



université
PARIS-SACLAY



O. Hardouin Duparc

LSI UMR 7642 CNRS-CEA-X

École polytechnique, Université Paris Saclay

La Calcite

**dans l'histoire de la cristallographie
et des atomes**

A.MI.S.

Jussieu, 20 janvier 2018

**La Calcite
dans l'histoire
de la lumière
de la cristallographie
des rayons X et des atomes
et du mâclage...**

Meilleurs

2018

CALCITES DANS LES PRES

Traditionnel français

Arrangement pour chœur mixte
de J-B Violot

Col - chi - quez donc les précs, fleu - ris - sent, fleu -
Col - chi - quez donc les précs, fleu - ris - sent, fleu -
Col - chi - quez donc les précs, fleu - ris - sent, fleu -



ris - sent, col - qui - quez
ris - sent, col - qui - quez
ris - sent, col - qui - quez
préc, c'est le fin de l'é -



2018

VOIES

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Calcium carbonaté

Pierre calcaire

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Pierre calcaire

Limestone

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspath

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspat

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspat

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Spath, Spat, Spar : 'minéral feuilleté'

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspat

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Spath, Spat, Spar : 'minéral feuilleté'

(origine étym. disputable, spalten ou Spate)

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspat

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Spath, Spat, Spar : 'minéral feuilleté'

(origine étym. disputable, spalten ou Spate)

Lime : CaO (< Leim, Lehm : boue, glaise, argile, en allemand)

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspat

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Spath, Spat, Spar : 'minéral feuilleté'

(origine étym. disputable, spalten ou Spate)

Lime : CaO (< Leim, Lehm : boue, glaise, argile, en allemand)

(≠ lime, du vieux français limon < perse limun, le citron)

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée

Carbonated lime

Calcium carbonaté

Carbonated calcium

Calciumcarbonat

Pierre calcaire

Limestone

Kalkspat

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Spath, Spat, Spar : 'minéral feuilleté'

(origine étym. disputable, spalten ou Spate)

Lime : CaO (< Leim, Lehm : boue, glaise, argile, en allemand)

(≠ lime, du vieux français limon < perse limun, le citron)

Spath calcaire

Calcareous spar

Kalkspat

Calcites à la fin de l'été, en plein hiver, un peu partout...

Chaux carbonatée	Carbonated lime	
Calcium carbonaté	Carbonated calcium	Calciumcarbonat
Pierre calcaire	Limestone	Kalkspath

Khalx (χάλιξ) → Calx : Chaux, Calcaire, Kalkspat

Spath, Spat, Spar : 'minéral feuilleté'

(origine étym. disputable, spalten ou Spate)

Lime : CaO (< Leim, Lehm : boue, glaise, argile, en allemand)

(≠ lime, du vieux français limon < perse limun, le citron)

Spath calcaire	Calcareous spar	Kalkspat
Calcite	Calcite	Calcit, Kalzit
Spath d'Islande	Iceland spar	Doppelspat
Calcite optique	Optical calcite	Doppelspat

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

Bournon, Jacques Louis, Comte de Bournon, en 1808 :

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

Bournon, Jacques Louis, Comte de Bournon, en 1808 :

57 « modes (····) de son cristal primitif » +
près de *sept-cents* « dans les variétés produites par les différentes combinaisons de ces modifications. »

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

Bournon, Jacques Louis, Comte de Bournon, en 1808 :

57 « modes (····) de son cristal primitif » +
près de *sept-cents* « dans les variétés produites par les différentes combinaisons de ces modifications. »

Goldschmidt, Victor Mordechai (≠ Victor Moritz G.) :

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

Bournon, Jacques Louis, Comte de Bournon, en 1808 :

57 « modes (····) de son cristal primitif » +
près de *sept-cents* « dans les variétés produites par les différentes combinaisons de ces modifications. »

Goldschmidt, Victor Mordechai (≠ Victor Moritz G.) :

dessine près de *neuf-cents* formes de 'Calcit' en 1913 !

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

Bournon, Jacques Louis, Comte de Bournon, en 1808 :

57 « modes (····) de son cristal primitif » +
près de *sept-cents* « dans les variétés produites par les différentes combinaisons de ces modifications. »

Goldschmidt, Victor Mordechai (≠ Victor Moritz G.) :

dessine près de *neuf-cents* formes de 'Calcit' en 1913 !

(V.M.G. a écrit un 'Ueber Harmonie und Complication' en 1901...)

La chaux carbonatée en spath calcaire montre une « richesse immense » dans ses modes de cristallisation :

Bournon, Jacques Louis, Comte de Bournon, en 1808 :

57 « modes (...) de son cristal primitif » +
près de *sept-cents* « dans les variétés produites par les différentes combinaisons de ces modifications »

Goldschmidt, Victor Mordechai (≠ Victor Moritz G.) :

dessine près de *neuf-cents* formes de 'Calcit' en 1913 !

(V.M.G. a écrit un 'Ueber Harmonie und Complication' en 1901...)

Je me concentrerai sur la forme rhomboédrique, et transparente :

la forme « islandaise » (ou « bartholinesque »...)

Erasmus Bartholin

Erasmus Bartholin

Savant danois

Copenhague



Erasmus Bartholin

Savant danois

Copenhague

Cristaux Islandais

1669



Erasmus Bartholin

1669

Experimenta Crystalli Islandici Disdiacastici

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiacastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Fier d'être danois : ATQUE IN SEPTENTRIONE NON REMITTI FRIGORE,
SED INTENDI EXPERIANTUR LUMINIS RADIOS

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Fier d'être danois : ATQUE IN SEPTENTRIONE NON REMITTI FRIGORE,
SED INTENDI EXPERIANTUR LUMINIS RADIOS

Niels Stensen, le brillant élève de son frère Thomas, a quitté Copenhague et est descendu jusqu'à Florence (→ Nicolas Steno !)

Niels Stensen
Nicolas Steno



Niels Stensen

Nicolas Steno

Danois > Italien

Sur les solides
(i.e. Cristaux)

1669

à Florence !



Niels Stensen

Nicolas Steno

Danois > Italien

Sur les solides
(i.e. Cristaux)

1669

à Florence !



Beatus N. Steno

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Fier d'être danois : ATQUE IN SEPTENTRIONE NON REMITTI FRIGORE,
SED INTENDI EXPERIANTUR LUMINIS RADIOS

Niels Stensen, le brillant élève de son frère Thomas, a quitté Copenhague et est descendu jusqu'à Florence (→ Nicolas Steno !)

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Fier d'être danois : ATQUE IN SEPTENTRIONE NON REMITTI FRIGORE,
SED INTENDI EXPERIANTUR LUMINIS RADIOS

Niels Stensen, le brillant élève de son frère Thomas, a quitté Copenhague et est descendu jusqu'à Florence (→ Nicolas Steno !)

Le Danemark a été sévèrement battu par la Suède (Guerre de Trente Ans 18-48)

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiacastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Fier d'être danois : ATQUE IN SEPTENTRIONE NON REMITTI FRIGORE,
SED INTENDI EXPERIANTUR LUMINIS RADIOS

Niels Stensen, le brillant élève de son frère Thomas, a quitté Copenhague et est descendu jusqu'à Florence (→ Nicolas Steno !)

Le Danemark a été sévèrement battu par la Suède (Guerre de Trente Ans 18-48)

Quelle chance pour Erasmus de recevoir ces cristaux d'Islande et de découvrir des phénomènes aussi originaux !

(et en optique, outre l'astronomie d'Ole Christensen Rømer)

Erasmus Bartholin 1669 Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici

Erasmus Bartholin Professeur polymathe danois (1625-1698)

Fier d'être danois : ATQUE IN SEPTENTRIONE NON REMITTI FRIGORE,
SED INTENDI EXPERIANTUR LUMINIS RADIOS

Niels Stensen, le brillant élève de son frère Thomas, a quitté Copenhague et est descendu jusqu'à Florence (→ Nicolas Steno !)

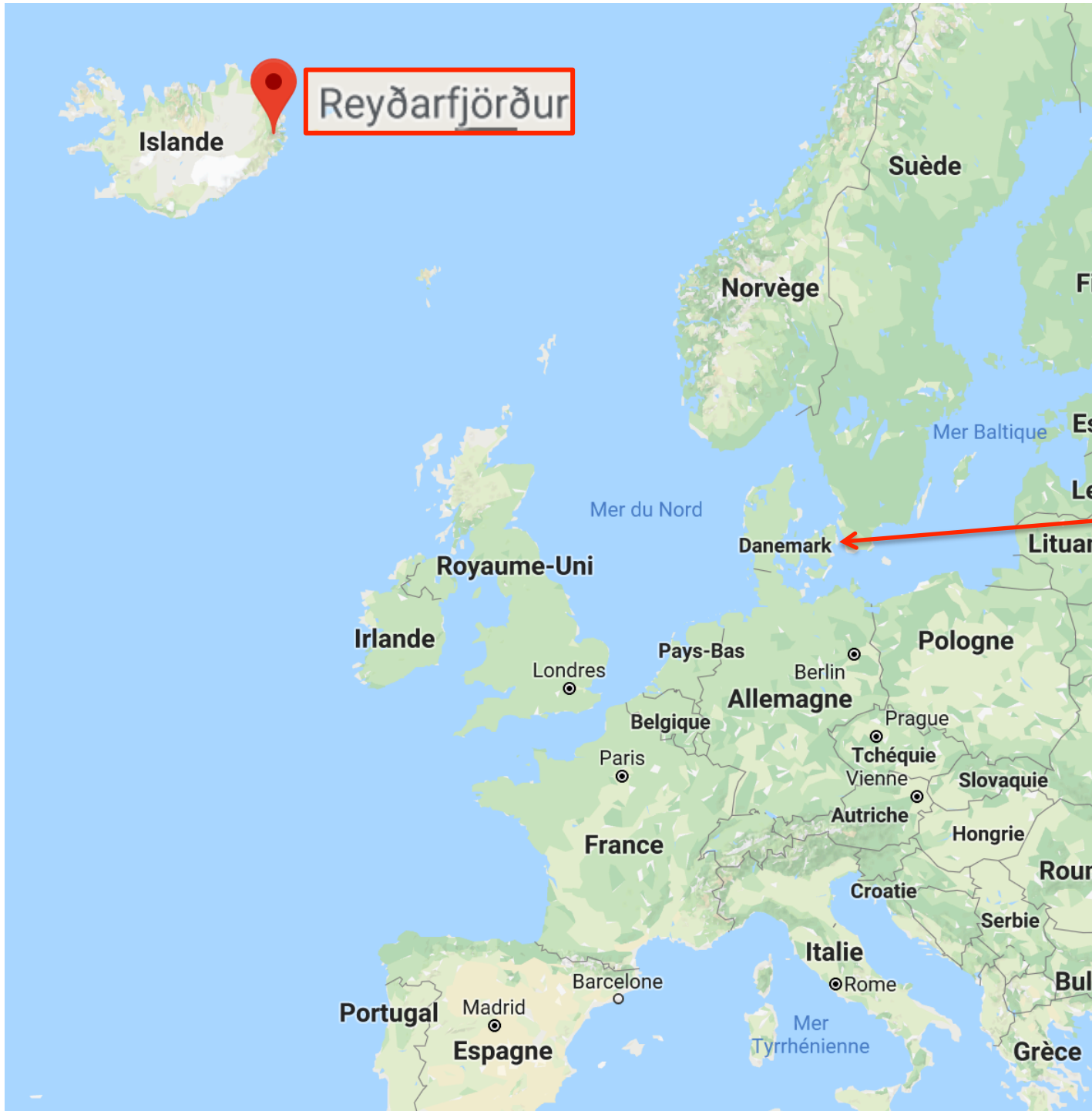
Le Danemark a été sévèrement battu par la Suède (Guerre de Trente Ans 18-48)

Quelle chance pour Erasmus de recevoir ces cristaux d'Islande et de découvrir des phénomènes aussi originaux !

(et en optique, outre l'astronomie d'Ole Christensen Rømer)

L'Islande appartenait au Danemark.

Le beau-père de son frère Thomas était maire de Reydarfjörður, où ces cristaux furent trouvés.



Copenhagen

Fier d'être danois :

**UN SPECTACLE ENTIÈREMENT NOUVEAU SUR TERRE
QUE LA GRÈCE NE POUVAIT DEVINER
QUI INONDE LES TERRES DU NORD**

Fier d'être danois :

**UN SPECTACLE ENTIÈREMENT NOUVEAU SUR TERRE
QUE LA GRÈCE NE POUVAIT DEVINER
QUI INONDE LES TERRES DU NORD**

En un mot, comme en cent :

Le cristal biréfringent d'Islande

ERASMI BARTHOLINI
EXPERIMENTA
CRYSTALLI ISLANDICI
DISDIACLASTICI
Quibus mira & insolita
REFRACTIO
detegitur.



HAFNIÆ,
Sumptibus DANIELIS PAULLI Reg. Bibl.

ERASMI BARTHOLINI
EXPERIMENTA
CRYSTALLI ISLANDICI
DISDIACLASTICI

DISDIACLASTIQUE

Quibus mira & insolita
REFRACTIO
detegitur.



HAFNIÆ,
Sumptibus DANIELIS PAULLI Reg. Bibl.

ERASMI BARTHOLINI
EXPERIMENTA
CRYSTALLI ISLANDICI
DISDIACLASTICI
Quibus mira & insolita
REFRACTIO
detegitur.

DISDIACLASTIQUE

(χλάσις : fracture)



HAFNIÆ,
Sumptibus DANIELIS PAULLI Reg. Bibl.

ERASMI BARTHOLINI
EXPERIMENTA
CRYSTALLI ISLANDICI
DISDIACLASTICI
Quibus mira & insolita
REFRACTIO
detegitur.

DISDIACLASTIQUE

(χλάσις : fracture)



HAFNIÆ,
Sumptibus DANIELIS PAULLI Reg. Bibl.

Hujus cristalli examini cum ulterius incumberem, mirum & insolitum apparuit Phænomenon, quo objecta per id conspecta, non sicuti in aliis corporibus pellucidis, simplici imagine refracta exhiberentur, sed **Dupla**.

(E. Bartholin, dans son expérience VII)

Hujus cristalli examini cum ulterius incumberem, mirum & insolitum apparuit Phænomenon, qvo objecta per id conspecta, non sicuti in aliis corporibus pellucidis, simplici imagine refracta exhiberentur, sed **Dupla**.

Lorsque j'examinai plus longuement ce cristal, un Phénomène merveilleux et insolite apparut, l'image des objets vus à travers celui-ci n'était pas unique comme avec les corps transparents ordinaires, mais **Double**.

(E. Bartholin, dans son expérience VII)

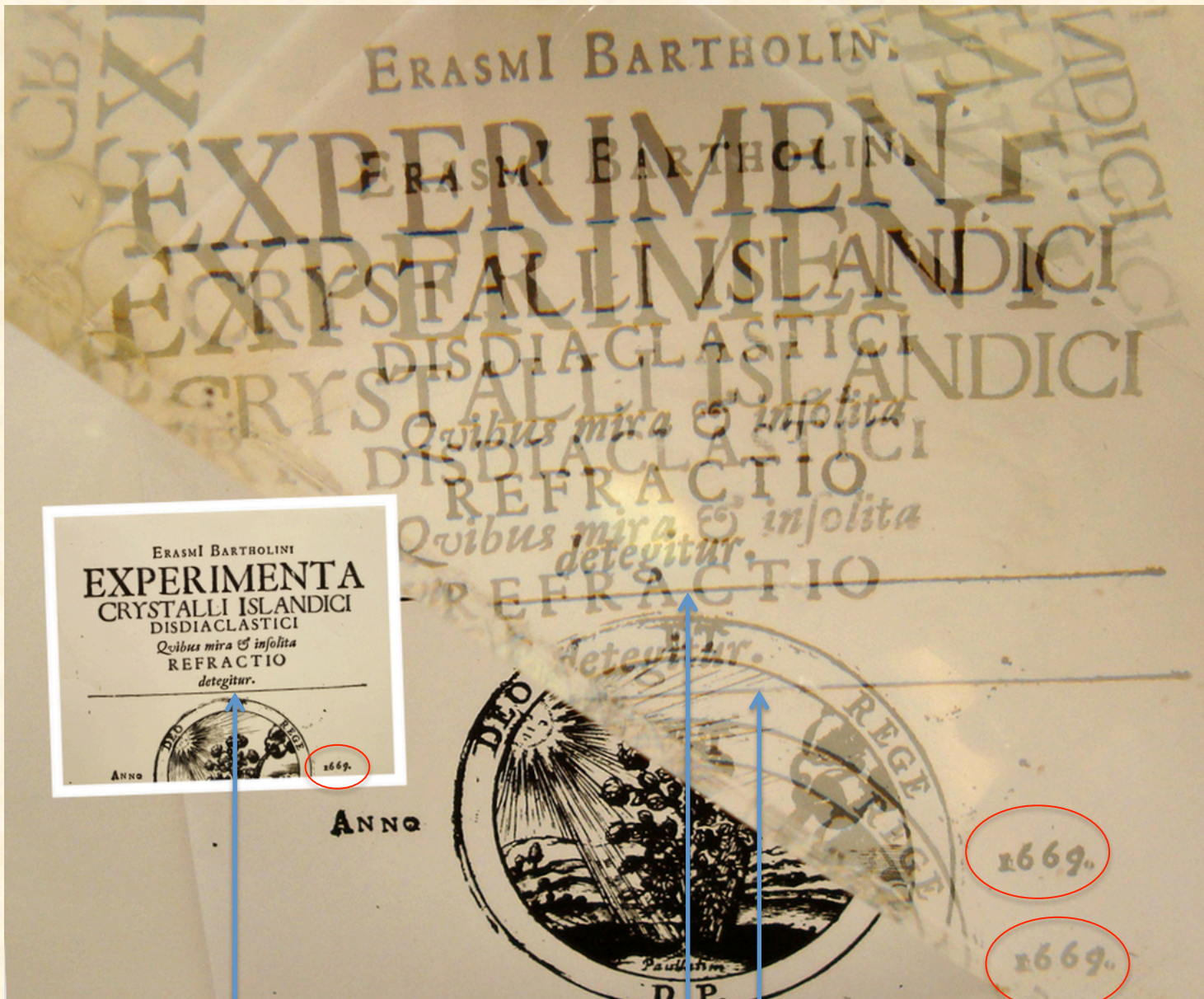


Photo OHD & Ph. Laviaille à l'X

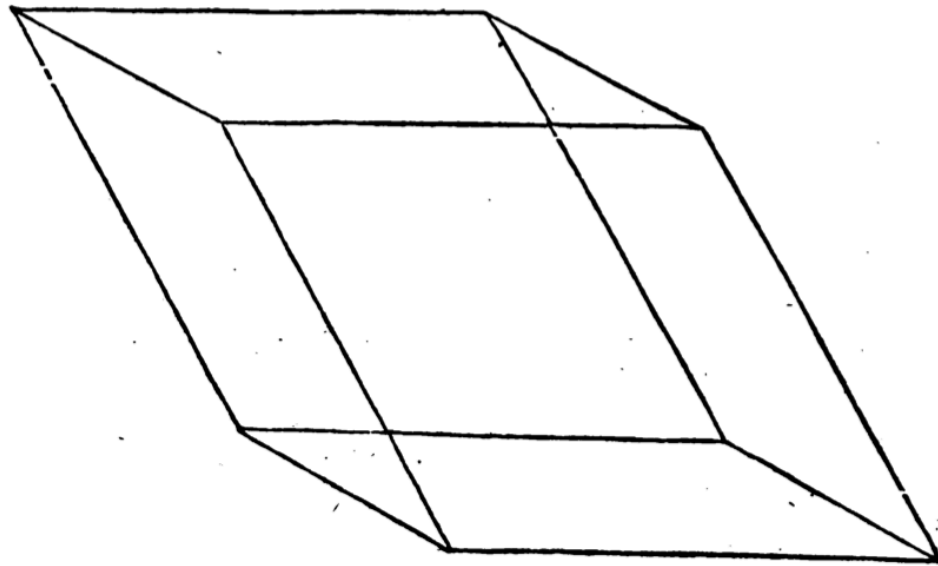
Une ligne

Deux lignes

sed Dupla

D'abord, il y a la forme :

