

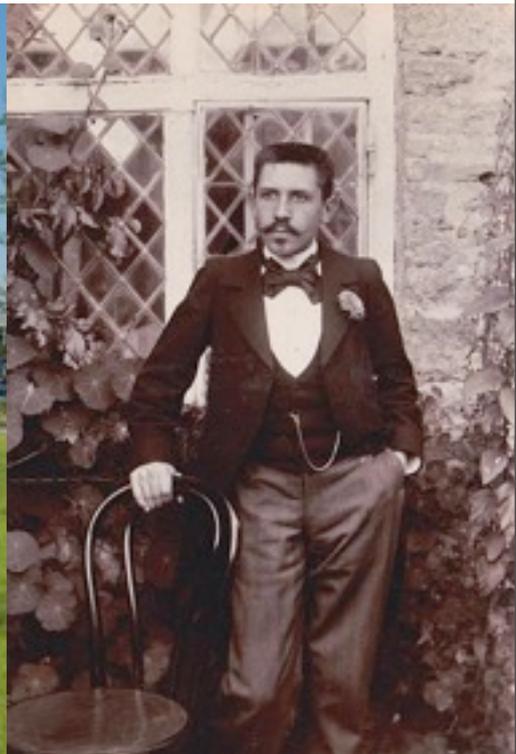


Quand les atomes révèlent leur présence

Le rôle de Max von Laue et son héritage

Documentation: Ewald 1962, Eckert 2012, Schwarzenbach 2012

L'histoire d'une découverte impliquant un des deux éponymes de l'institut

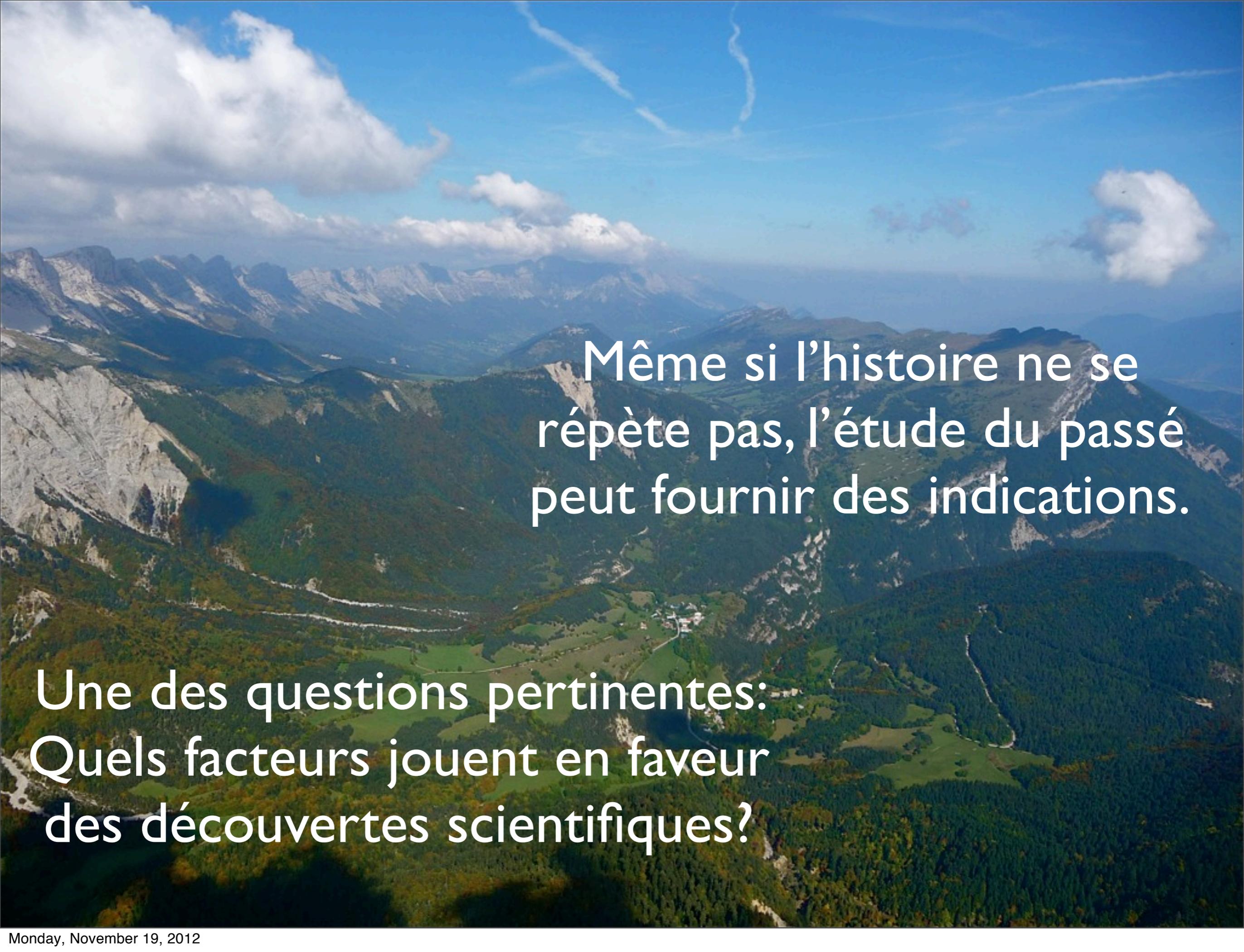


Théoricien

C'est une pièce fascinante avec plusieurs acteurs importants

Théoricien



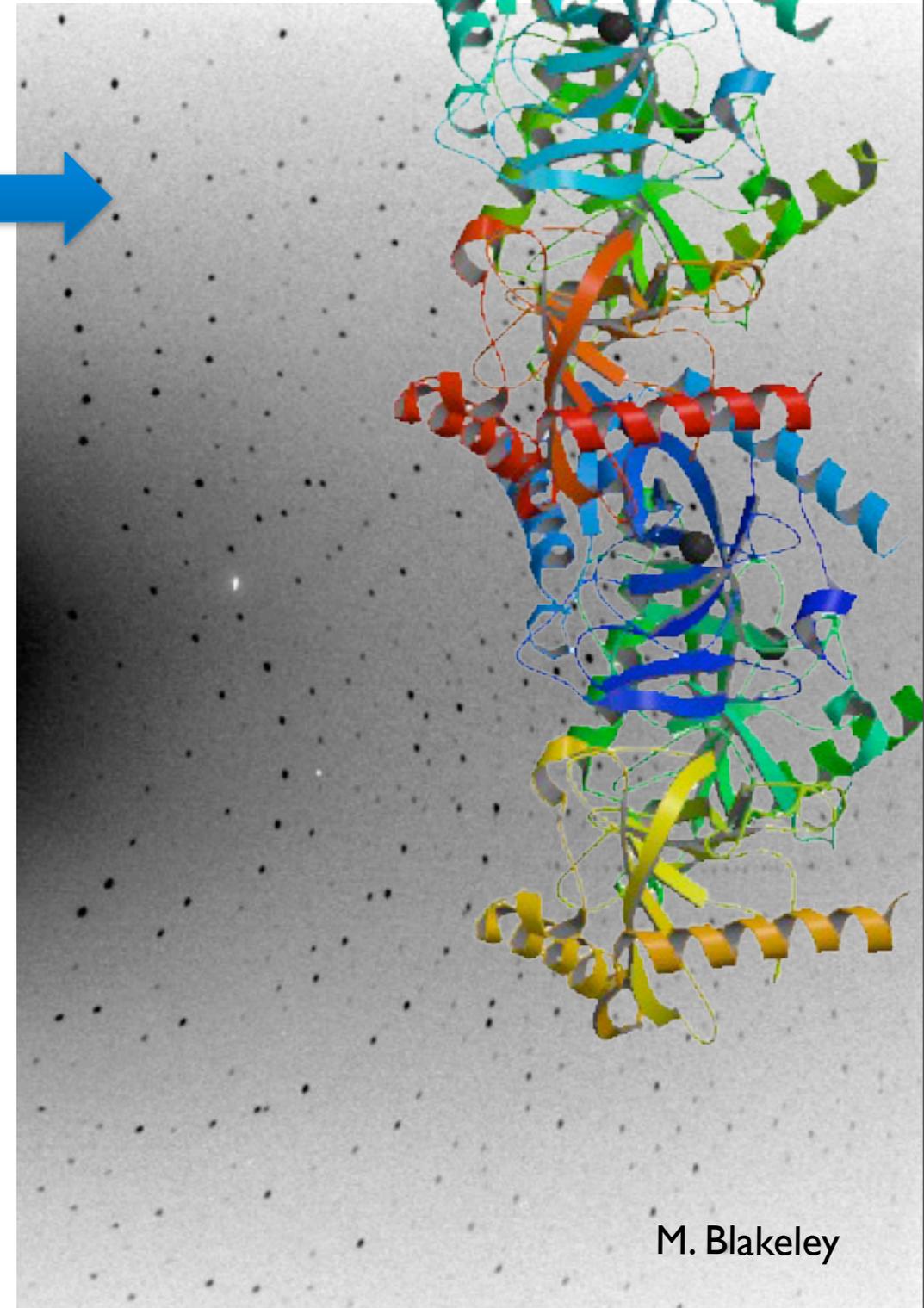
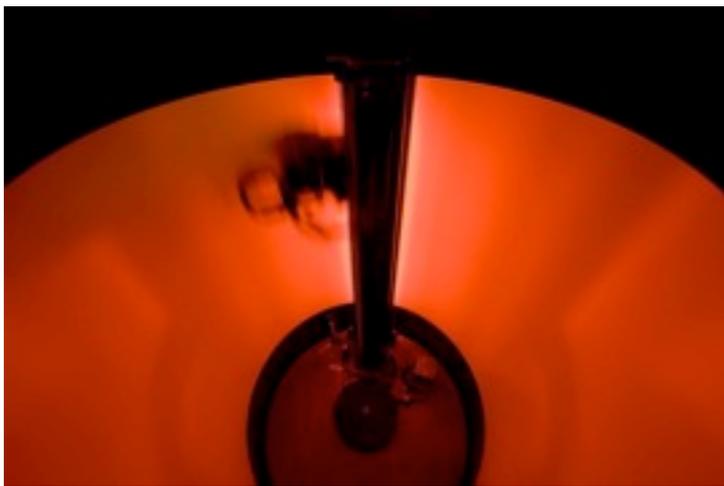
An aerial photograph of a mountain valley. The foreground shows a dense forest of green trees. A river winds through the valley, and a small town with white buildings is visible. In the background, there are rugged, rocky mountain ranges under a blue sky with scattered white clouds.

Même si l'histoire ne se répète pas, l'étude du passé peut fournir des indications.

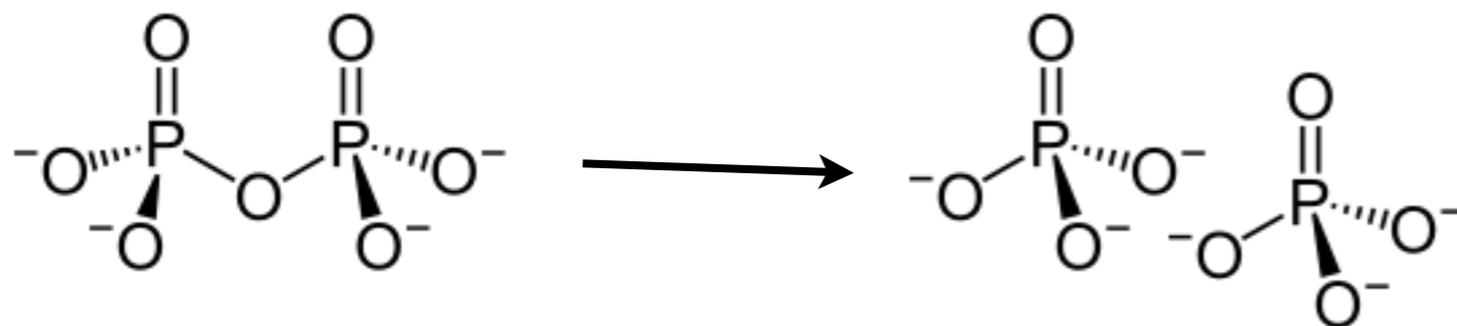
Une des questions pertinentes:
Quels facteurs jouent en faveur
des découvertes scientifiques?

