

SESSION 2015

**CAPES
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

SECTION : PHYSIQUE - CHIMIE

EXPLOITATION D'UN DOSSIER DOCUMENTAIRE

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

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.

Partie II : Chimie et art

Données :

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

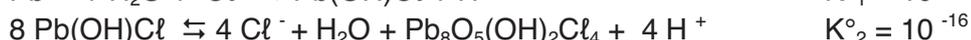
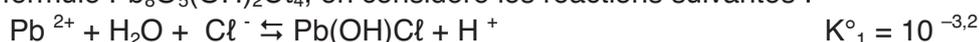
Masses molaires (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : O : 16 ; Na : 23 ; S : 32 ; Br : 80 ; Ag : 108

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 :

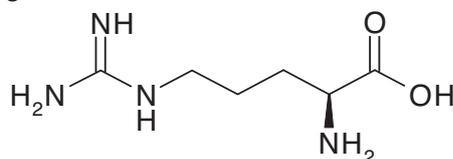


Les deux complexes du plomb sont considérés solubles dans l'eau tiède. On se propose de déterminer les équations des droites frontières pour une concentration de tracé en plomb de $0,01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. La stabilité de la laurionite dépend du pH mais aussi de la concentration en ligand 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.

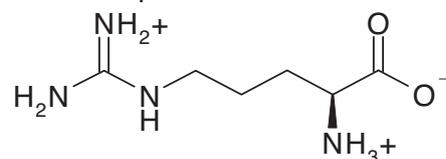
Indiquer alors les zones de prédominance des espèces Pb^{2+} , $\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$ et $\text{Pb}_8\text{O}_5(\text{OH})_2\text{Cl}_4$.

- 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° .

On prendra $\frac{RT \text{ Ln}(10)}{F} = 0,06 \text{ V}$ et on donne le potentiel standard d'oxydoréduction à 298 K :

$$E_1(Q/H_2Q) = 0,70 \text{ V.}$$

- 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 questionnement 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 :

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

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

Expression du facteur de Lorentz :
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} .$$

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

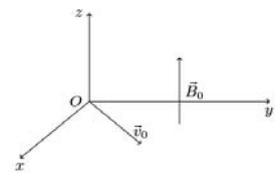
$E = \gamma mc^2$ et $\vec{p} = \gamma m \vec{v}$

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.
- 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

à la formule de Larmor $P \approx \frac{\gamma^4 e^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$ (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.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

Annexe 1 – Textes réglementaires et officiels

ANNEXE 1.1 : Extrait du préambule du programme du collège : BO spécial n°6 du 28 août 2008

[...] L'histoire des arts

L'enseignement de physique-chimie contribue à sensibiliser l'élève à l'histoire des arts dans la continuité de l'enseignement assuré à l'école primaire. Situées dans une perspective historique, les œuvres appartiennent aux six grands domaines artistiques définis dans le programme d'histoire des arts. Ces œuvres permettent d'effectuer des éclairages et des croisements en relation avec les autres disciplines : au sein des « arts de l'espace », peuvent, par exemple, être abordés certains principes d'architecture notamment l'architecture métallique; les « arts du quotidien » permettent d'aborder les instruments scientifiques qui ont pu être à l'origine d'inventions artistiques (instruments optiques), les liens entre le patrimoine industriel et artistique (mécanisme des fontaines, clepsydre, etc.), « les arts du visuel » permettent d'aborder la question de la lumière et de la couleur (vitrail, peinture, pigments, vernis, etc.), dans les « arts du langage », certaines œuvres littéraires sont l'occasion d'aborder des questions et des moments clés d'histoire des sciences. Les thématiques proposées dans l'enseignement de l'histoire des arts, par exemple « Arts, espace, temps » ou « Arts et innovations techniques », permettent d'introduire quelques grands repères dans l'histoire des sciences, des techniques et des arts. [...]

ANNEXE 1.2 : Extrait du programme de quatrième : BO spécial n°6 du 28 août 2008

C. La lumière : couleurs, images, vitesse

C1 - Lumières colorées et couleur des objets

Cette partie prolonge le programme de cinquième par la notion de couleur. Le monde qui entoure l'élève est un monde coloré. Cette rubrique, qui constitue une première approche de la couleur

abordée également en arts graphiques, est un terrain favorable pour une importante activité d'expérimentation raisonnée.

Connaissances	Capacités	Commentaires
LUMIERES COLORÉES ET COULEUR DES OBJETS : comment obtenir des lumières colorées?		
La lumière blanche est composée de lumières colorées.	Suivre un protocole pour obtenir un spectre continu par décomposition de la lumière blanche en utilisant un prisme ou un réseau.	
Éclairé en lumière blanche, un filtre permet d'obtenir une lumière colorée par absorption d'une partie du spectre visible.	Extraire des informations d'un fait observé.	
<i>Des lumières de couleurs bleue, rouge et verte permettent de reconstituer des lumières colorées et la lumière blanche par synthèse additive.</i>	<i>Suivre un protocole. Faire des essais avec différents filtres pour obtenir des lumières colorées par superposition de lumières colorées.</i>	La synthèse soustractive est hors programme.
La couleur perçue lorsqu'on observe un objet dépend de l'objet lui-même et de la lumière qui l'éclaire.	Faire des essais pour montrer qualitativement le phénomène. Présenter à l'écrit ou à l'oral une observation.	On ne demandera pas à l'élève de prévoir la couleur perçue par un observateur.
En absorbant la lumière, la matière reçoit de l'énergie. Elle s'échauffe et transfère une partie de l'énergie reçue à l'extérieur sous forme de chaleur.	Extraire d'un document (papier ou numérique) les informations relatives aux transferts énergétiques	Thème de convergence : énergie

Enseignement commun

LA SANTÉ

Les citoyens doivent acquérir une culture scientifique de façon à procéder à des choix raisonnés en matière de santé. L'objectif de ce thème est de montrer et d'expliquer le rôle des sciences physiques et chimiques dans les domaines du diagnostic médical et des médicaments.

NOTIONS ET CONTENUS	COMPÉTENCES ATTENDUES
Le diagnostic médical : l'analyse de signaux périodiques, l'utilisation de l'imagerie et des analyses médicales permettent d'établir un diagnostic. Des exemples seront pris dans le domaine de la santé (électrocardiogramme, électroencéphalogramme, radiographie, échographie, fibroscopie, ...). L'observation de résultats d'analyses médicales permet d'introduire les notions de concentration et d'espèces chimiques ainsi que des considérations sur la constitution et la structure de la matière.	
Signaux périodiques : période, fréquence, tension maximale, tension minimale.	Connaître et utiliser les définitions de la période et de la fréquence d'un phénomène périodique. <i>Identifier le caractère périodique d'un signal sur une durée donnée.</i> <i>Déterminer les caractéristiques d'un signal périodique.</i>
Ondes sonores, ondes électromagnétiques. Domaines de fréquences. Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air. Réfraction et réflexion totale.	Extraire et exploiter des informations concernant la nature des ondes et leurs fréquences en fonction de l'application médicale. Connaître une valeur approchée de la vitesse du son dans l'air. Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide (ou dans l'air). <i>Pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale.</i> <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour comprendre le principe de méthodes d'exploration et l'influence des propriétés des milieux de propagation.</i>
Espèces chimiques, corps purs et mélanges. Un modèle de l'atome. Noyau (protons et neutrons), électrons. Nombre de charges et numéro atomique Z. Nombre de nucléons A. Charge électrique élémentaire, charges des constituants de l'atome. Électroneutralité de l'atome. Éléments chimiques. Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole. Répartition des électrons en différentes couches, appelées K, L, M. Répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique compris entre 1 et 18. Les règles du « duet » et de l'octet. Application aux ions monoatomiques usuels. Formules et modèles moléculaires. Formules développées et semi-développées. Isomérie. Classification périodique des éléments. Démarche de Mendeleïev pour établir sa classification. Critères actuels de la classification : numéro atomique et nombre d'électrons de la couche externe. Familles chimiques.	Extraire et exploiter des informations concernant la nature des espèces chimiques citées dans des contextes variés. Connaître la constitution d'un atome et de son noyau. Connaître et utiliser le symbole A_ZX . Savoir que l'atome est électriquement neutre. Connaître le symbole de quelques éléments. Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément. <i>Mettre en œuvre un protocole pour identifier des ions.</i> Dénombrer les électrons de la couche externe. Connaître et appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques usuels. Représenter des formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires. Savoir qu'à une formule brute peuvent correspondre plusieurs formules semi-développées. <i>Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de représentation.</i> <i>Localiser, dans la classification périodique, les familles des alcalins, des halogènes et des gaz nobles.</i> Utiliser la classification périodique pour retrouver la charge des ions monoatomiques.
Solution : solvant, soluté, dissolution d'une espèce moléculaire ou ionique. Analyses médicales ; concentrations massique et molaire d'une espèce en solution non saturée. La quantité de matière. Son unité : la mole. Constante d'Avogadro, N_A . Masses molaires atomique et moléculaire : M ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).	Savoir qu'une solution contient des molécules ou des ions. Savoir que la concentration d'une solution en espèce dissoute peut s'exprimer en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ou en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Connaître et exploiter l'expression des concentrations massique et molaire d'une espèce moléculaire ou ionique dissoute. Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce (échelle de teintes, méthode par comparaison).</i>

Système chimique. Réaction chimique. Écriture symbolique de la réaction chimique : équation de la réaction chimique.	Décrire un système chimique et son évolution. Écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stoechiométriques corrects. <i>Étudier l'évolution d'un système chimique par la caractérisation expérimentale des espèces chimiques présentes à l'état initial et à l'état final.</i>
--	--

Enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques

Science et œuvres d'art

Des liens très forts ont toujours uni les activités scientifiques et artistiques. Ainsi, c'est l'observation d'une corde vibrante qui a amené Pythagore à associer les intervalles sonores de la gamme qui porte son nom aux divisions de la corde. Aujourd'hui, des outils scientifiques permettent de dévoiler le secret des œuvres et peuvent participer à la création d'œuvres contemporaines.