PRincipio, non minus jucunda mihi fuit eximia atqve rara corporis hujus figura, exterius conspicua, qvàm olim vel Nivis, vel Salium, vel

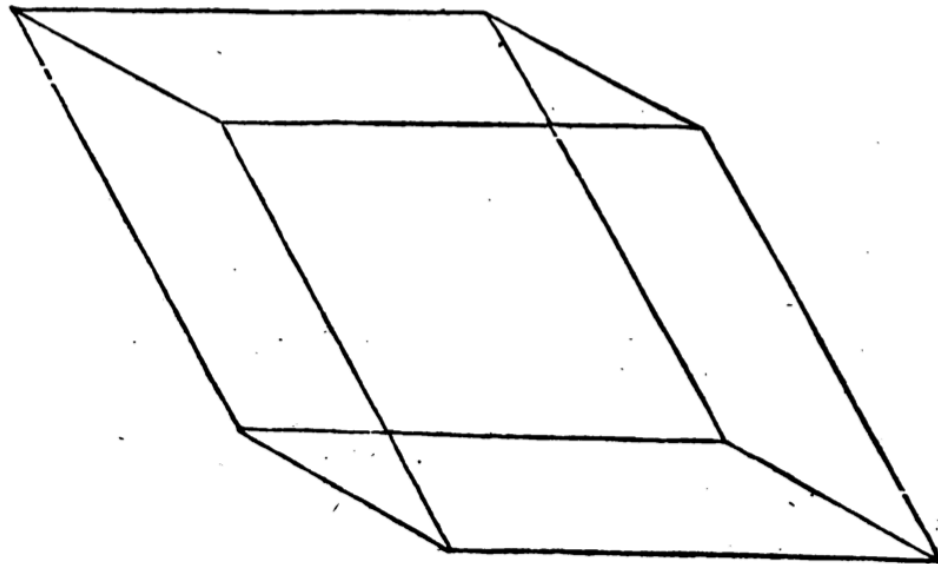


lapidum aliorum & cryftallorum: qvippe qua-

D'abord, il y a la forme :

PRincipio, non minus jucunda mihi fuit eximia atque rara corporis hujus figura, exterius conspicua, quam olim vel Nivis, vel Salium, vel

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides



le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.

(E. Bartholin, dans son expérience I)

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboïdes

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.
Et ce n'est pas seulement l'ensemble du corps qui montre un tel aspect,

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.

Et ce n'est pas seulement l'ensemble du corps qui montre un tel aspect, mais il le conserve en tous ses morceaux, si on le casse soigneusement.

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.

Et ce n'est pas seulement l'ensemble du corps qui montre un tel aspect, mais il le conserve en tous ses morceaux, si on le casse soigneusement.

C'est dans son Expérience I

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.
Et ce n'est pas seulement l'ensemble du corps qui montre un tel aspect,
mais il le conserve en tous ses morceaux, si on le casse soigneusement.

C'est dans son Expérience I

Dans son Expérience III :

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.
Et ce n'est pas seulement l'ensemble du corps qui montre un tel aspect,
mais il le conserve en tous ses morceaux, si on le casse soigneusement.

C'est dans son Expérience I

Dans son Expérience III :

À la différence du talc qui se réduit en lamelle, il [le cristal Islandais] se réduit, à l'aide d'un mortier, selon des zones de rupture, en petits morceaux ayant même aspect en long et en large.

totum corpus repræsentet Prisma vel Rhombicum, vel Rhomboides

le corps tout entier représente un Prisme Rhombique ou Rhomboïde.
Et ce n'est pas seulement l'ensemble du corps qui montre un tel aspect,
mais il le conserve en tous ses morceaux, si on le casse soigneusement.

C'est dans son Expérience I

Dans son Expérience III :

À la différence du talc qui se réduit en lamelle, il [le cristal Islandais] se réduit, à l'aide d'un mortier, selon des zones de rupture, en petits morceaux ayant même aspect en long et en large.

René-Just Haüy n'a jamais fait mention de ces observations de Bartholin !!

René-Just Haüy

1743-1822



Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)



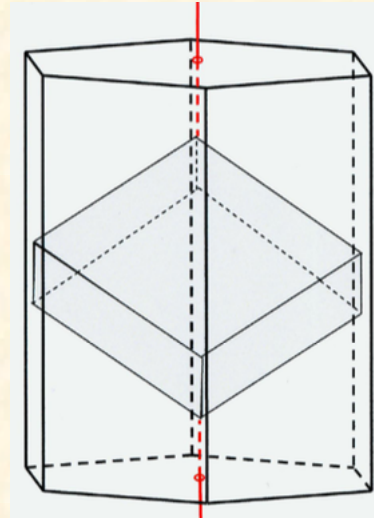
prisme hexaèdre régulier
de chaux carbonatée

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

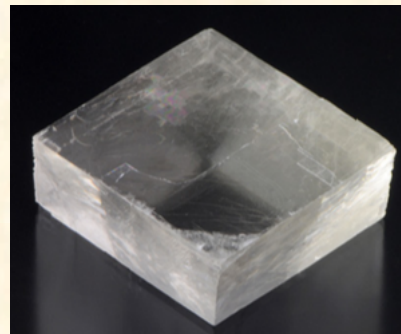
Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)



prisme hexaèdre régulier
de chaux carbonatée



prisme hexaèdre régulier
et son noyau rhomboïdal



noyau rhomboïdal

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

C'est Georges Cuvier qui parlera d'« heureuse maladresse »

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

C'est Georges Cuvier qui parlera d'« heureuse maladresse » en 1823, Éloge historique de M. Haüy, lu à l'Acad. royale des sciences.

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

C'est Georges Cuvier qui parlera d'« heureuse maladresse » en 1823, Éloge historique de M. Haüy, lu à l'Acad. royale des sciences.

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

C'est Georges Cuvier qui parlera d'« heureuse maladresse » en 1823, Éloge historique de M. Haüy, lu à l'Acad. royale des sciences.

O felix culpa, quae talem ac tantum meruit habere redemptorem !

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

C'est Georges Cuvier qui parlera d'« heureuse maladresse » en 1823, Éloge historique de M. Haüy, lu à l'Acad. royale des sciences.

O felix culpa, quae talem ac tantum meruit habere redemptorem !
Heureuse faute, qui a mérité un si grand rédempteur !

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de chaux carbonatée] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Il ne s'agissait donc pas d'une maladresse !

C'est Georges Cuvier qui parlera d'« heureuse maladresse » en 1823, Éloge historique de M. Haüy, lu à l'Acad. royale des sciences.

O felix culpa, quae talem ac tantum meruit habere redemptorem !
Heureuse faute, qui a mérité un si grand rédempteur !

Saint Augustin – Saint Ambroise de Milan, IV^{ème} siècle. 68

(...) un cristal [prisme hexaèdre régulier de **chaux carbonatée**] que le citoyen Defrance avoit eu la complaisance de me donner au moment où il venoit de se détacher d'un groupe que cet amateur éclairé me montrait, et qui faisoit partie de sa collection minéralogique. Le prisme avoit une seule fracture à l'endroit d'une des arêtes situées autour de la base par laquelle il avoit adhéré au reste du groupe. Au lieu de le placer dans ma collection alors naissante, je me mis à essayer de le diviser dans d'autres sens; et je parvins, après quelques tâtonnements, à extraire son noyau rhomboïdal, ce qui excita en moi un mouvement de surprise, mêlé à l'espérance de ne point en rester à ce premier pas.

Haüy, Traité de minéralogie 1801 (C^{EN}. HAÜY)

Christiaan Huygens

Christiaan Huygens

1629-1695

Néerlandais - Paris



Christiaan Huygens

1629-1695

Néerlandais - Paris

En 1671
à Paris...



Christiaan Huygens

1629-1695

Néerlandais - Paris

En 1671

à Paris...

la lumière traverse
des cristaux d'Islande



Christiaan Huygens

1629-1695

Néerlandais - Paris

En 1671

à Paris...

la lumière traverse
des cristaux d'Islande

(chaux carbonatée en rhomboèdres)



Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

Quadri-réfraction (à la Christiaan Huygens)

Cristal calcite
(épais 11 cm)

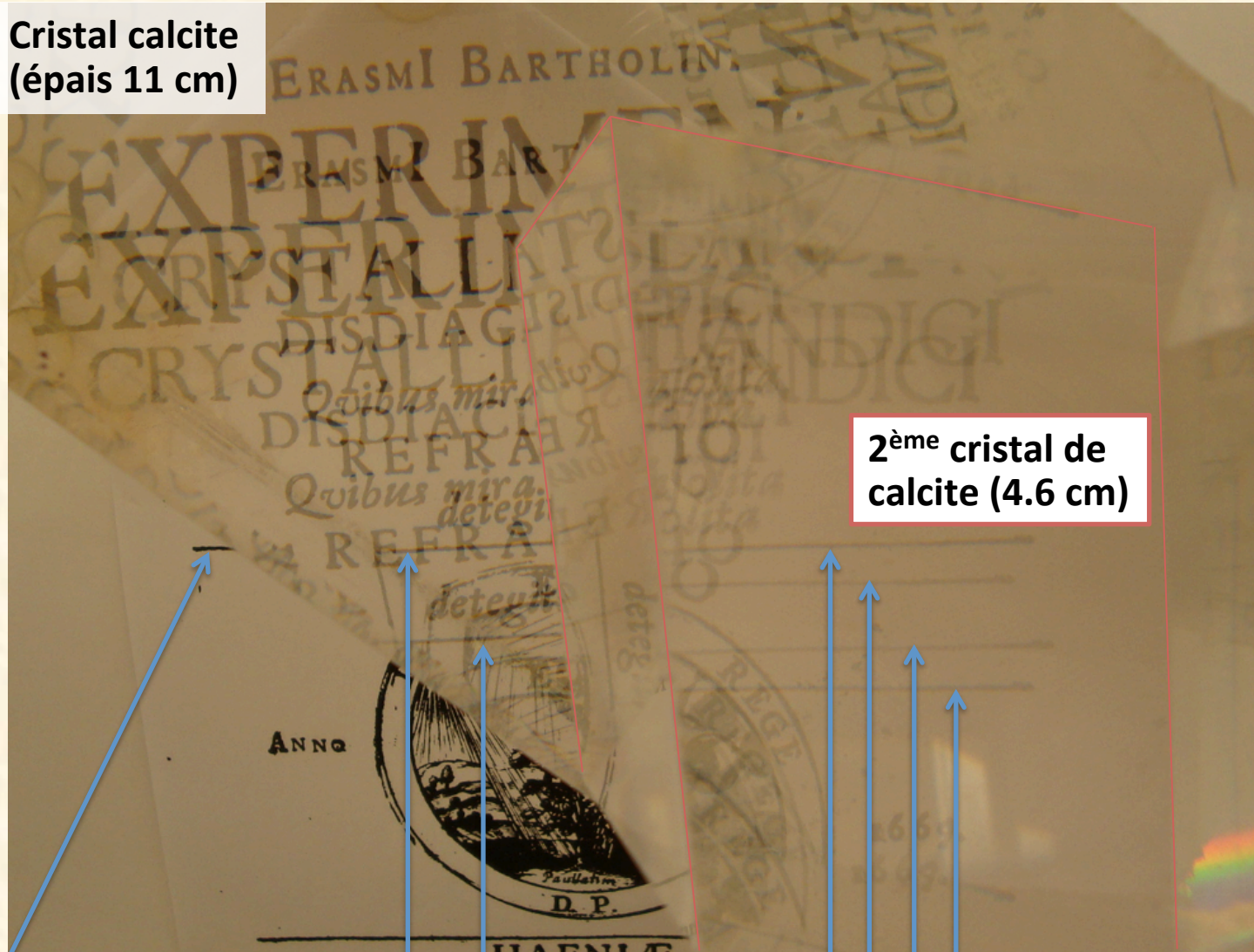


Photo OHD. Collections anciennes de l'X

Une ligne

Deux lignes

Quatre lignes

Photo OHD 2014

Le texte (latin) : Érasme Bartholin ses expériences avec un cristal islandais bi-réfringent

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

C.H. parlera plus tard de "phénomène merveilleux" (dans son Traité de la lumière)

TRAITE
DE LA LVMIERE.

Où sont expliquées

Les causes de ce qui luy arrive

Dans la REFLEXION, & dans la
REFRACTION.

Et particulièrement

Dans l'etrange REFRACTION

DV CRISTAL D'ISLANDE,

Par C. H. D. Z.

Avec un Discours de la Cause

DE LA PESANTEUR.



A L E I D E,

Chez PIERRE VANDER A A, Marchand Libraire.
M D C X C.

TRAITE
DE LA LVMIERE

publié en 1690 83

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

C.H. parlera plus tard de "phénomène merveilleux" (dans son Traité de la lumière)

« mais pour dire commence cela se fait, je n'ai rien trouvé qui me satisfasse »

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

C.H. parlera plus tard de "phénomène merveilleux" (dans son Traité de la lumière)

« mais pour dire commence cela se fait, je n'ai rien trouvé qui me satisfasse »

C.H. souffre de dépressions chroniques. En 1681, il retourne à La Haye.

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

C.H. parlera plus tard de "phénomène merveilleux" (dans son Traité de la lumière)

« mais pour dire commence cela se fait, je n'ai rien trouvé qui me satisfasse »

C.H. souffre de dépressions chroniques. En 1681, il retourne à La Haye.

Colbert, qui protégeait Huygens (e.g. durant la Guerre de Hollande 1672-1678), décède en 1683.

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

C.H. parlera plus tard de “phénomène merveilleux” (dans son Traité de la lumière)

« mais pour dire commence cela se fait, je n'ai rien trouvé qui me satisfasse »

C.H. souffre de dépressions chroniques. En 1681, il retourne à La Haye.

Colbert, qui protégeait Huygens (e.g. durant la Guerre de Hollande 1672-1678), décède en 1683.

L'Édit de Nantes, qui protégeait les Protestants en France, est révoqué en 1685.

Christiaan Huygens Savant néerlandais (1629-1695)

Membre éminent de l'Académie Royale des Sciences de Paris, depuis 1666

Jean Picard lui rapporte des spaths d'Island de Bartholin en 1671

C.H. répète immédiatement les expériences de Bartholin, et en essaye d'autres...

Premières notes écrites en 1672 ou 1673 : « quatre images »

C.H. parlera plus tard de “phénomène merveilleux” (dans son Traité de la lumière)

« mais pour dire commence cela se fait, je n'ai rien trouvé qui me satisfasse »

C.H. souffre de dépressions chroniques. En 1681, il retourne à La Haye.

Colbert, qui protégeait Huygens (e.g. durant la Guerre de Hollande 1672-1678), décède en 1683.

L'Édit de Nantes, qui protégeait les Protestants en France, est révoqué en 1685.

Huygens ne retournera jamais à Paris. Il décède en 1695.

Les cristaux pour définir la lumière, et vice-versa

Erasmus Bartholin	1669	Experimenta Crystalli Islandici Disdiacastici
Christiaan Huygens	1673	Traité de la lumière (dès 1672/3, publié en 1690)
Étienne Malus	X1794 1808	Polarisation par réflexion (observée grâce à une calcite)
David Brewster		Angle de polarisation totale. Effet photoélastique
François Arago	X1803 1811	Polarisation colorée (Arago aidera A. Fresnel)
Jean-Baptiste Biot	X1794 1812	Rotation du plan de polarisation (par quartz hémihédre)
Augustin Fresnel	X1804 1815-9	Nature de la lumière (polarisée) : des ondes transverses !
William Nicol	1828	Le prisme de Nicol (avec deux calcite bien coupées)
William Thomson Lord Kelvin en 1886	1884	Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light = Baltimore Lectures, 1884 (+ ré-écritures en 1901-1903)

2014 Année Internationale de la Cristallographie

2015 Année Internationale de la Lumière

Les cristaux pour définir la lumière, et vice-versa

Erasmus Bartholin	1669	Experimenta Crystalli Islandici Disdiacastici
Christiaan Huygens	1673	Traité de la lumière (dès 1672/3, publié en 1690)
Étienne Malus	X1794 1808	Polarisation par réflexion (observée grâce à une calcite)
David Brewster		Angle de polarisation totale. Effet photoélastique
François Arago	X1803 1811	Polarisation colorée (Arago aidera A. Fresnel)
Jean-Baptiste Biot	X1794 1812	Rotation du plan de polarisation (par quartz hémicrist)
Augustin Fresnel	X1804 1815-9	Nature de la lumière (polarisée) : des ondes transverses !
William Nicol	1828	Le prisme de Nicol (avec deux calcite bien coupées)
William Thomson Lord Kelvin en 1886	1884	Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light = Baltimore Lectures, 1884 (+ ré-écritures en 1901-1903)
Laue, Knipping, Friedrich	1912	Diffraction des rayons X par les cristaux

2014 Année Internationale de la Cristallographie

2015 Année Internationale de la Lumière

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes étant périodiquement ordonnés dans les cristaux**

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
 - **Ces atomes étant périodiquement ordonnés dans les cristaux**
- + *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille**

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes étant périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

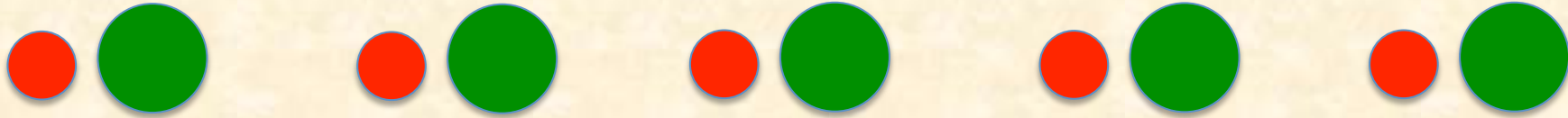
- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes étant périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

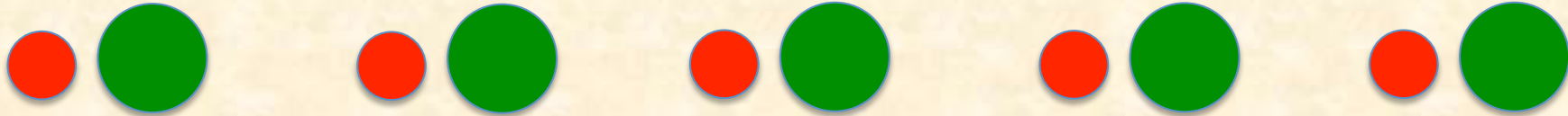
Le **NaCl** :

Le **NaCl** :



Des 'molécules' régulièrement disposées... ?

