
Développements inattendus du laser

David Guéry-Odelin

*Laboratoire Collisions, Agrégats, Réactivité
Université Paul Sabatier, Toulouse.*

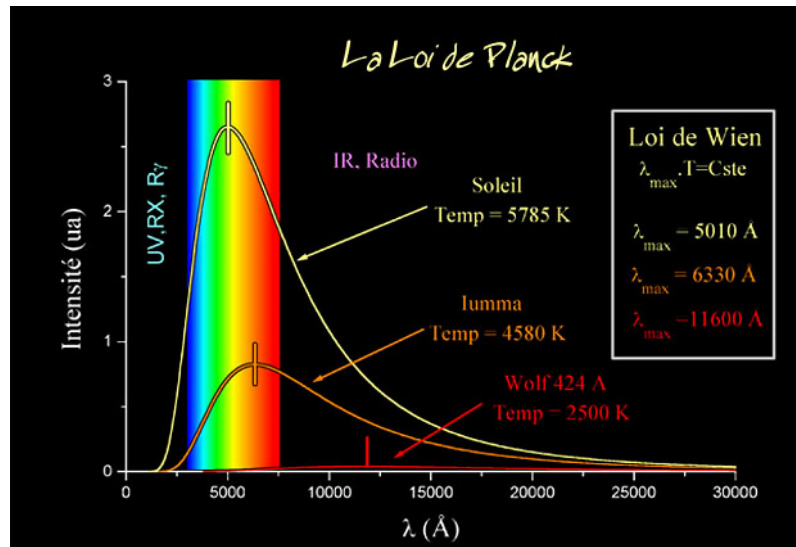
**Les transparents de cette présentation seront disponibles sur le site
<http://www.coldatomsintoulouse.com>**

Les couleurs

Emergence de la mécanique quantique à l'échelle macroscopique : un exemple de la vie courante

Température et émission de lumière

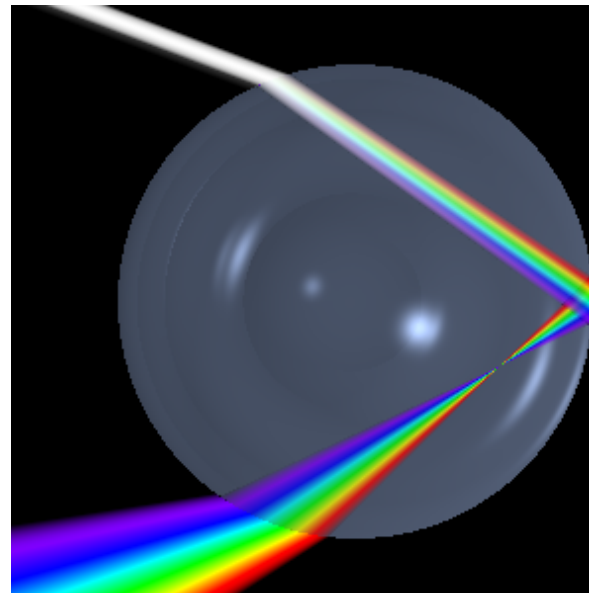
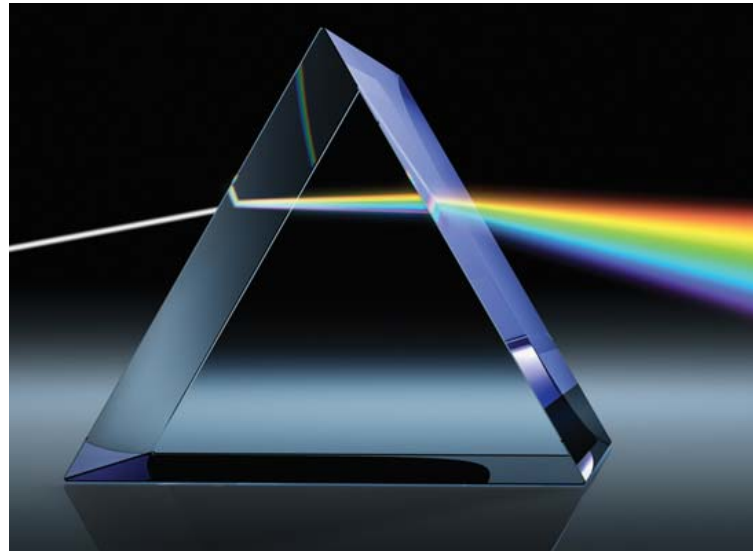
La matière massive à
température finie émet
de la lumière



