

Une fascination pour les symétries

Evelyne Salançon, ACAM



Pourquoi les flocons de neige tombent toujours sous une forme à six angles et six branches?



Johannes Kepler (1571-1630)

Astronome allemand



Wilson Alwyn Bentley (1865-1931)

Agriculteur américain



Ukichiro Nakaya (1900-1962)

Physicien japonais



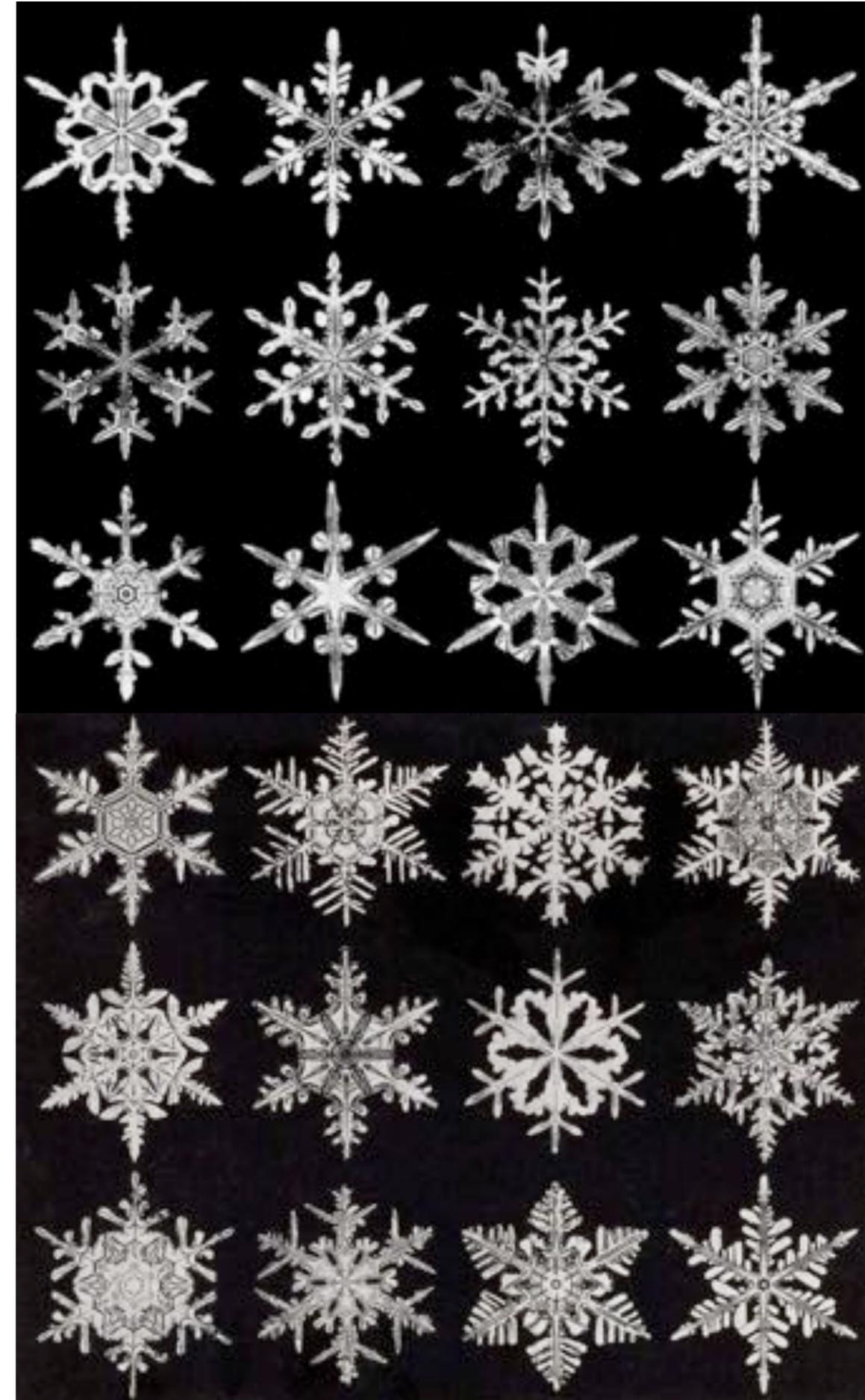
**Annakaisa von Lerber
Scientifique
(météorologie)
finlandaise**

etc.... Et tant d'autres!

Un agriculteur ingénieux et passionné!



Plus de 5000 cristaux de glace photographiés individuellement !



Alors pourquoi???

Empiler des briques

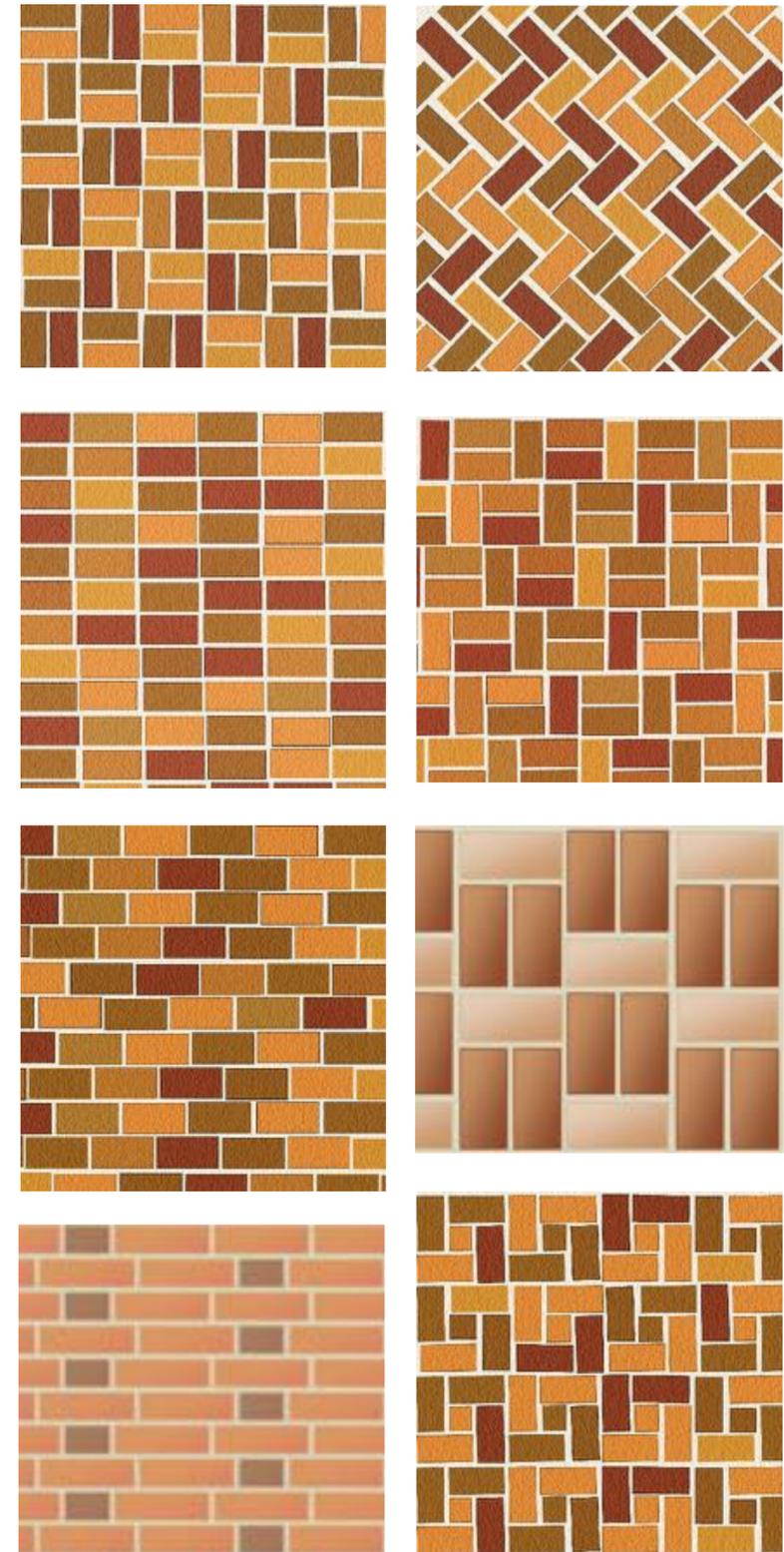
Combien de façon d'empiler des briques
pour faire un mur?

Une brique / Plusieurs empilements

Les atomes / molécules aussi
peuvent "s'empiler"...

Diffractions de rayons X

"Cristallographie"



Comment sommes-nous sûrs?

L'observation et la mesure !