Le concept de structure atomique nous est familier

- Structure de Pyrophosphatase (C2, 106 x 96 x 114Å) avec une résolution de 2.2 Å obtenu sur LADI.

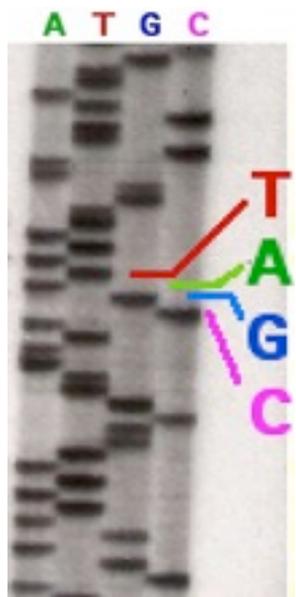
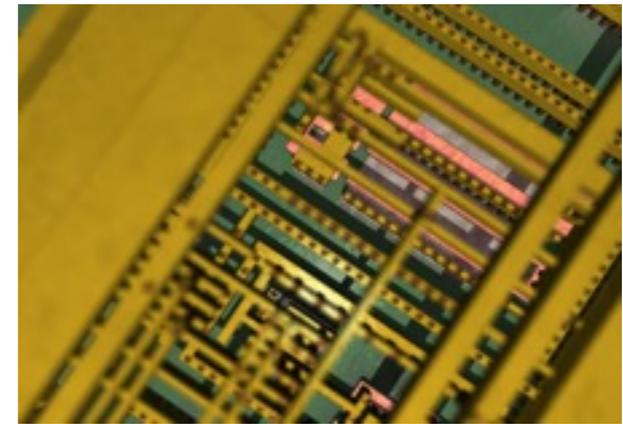
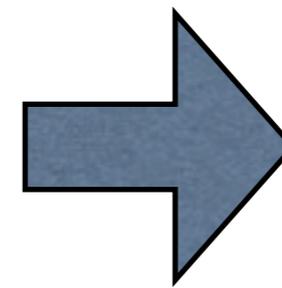
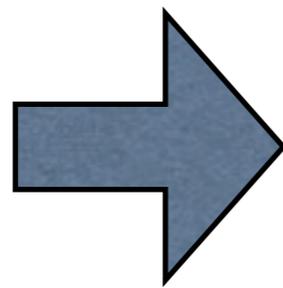


- La Pyrophosphatase est un enzyme qui catalyse la conversion d'une molécule de pyrophosphate en deux ions de phosphate.
- Elle joue un rôle critique dans le métabolisme des lipides, dans l'absorption du calcium lors de la croissance des os et de la formation de l'ADN.



M. Blakeley

Cette connaissance de la matière à l'échelle atomique a complètement transformé notre société



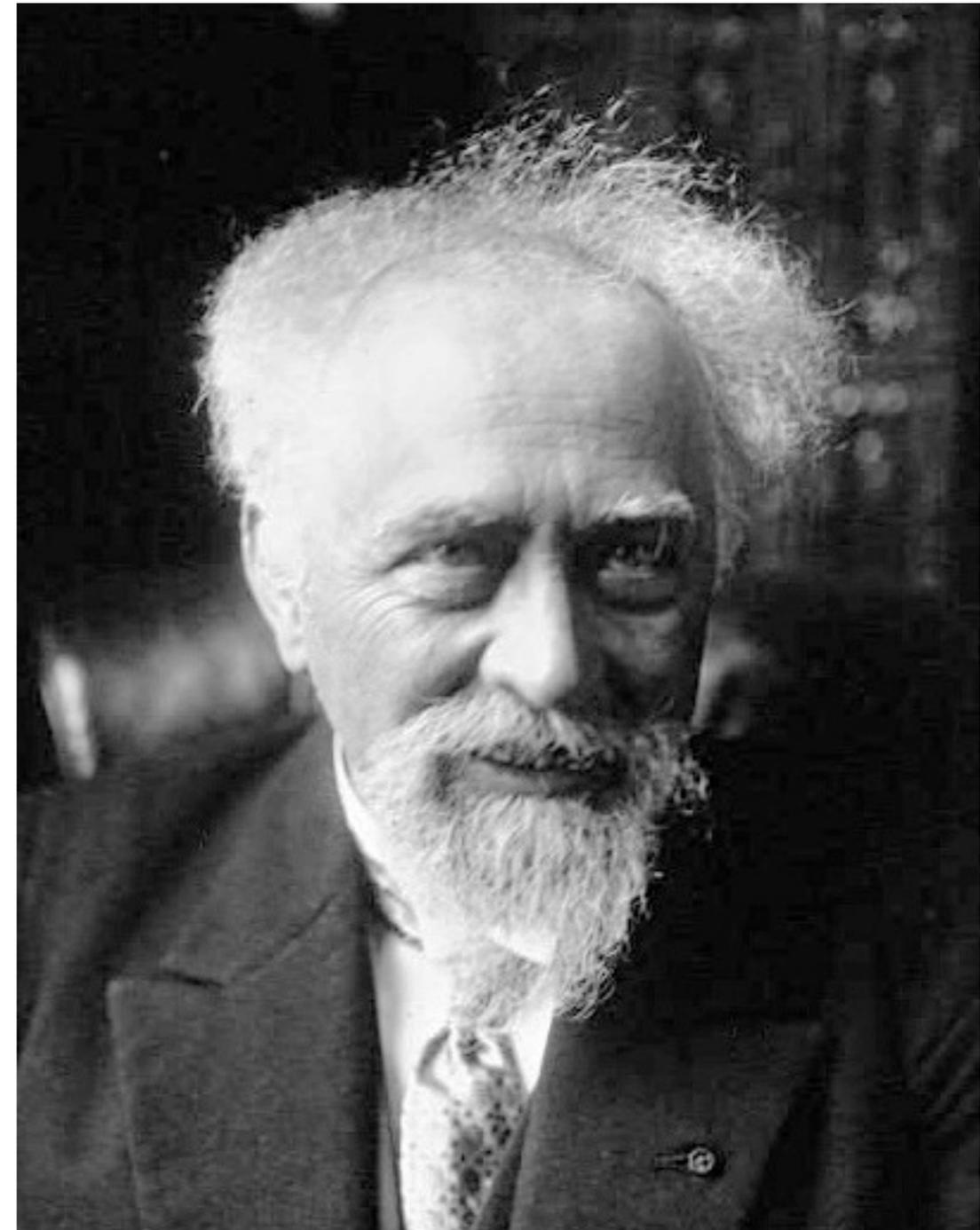
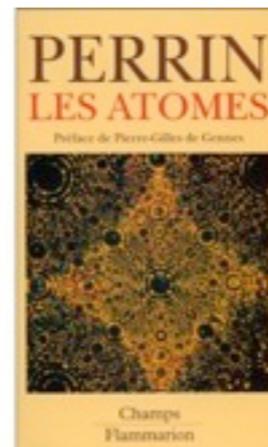
De la technologie
macroscopique

à la technologie
microscopique
que la biologie emploie depuis
toujours

Ça n'a pas toujours été le cas.

- En 1913 Jean Perrin (prix Nobel 1926) publie “les atomes”.
- Utilisant plusieurs approches expérimentales, il obtient le même nombre d'Avogadro.
- La concordance des résultats ainsi que la vérification de la théorie du mouvement Brownien de Einstein sont une preuve irréfutable de la granularité de la matière.
- Ironie du sort: son livre est publié juste au moment où Laue, Friedrich et Kipping effectuent leurs expériences à Munich.

Remarque: à ce moment-là on n'a pas une idée vraiment claire de ce que sont les atomes. Le postulat de leur existence aide à expliquer les expériences.



L'acteur central de notre histoire

Le personnage

- Max Theodor Felix Laue naît le 9 Octobre 1878 à Pfaffendorf (Coblence). Son père travail dans l'administration militaire.
- En 1910 Laue se marie avec Magdalena Degen.
- Le couple a deux enfants.
- En 1913 son père accède à la noblesse héréditaire. Max Laue devient Max von Laue.
- Laue meurt d'un accident de voiture le 23 Avril 1960 à Berlin (Max von Laue était un grand passionné de voiture et aimait rouler vite.).
- Il repose avec beaucoup d'autres Prix Nobel à Göttingen.



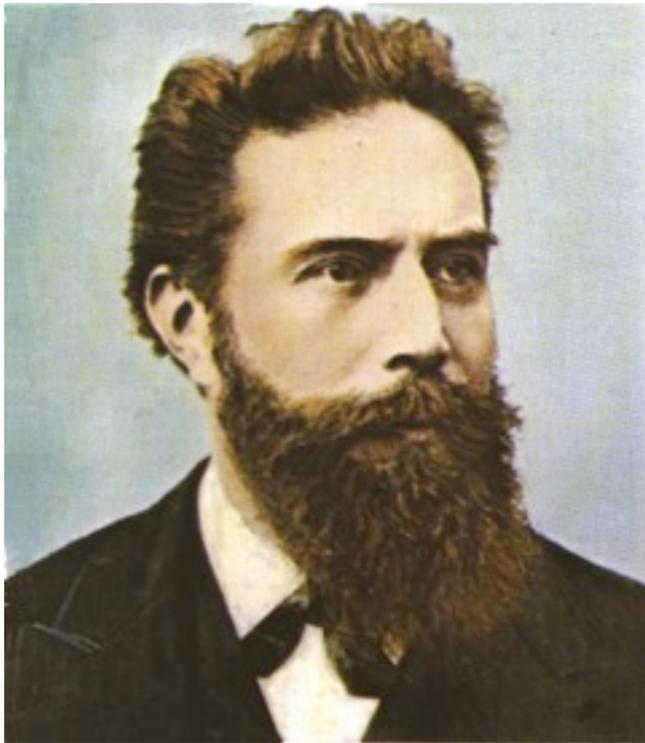
Les études

- Il obtient son baccalauréat (Abitur) au lycée de Strasbourg.
- 1898-1903: Laue poursuit des études de physique et de mathématique aux Universités de Strasbourg, Göttingen, Munich et Berlin.
- En 1903 il défend une thèse intitulée “Über die Interferenzerscheinungen an planparallelen Platten” sous la direction de Max Planck à Berlin.
 - Un peu de contexte: En 1900 Planck a posé la première pierre de l'édifice de la physique quantique. Planck n'était pas un révolutionnaire: quand un professeur de l'Université de Munich essaie de le décourager de suivre des études de physique (il est très doué pour la musique) en expliquant qu'il n'y aura plus rien à découvrir, Planck répond qu'il ne souhaite pas faire de grandes découvertes mais qu'il se contentera de comprendre les fondamentaux.
- Laue obtient son habilitation en 1906 avec un travail intitulé “Über die Entropie von interferierenden Strahlenbündeln”.
- Il fait la connaissance de Albert Einstein ce qui sera le début d'une longue amitié.





La faculté de physique de l'Université de Munich



L'institut de physique expérimentale sous Röntgen.
A cette époque l'expérimental est prépondérant par rapport à la théorie.
Une structure importante avec un grand nombre d'assistants.

La scène



L'institut de physique théorique sous Sommerfeld.
Elève de Felix Klein, Sommerfeld s'intéresse à la science appliquée (Heisenberg a écrit une thèse sur l'hydrodynamique).
Sommerfeld insiste pour avoir des moyens expérimentaux.
Petite structure (4 bureaux plus quelques laboratoires en sous-sol).



Le Café Lutz dans le Hofgarten où Sommerfeld passait beaucoup de temps à discuter avec ses troupes.

L'ambiance "chez" Sommerfeld

Contrairement à
Röntgen, Sommerfeld
était proche de ces
collaborateurs.

La bonne ambiance
n'excluait ni l'ambition
ni la compétition.

