



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
QUALITÉ DANS LES INDUSTRIES ALIMENTAIRES
ET LES BIO-INDUSTRIES

U.22 – SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2015

Durée : 2 heures
Coefficient : 3

Matériel autorisé :

Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire N°99-186 du 16 novembre 1999).

Documents à rendre avec la copie :

Document réponse page 12/12

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 12 pages, numérotées de 1/12 à 12/12.

BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 1/12

La « septième couleur » de l'arc-en-ciel

Depuis l'aube des temps, les hommes ont utilisé des substances d'origine minérale, végétale ou animale pour décorer les parois des grottes ou les fresques des tombeaux.

Les teinturiers égyptiens des temps pharaoniques connaissaient déjà la teinture en bleu d'indigo.

Du Moyen-Age au XVI^{ème} siècle, le midi toulousain a fait fortune grâce à la culture de plantes tinctoriales donnant un colorant bleu appelé pastel.

Au XIX^{ème} siècle les chimistes ont réussi à synthétiser l'indigo, ce qui a permis au monde entier de teindre en bleu les vêtements à moindre coût.

Le pastel donne un bleu pâle et l'indigo un bleu foncé mais on sait maintenant grâce aux analyses chimiques, que la couleur bleue des teintures extraites des plantes tinctoriales ou celle obtenue par synthèse est due à une seule et même molécule, nommée indigotine ou indigo.

Ce qui différenciait les différentes teintures était dû à des impuretés de nature différente.

BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 2/12

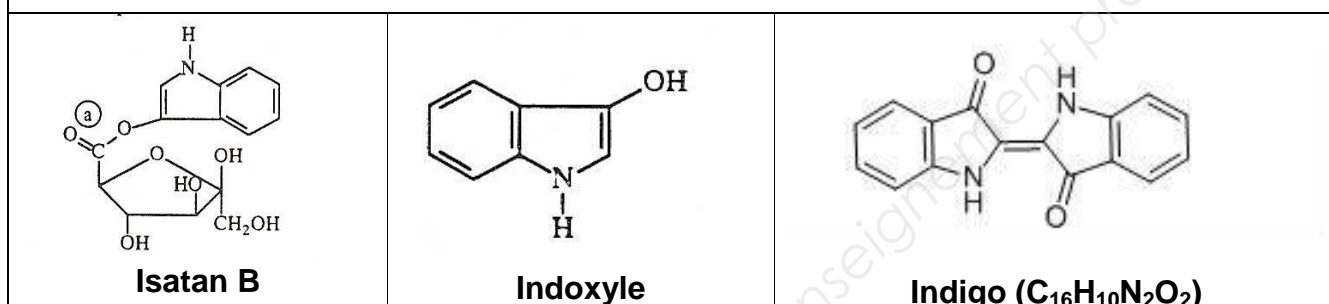
Partie A : l'indigo, une couleur mais aussi une molécule (3 points)

Document 1 : l'indigo

Les feuilles de pastel contiennent l'isatan B, le précurseur biologique de la substance colorante.

Après la cueillette des fleurs, le broyage et la macération, des bactéries produisent des enzymes qui permettent l'hydrolyse de l'isatan B. On obtient, entre autres, l'indoxyle, une substance incolore et soluble dans l'eau.

L'indoxyle, par oxydation à l'air, donne l'indigo, solide bleu foncé, insoluble dans l'eau et donc facilement isolable.



Document 2 : couleur et structure des molécules

La couleur d'un colorant dépend de la structure de sa molécule.

Une molécule colorée comporte de nombreuses liaisons conjuguées (alternance de liaisons doubles et simples) dans des groupements chromophores : C = C , C = O , C = N,... et des substituants auxochromes : - SO₃H, - OH, - COOH, - NH₂, - NHR,....

A.1. Isatan B et indoxyle

A.1.1. Sur la figure 1 du document réponse page 12/12 (à rendre avec la copie), entourer les fonctions alcool de la molécule d'isatan B et préciser leur classe.

A.1.2. Déterminer la formule brute de l'indoxyle.

A.2. Oxydation de l'indoxyle

A.2.1. On s'intéresse à la formation de l'indigo par oxydation de l'indoxyle.

