BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice électronique est autorisé

Ce sujet comporte 3 exercices présentés
sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

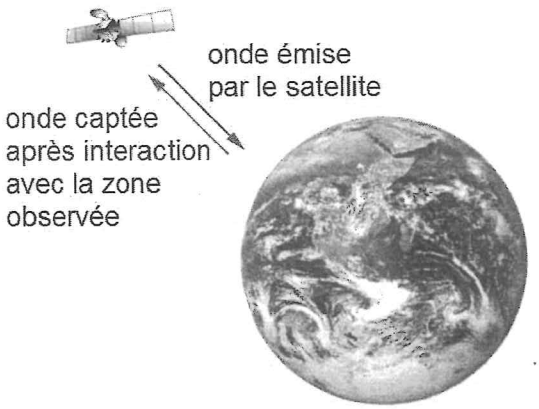
L'annexe (page 12) est à rendre avec la copie.

OBLIGATOIRE

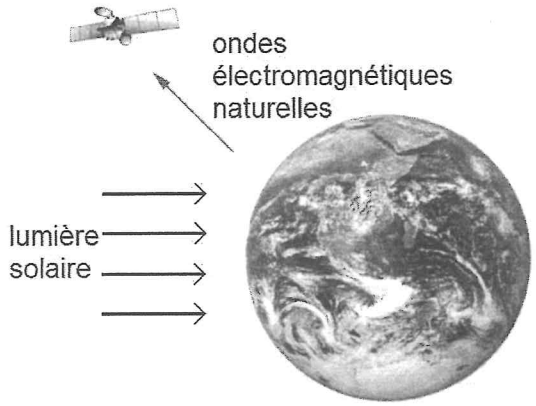
Exercice I : Satellites de télédétection passive (10 points)

La télédétection par satellite est l'ensemble des techniques qui permettent d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, l'atmosphère et les océans à des fins météorologique, océanographique, climatique, géographique, cartographique ou militaire. Le processus de la télédétection repose sur le recueil, l'enregistrement et l'analyse d'ondes électromagnétiques diffusées par la zone observée.

Si les ondes électromagnétiques mises en jeu dans le processus sont émises par un capteur (exemple : un radar) puis recueillies par ce même capteur après interaction avec la zone terrestre observée, on parle de **télédétection active**. Si le capteur (exemple : un radiomètre) recueille directement la lumière visible ou infrarouge émise ou diffusée par la zone terrestre observée, on qualifie les ondes analysées d'ondes électromagnétiques naturelles et on parle de **télédétection passive**.



Principe de la télédétection active



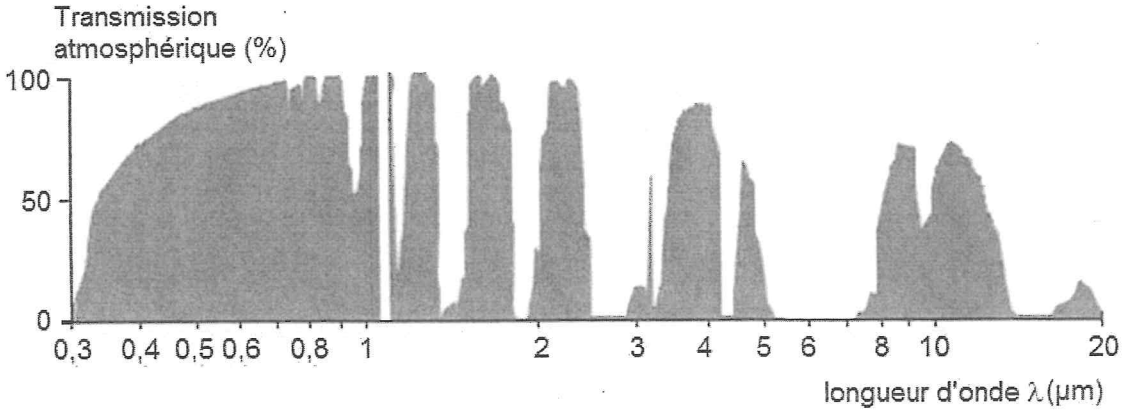
Principe de la télédétection passive

Cet exercice s'intéresse à deux familles de satellites de télédétection passive :
SPOT (document 1) et Météosat (document 2). **Il comporte trois parties indépendantes**.