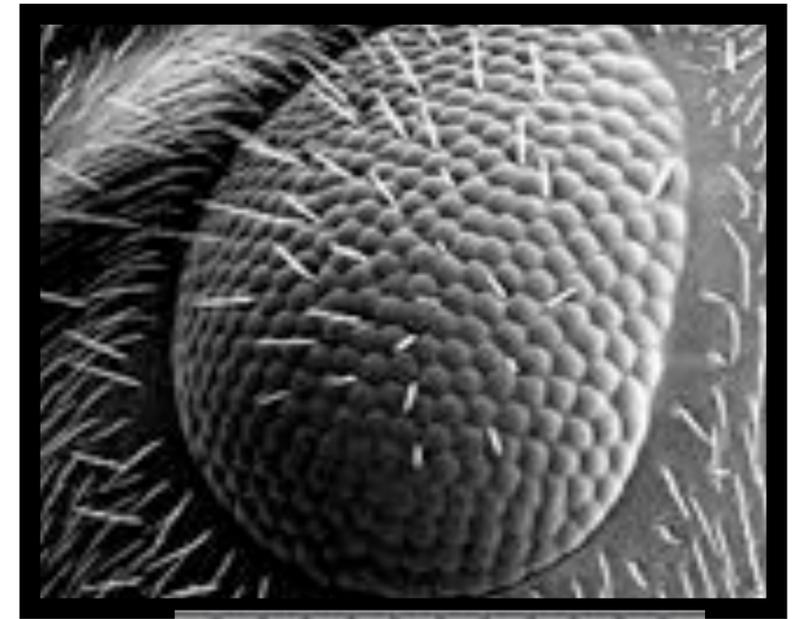
Avec quels outils?



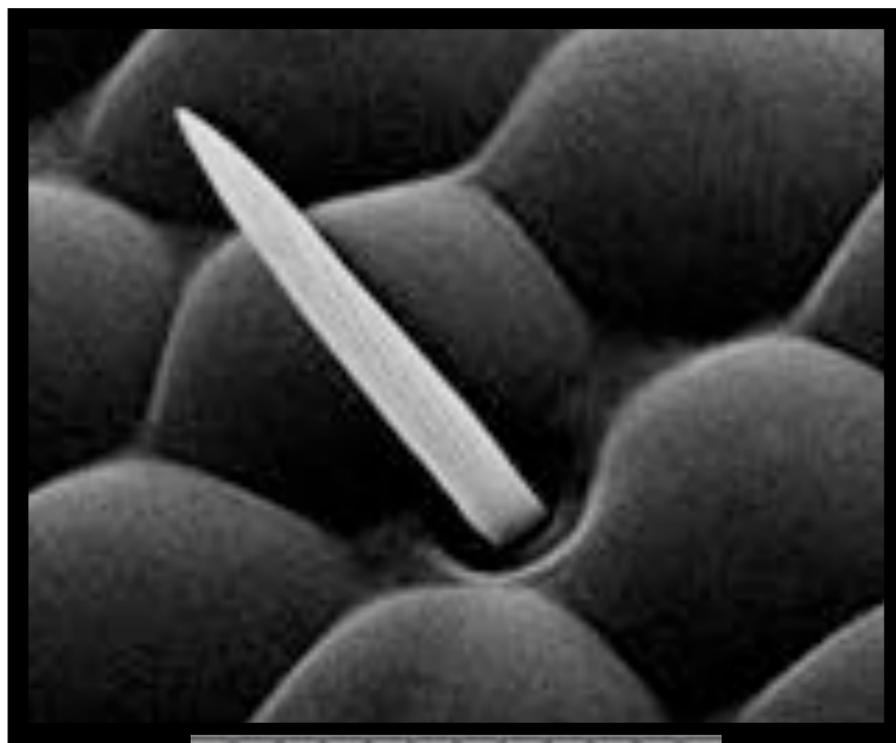
cm



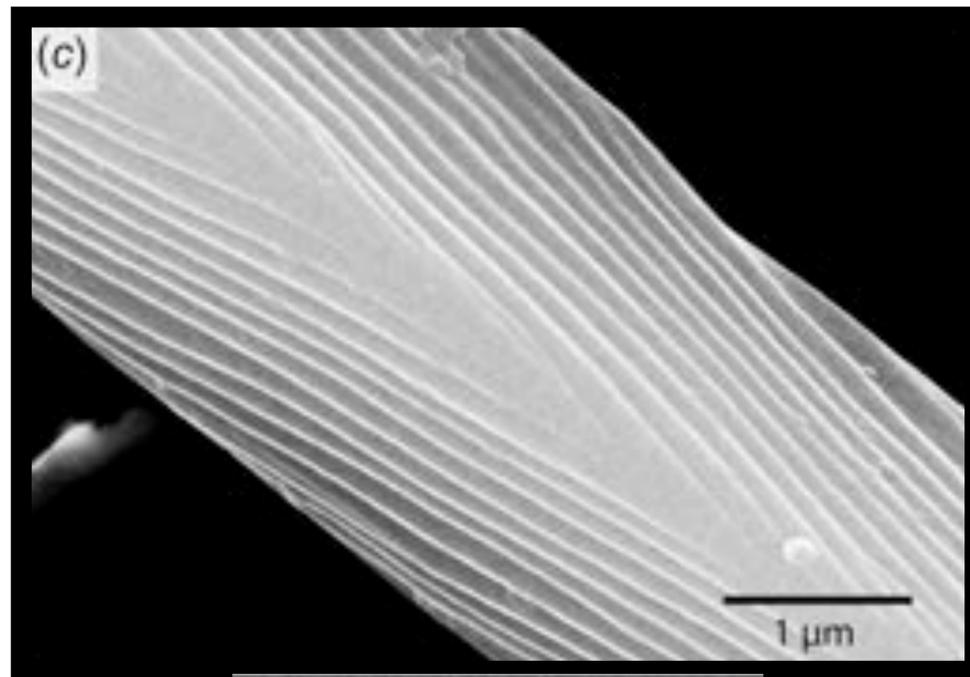
mm



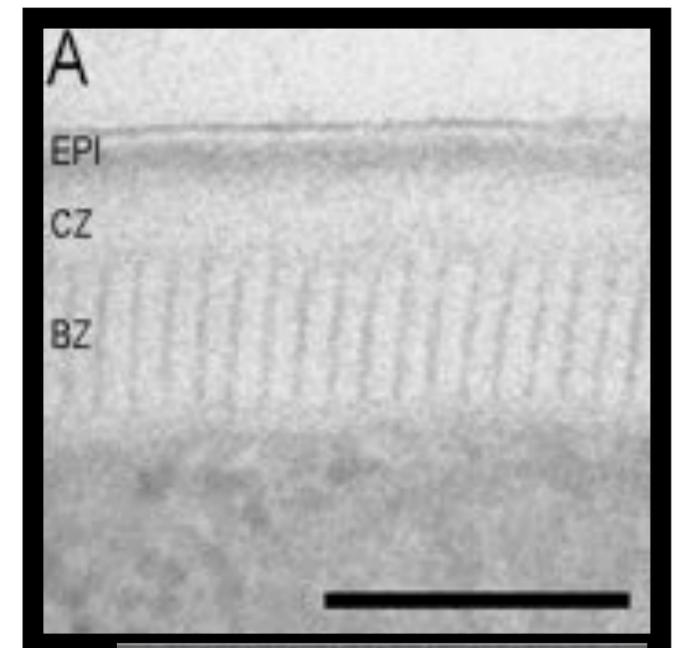
× 100 μm



× 10 μm



μm



× 100 nm

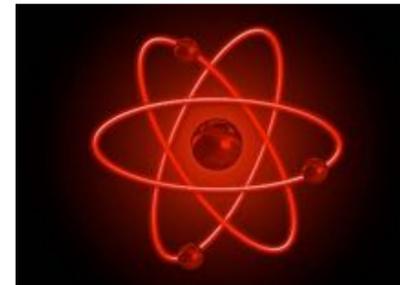
Avec quels outils?

- ❖ En 1895 : Découverte des RX par Röntgen (Münich)
C'est un rayonnement électro-magnétique de plus grande fréquence que les UV!

