

Masse d'un noyau d'hélium $m = 6,70 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

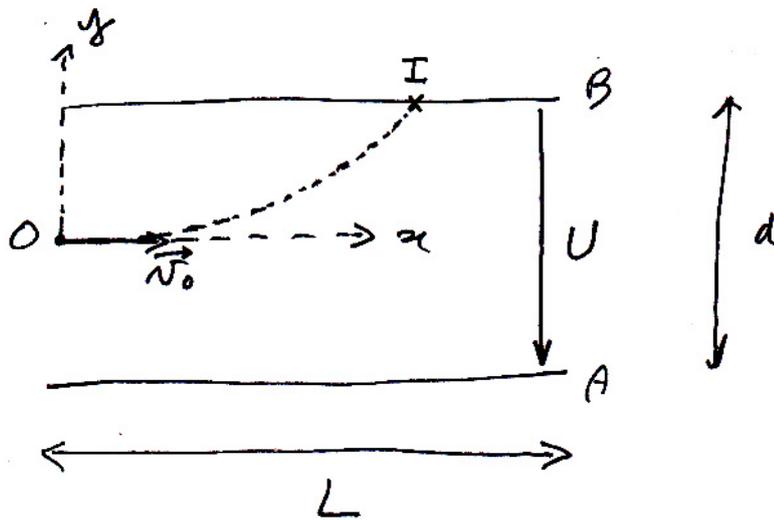
Célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

I – Un faisceau de noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ est dirigé horizontalement vers une zone dans laquelle règne un champ électrique uniforme \vec{E} créé entre deux plaques A et B métalliques :

- Les deux plaques sont horizontales et parallèles.
- Les deux plaques sont distantes de $d = 10 \text{ cm}$.
- Une tension $U = V_A - V_B = 5000 \text{ V}$ est maintenue entre les deux plaques.
- Les deux plaques ont toutes deux une longueur $L = 50 \text{ cm}$.
- Le faisceau entre dans cette zone au point O, situé à mi-distance de chaque plaque avec une vitesse horizontale de valeur $v_0 = 2 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.

L'espace est repéré à l'aide du repère (O, \vec{i}, \vec{j}) . Le mouvement est observé dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Schéma :

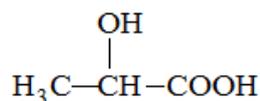


- 1) Expliquer pourquoi la charge électrique d'un noyau d'hélium est $q = +2e$.
- 2) Justifier sans calcul que la trajectoire des noyaux d'hélium va subir une déviation vers le haut (vers la plaque B).
- 3) Démontrer que lorsque les noyaux d'hélium viennent frapper la plaque B (point I) :
 - a. Il se trouvent à l'abscisse $x = 41 \text{ cm}$
 - b. Ils ont la vitesse $v = 2,06 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.
- 4) Juste avant de frapper la plaque B, les noyaux d'hélium sont donc en mouvement à la vitesse $v = 2,06 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. Que vaut la longueur d'onde de l'onde que l'on peut associer à ces particules en mouvement ?
- 5) A l'impact sur la plaque B, les noyaux s'immobilisent et toute leur énergie cinétique est absorbée par les atomes du métal constituant la plaque. Cette énergie est ensuite restituée intégralement (approximation) par ces mêmes atomes sous la forme de l'émission d'un rayonnement électromagnétique.
 - a. Considérant que ces phénomènes d'absorption et d'émission d'énergies sont indissociables d'un modèle quantique (en niveaux d'énergie) de la matière, schématiser les deux situations (absorption d'énergie et émission de photon).
 - b. Que vaut la longueur d'onde des photons émis ? Y a-t-il un risque pour une personne qui observerait le phénomène d'assez près et de manière prolongée ?

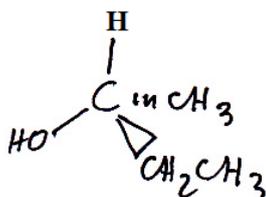
II – Un ester chiral

1) L'acide lactique

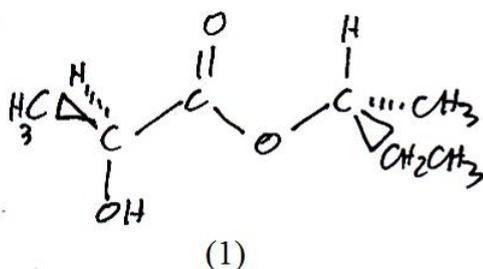
Considérons la molécule d'acide lactique dont la formule semi-développée plane (qui ne prend pas en compte les angles entre liaisons) est :



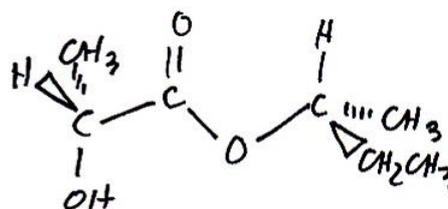
- Quel est le nom de l'acide lactique en nomenclature officielle ?
 - Qu'est-ce qu'une molécule chirale ?
 - Pourquoi l'acide lactique est-il chiral ?
 - Représenter les deux énantiomères de l'acide lactique.
- 2) Un mélange 50/50 des deux énantiomères de l'acide lactique est proposé et on envisage la séparation de ces deux stéréoisomères.
- Pourquoi cette séparation va-t-elle être difficile ?
 - On envisage la séparation l'issue de la réaction de tout lactique du mélange avec l'isomère du butan-2-ol suivant :



On réalise ainsi une estérification et on obtient deux stéréoisomères, notés (1) et (2), de l'ester :



(1)



(2)

Quelle relation de stéréoisomérisation relie ces deux molécules ?