Soleil : spectre continu

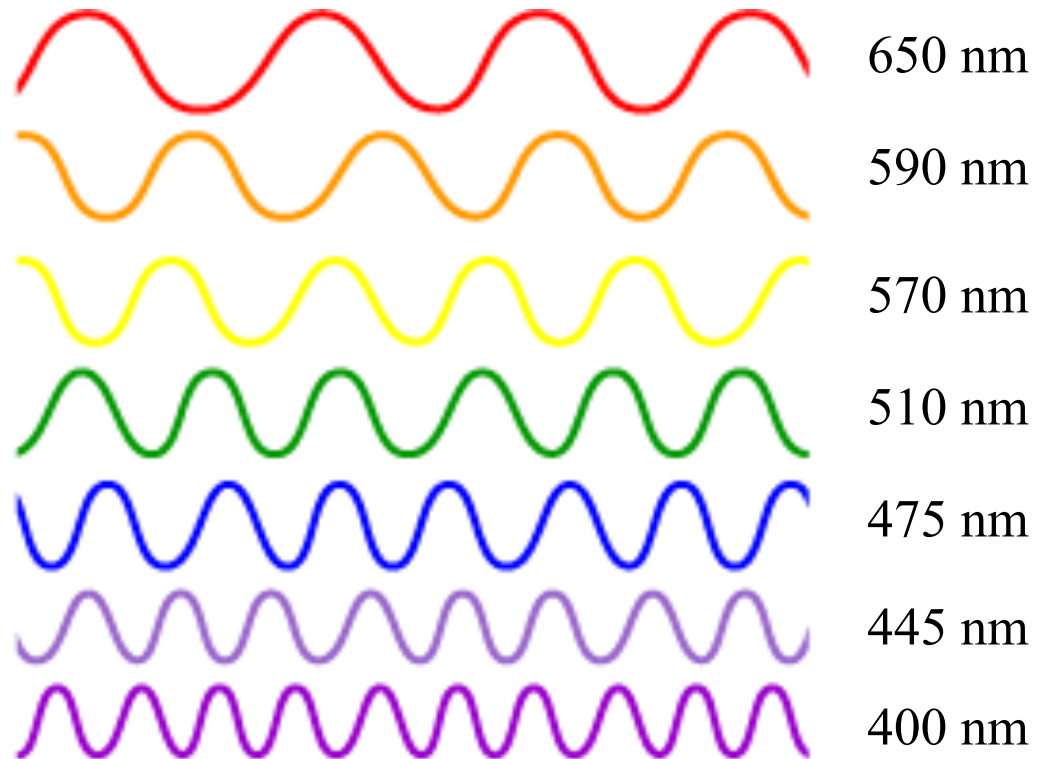
Seule la mécanique quantique permet de comprendre quantitativement cette émission (Planck 1900).