„Wednesday Colloquium“

“I urged very strongly: ‘Couldn't we get together to talk over things, so that we young people could learn a bit quicker what the problems of real actual interest were.’ ... Debye talked to Sommerfeld. Sommerfeld said: ‘Oh, that's fine,’ and Debye said yes. Sommerfeld said: ‘I will not be there, so you are quite among yourselves.’ Which I think was a very wise decision. But he bought a box of cigars to be put on the table and to be smoked during the colloquium, which was his gift to the colloquium.”

(Interview with P. P. Ewald, 1962, AHQP)

(http://www.aip.org/history/ohilist/4568_1.html)



L'héritage de ce chasseur de talents hors du commun est spectaculaire.

Sommerfeld a été nommé 81 fois mais n'a jamais reçu le Prix Nobel.

Il s'oppose au choix de son successeur (Müller au lieu de Heisenberg) choisi selon le critère de "Physique Allemande".

Fröhlich,
Landé,
Peierls,
Heitler, etc.

Léon Brillouin



Heisenberg



Pauli



Debye



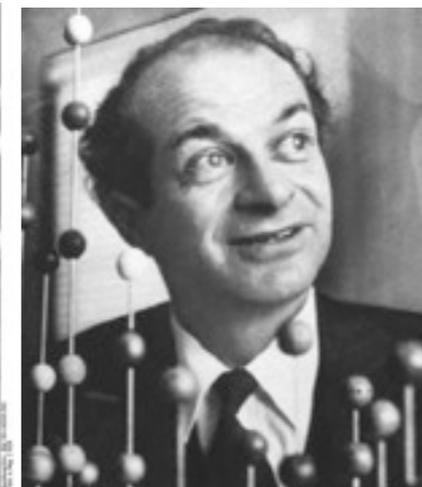
Bethe



Laue



Pauling



Rabi



Deux questions primordiales

- Les rayons-X ont-ils un caractère ondulatoire?
- Comment la matière est-elle composée, en particulier les cristaux possèdent-ils un réseau?

Les outils expérimentaux: Les tubes à rayons cathodiques.



Sir William Crookes

Thallium, Helium,
Tubes cathodiques,
Lunettes de soleil, ...



1869: Hittorf



Röntgen 1895: Première
radiographie
avec les rayons-X.
Découverts par hasard à
Würzburg.

Recherche infructueuse
de diffraction et réflexion.
Sommerfeld fait des calculs et donne
une limite inférieure à la longueur
d'onde des rayons-X.



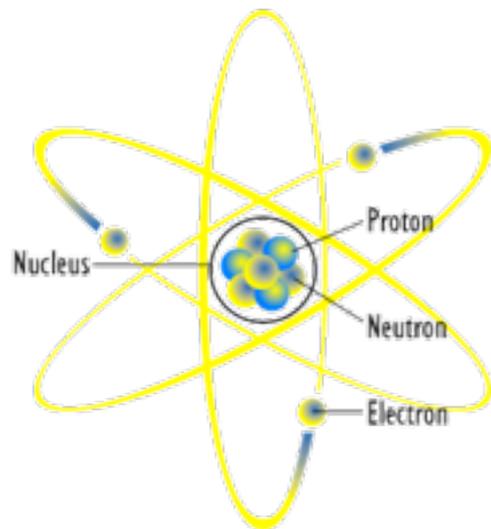
1st Baron Rutherford of Nelson (1871-1937).

Fils d'un fermier.
Après la découverte de Becquerel, il identifie les rayonnements alpha et beta.
Il découvre la période des éléments radio-actifs.
Il crée l'agitation en chimie en démontrant la transmutation des éléments.

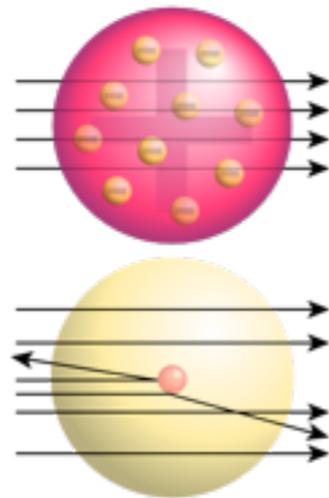
Prix Nobel en chimie en 1908.

La scène

Modèle atomique de Rutherford



“Plum pudding”



Les réseaux atomiques n'étaient qu'une spéculation.

Personne n'avait une idée claire de ce qu'étaient les “molécules intégrantes”.

L'expérience de Geiger et Marsden en 1909.
Interprétation correcte de Rutherford en 1911.

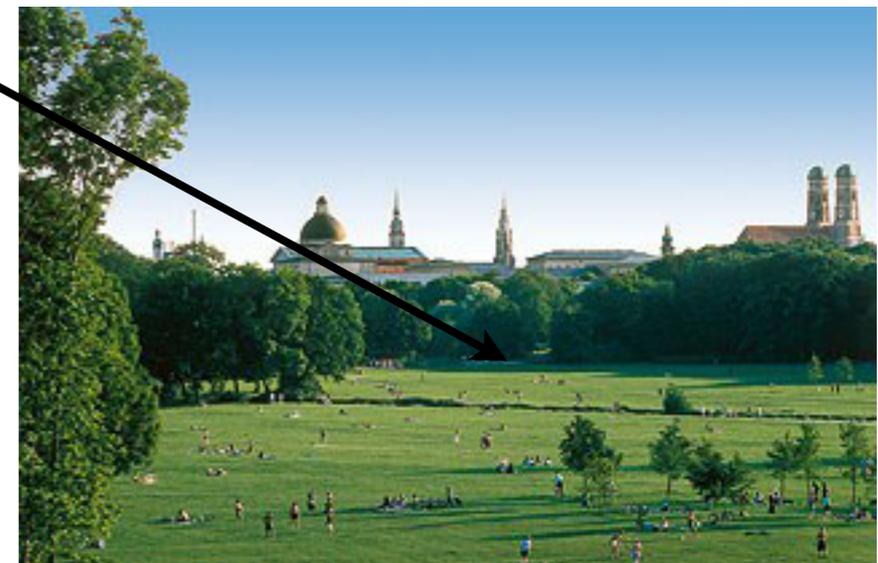
La scène



- Jusqu'en 1911, Sommerfeld n'a que Debye comme assistant.
- Il travaille sur son hypothèse 'h' sensée expliquer la nature des rayons-X: $E = \tau h$.
- Walter Friedrich (1883-1968) rejoint l'institut en 1911 pour effectuer des expériences avec les rayons-X dans le but de démontrer la validité de l'hypothèse. Sommerfeld est ravi d'avoir pu le recruter avant Röntgen.
- Laue est depuis 1909 Privatdozent à l'institut et travaille (après avoir terminé son livre sur la théorie relativiste) à la rédaction d'un chapitre d'optique ondulatoire dans l'"Enzyklopedie der Mathematischen Wissenschaften". Il traite en particulier de l'interférence des réseaux.

Naissance d'une idée: Le rôle de Paul Peter Ewald

- Ewald finit sa thèse chez Sommerfeld début 1912.
- Le thème choisi: “trouver les propriétés optiques d'un arrangement anisotrope de résonateurs isotropes”.
- Les résultats sont assez surprenants et Ewald demande conseil à Laue avant de défendre sa thèse.
- Au lieu de s'intéresser au problème de Ewald, Laue pose soudain la question: “Qu'est-ce que ça donne si la longueur d'onde du rayonnement utilisé est comparable à la distance des dipôles?”
- Ewald oriente Laue vers les formules de sa thèse.
- Aparté: Ces scientifiques étaient tous très érudits. Ewald parlait le Grec ancien. On communiquait souvent en citant Schiller et Goethe.

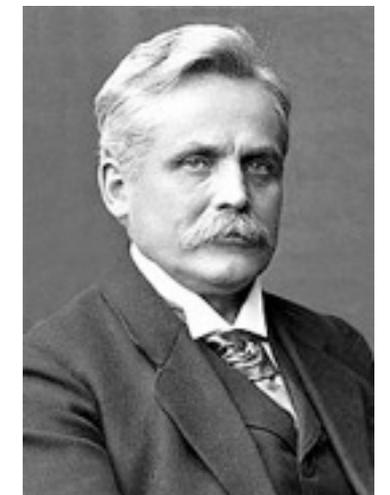


Les obstacles à surmonter

- L'opposition du chef: Sommerfeld ne voulait pas qu'on gaspille du temps de faisceau, précieux, pour une expérience dont il est évident qu'elle ne peut pas marcher.
- D'autres éminents collègues se montrent aussi hostiles à cette idée (ce qu'ils expriment clairement lors d'une sortie de ski).
- Le "local contact" Friedrich n'est pas chaud non plus.
- Le hasard (le chef s'absente), la diplomatie (Laue demande à Kippling) et l'attitude de "on ne sait jamais" de Friedrich font de sorte que l'expérience est tentée.
- Il faut admettre que le jeu en vaut bien la chandelle.
- Je vous invite à réfléchir un instant sur le risque couru par Laue.

