

Exercice 1 : Autour de l'indigo

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.

Partie A : L'indigo, une couleur mais aussi une molécule



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 (C₈H₇NO), une substance incolore et soluble dans l'eau. L'indoxyle réagit avec le dioxygène (O₂) de l'air pour donner de l'indigo (C₁₆H₁₀N₂O₂) et de l'eau. L'indigo, solide bleu foncé, est insoluble dans l'eau donc facilement isolable.





A1-Formation de l'indigo par oxydation de l'indoxyle :

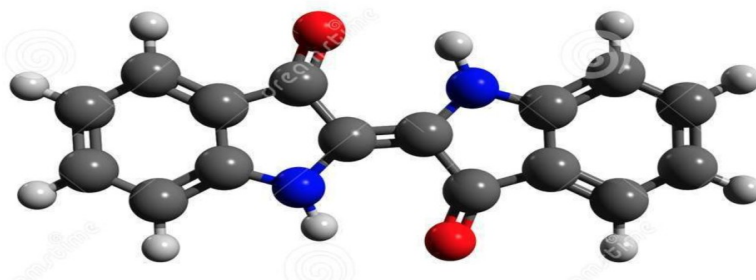
A1-a) Identifier les réactifs et les produits de la transformation chimique permettant d'obtenir l'indigo.

A1-b) Ecrire l'équation de la réaction ajustée qui modélise la transformation chimique de formation de l'indigo.

A2-Etude de la molécule d'indigo :

Indigo

-  Hydrogène
-  Carbone
-  Oxygène
-  Azote



Modèle moléculaire en couleur

Donnée :

-Numéros atomiques : H (Z=1), C (Z=6), O (Z=8) et N (Z=7)

A2-a) Pour les quatre atomes différents de la molécule :

-donner la formule électronique (ou configuration électronique) ;

-donner le nombre d'électrons de valence.

A2-b) Rappeler la règle de stabilité.

A2-c) Identifier le nombre de liaisons covalentes formées par un atome d'azote puis montrer qu'il faut placer un doublet non liant autour de l'atome d'azote dans le schéma de Lewis de la molécule.

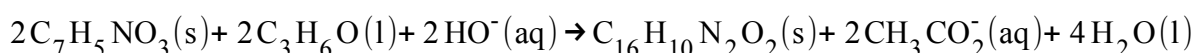
Partie B : Synthèse industrielle de l'indigo

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 1,00 kg de pigment indigo. Le procédé dure plusieurs mois.

B1-a) Exprimer puis calculer le pourcentage massique de pigment indigo dans les plantes.

B1-b) Justifier la nécessité de procéder à la synthèse de l'indigo au lieu de l'extraire de la nature.

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 ($C_7H_5NO_3$) issu du goudron de houille, et de l'acétone (C_3H_6O) en milieu basique (apport d'ions hydroxyde HO^-). L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique effectuée lors de cette synthèse est :



Protocole :

-Prélever une masse $m=1,00$ g de 2-nitrobenzaldéhyde ($C_7H_5NO_3$).

-Dans un erlenmeyer de 100 mL, dissoudre ce prélèvement dans 1,0 mL d'acétone (C_3H_6O) et environ 15 mL d'eau sous agitation magnétique.

-Ajouter alors goutte à goutte (pour éviter les projections) 4,0 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium dont la concentration en masse d'hydroxyde de sodium NaOH est $t(NaOH)=80,0$ g.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.

-Après filtration, rinçage et séchage, on recueille 0,49 g d'indigo.

B2-Préparation de la solution d'hydroxyde de sodium :

B2-a) Exprimer puis calculer la masse d'hydroxyde de sodium nécessaire à la préparation de $V=50,0$ mL de solution d'hydroxyde de sodium.

B2-b) Donner le protocole permettant la préparation de cette solution.

B3-Etude du protocole de la synthèse :

Données :

-Masse d'une molécule de 2-nitrobenzaldéhyde : $m(C_7H_5NO_3)_{\text{molécule}} = 2,51 \times 10^{-22}$ g

-Masse d'une molécule d'acétone : $m(C_3H_6O)_{\text{molécule}} = 9,63 \times 10^{-23}$ g

-Densité de l'acétone : $d(\text{acétone}) = 0,79$

-Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹

B3-a) Montrer que $n(C_7H_5NO_3)_i = 6,62$ mmol et $n(C_3H_6O)_i = 14$ mol.