A.2.1.a) Écrire la demi-équation électronique pour le couple (indigo/indoxyle) en milieu acide en utilisant les formules brutes des molécules.

A.2.1.b) Écrire la demi-équation électronique pour le couple (O₂/H₂O) en milieu acide.

A.2.1.c) Écrire l'équation de la réaction qui a lieu lors de la formation de l'indigo.

A.2.2. Expliquer pourquoi l'indigo est une substance colorée.

Partie B : synthèse industrielle de l'indigo (8,5 points)

Document 3 : une synthèse historique

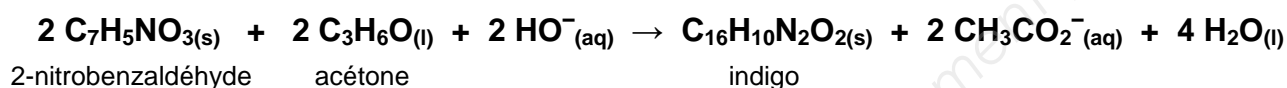
L'indigo peut aussi être extrait d'autres plantes, la plus répandue étant l'**indigotier** ou l'**indigo des Indes** qui est un arbuste des régions chaudes de l'Asie.

Il faut cueillir environ 700 kg de plantes pour obtenir 1 kg de pigment indigo. Le procédé dure plusieurs mois.

La première synthèse industrielle de ce colorant date de 1897 et a été réalisée par le chimiste allemand Adolf Von Baeyer (prix Nobel en 1905 pour cette synthèse).

Les réactifs utilisés lors de cette synthèse sont : le 2-nitrobenzaldéhyde issu du goudron de houille, et de l'acétone en milieu basique (apport d'ions hydroxyde HO^-).

L'équation de la transformation effectuée lors de cette synthèse est :



Actuellement la production annuelle mondiale est de 14 000 tonnes.

Le marché du blue-jeans consomme 99 % de cette production.

Document 4 : protocole expérimental

- Prélever une masse $m = 1,00$ g de 2-nitrobenzaldéhyde.
- Dans un erlenmeyer de 100 mL, dissoudre ce prélèvement dans environ 10 mL d'acétone et environ 15 mL d'eau sous agitation magnétique.
- Ajouter alors goutte à goutte (pour éviter les projections) 4 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium ou soude ($\text{Na}^+ + \text{HO}^-$) à environ $2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en maintenant l'agitation : le mélange s'échauffe et la couleur de la solution passe rapidement au jaune clair puis devient plus foncée et en quelques secondes un précipité d'indigo apparaît.
- Maintenir l'agitation encore 5 minutes puis laisser reposer 5 minutes.
- Filtrer le mélange obtenu sous vide (filtration sur Büchner).
- Rincer le pigment obtenu à l'eau froide puis avec 10 mL d'éthanol.
- Sécher le solide avec du papier absorbant puis le placer dans une coupelle dont on aura déterminé au préalable la masse. Mettre la coupelle à l'étuve. Peser la masse de solide obtenu après une heure de séchage.

B.1. Indigo de synthèse ?

En vous appuyant sur les documents, donner deux raisons permettant de justifier l'utilisation d'indigo de synthèse (une des raisons devra s'appuyer sur un calcul).

BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 4/12

B.2. Synthèse de l'indigo

Un chimiste doit mettre au point les conditions de synthèse de l'Indigo afin d'améliorer le rendement de cette production au sein de son entreprise.

Il réalise pour cela le protocole expérimental donné dans le **document 4**.

B.2.1. Dans la synthèse, on utilise de l'*acétone* (aussi appelée *propanone*).

B.2.1.a) Indiquer la verrerie que le chimiste doit utiliser pour prélever l'acétone.

B.2.1.b) Donner la formule semi-développée de l'acétone.

B.2.1.c) L'analyse du spectre RMN de l'acétone montre un unique singulet vers 2,2 ppm. Justifier cette observation et comparer la valeur de ce déplacement chimique à celle des protons d'un alcane.

B.2.1.d) Sur le spectre infra-rouge de l'acétone, on observe une bande d'absorption vers 1700 cm^{-1} , cette bande n'est plus présente sur le spectre du produit obtenu après réduction de l'acétone.

À quelle liaison est due cette bande à 1700 cm^{-1} sur le spectre infra-rouge ?