- Expliquer pourquoi la séparation de ces deux esters est maintenant facilement envisageable.
- 3) On réalise ensuite l'hydrolyse en milieu acide de l'ester (1). Le mécanisme de cette réaction se déroule en plusieurs étapes (l'ester est noté $R_1\text{COOR}'_1$):
- Fixation d'un H^+ (catalyseur acide) sur l'oxygène du groupe ester qui permet la formation d'un intermédiaire que l'on peut écrire sous deux formes.
 - Accrochage d'une molécule d'eau.
 - Prototropie
 - Décrochage d'une molécule d'alcool
 - Restitution du catalyseur et obtention de l'acide lactique sous une forme énantiomère unique.

Toutes ces étapes sont présentées en annexe 1 (à rendre), mais de façon incomplète (parfois il manque les flèches courbes, parfois la formule du produit n'est pas donnée).

Complétez le document : flèche(s) courbe(s) pour les étapes (1), (1'), (2), (3), (4) et (5). Formule de X, formule développée de Cram de l'acide lactique obtenu.

- 4) A l'issue de cette hydrolyse, nous récupérons deux liquides incolores (le butan-2-ol et l'acide lactique) dans deux flacons sans étiquette, mais nous avons été étourdis et nous ne sommes plus certains du contenu de chaque flacon !

Nous allons identifier nos deux produits par des techniques spectroscopiques : IR et RMN.

Le liquide du flacon A donne les spectres A1 (IR) et A2 (RMN)

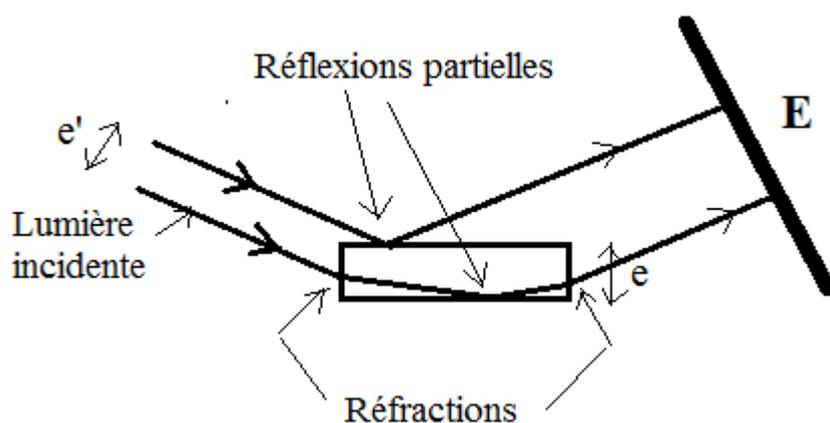
Le liquide du flacon B donne les spectres B1 (IR) et B2 (RMN)

Tous ces spectres sont fournis en annexe 2.

- Quel flacon contient le butan-2-ol ?
- Interpréter en détail le spectre B2.

III – Des interférences ? *cet exercice peut être traité en 10 min sans problème*

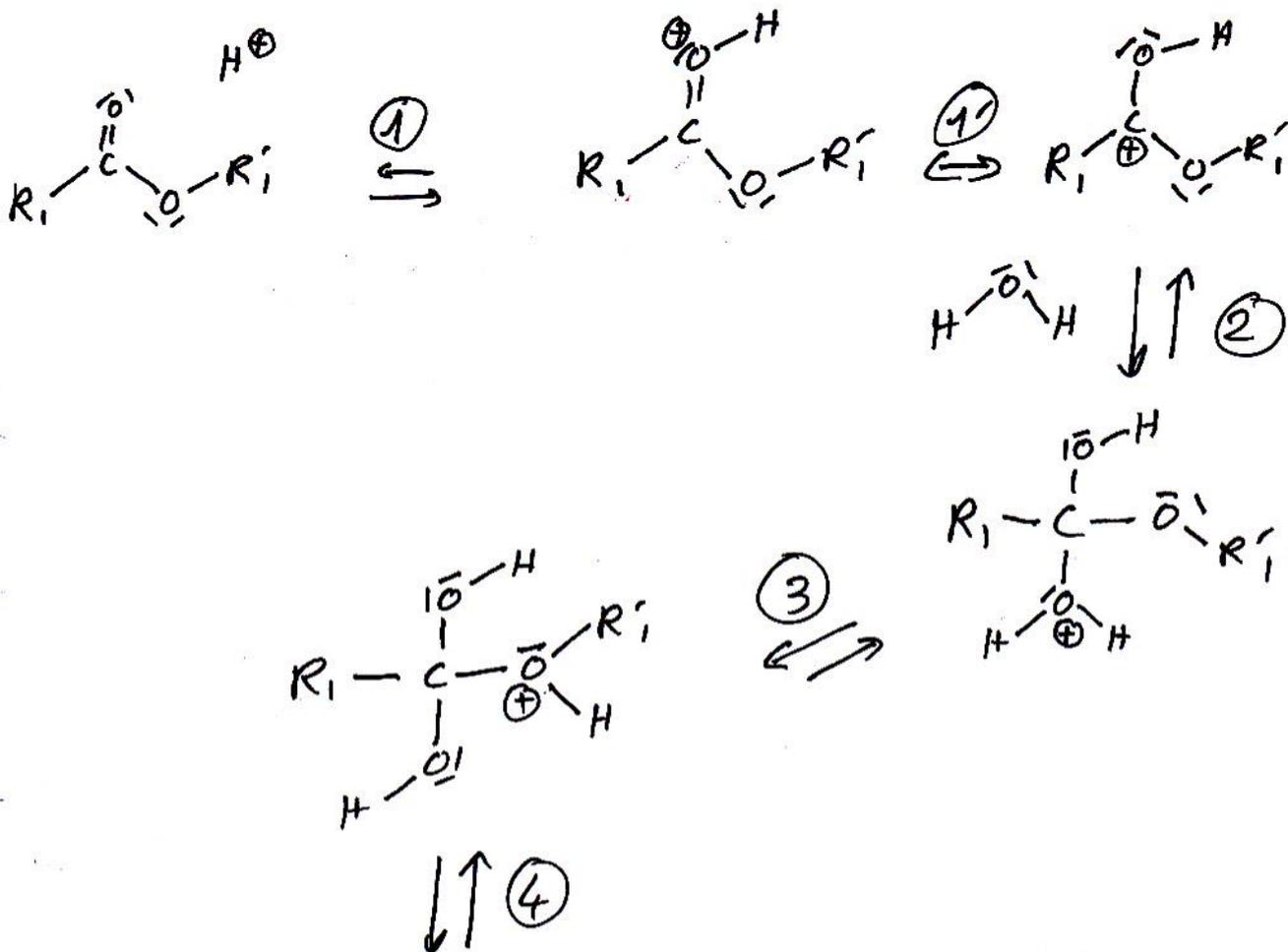
Un faisceau laser d'épaisseur e' vient frapper une lame de verre d'épaisseur e selon une incidence assez rasante comme indiqué sur le schéma ci-dessous. On récupère la lumière émergente sur l'écran E (La lumière qui peut émerger dans d'autres directions n'est pas représentée).