L'objectif de ce thème est de permettre aux élèves d'approcher les méthodes scientifiques intervenant dans la conception, la création et la conservation des œuvres d'art.

Différents types d'entrée dans le thème	
Arts plastiques	Matériaux, pigments, colorants, liants, vernis, supports Spectre lumineux, cercle chromatique Techniques de réalisation : peinture, sculpture, cuisson... Représentation du volume, perspectives Authentification, datation, histoire Dégradation, conservation, restauration ...
Arts musicaux	Nature et analyse des sons Instruments de musique, voix Composition musicale (gammes, harmonie...) Enregistrement des documents sonores (encodage, échantillonnage...) ...
Arts de l'espace	Architecture : formes, représentation, matériaux, techniques... Dégradation, conservation, restauration Urbanisme : plans, circulation Arts des jardins : conception, symétries, mise en œuvre... Frises, pavages ...
Photographie et cinéma	De l'image fixe à l'image animée De l'image en noir et blanc à l'image en couleur Images de synthèse Fractales ...

ANNEXE 1.4 : Extrait du programme de première L et ES : Bulletin officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010

Thème : Représentation visuelle

<p>Couleurs et arts Colorants et pigments. Approche historique. Influence d'un ou plusieurs paramètres sur la couleur de certaines espèces chimiques.</p> <p>Synthèse soustractive ; synthèse additive. Application à la peinture et à l'impression couleur.</p> <p><i>Acquis du collège : lumière blanche composée de lumières colorées, couleur d'un objet, synthèse additive, synthèse d'une espèce chimique.</i> <i>Limites :</i> <i>L'appui sur des maladies et des anomalies n'implique pas une connaissance exhaustive de celles-ci.</i> <i>On n'aborde ni l'organisation détaillée de la rétine ni le fonctionnement des photorécepteurs. On signale simplement l'élaboration globale d'un message nerveux acheminé par le nerf optique.</i> <i>Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive des techniques d'exploration du cerveau, des cas cliniques, des maladies et des anomalies de la vision.</i> <i>On n'étudie ni la localisation relative des aires V1 à V5, ni leurs spécialisations, ni les mécanismes précis de la mémoire ou du langage.</i></p>	<p>Rechercher et exploiter des informations portant sur les pigments, les colorants et leur utilisation dans le domaine des arts. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la présence de différents colorants dans un mélange. Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence l'influence de certains paramètres sur la couleur d'espèces chimiques.</p> <p>Distinguer synthèses soustractive et additive. Exploiter un cercle chromatique. Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées.</p>
--	--

ANNEXE 1.5 : Extrait du programme de première S : Bulletin officiel spécial n°9 du 30 septembre 2010

OBSERVER Couleurs et images <i>Comment l'œil fonctionne-t-il ? D'où vient la lumière colorée ? Comment créer de la couleur ?</i>	
Notions et contenus	Compétences attendues
Couleur, vision et image	
<p>Couleur des objets. Synthèse additive, synthèse soustractive. Absorption, diffusion, transmission.</p> <p>Vision des couleurs et trichromie. Daltonisme. Principe de la restitution des couleurs par un écran plat (ordinateur, téléphone portable, etc.).</p>	<p>Interpréter la couleur observée d'un objet éclairé à partir de celle de la lumière incidente ainsi que des phénomènes d'absorption, de diffusion et de transmission. Utiliser les notions de couleur blanche et de couleurs complémentaires. Prévoir le résultat de la superposition de lumières colorées et l'effet d'un ou plusieurs filtres colorés sur une lumière incidente. <i>Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et comprendre les notions de couleurs des objets.</i></p> <p>Distinguer couleur perçue et couleur spectrale. Recueillir et exploiter des informations sur le principe de restitution des couleurs par un écran plat.</p>
Sources de lumière colorée	
<p>Interaction lumière-matière : émission et absorption. Quantification des niveaux d'énergie de la matière. Modèle corpusculaire de la lumière : le photon. Énergie d'un photon. Relation $\Delta E = h\nu$ dans les échanges d'énergie.</p>	<p>Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. Connaître les relations $\lambda = c/\nu$ et $\Delta E = h\nu$ et les utiliser pour exploiter un diagramme de niveaux d'énergie.</p>

Matières colorées	
<p>Synthèse soustractive.</p> <p>Colorants, pigments ; extraction et synthèse.</p> <p>Réaction chimique : réactif limitant, stoechiométrie, notion d'avancement.</p>	<p>Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre une extraction, une synthèse, une chromatographie.</i></p> <p>Identifier le réactif limitant, décrire quantitativement l'état final d'un système chimique.</p> <p>Interpréter en fonction des conditions initiales la couleur à l'état final d'une solution siège d'une réaction chimique mettant en jeu un réactif ou un produit coloré.</p>

ANNEXE 1.6 : Extrait du programme de la classe de Terminale S, enseignement spécifique : Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011

Thème Comprendre Lois et modèles

Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Temps, cinématique et dynamique newtoniennes</p> <p>Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.</p> <p>Référentiel galiléen.</p> <p>Lois de Newton : principe d'inertie, $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ et principe des actions réciproques.</p>	<p>Choisir un référentiel d'étude.</p> <p>Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.</p> <p>Définir la quantité de mouvement \vec{p} d'un point matériel.</p> <p>Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en œuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes.</p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.</i></p>
<p>Mesure du temps et oscillateur, amortissement</p> <p>Travail d'une force.</p> <p>Force conservative ; énergie potentielle.</p> <p>Forces non conservatives : exemple des frottements.</p> <p>Énergie mécanique.</p>	<p>Établir et exploiter les expressions du travail d'une force constante (force de pesanteur, force électrique dans le cas d'un champ uniforme).</p> <p>Établir l'expression du travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.</p> <p>Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel.</p>
<p>Temps et relativité restreinte</p> <p>Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.</p> <p>Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.</p> <p>Notion d'événement. Temps propre.</p> <p>Dilatation des durées.</p> <p>Preuves expérimentales.</p>	<p>Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.</p> <p>Définir la notion de temps propre.</p> <p>Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée.</p> <p>Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.</p>

<p>Temps et évolution chimique : cinétique et catalyse Réactions lentes, rapides ; durée d'une réaction chimique.</p> <p>Facteurs cinétiques. Évolution d'une quantité de matière au cours du temps. Temps de demi-réaction.</p> <p>Catalyse homogène, hétérogène et enzymatique.</p>	<p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour suivre dans le temps une synthèse organique par CCM et en estimer la durée.</i></p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mettre en évidence quelques paramètres influençant l'évolution temporelle d'une réaction chimique : concentration, température, solvant.</i> Déterminer un temps de demi-réaction.</p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mettre en évidence le rôle d'un catalyseur.</i> Extraire et exploiter des informations sur la catalyse, notamment en milieu biologique et dans le domaine industriel, pour en dégager l'intérêt.</p>
--	---

<p>Réaction chimique par échange de proton Le pH : définition, mesure.</p> <p>Théorie de Brønsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité K_a. Échelle des pK_a dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides α-aminés).</p> <p>Réactions quasi-totales en faveur des produits : - acide fort, base forte dans l'eau ; - mélange d'un acide fort et d'une base forte dans l'eau.</p> <p>Réaction entre un acide fort et une base forte : aspect thermique de la réaction. Sécurité.</p> <p>Contrôle du pH : solution tampon ; rôle en milieu biologique.</p>	<p><i>Mesurer le pH d'une solution aqueuse.</i></p> <p>Reconnaître un acide, une base dans la théorie de Brønsted. Utiliser les symbolismes \rightarrow, \leftarrow et \rightleftharpoons dans l'écriture des réactions chimiques pour rendre compte des situations observées. Identifier l'espèce prédominante d'un couple acide-base connaissant le pH du milieu et le pK_a du couple. <i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour déterminer une constante d'acidité.</i></p> <p>Calculer le pH d'une solution aqueuse d'acide fort ou de base forte de concentration usuelle.</p> <p><i>Mettre en évidence l'influence des quantités de matière mises en jeu sur l'élévation de température observée.</i></p> <p>Extraire et exploiter des informations pour montrer l'importance du contrôle du pH dans un milieu biologique.</p>
--	---

Énergie, matière et rayonnement

<p>Notions et contenus</p> <p>Du macroscopique au microscopique</p>	<p>Compétences exigibles</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules.</p>
--	--

