

# **La lumière. Une histoire d'amitié entre Fresnel et Ampère**

**Edmond AMOUYAL**  
**CNRS, LSI, Ecole Polytechnique**





## Et la lumière fut ! Une fascination millénaire

**La lumière intrigue et nous fascine depuis la nuit des temps.**

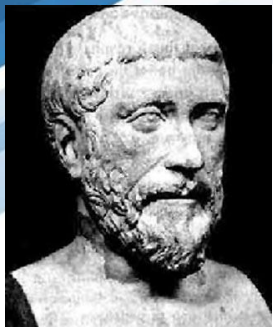
**Louis de Broglie, 1941:**

***La lumière joue dans notre vie un rôle essentiel: elle intervient dans la plupart de nos activités. Les Grecs de l'Antiquité le savaient déjà, eux qui pour dire « mourir » disaient « perdre la lumière ».***

Dès le VI<sup>ème</sup> siècle avant notre ère, les philosophes Grecs se sont interrogés sur  
**l'origine et la nature de la lumière.**

Leur première préoccupation a été d'expliquer le phénomène de la **vision**.

# Brève histoire de la Lumière



Pour les Grecs anciens,

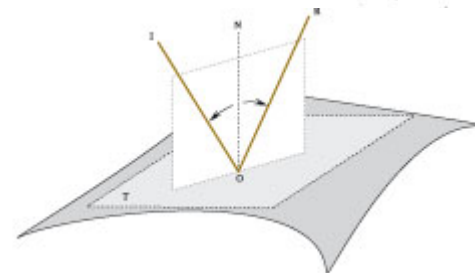
**Pythagore** (~ 600 av. NE)

**Empédocle** (~ 500 av. NE)

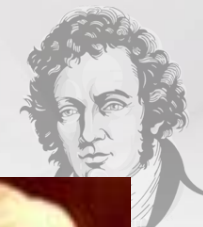
**Euclide** (~ 300 av. NE, précurseur de  
l'optique géométrique),

la vision est due à la lumière qui est émise par l'œil,  
et les rayons visuels se propagent en ligne droite de l'œil  
vers l'objet.

Longue période jusqu'à l'an 1000 de NE → **Alhazen**



# Brève histoire de la Lumière



**Alhazen (Ibn al-Haytham)** (~ 1000 de NE)

Pour lui, la lumière est indépendante du phénomène de la vision → la lumière qui est réfléchiée par l'objet se propage de l'objet à l'œil.

→ La lumière devient elle-même un **sujet d'étude**.

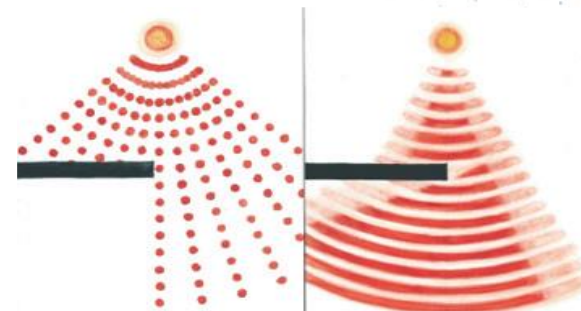
→ Les études vont se multiplier: Kepler, Galilée, Harriot, Snell, Descartes

**1637, Descartes** va considérer que la lumière est de **nature corpusculaire**.

Il est le premier à publier les lois de l'optique géométrique (réfraction), ce qui en fait une **science exacte**.

**1665, Grimaldi** découvre la **diffraction** de la lumière, déviation du rayon lumineux quand il rase le bord d'un obstacle : la lumière contourne les obstacles !

→ Ses travaux et ceux de **Huygens** militent en faveur de la **conception ondulatoire de la lumière**.



# Brève histoire de la Lumière, Huygens



## Christian Huygens

**1679:** En effet, par analogie avec les ondes sonores, Huygens va considérer que la lumière est une perturbation longitudinale qui se propage en cercles, de proche en proche, à partir d'une source lumineuse comme une **onde**, dans un milieu mal défini, l'aether, qu'il suppose remplir tout l'espace (*Traité de la lumière*, 1690).