B.2.2. Légender le schéma du montage de la filtration sous vide, représenté sur la **figure 2** du **document réponse** page 12/12 (**à rendre avec la copie**) en utilisant les mots contenus dans la liste suivante : filtrat, fiole à vide, papier filtre, entonnoir Büchner, trompe à vide, excipients solides.

B.2.3. Expliquer pourquoi la filtration sous vide est préférée à une filtration simple.

B.2.4. Le chimiste souhaite **déterminer le rendement de cette synthèse** sachant que la masse d'indigo m_i obtenue après séchage est de 0,49 g.
Indiquer la démarche qu'il doit suivre. Vous ferez apparaître le raisonnement ainsi que les calculs.

Conseils : montrer que le 2-nitrobenzaldéhyde est le réactif limitant et calculer la masse maximale d'indigo attendue. On pourra utiliser un tableau d'avancement.

Le rendement r est le rapport entre la masse d'indigo obtenue et la masse d'indigo attendue si la réaction était totale.
--

Données :

masses molaires (en g.mol^{-1}) : $M(\text{indigo}) = 232$ $M(2\text{-nitrobenzaldéhyde}) = 151$

masse volumique de l'acétone : $\rho = 0,79\text{ g.cm}^{-3}$

B.2.5. Le chimiste veut ensuite déterminer la masse de 2-nitrobenzaldéhyde nécessaire à la production de 100 kg de pigment.

Préciser le calcul qu'il doit effectuer et faire l'application numérique.

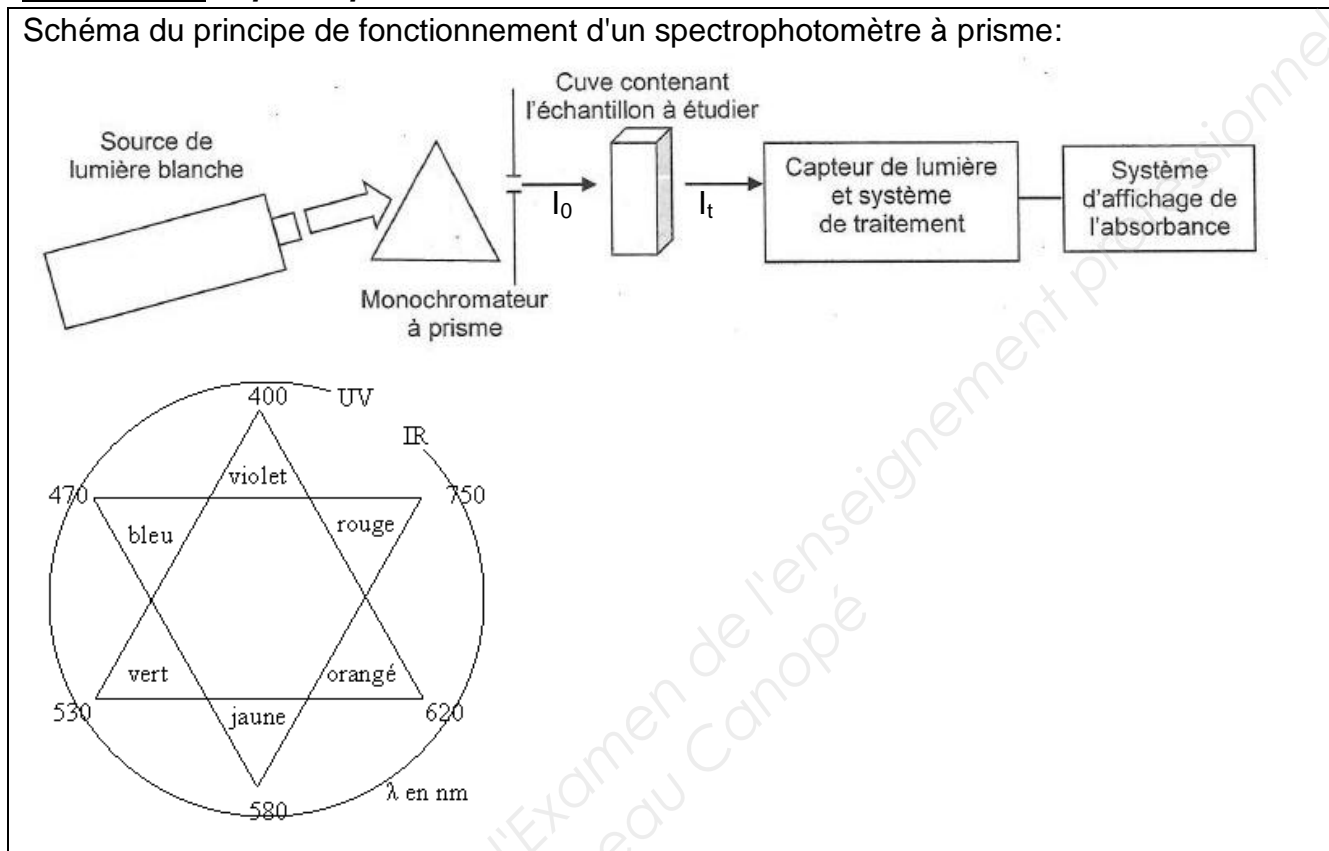
BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 5/12