B3-b) En sachant que les ions hydroxyde sont introduits en excès. Déterminer le réactif limitant de cette transformation chimique. Justifier.

B3-c) En considérant la transformation chimique comme totale, déterminer, en justifiant votre réponse, la masse d'indigo que l'on doit produire à la fin de la synthèse.

B3-d) Déterminer le rendement « r » de cette synthèse sachant qu'il est égal au rapport de la masse d'indigo effectivement obtenue par la masse d'indigo produite si la transformation est totale (question B3-c)).

B3-e) La transformation chimique de la synthèse de l'indigo est-elle exothermique ou endothermique ? Justifier.

Partie C : Indigo et carmin d'indigo

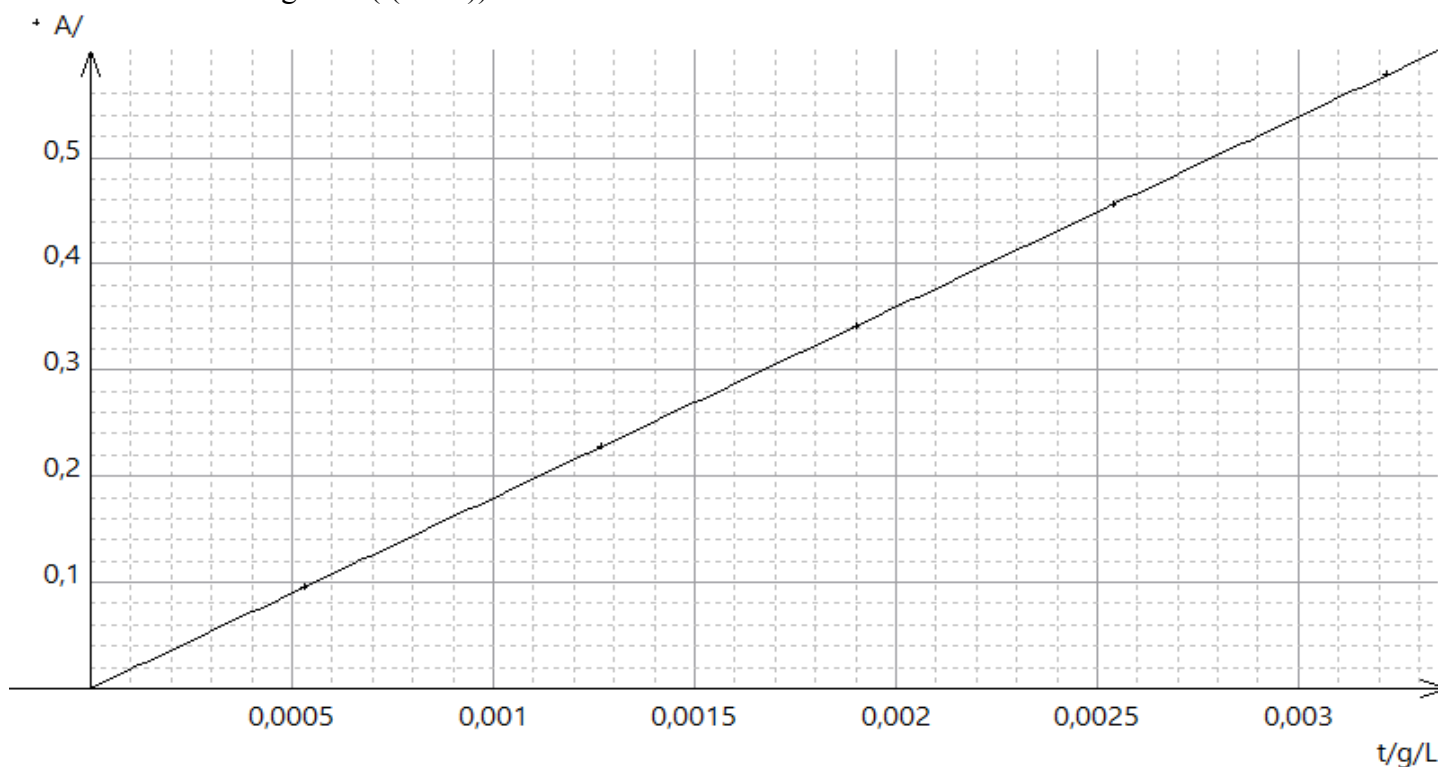
Le carmin d'indigo, dérivé soufré de l'indigo, est utilisé dans l'industrie agro-alimentaire, en particulier comme colorant bleu E132 des confiseries. Il présente certains risques pour la santé : il est allergisant et provoque quelques irritations de la peau à haute dose. Un grand amateur de bonbons gélatineux bleus a repéré sur l'étiquette la présence de ce colorant E132 dont la dose journalière admissible est de 5 mg par kg 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 par étalonnage par mesure d'absorbance de ce colorant dans un bonbon.

