

# Sommaire Physique - Chimie

<u>-Erreurs &amp; Incertitudes .....</u>	2
<u>-Ondes &amp; particules.....</u>	3 – 19
<u>-Analyse Spectrale IR &amp; RMN.....</u>	20 – 31
<u>-Echange de protons.....</u>	32 – 34
<u>-Contrôle de qualité par dosage.....</u>	35 – 37
<u>-Mécas &amp; Lois De Newton (inclus Lois de Kepler).....</u>	38 – 47
<u>-Relativité restreinte .....</u>	47 – 48
<u>-Travail &amp; Energie .....</u>	49 – 51
<u>-Temps &amp; évolution d'une réaction .....</u>	52 – 53
<u>-Isomérie .....</u>	54 – 58
<u>-Chimie Organique .....</u>	59 – 62
<u>-Transfert Thermique .....</u>	63 – 68
<u>-Transfert quantique d'énergie .....</u>	69 – 72
<u>-Dualité onde particule.....</u>	72 – 73

Methode: MS & satz des mors

• Fehler absolute:  $\Delta c = |c - c_0|$

• Fehler relative:  $\frac{\Delta c}{c} \rightarrow \%$

• Intervalle absolute:  $x - \Delta x \leq x_0 < x + \Delta x$

(soit zulässige Abweichung, so  $\frac{1}{2} + \text{p. t. g. Abweichung}$  Abweichung)

• Intervalle relative:  $\frac{\Delta x}{x}$

↳ Gld. Satzde für mehrere unabh.

• Ex:  $R = A + B$  oder  $R = A - B$ .

Also

$$\Delta R = \Delta A + \Delta B$$

• Ex:  $R = \frac{A \cdot B}{C}$

Also

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta C}{C}$$

↳ Gld. Satzde für viele mehr

► R ist  $N \times$  mehr, genügt X,  $95\%$  mit einer

$$\left[ \bar{x} - \frac{2 \sigma_{M-1}}{\sqrt{N}} < X < \bar{x} + \frac{2 \sigma_{M-1}}{\sqrt{N}} \right]$$

cl

# TP 1: Chp 1: Ondes & pulsos

- Rymonts do Univas
- Absorção rymonts p. atmosfera
- Nôtes do mat' de
- Hooke, nôtes sismiq's & sonoro
- Magnitude s'sme Richter
- N.vd I sonoro

Dif-tos nôtes (m'cas & Eletromagn.)  
& pulsos climáticos (Univ.)

- Xtr & xplic info se absorção rymonts  
p. atmosfera traz & ss conseq. n' observar  
rymonts do l.
- Curva nôto rymont radio, IR & UV.
- Xtr & xplic info n' manifestações  
nôtes m'cas do mat' de
- Curva t. xplic  $\Leftrightarrow P_c \propto v^3 I_{\text{sun}}^{\frac{1}{2}}$
- XXIS:
  - nôtes & pulsos & loro usos
  - dispositif d'oscil
- Pulsos d'onda s'péciale molt' curva dispositif  
captar V d'oscil

## I/ Rymont do L

- Rymont: hzifit E, as 2 furos, sol: - nôtes eletromagnéticas (chp Eel em "2")  
- pulsos (atm., ...)
- OEM d'pd: - longa nôte  $\lambda^m$   
- freqü.  $V \rightarrow Hz$

OEM

$$(se \text{ d'plic } 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1})$$

- Princípio da freqüência:  $T_s$  da rymont = à 1vrae  $v$ :

$$T = \frac{1}{v}$$

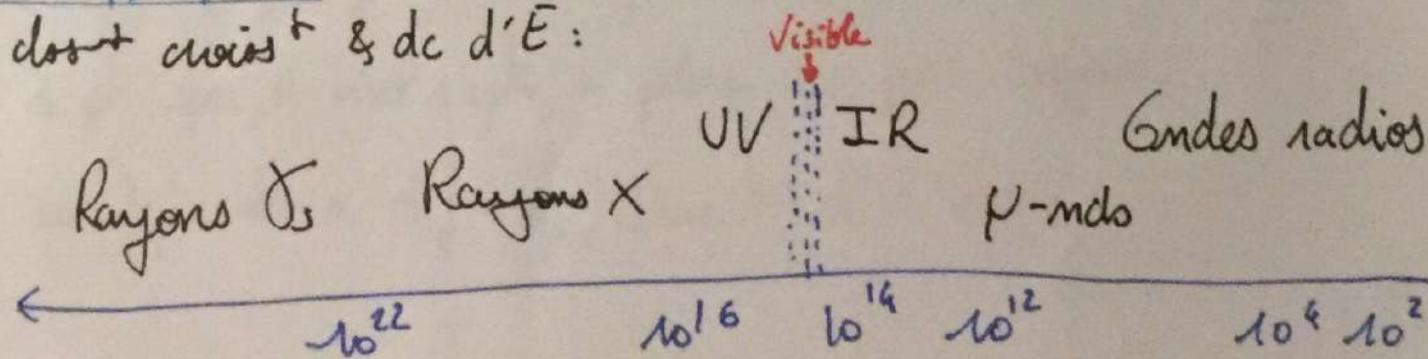
$$v = \frac{1}{T}$$

$$\lambda = \frac{c}{v} = c \cdot T$$

$\downarrow$   
 $m$

## 2) tipos rymont

- as classif. avioes & dc d'E:



$$E = h \cdot v$$

h: constante de Planck ( $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ ).  
 1 eV =  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

- astrophysique : constante rythmique cosmique.
- W Hz : type rythme, pas rythme, d'ordre 1.
- Pulsar (radio à neutrons) (constante  $\propto -\alpha$ )
- Gravitationnel à 1 Hz.
- On peut rythmes abst's et atmosphère. (Visible à radiofréquences)  $\Leftrightarrow$  fenêtre.
- $\Rightarrow$  rythmes des spectres à Hubble.
- Sol. mv. vis Tm vent solaire. (d'origine polaire chapeau tricoté, d'origine aurores polaires)
- Nnde méca ne peut se déplacer dans le vide : à 6,1 million km/s il ne se propage.
- ~~Nnde OEM.~~
- Nnde méca progressive  $\Leftrightarrow$  phénomène propagatif d'un perturbateur dans l'espace matériel, ses déplacements sont des tissages d'E.
- (modif temporel : v, positi, E) Ex : mol m'a long cycle.
- Nneds du matériau peut avoir 1 ou plus de dimensions :
  - la houle (2 dim : surface 2D)
  - nnde sismique (2 dim : surface 1D)
  - nnde ondes (3 dim : matière)
- $H_c = \log A - \log A_0$
- $A_0 = \left( \frac{13,435}{d} \right)^3$
- $\Rightarrow$  nnde onde perd E, nnde perte à puissance sonore P (mW). (se répartit dans l'espace).
- N 1 pt spec, 2 nnde 1/cpt, nnde perte Pr, perte régule.
- N quantifie cela en définition, stendue d'un son :

$$I = \frac{P \cdot \cos \theta}{S}$$

potere reale (W)

superficie (m<sup>2</sup>).

stimati sono

$$W \cdot m^{-2} \quad \rightarrow \text{sono std. I}_{00} = 10^{-12} W \cdot m^{-2} < I < 25 W \cdot m^{-2}$$

$\lambda = 1.2 \rightarrow \lambda = 1.2 \times 10^{-9} m$  (sempre std.  $\theta = 0^\circ$ )

( $\rightarrow$  da dB a W)

$\rightarrow I^L$  è dB di MS per niv. sonoro (L) qui è una misura identica.  
(Proprietà della linea MS s.t.  $\exists$  legge logaritmica).

N. 10<sup>10</sup> more L  $\leftrightarrow$  I more:

$$dB \quad L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad 10^{-12} W \cdot m^{-2}$$

(se misure di sonométria)

$$\text{App. } L_{\text{d'at}} = 10 \cdot \log \frac{10^{10}}{10^{-12}} = 20 \text{ dB.}$$

$$\text{Se } L = 140 \text{ dB, } L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

$$\frac{L}{10} = \log \frac{I}{I_0}$$

$$14 = \log \frac{I}{I_0}$$

$$10^{14} = 10^{\left( \frac{\log I}{\log I_0} \right)}$$

$$10^{14} = \frac{I}{I_0}$$

$$I = 10^{26} W \cdot m^{-2}$$

$$Rq: \begin{aligned} \log 10^x &= x \\ 10^{\log x} &= x \end{aligned}$$

Col: Cctas & Ps ds mds

## I / Nds progress vs

1° Def:

- Nds m'ca progress're: phénomène progressif et rétrograde de m'tu'mt'ss temp'mt'z.

## 2° Cctas qnt-tivs

a) Dim mde

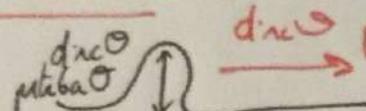
- Nds + pupg, à p'th mce, des t'es d'icots q'li'st' offerts.

1 DiM - ade  
- rest + 1 se d'icot

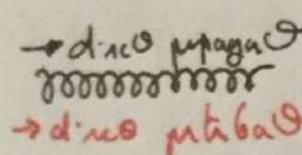
2 DiM - mdy  
ds & x (cure à mde)

3 DiM - mde same

## b) Nds transvole & longitudinal

- Nds transvole (L): 

Nds S.

- Nds longitudinal (//): 

Nds P.

## 3° Cctas qnt-tivs

a) Rtd T

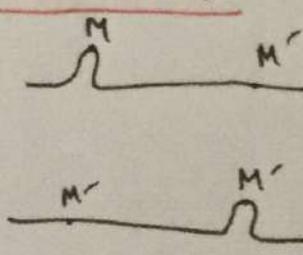
$$T = t' - t \quad (t' \text{ p' m' p'tba'})$$

oder  $M \approx M'$

## b) Crtat: r' pupg mde (crtat' (r'))

$$C = \frac{d}{DT} = \frac{MM'}{T}$$

$m$   
 $s$



wt t

wt t'  $t' = t + T$

## II / Nds progress vs p'nd'qs

1° Ro

- Si, o no t'ro, sign p'nd'q: onde p'nd'q.

Période T mode p'riodique durant le motif répétitive. (1)

Façon de v phénomène...  $v = \frac{1}{T}$

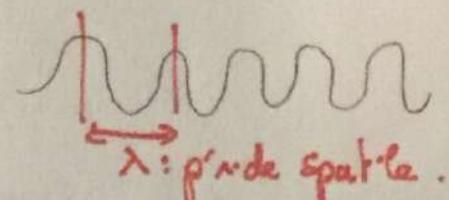
- Généralité: rapport entre la période d'un mode et la fréquence: "ne varie pas les périodes"

## 2<sup>e</sup>: Cas sinusoidal

- Nde sinusoidale: cas particulier où  $\text{période} = \text{fréquence du temps}$

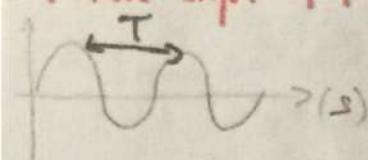
Ex: - "la" diapason  $T = 4,5 \times 5 \cdot 10^{-4} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ s} / v = \frac{1}{T} = 4,44 \cdot 10^2 \text{ Hz}$

- Période mode longue que mode continu:



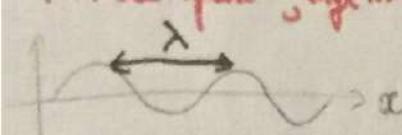
## A/ Période temporelle

- Période temporelle T: + p'te dure de plusieurs pts du milieu de tirs de m'stère relativité.



## B/ Période spatiale

- Période spatiale, longueur  $\lambda$ : + p'te distante d'au moins 2 pts du milieu pour être la même relativité.



## C/ Relation entre période, $\lambda$ & c

$$\gamma = \frac{HM'}{v}$$

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

- Si  $HM' = \lambda$  alors  $\gamma = T$ .

$$T = \frac{\lambda}{v} \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T}$$

Rq: Ne pas confondre  $\lambda$ : mode sinusoidal  
et dist. physique à périodicité n. 1 p'riode.

### 3° / A<sup>ac</sup> xpérimentale : Etude ultrasons

- o 2 modes aux sorties US : - mode batteur (d'origine c'est "clap" manuel)  
- mode continu

### A/D terminale T & US

- Méthode 1 : o mélange US & n'écho US démonté des deux fréquences.
  - GSF avec signal mélange + P prélevé sur W
  - Ensuite oscillation ( $v = \lambda$ )
  - Régule US en fonction. Transformé en signal  $E^{\text{US}}$   $\Rightarrow$  onde B.

T à moins de 1

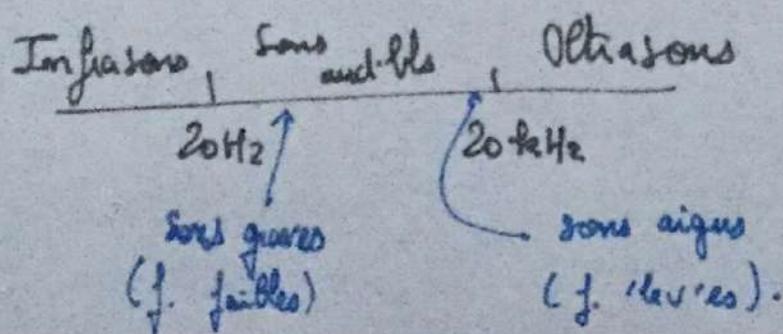
### B/D terminale $\lambda$

- Bége à capt.  $\Rightarrow$  v'n signal  $E^{\text{US}}$  en phase
- O (règle)  $\Leftrightarrow$  pas de capt. US
- d'après capt. d'orig. & mesurée que st à environs en phase
- N'a pas environs  $d = 85 \text{ mm} = 10\lambda = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- $c = \frac{\lambda}{T} = \frac{8,5 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-6}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$

### III / Acoustique marine

#### 1°/ Types modes sonores

- o Grande fréquence piezoelectrique [100Hz  $\rightarrow$  20 kHz].



#### 2°/ Analyse son

V'n TP.

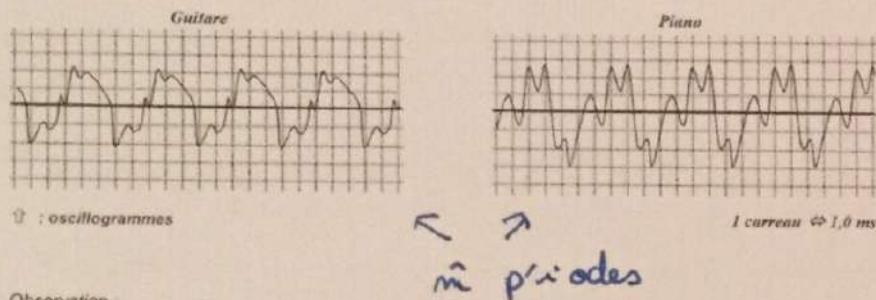
### Timbre & Spectre son

## Timbre et spectre d'un son

La hauteur d'un son est la qualité qui distingue un son aigu d'un son grave. Par exemple, la note la (444 Hz) a la même hauteur, qu'elle soit jouée par une flûte ou un piano.  $f_1 = 444 \text{ Hz}$   
Le timbre du son permet de reconnaître l'instrument qui joue la note.

### Expérience :

On joue une note avec une guitare et la même note avec un piano. A l'aide d'un dispositif d'acquisition, on observe l'oscillogramme de ces deux notes sur l'écran d'un ordinateur.



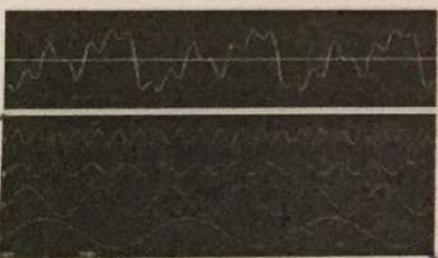
### Observation :

On se rend compte à l'oreille que le son produit par chacun de ces instruments est différent, mais on reconnaît facilement qu'il s'agit de la même note (même hauteur).

A quoi est liée la hauteur d'une note ?  $\leftrightarrow f$  car m p'riodes.

L'enregistrement du son émis par un diapason est une sinusoïde. Ainsi, ce son est dit... pur.  
Si le son des autres instruments de musique n'est pas pur (son complexe) il reste forcément périodique et peut donc être décomposé en une somme de signaux sinusoidaux appelés harmoniques dont la fréquence est un... multiple de la fréquence du son de départ.

### ↔ : décomposition de Fourier



Un son périodique de fréquence  $f$  peut être décomposé en une somme de sons purs, appelés harmoniques, de fréquences :

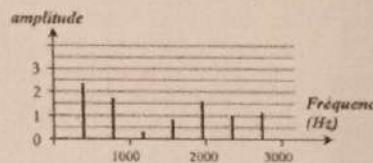
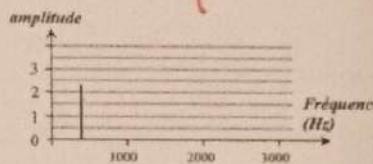
$$f_n = n \times f$$

L'ensemble formé par le fondamental et ses harmoniques constitue le spectre du son.

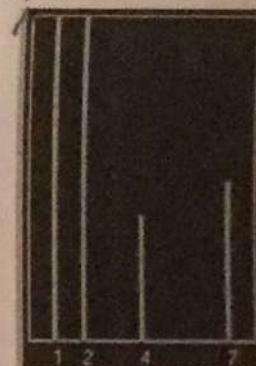
### Conclusion :

- La hauteur d'une note est liée à la  $f$  du fondamental (harmonique de rang 1)
- Le timbre d'une note est lié à la présence des harmoniques de rang  $n > 1$  et à leur amplitude.

harmoniques



b : Spectre de la courbe verte  
Amplitude



Rang Harmonique  
(sur  $f_1$ )

### Questions :

- Parmi ces deux spectres, déterminer celui qui correspond à une note jouée par un diapason.
- L'autre spectre correspond à une note jouée par un violon. Ce son a-t-il le même timbre que celui du diapason ? Justifier.
- Ces deux sons ont-ils la même hauteur ? Justifier.

a) 1<sup>o</sup> spectre  $\leftrightarrow$  diapason :  $\leftrightarrow$  1<sup>o</sup> harmonique  
 $\Rightarrow$  son pur

b) Le timbre diapason  $\neq$  violon  $\rightarrow$  m<sup>me</sup> harmonique  $\neq$  hauteur

c) Hauteur car m<sup>me</sup> fondamental

### C3: Interférences mises

→ Vx amplitudes rythmées

I / D. fréq.

1) Général

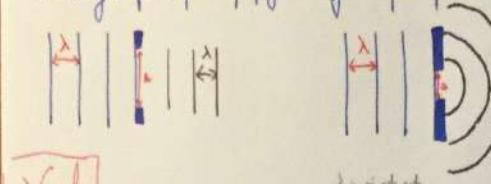
$\lambda_a$  diff.  $\Rightarrow$  [P] mises q se multiplient par l'effet de décalage propagation

long mises  
- ouverte

- stable.

Apparition: Nuds mica

• Nds négatifs q se propagent à surface rigide ps ouverte.



1) Général

$\lambda_a$  mises gérées

[S1]

→ Tous OEM U mica pris é diff. pos

→ Rapport  $\frac{\lambda}{a}$  "grille + phénomène diff. " spott

Ent. angle:

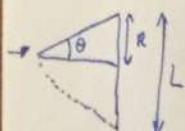
$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Ex:  $R \approx 8.7$  ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ )

$\Rightarrow \theta \approx 400 \text{ nm}$

largeur ferme

→ Largeur tache  $L \approx \lambda \tan \theta \approx \lambda \frac{R}{a} \Rightarrow$



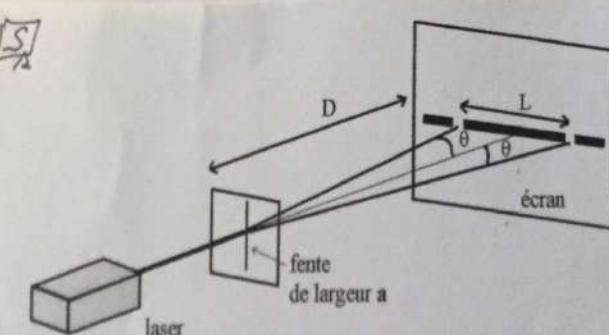
$$R = \frac{1}{2} L$$

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{R}{D} = \frac{\frac{1}{2}L}{D} = \frac{L}{2D}$$

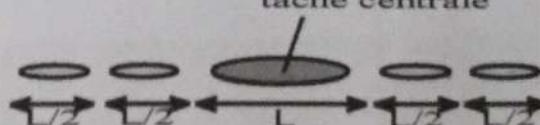
car angle petit

$$L = \frac{D}{2} \theta$$

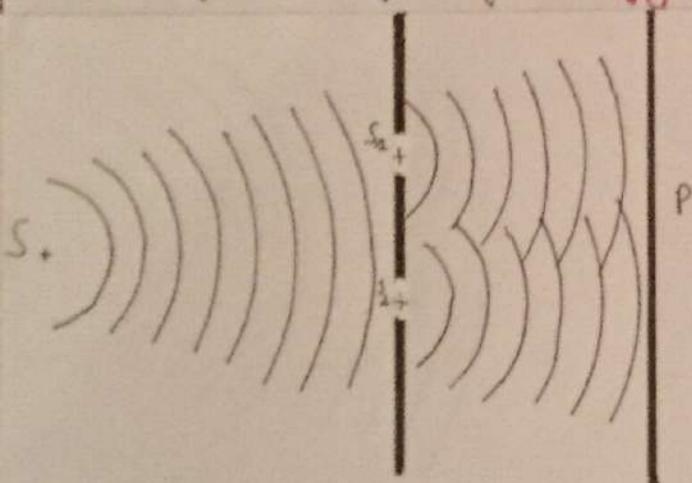
C:



tache centrale



7

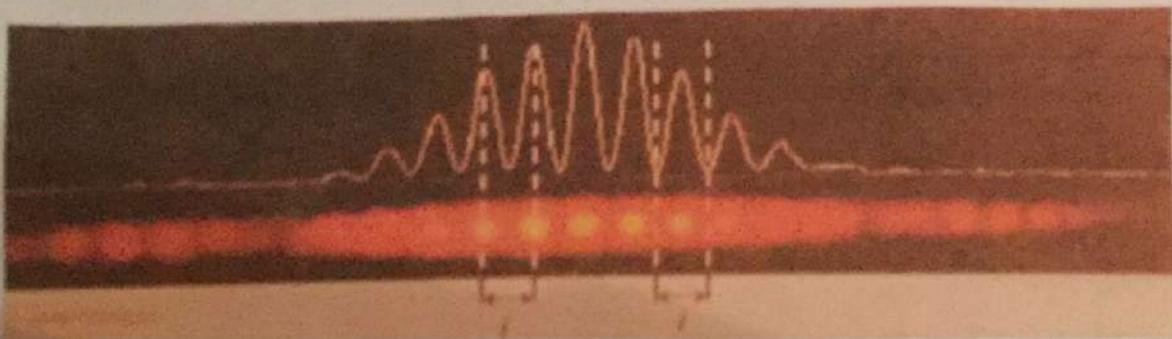
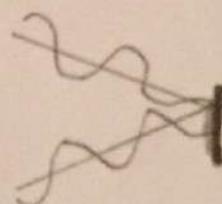
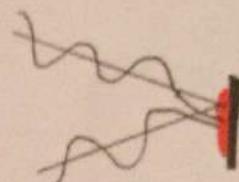


• In chq p/r P capte U' can, file marche f, indec  
sciutto q.v. z:  $f = D_4 - D_2 = S_4 P - S_2 P$

• Si  $f$ :  $f = k \lambda$

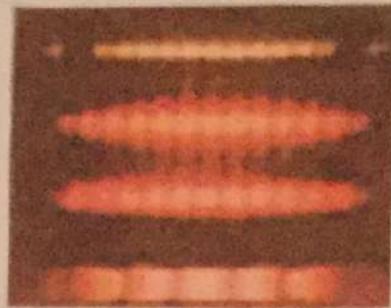
## Interface + constructive

• Si  $\delta$ :  $\boxed{\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \lambda}$



- Interfrange à deux sp<sup>t</sup> 2 types de V entre connectives.

- Interfaces m lux polychromatique
- o Le lux polychromatique, chq radiante forme figure surface, MS radiante de fs n'intervalle PS mth.
  - ⇒ fig surface observé  $\uparrow$  additif figs surfaces de ttes radiantes.
  - o C'est interface à d'pol  $\lambda \Rightarrow$  chq de rayon. (éch anti bloqué franges Brûlées). (mises de part & autre)
  - o Interface vides m f  $\Leftrightarrow$  sources synchrones
    - garder déphasage cot  $\Leftrightarrow$  cohérentes.