<p>Transferts quantiques d'énergie Émission et absorption quantiques. Émission stimulée et amplification d'une onde lumineuse. Oscillateur optique : principe du laser.</p> <p>Transitions d'énergie : électroniques, vibratoires.</p>	<p>Connaître le principe de l'émission stimulée et les principales propriétés du laser (directivité, monochromaticité, concentration spatiale et temporelle de l'énergie). <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un laser comme outil d'investigation ou pour transmettre de l'information.</i></p> <p>Associer un domaine spectral à la nature de la transition mise en jeu.</p>
---	--

<p>Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.</p> <p>Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.</p>	<p>Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Connaître et utiliser la relation $p = h/\lambda$. Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.</p>
---	---

<p>Transformation en chimie organique</p> <p>Aspect macroscopique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modification de chaîne, modification de groupe caractéristique. - Grandes catégories de réactions en chimie organique : substitution, addition, élimination. <p>Aspect microscopique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liaison polarisée, site donneur et site accepteur de doublet d'électrons. - Interaction entre des sites donneurs et accepteurs de doublet d'électrons ; représentation du mouvement d'un doublet d'électrons à l'aide d'une flèche courbe lors d'une étape d'un mécanisme réactionnel. 	<p>Reconnaître les groupes caractéristiques dans les alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amine, amide.</p> <p>Utiliser le nom systématique d'une espèce chimique organique pour en déterminer les groupes caractéristiques et la chaîne carbonée.</p> <p>Distinguer une modification de chaîne d'une modification de groupe caractéristique.</p> <p>Déterminer la catégorie d'une réaction (substitution, addition, élimination) à partir de l'examen de la nature des réactifs et des produits.</p> <p>Déterminer la polarisation des liaisons en lien avec l'électronégativité (table fournie).</p> <p>Identifier un site donneur, un site accepteur de doublet d'électrons.</p> <p>Pour une ou plusieurs étapes d'un mécanisme réactionnel donné, relier par une flèche courbe les sites donneur et accepteur en vue d'expliquer la formation ou la rupture de liaisons.</p>
--	--

Thème Agir Défis du XXIème siècle

Synthétiser des molécules, fabriquer de nouveaux matériaux

Notions et contenus	Compétences exigibles
<p>Stratégie de la synthèse organique</p> <p>Protocole de synthèse organique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - identification des réactifs, du solvant, du catalyseur, des produits ; - détermination des quantités des espèces mises en jeu, du réactif limitant ; - choix des paramètres expérimentaux : température, solvant, durée de la réaction, pH ; - choix du montage, de la technique de purification, de l'analyse du produit ; - calcul d'un rendement ; - aspects liés à la sécurité ; - coûts. 	<p>Effectuer une analyse critique de protocoles expérimentaux pour identifier les espèces mises en jeu, leurs quantités et les paramètres expérimentaux.</p> <p>Justifier le choix des techniques de synthèse et d'analyse utilisées.</p> <p>Comparer les avantages et les inconvénients de deux protocoles.</p>
<p>Sélectivité en chimie organique</p> <p>Composé polyfonctionnel : réactif chimiosélectif, protection de fonctions.</p>	<p>Extraire et exploiter des informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sur l'utilisation de réactifs chimiosélectifs, - sur la protection d'une fonction dans le cas de la synthèse peptidique, <p>pour mettre en évidence le caractère sélectif ou non d'une réaction.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour synthétiser une molécule organique d'intérêt biologique à partir d'un protocole.</i></p> <p><i>Identifier des réactifs et des produits à l'aide de spectres et de tables fournis.</i></p>

B.O.

Bulletin officiel spécial n° 3 du 17 mars 2011

Vêtement et revêtement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Matériaux polymères	
Matériaux naturels, artificiels. Squelettes carbonés et groupes caractéristiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer les matériaux naturels des matériaux artificiels. - Reconnaître les groupes caractéristiques des fonctions alcool, acide, amine, ester, amide.
Liaisons covalentes simple et double, formule de Lewis. Interactions intermoléculaires, structure des polymères et propriétés mécaniques et thermiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire à l'aide des règles du duet et de l'octet les liaisons que peut établir un atome (C, N, O, H, Cl, F et S). - Distinguer les liaisons covalentes des interactions intermoléculaires, utiliser ces notions pour justifier de propriétés spécifiques. - Relier les propriétés mécaniques et thermiques d'un matériau polymère à sa structure microscopique. - Associer un modèle moléculaire et une formule développée. - Retrouver les monomères à partir de la formule d'un polymère. - Écrire l'équation d'une réaction de polymérisation.
Réactions de polymérisation : du monomère au polymère. Masse molaire moléculaire, degré de polymérisation,	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer la polymérisation par addition de la polymérisation par condensation. - Réaliser la synthèse d'un polymère synthétique ou d'un polymère à partir de substances naturelles.
Polymères utilisés dans les vêtements et revêtements : production, utilisation, recyclage.	<ul style="list-style-type: none"> - Rechercher, extraire et exploiter des informations relatives à la production industrielle, l'utilisation et l'éventuel recyclage de quelques polymères usuels, utilisés comme vêtement ou revêtement.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

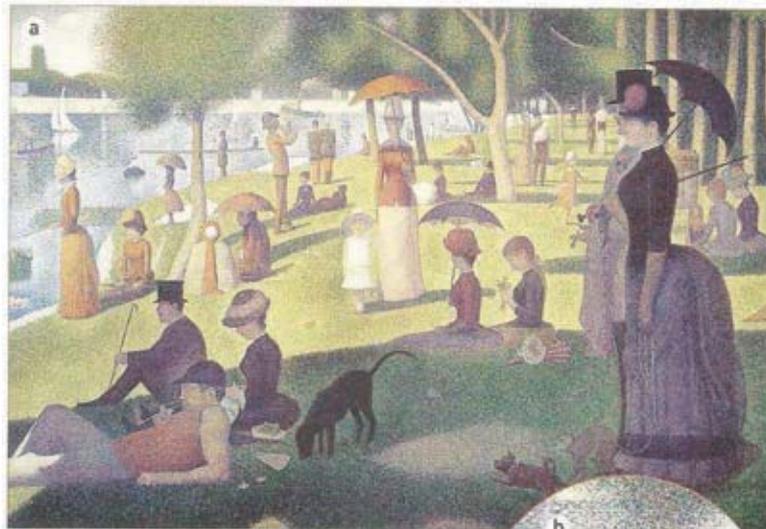
Annexe 2 – Documents supports à l'enseignement et productions d'élèves

ANNEXE 2.1 : Extrait d'un manuel scolaire de quatrième : Collection Durandeaudeau – Hachette 2007

SCIENCE ET SOCIÉTÉ

Du pointillisme à la télévision

Le pointillisme est une technique de peinture apparue à la fin du XIX^e siècle. Elle consiste à juxtaposer des points de différentes couleurs sur la toile, sans les mélanger (Doc. 1). De près, la toile laisse apparaître des points de couleurs bien distincts. En observant le tableau de loin, les lumières diffusées par ces points voisins se superposent dans l'œil qui voit de nouvelles couleurs : c'est une synthèse additive.



Doc 1 Un dimanche après-midi à l'île de la Grande Jatte de Georges SEURAT; (a) vue d'ensemble, (b) détail.

Les récepteurs de télévision comportant des tubes cathodiques, pour les plus anciens, et des écrans plasma, pour les plus récents, créent des couleurs en utilisant le même principe que le pointillisme. L'écran de télévision n'est constitué que de trois sortes de points lumineux, rouges, verts et bleus, appelés luminophores (Doc. 2). On peut les voir avec une loupe. Si on s'en éloigne, la combinaison de ces trois lumières colorées donne, par synthèse additive, une multitude de nuances de couleurs.



Doc 2 Luminophores d'un écran de télévision.

QUESTIONS

I. As-tu bien compris le texte ?

- 1 Quelles sont les deux techniques évoquées dans le texte qui utilisent le principe de la synthèse additive des lumières colorées ?
- 2 Vers quelle date est apparu le pointillisme ?

II. Sais-tu expliquer ?

- 3 Pourquoi la juxtaposition des taches de couleur vues de loin donne une nouvelle couleur ?
- 4 De quelle couleur voit-on l'écran de télévision si les luminophores rouges et verts sont les seuls allumés ? Si on allume seulement les luminophores rouges et bleus ?
- 5 Comment peut-on créer du blanc avec un écran de télévision ?

ANNEXE 2.2 : Extrait d'un Devoir sur table de première L et analyse statistique des résultats des élèves.

D'après l'épreuve anticipée d'enseignement scientifique du baccalauréat 2013 au Liban

La tenture de l'Apocalypse d'Angers est une représentation de l'Apocalypse de Jean réalisée à la fin du XIV^{ème}. L'ensemble, initialement composé de sept pièces, dont six sont conservées, est exposé dans une des galeries du château d'Angers.

Document 1 : la tenture de l'Apocalypse d'Angers

Les coloris mis en œuvre, lors de la conception de la tenture, sont issus des teintures végétales : la gaude (plante à fleurs jaunâtres) pour le jaune, la guède (plante de la famille des Brassicacées) pour le bleu pastel, la garance (plante herbacée) pour le rouge. Mais les pigments utilisés au Moyen Age tiennent peu dans le temps, beaucoup moins que les pigments chimiques utilisés à partir du XIX^{ème}.

