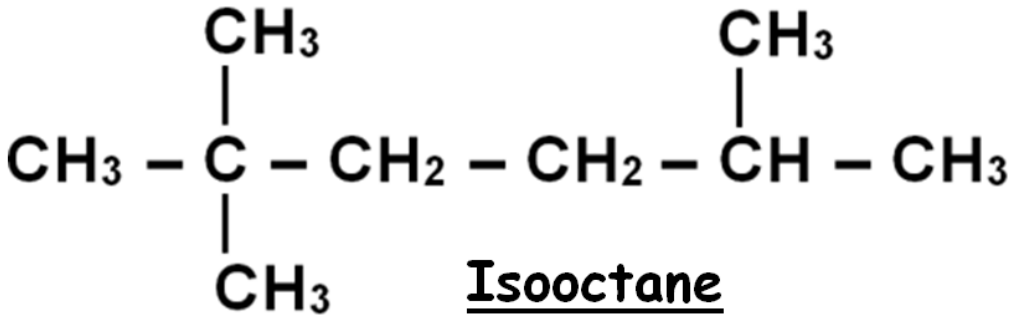
Méthane
(gaz naturel)

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$

Butane
(gaz domestique)



Cyclohexane (solvant)



Isooctane
(carburant)

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

a/ Les ALCANES :

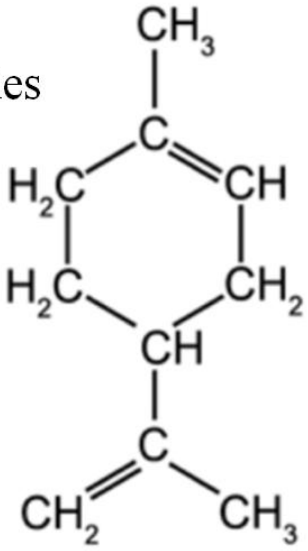
☛ Ils sont constitués **uniquement** d'atomes de **carbone** reliés par des **liaisons simples** et d'**hydrogène** (on parle d'**hydrocarbures**).

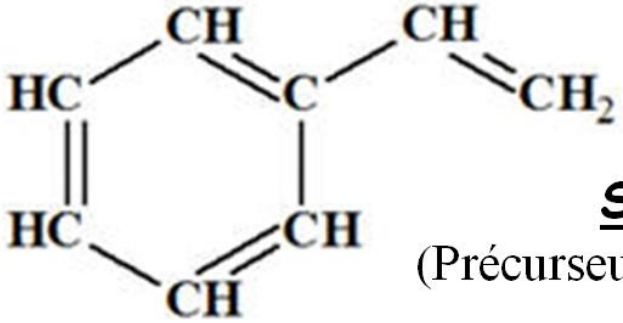
b/ Les ALCENES :

$CH_2 = CH - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3$

Hex-1-ène
(Précurseur de lubrifiants)

Limonène
(Huiles essentielles d'agrumes)





Styrène
(Précurseur du polystyrène)

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

c/ Les DERIVES HALOGENES :

$CH_3 - I$

Iodométhane (Gaz émis par le riz)

$H_3C - CH_2 - CH_2 - CH_2 - Cl$

1-chlorobutane (vermifuge)

b/ Les ALCENES :

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

c/ Les DERIVES HALOGENES :

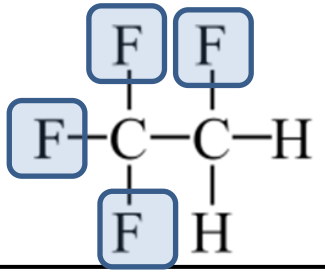
$CH_3 - I$

Iodométhane (Gaz émis par le riz)

$H_3C - CH_2 - CH_2 - CH_2 - Cl$

1-chlorobutane (vermifuge)

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

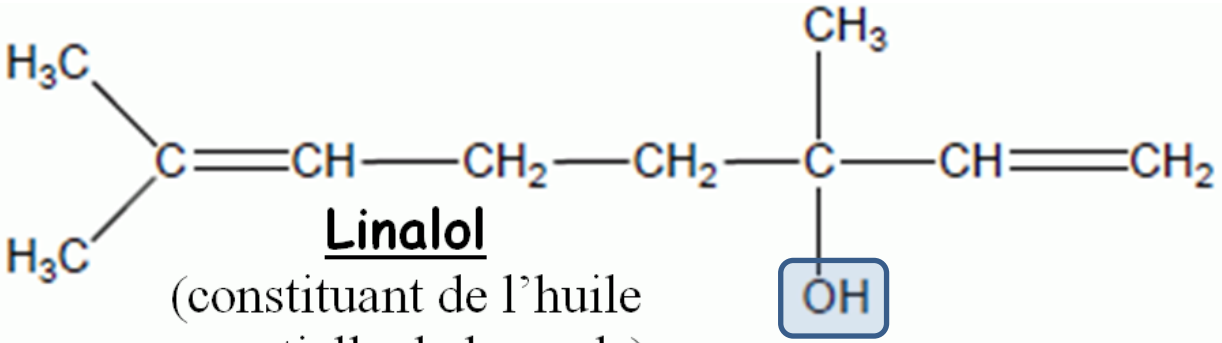


☛ Ils possèdent le groupe caractéristique **F (fluoro)**, **Cl (chloro)**, **Br (bromo)** ou **I (iodo)**.

d/ Les ALCOOLS :

$CH_3 - CH_2 - OH$

Ethanol (alcool du vin)



Linalol
(constituant de l'huile essentielle de lavande)

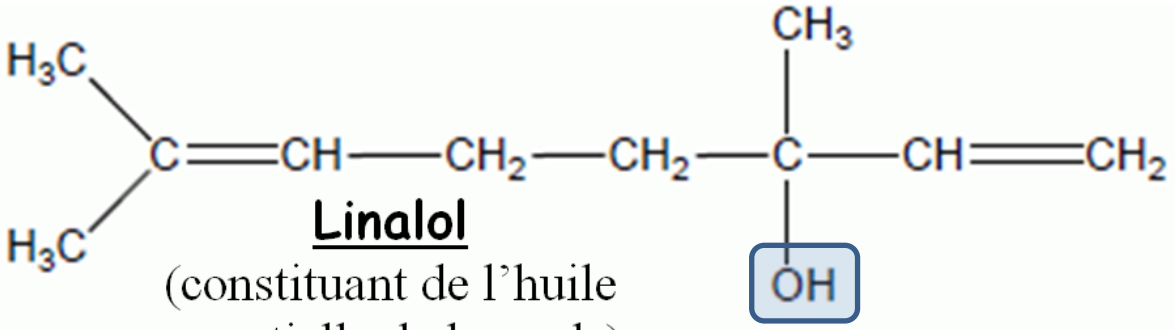
c/ Les DERIVES HALOGENES :

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

d/ Les ALCOOLS :

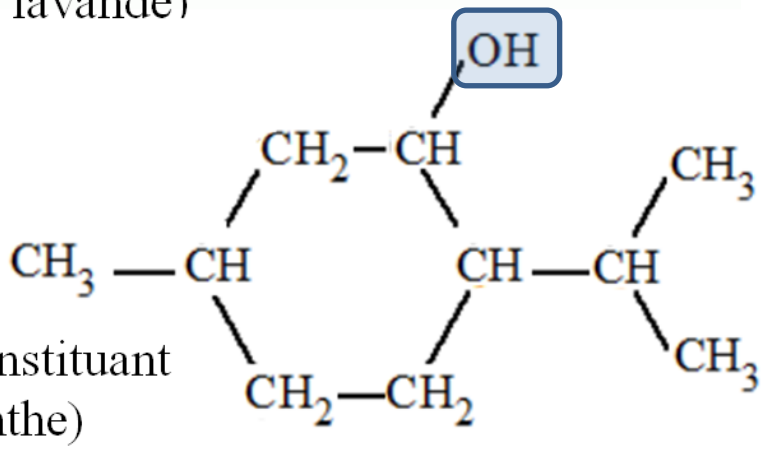
$CH_3 - CH_2 - OH$

Ethanol (alcool du vin)



Linalol (constituant de l'huile essentielle de lavande)

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

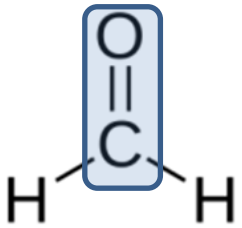


Menthol (constituant de la menthe)

e/ Les ALDEHYDES :

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH=O$

Hexanal (Utilisé dans l'industrie des arômes)



Formol (liquide de conservation des tissus utilisé en taxidermie)

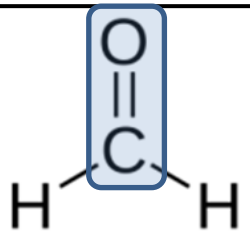
d/ Les ALCOOLS :

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

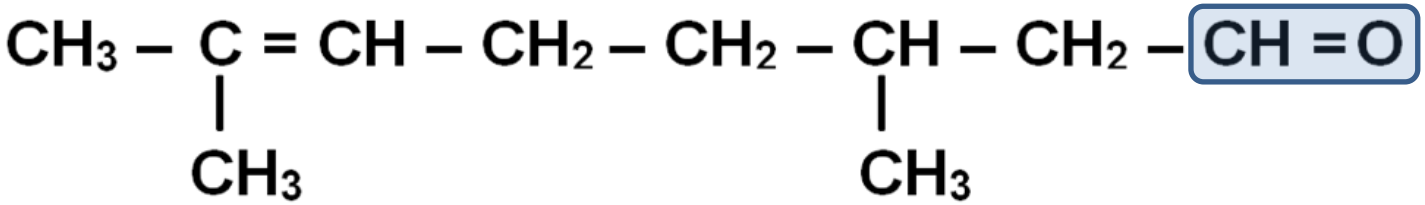
e/ Les ALDEHYDES :



Hexanal (Utilisé dans l'industrie des arômes)



Formol (liquide de conservation des tissus utilisé en taxidermie)

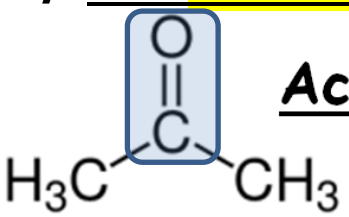


Citronellal

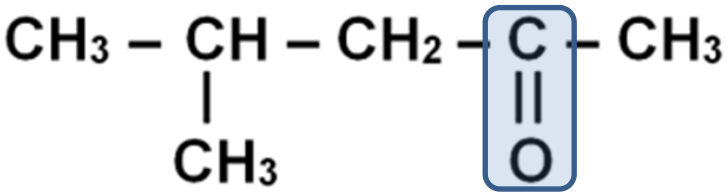
(constituant de l'huile essentielle de citronnelle)

- Ils possèdent le groupe caractéristique **C=O (CARBONYLE)** **à l'extrémité d'une chaîne carbonée**.

f/ Les CETONES :



Acétone (Solvant)

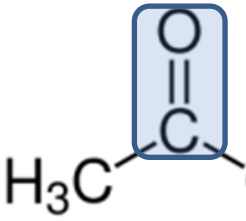


Méthylisobutylcétone (Solvant pour vernis et peintures)

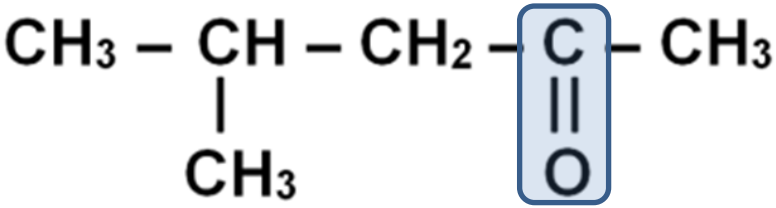
e/ Les ALDEHYDES :

- Ils possèdent le groupe caractéristique C=O (CARBONYLE) à l'extrémité d'une chaîne carbonée.

f/ Les CETONES :

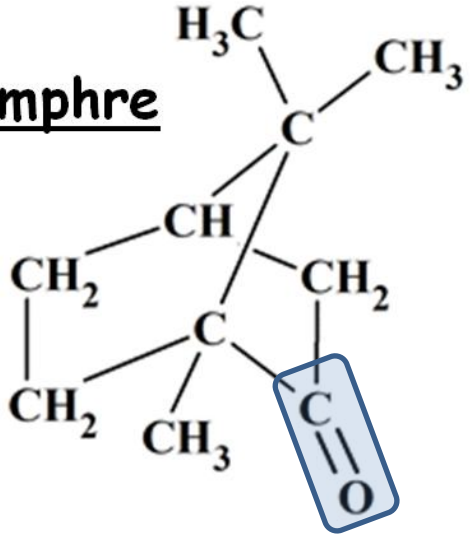


Acétone (Solvant)



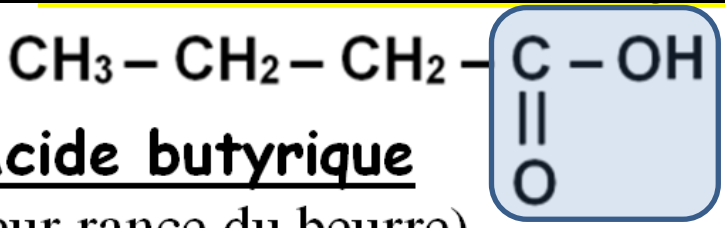
Méthylisobutylcétone (Solvant pour vernis et peintures)

Camphre

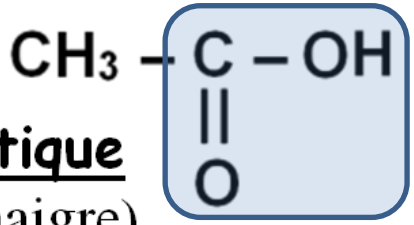


- Elles possèdent le groupe caractéristique C=O (CARBONYLE) « coincé » entre deux atomes de carbone.

g/ Les ACIDES CARBOXYLIQUES :



Acide butyrique
(odeur rance du beurre)

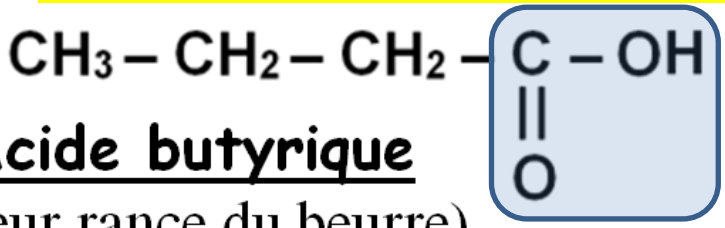


Acide acétique
(acide du vinaigre)

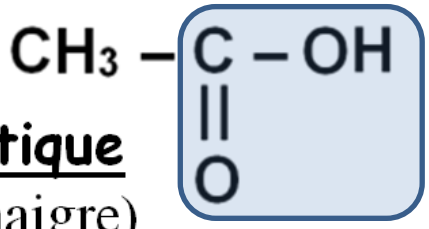
f/ Les CETONES :

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

g/ Les ACIDES CARBOXYLIQUES :

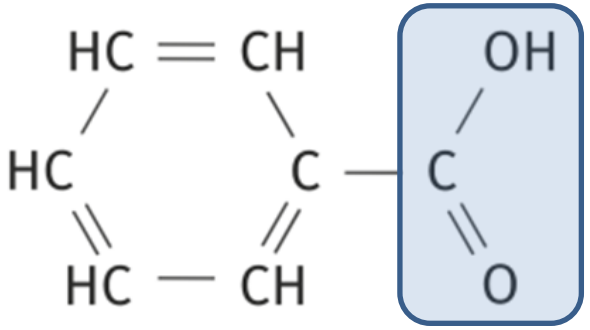


Acide butyrique
(odeur rance du beurre)



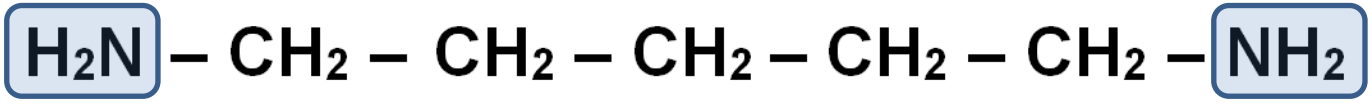
Acide acétique
(acide du vinaigre)

Acide benzoïque
(conservateur alimentaire)



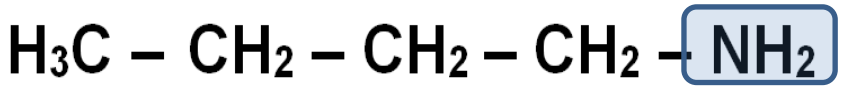
☛ Ils possèdent le groupe caractéristique COOH (CARBOXYLE)

h/ Les AMINES :



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

Butan-1-amine

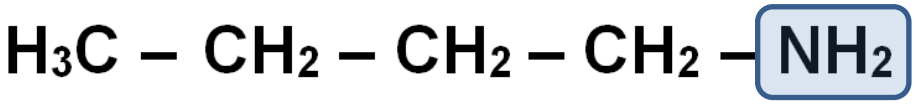


(précurseur de pesticide et de médicaments)

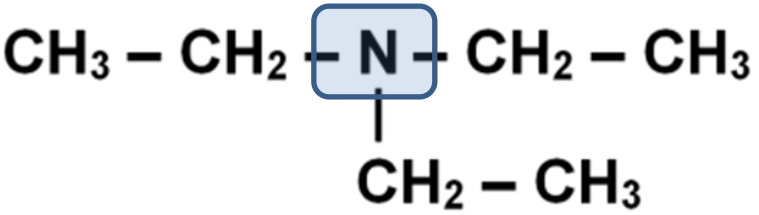
g/ Les ACIDES CARBOXYLIQUES :

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

h/ Les AMINES :



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



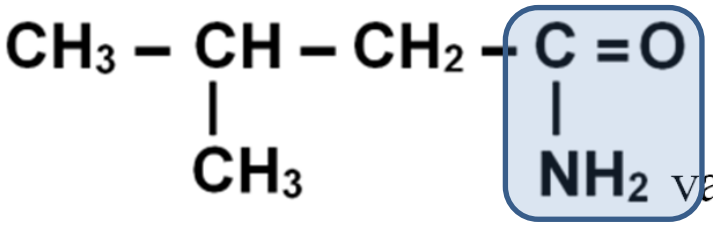
Triéthylamine (solvant)



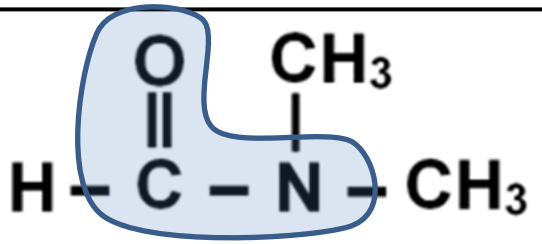
Cadaverine (produit lors de la putréfaction d'animaux et de végétaux)

☛ Elles possèdent le groupe caractéristique NH_2 (**AMINO**) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

i/ Les AMIDES :



Isovaléramide (présent dans la valériane, anxiolytique)

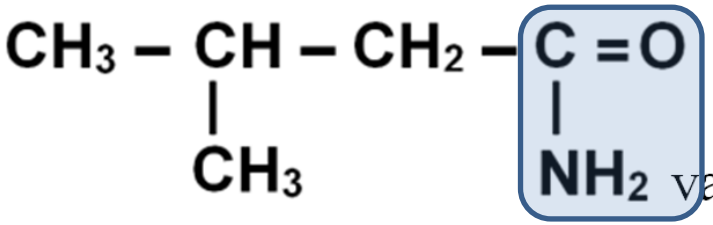


Diméthylformamide (solvant et réactif en chimie organique)

h/ Les AMINES :

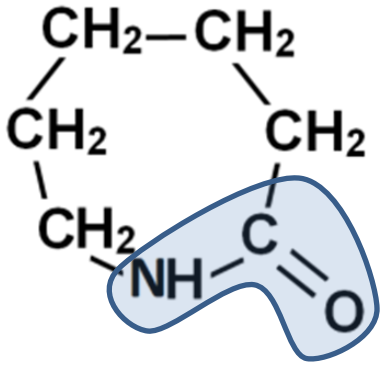
☛ Elles possèdent le groupe caractéristique NH_2 (AMINO) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

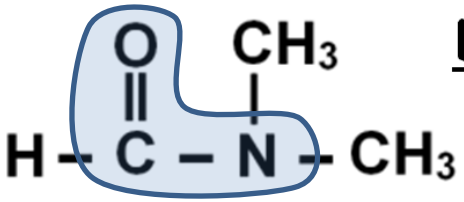
i/ Les AMIDES :



Isovaléramide
(présent dans la valériane, anxiolytique)

Caprolactame
(Précurseur du nylon)

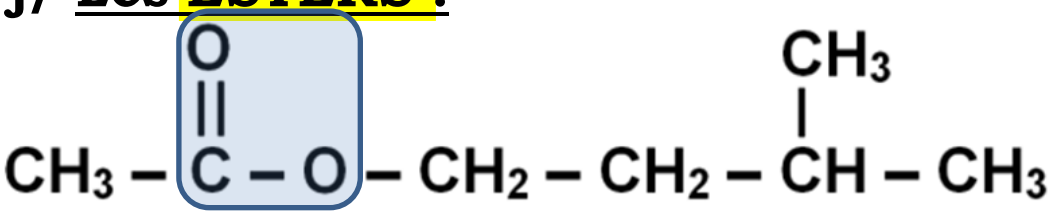




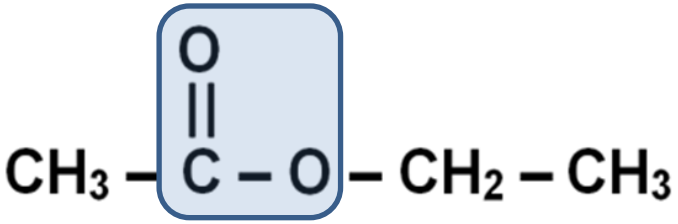
Diméthylformamide
(solvant et réactif en chimie organique)

☛ Elles possèdent le groupe caractéristique $CONH_2$ (AMIDO) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

j/ Les ESTERS :



Acétate d'isoamyle
(odeur de la banane)

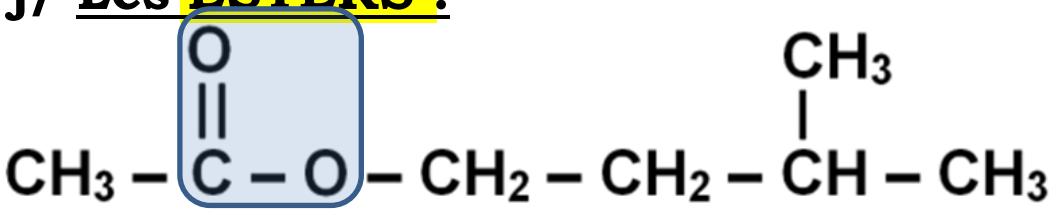


Ethanoate d'éthyle
(solvant, parfums, entomologie)

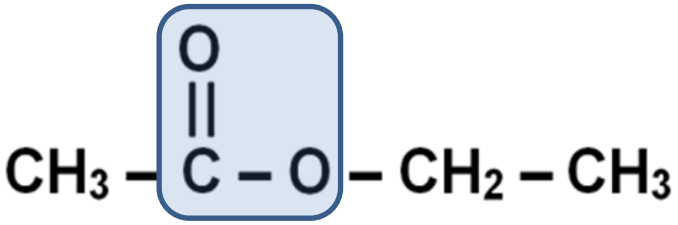
i/ Les AMIDES :

☛ Elles possèdent le groupe caractéristique **$CONH_2$** (**AMIDO**) pour lequel les atomes d'hydrogène peuvent être remplacés par des chaînes carbonées.

j/ Les ESTERS :



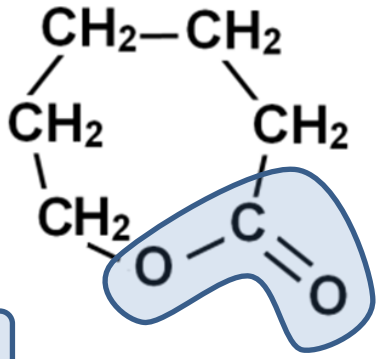
Acétate d'isoamyle
(odeur de la banane)



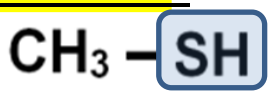
Ethanoate d'éthyle
(solvant, parfums, entomologie)

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

Caprolactone
(Précurseur du nylon)



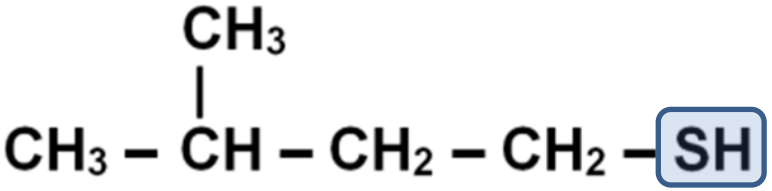
k/ Les THIOLS :



Méthanethiol
(odeur de mauvaise haleine)



Ethanethiol
(adjuvant au gaz domestique)

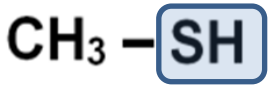


3-méthylbutan-1-thiol
(projeté par la moufette)

j/ Les ESTERS :

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

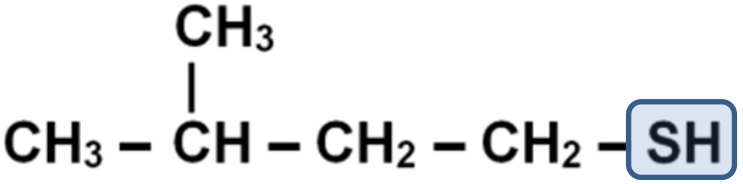
k/ Les THIOLS :



Méthanethiol
(odeur de mauvaise haleine)



Ethanethiol
(adjuvant au gaz domestique)

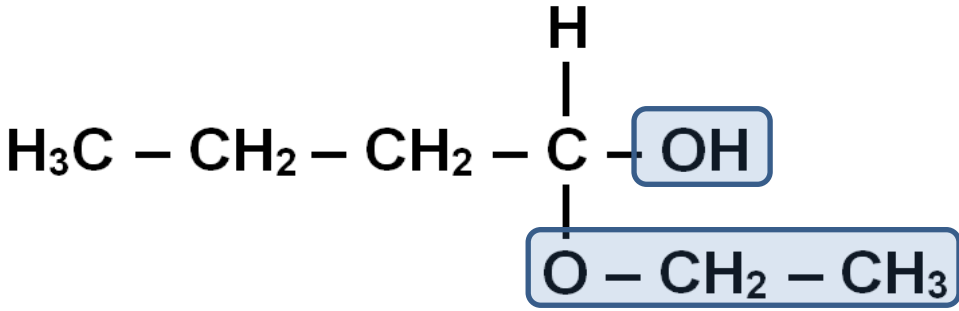


3-méthylbutan-1-thiol
(projeté par la moufette)

- 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***.

