

Art et sciences physiques

Ce sujet propose différentes études scientifiques et activités pédagogiques autour de l'art. Il s'appuie sur un dossier documentaire organisé autour de trois types de documents : textes réglementaires et officiels, documents supports à l'enseignement et productions d'élèves, documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet.

Des parties du sujet sont plus particulièrement consacrées à l'analyse de certaines annexes, cependant l'ensemble des informations contenues dans ces annexes peut être utile dans l'intégralité du sujet.

Le sujet comporte quatre fascicules :

- un premier document présentant la problématique du thème abordé et décrivant les tâches successives à réaliser par le candidat ;
- chacune des trois annexes constituant le dossier documentaire sur lequel le candidat doit s'appuyer

Annexe 1. Textes réglementaires et officiels

- Annexe 1.1 : Extrait du préambule du programme du collège : BO spécial n° 6 du 28 août 2008.
- Annexe 1.2 : Extrait du programme de la classe de quatrième : BO spécial n° 6 du 28 août 2008
- Annexe 1.3 : Extrait du programme de la classe de seconde, enseignement commun et enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques : BO spécial n° 4 du 29 avril 2010.
- Annexe 1.4 : Extrait du programme des classes de première L et ES : BO spécial n° 9 du 30 septembre 2010.
- Annexe 1.5 : Extrait du programme de la classe de première S : BO spécial n° 9 du 30 septembre 2010.
- Annexe 1.6 : Extrait du programme de la classe de terminale S enseignement spécifique : BO spécial n°8 du 13 octobre 2011.
- Annexe 1.7. : Extrait du programme des classes de première STI2D et STL : BO n°3 du 17 mars 2011.

Annexe 2. Documents supports à l'enseignement et productions d'élèves

- Annexe 2.1 : Extrait d'un manuel scolaire de quatrième : du pointillisme à la télévision.
- Annexe 2.2 : Extrait d'un devoir surveillé de première L ou ES et panel de réponses des élèves.
- Annexe 2.3 : Extrait du cours d'un manuel scolaire de terminale S sur la couleur perçue.

Annexe 3. Documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet

- Annexe 3.1 : Comment perçoit-on la couleur ?
- Annexe 3.2 : Chimie de la vision.
- Annexe 3.3 : Le khôl égyptien et médecine traditionnelle : la science au service de l'art.
- Annexe 3.4 : La photographie argentique.
- Annexe 3.5 : Le chant du styrène.
- Annexe 3.6 : Un accélérateur de particules au Louvre.
- Annexe 3.7 : Un Van Gogh peut en cacher un autre.

Art et sciences physiques

Contexte: Dans une cité scolaire (collège – lycée) comportant des sections d'enseignement général et d'enseignement technologique STI2D, un des axes du volet culture du projet d'établissement est d'établir pour chaque jeune un parcours culturel de la sixième à la terminale en développant une approche interdisciplinaire de l'enseignement de l'histoire des arts au collège et en proposant, au lycée, des activités disciplinaires en relation avec l'art.

L'équipe de professeurs de sciences physiques a élaboré dans chaque niveau et chaque filière des activités en relation avec ce projet et avec les programmes.

Partie I : La couleur

La vision des couleurs est abordée en classe de quatrième, de première L et ES et de première S.

1.1. Perception de la couleur (Annexes 3.1 et 3.2)

- 1- Identifier la fonction organique présente dans la molécule de rétinol.
- 2- Donner le groupe caractéristique d'une imine et le mécanisme de sa formation en milieu acide. En déduire le groupe caractéristique que doit comporter l'opsine.
- 3- Quelle relation d'isomérisation existe-t-il entre le rétinol et le néorétinol ? Comment justifiez-vous à des élèves de première S que ces deux molécules sont différentes ?
- 4- En exploitant les documents des annexes 3-1 et 3-2 et plus particulièrement ce qui concerne la molécule de rétinol, quelle démarche élaborer avec les élèves pour construire la compétence attendue du programme de première S : « établir un lien entre la structure moléculaire et le caractère coloré ou non coloré d'une molécule » ?

1.2. Synthèse additive et synthèse soustractive des couleurs

- 5- Comment expliqueriez-vous la différence entre la synthèse additive et la synthèse soustractive des couleurs, à des élèves de première S en vous appuyant sur les connaissances acquises en classe de quatrième ?
- 6- Reformuler la fin du paragraphe sur le pointillisme de l'annexe 2.1 destiné à des élèves de quatrième, à partir de « En observant le tableau de loin... », pour l'adapter aux attendus du programme de première S.