En 1867, la tenture de l'Apocalypse d'Angers est mise à l'abri à l'occasion de l'Exposition universelle. Malheureusement les pigments naturels du XIV^{ème} n'ont pas survécu.

Une grande variété de verts a été utilisée pour cette tenture. Cependant ces derniers ont viré à des bleus plus ou moins foncés car le vert est constitué d'un mélange de cyan et de jaune.

En 1982, la galerie d'exposition est réaménagée : l'éclairage de la tenture est limité à 40 lux. Aujourd'hui la tenture est conservée dans un lieu sombre, à une température constante (19°C) et avec un degré d'hygrométrie maîtrisé, pour mieux la protéger.



D'après La tenture de l'Apocalypse d'Angers, Liliane Delwasse, Editions du Patrimoine

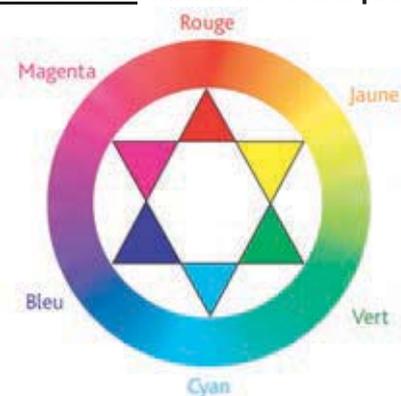
Document 2 : pigments et colorants

Pigment: substance à l'état sec, généralement en poudre fine, pratiquement insoluble dans les milieux de suspension usuels, utilisée en raison de son pouvoir colorant ou de son pouvoir opacifiant élevé, en particulier dans les préparations de peintures ou d'enduits de protection et de décoration.

D'après Encyclopédie Larousse.fr

Colorant : Espèce soluble dans le milieu qu'elle colore.

Document 3 : cercle chromatique



Question 1 : d'après les documents, donner la raison pour laquelle on a remplacé à partir du XIX^{ème} siècle les pigments naturels par des pigments de synthèse.

Question 2 : On s'intéresse à la détérioration des couleurs de la tenture.

Parmi les propositions suivantes, le paramètre qui n'est pas impliqué dans la détérioration des couleurs de la tenture est :

- la température la pression l'hygrométrie la luminosité

Question 3 : On s'intéresse aux colorants présents dans un mélange.

Pour séparer les colorants dans un mélange liquide et homogène, on peut réaliser :

- une décantation une filtration une chromatographie une macération

Cocher une seule réponse et la justifier en utilisant les éléments des documents et ses connaissances.

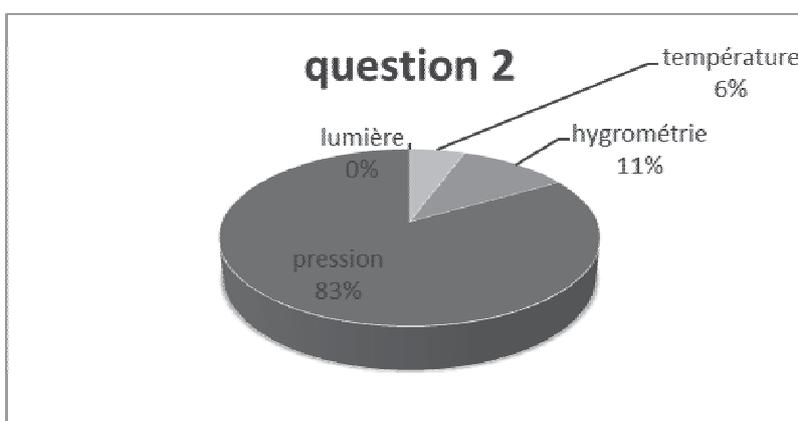
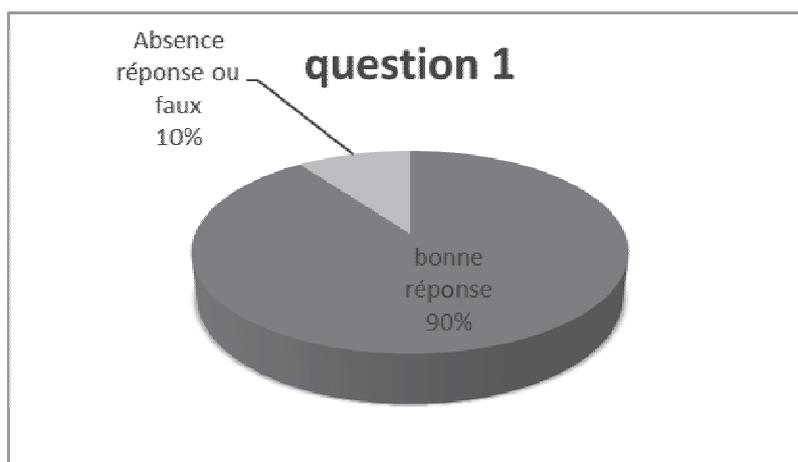
Question 4 : Dans le document 1, il est écrit au sujet des couleurs de la tenture : « le vert est constitué d'un mélange de cyan et de jaune ». Indiquer le type de synthèse de couleurs dont il est question.

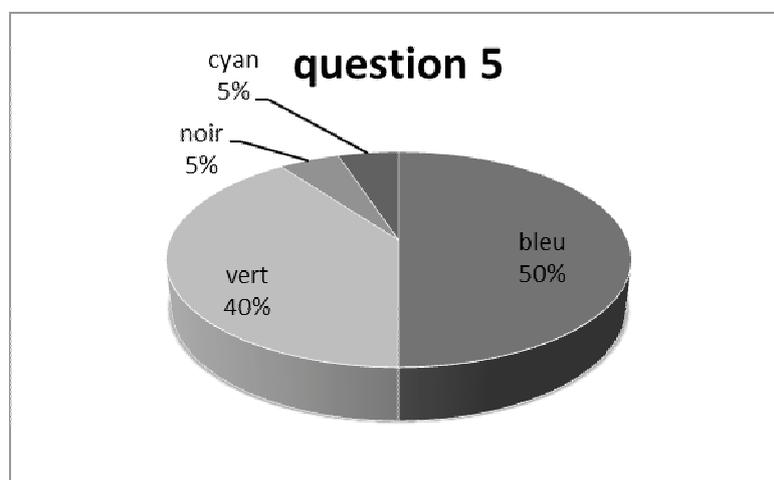
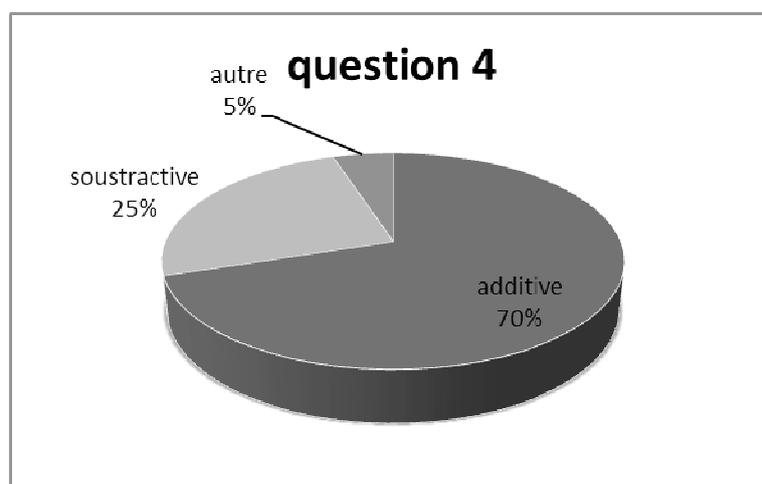
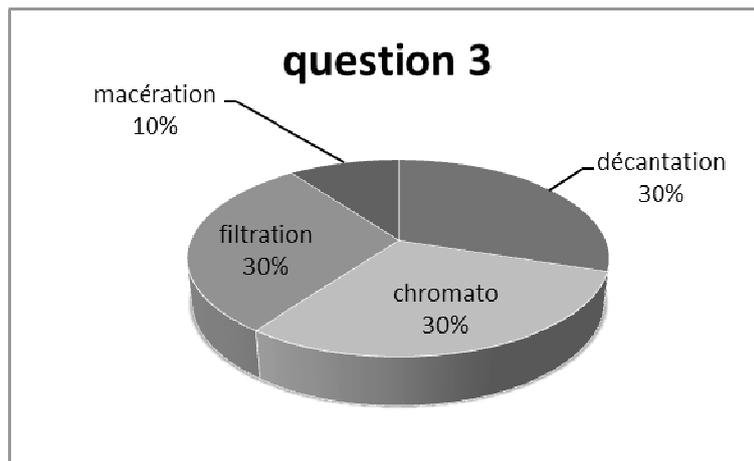
Question 5 : On s'intéresse à la couleur de la tenture éclairée.