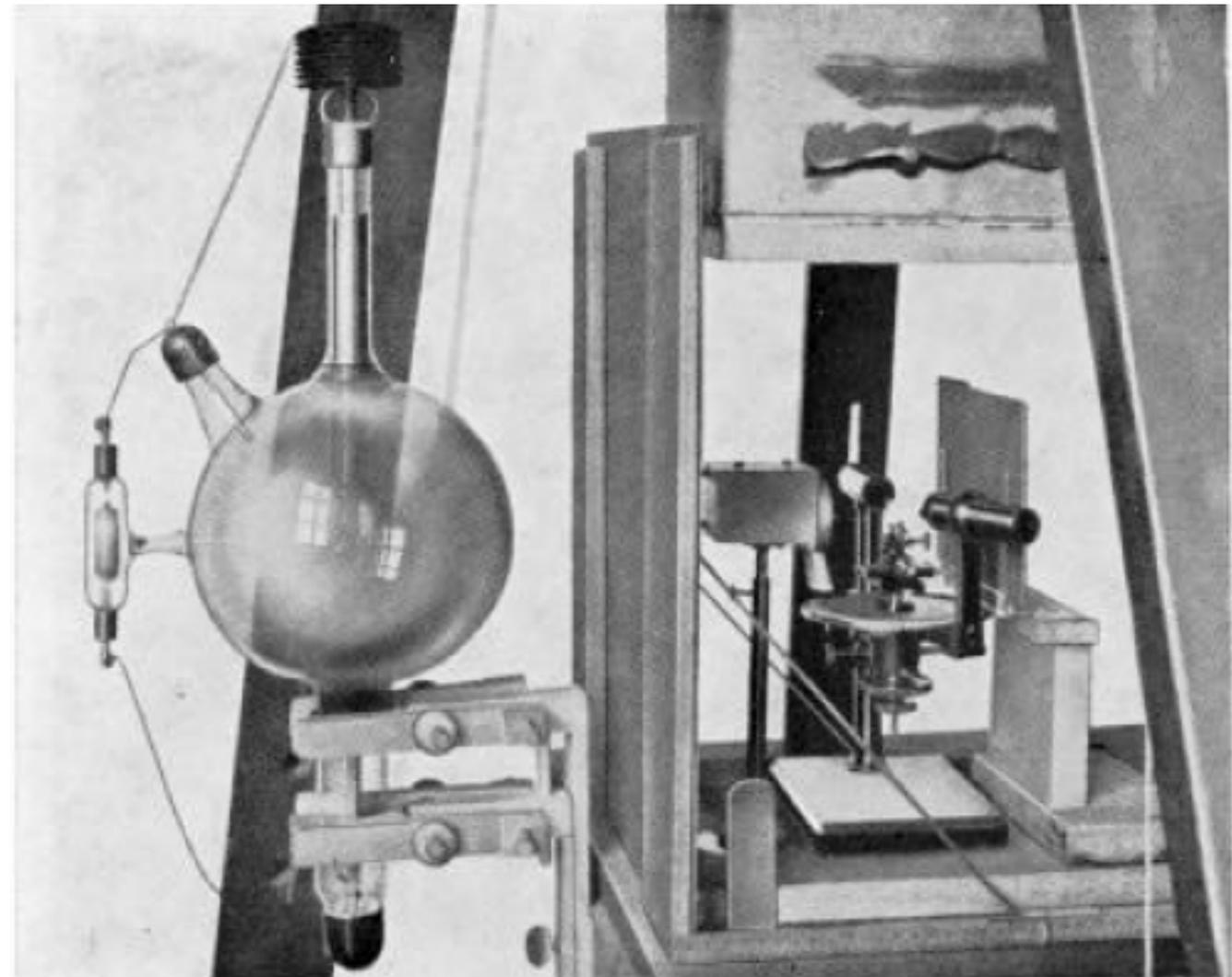
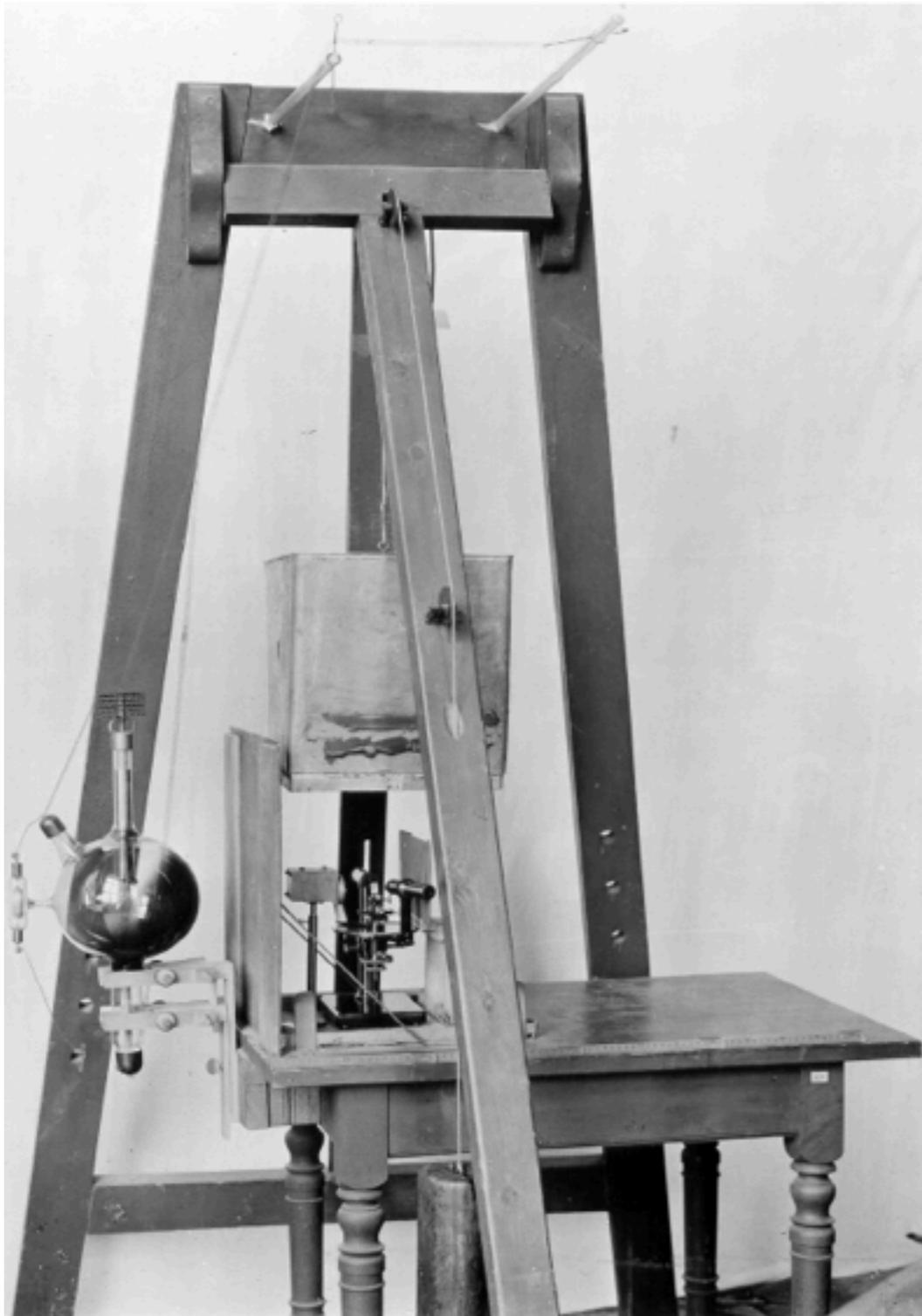


Sommerfeld



Wilhelm Wien
Successeur de Röntgen à
Würzburg.
Prix Nobel 1911.

L'expérience

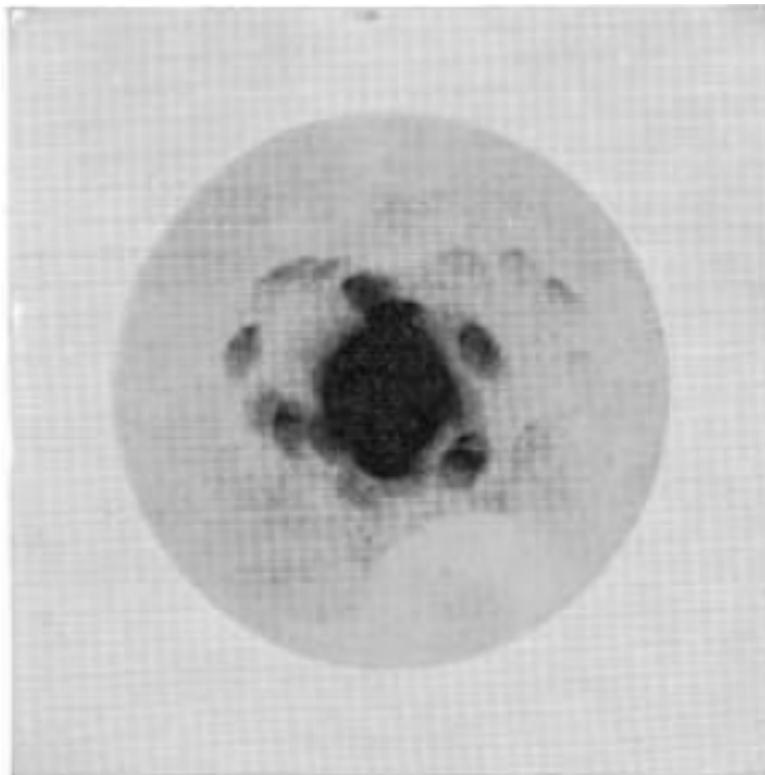


25 cm

Intensité faible, temps d'exposition long,
bruit de fond important.

Courtesy Michael Eckert

La découverte



1957-5

INSTITUT
FÜR THEORET. PHYSIK
MÜNCHEN, UNIVERSITÄT,
LUDWIGSTRASSE 17.

MÜNCHEN, DEN 4. Mai 1912.

Leitgedanke

Die Untersuchungen beschäftigen sich seit 2. April 1912 mit Interferenzerscheinungen von X-Strahlen beim Durchgang durch Kristalle. Leitgedanke war, daß Interferenzen als Folge der Räumlichstruktur der Kristalle auftreten, weil die Gitterkonstanten ca. 10 x größer sind, als die mittelmäßige Wellenlänge der X-Strahlen. Als Beweis wird Aufnahme Nr. 53 u. 54 niedergelegt.

Durchstrahlter Körper: Kieselgerüst
Exponiert 30'. Strom in der mittelweisen Röhre 2 Milliamperere
Abstand der Platten vom Kristall: Nr. 53 = 30 mm; Nr. 54 = 60 mm.
Abstand der Blende (Ø 1,5 mm) 50 mm.
Abstand des Ausgangspunktes der Primärstr. vom Kristall = 350 mm

Schema der Versuchsanordnung.

Mutmaßlich

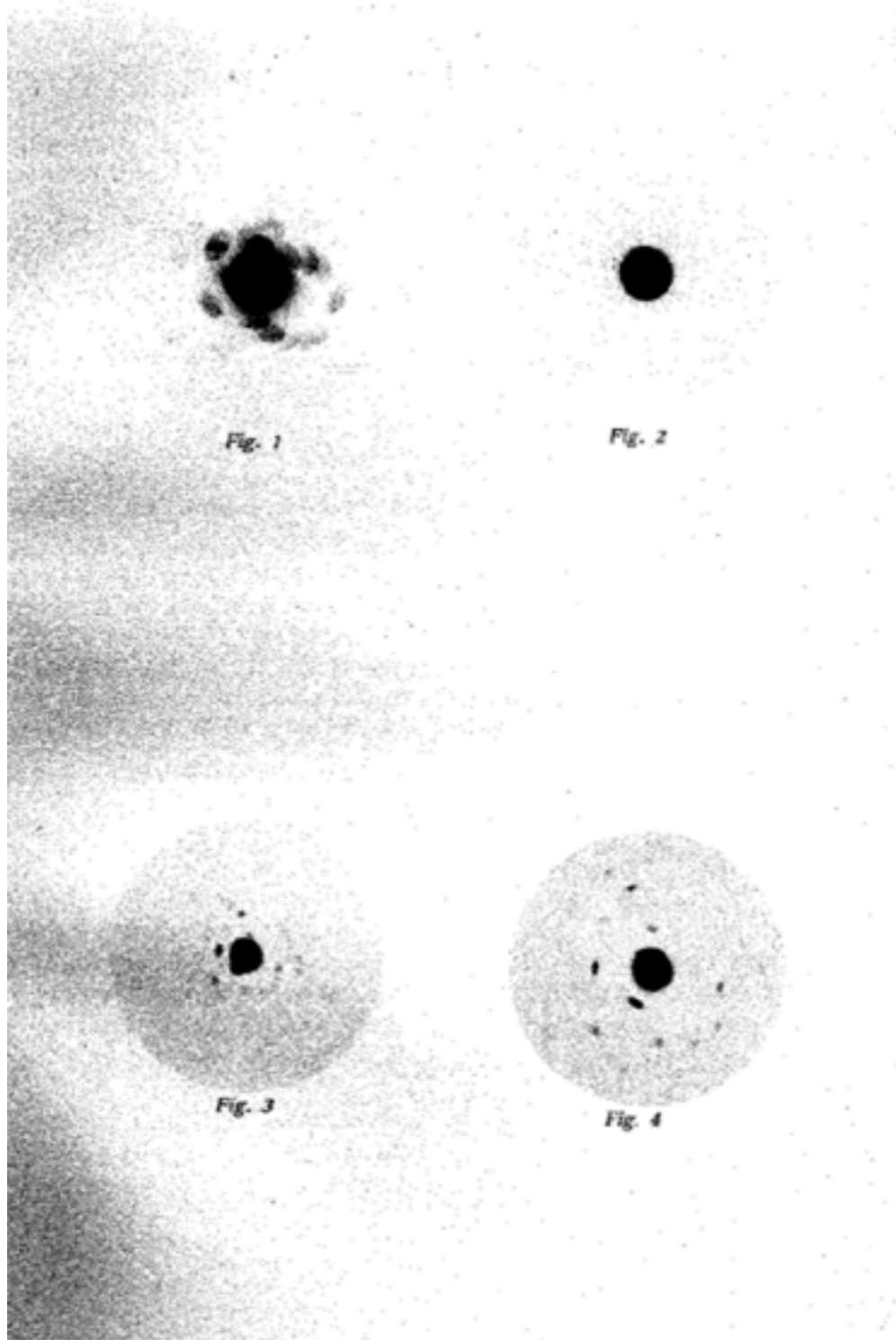
DEUTSCHES MUSEUM
Königliche

Wriedrich. P. Knipping. M. Laue.