La lumière « blanche » du soleil

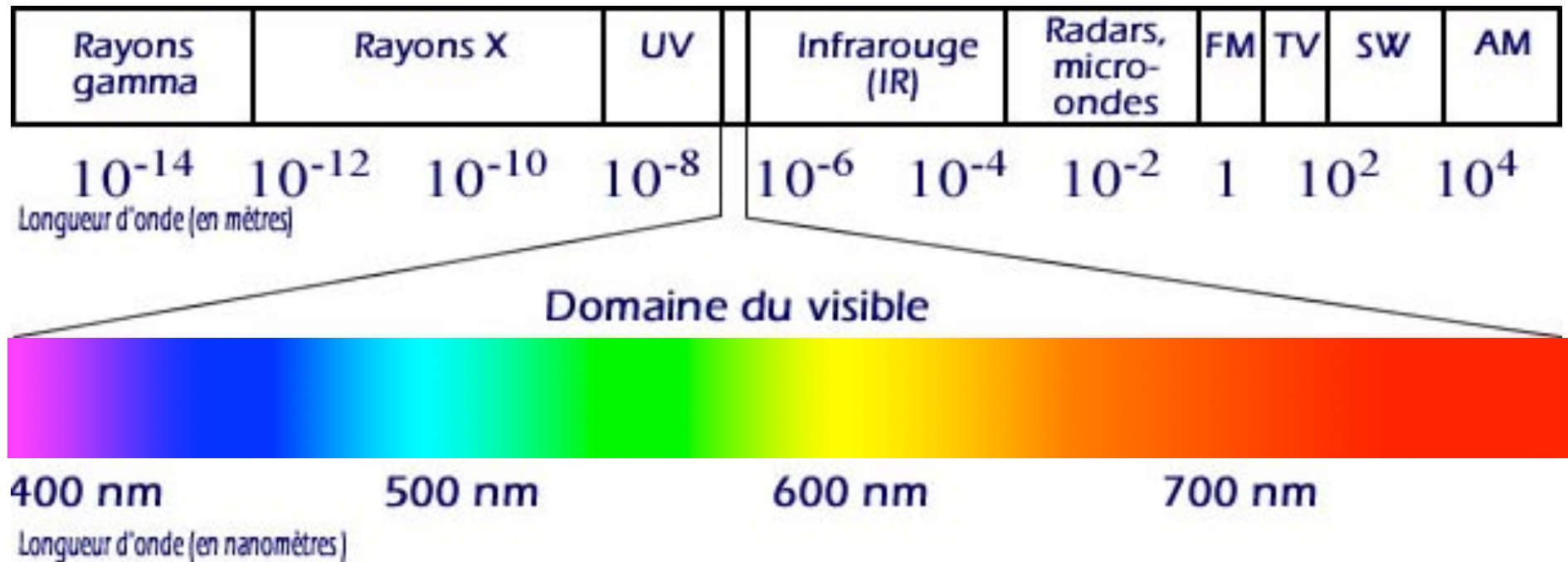


Les couleurs primaires sont des ondes électromagnétiques

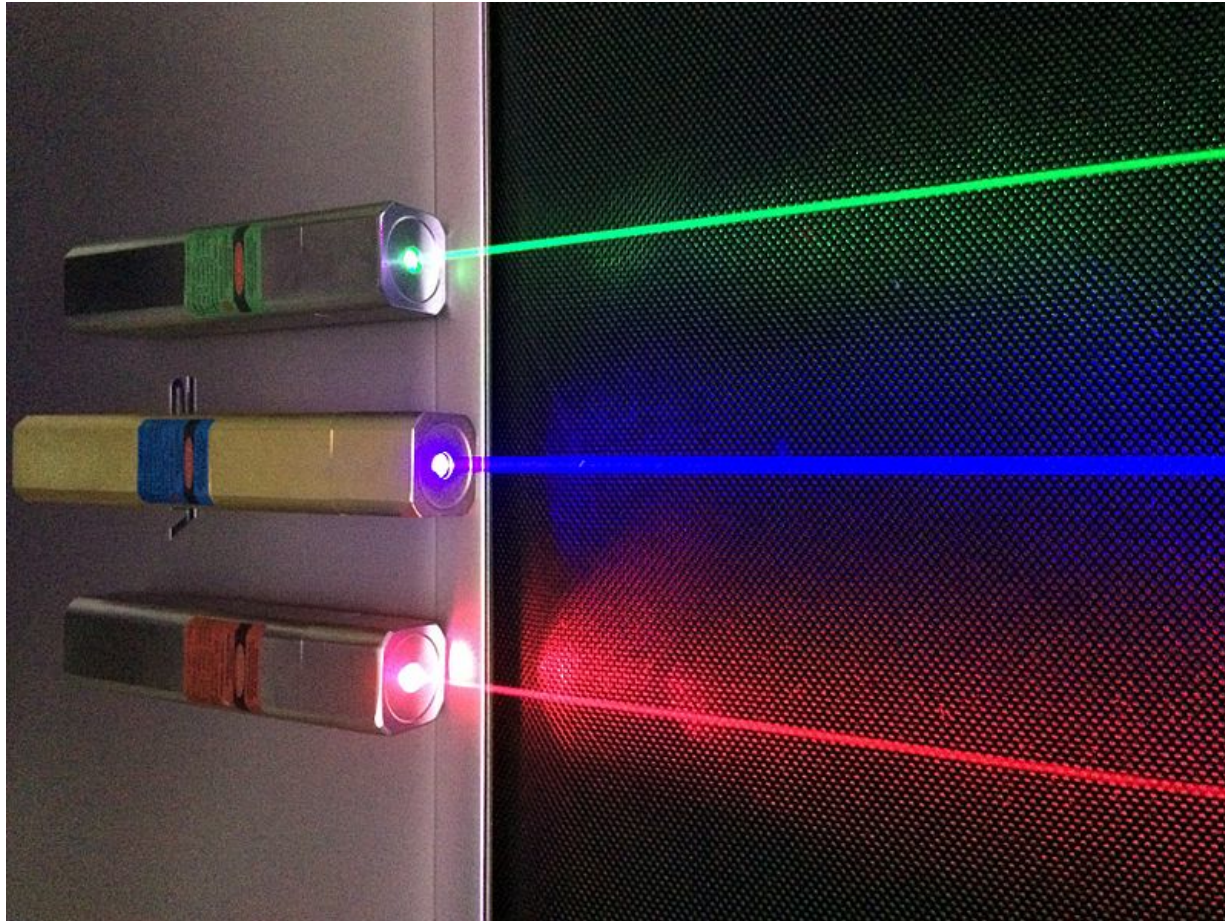
A chaque couleur primaire on associe une longueur