**Naissance de la théorie ondulatoire de la lumière.**

« La lumière: Histoire d'amitié Fresnel Ampère » E. Amouyal, CNRS, Polytechnique



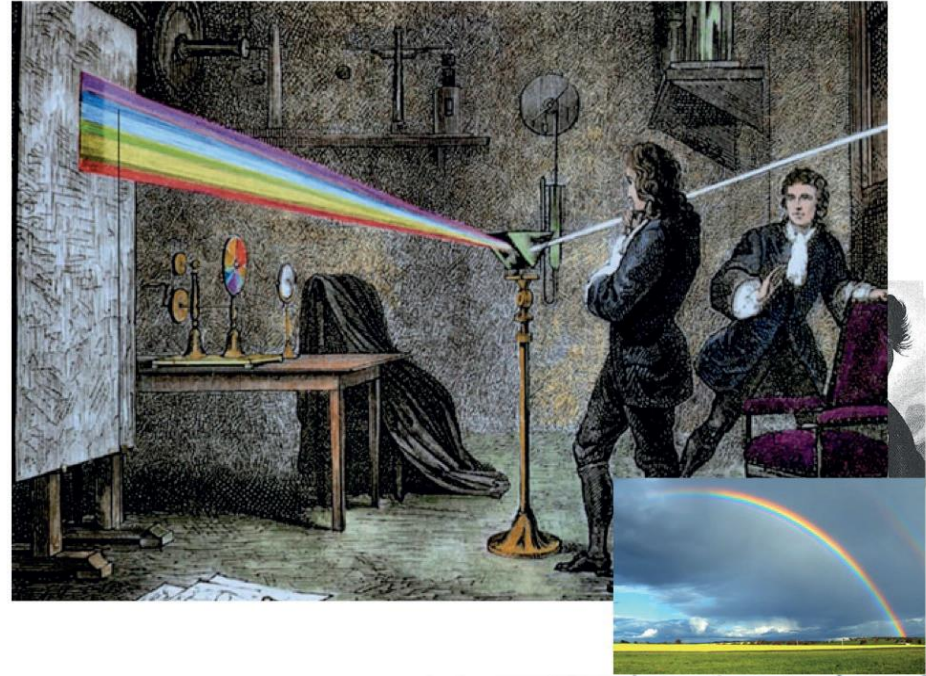
# Brève histoire de la Lumière, Newton



## Isaac Newton

Père de la gravitation universelle, Newton s'oppose à la théorie ondulatoire. Dans son traité « Opticks » de **1704**, il considère que le rayon lumineux est constitué de petits corpuscules de différentes tailles.

-Son expérience remarquable à l'aide de prismes montre que la lumière blanche du soleil comporte toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.



# Brève histoire de la Lumière, Newton

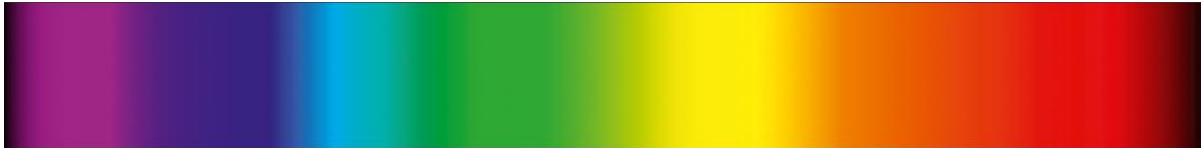


## Isaac Newton

La théorie de Newton explique la **dispersion des couleurs** par le prisme, mais aussi la **propagation** de la lumière, sa **réflexion** sur un plan et la **réfraction** ( mais pas vraiment la diffraction découverte par Grimaldi).

Newton va imposer, durant plus d'un siècle, son approche mécaniste de la théorie corpusculaire de la lumière.

**Dur de contester cette théorie !**



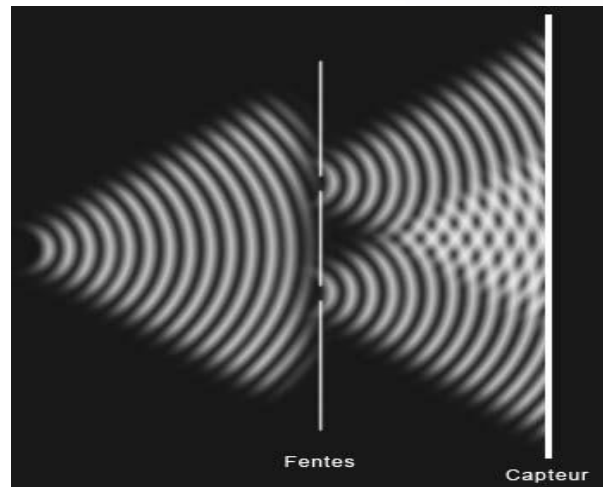
# Brève histoire de la Lumière, Young et Fresnel



Mais en 1801, renaissance de l'hypothèse ondulatoire de Huygens

## Thomas Young

En 1801, Young observe par diffraction à travers 2 fentes, ses fameuses franges d'interférences, alternance de franges brillantes et sombres. Cela suppose que la lumière est de nature ondulatoire, mais Young ne le démontre pas !



## Augustin Fresnel

En 1815, Fresnel va publier la première démonstration rigoureuse de la **théorie mathématique des ondes de lumière**.



# Augustin Fresnel (1788 - 1827)



## Augustin Fresnel ( 1788 – 1827)

- Fresnel est né le 10 mai 1788 à Broglie (Eure) dans le château des Ducs de Broglie. Sa mère, Augustine **Mérimée**, est la fille de l'intendant du Maréchal Victor de Broglie.
- à 8 ans, c'était « un enfant attardé à apprendre à lire » (Arago), mais il étonnait par son intelligence et son ingéniosité.
- Nov 1804, à 16 ans, il intègre l'Ecole Polytechnique.

