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.	
Des lumières de couleurs bleue, rouge et verte permettent de reconstituer des lumières colorées et la lumière blanche par synthèse additive.	*Suivre un protocole.* *Faire des essais avec différents filtres pour obtenir des lumières colorées par superposition de lumières colorées.*	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

ANNEXE 1.3 : Extrait du programme de seconde : BO spécial n° 4 du 29 avril 2010

Enseignement commun

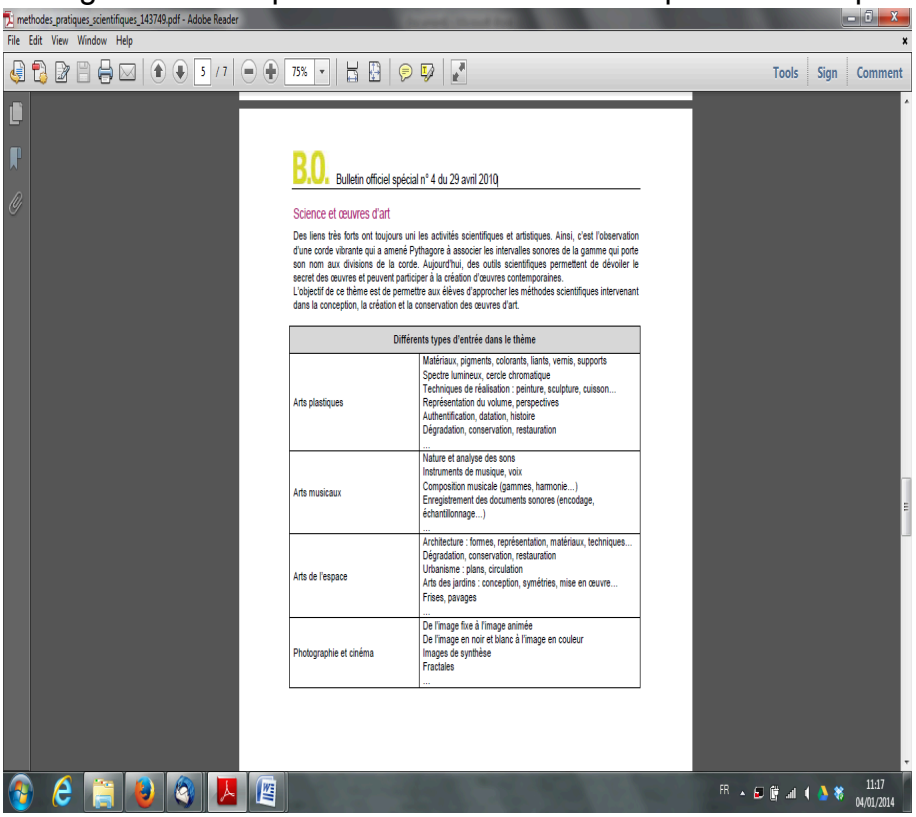
LA SANTÉ

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. *Identifier le caractère périodique d'un signal sur une durée donnée.* *Déterminer les caractéristiques d'un signal périodique.*
Ondes sonores, ondes électromagnétiques. Domaines de fréquences.	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.
Propagation rectiligne de la lumière. Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air. Réfraction et réflexion totale.	Connaître la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide (ou dans l'air). *Pratiquer une démarche expérimentale sur la réfraction et la réflexion totale.* *Pratiquer une démarche expérimentale pour comprendre le principe de méthodes d'exploration et l'influence des propriétés des milieux de propagation.*
Espèces chimiques, corps purs et mélanges.	Extraire et exploiter des informations concernant la nature des espèces chimiques citées dans des contextes variés.
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.	Connaître la constitution d'un atome et de son noyau. Connaître et utiliser le symbole $^{A}_{Z}X$. Savoir que l'atome est électriquement neutre. Connaître le symbole de quelques éléments.
Éléments chimiques. Isotopes, ions monoatomiques. Caractérisation de l'élément par son numéro atomique et son symbole.	Savoir que le numéro atomique caractérise l'élément. *Mettre en œuvre un protocole pour identifier des ions.*
Répartition des électrons en différentes couches, appelées K, L, M. Répartition des électrons pour les éléments de numéro atomique compris entre 1 et 18.	Dénombrer les électrons de la couche externe.
Les règles du « duet » et de l'octet. Application aux ions monoatomiques usuels.	Connaître et appliquer les règles du « duet » et de l'octet pour rendre compte des charges des ions monoatomiques usuels.
Formules et modèles moléculaires. Formules développées et semi-développées. Isomérie.	Représenter des formules développées et semi-développées correspondant à des modèles moléculaires. Savoir qu'à une formule brute peuvent correspondre plusieurs formules semi-développées. *Utiliser des modèles moléculaires et des logiciels de représentation.*
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.	*Localiser, dans la classification périodique, les familles des alcalins, des halogènes et des gaz nobles.* 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 ($g.mol^{-1}$).	Savoir qu'une solution contient des molécules ou des ions. Savoir que la concentration d'une solution en espèce dissoute peut s'exprimer en $g.L^{-1}$ ou en $mol.L^{-1}$. 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. *Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la concentration d'une espèce (échelle de teintes, méthode par comparaison).*