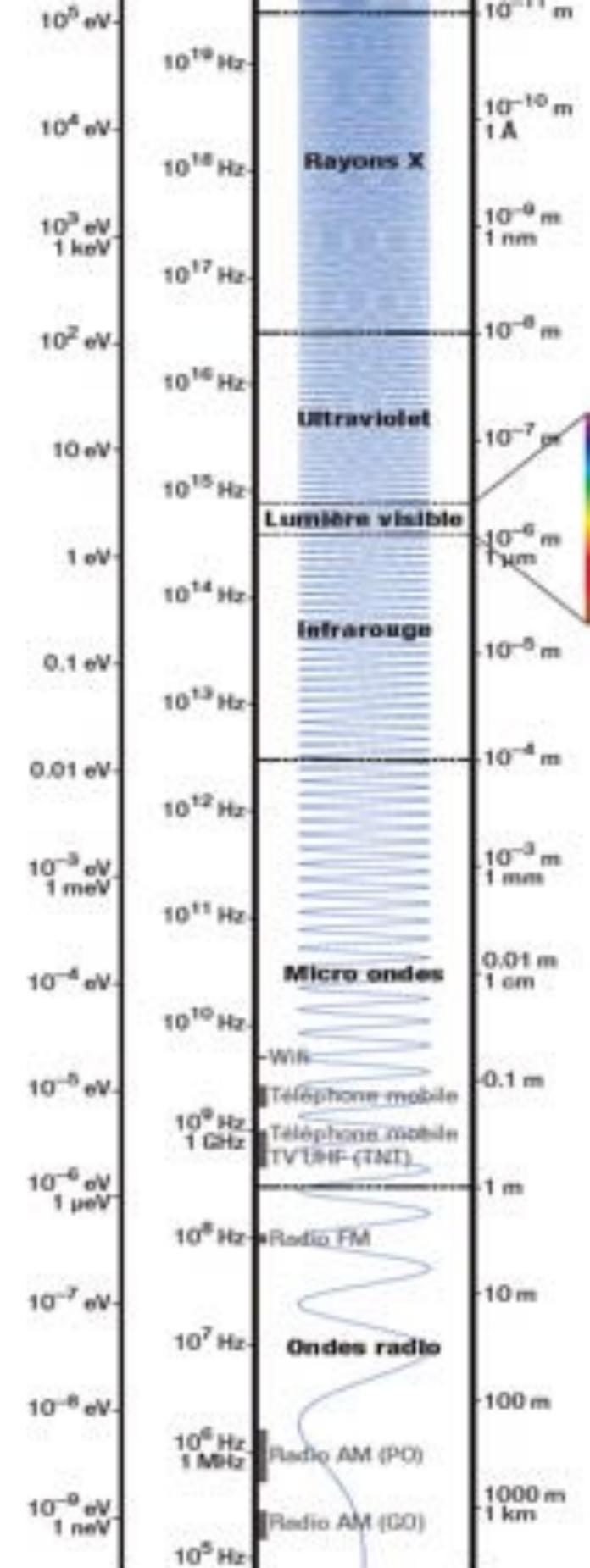


- ❖ En 1913 : Modèle atomique de Bohr-Sommerfeld (Münich)

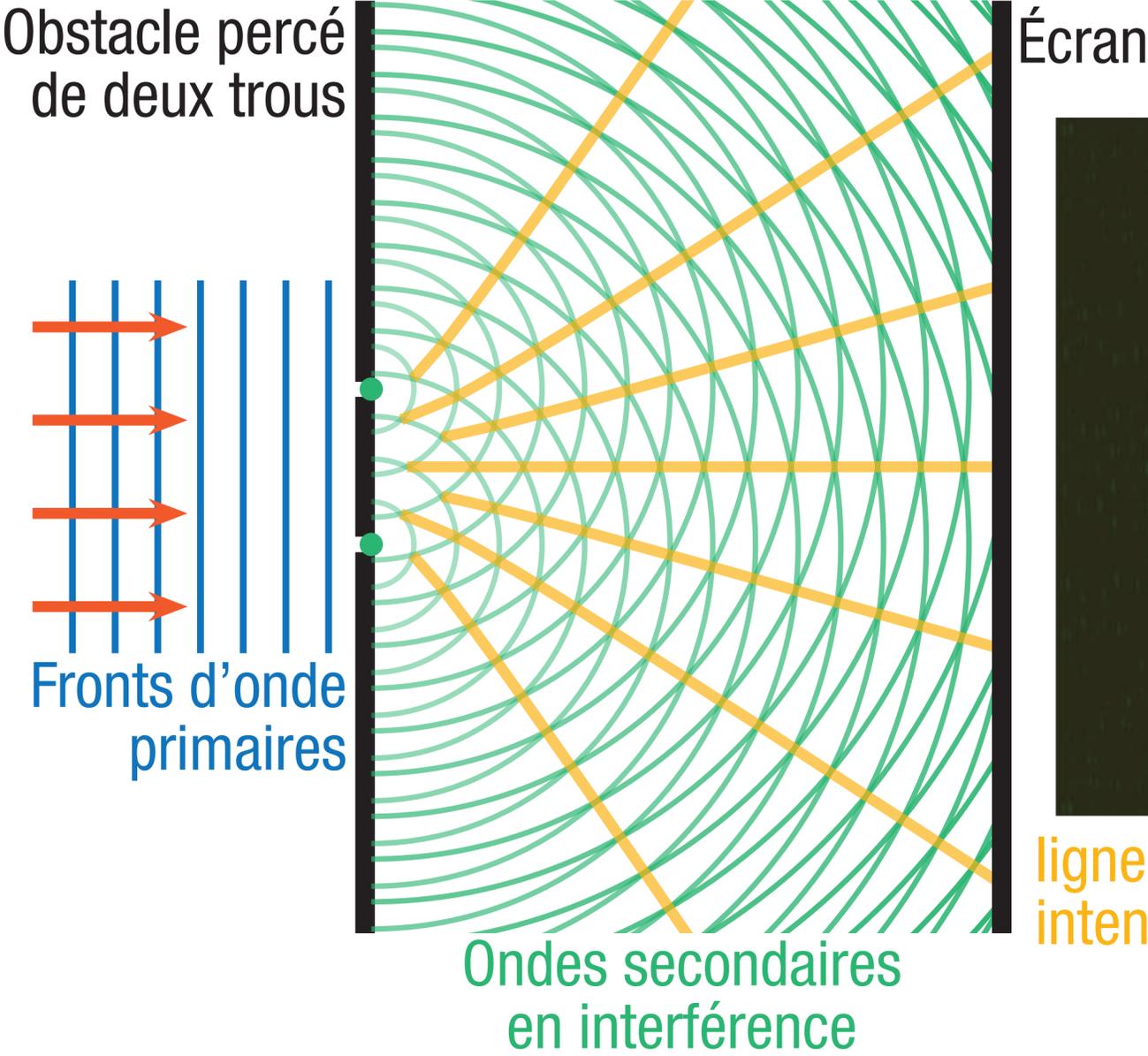
interaction noyau-électron :
dimension d'un atome... 10^{-10}m



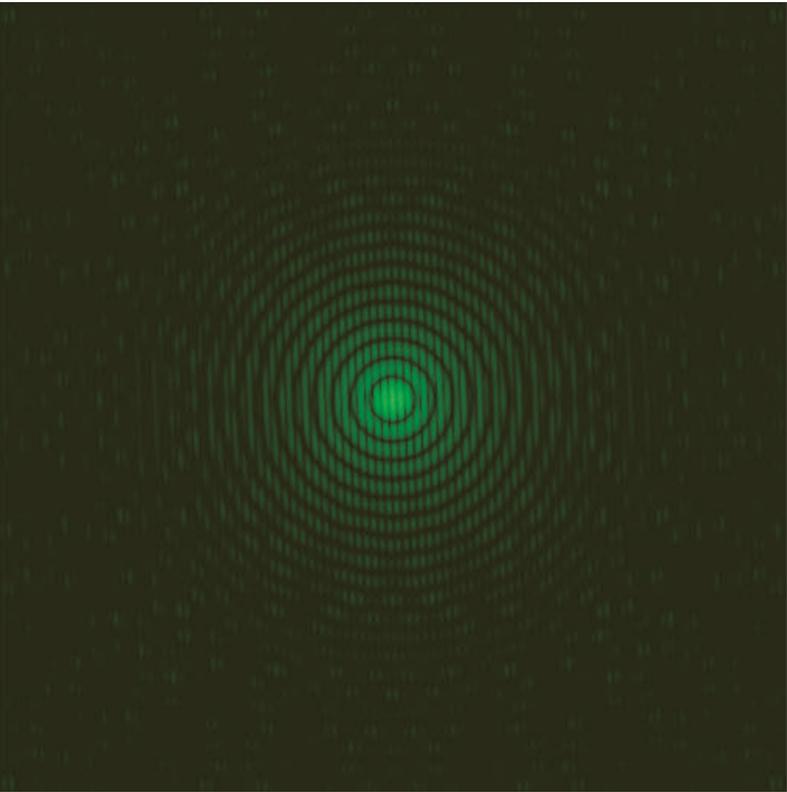
- ❖ En 1914 : Edwin Von Laue qui travaille dans un environnement riche décide d'exposer un cristal de CuSO_4 aux Rayons X... Pourquoi, à votre avis?



Ce qu'on connaît bien, à l'époque!



Young, 1801



lignes d'interférences constructives
intensité maximale sur l'écran

Expérience : si on mesurait un cheveu?

Comment sommes-nous sûrs?

