

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR BIOTECHNOLOGIES

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

SESSION 2022

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2h

COEFFICIENT : 1

Matériel autorisé :

Conformément à la circulaire n° 2015-178 du 1^{er} octobre 2015 relative à l'utilisation des calculatrices électroniques aux examens et concours de l'enseignement scolaire,

- L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
- L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet se compose de 10 pages, numérotées de 1 sur 10 à 10 sur 10.

Les annexes sont situées pages 9/10 et 10/10 et sont à rendre avec la copie.

Les données numériques sont indiquées dans chaque exercice.

Chaque partie du sujet peut être traitée indépendamment et dans n'importe quel ordre. La correction de l'épreuve tiendra le plus grand compte de la clarté dans la conduite de la résolution et dans la rédaction de l'énoncé des lois, de la compatibilité de la précision des résultats numériques avec celle des données de l'énoncé (nombre de chiffres significatifs), du soin apporté aux représentations graphiques éventuelles et de la qualité de la langue française dans son emploi scientifique.

Éléments de contexte non essentiels à la réalisation du sujet

À partir de quelques litres de lait, il est possible de créer toutes sortes de variétés de fromages aux goûts et aux saveurs bien différents.

Le circuit de fabrication d'un fromage comporte quelques étapes importantes :

Le **caillage** est l'une des étapes essentielles de la fabrication des fromages. Le but est de laisser le lait coaguler grâce à l'action de présure (enzyme issue de l'estomac du veau) et de ferments lactiques. La quantité de ferments lactiques pourra ainsi changer selon le type de fromage souhaité à l'arrivée.

Après le caillage du lait, on obtient le caillé qui est placé dans différents moules, selon la forme du fromage souhaité, lors de l'étape du **moulage**.

L'étape suivante est l'**égouttage** du caillé qui a pour finalité de séparer celui-ci du petit lait. Les fromages frais et fromages blancs peuvent être consommés à l'issue de cette étape.

Pour les autres fromages, les fromages frais obtenus sont démoulés puis salés. Le **salage** a trois actions directes sur le fromage : une action antiseptique, une action de conservation et il donne également du goût au fromage.

L'étape finale de la fabrication du fromage est l'**affinage**. Sa durée varie de quelques jours à plusieurs mois selon les variétés de fromages. Dans ce que l'on appelle des caves d'affinage, le fromage mûrit, c'est-à-dire fermenté, sous le contrôle de fromagers experts, qui régulent la température et l'humidité des caves. Phase complexe de la fabrication du fromage, elle demande savoir-faire et patience.

D'après : www.produits-laitiers.com/le-circuit-de-fabrication-du-fromage

I. VÉRIFICATION DE LA CONFORMITÉ DU LAIT AUX NORMES DE CONSOMMATION (15 points)

De nombreuses questions peuvent être traitées indépendamment l'une de l'autre.

Une fois le lait trait, il est réfrigéré, afin de le protéger et de le conserver au mieux. Analysé pour vérifier qu'il est conforme aux normes de consommation, le lait est ensuite collecté par des camions citerne isothermes qui le conduisent jusqu'à la laiterie, où il sera traité, avant de subir sa transformation en fromage...

Pour qu'un lait soit conforme, il faut, entre autres, déterminer les teneurs en ions chlorure et en acide lactique.

Une inflammation des mamelles des vaches rend le lait impropre à la consommation. Cette inflammation se traduit par une augmentation de la concentration en ions sodium $\text{Na}^+(\text{aq})$ et en ions chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$. Un dosage conductimétrique permet de déterminer la concentration de ces derniers.

L'état de fraîcheur d'un lait dépend de sa teneur en acide lactique, provenant de l'action des bactéries qui transforment le lactose, un sucre naturellement présent dans le lait, en acide lactique. Un dosage acidobasique permet de déterminer la concentration de ce dernier.

D'après : www.produits-laitiers.com/le-circuit-de-fabrication-du-fromage

Document 1 : Norme en vigueur pour la teneur en ions chlorure

La norme en vigueur impose que la concentration massique en ions chlorure soit comprise entre $0,8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et $1,2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour que le lait trait soit consommable.

Document 2 : Le degré Dornic

Dans l'industrie laitière, l'acidité d'un lait n'est pas exprimée par son pH mais par son degré Dornic ($^{\circ}\text{D}$).