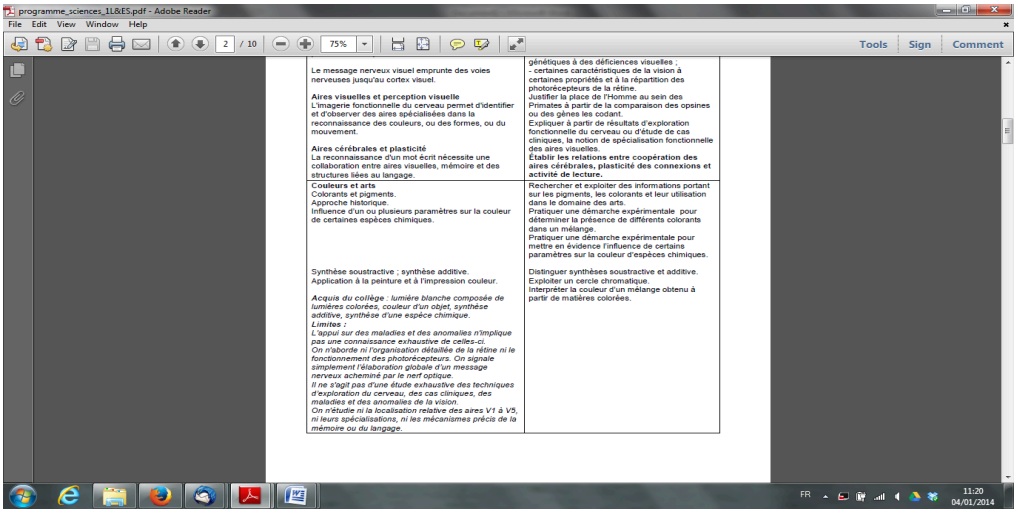
Système chimique. Réaction chimique. Écriture symbolique de la réaction chimique : équation de la réaction chimique.	Décrire un système chimique et son évolution. Écrire l'équation de la réaction chimique avec les nombres stœchiométriques corrects. *Étudier l'évolution d'un système chimique par la caractérisation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

Enseignement d'exploration Méthodes et Pratiques Scientifiques



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

Thème : Représentation visuelle



Le message nerveux visuel emprunte des voies nerveuses jusqu'au cortex visuel. **Aires visuelles et perception visuelle** L'imagerie fonctionnelle du cerveau permet d'identifier et d'observer des aires spécialisées dans la reconnaissance des couleurs, ou des formes, ou du mouvement. **Aires cérébrales et plasticité** La reconnaissance d'un mot écrit nécessite une collaboration entre aires visuelles, mémoire et des structures liées au langage.	génétiques à des déficiences visuelles ; - certaines caractéristiques de la vision à certaines propriétés et à la répartition des photorécepteurs de la rétine. Justifier la place de l'Homme au sein des Primates à partir de la comparaison des opsines ou des gènes les codant. Expliquer à partir de résultats d'exploration fonctionnelle du cerveau ou d'étude de cas cliniques, la notion de spécialisation fonctionnelle des aires visuelles. **Établir les relations entre coopération des aires cérébrales, plasticité des connexions et activité de lecture.**
Couleurs et arts Colorants et pigments. Approche historique. Influence d'un ou plusieurs paramètres sur la couleur de certaines espèces chimiques. Synthèse soustractive ; synthèse additive. Application à la peinture et à l'impression couleur. *Acquis du collège : lumière blanche composée de lumières colorées, couleur d'un objet, synthèse additive, synthèse d'une espèce chimique.* *Limites :* *L'appui sur des maladies et des anomalies n'implique pas une connaissance exhaustive de celles-ci.* *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.* *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.* *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.*	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. Distinguer synthèses soustractive et additive. Exploiter un cercle chromatique. Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées.

ANNEXE 1.5 : Extrait du programme de première S : Bulletin officiel spécial n° 9 du 30 septembre2010

OBSERVER
Couleurs et images
Comment l'œil fonctionne-t-il ? D'où vient la lumière colorée ? Comment créer de la couleur ?

Notions et contenus	Compétences attendues
Couleur, vision et image	
Couleur des objets. Synthèse additive, synthèse soustractive. Absorption, diffusion, transmission.	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. *Pratiquer une démarche expérimentale permettant d'illustrer et comprendre les notions de couleurs des objets.*
Vision des couleurs et trichromie. Daltonisme. Principe de la restitution des couleurs par un écran plat (ordinateur, téléphone portable, etc.).	Distinguer couleur perçue et couleur spectrale. Recueillir et exploiter des informations sur le principe de restitution des couleurs par un écran plat.
Sources de lumière colorée	
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.	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.

Matières colorées	
Synthèse soustractive. Colorants, pigments ; extraction et synthèse. Réaction chimique : réactif limitant, stœchiométrie, notion d'avancement.	Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées. *Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre une extraction, une synthèse, une chromatographie.* Identifier le réactif limitant, décrire quantitativement l'état final d'un système chimique. 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.