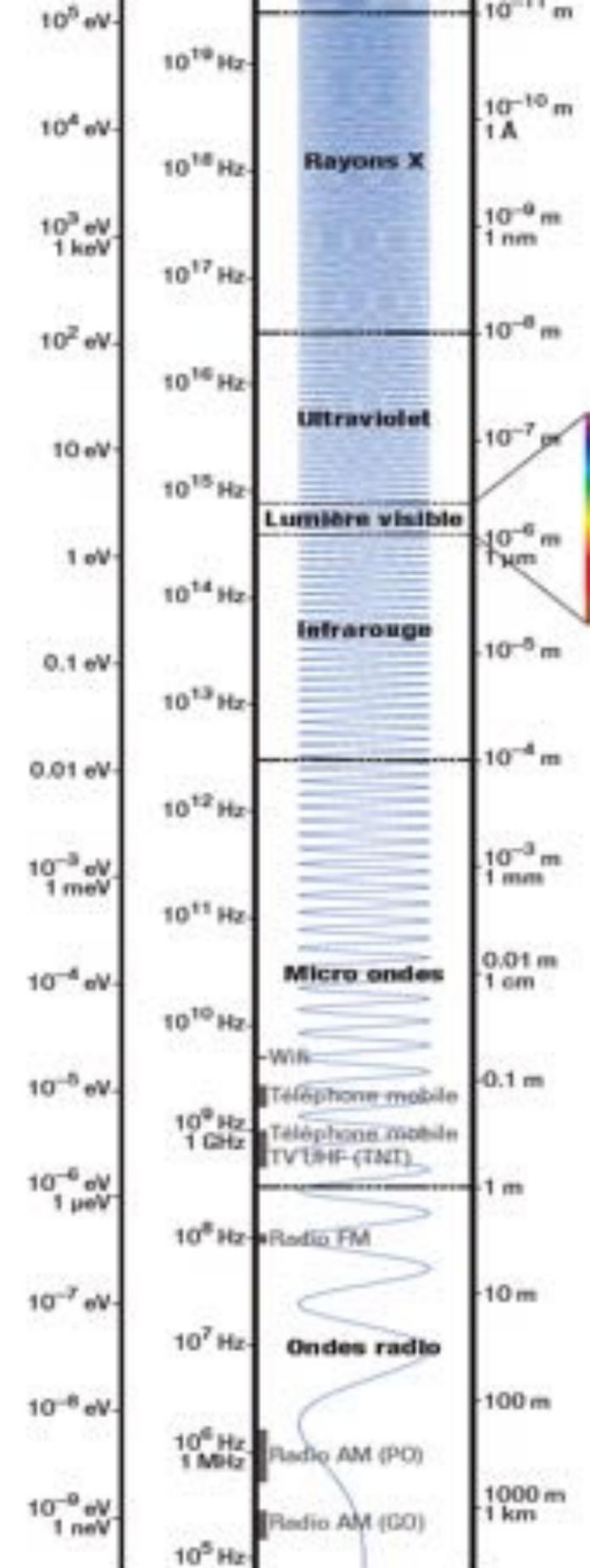
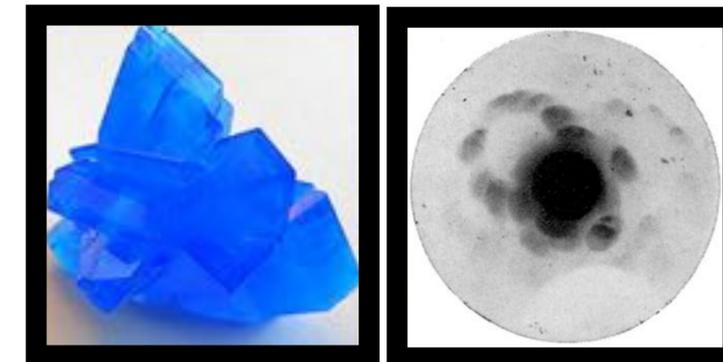
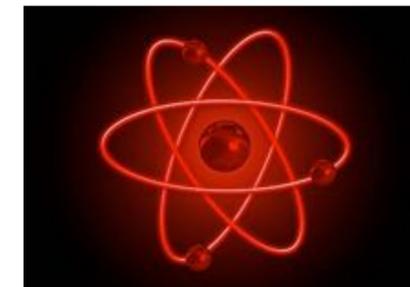
Grâce à la diffraction de rayons X : E. Von Laue (1914)

❖ En 1895 : Découverte des RX par Röntgen (Münich)
C'est un rayonnement électro-magnétique de plus grande fréquence que les UV!

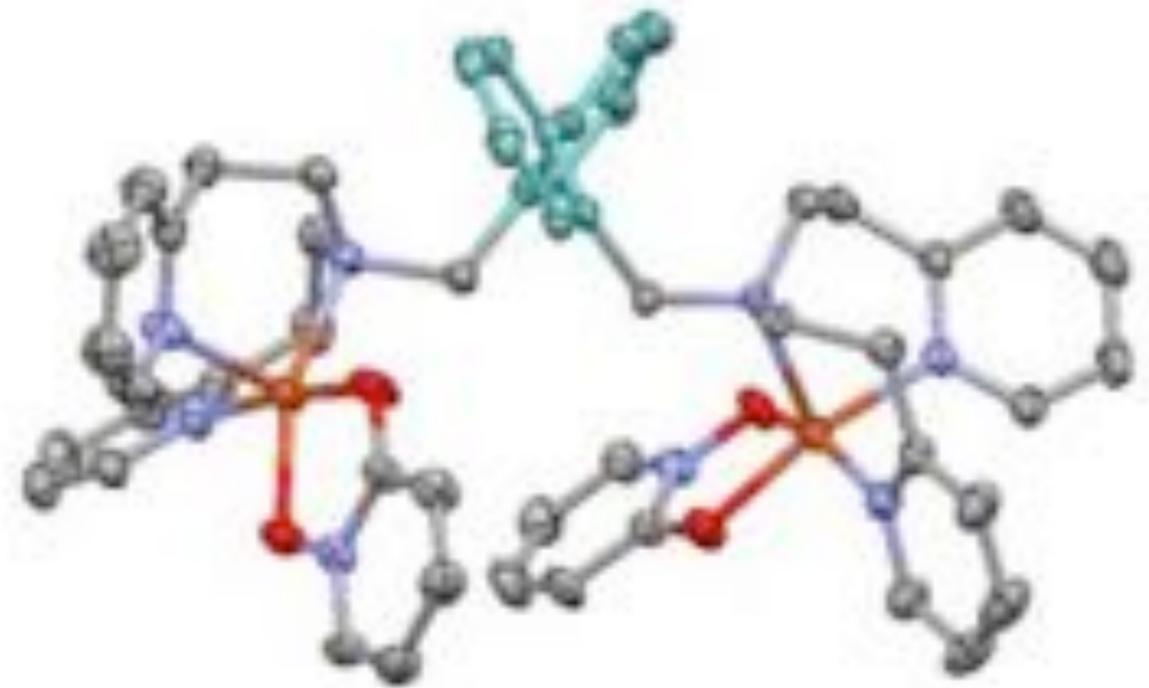
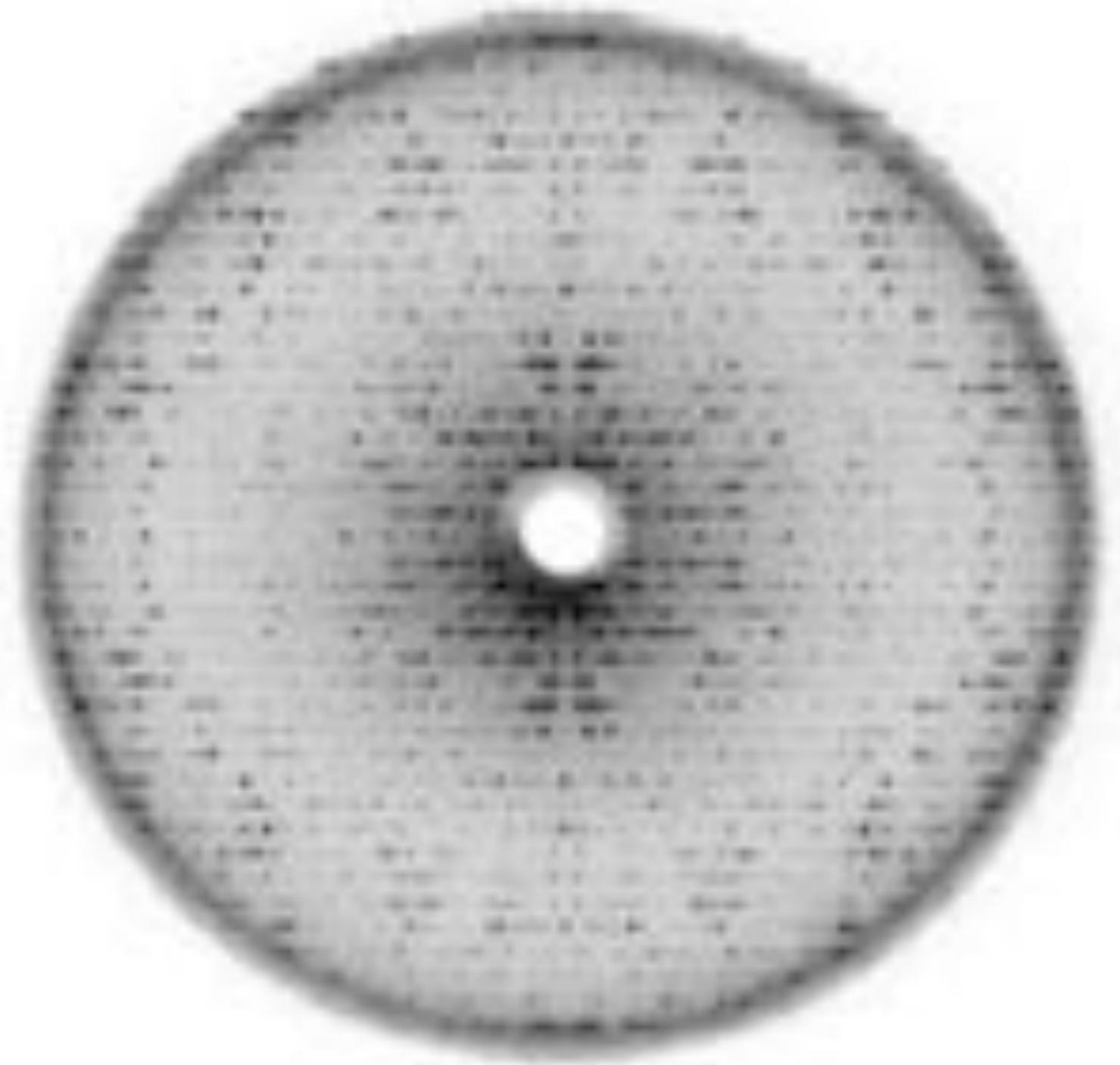
❖ En 1913 : Modèle atomique de Bohr-Sommerfeld (Münich)