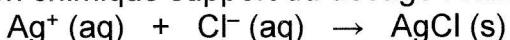
Un degré Dornic (1°D) correspond à une concentration massique de $0,10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ d'acide lactique. Le lait est considéré comme frais si son acidité est inférieure à 18°D .

Document 3 : Protocole du dosage conductimétrique réalisé

- Le lait trait étudié est dilué 5 fois : soit S_1 la solution aqueuse de lait diluée et C_1 sa concentration molaire en ions chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$.
- On verse un volume $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de S_1 dans un bécher et on y ajoute environ 250 mL d'eau distillée.
- On mélange puis on plonge dans le bécher une cellule conductimétrique.
- Initialement et après chaque ajout, millilitre par millilitre, d'une solution aqueuse S_2 de nitrate d'argent ($\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$), de concentration molaire $C_2 = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, contenue dans une burette, le conductimètre affiche directement la valeur de la conductivité σ de la solution aqueuse contenue dans le bécher.
- Les différentes valeurs expérimentales obtenues ont permis de tracer la courbe de dosage conductimétrique $\sigma = f(V_2)$, avec V_2 le volume de S_2 versé à chaque ajout, donnée **annexe 1**.

Données :

Équation modélisant la réaction chimique support du dosage réalisé :



Produit de solubilité du composé solide ionique chlorure d'argent : $K_s(\text{AgCl}) = 2,0 \times 10^{-10}$

Masse molaire atomique de l'atome de chlore : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Formule de l'acide lactique : $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ que l'on notera HA

Masse molaire moléculaire de l'acide lactique : $M = 90,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Dans un premier temps, on souhaite déterminer la concentration en ions chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$ du lait.

1. Exprimer le produit de solubilité $K_s(\text{AgCl})$ du chlorure d'argent en fonction des concentrations molaires en ions argent $\text{Ag}^+(\text{aq})$ et chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$ à l'équilibre.
2. Exprimer la constante d'équilibre K , de la transformation chimique modélisant la formation du précipité de chlorure d'argent, en fonction de son produit de solubilité $K_s(\text{AgCl})$.
3. Montrer que la valeur de la constante d'équilibre K vaut $5,0 \times 10^9$.
4. En déduire que la réaction chimique étudiée peut servir de support à un dosage.
5. Déterminer graphiquement sur l'**annexe 1** le volume V_E de solution aqueuse de nitrate d'argent versé à l'équivalence.
6. Définir à l'équivalence la relation entre la quantité de matière en ions argent introduits $n(\text{Ag}^+)_E$ et la quantité de matière en ions chlorure initialement présents $n(\text{Cl}^-)$ dans la solution aqueuse S_1 .
7. Déterminer la valeur de la concentration molaire C_1 en ions chlorure initialement présents dans la solution aqueuse S_1 .
8. En déduire que la concentration molaire C en ions chlorure initialement présents dans le lait trait étudié a pour valeur $3,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
9. Déterminer la valeur de la concentration massique C_m en ions chlorure initialement présents dans le lait trait étudié.
10. Conclure à partir de la valeur de la concentration massique C_m , si la teneur en ions chlorure du lait trait étudié respecte la norme en vigueur.

Dans un second temps, on souhaite déterminer la concentration en acide lactique HA du lait.

L'acide lactique du lait est maintenant titré par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) en présence de quelques gouttes d'un indicateur coloré parmi ceux présentés ci-dessous :

Indicateur coloré acidobasique HInd/Ind^-	Zone de virage
Bleu de bromothymol	6,0 – 7,6
Rouge de phénol	6,8 – 8,4
Hélianthine	2,4 – 4,4

11. Établir l'équation de la transformation chimique modélisant la réaction de dosage entre l'acide lactique HA et les ions hydroxydes $\text{HO}^-(\text{aq})$.
12. Proposer, en justifiant, un indicateur coloré adapté au dosage colorimétrique de l'acide lactique, acide faible en solution aqueuse, sachant que le pH à l'équivalence vaut 8,1.
13. Expliquer la raison pour laquelle on n'introduit que quelques gouttes d'indicateur coloré lors d'un dosage.