Des réponses argumentées et précises sont attendues ; elles pourront être illustrées par des schémas. La qualité de la rédaction, la rigueur des calculs ainsi que toute initiative prise pour résoudre les questions posées seront valorisées.

Données

- Rayon moyen de la Terre : $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km.
- Longueur d d'un arc de cercle de rayon R et d'angle α (exprimé en radian) : $d = \alpha R$.
- Courbe de transmission des radiations électromagnétiques par l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde λ :



- Loi de Wien : $\lambda_{max}\, T = 2{,}90 \times 10^3$ µm.K
  avec λ_{max} la longueur d'onde majoritairement émise dans le spectre d'émission d'un corps porté à une température T (exprimée en kelvin).

- Relation entre la température T (exprimée en kelvin) et la température θ exprimée en degré Celsius : $T = \theta + 273$

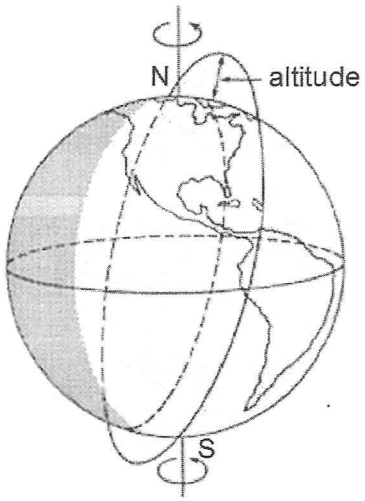
Document 1. La filière SPOT

SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) est un système d'imagerie optique spatiale à haute résolution. Ce programme s'insère dans la politique d'observation de la Terre du CNES (Centre National d'Études Spatiales). Depuis 1986, les satellites de la filière SPOT scrutent notre planète et fournissent des images d'une qualité remarquable, en décrivant une orbite dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Elle est circulaire et se situe à l'altitude $h_S = 832$ km.

- Elle est héliosynchrone, c'est-à-dire que l'angle entre le plan de l'orbite et la direction du Soleil est quasi-constant. Cela permet de réaliser des prises de vue à une latitude donnée avec un éclairement constant.

- Elle est quasi-polaire, inclinée de 98,7° par rapport au plan de l'équateur et décrite avec une période de 101,4 min. La zone terrestre observée évolue à chaque révolution du satellite dont le cycle orbital est de 26 jours ; c'est-à-dire que tous les 26 jours le satellite observe à nouveau la même région terrestre.



Orbite quasi-polaire

D'après le site cnes.fr

Document 2. Le programme Météosat

En Europe, l'ESA (Agence Spatiale Européenne) a développé le programme Météosat dont le premier satellite a été lancé en 1977. Depuis cette date, sept satellites Météosat ont été lancés. Puis des satellites aux performances accrues (Meteosat Second Generation) leur ont succédé : MSG-1 (ou Météosat-8) lancé en août 2002, puis MSG-2 (ou Météosat-9) lancé en décembre 2005.

Les satellites Météosat et MSG sont géostationnaires*. Ils ont pour mission d'effectuer des observations météorologiques depuis l'espace pour la prévision immédiate et l'évolution à long terme du climat. Ils ont l'avantage de fournir des images de vastes portions de la surface terrestre et de l'atmosphère, mais présentent l'inconvénient qu'un seul satellite géostationnaire ne suffit pas pour observer toute la Terre. Par ailleurs, les régions polaires leur sont hors de portée.

** Un satellite **géostationnaire** paraît immobile par rapport à un point de référence à la surface de la Terre. Pour respecter cette propriété, il se situe forcément dans le plan de l'équateur, son orbite est circulaire et son centre est le centre de la Terre. Sa période de révolution est donc égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même.*

D'après le site education.meteofrance.com

1. Mouvements des satellites SPOT et Météosat

Les mouvements sont étudiés dans le référentiel lié au centre de la Terre, appelé référentiel géocentrique. Ce référentiel est supposé galiléen.