interaction noyau-électron :
dimension d'un atome... 10^{-10}m

❖ En 1914 : Edwin Von Laue qui travaille dans un environnement riche décide d'exposer un cristal de CuSO_4 aux Rayons X...



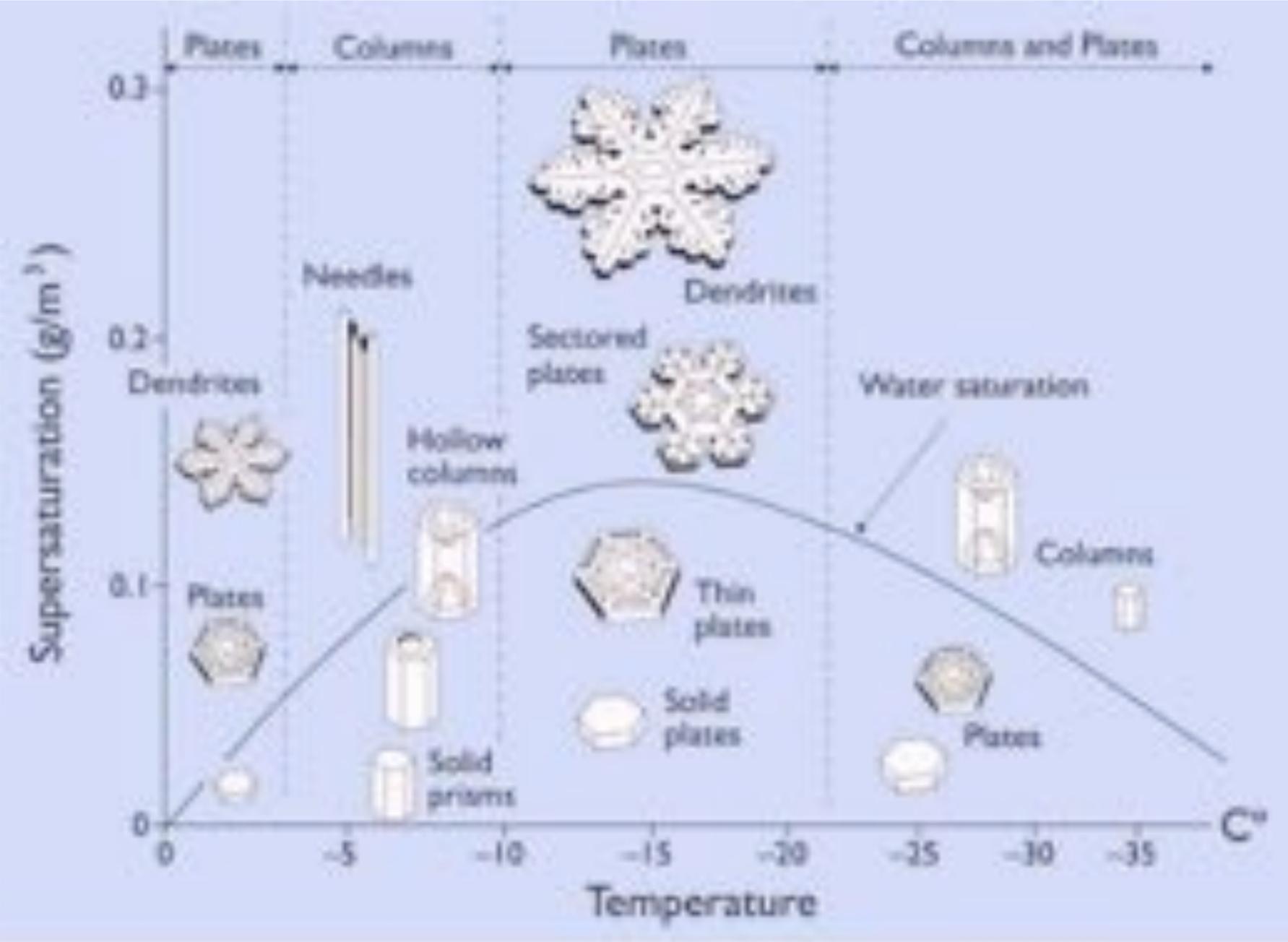
Structures compliquées mais résolues aujourd'hui!



Et les flocons, alors?



Ukichiro Nakaya (1900 –1962)