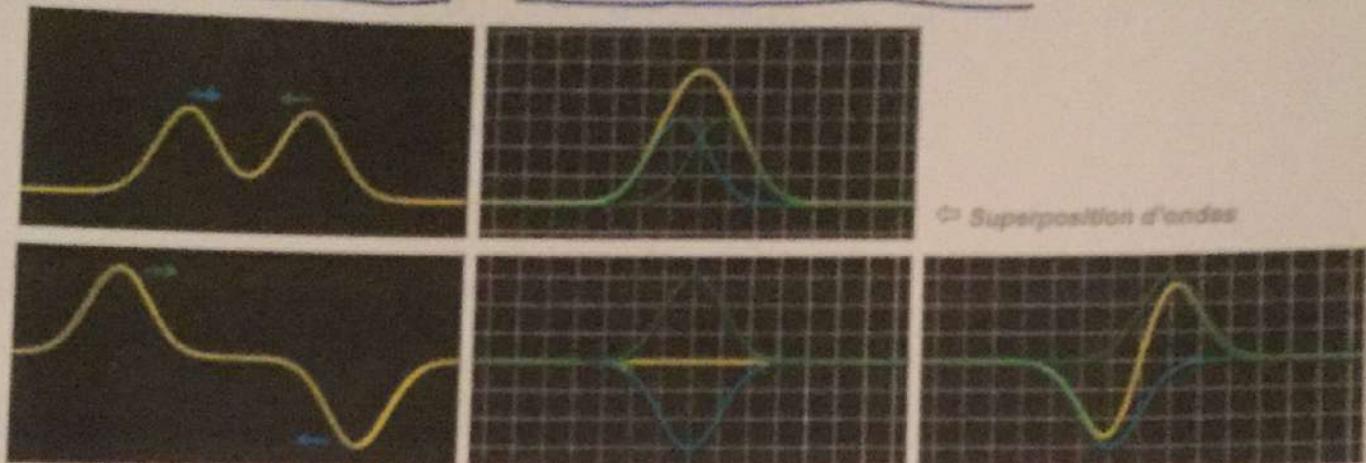


- Effet Doppler:
- Effet Doppler: décalage f d's son perçue & Rappel les E<sup>th</sup> & R st déplacement relatif.
  - o + V relative  $\uparrow$  terre + décalage f + spectre.
  - Rapprochement:  $E/R \Rightarrow f \nearrow$  (aigu).
  - Éloignement:  $E/R \Rightarrow f \searrow$  (grave).
- Effet Doppler - Fineau (Appli ff. Doppler à Astronomie):
- Si R éloignement  $\Rightarrow$  spectre décalé vers hautes  $f$ : **BLUESHIFT**.
  - Si E rapprochement  $\Rightarrow$  spectre décalé vers basses  $f$ : **REDSHIFT**.
  - + v'télegraphe, + décalage optique spectre

## II. Les interférences

### II.1 Définition

Lorsque deux ondes se croisent, leurs amplitudes s'additionnent algébriquement.



Après s'être croisées, les deux perturbations continuent sur leur lancée sans être modifiées.

Deux ondes de même fréquence qui se superposent peuvent interférer. On observe alors une figure .... Interférences.

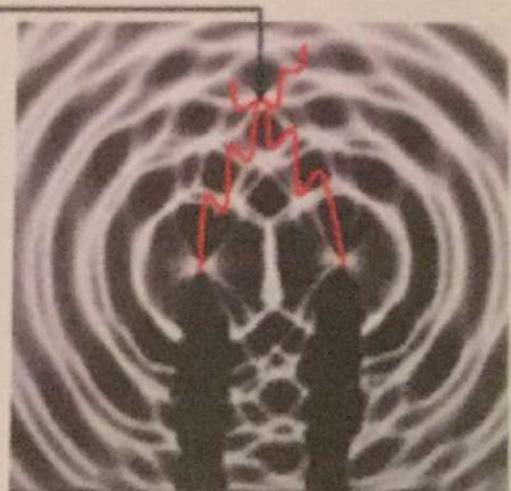
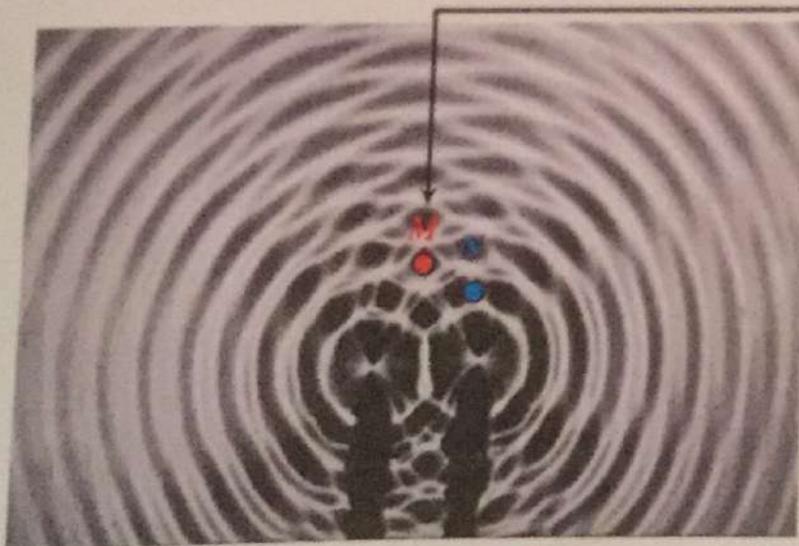
Une figure d'interférence est stable si les sources sont cohérentes.

Deux sources sont cohérentes si elles émettent des ondes sinusoïdales de même fréquence et si le retard de l'une par rapport à l'autre ne varie pas : elles gardent alors un déphasage constant.



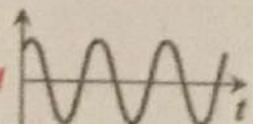
Voir COHERENTES.GIF  
Interférences créées par deux sources cohérentes

L'élongation résultante en un point est la somme des élongations des deux ondes en ce point



phase

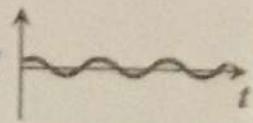
Niveau d'eau en M



Lorsque les deux ondes arrivent en ..... en un point, les interférences sont ..... (Point M)

→ Lorsque les deux ondes arrivent en ..... de phase en un point, les interférences sont destructives (Point N)

Niveau d'eau en N



# Chap 3 Propriétés des Ondes

## II.2 Interférence en lumière monochromatique

Lorsqu'on fait passer une lumière monochromatique par une fente étroite, on observe une **figure de diffraction**.

Si l'on fait passer cette lumière par deux fentes, on observe une **figure d'interférences**.



↑ Figure 13 : Interférence et diffraction

La source  $S$  éclaire deux fentes  $S_1$  et  $S_2$ . Ces fentes diffractent la lumière et se comportent comme **deux sources divergentes cohérentes**.

Pour chaque point  $P$  du capteur ou de l'écran, la **différence de marche  $\delta$**  des deux ondes incidentes s'écrit :

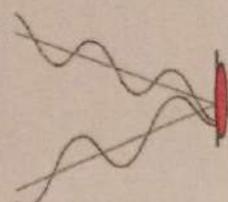
$$\delta = D_1 - D_2$$

$$\Leftrightarrow S_2 P - S_1 P = \delta$$

- si  $\delta$  est tel que :  $\delta = k\lambda$

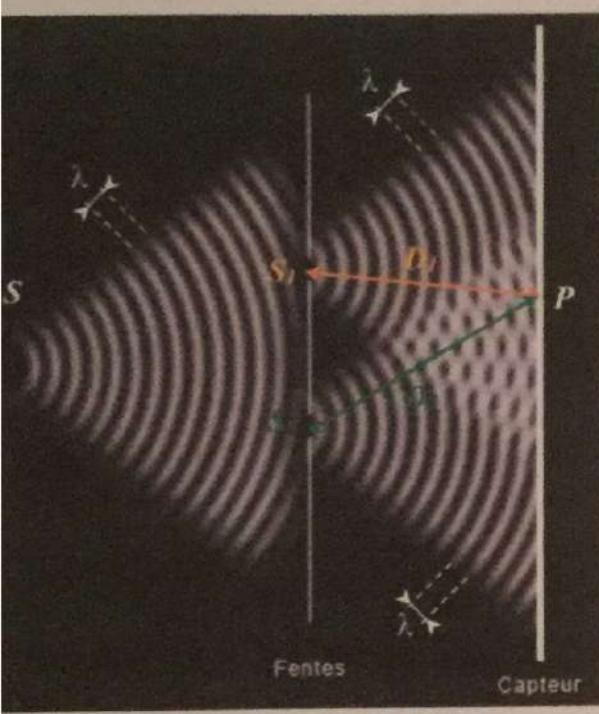
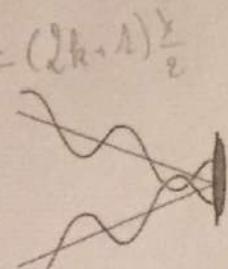
avec  $k$  un entier relatif.  $\in \mathbb{Z}$

alors au point  $P$  l'interférence est constructive car les deux ondes arrivent en phase. Le point  $P$  est donc lumineux.



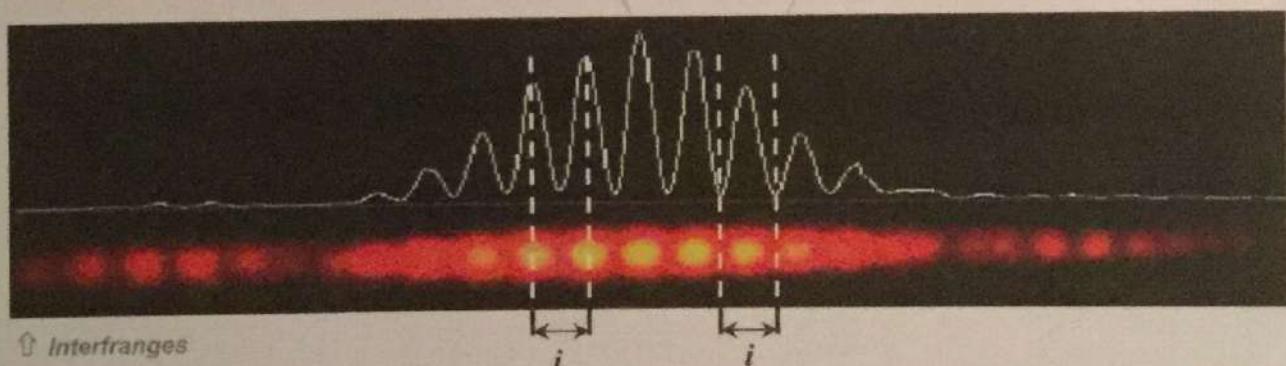
- si  $\delta$  est tel que :  $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$

alors au point  $P$  l'interférence est destructive car les deux ondes arrivent en opposition de phase. Le point  $P$  est donc sombre.



Différence de marche

Ainsi on observe sur l'écran une succession de franges équidistantes alternativement sombres et brillantes.



l'interfrange  $i$  est la distance séparant deux franges brillantes (ou sombres) consécutives.

La valeur de l'interfrange est donnée par la relation :  $i = \frac{\lambda D}{S_1 S_2}$

$$i = \frac{\lambda D}{S_1 S_2}$$

$D$  en m

$S_1 S_2$  en m

$\lambda$  en m

$i$  en m

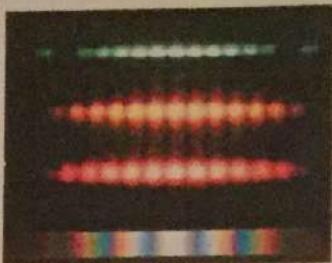
## II.3 Interférence en lumière polychromatique

Avec une lumière polychromatique, chaque radiation forme une figure d'interférence, mais des radiations de fréquences différentes n'interfèrent pas entre elles.

La figure d'interférence observée est donc l'addition des figures d'interférence de toutes les radiations.

De plus, comme l'interfrange  $i$  dépend de la longueur d'onde, il change en fonction de la longueur d'onde du rayon.

La figure d'interférence observée à l'écran présente alors une tache centrale blanche, et des franges brillantes irisées de part et d'autre.



La figure d'interférence obtenue est la somme des figures d'interférence des ondes monochromatiques contenues dans les deux sources polychromatiques

Questions :

On considère deux sources  $S_1$  et  $S_2$  monochromatiques cohérentes de longueur d'onde  $0,70\text{ mm}$ . Ces deux sources sont distantes de  $5,0\text{ mm}$ . L'écran sur lequel on observe la figure d'interférence est placé à  $1,30\text{ cm}$  du plan de ces deux sources.

- Sachant que le point  $P$  de l'écran se trouve à une distance de  $1,54\text{ cm}$  de la source  $S_1$  et à une distance de  $1,33\text{ cm}$  de la source  $S_2$ , ce point apparaît-il lumineux ou sombre ?
- Déterminer la taille de l'interfrange observé sur l'écran.

### II.3 Interférence en lumière polychromatique

Avec une lumière polychromatique, chaque radiation forme une figure d'interférence, mais des radiations de fréquences différentes n'interfèrent pas entre elles.

La figure d'interférence observée est donc l'addition des figures d'interférence de toutes les radiations.

De plus, comme l'interfrange  $i$  dépend de la longueur d'onde, il change en fonction de la longueur d'onde du rayon.

La figure d'interférence observée à l'écran présente alors une tache centrale blanche, et des franges brillantes irisées de part et d'autre.



La figure d'interférence obtenue est la somme des figures d'interférence des ondes monochromatiques contenues dans les deux sources polychromatiques

Questions :

On considère deux sources  $S_1$  et  $S_2$  monochromatiques cohérentes de longueur d'onde  $0,70 \text{ nm}$ . Ces deux sources sont distantes de  $5,0 \text{ mm}$ . L'écran sur lequel on observe la figure d'interférence est placé à  $1,30 \text{ cm}$  du plan de ces deux sources.

- Sachant que le point  $P$  de l'écran se trouve à une distance de  $1,54 \text{ cm}$  de la source  $S_1$  et à une distance de  $1,33 \text{ cm}$  de la source  $S_2$ , ce point apparaît-il lumineux ou sombre ?
- Déterminer la taille de l'interfrange observé sur l'écran.

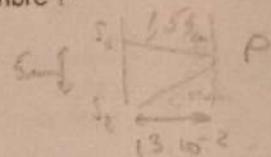
$$\lambda = 7,10^{-9} \text{ m} \quad a_{S_1 S_2} = 5,10^{-4} \text{ m} \quad D = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$f = D_2 - D_1 = 1,54 \cdot 10^{-2} - 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$f = 0,21 \text{ m}$$

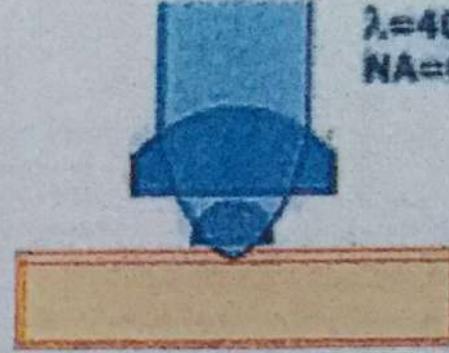
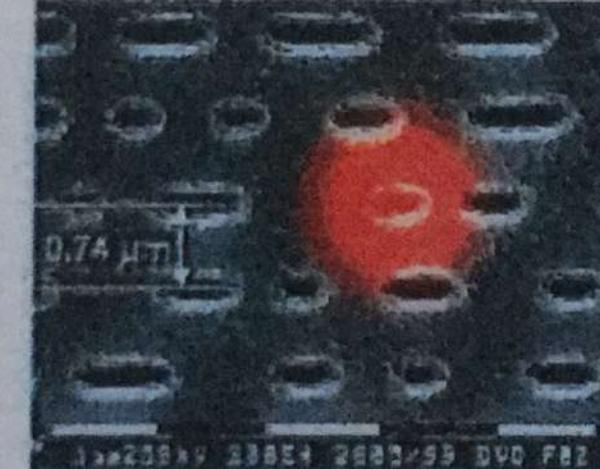
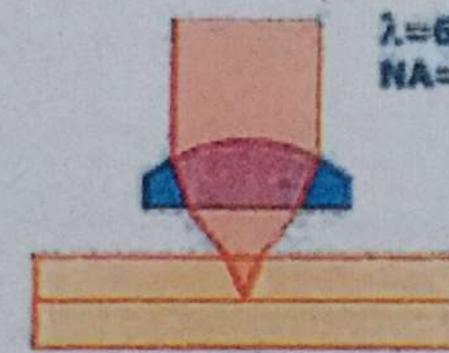
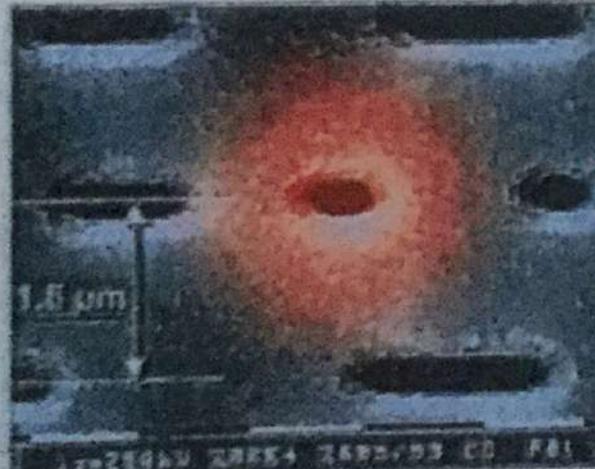
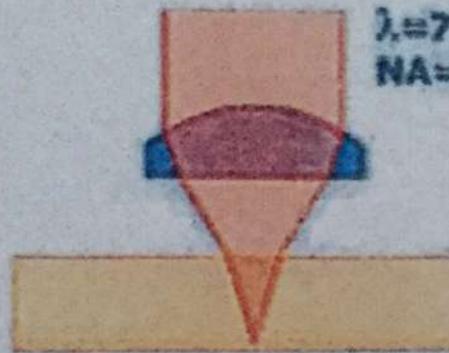
$P$  apparaît sombre car  $f = k \cdot \lambda$  où  $k$  obtenu avec méthode constructive  $\rightarrow$  Appareil lumineux

$$\frac{f}{\lambda} = \frac{0,21}{7,10^{-9}} = 300 \quad \text{et } 6 \text{ m mire relativ } f = 300$$



$$i = \frac{\lambda D}{a_{S_1 S_2}} = \frac{7,10^{-9} \times 1,3 \cdot 10^{-2}}{5,10^{-4}} \approx 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$



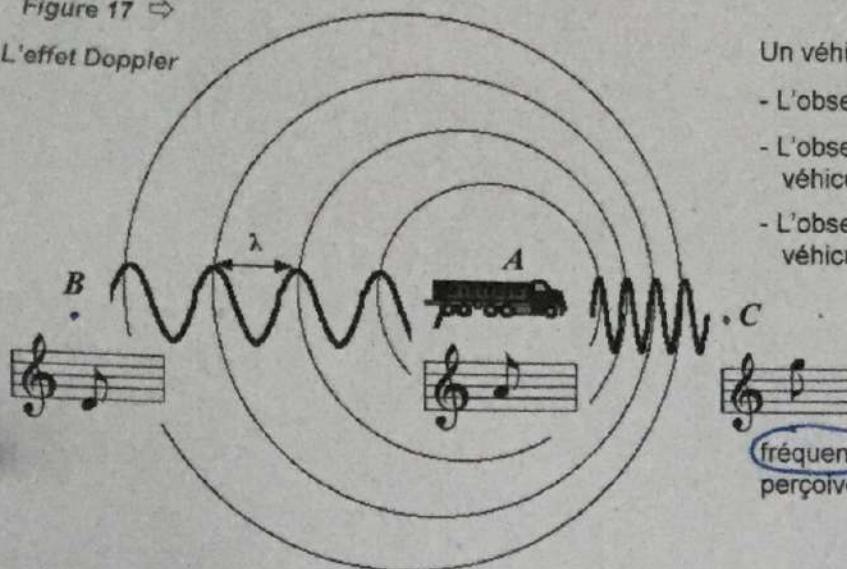


### III. L'effet Doppler

#### III.1 Définition

Figure 17 ⇒

L'effet Doppler



Un véhicule roule à vitesse constante.

- L'observateur *A* est le pilote.
- L'observateur *B* est immobile et voit le véhicule s'éloigner de lui.
- L'observateur *C* est immobile et voit venir le véhicule vers lui.

La hauteur d'un son dépend de sa fréquence. Les observateurs *A*, *B* et *C* ne perçoivent pas la même note.

*B* perçoit une note plus grave que *A* car la fréquence du signal sonore qu'il reçoit est inférieure à la fréquence de la source  $f_B < f_A$ .

A l'inverse, *C* capte un son plus aigu que le son de la source car  $f_C > f_A$ .

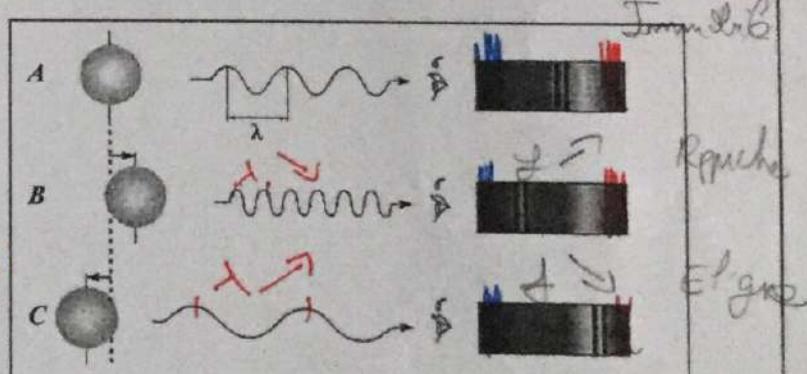
- L'effet Doppler correspond à un décalage de la fréquence d'un son perçu par un récepteur lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif.
- Plus la vitesse relative est grande, plus le décalage en fréquence est important.

• *Réducteur*  $\rightarrow$  *source / récepteur*  $\Rightarrow$   $f \nearrow$ .  
 • *Elargisseur*  $\rightarrow$   $f \searrow$ .

#### III.2 Application à l'Astronomie

En appliquant les travaux de Christian DOPPLER à la lumière, Hippolyte FIZEAU a postulé que :

- si une étoile s'approche d'un observateur, les raies d'absorption de son spectre doivent apparaître décalées vers les hautes fréquences (blueshift).
- Inversement, si l'étoile s'éloigne de l'observateur, les raies d'absorption de son spectre doivent apparaître décalées vers les basses fréquences (redshift).
- Plus la vitesse de l'étoile est grande par rapport à la Terre, plus le décalage observé est important.



Effet Doppler - Fizeau

- A : Etoile immobile par rapport à l'observateur  
 B : Etoile qui s'approche de l'observateur  
 C : Etoile qui s'éloigne de l'observateur

*Elong*

*R pro*

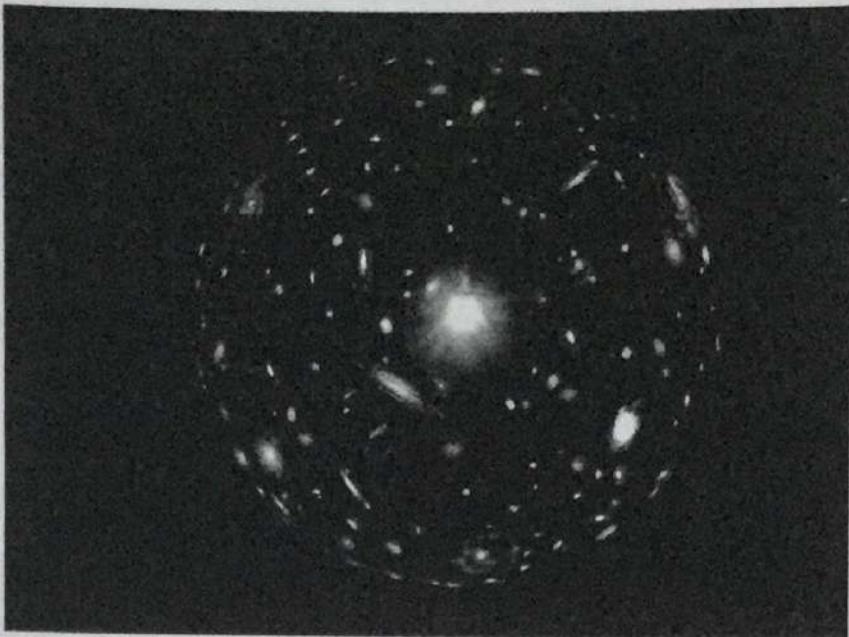
	Décalage vers basses fréquences	Décalage vers hautes fréquences
Pour le son	Son plus grave	Son plus aigu
Pour la lumière	Lumière plus rouge	Lumière plus bleutée

A noter :

Edwin Hubble remarque en 1929 que plus une galaxie est distante de nous, plus son spectre apparaît décalé vers le rouge.