La valeur expérimentale obtenue pour le volume équivalent V_B a permis de déterminer une concentration molaire en acide lactique présent dans le lait étudié : $C_A = 1,8 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

14. Montrer que le lait dosé est frais en détaillant la démarche.

II. LES FERMENTATIONS DANS L'ÉLABORATION DES FROMAGES (14 points)

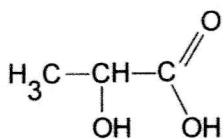
Les questions 1 à 12 peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

Les fermentations résultent de l'action de micro-organismes sur certains composés organiques. Les phénomènes de fermentation sont mis à profit pour conserver certains aliments et en transformer d'autres en améliorant leurs qualités nutritionnelles ou organoleptiques. De très nombreux aliments fermentés existent actuellement parmi lesquels les fromages. On distingue plusieurs types de fermentation pouvant intervenir dans l'élaboration des fromages.

Données :

Numéros atomiques : $Z(H) = 1$ $Z(C) = 6$ $Z(O) = 8$

Formule de l'acide lactique :



A. La fermentation lactique

La fermentation lactique intervient dès le caillage du lait, première étape de la fabrication des fromages.

*Cette fermentation consiste en l'obtention d'acide lactique au sein du caillé, par l'action de bactéries lactiques (telles que *Lactococcus lactis*) sur le glucose présent dans le lait après hydrolyse du lactose.*

1. Représenter par un schéma de Lewis la molécule d'acide lactique en faisant apparaître tous les doublets liants et non-liants.
2. Identifier, en s'appuyant sur la théorie VSEPR, le type AX_nE_m et le nom de la géométrie autour de l'atome de carbone du groupe fonctionnel $-COOH$ et ceux autour de l'atome de carbone relié au groupe fonctionnel $-OH$.
3. Nommer les deux fonctions chimiques présentes dans la molécule d'acide lactique.
4. Définir un carbone asymétrique, puis identifier par un astérisque le(s) carbone(s) asymétrique(s) de la molécule d'acide lactique, après avoir recopié sa formule.
5. Représenter par une projection de Cram, l'énanthiomère de configuration absolue S de l'acide lactique, en numérotant les différents atomes ou groupes d'atomes en fonction de leur priorité.
6. Représenter, en projection de Fischer, l'énanthiomère (L)-acide lactique qui correspond à l'énanthiomère de configuration absolue S, seul énanthiomère obtenu par fermentation lactique.

B. La fermentation butyrique

*L'acide lactique formé par fermentation lactique subit une fermentation butyrique sous l'action de bactéries butyriques (telles que *Clostridium butyricum*). Il se forme de l'acide butanoïque, du dioxyde de carbone gazeux et du dihydrogène gazeux.*

L'acide butanoïque est responsable de la forte odeur et du goût piquant de certains fromages à pâtes pressées (tels que le saint-nectaire).

7. Représenter la formule semi-développée de la molécule d'acide butanoïque.
8. Attribuer en justifiant, à l'aide du document **annexe 2**, les deux bandes, apparaissant respectivement à environ 1700 cm^{-1} pour l'une et aux alentours de 3100 cm^{-1} .

C. De la découverte de l'acide lactique à la synthèse de l'acide lactique par voie chimique

L'acide lactique est l'élément principal de tous les produits laitiers acidifiés auxquels il donne leurs caractéristiques fondamentales. Il fut mis en évidence pour la première fois dans le lait par le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele en 1870.

De nos jours, 90 % des synthèses d'acide lactique sont réalisées à partir de fermentations microbiennes, les 10 % restants sont produits synthétiquement par voie chimique.

Une méthode de préparation de l'acide lactique par voie chimique est basée sur l'hydratation de l'acide prop-2-énoïque dont le mécanisme réactionnel s'écrit en trois étapes.

Ces différentes étapes sont représentées en **annexe 3**.

9. Pour chaque étape, compléter le mécanisme à l'aide d'une flèche courbe.
10. Justifier le fait que les ions H^+ jouent un rôle de catalyseur dans cette réaction.
11. Caractériser la réaction chimique d'hydratation de l'acide prop-2-énoïque en utilisant l'un des termes suivants : addition, élimination, substitution.
12. Préciser la nature de la réaction chimique d'hydratation de l'acide prop-2-énoïque en utilisant l'un des termes suivants : électrophile, nucléophile, radicalaire.

