

LA LUMIERE DANS TOUS SES ETATS

UTA / UO 2007-2008

4. Qu'est-ce que la lumière ?

G. Adam



Au temps de la Régence du duc d'Orléans, une dame de la Cour, qui était allé visiter l'Observatoire de Paris, dit à Mairan [Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences] :
Dites-moi, je vous prie, ce que sont les bandes de Jupiter ? Je ne sais pas, répondit incontinent le Secrétaire de l'Académie des sciences. Pourquoi, répliqua la dame, curieuse, Saturne est-il la seule planète entourée d'un anneau ? Je ne sais pas, fut encore la réponse de Mairan. La dame, impatientée, lui dit alors, avec une certaine rudesse : A quoi sert-il donc, Monsieur, d'être académicien ? Cela sert, Madame, à répliquer : je ne sais pas.
Raconté par Arago

1

La lumière

**Anciennes
interrogations,
premières
réponses**

Le mystère de la vision

- * Dans l'Antiquité, la vision était un sens comme le toucher
- * Il semblait donc naturel de supposer :
 - * Soit que l'objet émettait quelque chose qui pénétrait dans l'œil de l'observateur
 - * Soit que l'œil émettait quelque chose qui allait "palper" l'objet
 - * Mais alors, pourquoi ne voyait-on rien la nuit ?
 - * Soit que l'œil ET l'objet émettaient quelque chose, la collision des deux induisant la sensation

La perception des images

« Je dis donc que des corps, à leur surface, se détachent de minces effigies [...] ce sont des images offrant en tout l'apparence et la forme de l'objet, quel qu'il soit, qui les envoie errer dans l'air.
[...] Enfin dans les miroirs, dans l'eau, dans toute surface brillante nous apparaissent des simulacres qui, de semblable apparence que les objets eux-mêmes, doivent résulter d'images qui en soient émanées »

Lucrèce, début de notre ère, *De Natura Rerum*, trad. M. Patin, Hachette 1876

Aristote, lumière/obscurité et « diaphane »

« Par diaphane, j'entends ce qui est visible sans être visible par soi absolument, mais grâce à une couleur d'emprunt. Tels sont l'air, l'eau et un grand nombre de corps solides. [...] La lumière en est l'acte, je veux dire du diaphane en tant que diaphane. Mais là où le diaphane n'est qu'en puissance se trouve aussi l'obscurité. La lumière est en quelque sorte la couleur du diaphane, quand le diaphane est en entéléchie grâce à l'action du feu ou d'un élément semblable au corps de la région supérieure »

Aristote, -384 ... -322, *De Sensu*

Aristote, vision, lumière, particules et couleur

« Mais il est tout à fait absurde de dire que la vue voit par quelque chose qui sort d'elle, et qu'elle s'étend jusqu'aux astres, ou bien que, sortie de l'œil, elle se combine, à une certaine distance avec la lumière extérieure, comme le disent certains.

[...]

On peut concevoir que le blanc et le noir soient juxtaposés de telle sorte qu'une particule de chacun d'eux soit invisible en raison de sa petitesse, tandis que le regroupement d'une particule de blanc et d'une particule de noir soit visible, et donne ainsi naissance aux autres couleurs »

Aristote, -384 ... -322, De Sensu

- * Les atomistes avaient introduit l'idée d'atomes constituant toute matière
- * La lumière devait être aussi constituée de telles particules
- * Il en était de même de l'obscurité
- * La lumière ne semblait pas uniquement liée aux luminaires
- * N'y avait-il pas de la lumière après le coucher du Soleil ?
- * Ou lorsque le temps était couvert ?

La conception atomiste de la lumière

« Le mouvement des atomes est éternel. Lancés à travers le vide, soit par leur propre poids, soit par le choc des autres atomes, ils errent, jusqu'à ce que le hasard les rapproche. Il y en a qui arrivent à se cramponner fortement les uns aux autres ; ils forment les corps les plus durs. D'autres, plus mobiles laissant entre eux de plus grands intervalles, constituent les corps moins denses, l'air et la lumière »

Lucrèce, début de notre ère, De Natura Rerum



- * On retrouve de telles conceptions, attribuant une réalité indépendante à la lumière et à l'obscurité, dans les mythes hébreux de la Genèse, copiés des mythes babyloniens :
- * La divinité sépare lumière et ténèbres
- * C'est seulement ensuite qu'il peut y avoir un soir et un matin

Premiers progrès

- * Au Ve siècle avant notre ère, d'après Parménide, un pythagoricien :
- * Le Soleil est une boule de feu émettant de la lumière
- * La Lune n'est qu'une boule rocheuse éclairée et l'on comprend ainsi les éclipses
- * L'obscurité n'est que l'absence de lumière
- * Au début de notre ère, Héron d'Alexandrie affirme la propagation rectiligne de la lumière, et formule les lois de la réflexion

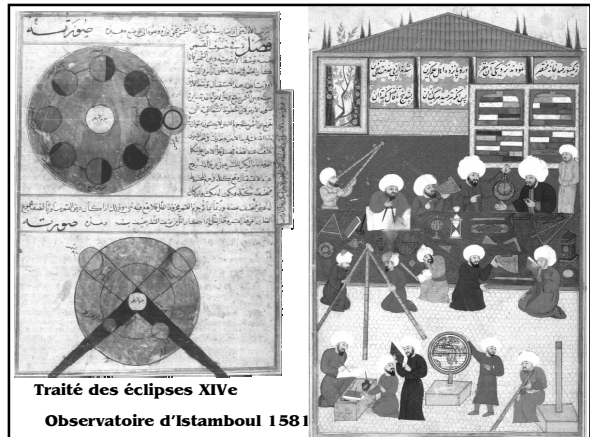
2

La propagation de la lumière

**Nous apprend-elle
quelque chose
sur sa nature ?**

Les travaux des arabes

- * Les arabes sont les héritiers (par force) des byzantins, et donc des grecs
- * A leur tour, ils développent les sciences
- * Al-Hazen (Ibn Al Haitham 965-1040) publie un traité d'optique
- * Il travaille avec une chambre noire
- * il rejette l'idée du rayon émis par l'œil
- * Il étudie le trajet de la lumière, y compris à l'intérieur de l'œil



Traité des éclipses XIVe

Observatoire d'Istanbul 1581

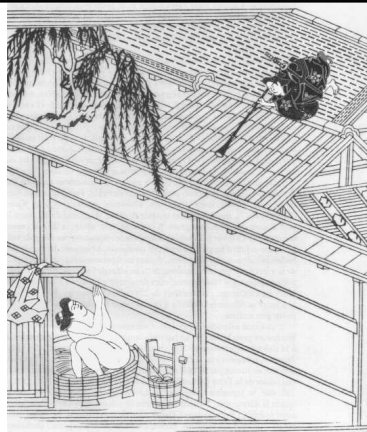
Lentilles et lorgnons (> XIe s.)