Observe-t-on on des interférences sur l'écran ?

- On pensera à détailler la nature de la lumière laser ainsi que son origine (comment elle est créée).
- On expliquera la présence (ou l'absence) d'interférences sur l'écran E

Annexe 1 mécanisme de l'hydrolyse de l'ester à compléter (1)



$$\downarrow \uparrow \textcircled{5}$$

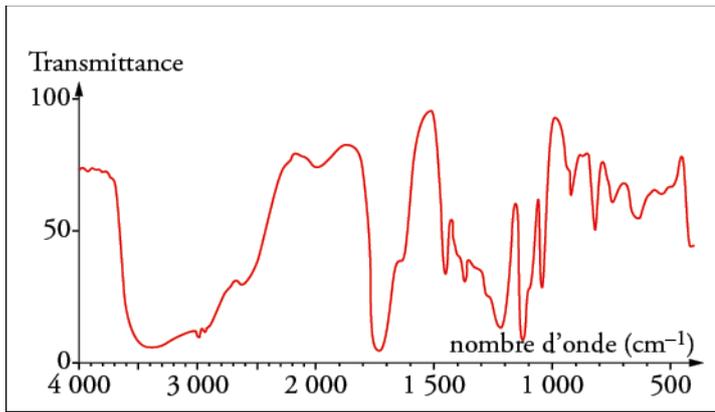
 acide lactique + H⁺

 (développer R₁)

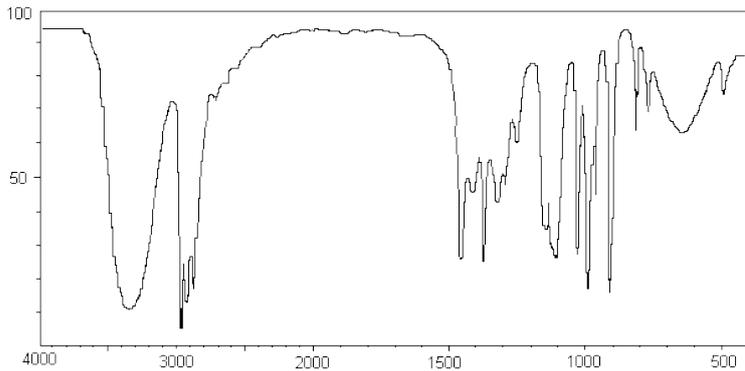
 en Gram

Annexe 2 spectroscopies

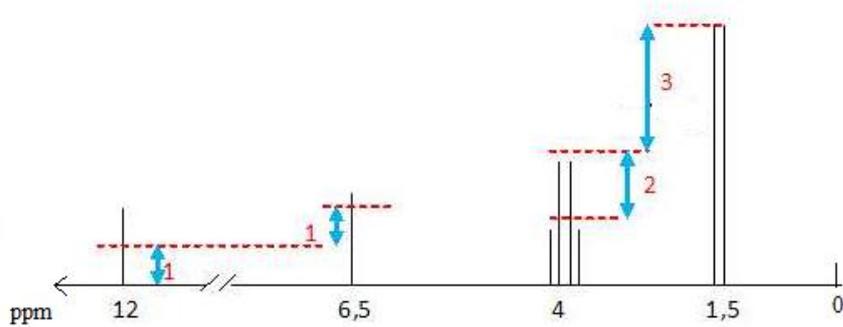
Spectre A1 :



Spectre B1 :

