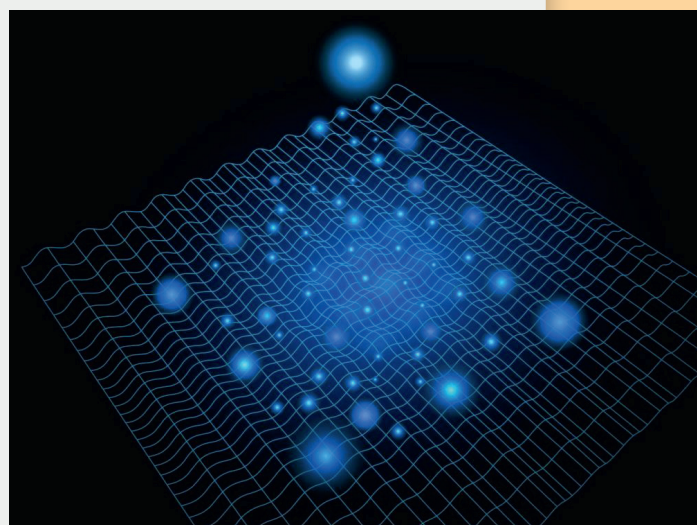


OBSERVER L'INVISIBLE

Rébecca Guélin

Objectif	Étude de différentes techniques pour observer l'invisible Constitution et transformation de la matière
Ondes et signaux	Vision et image
Notions et contenus	Lumière blanche, lumière colorée Spectres d'émission Longueur d'onde dans le vide Dispersion de la lumière blanche
Constitution et transformation de la matière	Modélisation de la matière à l'échelle microscopique
Notions et contenus	Entités chimiques: molécules, atomes, ions Cortège électronique de l'atome Ions monoatomiques
Compétences mobilisées	Restitution des connaissances RCO S'approprier APP Analyser / Raisonner ANA/RAI Réaliser REA Valider VAL Communiquer COM

De tous temps, l'Homme observe la matière pour mieux appréhender son environnement. Cette démarche s'avère d'autant plus nécessaire pour comprendre l'Histoire et nos origines.



Vue d'une onde de densité de charge induite par la lumière. Le maillage ondulé représente les distorsions de la structure du matériau causées par la formation d'une nouvelle onde.

©Alfred Zong/MIT

Partie A : Techniques d'observation

Au cours des siècles, les techniques d'analyses ont évolué jusqu'à pouvoir observer... l'invisible !

Document 1 : Dispersion de la lumière

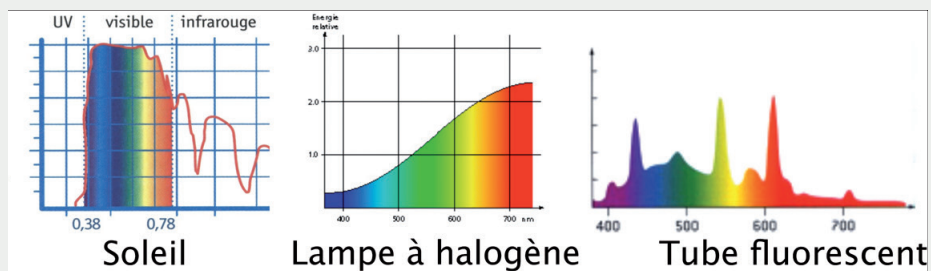
Aux alentours de 1670, Isaac Newton fait passer de la lumière solaire blanche à travers un prisme. Il observe que la lumière peut être décomposée en rayons lumineux de différentes couleurs, exactement dans les mêmes couleurs que l'arc en ciel et toujours disposés de la même façon. Il comprend que la lumière blanche est constituée de rayons de lumière de couleurs différentes, chaque rayon de couleur étant dévié avec un angle différent par le verre du prisme ; par exemple, la lumière rouge est toujours moins déviée que la lumière violette.



Newton en train de réaliser l'expérience des couleurs (1666).
© Aquarian Gallery (copie colorisée)

1 **APP** Faire un schéma en couleurs de l'expérience réalisée par Isaac Newton.

Document 2 : Spectres de sources de lumières « blanches »



Intensité lumineuse émise en fonction de la longueur d'onde.

D'après *La couleur, trait d'union entre la science et l'art.*

<http://www.mediachimie.org/sites/default/files/FC4-25-couleur-trait-union.pdf>



2 **APP** Comparer les spectres d'émission des lumières blanches issues du Soleil, de la lampe à halogène et du tube fluorescent.

