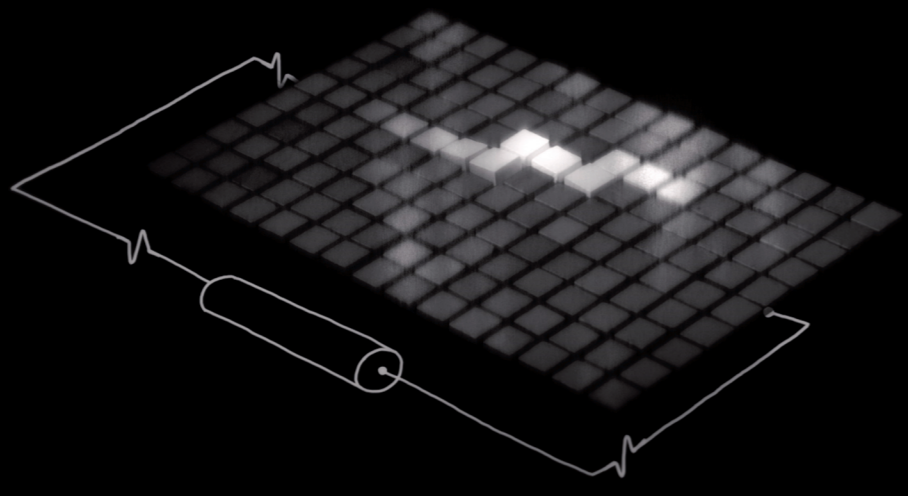
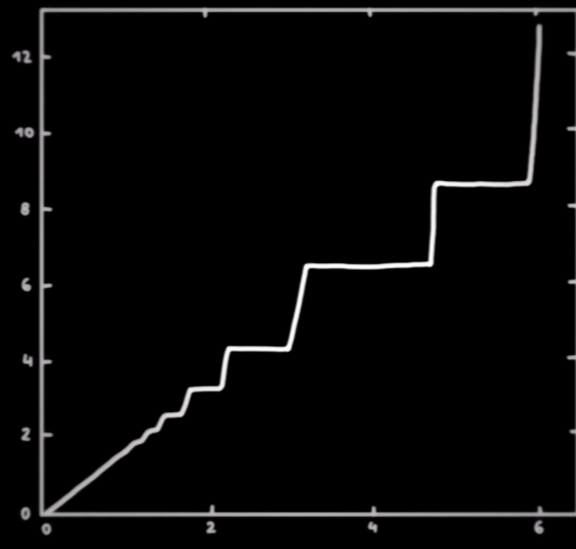


# LA PHYSIQUE TOPOLOGIQUE

## L'effet Hall quantique



1980: Klaus Von Klitzing étudie le mouvement des électrons d'une couche métallique très fine placée dans un champ magnétique intense.



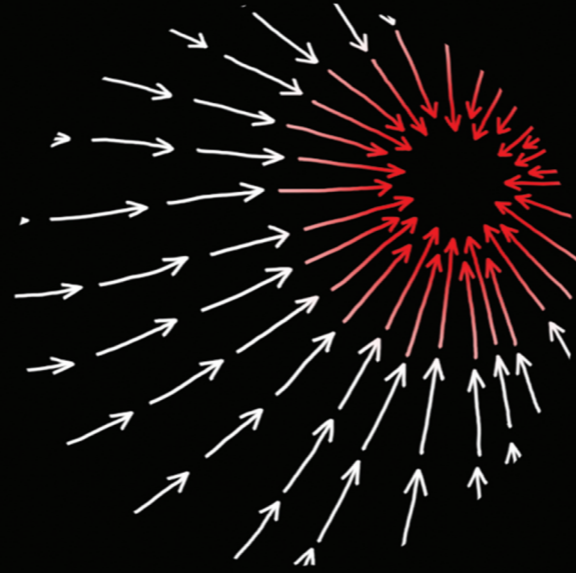
Sur sa courbe de mesure, il observe des plateaux inattendus.

$$\frac{h}{8e^2} \quad \frac{h}{6e^2} \quad \frac{h}{4e^2} \quad \frac{h}{3e^2}$$

Et la mesure de ces plateaux donne toujours exactement les mêmes valeurs universelles!