NB: **En oct.1804, Ampère est nommé répétiteur d'analyse.**

- 1809: Ingénieur des Ponts et Chaussées de Département, en Vendée puis dans la Drôme en 1813. Mais il s'ennuie, son travail administratif l'ennuie alors que les sciences (chimie et physique) l'attirent.





## Rêveries de Fresnel

- 1814: le jeune Fresnel (X 1804) adresse à son professeur - **André-Marie Ampère (1775 – 1836)** - son premier travail scientifique (perdu) de « **Rêveries** » sur la nature de la lumière. Ampère n'y prête pas attention, en raison de sa situation financière très critique, de sa campagne pour entrer à l'Académie des sciences et parce qu'il était un « newtonien » (adepte de la théorie corpusculaire de Newton.)
- Mais **François Arago (X 1803)** l'encourage à s'orienter vers l'optique, et cela va le passionner.
- Mars à juin 1815, période des Cent-Jours : opposant de Napoléon, Fresnel est suspendu de ses fonctions d'ingénieur et assigné à résidence pendant cette période durant laquelle il retrouve les résultats de **Thomas Young** (qu'il ne connaissait pas) et observe comme lui des franges de diffraction avec très peu de moyens (miel comme lentille, un écran percé...).



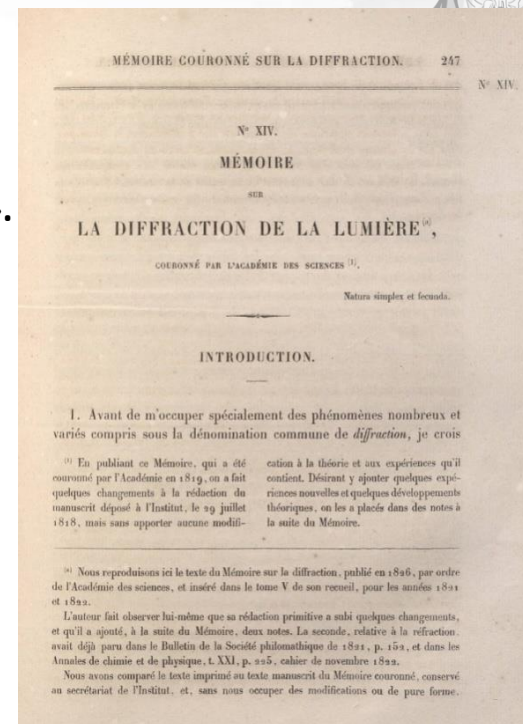
## Coup de génie de Fresnel

- **15 octobre 1815**: De retour à Paris, Fresnel adresse à l'Académie des Sciences son « *Premier mémoire sur la diffraction de la lumière, où l'on examine particulièrement le phénomène des franges colorées que présentent les ombres des corps éclairés par un point lumineux* ».

Il fait **l'hypothèse que la lumière est de nature ondulatoire**, et il attaque d'emblée la théorie corpusculaire de Newton:  
« *Avant d'entrer dans le détail ..., j'exposerai sommairement les objections que je me suis faites sur la théorie newtonienne.* »

Ses calculs mathématiques portent sur la superposition d'un grand nombre d'ondes et sur les intensités des franges de diffraction.

- Ampère, newtonien, est convaincu par la **rigueur mathématique** de la démonstration: il en est tout retourné → **Amitié**.





## Fresnel et Ampère: 2 amis

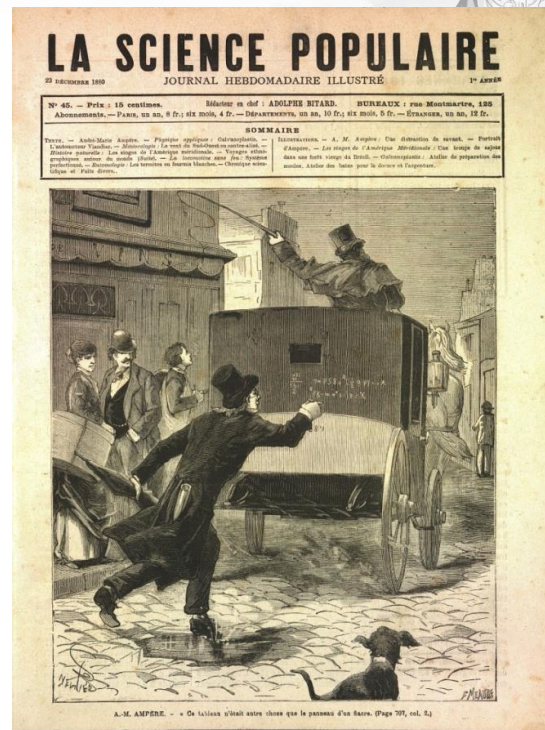
Amitié mais pas seulement, **véritable collaboration scientifique**, échange d'idées..., entre Ampère et Fresnel, avec la complicité d'Arago.