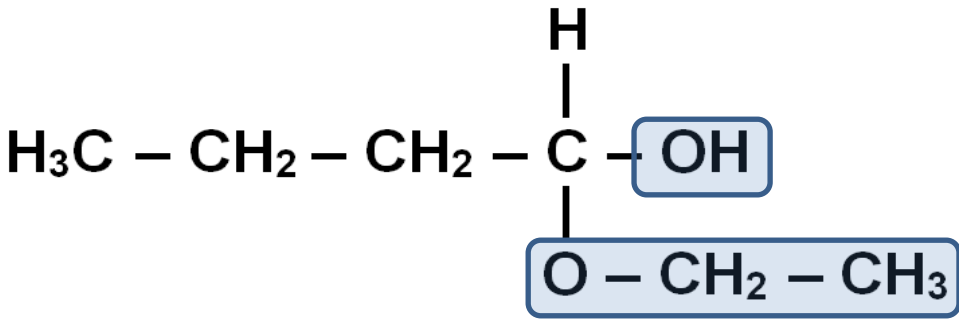


k/ Les THIOLS :

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

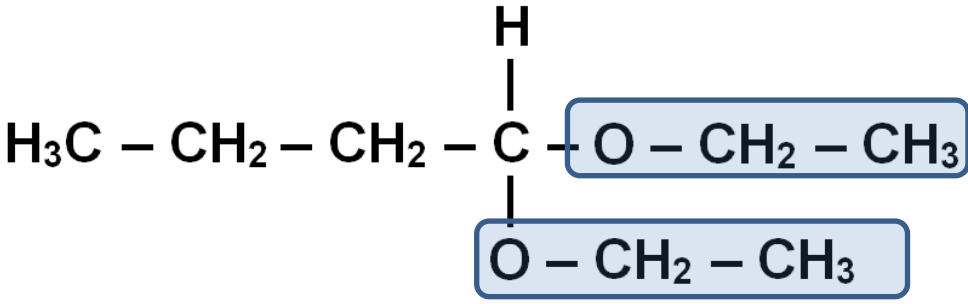
l/ Les HEMIACETALS :

- 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**

Sucre = Hydrate de carbone

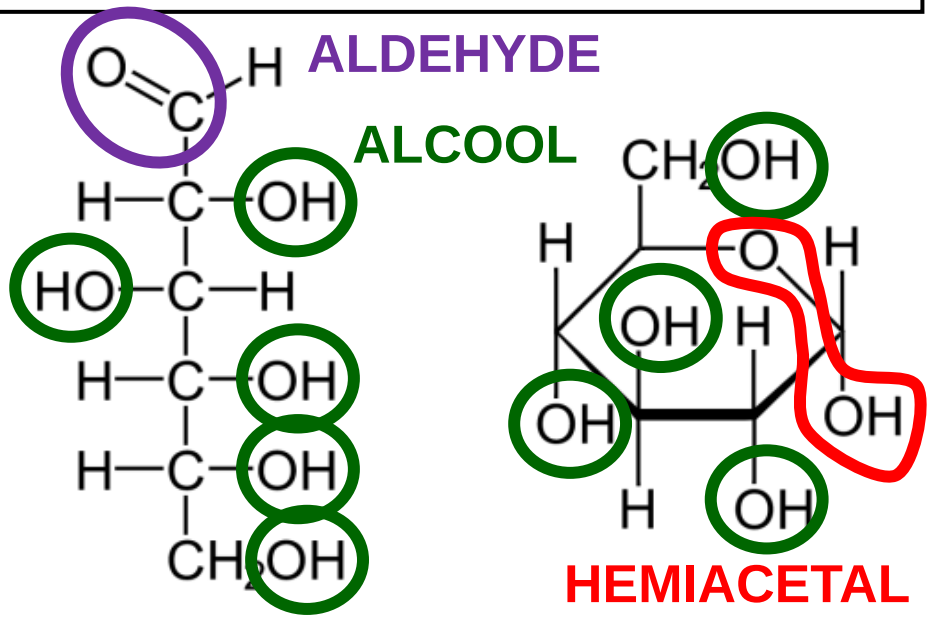
$$x\,CO_2 + y\,H_2O \xrightarrow{\text{énergie solaire}} C_x(H_2O)_y + x\,O_2$$

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) ➡



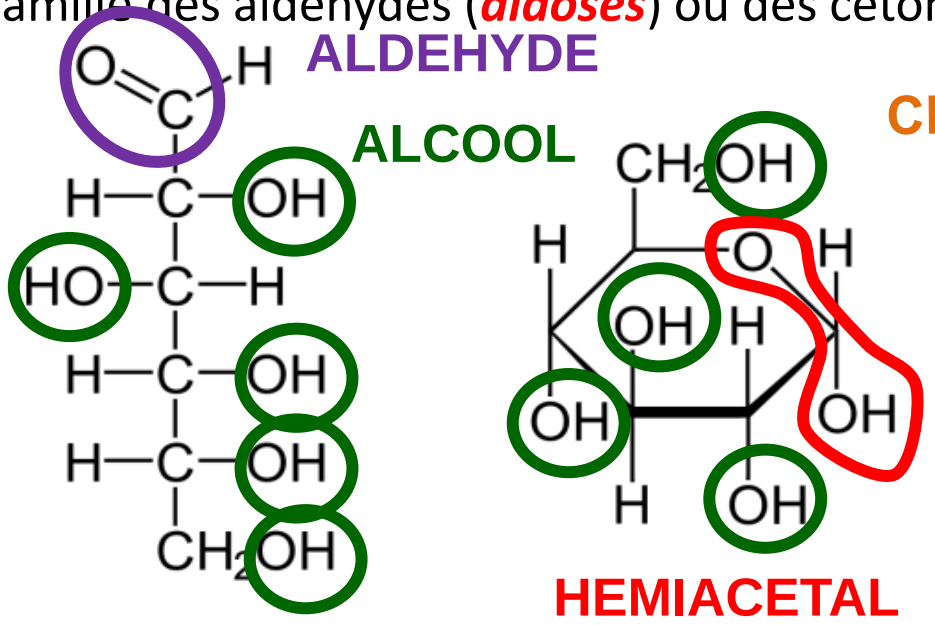
Sucre = Hydrate de carbone

$$x\,CO_2 + y\,H_2O \xrightarrow{\text{énergie solaire}} C_x(H_2O)_y + x\,O_2$$

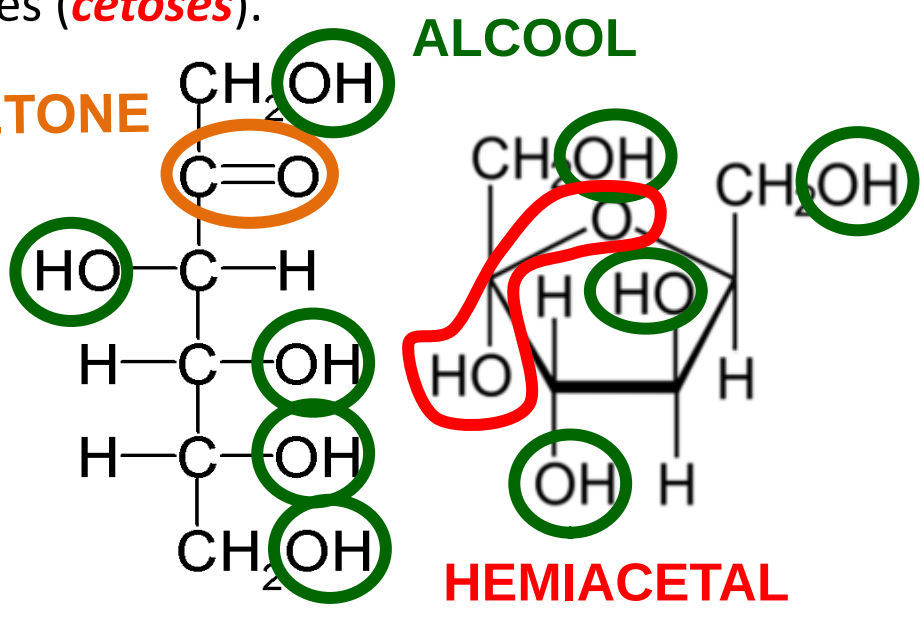
Les OSES

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

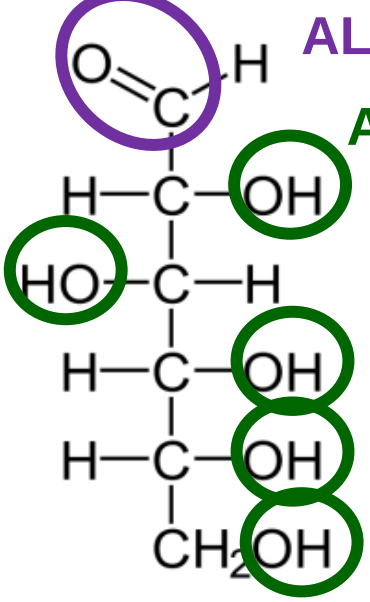
Ces sucres contiennent **entre 3 et 7 atomes de carbone** et appartiennent soit à la famille des aldéhydes (***aldoses***) ou des cétones (***cétoses***).

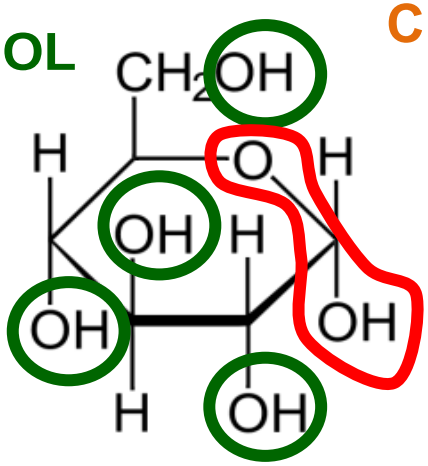


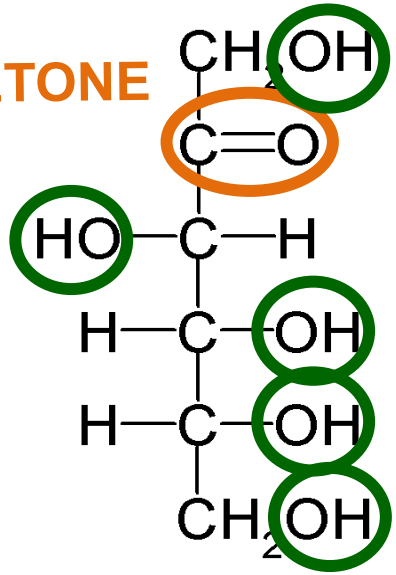
GLUCOSE (formes linéaire et cyclique)

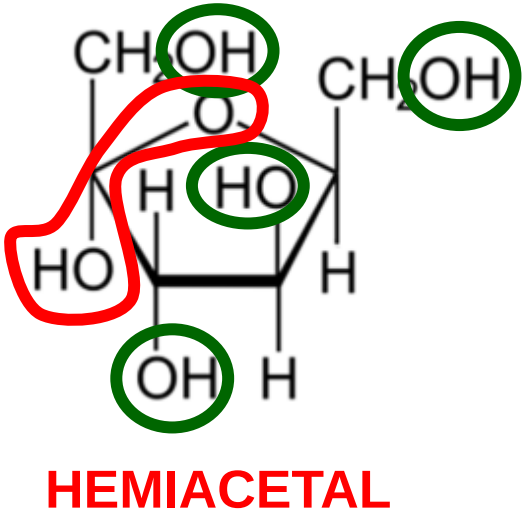


FRUCTOSE (formes linéaire et cyclique)





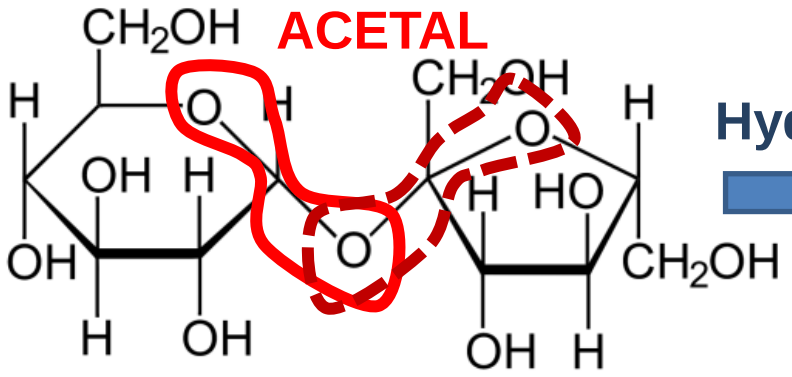




Les OSIDES

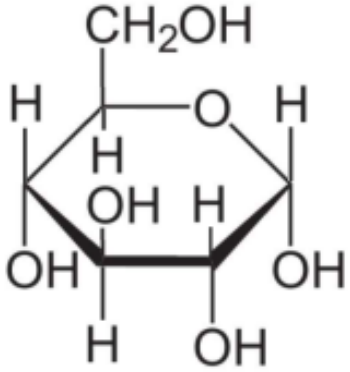
- Les osides sont les sucres **hydrolisables** : ils sont formés de ***plusieurs oses qui sont libérés lors de l'hydrolyse***.

Saccharose

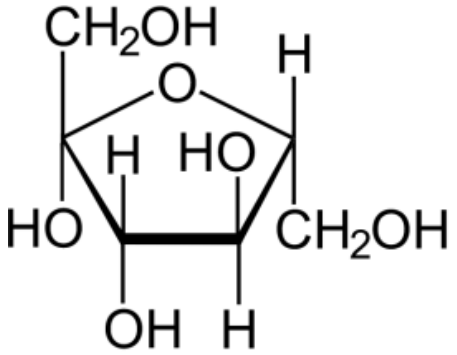


Hydrolyse

α-Glucose



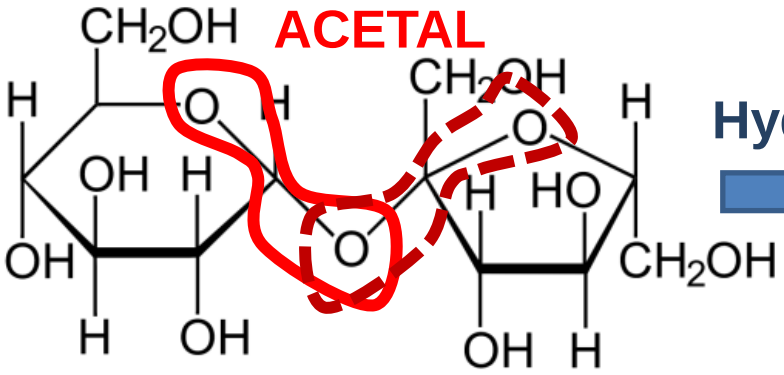
β-Fructose



Les OSIDES

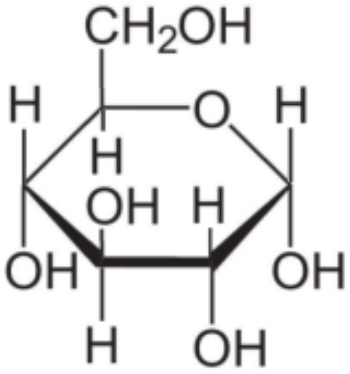
- Les osides sont les sucres **hydrolisables** : ils sont formés de ***plusieurs oses qui sont libérés lors de l'hydrolyse***.