Il en conclut que plus une galaxie est distante plus elle s'éloigne vite de nous.

Cette observation est à l'origine de la découverte de l'expansion de l'Univers et est la première observation directe en faveur de la théorie du *Big Bang*.

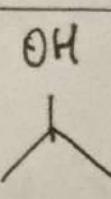
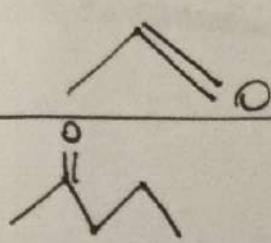
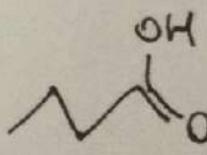
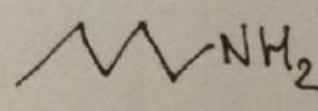
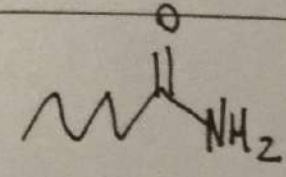
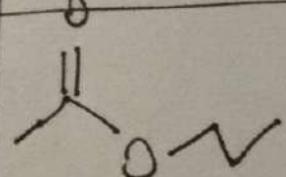
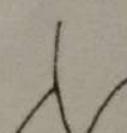
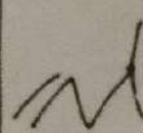


⇒

Illustration du Big Bang

# C4: Analyse Spectrale

## I / f) organics

-OH hydroxyle	Alcool	-ol		propan-2-ol
\ C = O carbonyle	Aldéhyde Pétone	-al -one		éthanal pentan-2-one
-C(=O)OH acide carboxylique	Acide carboxylique	-acide -oïque		acide butanoïque
-N-	amine	-amine		pentan-1-amine
-C(=O)N-	Amide	-amide		hexanamide
-C(=O)O-	Ester	-oate -ate de -yle		éthanoate de butyle
-	Alcane	-ane		2-méthyl-butane
=	Alcène	-ène		4-méthylpent-1-ène

### Liste des alcanes

	Nom et formule de l'atome de carbone dans la chaîne	Formule brute	nom
1	C <sub>1</sub> H <sub>4</sub>		methane
2	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		ethane
3	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		propane
4	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		butane
5	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>		pentane
6	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>		hexane
7	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>		heptane
8	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>		octane
9	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>		nonane
10	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>		decane

### Fonctions oxygénées (vu en 1ère S)

Formule et nom du groupe caractéristique	Nom de la famille	Terminaison	Exemple
- OH hydroxyle	alcool	-ol	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{OH} & \text{H} \\   & &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\   & &   \\ \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array}$ 2-méthylpropan-2-ol
>C=O carbonyle	aldéhyde	-al	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}- & \text{O} \\   & &    \\ \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array}$ 2-méthylpropanal
	cétone	-one	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 & \text{CH}_3 \\ & \text{C} \\ &    \\ & \text{O} \end{array}$ propanone
-C(=O)OH carboxyle	Acide carboxylique	-oïque	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\overset{4}{\text{CH}}-\overset{2}{\text{CH}_2}-\overset{1}{\text{C}}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ acide 3-méthylbutanoïque

## C<sub>n</sub>: Analyse spectrale

### I / Si organique à connaitre

Li<sup>+</sup>A<sup>-</sup>

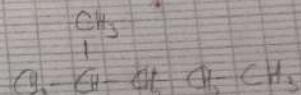
2° En il n'importe organique

A/ Alcanes & Alkenes

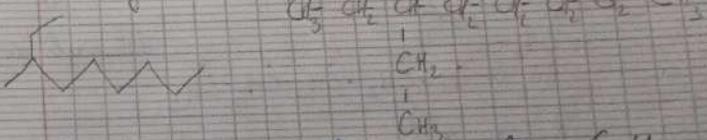
Les alcanes non-cycliques ont la formule brute C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>.  
Les atomes se associent jusqu'à la forme courbe septique.

→ Liste alcanes.

Ex.: 2 méthylpentane



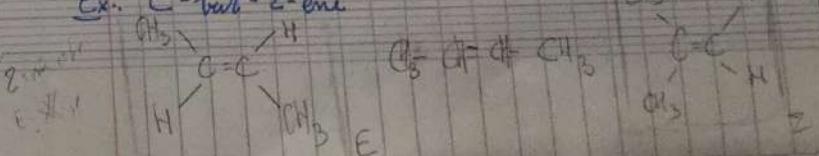
2 éthyl octane



Les alcènes non-cycliques ont la formule brute C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>.  
Il possède 1 sm double C=C.

→ Numéros -ane des alcanes & -ène pour nommer 2 alcènes. N précise plus diff. les 2 n° en numérotant comme

Ex. E-but-2-ène



## Chap 2: Propriétés des C

### B) Groupes actifs: amine's 1°

→ Vocabulaire d'oxygénés (alcool, aldi-hyde, carbone-carboxylique)

→ 1-méthylpropan-3-ol → 3-éthyl-2-butén-1,2-dipol



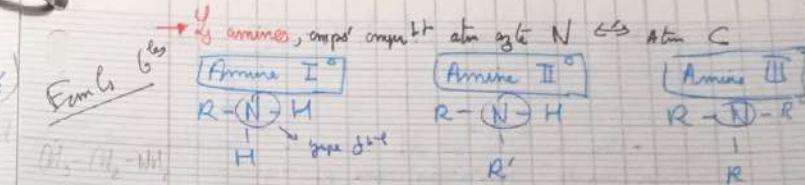
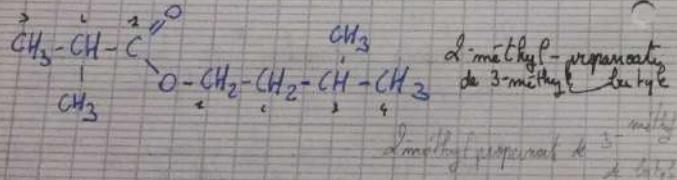
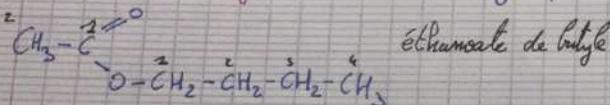
### C) Groupe actif: T°'s

→ Les esters, amides, fuels G<sup>e</sup>: R-C(=O)-OR'

• Nom ester: 2 termes:

• 1°: terminaison -ate  $\Leftrightarrow$  R-C(=O)- (m° à p. C)

• 2°: terminaison -yle  $\Leftrightarrow$  R-C(=O)-O- (m° à p. C)



- alkanamine.

Ex:  $\text{CH}_3\text{-NH}_2$  méthanamine

$\xrightarrow{\text{H}_2\text{O}}$   $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$  propénanamine

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$  3-méthylpentan-2-amine.  
| |  
 $\text{CH}_3\text{ NH}_2$

[amine II° et III°]

Substituant alkyl le rapport de N° des groupes pour une alkanamine de base à alkyl et (si) mono(N) ou tt q substitué à s.6 & G) bith(N)  
N- U (N, N-).

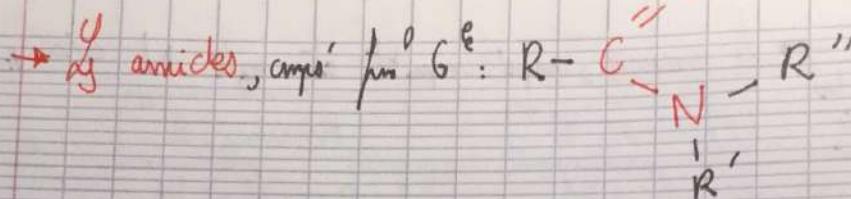
II Ex:  $\text{CH}_3\text{-NH-CH}_2\text{-CH}_3$  N-méthylethanamine.

III  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-N-CH}_2\text{-CH}_3$   
CH<sub>3</sub>

Néthyl, N-méthylpropanamine.

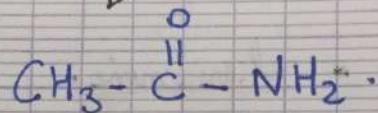
Chap. 2 Propriétés des Oxyd.

groupe amide



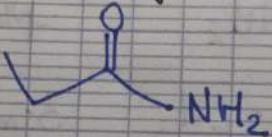
• Si  $R'$  &  $R''$  st H  $\Rightarrow$  amide d'un alcane mélange trimérisation -ane p. -amide.

Ex: éthanamide

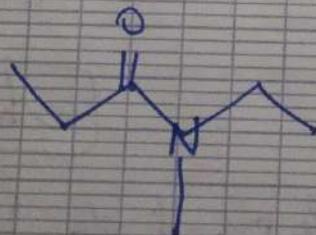


► casq N  $\leftrightarrow$  groupes alkyle, non amide "acid" e  
même N-alkyl.

Ex:

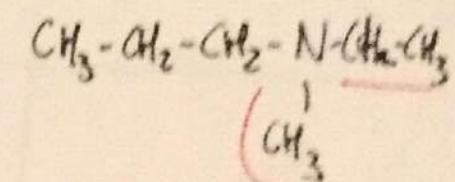
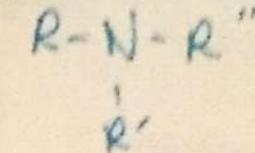
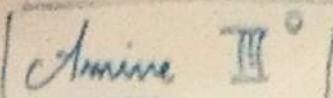
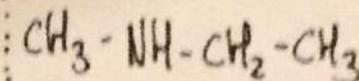
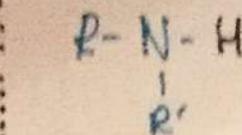
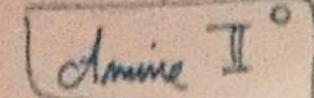
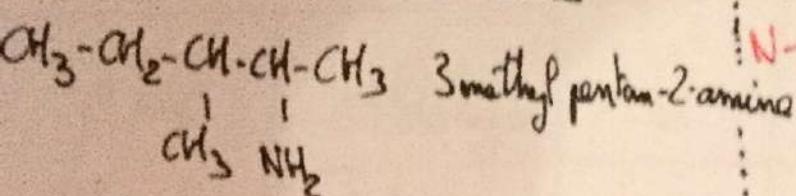
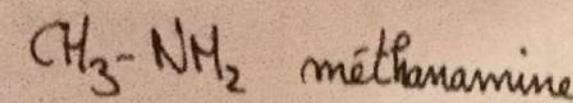
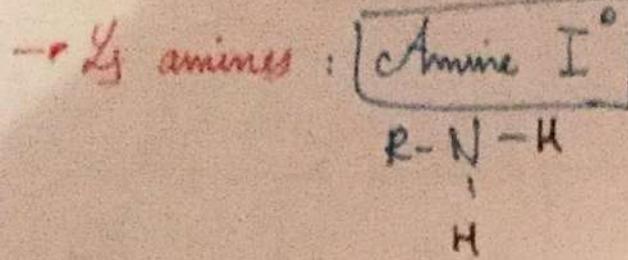


propanamide



Néthyl, N méthyl propanamide

→ Les esters sont ceux de l'acide.



→ Les amides :  
qui N-alkyle.

## II / Spectre optique

- Des spectre, en f.  $\mu m$  radia<sup>0</sup> lumine à très forte. Richeur  $\lambda$ , Intensité I radia<sup>0</sup> transmise <  $I_0$  c<sup>20</sup> radia<sup>0</sup> radie : forte absorption E.

Transmittance T:  $T = \frac{I}{I_0}$   $T \in [0,1]$ ;  $\% = \frac{T}{1} \times 100$

Absorbe A:  $A = -\log T = -\log \left( \frac{I}{I_0} \right)$

## III / Spectre UV-VIS

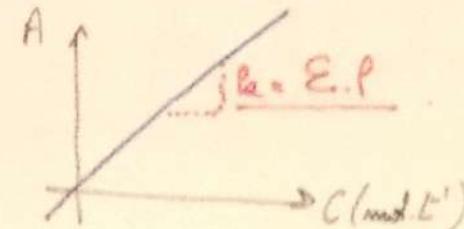
### 1° Des<sup>0</sup> opt

- Spectre UV-vis représenté  $\xrightarrow{\text{A}}_{\lambda_{\max}}$  ( $\lambda \in [200-800 nm]$ ).

- Spectre:  $\rightarrow A_{\lambda_{\max}}$ .
- coeff abs<sup>0</sup> mol<sup>-1</sup>  $E_{\max}$  (Loi Beer-Lambert).

$$A_\lambda = E_\lambda \cdot P \cdot C$$

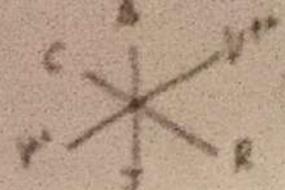
mol<sup>-1</sup> L<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>



2

$\lambda^*$  / La ch à  $\lambda_{max}$

- Ch perte solaire  $\rightarrow$  ch captation ch de l'atmosphère  
↳ Solaire à abstr de UV  $\rightarrow$  reflets.



### TP 8 : Analyse Spectrale IR

- Le spectre IR indique la **transmittance** (ou intensité lumineuse transmise) exprimée % en fonction du **nb d'onde**  $\sigma$  (wavenumber),

$$\sigma = \frac{1}{\lambda}, \sigma \text{ en } cm^{-1}.$$

- $500 \leq \sigma \leq 4000$

$$\frac{1}{4000} \leq \frac{1}{\sigma} \leq \frac{1}{500}$$

$$2,5 \cdot 10^{-14} \leq \lambda (cm) \leq 2,10^{-3}$$

$$2,5 \cdot 10^{-12} \leq \lambda (\mu m) \leq 2,10^{-11}$$

- Vibra**  $\theta$  : - élonga  $\theta$

-déforma  $\theta$

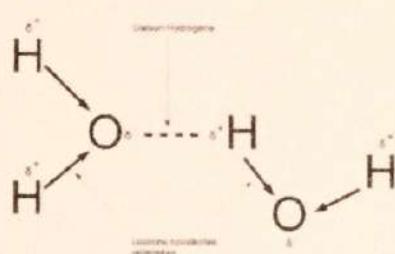
limite d'absorption en $cm^{-1}$	liaison	intensité	Composés ou groupements fonctionnels
3200-3600	O-H	forte et large	$H_2O$ ou R-OH primaire ou secondaire
2350-3360	O-H	forte et large	Acides carboxyliques
3400	O-H associée	forte et large	Alcools (dimères) ou alcools
1200-3300	O-H	forte et large	
1683-1730	C=O	forte	Cétones, acides carboxyliques, esters non saturés
1640	C=C	forte	C=C conjuguée avec une liaison C-C, ou C=O
1640	O-H	forte	H-O-H
1230-1480	C=O	forte	Acides carboxyliques, esters, alcools

- Dans le spectre IR, on distingue 2 zones pples:

-celle où  $1500 \text{ cm}^{-1} < \sigma < 4000 \text{ cm}^{-1}$ , cette zone contient un **nb limité** de bandes correspondants à des types de **liaisons hydrogènes** telles que O-H, N-H, C-H, C=O & C=C.

-Celle où  $400 \text{ cm}^{-1} < \sigma < 1500 \text{ cm}^{-1}$ , cette zone, plus complexe, est propre à un composé donné. Elle est souvent appelée "**signature**" ou "**empreinte digitale**".

Rap: 1 **liaison H** est 1 interaction intermoléculaire représentée en pointillés qui s'établit entre un atome d'hydrogène lié à un atome N, O, F & un doublet non liant d'autre atome N, O ou F.



- Le spectre IR est utilisé pr identifier les **groupes fonctionnels** présents ds les molécules.

VOIR exples d'exploita  $\theta$  de spectres IR.

DwID: Spécamp, spectroscopie IR → Attribution du spectre

Sinn, spectroscopie IR → Comparaison spectres IR

### III Spectroscopie de RMN

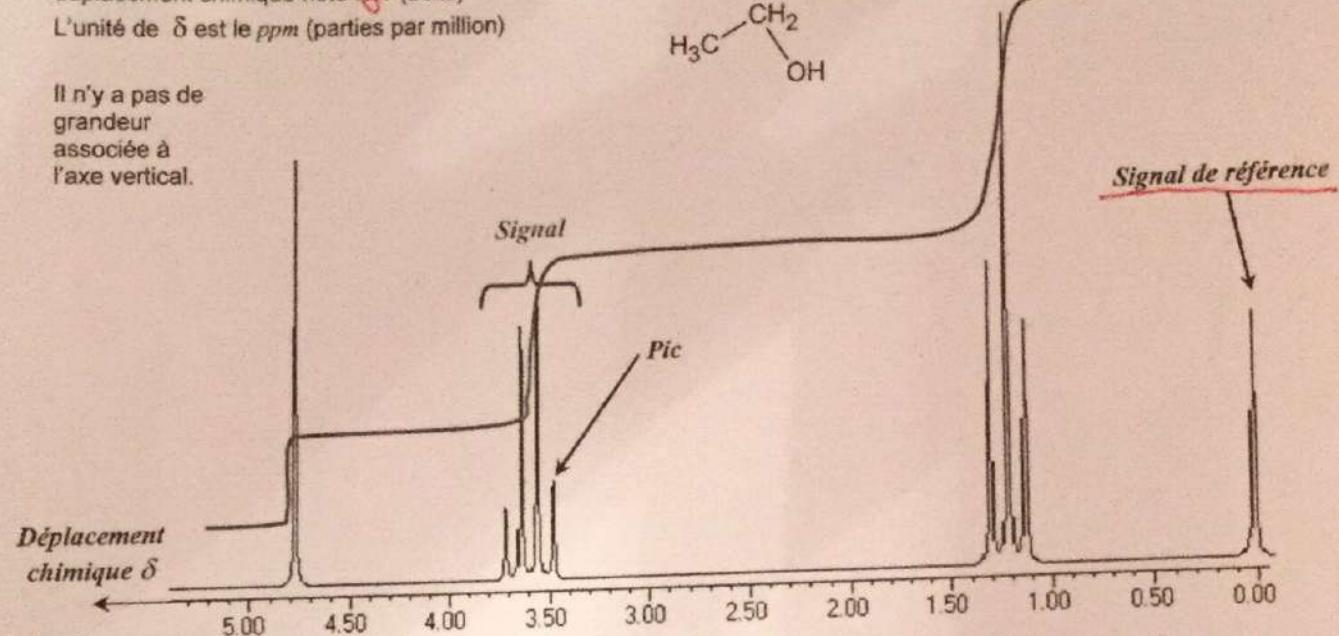
#### 1 Principe

On limitera l'étude à la spectroscopie de RMN de l'atome d'Hydrogène.

Un noyau d'hydrogène (= proton) est placé dans un champ magnétique. Il peut alors absorber certains quanta d'énergie lorsqu'il est exposé à certaines ondes magnétiques. La fréquence associée à chaque quantum absorbé est appelé fréquence de résonance.

L'axe des abscisses est orienté vers la gauche et représente le déplacement chimique noté  $\delta$ . (delta)

L'unité de  $\delta$  est le ppm (parties par million)

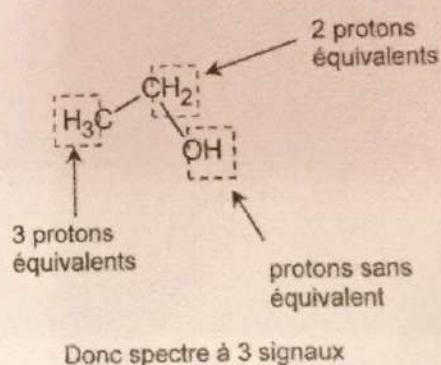
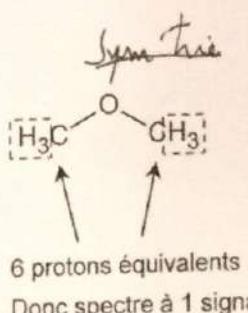
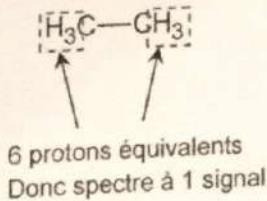


↑ Figure 1: Spectre de RMN de l'éthanol

Chaque série de pics (= signal) correspond à un ou plusieurs atomes d'hydrogène dit de même environnement chimique. On parle alors de protons équivalents.

Des protons équivalents ont le même déplacement chimique sur le spectre. Ils sont donc représentés par un même signal sur le spectre.

Exemples : Symétrie

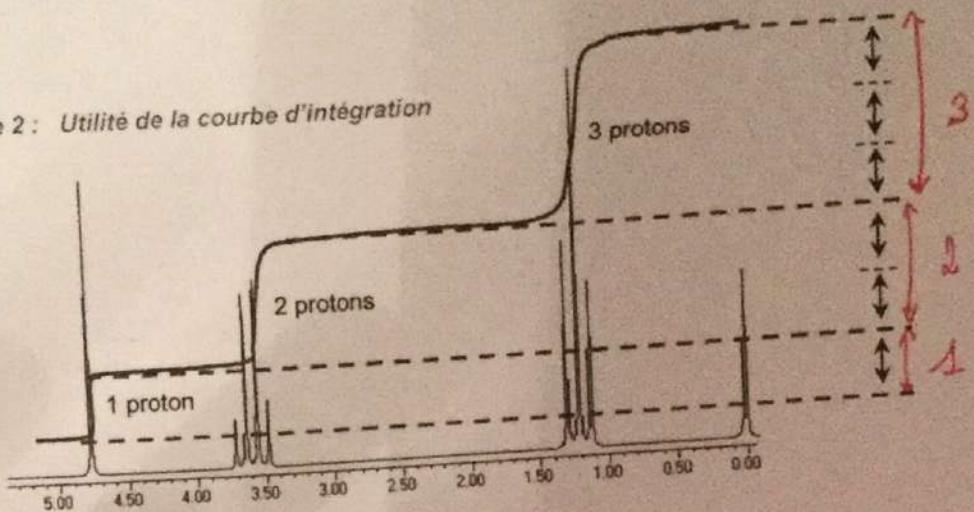


#### 2 Courbe d'intégration

Les spectres de RMN sont souvent accompagnés d'une courbe supplémentaire appelée courbe d'intégration.

La hauteur séparant deux paliers successifs de la courbe d'intégration est proportionnelle au nombre de protons équivalents responsables du signal dans la molécule.

figure 2 : Utilité de la courbe d'intégration

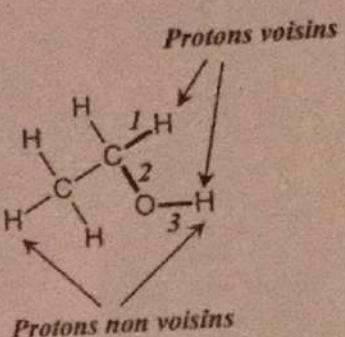


### IV.3 Multiplicité des signaux

Un signal de résonance peut comporter un pic (singulet) ou plusieurs pics (multiplet). Cette démultiplication des signaux est due aux interactions entre protons voisins non équivalents. On parle alors de couplage.