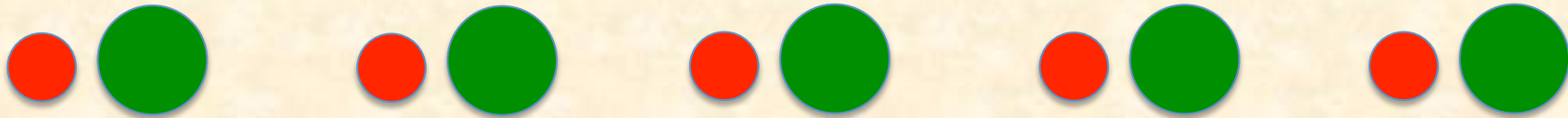
Le **NaCl** :



Des 'molécules' régulièrement disposées... ?

Ou bien...

Le **NaCl** :



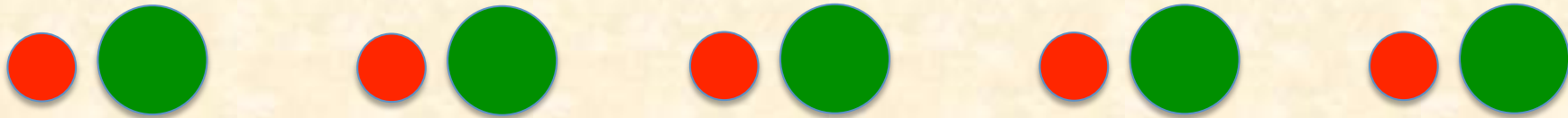
Des 'molécules' régulièrement disposées... ?

Ou bien...



Des atomes équidistants (motif : 0 et $\frac{1}{2}$) ?

Le **NaCl** :



Des 'molécules' régulièrement disposées... ?

Ou bien...



Des atomes équidistants (motif : 0 et $\frac{1}{2}$) ?

Marcel Brillouin fut fort heureux d'avoir la réponse grâce aux travaux des Bragg.

Mais il préférerait l'image moléculaire pour les CO_3 de CaCO_3 ...

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

**E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs
hypothèses-déductions-'vérification' sur motif des taches de
Laue ou les pics de Bragg. Caveat : loi de Friedel (1913)**

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

hypothèses-déductions-'vérification' sur motif des taches de Laue ou les pics de Bragg. Caveat : loi de Friedel (1913)

- **Les rayons X sont des ondes EM à $\lambda \approx$ dist. entre les atomes**

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

hypothèses-déductions-'vérification' sur motif des taches de Laue ou les pics de Bragg. Caveat : loi de Friedel (1913)

- **Les rayons X sont des ondes EM à $\lambda \approx$ dist. entre les atomes**

C'était beaucoup plus nouveau que la cristallographie !

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

hypothèses-déductions-'vérification' sur motif des taches de Laue ou les pics de Bragg. Caveat : loi de Friedel (1913)

- **Les rayons X sont des ondes EM à $\lambda \approx$ dist. entre les atomes**

C'était beaucoup plus nouveau que la cristallographie !

Ces rayons très énergétiques sont émis par les atomes

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

hypothèses-déductions-'vérification' sur motif des taches de Laue ou les pics de Bragg. Caveat : loi de Friedel (1913)

- **Les rayons X sont des ondes EM à $\lambda \approx$ dist. entre les atomes**

C'était beaucoup plus nouveau que la cristallographie !

Ces rayons très énergétiques sont émis par les atomes :

Spectroscopie optique → *Spectroscopie X* (Barkla dès 1904)

Le succès de l'expérience de *Laue, Friedrich et Knipping* 1912

confirme que :

- **La matière est faite d'atomes**
- **Ces atomes sont périodiquement ordonnés dans les cristaux**

+ *On peut* déterminer la position des atomes du motif dans la maille

E.g. NaCl, ZnS Pas si facile... essais-erreurs

hypothèses-déductions-'vérification' sur motif des taches de Laue ou les pics de Bragg. Caveat : loi de Friedel (1913)

- **Les rayons X sont des ondes EM à $\lambda \approx$ dist. entre les atomes**

C'était beaucoup plus nouveau que la cristallographie !

Ces rayons très énergétiques sont émis par les atomes :

Spectroscopie optique → *Spectroscopie X* (Barkla dès 1904)

Il faut pouvoir être précis sur les λ des X émis par les atomes

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de 1814 : les raies solaires

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de 1814 : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de 1814 : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en 1885

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Barkla (1877-1944), à partir de **1904**

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Barkla (1877-1944), à partir de **1904**

Observer, classifier Barkla **1911** : séries K et L

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Barkla (1877-1944), à partir de **1904**

Moseley (1887-1915), **1913-1914** (Les Bragg en avril 1913)

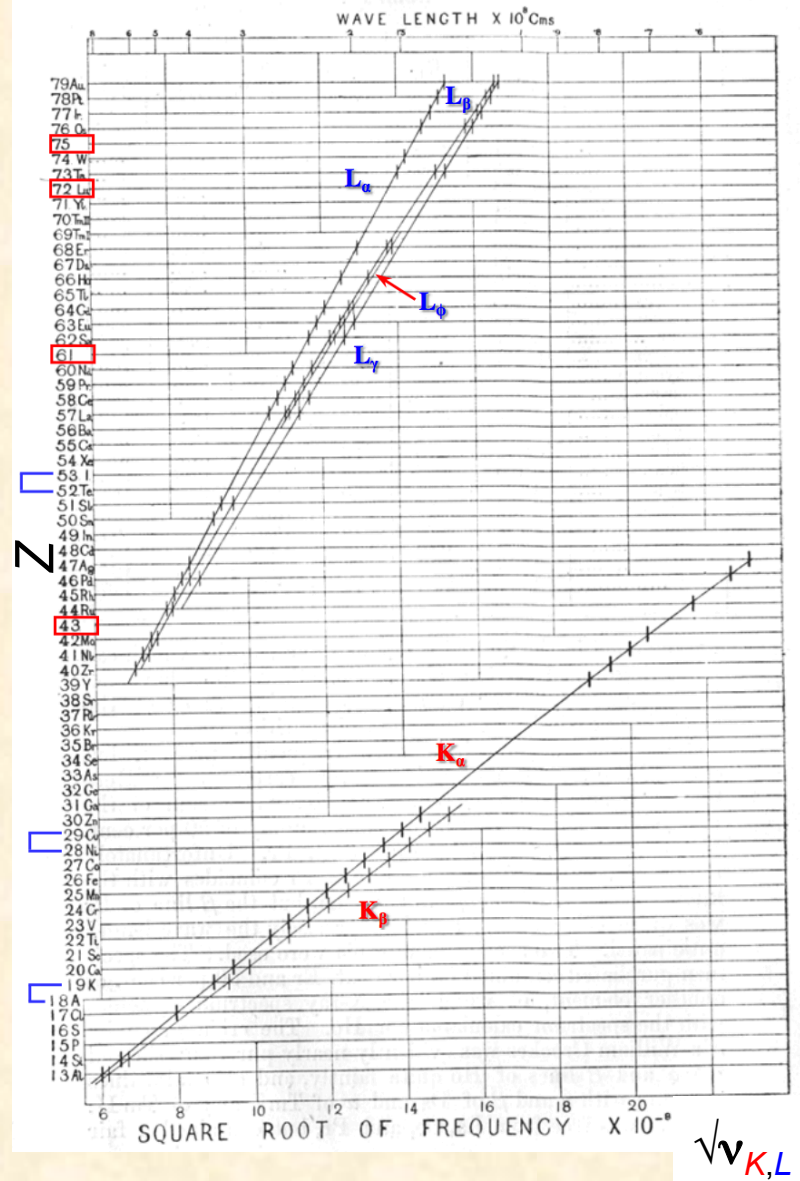
Observer, classier Barkla **1911** : séries K et L ; Moseley **1914**