- Fresnel et Ampère amis alors que leurs caractères étaient très différents:

- **Ampère** était un homme tourmenté, inquiet, mystique, hyperactif, passionné, tendre, un amoureux fou, généreux, un étourdi dont la distraction était proverbiale (savant Cosinus).

- **Fresnel**, homme tranquille, modeste, très croyant, ingénieux, persévérant, attachant, de frêle constitution, un « honnête homme ».

- **Ce qui les rapprochait**: leur foi profonde, leur inimitié vis-à-vis de Napoléon et surtout le besoin viscéral de la recherche scientifique.







## La maison d'Ampère à Paris



**Amitié** mais, curieusement, aucune correspondance entre Fresnel et Ampère après 1815 ! En fait, ils fréquentent les mêmes lieux: EP, Institut, l'Observatoire...

Mais surtout, **Fresnel devient locataire d'Ampère** (vers 1820).

En effet, le 18 mai 1818, Ampère achète une maison au 19 rue des Fossés Saint-Victor ou il aménage un petit laboratoire (découverte de l'électrodynamique).

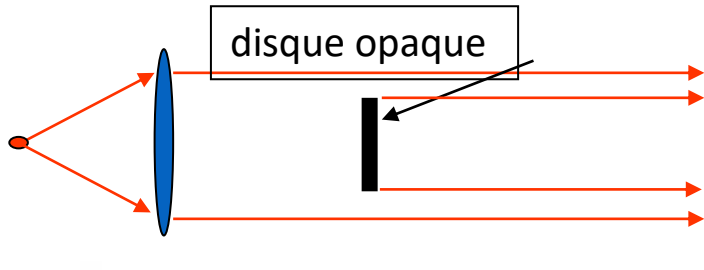






# Théorie de Fresnel

- Rappel: le 15 octobre 1815, Fresnel présente à l'Académie des sciences sa théorie ondulatoire de la lumière. Il explique dans son Mémoire, non seulement les interférences et la diffraction, mais aussi la réflexion et la réfraction de la lumière quand elle traverse un autre milieu.
- Théorie contestée par les « newtoniens », en premier lieu Pierre-Simon de Laplace, Jean-Baptiste Biot et Siméon-Denis Poisson. Mais fort soutien d'Ampère.
- Poisson va émettre une objection embarrassante: d'après la théorie de Fresnel, les calculs des ondes diffractées par un disque opaque indiquent qu'il devrait exister une tache brillante au centre de l'ombre portée par le disque sur l'écran → Impossible ! Impossible ?



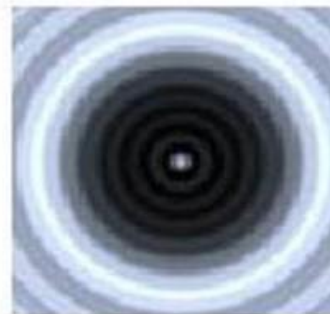
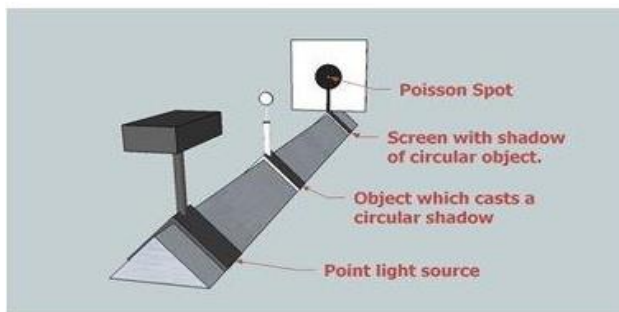


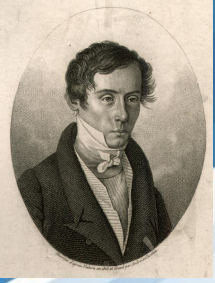
## Théorie de Fresnel, objection de Poisson

- Pour confronter les 2 théories, l'Académie des sciences lance en 1817 un concours sur la diffraction de la lumière. **Ampère** va pousser Fresnel à concourir.
- **Ampère** insistera: « Pour lui et pour la chose, il faut qu'il concoure ».
- C'est **Arago** qui va faire l'expérience en public en 1819: **la tache brillante apparaît !**

**Fresnel et sa théorie triomphent !**

Son Mémoire soumis le 29 juillet 1818 sera couronné par l'Académie des sciences.