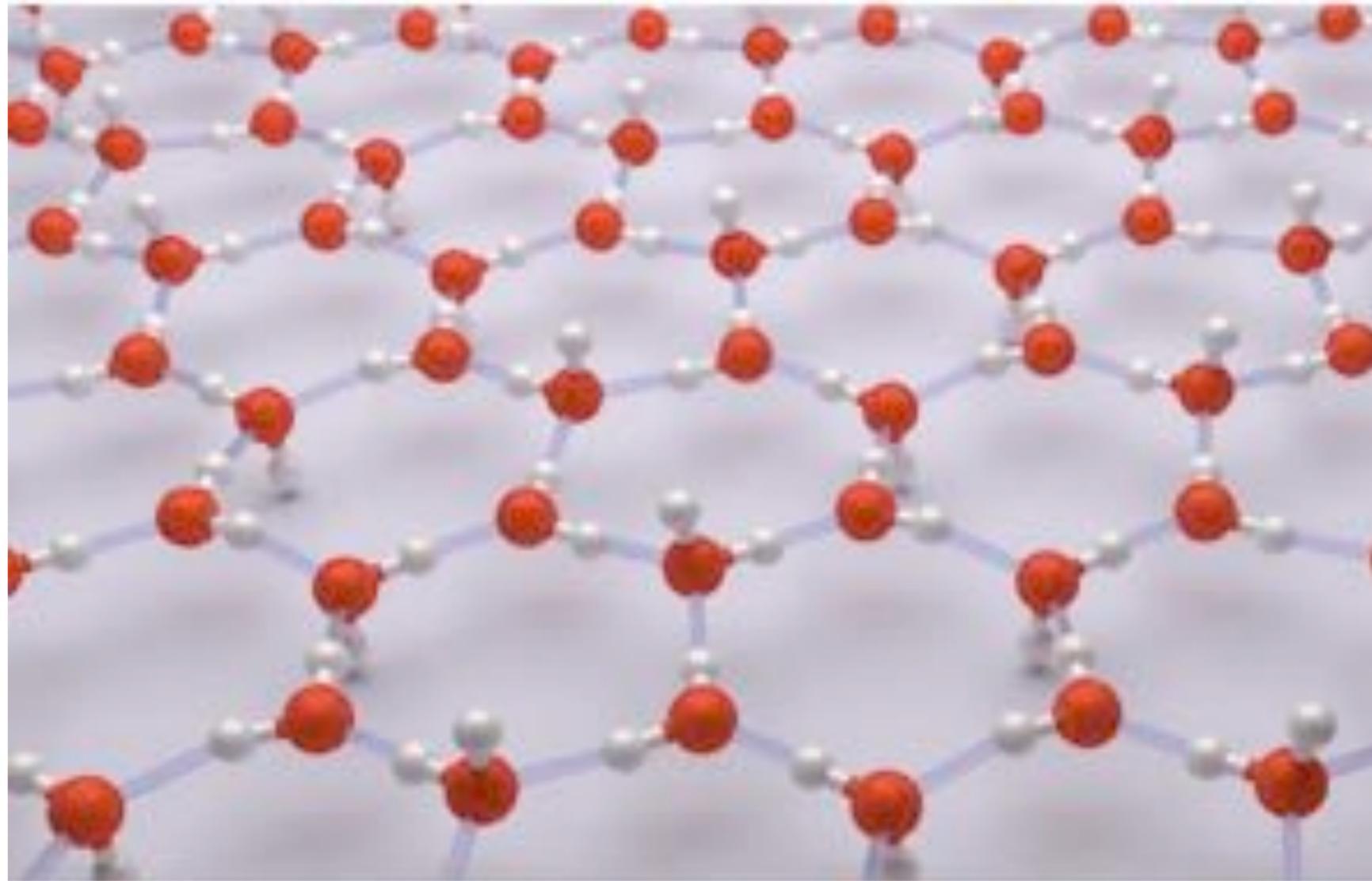


Le diagramme de Nakaya

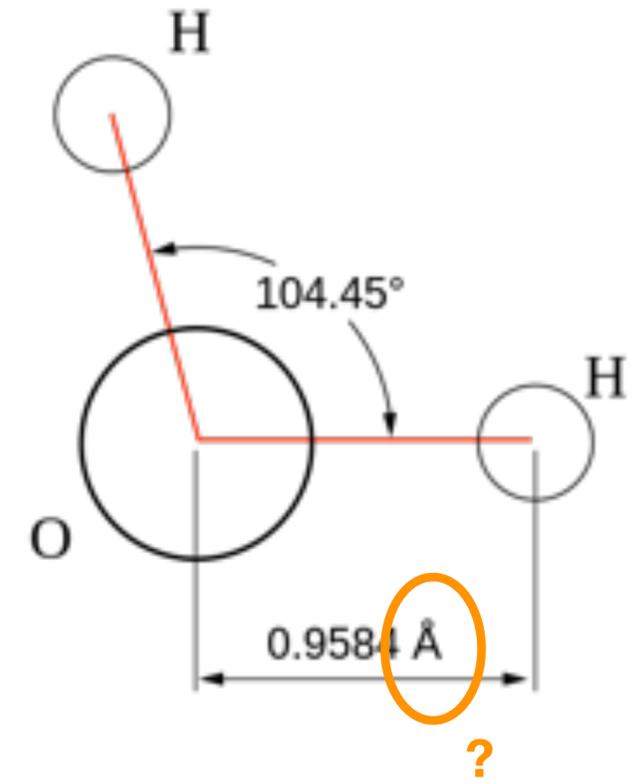


Poil de lapin = super germe!

Les flocons, une structure hexagonale?



Glace



Expérience : ça fait quoi le réseau d'une maille hexagonale en diffraction?

Jeu mathématique et pavage

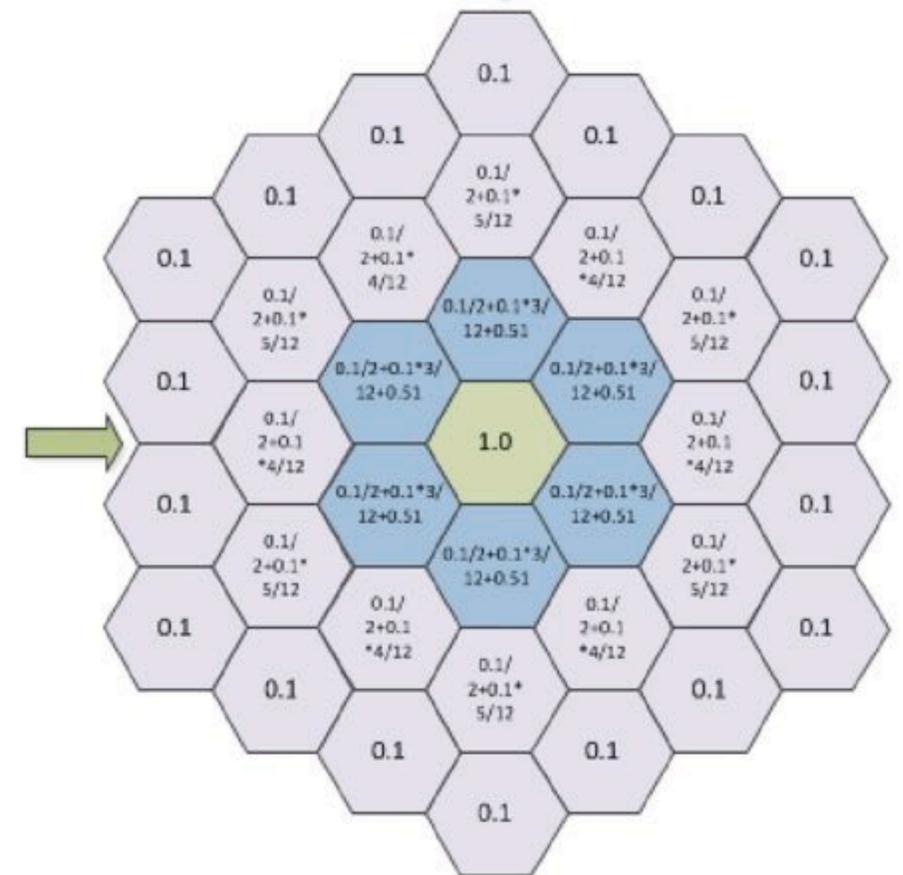
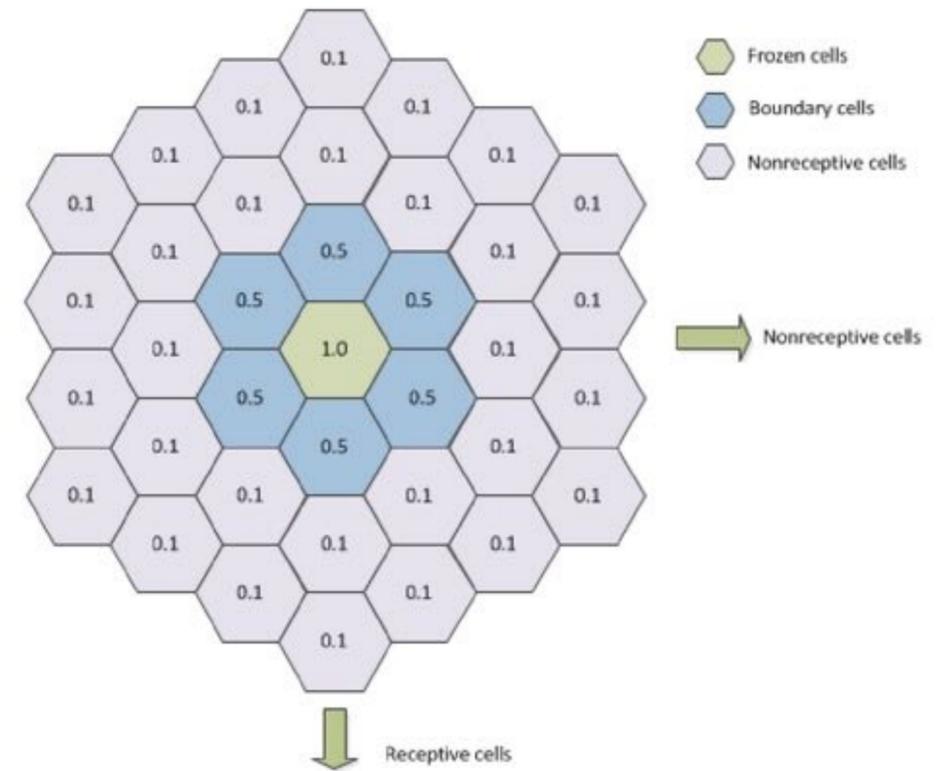
Hans Jakob Reiter (1921 – 1992)
Mathématicien autrichien
(basé sur le modèle de Packard)

Au début, un hexagone contient de la vapeur d'eau ($a=1$: type 0, gelée) et les autres contiennent la même quantité : ($a < 1$: type 1, collée à une cellule gelée = « réceptrice », type 2 : non collée à une cellule gelée = « non réceptrice »)

1- Diffusion de la vapeur : chaque hexagone de type 2 donne une certaine proportion $b < 1$ de sa vapeur à chacun de ses voisins (y compris aux types 0)

2- Croissance du flocon : chaque hexagone de type 0 et 1 reçoit une quantité additionnelle c de vapeur

3- Chaque hexagone qui contient une quantité de vapeur $a \geq 1$ gèle



Alors, pourquoi les flocons de neige tombent toujours sous une forme à six angles et six branches?