Saccharose

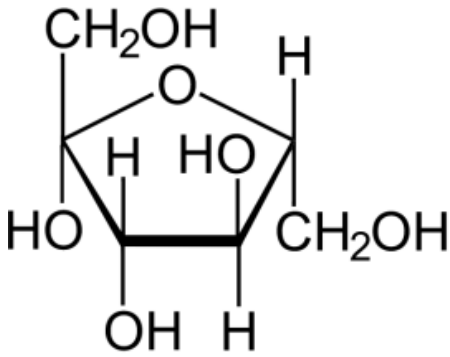


Hydrolyse

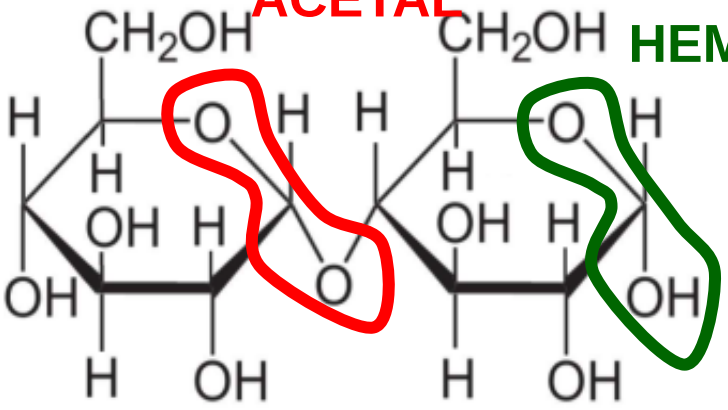
α-Glucose



β-Fructose

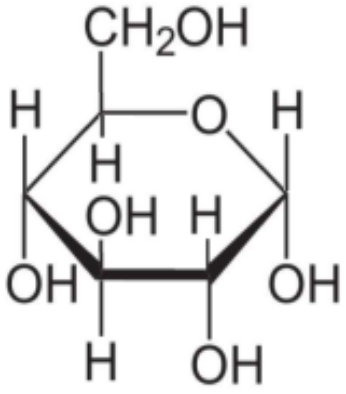


Maltose



Hydrolyse

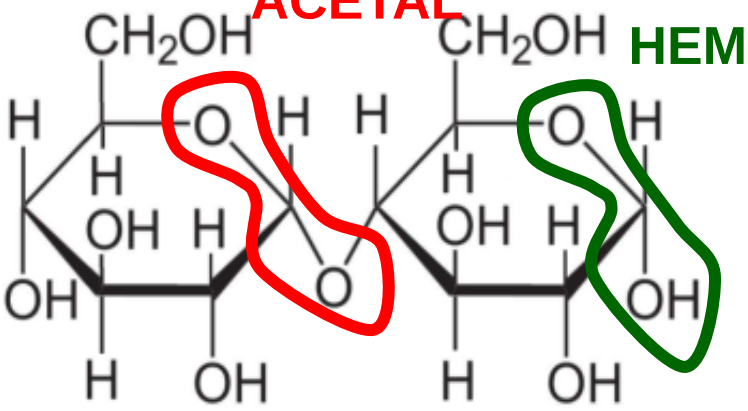
α-Glucose



Maltose

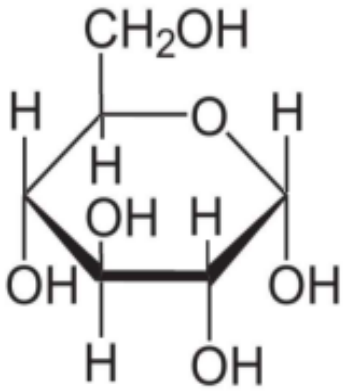
ACETAL

HEMIACETAL



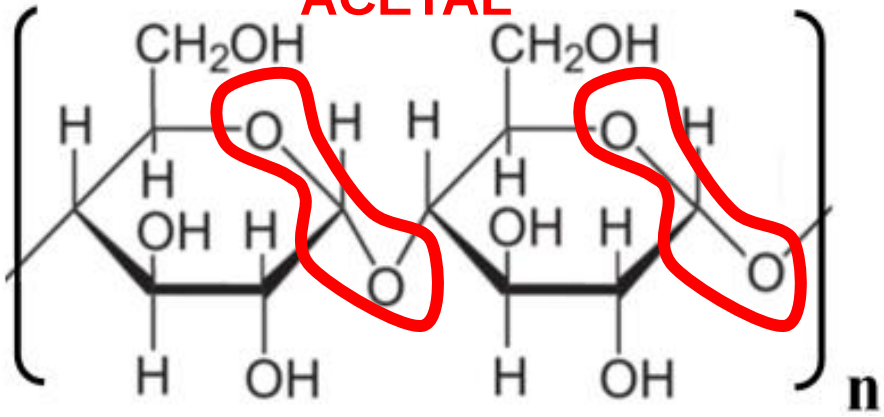
Hydrolyse

α-Glucose



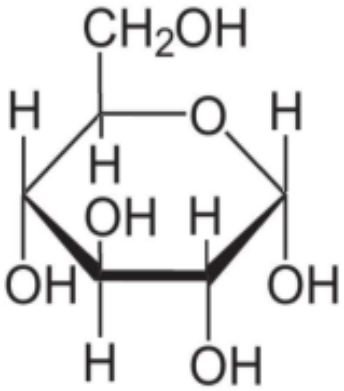
Amylose

ACETAL



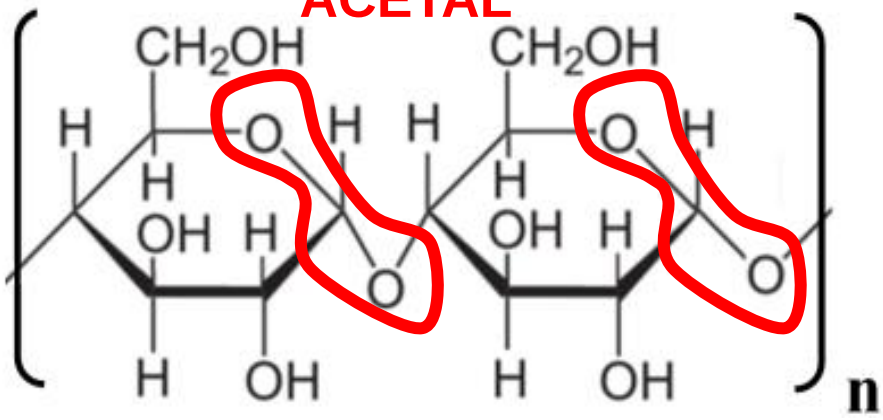
Hydrolyse

α-Glucose



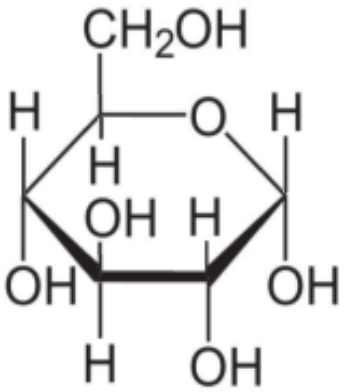
Amylose

ACETAL

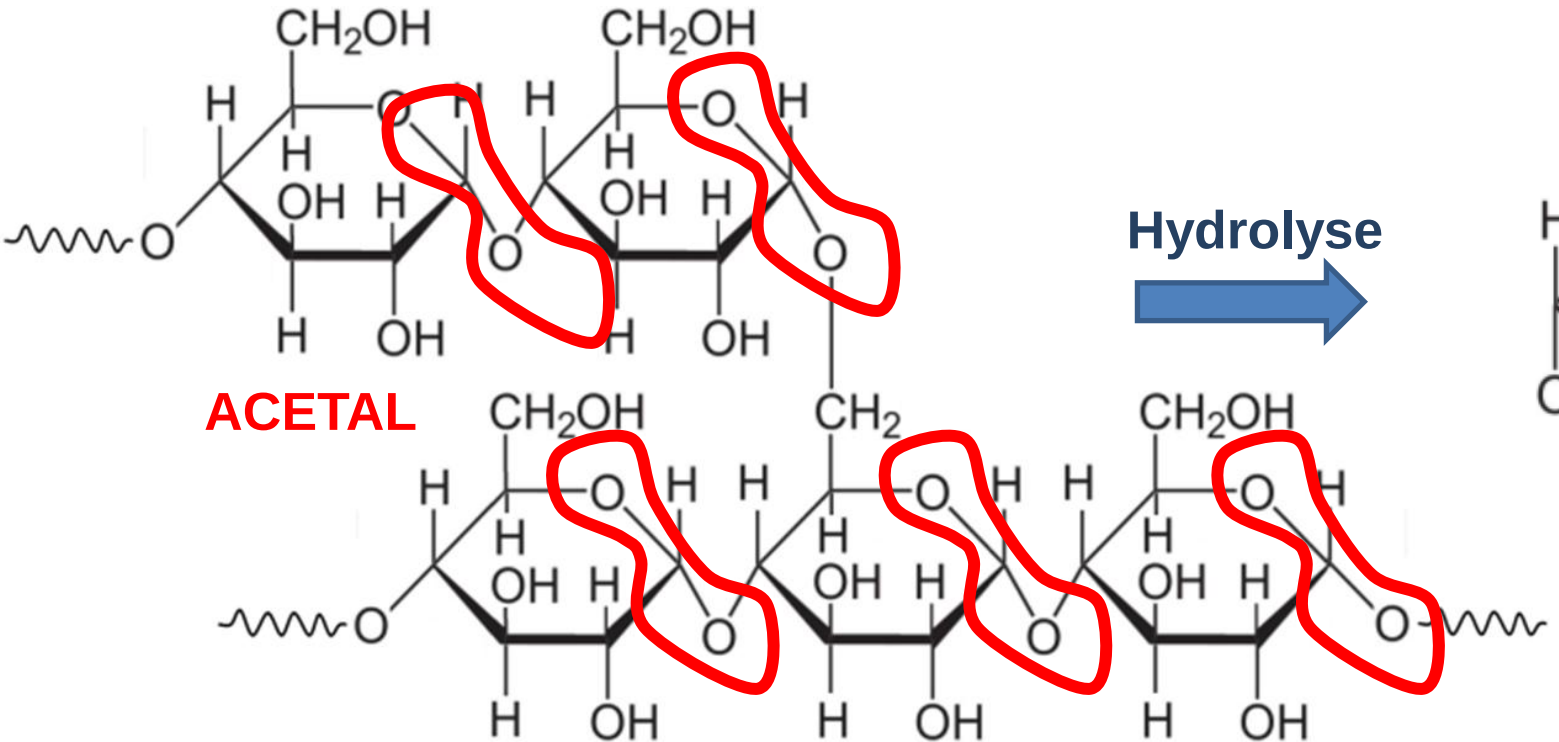


Hydrolyse

α-Glucose



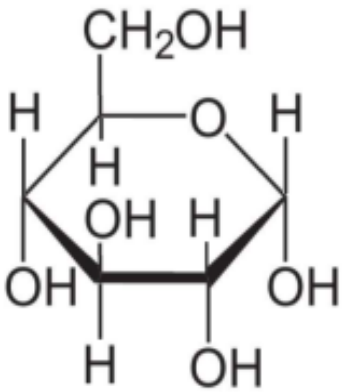
Amylopectine & Glycogène



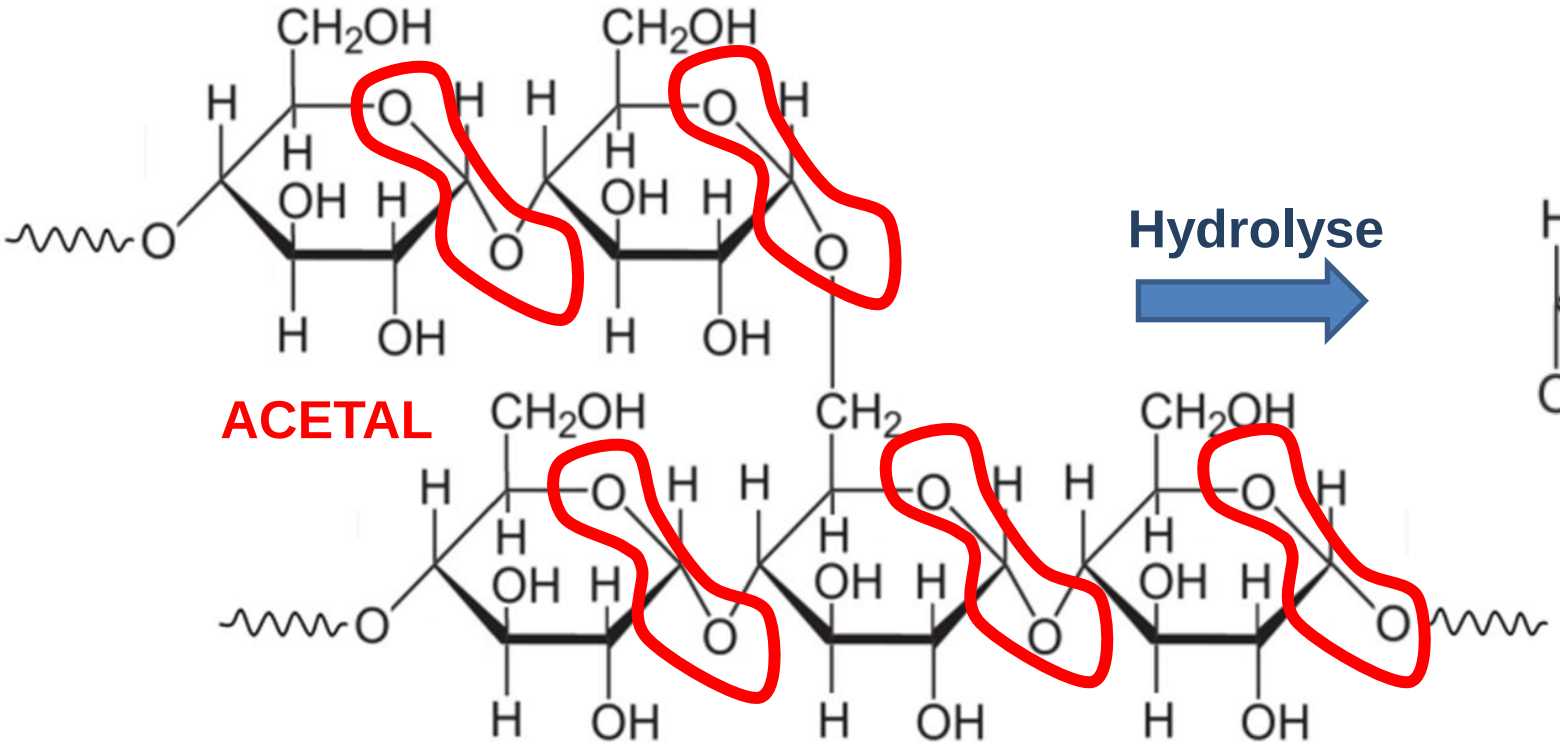
ACETAL

Hydrolyse

α-Glucose

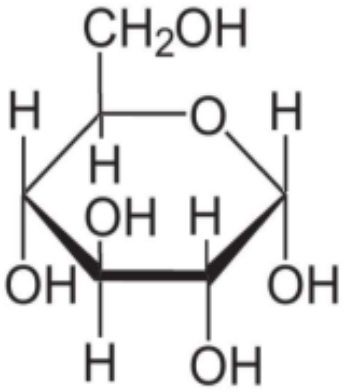


Amylopectine & Glycogène

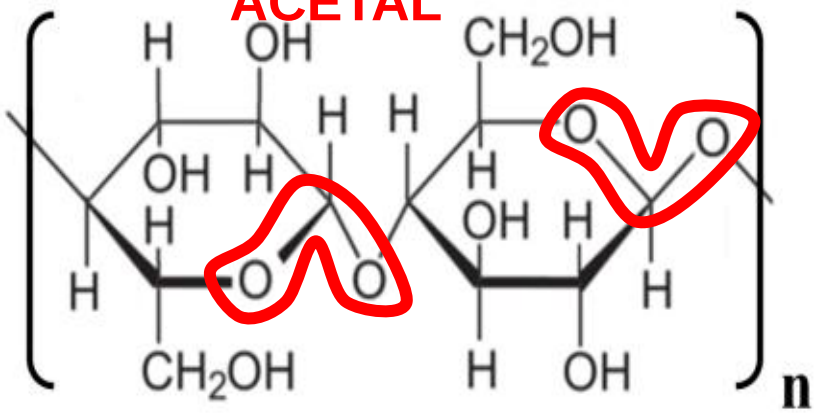


Hydrolyse

α-Glucose

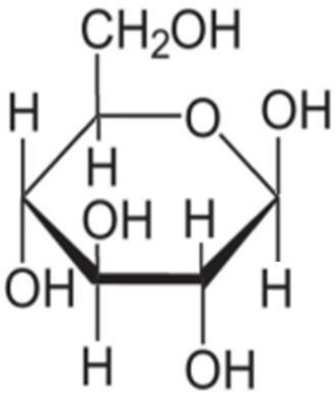


Cellulose



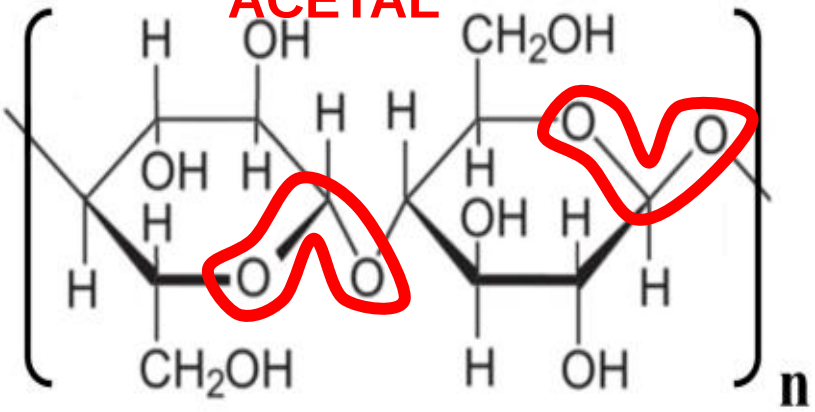
Hydrolyse

β-Glucose



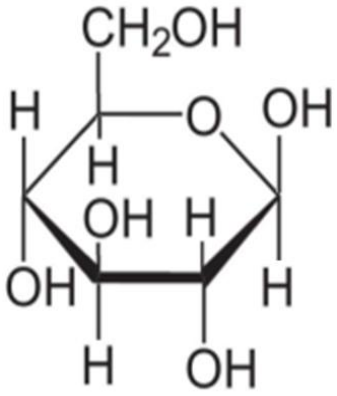
Cellulose

ACETAL



Hydrolyse

β-Glucose



b/ Les LIPIDES :

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

Les ACIDES GRAS

Acide palmitique $CH_3 - (CH_2)_{14} - CO_2H$

$CH_3 - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 - CO_2H$ **Acide oléique**

Acide linoléique

$CH_3 - (CH_2)_3 - (CH_2 - CH = CH)_2 - (CH_2)_7 - CO_2H$

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

$$CH_3 - (CH_2)_{14} - CO_2H$$

Acide oléique

$$CH_3 - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 - CO_2H$$

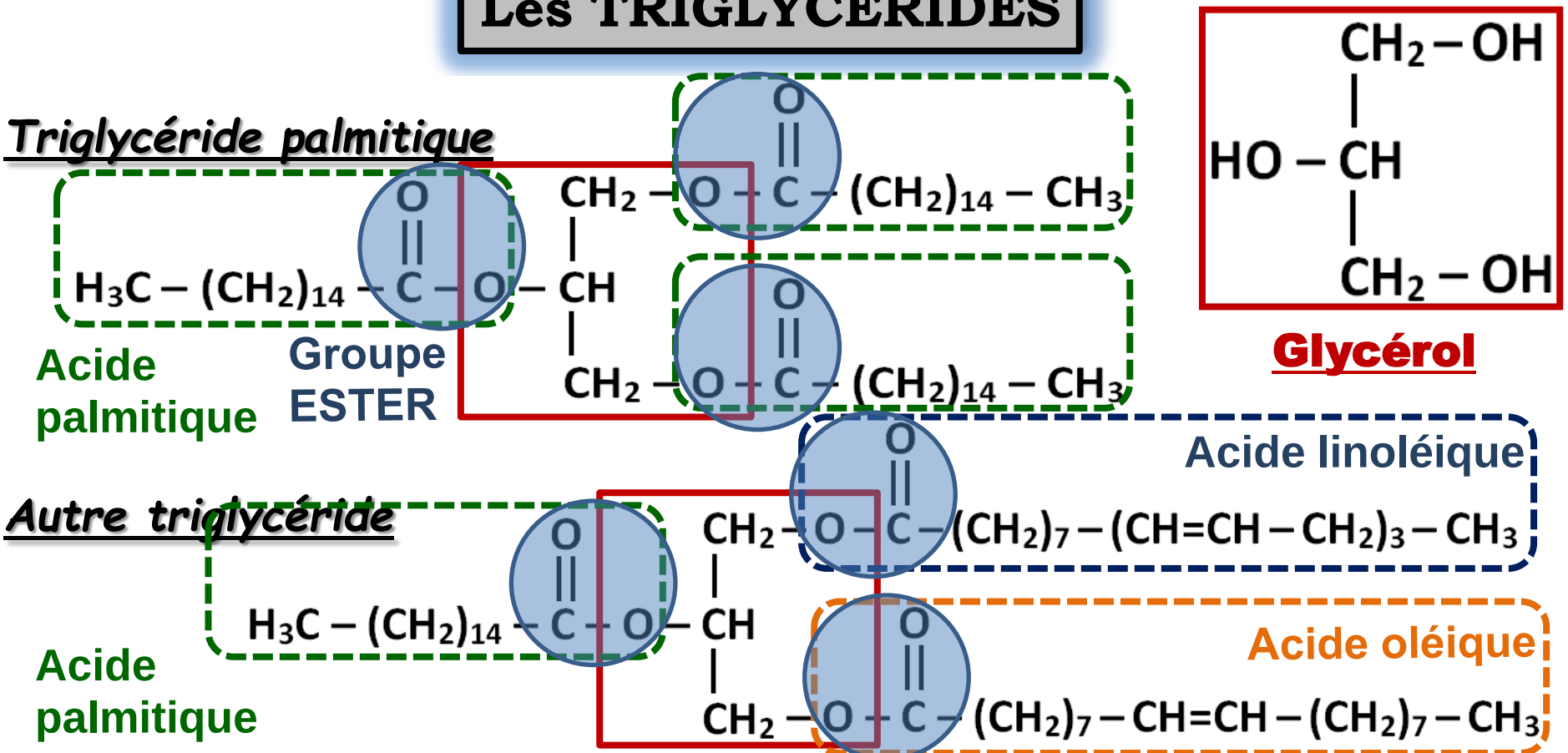
Acide linoléique

$$CH_3 - (CH_2)_3 - (CH_2 - CH = CH)_2 - (CH_2)_7 - CO_2H$$

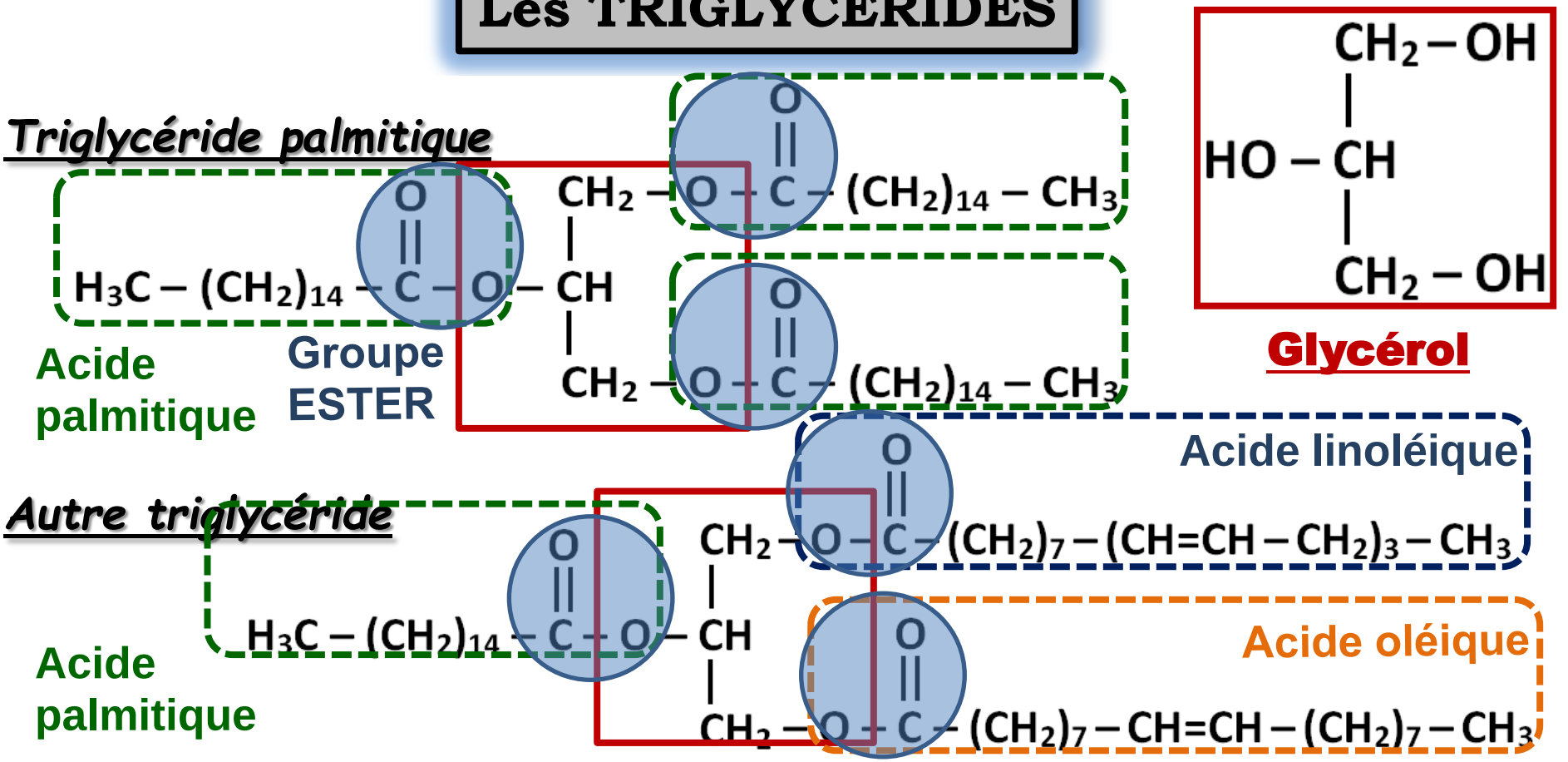
Les ACIDES GRAS

- 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

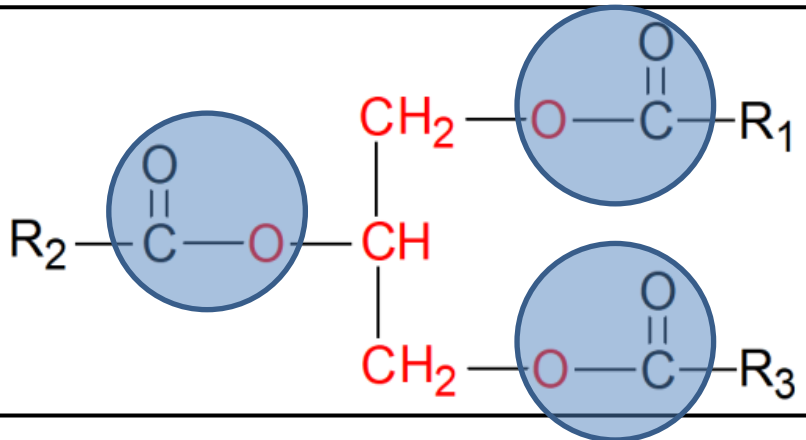


Les TRIGLYCERIDES



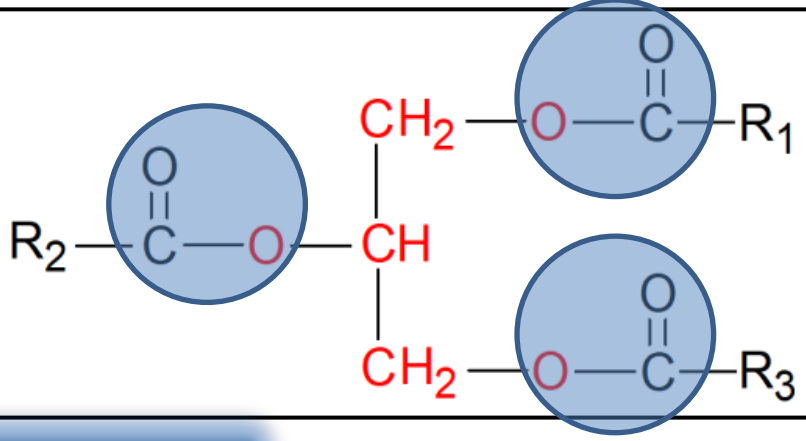
- Ce sont des **TRIESTERS d'acides gras et du glycérol**.

Formule générale :



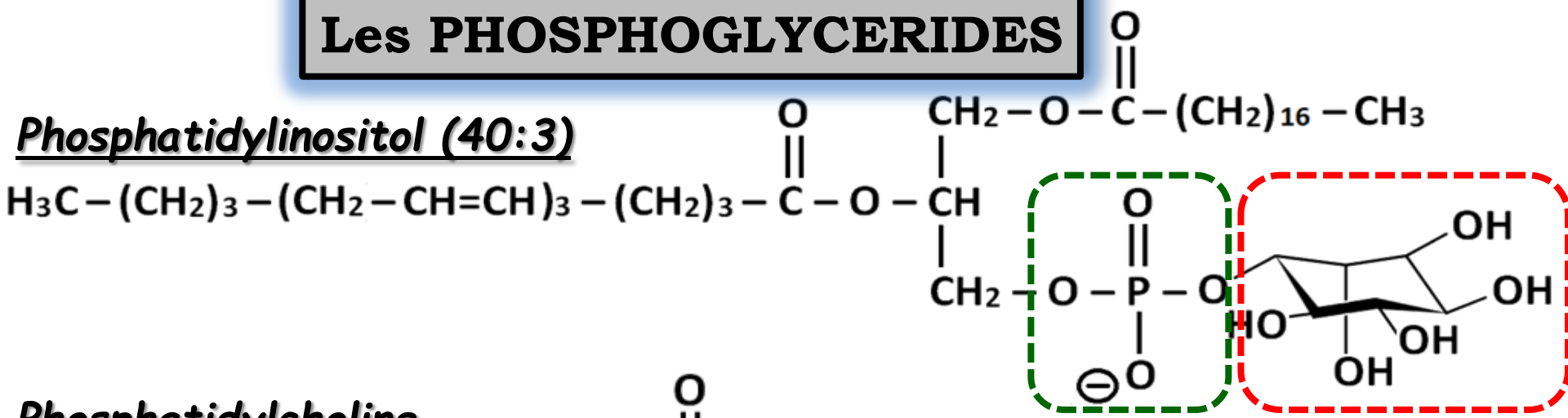
- Ce sont des **TRIESTERS d'acides gras et du glycérol**.