1.1. Énoncer la deuxième loi de Kepler (aussi nommée loi des aires) dans le cas général d'un satellite terrestre en mouvement elliptique. Illustrer cette loi par un schéma.

1.2. En utilisant la deuxième loi de Kepler, caractériser la nature des mouvements dans le cas particulier des satellites SPOT et Météosat.

1.3. Dans quel sens le satellite Météosat tourne-t-il autour de la Terre, par rapport au référentiel géocentrique ? On s'appuiera sur un dessin sur lequel figurera la Terre avec une indication explicite sur son sens de rotation.

1.4. Déterminer la valeur de la vitesse v du satellite SPOT par rapport au référentiel géocentrique.

1.5. Énoncer la troisième loi de Kepler dans le cas général d'un satellite terrestre en mouvement elliptique. On précisera la signification de chaque grandeur introduite.

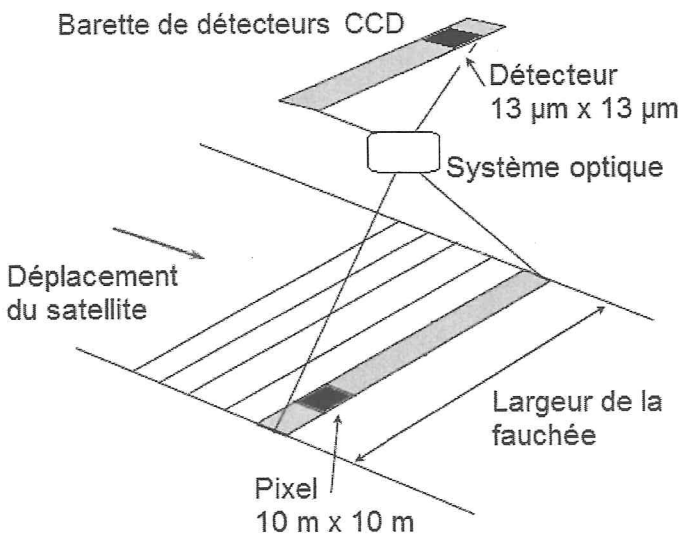
1.6. En appliquant cette loi aux deux satellites étudiés, déduire la valeur de l'altitude h_M du satellite Météosat.

2. SPOT en mode panchromatique

Lorsque le satellite SPOT parcourt son orbite, il observe une large bande terrestre de plusieurs dizaines de kilomètres de large. Cette zone «couverte» est appelée la fauchée.

En mode panchromatique, les images réalisées par le satellite SPOT sont recueillies sur une barrette constituée de 6000 détecteurs CCD et numérisées en niveaux de gris.

Chaque détecteur est assimilable à un carré de 13 µm de côté recueillant l'information provenant d'une zone terrestre carrée de 10 m de côté, appelée pixel. On dit que la résolution spatiale est de 10 m.



2.1. Evaluer la largeur de la fauchée.

2.2. La fauchée correspondant à la $n^{ème}$ révolution de SPOT n'est pas identique à celle de la $(n-1)^{ème}$ révolution. Se situe-t-elle davantage à l'est ou à l'ouest sur la Terre ? Illustrer votre réponse par un schéma.

2.3. A chaque révolution du satellite, la zone terrestre observée n'est pas la même, du fait de la rotation de la Terre. De quel angle tourne la Terre entre deux révolutions du satellite ? En déduire de quelle distance se déplace la fauchée au niveau de l'Équateur entre deux révolutions du satellite.

2.4. Quelles sont les parties du globe les plus fréquemment « couvertes » par SPOT au cours d'un cycle orbital ?

2.5. Combien de révolutions doit effectuer SPOT pour réaliser une observation complète de la Terre ? Commenter cette valeur au regard du résultat de la question 2.3.

2.6. En mode panchromatique (numérisation en niveaux de gris), l'image est d'autant plus blanche que le flux lumineux capté est intense.

Deux images (images 1 et 2) d'une même zone de terrains agricoles, ont été obtenues par télédétection, respectivement dans le rouge (entre 610 et 680 nm de longueur d'onde) et dans le proche infrarouge (entre 790 et 890 nm).