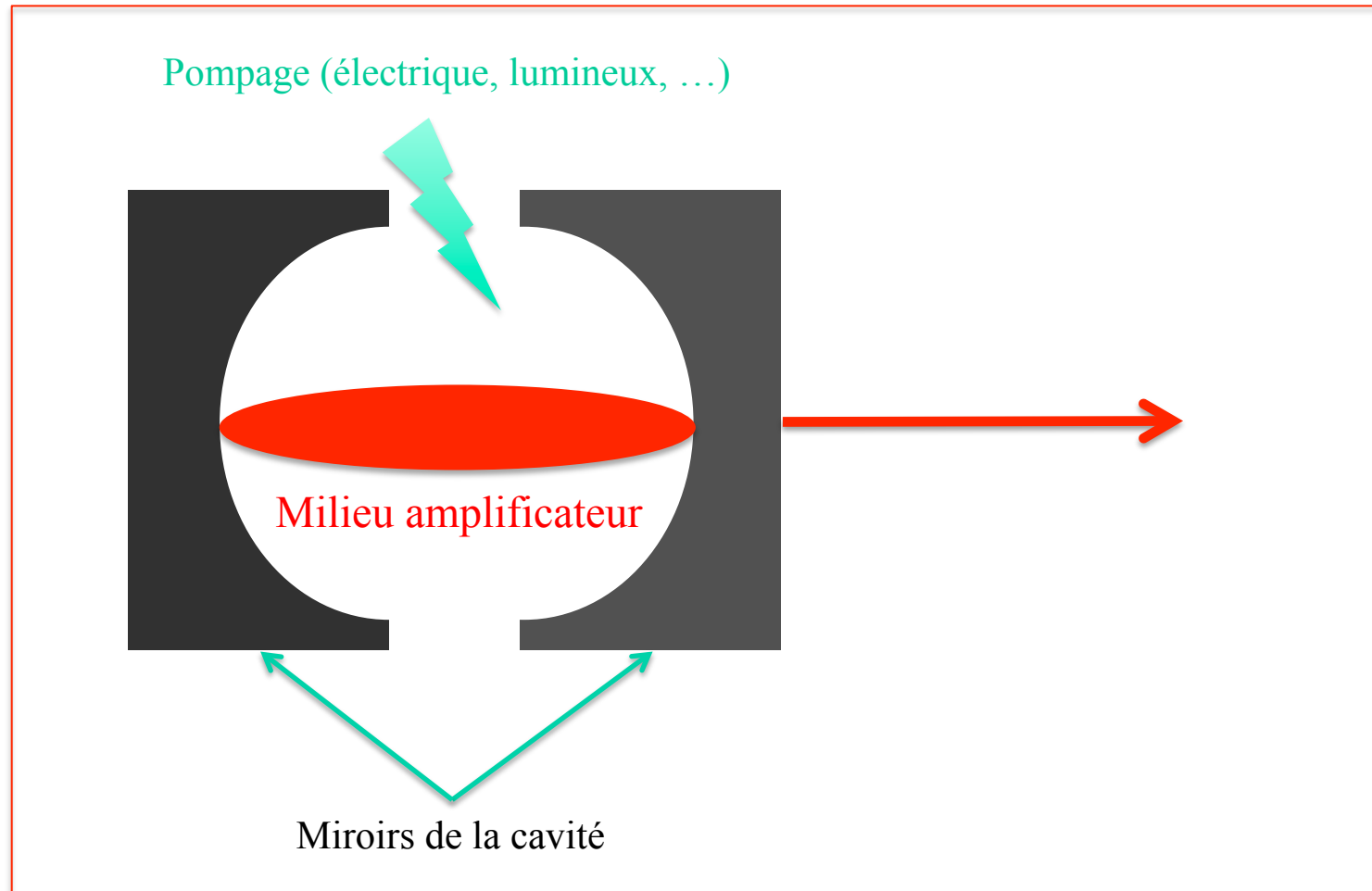
Nous ne voyons qu'une toute petite partie
du spectre électromagnétique



Qu' est ce qu' un laser ?



Le laser : un convertisseur d'énergie

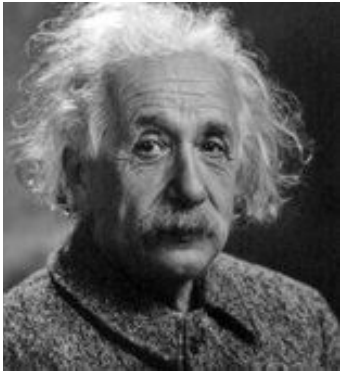


Taux de conversion de 0,1 % à 50 %

Le choix du milieu amplificateur conditionne la couleur émise

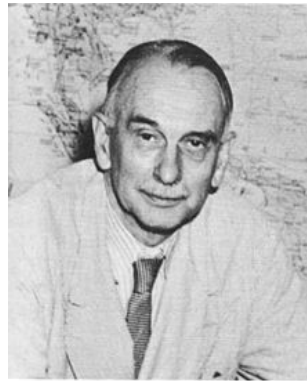
Un peu d'histoire

1917



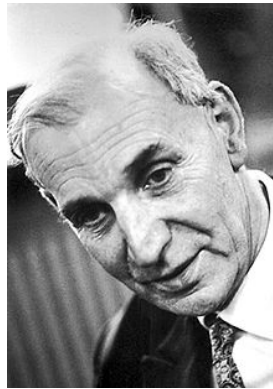
A. Einstein

1924



R. Tolman

1949



A. Kastler

1954



C. Townes

1958



A. Schawlow

1960



T. Maiman

MASER

Lorsque Charles Townes expose son projet de Maser à **I. Rabi** et **P. Kusch**, ils estiment tous les deux que le projet est voué à l'échec ...

Consultant au Bell labs, il souhaite développer le « Maser Optique » avec son ancien collaborateur **A. Schawlow**. Les Bell labs consultent Un cabinet « spécialisé » qui conclut qu'il faut refuser d'établir brevet pour ce projet. Finalement, il sera déposé après moult discussions.