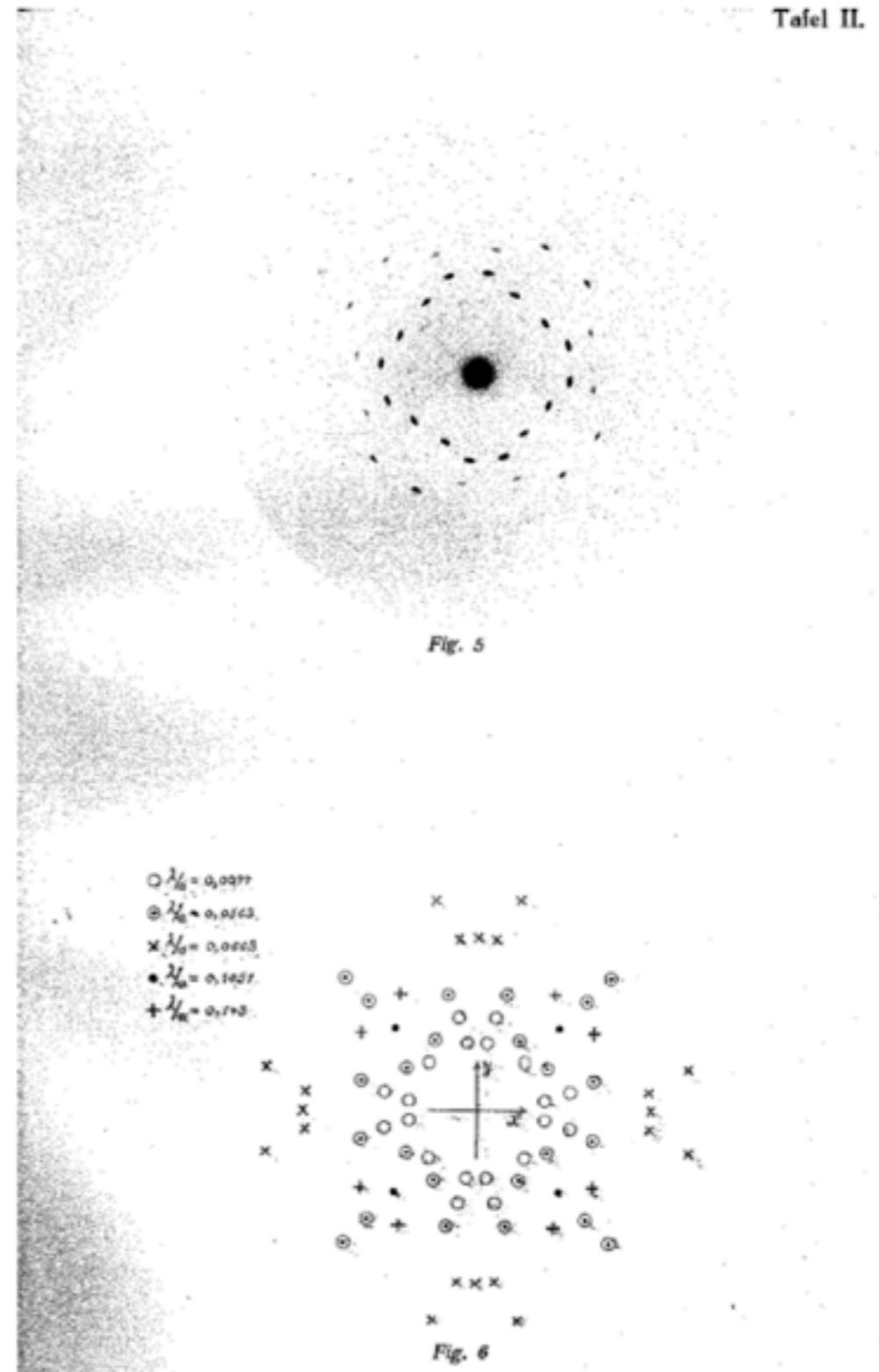
Courtesy Michael Eckert

Les interférences trouvées

Tafel I.

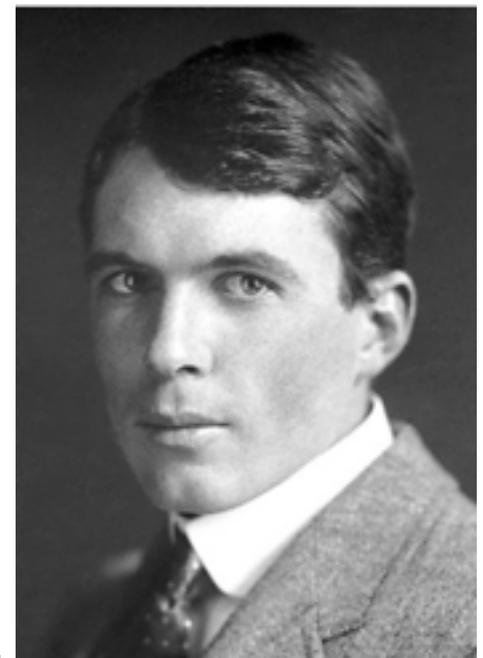
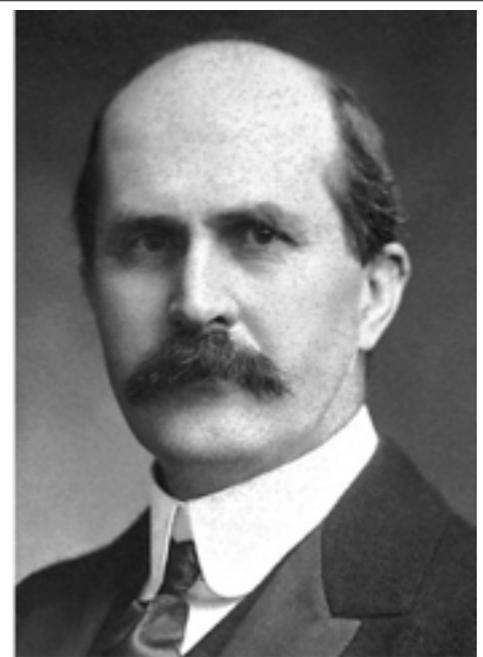


Tafel II.

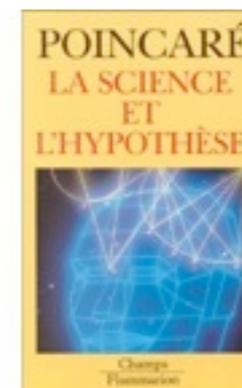


Les lacunes du raisonnement

- L'hypothèse de départ était fausse. Des ondes fluorescentes ne peuvent pas interférer (Sommerfeld avait raison de refuser).
- Étant donné que l'hypothèse de départ était erronée:
 - l'échantillon choisi était a priori inadapté
 - la géométrie expérimentale était mal choisie.
- C'est William Laurence Bragg, qui en contredisant son père William Henry Bragg, donne la bonne explication (le 11 novembre 1912 à Cambridge).
- C'est la découverte en se convertissant en outil de spectroscopie (W.L. Bragg, Henry Morseley; mort pendant la guerre) qui s'explique elle-même. C'est un exemple parfait de raisonnement scientifique basé sur l'hypothèse et la contrainte de cohérence (voir la science et l'hypothèse de Poincaré).



Le puzzle dynamique



Prix Nobel en 1914



Laue partage la récompense avec Friedrich et Kippling.

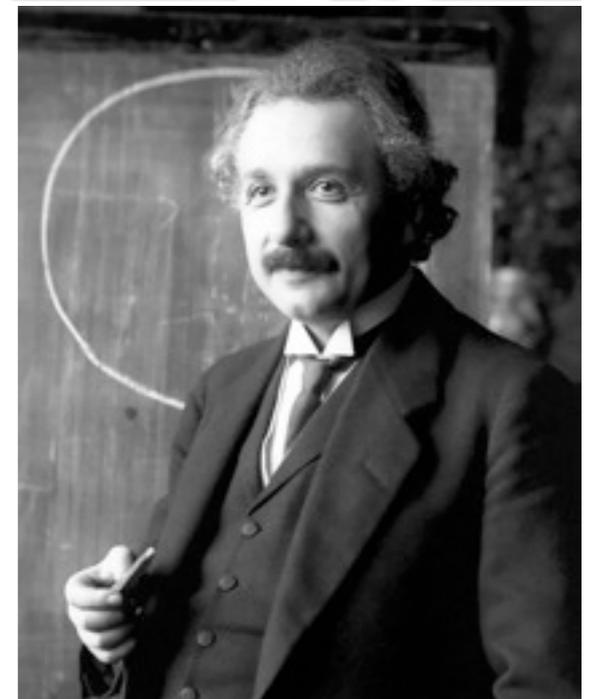


Les Braggs en 1915

(ils ne participeront pas à la cérémonie en 1920).

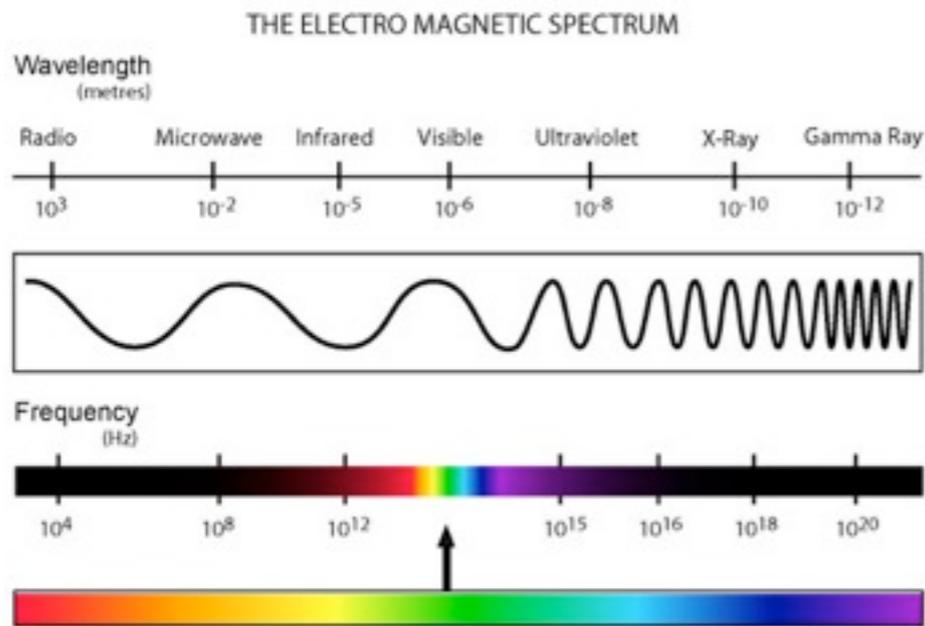
Max Planck en 1918.

Albert Einstein en 1921.



Laue et Einstein sont nés la même année.