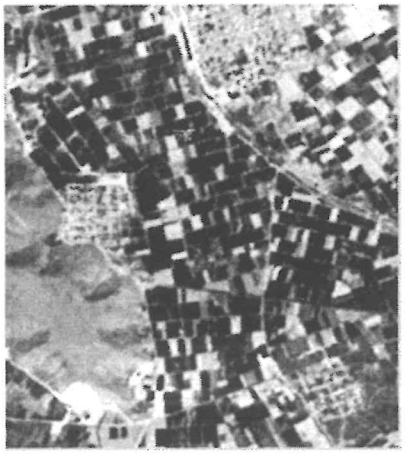


Image 1
Télédétection dans le rouge

Image 2
Télédétection dans le proche infrarouge

Source : IGN France International

En utilisant le tableau suivant, donnant les réflectances* caractéristiques des trois grands types de surfaces naturelles, quelles informations peut-on extraire de l'analyse de ces deux images ? Montrer l'intérêt d'avoir ces deux images pour obtenir des informations sur la zone observée.

Valeurs caractéristiques des réflectances des trois grands types de surfaces naturelles en fonction de la gamme de longueur d'onde :

	Rouge (entre 610 et 680 nm)	Proche infrarouge (entre 790 et 890 nm)
Eau	4 à 6 %	0 à 2 %
Végétation	10 à 12 %	35 à 40 %
Sol nu	20 à 22 %	25 à 30 %

** La **réflectance** d'une surface est le rapport entre le flux lumineux réfléchi et le flux lumineux incident.*

3. Les trois canaux de Météosat

Le radiomètre** des satellites Météosat comprend trois canaux de télédétection : le canal C dans le visible et le proche infrarouge, le canal E dans l'infrarouge moyen et le canal D dans l'infrarouge thermique.

*** Un **radiomètre** est un appareil de mesure de l'intensité du flux de rayonnement électromagnétique dans différents domaines de longueur d'onde.*

Canal	Gamme de longueurs d'onde en µm	Fonction principale
C	Entre 0,4 et 1,1	Permet l'observation visuelle de la surface de la Terre et des nuages.
E	Entre 5,7 et 7,1	Renseigne sur la teneur en humidité de l'atmosphère. La surface du sol n'est pas visible.
D	Entre 10,5 et 12,5	Renseigne sur la température des nuages et de la surface terrestre.

3.1. Pourquoi seule la télédétection sur les canaux C et D permet-elle d'obtenir des informations en provenance de la surface terrestre ?

3.2. Quelles sont les raisons qui ont guidé le choix de la gamme de longueurs d'onde du canal D, compte tenu de sa fonction principale ?
Des éléments quantitatifs sont attendus dans la réponse.

Exercice II : Synthèse de l'acétate d'éthyle (5 points)

L'acétate d'éthyle est un liquide utilisé comme solvant pour les vernis à ongles et certaines colles, en raison de sa faible nocivité et de sa volatilité importante. Il est aussi utilisé dans l'industrie agroalimentaire dans certains arômes fruités.
La synthèse de l'acétate d'éthyle est facilement réalisable au laboratoire. Un exemple de protocole expérimental est décrit ci-dessous :

Etape 1. Dans un ballon de 100 mL, introduire un mélange équimolaire de 0,10 mol d'acide acétique et 0,10 mol d'éthanol. Y ajouter 0,5 mL d'acide sulfurique concentré ($H_2SO_{4(l)}$) et quelques grains de pierre ponce. Porter le mélange à ébullition dans un dispositif de chauffage à reflux pendant 30 minutes.

Etape 2. Laisser refroidir le mélange réactionnel à l'air ambiant puis dans un bain d'eau froide. Verser le contenu du ballon dans une ampoule à décanter contenant environ 50 mL d'eau salée. Agiter prudemment quelques instants en dégazant régulièrement, puis éliminer la phase aqueuse.

Etape 3. Ajouter alors à la phase organique 60 mL d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium ($Na^+_{(aq)}$ + $HCO^-_{3(aq)}$) de concentration molaire 1 mol.L^{-1}.
Laisser dégazer et décanter puis éliminer la phase aqueuse. Recueillir la phase organique dans un bécher. Sécher cette phase avec du chlorure de calcium anhydre puis filtrer. Recueillir le filtrat dans un erlenmeyer propre et sec.