Eclairée en lumière verte, le bleu de la tenture apparaît :

- bleu vert cyan noir

Analyse statistique des résultats :





1.2 Couleur perçue et longueur d'onde λ_{\max}

Le document 1 présente le spectre de la propanone. Cette cétone est incolore, elle n'absorbe que dans l'ultraviolet. Ce résultat est général :

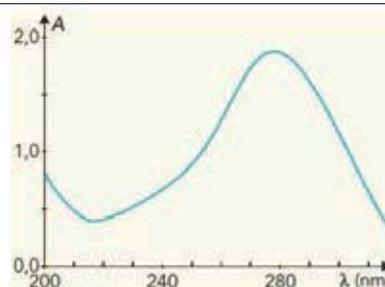
Une espèce incolore n'absorbe aucune radiation du spectre visible. Lorsqu'une espèce chimique n'absorbe que dans un seul domaine de longueurs d'onde du visible, sa couleur est la couleur complémentaire de celle des radiations absorbées.

Les ions cuivre (II), $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, qui absorbent dans le rouge-orangé ($\lambda_{\max} = 700 \text{ nm}$), donnent des solutions de couleur bleu-vert.

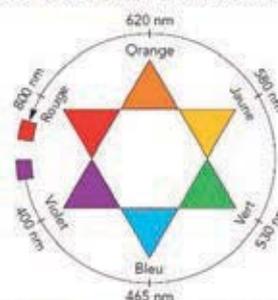
Lorsqu'une espèce chimique absorbe dans plusieurs domaines de longueurs d'onde, sa couleur résulte de la synthèse additive des couleurs complémentaires des radiations absorbées.

Les ions chrome (III), $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$, qui absorbent dans le violet ($\lambda_{\max} = 430 \text{ nm}$), couleur complémentaire du jaune, et dans l'orangé ($\lambda_{\max} = 640 \text{ nm}$), couleur complémentaire du bleu, donnent des solutions vertes.

L'utilisation de l'étoile chromatique (doc. 2) ou de la fiche n° 11A, p. 594, permet ainsi d'interpréter les spectres visibles et de relier couleur perçue et longueur d'onde au maximum d'absorption.



Doc. 1 La propanone ou acétone (incolore) n'absorbe que dans l'ultraviolet.



Doc. 2 Couleurs et ordres de grandeur des longueurs d'onde des radiations visibles. Deux couleurs complémentaires sont diamétralement opposées.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

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

ANNEXE 3.1 : Comment perçoit-on la couleur ? Extrait de « La chimie et l'art » (EDP Sciences)

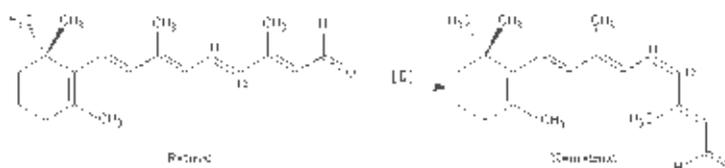
S'il est si difficile de parler de couleur, c'est parce qu'elle n'existe pas en tant que telle, c'est une sensation physiologique, c'est-à-dire une construction de notre cerveau. La lumière visible par notre œil ne représente qu'une toute petite partie des ondes électromagnétiques (longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nanomètres environ). Lorsqu'un photon d'énergie correspondant à la longueur d'onde de 700 nm, par exemple, frappe la rétine, le premier acte de la vision est chimique, et plus précisément photochimique : il s'agit de l'isomérisation, c'est-à-dire du changement de forme d'une molécule (le rétinol) située dans une protéine (l'opsine), et cette photo-isomérisation déclenche toute une série de réactions biochimiques dont le résultat final est la création d'une impulsion électrique, appelée potentiel d'action, qui est transmise au cerveau via le nerf optique. L'interprétation par le cerveau de cette succession d'impulsions conduit à la sensation de rouge. Aux autres longueurs d'onde correspondent d'autres sensations colorées. Si à une longueur d'onde donnée correspond une couleur, l'inverse n'est pas toujours vrai : la sensation de jaune par exemple résulte de la perception d'une lumière dont la longueur d'onde se situe au voisinage de 580 nm, mais elle peut aussi avoir d'autres origines, comme la perception simultanée d'une lumière à 700 nm et d'une lumière à 530 nm qui donneraient séparément des sensations de rouge et de vert. Nous avons également une sensation de jaune quand le spectre de la lumière visible est amputé des longueurs d'onde correspondant au violet et au bleu.

ANNEXE 3.2 : Chimie de la vision

D'après le site : <http://www.colvir.net/prof/carl.brabant/Faidherbe/diaster.htm>
<http://www.colvir.net/prof/carl.brabant/Faidherbe/accueil.htm>

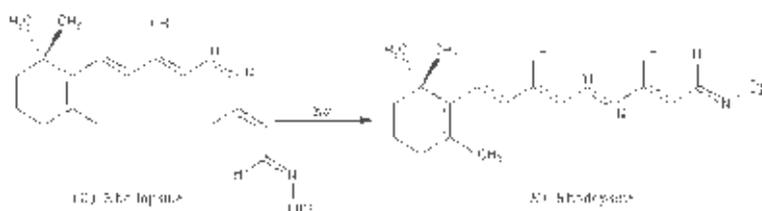
La vitamine A, ou rétinol est le composé parent des rétinoïdes. Le rétinol est formé dans l'organisme par coupure de la provitamine A ou β -carotène. Le rétinol est le précurseur biochimique d'une molécule importante dans la chimie de la vision : le rétinol, représenté à gauche. Son transport dans l'organisme est assuré par une protéine appelée 1 RBP (Retinol Binding Protein). La carence en vitamine A se traduit par des troubles oculaires. La synthèse des rétinoïdes et des composés apparentés constitue une application de l'oléfinatation de Wittig.

Le rétinol qui possède une stéréochimie E, peut être isomérisé en néorétinol de stéréochimie Z, sous l'action d'une enzyme de la famille des isomérases.



Le néorétinol forme avec une protéine appelée opsine, une imine ou base de Schiff : la (Z)-rhodopsine. Cette dernière est l'un des principaux constituants du pourpre rétinien.

Sous l'action de la lumière, la (Z)-rhodopsine peut s'isomériser en 10^{-12} s pour donner le diastéréoisomère (E). Ce dernier qui est instable, évolue en 10^{-9} s environ pour reformer le rétinol. Cette cascade de réactions est à l'origine de l'influx nerveux transmis au cerveau par le nerf optique.



ANNEXE 3.3 : Le khôl égyptien et médecine traditionnelle : la science au service de l'art

Les rois et reines de l'Égypte antique (Aménophis, Ramsès, etc) sont représentés avec des yeux fardés de noir comme l'attestent de nombreuses iconographies égyptiennes antiques. Ainsi, le khôl (ou kohol), fard noir, a longtemps été assimilé à un signe de distinction de la noblesse égyptienne.

Cependant, des fresques et statuettes dont les premières datent d'il y a 4500 ans, ont permis de constater que ce maquillage était porté par la plupart des égyptiens y compris les enfants.

Les papyrus et les fresques retrouvés ont en effet montré qu'il s'agissait d'une tradition liée à la volonté de s'assurer la protection d'Horus en dessinant sur soi l'œil magique d'Oudjat. Cet œil magique était censé protéger celui qui le porte contre les puissances maléfiques comme par exemple, dans la vie après la mort.

De nombreux flacons et pots ont pu être retrouvés intacts dans les tombes égyptiennes. En fonction du statut social du défunt, bambou ou pots de belle facture étaient utilisés pour contenir le fard. L'étude de résidus de poudre retrouvés dans des pots à khôl, conservés au musée du Louvre a permis de déterminer la composition chimique de ces fards.

Dans ces compositions, on retrouve des dérivés de plomb : galène, laurionite, phosgénite et cérusite. Ces derniers sont liés par une substance grasse afin d'obtenir une pâte permettant l'application sur le bord des paupières.

La laurionite ($\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$) présente dans ces compositions, est un composé présent en très faibles quantités dans la nature. Elle est issue d'un processus de synthèse afin d'en faire une production de masse. Le papyrus d'Ebers (1600 av. J.C.) explique pourquoi ce composé a été largement synthétisé. Ce traité médical, recueillant de nombreuses « recettes » destinées à reconnaître et à traiter une grande variété de maladies, indique que le khôl est destiné à traiter ou à prévenir des maladies des yeux. La population égyptienne était concentrée autour du Nil et son delta. Cet environnement fortement humide et marécageux est propice au développement d'infections endémiques.

Le processus originel de synthèse de la laurionite a été retrouvé dans les travaux d'un médecin grec Dioscoride (Ier siècle ap. J.C). Il indique que la laurionite était "*un très bon onguent pour la protection des yeux, pour les plaies infectées, la réduction des rides, et le soin de bien d'autres parties du corps*".

La recette est décrite en ces termes : « *Après avoir mélangé une livre d'écume d'argent [PbO] à cinq drachmes de sel de roche [NaCl], verser dessus de l'eau tiède, et remuer très vigoureusement trois fois par jour [...] Laisser le mélange reposer, éliminer l'excès d'eau, puis ajouter du sel de roche et de l'eau tiède. Répéter l'ensemble de ces opérations trois fois par jour pendant 30 jours jusqu'à ce que la solution ait perdu toute sa causticité [basicité] ».*

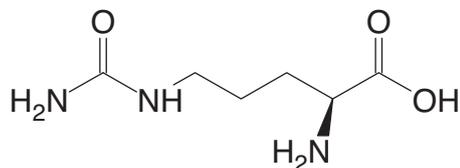
L'environnement fortement humide dans lequel vivaient les égyptiens permettait le développement rapide de maladies. Une simple projection dans les yeux de gouttes d'eau infectée peut provoquer une contamination. C'est donc pour ses vertus antibactériennes que la laurionite aurait été produite en grande quantité.