La nef des fous
Sebastian Brant
Bâle 1494
Illust. A. Dürer

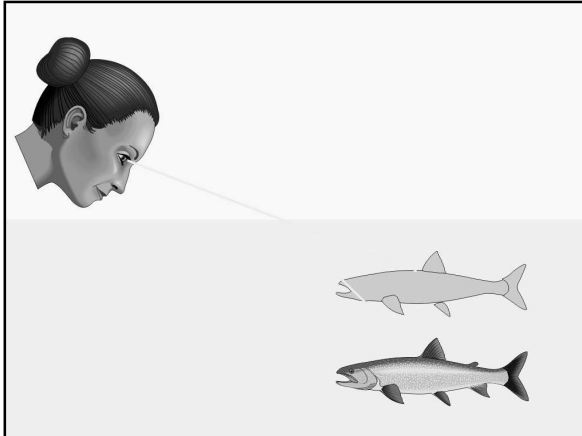


Du bon usage
des lois
de propagation
de la lumière :
la lunette
d'approche



Réfraction & nature de la lumière

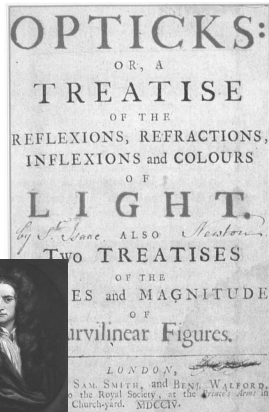
- * 1604 : Képler publie ses *Paralipomènes à Witelo*, vaste traité d'optique astronomique où il étudie la réfraction dans les lentilles
- * Snell découvre (1620) les lois de la réfraction, redécouvertes par Descartes en 1637



- * La loi de la réflexion s'explique bien par une analogie mécanique, faisant intervenir des grains de lumière
- * C'est loin d'être le cas pour la réfraction
- * Descartes propose néanmoins une telle explication, purement mécanique

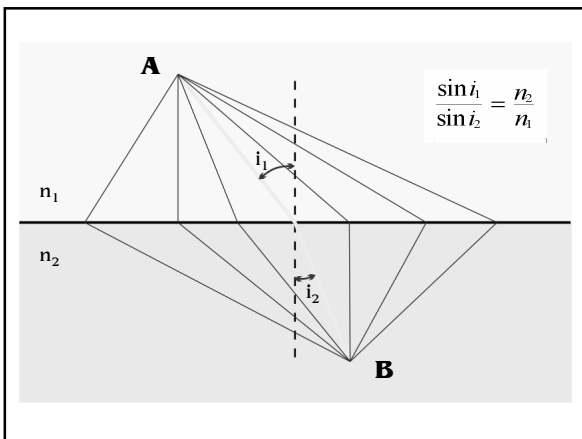


- * Newton en montre les erreurs, et tente d'utiliser la gravitation
- * Il conserve une image corpusculaire de la lumière



Le principe du trajet minimal

- * Le premier, Fermat propose (1737) un principe de propagation éliminant la nécessité d'une nature granulaire
- * C'est un principe de moindre temps de trajet
- * Maupertuis va plus loin (1744), et affirme l'existence d'un principe de moindre action
- * La nature choisit toujours le chemin « le moins coûteux »



Au milieu du XVIIIe, on s'interroge toujours ...

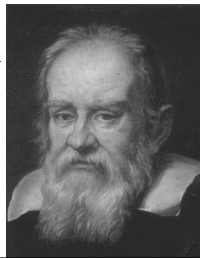
- * Si la lumière est de nature corpusculaire, cela va bien pour expliquer la réflexion
- * Mais pas du tout pour la réfraction, semble-t-il ...
- * Parallèlement, un autre problème fondamental a mobilisé les physiciens ...

3

La vitesse de la lumière

- * L'expérience courante montre que la lumière est certainement très rapide
- * Ex : mouvement d'un reflet, tir de canon, ...
- * Mais se propage-t-elle instantanément, c'est-à-dire, sa vitesse est-elle infinie ?
- * Certains, comme Aristote (vers -400) et Descartes pensaient que oui
- * D'autres, comme Empédocle (vers -450) et Galilée pensaient que non

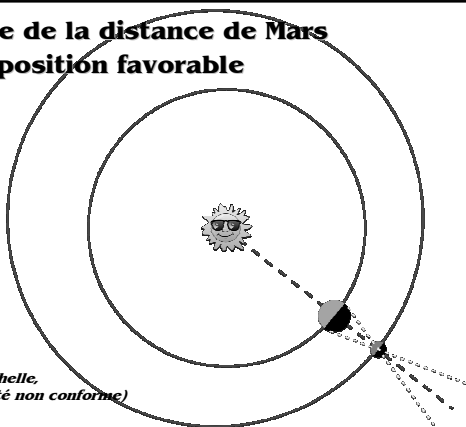
- * Galilée réalise les premières expériences sur les collines de Rome, avec des signaux émis par des lanternes à volets
- * Il doit vite se rendre à l'évidence :
- * Il ne parvient à mesurer que les temps de réaction des expérimentateurs !
- * La vitesse de la lumière est donc très élevée, sinon infinie ...



Mars & les satellites de Jupiter

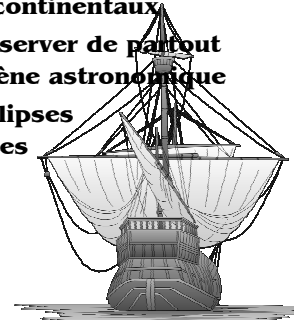
- * En 1672 a lieu une opposition de Mars très favorable, événement crucial
- * On espère mesurer la distance de cette planète, et ainsi (3e loi de Képler !) la distance Terre-Soleil
- * Il faut observer Mars de divers points de la Terre, au même moment
- * Au même moment ? Mais comment synchroniser ces observations ?

Mesure de la distance de Mars en opposition favorable



(Pas à l'échelle, excentricité non conforme)

- * On ne dispose pas, au XVIIe siècle, d'horloges capables de supporter des voyages intercontinentaux
- * Seule solution : observer de partout un même phénomène astronomique
- * Par exemple les éclipses des quatre satellites « galiléens » de Jupiter



Ole Römer

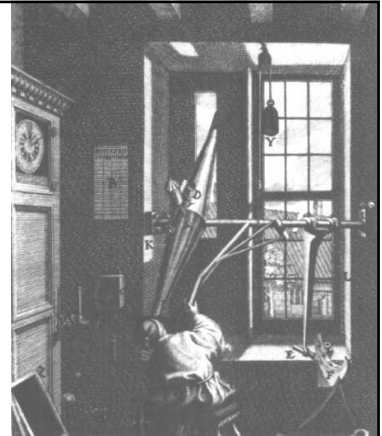
- * Picard, que Cassini a envoyé en mission au Danemark, est frappé par les qualités du jeune Römer
- * Il le ramène à Paris, afin qu'il s'y occupe de l'établissement et du contrôle des tables d'éclipses des satellites galiléens (qui servent d'horloge)
- * Et Römer fait une découverte étrange : les tables sont alternativement en avance et en retard, avec une période d'un an !