.....

.....

.....

.....

Document 3 : Analyse spectrale

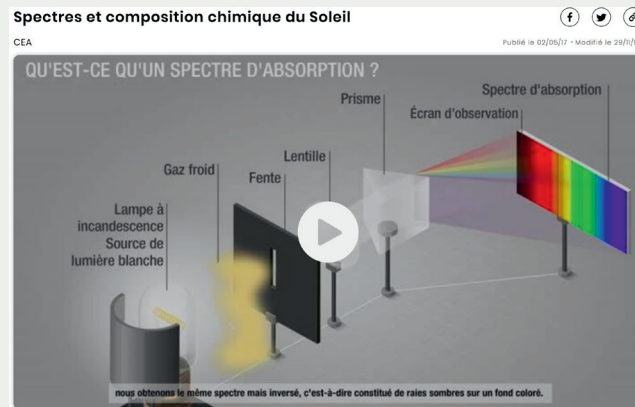
Au milieu du XIX^e siècle, Robert Bunsen et Gustav Kirchhoff mettent au point un spectroscope. Grâce à cet appareil, ils identifient des éléments atomiques et déterminent la composition du Soleil et des étoiles. L'analyse spectrale est un moyen qualitatif et quantitatif qui permet de découvrir des éléments chimiques. Les progrès techniques entraînent la réalisation de nouveaux instruments plus performants.

D'après *Analyse spectrale*

<https://www.mediachimie.org/ressource/analyse-spectrale>



Vidéo :



<https://education.francetv.fr/matiere/sciences-de-la-vie-et-de-la-terre/premiere/video/spectres-et-composition-chimique-du-soleil>



- 3** **COM** Après avoir regardé la vidéo, expliquer en quelques lignes comment il est possible d'identifier des éléments chimiques présents dans l'atmosphère du Soleil.

.....

.....

.....

.....

.....

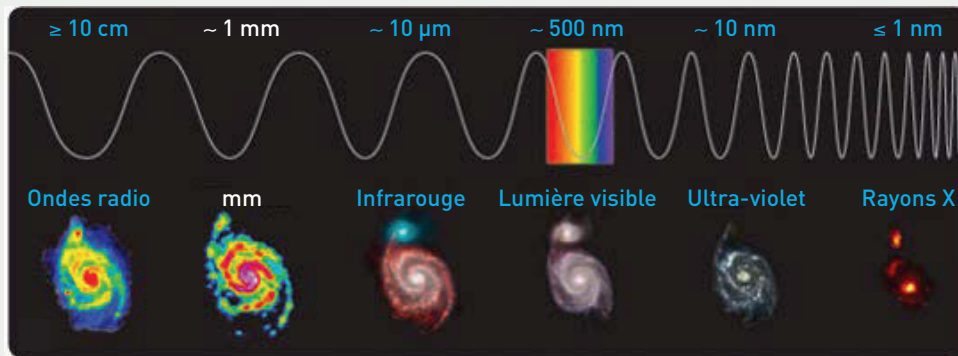
.....

Partie B : Utiliser les rayonnements pour observer l'invisible

• Dans l'univers

Les molécules qui constituent les galaxies émettent de nombreux rayonnements qu'il est possible d'observer à l'aide de différents instruments.

Document 4 : Images de la galaxie M51 dans différents domaines de longueur d'onde



La galaxie M51 mesure tout au plus un tiers du diamètre de la Lune. Le domaine visible est représenté par un arc-en-ciel.

D'après *Molécules dans l'Univers : Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ?*