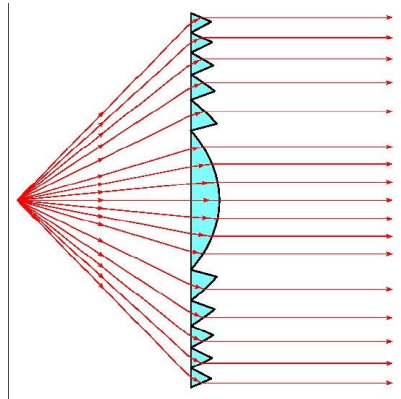
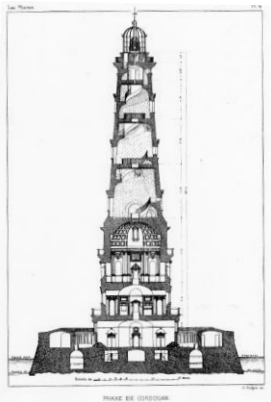


# Fresnel, lentilles et phares

Chercheur ET Ingénieur: **de la recherche fondamentale à l'innovation.**

- **1819**: Fresnel est nommé à la commission des phares. Il invente les **lentilles à échelon** (lentilles de Fresnel) pour les phares, génial: luminosité augmentée x5 et longue portée 60 km  
Le phare de Cordouan en sera le premier équipé en 1823, puis dans le monde entier, même en GB. Bienfaiteur de marins !

Nombreuses applications: phares de voitures, projecteurs, panneaux PV, centrales solaires...



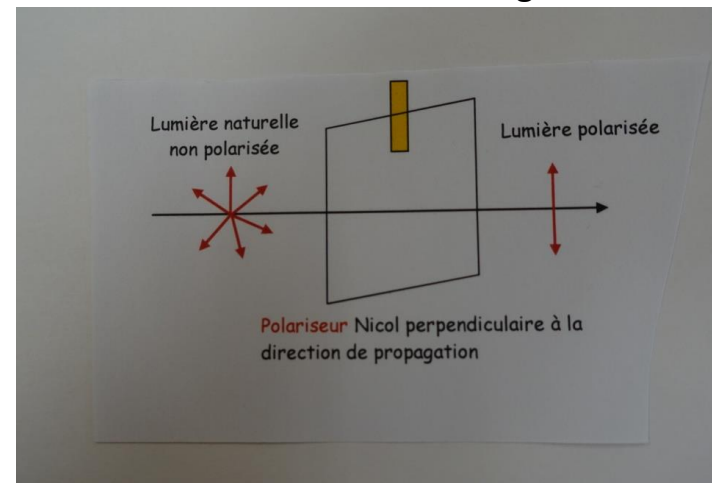


# Théorie de Fresnel, contribution d'Ampère

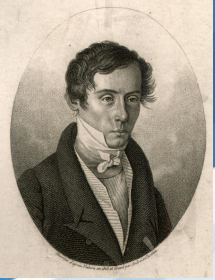


L'amitié et l'échange d'idées entre Fresnel et Ampère apparaissent aussi lorsque Fresnel s'attaque au **problème de la polarisation de la lumière par réflexion** découverte en 1808 par Etienne-Louis **Malus**.

- La lumière naturelle n'est pas polarisée: elle vibre dans toutes les directions le long de son chemin de propagation.
- Elle est polarisée lorsqu'elle vibre dans une direction fixe.
- L'explication de Malus est peu vraisemblable et celle des newtoniens (Biot) peu convaincante .







# Théorie de Fresnel, hypothèse d'Ampère

## Problème de la polarisation de la lumière par réflexion

- Fresnel fait alors l'hypothèse (par analogie avec le son) d'une onde lumineuse longitudinale, donc vibrant dans le plan de propagation de la lumière, en ajoutant dans ses calculs théoriques une petite contribution de vibrations transversales, donc perpendiculaire au plan de propagation:

cela ne colle pas avec ses résultats expérimentaux.

- **Ampère** va lui suggérer d'envisager une **hypothèse révolutionnaire** : une **vibration lumineuse purement transversale.**

Tout s'éclaire ! Fresnel obtient alors des franges d'interférence avec les lumières polarisées.

Tous les savants de l'époque, y compris **Arago**, ne cautionneront pas cette hypothèse de rupture.

- **1820**: Fresnel publie une revue complète de sa théorie ondulatoire de la lumière.



# Ampère et l'électromagnétisme, bref rappel



**1820:** Grande année également pour Ampère et la physique.

-11 septembre 1820: Arago reproduit l'expérience de Hans Christian Oersted à l'Académie des Sciences, qui montre qu'il existe une interaction entre phénomène électrique et phénomène magnétique. Ni Oersted, ni Arago, ni les autres savants n'ont vraiment d'explication.

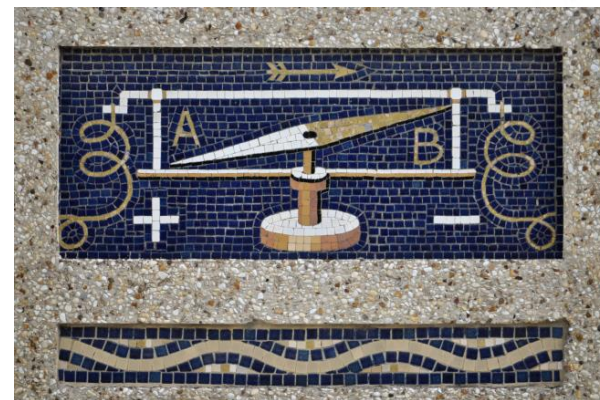
-18 septembre 1820: Dans un éclair de génie, Ampère va en fournir l'explication en 7 jours !