Henry Moseley vers 1909

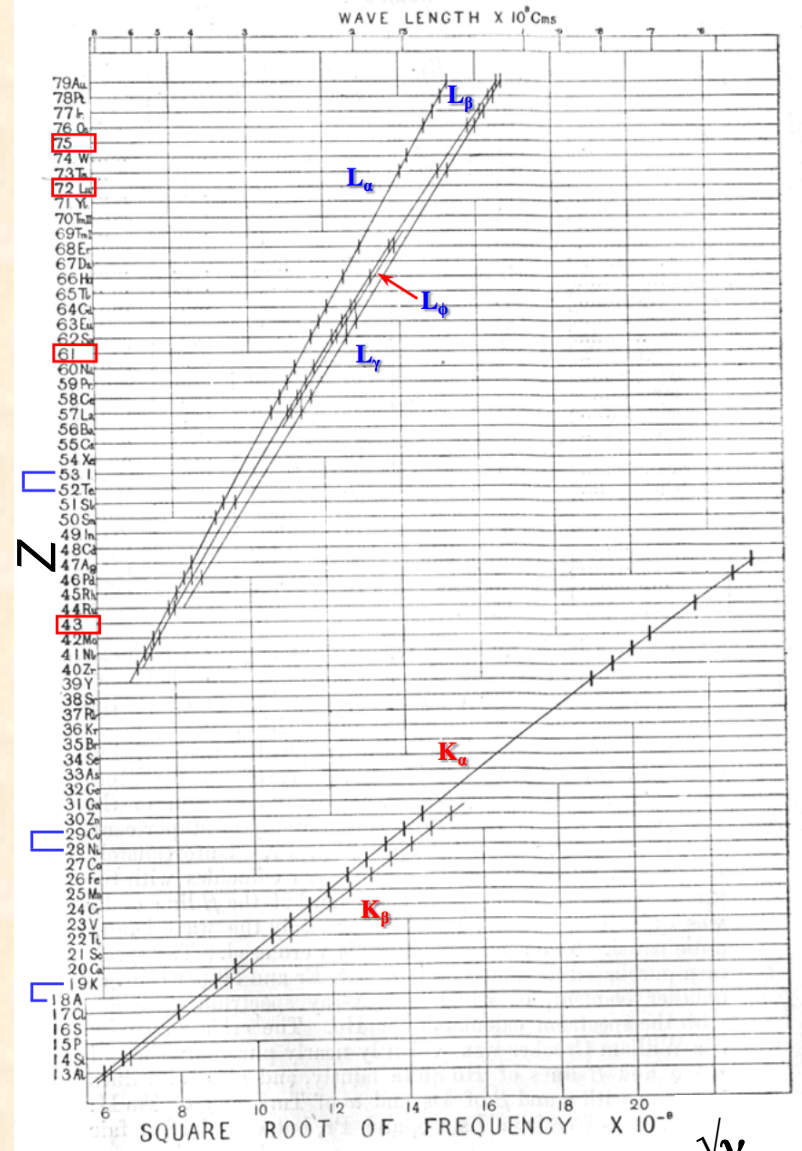


Henry Moseley vers 1909





Henry Moseley vers 1909

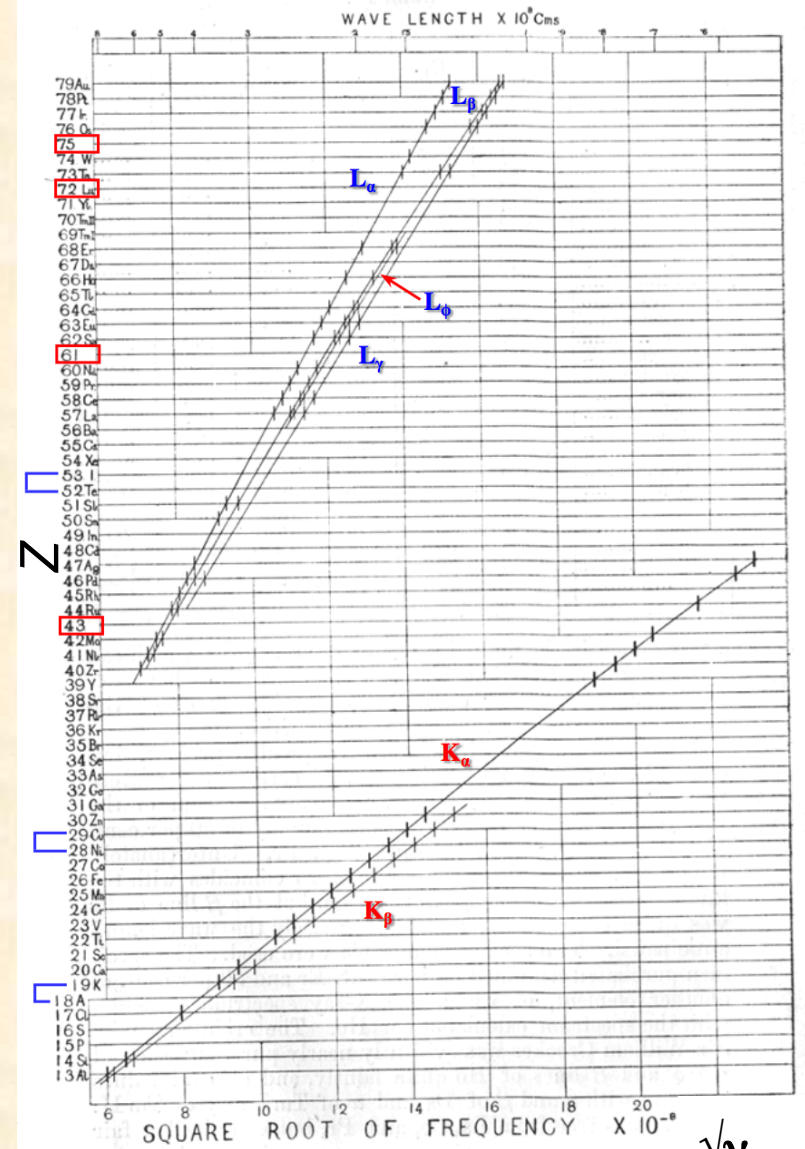


$$\sqrt{\nu_{K,L}} = a_{K,L} Z + b_{K,L}$$

$\sqrt{\nu_{K,L}}$

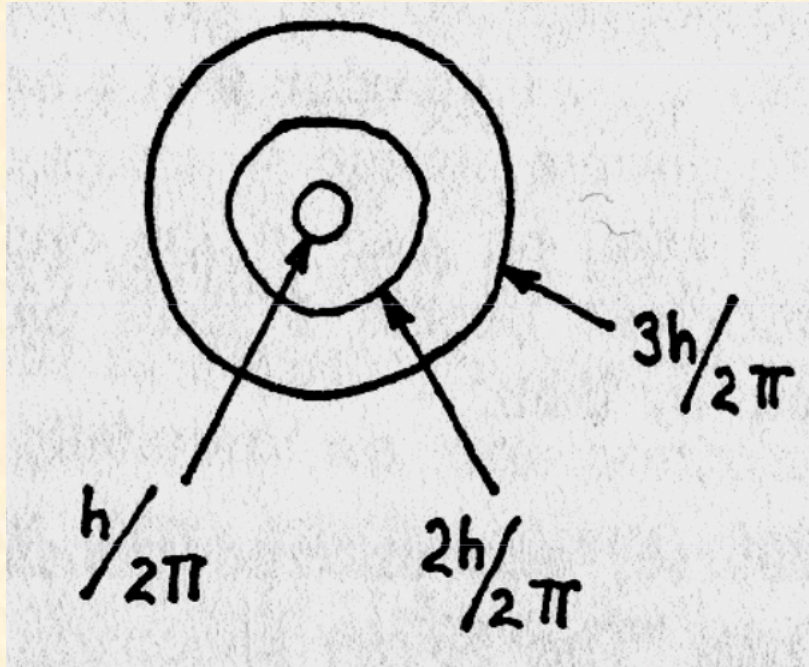


Henry Moseley vers 1909

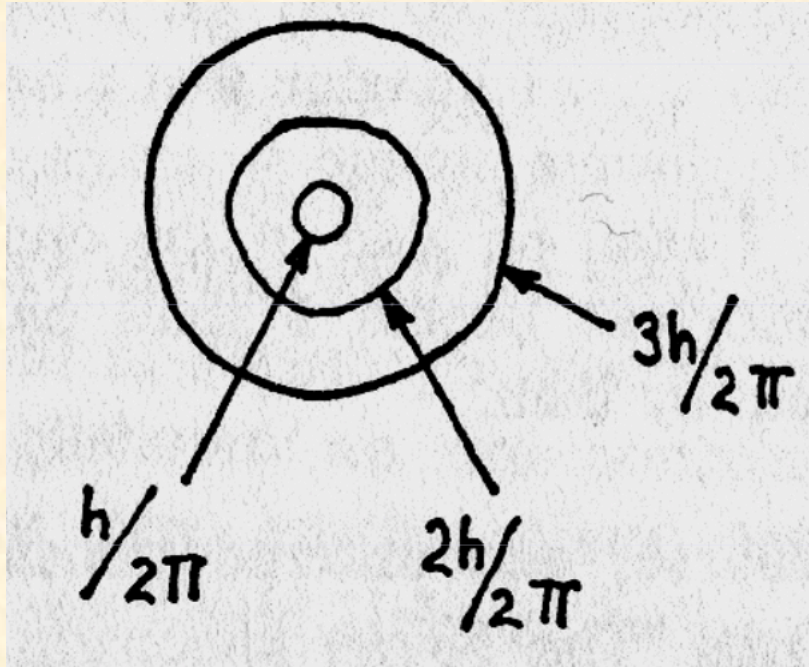


$$\sqrt{\nu_{K,L}} = a_{K,L} Z + b_{K,L}$$

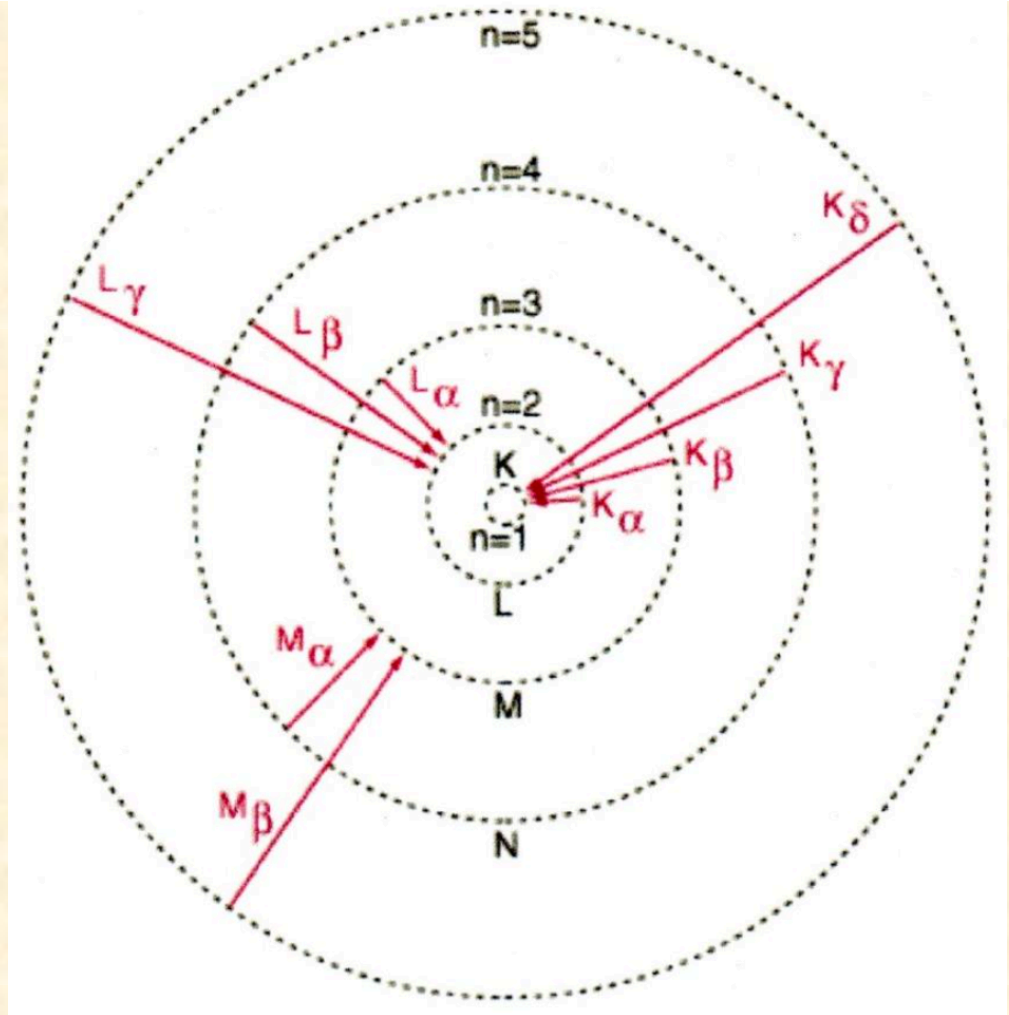
La formule de Moseley (1914)



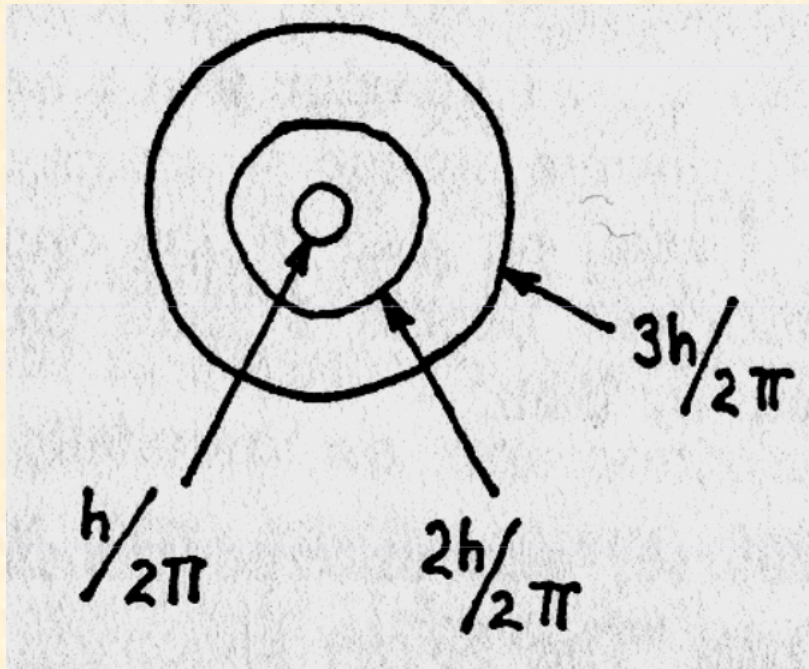
Dessin de Moseley à Bragg 1^{er} fév. 1914



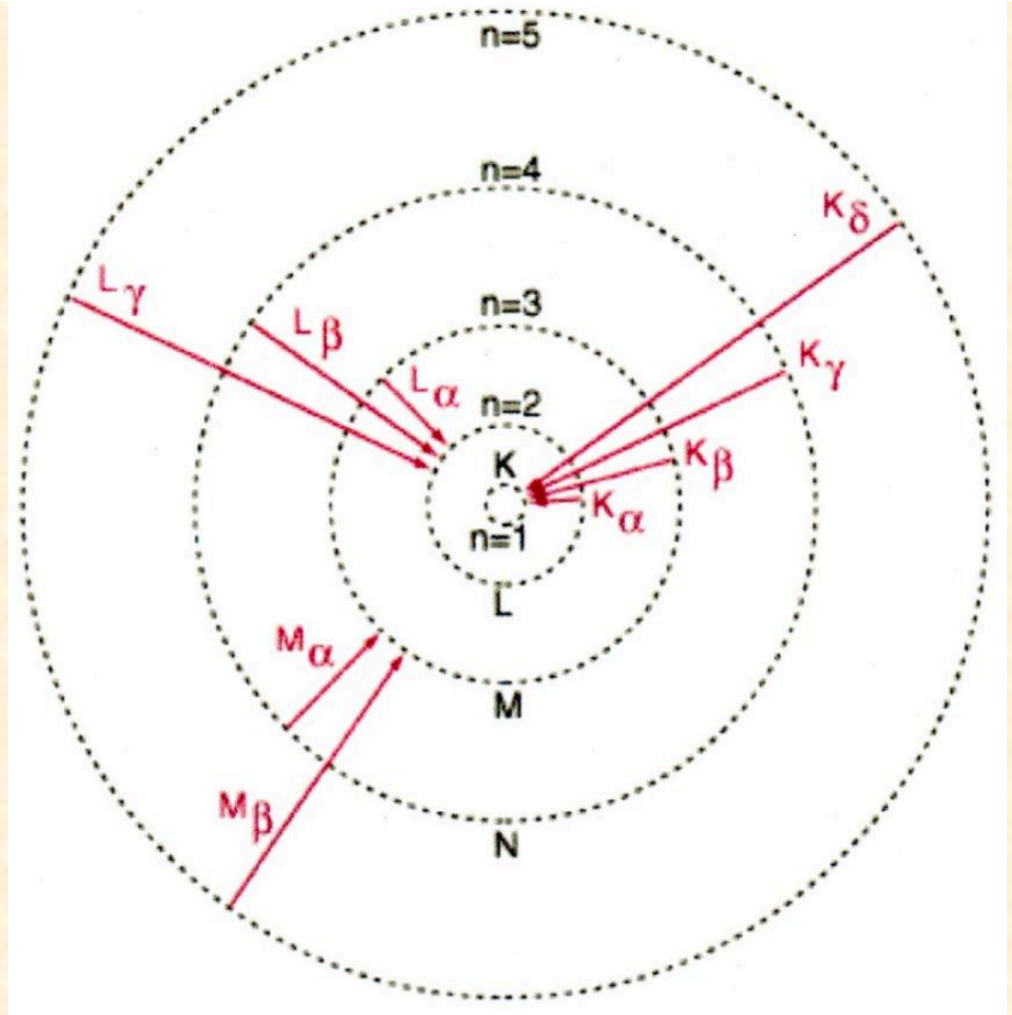
Dessin de Moseley à Bragg 1^{er} fév. 1914



(Les M ont été mesurés par K.M. Siegbahn)

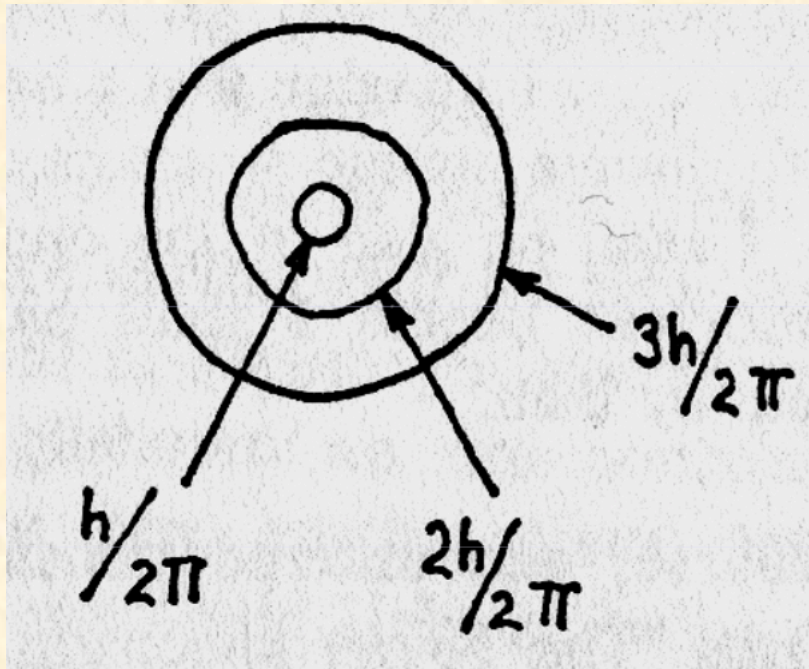


Dessin de Moseley à Bragg 1^{er} fév. 1914

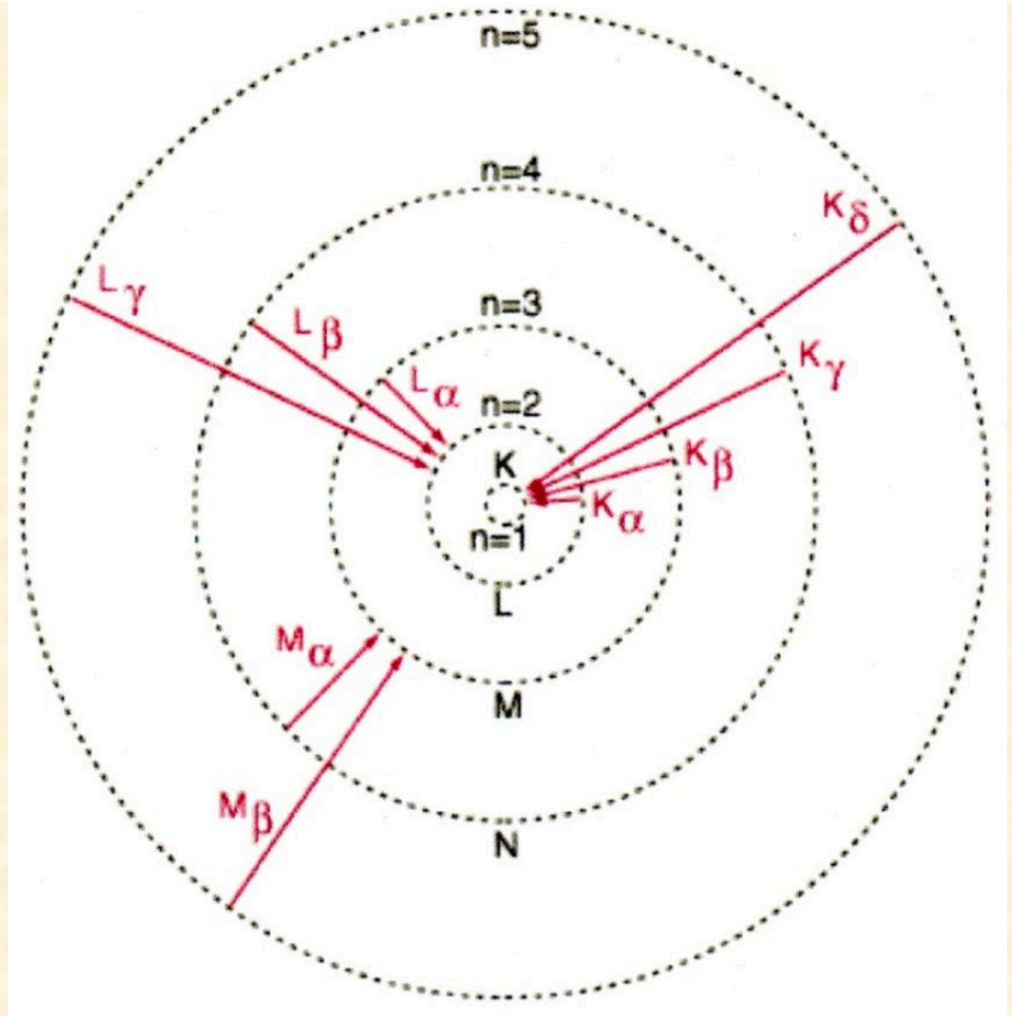


(Les M ont été mesurés par K.M. Siegbahn)

Spectroscopie atomique par les X

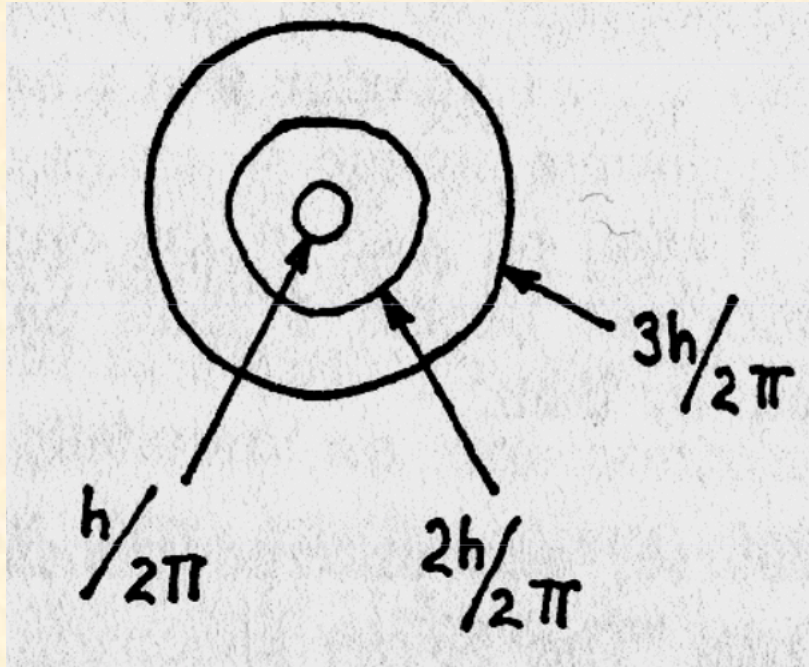


Dessin de Moseley à Bragg 1^{er} fév. 1914

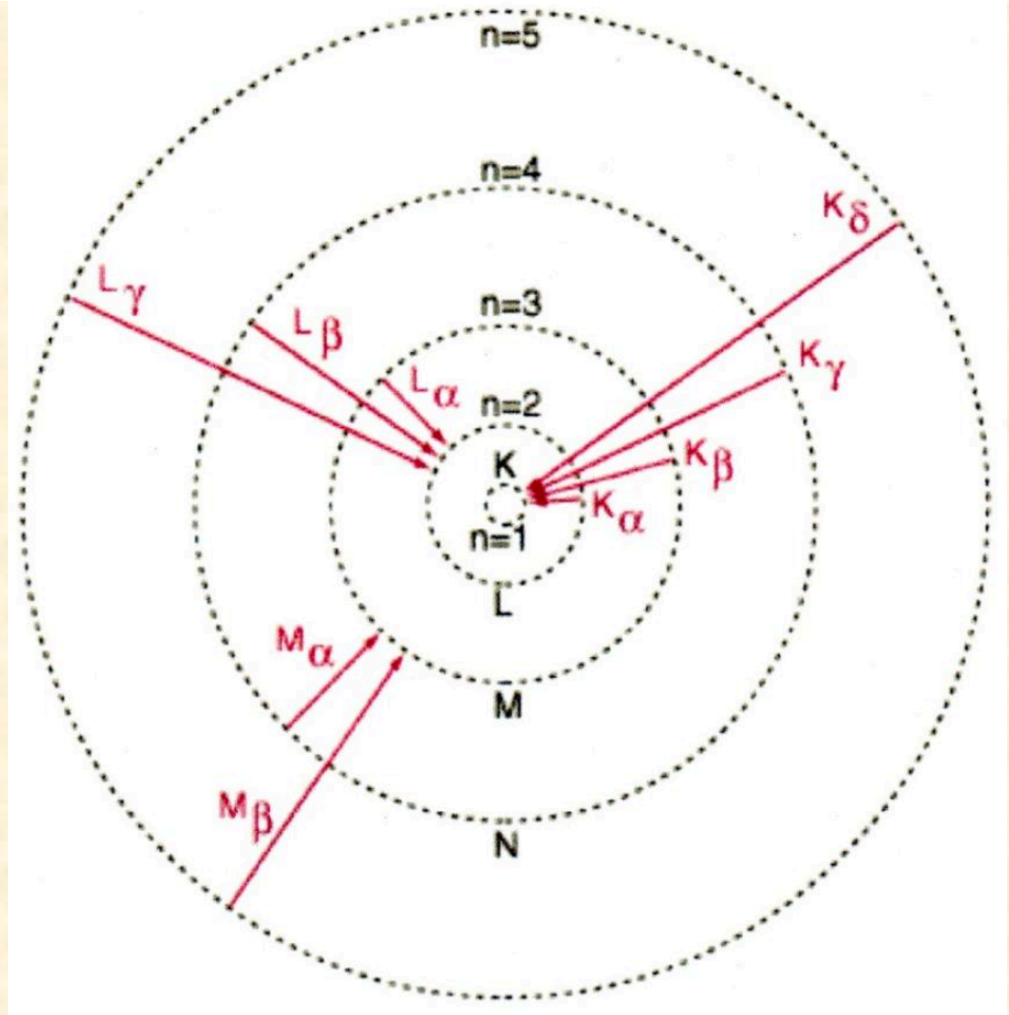


(Les M ont été mesurés par K.M. Siegbahn)

Spectroscopie atomique par les X
Mesurer des λ aussi précis que possible...