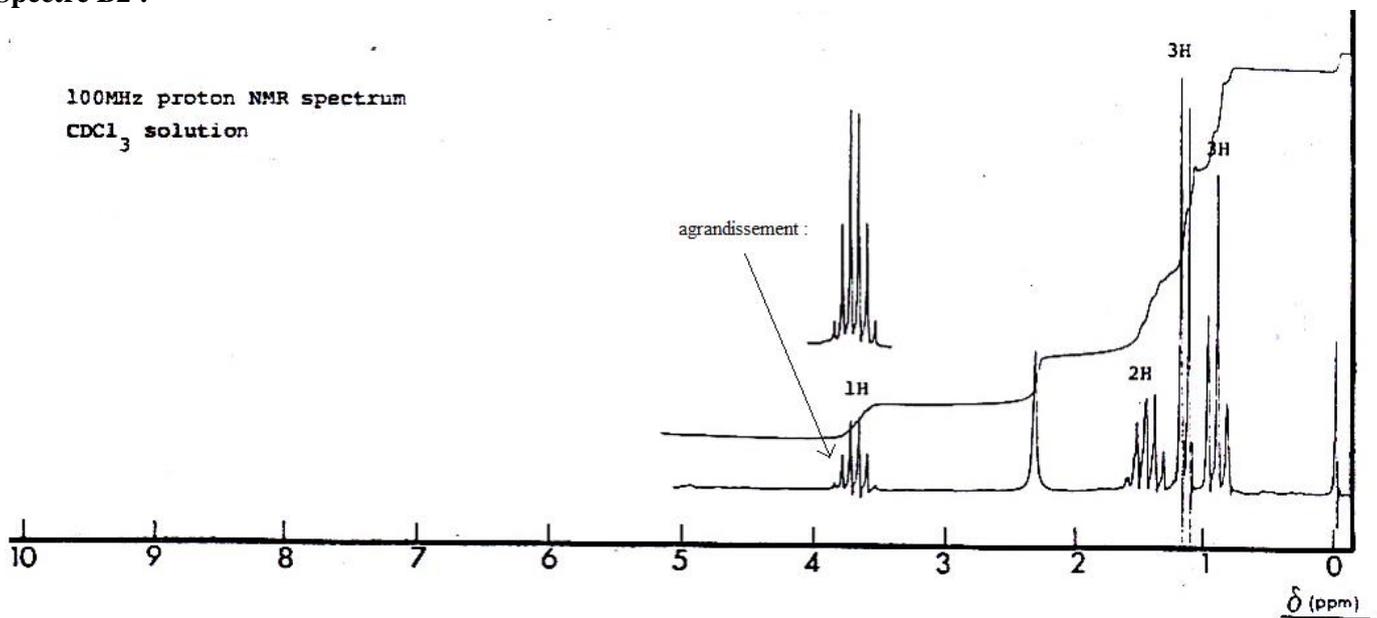


Spectre A2 :



Spectre B2 :

100MHz proton NMR spectrum
CDCl₃ solution



Version corrigée

Masse d'un noyau d'hélium $m = 6,70 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

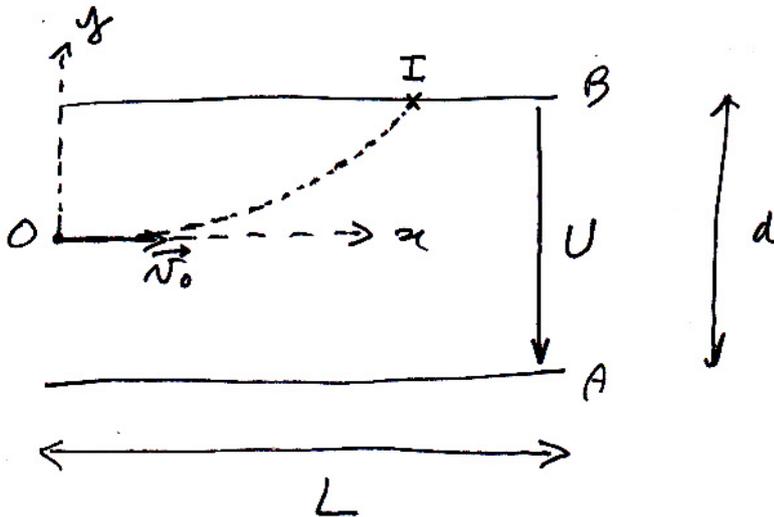
Célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

I – Un faisceau de noyaux d'hélium ${}^4_2\text{He}$ est dirigé horizontalement vers une zone dans laquelle règne un champ électrique uniforme \vec{E} créé entre deux plaques A et B métalliques :

- Les deux plaques sont horizontales et parallèles.
- Les deux plaques sont distantes de $d = 10 \text{ cm}$.
- Une tension $U = V_A - V_B = 5000 \text{ V}$ est maintenue entre les deux plaques.
- Les deux plaques ont toutes deux une longueur $L = 50 \text{ cm}$.
- Le faisceau entre dans cette zone au point O, situé à mi-distance de chaque plaque avec une vitesse horizontale de valeur $v_0 = 2 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.

L'espace est repéré à l'aide du repère (O, \vec{i}, \vec{j}) . Le mouvement est observé dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Schéma :



6) Expliquer pourquoi la charge électrique d'un noyau d'hélium est $q = +2e$.

Le symbole donné (${}^4_2\text{He}$) est bien celui d'un noyau et doit être connu et maîtrisé. Le 2 signifie 2 protons dans le noyau et le 4 signifie 4 nucléons en tout (soit 2 neutrons en plus des 2 protons déjà cités). La charge est donc celle de 2 protons : $q = 2 \times (+e) = +2e$

7) Justifier sans calcul que la trajectoire des noyaux d'hélium va subir une déviation vers le haut (vers la plaque B).

La différence de potentiel $V_A - V_B$ étant positive, le champ électrique \vec{E} , uniforme vertical qui règne entre ces deux plaques, dirigé dans le sens des potentiels décroissants, est donc vertical et vers le haut.

La force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$ est elle aussi verticale et vers le haut ($q > 0$). Les particules positives seront bien déviées vers la plaque B.