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

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

Réaction chimique par échange de proton Le pH : définition, mesure.	*Mesurer le pH d'une solution aqueuse.*
Théorie de Brönsted : 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).	Reconnaître un acide, une base dans la théorie de Brönsted. Utiliser les symbolismes →, ← et ⇌ 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. *Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour déterminer une constante d'acidité.*
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.	Calculer le pH d'une solution aqueuse d'acide fort ou de base forte de concentration usuelle.
Réaction entre un acide fort et une base forte : aspect thermique de la réaction. Sécurité.	*Mettre en évidence l'influence des quantités de matière mises en jeu sur l'élévation de température observée.*
Contrôle du pH : solution tampon ; rôle en milieu biologique.	Extraire et exploiter des informations pour montrer l'importance du contrôle du pH dans un milieu biologique.

Énergie, matière et rayonnement

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

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

Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.	Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.
Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.	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.

Transformation en chimie organique Aspect macroscopique : - Modification de chaîne, modification de groupe caractéristique. - Grandes catégories de réactions en chimie organique : substitution, addition, élimination.	Reconnaître les groupes caractéristiques dans les alcool, aldéhyde, cétone, acide carboxylique, ester, amine, amide. Utiliser le nom systématique d'une espèce chimique organique pour en déterminer les groupes caractéristiques et la chaîne carbonée. Distinguer une modification de chaîne d'une modification de groupe caractéristique. Déterminer la catégorie d'une réaction (substitution, addition, élimination) à partir de l'examen de la nature des réactifs et des produits.
Aspect microscopique : - 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.	Déterminer la polarisation des liaisons en lien avec l'électronégativité (table fournie). Identifier un site donneur, un site accepteur de doublet d'électrons. 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.

Thème Agir Défis du XXIème siècle

Synthétiser des molécules, fabriquer de nouveaux matériaux

Notions et contenus	Compétences exigibles
Stratégie de la synthèse organique Protocole de synthèse organique : - 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.	Effectuer une analyse critique de protocoles expérimentaux pour identifier les espèces mises en jeu, leurs quantités et les paramètres expérimentaux. Justifier le choix des techniques de synthèse et d'analyse utilisées. Comparer les avantages et les inconvénients de deux protocoles.
Sélectivité en chimie organique Composé polyfonctionnel : réactif chimiosélectif, protection de fonctions.	Extraire et exploiter des informations : - sur l'utilisation de réactifs chimiosélectifs, - sur la protection d'une fonction dans le cas de la synthèse peptidique, pour mettre en évidence le caractère sélectif ou non d'une réaction. *Pratiquer une démarche expérimentale pour synthétiser une molécule organique d'intérêt biologique à partir d'un protocole.* *Identifier des réactifs et des produits à l'aide de spectres et de tables fournis.*

ANNEXE 1.7 : Extrait du programme de la classe de première STI2D - Bulletin officiel n° 3 du 17 mars 2011

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.	- 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. Réactions de polymérisation : du monomère au polymère. Masse molaire moléculaire, degré de polymérisation, Polymères utilisés dans les vêtements et revêtements : production, utilisation, recyclage.	- 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. - 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. - 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 Durandeau – Hachette 2007

SCIENCE ET SOCIÉTÉ

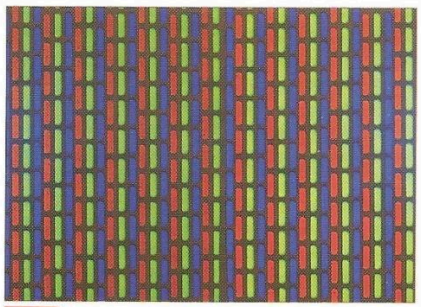
Du pointillisme à la télévision

Le pointillisme est une technique de peinture apparue à la fin du XIXe 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 XIVème. 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 XIXème.
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 XIVème 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 (1 9°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

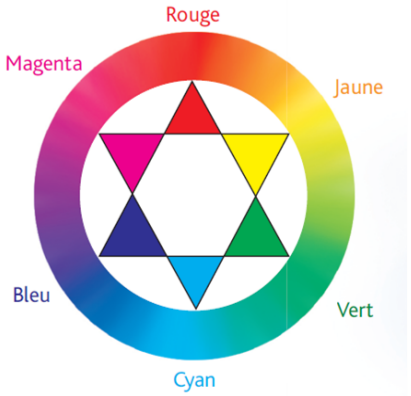
Document 2 : pigments et colorants

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

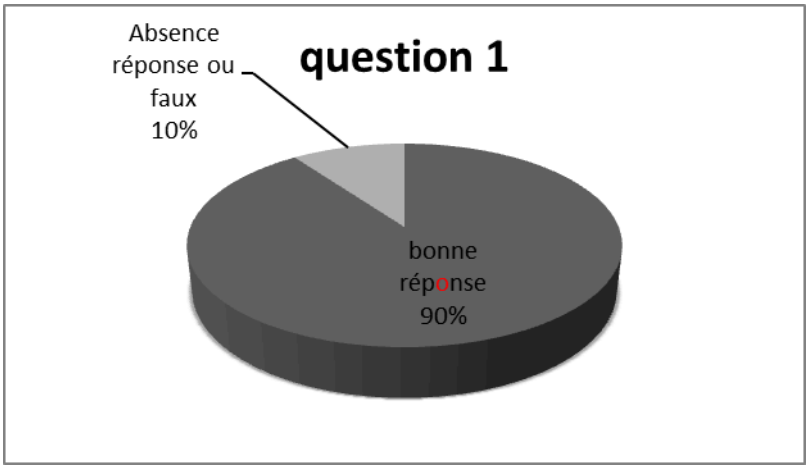
Cocher une seule réponse et la justifier en utilisant les éléments des documents et ses connaissances.