L'annexe 2.2 présente un extrait d'évaluation destinée à des élèves de première L ainsi qu'une répartition statistique des réponses faite par le professeur.

- 7- Faire une analyse de ces résultats en insistant sur les points qui ne semblent pas maîtrisés par les élèves.
- 8- Proposer une remédiation concernant les capacités exigibles non acquises par certains élèves de cette classe de première L.
- 9- À propos du document de l'annexe 2.3, un élève de terminale S vous interroge sur la couleur de l'ion chrome III en solution présentée dans le manuel scolaire. Il ne parvient pas à comprendre pourquoi il paraît vert. Voici son raisonnement qui s'appuie sur la méthode utilisant le cercle chromatique décrite dans le manuel : l'ion chrome III absorbe dans le violet, couleur complémentaire du jaune et dans l'orangé, couleur complémentaire du bleu. L'œil reçoit les couleurs complémentaires des couleurs absorbées. Or la synthèse additive du jaune et du bleu donne du blanc. Pourquoi, donc, l'ion chrome III apparaît-il vert ? Comment lui expliquez-vous cette apparente contradiction ?
- 10- Une des compétences décrite dans le programme de première L et ES est « exploiter un cercle chromatique ». Précisez les modalités d'utilisation de ce diagramme donné dans le sujet du devoir ou dans le manuel scolaire.

Données :

Produit ionique de l'eau : $K_e = 10^{-14}$ à 298 K.

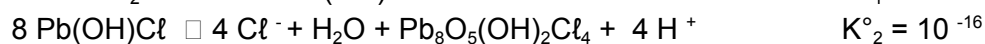
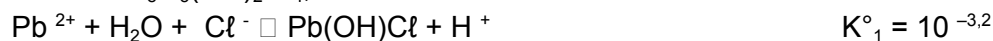
Masses molaires (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : O : 16 ; Na : 23 ; S : 32 ; Br : 80 ; Ag : 108

Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

2.1. Analyse documentaire sur la synthèse de la laurionite (khôl égyptien)

En vue de préparer une activité documentaire pour la classe de terminale S, vous exploitez un ensemble de documents décrivant une recette antique de préparation du khôl égyptien. Ces documents vous conduisent à vous interroger sur les fondements de cette recette.

- 11- Le numéro atomique du plomb est $Z = 82$. Prévoir ses états d'oxydation les plus courants en expliquant votre raisonnement.
- 12- Traduire la recette relatée par Dioscoride par une équation de réaction pour la formation de la laurionite.
- 13- Déterminer les quantités de matière des réactifs pour l'ensemble des 30 jours de préparation. La livre et la drachme sont des anciennes unités de mesure de masse qui représentent respectivement 324 g et 3,41 g. On donne les masses molaires du plomb ($207 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$), de l'oxygène ($16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) et du chlorure de sodium, NaCl ($58,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$). Quel est l'intérêt du point de vue chimique de la répétition de l'opération : élimination de l'excès d'eau puis addition de « sel de roche et eau tiède » ? Citer le principe utilisé par les Égyptiens.
- 14- Afin d'étudier la stabilité de la laurionite qui peut se dissocier en ion Pb^{2+} ou se transformer en blixite de formule $\text{Pb}_8\text{O}_5(\text{OH})_2\text{Cl}_4$, on considère les réactions suivantes :



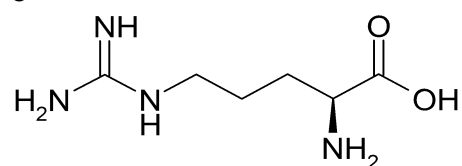
Les deux complexes du plomb sont considérés solubles dans l'eau tiède.

On se propose de déterminer les équations des droites frontières pour une concentration de plomb de $0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. La stabilité de la laurionite dépend du pH mais aussi de la concentration en ligand Cl^- .

En prenant la convention d'égalité des concentrations ($c = 0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) pour une droite frontière, déterminer la relation entre $\log([\text{Cl}^-])$ qui sera l'ordonnée et le pH qui sera l'abscisse de ce diagramme appelé diagramme de Pourbaix des chlorures de plomb II.