8) Démontrer que lorsque les noyaux d'hélium viennent frapper la plaque B (point I) :

a. Il se trouvent à l'abscisse $x = 41 \text{ cm}$

b. Ils ont la vitesse $v = 2,06 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.

Nous sommes en pleine mécanique de Newton.

Dans le repère proposé, les coordonnées vectorielles sont :

- $F_x = 0$ et $F_y = 2eE$ pour la force

- $x_0 = 0$ et $y_0 = 0$ pour la position initiale (à $t = 0$)

- $v_{0x} = v_0$ et $v_{0y} = 0$ pour la vitesse initiale (à $t = 0$)

Dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen, nous appliquons la deuxième loi de Newton sous sa forme : « somme des forces exercées = masse \times accélération »

Cette relation vectorielle peut être présentée sous la forme de relations entre coordonnées :

$ma_x = F_x = 0$ et $ma_y = F_y = 2eE$

Soit $a_x = 0$ et $a_y = \frac{2eE}{m} = \frac{2eU}{md}$

On réalise une première série de primitives pour obtenir les coordonnées du vecteur vitesse (les constantes d'intégrations sont déterminées grâce aux conditions initiales) :

$v_x = v_0$ et $v_y = \frac{2eU}{md} t$

puis :

$x = v_0 t$ et $y = \frac{eU}{md} t^2$

On peut en déduire (mais ce n'est pas obligé) l'équation de la trajectoire : $y = \frac{eU}{mdv_0^2} x^2$

Lorsque la plaque B est atteinte, $y = y_B = d/2 = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$

On calcule la date t correspondante : $t_B = \sqrt{\frac{y_B md}{eU}} = 2,05 \times 10^{-7} \text{ s}$

D'où $x_B = v_0 t_B = 0,41 \text{ m}$ (41 cm)

v_B , valeur (norme) de la vitesse d'arrivée sur la plaque B : $v_B = \sqrt{v_{Bx}^2 + v_{By}^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{2eU}{md} t_B\right)^2} = 2,06 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$

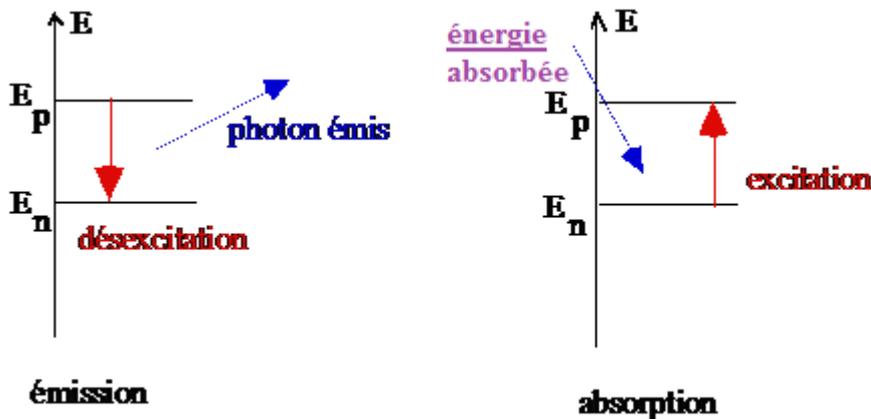
- 9) Juste avant de frapper la plaque B, les noyaux d'hélium sont donc en mouvement à la vitesse $v = 2,06 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. Que vaut la longueur d'onde de l'onde que l'on peut associer à ces particules en mouvement ?

Formule du cours par cœur : $\lambda = \frac{h}{mv} = 4,8 \times 10^{-14} \text{ m}$

- 10) A l'impact sur la plaque B, les noyaux s'immobilisent et toute leur énergie cinétique est absorbée par les atomes du métal constituant la plaque. Cette énergie est ensuite restituée intégralement (approximation) par ces mêmes atomes sous la forme de l'émission d'un rayonnement électromagnétique.

- a. Considérant que ces phénomènes d'absorption et d'émission d'énergies sont indissociables d'un modèle quantique (en niveaux d'énergie) de la matière, schématiser les deux situations (absorption d'énergie et émission de photon).

On reprend les schémas du cours mais un mini-piège rodait dans la question : dans le cas de l'absorption, ce n'est pas un photon qui apporte l'énergie nécessaire...



- b. Que vaut la longueur d'onde des photons émis ? Y a-t-il un risque pour une personne qui observerait le phénomène d'assez près et de manière prolongée ?

L'énergie (cinétique) absorbée vaut $\frac{1}{2} mv^2 = 1,42 \times 10^{-14} \text{ J}$

Elle est convertie en énergie électromagnétique $h\nu$,

ce qui correspond à la fréquence $\nu = \frac{1,42 \times 10^{-14}}{6,63 \times 10^{-34}} = 2,1 \times 10^{19} \text{ Hz}$,

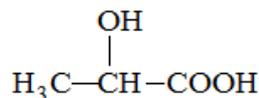
Soit une longueur d'onde $\lambda = c / \nu = 1,4 \times 10^{-11} \text{ m}$.

Cela correspond à des rayons X : danger en cas d'exposition prolongée.

II – Un ester chiral

5) L'acide lactique

Considérons la molécule d'acide lactique dont la formule semi-développée plane (qui ne prend pas en compte les angles entre liaisons) est :



e. Quel est le nom de l'acide lactique en nomenclature officielle ?

Acide 2-hydroxypropanoïque

f. Qu'est-ce qu'une molécule chirale ?