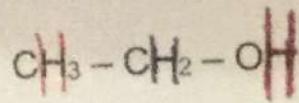
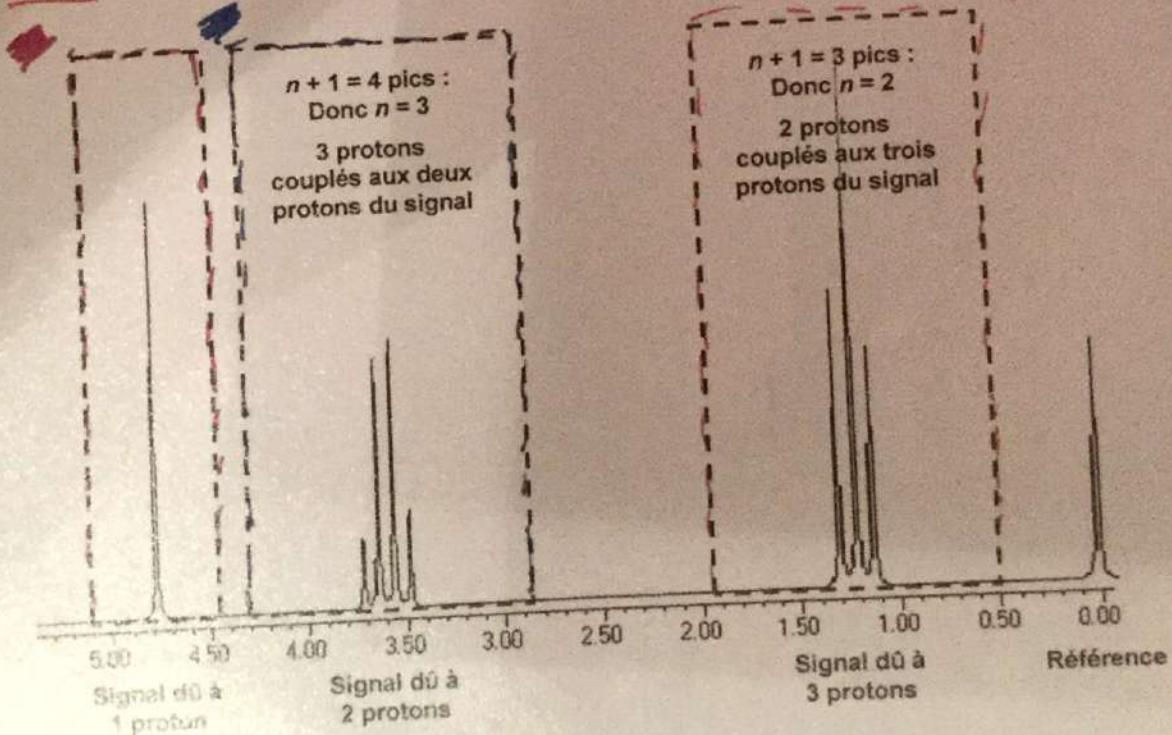
Deux protons sont dit voisins s'ils sont separés par 3 liaisons (simples ou multiples)

Un proton ou un groupe de protons équivalents ayant n protons voisins qui ne leur sont pas équivalents, présentent un signal de résonance avec n + 1 pics.

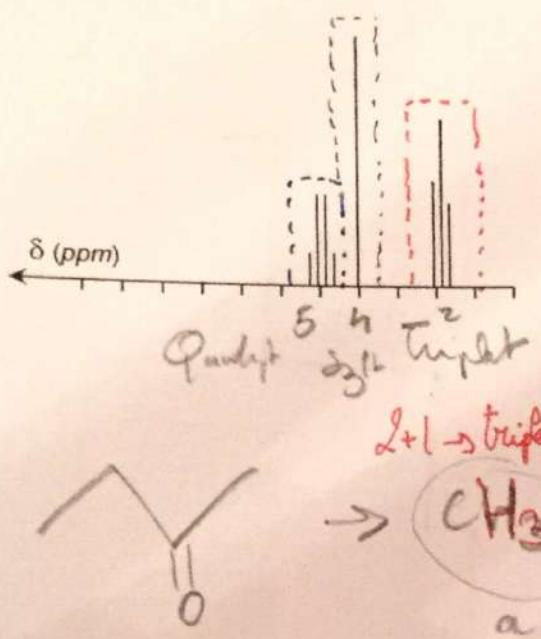


A noter :

Les protons des groupes hydroxyle, carboxyle et amine ne peuvent se coupler. Ils apparaissent toujours sous la forme de singulet.



Questions :

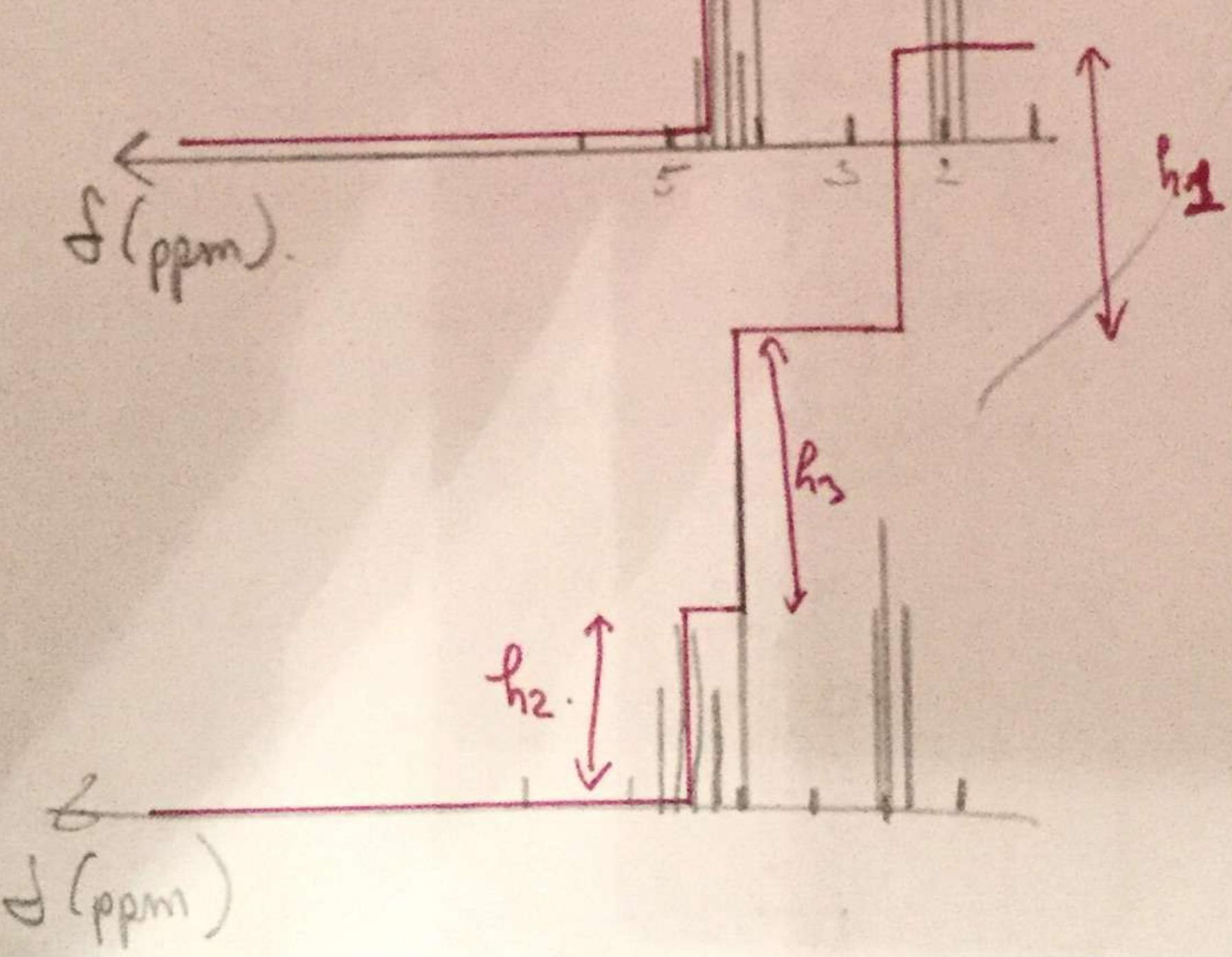


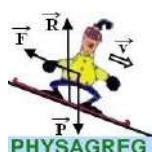
On considère le spectre de RMN de la butanone.

- Donner la formule semi-développée de cette molécule
  - D'après la formule, combien de groupes de protons équivalents trouve-t-on dans cette molécule ?
  - Attribuer à chacun des trois signaux de ce spectre le groupe de protons équivalents qui en est responsable.
  - Représenter sur ce spectre l'allure de la courbe d'intégration.
- Handwritten notes:  $0+1 \rightarrow$  singlet,  $0+3 \rightarrow$  singlet,  $3 \rightarrow$  3 groups,  $\text{H} \approx 5$ .

- On trouve 3 groupes de protons équivalents
- Le groupe (a) correspond au triplet, le groupe (c) correspond au singulet, le groupe (b) correspond au quadruplet.

$$\begin{aligned} & \text{---} h_2, h_2, h_3 \\ & \left[ \begin{array}{l} h_3 \\ h_1 = h_3 \quad (\text{m mbr protons}) \\ h_2 = \frac{2}{3} h_1 \end{array} \right] \\ & \boxed{h_2} \end{aligned}$$





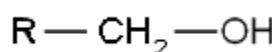
## NOMENCLATURE DE CHIMIE ORGANIQUE

### I. Les hydrocarbures

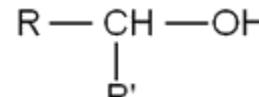
- les **alcanes** : formule :  $C_nH_{2n+2}$  ; terminaison en « ane »
- les **alcènes** : double liaison carbone ; formule :  $C_nH_{2n}$  ; terminaison en « ène »
- les **alcynes** : triple liaison carbone ; terminaison en « yne »

### II. Les molécules avec groupe caractéristique oxygénés

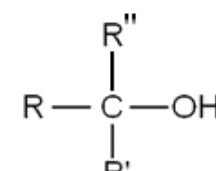
- les **alcools** : terminaison en « ol »



Alcool primaire



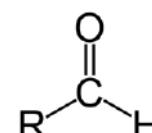
Alcool secondaire



Alcool tertiaire

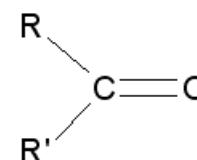
(ex : propan-2-ol : la fonction alcool est portée par le carbone n°2)

- les **aldéhydes** : terminaison en « al »

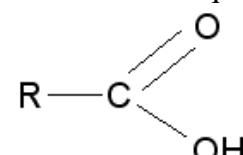


(ex : éthanal : le groupe caractéristique étant en bout de chaîne, il ne peut pas y avoir d'indice devant la terminaison -al)

- les **cétones** : terminaison en « one »



- les **acides carboxyliques** : terminaison en « oïque »



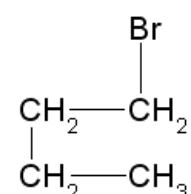
(ex : butan-2-one : le groupe est porté par le carbone n°2)

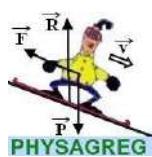
### III. Les composés halogénés

Ce sont les molécules qui possèdent un ou plusieurs atomes de chlore, de brome, d'iode ou de fluor.

Leur nom commence par le préfixe « chloro », « bromo », « iodo » ou « fluoro » accolé au nom de l'alcane ayant le même nombre d'atome de carbone.

(ex : bromobutane)

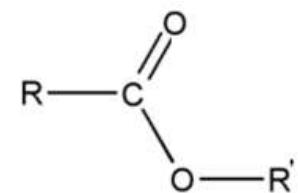




## IV. Les esters

On commence par nommer la partie de la molécule issue de l'acide carboxylique (R ici) en lui ajoutant la terminaison -oate ; puis on nomme la partie issue de l'alcool en lui ajoutant la terminaison -yle.

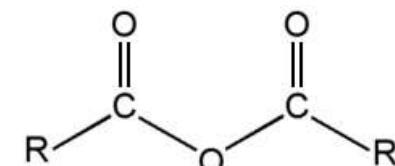
(ex : le propanoate de méthyle est issu de l'acide propanoïque et du méthanol)



## V. Les anhydrides d'acide

Leur nom commence par « anhydride », la deuxième partie est le nom de l'acide dont est issu l'anhydride.

(ex : anhydride éthanoïque)

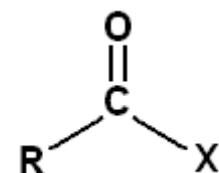


## VI. Les halogénures d'acyles

Son nom commence par le nom de l'ion halogène  $\text{X}^-$  suivi de « de » et du

groupement R avec pour terminaison « yle ».

(ex : chlorure de propyle)



618

$\text{Th}^2\text{:Cs}$  : Edge photons

pH: potentiel H;  $\Delta$  solu<sup>o</sup>: ions hydroxyde  $\text{HO}^-$   
 ions oxonium  $\text{H}_3\text{O}^+$   
 (hydronium).

$$\boxed{pH = -\log [H_3O^+]} \Rightarrow \boxed{[H_3O^+] = 10^{-pH}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{HO}^-] = 10^{-14} = K_e$$

→ auto-ionizing  $\text{H}_2\text{O}$



► Gouppe acide - basique :  $\text{AH} \xrightarrow[\text{acide}]{} \text{A}^- + \text{H}^+$  et conjuguée

► spè amphotère / ampholyte : ayant 2 acide / base sur la spè.  
 (ex:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HSO}_4^-$  &  $\text{NH}_3$ ) e, ion hydrogénocarbonate, ammoniac.

• AH FORT si rig. t HLT de 2. A~ FORTE si rig. t HLT de 2.

- Arot F<sub>inf</sub> = Arot max<sup>p</sup> CR acids forte négatif stzapt.

• Spec m- E + .

o il minima amplitude:  $A + B \rightarrow CD$  | equilibrium change: partial  $A + B \rightleftharpoons C + D$ .

$$\text{• Côte acidité cycle } \text{AH}/\text{A}^- : K_A = \frac{[\text{A}^-] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{AH}] \times [\text{H}_2\text{O}]} \Leftrightarrow$$

$$K_A = \frac{[A^-]_x [H_3O^+]}{[AH]}$$

○ La d'Institut

$$pK_A = -\log K_A \Leftrightarrow K_A = 10^{-pK_A}$$

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{AH}]}$$

DEMO 1.

► Si  $pH = pK_a$  alors  $[A^-] = [AH]$ . D6M02.

• Si  $pH > pK_a$  alors  $[A^-] > [AH]$ . DEMO 3.

► Si  $pH < pK_a$  alors  $[A^-] < [AH]$ . DEMO 4.

$$\circ K_a = \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[AH]}$$

DEMO 1

$$pK_a = -\log K_a = -\log \left( \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[AH]} \right)$$

$$\log(a \cdot b) = \log a + \log b$$

$$\Leftrightarrow pK_a = -\log \frac{[A^-]}{[AH]} - \log [H_3O^+] \quad \text{pH.}$$

$$\Leftrightarrow pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$$

$$\circ \text{ Si } pH = pK_a \Leftrightarrow \log \frac{[A^-]}{[AH]} = 0 \quad (\log 1 = 0)$$

$$\Leftrightarrow 1 = \frac{[A^-]}{[AH]} \Leftrightarrow [A^-] = [AH].$$

DEMO 2

$$\circ \text{ Si } [A^-] > [AH] \Leftrightarrow \frac{[A^-]}{[AH]} > 1$$

DEMO 3

$$\Leftrightarrow \log \frac{[A^-]}{[AH]} > 0$$

$$\Leftrightarrow pH > pK_a.$$

$$\circ \text{ Si } [A^-] < [AH] \Leftrightarrow \frac{[A^-]}{[AH]} < 1$$

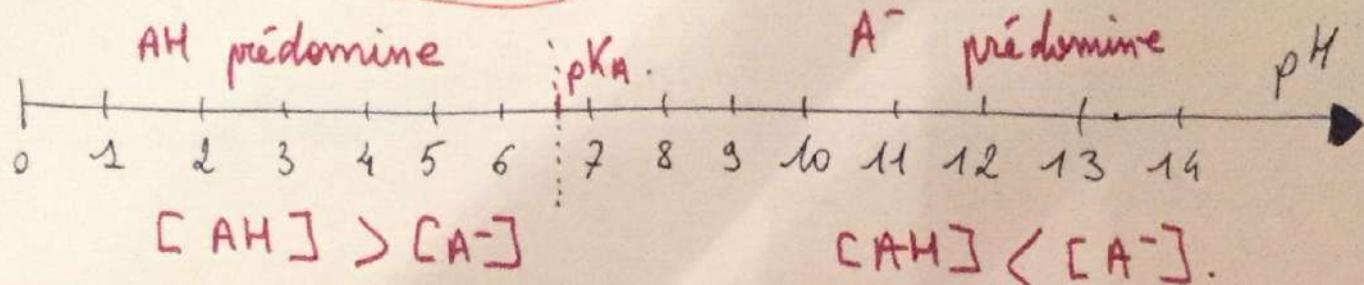
DEMO 4

$$\Leftrightarrow \log \frac{[A^-]}{[AH]} < 0$$

$$\Leftrightarrow pH < pK_a.$$

DEMO 3

## Diagramme de prédominance:



Autoprotolyse de l'eau:  $H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HO^-$ . (car 2<sup>e</sup> espèce)

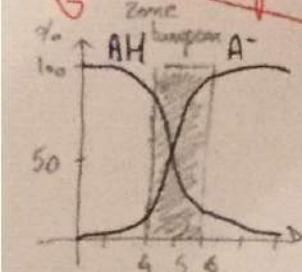
$$K_A = \frac{[HO^-] \cdot [H_3O^+]}{[H_2O] \cdot [H_2O]} = \underline{[HO^-] \cdot [H_3O^+]}$$

Produit ionique eau:  $K_e = [HO^-] \cdot [H_3O^+] = 10^{-14}$

R'ac° acide fort  $\leftrightarrow$  base forte:  $H_3O^+ + HO^- \rightarrow 2 H_2O$

( $\hat{z}$  V acido forte n solu°(aq) st  $H_3O^+ + A^-$ )  
( $\hat{e}$  V basse forte n solu°(aq) st  $HO^- + B^+$  alone)  
(+ quelq  $\rightarrow E \rightarrow$  exotherm q.)

Solu° tampon: Si pH solu° tq  $[AH] \approx [A^-]$ , si l' $'1^+$  n'agit pas  $\neq$  2h alors n't ps solu° tampon



(Ex dilution).

# Contrôle de qualité p dosage

- Dosage, titrer = titre c°
- Dosages: colorimétriques, pHimétriques et conductimétriques.

## I / Conductimétrie

- solu° ionique = électrolyte (ac° Ed)
- conductivité:  $\sigma \text{ m}^{-1} \text{ S.m}^{-1}$  (échelle de KClP).
- Conductivité solu° d'ordre:
  - mature ions pris
  - c° ions
  - T° (th: 25°C)

$$\sigma_x = \lambda_x \cdot [X]$$

conductivité  
molaire ionique

$\text{mol. m}^{-3}$

- Conductivité solu°: loi de Kohlrausch:

$$\sigma = \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot [X_i]$$

$$R \rightarrow 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \rightarrow 5 \cdot 10^{-1} \text{ mol.m}^{-3}$$

Ex: 3 salée  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{HO}^-$ .

$$\sigma = \lambda_{\text{Cl}^-} \cdot [\text{Cl}^-] + \lambda_{\text{Na}^+} \cdot [\text{Na}^+] + \lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]$$

## II / Dosage & titrage direct

- Bécher: pHimétrique et conductimétrique / erlenmeyer: colorimétrique

- R'ac° dosage:
  - Rapide
  - Total
  - Uniq.

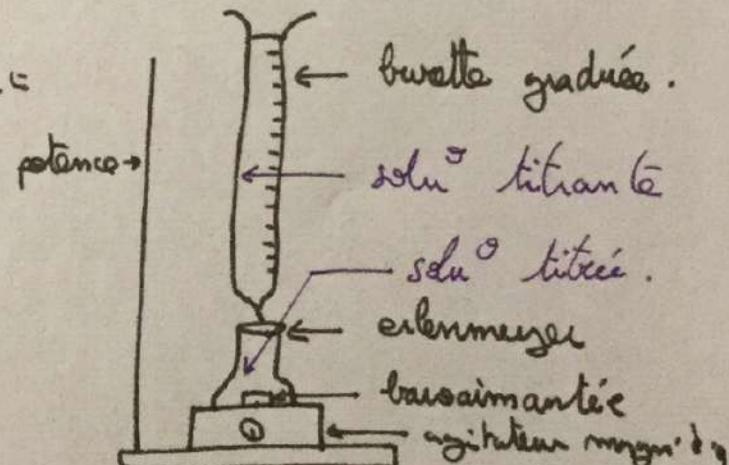
• 3 dep, n'autant titrant + titrant.

•  $E_{\text{ta}}$ , n'autant = dose de titrant et de rapport stochi.

• Apres  $E_{\text{ta}}$ , n'autant titrant + n excès.

• D'terminer  $E_{\text{ta}}$  expérimental: • chg + tste (dosage colorimétrique)

- méthode 3 tangentes ( $\text{pt E de } \text{pH} = f(V)$ ). pHimétrique
- 1 2 dist més: E (dosage conductimétrique:  $\sigma = f(V)$ )



$A \xrightarrow{t'Ee} C_a \cdot V_a - x_E = 0$  &  $C_b \cdot V_E - x_E = 0$ .

s.t  $aA + bB \rightarrow cC + dD \Rightarrow \frac{m_A}{a} = \frac{m_B}{b}$ .

$$\Leftrightarrow \frac{C_a \cdot V_a}{a} = \frac{C_b \cdot V_E}{b}$$

$$\Leftrightarrow C_a = \frac{a \cdot C_b \cdot V_E}{b \cdot V_a}$$

Si  $a=b=1$ ,  $C_a = \frac{C_b \cdot V_E}{V_a}$

### III / Dosage et étalonnage

- Dosages et étalonnage st  $\boxed{M}$ , compar.
- Comparaison pte n  $\boxed{P}$  PC de sp'ce chimiq à doser :
  - couleur
  - conductivité
- 1 solu°, dt sp'ce chimiq d't è dosé, t comparé à solu°, contient sp'ce chimiq, MS de CO<sub>2</sub>. Appelés solu°s étalons, st préparés et dilu°.
- Courbe d'étalonnage,
- Loi Beer-Lambert :  $A = \sum \varepsilon_{X_i} \cdot P. [X_i]$

• Loi de Kohlrausch :  $\sigma_{\text{solu}^{\circ}} = \sum \lambda_{X_i} \cdot [X_i]$

## Th<sub>2</sub>: C<sub>2</sub>: Tps, cm'mt q & dynm'g newtoniennes

D'où: v = vecteur de temps et vecteur de mouvement.

Vect. pos:  $\vec{OM} = x \cdot \hat{i} + y \cdot \hat{j} + z \cdot \hat{k}$

Vect. vitesse:  $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{OM}}{\Delta t}$        $\boxed{\vec{v} = \frac{d \vec{OM}}{dt}}$

$\vec{v}(t) = x' \cdot \hat{i} + y' \cdot \hat{j} + z' \cdot \hat{k}$

$\vec{v}(t) = x \cdot \hat{i} + y \cdot \hat{j} + z \cdot \hat{k}$

$\left. \begin{array}{l} \text{• } \|\vec{v}\| \text{ m.m.s}^{-1} \\ \text{• } \text{dirac}^0, \text{ direction tangente à la trajectoire} \\ \text{• } \text{sens: sens mouvement à l'instar } t. \end{array} \right\}$

$\bullet \|\vec{v}\| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$        $\Rightarrow \vec{v}$  perp' à la tangente à la trajectoire & orienté sens mouvement.

Vect. Q<sup>b+</sup> mouvt:  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

$\text{kg.m.s}^{-2}$

$\Rightarrow \vec{p}$  a un dirac<sup>0</sup> & m sens  $\vec{v}$  car  $m > 0$ .

Vect. acc'l'naθ:  $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$        $\boxed{\vec{a} = \frac{d \vec{v}}{dt}}$

$\bullet \vec{a} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{• } \text{val m.m.s}^{-2} \\ \text{• } \text{dirac}^0 : \text{ sens accéléation } \vec{v} \\ \text{• } \text{sens: sens } \|\vec{v}\|. \end{array} \right\}$

## Lois de Newton:

- Ref sur lois newtoniennes et vérif' es "dit galiléen".

Ref  $\left. \begin{array}{l} \text{terrestre} \\ \text{héliocentrique} \\ \text{géocentrique} \end{array} \right\}$

# 1<sup>o</sup> loi : principe d'inertie :

- Des résultats galiléen si un système assimilé à un point matériel n'a pas de  $\vec{F}$  : **système isolé** ✓ si il n'y a pas de forces qui le composent
- Système pseudo-isolé alors il est immobile. Un aimant peut activer une force.
- Ex. Coulomb  $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$

# 2<sup>o</sup> loi : principe fondamental de dynamique :

- Des résultats galiléen, si un système assimilé à un point matériel est soumis à une force  $\vec{F}$ , il exerce sur la somme vectorielle de ses forces  $\vec{r}$  une force  $\vec{F}$  égale et opposée de sens et de sens de mouvement  $\vec{p}$ .

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

DEMO.