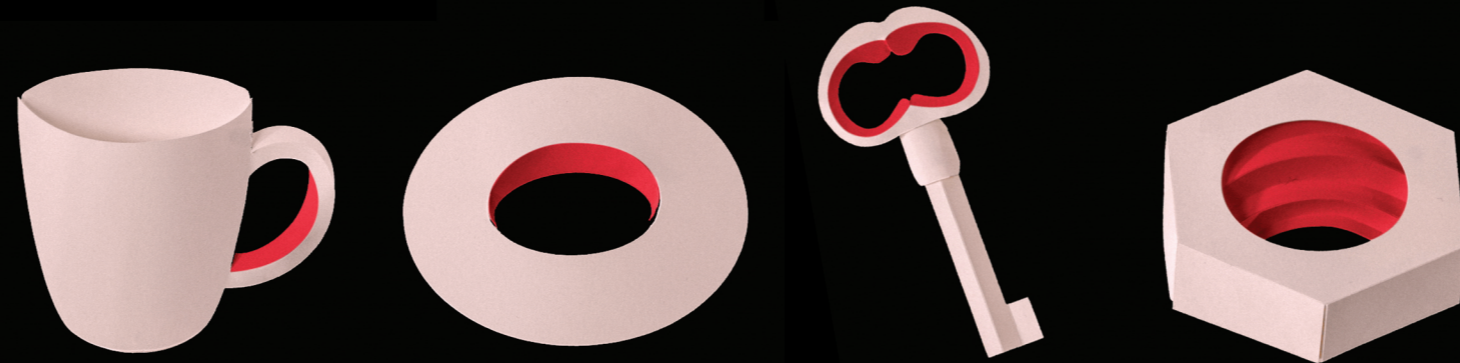
1982: Le théoricien David Thouless a l'idée d'analyser les mesures de Von Klitzing dans l'espace réciproque, un espace mathématique où les électrons deviennent des vecteurs, des sortes de petites flèches qui représentent leurs vitesses.



Ici, Thouless découvre que l'espace réciproque est une boule que les électrons doivent recouvrir, mais qu'il apparaît alors un défaut topologique.

## La topologie dans les solides

En mathématiques, la **topologie** est l'étude des propriétés invariantes des objets, qui résistent à toute déformation, par exemple, des trous...



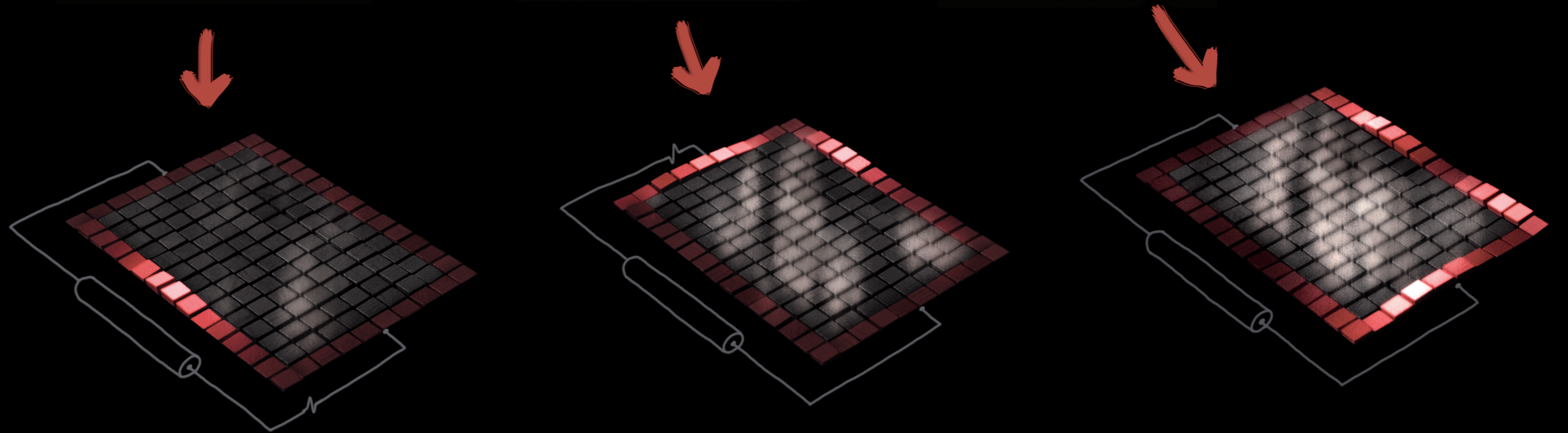
On peut donc classer les objets en fonction de leur nombre d'invariants. Par exemple, le nombre de trous...