Jean Picard



Ole Roemer 1644-1710



Les satellites « galiléens » de Jupiter

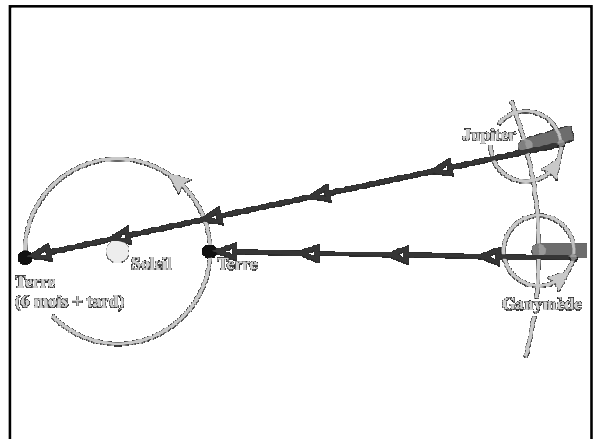
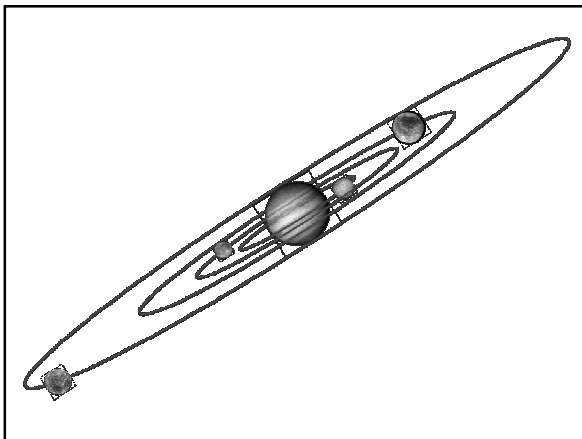
Découverts dans l'hiver 1609-1610 par Galilée

IO
Europe
Ganymède
Callisto

*Adi. 7. di Gennaio 1610 Giove si vedeva co' quattro stelle
3. nelle affe cost' * * * * * quella quale et' il cerchio
* * * * * a d. di affarina cost' * * * * * una d'ay
* * * * * diretto et' non retrogrado come f'anno i' costellatori.
* * * * * di un' di meglio, a d'io. si vedean cost' * * * * * cio' e' d'
* * * * * parte di la più occidentale si che si vedea una agguata a suo ordine.
* * * * * Feb. 11. era in questa guisa * * * * * et la stella più vicina
* * * * * a Giove era l'ultima minore dell'altra, et minimissima all'altra
* * * * * come che è alora pare essere la detta stelle affaritate, essere tra
* * * * * di qual grandezza et' tanto più equale, intore; dal che
* * * * * appare intore a Giove esser qualche stelle esser invisibili ad
* * * * * ogni uno a questo sito.
* * * * * Ad. 12. si vedde in tale costellazione * * * * * era la stella
* * * * * orientale, pero' minor della orientale, et' Giove era il mezzo intore.*



© NASA



Le résultat de Roemer

- * La lumière met un temps mesurable pour traverser l'orbite de la Terre
- * Il trouve 22 minutes (16 minutes, en réalité)
- * Sa vitesse c est donc finie !
- * Mais Roemer connaissait mal le diamètre de l'orbite terrestre
- * Il n'a donc pas pu, en 1676, calculer vraiment la valeur de c ...

DEMONSTRATION TOUCHANT LE mouvement de la lumière trouvé par M. Römer de l'Académie Royale des Sciences.

Il y a long-temps que les Philosophes sont en peine de décider par quelque expérience, si l'action de la lumière se porte dans un instant à quelque distance que ce soit, ou si elle demande du temps. Mr Römer de l'Académie Royale des Sciences s'est avisé d'un moyen tiré des observations du premier satellite de Jupiter, par lequel il démontre que pour une distance d'environ 3000 lieues, telle qu'est à peu près la grandeur du diamètre de la terre, la lumière n'a pas besoin d'u-

1676.

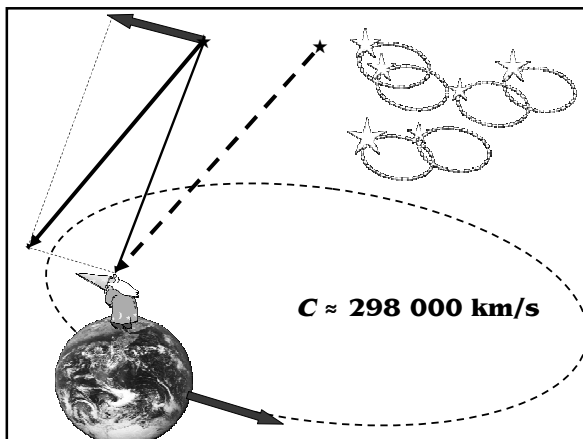
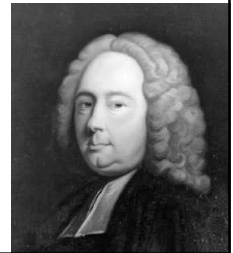
N n n

Article de Roemer dans le *Journal des Sçavants* du 7 Décembre 1676

- * On pensait que le rayon de l'orbite de la Terre était compris entre 65 et 145 millions de km
- * Dans les années qui ont suivi la découverte de Roemer, on a rapidement convergé sur la valeur correcte de 150 millions de km
- * Ce qui a permis (Roemer ? Huygens ?) de calculer $c \approx 210\,000$ km/s

Bradley et l'aberration

- * En 1728, James Bradley découvre qu'au cours de l'année, toutes les étoiles semblent décrire dans le ciel une même minuscule trajectoire elliptique
- * Il comprend qu'il s'agit d'un effet d'addition de vitesses, et en tire une valeur de c

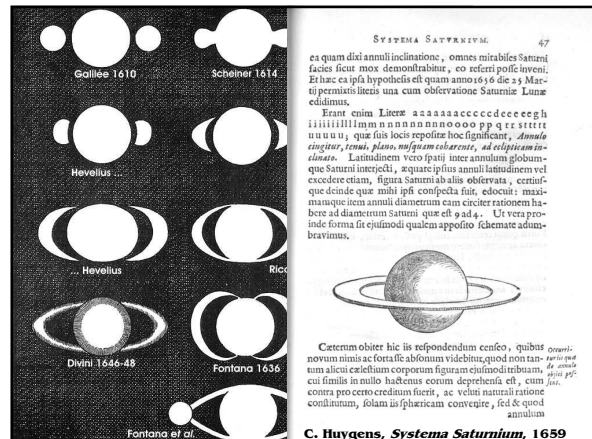


4

La lumière serait-elle une onde ?

Huygens contre Newton

- * **Christiaan Huygens (1629-1695), pris entre deux géants : Galilée et Newton**
- * **Il est pourtant l'auteur d'avancées majeures :**
- * **L'horloge à balancier**
- * **L'identification de l'anneau de Saturne**

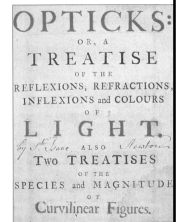


Saturne, aujourd'hui ...



© NASA / ESA

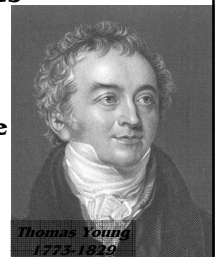
- * **Huygens établit la première théorie ondulatoire de la lumière**
- * **Il invoque des mécanismes analogues à ceux qui gouvernent la propagation des vagues**
- * **Ce qui l'amène à prédire que la lumière doit être plus lente dans l'eau ou le verre que dans l'air**
- * **Malheureusement pour lui, en 1709, Newton publie son *Opticks***
- * **La lumière y est décrite comme un jet de particules**