L'amateur de bonbons dissout un bonbon dans l'eau d'une fiole jaugée de 50,0 mL. Il obtient une solution B. Il réalise ensuite une échelle de teintes à partir d'une solution mère S de colorant E132 de concentration en masse $t(E132)_S = 1,61 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ et mesure l'absorbance de chaque solution fille. Les concentrations en masse du colorant E132 des solutions réalisées ainsi que leur absorbance sont données dans le tableau ci-dessous :

Solutions	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
t(E132) (g · L ⁻¹)	$5,31 \times 10^{-4}$	$1,27 \times 10^{-3}$	$1,90 \times 10^{-3}$	$2,54 \times 10^{-3}$	$3,22 \times 10^{-3}$
Absorbance A	0,095	0,228	0,341	0,455	0,578

La courbe d'étalonnage $A=f(t(E132))$ ainsi obtenue est donnée ci-dessous :



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

C1-Etude la solution S₅ :

C1-a) Exprimer puis calculer le facteur de dilution permettant d'obtenir la solution S₅ à partir de la solution S.

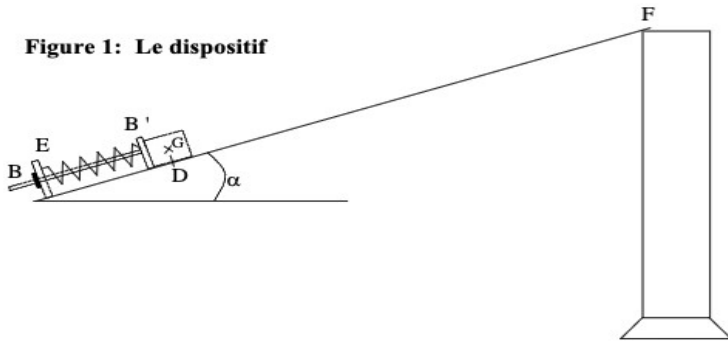
C1-b) Donner le protocole de préparation de 50,0 mL de solution S₅ à partir de la solution S. Justifier les éventuels calculs.

C2-Exploitation du dosage par étalonnage :

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

Exercice 2 : Mouvement d'un palet

Figure 1: Le dispositif



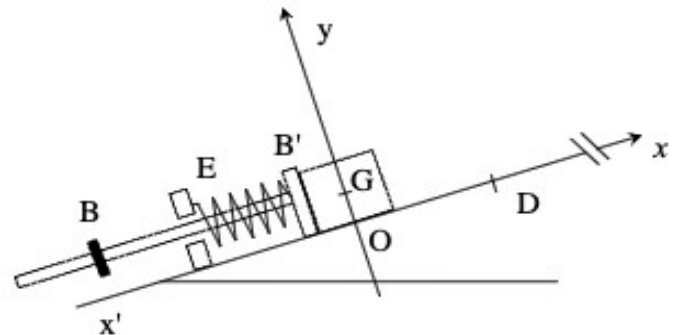
Un palet en acier de masse $m=50,0\text{g}$ peut se déplacer sur une gouttière inclinée d'un angle $\alpha=28,0^\circ$ avec l'horizontale. En D, le palet passe avec une vitesse V_D acquise à l'aide d'un propulseur à ressort. En F, la gouttière est ouverte et le palet peut en sortir librement. Il tombe ensuite dans une éprouvette contenant de la glycérine (voir figure 1 ci-contre).

Partie A : Propulsion du palet

Dans le bas de la gouttière se trouve un dispositif de propulsion constitué d'une tige munie de deux butées B et B' servant d'axe à un ressort. L'extrémité E du ressort est maintenue fixe, l'autre est libre et reste en contact avec le palet par l'intermédiaire de la butée B' tant que le ressort est comprimé.

La position du centre de masse G du palet est repérée sur un axe $x'x$ de même direction que la pente de la gouttière et orienté vers le haut (voir figure 2 ci-contre).

Figure 2: vue agrandie du lanceur



Un manipulateur tire sur la tige et comprime ainsi le ressort jusqu'à ce que le centre de masse du palet se trouve au point O. En lâchant la tige, il libère le dispositif qui propulse le palet.