https://www.mediachimie.org/sites/default/files/Espace_p183.pdf

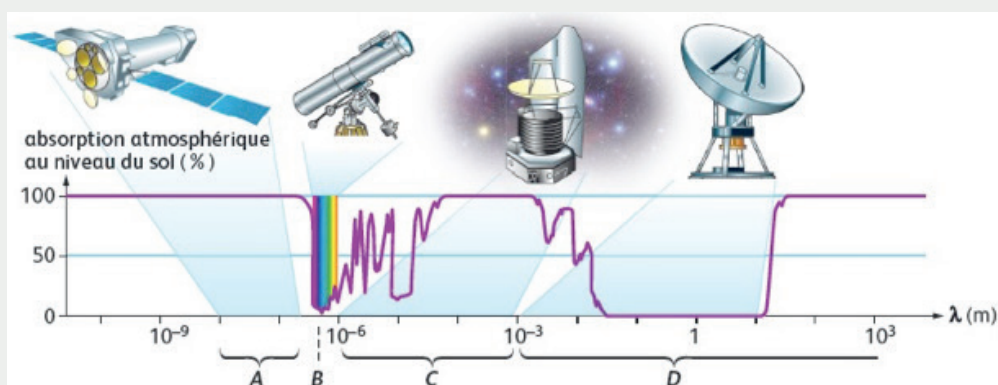


- 4 ANA/RAI Citer le domaine de longueur d'onde sous lequel on voit la galaxie M51 avec le télescope de Newton constitué de miroirs depuis la surface de la Terre.

- 5 ANA/RAI Expliquer pourquoi la taille de la galaxie M51 semble différente selon le domaine de longueur d'onde observé.

- 6 ANA/RAI Expliquer l'intérêt d'exploiter les rayonnements invisibles pour étudier l'Univers.

Document 5 : Absorption atmosphérique au niveau du sol



© Nathan (Livre de Physique-Chimie - Term. S)

7 **RCO** Nommer les domaines de rayonnements électromagnétiques repérés par les lettres A, B, C et D.

.....

.....

.....

8 **APP** Citer deux images de la galaxie M51 du Document 4 qui n'ont pas pu être prises depuis la surface de la Terre.

.....

.....

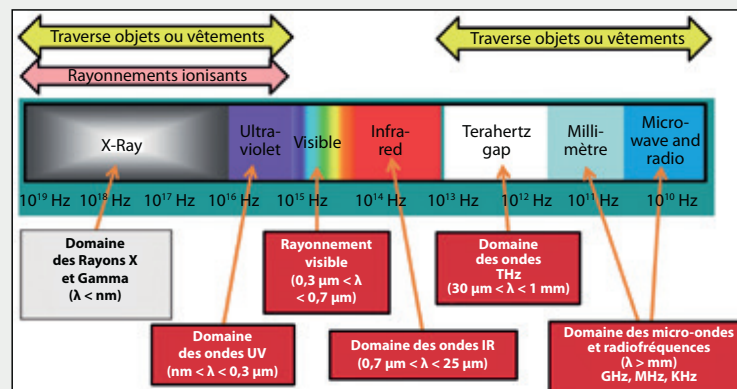
• Dans les bagages

Pour détecter des explosifs ou des objets contenantants, il faut pouvoir sonder à travers des vêtements, des emballages, des parois...

Document 6 : Détecteurs passifs et actifs

Il existe deux grandes catégories de détecteurs :

- **les détecteurs passifs** identifient des rayonnements issus du sujet observé. Ils sont donc applicables sur l'homme puisqu'aucune onde ne le traverse. Ils permettent de déceler des émissions de vapeurs ou encore des variations de température sur une personne susceptibles de révéler la présence d'un objet masqué.
- **les détecteurs actifs** émettent un signal qui interagit avec la cible. Par exemple, les rayons X sont ainsi utilisés dans les aéroports pour l'inspection des bagages. Ces systèmes permettent d'identifier avec une bonne précision la forme des objets, d'en mesurer la densité et un numéro atomique moyen Z , qui est un paramètre physique caractéristique d'un matériau.



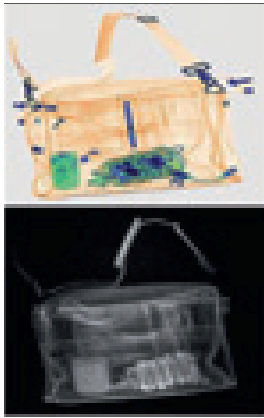
Domaine spectral des ondes électromagnétiques utilisées dans les détecteurs actifs

À gauche du domaine spectral, figurent les rayonnements durs à très courtes longueurs d'ondes ou rayonnements ionisants (rayons X et rayonnement UV), qui peuvent traverser des objets ou des vêtements, ce qui peut être intéressant pour sonder des bagages, des colis ou examiner à distance certains objets suspects. Cependant, ces rayonnements ne sont évidemment pas utilisables sur des personnes ou sur des animaux. À droite, on trouve les rayonnements de plus grandes longueurs d'ondes, qui peuvent traverser des vêtements avec plus ou moins de facilité et vont également apporter des informations complémentaires pertinentes. Au milieu, se trouvent les rayonnements dans le visible et l'infrarouge, également utilisés pour obtenir, en réflexion, essentiellement des informations de surface (spectres de réflexion).