Réponse n° 1: Les rayons X rejoignent la famille de la lumière



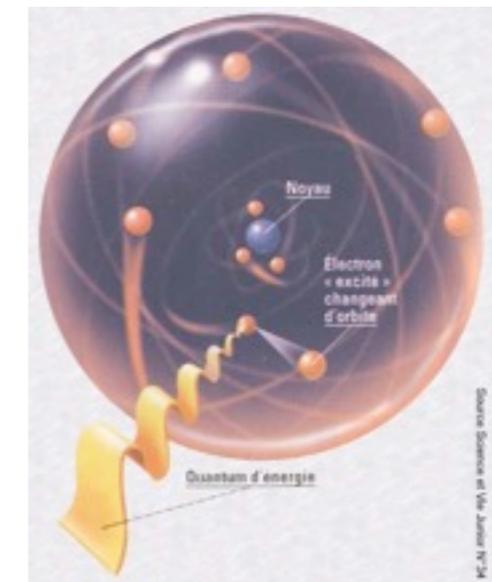
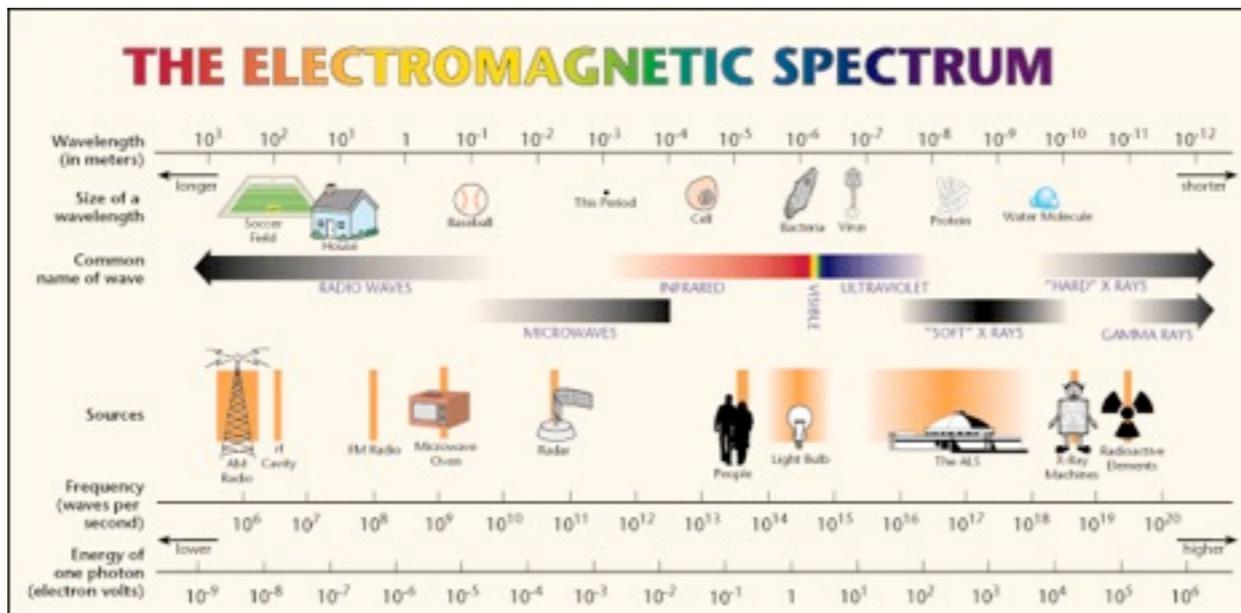
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

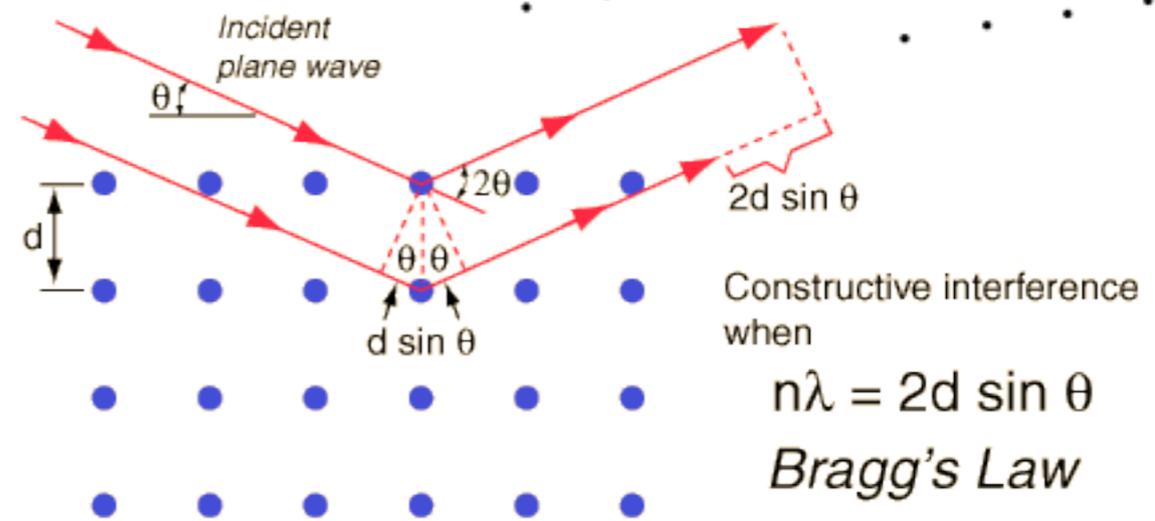
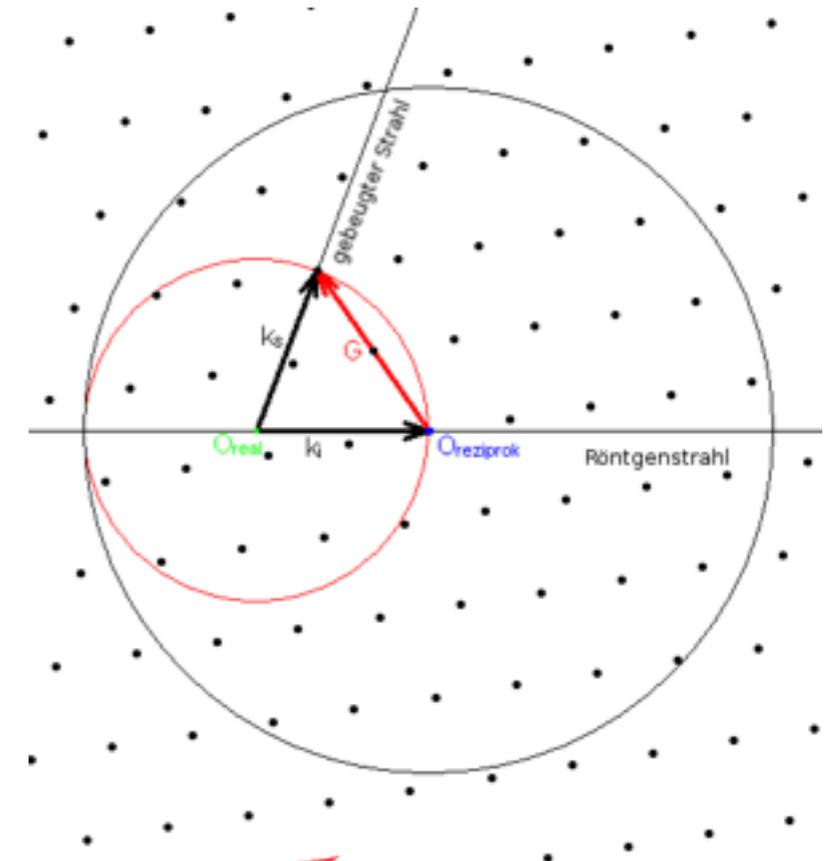
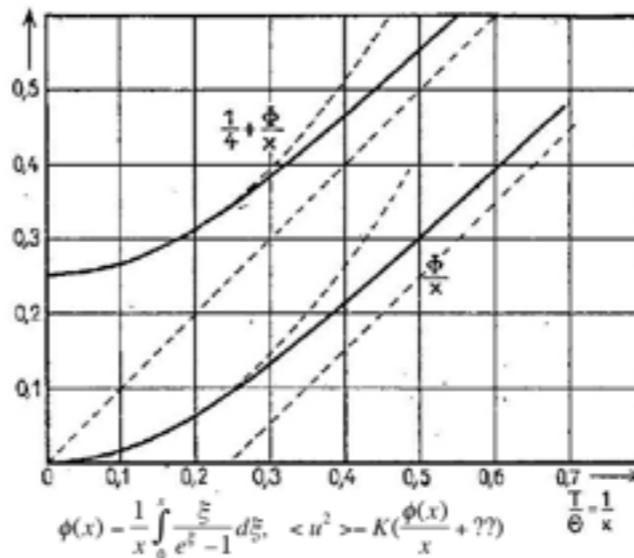
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Et même le père de William Laurence Bragg avait raison



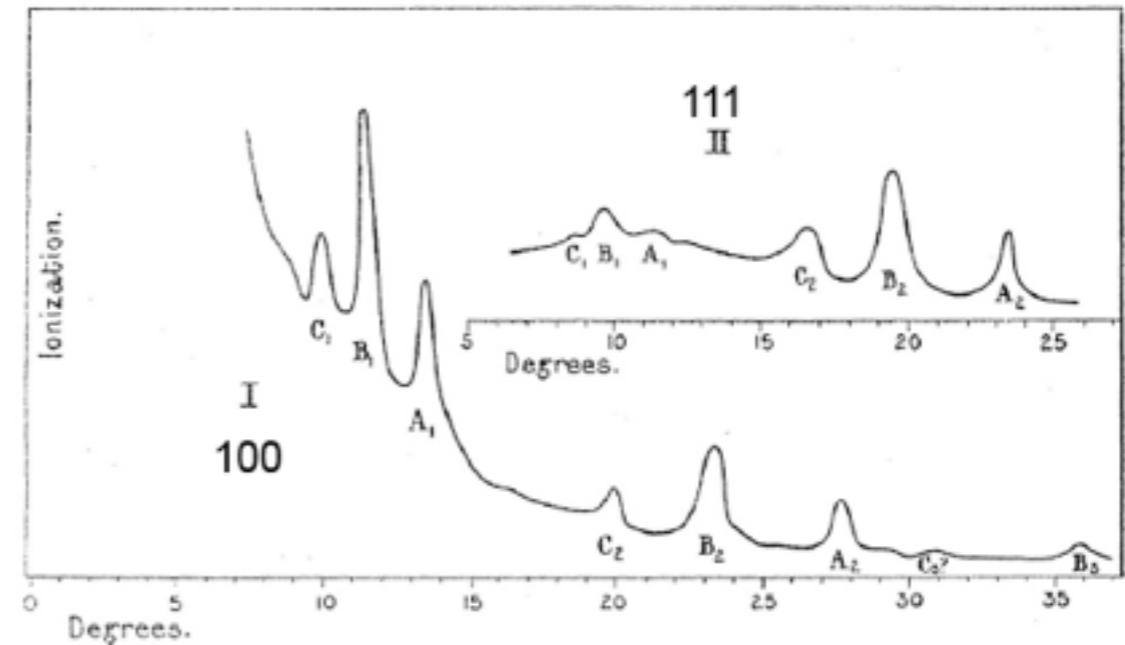
Réponse n° 2: vers 1920 la théorie de la diffraction est complète.

- Loi de Bragg.
- Construction de Ewald.
- Espace réciproque.
- Théorie dynamique.
- Facteur Debye-Waller et fluctuations quantiques.



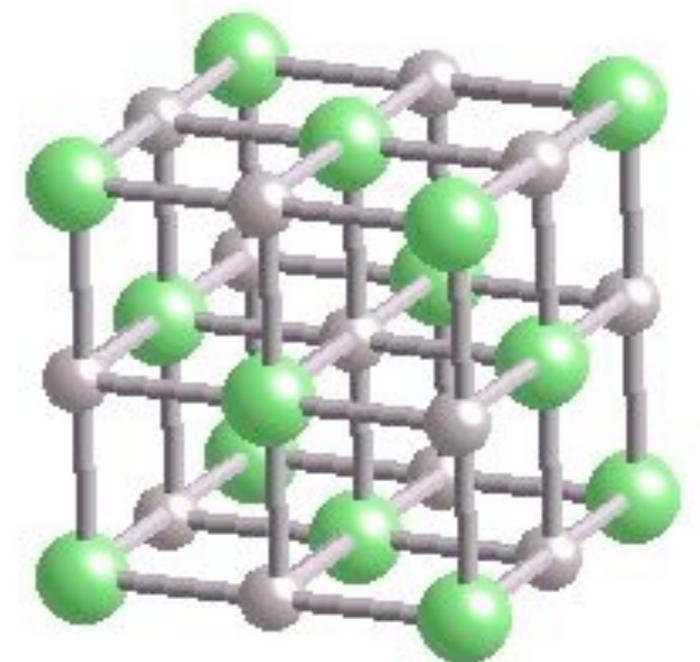
Réponse n° 2: Plusieurs structures cristallines ont vite été déterminées.