Les macrophages sont des cellules de défense qui empêchent la multiplication des bactéries à travers un mécanisme que l'on appelle phagocytose.

Ils ont pour but de détruire tout ce qu'ils ne reconnaissent pas comme faisant partie du soi. Outre le phénomène classique de reconnaissance antigène-anticorps, deux acteurs majeurs entrent en jeu dans le mécanisme de phagocytose : la NADPH-oxydase et la NO-synthase.

Cette dernière est l'enzyme chargée de synthétiser le monoxyde d'azote NO (on dit aussi oxyde nitrique), dans notre corps. Cette petite molécule, bien connue des chimistes mais que le reste du monde a longtemps ignorée, s'est pourtant vue décerner il y a quelques années le titre de « molécule de l'année ». On s'était ensuite subitement aperçu qu'elle se trouvait partout dans notre organisme ! ...et qu'elle y jouait des rôles extrêmement importants dont celui qui nous intéresse ici... Pour devenir active, la NO-synthase doit s'assembler à partir de deux composantes. Ceci nécessite la présence d'ions calcium II (Ca^{2+}) dans la cellule (Les enzymes et les canaux ioniques confondent les ions Pb^{2+}

et Ca^{2+}). L'enzyme assemblée se met alors à transformer son substrat de prédilection, la L-Arginine, l'un des vingt acides aminés naturels. Grâce à l'oxygène présent dans la cellule, l'enzyme catalyse alors une cascade de réactions d'oxydo-réduction complexes conduisant in fine à une molécule de monoxyde d'azote et une molécule de citrulline (représentée ci-dessous).



Le radical NO possède, tout d'abord, des propriétés antibactériennes intrinsèques. Il est également produit par les macrophages et déclenche la lyse des cellules bactériennes phagocytées.

Un autre rôle majeur de NO est la vasodilatation qui s'accompagne d'une augmentation de la perméabilité des vaisseaux et capillaires sanguins, permettant aux cellules le produisant de s'assurer un afflux sanguin important : les phagocytes peuvent donc affluer plus facilement dans ces régions. Cette production est également stimulée par la présence d'ions calcium II (Ca^{2+}).

*D'après : La chimie et l'art (EDP-sciences) <http://culturesciences.chimie.ens.fr/>
http://www.lemonde.fr/planete/article/2010/01/08/les-vertus-cachees-du-khol-egyptien_1289145_3244.html*

ANNEXE 3.4 : La photographie argentique

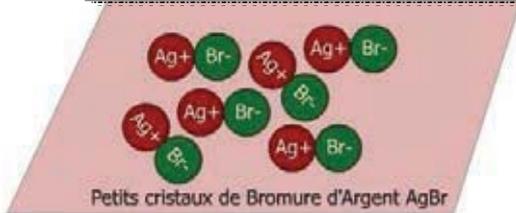
Le 6 juin 1944, pour le magazine *Life*, si plusieurs journalistes sont présents, **Robert Capa** est le seul photographe lors du débarquement allié en Normandie. C'est avec la première vague d'assaut qu'il arrive sur la plage d'Omaha Beach. Pendant plus de 6 heures, sous les bombes et entre les balles, il photographie la guerre au plus près. Aux côtés des soldats, il prend 119 photos (106 selon certaines sources). Malheureusement, un laborantin de *Life*, pressé par le temps (les photos sont arrivées juste avant le bouclage), commet une erreur et la plupart des pellicules sont perdues (il ferme dans sa hâte la porte de l'appareil de séchage pour accélérer cette opération. L'émulsion des pellicules fond). Sur les 119 (ou 106) photos, seules 11 (ou 9 selon les sources encore une fois) purent être sauvées. C'est cette erreur qui leur donne cet aspect flou, presque surnaturel. Quand *Life* les publia, elles furent légendées « **slightly out of focus** ».

L'une des photos les plus marquantes prises par Capa lors du débarquement est celle d'un soldat allié, qui, à peine après avoir quitté sa barge de débarquement, est en train de tenter par tous les moyens de rester hors de l'eau, alors que le poids de sa mitraillette l'en empêche. A elle seule, elle parvient à résumer ce qu'ont vécu les soldats alliés ce jour là.

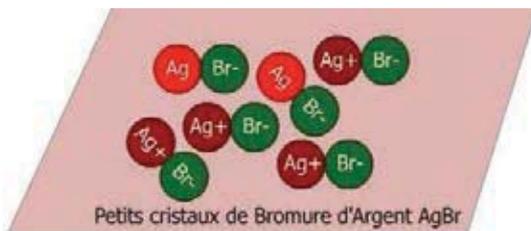


1. La prise de la photographie

Des photons de lumière visible tombent sur une plaque photosensible.



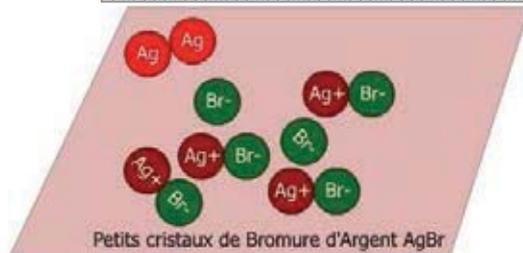
2. Quelques ions Ag^+ sont transformés en atomes d'argent Ag.



1. Au contact entre les photons et la plaque photosensible, il y a libération d'électrons.



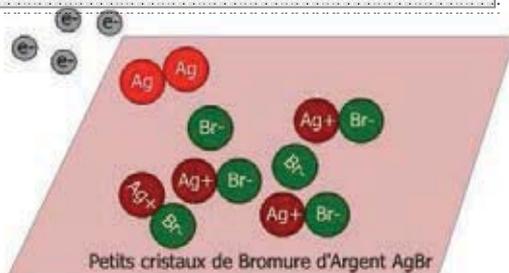
3. Rassemblement en petits agrégats Ag_n .



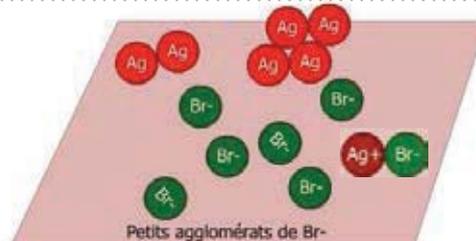
La plaque est chargée d'une image dite latente car à ce moment, elle ne peut être différenciée du film initial.

2. Le développement de la photographie

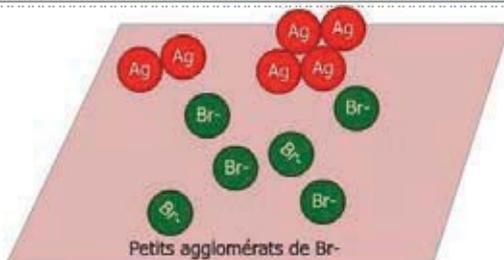
Le film est mis au contact d'un réducteur organique : l'hydroquinone. Ce réducteur fournit des électrons à certains ions Ag^+ , les transformant en atomes d'argent Ag.



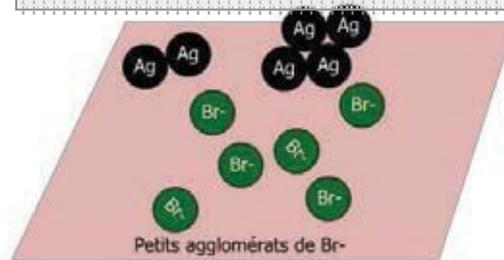
Ces atomes se réorganisent rapidement en petits agglomérats d'argent métallique. Cette réaction est catalysée par les associations d' Ag_n présentes dans l'image latente de telle sorte qu'avec un temps de contact bien contrôlé seuls les cristaux d'AgBr les renfermant sont ainsi « métallisés ».



Les cristallites d'AgBr non réduits sont éliminés par un trempage dans une solution de thiosulfate de sodium ($2Na^+$, $S_2O_3^{2-}$) qui forme avec les ions Ag^+ des complexes $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ très solubles entraînés dans les solutions de lavage : c'est l'étape de « fixation ».



Grâce au révélateur, chaque microcristal possédant quelques atomes d'argent va entièrement se convertir en argent métallique, devenir noir et visible au microscope. Les zones les plus éclairées deviennent ainsi plus sombres : c'est le négatif.



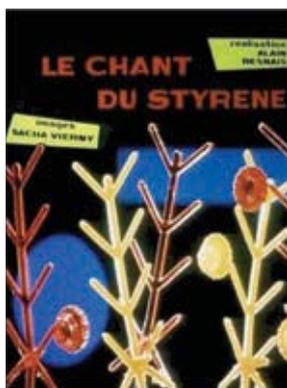
Source : <http://sciences-physiques.ac-montpellier.fr/>

Le mode de préparation d'un révélateur couramment utilisé peut être décrit comme suit :
"dissoudre dans 100 mL d'eau distillée 1 g de bromure de sodium NaBr, 2,5 g d'hydroquinone H₂Q, puis ajouter 100 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium (Na⁺, OH⁻) à 1,0 mol·L⁻¹.