... ou bien le nombre d'épis sur une boule chevelue, exactement comme les électrons ici.

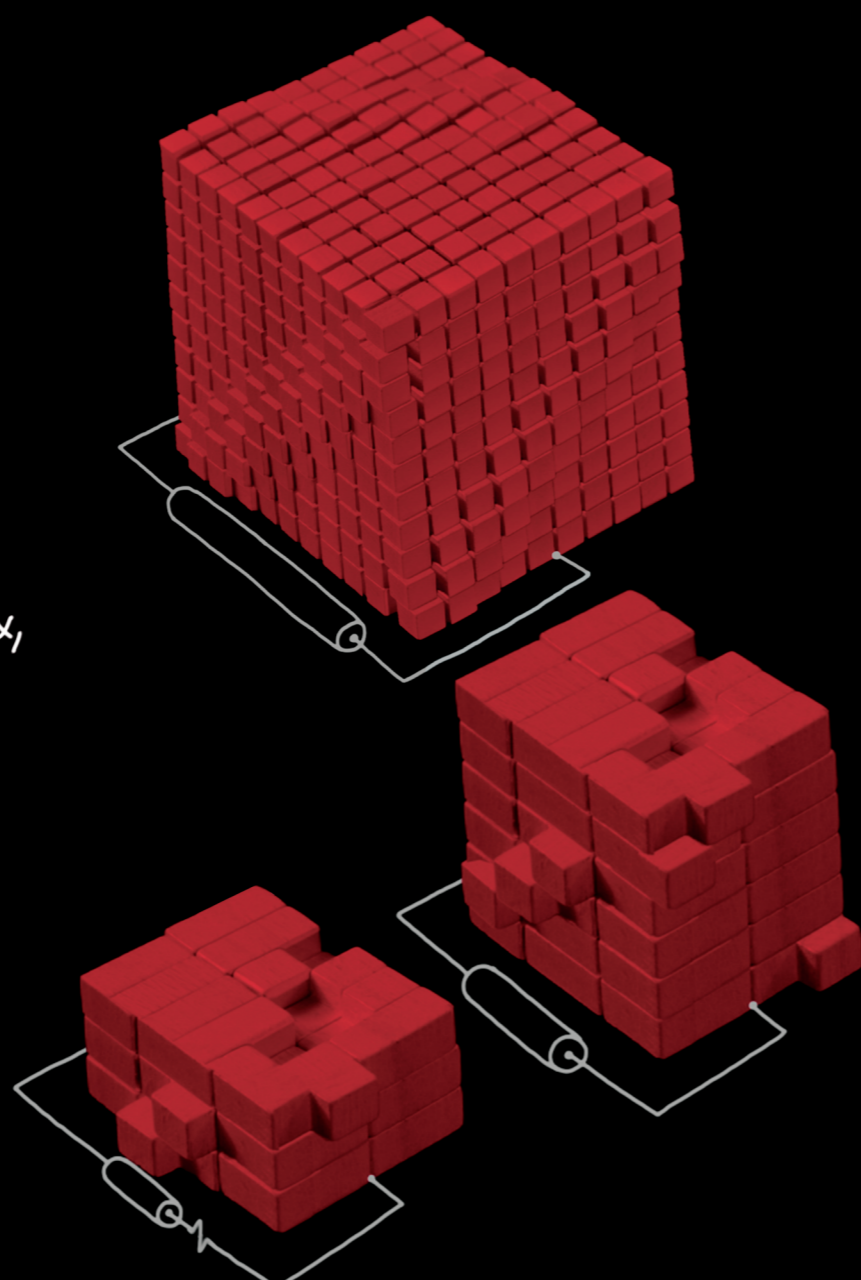


Thouless calcule alors que chaque "épi" correspond à une vague d'électrons circulant sur les bords du métal. Ces vagues sont à l'origine des plateaux observés.



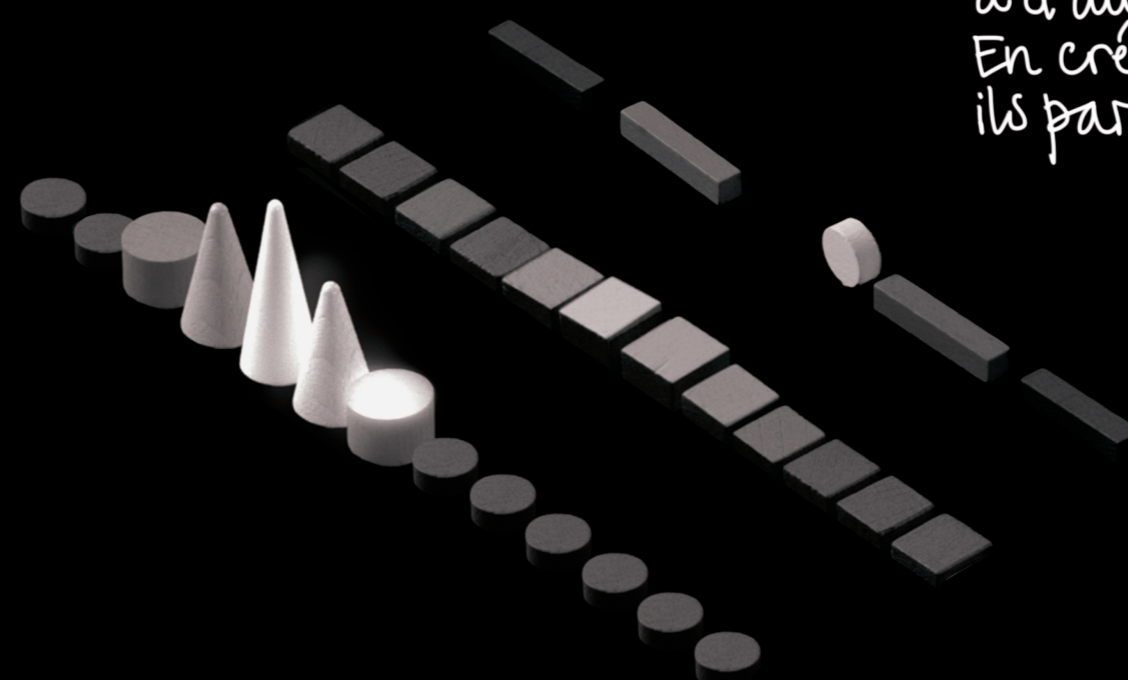
## Les isolants topologiques

Années 2000: on a découvert que ces propriétés **topologiques** s'observent aussi dans d'autres matériaux, pas seulement des couches fines, et même sans champ magnétique. Le courant électrique ne peut circuler qu'à la surface de ces matériaux, ce sont des "isolants topologiques".

