

## Symétries brisées

Cet article a pour but d'illustrer, sur des exemples visuels amusants, la notion de symétrie brisée.

La nature nous donne de nombreux exemples où la symétrie d'un système évolue avec la température ;

\* C'est le cas de l'eau qui se transforme en glace : le liquide présente des symétries que la glace ne présente pas.

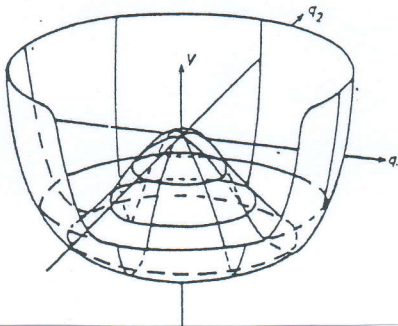
\* C'est aussi le cas du ferromagnétisme puisqu'au-dessus de la température du Curie les moments magnétiques des atomes sont orientés au hasard alors qu'une direction particulière (sud-nord) apparaît au-dessous de la température du Curie.

\* C'est enfin le cas pour certaines interactions fondamentales comme la force électrofaible qui donne naissance, au-dessous d'une certaine température de l'ordre de  $300 \text{ GeV} \approx 3.10^{15} \text{ K}$ , à la séparation entre la force faible et la force électromagnétique. Cette transition de phase se serait produit environ  $10^{-12} \text{ s}$  après le big-bang.

Dans tous les cas cités ci-dessus il s'est produit une transition de phase. Celle-ci peut être du premier ordre

si l'énergie libre du système et son entropie sont discontinues. Elle est du second ordre si l'énergie libre et son entropie sont continues. Le premier cas est illustré par le changement de l'eau en glace (il y a changement du volume des deux phases et une chaleur latente de transformation). La transition ferromagnétique est au contraire du second ordre et la transition se fait sans changement de volume. Au point critique d'une transition du second ordre, le système a le choix entre plusieurs possibilités d'énergie équivalente.

Dans les transitions de phase du second ordre, le changement de symétrie qui se produit au point critique est dénommé «brisure de symétrie». Le phénomène de brisure de symétrie s'observe lorsque le potentiel décrivant un système présente une symétrie que l'état du système ne présente pas. Ceci est illustré le plus simplement en prenant l'exemple d'une bouteille dont le fond à la forme indiquée sur la figure 1.

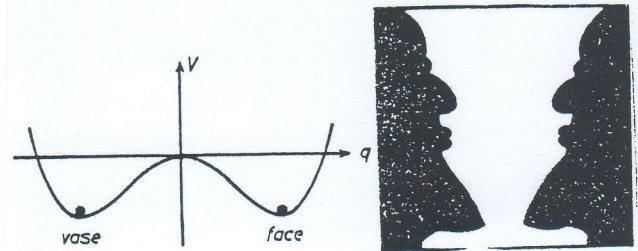


Le potentiel a une symétrie de révolution mais, si l'on place une petite bille au fond de cette bouteille, le système obtenu n'a plus de symétrie de révolution. En effet, la bille peut se placer en n'importe quel point de la couronne circulaire correspondant au minimum du potentiel.

Nous allons donner ci-dessous quelques exemples visuels permettant d'illustrer ce phénomène de symétrie brisée.

\* Sur la partie gauche de la figure 2 nous avons une image qui peut donner lieu à deux interprétations :

- 1/ un vase,
- 2/ deux visages en regard.

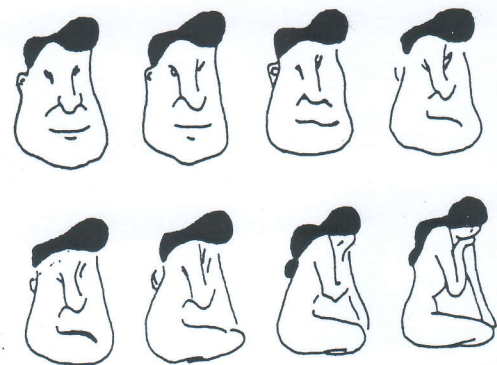


Sur la partie droite ces deux possibilités sont illustrées en terme de potentiel. Le vase ou les visages correspondent à deux configurations de même énergie.

\* La figure 3 est également une illustration du phénomène de symétrie brisée : regardez l'image puis retourner celle-ci. Vous verrez qu'il existe entre les deux un rajeunissement inattendu !



\* Dans le cas du ferromagnétisme, nous savons qu'il y a aussi le phénomène d'hystérésis. Ceci peut s'illustrer visuellement par la figure 4 ;



En regardant la suite d'images de gauche à droite en partant du haut, on remarque que la transition à l'image en bas à droite ne se fait pas au même endroit

que si l'on regarde la suite d'images de droite à gauche en partant du bas.

Christian Ngô

\*\*\*\*\*