Les premiers lasers sortent de laboratoires industriels qui consacrent une partie importante de leurs activités à la recherche fondamentale



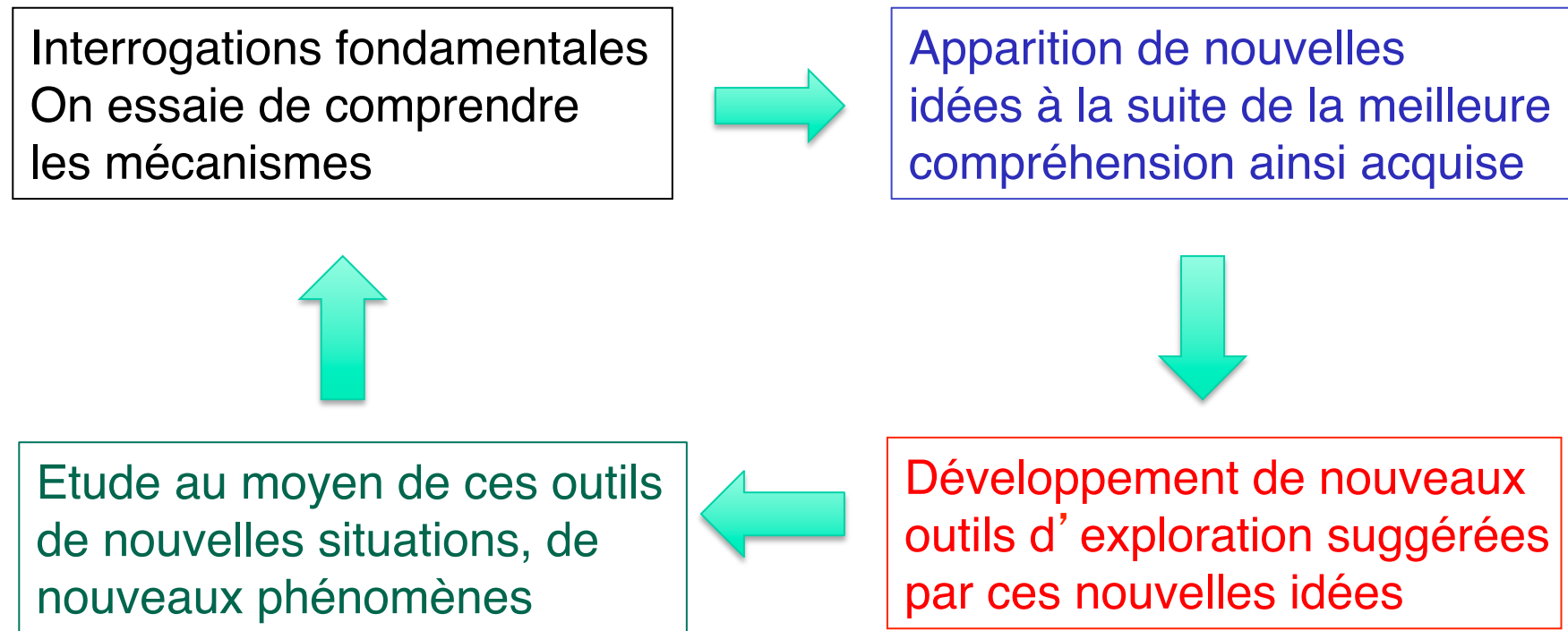
Charles Townes (2010): « L'histoire du laser est l'exemple parfait de l'impact de la **recherche fondamentale** non seulement sur la science, mais aussi sur **l'économie** – impact ô combien spectaculaire et souvent complètement inattendu. »

Plus de 12 prix Nobel depuis les années 60 ont été attribués à des avancées majeures réalisées grâce aux lasers.

Le marché mondial des lasers commercialisés est d'environ 10 milliards de dollars par an !

Schéma général pour comprendre L' évolution d' un domaine de recherche

(proposé par Claude Cohen-Tannoudji, prix Nobel)



Caractère artificiel de la distinction entre recherche fondamentale et recherche appliquée

Les domaines d'application des lasers : difficile de faire une liste exhaustive ...

Pour s'émerveiller



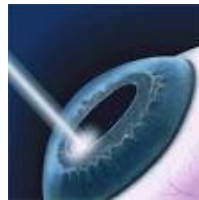
Pour découper, souder, nettoyer, graver



Pour communiquer



Pour soigner

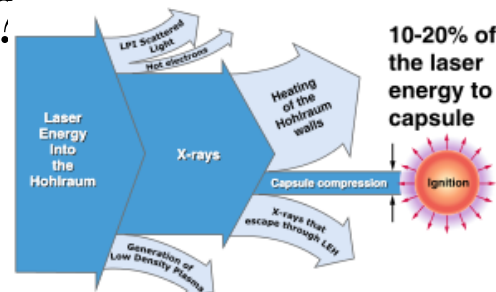


Pour mesurer



Pour produire de l'énergie ?