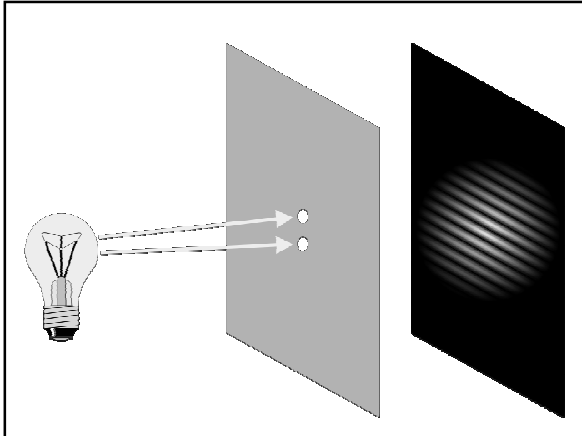


- * **La vision de Newton rend évidente la propagation rectiligne, la réflexion, et la formation des ombres**
- * **Mais est beaucoup moins à l'aise pour tout ce qui concerne la propagation dans les milieux transparents et la réfraction**
- * **Mais l'admiration pour Newton est telle qu'on oublie immédiatement les ondes de Huygens !**

Young et ses franges

- * **On savait déjà produire des interférences entre les vagues à la surface de l'eau ou entre les ondes sonores**
- * **Young décrit un 1802 une expérience d'une splendide simplicité, qui montre que la lumière se comporte d'une façon similaire**

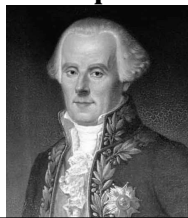




- * Mais Young est un brillant touche-à-tout, et la physique a bien changé depuis l'époque de Newton ...
- * S'il est écouté en Angleterre, il est jugé un peu « léger » par le monde de la physique, car il ne propose pas de modèle mathématique complet
- * On garde donc présent à l'esprit le résultat de l'expérience, sans plus ...

La victoire de la théorie ondulatoire

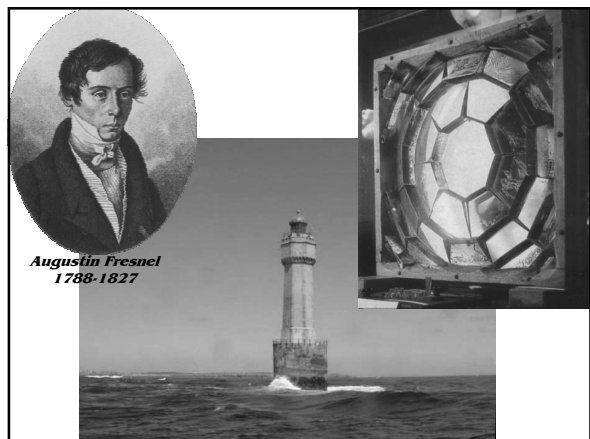
- * Au début du XIXe siècle, mathématiciens et physiciens français sont aux avant-postes de la science
- * Leur maître est Pierre-Simon de Laplace
- * Il veut pousser la physique vers la rigueur et les mathématiques
- * Il a une vision mécaniste, particulière, de la lumière



- * Les laplaciens recrutent parmi les meilleurs élèves de la jeune Ecole Polytechnique
- * Une des méthodes consiste à proposer au concours de l'Institut un sujet taillé sur mesure pour le candidat auquel on pense
- * Les réponses sont fournies sous pli cacheté, et évaluées par un jury de laplaciens
- * En 1817, le sujet porte sur les franges de diffraction (car Laplace trouve les résultats de Young peu convaincants)

Augustin Fresnel

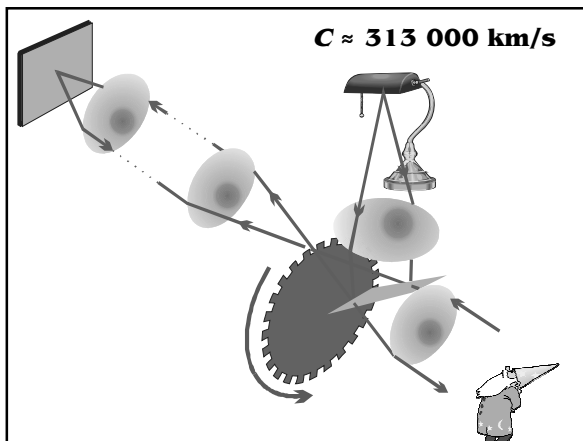
- * Deux réponses seulement sont données
- * L'une d'elles, extrêmement brillante, est due à Fresnel, protégé d'Arago qui, bien que membre du jury, n'apprécie plus le groupe des laplaciens
- * Le succès d'un candidat « externe » le ravit !
- * Laplace doit s'incliner devant la rigueur et l'élégance du modèle de Fresnel ...
- * et abandonne la théorie corpusculaire !



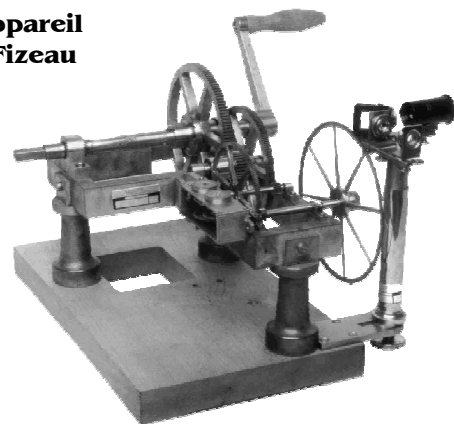
5

La mesure de c en laboratoire

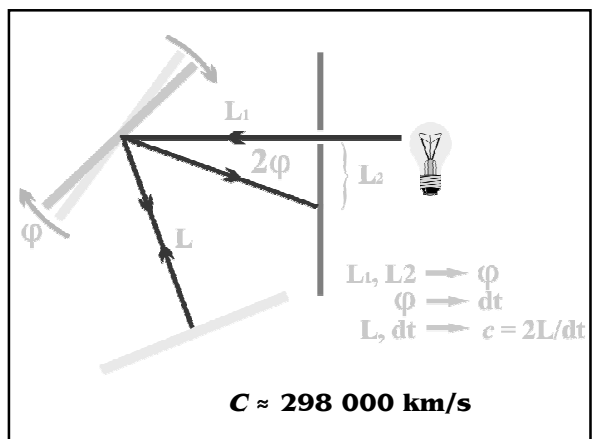
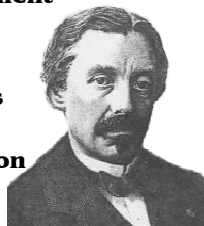
- * Les estimations de c restaient imprécises, car liées à de délicates observations astronomiques
- * En 1849, Hippolyte Fizeau réalise enfin la première mesure terrestre
- * Il chronomètre la lumière sur un parcours de 2×8 km, entre Montmartre et le Mont Valérien



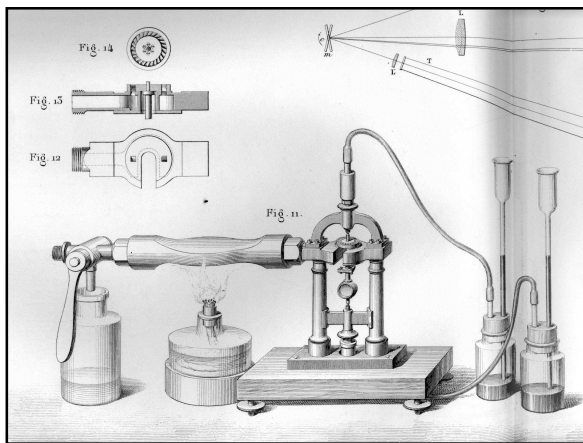
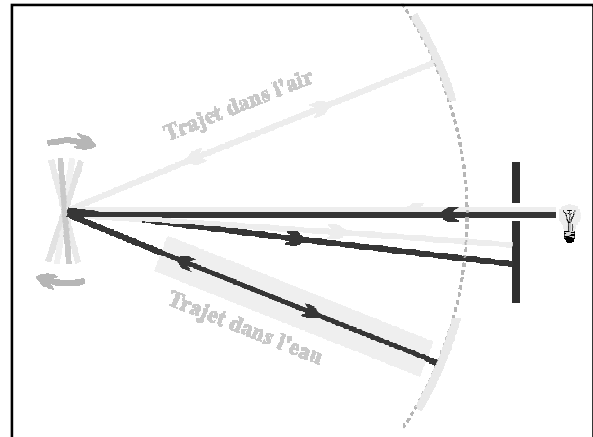
L'appareil de Fizeau