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

si système circule en cercle.

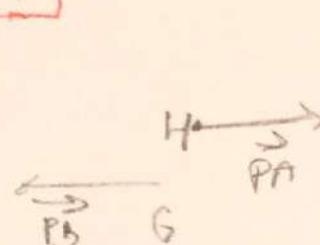
- qd mouvement rectiligne uniforme :  $\sum \vec{F} = \vec{0}$

# 3<sup>o</sup> loi : principe des réciproques :

- Si système A <sup>exerce</sup> sur système B une force  $\vec{F}_{A/B}$  & réciproquement  $\vec{F}_{B/A}$ .

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$$

- Propriété de  $\vec{F}$ :  $\vec{p}_A = -\vec{p}_B$



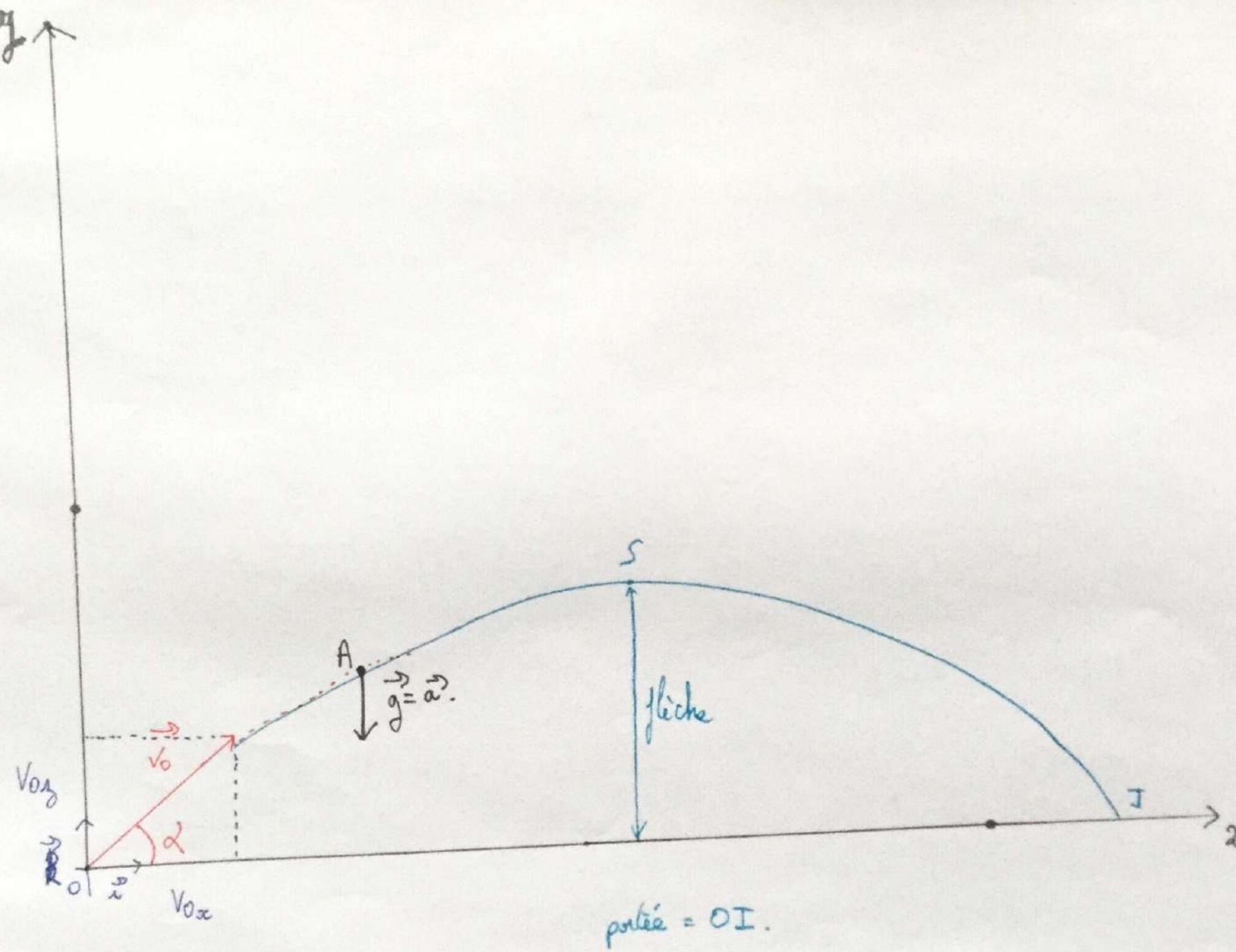
- Etude du mouvement : Mvt  $\vec{g}$  : chp point unique

$$\vec{g} = \frac{\vec{p}}{m}$$

- chp point assidu d'un chp unique do un g'm spc h'g en disc<sup>o</sup>, un ms, un v'h<sup>st</sup> ms, un t<sup>st</sup> spc.

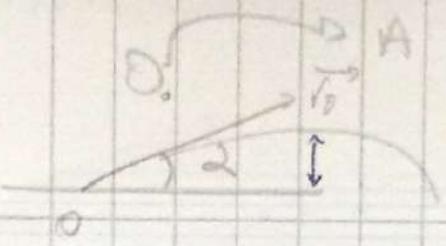
$$\vec{g} = \vec{c}\vec{e}$$

Voir Ex type



•  $\beta$  de vol > A

•  $v_0$



②a)

$$\cos \alpha = \frac{v_{0x}}{v_0} \quad (\Rightarrow v_{0x} = \cos \alpha \cdot v_0)$$

$$\sin \alpha = \frac{v_{0y}}{v_0} \quad (\Rightarrow v_{0y} = \sin \alpha \cdot v_0)$$

b)

• Système : Celle

• Référentiel : Terrestre.

• Forces exercées : Poids.

$$\rightarrow 1^{\circ} \text{ Loi de Newton: } \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d \vec{p}}{dt}$$

$$\hookrightarrow \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} \text{ or } m \cdot \vec{a}$$

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \cdot \frac{d \vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a}$$

$$\text{or } \sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{P} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{P}}{m} = \frac{m \cdot \vec{g}}{m} = \vec{g}$$

$$\boxed{\vec{a} = \vec{g}}$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline & \vec{g} \\ \hline (0, \vec{i}, \vec{k}) & g_x = a_x = 0 \\ \hline \end{array} \quad g_y = a_y = -g$$

$$\& \begin{array}{|c|c|} \hline & \vec{a} \\ \hline (0, \vec{i}, \vec{k}) & a_x = 0 \\ \hline \end{array} \quad a_y = -g$$

$$\bullet \quad a_x = \frac{dv_x}{dt} \quad a_x = 0$$

$$\bullet \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} \quad a_z = -g$$

$\textcircled{c} \quad \vec{v} \quad | \quad v_x = cte_1$

$$(0, \vec{i}, \vec{k}) \quad v_z = -gt + cte_2$$

→ Pour déterminer les ctes, n'oubliez initialement que  
v(x) et à  $t=0$ ,  $v_x = v_0 \cos \alpha$ .

$$(0, \vec{i}, \vec{k}) \quad v_z = v_0 \sin \alpha$$

Donc  $v_x = v_0 \cos \alpha$  &  $v_z = -gt + v_0 \sin \alpha$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{OA}}{dt} \quad \begin{array}{|c} \vec{OA} \\ \hline (0, \vec{i}, \vec{k}) \end{array} \quad \begin{array}{|c} x \\ \hline z \end{array} \quad v_x = \frac{dx}{dt} \quad \& \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

→ Maintenant on cherche x & z, on intègre  $v_x$  &  $v_z$  :

$$\begin{array}{|c} \vec{OA} \\ \hline (0, \vec{i}, \vec{k}) \end{array} \quad x = v_0 \cos \alpha \cdot t + cte_3$$

$$\begin{array}{|c} \vec{OA} \\ \hline (0, \vec{i}, \vec{k}) \end{array} \quad z = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t + cte_4$$

Pour déterminer les ctes, n'oubliez initialement que  
 $t=0$ ,  $x_0 = 0 \Rightarrow cte_3$   
 $z_0 = 0 \Rightarrow cte_4$

Équations

horaires du mvt

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t \quad (1)$$

$$\begin{array}{|c} \vec{OA} \\ \hline (0, \vec{i}, \vec{k}) \end{array} \quad z = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t \quad (2)$$

$$\begin{cases} x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t & (1) \\ y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t & (2). \end{cases}$$

→ On cherche 'gal' tyche :  $y = f(x)$

(1) : on exprime  $t$  en fonction de  $x$  Puis on remplace dans (2).

$$(1) \Rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha}$$

$$(2) \Rightarrow y = -\frac{1}{2} g \cdot \frac{x^2}{(v_0 \cdot \cos \alpha)^2} + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha}$$

$$y = -\frac{1}{2} g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} + \tan \alpha \cdot x$$

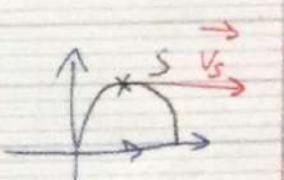
$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$y = -\frac{1}{2} \cdot \frac{g}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + \tan \alpha \cdot x$$

Equation  
de la  
trajectoire

du type  $Ax^2 + Bx$ , 'gal' parabole.

② Vnulle à pt S ?



$$\left. \begin{array}{l} v_x = v_0 \cdot \cos \alpha \neq 0 \\ v_y = -gt + v_0 \cdot \sin \alpha = 0 \end{array} \right\}$$

Dès que  $v_m \neq 0$  au pt S car  $\alpha \neq \frac{\pi}{2}$ .

① Xpre & fläche ?  $z_s = ?$

Gr en S,  $v_{S,y} = 0$  : la v horiz ble.

$$v_y = -gt + v_0 \cdot \sin \alpha = 0$$

$$-gt_s + v_0 \cdot \sin \alpha = 0$$

$$t_s = \frac{-v_0 \cdot \sin \alpha}{-g}$$

$$t_s = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

Gr en déduit  $z_s$  :

$$\alpha z(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t$$

$$z(t_s) = -\frac{1}{2} g \cdot \left( \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \right)^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

$$z(t_s) = -\frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} + \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g}$$

$$z(t_s) = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g}$$

Fläche

② I pst impact sur sol :  $z = 0$

$$\text{Eqz } \theta \text{ fläche: } z_I = -\frac{1}{2} \frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + \tan \alpha \cdot x = 0$$

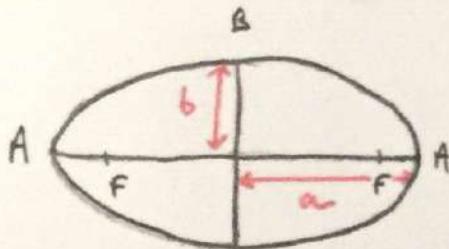
$$x \left( -\frac{1}{2} \frac{g}{v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x + \tan \alpha \right) = 0$$

## 3) loi des satellites & planètes

- || R<sup>e</sup>fract<sup>l</sup>o : • R<sup>e</sup>fract<sup>l</sup> gal.<sup>r</sup>m adapt' pr' r<sup>e</sup>td mult pln<sup>t</sup>s & comt's du syst<sup>e</sup>me sol re  
t hélisentriq. D<sup>e</sup>fini p<sup>l</sup> R<sup>e</sup>gal. p<sup>l</sup> 3 vctrs normx mtr x orint' vus 3-téles f<sup>st</sup>ines  
• R<sup>e</sup>fract<sup>l</sup> gal.<sup>r</sup>m adapt' pr' r<sup>e</sup>td mult satell<sup>t</sup>tes mtr & antifr<sup>c</sup>ts "gésentriq."  
f<sup>st</sup>ni p<sup>l</sup> R<sup>e</sup>Tens l<sup>e</sup> 3 vctrs normx orint' vus 3-téles f<sup>st</sup>ines fixes.

### 1<sup>o</sup> loi de Kepler : loi des orbites :

- || Ds x-fract<sup>l</sup> hélisentriq, trajctie du l planète "ellipse" dt l Soleil" f<sup>st</sup>s ds foyers.  
Ds x-fract<sup>l</sup> gésentriq, trajctie du l satellite "ellipse" dt l Tens" f<sup>st</sup>s ds foyers.

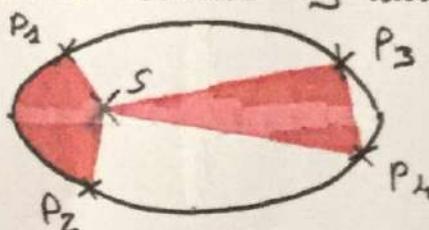


► excentricité ellipse :  $e = \frac{FF'}{2a}$

► Si  $e=0 \Leftrightarrow$  ellipse devient  $\rightarrow$  cercle.

### 2<sup>o</sup> loi de Kepler : loi des aires :

- || La planète balise <sup>5°</sup> des aires égales p<sup>l</sup> durées égales.



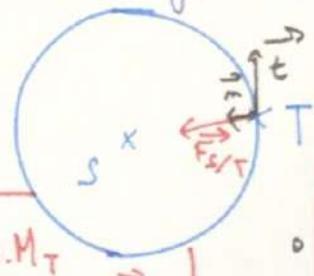
### 3<sup>o</sup> loi de Kepler : loi des périodes :

- || Le rapport du carré de la période de révolut<sup>l</sup> T, d's planète otr du gfp, au cube du  $\frac{1}{2}$  grand axe, de l'ellipse  $\rightarrow$  constant.

$$\boxed{\frac{T^2}{a^3} = K}$$

## Etude mvt T st du SP.P

- Trajectoire T circulaire sur confondues.



$$\vec{F}_{S/T} = \frac{G \cdot M_S \cdot M_T}{d^2} \cdot \vec{n}$$

$$\vec{F}_{S/T} = -\vec{F}_{T/S}$$

- Repère  $(O, \vec{n}, \vec{E})$ : repère de Frenet.

Système : Terre  
Référentiel : h'isocentrique galiléen  
F appliquées : Force de gravitation :  $\vec{F}_{S/T}$ .

$\vec{a} \left| \begin{array}{l} \frac{v^2}{R} = \frac{G \cdot M_S}{d^2} \times \vec{U}_m \\ \frac{dv}{dt} = 0 \end{array} \right. \quad \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \vec{F}_{S/T} = m \cdot \vec{a} \quad \vec{a} = \frac{G \cdot M_S}{d^2} \times \vec{U}_m + 0 \cdot \vec{E}$

$\Leftrightarrow \vec{a} = \frac{G \cdot M_S}{d^2} \times \vec{U}_m + 0 \cdot \vec{E}$   
 $\Leftrightarrow \frac{dv}{dt} = 0 \Leftrightarrow v \text{ constante}$   
 $\Leftrightarrow \text{mvt uniforme}$

$$\frac{v^2}{R} = \frac{GM}{R^2} \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{x \cdot GM}{x^2}} = \sqrt{\frac{GM}{x}} = v$$

$$v = \frac{2\pi R}{T} ; \frac{2\pi R}{T} = \sqrt{\frac{GM}{x}} \Leftrightarrow \frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{GM}{R}$$

$$\Leftrightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 R^3}{GM}$$

$$\Leftrightarrow \frac{T^2}{R^2} = \frac{4\pi^2}{GM} = k$$

$$\Leftrightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

### Repère de Frenet :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{U}_m + \frac{dv}{dt} \cdot \vec{U}_T$$

# **RELATIVITÉ RESTREINTE**

## **I/ Les postulats de la relativité restreinte**

### **1° Etude documentaire (p.244)**

### **2° Enoncés des postulats**

**Postulat 1:** Les lois de la physique se formulent de la même manière dans tous les référentiels.

**Postulat 2:** La valeur de la vitesse de la lumière ont dans tous les référentiels galiléens. ( $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

## **II/ Dilatation du temps**

### **1° Notion d'événement**

- L'événement est défini par le point de l'espace et un instrument numérique.
- Tout référentiel est donc associé à une horloge qui lui est propre.

### **2° Durée propre**

Ex: voir poly *Documents relativité*

### **3° Temps ou durée mesurée: $\Delta t$**

- Temps mesuré est un intervalle de temps entre 2 événements mesuré par l'horloge ds référ galiléen R' en mouvement par rapport au référentiel gal R ds lequel on mesure un temps propre.

NB: Vitesse lux  $c$  sur berge,  $v$ : vitesse du bateau par rapport à la berge

$$c^2 \cdot \Delta t^2 = d^2 + v^2 \cdot \Delta t^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t^2 = c^2 \cdot \Delta t_0^2 + v^2 \cdot \Delta t^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t^2 - v^2 \cdot \Delta t^2 = c^2 \cdot \Delta t_0^2$$

## **RELATIVITÉ RESTREINTE**

$$\Leftrightarrow \Delta t^2 = \frac{\Delta t_0^2}{(1 - \frac{v^2}{c^2})} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \times \Delta t_0$$

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0 \quad \text{où} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Comme  $\gamma > 1$ , on parle de *dilatation des durées*.
- Tps s'écoule plus lentement pr un **système en mvt (tps mesuré)** que pour son système fixe : on parle de **dilatation du temps** pr un système en mvt.

NB: Ce phénomène a pu être démontré expérimentalement ds 50's ( horologe atomque, vitesse importante )

Voir Applications

- $\Delta t_0 < \Delta t$

## C : Travail & Energie

- Trav  $W_{AB}(\vec{F})$  = fra  $\vec{F}$  coté d<sup>1</sup> par appli & dépl de A vers B  $\rightarrow \vec{g}^P \vec{F} \circ \vec{AB}$

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \circ \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$

$\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$   
S      N      m.

Travail moteur (si  $\alpha < 90^\circ$ )  
Travail résist. (si  $\alpha > 90^\circ$ )

- $\vec{F}$ : conservative si son travail mo d'pd x du chms trvsi q sn pa<sup>r</sup> appli  
MS unique pds d'pd & accvis.

Ex  $\vec{F}$ s conservatrices : le Roids & la  $\vec{F}$  életrq.

$$W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot h$$

P. si m desc d do dep point,  $W(\vec{P})$  + moteur  
monte  
+ résist.

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot E \cdot L$$

$$U_{AB} = E \cdot L$$

$$L = x_B - x_A$$

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot U_{AB}$$

$$E = \frac{\sum P_N}{d}$$

- $\vec{F}$ : non conservatrice : si son trav d'pd chms sv. q sn pa<sup>r</sup> appli  
 $W_{chms}(\vec{F}) \neq W_{chms}(\vec{F})$ .

Ex :  $\vec{F}$  de frottements & la Réac Vtt le me st x conservatrices.

Epp & Epép :

$$W_{AB}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp}$$

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = -\Delta E_{pep}$$

$$\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA}$$

$$\Delta E_{pp} = E_{pepB} - E_{pepA}$$

## C: Travail & Energie

- Trav  $W_{AB}(\vec{F})$  = fra  $\vec{F}$  acte d<sup>e</sup> par appli se dépla de A vers B  $\Rightarrow \vec{F} \circ \vec{AB}$
- $$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \circ \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$$

$\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$   
F      N      m.
- $\uparrow$  Travail nul (si  $F \perp \vec{AB}$ )  
Travail positif (si  $\alpha < 90^\circ$  d'aplur)

- $\vec{F}$ : conservative si son travail ne dépend pas du chemas tracé q son pat appli HS unique pato d'apl & accivé.

Ex  $\vec{F}$ s conservatrices : le Roids & la  $\vec{F}$ électriq.

$$W_{AB}(\vec{P}) = m \cdot g \cdot h$$

- Si m dec d do chp point,  $W(\vec{P})$  + motore + résist
- monté

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot E \cdot L$$

$$U_{AB} = E \cdot L$$

$$L = x_B - x_A$$

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot U_{AB}$$

$$E = \frac{U_{PN}}{d}$$

- $\vec{F}$ : non conservative : si son travail dépend chemas tracé q son pat appli  $W_{chemA}(\vec{F}) \neq W_{chemB}(\vec{F})$ .

Ex :  $\vec{F}$  de frottements & la Réac & tt le me st x conservatrices.

• Epp & Epé :

$$W_{ho}(\vec{P}) = -\Delta E_{pp}$$

$$\Delta E_{pp} = E_{ppB} - E_{ppA}$$

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = -\Delta E_{p\bar{e}P}$$

$$\Delta E_{pp} = E_{p\bar{e}B} - E_{p\bar{e}A}$$

$$\Delta E_p = E_{pB} - E_{pA} = -W_{AB}(\vec{F})$$

- $E_m = E_c + E_p$
- $\frac{1}{2}mv^2$        $mgh$
- Néglige  $\vec{f}$ :  $E_m = \text{cte} \Leftrightarrow \Delta E_m = 0$  10000
- Avec  $\vec{f}$ :  $E_m \neq \text{cte} \Leftrightarrow \Delta E_m = W(\Sigma \vec{f})$  1000

# **TEMPS ET ÉVOLUTION CHIMIQUE**

## **I/ Evolution temporelle d'un système chimique**

- **Cinétique chimique**: étude déroulement temporel des systèmes chimiques

### **1° Classification des réactions**

- **Durée d'une réaction**: durée nécessaire pr que système chimique passe :

$\text{Etat}_{\text{Initial}} \rightarrow \text{Etat}_{\text{Final}}$ , cad état ds lequel il n'y a plus d'évolution perceptible. ( caractérisé par son avancement final  $x_f$  ).

- Pr 1 observation, oeil nu, **réaction rapide** ( semble achevée dès leur contact ) –  $\frac{1}{10}s$ 
  - ↳ l'évolution des quantités de produits & réactifs ne peut pas être suivie par les instruments de mesure usuels du laboratoire. (ex: réac θ précipita θ U explosif )
- Sinon **réaction lente** (qqs s, min, h ).
  - ↳ L'évolution des quantités de réactifs & de produits peut être suivie à l'oeil U par instruments de mesures usuels du laboratoire.

### **2° Paramètres influençant l'évolution temporelle d'une réaction**

#### **► TP**

- **Facteur cinétique** modifie l'évolution temporelle d'un système chimique.

- **Température**
- **Concentration molaire en réactifs**
- **l'état de la division d'un réactif solide**
- **la nature du solvant**
- **la présence de catalyseur**
- **Réaction plus rapide si:**
  - **Température ↑**
  - **Concentration de l'un des réactifs ↑**

### **3° La catalyse**

- **Catalyseur**: espèce chimique qui accélère U oriente 1 réaction sans modifier son état final.
- 1 catalyseur est **consommé** mais **régénéré** en propor  $\theta = \alpha$  crs de réac  $\theta$
- Il s'écrit sous la forme ..... .

- Différentes catalyses
  - **la catalyse homogène**
  - **la catalyse hétérogène**
  - **la catalyse enzymatique**
- le catalyseur est sélectif, son action est spécifique

## **II/ Suivre l'évolution d'un système**

### **1° Suivi qualitatif**

- Observa  $\theta$  du système : chgt de couleur, dégagement gazeux, formation U disparition d'1 solide au cours de réac  $\theta$
- Chromatographie ( CCM )

### **2° Suivi quantitatif**

- Pr décrire l'évolution d'un système chimique qui est le siège d'une réaction **lente**, il faut suivre l'augmenta  $\theta$  de l'avancement  $x$ , au crs du temps.

Ex:

- **Mesure de  $V$  &  $P_r$  ( pr un gaz)**
- **Spectrophotométrie ( colora  $\theta$  ).**

## PARTIE II : COMPRENDRE

- Reconnaître des espèces chirales à partir de leur représentation.
- Utiliser la représentation de Cram.
- Identifier les atomes de carbone asymétrique d'une molécule donnée.
- Reconnaître si des molécules sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères.
- Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence des propriétés différentes de diastéréoisomères.
- Visualiser, à partir d'un modèle moléculaire ou d'un logiciel de simulation, les différentes conformations d'une molécule.
- Utiliser la représentation topologique des molécules organiques.
- Extraire et exploiter des informations sur :
  - les propriétés biologiques de stéréoisomères,
  - les conformations de molécules biologiques,pour mettre en évidence l'importance de la stéréoisomérie dans la nature.

### Chapitre 5

#### Représentation spatiale d'une molécule

## I. L'isomérie

### 1.1 Définition

Définition :

Deux molécules sont dites isomères si elles possèdent la même formule brute mais ont des familles de seulement différentes.