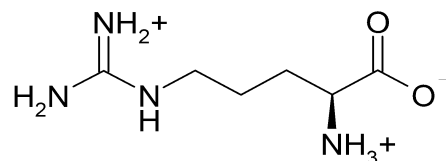
Indiquer alors les zones de prédominance des espèces Pb^{2+} , $\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$ et $\text{Pb}_8\text{O}_5(\text{OH})_2\text{Cl}_4$.

- 15- On considère un sérum physiologique dont la concentration massique annoncée en NaCl est de 0,9% et le pH de 7,2. À l'aide de la masse molaire du sel donnée à la question 13, représenter sur le diagramme le point représentatif du liquide lacrymal. La laurionite est-elle stable dans le liquide lacrymal ? Justifier alors la fin de la « recette ».
- 16- La représentation de la L-arginine est la suivante :



Déterminer le descripteur stéréochimique (configuration absolue) du centre stéréogène et préciser quelle est la signification de la lettre L.

- 17- La fiche WIKIPEDIA de la L-arginine indique 3 pK_A : 2,03 ; 9,00 et 12,10. Montrer que dans le milieu cellulaire elle est sous la forme protonée suivante :



- 18- On met en évidence dans la chaîne de réactions d'oxydoréduction l'intervention du couple $NAD^+/NADH$. Écrire la demi-équation relative à ce couple.

Ajuster alors l'équation de la réaction globale suivante en déterminant les nombres stœchiométriques a, b, c et d sous forme d'entiers ou de demi-entiers :



- 19- Identifier les difficultés que des élèves de seconde peuvent rencontrer pour ajuster l'équation d'une réaction, les formules chimiques des réactifs et des produits étant connues.
20- Les enzymes et les canaux ioniques confondent les ions Pb^{2+} et Ca^{2+} . Proposer des propriétés communes à ces deux ions qui peuvent expliquer cette confusion.

2.2. Quelques aspects de la photographie argentique

Dans le cadre d'un atelier sur la photographie organisé dans la cité scolaire, vous exploitez un ensemble de documents sur la photographie (annexe 3.4).

- 21- L'hydroquinone ($C_6H_6O_2$) notée H_2Q appartient au couple Q/H_2Q de formules topologiques suivantes. Écrire la demi-équation électronique qui correspond à ce couple.



- 22- Déterminer le pH du révélateur, puis, après avoir justifié le caractère diacide faible de H_2Q , indiquer la forme prédominante de H_2Q à ce pH sachant que H_2Q est un diacide faible de pK_A 10,0 et 11,5.

- 23- Déterminer alors la véritable demi-équation électronique pour le couple de l'hydroquinone ainsi que le potentiel standard d'oxydoréduction associé noté E°_2 .

On prendra $\frac{RT \ln(10)}{F} = 0,06 \text{ V}$ et $\frac{RT \ln(10)}{F} = 0,06 \text{ V}$ et on donne le potentiel standard d'oxydoréduction à 298 K : $E_1^\circ(Q/H_2Q) = 0,70 \text{ V}$.

- 24- À l'aide du potentiel standard d'oxydoréduction du couple $Ag^+/Ag_{(s)}$ noté $E^\circ_3 = 0,80 \text{ V}$ et de la valeur du produit de solubilité de $AgBr_{(s)}$, $K_s = 10^{-12}$, déterminer la valeur du potentiel standard d'oxydoréduction du couple $AgBr_{(s)}/Ag_{(s)}$ noté E°_4 .

- 25- Écrire l'équation de réaction d'oxydoréduction correspondant à l'étape de révélation.

- 26- Estimer le temps de révélation à une température de 15°C .

Pour cette question, faisant appel à une démarche de résolution de problème, vous pourrez vous appuyer sur les données fournies et sur vos connaissances.

Les éléments de réponse à cette question seront très significativement valorisés lors de l'évaluation des résultats.

- 27- Pourquoi l'opération de révélation doit-elle avoir une durée limitée ? On plonge alors la pellicule dans un bain d'arrêt. Quel peut être son principe de fonctionnement ?