Formule générale :

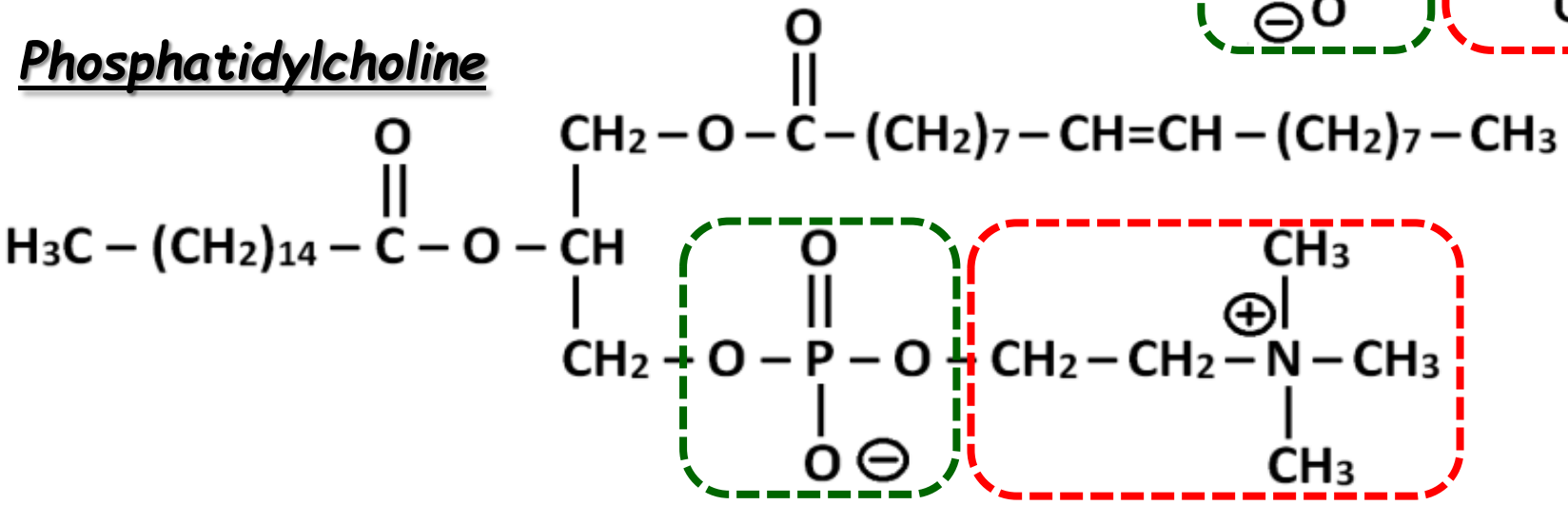


Les PHOSPHOGLYCERIDES

Phosphatidylinositol (40:3)

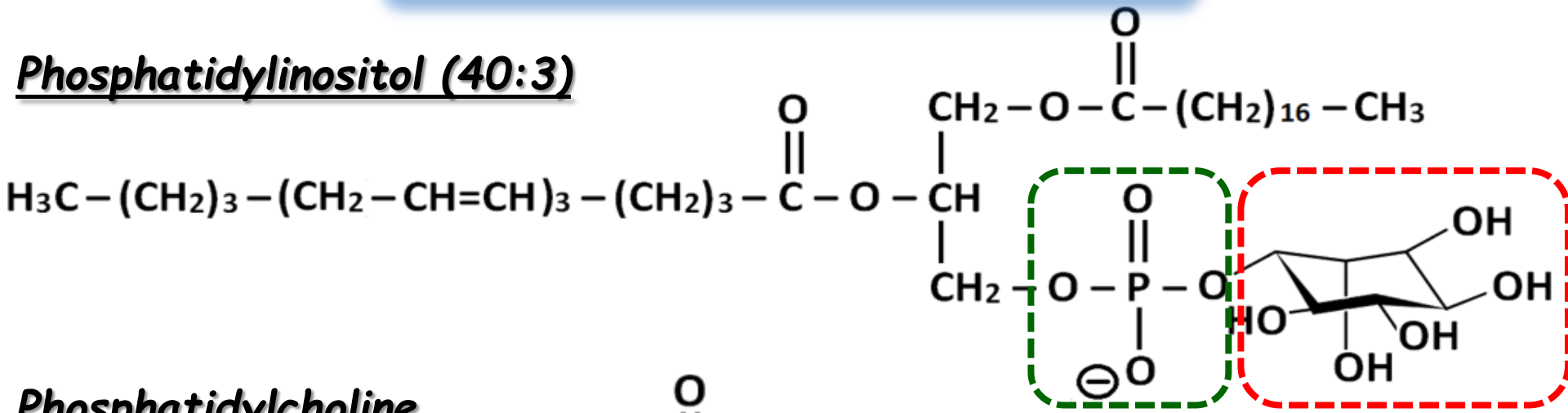


Phosphatidylcholine

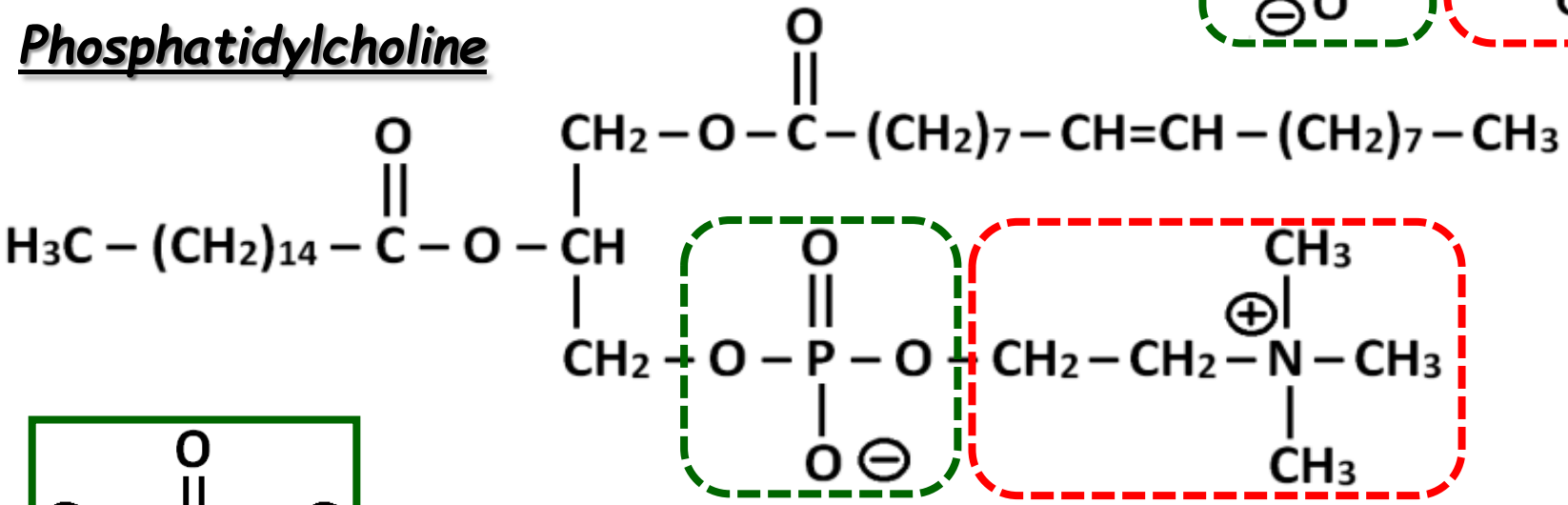


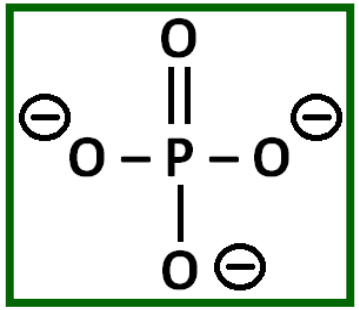
Les PHOSPHOGLYCERIDES

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**.

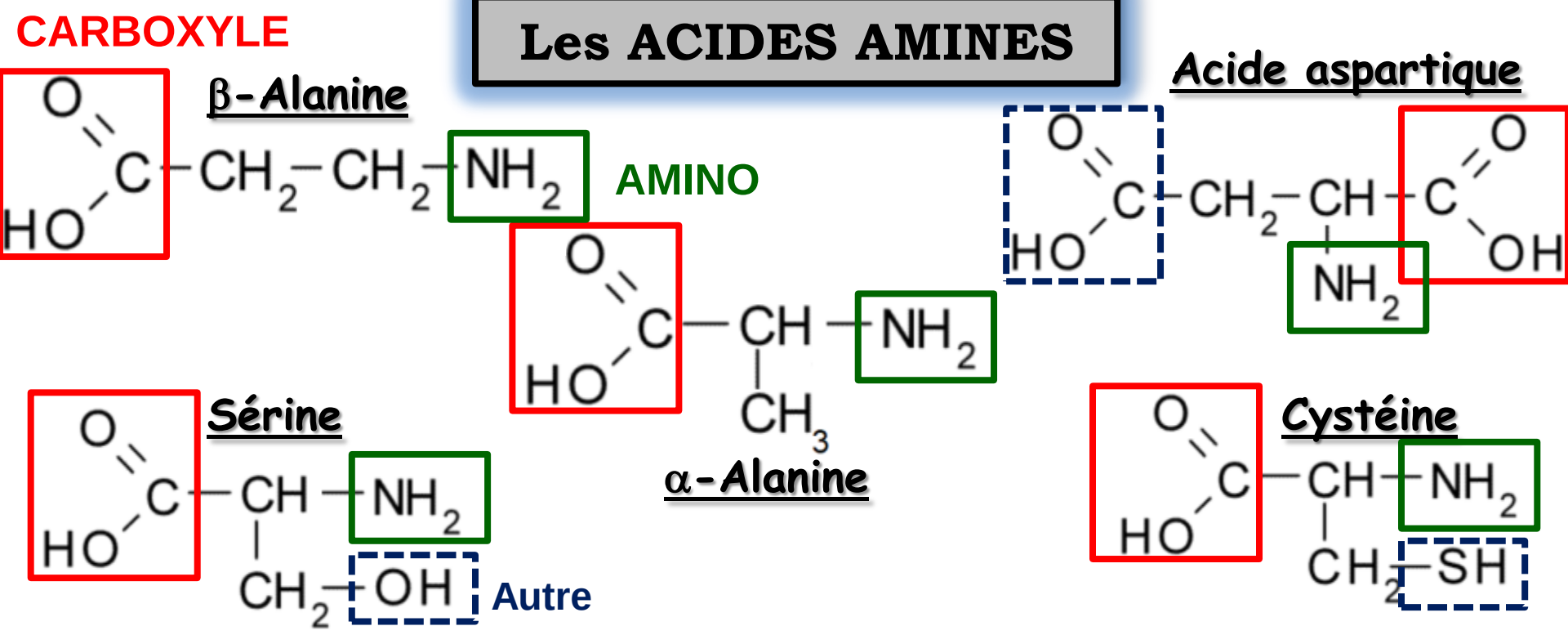
Les PHOSPHOGLYCERIDES

☛ 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

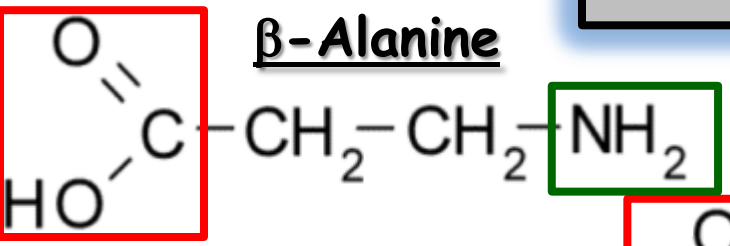
Les ACIDES AMINES



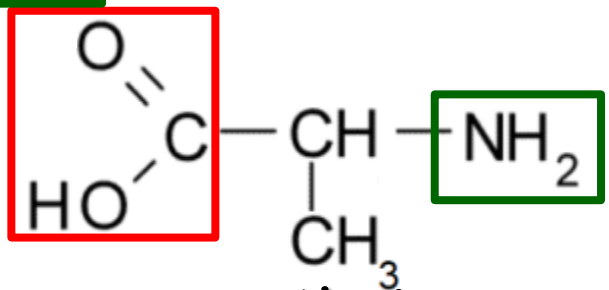
Les ACIDES AMINES

CARBOXYLE

β-Alanine

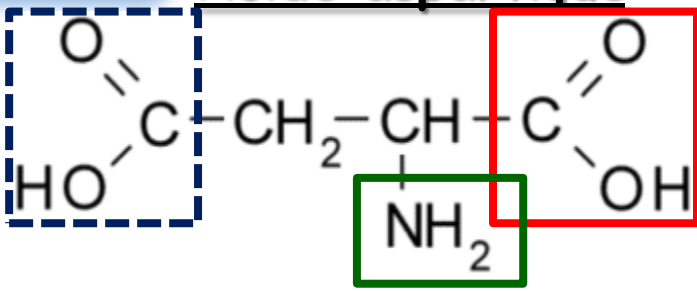


AMINO

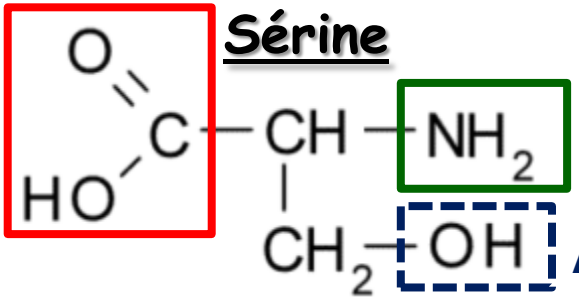


α-Alanine

Acide aspartique

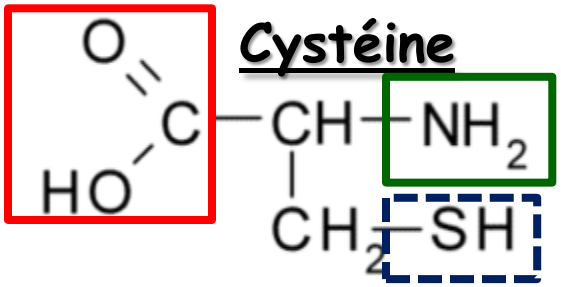


Sérine



Autre

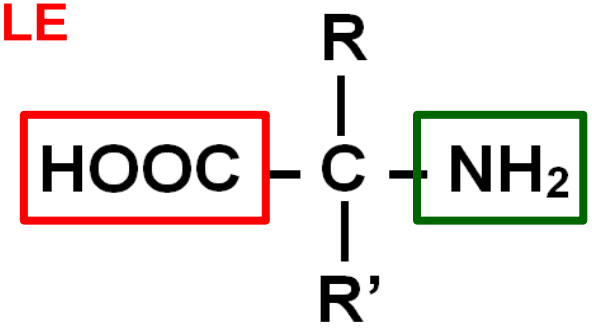
Cystéine



- 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)



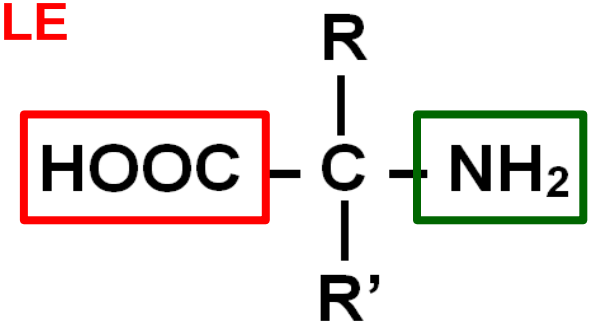
Acide α-aminé

*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**.

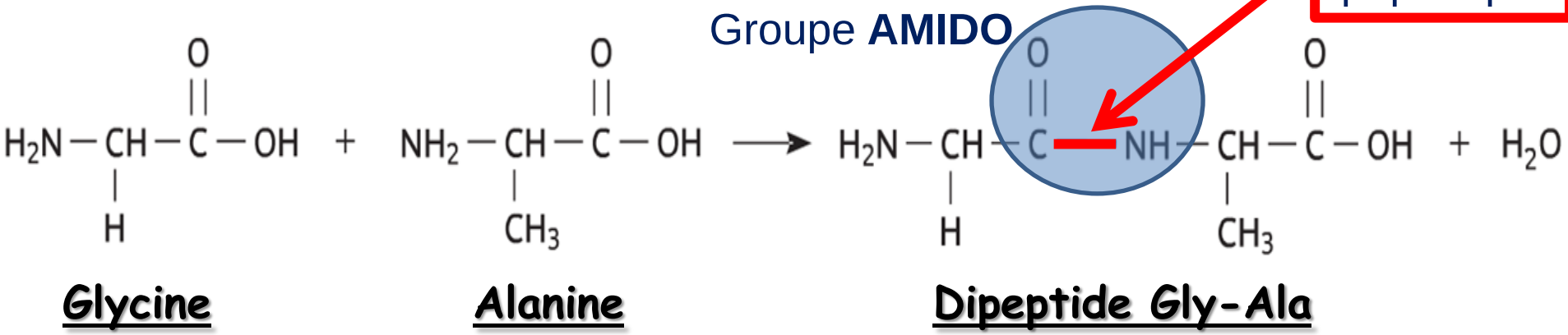
Lorsque ces deux groupes sont portés par le même atome de carbone, on parle d'**acide α-aminé**.

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



Acide α-aminé

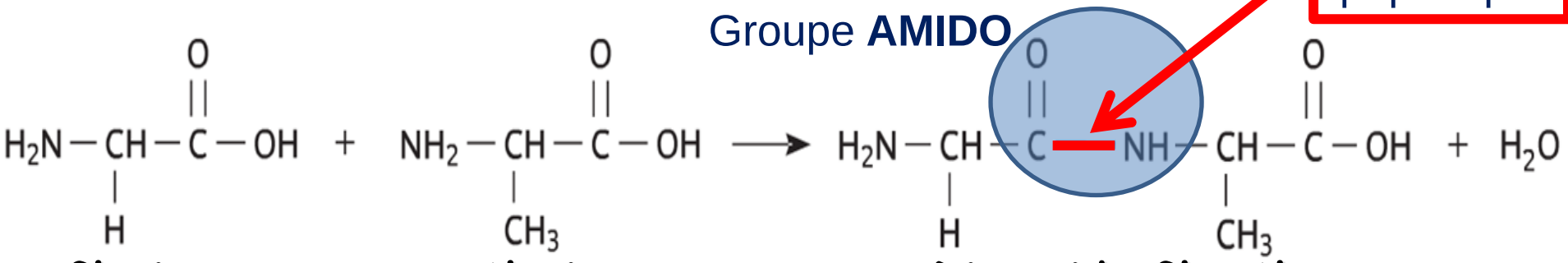
Les PEPTIDES et les PROTEINES



Glycine **Alanine** **Dipeptide Gly-Ala**

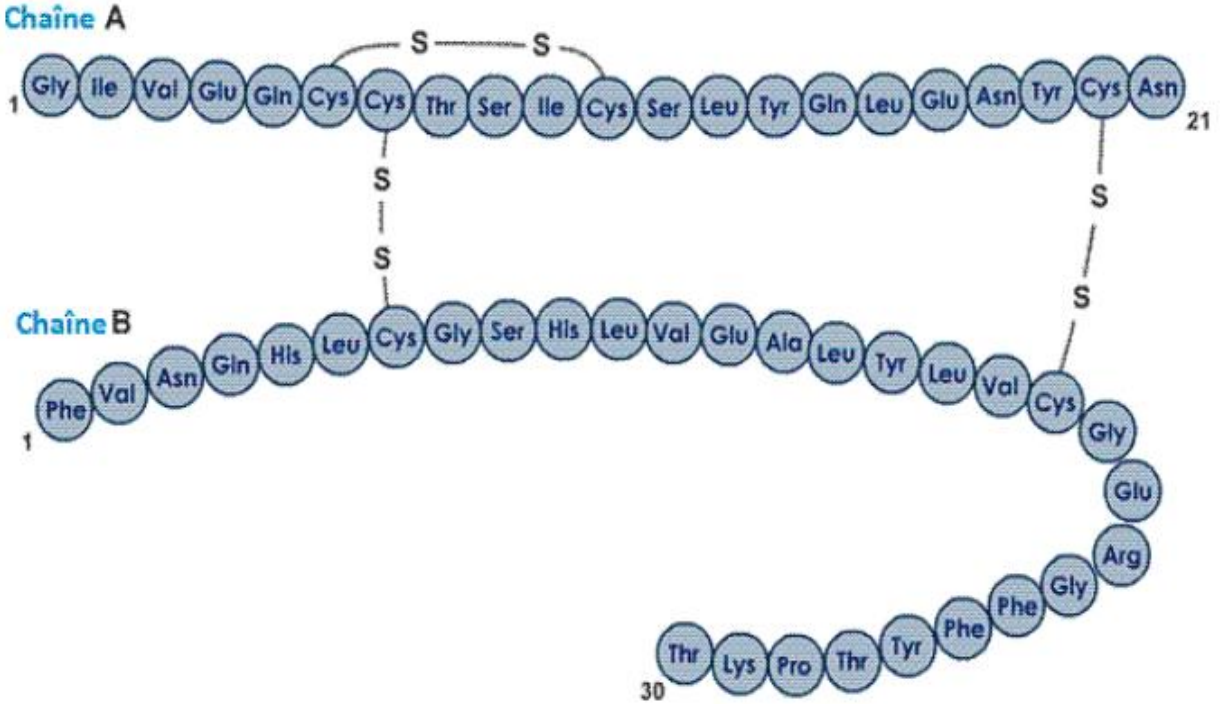
- Les peptides et les protéines sont des **chaînes d'acides aminés**, les **protéines** étant plus longues que les **peptides**.

Les PEPTIDES et les PROTEINES



☛ 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 :

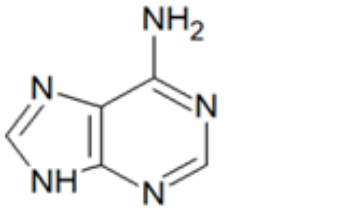
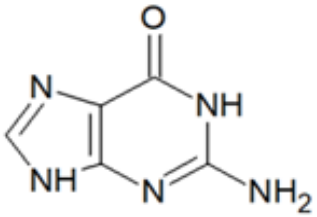
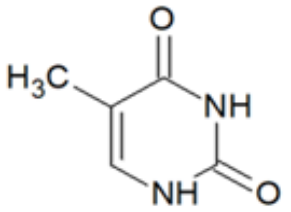
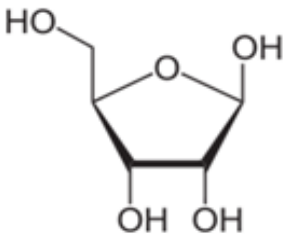
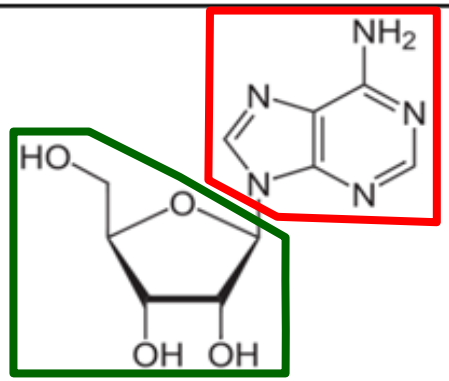
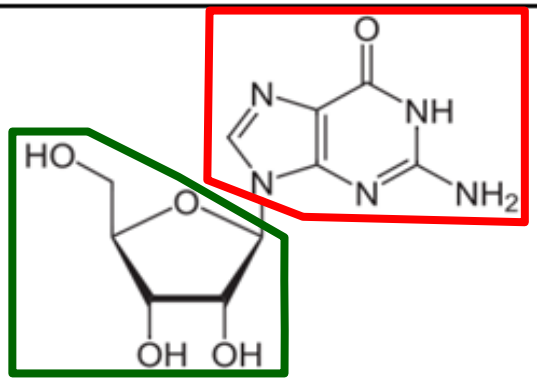
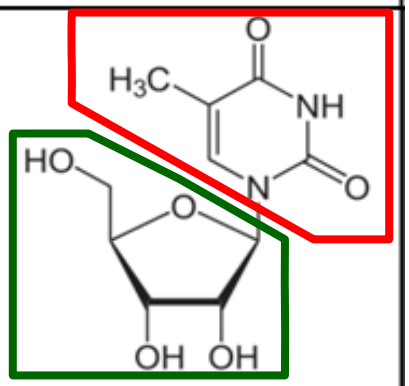
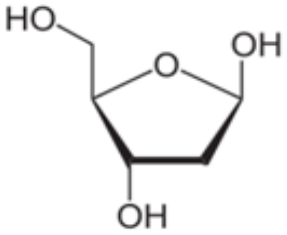
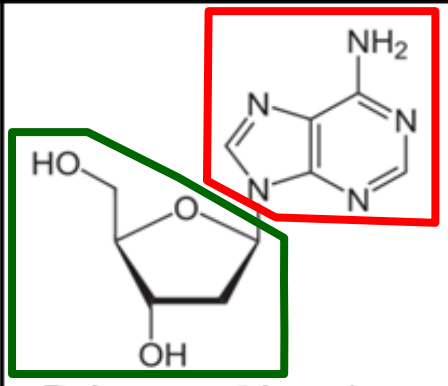
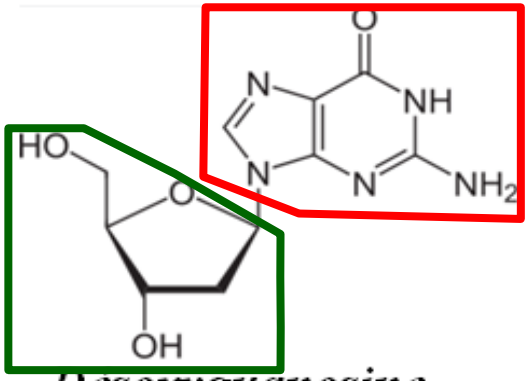
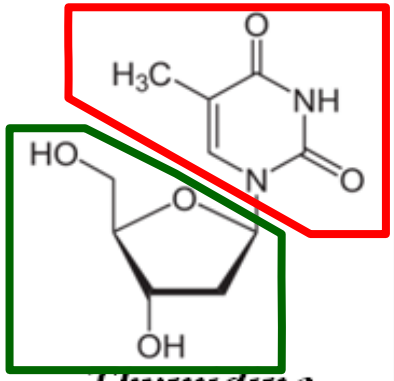
- Il existe deux acides nucléiques : l'**ADN** (**A**cide **D**ésoxyribo**N**ucléique) et l'**ARN** (**A**cide **R**ibo**N**ucléique).