Une synthèse réalisée au laboratoire en suivant ce protocole a permis d'obtenir un volume de filtrat égal à 5,9 mL.

Données

Couple acide/base : $H_2O,CO_{2(aq)}$ / $HCO^-_{3(aq)}$

	Acide acétique	Éthanol	Acétate d'éthyle
Masse molaire (g.mol^{-1})	60,0	46,1	88,1
Masse volumique (g.mL^{-1})	1,05	0,789	0,925
Température d'ébullition (°C)	118	78,4	77,1
Température de fusion (°C)	16,6	-117	-83,6
Solubilité dans l'eau	Très grande	Très grande	87 g.L^{-1} à 20 °C
Solubilité dans l'eau salée	Très grande	Très grande	Presque nulle

1. Réaction de synthèse

La synthèse de l'acétate d'éthyle est modélisée par la réaction d'équation :

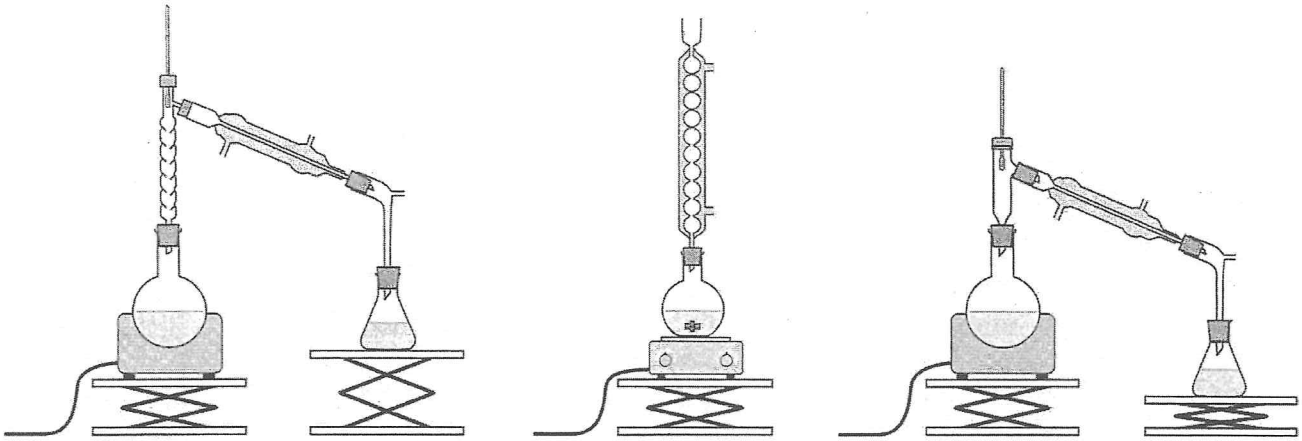
$$CH_3COOH_{(l)} + C_2H_5OH_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_{5(l)} + H_2O_{(l)}$$

1.1. Identifier, en justifiant votre réponse, les fonctions chimiques des molécules organiques intervenant dans la réaction de synthèse.

1.2. Quel est le nom de l'acétate d'éthyle en nomenclature officielle ?

2. Protocole expérimental

2.1. Parmi les montages suivants, justifier celui qu'il convient de choisir pour l'étape 1. Pourquoi les deux autres montages ne conviennent-ils pas ?



Montage A Montage B Montage C

2.2. Proposer un titre pour nommer chacune des trois étapes du protocole.

2.3. Justifier, en argumentant avec une équation de réaction si cela est nécessaire, le choix dans ce protocole des conditions opératoires suivantes :

- ajout d'acide sulfurique concentré,
- chauffage à reflux,
- mélange avec de l'eau salée,
- ajout d'une solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium.

3. Rendement

3.1. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse en expliquant la méthode mise en œuvre.

3.2. Est-il exact de dire que ce rendement est égal à la proportion d'éthanol consommé au cours de la transformation ? Commenter.