B.3. La couleur indigo ?

Le chimiste effectue le spectre d'absorption dans le visible d'une solution d'indigo obtenue précédemment, dans l'éthanol acidifié.

Document 5 : spectrophotométrie

Schéma du principe de fonctionnement d'un spectrophotomètre à prisme:

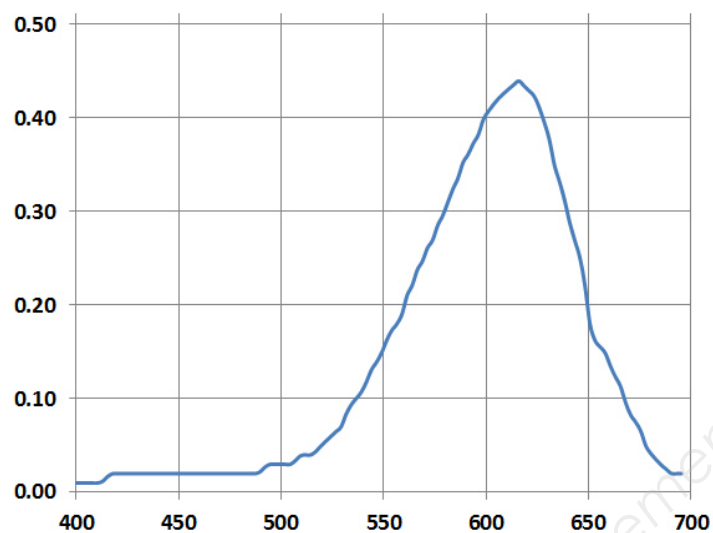


B.3.1. Sur votre copie, répondre par VRAI ou FAUX aux affirmations suivantes. Pour les affirmations fausses, justifier et corriger.

- La lumière blanche est monochromatique.
- Le prisme disperse la lumière par diffraction.
- Les radiations de la lumière visible ont une longueur d'onde λ comprise entre 400 nm et 800 nm.
- L'indice de réfraction du prisme dépend de la longueur d'onde de la radiation lumineuse.
- La fréquence ν d'une radiation monochromatique de couleur violette est supérieure à celle d'une radiation de couleur rouge.

BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 6/12

B.3.2. Le spectre obtenu par le chimiste est représenté ci-dessous.



B.3.2.a) Nommer les grandeurs portées sur les axes (en ordonnée et en abscisse) et donner leur unité.

B.3.2.b) Ce spectre permet-il de justifier la couleur de l'indigo ?

Partie C : des bonbons bleus à risques ? (2,5 points)

Le carmin d'indigo, dérivé soufré de l'indigo, est utilisé dans l'industrie agro-alimentaire, en particulier comme colorant bleu E132 des confiseries. Il présente certains risques pour la santé : il est allergisant et provoque quelques irritations de la peau à haute dose.

Un grand amateur de bonbons gélatineux bleus a repéré sur l'étiquette la présence de ce colorant E132 dont la DJA est de 5 mg/kg.

La DJA (Dose Journalière Admissible) est la masse maximale d'un produit que l'on peut absorber par jour. Elle s'exprime en milligrammes de produit par kilogramme de masse corporelle.