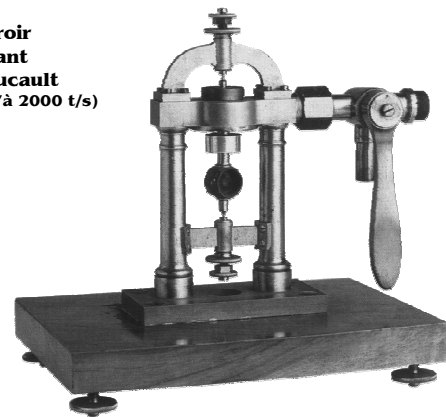
- * En 1850, Léon Foucault utilise un appareil à miroir, tournant à 1500 tours par seconde
- * Ceci lui permet de réduire la longueur du trajet nécessaire à quelques mètres seulement
- * Foucault était un expérimentateur de talent : on a tenté sans succès, récemment, d'obtenir la même précision avec la même méthode ...



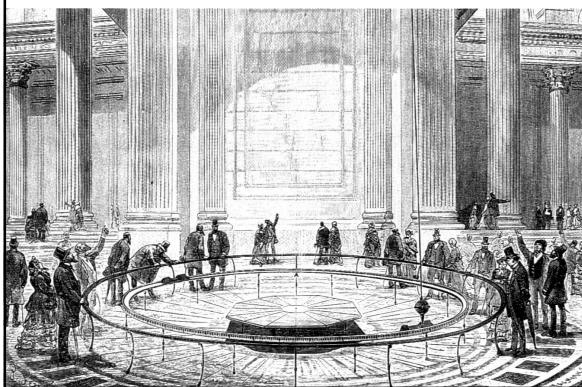
- * La même année, Foucault réalise une autre expérience cruciale
- * Il montre que la vitesse de la lumière est plus faible dans l'eau que dans l'air
- * Ceci invalide définitivement la théorie corpusculaire de Newton
- * C'est dans le vide que la vitesse de la lumière est la plus grande ; cette valeur est désignée par c



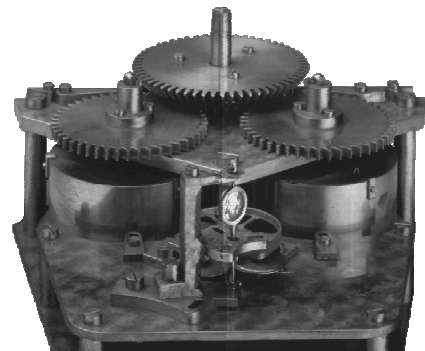
Le miroir tournant de Foucault
(Jusqu'à 2000 t/s)



Le pendule de Foucault au Panthéon (31 Mars 1851)



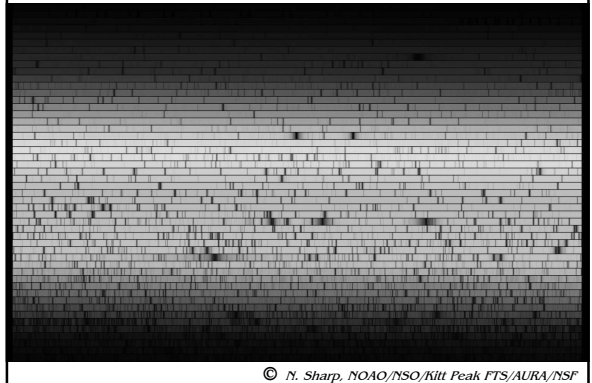
Miroir à entraînement mécanique de Fizeau
Quelques centaines de tours par seconde



6

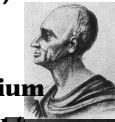
L'analyse spectrale

La signature des atomes

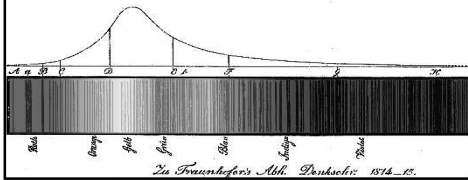


© N. Sharp, NOAO/NSO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF

* Le chimiste Marggraf (1702-1782) remarque que la couleur d'une flamme change si on y jette des sels de sodium ou de potassium



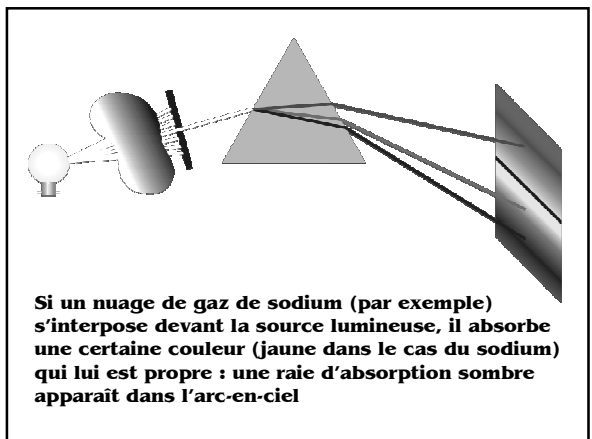
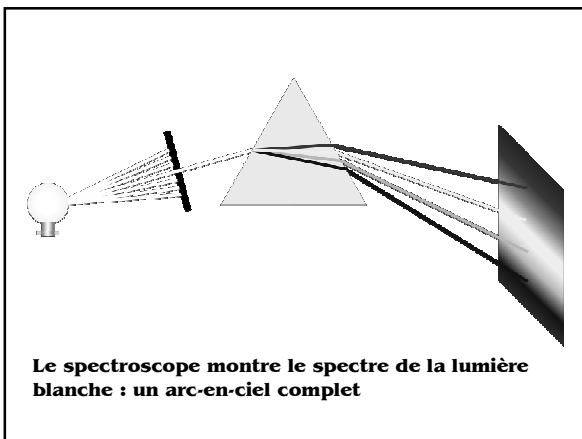
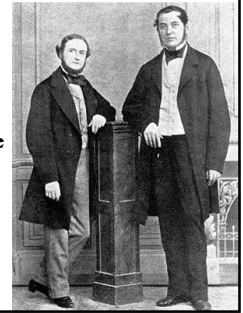
* Wollaston 1802 et Fraunhofer 1814 notent que le spectre solaire est "rayé"

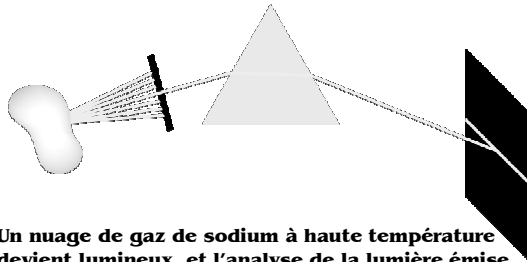


* 1860 Bunsen et Kirchhof comprennent que chaque raie spectrale est la signature d'un élément chimique

* Il remarquent aussi que chaque raie peut apparaître

- * en émission, comme une raie brillante sur un fond sombre
- * en absorption, comme une raie sombre sur un fond brillant





Un nuage de gaz de sodium à haute température devient lumineux, et l'analyse de la lumière émise révèle une seule* couleur, un jaune-orangé caractéristique du sodium, qui apparaît comme une brillante raie d'émission

* Enfin, presque...