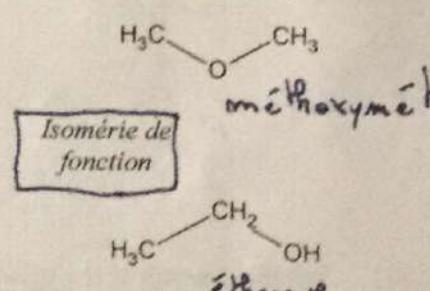
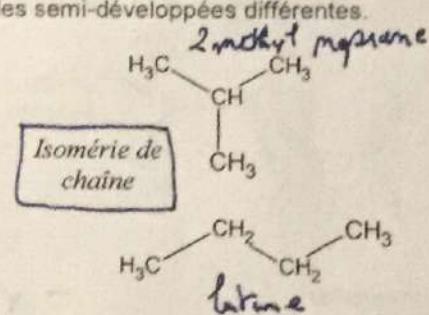
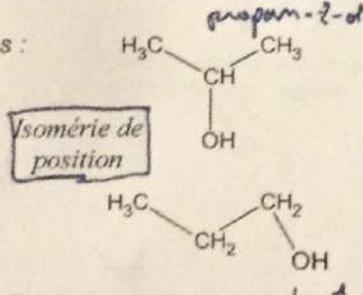
Remarque :

Des molécules isomères ont des propriétés physiques, chimiques et biologiques différentes.

### 1.2 Isomérie de constitution et stéréoisomérie

L'isomérie de constitution correspond aux isoméries désignant différents enchaînements d'atomes. Deux isomères de constitution ont des formules semi-développées différentes.

Exemples :

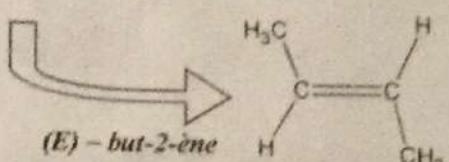
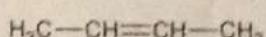
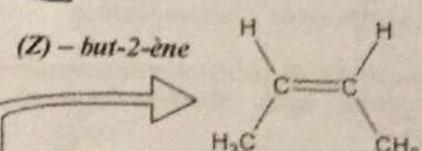


La stéréoisomérie correspond aux isoméries désignant des molécules identiques mais dont l'organisation spatiale des atomes est différente.

Deux stéréoisomères ont des formules semi-développées identiques.

Exemple :

Le (Z)-but-2-ène et le (E)-but-2-ène sont deux stéréoisomères.



### I.3 Conclusion

Il existe deux types d'isoméries :

- l'isométrie de constitution
- la stéréoisométrie

Isométrie

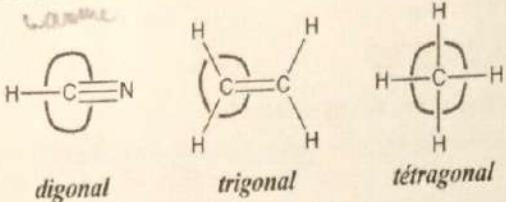
Stéréoisométrie

Isométrie de constitution

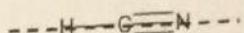
*pas de chaine*

## II. Modèle de CRAM

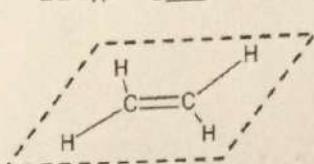
*éthane*  
L'atome de carbone est tétravalent (4 liaisons covalentes). De fait, il peut être digonal, trigonal ou tétragonal.



Les liaisons d'un carbone digonal sont sur une même droite :



Les liaisons d'un carbone trigonal sont dans un même plan :



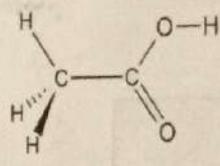
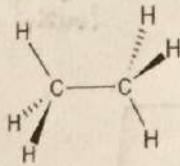
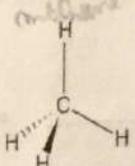
Les liaisons d'un carbone tétragonal (ou à structure tétraédrique) sont dans l'espace. De manière à représenter une telle structure sur une feuille, on utilise le modèle de CRAM.

Convention de CRAM :

- Une liaison dans le plan de la feuille est représentée par un trait plein : —
- Une liaison qui part en avant du plan de la feuille est représentée par : —>
- Une liaison qui part en arrière du plan de la feuille est représentée par : <—

*amide d'éthane q*

Exemples :

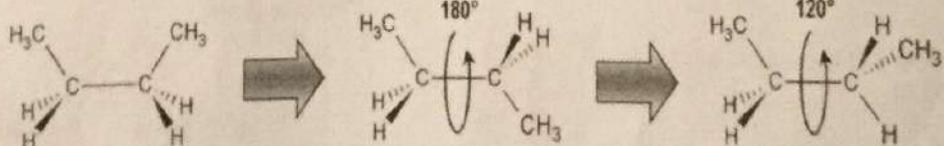


## III. Stéréoisométrie de conformation

Les liaisons simples, contrairement aux liaisons multiples, sont sujettes à la libre rotation.

Une même molécule peut, du fait de cette libre rotation, exister sous différents agencements spatiaux.

Exemple :



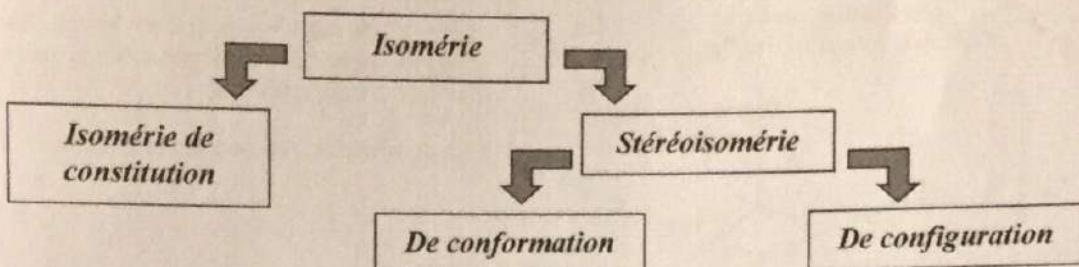
Ces trois molécules sont dites stéréoisomères de conformation (ou conformères).

On passe d'un stéréoisomère de conformation à un autre par simple rotation autour d'une liaison simple. Toutes les conformations d'une molécule n'ont pas la même stabilité. La molécule adopte le plus fréquemment la conformation dans laquelle les groupes d'atomes les plus volumineux sont le plus éloignés les uns des autres.

Question :

Quelle est, des trois conformations de la molécule de butane représentées ci-dessus, celle qui est la plus stable ?

Conclusion :



## IV. Stéréoisomérie de configuration

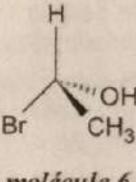
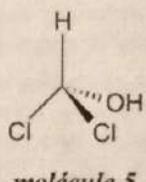
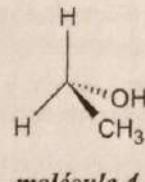
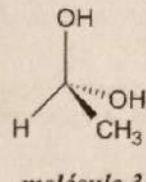
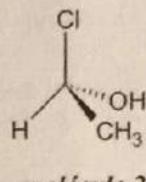
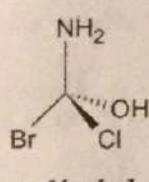
### IV.1 Carbone asymétrique

Définition :

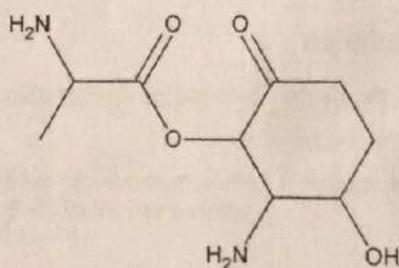
Un atome de carbone asymétrique, noté C\*, est un atome de carbone tétragonal lié à quatre atomes ou groupes d'atomes différents.

Exercice :

- a) Quelles sont, parmi les molécules ci-dessous, celles dont le carbone tétragonal est asymétrique ?



- b) Dans la formule topologique ci-contre, ajouter un \* derrière le ou les atomes de carbone asymétrique.



### IV.2 L'énanthiométrie

Définition :

Une molécule chirale est une molécule qui ne peut se superposer à son image dans un miroir.

Une molécule possédant un seul carbone asymétrique est toujours chirale.

A noter :

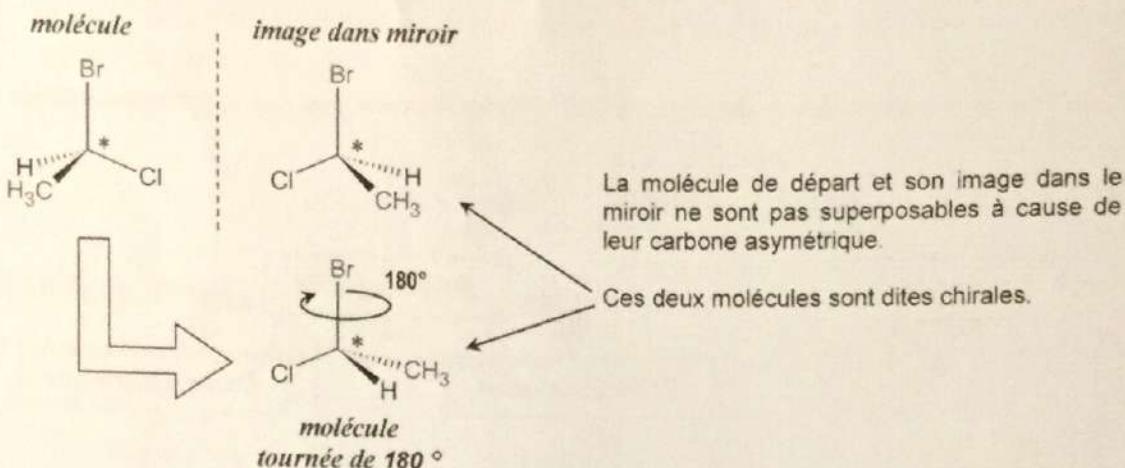
La chiralité (du grec *kheir* = main) est une forme d'asymétrie où deux objets se présentent sous deux formes qui sont l'image miroir l'une de l'autre.

De tels objets ne sont donc pas superposables.



↑ Figure 1 : Nos deux mains sont chirales

Exemple :



Toute molécule possédant un atome de carbone asymétrique peut donc exister sous deux configurations différentes, images l'une de l'autre dans un miroir. Une telle stéréoisométrie est appelée énantiométrie.

Définitions :

- Deux molécules chirales sont énantiomères.
- Un mélange contenant les deux énantiomères en proportions égales est appelé mélange racémique.

*Un peu d'histoire :*

En 1815, *Jean Baptiste Biot* observe qu'une solution fait tourner le plan de polarisation d'un faisceau de lumière polarisée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. En 1848, *Louis Pasteur* montre que cette activité optique de la solution est liée à la chiralité des molécules qui la composent.

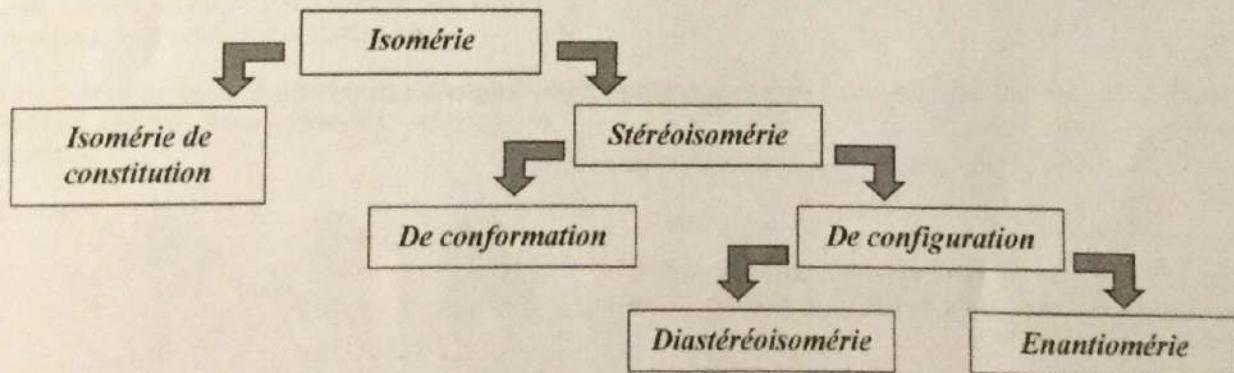
Une molécule chirale peut alors être lévogyre (notée L ou -) si elle a la propriété de dévier le plan de polarisation de la lumière polarisée vers la gauche. La molécule énantiomère qui lui est associée sera alors dextrogyre (D ou +) car elle dévierà le plan de polarisation vers la droite.

Le pouvoir rotatoire de ses deux composants s'annulant, un mélange racémique ne fait pas dévier le plan de polarisation de la lumière polarisée, il est donc optiquement inactif.

#### IV.3 Conclusion

Il existe deux types de stéréoisoméries de configuration :

- l'énanthiométrie (chiralité)
- la diastéréoisométrie : stéréoisométrie de configuration qui n'est pas une énantiométrie comme par exemple la stéréoisométrie Z/E

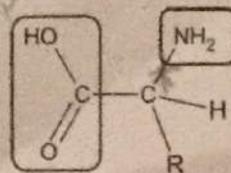


## V. Quelques exemples

### V.1 Les acides $\alpha$ -aminés

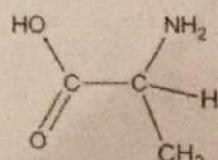
Les acides  $\alpha$ -aminés ont comme structure générale :  
(avec R un groupement d'atomes variable)

Exemples d'acides aminés :

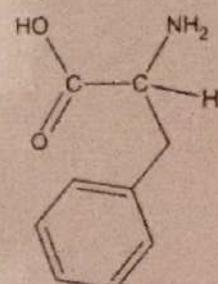
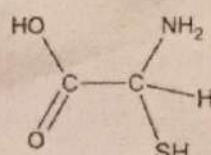


*phénylalanine*

*alanine*



*cystéine*



Les acides  $\alpha$ -aminés jouent un rôle fondamental en biochimie comme constituants élémentaires des protéines : ils polymérisent en formant des liaisons peptidiques qui aboutissent à de longues chaînes macromoléculaires appelées peptides.

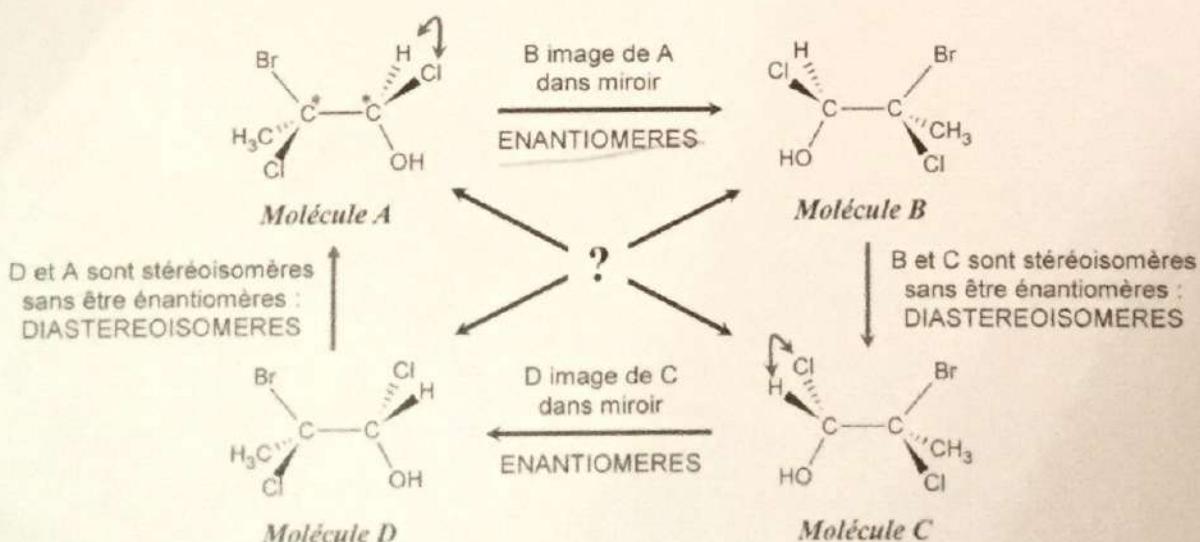
Questions :

- Dans la formule générale de l'acide  $\alpha$ -aminé, déterminer le carbone asymétrique.
- Nommer les deux groupements encadrés.
- Quel type d'isomérie présente un tel acide  $\alpha$ -aminé ?
- Si dans la formule générale on remplace le groupe R par un atome d'hydrogène, cette molécule présente-t-elle encore ce type de stéréoisométrie ? Justifier.
- Donner la formule topologique de la molécule d'alanine.
- Ecrire la molécule d'alanine à l'aide du modèle de CRAM et retrouver la molécule chirale qui lui est associée.

### V.2 Les composés à deux atomes de carbone asymétriques

Question :

Que sont A pour C et B pour D ?



## PARTIE II : COMPRENDRE

- Reconnaître les groupes caractéristiques dans les alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amine, amide.
- Utiliser le nom systématique d'une espèce chimique organique pour en déterminer les groupes caractéristiques et la chaîne carbonée.
- Distinguer une modification de chaîne d'une modification de groupe caractéristique.
- Déterminer la catégorie d'une réaction (substitution, addition, élimination) à partir de l'examen de la nature des réactifs et des produits.

### Chapitre 6

#### Chimie organique : aspect macroscopique

## I. Introduction

La chimie organique est l'étude des molécules organiques et de leurs transformations au cours de réactions chimiques. Cette étude peut être menée à l'échelle macroscopique (ch. 11) en observant les réactifs et les produits des réactions effectuées ou à l'échelle microscopique (ch. 12) en observant le détail des mécanismes permettant aux liaisons chimiques de se faire ou de se défaire.

Définition :

Un molécule est dite **organique** si elle possède au moins un atome de carbone lié, au moins, à un atome d'hydrogène.

H & C .

Remarques :

- Il existe donc une très grande diversité de composés organiques qui peuvent se rencontrer à l'état.. solide, liquide ou gazeux.
- Les molécules organiques jouent un rôle important dans les réactions chimiques se produisant dans les organismes vivants et sont au cœur de l'industrie humaine via notamment les produits dérivés du pétrole.

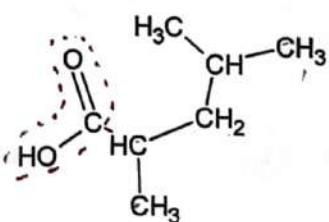
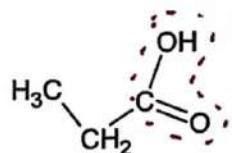
## II. Structure d'une molécule organique

### II.1 Groupes caractéristiques

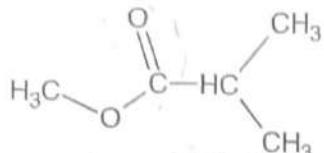
Les propriétés des composés organiques sont essentiellement dues à la présence des groupes caractéristiques qu'elles contiennent.

Ces groupes permettent de classer ces molécules en familles :

**Acide carboxylique :**



Ester :



Nom : ... éthanate de méthyl ...

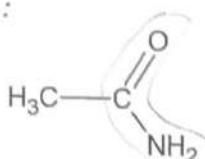
Formule brute : ... C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> ...



Nom : ... éthanate de méthyl ...

Formule brute : ... C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> ...

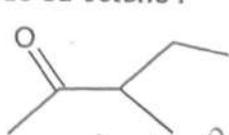
Amide :



Nom : ... éthanamide ...

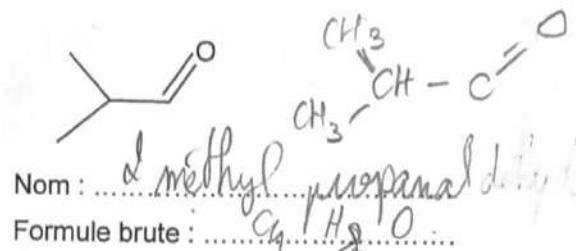
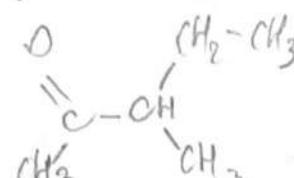
Formule brute : ... C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>ON ...

Aldéhyde ou cétone :



Nom : ... 3 méthyl pentan-2-one ...

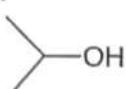
Formule brute : ... C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O ...



Nom : ... N-éthyl N-méthyl éthanamide ...

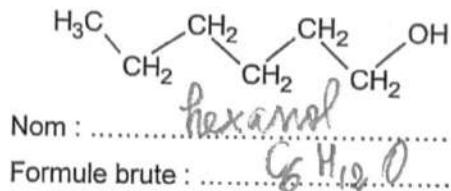
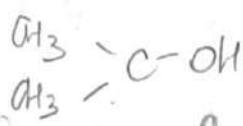
Formule brute : ... C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>NO ...

Alcool :



Nom : ... ethanol ...

Formule brute : ... C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O ...



Nom : ... hexanol ...

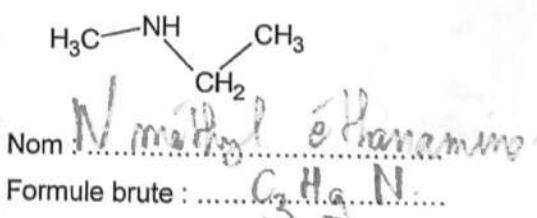
Formule brute : ... C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>O ...

Amine :



Nom : ... méthylamine ...

Formule brute : ... CH<sub>3</sub>N ...



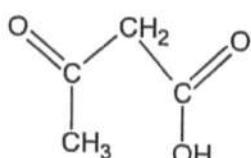
Nom : ... N-méthyl éthanamine ...

Formule brute : ... C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>N ...

## II.2 Préfixes .

Certaines molécules peuvent contenir plusieurs groupes fonctionnels. On définit alors un ordre de priorité de ces groupes pour nommer les molécules :

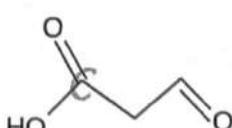
*exo*



Groupe principal : ... carboxyle ...

Groupe secondaire : ... carboxyle ...

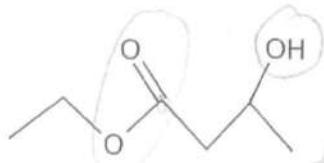
Nom : ... acide 3 oxo butanoïque ...



Groupe principal : ... carboxyle ...

Groupe secondaire : ... carboxyle ...

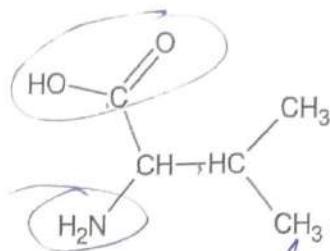
Nom : ... acide 3 oxypropanoïque ...



Groupe principal : ..... ester

Groupe secondaire : ..... alcool

Nom : ..... 3-hydroxybutanoate  
Conclusion : ..... d'éthyle.



Groupe principal : ..... carboxylique

Groupe secondaire : ..... amine

Nom : ..... acide 3-méthyl-2-amino butanoïque

- La fonction alcool en position secondaire donne le préfixe : hydroxy-
- La fonction carbonyle en position secondaire donne le préfixe : oxo-
- La fonction amine en position secondaire donne le préfixe : amino-

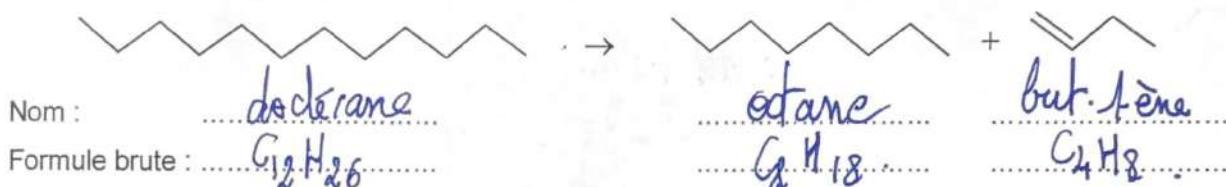


### III. Modification de la chaîne carbonée

#### III.1 Les craquages

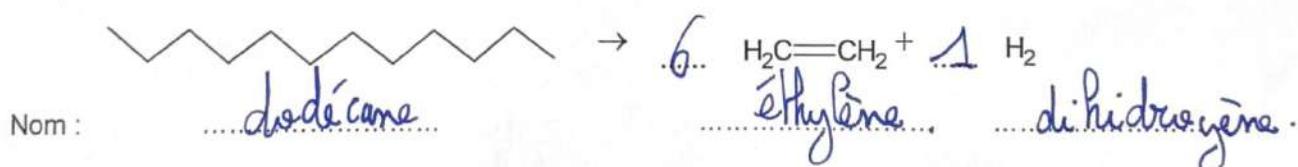
Le craquage catalytique permet, en chauffant ( $500^{\circ}\text{C}$ ) et en présence d'un catalyseur, de raccourcir une longue chaîne carbonée.