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

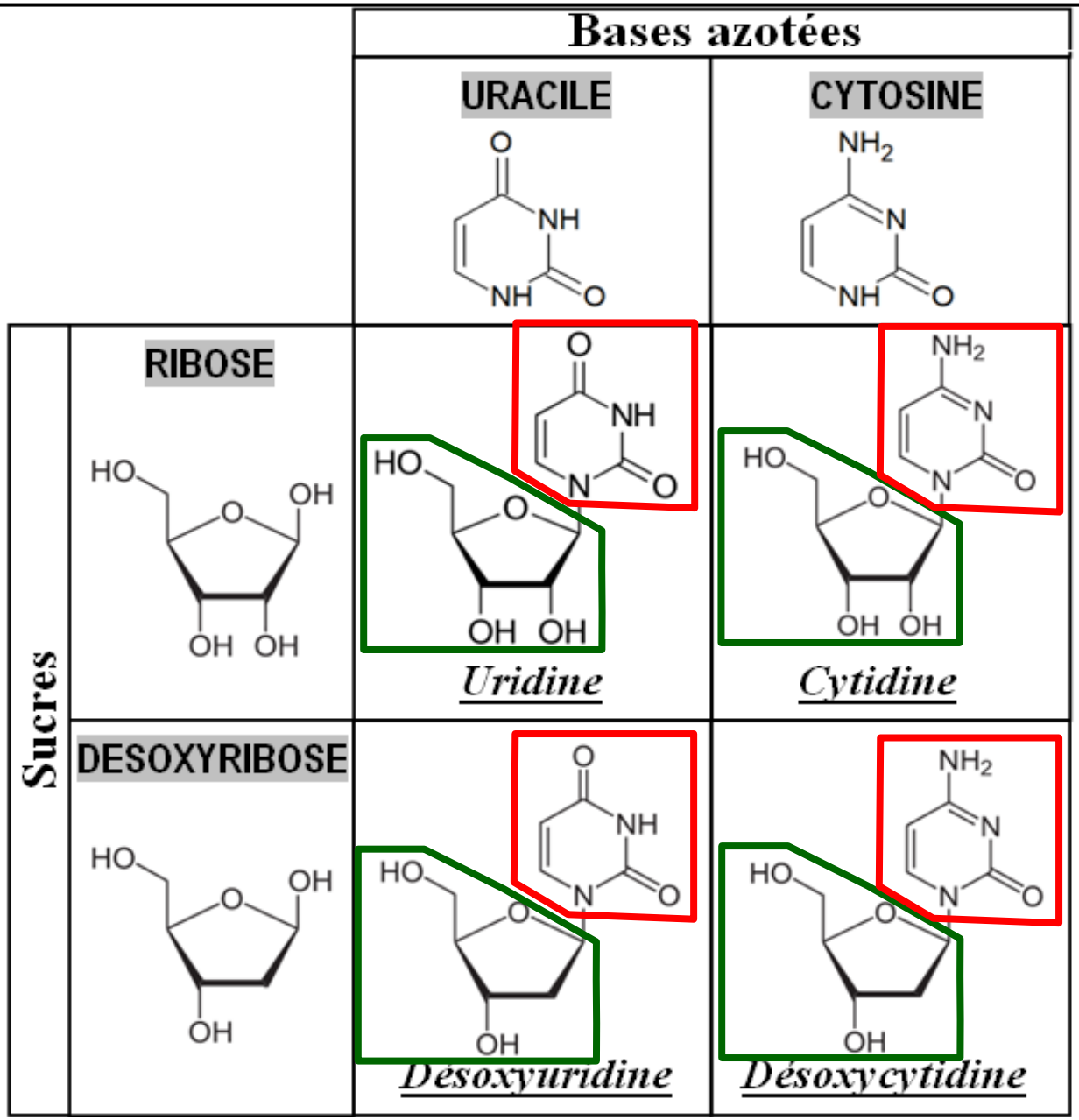
Les NUCLEOSIDES

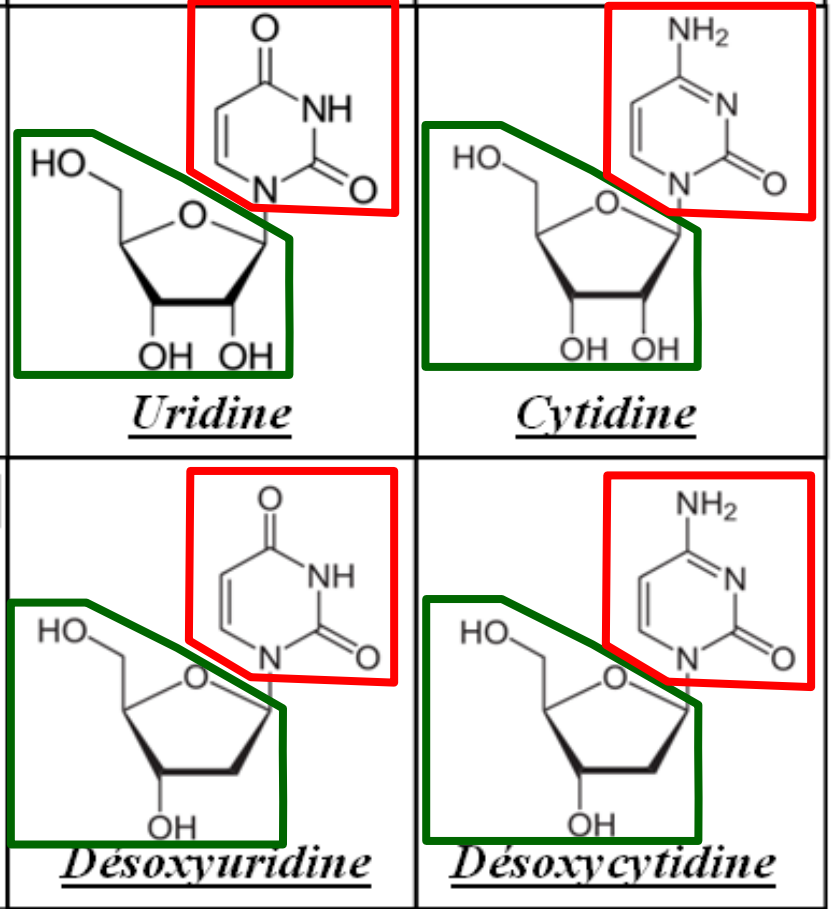
- Un **nucléoSide** est l'association d'une **BASE AZOTEE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.

☛ Un **nucléo<u>S</u>ide** est l'association d'une **BASE AZOTEE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.

Sucres	Bases azotées : ADENINE	GUANINE	THYMINE
			
RIBOSE 	 *Adénosine*	 *Guanosine*	 *Ribothymidine*
DESOXYRIBOSE 	 *Désoxyadénosine*	 *Désoxyguanosine*	 *Thymidine*

☛ Un **nucléo<u>S</u>ide** est l'association d'une **BASE AZOTEE** et d'un **SUCRE** de type ribose ou désoxyribose.





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

Les NUCLEOTIDES

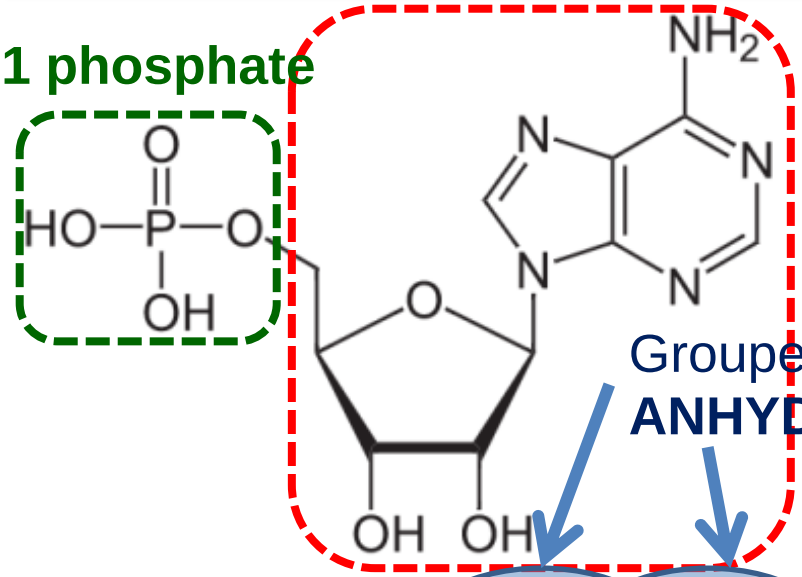
- Un **nucléoTide** est l'association d'un **NUCLEOSIDE** et d'un (ou plusieurs) **PHOSPHATE(S)** via le sucre du nucléoside.

Les NUCLEOTIDES

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

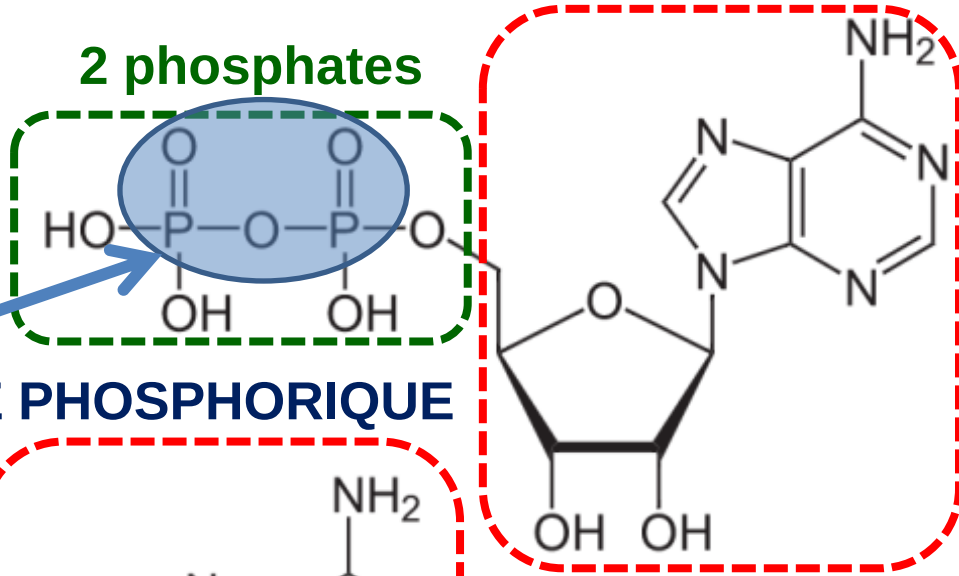
Adénosine MonoPhosphate (AMP)

1 phosphate

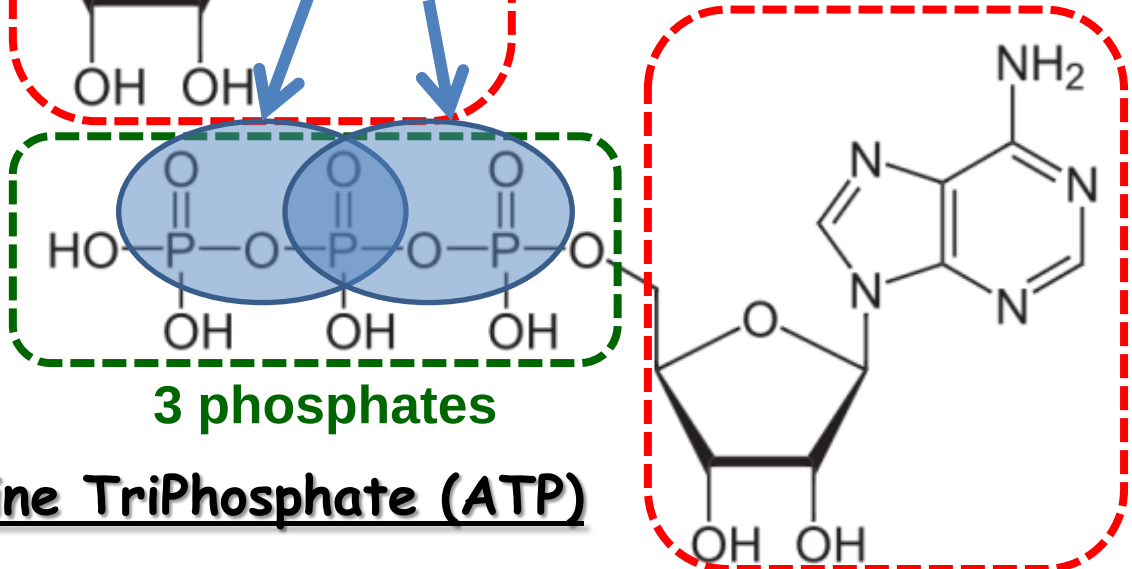


Adénosine DiPhosphate (ADP)

2 phosphates



Groupes **ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE**

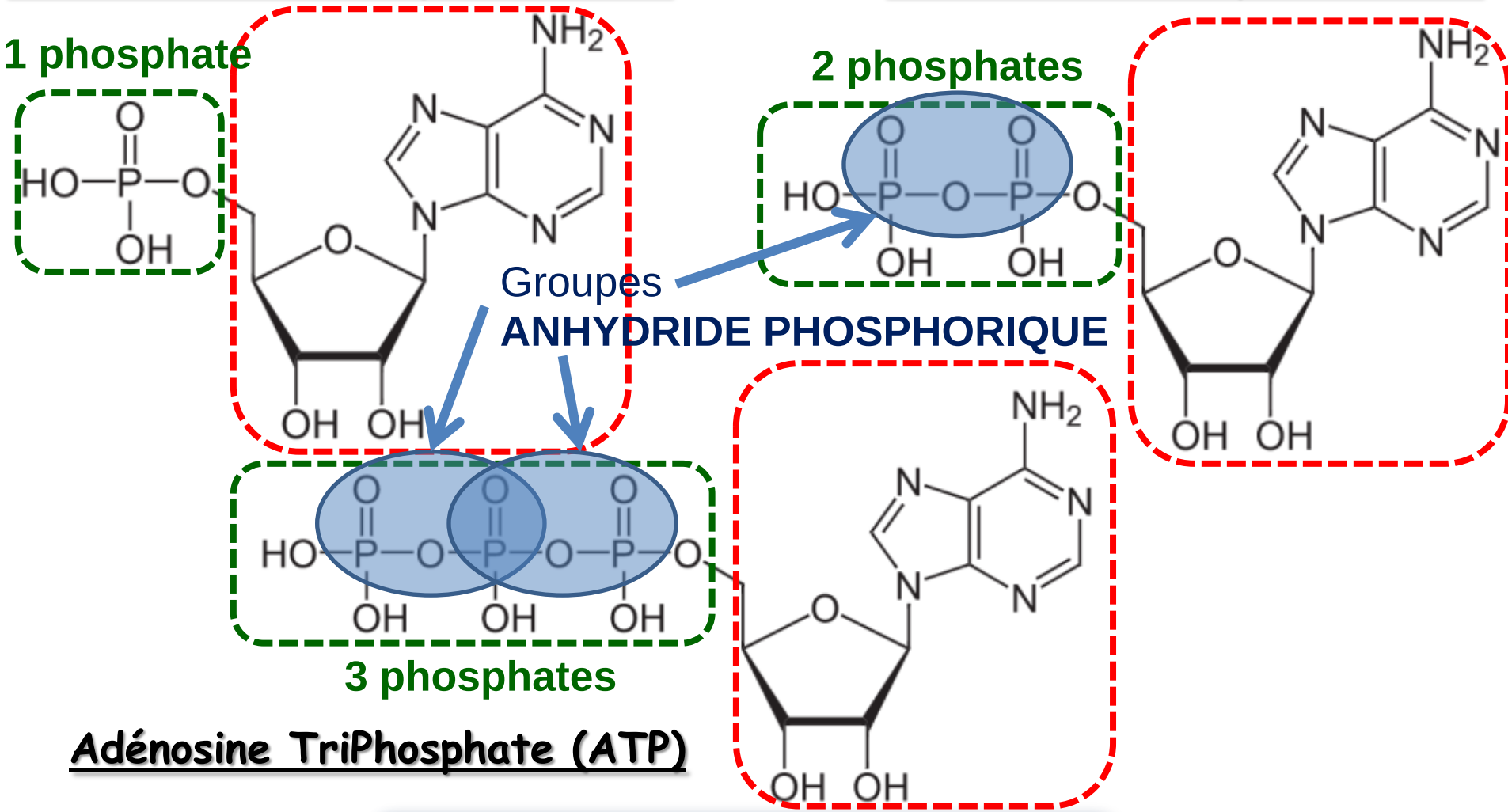


3 phosphates

Adénosine TriPhosphate (ATP)

Adénosine MonoPhosphate (AMP)

Adénosine DiPhosphate (ADP)



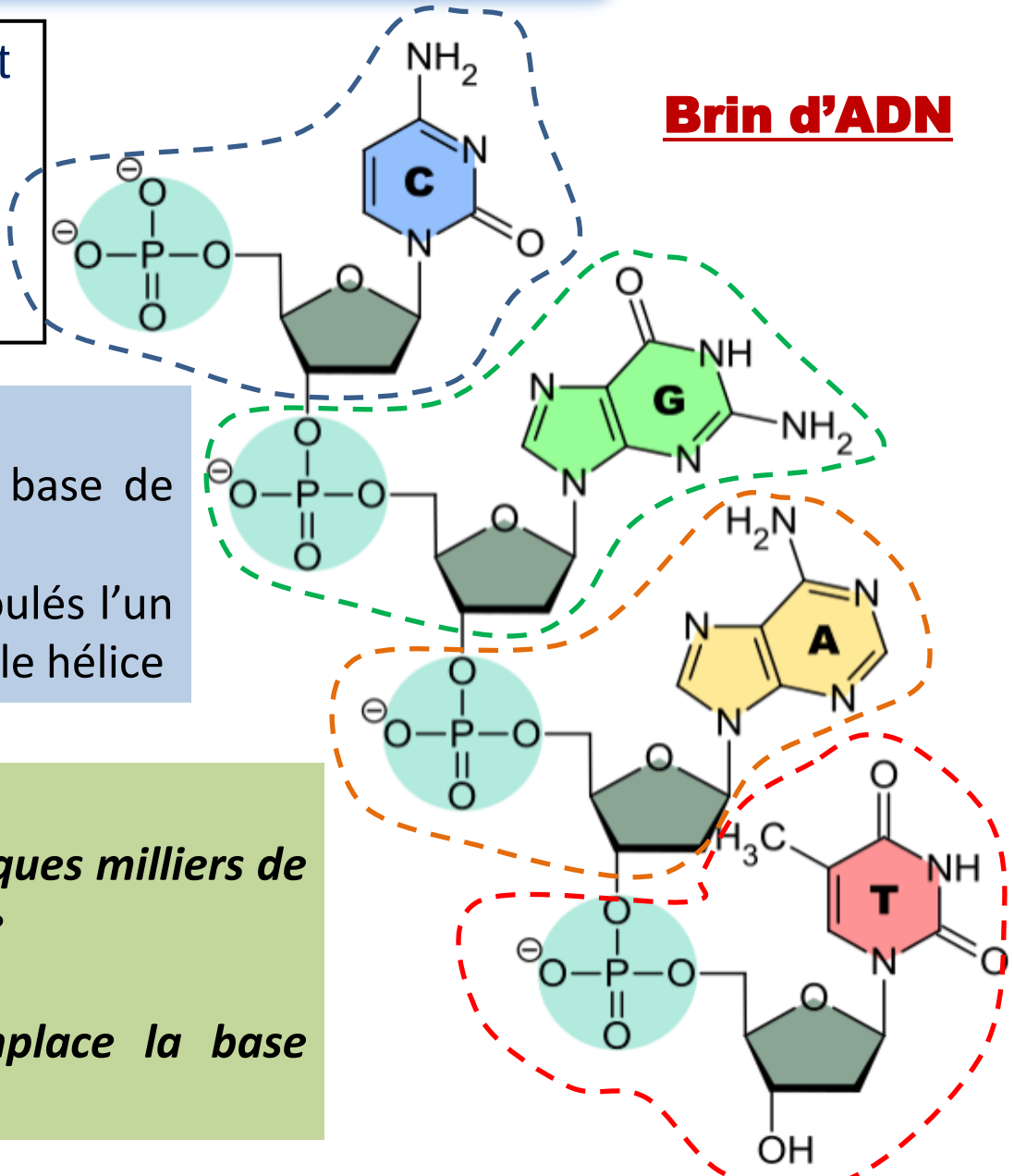
Adénosine TriPhosphate (ATP)

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

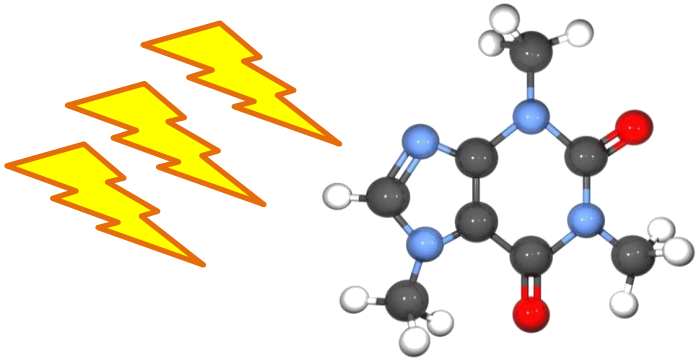
ARN

➡ ***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



→ Différentes **absorptions** possibles

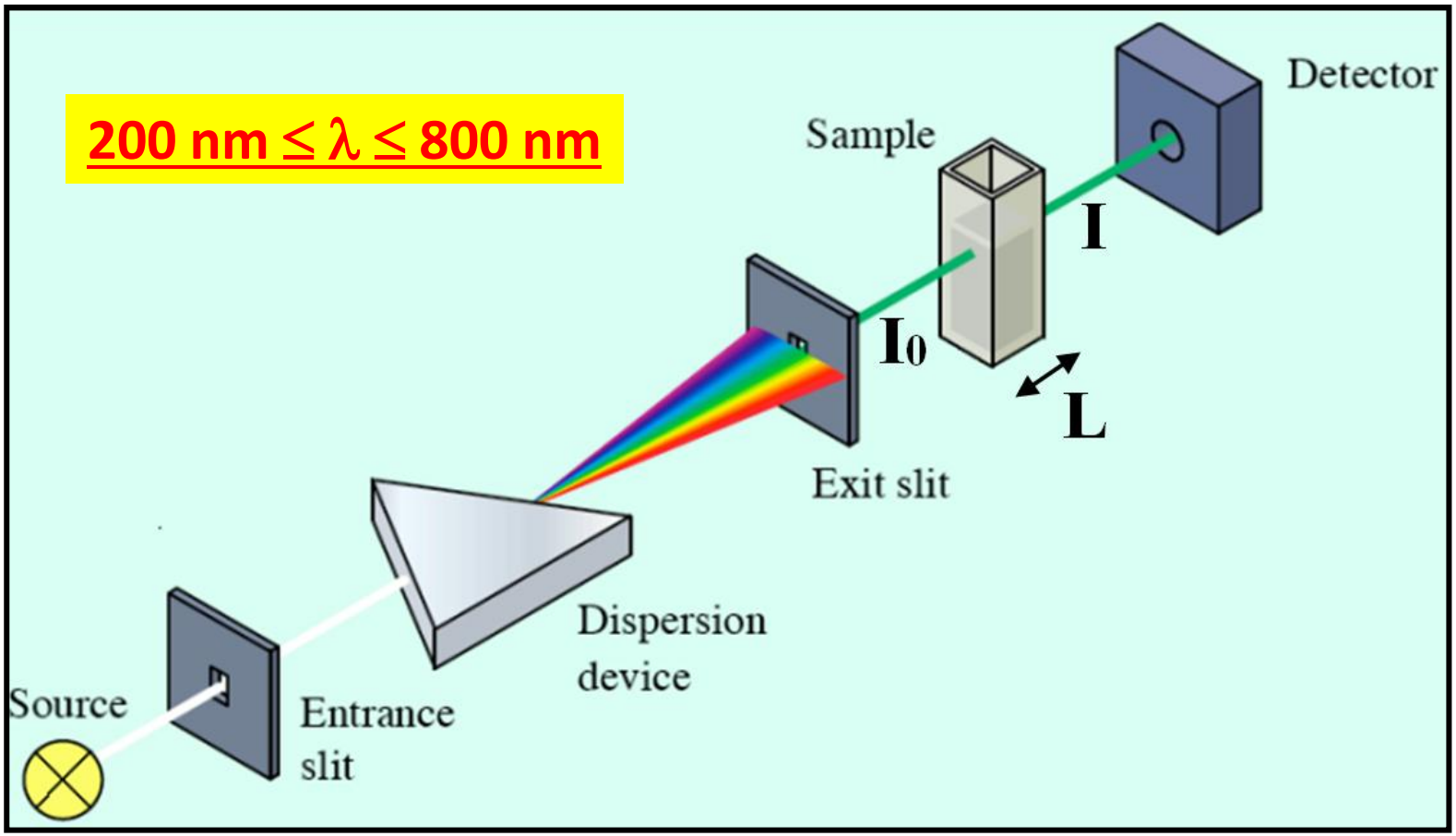
→ Différentes **spectroscopies** possibles

→ Différentes **informations** sur la molécule

1) La spectroscopie UV-visible :

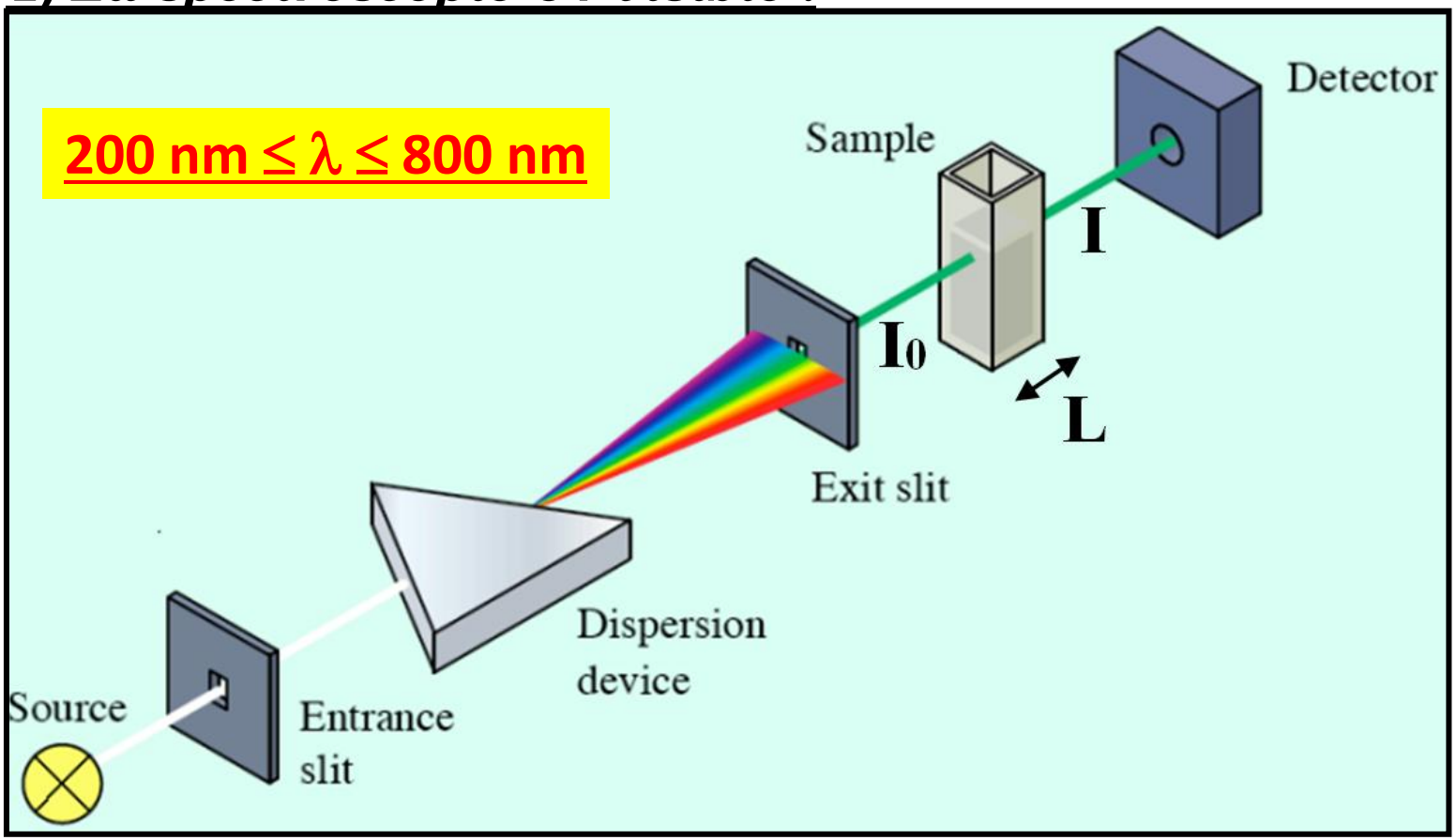
a/ Principe

200 nm ≤ λ ≤ 800 nm



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 → + ∞ si l'espèce *absorbe totalement.*

☛ ***Origine de l'absorption***:

Quand l'espèce chimique absorbe, **ses électrons de valence changent de niveau d'énergie électronique**.