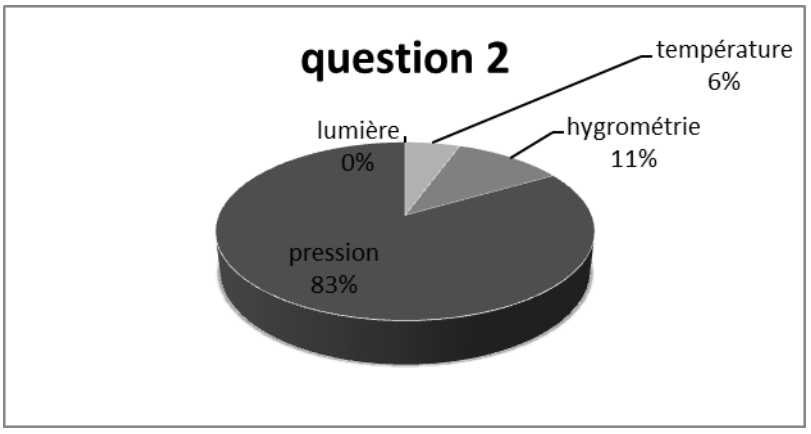
Question 4 : Dans le document 1, il est écrit au sujet des couleurs de la tenture : « le vert est constitué d'un mélange de cyan et de jaune ». Indiquer le type de synthèse de couleurs dont il est question.

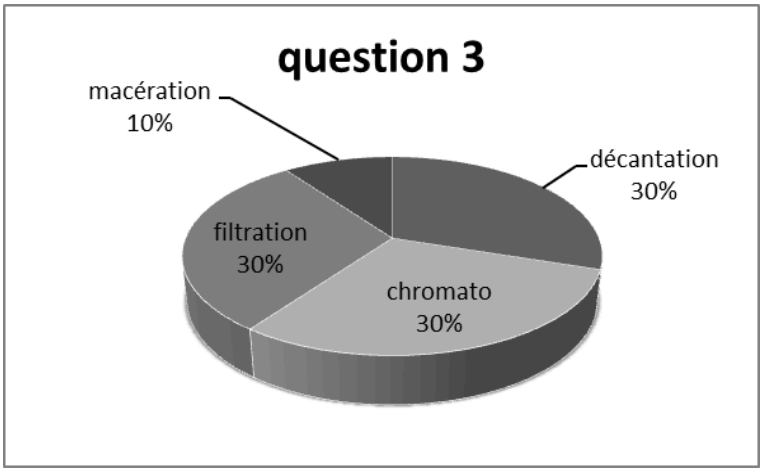
Question 5 : On s'intéresse à la couleur de la tenture éclairée.
Eclairée en lumière verte, le bleu de la tenture apparaît :

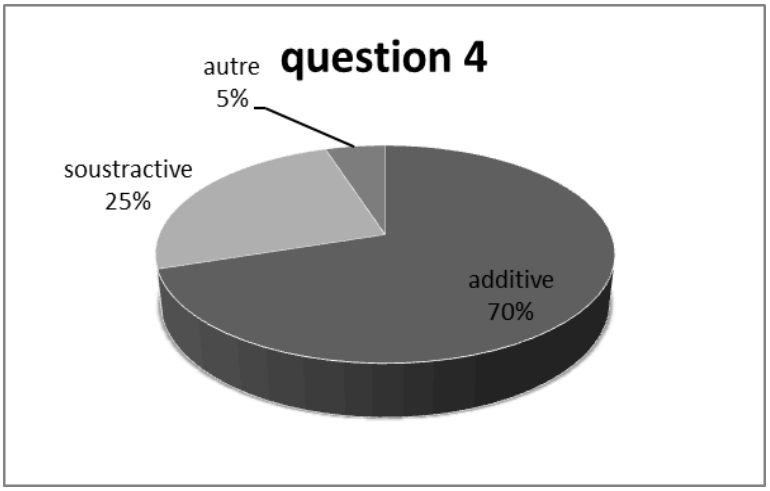
□ bleu □ vert □ cyan □ noir

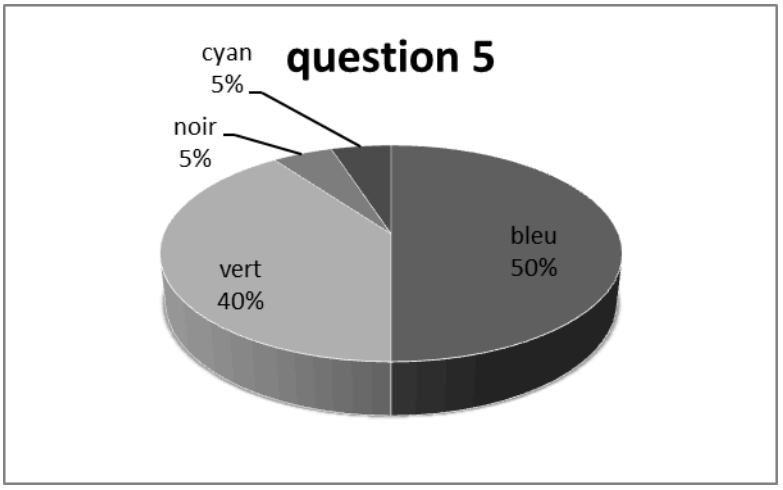
Analyse statistique des résultats :