Exemple :



Le vapocraquage permet, en présence de vapeur d'eau et en chauffant plus fort ( $800^{\circ}\text{C}$ ), de favoriser la formation d'alcènes par craquage.

Exemple :



#### III.2 Le reformage

Le reformage est réalisé à haute température et à pression élevée en présence d'un catalyseur. Cette réaction modifie la chaîne carbonée de la molécule sans la craquer.

- Isomérisation



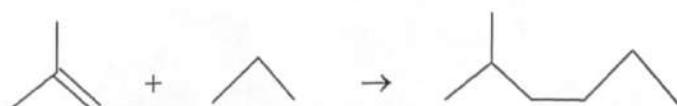
- Cyclisation



#### III.2 Allongement de chaîne

A l'inverse du craquage on peut allonger une chaîne carbonée par alkylation ou par polymérisation :

- Alkylation



- Polymérisation



#### IV. Modification du groupe fonctionnel

: 3 catégories possibles :

##### IV.1 Réaction de substitution

Définition :

Une substitution est une réaction au cours de laquelle un atome ou un groupe d'atomes est remplacé par un autre atome ou groupe d'atomes.

Exemple :

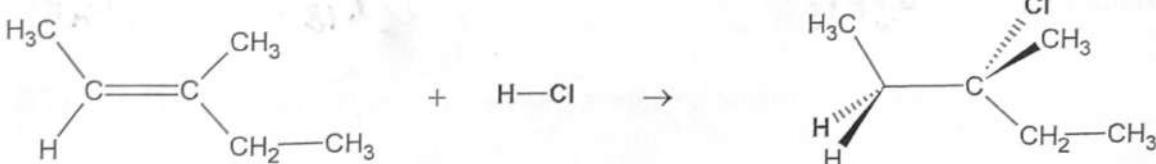


##### IV.2 Réaction d'addition

Définition :

Une addition est un ajout d'atomes ou de groupes d'atomes sur une molécule possédant au moins une liaison multiple (molécule insaturée) *surtout pour les insat*

Exemple :

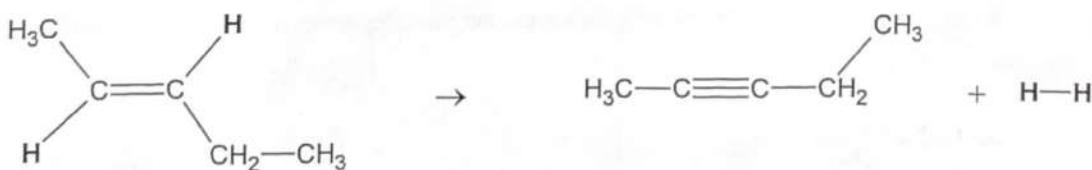
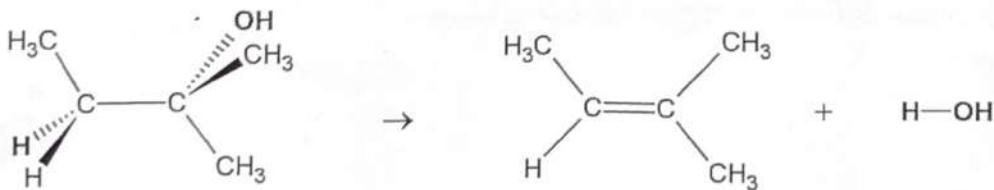


##### IV.3 Réaction d'élimination

Définition :

Une élimination est un retrait d'atomes ou de groupes d'atomes sur une molécule conduisant à la formation d'une liaison double ou triple.

Exemples :



## THEME II : COMPRENDRE

- Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules.
- Évaluer des ordres de grandeurs relatifs aux domaines microscopique et macroscopique.
- Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques.
- Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.
- Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique.
- Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces.
- Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.

### Chapitre 18 (Nathan p363)

#### Transferts thermiques d'énergie

## I. Du microscopique au macroscopique

### 1.1 Microscopie

Les microscopes classiques (optiques) permettent d'accéder à des dimensions très petites : on peut ainsi observer des êtres vivants dont la taille est de l'ordre de quelques dixièmes de micromètres. Mais si l'on veut aller au-delà, on est confronté à un problème : la diffraction des ondes lumineuses ne permet plus d'obtenir une image nette. L'objet observé au microscope doit avoir une dimension supérieure à la longueur d'onde de la lumière permettant l'observation (la limite est donc de quelques centaines de nanomètres).

D'autres types de microscopes permettent néanmoins d'accéder à des dimensions plus petites (Fig. 1).

Les microscopes qui permettent actuellement d'explorer au plus loin la matière sont les microscopes dits « en champ proche », comme le microscope à effet tunnel (1981). Ce dernier est constitué d'une pointe très fine de quelques atomes placée très près de l'échantillon à analyser (quelques dixièmes de nanomètres). L'échantillon est obligatoirement conducteur. Un très faible courant électrique, fonction de la distance entre l'échantillon et la pointe, traverse cette dernière.

On fait défiler latéralement l'échantillon sous la pointe. Afin de maintenir la valeur du courant, il faut sans arrêt ajuster la position de la pointe pour qu'elle se trouve toujours à la même distance de l'échantillon. On mesure précisément la position de la pointe à chaque instant. Grâce à un ordinateur qui traite ces données, on peut alors dessiner le relief de l'échantillon (Fig. 2).

Le microscope à force atomique reprend à peu près le même principe, sauf qu'il ne nécessite pas que l'échantillon soit un conducteur électrique : il utilise le fait qu'à ces distances, les atomes exercent des interactions d'attraction et de répulsion. En maintenant toujours la pointe à la même distance, on maintient constantes ces interactions.

Questions :

1. Rappeler le domaine des longueurs d'onde du visible.
2. En déduire la limite de résolution des microscopes optiques.
3. Donner les deux noms des microscopes en champ proche cités dans le texte.

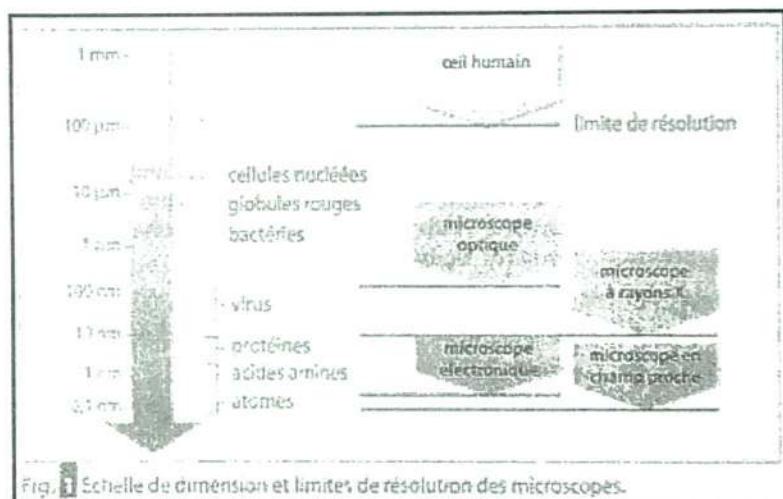


Fig. 1 Schelle de dimension et limites de résolution des microscopes.

↑ Figure 1

↓ Figure 2

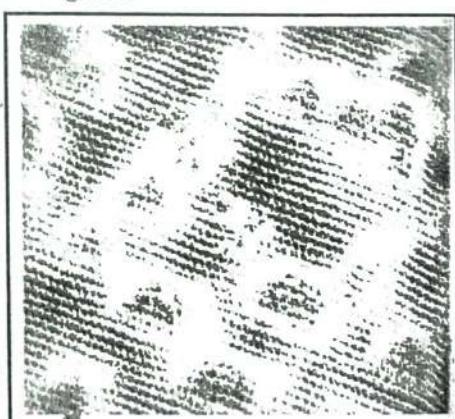


Fig. 2 Image obtenue par microscope à effet tunnel. Les couleurs permettent de représenter le relief. Chaque petite « bosse » est un atome.

Non, regardons l'ordinateur : on me dit X d'abord ?  
 figure donc :  $S = \pi R^2 \rightarrow R$ .

4. Leur mode de fonctionnement est-il comparable à celui d'un microscope « classique » ? Justifier.
5. D'après la figure 1, quel est le rapport de grandeur entre les dimensions accessibles à l'œil humain et celles accessibles à un microscope en champ proche ?
6. Les microscopes en champ proche permettent-ils de « voir » au sens propre les atomes ?
7. Quelle est la surface, en  $m^2$ , de l'image sur la figure 3 ?
8. Quel est l'ordre de grandeur du nombre d'atomes de tungstène par  $m^2$  ?
9. Quel est l'ordre de grandeur du rayon d'un atome de tungstène ?

100 atomes  $2,10^{-18}$   
 $\sqrt{100} \rightarrow 25 \cdot 10^{-18} \text{ m} \rightarrow 25,10^{-19} \text{ m}^2/\text{m}^2$

### 1.2 Ordres de grandeur

L'ordre de grandeur d'un nombre est ..... place de 10 + puissance de 10.

Exemples :

- Ordre de grandeur d'un bus de 8,3 m de long : 10 m
- Ordre de grandeur de la Terre (12 800 km) :  $10^7$  m

### 1.3 Du microscopique au macroscopique

La matière est constituée d'un nombre trop grand d'entités (atomes, molécules, ions) pour que l'on puisse appliquer les lois de la physique classique à l'échelle microscopique. On est donc obligé de décrire le comportement collectif d'un grand nombre d'entités à l'aide de grandeurs physiques MACROSCOPIQUES, mesurables à l'échelle humaine, telles que la pression, le volume ou la température.

La constante d'Avogadro (notée  $N_A$ ) permet de faire le lien entre le MICROSCOPIQUE et le MACROSCOPIQUE. La mole est une unité de quantité de matière qui contient autant d'entités qu'il y a d'atomes dans 12 g de carbone 12, soit  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  atomes par mole (d'où l'unité en  $\text{mol}^{-1}$ ).

Un système macroscopique est une portion d'espace limitée par une surface, contenant un grand nombre d'entités assimilées à des points matériels.

## II. Energie d'un système macroscopique

L'énergie totale  $E_{TOT}$  d'un système physique (par exemple une pomme) se décompose en :

- Energies microscopiques ( $U$ )
  - Les énergies cinétiques des particules composant le système qui sont en mouvement du fait de leur agitation thermique liée à la température.  $E_C$
  - Les énergies potentielles d'interaction entre atomes, ions, molécules...  $E_P$
- Energies macroscopiques ( $E_m$ )  $E_m$ 
  - L'énergie cinétique du système s'il est en mouvement (la pomme tombe par exemple)
  - Les énergies potentielles (de pesanteur, électrique, élastique)  $E_{pot}$

Définition : L'ENERGIE INTERNE notée  $U$  d'un système est la grandeur .....  $m \cdot a \cdot s \cdot a \cdot p \cdot q$  ..... définie comme la somme des énergies cinétiques et potentielles MICROSCOPIQUES des entités constitutants le système.

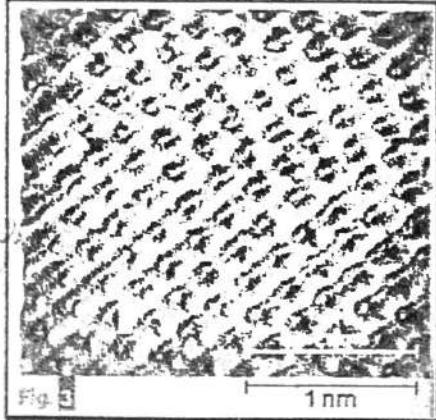


Figure 3 : Surface d'un morceau de tungstène

Ainsi, l'énergie totale d'un système physique est égale à :

$$E_{\text{tot}} = E_m + U$$

$E_m$  ou énergie mécanique en J  
 $U$  ou énergie interne en J

A noter :

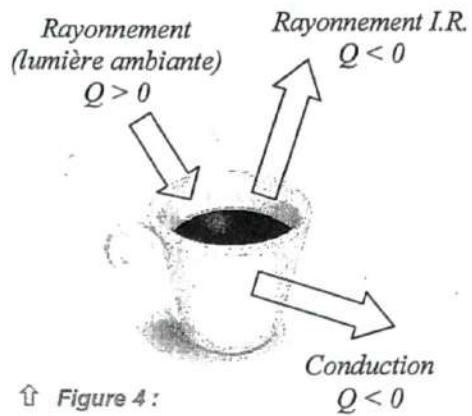
- On ne mesure que la variation  $\Delta U$  de l'énergie interne, entre un état initial et un état final.
- Cette variation est la conséquence d'échanges d'énergie du système avec l'extérieur, sous forme de travail  $W$  ou par transfert thermique  $Q$ .
- Dans le cas où le système étudié n'interagit pas avec son environnement (système isolé), son énergie interne reste constante :  $\Delta U = 0 \text{ J}$
- Par convention,  $W$  et  $Q$  sont positifs..... s'ils sont reçus par le système et ..... negatifs..... s'ils sont cédés par le système.

Questions :

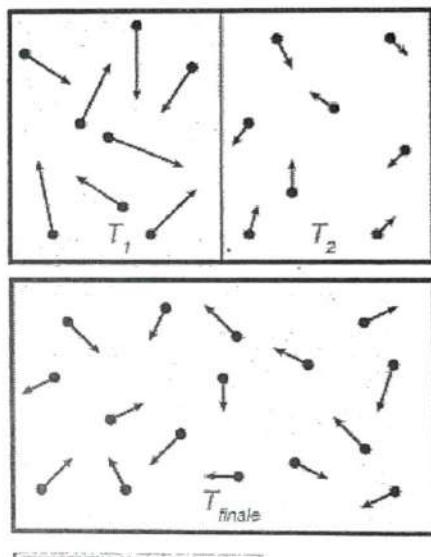
On dispose de deux enceintes immobiles posées à terre contenant chacune un gaz, l'un à la température  $T_1$ , l'autre à la température  $T_2$ .

Ces deux enceintes n'en forment qu'une en retirant la paroi centrale (figure 5)

- Que représentent les flèches partant des particules formant ces gaz ?
- Quel type d'énergie interne est représenté ainsi ? Thermique
- D'après la figure 5, quelle est, de  $T_1$  ou de  $T_2$ , la température la plus élevée ? Justifier.
- Quelle est, de ces deux enceintes, celle qui possède l'énergie totale la plus grande ? Justifier.  $T_1$ .
- Que peut-on dire de la température finale  $T_{\text{finale}}$  observée après le retrait de la paroi ?  $T_2 < T_{\text{finale}} < T_1$
- Proposer une explication, d'un point de vue microscopique, à cette dernière observation. Onglets + place à l'air.



↑ Figure 4 :  
Echange énergétique d'un café



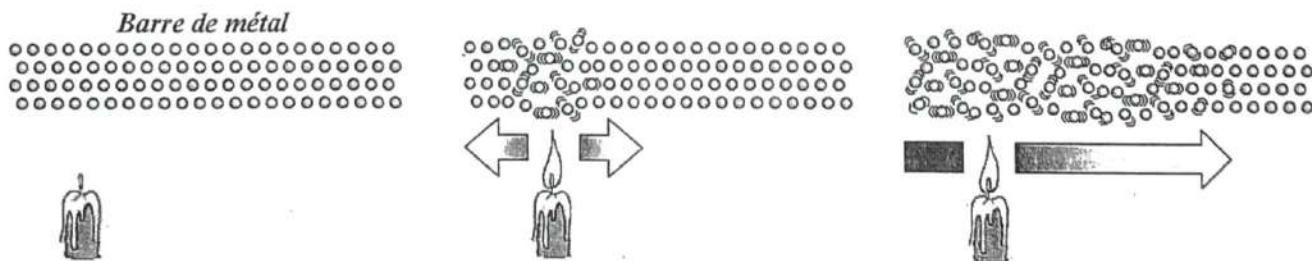
↑ Figure 5

### III. Transferts thermiques

#### III.1 Modes de transfert thermique

Il existe trois différentes possibilités pour un système d'échanger de l'énergie avec l'extérieur par transfert thermique :

##### 1. La CONDUCTION



↑ Figure 6 : La conduction thermique

L'agitation des atomes est diffusée à partir de la partie chauffée du métal.

## 2. La CONVECTION

La convection (Figure 7) est un transfert porté par un mouvement de matière. Elle ne se produit que dans des fluides (fluide = tout ce qui n'est pas solide).

Le fluide chauffé, et donc dilaté, s'élève à la verticale de la source de chaleur entraînant un appel de fluide à la base de la source chaude.

Le fluide est ainsi brassé.

Contrairement à la conduction, il y a un Deplacement de matière.

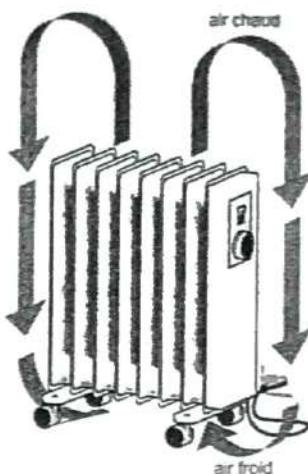
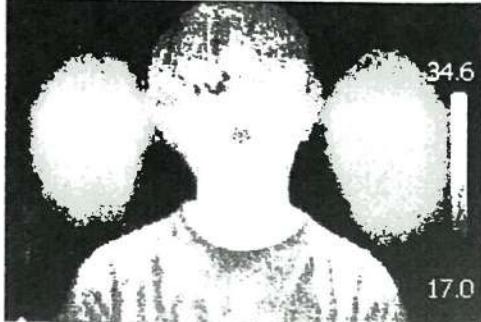


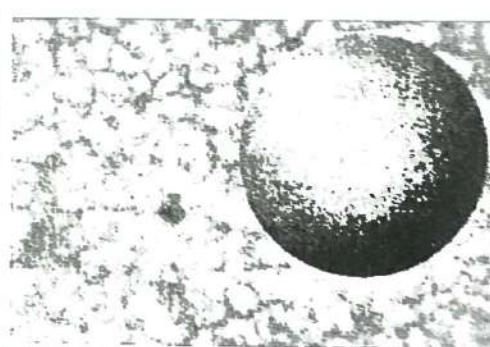
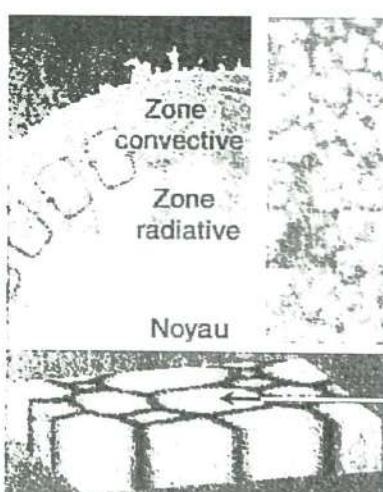
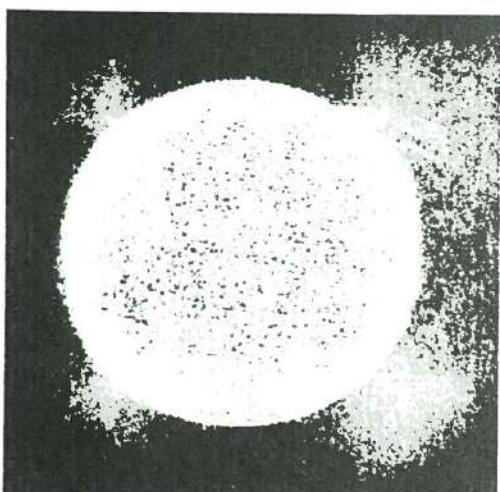
Figure 7 ⇒

Mouvement de convection

↓ Figure 8 : Rayonnement I.P.



## Exemples de transferts thermiques



⇒ Figure 9 : Granules solaires

Questions :

- Quels sont les modes de transfert thermique permettant à l'énergie du cœur d'une étoile d'arriver à sa photosphère ?
- Quelle est l'origine des granules observés à la surface du Soleil ?
- Comment expliquer que la bordure des ces granules soit moins lumineuse que son cœur ?

### III.2 Energie interne et température

On considère un système solide ou liquide qui n'échange de l'énergie que par transfert thermique sans changer d'état physique.

Lorsqu'un corps de masse  $m$ , liquide ou solide, passe d'une température initiale  $T_I$  à une température finale  $T_F$ , sa variation d'énergie interne  $\Delta U$  a pour expression :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot (T_F - T_I)$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T}$$

$\Delta U$  en J

$\Delta T$  en kelvins (K) ou °C

$m$  en kg

$c$  en  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$  ou en  $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

C

La grandeur  $c$  est appelée « capacité thermique massique » du solide ou du liquide en question.  
Elle représente l'énergie qu'il faut fournir pour augmenter de 1 K la température d'un kilogramme de ce solide ou liquide.

Exemples de capacités thermiques :

Matériaux	Eau	Cuivre	Ethanol	Brique	Verre	Aluminium
$c (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$	4180	385	2430	840	720	897

Questions :

- Quelle énergie faut-il fournir à 1,0 kg d'eau pour éléver sa température de 2,0°C ?  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 1 \cdot 4180 \cdot 2 = 8360 \text{ J}$
- Calculer la variation d'énergie interne de 150 L d'eau chauffés de 15°C à 65°C.  $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T = 150 \cdot 4180 \cdot 50 = 31,6 \times 10^6 \text{ J}$
- Calculer la température finale d'un morceau de cuivre de 500 g à 312 K recevant une énergie de 10 000 J.  $\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} = \frac{10000}{0,5 \cdot 385} = 52,6 \text{ K} \rightarrow T_f = T_i + \Delta T = 312 + 52 = 364 \text{ K}$

### III.3 Flux et résistance thermique

Définition :

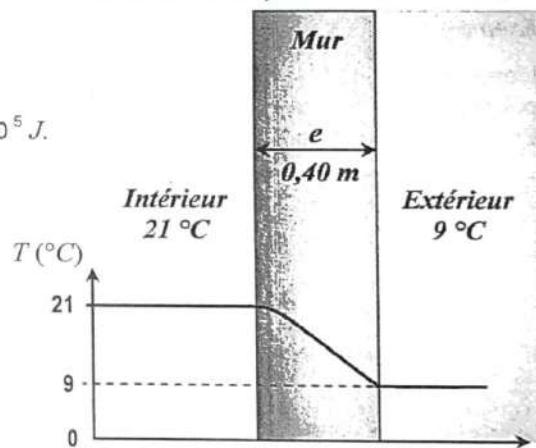
Le flux thermique  $\Phi$  à travers une surface est la puissance thermique qui la traverse. Ce flux évalue la rapidité du transfert thermique  $Q$  pendant une durée  $\Delta t$ . Il va spontanément de la source chaude vers la source froide et est IRREVERSIBLE :

$$\boxed{\Phi = \frac{Q}{\Delta t}}$$

$\Phi$  en watts (W)  $\rightarrow J \cdot s^{-1}$   
 $\Delta t$  en s  
 $Q$  en J

Figure 10 :

Gradient de température dans un mur.



Exemple :

Le mur de la figure 10 laisse passer en une heure une énergie de  $1,73 \cdot 10^5 \text{ J}$ .  
Le flux thermique correspondant est :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{1,73 \cdot 10^5}{3600} = 48,1 \text{ W}$$

La résistance thermique d'un corps traduit sa capacité à s'opposer au transfert thermique.

Définition :

Pour une paroi plane dont les deux faces sont à la température  $T_1$  et  $T_2$  avec  $T_1 > T_2$ , traversée par un flux thermique  $\Phi$ , la résistance thermique  $R$  est définie par :

$$\boxed{R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\Phi}}$$

$\Phi$  en watts (W)  
 $T$  en K ou °C  
 $R_{th}$  en  $K \cdot W^{-1}$

Pour une paroi plane, la résistance dépend de :

- son épaisseur  $e$
- sa surface  $S$
- sa constitution caractérisée par une conductivité thermique notée  $\lambda$

Ainsi, la résistance thermique  $R$  est aussi définie par :

$$\boxed{R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}}$$

$e$  en m  
 $S$  en  $m^2$   
 $\lambda$  en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$   
 $R_{th}$  en  $K \cdot W^{-1}$

A noter :

Lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique équivalente est égale à la somme des résistances thermiques.