- 28- Écrire des formes mésomères pour l'ion thiosulfate. Déterminer alors sa structure géométrique.
- 29- Écrire la réaction de dissolution des cristaux de bromure d'argent dans les conditions du fixage et calculer sa constante d'équilibre K° . On donne le log de la constante de formation globale de ce complexe : $\log \beta_2 = 13,5$ pour $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$.
- 30- Dans l'industrie, 5 litres de solution de fixateur permettent de fixer 2000 films environ; en supposant qu'il reste en moyenne 120 mg de bromure d'argent sur chaque film après révélation, quelle masse de thiosulfate de sodium faut-il dissoudre dans 5 litres d'eau ?
- 31- À partir de l'extrait de programme de l'enseignement d'exploration « Méthodes et Pratiques scientifiques » de classe de seconde, décrire une activité destinée aux élèves dans laquelle les éléments du questionnaire précédent pourraient être réinvestis.

2.3. Quand la chimie rime avec poésie : Le chant du styrène

En 1957, la société Péchiney commande à Alain Resnais un film sur le polystyrène intitulé « Le chant du styrène ». Le cinéaste visa un film de vulgarisation et chargea le poète Raymond Queneau d'en écrire le commentaire. (Annexe 3.5)

- 32- Écrire l'équation de réaction pour la formation de l'éthylbenzène à partir de benzène et d'éthylène (éthène) en présence d'un acide de Lewis. Proposer un mécanisme de réaction.
- 33- Écrire alors l'équation de réaction pour la formation du styrène (phényléthène) à partir de l'éthylbenzène en présence d'oxyde de magnésium ou zinc. Pour un élève de Terminale S, à quel type de réaction correspond-elle ?
- 34- Les constantes thermodynamiques de l'équilibre en phase gazeuse de la question 33 valent respectivement aux températures de 600 K et 750 K :
 $K^\circ(600\text{ K}) = 1,24 \cdot 10^{-4}$ et $K^\circ(750\text{ K}) = 1,92 \cdot 10^{-2}$
 En déduire l'enthalpie standard de réaction de cet équilibre étudié dans le sens direct ainsi que l'entropie standard de réaction. Commenter le signe de l'entropie standard de réaction. Étudier alors qualitativement l'influence de la température et de la pression sur cet équilibre.
- 35- Dessiner le montage de distillation fractionnée qui a permis l'obtention historique du styrène à partir de la résine du styrax.
- 36- Reformuler les lignes :
 « Polymérisation : ce mot, chacun le sait,
 Désigne l'obtention d'un complexe élevé
 De poids moléculaire. Et dans un réacteur,
 Machine élémentaire, œuvre d'un ingénieur,
 Les molécules donc s'accrochant et se liant
 En perles se formaient »
 pour expliquer à un élève de première STI2D la polymérisation du styrène. Commenter en particulier l'expression « complexe élevé de poids moléculaire ».
- 37- Quelle est la différence entre un pigment et un colorant, deux mots utilisés par Raymond Queneau ?
- 38- Expliquer comment utiliser ce texte pour faire distinguer par un élève de première STI2D les matériaux naturels des matériaux artificiels.

Partie III : Analyse d'œuvres d'art

L'accélérateur AGLAÉ associé aux techniques d'analyse décrites dans l'annexe 3.6 a permis de résoudre de nombreuses énigmes archéologiques comme par exemple :

- l'examen élémentaire des pierres précieuses de la statuette d'Ishtar, déesse babylonienne de l'amour et de la guerre, découverte en Mésopotamie en 1863 et datée de l'époque parthe (1^{er} siècle avant J.C. - 1^{er} siècle après J.C.), a révélé que c'étaient des rubis pourtant introuvables à cette

époque en Mésopotamie. Leur comparaison avec près de 400 rubis de provenance connue, atteste de leur origine birmane, prouvant ainsi l'existence d'un approvisionnement en gemmes des Mésopotamiens en Asie du Sud-Est.

- une tête égyptienne en verres bleus supposée dater d'environ 1300 ans av J.C., acquise par le Louvre en 1923, s'est révélée être un faux. En effet la composition chimique des verres présente les caractéristiques de fabrication du XVIII^{ème} siècle.

De même, un synchrotron comme SOLEIL décrit dans l'annexe 3.7 permet d'explorer des œuvres d'art grâce au rayonnement X qu'il produit.