Alerté, il décide d'évaluer le risque lié à sa gourmandise pour sa santé, afin d'adapter si nécessaire sa consommation de bonbons.

Il réalise pour cela le dosage spectrophotométrique de ce colorant dans un bonbon.

C.1. Dosage spectrophotométrique

L'amateur de bonbons dissout un bonbon dans l'eau d'une fiole jaugée de 50 mL. Il obtient une solution B.

Il réalise ensuite une échelle de teintes à partir d'une solution mère de colorant de concentration $c_{\text{Mère}} = 3,45 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$.

Les concentrations des solutions réalisées sont données dans le tableau ci-dessous :

Solutions filles	1	2	3	4	5
Concentrations(en mol.L ⁻¹)	$1,14 \cdot 10^{-6}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$4,08 \cdot 10^{-6}$	$5,44 \cdot 10^{-6}$	$6,80 \cdot 10^{-6}$

Après mesure de l'absorbance de chaque solution fille, il trace la courbe représentant l'absorbance A en fonction de la concentration c exprimée en mol.L⁻¹.

C.1.1. Donner le nom général de ce type de courbe.

C.1.2. Il obtient une droite d'équation: $A = 83,7 \cdot 10^3 \times c$

Citer la loi mise en évidence.

C.2. Combien de bonbons par jour ?

L'absorbance de la solution B mesurée est : $A_b = 0,518$

Déterminer le nombre de bonbons n_b que cet amateur qui pèse 70 kg peut consommer par jour sans risque pour sa santé. Conclure.

Données : formule chimique du E132 (carmin d'indigo) : $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$
masse molaire de E132 : $M(E132) = 466 \text{ g.mol}^{-1}$

Partie D : une écharpe en soie 100 % naturelle (6 points)

Document 5 : teinture à l'indigo

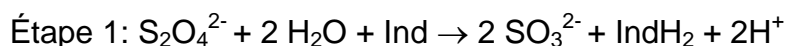
L'indigo (Ind) est insoluble dans l'eau : on ne peut donc pas fabriquer directement une teinture.

On utilise alors une forme réduite appelée leucodérivé (IndH₂), jaune et soluble dans l'eau. On la prépare par action des ions dithionite (S₂O₄²⁻) sur l'indigo.

On immerge le tissu dans la cuve, il devient jaune.

Lorsqu'on le retire du bain de teinture, il prend sa coloration bleue.

Les deux équations des réactions d'oxydoréduction se produisant au cours des deux étapes de la teinture sont :



Les couples (oxydant / réducteur) qui interviennent sont :

- (Ind / IndH₂)
- (ions sulfite / ions dithionite) soit (SO₃²⁻_(aq) / S₂O₄²⁻_(aq))
- (dioxygène / eau) soit (O_{2(g)} / H₂O_(l))

Depuis quelques années, une entreprise Lauragaise réhabilite le pastel en utilisant l'indigo naturel pour teindre des écharpes et étoiles en pure soie.

À l'achat d'un foulard, et en discutant du mode opératoire utilisé pour la teinture, le vendeur vous dit :

"La teinture à l'indigo, c'est un tour de magie. La couleur bleue n'apparaît que lorsqu'on enlève le tissu de la cuve ! "

D.1. De la magie?

D.1.1. Indiquer la couleur du bain de teinture en justifiant la réponse.

D.1.2. Rédiger le texte du mail (en 5 lignes maximum) que vous allez envoyer au vendeur lui expliquant le "tour de magie". Utiliser un vocabulaire scientifique précis.

D.1.3. Placer les 3 couples (oxydant / réducteur) intervenant sur l'axe de potentiel standard de la **figure 3** du **document réponse** page 12/12 (**à rendre avec la copie**).


BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 9/12

D.2. Observation microscopique d'une fibre de soie teintée

De retour avec votre foulard, vous souhaitez vérifier que la soie utilisée est bien naturelle en effectuant une observation microscopique. En effet, on peut distinguer les fibres naturelles des fibres synthétiques au microscope par leur contour caractéristique. Les fibres de soie ont une surface plane avec des irrégularités, ce qui les distingue des fibres synthétiques dont la surface est plus régulière.

Il faut en premier lieu, extraire les fils du tissu et, ensuite, isoler une fibre. Cette fibre est ensuite placée sur une lame de préparation pour observation au microscope optique.