Ceci permet à Kirchhof d'écrire :

« L'analyse par le spectre offre aux investigations de la chimie un champ jusqu'à présent inexploré et dont les limites s'étendent même au-delà de notre système solaire. Comme cette nouvelle méthode d'analyse n'exige que l'observation par la vision d'un gaz incandescent, on comprend facilement qu'elle doit être applicable à l'atmosphère du Soleil et à celle des étoiles fixes »

En 1835, Auguste Comte, parlant des étoiles, avait imprudemment affirmé :

« On voit comment on peut déterminer leurs formes, leurs distances, leurs masses, leurs mouvements, mais nous ne pourrons jamais connaître quelque chose à propos de leur structure chimique ou minéralogique »

*** 1868 : premier coup d'éclat de la spectroscopie stellaire :**

- * on découvre (Janssen, Lockyer) dans le spectre du Soleil une raie jamais observée jusque là
- * on l'attribue à un corps inconnu ...
- * ... que l'on nomme hélium

*** 1895 : Ramsay découvre l'hélium sur Terre, produit de la radioactivité naturelle**



7

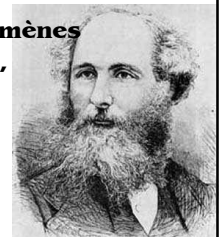
La théorie Électro- -magnétique

*** La lumière sera finalement identifiée à une onde électromagnétique**

*** La Théorie Electromagnétique est présentée en 1873 par James Clerk Maxwell**

*** Elle décrit tous les phénomènes électriques, magnétiques, lumineux, radio, ...**

*** Ceci couronne 150 ans de recherches**




Newton
1643-1727



Huyghens
1629-1695



Young
1773-1829




Fresnel
1788-1827




Ampère
1775-1836



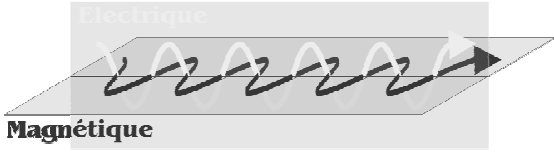
Ørsted
1777-1851



Faraday
1791-1867



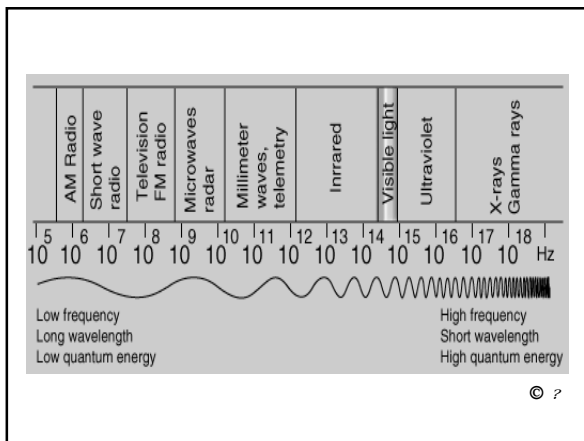
Le champ électromagnétique



Électrique

Magnétique

C'est l'apparition en physique du concept de champ

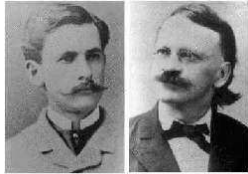


- * La lumière est donc une onde qui se propage, comme des vagues sur un lac
- * Mais, dans le cas de la lumière, qu'est-ce qui ondule ??
- * La lumière est en effet capable de se propager dans le vide, entre les étoiles
- * Quel est donc, s'il existe, le support à la propagation des ondes électromagnétiques ?

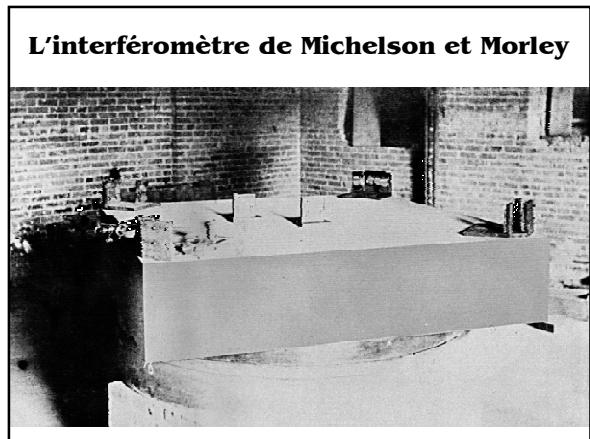
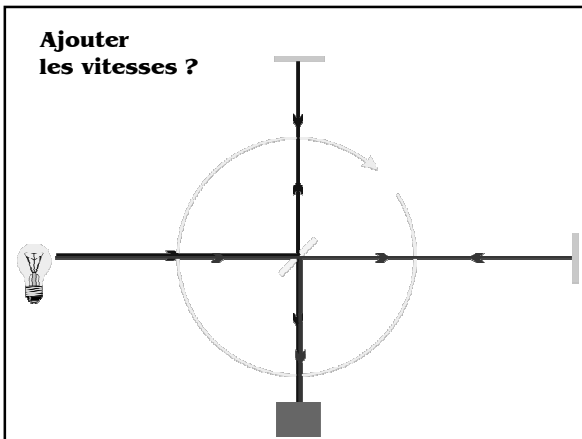
L'éther, chimère physique

- * On a supposé un temps l'existence d'un milieu universel, non détecté, que l'on baptisait éther lumineux
- * C'était une chimère physique, aux propriétés contradictoires :
 - * Rigide (les ondes électromagnétiques sont transversales, cf. Fresnel)
 - * N'opposant pourtant aucune résistance aux mouvements planétaires

- * On a tenté plusieurs fois de détecter cet éther
- * Par exemple, en essayant de mesurer le « vent d'éther » produit par le mouvement de la Terre dans l'espace
- * C'est la très célèbre expérience de Michelson et Morley (1881)



A.A. Michelson 1852 - 1937 E.W. Morley 1838 - 1923



- * **Résultat : aucun effet !**
- * **On a imaginé des tas de raisons :**
 - * **La rotation de la Terre contrariant la circulation autour du Soleil ?**
 - * **Expérience 12h plus tard : rien !**
 - * **La révolution de la Terre autour du Soleil contrariant quelque autre mouvement ?**
 - * **Expérience 6 mois plus tard : rien !**
 - * **Entraînement de l'éther par la Terre ?**
 - * **Expérience au sommet d'une montagne : toujours rien !**

- * **Ce qui n'empêchait pas Michelson de professer l'opinion que la science était à peu près arrivée au bout de ses découvertes !**
 - * « Les lois, les faits les plus fondamentaux de la réalité physique ont tous été découverts, et sont maintenant si fermement établis que le fait qu'ils soient jamais remplacés à la suite de nouvelles découvertes est extrêmement improbable ... Nos découvertes futures sont à rechercher au niveau des sixièmes décimales ... »
-

- Albert Einstein : la Relativité**
- * **1905 : dimensions et temps deviennent relatifs à l'observateur !**
 - * **c = constante devient un principe**
 - * **La loi d'addition des vitesses prend une nouvelle forme :**

$$v = (v_1 + v_2) / (1 + v_1 \times v_2 / c^2)$$
 - * **Il est vain de chercher à détecter un éther inutile**
-

- La valeur définitive de c**
- * **La vitesse de la lumière dans le vide est une des constantes fondamentales de la physique**

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$
 - * **Et c'est le mètre qui devient une unité secondaire, déduite de c et de la valeur de la seconde de temps (mesurée à partir d'une fréquence lumineuse)**

- * Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ de seconde
- * *Sic transit gloria ...*



c, vitesse limite

- * Une des conséquences de la Relativité Restreinte est qu'aucun corps de masse non nulle ne peut être accéléré jusqu'à la vitesse c
- * Il faudrait pour cela une énergie infinie ...

