

# Une situation contextualisée de mise en pratique en physique

## Archimède et l'augmentation du niveau des océans

Yvon Lapointe, enseignant retraité

*« De toutes les conséquences du réchauffement climatique de la planète, l'idée de l'augmentation du niveau des océans est, à sa face même, une des plus faciles à comprendre et peut-être la plus terrifiante. »*

(Svoboda, 2019, traduction de l'auteur)

Dans les programmes de sciences et technologies, on souhaite que les enseignants et enseignantes proposent aux élèves des situations dites contextualisées qui s'inspirent de questions d'actualité liées à de grands enjeux de l'heure. À la suite d'une relecture d'un article de Lan (2010), qui montre que nous pouvons expliquer la cause de l'élévation du niveau marin en utilisant le principe d'Archimède, l'idée m'est venue de m'inspirer de sa démarche pour proposer une situation de mise en pratique de ce principe à l'intention des élèves de cinquième secondaire.

Cet article vise principalement l'application de deux compétences disciplinaires issues du programme de physique, à savoir : « Mettre à profit ses connaissances en physique » et « Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes relevant de la physique ».

L'article se divise en quatre volets. Le premier montre que l'augmentation du niveau des océans est déjà un fait accompli et que ce phénomène s'accélère avec la hausse de la température du globe. Le second volet définit la principale source de l'augmentation du niveau des océans, soit la fonte des inlandsis, et en énonce brièvement le mécanisme responsable. Le troisième volet décrit la situation de mise en pratique. Enfin, le dernier volet propose un exemple de calcul de la variation du niveau de l'océan Austral due à la fonte d'un iceberg.

### L'augmentation du niveau des océans : une réalité déjà incontournable

Déjà en 2002, Meier et Wahr (2002) écrivaient que « l'augmentation graduelle du niveau de la mer est un des aspects les plus troublants du changement global, spécialement parce que celui-ci s'accélérera probablement à mesure que le réchauffement global progresse » (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United-States [PNAS]) (traduction de l'auteur).

Selon un communiqué de l'Organisation des Nations Unies (ONU) datant du 25 septembre 2019,

les océans ont absorbé environ un quart des émissions de gaz à effet de serre générés par les humains, avec des conséquences palpables : un niveau des mers et des océans qui monte deux fois plus vite, tout en se réchauffant, selon un nouveau rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) [...].

Annie Labrecque (2018), dans un article qu'a publié la revue Québec Science en juin 2020, écrit que

la hausse du niveau des mers pourrait affecter des millions de personnes à travers le monde d'ici 2100. Le Québec ne sera pas épargné. Lors d'une conférence web réunissant des experts en climatologie, Michael Oppenheimer, chercheur américain à l'université Princeton, mentionne « qu'avec le réchauffement climatique, la fonte de la calotte glaciaire est l'une des causes les plus importantes de la montée des eaux du globe ».

## La fonte des inlandsis, la grande responsable de l'augmentation du niveau des océans

Un inlandsis est une nappe de glace de forte épaisseur (jusqu'à plusieurs kilomètres) et de grande étendue. Comme les icebergs, les inlandsis sont des glaciers; contrairement à eux, ils ne flottent pas, parce qu'ils recouvrent une étendue de terre, bien qu'ils puissent s'étendre au-dessus de la mer. On parlera alors de « barrière de glace ». On trouve deux inlandsis sur la planète : l'inlandsis de l'Antarctique et l'inlandsis du Groenland (Wikipédia, 2020).

Comme les autres glaciers, les inlandsis sont formés par une accumulation de neige. En effet, dans cette situation, le volume de neige qui tombe surpasse celui qui fond. Avec le temps, la neige se trouve comprimée, et une partie de l'air qu'elle contient est évacuée, ce qui cause une transformation progressive de la neige en glace. « Cette glace est suffisamment plastique pour se déformer selon la gravité ou son propre poids. Dans le cas des inlandsis, c'est le propre poids de la glace qui provoque son déplacement. » (Wikipédia, 2020)

Le mécanisme produisant la hausse du niveau des océans peut se résumer ainsi (Wikipédia, 2021) : lorsque la partie frontale de la nappe de glace s'avance dans l'océan, une portion reste attachée à la terre ferme, et l'autre flotte à la surface de l'océan, formant ainsi une barrière qui limite l'écoulement de la nappe glaciaire. Avec le temps, des failles se forment dans la barrière. Celle-ci finit par s'écrouler, permettant alors à la nappe glaciaire de s'avancer de nouveau dans la mer. Sous l'influence du vent, des vagues et des courants sous-marins chauds se crée un nouvel apport de glace « fraîche » qui se disloque, donnant ainsi naissance à de multiples icebergs qui, en Antarctique, ont généralement une forme tabulaire. C'est la fonte de ces icebergs qui provoque la hausse du niveau des océans.