Dessin de Moseley à Bragg 1^{er} fév. 1914



(Les M ont été mesurés par K.M. Siegbahn)

Spectroscopie atomique par les X

Mesurer des λ aussi précis que possible...

$$\lambda_{K,L} \rightarrow \nu_{K,L} \rightarrow E_{K,L} \rightarrow \text{valider ou falsifier modèles d'atome}$$

**Henry Moseley : travaille à Manchester en 1913
part pour un colloque en Australie en mars 1914
s'engage lors de la déclaration de guerre
est envoyé aux Dardanelles
y décède comme beaucoup d'autres britanniques**



Erasmus Darwin
Robert Bragg

...

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Barkla (1877-1944), à partir de **1904**

Moseley (1887-1915), **1913-1914** (Les Bragg en avril 1913)

Siegbahn (1886-1978) Compton (1892-1962)

Observer, classifie Barkla **1911** : séries K et L ; Moseley **1914**

Mesurer des λ aussi précis que possible...

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Barkla (1877-1944), à partir de **1904**

Moseley (1887-1915), **1913-1914** (Les Bragg en avril 1913)

Siegbahn (1886-1978) Compton (1892-1962)

Observer, classifie Barkla **1911** : séries K et L ; Moseley **1914**

Mesurer des λ aussi précis que possible...

Très difficile pour les X par réseau plan classique ($n(X) \sim 1 \rightarrow \theta_c < 1^\circ$)

Spectroscopie optique (lumière visible)

Fraunhofer (1787-1826), à partir de **1814** : les raies solaires

Ångström (1814-1874), gaz, hydrogène et raies solaires

Balmer (1825-1898), formule empirique en **1885**

On observe et on classifie, avec des λ aussi précis que possible...

Il faut qualitatif *et* quantitatif

Anders Jonas Ångström mentionne difficultés des mètres étalons

Spectroscopie X

Barkla (1877-1944), à partir de **1904**

Moseley (1887-1915), **1913-1914** (Les Bragg en avril 1913)

Siegbahn (1886-1978) Compton (1892-1962)

Observer, classifier Barkla **1911** : séries K et L ; Moseley **1914**

Mesurer des λ aussi précis que possible...

Très difficile pour les X par réseau plan classique ($n(X) \sim 1 \rightarrow \theta_c < 1^\circ$)

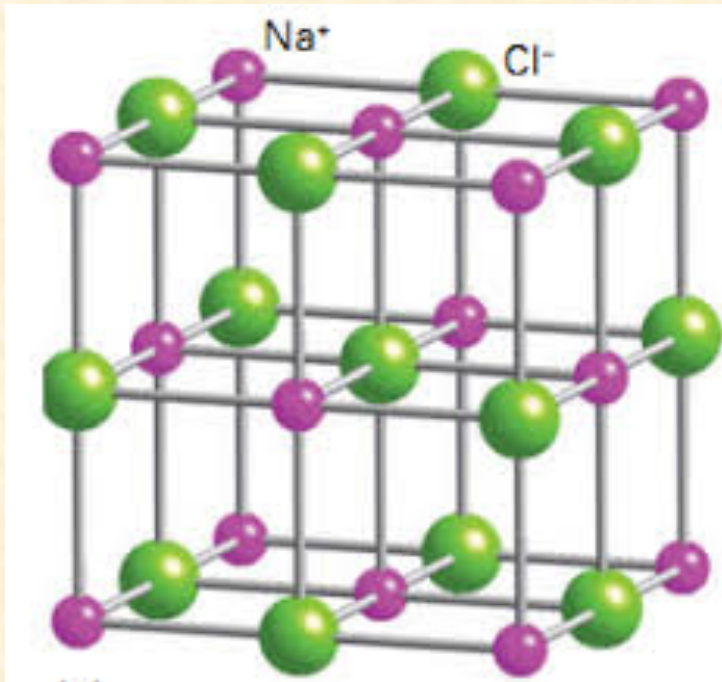
OK par réseau atomique cristallin Laue-Bragg : $2d \sin\theta_m / m \rightarrow \lambda$ 132

Mesurer des λ de rayons X aussi précisément que possible grâce à des cristaux (et l'équation de Bragg $m \lambda = 2d \sin\theta_m$)

Photo OHD



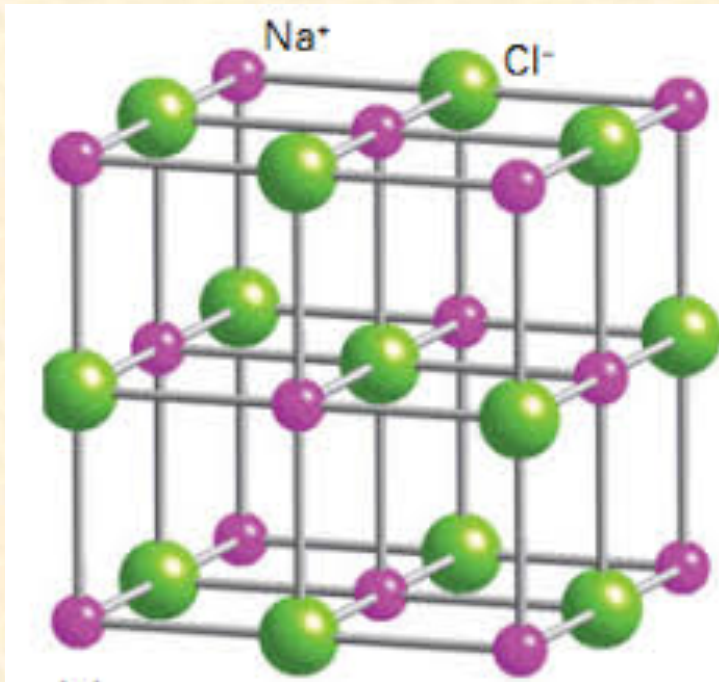
Cristaux de halite (Prague)



NaCl



Cristaux de halite (Prague)

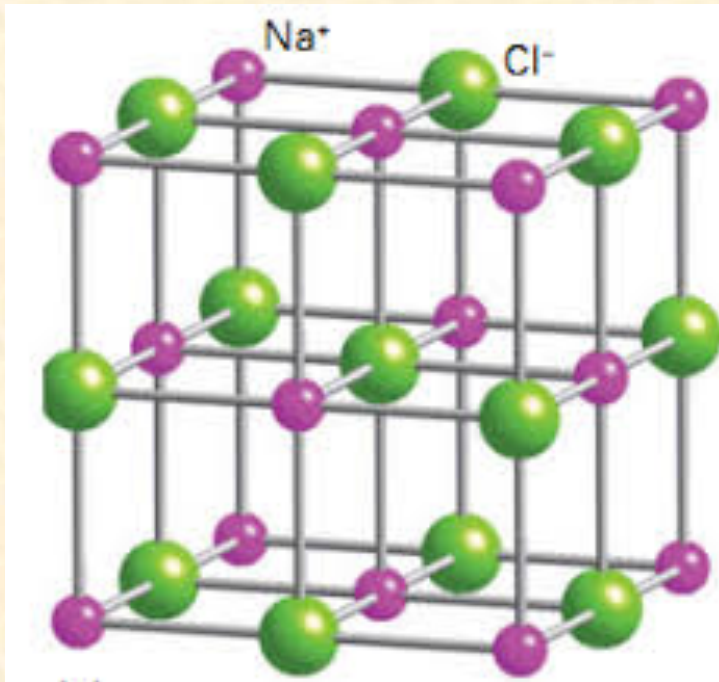


NaCl



Cristaux de halite (Prague)

Ne pas mesurer a grâce à l'équation de Bragg et un $\lambda(X)$

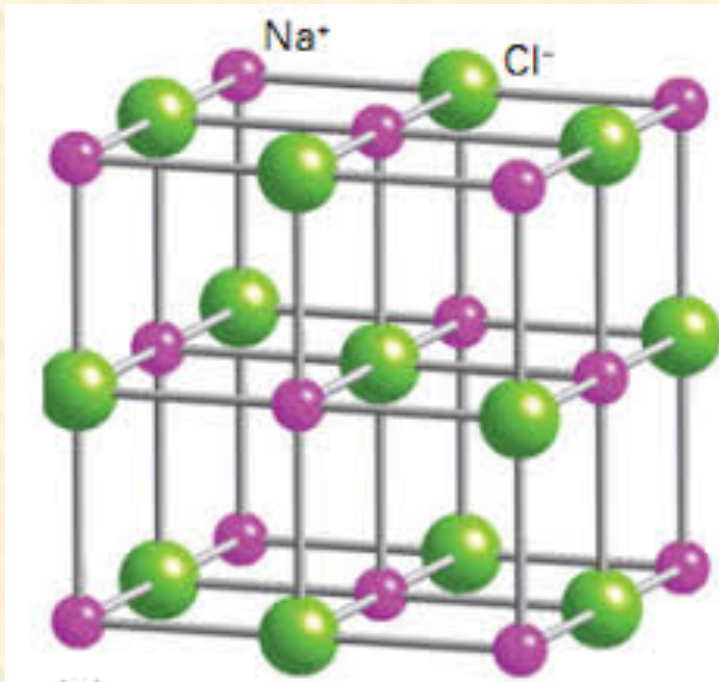


NaCl



Cristaux de halite (Prague)

Ne pas mesurer α grâce à l'équation de Bragg et un $\lambda(X)$
mais mesurer un $\lambda(X)$ à partir de α grâce à l'équation de Bragg

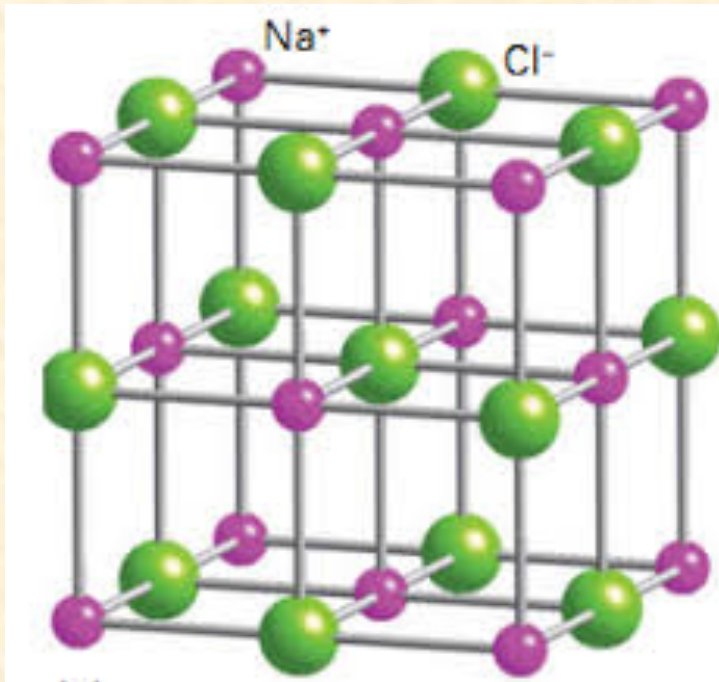


NaCl



Cristaux de halite (Prague)

Ne pas mesurer α grâce à l'équation de Bragg et un $\lambda(X)$
mais mesurer un $\lambda(X)$ à partir de α grâce à l'équation de Bragg
Être sûr de la structure (pas si évident, les Bragg : troisième essai)



NaCl



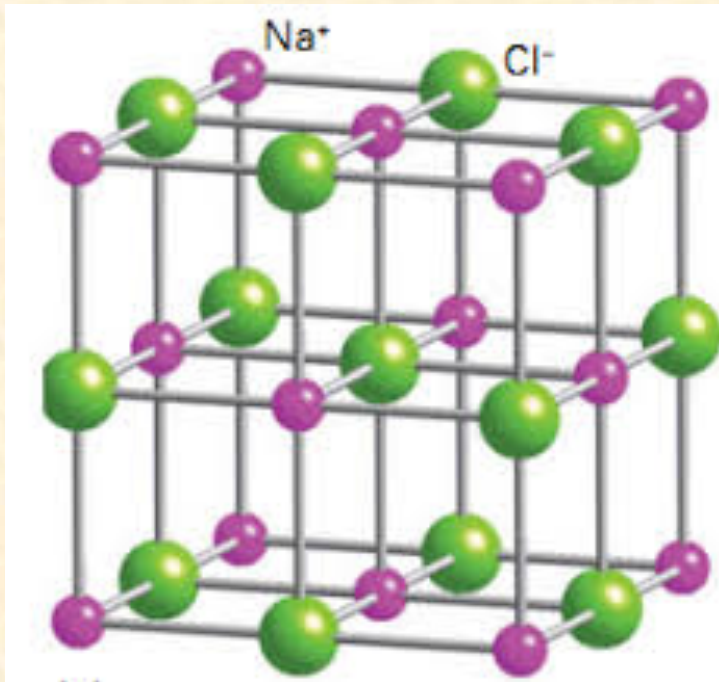
Cristaux de halite (Prague)

Ne pas mesurer a grâce à l'équation de Bragg et un $\lambda(X)$

mais mesurer un $\lambda(X)$ à partir de a grâce à l'équation de Bragg

Être sûr de la structure (pas si évident, les Bragg : troisième essai)

Être sûr de a



NaCl

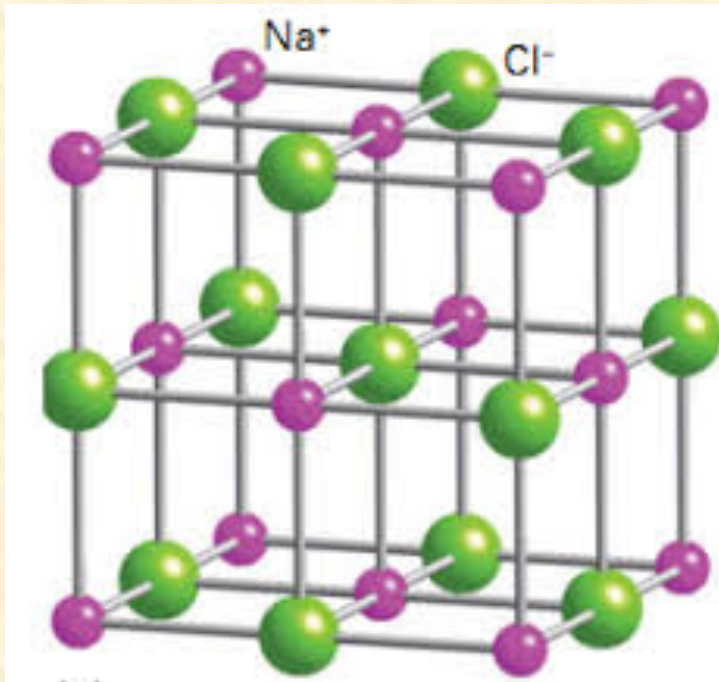
Bonne structure :

CFC à (Na, Cl) : $((0,0,0), (\frac{1}{2},0,0))$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2d_{(200)} = a/2 \\ \text{Le cube } a^3 \text{ a 4 NaCl} \end{array} \right.$$

$$\rho = \frac{4 (M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}}) / N_{\text{Avog}}}{a^3}$$

$$\Rightarrow d_{(200)} = \frac{1}{2} \left[\frac{4M_{\text{NaCl}}}{\rho N_{\text{Avog}}} \right]^{1/3}$$



NaCl

Bonne structure :

CFC à (Na, Cl) : $((0,0,0), (\frac{1}{2},0,0))$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2d_{(200)} = a/2 \\ \text{Le cube } a^3 \text{ a 4 NaCl} \end{array} \right.$$

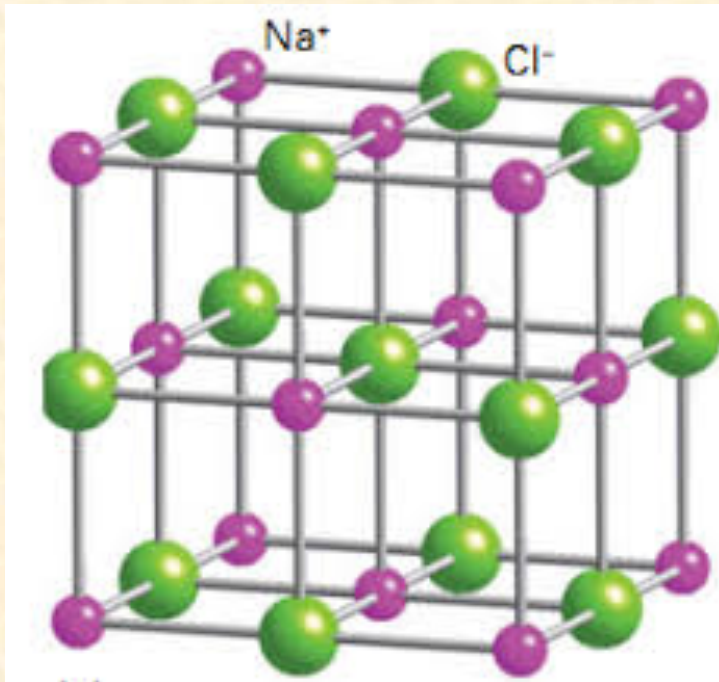
$$\rho = \frac{4 (M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}}) / N_{\text{Avog}}}{a^3}$$

$$\Rightarrow d_{(200)} = \frac{1}{2} \left[\frac{4M_{\text{NaCl}}}{\rho N_{\text{Avog}}} \right]^{1/3}$$

En 1913, H. Moseley prenait : $M_{\text{Na}} = 23 \text{ g}$, $M_{\text{Cl}} = 35.46 \text{ g}$ $\delta \sim .03\%$

$\rho = 2.167 \text{ g/cm}^3$ (à T_{amb}) $\delta \sim .2\%$

$N_{\text{Avog}} = 6.05 \cdot 10^{23}$ $\delta \sim .5\%$



NaCl

Bonne structure :

CFC à (Na, Cl) : ((0,0,0), (½,0,0))

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 2d_{(200)} = a/2 \\ \text{Le cube } a^3 \text{ a 4 NaCl} \end{array} \right.$$

$$\rho = \frac{4 (M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}}) / N_{\text{Avog}}}{a^3}$$