III. OBSERVATION DES SPORES DU *PENICILLIUM ROQUEFORTI* PENDANT LA PHASE DE MATURATION DU ROQUEFORT (11 points)

Les trois parties A, B, C peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

Dès l'obtention du caillé, l'ensemencement en *Penicillium roqueforti* s'effectue avec des souches propres à chaque fabricant de roquefort.

En se développant pendant la période d'affinage, ce champignon microscopique donne aux veines du roquefort sa couleur bleu-vert mais aussi son goût et son onctuosité.

L'affinage se prolonge par une phase de maturation contrôlée. C'est là qu'entre en jeu le savoir-faire du maître de cave qui contrôle le développement du *Penicillium roqueforti* dans le roquefort.

D'après : www.quiveutdufromage.com/ac-comment-est-fabrique-le-roquefort

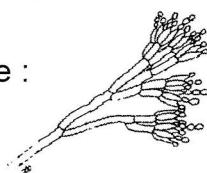
Données :

Taille de la spore de *Penicillium roqueforti* à observer, assimilée à son diamètre :

AB = 5,0 µm

Distance minimale de vision distincte pour un œil normal : $d_m = 25$ cm

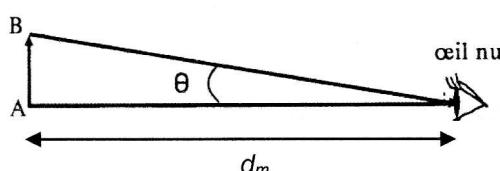
Pouvoir de résolution de l'œil : $\theta_m = 3,0 \times 10^{-4}$ rad



A. Observation à l'œil nu et pouvoir de résolution de l'œil

1. Déterminer l'angle θ sous lequel on pourrait voir à l'œil nu la spore AB de *Penicillium roqueforti* située à la distance minimale de vision distincte d_m de l'œil.

On rappelle que pour un angle θ petit : $\tan \theta \approx \theta$ avec θ exprimé en radian.



2. Conclure quant à la possibilité de pouvoir observer, ou non, la spore de *Penicillium roqueforti* à l'œil nu.

B. Utilisation d'un microscope

Document : Pouvoir de résolution d'un microscope

Le pouvoir de résolution d'un microscope est limité par le phénomène de diffraction et la taille AB_{min} du plus petit objet observable est donnée par la relation :

$$AB_{\min} = \frac{0,61 \cdot \lambda}{n \cdot \sin u}$$

λ : longueur d'onde de la lumière utilisée (en mètre ou sous-multiple)

n : indice de réfraction du milieu d'observation (sans unité)

u : angle entre l'axe optique et le rayon le plus écarté de l'axe optique entrant dans l'objectif (sin u sans unité)

3. Calculer la taille AB_{\min} pour un objet placé dans l'air d'indice de réfraction $n = 1,0$ sachant que, pour le microscope utilisé, $\lambda = 600 \text{ nm}$ et $u = 40^\circ$.
4. Déduire de la valeur AB_{\min} si l'observation d'objets, de la taille de la spore AB de *Penicillium roqueforti*, est possible à travers le microscope utilisé.

C. Observation de la spore de *Penicillium roqueforti* au microscope

Document : Caractéristiques du microscope utilisé

Le microscope utilisé est constitué :

- d'un objectif L_1 considéré comme une lentille mince convergente de centre optique O_1 , de foyer objet F_1 , de foyer image F'_1 et de distance focale $f'_1 = + 5,0 \text{ mm}$,
- d'un oculaire L_2 considéré comme une lentille mince convergente de centre optique O_2 , de foyer objet F_2 , de foyer image F'_2 et de distance focale $f'_2 = + 2,0 \text{ cm}$.