Pour comprendre



Quelques ordres de grandeurs spectaculaires

Energie dans une impulsion unique (Laser MJ Bordeaux, coût > 7 milliards, 2015)

Plusieurs MJ en un
milliardième de seconde
(convergence de 240 faisceaux)



0,4 mg de deuterium
0,6 mg de tritium

Puissance (énergie par unité de temps) en continu ou en impulsionnel

1 femtoseconde $\longleftrightarrow$ épaisseur d'un cheveu / distance Terre-Soleil
0,0000000000000001

Energie 1 mJ pendant 10fs $\longleftrightarrow$ production de toutes les centrales nucléaires françaises

Intensité (puissance par unité de surface)

Gamme de 10^{22} W/cm² accessible

Dépasser la limite de Schwinger 10^{29} W/cm² : créer des particules massives à partir du vide

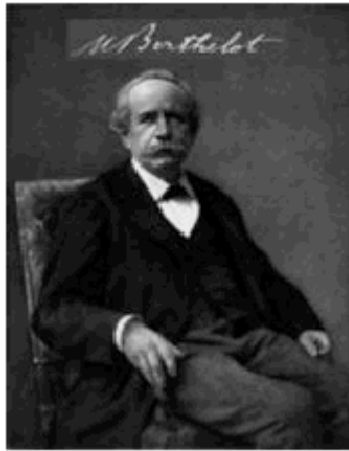
Finesse spectrale

Taille d'un atome 10^{-10} m

Montage d'interférométrie VIRGO sensibilité relative de 10^{-20} m !!!

Eclairage sur les atomes

Il y a cent ans l'existence des atomes était controversée ...

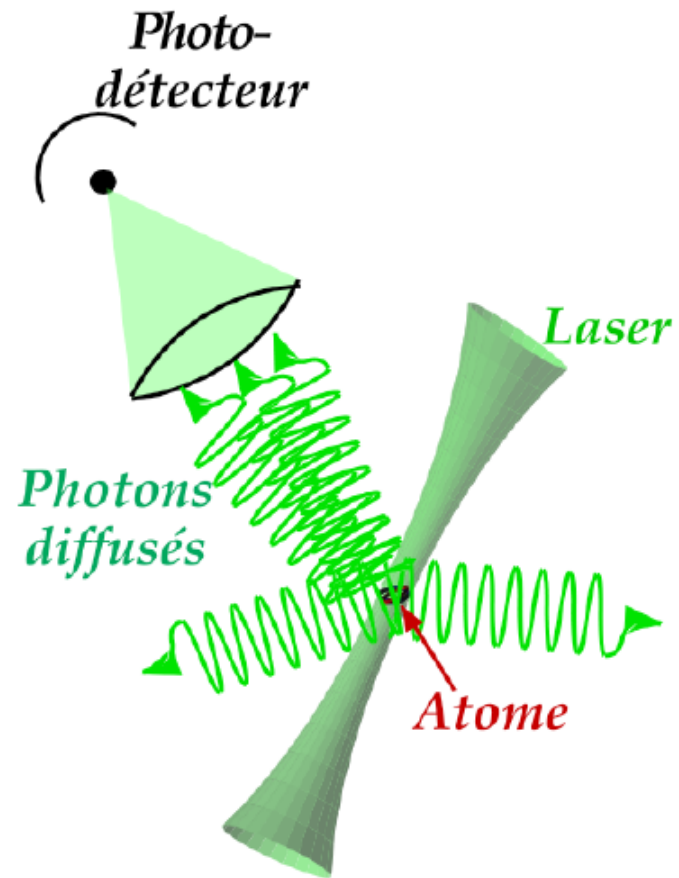


Marcellin Berthelot, chimiste,
professeur au collège de France,
ne croyait pas aux atomes ...

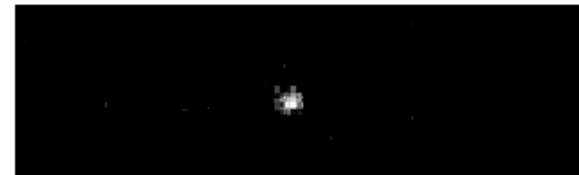


Boltzmann, fondateur de la
thermodynamique statistique
était, lui, un atomiste convaincu.