D'après *Les nouvelles technologies d'investigation des explosifs*

https://www.mediachimie.org/sites/default/files/expertise_p221.pdf





9 APP Repérer les rayonnements que l'on peut utiliser pour examiner des bagages.

.....

.....

.....

10 APP / ANA/RAI Sachant que l'énergie transportée par les ondes électromagnétiques est inversement proportionnelle à leur longueur d'onde, expliquer pourquoi les rayonnements X et UV ne sont pas utilisés pour examiner une personne ou un animal.

.....

.....

11 ANA/RAI Expliquer pourquoi les rayonnements du visible et les infrarouges ne sont utilisés que pour obtenir des informations en surface.

.....

.....

• Dans la peinture et les arts

Pour aller plus loin

Lire l'article suivant :

https://www.sciencesetavenir.fr/archeo-paleo/archeologie/reveler-les-pigments-avec-de-la-lumiere_129659



12 APP-COM : Rédiger une synthèse de l'article du lien qui figure ci-dessus. On expliquera notamment ce qu'est un appareil photo modifié, son intérêt et dans quelles conditions il est utilisé.

Pistes de réflexion possibles :

Pourquoi le pigment bleu égyptien est-il une substance luminescente ?

Qu'est-ce qui différencie la lumière infrarouge de la lumière visible ?

Quel est l'intérêt d'observer les œuvres égyptiennes avec un appareil modifié ?

Pourquoi les œuvres sont-elles éclairées avec une LED lorsqu'elles sont photographiées ?

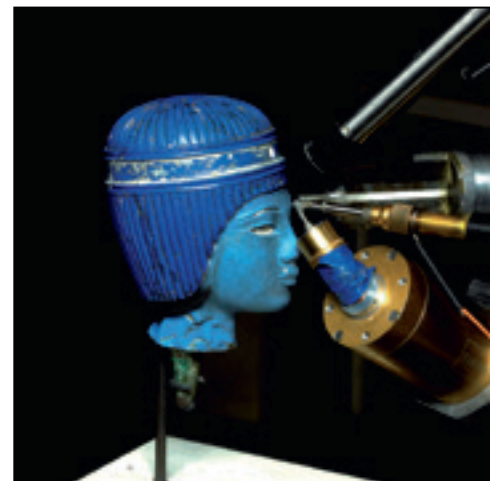
Comment interpréter l'apparition des parties blanches sur la photo prise avec un appareil modifié ?

La Chimie au service de l'expertise d'une œuvre d'art

Entre les deux Guerres mondiales, la découverte de la tombe de Toutankhamon le 4 novembre 1922 réveilla un vif intérêt du marché de l'art pour l'art égyptien.

La tête bleue avait été achetée par le musée du Louvre peu de temps après cette découverte exceptionnelle. Sa nature composite (le visage et la perruque fabriqués séparément avant d'être ajustés) correspondait exactement au goût de la fin de la XVIII^e dynastie, apogée de la civilisation égyptienne.

Toutefois, de nombreux faux « égyptiens » envahirent le marché de l'art, notamment des têtes, dont les faussaires disposaient de nombreuses références authentiques. Ne disposant pas d'information précise sur l'origine de la tête bleue, le Louvre commande une expertise pour s'assurer de l'authenticité de l'œuvre dans les années 60-70.



Sculpture en verre représentant la tête bleue

Document 7: Composition chimique de verres en Égypte ancienne et au XIX^e siècle

Tableau

Composition chimique de verres en Égypte ancienne et au XIX^e siècle.