Données :

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C} ; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} ; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

$$\text{Masse d'un électron : } m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} = 511 \text{ keV}/c^2$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Expression du facteur de Lorentz :

Expressions de l'énergie et de l'impulsion d'une particule de masse (au repos) m et de vitesse v :

$$E = \gamma mc^2 \quad E = \gamma mc^2 \quad \text{et} \quad \vec{p} = \gamma m \vec{v}$$

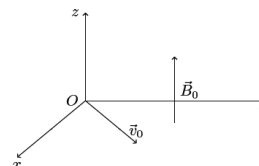
3.1. La méthode PIXE (annexe 3.6)

- 39- Préciser la constitution du noyau et la charge de chacun des ions accélérés par AGLAE.
- 40- L'accélérateur linéaire peut être modélisé par un condensateur plan. Schématiser ce dispositif en précisant et justifiant le sens de déplacement des ions et le sens du champ électrique appliqué entre ses armatures.
- 41- Justifier l'instabilité de l'ion formé à l'issue de la première étape du processus PIXE.
- 42- Quelle réponse attendriez-vous d'un élève de terminale S pour justifier le fait que l'énergie des rayons X est caractéristique des atomes qui les émettent ?
- 43- Proposer un exercice que vous pourriez poser à partir des tables et graphiques de l'annexe 3.6, en classe de première S pour exploiter quantitativement un diagramme de niveaux d'énergie. Identifier les difficultés que pourraient rencontrer les élèves et les données à rajouter. Proposer une grille d'évaluation en précisant les compétences que l'élève doit mobiliser.

3.2. A propos du synchrotron SOLEIL (annexe 3.7)

- 44- On étudie tout d'abord le mouvement d'un électron dans un champ

magnétique uniforme $\vec{B}_0 = B_0 \vec{e}_z$. L'électron est injecté (au point O) avec une vitesse $\vec{v}_0$ située dans le plan (xOy),



perpendiculaire au champ magnétique $\vec{B}_0$. On traite, dans un premier temps le mouvement de l'électron dans le cadre de la mécanique classique, dans le référentiel du synchrotron. Montrer que l'énergie cinétique de l'électron est constante

- 44- .
- 45- Montrer que la trajectoire de l'électron est circulaire. Représenter cette trajectoire en faisant figurer la force subie par l'électron. Exprimer son rayon en fonction de B_0 , v_0 et de constantes fondamentales.
- 46- Calculer le facteur γ pour un électron dans l'anneau de stockage. L'étude menée précédemment s'applique-t-elle aux électrons lorsqu'ils sont dans l'anneau de stockage du synchrotron SOLEIL?

Si non, calculer le rayon de courbure de la trajectoire de l'électron dans un aimant de déviation.

47- Une énergie cinétique constante pour l'électron est-elle compatible avec l'émission d'un rayonnement électromagnétique ?

48- On s'intéresse tout particulièrement au passage des électrons dans le booster. Estimer le nombre de tours que les électrons font dans le booster avant d'être injectés dans l'anneau de stockage.

Pour cette question, faisant appel à une démarche de résolution de problème, vous pourrez vous appuyer sur les données fournies dans l'annexe 3.7 et sur vos connaissances.

Les éléments de réponse à cette question seront très significativement valorisés lors de l'évaluation des résultats.

49- Pour chaque étape de la résolution de la question 48, décrire les aides ou « coups de pouce » qui pourraient être donnés à un élève de terminale S.

50- Dans le référentiel de l'électron, quelles seraient, parmi les suivantes, les grandeurs expérimentales identiques à celles mesurées dans le référentiel du synchrotron ?

- vitesse de l'électron,
- durée d'un tour de booster,
- périmètre du booster,
- vitesse de la lumière dans le vide.

51- Du fait du rayonnement émis par l'électron accéléré par le champ magnétique $\vec{B}_0$, son énergie cinétique décroît au cours du temps. On peut estimer la puissance P rayonnée grâce

$$P \approx \frac{\gamma^4 e^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$$

à la formule de Larmor (où a est l'accélération de l'électron, e la charge élémentaire, c la célérité de la lumière dans le vide et ϵ_0 la permittivité diélectrique du vide).

Proposer une série d'aides à donner à des élèves de terminale S pour leur permettre de mener à bien l'analyse dimensionnelle de cette relation.

52- Décrire (en moins de quinze lignes) en quoi consiste la « cartographie du tableau de Van Gogh pour un élément » et comment les cartographies des différents éléments peuvent conduire à reconstruire l'image cachée.