-25 septembre 1820 : Ampère montre que 2 fils conducteurs parallèles agissent l'un sur l'autre et se comportent comme des aimants.

Il part de l'idée simple qu'électricité et magnétisme sont la manifestation d'un même phénomène, et que le magnétisme est dû au phénomène électrique.

C'est la première fois qu'il est démontré mathématiquement que 2 phénomènes qu'on croyait indépendants, sont liés

(Principe d'unité).





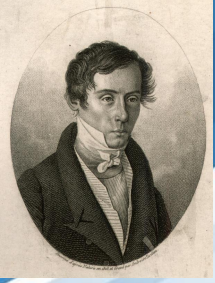
## Ampère et l'électromagnétisme: méthodologie

- **A souligner:** 1- **Ampère** montre que le phénomène est un flux électrique continu et non discontinu (Coulomb, Biot, Laplace), et il est le premier à nommer ce flux « **courant** » électrique.

2- Il montre également que le champ magnétique est orthogonal au champ électrique.

- **Important,** la démarche scientifique d'Ampère (et de Fresnel) en plusieurs étapes, Découverte, **observation** inexpliquées → hypothèse, **modèle théorique** mathématique → **expériences** → ... nouveau cycle observation, modèle théorique, expériences.

Ampère et Fresnel ont su traduire en équations mathématiques leurs intuitions. Ils sont les **pionniers de la physique mathématique moderne** en France. Après leur mort, elle va diffuser en Allemagne sous l'influence de Carl Gauss, Wilhelm Weber et Bernhard Riemann, et dans le Monde entier.



# Ampère et l'électromagnétisme: contribution de Fresnel



**L'Amitié.** La collaboration n'était pas à sens unique. Ampère trouvera le soutien et l'aide de Fresnel avec qui il confrontera ses idées. Fresnel lui fera des suggestions. La plus importante porte

**sur la nature du courant électrique**

- **Ampère** pensait que les courants électriques à l'extérieur des aimants sont **macroscopiques** et qu'ils circulent à la surface de l'aimant autour de son axe.
- **Fresnel** va lui soumettre **l'idée de courants microscopiques** qui se manifestent à l'intérieur de l'aimant **autour des particules métalliques** de cet aimant.
- Ampère va hésiter car l'idée n'a pas l'aval d'**Arago**. Il finira par adopter fin 1823 cette **hypothèse géniale**, fondamentale et visionnaire de Fresnel.





## Ampère, notes de Fresnel

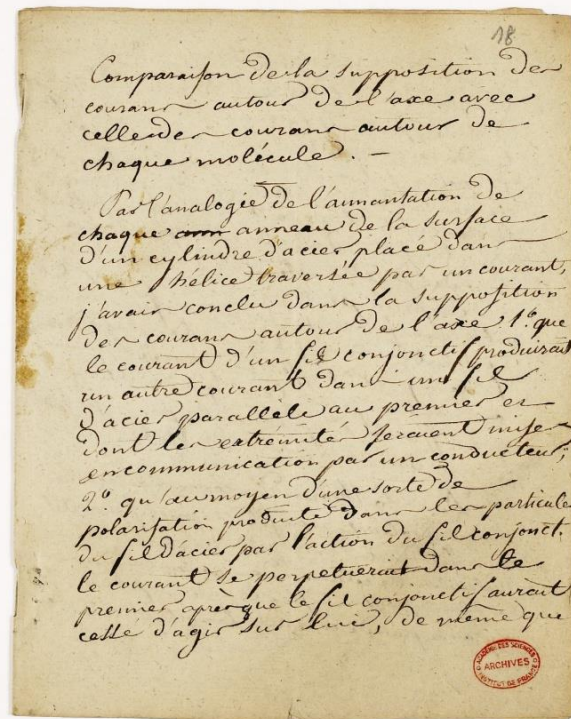


On retrouvera 2 notes de Fresnel de juin 1821 dans les papiers d'Ampère après sa mort en 1836:

- Première note: « Comparaison de la supposition de courant autour de l'axe avec celle de courant autour de chaque **molécule** » →

- « Deuxième note sur l'hypothèse des courants particuliers », c'est-à-dire de courants liés aux molécules de l'aimant qu'il nomme **courants moléculaires** et qui se manifestent au **niveau intime** de la molécule (**électrons** des atomes ).

Ce terme sera adopté par Maxwell.