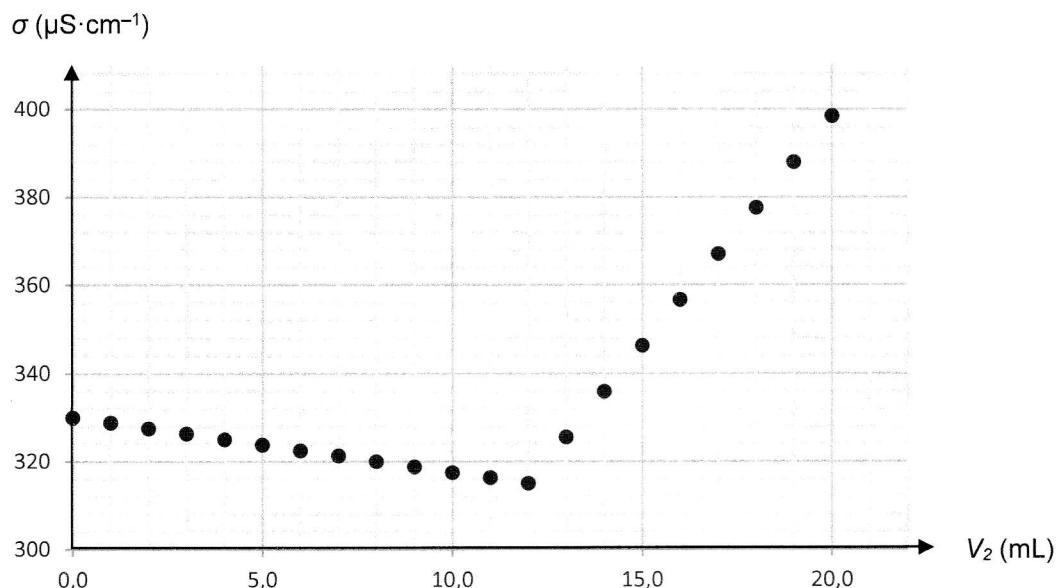
L'intervalle optique du microscope a pour valeur : $\Delta = \overline{F'_1 F_2} = 18 \text{ cm}$.

Le grossissement commercial du microscope est donné par la relation : $G_c = \frac{\Delta}{4 \cdot f'_1 \cdot f'_2}$

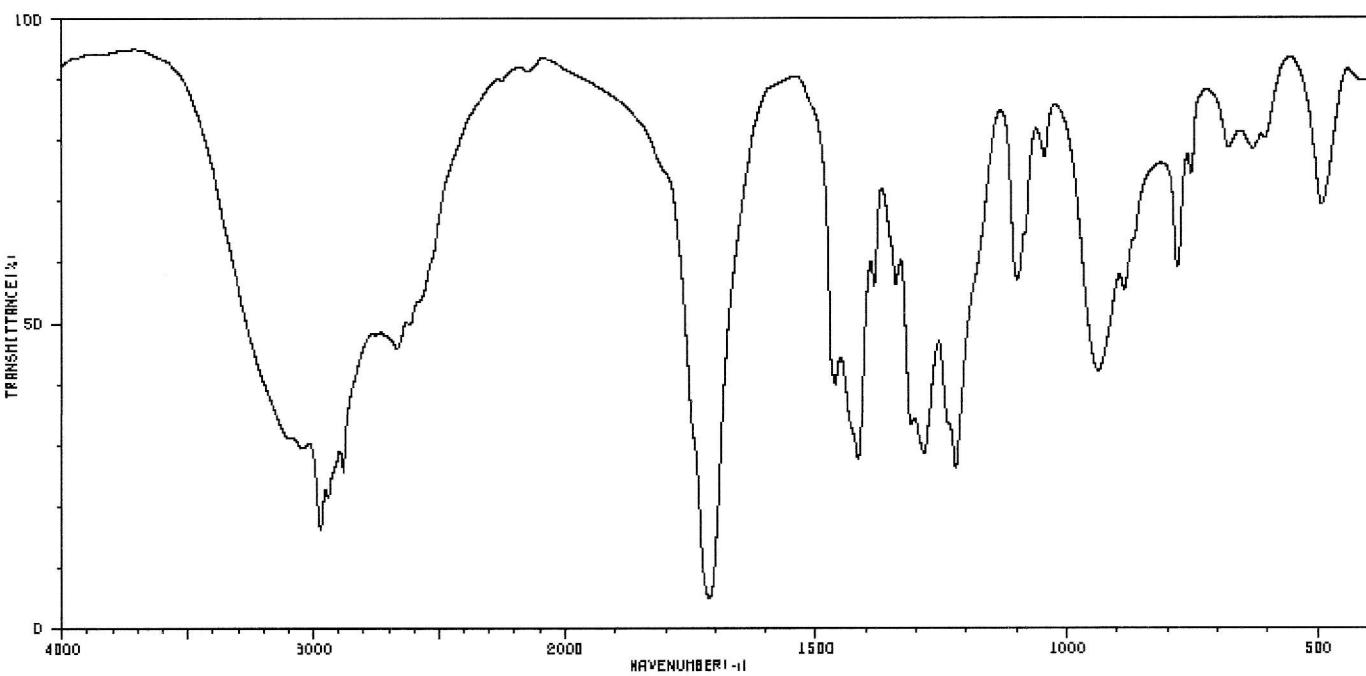
5. Indiquer où doit se former l'image intermédiaire A_1B_1 , de la spore AB, donnée par l'objectif L_1 , pour qu'un observateur puisse utiliser le microscope sans accommodation (c'est-à-dire pour que l'œil puisse observer l'image définitive $A'B'$, donnée par le microscope, à l'infini).
6. Compléter le schéma, **sans soucis d'échelle**, fourni en **annexe 4** en faisant apparaître :
 - la marche des rayons lumineux permettant l'obtention de l'image intermédiaire A_1B_1 ;
 - les foyers objet F_2 et image F'_2 ;
 - l'image définitive $A'B'$;
 - l'angle θ' sous lequel on observe la spore *Penicillium roqueforti* à travers le microscope.
7. Calculer la valeur du grossissement commercial G_c du microscope.
8. Exprimer la relation entre le grossissement commercial du microscope G_c , l'angle θ' sous lequel on voit la spore de *Penicillium roqueforti* à travers le microscope et l'angle θ sous lequel on pourrait voir à l'œil nu la spore de *Penicillium roqueforti* située à la distance minimale de vision distincte d_m de l'œil.
9. En déduire que l'angle θ' a pour valeur $9,0 \times 10^{-3} \text{ rad}$ sachant que $\theta = 2,0 \times 10^{-5} \text{ rad}$.
10. Déduire, en comparant θ' au pouvoir de résolution de l'œil θ_m , si la spore AB de *Penicillium roqueforti* est observable, par l'œil de l'observateur, à travers le microscope utilisé.