☛ ***Absorbance*** :

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

⇨ Grandeur **sans unité** ;

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

A → + ∞ si l'espèce *absorbe totalement.*

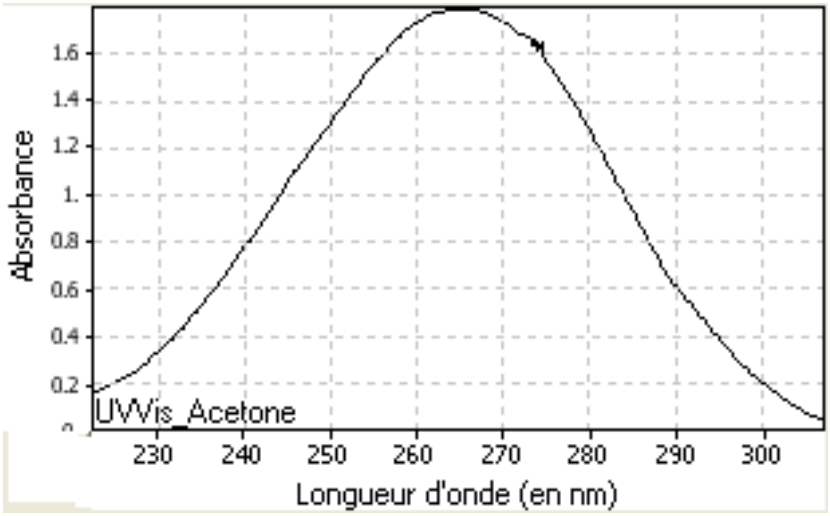
☛ ***Origine de l'absorption*** :

Quand l'espèce chimique absorbe, **ses électrons de valence changent de niveau d'énergie électronique**.

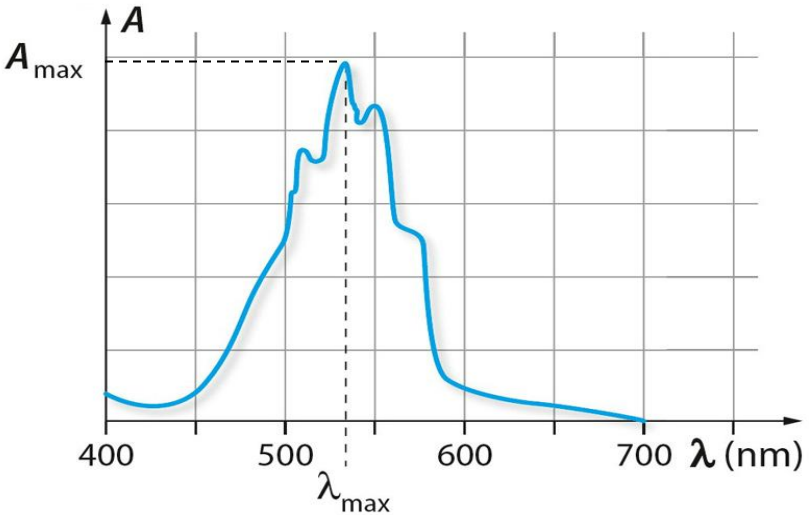
b/ Les informations d'un spectre d'absorption A = f(λ)

☛ ***Couleur d'une solution*** :

Spectre UV-visible de l'acétone



Spectre UV-visible de l'ion MnO_4^-



- *Exemple 1 : l'acétone :*

Pas d'absorption entre 400 nm et 800 nm ⇨ Espèce INCOLORE

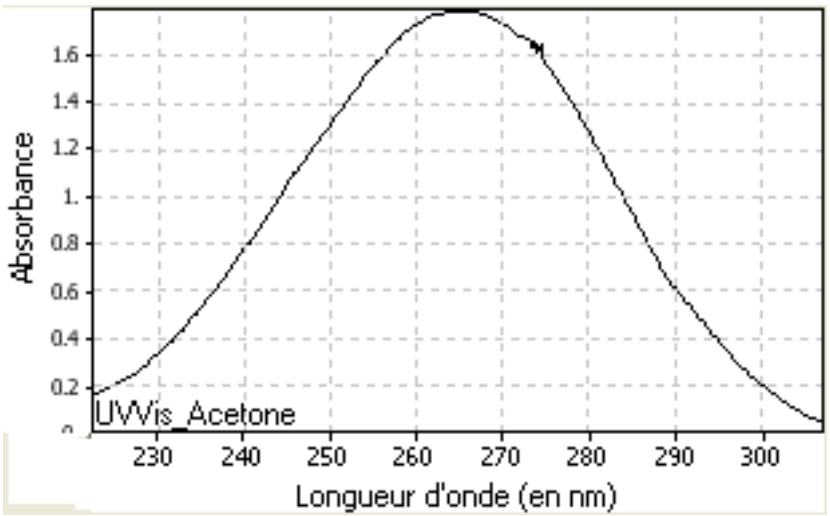
- *Exemple 2 : l'ion permanganate :*

Absorption entre 400 nm et 800 nm ⇨ Espèce COLOREE

b/ Les informations d'un spectre d'absorption A = f(λ)

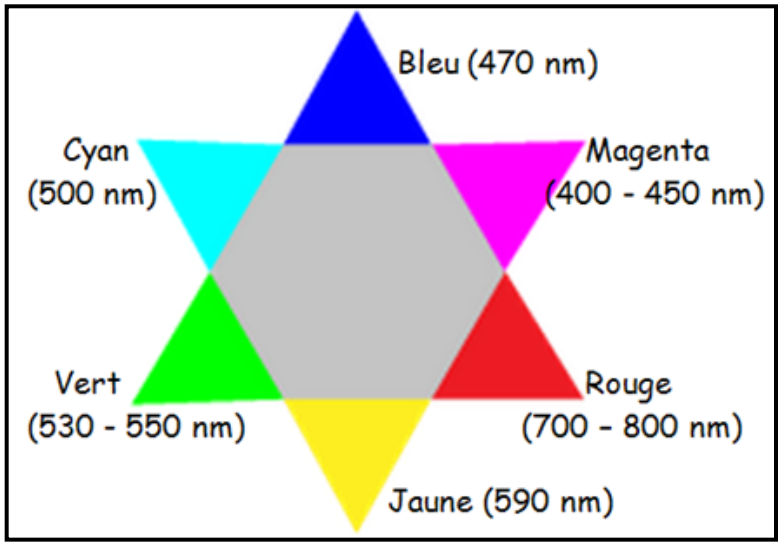
☛ *Couleur d'une solution* :

Spectre UV-visible de l'acétone

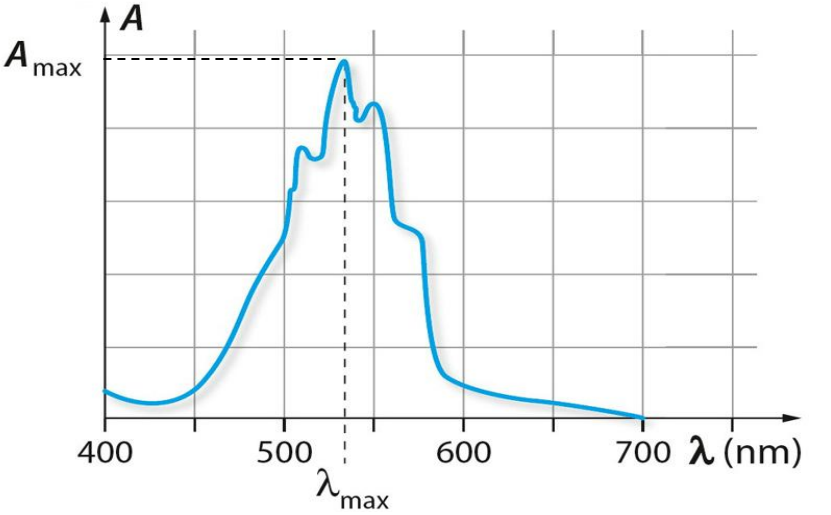


- *Exemple 1 : l'acétone :*

Pas d'absorption entre 400 nm et 800 nm ⇨ Espèce INCOLORE



Spectre UV-visible de l'ion MnO_4^-



- *Exemple 2 : l'ion permanganate :*

Absorption entre 400 nm et 800 nm

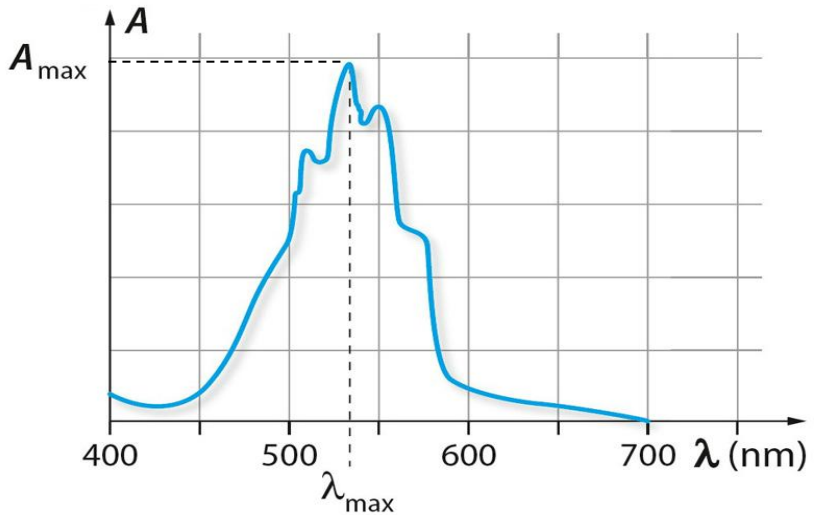
⇨ Espèce COLOREE

$\lambda_{MAX,visible}$ = 535 nm = couleur complémentaire du magenta

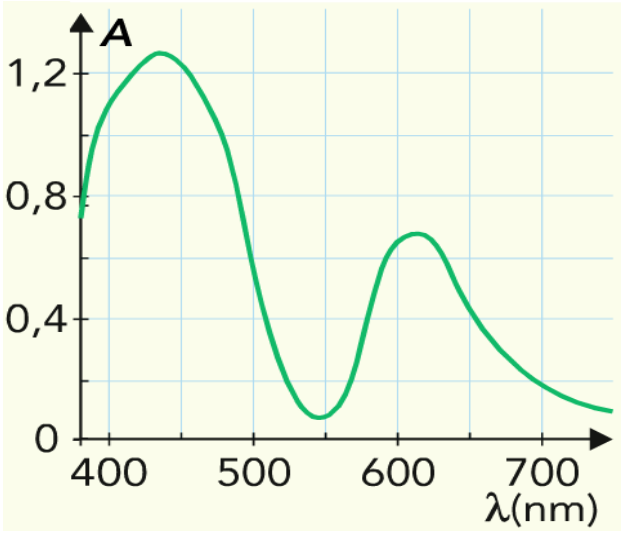
Couleur de l'ion MnO_4^-

☛ ***Couleur d'une solution*** :

Spectre UV-visible de l'ion MnO_4^-



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



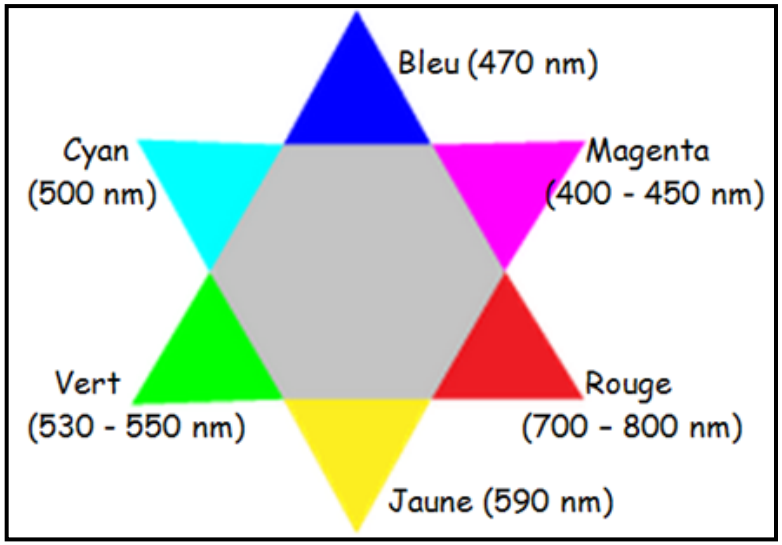
- *Exemple 2 : l'ion permanganate :*

Absorption entre 400 nm et 800 nm

⇨ **Espèce COLOREE**

$\lambda_{MAX,visible}$ = 535 nm = couleur complémentaire du magenta

Couleur de l'ion MnO_4^-



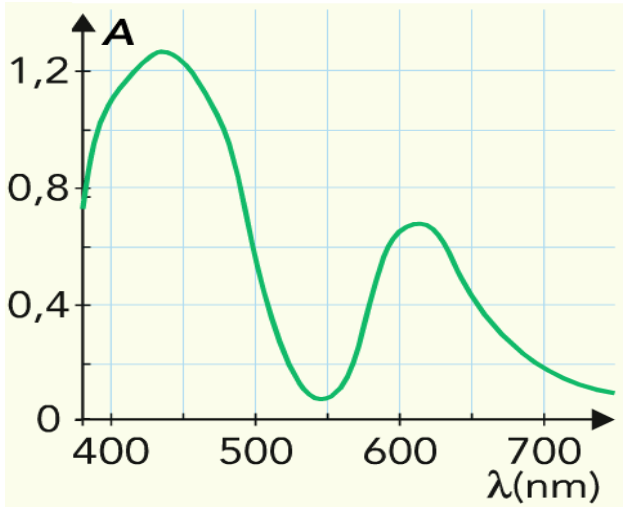
- *Exemple 3 : l'ion chrome(III) :*

Absorption entre 400 nm et 800 nm

⇨ **Espèce COLOREE**

La longueur d'onde la – absorbée (= la + transmise) dans le visible est 550 nm = VERT → Couleur de l'ion Cr^{3+}

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



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

Absorption entre 400 nm et 800 nm

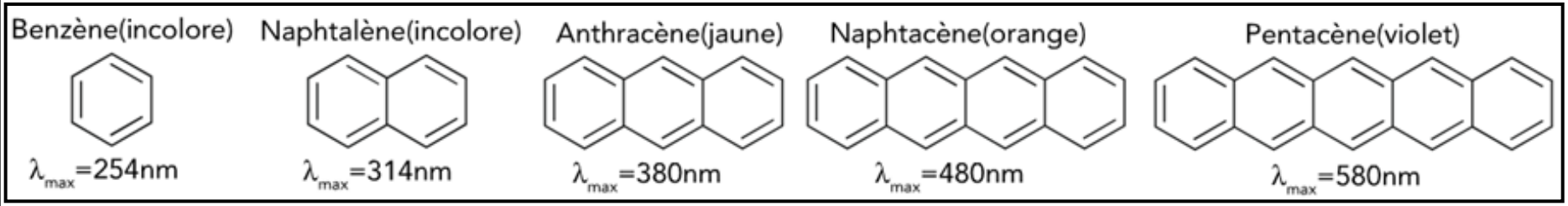
⇨ **Espèce COLOREE**

La longueur d'onde la – absorbée (= la + transmise) dans le visible est 550 nm = VERT

Couleur de l'ion Cr^{3+}

☛ ***Influence de la conjugaison*** :

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

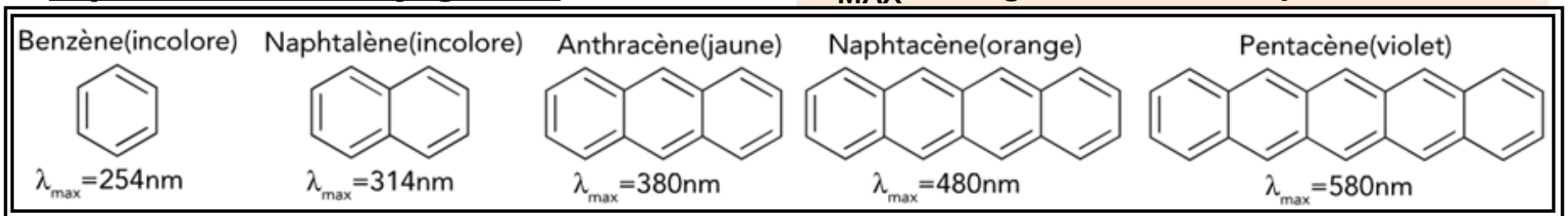


⇨ **Plus une molécule possède de doubles liaisons conjuguées** (alternance π-σ-π) **, plus la valeur de λ_{MAX} augmente**.

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

☛ ***Influence de la conjugaison*** :

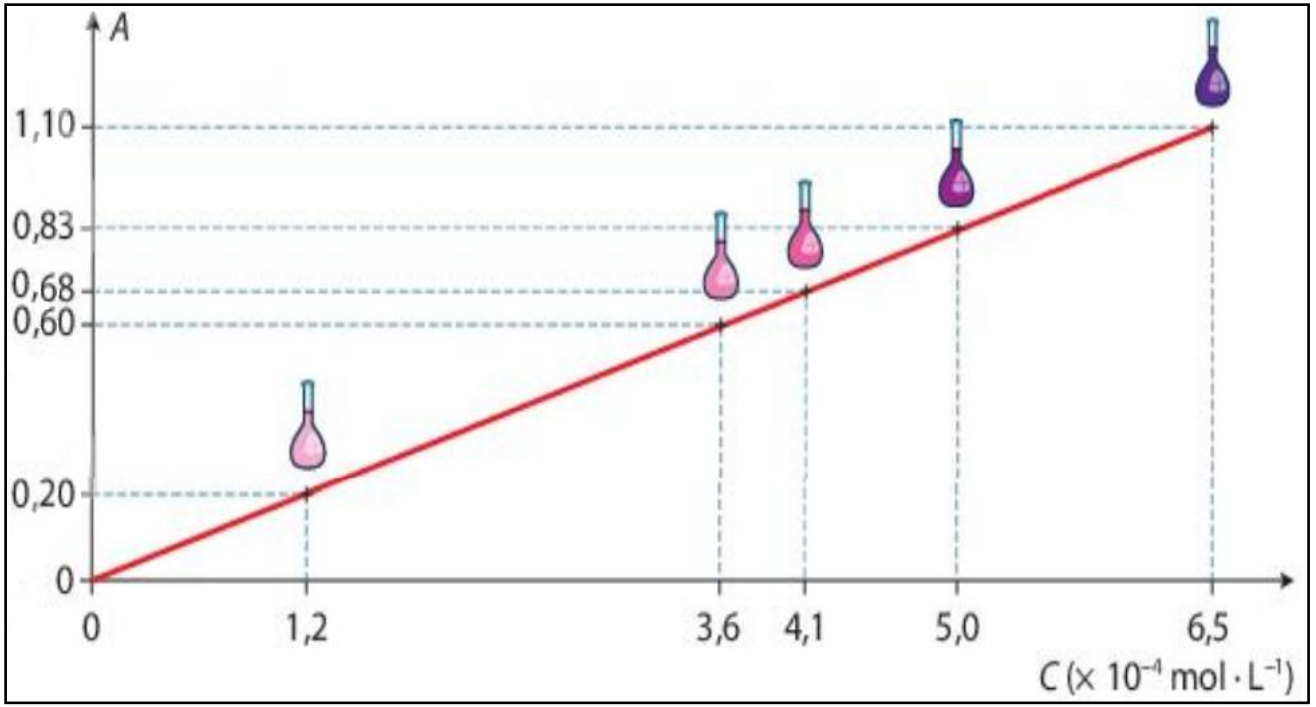
λ_{MAX} = longueur d'onde la plus absorbée



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

⇨ Une molécule possédant au moins **7 doubles liaisons conjuguées** est généralement **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 en quantité de matière 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** ($C < 10^{-2}$ mol.L^{-1}) *;*

- La loi de Beer-Lambert peut aussi s'exprimer **en fonction d'une concentration en masse** *: dans ce cas, l'unité de ε_λ est le* L.g^{-1}.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 :*

$$A = A_1 + A_2 + \ldots = \sum_i \varepsilon_i . \ell . c_i$$

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.

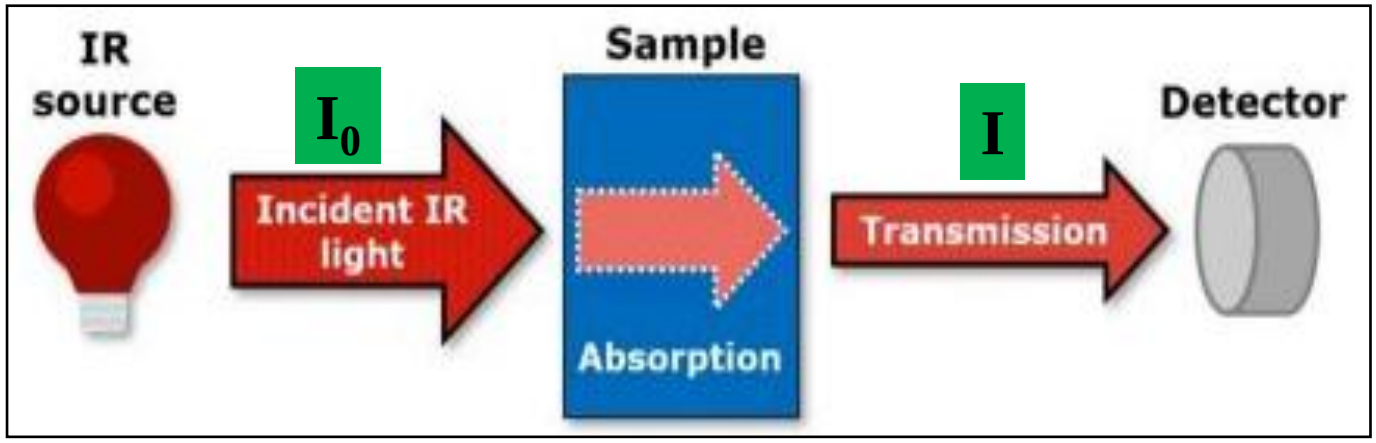
$$A = \varepsilon_\lambda \times L \times C$$

- **A** : Absorbance (**sans unité**) ;
- **L** : épaisseur de solution traversée (**en cm**) ;
- **C** : concentration en quantité de matière 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

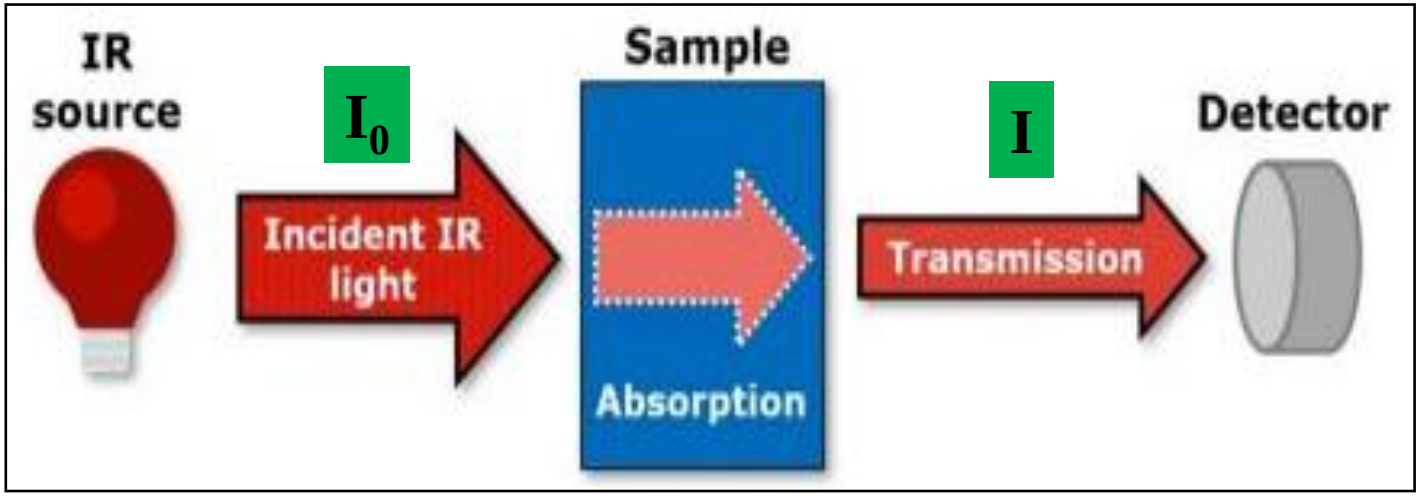
2000 nm ≤ λ ≤ 20 000 nm



2) La spectroscopie Infrarouge :

a/ Principe

2000 nm ≤ λ ≤ 20 000 nm



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

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

⇨ **T = 0** si l'espèce *absorbe totalement* ;
T = 1 si l'espèce *n'absorbe rien.*

☛ ***Origine de l'absorption*** :

2) La spectroscopie Infrarouge :

a/ Principe

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

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

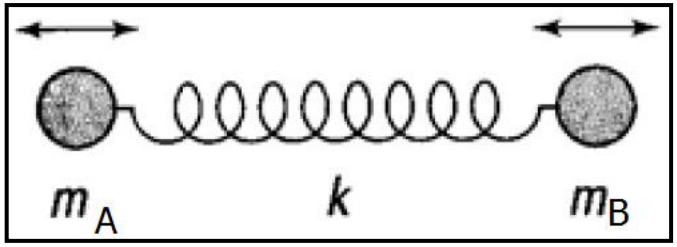
⇨ **T = 0** si l'espèce *absorbe totalement* ;
T = 1 si l'espèce *n'absorbe rien.*

☛ ***Origine de l'absorption*** :

Lorsqu'une molécule absorbe un rayonnement **IR**, **une de ses liaisons rentre en résonance**, c'est-à-dire qu'elle vibre de façon plus intense que la normale.