Égypte ancienne				XIX ^e siècle			
%	Bleu foncé	Turquoise	XVIII ^e dynastie	%	Bleu foncé	Turquoise	Tête bleue du Louvre
SiO ₂	48-77	44-76	Sable	SiO ₂	47	40	Sable
Al ₂ O ₃	0,8-5,2	0,9-3,4		Al ₂ O ₃	1,4	2,4	
FeO	0,39-1,48	0,33-0,99		FeO	0,4	0,63	
Na ₂ O	6-20	6-19	Source Na	CaO	1,9	2,1	
MgO	2,3-4,9	0,7-6,1	végétale	Na ₂ O	12	11,9	Source Na
K ₂ O	0,9-2,6	0,9-3,3	cen dre de plante	MgO	2,1	1,9	non végétale
P ₂ O ₅	< 0,55	< 1	marine-sal icorne	K ₂ O	2,4	3,4	
Cl, SO ₃	< 3	< 3		P ₂ O ₅	0	0	
CoO	0,1-0,5	0	Source cobalt Égypte CoMnNiZn	Cl, SO ₃	0-0,23	0-0,48	
CuO	0-0,7	0,8-3,2		CoO	0,16	0,4	Source cobalt
Sb ₂ O ₃	5,5-9,7	2,6-9,5	opacifiant	CuO	0,08	0	CoAlNi
As ₂ O ₃	0-2,4	0,5-5,7	antimoniate de Ca	Sb ₂ O ₃	0,1	0,3	opacifiant
				PbO	25	28	arséniate de Pb
				As ₂ O ₃	5,4	4	

Les recettes suivies par les verriers égyptiens de la XVIII^e dynastie se distinguent de celles employées par les verriers de l'époque moderne, de même que toute une gamme de compositions chimiques variées est observée entre ces deux périodes extrêmes.

D'après *Fraude et objets d'art*

http://www.mediachimie.org/sites/default/files/expertise_p165.pdf



Pour aller plus loin

Caillebotte aux rayons X

<https://www.mediachimie.org/ressource/caillebotte-aux-rayons-x>



Document 8: Analyse chimique élémentaire du verre bleu foncé de la perruque et bleu clair du visage de la tête bleue

	Visage	Perruque
%	Turquoise	Bleu foncé
SiO ₂	33,20	40,26
Al ₂ O ₃	1,98	2,43
FeO	1,28	0,63
CaO	5,04	2,11
Na ₂ O	11,95	11,96, origine minérale
MgO	1,94	1,95
K ₂ O	3,74	3,42
PbO	28,55	28,22
CoO	0,17	0,36
CuO	0,37	1,91
Sb ₂ O ₃	0,17	0,27
As ₂ O ₃	6,38	4,09

13 APP En vous appuyant sur les analyses chimiques du Document 8, conclure quant à l'authenticité de la tête bleue. Argumenter votre réponse.

.....

.....

.....

14 ANA Écrire la structure électronique des atomes suivants : Na, O, Mg, Al et K.

Pour mémoire : ${}_8\text{O}$; ${}_{11}\text{Na}$; ${}_{12}\text{Mg}$; ${}_{13}\text{Al}$; ${}_{19}\text{K}$

.....

.....

15 ANA En déduire la formule des ions monoatomiques correspondants et vérifier l'électroneutralité des solides ioniques suivants que l'on retrouve dans la composition du verre bleu égyptien : Na₂O, MgO, K₂O, Al₂O₃.

.....

.....

16 ANA Écrire les formules des ions qui constituent l'oxyde de fer(II) FeO.

.....

.....

Activité expérimentale

Étude de la dispersion de la lumière par un prisme optique. Élaboration d'un protocole pour déterminer la composition d'un gaz émetteur

Le matériel nécessaire pour disperser la lumière est le suivant :

- une source de lumière blanche,
- un condenseur pour « concentrer » la lumière,
- une fente pour obtenir une raie de lumière blanche,
- une lentille pour obtenir une image nette sur l'écran,
- un prisme pour dévier différemment les rayons de longueurs d'onde différentes,
- un écran pour visualiser le spectre d'émission.

1. Proposer un montage pour observer le spectre de la lumière blanche.

On veillera à disposer la lentille convenablement pour obtenir une image nette sur l'écran.

Appel pour valider le protocole

2. Mettre en œuvre le montage.
3. Énoncer la théorie de Newton sur la lumière.
4. À l'aide d'un spectroscopie, comparer les spectres d'une lumière blanche et celui d'une LED blanche.
5. En vous appuyant sur les **Documents 9 et 10**, montrer que l'indice de réfraction d'un prisme dépend de la fréquence de l'onde qui le traverse.
6. Chaque lumière colorée est associée à une fréquence ou une longueur d'onde dans le vide. Expliquer en quelques lignes comment un prisme permet de révéler le spectre d'une lumière.
7. Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental qui permet de révéler le spectre d'une lampe à vapeur atomique. Faire la manipulation pour plusieurs gaz émetteurs.
8. Interpréter le spectre de la lampe à vapeur atomique.
9. Proposer un protocole expérimental pour déterminer la composition du gaz émetteur.
10. Mettre en œuvre ce protocole pour déterminer le gaz émetteur d'une lampe à vapeur atomique dont le gaz n'est pas identifié.