4. Mécanisme réactionnel

Le mécanisme réactionnel modélisant la réaction de synthèse de l'acétate d'éthyle à partir de l'acide acétique et l'éthanol comporte cinq étapes représentées sur l'annexe située page 12. (**Annexe à rendre avec la copie**).

4.1. Quels groupes d'atomes correspondent respectivement aux lettres R et R' ?

4.2. Compléter les étapes 1 à 5 avec une ou plusieurs flèches courbes, si nécessaire. Que représentent ces flèches courbes ?

4.3. Donner la catégorie des réactions des étapes 2 et 4, dans le sens direct.

4.4. D'après le mécanisme proposé, quel est le rôle joué par H^+ dans la synthèse de l'acétate d'éthyle ? Commenter.

Exercice III : Contrôles de qualité d'un lait (5 points)

Le lait de vache est un liquide biologique de densité 1,03. Il est constitué de 87 % d'eau, 4,7 % de lactose et de 3,5 à 4 % de matières grasses (proportions en masse). Il renferme aussi de la caséine, des vitamines A et D, et des ions minéraux : calcium, sodium, potassium, magnésium, chlorure…

L'industrie laitière met en œuvre divers contrôles de qualité du lait, avant de procéder à sa transformation (production de yaourts par exemple) ou à sa commercialisation. Cet exercice est consacrée à deux de ces tests : la détermination de l'acidité Dornic et le dosage de la teneur en ions chlorure.

Données

- *pKa* du couple acide lactique / ion lactate : *pKa* ($C_3H_6O_3$ / $C_3H_5O_3^-$) = 3,9 à 25 °C
- *Produit ionique de l'eau : pKe* = 14 à 25 °C
- Masses molaires atomiques :

Atome	H	C	N	O	Na	Cl	Ag
M (g.mol^{-1})	1,0	12,0	14,0	16,0	23,0	35,5	107,9

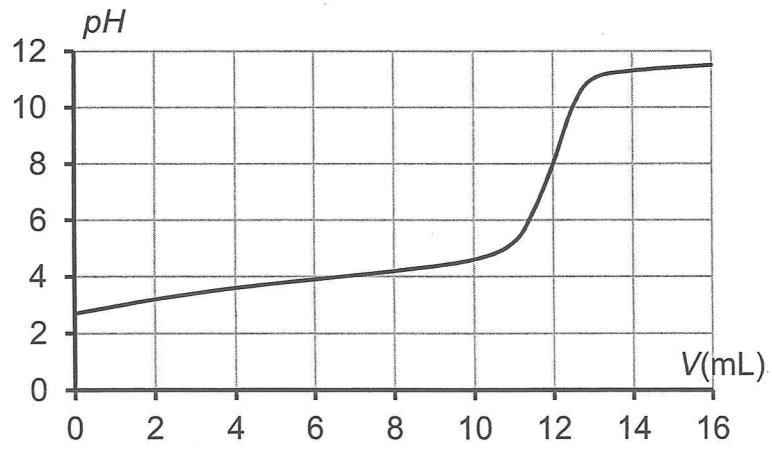
- Conductivités molaires ioniques à 25 °C :

Ion	Ag^+	Cl^-	NO_3^-
$\lambda°$ (mS.m^2.mol^{-1})	6,19	7,63	7,14

- Couleurs et zone de virage d'indicateurs colorés acido-basiques usuels :

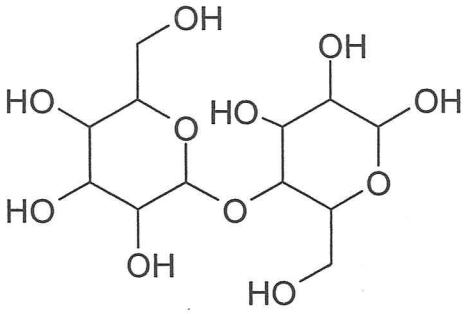
Indicateur coloré	Teinte de la forme acide	Zone de virage	Teinte de la forme basique
Hélianthine	rouge	3,1 < pH < 4,4	jaune
Bleu de bromothymol	jaune	6,0 < pH < 7,6	bleu
Phénolphtaléine	incolore	8,0 < pH < 10	rose