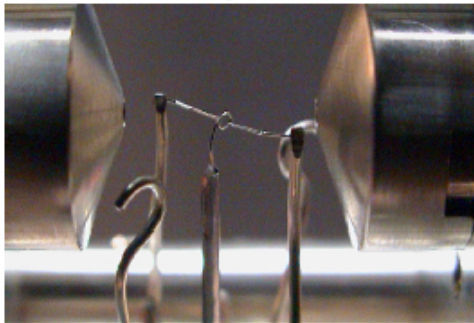
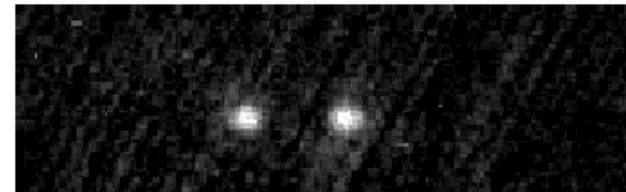
« Voir » les atomes



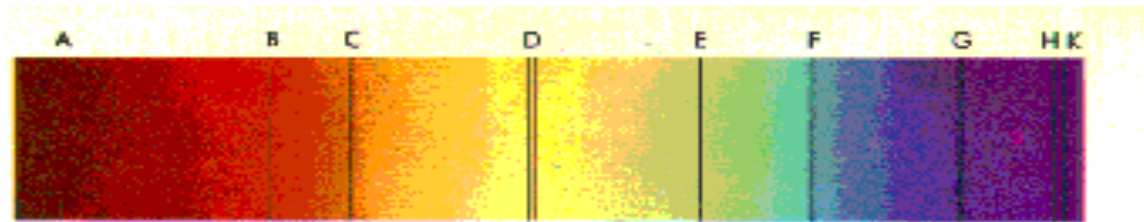
1 atome



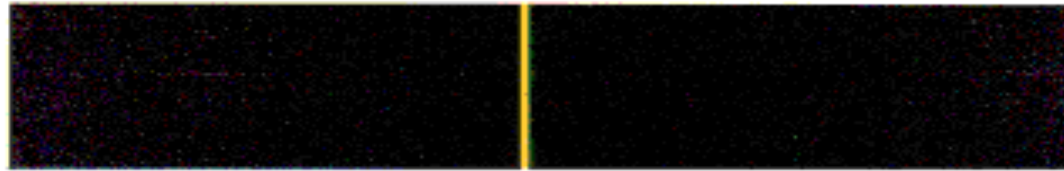
2 atomes



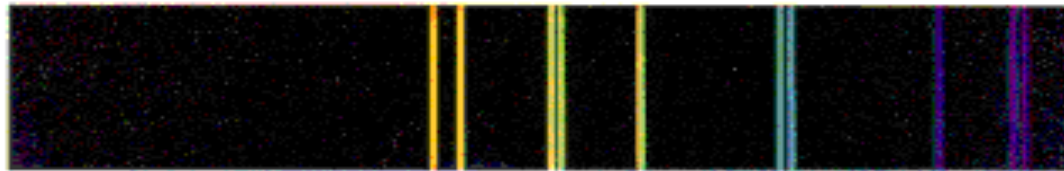
Etudes spectrales connues dès les XVIII et XIX ième siècles



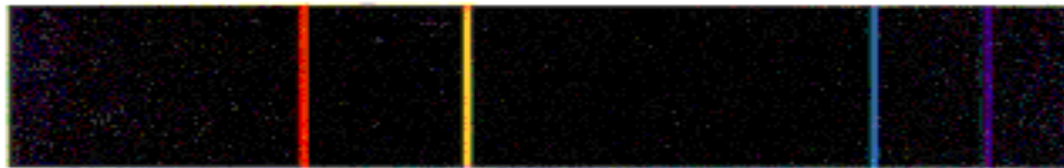
Spectre du soleil



Sodium



Mercure



Lithium



Hydrogène

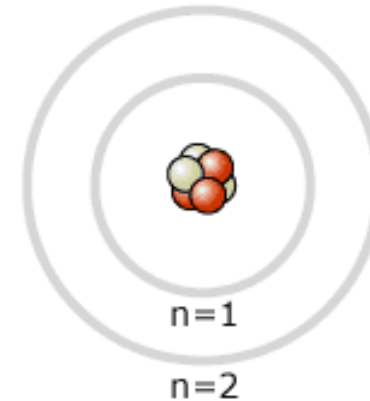
Eclairage avec des lampes à vapeur



Ex : lampes au sodium (éclairage orangé des lampes de ville)

Les débuts de la mécanique quantique : le modèle de Niels Bohr (1913) en cohérence avec les spectres observés

Il n'existe que des orbites discrètes (notion d'état stationnaire) des électrons autour du noyau