Document 9 : Réfraction

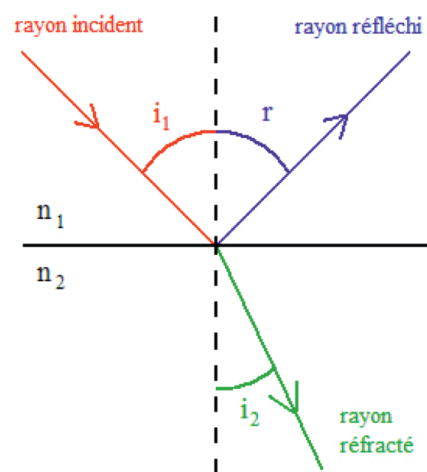
Un milieu traversé par une radiation est caractérisé par son **indice de réfraction n** :

$$n = \frac{c}{v},$$

où c est la vitesse de propagation de la radiation dans le vide, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

et v , la vitesse de propagation de la radiation dans le milieu considéré.

Loi de Snell-Descartes : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$



Document 10 : Milieu dispersif

Dans un milieu dispersif, les ondes de fréquences différentes ne se propagent pas à la même vitesse. Excepté le vide, tous les milieux sont plus ou moins dispersifs. Contrairement à l'air et à l'eau, le caractère dispersif du verre d'un prisme ne peut être négligé.

Corrigé

1.



2. Le Soleil, la lampe à halogène et le tube fluorescent n'émettent pas toutes les longueurs d'onde du visible à la même intensité.

3. En observant le spectre d'émission d'un gaz, il est possible d'identifier ce gaz par comparaison avec des spectres témoins. Lorsque ce même gaz est placé entre une source de lumière blanche et un prisme, on observe l'apparition de raies sombres sur le spectre continu de la lumière blanche. Celles-ci sont caractéristiques du gaz absorbant et correspondent aux raies observées sur le spectre d'émission de ce même gaz. En observant le spectre du Soleil, on constate que celui-ci comporte de nombreuses raies sombres, dues à la présence de particules absorbant la lumière correspondante. En comparant les longueurs d'onde de ces rayons absorbés à celles observées sur les spectres de laboratoire, on peut retrouver la nature des espèces chimiques présentes dans l'atmosphère du soleil.

4. Le télescope n'étant constitué que de miroirs (pas de capteurs infrarouge, UV, etc.), la galaxie M51 apparaît comme sur la photo qui restitue la lumière visible.

5. Les corps qui constituent la galaxie n'émettent pas toujours dans le visible de façon significative ; certains objets émettent dans l'UV, l'IR, dans le domaine millimétrique ou encore radio. Parfois certains de ces rayonnements sont absorbés avant d'arriver sur Terre.

6. Exploiter les rayonnements invisibles à l'œil nu permet de détecter les corps qui n'émettent pas ou pas suffisamment dans le visible.

7. A : UV ; B : Visible ; C : IR ; D : Ondes radio.

8. Certains rayonnements sont absorbés par l'atmosphère, comme les UV et une partie des rayons X, une partie des infrarouges et des ondes radio. Les images prises sous les domaines des longueurs d'onde du domaine des UV et des rayons X ne peuvent pas être prises depuis la surface de la Terre.

9. Les rayonnements X ou les rayons UV peuvent traverser des objets ou des vêtements ; ils peuvent donc être utilisés pour examiner des bagages. Les rayonnements de plus grandes longueurs d'onde peuvent aussi être utilisés, mais ils ne traversent pas toujours facilement les vêtements.

10. Les longueurs d'onde des rayonnements X sont de courtes longueurs d'onde. Ces rayonnements sont donc très énergétiques et peuvent donc provoquer des dommages corporels sur les animaux et les humains.

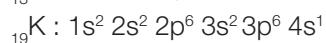
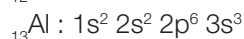
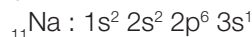
11. Ces rayonnements ne traversent pas les vêtements. On peut noter que ces radiations ont généralement une faible capacité de pénétration, sauf pour le verre.