Lorsque le centre de masse du palet arrive en D, la butée B bloque le mouvement du ressort et libère le palet : le ressort n'agit plus sur le palet.

On filme le mouvement du palet puis on exploite la vidéo avec un logiciel adapté.

La figure 3 (à l'échelle 1/1) suivante, présente la position qu'occupe le centre de masse G du palet à intervalles de temps réguliers $\Delta t=20,0\text{ms}$ (points G_0 à G_5). A $t=0$, le centre de masse du palet est au point O ou G_0 .



On peut considérer les frottements comme négligeables lorsque le palet glisse dans la gouttière.

A1-Donner le système d'étude et le référentiel utilisé par étudier le mouvement du système.

A2-A partir de la chronophotographie et sans calcul, déterminer la nature du mouvement du système étudié entre les points O et D. Justifier.

A3-a) Exprimer puis calculer la valeur de la vitesse au point G_4 .

A3-b) Représenter le vecteur vitesse au point G_4 avec l'échelle des vitesses suivante : $1,0\text{cm} \Leftrightarrow 0,50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

A4-a) A l'aide d'un diagramme interaction-objet, lister les forces qui s'exercent sur le système étudié entre les point O et D.

A4-b) Représenter sur un schéma, sans soucis d'échelle mais de manière cohérente, les forces qui s'exercent sur le système étudié entre les point O et D.

A5-Que peut-on dire de ces forces entre les points O et D ? Justifier.

Partie B : Chute du palet dans l'éprouvette

En F, le palet poursuit son mouvement en réalisant une chute verticale dans une éprouvette contenant de la glycérine. On admettra que dans ce cas, le palet est soumis à une force de frottement fluide due à la glycérine.

Données :

-Masse du palet : $m = 50,0 \text{ g}$

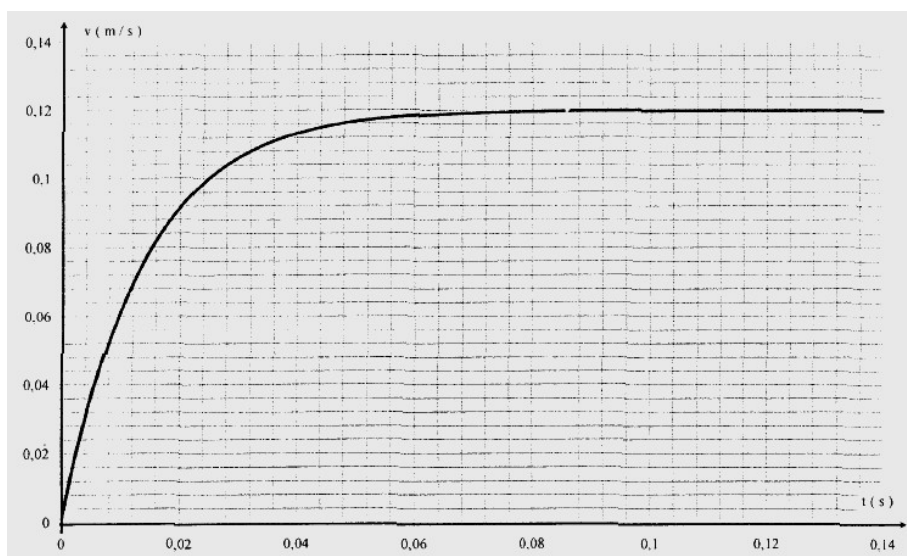
-Intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

-Norme (valeur) de la force de frottement fluide : $f = k \times v$ avec k un coefficient qui dépend du fluide.

B1-a) A l'aide d'un diagramme interaction-objet, lister les forces qui s'exercent sur le système étudié lors de sa chute dans l'éprouvette puis donner leurs caractéristiques.

B1-b) Représenter sur un schéma, sans soucis d'échelle mais de manière cohérente, les forces qui s'exercent sur le système étudié lors de sa chute dans l'éprouvette.

L'analyse du mouvement du palet lors de sa chute dans la glycérine a permis d'obtenir le graphique (ci-dessous) montrant l'évolution de la vitesse du palet au cours du temps.



B2-Déterminer la nature du mouvement du système étudié à partir de 0,08 s. Justifier.

B3-a) Que peut-on dire des forces qui s'exercent sur le système à partir de 0,08 s. Justifier.

B3-b) En déduire la valeur du coefficient k dans le cas de la glycérine. Justifier.