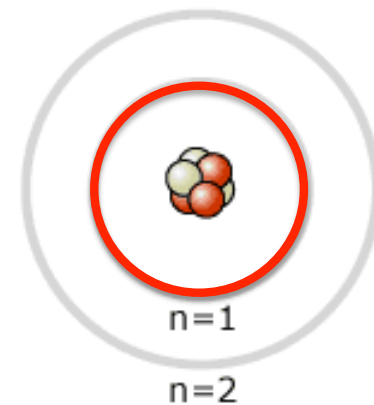
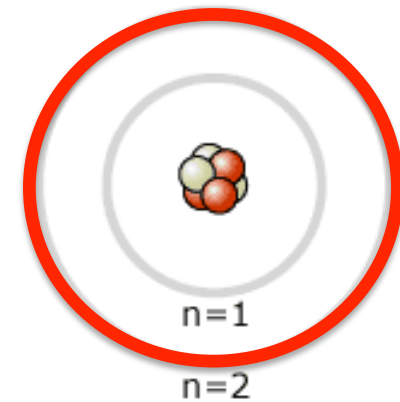
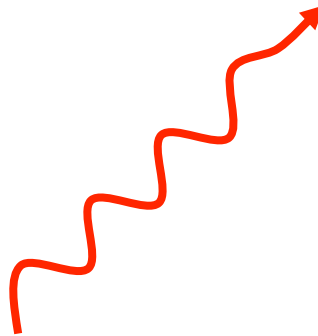
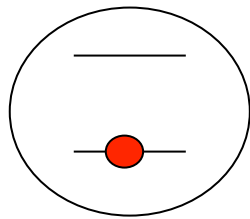
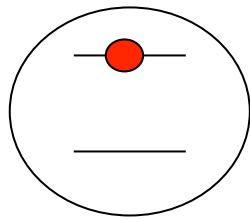
Le passage d'une orbite à une autre se fait grâce à l'émission ou l'absorption d'un grain de lumière avec **la bonne couleur**, le **photon**

La théorie de Bohr propose une image simple et convaincante des données spectrales

L'atome de Bohr

Les niveaux excités sont instables

Ex. : Rubidium 87 27 ns dans l'état excité

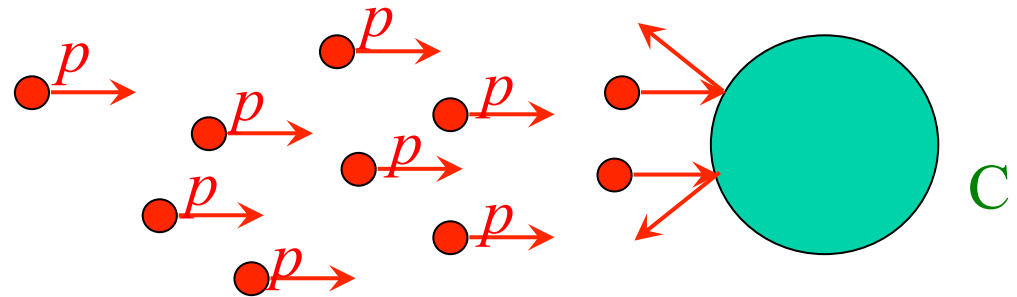


Action mécanique de la lumière sur les atomes

Forces exercées par la lumière sur les atomes

Un exemple simple

Cible C bombardée par des projectiles p venant tous de la même direction

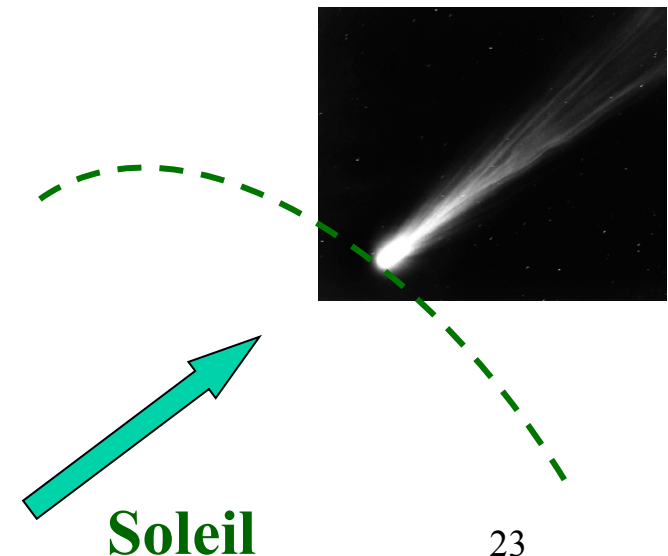


Par suite du transfert de quantité de mouvement des projectiles p à la cible C, la cible C est poussée

Atome dans un faisceau lumineux

Situation analogue, les photons incidents diffusés par l'atome C jouant le rôle des projectiles p

Explication de la queue des comètes

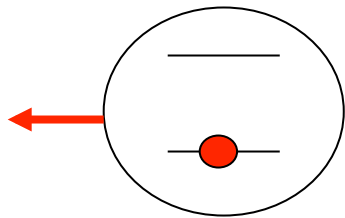


L' atome à deux niveaux

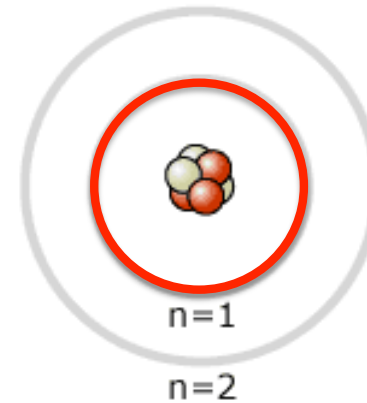
Les niveaux excités sont instables

Ex. : Rubidium 87 27 ns dans l' état excité

Bilan en énergie et quantité de mouvement



L' atome recule



Rubidium, $v_{\text{rec}} = 6 \text{ mm / s}$