question 3
macération
10%
décantation
30%
filtration
30%
chromato
30%


question 4
autre
5%
soustractive
25%
additive
70%


question 5
cyan
5%
noir
5%
bleu
50%
vert
40%

ANNEXE 2.3 : Extrait du cours d'un manuel scolaire de terminale S sur la couleur perçue (Hachette 2012)

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 :

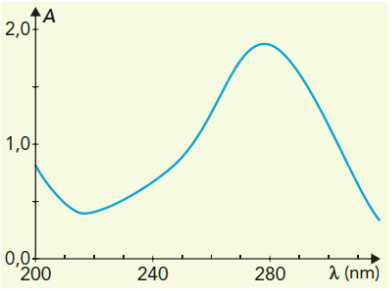
Une espèce **incolore** n'absorbe aucune radiation du spectre visible. Lorsqu'une espèce chimique n'absorbe que dans **un seul domaine** de longueurs d'onde du visible, **sa couleur est la couleur complémentaire** de celle des radiations absorbées.

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

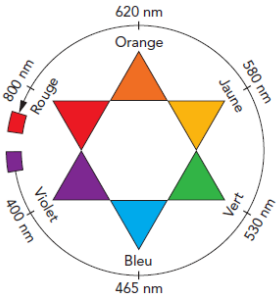
Lorsqu'une espèce chimique absorbe dans **plusieurs domaines** de longueurs d'onde, sa **couleur résulte de la synthèse additive des couleurs complémentaires** des radiations absorbées.

Les ions chrome (III), $Cr^{3+}(aq)$, qui absorbent dans le violet ($\lambda_{max} \approx 430$ nm), couleur complémentaire du jaune, et dans l'orangé ($\lambda_{max} \approx 640$ 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

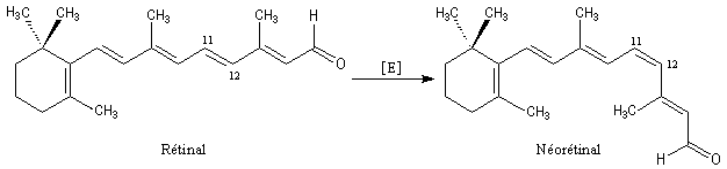
ANNEXE 3.1 : Comment perçoit-on la couleur ? Extrait de « La chimie et l'art » (EDP Sciences)

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 rétinal) 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

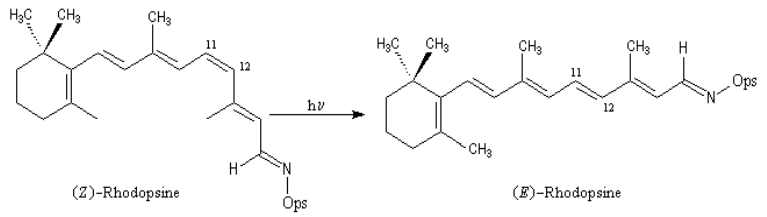
D'après le site : http://www.colvir.net/prof/carl.brabant/Faidherbe/diaster.htm
http://www.colvir.net/prof/carl.brabant/Faidherbe/accueil.htm

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



Rétinal Néorétinal

Le néorétinal 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 rétinal. 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 (Pb(OH)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*".

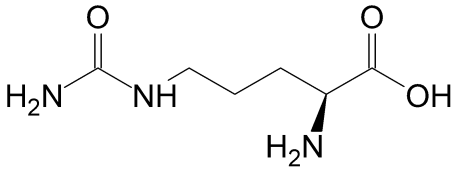
La recette est décrite en ces termes : *« Après avoir mélangé une livre d'écume d'argent* [PbO] *à cinq drachmes de sel de roche* [NaCl]*, verser dessus de l'eau tiède, et remuer très vigoureusement trois fois par jour [...] Laisser le mélange reposer, éliminer l'excès d'eau, puis ajouter du sel de roche 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