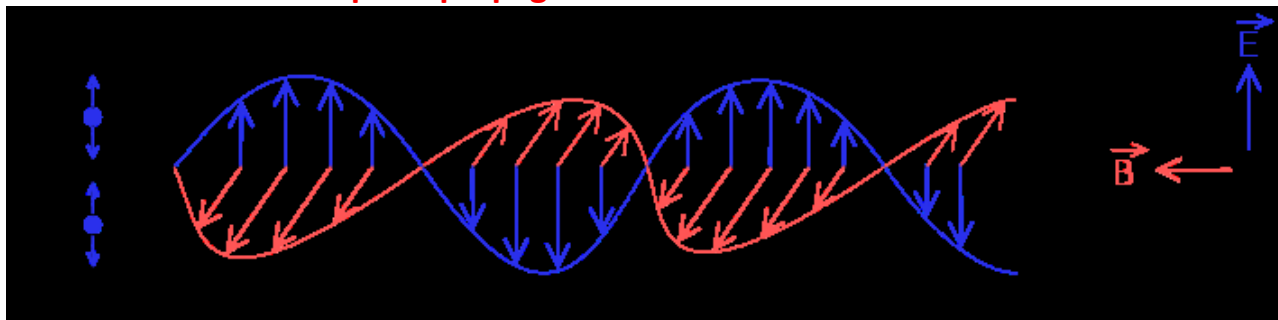
« La lumière: Histoire d'amitié Fresnel Ampère » E. Amouyal, CNRS, Polytechnique



## Ampère, Fresnel, Maxwell

Ainsi, les travaux de Fresnel et d'Ampère ont ouvert la voie à la théorie classique de la lumière de Maxwell. Complétée par les travaux de Faraday et Gauss, Maxwell va élaborer une théorie qui unifie l'électricité, le magnétisme et ... la lumière, **géniale intuition d'Ampère** présentée en déc. 1801. Maxwell conclut, en effet, que

**la lumière est une onde électromagnétique**  
**qui se propage à la vitesse de la lumière  $c$**



Le champ électrique **E** et le champ magnétique **B** oscillent à la fréquence  $\nu$  et se propagent à la vitesse  $c$  le long de l'axe en restant perpendiculaires entre eux.

# Fresnel, Ampère, Maxwell → Planck, Einstein



Jusqu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, la nature d'onde électromagnétique de la lumière était largement acceptée.

Mais, en **1900**, nouvelle révolution: **Max Planck** réintroduit l'**aspect corpusculaire** en physique théorique, en considérant qu'à l'échelle atomique, l'énergie prend des valeurs multiples d'une quantité minimale qu'il appelle

**quantum** d'énergie  **$h\nu$**

Hypothèse non acceptée par le monde scientifique,  
sauf...

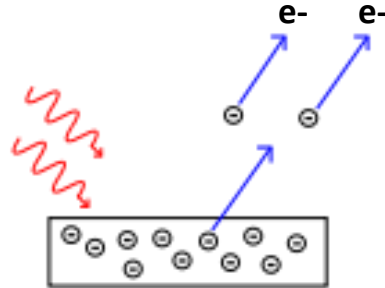
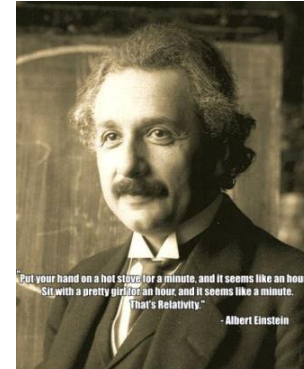


# Fresnel, Ampère, Maxwell → Planck, Einstein



En 1905, à Berne, **Albert Einstein** va s'en inspirer en avançant le concept de **quantum d'énergie associé aux ondes électromagnétiques de la lumière**, afin d'interpréter **l'effet photoélectrique** : un effet déjà observé en 1839 par **Edmond Becquerel** puis en 1887 par **Heinrich Hertz**, mais était inexplicable par la physique classique → la **lumière** (>fréquence seuil) peut extraire des électrons d'une surface métallique pour générer un **courant électrique**.

En 1926, G.N. Lewis nommera **photon** le quantum de lumière.



« La lumière: Histoire d'amitié Fresnel Ampère » E. Amouyal, CNRS, Polytechnique

# Fresnel, Ampère, Maxwell → Planck, Einstein, L. de Broglie



Encore plus que pour Planck, les quanta de lumière d'Einstein divisent le monde scientifique.

→ Onde ou corpuscule ? Les 2 concepts vont coexister. **La lumière est duale :**

→ **Onde et Particule**

En **1924**, **Louis de Broglie**, dans sa thèse de doctorat, fait l'hypothèse de la nature ondulatoire de l'**électron** et il étend à toute la matière le concept de dualité.