Liaison covalente modélisable par
le modèle de l'**OSCILLATEUR HARMONIQUE**

Ressort de constante de raideur k



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

⇨ **Fréquence de résonance** : $\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\frac{k}{\mu}}$

Absorption d'un photon $h.\nu_0$ ⇨ la liaison AB rentre en résonance

2) La spectroscopie Infrarouge :

a/ Principe

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

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

⇨ **T = 0** si l'espèce *absorbe totalement* ;
T = 1 si l'espèce *n'absorbe rien.*

☛ ***Origine de l'absorption*** :

Lorsqu'une molécule absorbe un rayonnement **IR**, **une de ses liaisons rentre en résonance**, c'est-à-dire qu'elle vibre de façon plus intense que la normale.

b/ Allure d'un spectre infrarouge

☛ ***Ordonnée*** : **Transmittance**

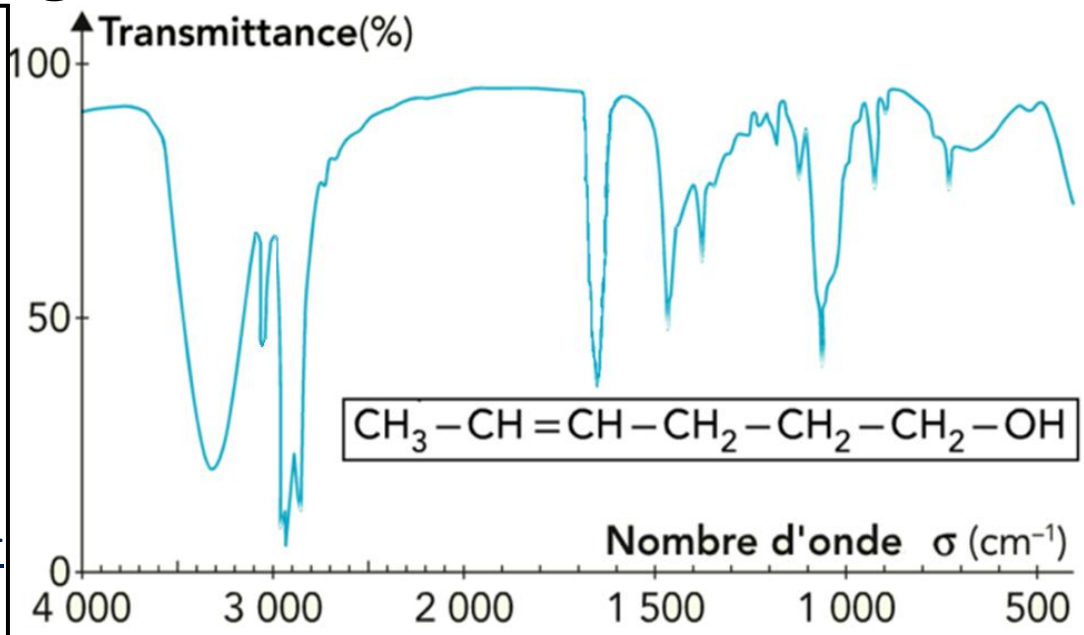
☛ ***Abscisse*** : **Nombre d'onde**
= inverse de la longueur d'onde

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

σ en cm^{-1} ; λ en cm

Exemple : Si λ = 10 000 nm,

$$\sigma = \frac{1}{10000.10^{-7}}$$ soit **σ = 1000 cm^{-1}**



b/ Allure d'un spectre infrarouge

☛ ***Ordonnée*** : **Transmittance**

☛ ***Abscisse*** : **Nombre d'onde**

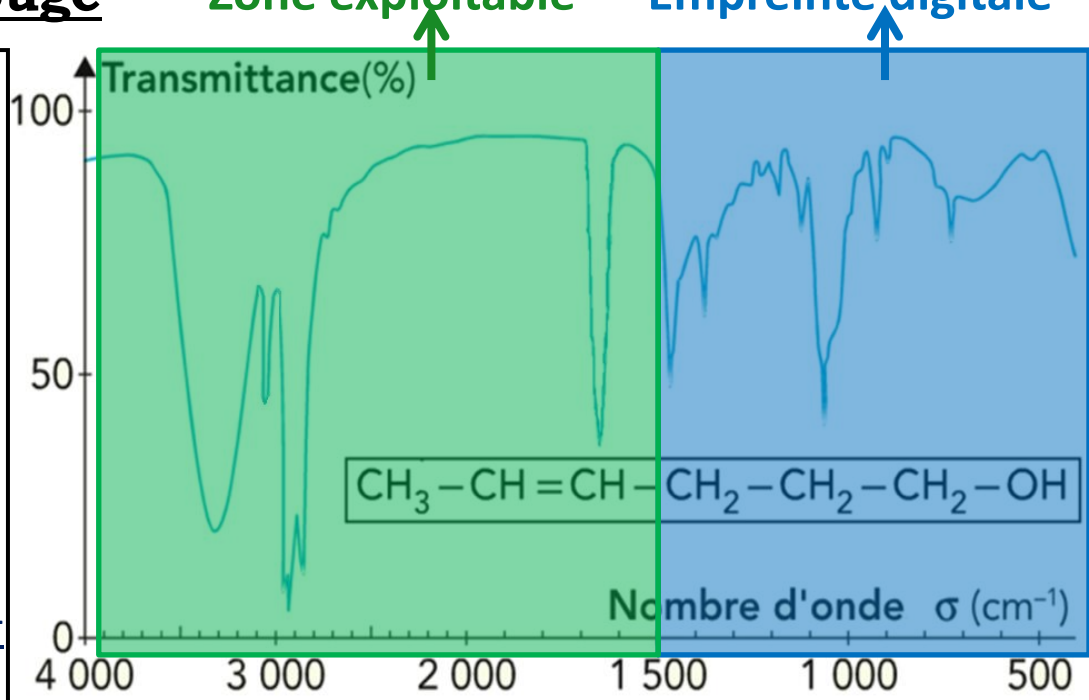
= inverse de la longueur d'onde

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

σ : cm^{-1} ; λ : cm

Exemple : Si λ = 10 000 nm,

$$\sigma = \frac{1}{10000.10^{-7}}$$ soit **σ = 1000 cm^{-1}**



☛ ***Allure d'un spectre infrarouge*** :

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

Forme		Intensité		
large	fine	**F**orte	**m**oyenne	**f**aible
				

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

⇨ **2 zones dans le spectre IR** :

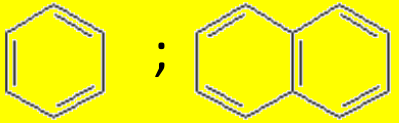
➡ **σ < 1500 cm^{-1}** : l'« **empreinte digitale** » : difficilement exploitable

➡ **σ > 1500 cm^{-1}** : partie exploitable

Annexe n°1

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité / Forme	Particularités
O – H alcool libre	3580 – 3670	Moyenne / Fine	
O – H alcool lié	3200 – 3400	Forte / Large	Se superpose à la précédente
N – H amine (v)	3100 – 3500	Moyenne	2 bandes si l'atome d'azote est
N – H amide (v)	3100 – 3500	Forte	lié à 2 atomes d'hydrogène
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	
C = O anhydride	1700 – 1840	Forte	2 bandes
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	

Ar = Aromatique

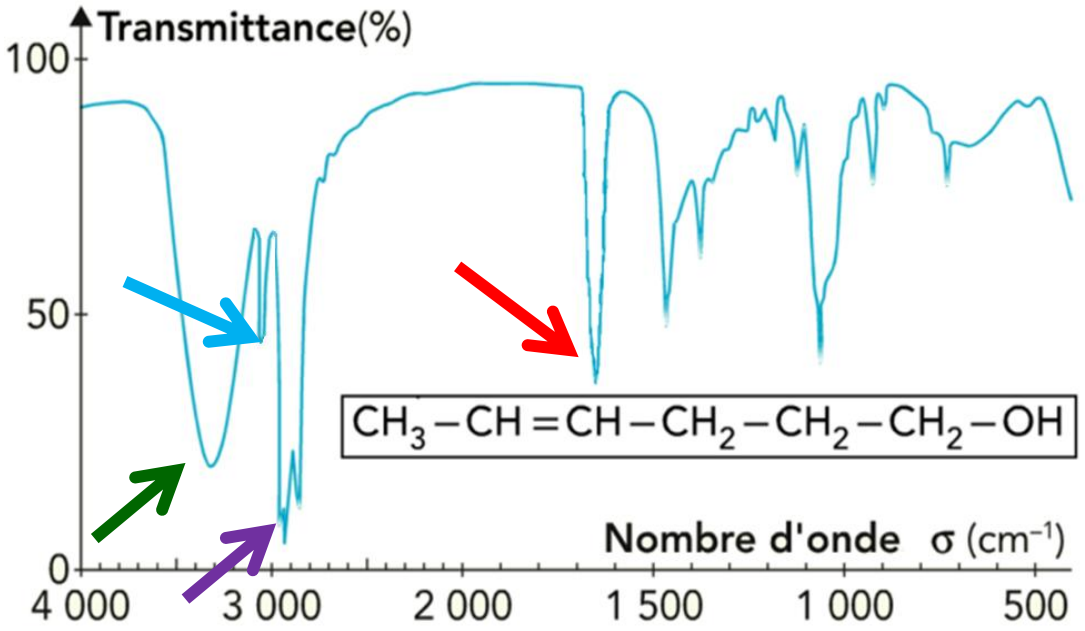


Annexe n°1

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité / Forme	Particularités
C = C alcène	1625 – 1685	Moyenne	
C = C aromatique	1450 – 1600	Variable	3 à 4 bandes
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 ***large*** centrée sur **σ = 3350 cm⁻¹**
- Liaison **C – H** alcane : bande ***fine*** centrée sur **σ = 2900 cm⁻¹**
- Liaison **C = C** alcène : bande ***fine*** centrée sur **σ = 1650 cm⁻¹**
- Liaison **C – H** alcène : bande ***fine*** centrée sur **σ = 3050 cm⁻¹**



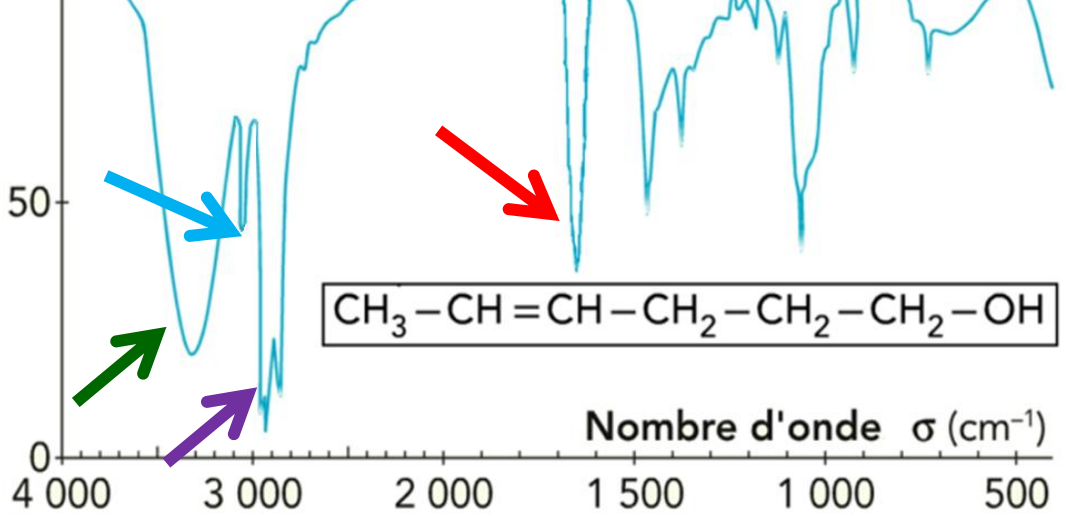
Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Intensité / Forme	Particularités
O – H alcool libre	3580 – 3670	Moyenne / Fine	
O – H alcool lié	3200 – 3400	Forte / Large	Se superpose à la précédente
N – H amine (v)	3100 – 3500	Moyenne	2 bandes si l'atome d'azote est
N – H amide (v)	3100 – 3500	Forte	lié à 2 atomes d'hydrogène
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	
C = C alcène	1625 – 1685	Moyenne	
C = C aromatique	1450 – 1600	Variable	3 à 4 bandes

• Liaison **O – H** alcool : bande ***large*** centrée sur **σ = 3350 cm⁻¹**

• Liaison **C – H** alcane : bande ***fine*** centrée sur **σ = 2900 cm⁻¹**

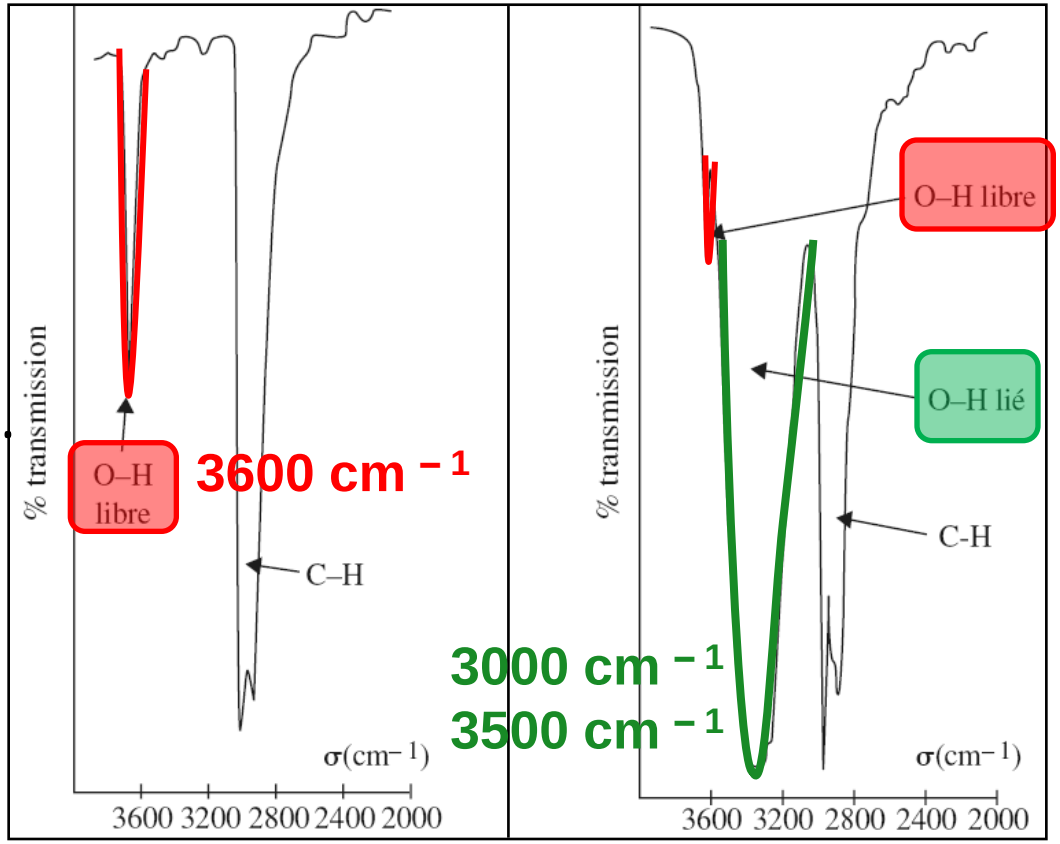
• Liaison **C = C** alcène : bande ***fine*** centrée sur **σ = 1650 cm⁻¹**

• Liaison **C – H** alcène : bande ***fine*** centrée sur **σ = 3050 cm⁻¹**



c/ Cas de la liaison O-H

Quelle différence entre « **O-H libre** » et « **O-H lié** » ?



• **Spectre de gauche : OH libre**

Molécules d'alcools trop **ELOIGNEES** les unes des autres.

• **Spectre de droite : OH lié**

Molécules d'alcools **PROCHES** les unes des autres : leurs groupes hydroxyles se lient par des ***liaisons H***

c/ Cas particulier de la liaison O-H

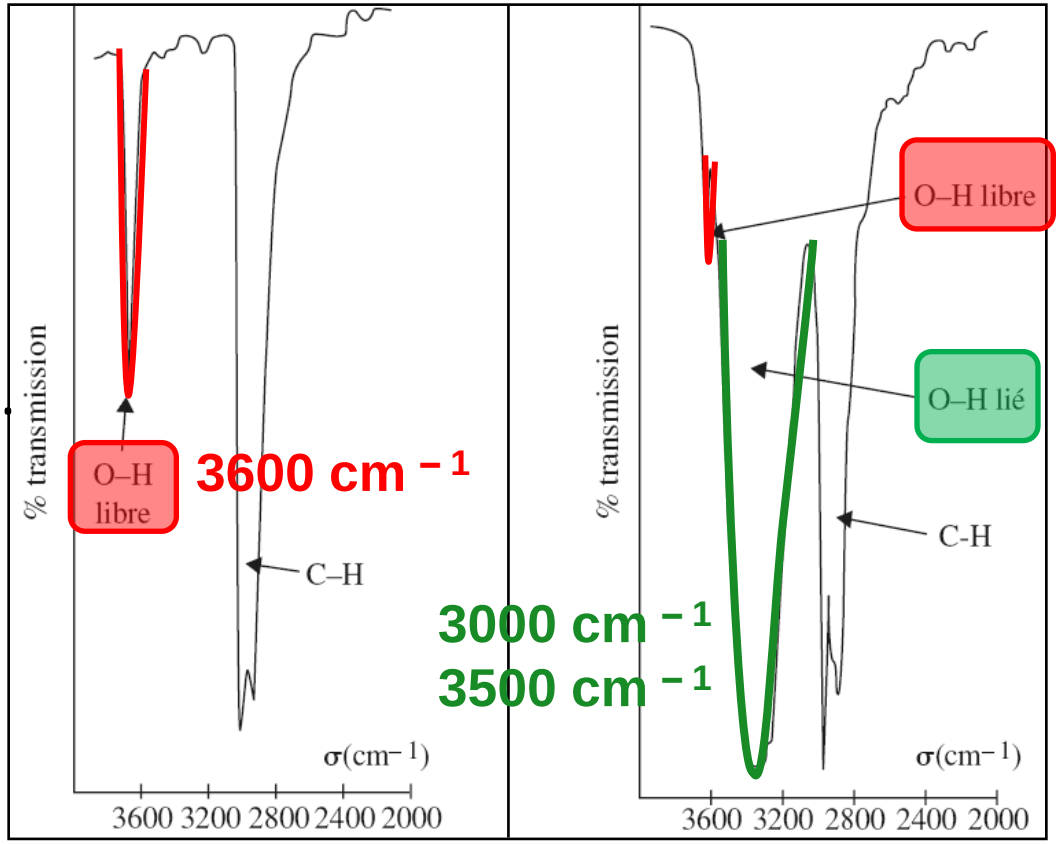
Quelle différence entre « **O-H libre** » et « **O-H lié** » ?

- **Spectre de gauche : OH libre**

Molécules d'alcools trop **ELOIGNEES** les unes des autres.

- **Spectre de droite : OH lié**

Molécules d'alcools **PROCHES** les unes des autres : leurs groupes hydroxyles se lient par des ***liaisons H***



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

☛ ***Principe*** : - Molécule plongée dans un ***champ magnétique*** $B_0 \approx 1$ T

- Les **H *absorbent des photons*** de fréquence $\nu \approx 100$ 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*** $B_0 \approx 1$ T

- Les **H *absorbent des photons*** de fréquence $\nu \approx 100$ MHz

pour orienter leur moment magnétique dans le sens opposé à $\mathbf{B_0}$.

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**.

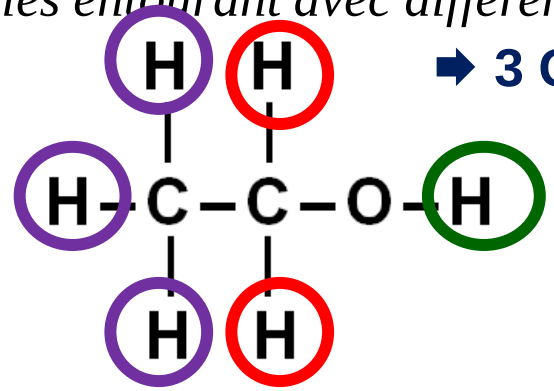
a/ Protons équivalents d'une molécule

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

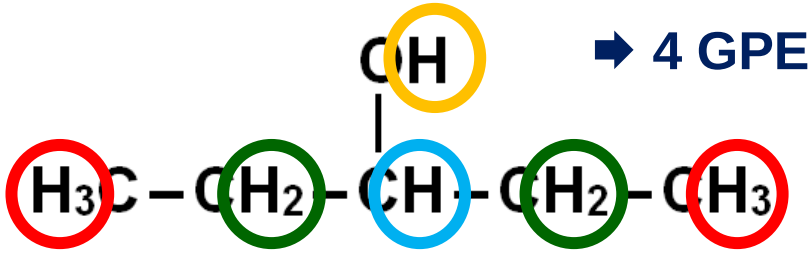
Pour simplifier, ce sont les **protons liés** :

- **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**.