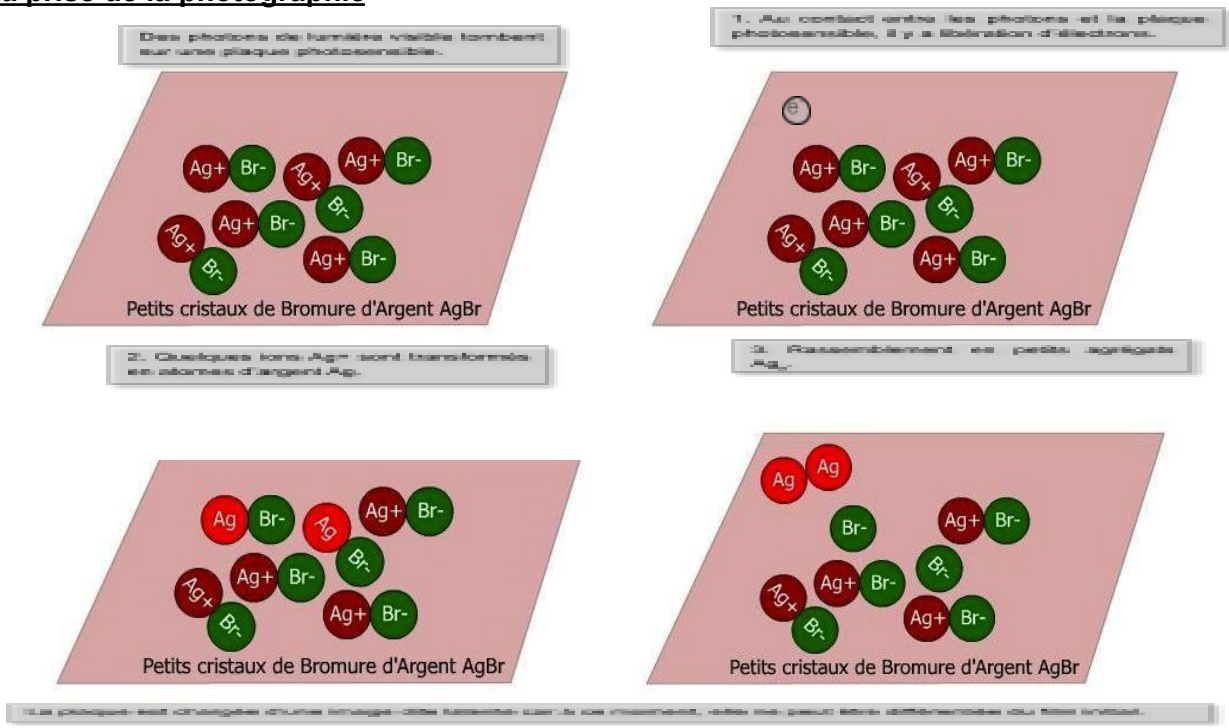
ANNEXE 3.4 : La photographie argentique

Le 6 juin 1944, pour le magasine *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.



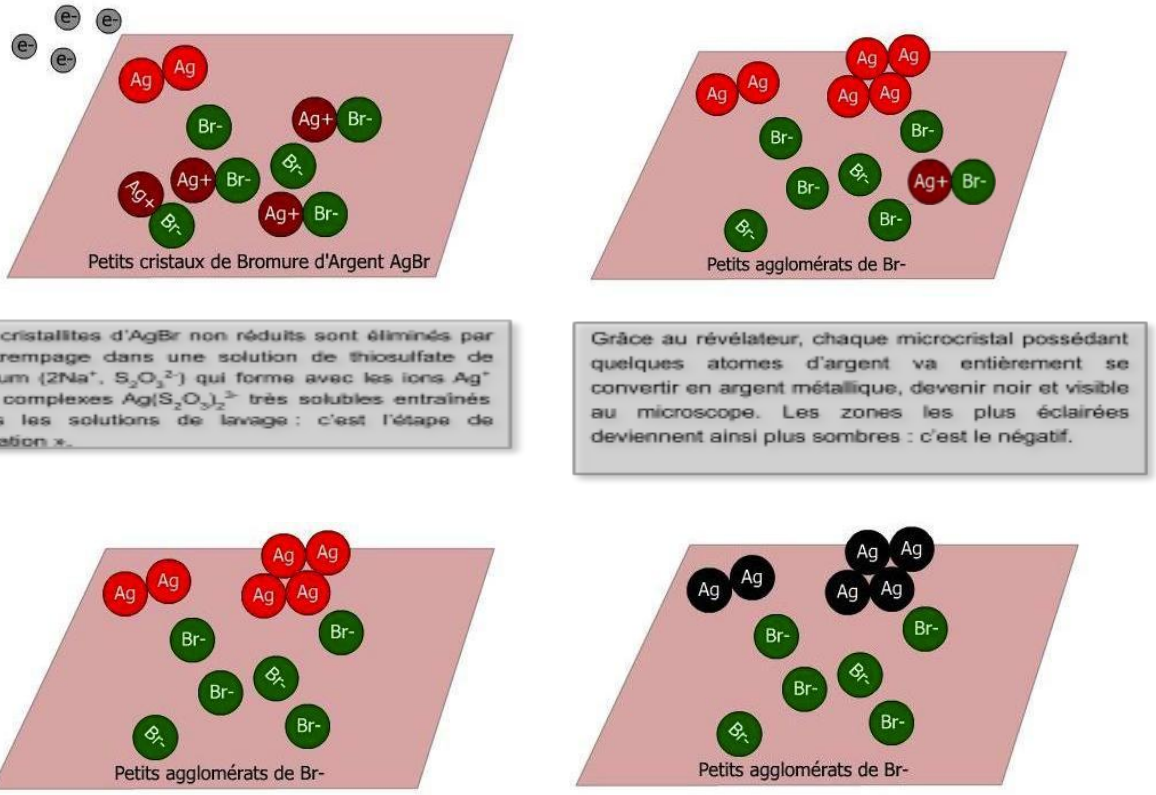
1. La prise de la photographie



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 ».