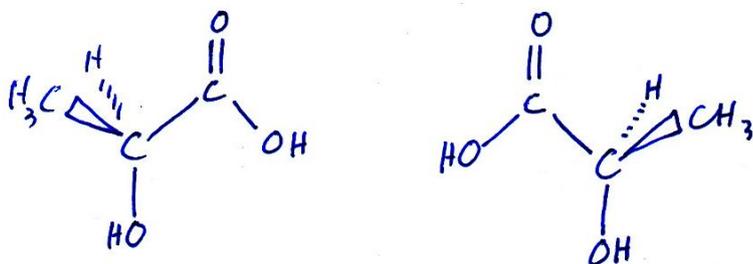
C'est une molécule telle que son image dans un miroir ne lui est pas superposable, c'est-à-dire que son image constitue une molécule différente.

Les deux stéréoisomères d'une molécule chirale, images l'un de l'autre dans un miroir, sont dits énantiomères.

g. Pourquoi l'acide lactique est-il chiral ?

Parce qu'il contient un carbone asymétrique (carbone dont les 4 simples liaisons partent vers 4 atomes ou groupes d'atomes différents) : le C n° 2.

h. Représenter les deux énantiomères de l'acide lactique.

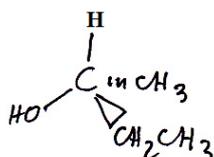


6) Un mélange 50/50 des deux énantiomères de l'acide lactique est proposé et on envisage la séparation de ces deux stéréoisomères.

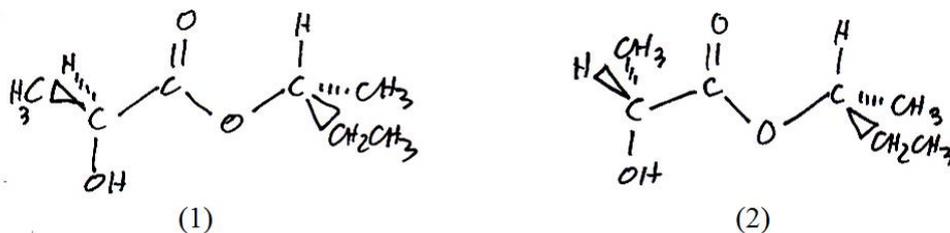
a. Pourquoi cette séparation va-t-elle être difficile ?

Parce que deux énantiomères ont des propriétés physiques et chimiques identiques. Rien (ou presque) ne permet donc de les différencier et, par suite, de les séparer.

b. On envisage la séparation l'issue de la réaction de tout lactique du mélange avec l'isomère du butan-2-ol suivant :



On réalise ainsi une estérification et on obtient deux stéréoisomères, notés (1) et (2), de l'ester :



Quelle relation de stéréoisomérisme relie ces deux molécules ?

Ce sont des diastéréoisomères : ces deux molécules ne sont pas identiques mais elles ne sont pas non plus images l'une de l'autre.

c. Expliquer pourquoi la séparation de ces deux esters est maintenant facilement envisageable.

Les propriétés physiques (températures de changement d'état, solubilités, ...) et chimiques (valeur de pK_A, ...) de deux diastéréoisomères peuvent être clairement différentes, ce qui va permettre la mise en œuvre de protocoles simples permettant leur séparation.

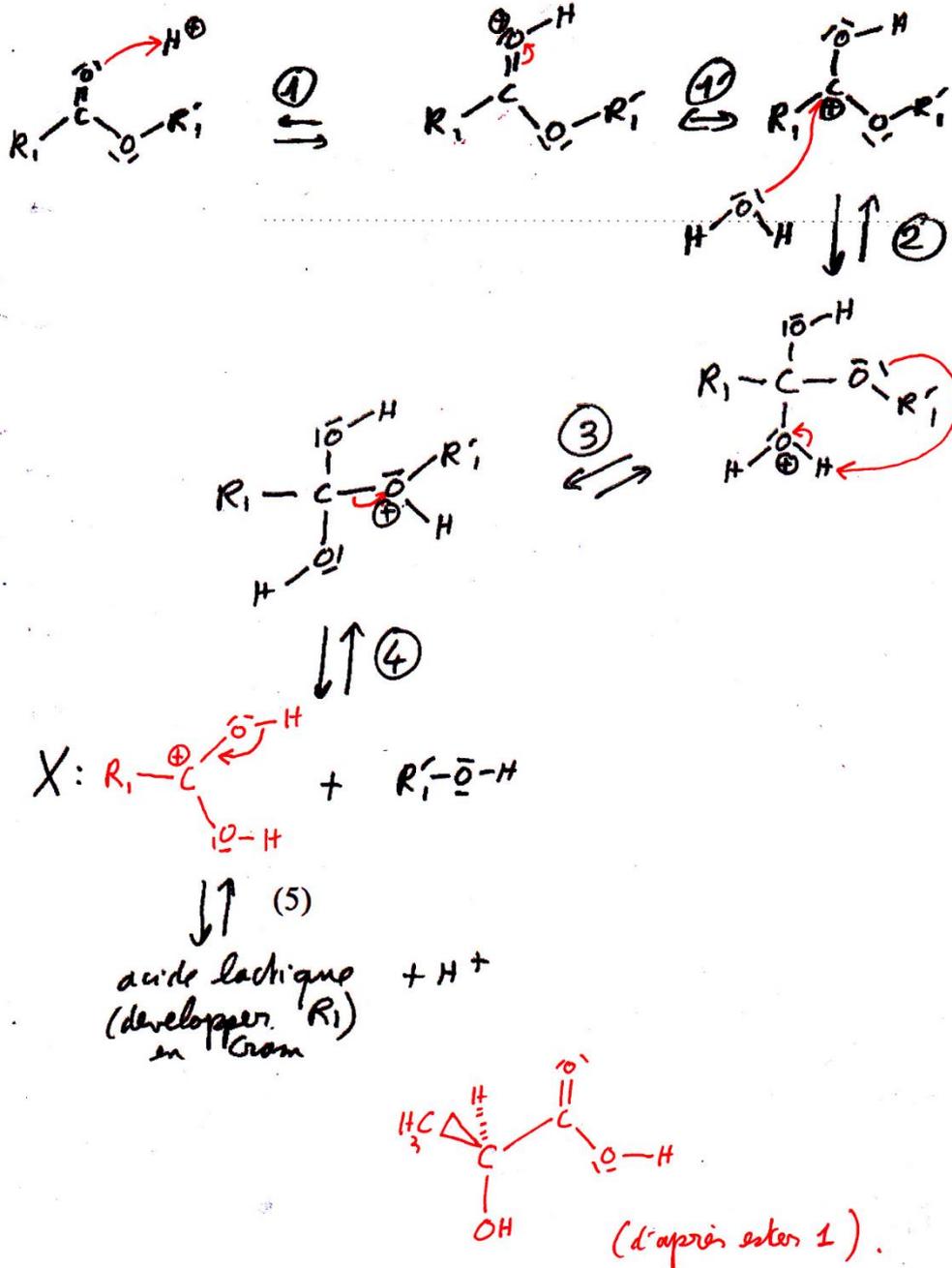
7) On réalise ensuite l'hydrolyse en milieu acide de l'ester (1). Le mécanisme de cette réaction se déroule en plusieurs étapes (l'ester est noté $R_1COOR'_1$):

