

La couleur de l'eau

Pourquoi la mer est bleue alors que l'eau est transparente dans un verre? Qu'est ce qui fait que la neige et les nuages sont blancs ? Pour répondre à ces questions il nous faut d'abord expliquer ce qu'est la lumière au niveau microscopique.

La lumière est à la fois une onde et une pluie de particules singulières appelées photon. De plus, toute onde est définie par une longueur d'onde particulière (qui est la distance entre 2 maximum). De plus, nous pouvons relier l'énergie de l'onde avec la longueur d'onde selon la formule suivante :

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \text{où } c \text{ est la vitesse de la lumière dans le vide.}$$

Dans le cas de la lumière, nous avons un spectre continue de longueur d'onde (qui dans le visible pour l'œil humain s'étend de 400 nm à 700 nm) Nous la percevons blanche, mais c'est en fait la superposition d'un grand nombre de couleurs dépendant de la longueur d'onde.

Expliquons maintenant d'où vient la couleur des objets. Elle est due à deux phénomènes d'interaction entre la matière et la lumière : l'absorption et la diffusion.

D'abord, qu'est-ce que l'absorption. Les molécules contiennent des niveaux d'énergies spécifiques et peuvent donc absorber des photons ayant des énergies correspondant à la transition entre 2 niveaux dans la molécule.

Ainsi, seules certaines couleurs sont absorbées et les photons restants (ceux que nos yeux captent) sont ceux des couleurs restantes. Dans le cas de l'eau, l'intensité de l'absorption n'est pas la même pour les différentes couleurs, l'eau va d'abord absorber le rouge puis le vert et enfin le bleu. Cependant cette absorption est relativement faible, c'est pourquoi l'eau est transparente dans notre verre, la distance parcourue par la lumière dans l'eau n'étant pas assez importante pour avoir une diminution significative de la couleur rouge dans un verre. Pour la mer, cela dépend de la profondeur de l'eau. Quand on est dans la mer, à partir de 3 mètres tout le rouge est absorbé, à partir de 37,5 mètres c'est le vert et au-delà de 365mètres il n'y a plus de bleu non plus.

Mais pour la couleur de la surface de la mer, il faut qu'une partie de la lumière qui arrive à nos yeux ait parcourue auparavant une distance dans la mer. Il y a deux composantes : la lumière réfléchi par le fond de la mer (si elle n'est pas trop profonde) et la lumière diffusée aux diverses profondeurs par les particules en suspension qui la dispersent dans toutes les directions. Au flux lumineux sortant réellement de la mer vient s'ajouter le flux venant de la voûte céleste et réfléchi directement par la surface. La couleur de la surface de la mer va donc dépendre de sa profondeur et de la couleur du ciel.

Enfin, c'est également la diffusion qui explique la couleur des nuages et de la neige. Un nuage est constitué de gouttelettes d'eau surfondue et de cristaux de glace. Elles vont provoquer la diffusion de la lumière dans toutes les directions. La lumière venant du soleil étant blanche, les nuages vont paraître blancs. Un nuage de taille moyenne va paraître blanc mais les gros nuages vont paraître gris voire noir. Ils sont tellement épais que presque aucune lumière ne sait les traverser. C'est exactement la même chose pour la neige. Les cristaux de neige diffuse diffusent la lumière du Soleil dans toutes les directions.

A la découverte de l'architecture de l'eau

Il est bien connu que l'eau gèle à 0°C. Pourtant, il est possible d'avoir de l'eau liquide à une température inférieure à 0°. C'est ce que l'on nomme l'eau surfondue. Cet état particulier est dû aux liens hydrogènes (appelés aussi lien H) imposants la structure de la glace.

On définit une molécule comme étant une structure composée d'atomes reliés entre eux par des liaisons chimiques (celles-ci équivalent un partage temporaire d'électrons). Mais existe-t-il des liaisons intermoléculaires comme il existe des liaisons atomiques ? Oui, les liens hydrogène font partie de cette autre catégorie de liaison.

Dans une liaison chimique, les électrons ne sont pas toujours partagés de la même façon entre les atomes. L'oxygène attire plus les électrons à lui tandis que l'hydrogène le fait beaucoup moins, ainsi les électrons des liaisons O-H sont fortement attirés par l'atome d'oxygène.