Einstein écrira à Paul Langevin (Dr thèse): « **De Broglie a soulevé un coin du voile** »

→ **Naissance de la théorie quantique**



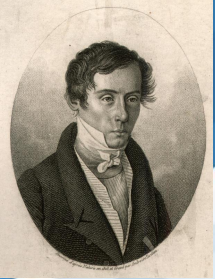
Rayons Gamma    Rayons X

Microondes    Ondes Radio

Grande révolution scientifique qui a conduit à de **nouvelles applications** des ondes électromagnétiques dont les **ondes radiofréquences** de Hertz (radio, téléphones portables...) et le **laser**.

« **La lumière: Histoire d'amitié Fresnel Ampère** » E. Amouyal, CNRS, Polytechnique





## Augustin Fresnel → Louis de Broglie



1815: Théorie ondulatoire de la lumière

1924: Nature ondulatoire de l'électron

Louis de Broglie  
Duc de Broglie



Augustin Fresnel né à Broglie  
Pavillon Mériemée (GP Fresnel)



A black and white portrait of Johann Wolfgang von Goethe, showing him from the chest up, wearing a high-collared coat and a cravat. He has dark, curly hair and a serious expression.

**10 x 60 m**



@Photo E. Amouyal  
« **La lumière: Histoire d'amitié Fresnel Ampère** » E. Amouyal, CNRS, Polytechnique



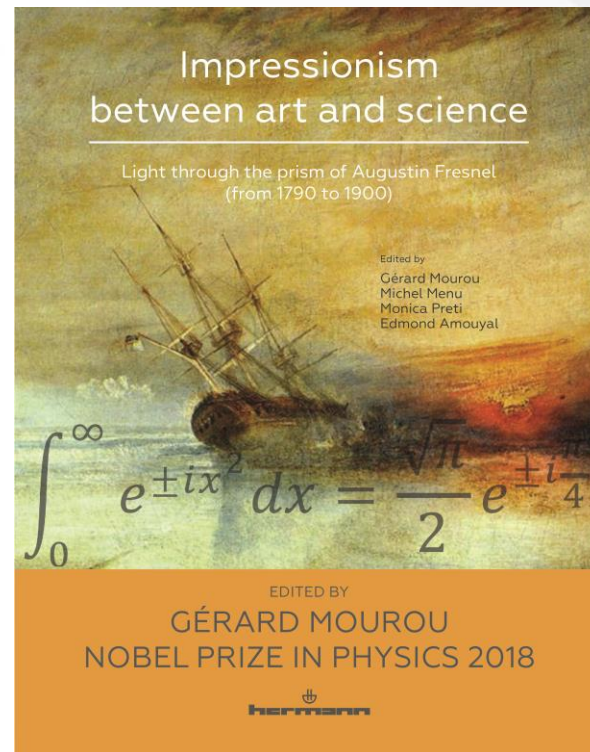
# Impressionism between art and science, nov. 2020

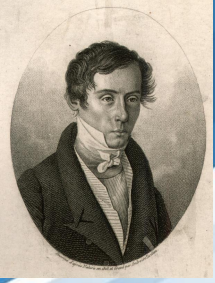


« L'Impressionnisme entre Art et Science.  
La lumière au prisme d'Augustin Fresnel »  
G. Mourou, M. Menu, M. Preti, E. Amouyal  
Ed. Hermann, 3 novembre 2020

G. Mourou: « Augustin Fresnel, à la racine  
de l'impressionnisme »

E. Amouyal : « Ampère et Fresnel: lumière  
sur deux génies aux destins entremêlés »





## En résumé

**Les travaux de Fresnel et Ampère ont traversé les temps:**

- **Fresnel avec sa théorie de la nature ondulatoire de la lumière, en 1815,**
- **Ampère pour les fondements théoriques de l'électromagnétisme et la création de l'électricité moderne en 1820.**

**Ils ont dû, et l'un et l'autre, faire face aux préjugés et au scepticisme des partisans de la théorie de Newton, pour faire admettre leurs théories.**

**C'est leur amitié, leur complicité et leur véritable collaboration scientifique qui les ont aidé à surmonter ces difficultés. La mort prématurée de Fresnel en 1827, à 39 ans, a interrompu la collaboration exceptionnelle de ces 2 génies.**

**Que de choses ils auraient pu accomplir encore et ensemble !**



## Pour conclure

Malgré les avancées extraordinaires du 20<sup>ème</sup> siècle, avec les théories de la relativité, les théories quantiques, dont **l'électrodynamique quantique** (théorie de l'interaction électromagnétique de la lumière avec les charges électriques)...,

**l'histoire de la lumière, de l'électricité et de l'électromagnétisme n'est pas terminée !**

Si Ampère et Fresnel étaient parmi nous aujourd'hui, ils pourraient **rêver** avec Hubert Curien:

« Je voudrais revenir sur Terre un instant, dans mille ans, juste le temps de voir ce que trente générations de savants auront su découvrir, et entendre ce que des hommes de science seront alors en humeur de dire. »



**Merci**  
**de votre attention**



# La lumière. Une histoire d'amitié entre Fresnel et Ampère



E. Amouyal, CNRS, LSI, Polytechnique

# Questions