Empiler des briques hexagonales

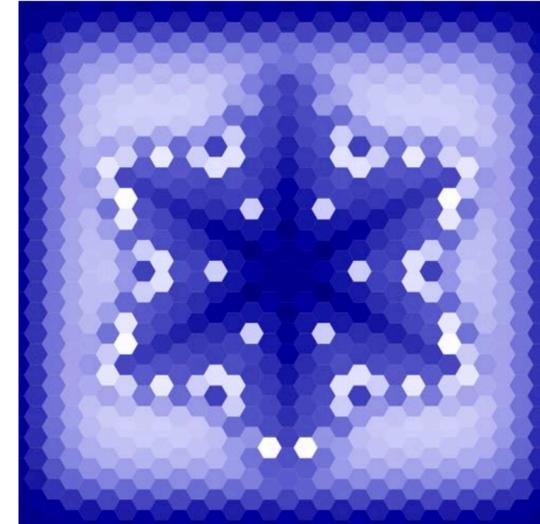
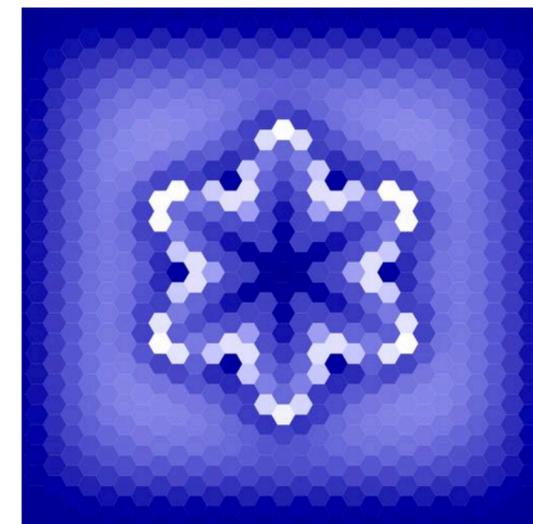
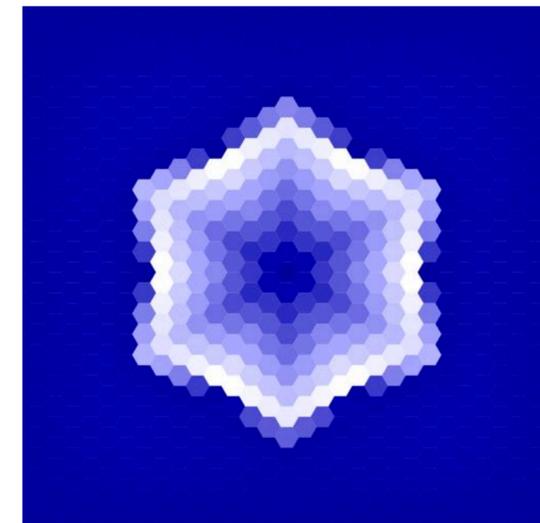
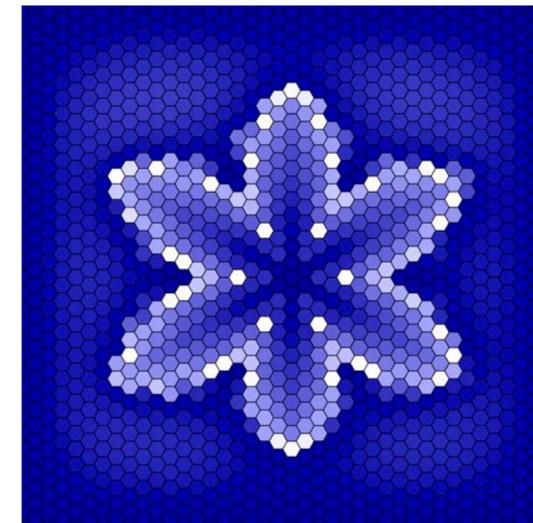
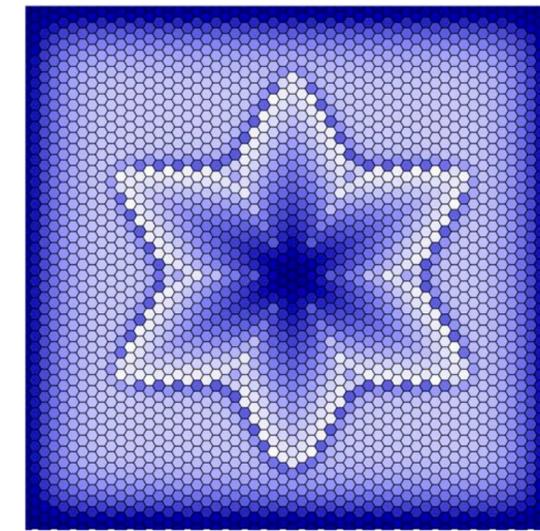
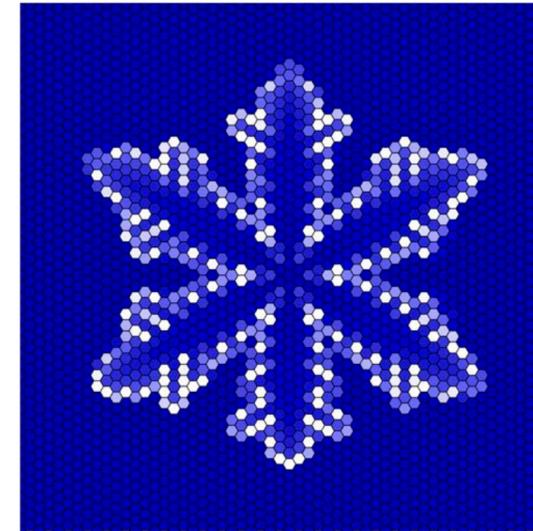
Combien de façon d'empiler des briques pour faire un mur?

Une brique / Plusieurs empilements

Les atomes / molécules aussi peuvent "s'empiler"...

Diffractions de rayons X

"Cristallographie"



Une fascination qui construit la science de demain?



Johannes Kepler (1571-1630)

Astronome allemand



Wilson Alwyn Bentley (1865-1931)

Agriculteur américain



Ukichiro Nakaya (1900-1962)

Physicien japonais



**Annakaisa von Lerber
Scientifique
(météorologie)
finlandaise**

etc.... Et tant d'autres!

1ère Conclusion

**Flocon de neige = cristal dont la maille est hexagonale
Des milliers de formes (conditions atmosphériques)**

**La cristallographie : étude des formes, de la
naissance, des propriétés... des cristaux**

Touche tout le monde donc toutes les disciplines!



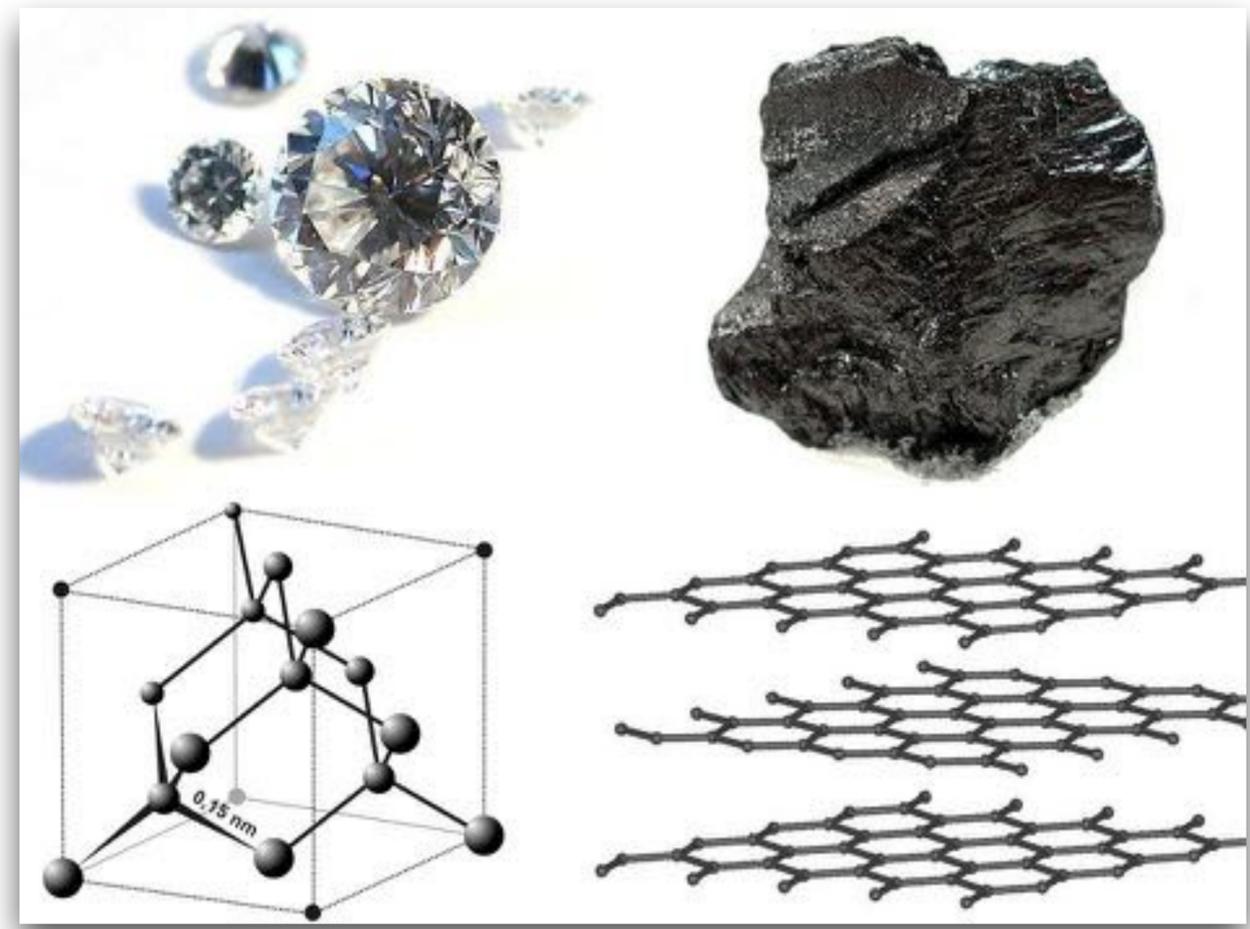
**Pour aller plus loin :
« La petite histoire des flocons de neige », Etienne Ghys**

Mais alors, pourquoi la neige est blanche?