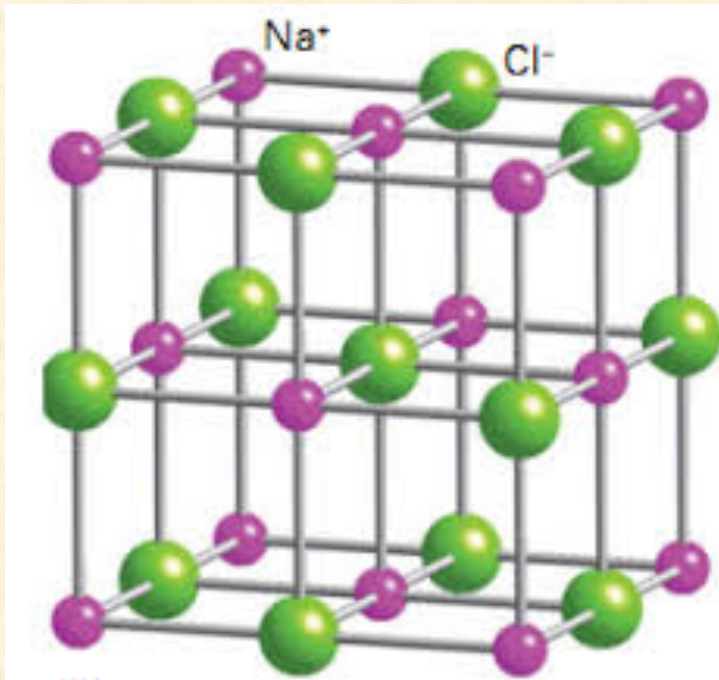
$$\Rightarrow d_{(200)} = \frac{1}{2} \left[\frac{4M_{\text{NaCl}}}{\rho N_{\text{Avog}}} \right]^{1/3}$$

En 1913, H. Moseley prenait : $M_{\text{Na}} = 23 \text{ g}$, $M_{\text{Cl}} = 35.46 \text{ g}$ $\delta \sim .03\%$

$\rho = 2.167 \text{ g/cm}^3$ (à T_{amb}) $\delta \sim .2\%$

$N_{\text{Avog}} = 6.05 \cdot 10^{23}$ $\delta \sim .5\%$

Moseley obtient $d_{(200)} = 2.814 (10^{-8} \text{ cm}) \rightarrow$ sa référence $\delta \sim .2\%$ 142



NaCl



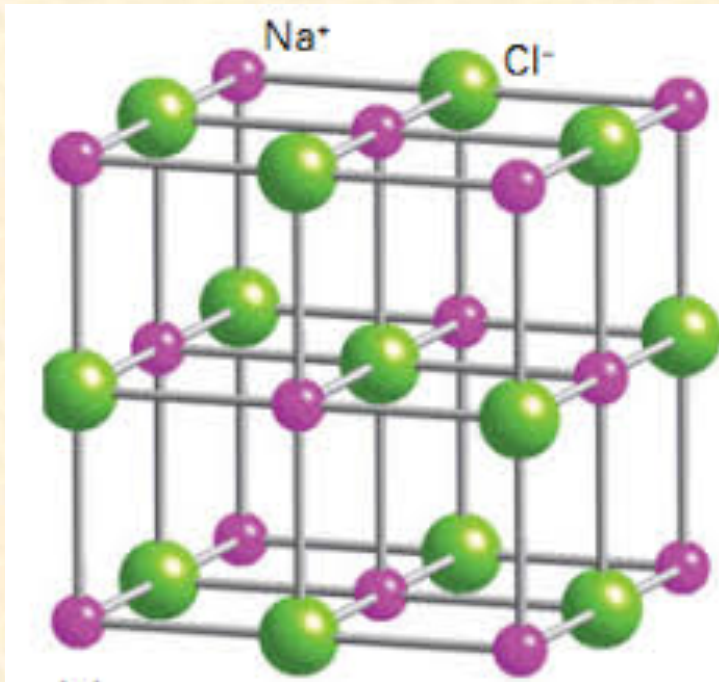
Cristaux de halite (Prague)

Ne pas mesurer a grâce à l'équation de Bragg et un $\lambda(X)$
mais mesurer un $\lambda(X)$ à partir de a grâce à l'équation de Bragg

Être sûr de la structure (pas si évident, les Bragg : troisième essai)

Être sûr de a

Être sûr des θ_m mesurés

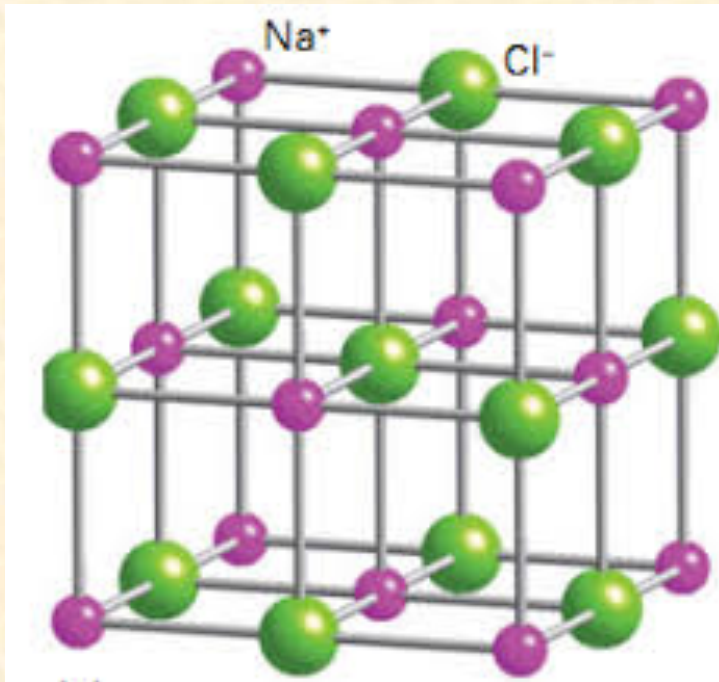


NaCl



Cristaux de halite (Prague)

Le sel : réfracte bien (fort)

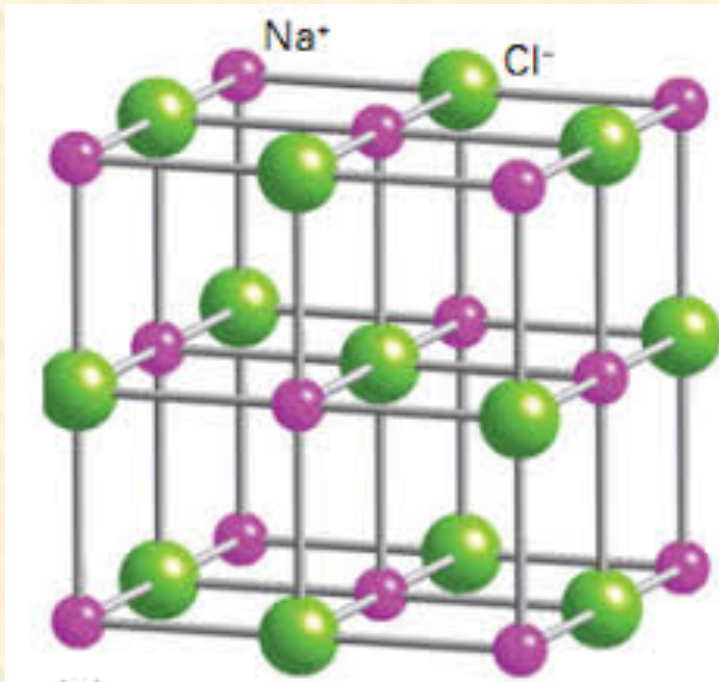


NaCl



Cristaux de halite (Prague)

Le sel : réfracte bien (fort) *mais*

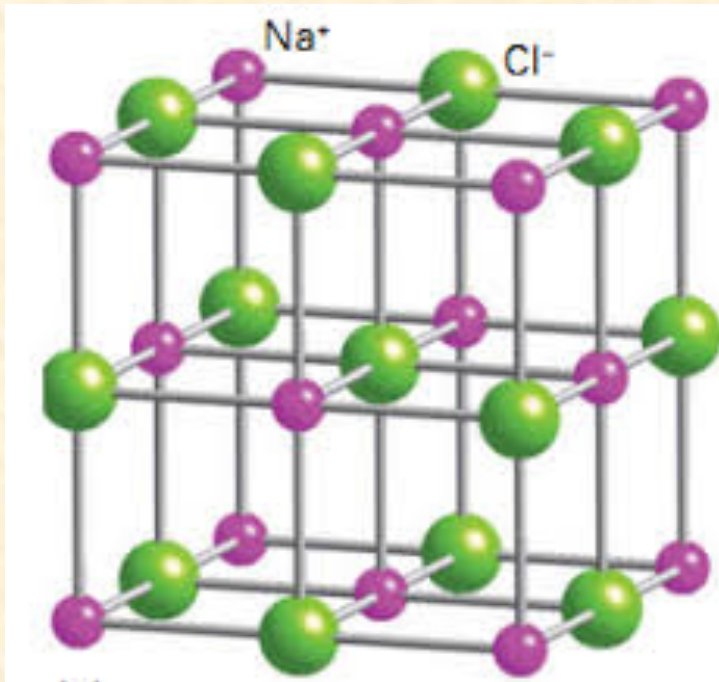


NaCl



Cristaux de halite (Prague)

**Le sel : réfracte bien (fort) *mais*
Il n'est pas très cristallin (défauts mosaïques)**



NaCl

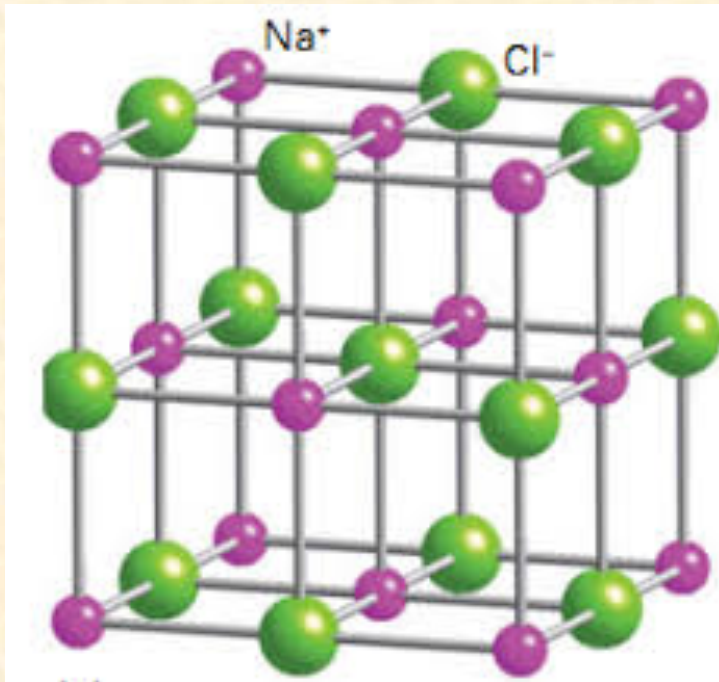


Cristaux de halite (Prague)

Le sel : réfracte bien (fort) *mais*

Il n'est pas très cristallin (défauts mosaïques)

→ des θ_m peu fiables, d'un cristal à l'autre



NaCl



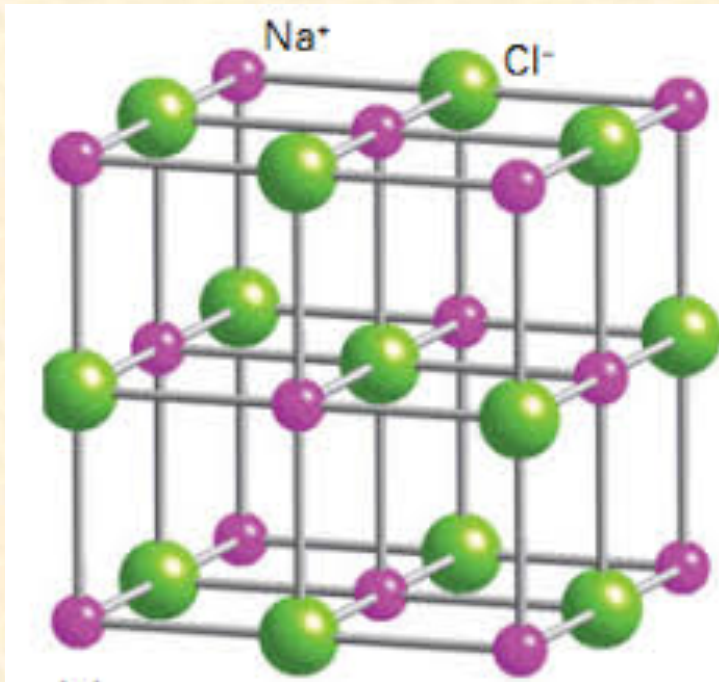
Cristaux de halite (Prague)

Le sel : réfracte bien (fort) *mais*

Il n'est pas très cristallin (défauts mosaïques)

→ des θ_m peu fiables, d'un cristal à l'autre

Il a un $a(T)$ très sensible (et Moseley n'indique pas sa T)



NaCl



Cristaux de halite (Prague)

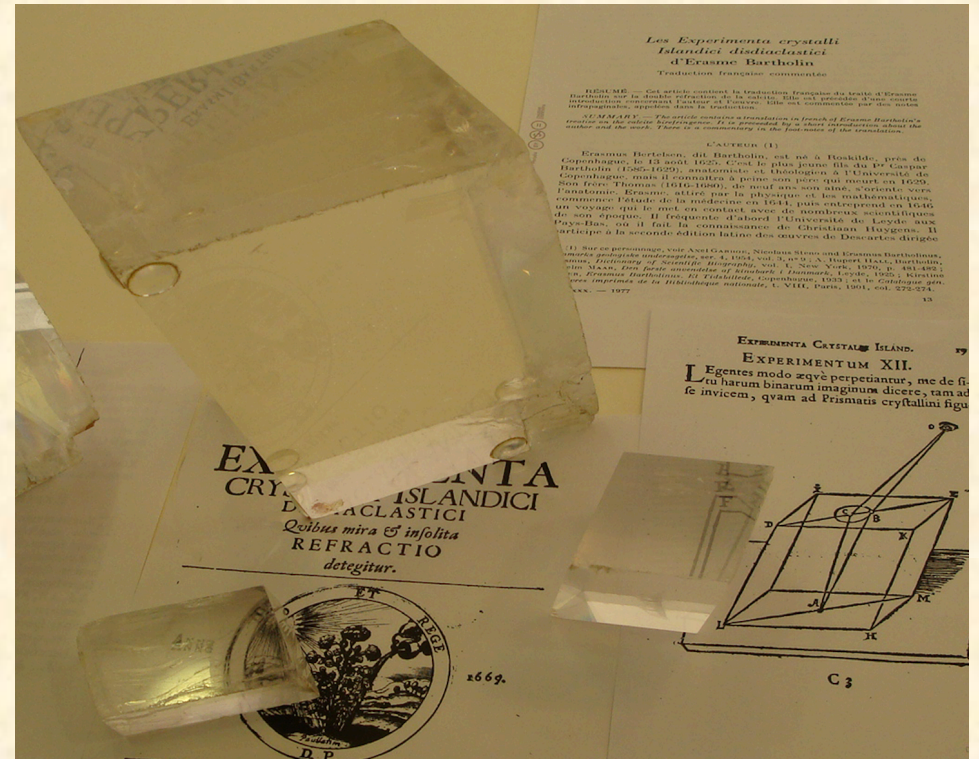
Le sel : réfracte bien (fort) *mais*

Il n'est pas très cristallin (défauts mosaïques)

→ des θ_m peu fiables, d'un cristal à l'autre

Il a un $a(T)$ très sensible (et Moseley n'indique pas sa T)

Vers 1918, A.H. Compton dit : *la calcite est mieux que le sel gemme*¹⁴⁹



Cristaux de calcite (X, Palaiseau)



Cristaux de calcite (X, Palaiseau)
 Biréfringents en visible, mais pas en X

<https://youtu.be/Bjrm0ozS1Oo>



Cristaux de calcite (X, Palaiseau)
 Biréfringents en visible, mais pas en X

<https://youtu.be/Bjrm0ozS1Oo>

Structure plus complexe

visu OHD (Avogadro 2)

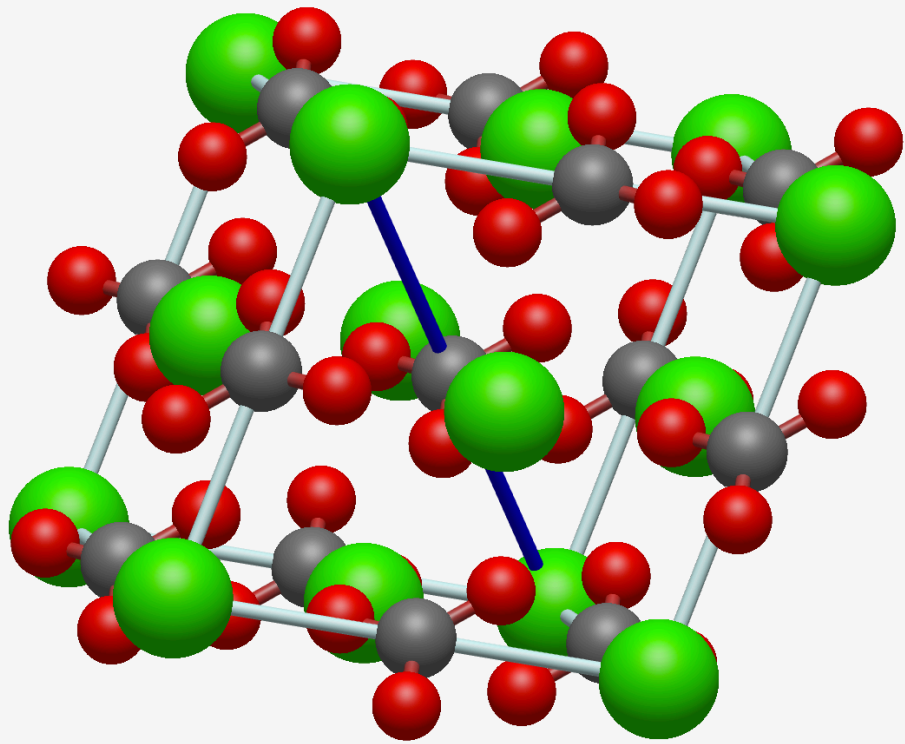


Photo OHD



Cristaux de calcite (X, Palaiseau)

Biréfringents en visible, mais pas en X

<https://youtu.be/Bjrm0ozS1Oo>

Structure plus complexe (rhomboédrique)

visu OHD (Avogadro 2)