8

Lumière corpusculaire, le retour ...

La catastrophe ultraviolette

- * En 1900, utilisant la thermodynamique de Boltzmann et l'électromagnétisme de Maxwell, la physique est en mesure de décrire le spectre du corps noir
- * Victoire ? Pas vraiment :
- * L'intensité calculée croît sans limite du côté des hautes fréquences, c'est-à-dire de l'ultraviolet
- * Un simple bougie devrait être une source mortelle de rayons γ !

Planck et le quantum d'énergie

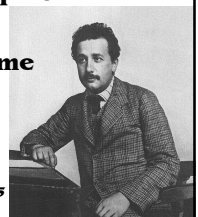
- * Max Planck établit en Octobre 1900 la formule qui depuis porte son nom
- * Immédiatement vérifiée par l'expérience
- * Mais pour cela, il a du supposer que l'énergie échangée par l'onde E.M. devait être quantifiée, c'est-à-dire être toujours multiple entier d'une énergie élémentaire, ou quantum
- * Ce quantum dépend de la fréquence
$$e = h \nu$$

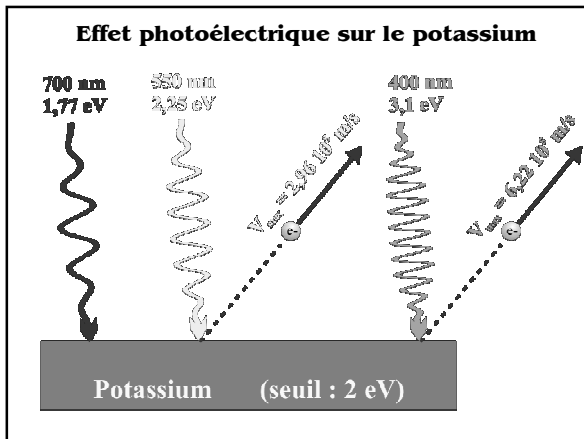
Max Planck 1858-1947
Nobel 1918

Einstein : l'effet photoélectrique

- * Planck est atterré par les conséquences de sa découverte
- * Mais en 1905 Einstein, en expliquant l'effet photoélectrique, va plus loin :
- * La lumière EST quantifiée, on peut la considérer comme un flux de particules, les photons, d'énergie individuelle $h\nu$

Albert Einstein 1879-1955
Nobel 1921





- * Einstein, qui réprouvait le manque d'audace de Planck, a soigneusement évité d'utiliser h dans sa publication de 1905 !
- * Les choses se sont arrangées ensuite ...
- * h , une des constantes fondamentales de la physique, est maintenant connue comme la constante de Planck
 $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$

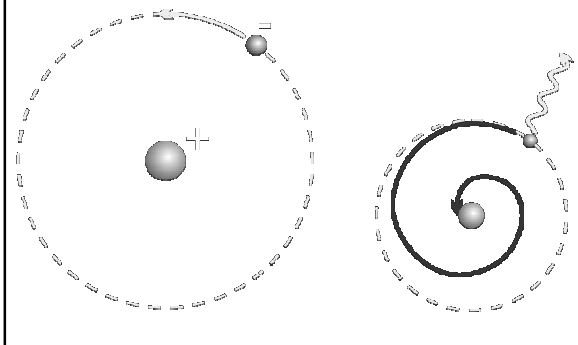
La double nature de la lumière

- * La lumière est une onde E. M., comme le montrent certaines expériences
- * La lumière a une nature corpusculaire, comme le montrent d'autres expériences
- * On doit donc admettre qu'elle possède cette double nature
- * Et que l'une ou l'autre se révèle selon les circonstances
- * Nous reviendrons sur ce point étonnant ...

9

Atomes & lumière

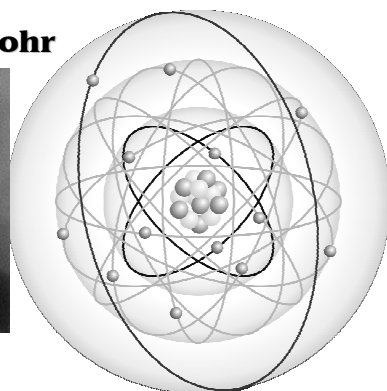
L'atome d'Ernest Rutherford



L'atome de Niels Bohr



1885-1962
Nobel 1922



« Un expert est quelqu'un qui a commis toutes les erreurs possibles, dans un domaine extrêmement étroit »

« La prédiction est très difficile, surtout quand elle concerne le futur »

« Si on n'est pas choqué par la théorie quantique, c'est qu'on n'y a rien compris »

« Qui êtes-vous, Einstein, pour dire à Dieu ce qu'il doit faire ? »

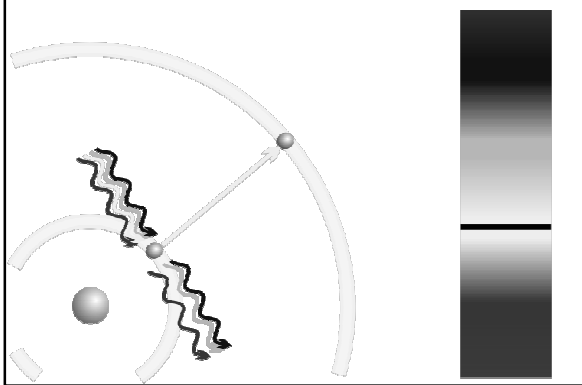


Niels Bohr
(Nobel 1922)