Matériaux	$\lambda$ ( $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ )
Air	0,026
Polystyrène	0,036
Bois	0,16
Béton	0,92
Verre	1,2
Acier	46
Aluminium	250
Cuivre	390

Exemples de conductivités

Questions :

- Retrouver la dimension de la conductivité thermique.
- Déterminer l'expression de la conductivité thermique en fonction de  $\Phi$ ,  $e$ ,  $S$ ,  $T_1$  et  $T_2$ .
- En déduire la nature de la matière composant le mur de la figure 10 de surface  $10 \text{ m}^2$ .
- Déterminer la nouvelle résistance thermique de ce mur si l'on y accolé  $10 \text{ cm}$  de polystyrène.
- En déduire la nouvelle valeur  $\Phi'$  du flux thermique de ce mur isolé. Conclure.

### III. Bilans énergétiques

Pour établir un bilan énergétique, on doit :

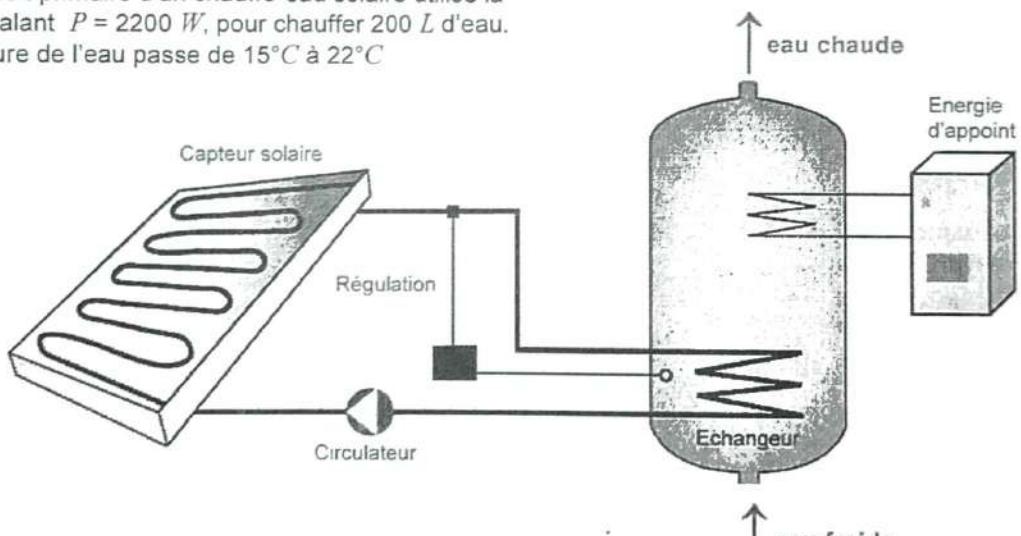
- Définir le système macroscopique étudié.
- Déterminer la nature des transferts énergétiques (travail  $W$  ou chaleur  $Q$ ) entre le système et l'extérieur.
- Déterminer le sens de ces transferts : l'énergie reçue par le système est comptée positivement, et celle cédée, négativement.
- Représenter ces transferts par une chaîne énergétique et conclure sur l'efficacité de la transformation en déterminant généralement un rendement (en %) noté  $\eta$  (éta) :

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie reçue}}$$

Exemple :

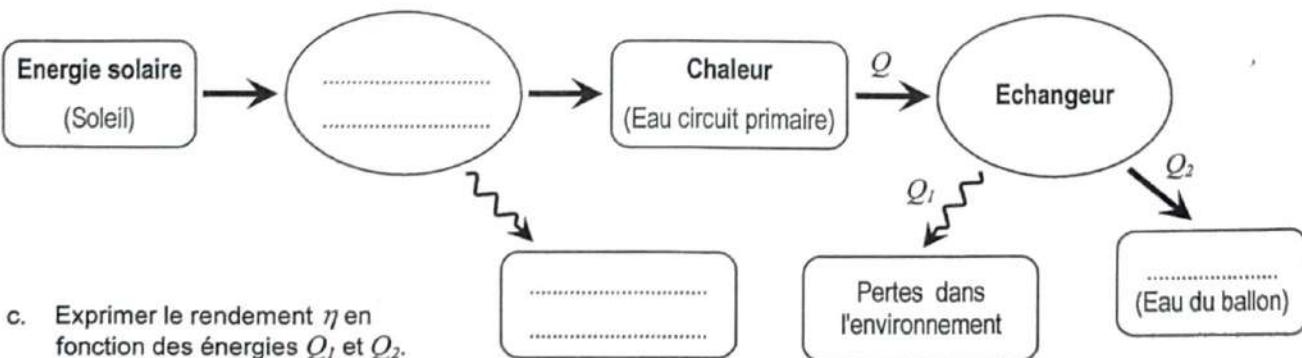
L'eau circulant dans le circuit primaire d'un chauffe-eau solaire utilise la puissance solaire reçue, valant  $P = 2200 \text{ W}$ , pour chauffer  $200 \text{ L}$  d'eau. En une heure la température de l'eau passe de  $15^\circ\text{C}$  à  $22^\circ\text{C}$

Figure 11 Chauffe-eau



Questions :

- Déterminer le rendement de ce chauffe-eau sachant que  $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- On considère le système {eau du circuit primaire}. Compléter le diagramme énergétique suivant :



- Exprimer le rendement  $\eta$  en fonction des énergies  $Q_1$  et  $Q_2$ .

## TRANSFERTS QUANTIQUES D'ENERGIE

### Transferts quantiques d'énergie

Émission et absorption quantiques.  
Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse.  
Oscillateur optique : principe du laser.

Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.

### I- Absorption et émission quantiques(Rappel de 1ère)

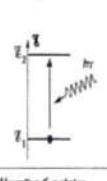
Exercice p 393 n° 9

#### 1° Quantification des niveaux d'énergie

Un atome ne peut exister que dans des états finis, chaque état étant caractérisé par un niveau d'énergie.

L'énergie d'un atome est donc quantifiée.

#### 2° Absorption d'énergie

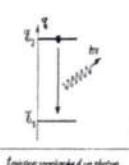


Lorsqu'un photon d'énergie  $E = h\nu$  frappe un atome, il peut être absorbé.

L'atome passe alors d'un niveau d'énergie  $E_1$  à un niveau d'énergie supérieur  $E_2$ .

Ce changement de niveau s'appelle une transition et est symbolisé par une flèche montante.

#### 3° Émission spontanée



Un photon est émis lorsque l'atome se désexcite, c'est à dire qu'il passe d'un niveau d'énergie  $E_2$  à un niveau d'énergie  $E_1$  ( $E_1 < E_2$ ).

Ce photon émis à une direction aléatoire.

#### 4° Types de transitions d'énergie et domaines spectraux.

##### A/ Transitions d'énergie électroniques

En faisant transiter un électron d'un niveau vers un autre niveau d'énergie, l'atome gagne ou cède de l'énergie.

Pour atteindre les électrons de l'atome, il faut fournir des photons d'énergie suffisante de l'ordre de 1 eV. Cela correspond au domaine visible ou UV.

Connaitre le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromatique, concentration spatiale et temporelle de l'énergie).  
Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information.

Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.

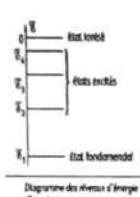
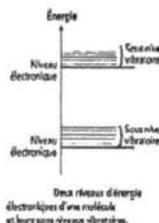


Diagramme des niveaux d'énergie d'un atome.

### B/ Transitions d'énergies vibratoires

Les molécules ont la possibilité d'emmagerer de l'énergie sous forme vibratoire.

Aux différentes configurations vibratoires de la molécule, on associe des niveaux d'énergie vibratoires.



Lors d'une transition d'énergie vibratoire, la molécule passe d'une configuration vibratoire à une autre. Ces transitions d'énergie sont énergétiques que les transitions électroniques.

L'énergie vibrationnelle varie de  $10^{-3}$  à  $10^{-1}$  eV

Cela correspond au domaine IR

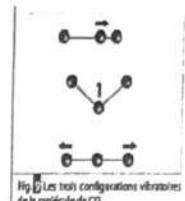


Fig 10 Les trois configurations vibratoires de la molécule de CO<sub>2</sub>

Bilan:

Énergie du photon absorbé	Domaine spectral	Nature de la transition mise en jeu	Analyse spectrale correspondante
1,5 eV - 10 eV	VISIBLE, ULTRAVIOLET	Transition entre niveaux d'énergie électronique	Spectroscopie UV-visible
0,003 eV - 1 eV	INFRAROUGE	Transition entre niveaux d'énergie vibratoire	Spectroscopie IR

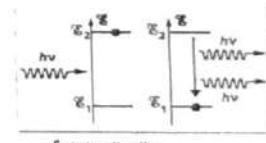
n° 8 p 393

### II- Émission stimulée et amplification de l'onde lumineuse

#### 1° Émission stimulée

Un photon peut interagir avec un atome déjà excité.

Le photon incident n'est pas alors absorbé mais il induit la désexcitation de l'atome qui revient à son état fondamental en émettant un photon identique au photon incident : c'est l'émission stimulée.



#### 2° Concurrence entre émission spontanée et émission stimulée.

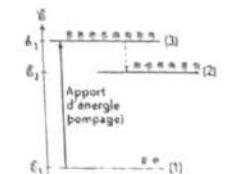
Dans une population d'atomes, il y a beaucoup plus d'atomes à l'état fondamental que d'atomes excités. L'émission stimulée est donc un phénomène rare : il n'a été observé qu'en 1928 alors qu'Einstein l'avait prévu en 1917.

#### 3° Inversion de population

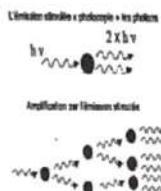
Pour augmenter le nombre d'émissions stimulées, il faut qu'il y ait plus d'atomes dans un état excité que dans l'état fondamental.

C'est l'inversion de population qui se fait grâce à un apport d'énergie.

Cet apport nommé pompage peut se faire par décharge électrique, par faisceaux lumineux....



Répartition des atomes (représentés symboliquement par des sphères) dans les niveaux d'énergie avec inversion de population.



#### 4<sup>e</sup> Amplification de l'onde lumineuse

Le milieu traversé par l'onde, appelé milieu actif, va amplifier le nombre de photons.

Fig.2 Amplification de photons (les points noirs représentent les atomes actifs).

### III- Application au laser

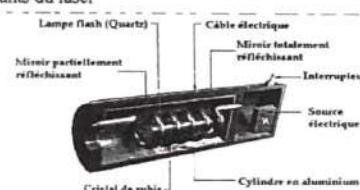
#### L A S E R

##### 1<sup>e</sup> Généralités

- Le mot laser est un acronyme anglais de « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ».

- la lumière du laser n'est donc pas produite par émission spontanée comme la plupart des sources de lumière mais par émission stimulée.

##### 2<sup>e</sup> Les différents composants du laser



##### 2<sup>e</sup> Principe du laser.

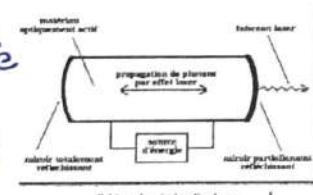
1<sup>ère</sup> étape : Par la lampe flash, on effectue le pompage optique → obtention de l'milieu po : le cristal de rubis devient un milieu actif

2<sup>ème</sup> étape : le milieu actif se trouve entre deux miroirs, l'un totalement réfléchissant, l'autre semi-réfléchissant : c'est la cavité résonante

→ aller-retour des photons dans la cavité

→ la multiplication des passages permet d'augmenter le nombre de photons identiques produits par émission stimulée. C'est l'amplification à laser

Les ondes réfléchies par les miroirs interfèrent.



$$2L = k\lambda.$$

Soit L la longueur de la cavité, les interférences seront constructives si

3<sup>ème</sup> étape : une partie de la lumière passe au travers du miroir semi-réfléchissant et un faisceau d'intensité lumineuse importante est alors générée.

Au plus l'onde est amplifiée, au plus l'énergie rayonnée par le laser augmente.

(Rq : si on a deux miroirs totalement réfléchissants → destruction du laser.)

Si par contre pompage insuffisant ou miroir trop peu réfléchissant → arrêt de l'effet laser dans la cavité)

Quand l'énergie fournie par le pompage compense l'énergie perdue par l'émission : le laser constitue un cycle spéci entretenu.

*Amplif. f.*

##### III- Propriétés du laser

###### 1<sup>e</sup> Monochromatricité :

Tous les photons émis par le laser sont en phase donc monochromatique → Un laser émet un faisceau lumineux

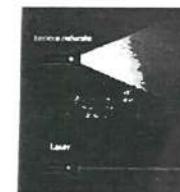
Rappel : la lumière laser n'est pas dispersée par un prisme : son spectre ne comporte qu'une seule raie.

###### 2<sup>e</sup> Directivité

La lumière laser se propage dans une direction privilégiée : elle est dite directive

NB : On peut déterminer l'angle de divergence  $2\theta$  :

$$2\theta \tan \theta = \frac{10^{-1}}{10^2} \\ = 10^{-3} \text{ rad.}$$



p393 n° 5

###### 3<sup>e</sup> Concentration spatiale et temporelle de l'énergie

La directivité du faisceau implique la concentration spatiale de l'énergie sur une petite surface → utilisation de laser ayant une forte concentration spatiale en médecine qui permet l'utilisation en bistouri.

Le laser peut fournir son énergie de façon continue ou de façon pulsée. Dans ce dernier cas, plus l'impulsion est brève, plus le laser délivre une puissance instantanée importante : c'est la concentration temporelle de l'énergie.

La puissance du laser permet de quantifier cette concentration spatiale et temporelle de l'énergie et de donner un ordre de grandeur des photons émis par second

## Schématiser l'effet laser

1,79 eV | 1,60 eV - 1,79 eV | 1,60 eV - 1,79 eV

► Faire un schéma.  
► Calculer.

### Énoncé

En 1960, T. MAIMAN met au point le premier laser, un laser à rubis, c'est-à-dire à oxyde d'aluminium contenant des ions chrome (III)  $\text{Cr}^{3+}$ . Son principe de fonctionnement est illustré à l'aide d'un diagramme énergétique à trois niveaux. Par pompage optique, la majorité des ions  $\text{Cr}^{3+}$  initialement à l'état fondamental  $\epsilon_1$ , sont excités vers le niveau d'énergie  $\epsilon_3$ . Une transition rapide vers le niveau de moindre énergie  $\epsilon_2$  a alors lieu spontanément. Les ions  $\text{Cr}^{3+}$  s'accumulent dans cet état énergétique. Enfin, un photon stimule la transition de cet état excité vers l'état fondamental, 1,79 eV plus bas.

1. Représenter le diagramme énergétique des ions  $\text{Cr}^{3+}$  et y faire apparaître les transitions citées dans le texte.
2. Compléter le diagramme de manière à illustrer l'inversion de population des ions  $\text{Cr}^{3+}$  que l'on pourra représenter par de petites sphères.
3. Quelle est la longueur d'onde dans le vide des photons émis par le laser à rubis ? Dans quel domaine du spectre électromagnétique se situe-t-elle ?
4. Un laser de ce type, de puissance 20 kW, émet des impulsions brèves de durée  $\Delta t = 0,5 \text{ ms}$ . Calculer l'énergie  $E_e$  émise lors d'une impulsion.

Données :  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ ;  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ;  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



Le physicien américain  
T. MAIMAN (1927-2007)  
est l'inventeur du laser  
à rubis.

### Conseils

- 1. L'état fondamental est le plus bas en énergie, les états excités correspondent à des niveaux d'énergie plus élevés. Identifier si les transitions décrites correspondent à une absorption ou à une émission.
- 2. Repérer les niveaux d'énergie concernés pour appliquer la définition d'une inversion de population.
- 3. Exprimer l'énergie du photon en joule pour calculer la longueur d'onde  $\lambda$  en mètre.
- 4. Il faut identifier les trois grandeurs citées dans la question et se souvenir de la relation qui les lie.

### Solution rédigée

1. Avec les notations de l'énoncé, on peut construire le diagramme a ci-contre. L'émission stimulée correspond à la transition depuis le niveau d'énergie 2 vers le niveau d'énergie 1 représentée en rouge ci-contre.
2. L'inversion de population se traduit par un niveau d'énergie  $\epsilon_2$  plus peuplé que le niveau d'énergie  $\epsilon_1$ . On complète le diagramme précédent et on obtient le diagramme b ci-contre.
3. L'énergie  $E$  du photon émis est égale à l'écart entre les énergies des deux niveaux concernés par la transition :

$$E = \epsilon_2 - \epsilon_1 = h \cdot v = h \cdot \frac{c}{\lambda}, \quad \text{d'où } \lambda = \frac{h \cdot c}{\epsilon_2 - \epsilon_1}.$$

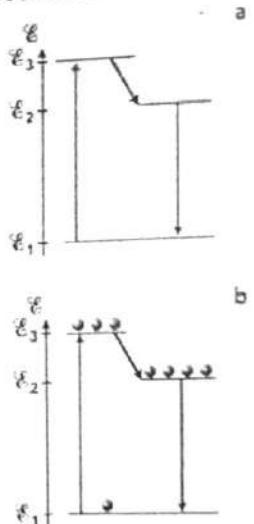
$$\text{Donc } \lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{1,79 \times 1,60 \times 10^{-19}} = 6,95 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

Cette longueur d'onde égale à 695 nm correspond à des ondes du domaine du visible (rouge).

4. La relation entre puissance, énergie et durée de fonctionnement s'écrit :

$$P_e = E_e \cdot \Delta t$$

$$E_e = 20 \times 10^3 \times 0,5 \times 10^{-3} = 10 \text{ J.}$$



## DUALITE ONDE-PARTICULE

### Dualité onde-particule

Photon et onde lumineuse.

Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.

Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.

Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.

Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule.

Connaître et utiliser la relation  $p = h/\lambda$ .

Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.

Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.

### I- Photon et onde lumineuse

#### 1° Etude documentaire:

### Ondes ou particules ? Les physiciens n'y voient pas clair au début du xx<sup>e</sup> siècle

La nature ondulatoire ou particulaire de la lumière est une préoccupation centrale de la physique du début du xx<sup>e</sup> siècle.  
Comment décrire la lumière ?

#### Du particulier à l'ondulatoire

Après de nombreuses théories au sujet de la lumière, le Britannique Isaac NEWTON (1642-1727) impose son modèle de la lumière au XVII<sup>e</sup> siècle. Pour lui, il s'agit d'un jet de particules qui diffèrent suivant la couleur de la lumière. On parle de « modèle particulier ». Cependant, ce modèle ne permet pas d'expliquer les phénomènes d'interférences (voir chapitre 3). Pour les interpréter, le modèle ondulatoire est élaboré au XIX<sup>e</sup> siècle à la suite des travaux du Britannique Thomas YOUNG (1773-1829) et du Français Augustin FRESNEL (1788-1827). Très vite, ce modèle prédomine pour atteindre son apogée en 1864 avec les travaux de l'Écossais James MAXWELL (1831-1879).

Pourtant, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la découverte de l'effet photoélectrique, par l'Allemand Heinrich HERTZ (1857-1894), ne peut s'expliquer par le caractère ondulatoire de la lumière.

#### L'effet photoélectrique

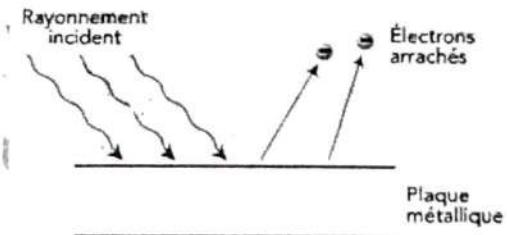
Lorsqu'un métal est éclairé par un rayonnement ultraviolet (doc. 1), des électrons sont arrachés de sa surface.

En revanche, si on utilise un rayonnement de plus grande longueur d'onde, donc de moins grande énergie, les électrons ne sont pas arrachés, même avec une durée d'exposition plus longue.

#### De l'ondulatoire au particulier

Cette dernière observation va avoir de grandes conséquences sur la modélisation de la lumière. D'après le modèle ondulatoire, l'énergie transférée par rayonnement au système dépend de la durée d'exposition. Ainsi, une exposition prolongée du métal à un rayonnement devrait permettre d'accumuler suffisamment d'énergie pour arracher un électron quelle que soit la longueur d'onde du rayonnement. Le modèle ondulatoire ne permet donc pas d'expliquer l'effet photoélectrique.

En 1905, pour expliquer cet effet, ALBERT EINSTEIN (1879-1955) postule qu'un rayonnement est constitué de particules transportant des quanta d'énergie. En 1926, l'Américain Gilbert LEWIS (1875-1946) les nomme « photons ». Lors de l'effet photoélectrique, pour qu'un électron soit arraché, il faut que l'énergie du photon incident soit suffisante. Si ce n'est pas le cas, l'électron n'est pas arraché, quel que soit le nombre de photons incidents.



Doc. 1 Schématisation de l'effet photoélectrique.

#### La dualité onde-particule

Actuellement, suite aux travaux du Français Louis DE BROGLIE (1892-1987) en 1923, la lumière, et plus généralement les ondes électromagnétiques, sont décrites comme des flux de photons. Un photon se comporte soit comme une onde, soit comme une particule, suivant le contexte expérimental considéré. On parle de dualité onde-particule. Un photon n'est ni une onde ni une particule. C'est un objet quantique.

En 1921, A. EINSTEIN reçoit le prix Nobel de Physique pour ses travaux sur l'effet photoélectrique.

En 1929, L. DE BROGLIE le reçoit pour sa découverte de la nature ondulatoire des électrons.

La modélisation de la lumière a évolué au cours du temps. Représenter sur une frise, les différentes contributions à cette modélisation.

## THEME 2 : COMPRENDRE

### PARTIE III: Énergie, matière et rayonnement

#### Activité documentaire : L'énigme fondamentale

**Objectifs :** - Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule.

L'expérience des fentes d'Young a prouvé que la lumière se propage comme une onde, mais les expérimentations du début du XX<sup>e</sup> siècle ont montré qu'elle est aussi constituée de particules : les photons.

#### Un modèle probabiliste

Comment expliquer les résultats de l'expérience des fentes faite d'Young en termes de particules ? L'un des modèles qui nous permet de nous faire comprendre ces phénomènes repose sur les ondes de probabilité.

Si on considère des photons, et que les fentes sont extrêmement petites, on obtient alors une figure de diffraction. Tout se passe comme si une onde était associée à chaque photon. Les ondes issues des photons interagissent et forment une figure de diffraction. On peut interpréter ce schéma comme étant probabiliste dans la mesure où les photons ont plus de chance d'atterrir aux endroits où les ondes interfèrent pour produire des pics, que là où elles s'annulent mutuellement. Reste qu'il n'existe aucun moyen de savoir à l'avance où un photon va atterrir.

Le phénomène est déjà très surprenant avec des photons; il l'est encore davantage avec des électrons.

#### Ondes et particules

Il devint de plus en plus évident que la lumière, considérée jusqu'alors comme une onde, est à la fois onde et particule. Au début des années vingt, le physicien français Louis de Broglie suggéra que les électrons étaient bien des particules mais aussi des ondes. Il avança même que tout objet possédait ce caractère dual, mais que le caractère ondulatoire associé aux «objets» du quotidien ne se manifestait pas, vu la très grande masse de ces objets.

S'inspirant des travaux d'Einstein, de Broglie établit une équation qui reliait les propriétés ondulatoire et corpusculaire de la lumière, en stipulant que le produit de la longueur d'onde  $\lambda$  associée à un photon, multiplié par sa quantité de mouvement  $p$  (produit de la masse  $m$  par la vitesse  $v$ ) était égal à la constante de Planck  $h$ . De Broglie découvrit l'universalité de cette équation, à savoir que toute particule, dotée d'une masse  $m$  et d'une vitesse  $v$ , a nécessairement une longueur d'onde  $\lambda$ , calculable grâce à cette équation. Einstein adhéra avec enthousiasme à l'hypothèse de Louis de Broglie, et les années vingt virent fleurir les expériences de mesure des longueurs d'onde des électrons. Celles-ci démontrèrent que tout, dans l'Univers, est à la fois onde et particule.

Néanmoins, du fait de la valeur extrêmement faible de la constante de Planck, cet univers reste limité au monde de l'infiniment petit. Puisque l'équation de Louis de Broglie dit que la longueur d'onde  $\lambda$  d'un objet est égale à la constante de Planck  $h$  divisé par la quantité de mouvement  $p$ , cette longueur d'onde n'est détectable que pour les masses infiniment petites. Il se trouve que la masse de l'électron vaut  $9,1 \times 10^{-31}$  kilogramme, la chose est donc faisable.

Extrait de : La physique quantique - John GRIBBIN  
PEARSON EDUCATION