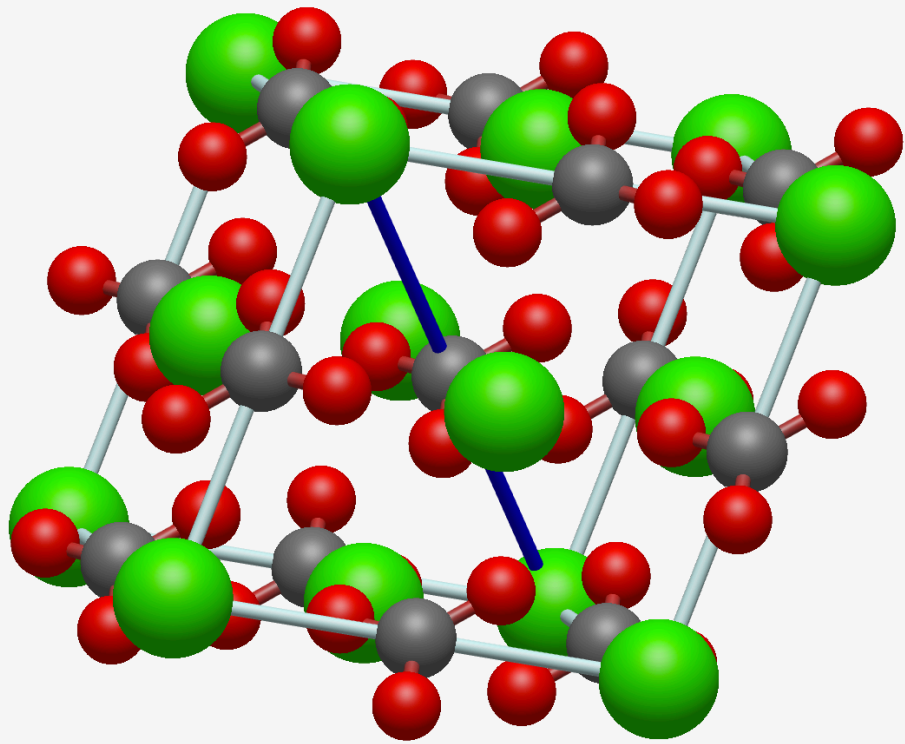
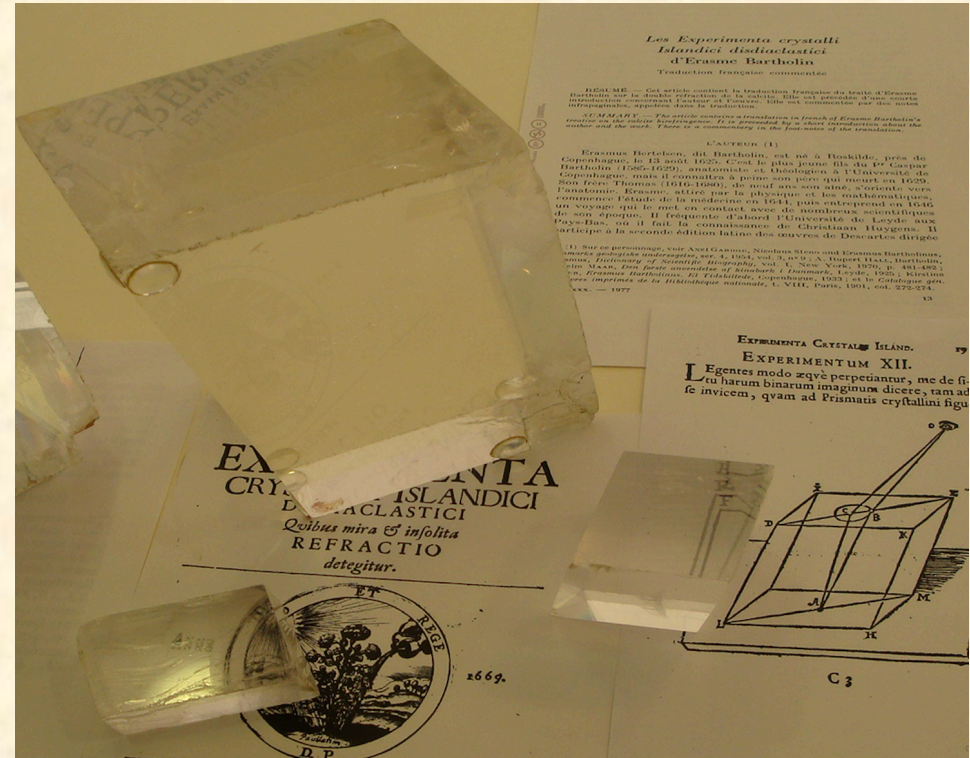


Photo OHD



Cristaux de calcite (X, Palaiseau)

Biréfringents en visible, mais pas en X

<https://youtu.be/Bjrm0ozS1Oo>

Structure plus complexe (rhomboédrique)

Mais peu de défauts et paramètre a varie peu en T .

visu OHD (Avogadro 2)

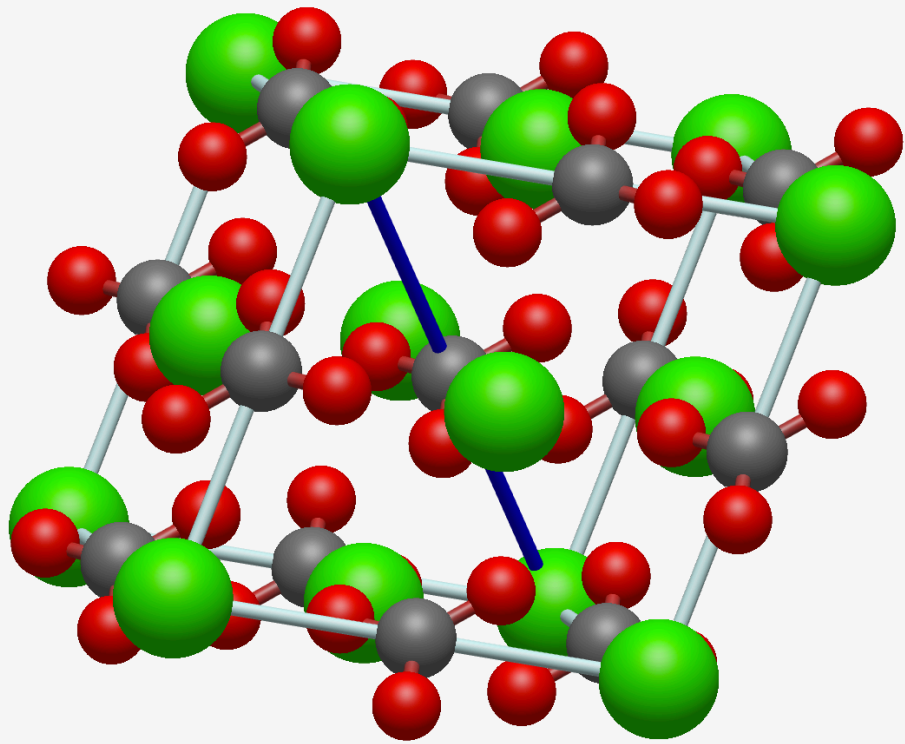
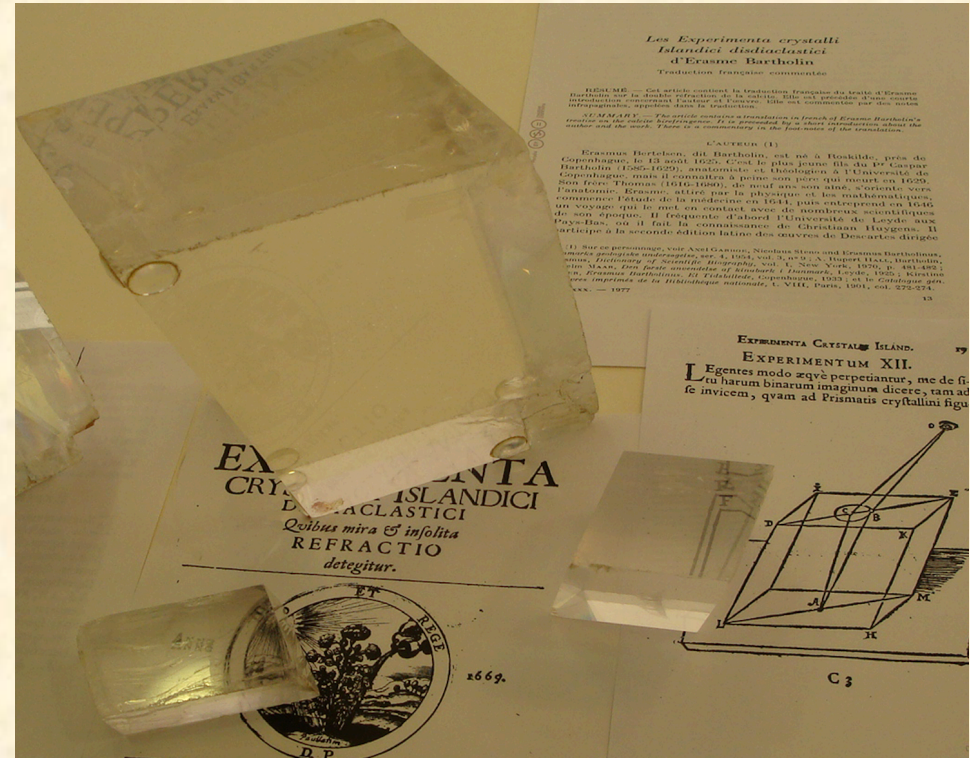


Photo OHD



Cristaux de calcite (X, Palaiseau)

Biréfringents en visible, mais pas en X

<https://youtu.be/Bjrm0ozS1Oo>

Structure plus complexe (rhomboédrique)

Mais peu de défauts et paramètre a varie peu en T .

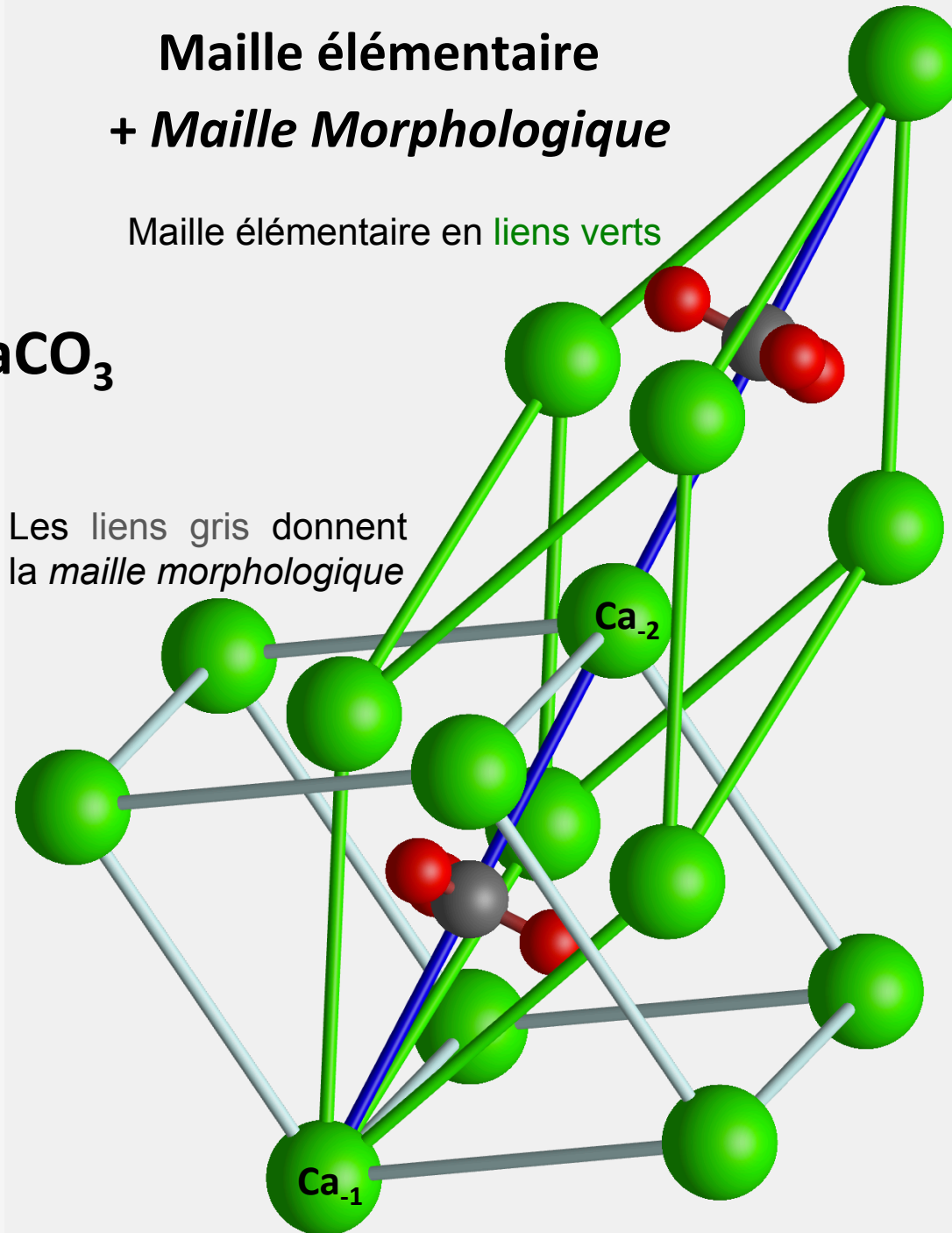
Les rhomboèdres de calcite sont étudiés depuis E. Bartholin et Chr. Huygens (voir video).