- Courbe de titrage suivi par pH-métrie de 20,0 mL de solution d'acide lactique de concentration molaire 3,00 x 10^{-2} mol.L^{-1} par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire 5,00 x 10^{-2} mol.L^{-1}:

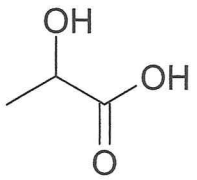


Document. L'échelle d'acidité Dornic

Un lait frais est légèrement acide, son *pH* est compris entre 6,6 et 6,8. Cependant, le lactose subit naturellement une dégradation biochimique progressive sous l'effet des bactéries, et il se transforme en acide lactique. En conséquence, plus le *pH* du lait est faible et moins il est frais.



Lactose $C_{12}H_{22}O_{11}$



Acide lactique $C_3H_6O_3$

L'industrie laitière utilise le degré Dornic pour quantifier l'acidité d'un lait. Cette unité doit son nom à Pierre Dornic (1864 – 1933), ingénieur agronome français. Un degré Dornic (1 °D) correspond à 0,1 g d'acide lactique par litre de lait.

Pour être considéré comme frais, un lait doit avoir une acidité inférieure ou égale à 18 °D. Entre 18 °D et 40 °D, le lait caille (il « tourne ») lorsqu'on le chauffe ; c'est la caséine qui flocule. Au-delà de 40 °D, il caille à température ambiante.

Les yaourts ont une acidité Dornic généralement comprise entre 80 °D et 100 °D.

Tableau de correspondance entre acidité Dornic et *pH* du lait :

Acidité Dornic (° D)	***pH***
Inférieure à 18	Entre 6,6 et 6,8
20	6,4
24	6,1
Entre 55 et 60	5,2

1. Méthode Dornic

Un technicien dose l'acidité d'un lait selon la méthode Dornic. C'est-à-dire qu'il réalise le titrage à l'aide d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)}+HO^-_{(aq)}$) à 0,111 mol.L^{-1}, appelée soude Dornic. Il prélève 10,0 mL de lait, y ajoute deux gouttes de phénolphtaléine et verse la soude Dornic goutte à goutte en agitant le mélange, jusqu'à obtenir une couleur rose pâle. Le volume de soude versée est alors de 2,1 ± 0,1 mL.

On admettra que l'acidité du lait est uniquement due à l'acide lactique.

1.1. Des ions lactate sont-ils présents dans un lait quel que soit son état de fraîcheur ? Justifier.

1.2. Ecrire l'équation de la réaction support du titrage, en supposant que le seul acide présent dans le lait est l'acide lactique.

1.3. Justifier le choix de la phénolphtaléine comme indicateur de fin de réaction.

1.4. Pourquoi n'ajoute-t-on que deux gouttes de phénolphtaléine ?

1.5. Le lait dosé est-il frais ? Un raisonnement argumenté et des calculs rigoureux sont attendus.

1.6. Quel intérêt pratique y-a-t-il à choisir de la soude Dornic pour mesurer l'acidité d'un lait ?

2. Détermination de la teneur en ions chlorure

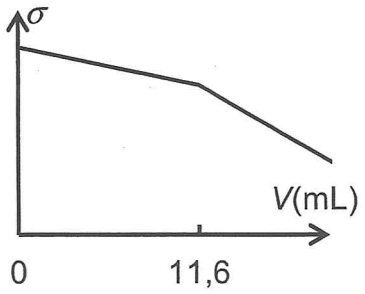
La mammite est une maladie fréquente dans les élevages de vaches laitières. Il s'agit d'une inflammation de la mamelle engendrant la présence de cellules inflammatoires et de bactéries dans le lait. La composition chimique et biologique du lait est alors sensiblement modifiée. La concentration de lactose diminue, tandis que la concentration en ions sodium et en ions chlorure augmente. Cette altération du lait le rend impropre à la consommation. Dans le lait frais normal, la concentration massique en ions chlorure est comprise entre 0,8 $g.L^{-1}$ et 1,2 $g.L^{-1}$. Pour un lait « mammiteux », cette concentration est égale ou supérieure à 1,4 $g.L^{-1}$.