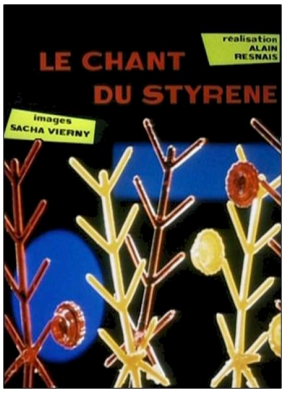


Source : http://sciences-physiques.ac-montpellier.fr/

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 H_2Q, puis ajouter 100 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium (Na^+, OH^-) à 1,0 $mol \cdot L^{-1}$.
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

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.

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
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.
Ethylène 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.

ANNEXE 3.6 : Un accélérateur de particules au Louvre

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 :
- 1ère étape : l'ionisation en couche profonde de l'atome-cible par l'ion incident ;

- 2ème étape : le remplissage de la lacune électronique ainsi créée par un électron d'une couche plus externe ;
- 3ème 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 $K_{\alpha1}$ et $K_{\alpha2}$) 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.

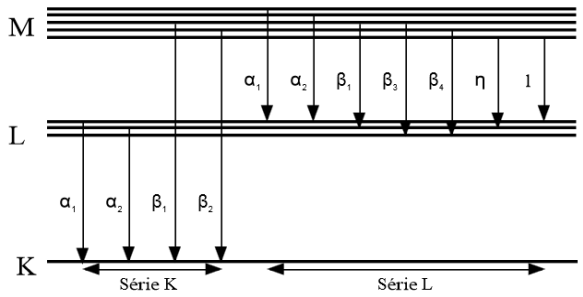
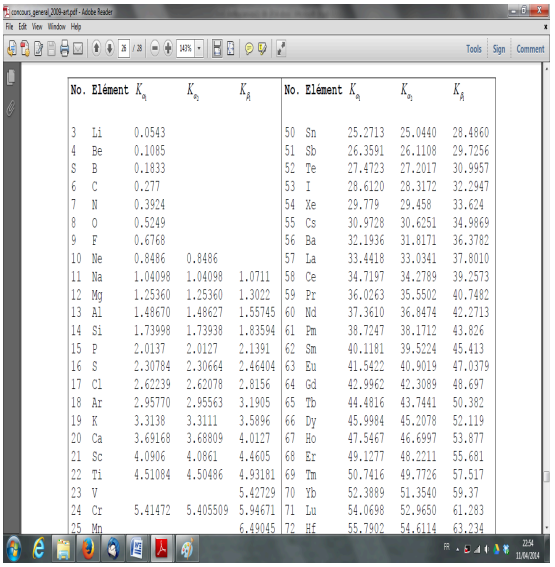


Diagramme d'énergie des transitions X.

D'après :
http://www.art-et-science.fr/explorart/2011/aglae.html
et
http://www.c2rmf.fr/documents/c2r_articleSFP.PDF

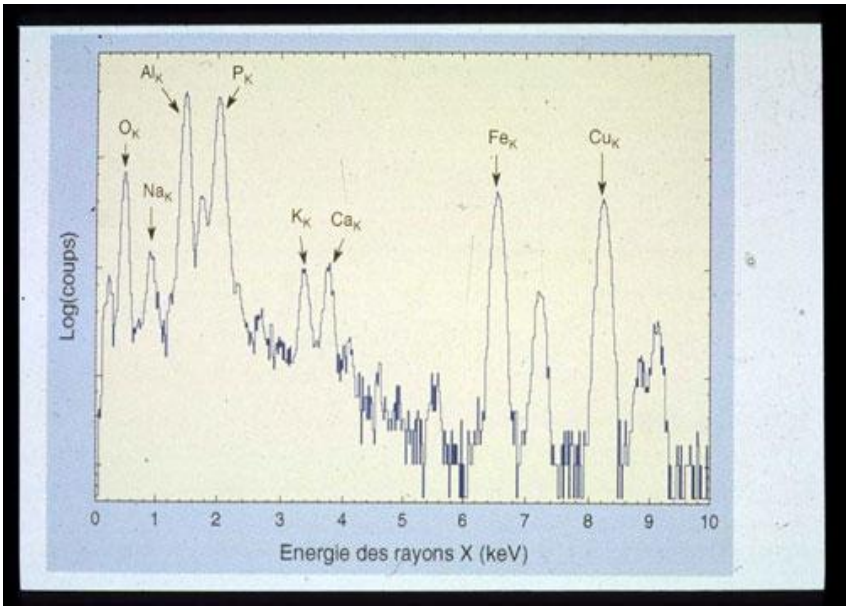
Table d'énergie des raies *K* des 22 premiers éléments exprimée en *keV*