Maille élémentaire + *Maille Morphologique*

Maille élémentaire en liens verts

Calcite, CaCO_3

Les liens gris donnent
la *maille morphologique*



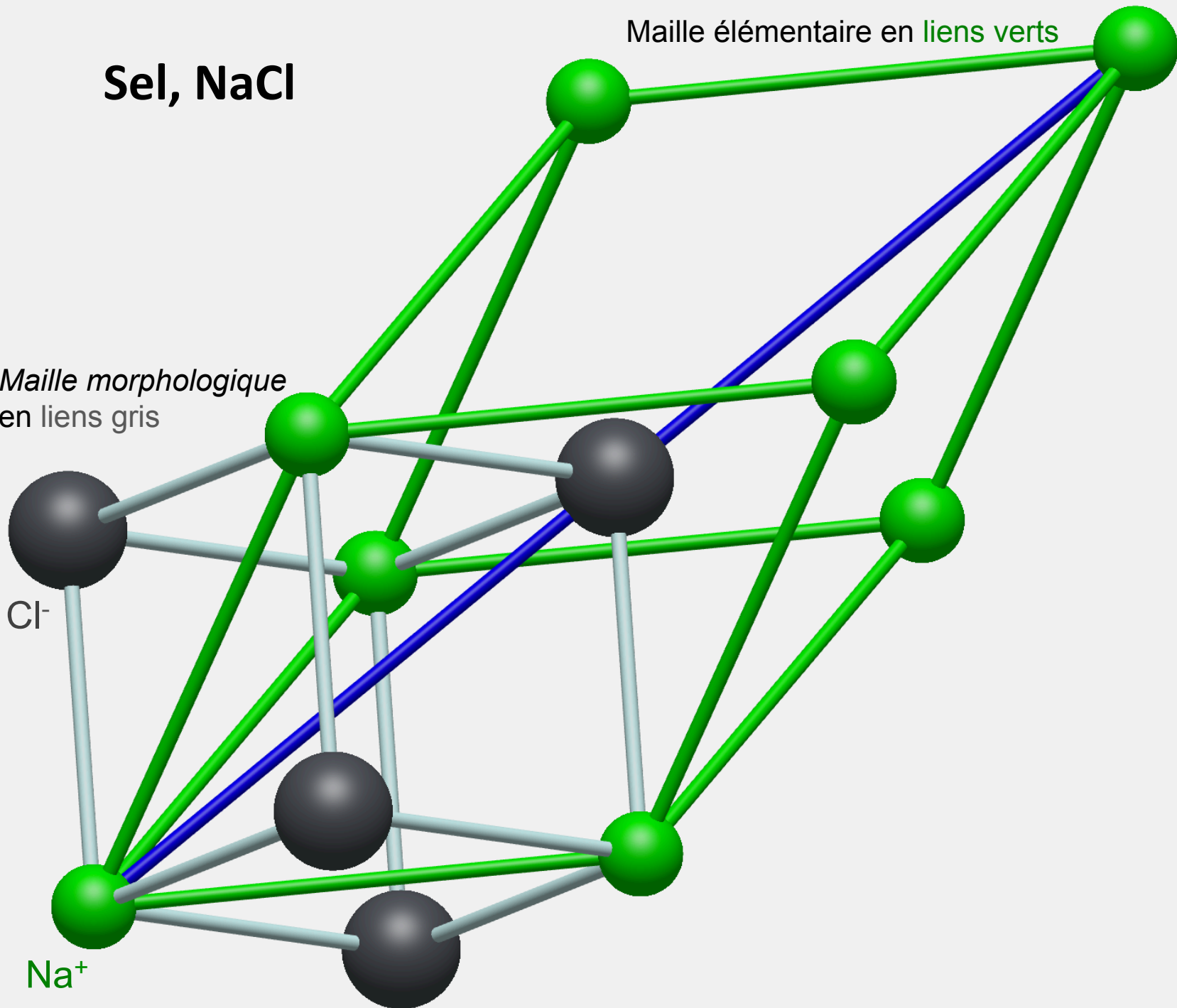
Sel, NaCl

Maille élémentaire en liens verts

Maille morphologique
en liens gris

Cl⁻

Na⁺



Sel, NaCl

Maille élémentaire en liens verts

$\alpha = 60^\circ$

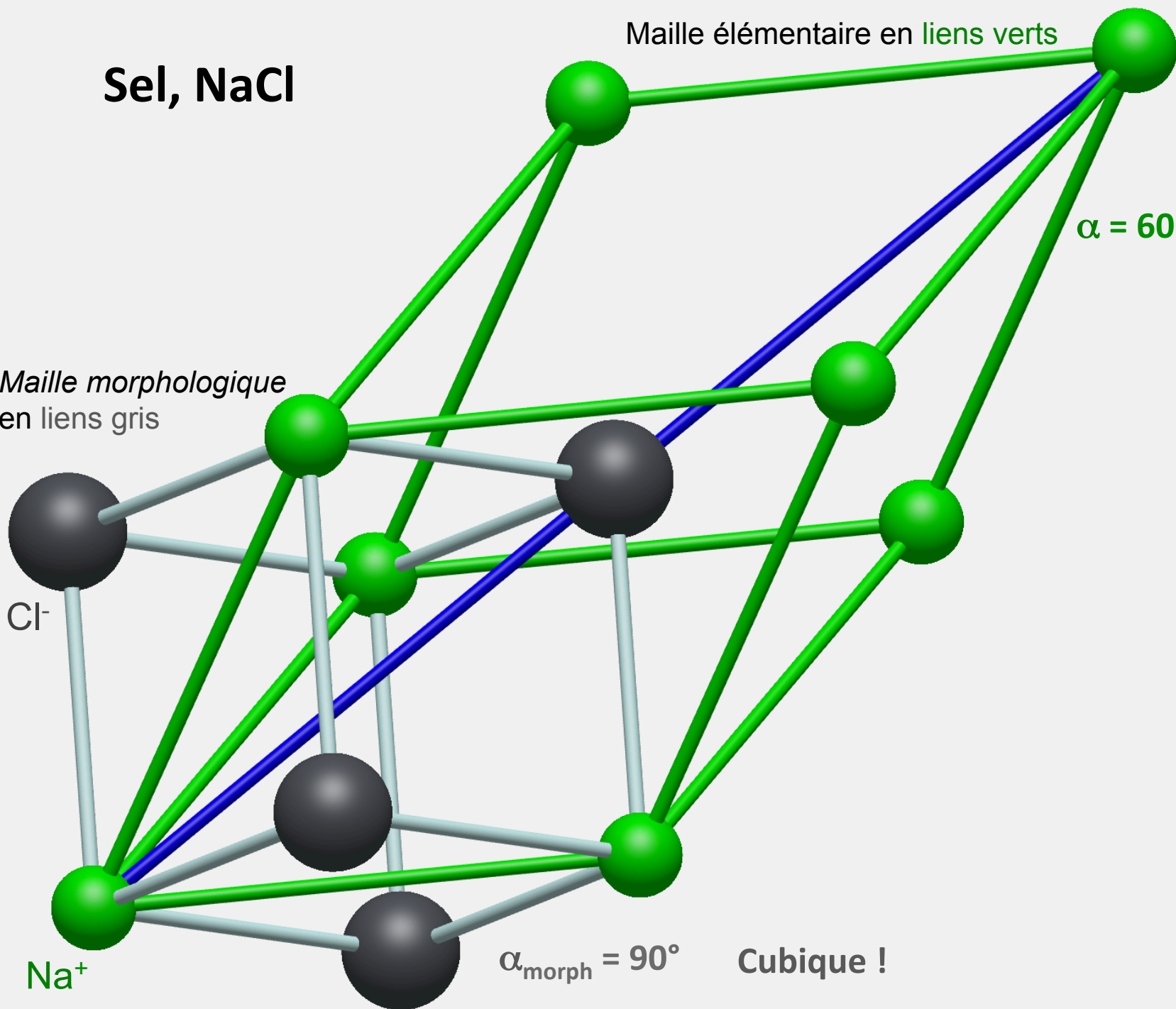
Maille morphologique
en liens gris

Cl⁻

Na⁺

$\alpha_{\text{morph}} = 90^\circ$

Cubique !



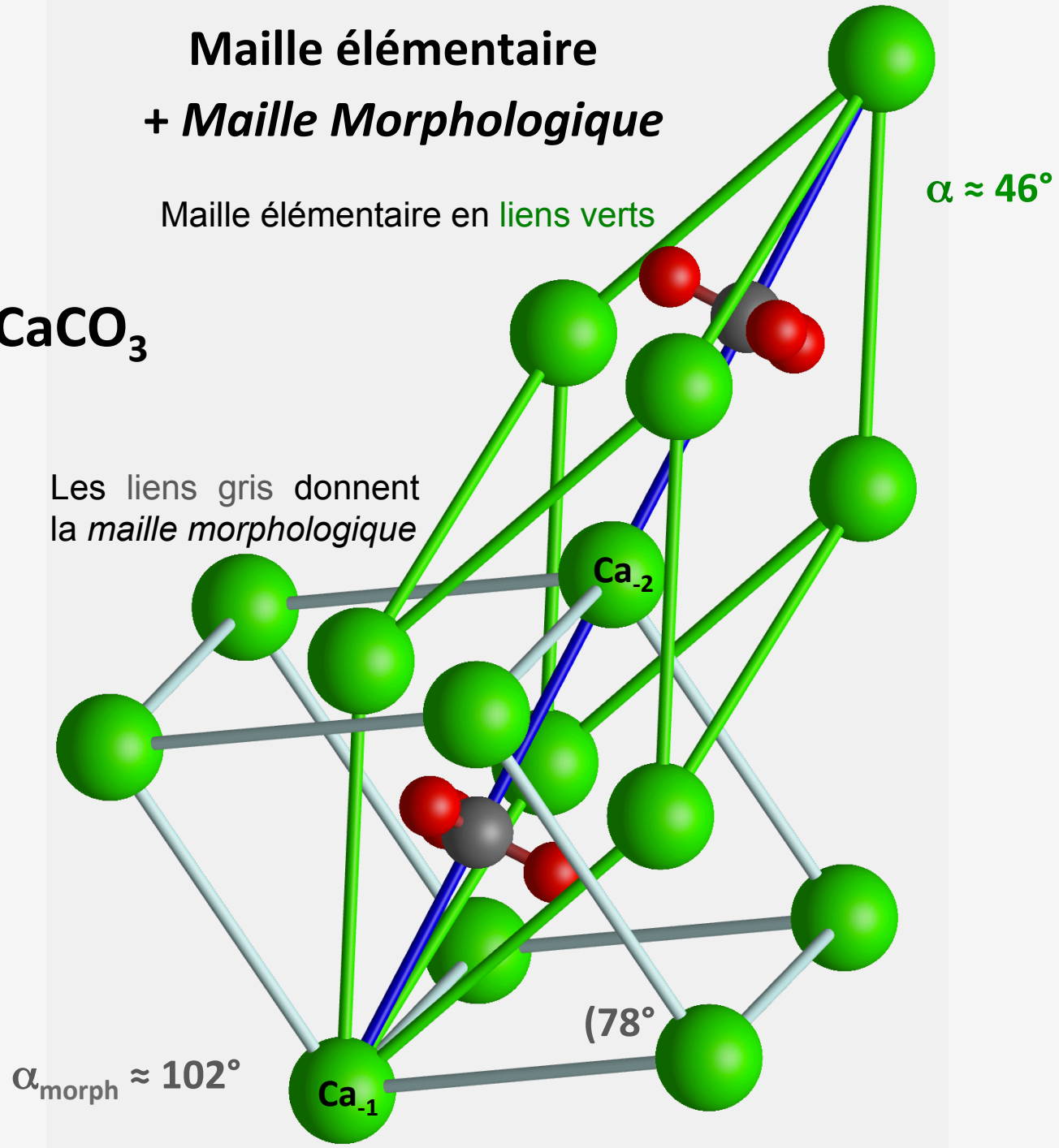
Maille élémentaire + Maille Morphologique

Maille élémentaire en liens verts

$\alpha \approx 46^\circ$

Calcite, CaCO_3

Les liens gris donnent
la maille morphologique



Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de 1916 jusque dans les années 30.

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

$$\varphi(\alpha) = (1+\cos\alpha)^2 / [(1+2\cos\alpha)\sin\alpha] \quad \text{car ...} = V/h^3 \text{ et } h=V/(a^2\sin\alpha)$$

α_{morph} : l'angle entre les vecteurs de base du Rhomboèdre morphologique

$\alpha_{\text{dièdre}}$: l'angle entre les faces du Rhomboèdre morphologique

: l'angle que mesuraient Bartholin, Huygens, ... (pas Haüy !), ...

$$\cos[\alpha_{\text{morph}}/2] = 1/(2\sin[\alpha_{\text{dièdre}}/2]) \quad \text{car ... ?? (mais ça marche)}$$

$$M_{\text{CaCO}_3} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{C}} + 3M_{\text{O}} \sim 100$$

$$\rho \sim 2,71 \text{ (g/cm}^3\text{, à 20}^\circ\text{C)}$$

$$N_{\text{Avog}} \sim 6,06 \cdot 10^{23} \quad (\text{C'est la principale inexactitude})$$

$$\alpha_{\text{morph}} \sim 102^\circ$$

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à **18°C** $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à **18°C** $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à **18°C** $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Mais les progrès en technique et précision montrent que :

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Mais les progrès en technique et précision montrent que :

- Les meilleures calcites ne sont pas pures ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Mn},\text{Fe},\text{Zn})\text{CO}_3$)

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Mais les progrès en technique et précision montrent que :

- Les meilleures calcites ne sont pas pures ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Mn},\text{Fe},\text{Zn})\text{CO}_3$)
- d implique N_{Avog} qui impliquait e de Millikan via $N_{\text{Avog}} = F/e$ Faraday

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Mais les progrès en technique et précision montrent que :

- Les meilleures calcites ne sont pas pures ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Mn},\text{Fe},\text{Zn})\text{CO}_3$)
- d implique N_{Avog} qui impliquait e de Millikan via $N_{\text{Avog}} = F/e$ Faraday or d'autres mesures donnent un autre e que le e de Millikan

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Mais les progrès en technique et précision montrent que :

- Les meilleures calcites ne sont pas pures ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Mn},\text{Fe},\text{Zn})\text{CO}_3$)
- d implique N_{Avog} qui impliquait e de Millikan via $N_{\text{Avog}} = F/e$ Faraday
or d'autres mesures donnent un autre e que le e de Millikan
→ deux types d'électrons ? doutes sur Millikan ? et sur N_{Avog}

Arthur Holly Compton et Karl Manne Siegbahn prennent la calcite comme référence à partir de **1916** jusque dans les années 30.

$$d_{(200)\text{rh.cl.}} = [M_{\text{CaCO}_3} / (2 \varphi(\alpha_{\text{morph}}) \rho N_{\text{Avog}})]^{1/3}$$

Siegbahn obtient à 18°C $d_{(200)\text{r.c.}} = 3029,04$ qui lui sert de référence.

Cette référence lui servant pour sa spectroscopie atomique en X, il l'appelle X.U. (ou X.E.) : unité X.

Manne Siegbahn l'utilise souvent implicitement.
C'est une unité de référence *indépendante*...

Mais les progrès en technique et précision montrent que :

- Les meilleures calcites ne sont pas pures ($\text{Ca}(\text{Mg},\text{Mn},\text{Fe},\text{Zn})\text{CO}_3$)
- d implique N_{Avog} qui impliquait e de Millikan via $N_{\text{Avog}} = F/e$ Faraday
or d'autres mesures donnent un autre e que le e de Millikan
→ deux types d'électrons ? doutes sur Millikan ? et sur N_{Avog}
- Des mesures de $\lambda(X)$ par incidences rasantes deviennent précises

Au début des années 40, on préfère l'Å défini comme 10^{-10} m.

Au début des années 40, on préfère l'Å défini comme 10^{-10} m.

Sur la base du N_{Avog} accepté par Siegbahn (6.0594, de Birge 1919)

et du N_{Avog} accepté en 1942 (6.0228)

on définit la correspondance $1\text{kX} = 1.00202 \text{ Å}$

Recommandation internationale, W.L Bragg et E.A. Wood 1946/7

Au début des années 40, on préfère l'Å défini comme 10^{-10} m.

Sur la base du N_{Avog} accepté par Siegbahn (6.0594, de Birge 1919)

et du N_{Avog} accepté en 1942 (6.0228)

on définit la correspondance $1\text{kX} = 1.00202 \text{ Å}$

Recommandation internationale, W.L Bragg et E.A. Wood 1946/7

**Rappel : l'unité d'Anders Jonas Ångström était basée sur de
pauvres mètres étalons, ce qu'Ångström déplorait...**

Recommandation internationale, W.L Bragg et E.A. Wood 1946/7 :

$$1\text{kX} = 1.00202 \text{ \AA}$$

**Rappel : au siècle précédent, dans la spectroscopie optique
L'unité d'Anders Jonas Ångström était basée sur de pauvres
mètres étalons, ce qu'Anders Jonas déplorait...**

René Benoît, au Bureau International des Poids et Mesures, 1888 :

**« Il en résulte que toutes les longueurs d'onde d'Ångström
doivent être multipliées par 1.0001098 »**

Au début des années 40, on préfère l'Å défini comme 10^{-10} m.

**Sur la base du N_{Avog} accepté par Siegbahn (6.0594, de Birge 1919)
et du N_{Avog} accepté en 1942 (6.0228)**

on définit la correspondance $1\text{kX} = 1.00202 \text{ Å}$

Recommandation internationale, W.L Bragg et E.A. Wood 1946/7

**Rappel : l'unité d'Anders Jonas Ångström était basée sur de
pauvres mètres étalons, ce qu'Ångström déplorait...**

Aujourd'hui le mètre est basé sur c (lumière dans le vide) et la sec.

Car l'horloge atomique à jet de césium \rightarrow la sec à $\delta \sim 10^{-14}$

Au début des années 40, on préfère l'Å défini comme 10^{-10} m.

**Sur la base du N_{Avog} accepté par Siegbahn (6.0594, de Birge 1919)
et du N_{Avog} accepté en 1942 (6.0228)**

on définit la correspondance $1\text{kX} = 1.00202 \text{ Å}$

Recommandation internationale, W.L Bragg et E.A. Wood 1946/7

**Rappel : l'unité d'Anders Jonas Ångström était basée sur de
pauvres mètres étalons, ce qu'Ångström déplorait...**

Aujourd'hui le mètre est basé sur c (lumière dans le vide) et la sec.

Car l'horloge atomique à jet de césium \rightarrow la sec à $\delta \sim 10^{-14}$

Aujourd'hui N_{avog} est basé sur une sphère de silicium à 99,94% ^{28}Si

\rightarrow 6.02214076 en 2015, mieux courant 2018

Au début des années 40, on préfère l'Å défini comme 10^{-10} m.

**Sur la base du N_{Avog} accepté par Siegbahn (6.0594, de Birge 1919)
et du N_{Avog} accepté en 1942 (6.0228)**

on définit la correspondance $1\text{kX} = 1.00202 \text{ Å}$

Recommandation internationale, W.L Bragg et E.A. Wood 1946/7

**Rappel : l'unité d'Anders Jonas Ångström était basée sur de
pauvres mètres étalons, ce qu'Ångström déplorait...**

Aujourd'hui le mètre est basé sur c (lumière dans le vide) et la sec.

Car l'horloge atomique à jet de césium \rightarrow la sec à $\delta \sim 10^{-14}$

Aujourd'hui N_{avog} est basé sur une sphère de silicium à 99,94% ^{28}Si

\rightarrow 6.02214076 en 2015, mieux courant 2018

**Quand vous ne pouvez pas mesurer une chose, votre connaissance
de cette chose reste maigre et insatisfaisante.** W. Thomson vers 1890 179

La calcite a aussi permis de vérifier la théorie dynamique d'Ewald-Darwin, sur de gros cristaux bien cristallisés.

(Les autres gros cristaux, comme le sel, étaient trop « mosaïques »)

Et de découvrir un effet d'absorption anormal : Gerhard Borrmann

Pendant la 2^{ème} Guerre, + 1950 et 1954

Les rayons X ont-ils remercié la calcite ?

1. Oui pour sa structure interne

Les C et les O et les u des O.

(positions de Wyckoff)

2. Non pour ses angles externes

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

$\alpha_{\text{dièdre}}$

α_{morph}

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	105° 05'	101° 55'

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

À partir de données de diffraction X de 1985, je reconstruis la maille morphologique
je calcule l'angle entre les faces et l'angle entre les arêtes

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

À partir de données de diffraction X de 1985, je reconstruis la maille morphologique
je calcule l'angle entre les faces et l'angle entre les arêtes
je trouve 105° 2' 30'' et 101° 53' 27''

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

À partir de données de diffraction X de 1985, je reconstruis la maille morphologique
je calcule l'angle entre les faces et l'angle entre les arêtes

je trouve 105° 2' 30'' et 101° 53' 27''

i.e. un écart de plus que 2' sur $\alpha_{\text{dièdre}}$!

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

À partir de données de diffraction X de 1985, je reconstruis la maille morphologique
je calcule l'angle entre les faces et l'angle entre les arêtes

je trouve 105° 2' 30'' et 101° 53' 27''

i.e. un écart de plus que 2' sur $\alpha_{\text{dièdre}}$!

C'est moins pire que les 23' de Haüy... **Mais l'abbé avait une (mauvaise) excuse.**

C'est au delà des incertitudes données (ou pas) sur a_h et c_h par les diffracteurs.

Alors ???

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

À partir de données de diffraction X de 1985, je reconstruis la maille morphologique
je calcule l'angle entre les faces et l'angle entre les arêtes

je trouve 105° 2' 30'' et 101° 53' 27''

i.e. un écart de plus que 2' sur $\alpha_{\text{dièdre}}$!

C'est moins pire que les 23' de Haüy... **Mais l'abbé avait une (mauvaise) excuse.**

C'est au delà des incertitudes données (ou pas) sur a_h et c_h par les diffracteurs.

Mesures d'angles

On mesure un angle entre faces (angle dièdre) et on déduit l'angle entre arêtes

		$\alpha_{\text{dièdre}}$	α_{morph}
Erasmus Bartholin	1669	104°	101°
Christiaan Huygens	1671-90	105°	101° 52'
William Hyde Wollaston	1802/09	<u>105° 05'</u>	101° 55'
René-Just Haüy	1784/1818	105° 28' 40''	101° 32' 13'' $2 \operatorname{tg}^{-1}(\sqrt{3}/\sqrt{2})$
Henry Nicholas Beets	1925	<u>105° 05' ±12''</u>	101° 55'

À partir de données de diffraction X de 1985, je reconstruis la maille morphologique
je calcule l'angle entre les faces et l'angle entre les arêtes

je trouve 105° 2' 30'' et 101° 53' 27''

i.e. un écart de plus que 2' sur $\alpha_{\text{dièdre}}$!

C'est moins pire que les 23' de Haüy... **Mais l'abbé avait une (mauvaise) excuse.**

C'est au delà des incertitudes données (ou pas) sur a_h et c_h par les diffracteurs.

Alors ???



**Et l'œil du trilobite était dans la mer
et regardait à travers ses calcites...**



Merci de votre attention

La bi-biréfringence en calcites

Histoires dans l'histoire de la cristallographie

Crystallography, Group Theory, Etymology & 'Pataphysics

Georges Friedel and the coincident site lattice (twins)

Otto Mügge and the twinning notations

<https://youtu.be/Bjrm0ozS10o>

<https://youtu.be/gL8F3pWDVLA>

Mathematical Intelligencer 2014

J. Mat. Sci. 2011

J. Mat. Sci. 2017

olivier.hardouinduparc@polytechnique.edu