Pour ce révélateur, il est recommandé de traiter le film 3 min à 298 K ou 8 min à 290 K afin d'obtenir des résultats identiques. "

Source : D'après E4A PSI CHIMIE 2001

ANNEXE 3.5 : Le chant du styrène



<http://www.cineclubdecaen.com>

O temps, suspends ton bol, ô matière plastique
D'où viens-tu ? Qui es-tu ? et qu'est-ce qui explique
Tes rares qualités ? De quoi donc es-tu fait ?
D'où donc es-tu parti ? Remontons de l'objet
À ses aïeux lointains ! Qu'à l'envers se déroule
Son histoire exemplaire. En premier lieu, le moule.
Incluant la matrice, être mystérieux,
Il engendre le bol ou bien tout ce qu'on veut.
Mais le moule est lui-même inclus dans une presse
Qui injecte la pâte et conforme la pièce,
Ce qui présente donc le très grand avantage
D'avoir l'objet fini sans autre façonnage.

Le moule coûte cher; c'est un inconvénient.
On le loue il est vrai, même à ses concurrents.
Le formage sous vide est une autre façon
D'obtenir des objets : par simple aspiration.
À l'étape antérieure, soigneusement rangé,
Le matériau tiédi est en plaque extrudé.
Pour entrer dans la buse il fallait un piston
Et le manchon chauffant - ou le chauffant manchon
Auquel on fournissait — Quoi ? Le polystyrène
Vivace et turbulent qui se hâte et s'égrène.
Et l'essaim granulé sur le tamis vibrant
Fourmillait tout heureux d'un si beau colorant.
Avant d'être granule on avait été jonc,
Joncs de toutes couleurs, teintes, nuances, tons.

Ces joncs avaient été, suivant une filière,
Un boudin que sans fin une vis agglomère.
Et ce qui donnait lieu à l'agglutination ?
Des perles colorées de toutes les façons.
Et colorées comment ? Là, devint homogène
Le pigment qu'on mélange à du polystyrène

Extrait du poème écrit par RAYMOND QUENEAU (1903- 1976) en alexandrins pour le commentaire du court-métrage « Le chant du styrène » d'ALAIN RESNAIS (1922-2014) datant de 1958. Ce film a été commandité par le groupe Péchiney.

À peine était-il né, notre polystyrène.
Polymère produit du plus simple styrène.
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. Oui, mais — auparavant ?

Le styrène n'était qu'un liquide incolore
Quelque peu explosif, et non pas inodore.
Et regardez-le bien; c'est la seule occasion
Pour vous d'apercevoir ce qui est en question.
Le styrène est produit en grande quantité
À partir de l'éthyl-benzène surchauffé,
Le styrène autrefois s'extrayait du benjoin,
Provenant du styrax, arbuste indonésien.
De tuyau en tuyau ainsi nous remontons,
À travers le désert des canalisations,
Vers les produits premiers, vers la matière abstraite
Qui circulait sans fin, effective et secrète.
On lave et on distille et puis on redistille
Et ce ne sont pu là exercices de style :
L'éthylbenzène peut — et doit même éclater
Si la température atteint certain degré.
Quant à l'éthylbenzène, il provient, c'est limpide,
De la combinaison du benzène liquide
Avec l'éthylène, une simple vapeur.
Éthylène et benzène ont pour générateurs
Soit charbon, soit pétrole, ou pétrole ou charbon.
Pour faire l'autre et l'un l'un et l'autre sont bons.

L'Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire (AGLAE) est un appareil d'analyse chimique destiné à l'étude des œuvres d'art et d'archéologie. Il permet d'obtenir des résultats en quelques minutes seulement et surtout sans qu'aucun prélèvement sur l'œuvre ne soit nécessaire. AGLAE est équipé de deux sources d'ions : l'une pour la production de protons et de deutérons (noyaux de Deutérium), l'autre pour celle des particules alpha.

L'accélération de ces particules à des énergies avoisinant quelques millions d'électronvolts permet d'exciter faiblement et de manière non destructive les atomes constituant les matériaux des œuvres d'art. Sous l'impact du faisceau un grand nombre d'atomes de l'objet est perturbé et renvoie alors un rayonnement caractéristique qu'il est possible d'analyser.

L'une des méthodes d'analyse consiste à analyser les rayons X émis par les atomes bombardés par les particules chargées. C'est la méthode PIXE (pour Particle Induced X-ray Emission) qui détecte les rayons X issus des couches profondes de l'atome permettant ainsi de déterminer et de mesurer avec précision sous forme de spectre la composition chimique du matériau. Néanmoins, les particules accélérées pénètrent peu la cible et ne sondent donc que sa surface.

Le principe physique de la méthode PIXE est un processus atomique en trois étapes :

- 1^{ère} étape : l'ionisation en couche profonde de l'atome-cible par l'ion incident ;
- 2^{ème} étape : le remplissage de la lacune électronique ainsi créée par un électron d'une couche plus externe ;
- 3^{ème} étape : le relâchement de l'excédent d'énergie par émission d'un rayon X caractéristique de l'atome cible.

Le faisceau incident est généralement constitué de protons d'énergie comprise entre 2 et 3 MeV.

Les rayons X sont le plus souvent recueillis par un détecteur semi-conducteur au silicium (spectrométrie dispersive en énergie). L'énergie minimum détectable est d'environ 1 keV et par conséquent tous les éléments de $Z > 11$ (sodium) peuvent être détectés au moyen de leurs raies K ou L. A cause de la très grande section efficace de production de rayons X, la technique requiert une très faible dose d'irradiation et les mesures sont très rapides. En outre, le fond continu beaucoup plus bas qu'avec une microsonde électronique à cause de la très faible intensité du rayonnement de freinage, entraîne une très grande sensibilité (limite de détection de 1 à 10 ppm).

Par conséquent la méthode PIXE est bien adaptée au dosage des éléments traces.

La production de rayons X caractéristiques dépend des transitions entre les orbites électroniques des atomes du matériau analysé. Quand un électron est éjecté par une particule chargée, l'atome devient ionisé et est laissé dans un état excité. L'excédent d'énergie est égal à l'énergie requise pour extraire un électron de l'orbite excitée vers un état de repos non lié. Cette énergie peut être libérée par la transition d'un électron d'une couche supérieure qui est accompagnée par l'émission d'un rayon X. La figure ci-dessous montre un diagramme de niveaux avec les transitions permises par les règles de sélection. Les transitions vers le niveau K sont dénotées raies K. Si l'électron vient du niveau L, on note la raie K_{α} et s'il vient du niveau M, K_{β} . Du fait de la structure fine, les raies K_{α} et K_{β} sont des doublets. Les transitions vers les niveaux L sont notées raies L. Ces dernières ont de nombreuses composantes, surtout pour les éléments lourds. Un spectre X complet est donc généralement assez compliqué. Toutefois, certaines composantes ont à peu près la même énergie (e.g. les raies $K_{\alpha 1}$ et $K_{\alpha 2}$) et apparaissent donc comme une seule raie. De plus, certaines transitions ont une faible intensité. En résumé, lors d'une analyse PIXE, les éléments légers et moyens sont détectés seulement par les deux raies K_{α} et K_{β} .

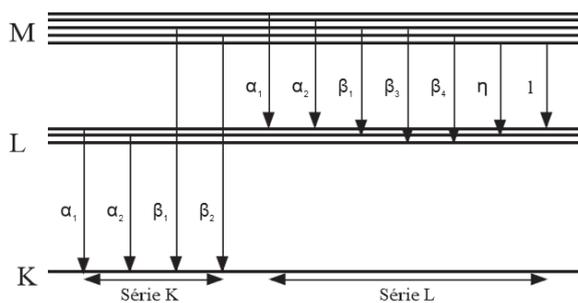


Diagramme d'énergie des transitions X.

D'après :

<http://www.art-et-science.fr/explorart/2011/aqlae.html>

et

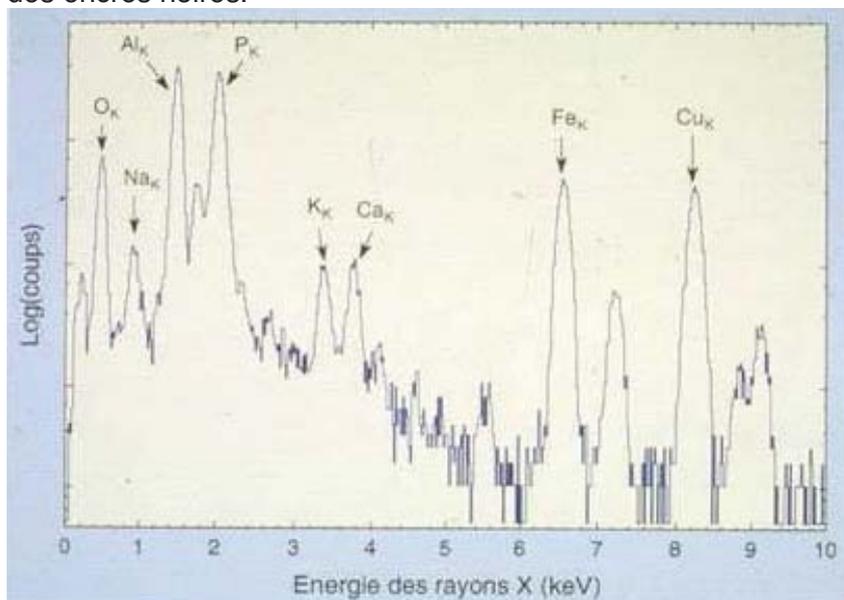
http://www.c2rmf.fr/documents/c2r_articleSFP.PDF