ANNEXE 1

Évolution de la conductivité σ en fonction du volume V_2 de solution de nitrate d'argent versé lors du dosage conductimétrique des ions chlorure dans la solution aqueuse de lait dilué



ANNEXE 2 Spectre infra-rouge de l'acide butanoïque



Document : Table simplifiée de vibrations de quelques liaisons en spectrophotométrie infra-rouge

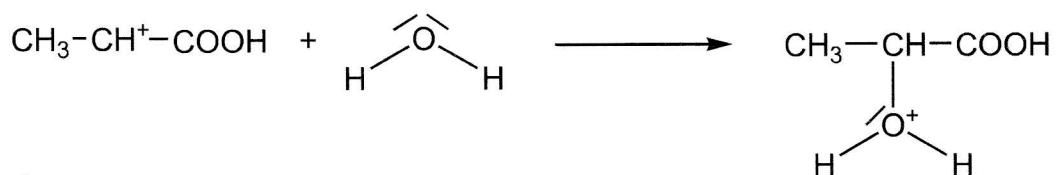
Liaison	O-H	N-H	C=O	C=C
Nombre d'onde (cm^{-1})	2900 à 3650	3100 à 3500	1650 à 1750	1620 à 1690

ANNEXE 3
Mécanisme de l'hydratation de l'acide prop-2-èneoïque

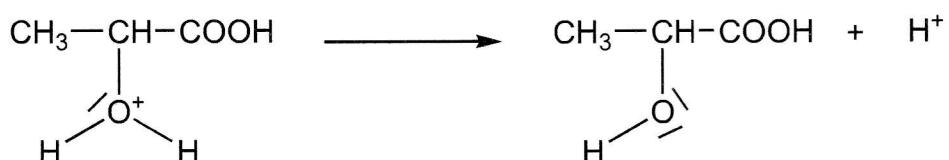
Étape n°1



Étape n°2



Étape n°3



ANNEXE 4
Schéma de principe du microscope sans soucis d'échelle