Ce déficit en électrons cause l'apparition d'une charge partielle positive sur l'hydrogène et d'une charge partielle négative sur l'oxygène. (Car les électrons portent une charge négative).

Or, l'oxygène possède en plus deux doublets d'électrons non-appariés autour de son noyau et sont disponibles pour rentrer dans une liaison. Un lien se crée alors entre les hydrogènes déficitaires en électrons et l'oxygène un peu plus négatif. C'est le lien hydrogène.

Le lien H a une énergie bien plus faible que l'énergie d'une liaison chimique. Ces deux types de liaisons ne peuvent donc pas être comparés. Un autre aspect important des liens H à considérer dans l'étude de la structure de l'eau est leur caractère fortement directionnel, qui engendre l'orientation des molécules d'eau pour maximiser la force des liens H.

Cependant, l'agitation thermique perturbe les liens H et limite leur durée de vie.

A 0°C, l'agitation thermique devient assez faible pour permettre l'émergence de liens hydrogène à longue durée de vie entre plusieurs molécules d'eau, ce qui forme dans l'espace un polyèdre. Les molécules aux extrémités de ce polyèdre, figés dans leur orientation, vont ensuite favorablement former d'autres liens hydrogène directionnels avec les molécules d'eau liquide et finalement donner de la glace.

Tout changement de phase s'initie à un niveau local, où une partie de la matière change d'état. Cette petite partie de matière qui change de phase porte le nom général de noyau. Selon le processus de formation du noyau, on distingue deux types de nucléation : la nucléation hétérogène (les noyaux se forment autour de substances différentes de celle qui change de phase) et la nucléation homogène.

La température de 0°C constitue la température de nucléation hétérogène de l'eau : celle-ci telle que nous la connaissons au quotidien est suffisamment impure pour contenir des protéines ou des poussières dont la surface permet la nucléation. Les molécules d'eau ne sont plus orientées aléatoirement à leurs contacts et adoptent des orientations qui favorisent la nucléation.

En absence de ces impuretés, l'agitation thermique est encore trop importante pour que les molécules d'eau aient une orientation favorable à la nucléation, et l'eau reste liquide jusqu'à une température appelée température de nucléation homogène : il s'agit de l'eau surfondue.

L'eau surfondue est ce qu'on appelle un état métastable : sans aucune perturbation, l'eau peut rester liquide en dessous de 0°C. La moindre perturbation entraîne cependant sa cristallisation immédiate.

Que se passe-t-il en-dessous de la température de nucléation homogène ? Cette question fait encore aujourd'hui l'état de nombreuses recherches à l'heure actuelle. Ce type de travaux n'a pas qu'un unique intérêt pour la connaissance fondamentale : l'eau surfondue existe dans certaines couches de l'atmosphère. Etudier ses transformations permettra d'avoir une meilleure vision de la contribution de l'eau dans le climat.

Quelques références bibliographiques :

(1) Sébastien Coetmellec, Les couleurs de l'eau

<http://aqn.gg.free.fr/IMG/pdf/CH2O-2.pdf>

(2) Les couleurs de la mer

<http://www.mandragore2.net/dico/lexique1/lexique1.php?page=couleur-mer>

(3) Optique sous-marine

<http://www.mandragore2.net/dico/lexique1/lexique1.php?page=optique-sous-marine>

(4) Les couleurs de la nature

<http://vercors-net.com/dossiers/sciences/couleurs.html>

(5) Pourquoi la couleur de l'océan est bleue

<http://www.podcastscience.fm/dossiers/2011/03/04/pourquoi-la-couleur-de-locean-est-elle-bleue/>

(6) Hydrogen bonding in water <http://www.lsbu.ac.uk/water/hbond.html> (accessed Mar 11, 2013).

(7) Dill, K. A.; Bromberg, S. Molecular Driving Forces: Statistical Thermodynamics in Chemistry & Biology; 1st ed.; Garland Science, 2002, 615-627

(8) Matsumoto, M.; Saito, S.; Ohmine, I. Molecular dynamics simulation of the ice nucleation and growth process leading to water freezing. *Nature* 2002, 416, 409–413.

(9) Nucleation. Wikipedia, the free encyclopedia 2013.

(10) Moore, E. B.; Molinero, V. Structural transformation in supercooled water controls the crystallization rate of ice. *Nature* 2011, 479, 506–508.