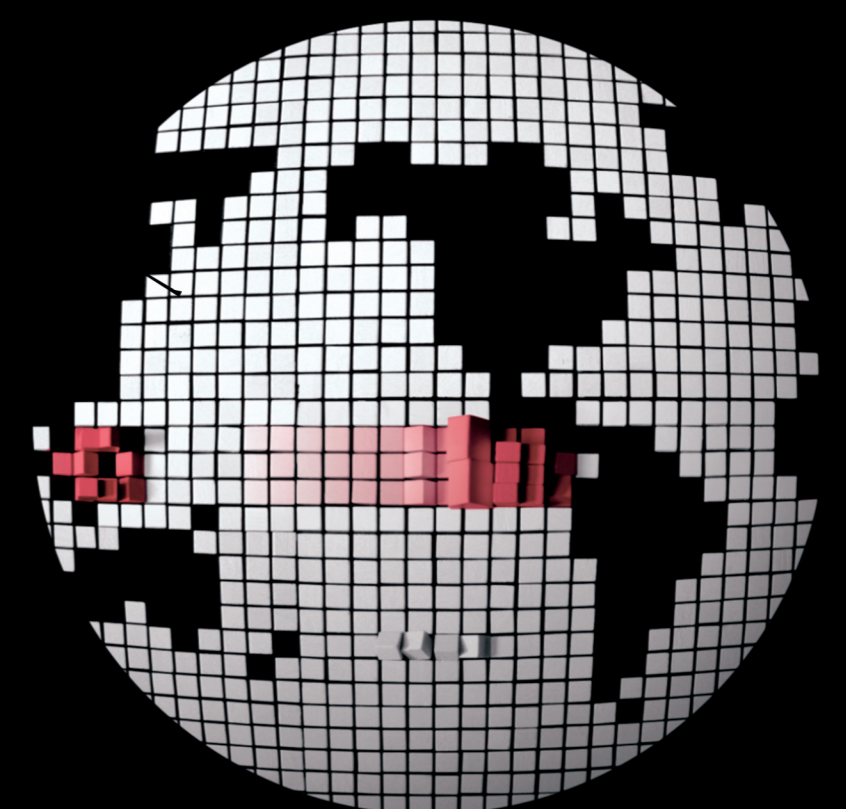


## Au-delà des solides

Les physiciens ont depuis appliqué la **topologie** à d'autres ondes, lumineuses, acoustiques... En créant des matériaux artificiels, ils parviennent à guider ces ondes sur mesure.



La **topologie** s'applique même aux vagues dans l'océan. On a ainsi pu comprendre l'origine de certaines vagues équatoriales, qui ne se propagent que vers l'Est.