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	No.	Elément	K_{α_1}	K_{α_2}	K_β
3	Li	0.0543			50	Sn	25.2713	25.0440	28.4860
4	Be	0.1085			51	Sb	26.3591	26.1108	29.7256
5	B	0.1833			52	Te	27.4723	27.2017	30.9957
6	C	0.277			53	I	28.6120	28.3172	32.2947
7	N	0.3924			54	Xe	29.779	29.458	33.624
8	O	0.5249			55	Cs	30.9728	30.6251	34.9869
9	F	0.6768			56	Ba	32.1936	31.8171	36.3782
10	Ne	0.8486	0.8486		57	La	33.4418	33.0341	37.8010
11	Na	1.04098	1.04098	1.0711	58	Ce	34.7197	34.2789	39.2573
12	Mg	1.25360	1.25360	1.3022	59	Pr	36.0263	35.5502	40.7482
13	Al	1.48670	1.48627	1.55745	60	Nd	37.3610	36.8474	42.2713
14	Si	1.73998	1.73938	1.83594	61	Pm	38.7247	38.1712	43.826
15	P	2.0137	2.0127	2.1391	62	Sm	40.1181	39.5224	45.413
16	S	2.30784	2.30664	2.46404	63	Eu	41.5422	40.9019	47.0379
17	Cl	2.62239	2.62078	2.8156	64	Gd	42.9962	42.3089	48.697
18	Ar	2.95770	2.95563	3.1905	65	Tb	44.4816	43.7441	50.382
19	K	3.3138	3.3111	3.5896	66	Dy	45.9984	45.2078	52.119
20	Ca	3.69168	3.68809	4.0127	67	Ho	47.5467	46.6997	53.877
21	Sc	4.0906	4.0861	4.4605	68	Er	49.1277	48.2211	55.681
22	Ti	4.51084	4.50486	4.93181	69	Tm	50.7416	49.7726	57.517
23	V			5.42729	70	Yb	52.3889	51.3540	59.37
24	Cr	5.41472	5.405509	5.94671	71	Lu	54.0698	52.9650	61.283
25	Mn			6.49045	72	Hf	55.7902	54.6114	63.234

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

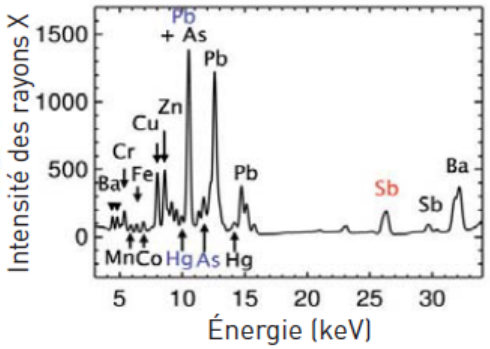
http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lamethodepixe.htm

ANNEXE 3.7 : Un Van Gogh peut en cacher un autre

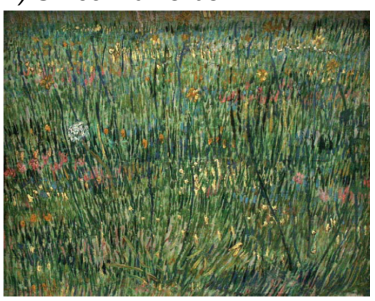
Document 1 :

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.

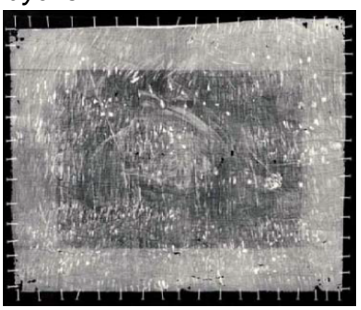
C) Analyse élémentaire d'une zone du tableau par fluorescence X



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

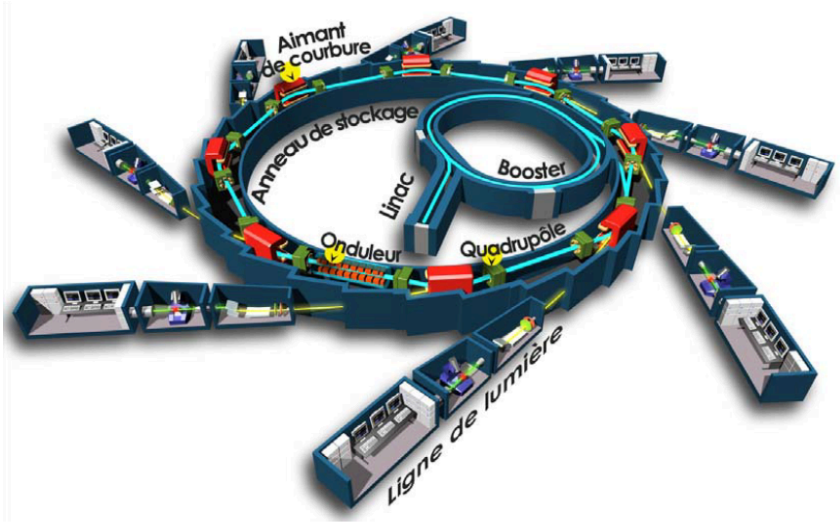


Schéma de principe d'une machine synchrotron

(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 MeV ± 5 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 ($\lambda = 2{,}5.10^{-11}$ 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