Pourquoi faire de la cristallographie?

Empiler des atomes de carbone

Empilement → Structure



4 liaisons par carbone

3 liaisons par carbone

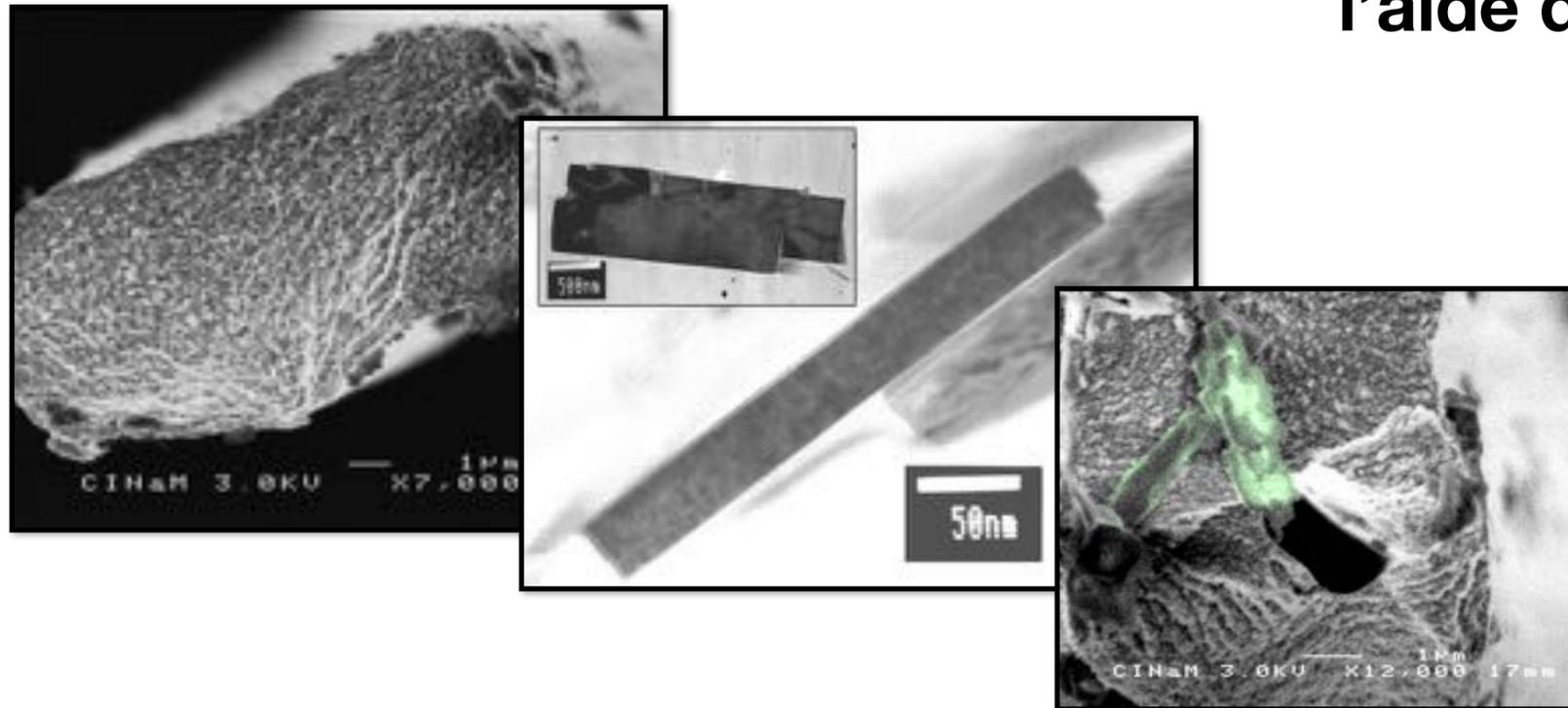
N'existent pas dans les mêmes conditions

**Structure différente
=
Propriétés différentes**

Diamant	Graphite
Transparent	Opaque/Noir
Mineral le plus dur	Mineral le plus mou
Isolant électrique	Conducteur électrique
Conducteur thermique	Moins bon conducteur thermique
...	...

Ma recherche?

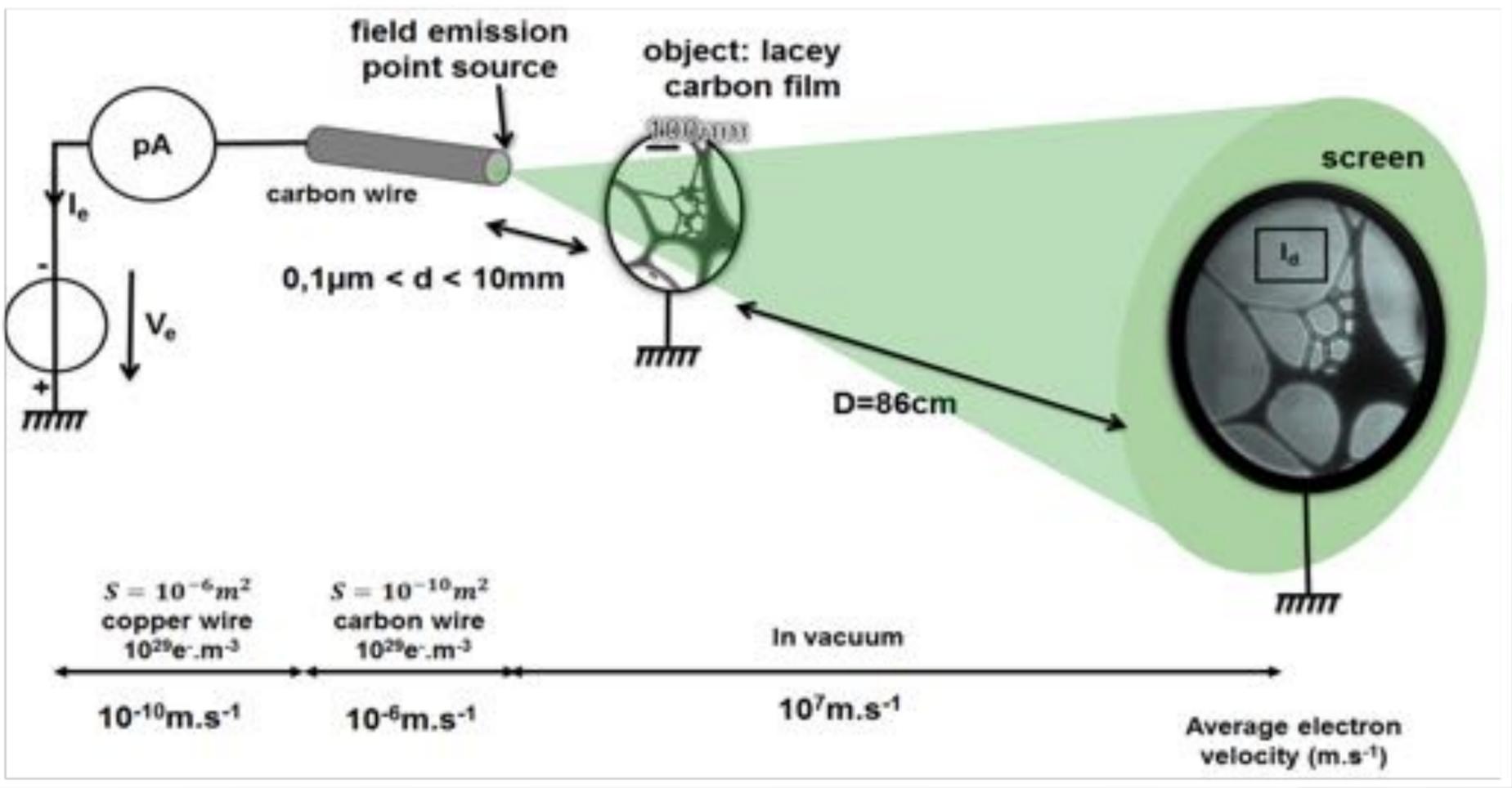
J'étudie la "naissance" des électrons ou des ions à l'aide de champs électriques intenses



**Avec un isolant sur un conducteur :
diamant / graphite, par exemple!**

Champ électrique intense : Effet d'interface

Sources brillantes d'électrons : faire des hologrammes



Source en cours de développement pour l'industrie de la microscopie électronique...

Conclusion

La connaissance et les technologies de demain commencent par la recherche d'aujourd'hui

La science se construit jour après jour

Chercheur = curieux, envie de comprendre

Compétences

- **Créativité, persévérance**
- **Savoir rechercher des financements → élaborer des projets de recherche**
- **Savoir collaborer**
- **Savoir communiquer**