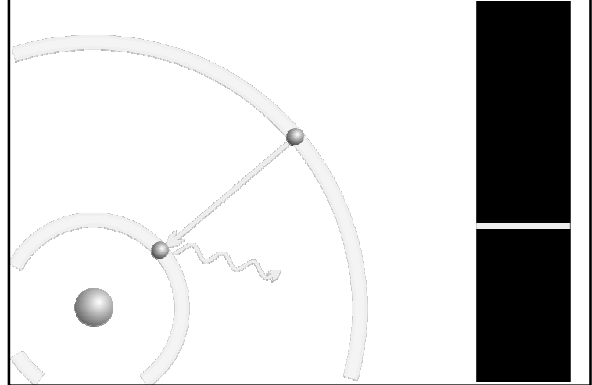
10

Absorption, émission

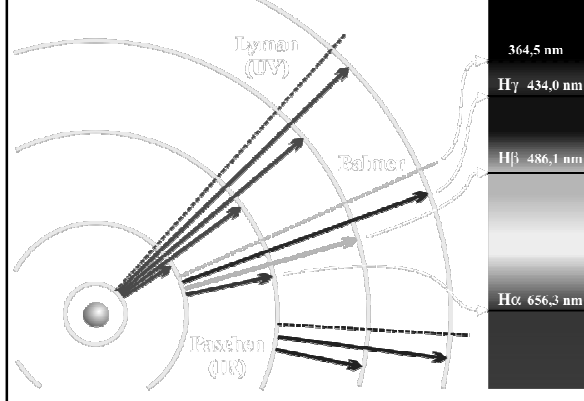
L'absorption de la lumière



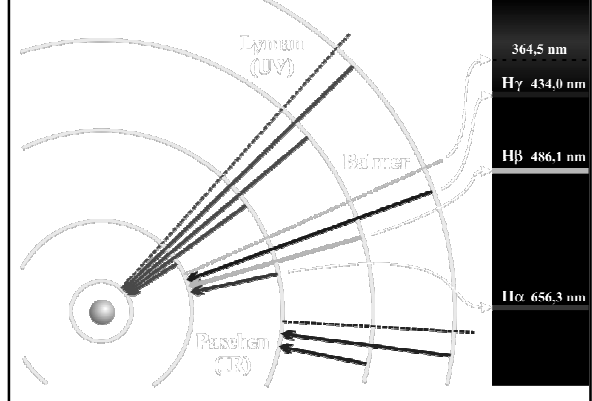
L'émission de la lumière



Émissions de l'hydrogène

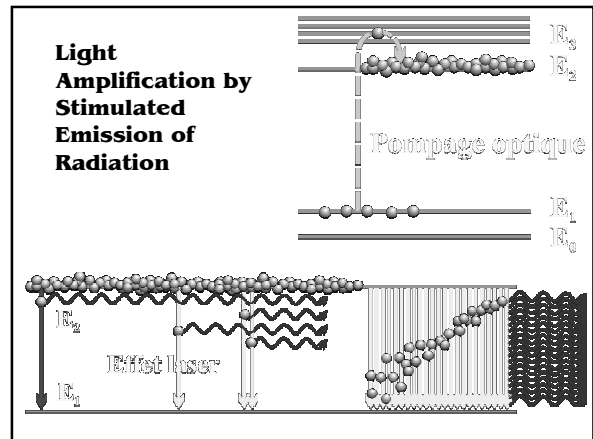


Absorptions de l'hydrogène

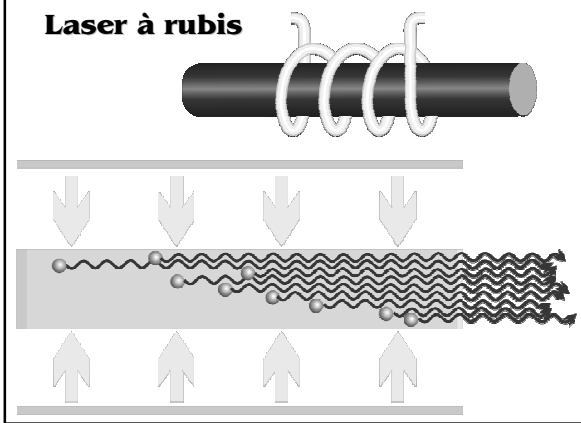


Quelques mécanismes mettant en jeu la lumière ...

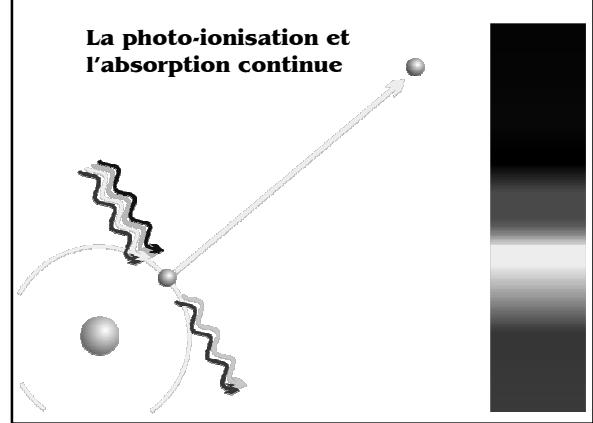
- * Le laser
- * L'ionisation et la recombinaison atomiques
- * L'émission photoélectrique



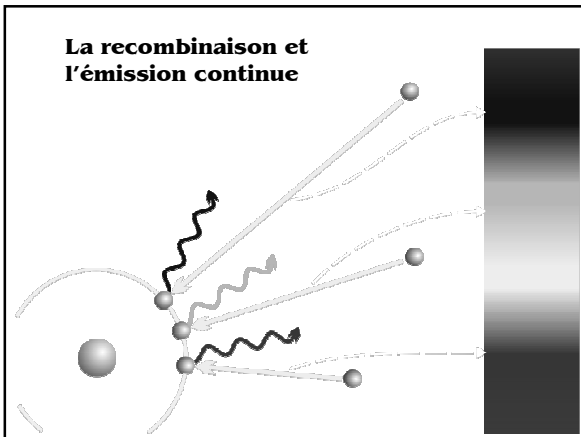
Laser à rubis



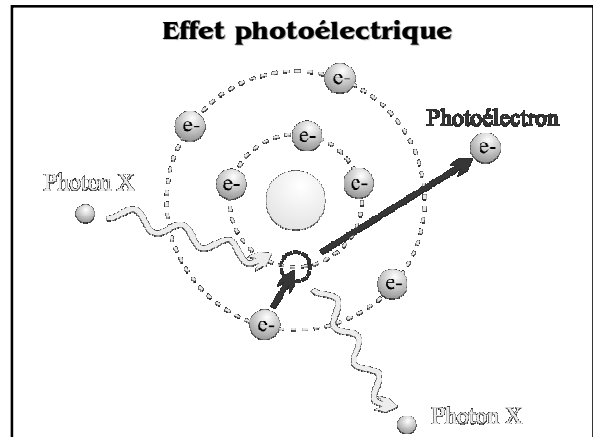
La photo-ionisation et l'absorption continue



La recombinaison et l'émission continue



Effet photoélectrique



11

Ce qu'il faut retenir

- * **La lumière est une onde électromagnétique**
- * **Chaque couleur de lumière est caractérisée par une longueur d'onde : plus courte vers le bleu, plus longue vers le rouge**
- * **La lumière visible se prolonge du côté des courtes longueurs d'onde par les UV, les rayons X, et les rayons γ**
- * **Du côté des grandes longueurs d'onde par les micro-ondes et les ondes radio**
- * **Mais elle est aussi constituée de "grains de lumière" : les photons**
- * **Aux plus courtes longueurs d'onde correspondent les photons les plus énergétiques**

- * **Elle possède simultanément ces deux natures, révélant l'une ou l'autre selon les circonstances**
- * **Sa vitesse dans le vide est une constante universelle :**
 $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$
- * **Cette vitesse constitue une vitesse limite pour tout corps de masse non nulle**

Pour aller plus loin ...



jac_leon.club.fr/index.htm
galileoandstein.physics.virginia.edu/lectures/spedlite.html
dijon-mpsi1.com/Documents/Cours_optique.pdf
fr.wikisource.org/wiki/Accord_de_diff%C3%A9rentes_loix_de_la_nature_qui_avoient_jusqu%E2%80%99ici_paru_incompatibles
serge.mehl.free.fr/base/islam.html
... etc etc etc ...



Maury, J.-P., *Petite histoire de la physique*, Références, Larousse
Breuer, Hans, *Atlas de la physique*, Livre de poche
Rival, Michel, *Les grandes expériences scientifiques*, Points Sciences, Le Seuil