Dans un laboratoire d'analyse, une technicienne titre 20,0 mL de lait mélangé à 200 mL d'eau déminéralisée par une solution de nitrate d'argent ($Ag^+_{(aq)}+NO^-_{3(aq)}$) de concentration molaire $5{,}00 \times 10^{-2}$ $mol.L^{-1}$. Les ions argent réagissent avec les ions chlorure pour former un précipité de chlorure d'argent $AgCl_{(s)}$. Le titrage est suivi par conductimétrie. Le volume équivalent déterminé par la technicienne est 11,6 ± 0,1 mL.

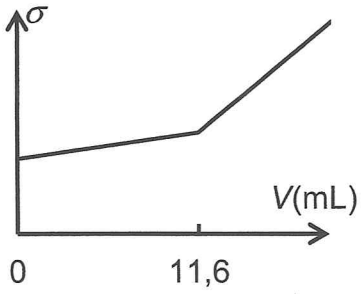
2.1. Ecrire l'équation de la réaction support du dosage.

2.2. Parmi les représentations graphiques suivantes, quelle est celle qui représente l'allure de l'évolution de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé ? Justifier.

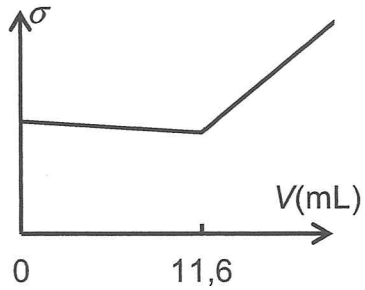
Proposition 1



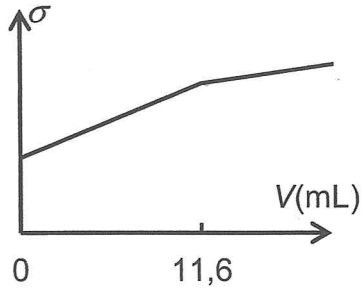
Proposition 2



Proposition 3



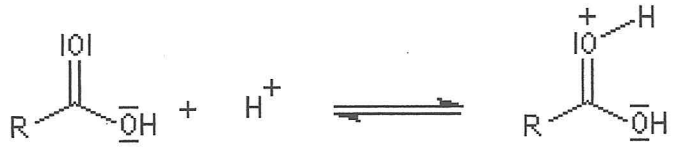
Proposition 4



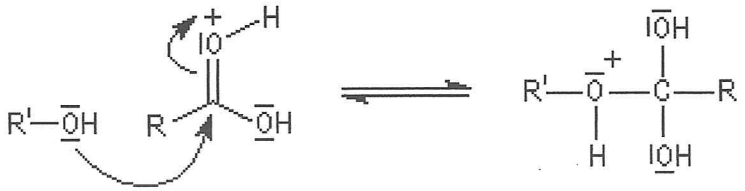
2.3. Le lait analysé est-il « mammiteux » ? Une réponse argumentée et des calculs rigoureux sont attendus.

Annexe de l'exercice II à rendre avec la copie

Etape 1

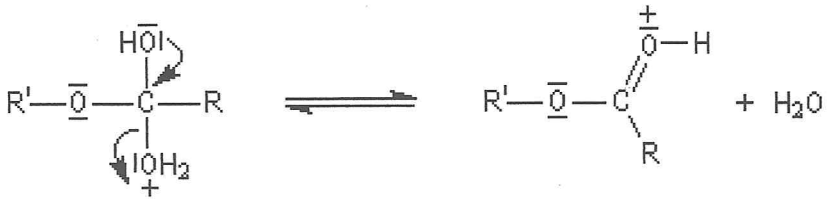
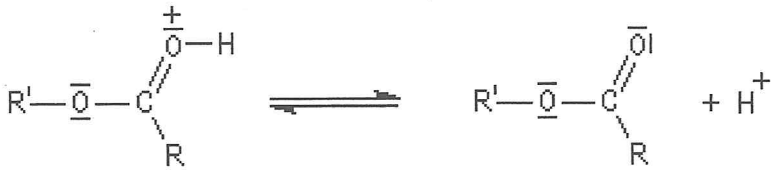


Etape 2



Etape 3

Etape 4



Etape 5