- Fixation d'un H^+ (catalyseur acide) sur l'oxygène du groupe ester qui permet la formation d'un intermédiaire que l'on peut écrire sous deux formes.
- Accrochage d'une molécule d'eau.
- Prototropie
- Décrochage d'une molécule d'alcool
- Restitution du catalyseur et obtention de l'acide lactique sous une forme énantiomère unique.

Toutes ces étapes sont présentées en annexe 1 (à rendre), mais de façon incomplète (parfois il manque les flèches courbes, parfois la formule du produit n'est pas donnée).

Complétez le document : flèche(s) courbe(s) pour les étapes (1), (1'), (2), (3), (4) et (5). Formule de X, formule développée de Cram de l'acide lactique obtenu.

Annexe 1 mécanisme de l'hydrolyse de l'ester (1)



8) A l'issue de cette hydrolyse, nous récupérons deux liquides incolores (le butan-2-ol et l'acide lactique) dans deux flacons sans étiquette, mais nous avons été étourdis et nous ne sommes plus certains du contenu de chaque flacon !

Nous allons identifier nos deux produits par des techniques spectroscopiques : IR et RMN.

Le liquide du flacon A donne les spectres A1 (IR) et A2 (RMN)

Le liquide du flacon B donne les spectres B1 (IR) et B2 (RMN)

Tous ces spectres sont fournis en annexe 2.

c. Quel flacon contient le butan-2-ol ?

Pas la peine de tourner en rond avec une telle question : d'après sa formulation, un argument solide suffit.

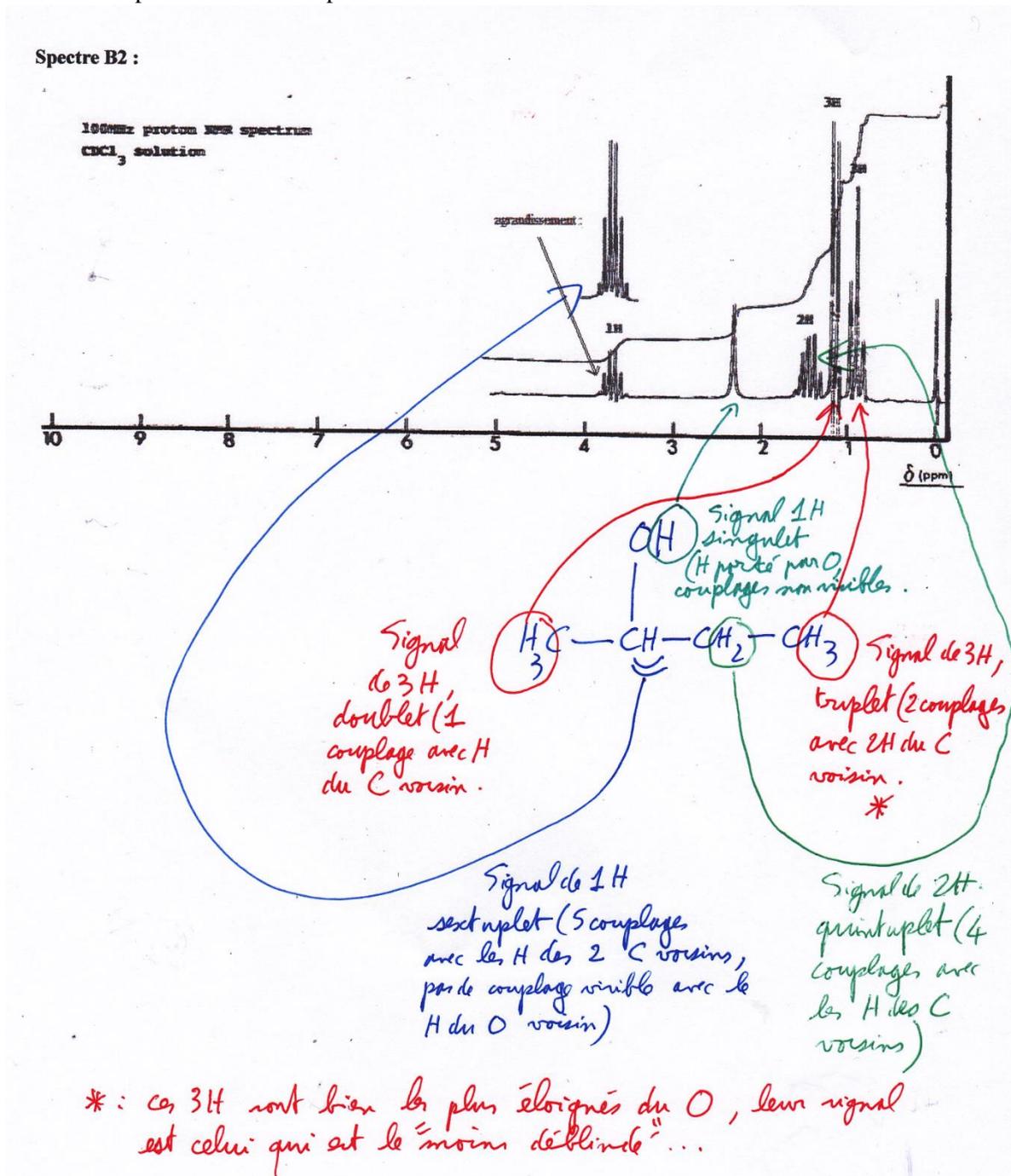
Nous proposons de nous tourner vers les spectres IR : celui qui contient un signal caractéristique vers 1700 cm^{-1} de la vibration (allongement, stretching) de la double liaison C=O est celui de l'acide lactique (vu qu'il n'y a pas de C=O dans le butanol). Le spectre IR de l'acide lactique est donc le spectre A1.