- La longueur d'onde est extraite de la densité à partir du nombre d'Avogadro et de la densité.
- Au début les Braggs se partagent le marché.



structure of NaCl
"2θ-θ" scan

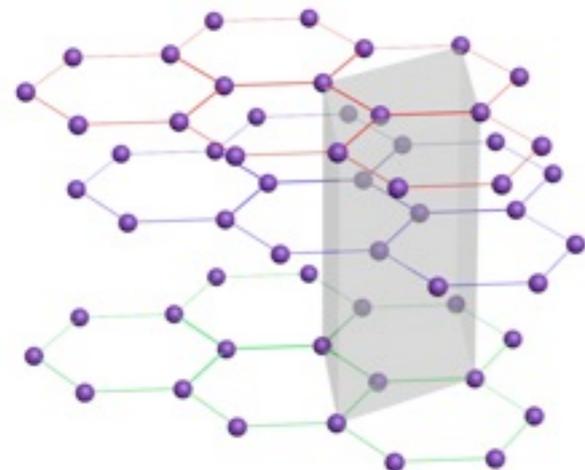
- 1914 NaCl
- 1914 Diamand
- 1914 Fluoride CaF₂
- 1914 Calcite CaCO₃
- 1914 Pyrite FeS₂
- 1915 Spinel MgAl₂O₄
- 1915 Rutile et Anastase TiO₂



Structure à partir d'une poudre

Peter Debye, Paul Scherrer et Albert Hull

1917
Graphite



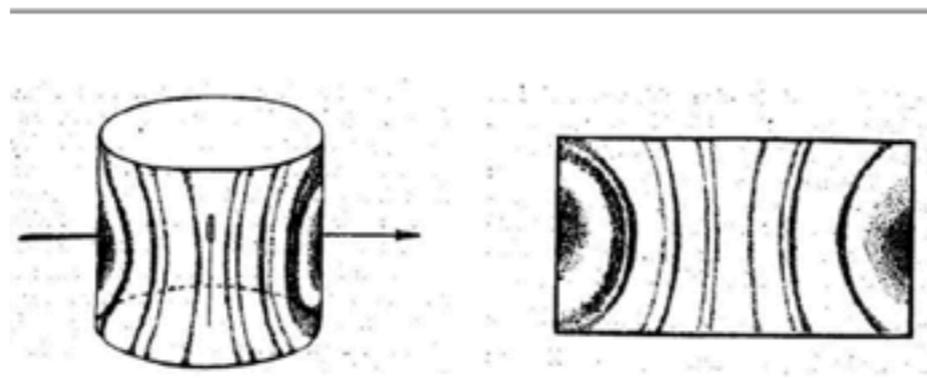
Powder diffraction



Paul Scherrer



Albert W. Hull



P. Debye & P. Scherrer, 1917

PHYSICAL REVIEW, VOL. X., SECOND SERIES,
December, 1917.

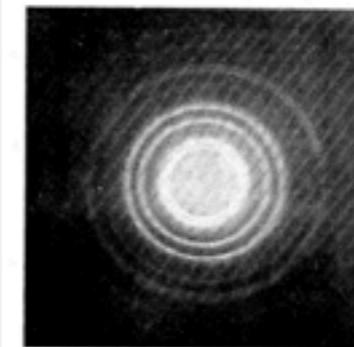


FIG. 1. Aluminum.



FIG. 5. Tungsten X-Ray Spectrum.

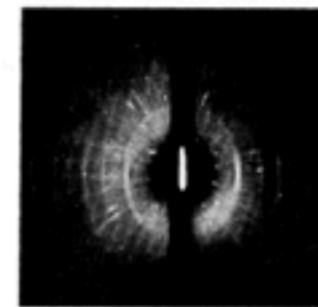


FIG. 6. Iron.



FIG. 7a. Silicon Steel.

A. W. HULL.

A.W. Hull, 1917

PLATE I.
To face page 66a.



FIG. 7b. Silicon Steel.

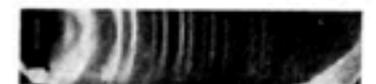


FIG. 8. Silicon.



FIG. 9. Aluminum.



FIG. 10. Magnesium.



FIG. 11. Graphite.

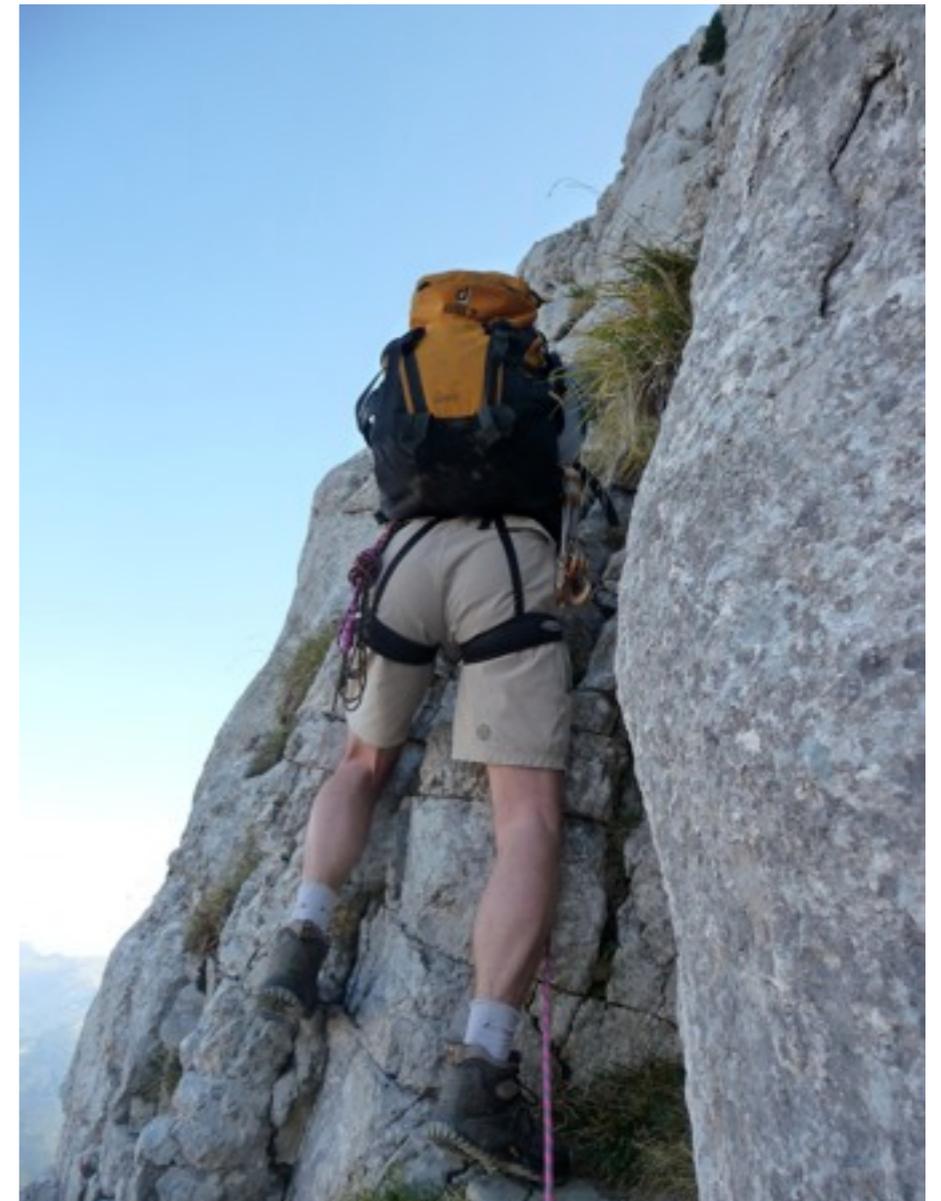


FIG. 12. Diamond.

Courtesy Schwarzenbach

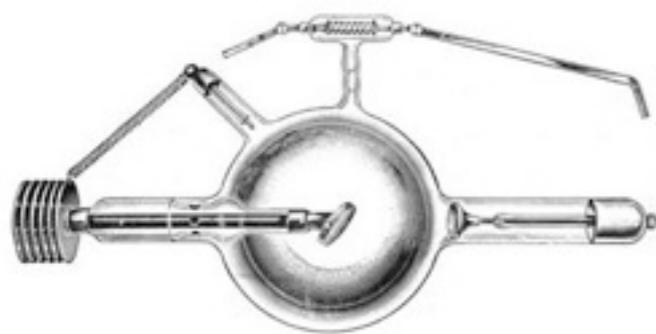
La science est une ascension

- Il faut trouver les bonnes prises.
- Quelque fois la stratégie (Leitgedanke) employée pour choisir où placer les mains est erronée. Ce n'est pas grave si la prise est correcte.
- La prise trouvée devient l'appui pour la suite.
- Les tentatives qui n'aboutissent pas ne passent pas à la postérité. C'est le principe même de l'évolution.
- La science a l'avantage de permettre une vérification en cours de route imposée par l'obligation de cohérence.

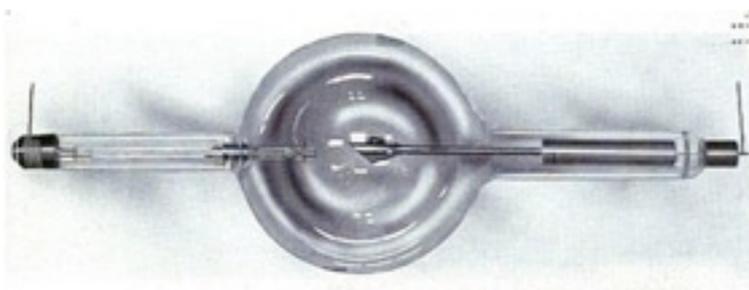


L'ascension continue

- Une suite d'amplifications réciproques entre la science et la technologie.



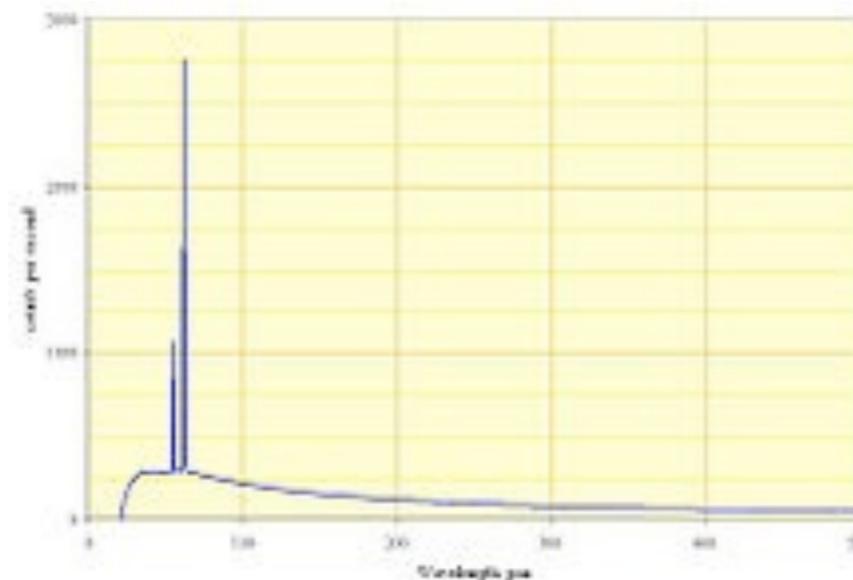
Crookes: Un art en soi



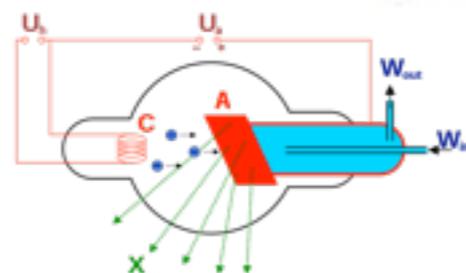
Coolidge: Simple et fiable.

Source

Spectre



Détecteur



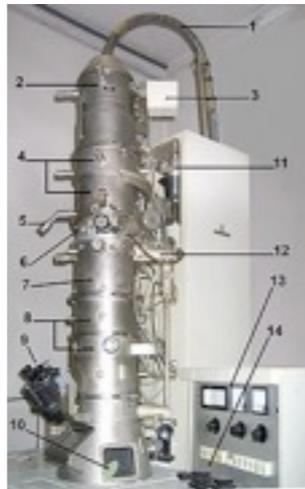
L'ascension continue

- L'analyse de la structure à la carte.
- L'informatique est indispensable.