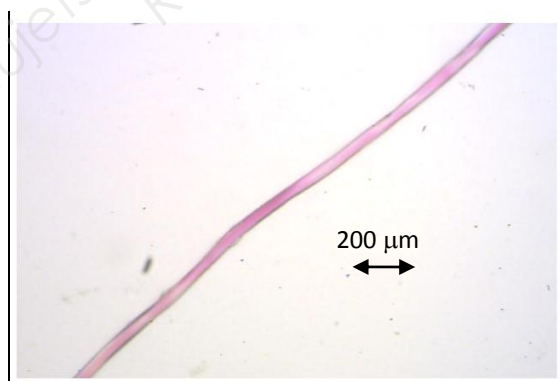
L'observation est réalisée avec un microscope optique dont les caractéristiques sont précisées ci-dessous :



Microscope binoculaire de laboratoire.
Caractéristiques :

- source lumineuse selon Kohler avec diaphragme de champ
- statif en aluminium moulé, peinture epoxy au four
- système optique et objectifs : modèle **Infinifix™** équipé d'objectifs S-plan et plan 160 mm
- tête : binoculaire rotative sur 360° et inclinée à 30°
- oculaire : grand champ de vision de 22 mm, 10X
- objectif : plan achromatique 4X, 10X, 40X et 100X
- platine : 2 niveaux avec surplatine mécanique 175 x 145 mm
- éclairage spécial X-LED™
- possibilité d'ajouter un système photo ou caméra

L'image obtenue avec l'objectif **40X** est représentée ci-dessous :



D.2.1. Justifier que le grossissement G utilisé pour obtenir l'image est égal à 400.

BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 10/12

D.2.2. Visible ou pas à l'œil nu ?

Le diamètre moyen de ce fil de soie est estimé à **50 μm** .

D.2.2.1. Justifier que cette estimation est en accord avec l'image obtenue au microscope.

D.2.2.2. Calculer le diamètre apparent θ (en rad) à l'œil nu de la fibre à la distance minimale de vision distincte $d_m = 25 \text{ cm}$.

La fibre est-elle visible à l'œil nu?

Conseil : on comparera la valeur du diamètre apparent au pouvoir de résolution de l'œil qui est de $3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$

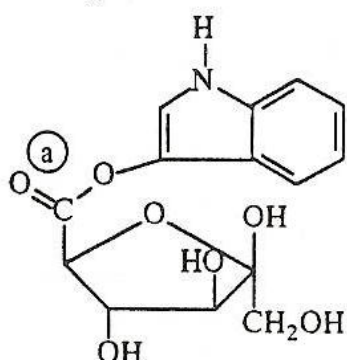
D.2.3. Peut-on affirmer que la fibre est bien de la soie naturelle ?

BTS Qualité dans les industries alimentaires et les bio-industries		Session 2015
U.22 : Sciences physiques	Code : QAPHY	Page : 11/12

Document réponse (à rendre avec la copie)

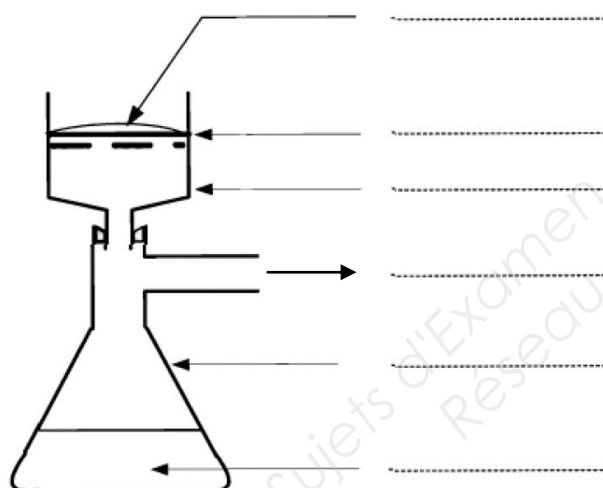
Partie A – Question A.1.1. Formule développée de la molécule d'isatan B

Figure 1



Partie B – Question B.2.3. Schéma du montage de la filtration sous vide

Figure 2



Partie D – Question D.1.3. Axe des potentiels standards

Figure 3