Table d'énergie des raies K des 22 premiers éléments exprimée en keV

Valeurs extraites de J.A. Bearden, "X-Ray Wavelengths", *Review of Modern Physics*, (Janv 1967)

No.	Elément	K_{α_1}	K_{α_2}	K_{β_1}
3	Li	0.0543		
4	Be	0.1085		
5	B	0.1833		
6	C	0.277		
7	N	0.3924		
8	O	0.5249		
9	F	0.6768		
10	Ne	0.8486	0.8486	
11	Na	1.04098	1.04098	1.0711
12	Mg	1.25360	1.25360	1.3022
13	Al	1.48670	1.48627	1.55745
14	Si	1.73998	1.73938	1.83594
15	P	2.0137	2.0127	2.1391
16	S	2.30784	2.30664	2.46404
17	Cl	2.62239	2.62078	2.8156
18	Ar	2.95770	2.95563	3.1905
19	K	3.3138	3.3111	3.5896
20	Ca	3.69168	3.68809	4.0127
21	Sc	4.0906	4.0861	4.4605
22	Ti	4.51084	4.50486	4.93181

La répartition en énergie des rayons X émis par un caractère du manuscrit copte (ci-dessous), montre la présence de traces de fer. Ces traces de fer sont caractéristiques de la nature « métallo-gallique » de l'encre utilisée. La noix de Galle (parasite du chêne) macérée dans du vitriol, servait à fabriquer des encres noires.



<http://www2.ulg.ac.be/ipne/data/strithese/chap2.pdf>

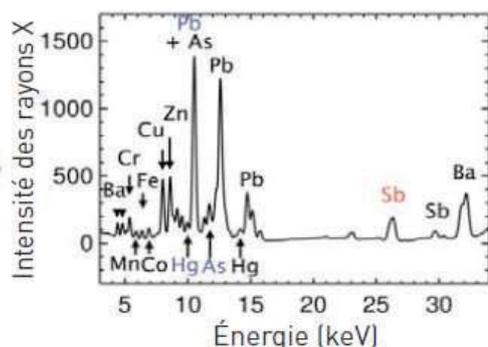
<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lamethodepixe.htm>

ANNEXE 3.7 : Un Van Gogh peut en cacher un autre

Document 1 :

La radiographie aux rayons X d'une petite toile de Vincent Van Gogh (*Un coin d'herbe*), peinte à Paris en 1887 a révélé le portrait d'une paysanne probablement peint en 1884 à Nuenen (Pays-Bas). Les spectres obtenus par fluorescence X attestent de la présence de nombreux éléments tels que le cuivre (Cu), intervenant dans le vert émeraude, ou le cobalt (Co) contenu dans divers pigments bleus, dont Van Gogh s'était déjà servi pour ses précédents tableaux ; mais témoignent également de la présence inhabituelle d'antimoine (Sb), entrant dans la composition d'un nombre limité de pigments, que l'on ne pensait pas utilisés par Van Gogh ! Des cartographies du *Coin d'herbe* ont été réalisées pour les différents éléments décelés. Il est apparu que l'antimoine, au même titre que le mercure et l'arsenic, est un composant des pigments utilisés pour peindre le portrait caché qui a ainsi pu être reconstitué. Ce portrait a semble-t-il été peint par Van Gogh. Cette hypothèse est confortée par des comparaisons avec d'autres toiles du peintre datant de la même époque, qui présentent des similitudes de style.

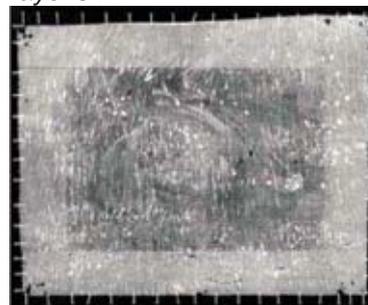
C) Analyse élémentaire d'une zone du tableau par fluorescence X



A) Un coin d'herbe



B) Vue par radiographie aux rayons X



L'analyse élémentaire a été réalisée par le synchrotron de Hambourg.

D'après « la chimie et l'art » (EDP-sciences): Matériaux du patrimoine et altération. Analyses par rayonnement synchrotron (Koen Janssens)

Document 2 : Description et principe du Synchrotron SOLEIL

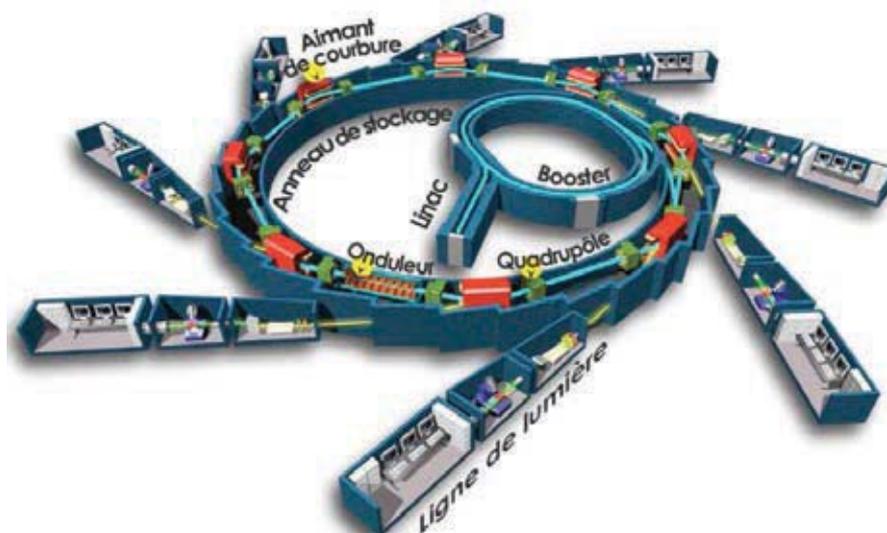


Schéma de principe d'une machine synchrotron

(Ce schéma respecte approximativement les proportions des différentes parties de SOLEIL)

Le synchrotron SOLEIL (Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du LURE) permet d'explorer la matière, inerte ou vivante avec une résolution de l'ordre du millionième de mètres et une sensibilité à tous les types de matériaux... Sa brillance et sa gamme spectrale de l'infrarouge lointain jusqu'aux rayons X durs, lui permettent de couvrir une large gamme expérimentale en physique, biologie, chimie, sciences de la terre et de l'univers et jusqu'à la science des matériaux du patrimoine.

Le principe physique d'un synchrotron est le suivant : Toute particule chargée subissant une accélération perd de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Lorsque cette particule est relativiste, le rayonnement est appelé lumière synchrotron. Ce rayonnement revêt des qualités particulières de faible divergence, de polarisation, de cohérence, d'étendue du domaine spectral, etc... Captée à différents endroits d'un anneau de stockage (354 m de périmètre pour SOLEIL), cette lumière est canalisée vers des sorties, les lignes de lumières. Chaque ligne est un véritable laboratoire, instrumenté pour analyser les échantillons.

Le premier maillon de la chaîne est le LINAC, rampe de lancement des électrons, c'est un accélérateur linéaire d'une longueur de 16 m. Son rôle est de fabriquer un faisceau d'électrons pulsés d'énergie de $100 \text{ MeV} \pm 5 \text{ MeV}$.

À la sortie du LINAC, les électrons entrent dans le booster, dans lequel, en 0,2 seconde, leur énergie passe de 100 MeV à 2750 MeV sous l'influence d'un champ électrique.

Les électrons relativistes sont transférés dans l'anneau de stockage pour y tourner pendant plusieurs heures. L'anneau de stockage est un tube fermé d'environ 5 cm de diamètre constitué d'une succession d'éléments magnétiques de courbure appelés aussi dipôles ou aimants de courbure et de parties droites où se trouvent les éléments de réglage du faisceau (onduleur et wigglers).

Chaque aimant de courbure est long de 2 m, il y règne un champ magnétique uniforme de 1,71 T perpendiculaire au plan de la trajectoire des électrons. Quand les électrons se déplacent de façon non rectiligne et non-uniforme (ce qui est le cas dans les aimants de courbure notamment), ils subissent une accélération et perdent de l'énergie sous forme de rayonnement synchrotron. La perte d'énergie est compensée par deux cavités accélératrices.

Afin de ne subir aucune autre déperdition d'énergie due aux collisions avec des molécules de gaz, il règne dans toutes ces machines un vide d'environ 10^{-10} bar.

L'émission synchrotron se produit de l'infrarouge (de longueur d'onde $\lambda = 10^{-5}$ m) aux rayons X durs ($\lambda = 2,5 \cdot 10^{-11}$ m). Chaque utilisateur peut sélectionner la longueur d'onde adaptée à l'expérience qu'il conduit.

D'après : <http://www.synchrotron-soleil.fr/images/File/RessourcesPedagogiques/Documentation/Machine-FicheEnseignant.pdf>