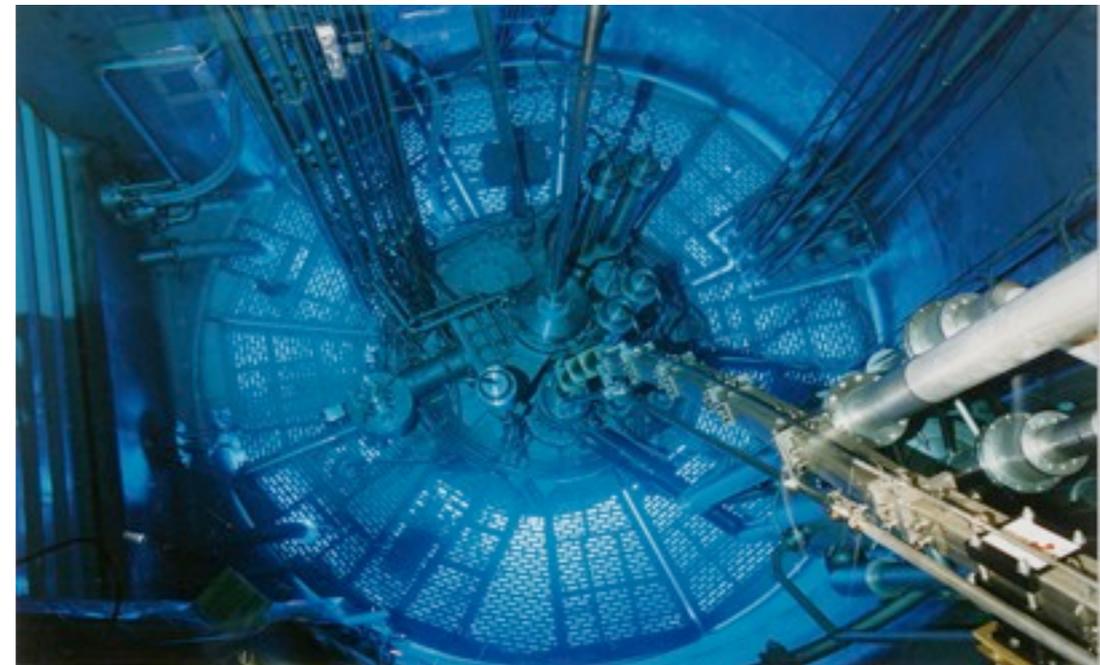
Rayons-X



Electrons



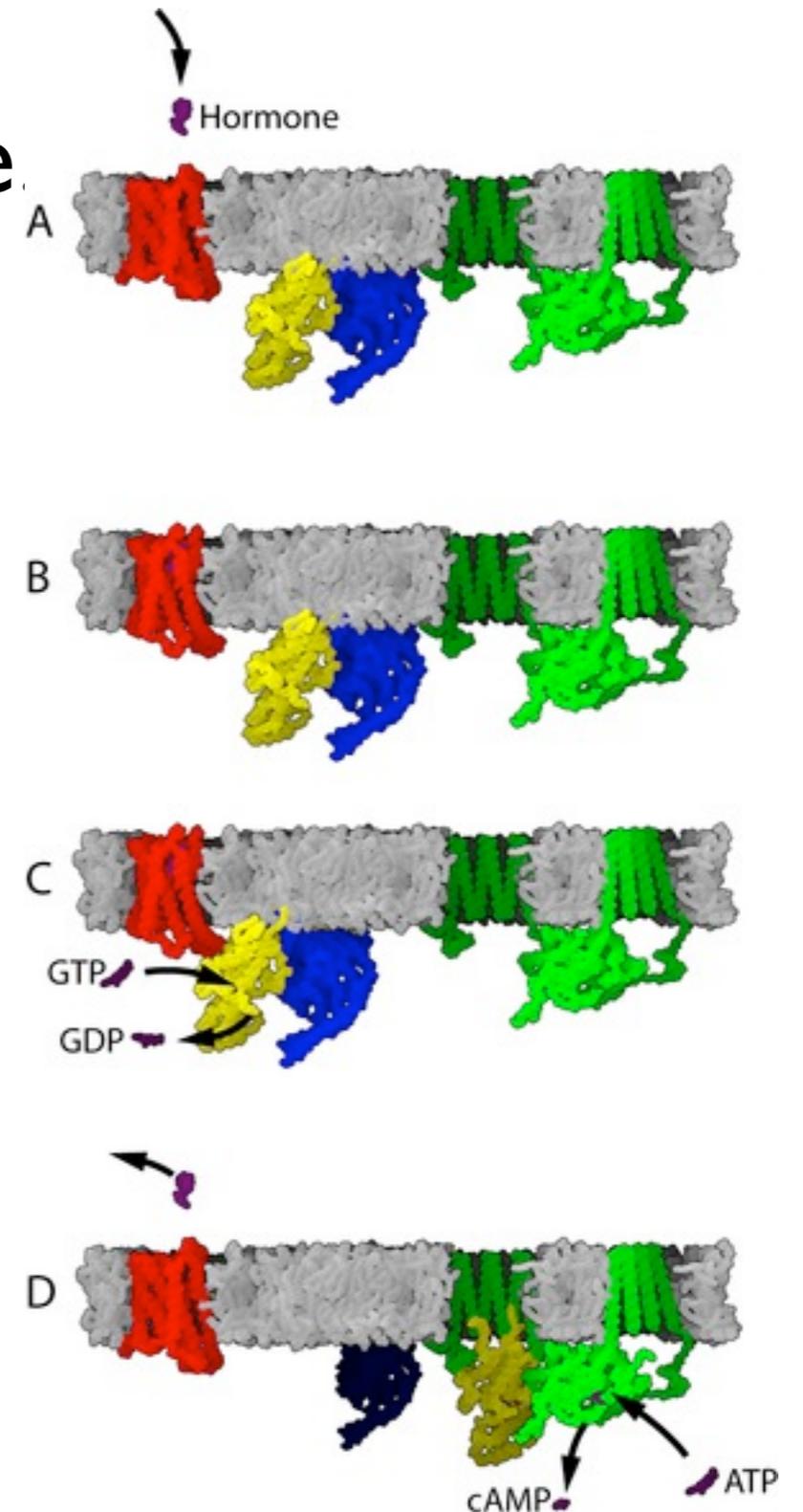
Neutrons



L'ascension continue

- L'analyse de la structure à la carte.

The Nobel Prize in Chemistry 2012
was awarded jointly to Robert J. Lefkowitz and Brian K.
Kobilka "*for studies of G-protein-coupled receptors*"



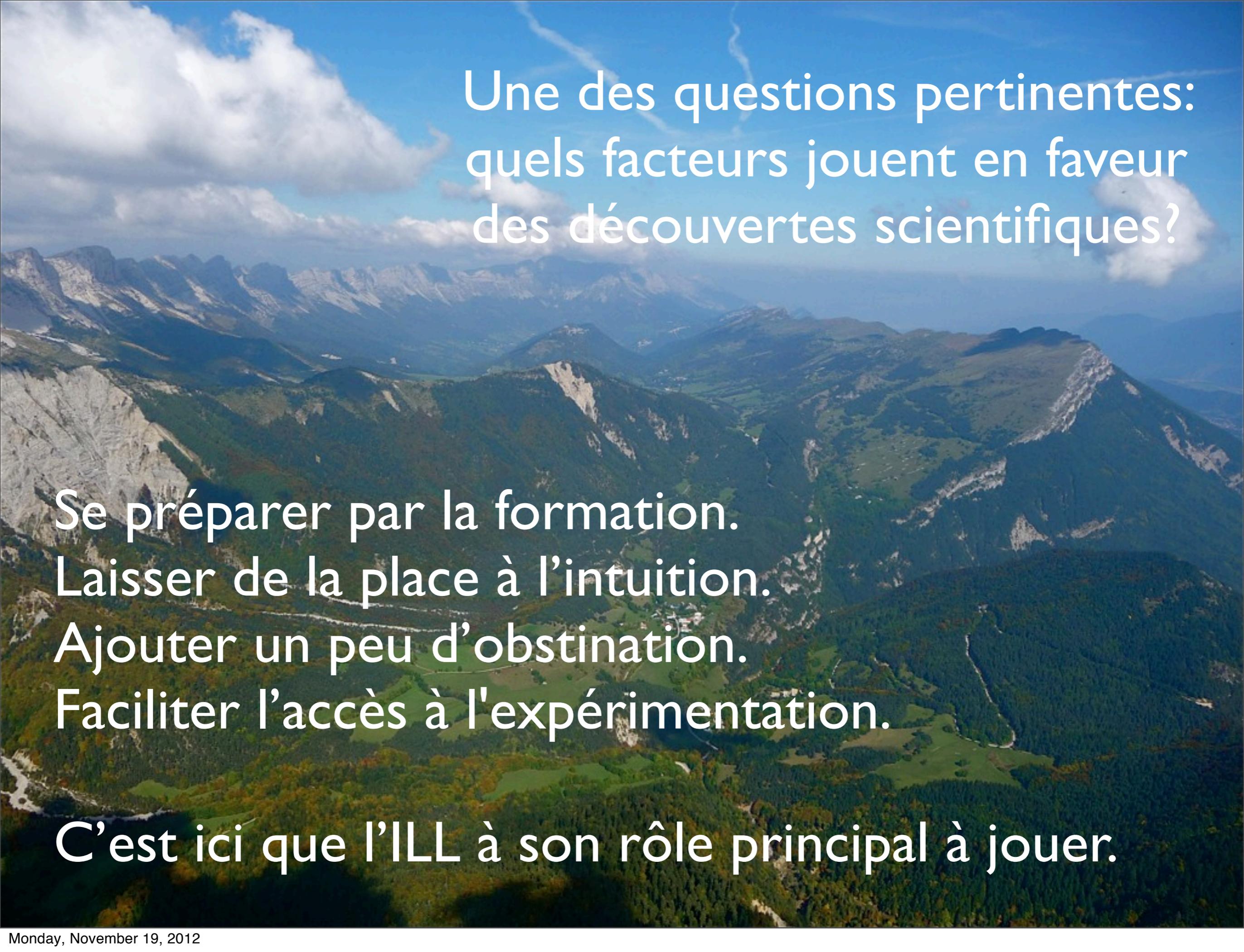
Et Laue? Un théoricien de renommée et un directeur de grande qualité

- Ses livres

- *Das Relativitätsprinzip (The Theory of Relativity)* (1911)
- *Die Theorien der Radiologie (The Theories of Radiology)* (1925)
- *Röntgenstrahl-Interferenzen (X-Ray Interferences)* (1941)
- *Geschichte der Physik (History of Physics)* (1943)
- *Theorie der Supraleitung (Theory of Superconductivity)* (1947)
- *Materiewellen und ihre Interferenzen (Matter Waves and Their Interference)* (1948)
- *Gesammelte Schriften und Vorträge (Collected Writings & Lectures)* (1961)

- Ses fonctions

- *Directeur adjoint de Einstein au Kaiser Wilhelm Institut.*
- *Directeur de l'Université de Berlin, succédant à Planck.*
- *Grosses difficultés sous le régime de Hitler (comme Ewald, Sommerfeld et tant d'autres, qui ne voulaient pas de la "physique allemande").*
- *Prisonnier de guerre britannique à Farmhouse.*
- *Après la guerre, directeur de l'institut de Fritz Haber.*
- *Signataire du manifeste de Göttingen contre l'armement nucléaire mais en faveur de l'utilisation pacifique du nucléaire: Die Pläne einer atomaren Bewaffnung der Bundeswehr erfüllen die unterzeichnenden Atomforscher mit tiefer Sorge.*



Une des questions pertinentes:
quels facteurs jouent en faveur
des découvertes scientifiques?

Se préparer par la formation.
Laisser de la place à l'intuition.
Ajouter un peu d'obstination.
Faciliter l'accès à l'expérimentation.

C'est ici que l'ILL à son rôle principal à jouer.