Autres propositions sans ambiguïtés :

- signal élargi 2500-3500 cm^{-1} sur A1 : vibration de O-H d'un acide carboxylique.
- signal bien arrondi 3200-3400 cm^{-1} sur B1 : vibration de O-H alcool (lié)

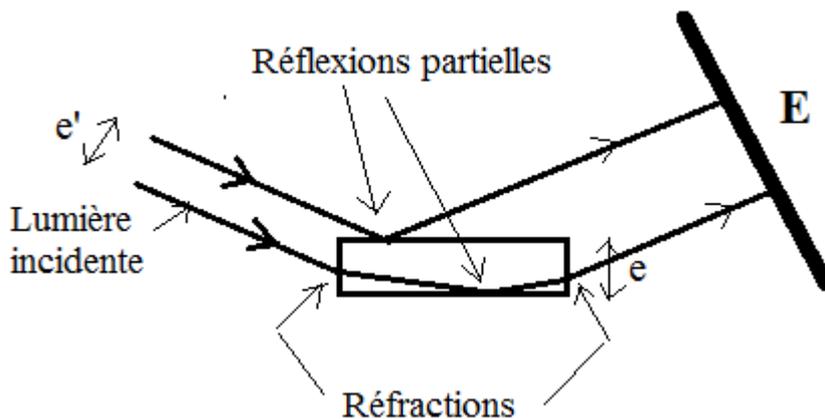
Donc : le butan-2-ol est dans le flacon B.

d. Interpréter en détail le spectre B2. **BUTAN-2-OL :**



III – Des interférences ? *cet exercice peut être traité en 10 min sans problème*

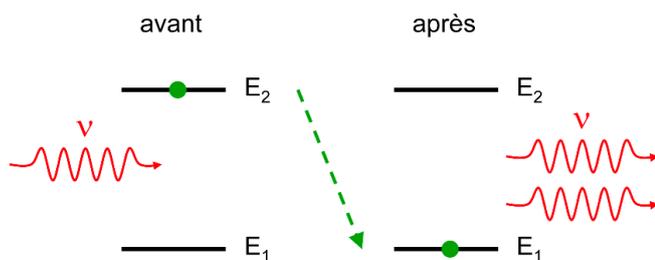
Un faisceau laser d'épaisseur e' vient frapper une lame de verre d'épaisseur e selon une incidence assez rasante comme indiqué sur le schéma ci-dessous. On récupère la lumière émergente sur l'écran E (La lumière qui peut émerger dans d'autres directions n'est pas représentée).



Observe-t-on on des interférences sur l'écran ?

- On pensera à détailler la nature de la lumière laser ainsi que son origine (comment elle est créée).

Origine, émission stimulée :



Caractéristiques de la lumière laser : monochromatique, unidirectionnelle et cohérente (voir cours)

- On expliquera la présence (ou l'absence) d'interférences sur l'écran E

Il fallait rappeler que des interférences lumineuses peuvent apparaître lorsque des faisceaux issus de sources cohérentes arrivent en un point. Selon la différence de marche entre ces faisceaux, les interférences pourront être constructives ou destructives.

Ici le raisonnement se fait en considérant les deux rayons qui constituent les « bords » du faisceau laser. Il y a manifestement une différence de marche (la distance parcourue peut être mesurée à la règle, ce n'est pas la même) entre ces deux rayons (donc il y en aura aussi entre tous les rayons intermédiaire se trouvant « à l'intérieur » du faisceau), on attend donc des interférences.

Un deuxième niveau de raisonnement consistait à se poser la question supplémentaire : « le fait que l'un des rayons ait un parcours passant par un milieu transparent différent va modifier sa vitesse... Est-ce que cela n'annulerait pas la différence de marche évoquée précédemment ? »... Conclusiin intuitive au choix pour ce qui vous concernait !

Mais, bien entendu, tout cela se calcule... et il y a une différence de marche.

Nous observons des interférences.