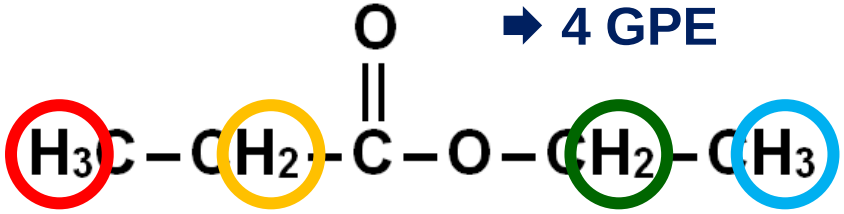
✍- **Application 2** : *Pour chaque molécule ci-dessous, déterminer le nombre de GPE en les entourant avec différentes couleurs.*



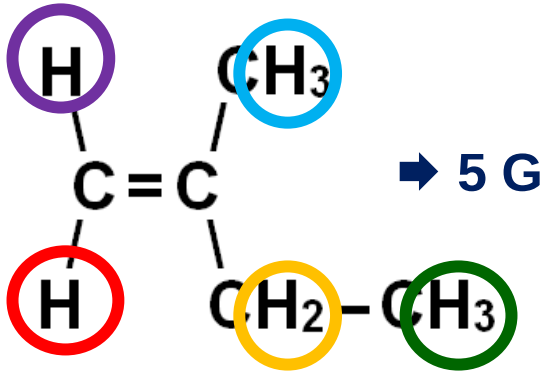
➡ 3 GPE



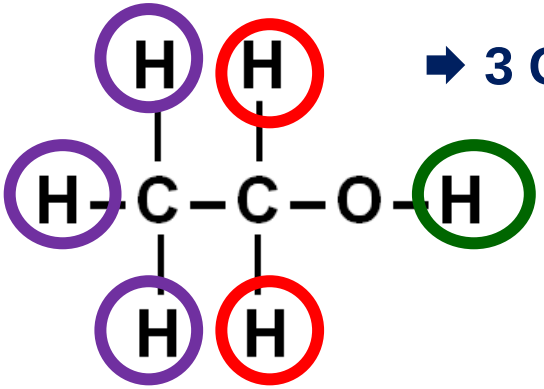
➡ 4 GPE



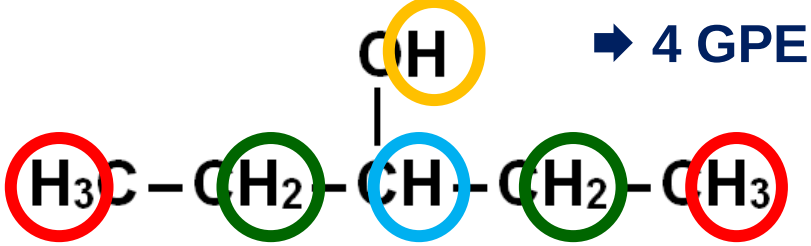
➡ 4 GPE



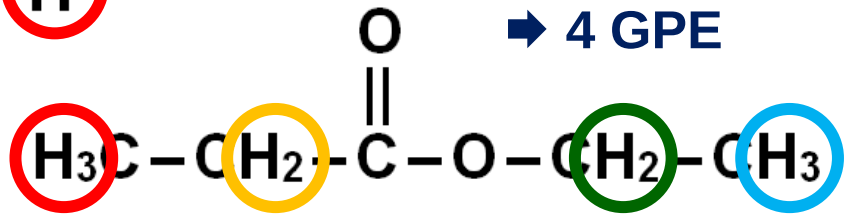
➡ 5 GPE



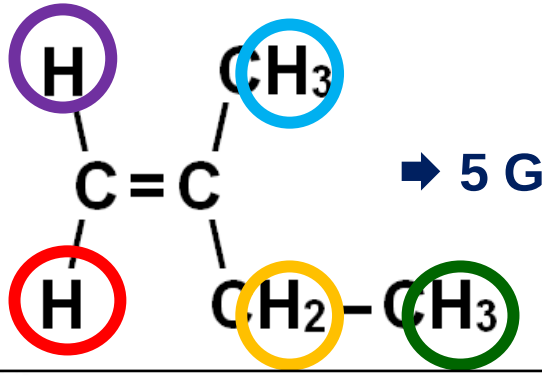
➡ 3 GPE



➡ 4 GPE



➡ 4 GPE

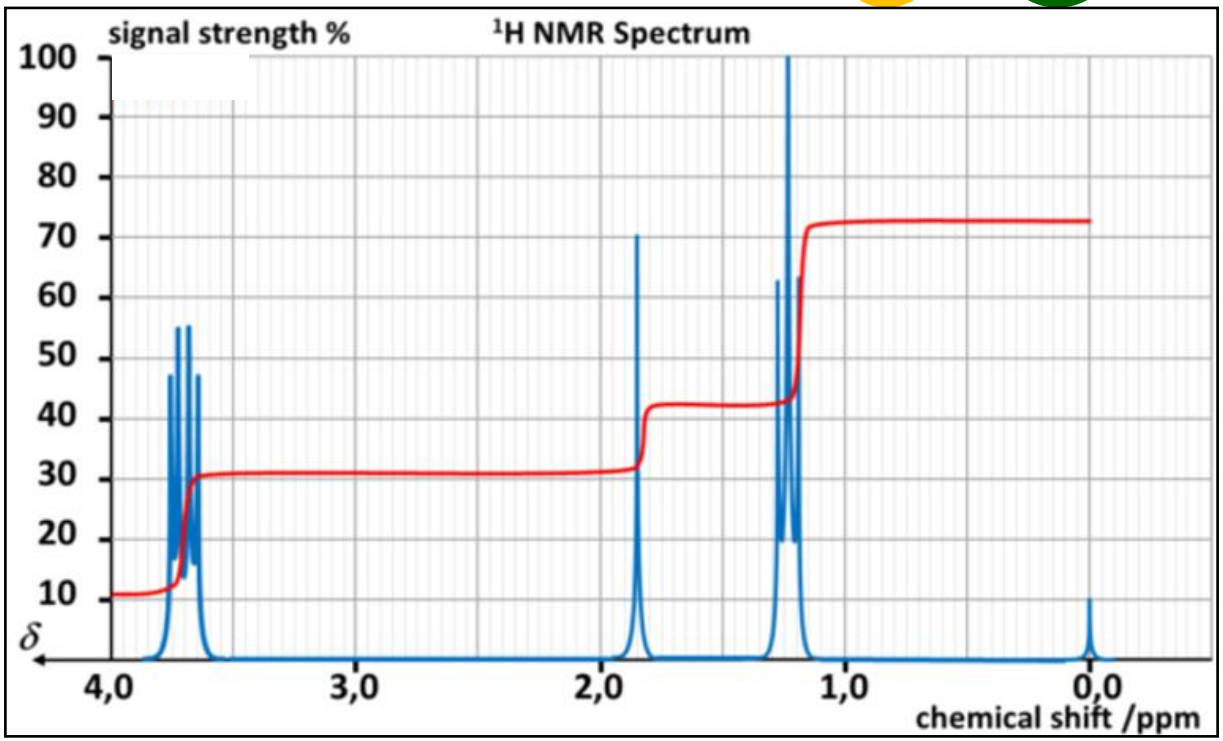


➡ 5 GPE

☛ ***Nombre de signaux dans un spectre de RMN*** :

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

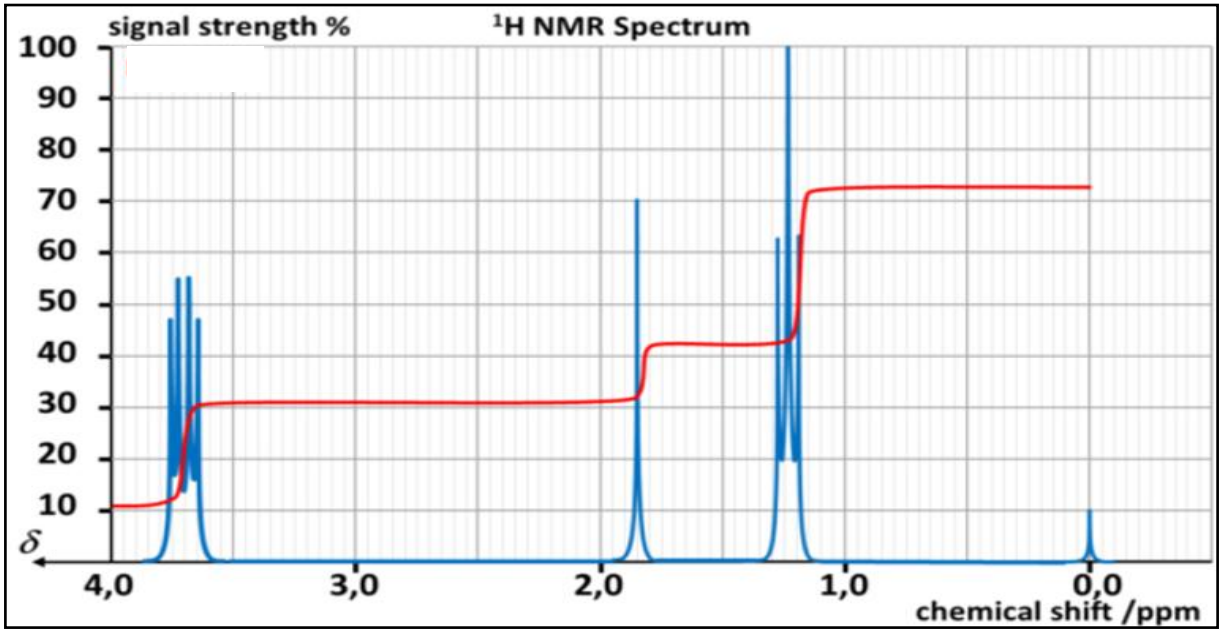
Grandeur portée en abscisse : **Le déplacement chimique**, noté δ, et exprimé **en ppm (partie par million)**



☛ ***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

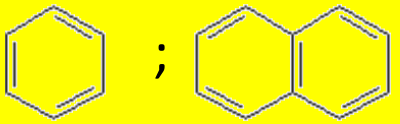
Protons CH_3	δ	Protons CH_2	δ	Protons CH	δ
CH_3, CH_2 ou CH liés à un carbone porteur de 4 liaisons simples					
CH_3-C	0,9	$-CH_2-C$	1,3	$CH-C$	1,5
$CH_3-C-C=C$	0,95-1,1	$-CH_2-C-C=C$	1,3		
$CH_3-C-C=O$	0,95-1,1	$-CH_2-C-C=O$	1,5		
$CH_3-C-C\equiv N$	1,15	$-CH_2-C-C\equiv N$	1,7		
CH_3-C-NH_2(ou NR_2)	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(ouOR)	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
CH_3, CH_2 ou CH liés à un carbone porteur d'une liaison multiple					
$CH_3-C=C$	1,6	$-CH_2-C=C$	2,1-2,3	$CH-C=C$	2,5
$CH_3-C\equiv C$	1,8	$-CH_2-C\equiv C$	2,6		
$CH_3-C\equiv N$	2,0	$-CH_2-C\equiv N$	2,4	$CH-C\equiv N$	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
CH_3, CH_2 ou CH liés à un carbone porteur d'un hétéroatome (O, N, S, Cl …)					
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 carbone insaturé		**H portés par un hétéroatome**			
$-C\equiv CH$	1,8-3,1	**OH**		**NH**	
$-C=CH$	4,5-6,0	alcool (ROH) phénol (ArOH)	0,7-5,5 4,5-7,1	amine aliphatique amine aromatique	0,6-5,0 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	énol (=C−OH)	15-20		
$H-CO-O-$	8,0-8,2				

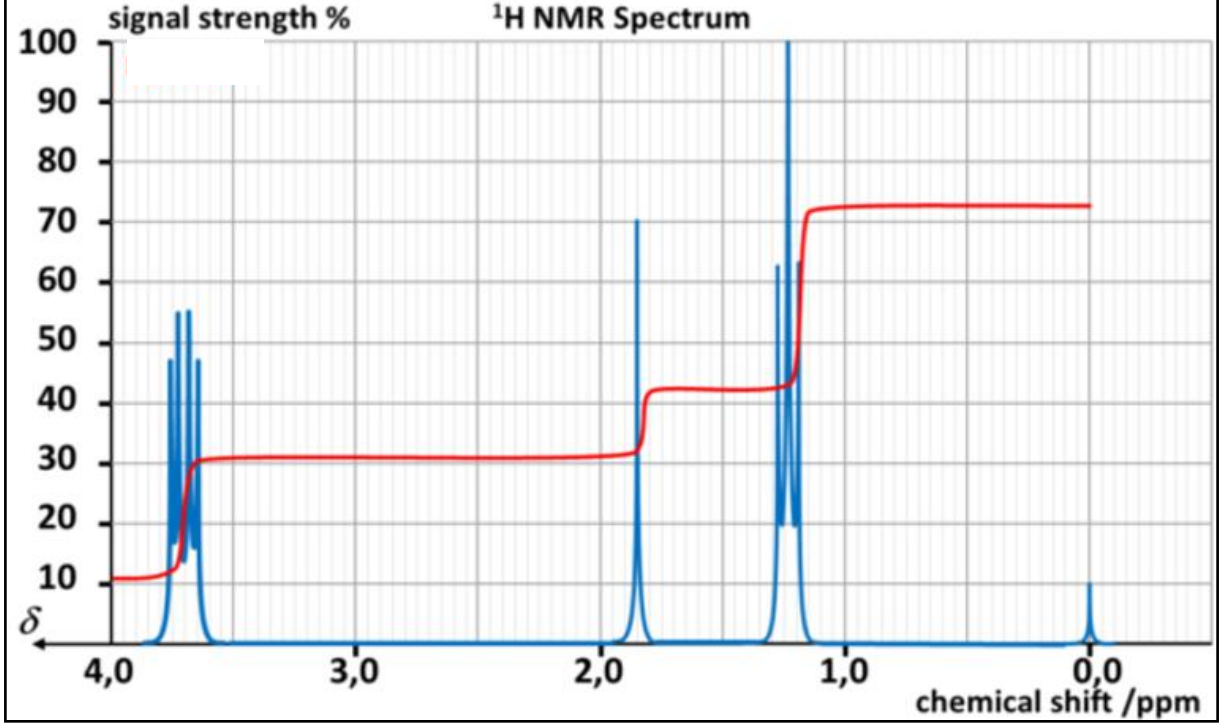
Ar = Aromatique



☛ ***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

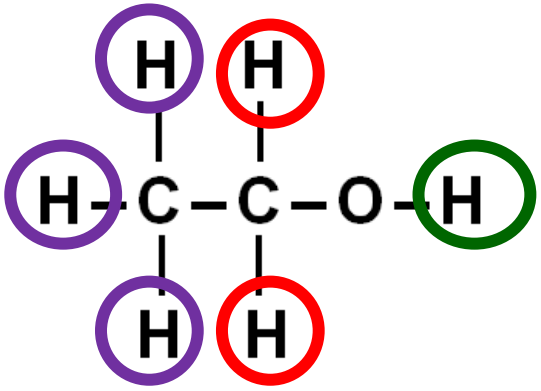
Courbe supplémentaire en forme de **marches d'escaliers**

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

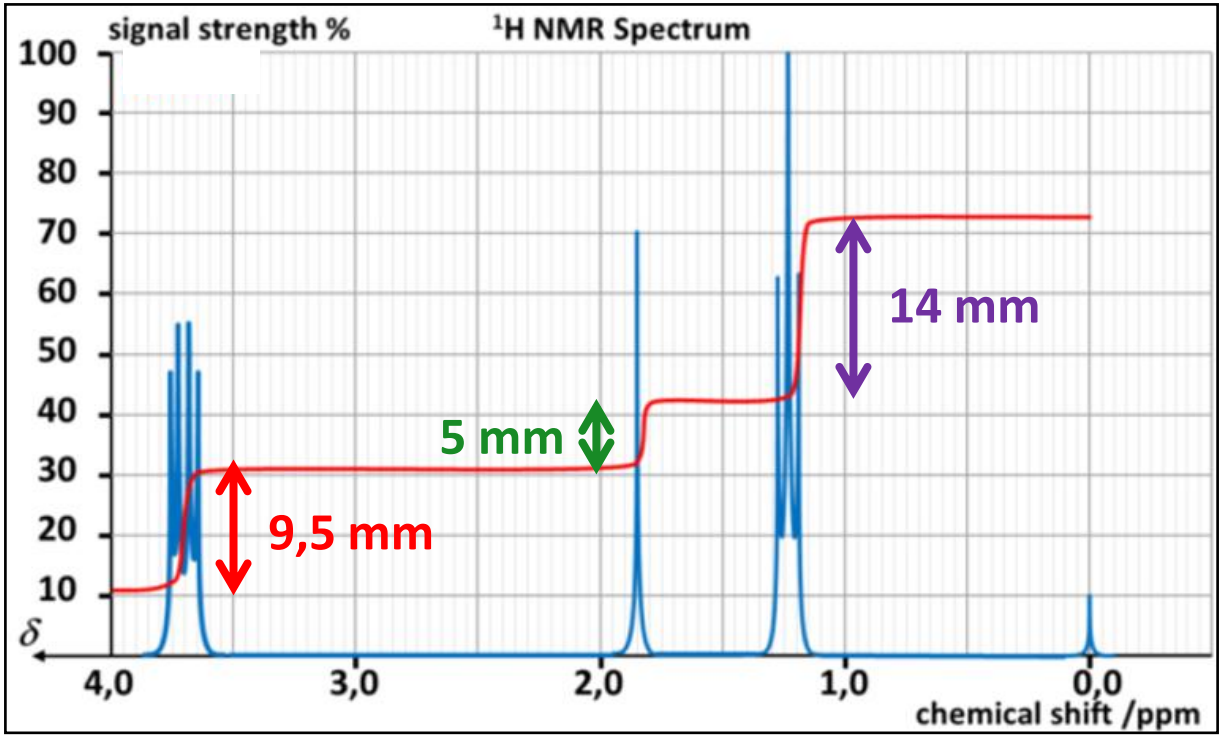
La **hauteur de la marche** d'un GPE est **proportionnelle au nombre de protons de ce GPE** (en réalité, c'est l'aire entre le signal et l'axe des abscisses).

✍- **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

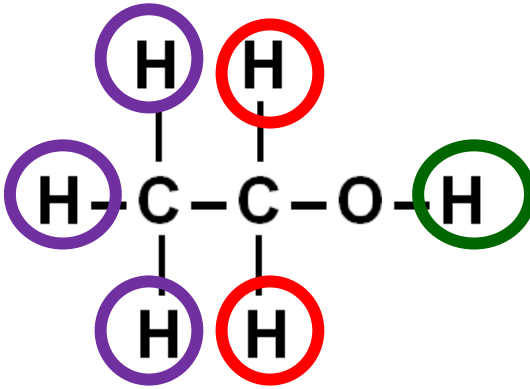


Influence de protons voisins EQUIVALENTS ENTRE EUX (couplage A_mX_q)

☛ 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 toujours un SINGULET ;

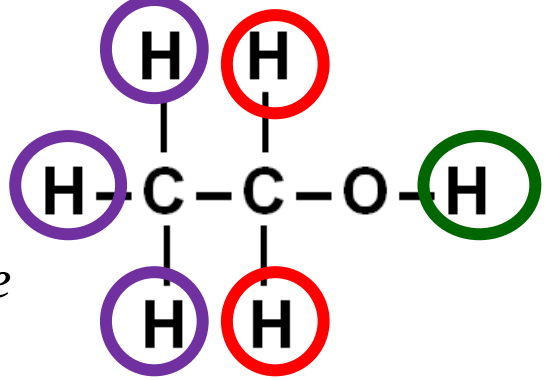


✍- **Application 5 :** *Justifier l'allure des signaux pour le spectre étudié précédemment.*

GPE	H voisins	Multiplicité du signal	Intégration	δ
3 H	2 H	2 + 1 = **3 pics** = TRIPLET	3	
2 H	3 H	3 + 1 = **4 pics** = QUADRUPLET	2	
1 H lié à hétéroatome		**1 pic** = SINGULET	1	

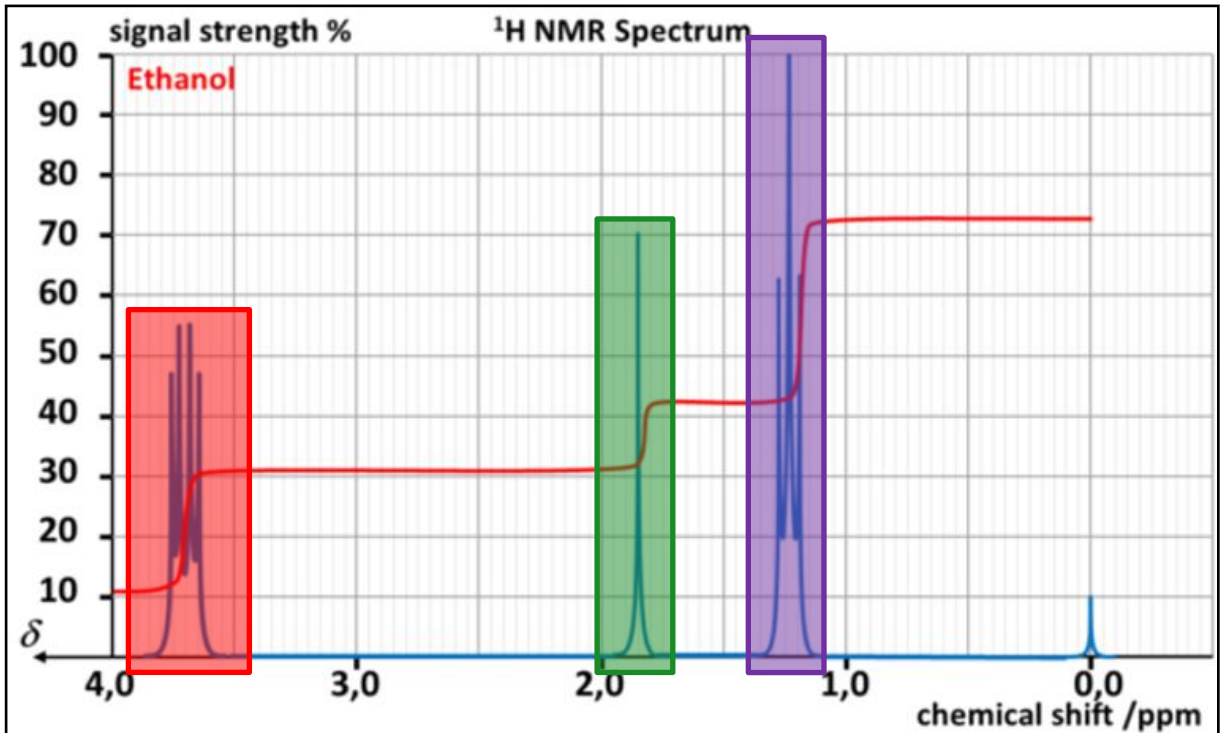


Un proton porté par un hétéroatome (O, N …) donne un SINGULET ;



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

GPE	H voisins	Multiplicité du signal	Intégration	δ
3 H	2 H	2 + 1 = **3 pics** = TRIPLET	3	1,2 ppm
2 H	3 H	3 + 1 = **4 pics** = QUADRUPLET	2	3,75 ppm
1 H lié à hétéroatome		**1 pic** = SINGULET	1	1,8 ppm



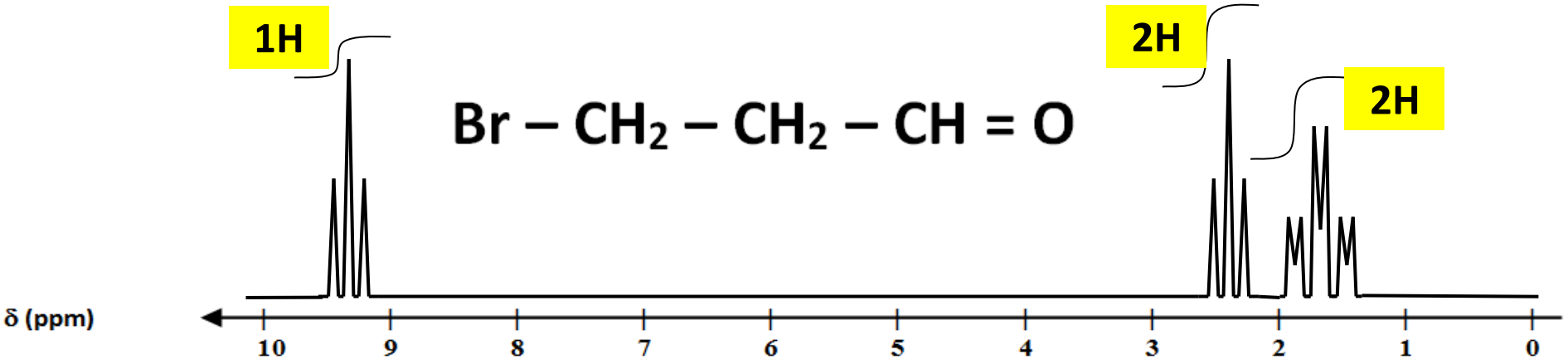
✍- **Application 5 :** *Justifier l'allure des signaux pour le spectre étudié précédemment.*

GPE	H voisins	Multiplicité du signal	Intégration	δ
3 H	2 H	2 + 1 = 3 pics = TRIPLET	3	1,2 ppm
2 H	3 H	3 + 1 = 4 pics = QUADRUPLET	2	3,75 ppm
1 H lié à hétéroatome		1 pic = SINGULET	1	1,8 ppm

Influence de protons voisins NON EQUIVALENTS ENTRE EUX (couplage $A_mM_pX_q$)

☛ 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.

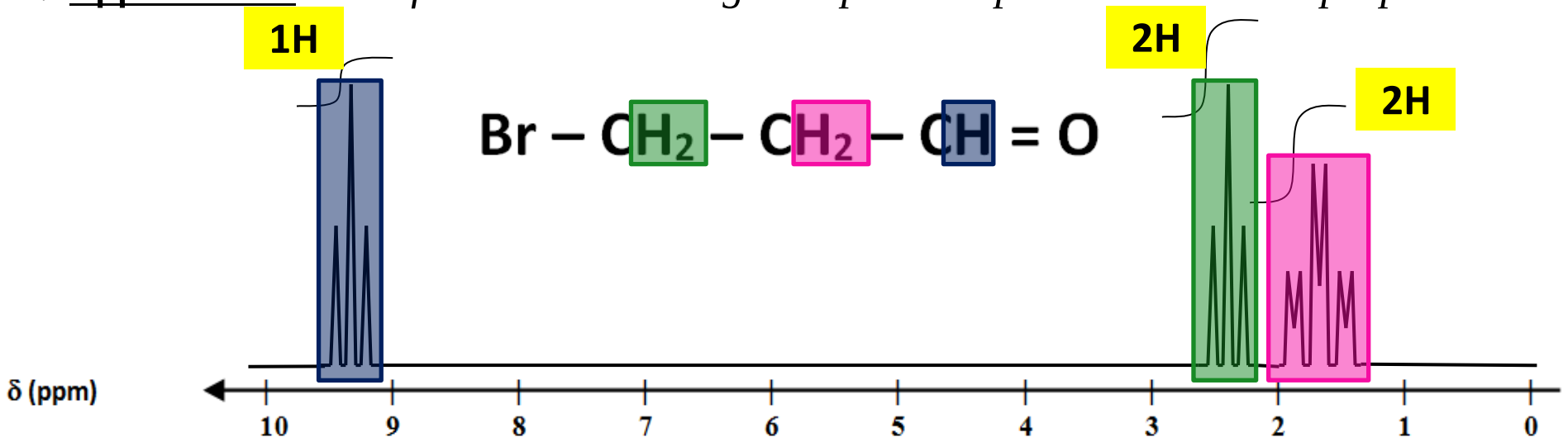
✍- **Application 6 :** *Justifier l'allure des signaux pour le spectre du 3-bromopropanal.*



Influence de protons voisins NON EQUIVALENTS ENTRE EUX (couplage $A_mM_pX_q$)

☛ 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.*



GPE	H voisins	Multiplicité du signal	Intégration	δ
1 H	2 H	2 + 1 = **3 pics** = TRIPLET	1	9,3 ppm
2 H	2 H	2 + 1 = **3 pics** = TRIPLET	2	2,4 ppm
2 H	2 H + 1 H	TRIPLET de DOUBLETS ou DOUBLET de TRIPLETS	2	1,7 ppm