12. Un objet luminescent émet de la lumière visible ou par extension, des rayons dans les domaines UV ou infrarouge. Le bleu égyptien est luminescent, il émet des radiations dans l'infrarouge. Contrairement à la lumière du visible, la lumière infrarouge ne peut être perçue par l'œil humain. L'appareil modifié (sensible aux radiations infrarouge) peut les détecter. Ainsi, il est possible de révéler les zones du dessin où le bleu égyptien n'est plus visible à l'œil nu (plumes de l'oiseau, poisson, etc.). Pour détecter les rayons infrarouges émis par le bleu égyptien sans risque de confusion, l'objet étudié doit être éclairé avec une LED, une source de lumière qui n'émet pas d'infrarouge. Les endroits du dessin où des rayonnements IR sont détectés par l'appareil modifié apparaissent en blanc sur la photo et révèlent la présence de pigment bleu égyptien. On peut donc visualiser le dessin tel qu'il était à l'origine.

13. On retrouve de nombreuses espèces chimiques dans les proportions de celles du verre de l'Égypte ancienne ; toutefois :

- les quantités de trioxyde d'antimoine Sb_2O_3 (l'opacifiant) et de pentoxyde de phosphore P_2O_5 diffèrent ;
- la source de sodium n'est pas végétale dans le cas de la tête bleue ;
- les impuretés du cobalt ne correspondent pas à celles présentes dans les verres de l'Égypte ancienne ;
- une forte présence d'oxyde de plomb est présente dans le verre de la tête bleue.

On peut donc en déduire que la tête bleue ne peut être datée de la XVIII^e dynastie. On peut noter un fort rapprochement avec les compositions de verres issus des techniques du XIX^e (comme celles des verres élaborés à cette époque à Murano).



15. D'après les configurations électroniques, pour respecter la règle de l'octet les ions formés sont les suivants : Na^+ , O^{2-} , Mg^{2+} , Al^{3+} et K^+ .
Les solides ioniques Na_2O , MgO , K_2O , Al_2O_3 sont donc bien électriquement neutres.

16. Le solide ionique étant électriquement neutre, les ions qui constituent l'oxyde de fer(II) sont O^{2-} et Fe^{2+} .

Activité expérimentale

1.

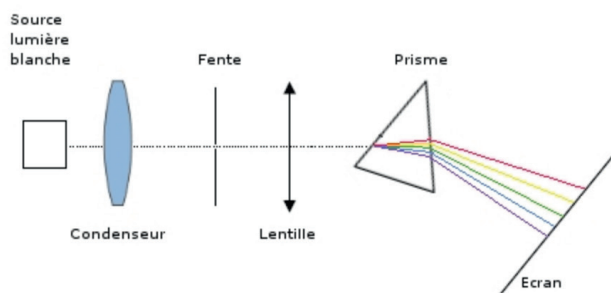


Schéma :

<http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/labospc/spip.php?article95>

(site du ministère de l'EN)



2. Manipulation.

3. La lumière blanche est composée de plusieurs lumières colorées.

4. On constate que les longueurs d'onde ne sont pas émises avec la même intensité.

5. Dans un milieu dispersif, les ondes de fréquences différentes ne se propagent pas à la même vitesse. Or l'indice de réfraction n dépend de la célérité v de l'onde ($n = \frac{c}{v}$) : plus la vitesse de propagation est grande, plus l'indice de réfraction est petit. On en déduit que l'indice de réfraction d'un prisme dépend de la fréquence de l'onde qui le traverse.

6. Le prisme est un milieu dispersif, donc les différentes lumières colorées ayant une fréquence différente (et une longueur d'onde **dans le vide** différente) ne s'y propageront pas à la même vitesse.

$n = \frac{c}{v}$ donc l'indice de réfraction du prisme sera différent pour chacune des lumières colorées. Or $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$, donc l'angle de réfraction sera différent pour chacune des lumières colorées. La lumière blanche sera alors pas « décomposée » par le prisme.

7. Utiliser une lampe à vapeur atomique comme source de lumière sur le montage précédent.

8. Le spectre d'une lampe à vapeur atomique est discontinu. Les longueurs d'onde émises sont caractéristiques du gaz responsable de l'émission de la lumière lors de sa désexcitation.

9. Le spectre de raies étant caractéristique du gaz émetteur, il suffit de comparer le spectre d'émission du gaz étudié avec des spectres de référence pour déterminer sa composition.

10. Manipulation.