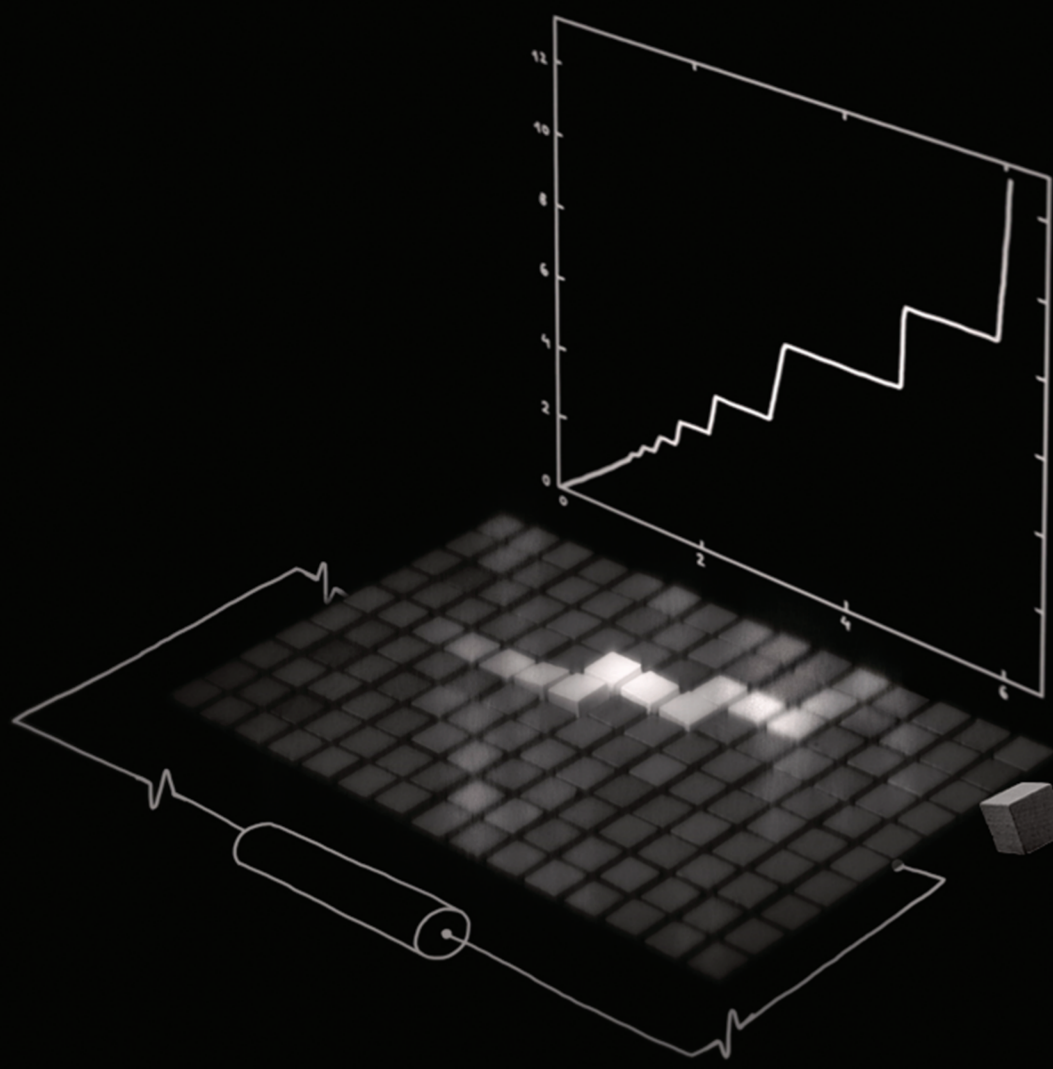


# COMMENT SE FAIT UNE GRANDE DÉCOUVERTE

L'exemple de la **topologie** en physique quantique

## 1. La petite expérience

Souvent, en physique, une grande découverte commence par une toute petite expérience qu'on ne comprend pas. Là, c'était l'apparition d'étranges plateaux.



## 2. Comprendre

À partir d'un résultat expérimental, on creuse... on creuse jusqu'à arriver à en avoir une compréhension et une image simple. Ici, on s'est rendu compte que pour comprendre l'effet Hall, il fallait utiliser la **topologie**, un langage initialement développé par les mathématiciens.

## 3. Généraliser

Une fois qu'on en est là, les questions changent complètement de nature. Est-ce que cet outil est général en physique? Est-ce qu'il peut s'appliquer à d'autres domaines? On va au-delà de la compréhension du détail d'un fait expérimental.

On s'est rendu compte que la **topologie** ne s'appliquait pas que dans le cas particulier du départ. Elle permettait de prévoir l'existence de nouveaux matériaux aux propriétés totalement originales. Elle pouvait même être étendue à d'autres champs, l'optique, l'acoustique, et même la géophysique!

Il peut y avoir des idées qui, finalement, sont simples, élégantes, universelles, et qui apparaissent dans un tas de phénomènes physiques. Cette recherche d'universel, c'est un des buts de la physique. Ce qui me stimule, c'est cette ligne directrice, transversale entre les disciplines... et puis, terriblement esthétique : à la fin on a quelque chose de beau, et ça compte.

Et j'ai l'impression qu'on n'a pas fini de tirer le fil de la bobine...

Pierre Delplace et David Carpentier,  
chercheurs en physique théorique