## Description de la situation de mise en pratique

Niveau : cinquième secondaire

Discipline : physique

Compétences disciplinaires : mentionnées ci-haut

Apports possibles d'autres disciplines : histoire (Archimède), géographie (Antarctique, océan Austral), mathématiques (résolutions d'équations), français (vocabulaire de la glaciologie : banquise, iceberg...)

Concepts utilisés : masse volumique, poids, poussée d'Archimède, équilibre des forces

Équations : poussée d'Archimède :

$$\text{Poussée} = \rho_m V_m g \quad (1)$$

où  $m$  est la masse volumique de l'eau de mer,  $V_m$ , le volume d'eau de mer déplacé par la partie immergée de l'iceberg et  $g$ , l'accélération gravitationnelle.

Le poids de l'iceberg :

$$\text{Poids} = \rho_g V_g g \quad (2)$$

où  $g$  est la masse volumique de la glace et  $V_g$ , le volume total de l'iceberg.

La démarche : en combinant (1) et (2), on obtient :

$$\rho_m V_m = \rho_g V_g \quad (3)$$

Quand l'iceberg est complètement fondu, le poids de l'eau résultant de la fonte de la glace est égal au poids de la glace. Ce qui donne :

$$\rho_e V_e = \rho_g V_g \quad (4)$$

où  $\rho_e$  est la masse volumique de l'eau et  $V_e$ , le volume d'eau résultant de la fonte totale de la glace.

De (3) et (4), on obtient :

$$\rho_e V_e = \rho_m V_m \quad (5)$$

On peut réécrire (5) de la façon suivante :

$$V_e = \rho_m V_m / \rho_e \quad (6)$$

Sachant que  $\rho_m$  vaut  $1\,024 \text{ kg/m}^3$  et que  $\rho_e$  vaut  $1\,000 \text{ kg/m}^3$ , le calcul du rapport des masses volumiques nous donne :

$$\rho_m / \rho_e = 1,024 \quad (7)$$

Cette équation nous montre que  $V_e$  est supérieur  $V_m$ . Cela signifie que lorsque le volume d'eau déplacé est comblé, le « surplus » d'eau douce forme un film qui se répartit à la surface de l'océan.

Mais comment peut-on quantifier l'épaisseur de ce film? Pour ce faire, on doit utiliser les grandeurs suivantes : la masse volumique de la glace qui est de  $917 \text{ kg/m}^3$ , celle de l'eau de fonte – de l'eau douce –, soit  $1\,000 \text{ kg/m}^3$ , et celle de l'eau de mer ( $1\,024 \text{ kg/m}^3$ ).

La différence entre  $V_e$  et  $V_m$  s'exprime ainsi :

$$V_e - V_m = (\rho_m / \rho_e) V_m - V_m \quad (8)$$

On réécrit (8) de la façon suivante :

$$V_e - V_m = (\rho_m / \rho_e - 1) V_m \quad (9)$$

En utilisant (3), dans (9), on a :

$$V_e - V_m = (\rho_g / \rho_m) (\rho_m / \rho_e - 1) V_g \quad (10)$$

En utilisant la valeur des masses volumiques, l'équation (10) nous donne :

$$V_e - V_m = 0,021 V_g \quad (11)$$

Cette équation nous montre que la différence entre le volume d'eau douce ( $V_e$ ) et le volume d'eau de mer déplacée ( $V_m$ ) (donc l'augmentation du volume de l'eau) est égale à 0,021 fois le volume de la glace au départ. Cela semble peu, mais il ne faut pas perdre de vue que le volume des icebergs est énorme.

Le volume d'eau qui s'étale à la surface de l'océan est donné par ( $A_o \times \Delta h$ ) où  $\Delta h$  est la variation du niveau de l'océan et où  $A_o$  correspond à l'aire de la surface de l'océan. L'équation (11) prend alors la forme suivante :

$$A_o \times \Delta h = 0,021 V_g \quad (12)$$

Un exemple du calcul de  $\Delta h$

En mars 2000, un des plus grands icebergs jamais observés, l'iceberg B-15, s'est détaché de la Barrière de Ross située au sud-ouest de l'Antarctique (The Earth Observatory, 2018). Cet iceberg avait un volume de glace estimé à 4 000 km<sup>3</sup>. L'océan glacial Antarctique (dit aussi océan Austral) dans lequel il s'est désintégré a une aire estimée à 2,196 × 10<sup>7</sup> km<sup>2</sup>.

$$2,196 \times 10^7 \text{ km}^2 \times \Delta h = 0,021 \times 4\,000 \text{ km}^3$$

$$\Delta h = 3,8 \text{ mm}$$

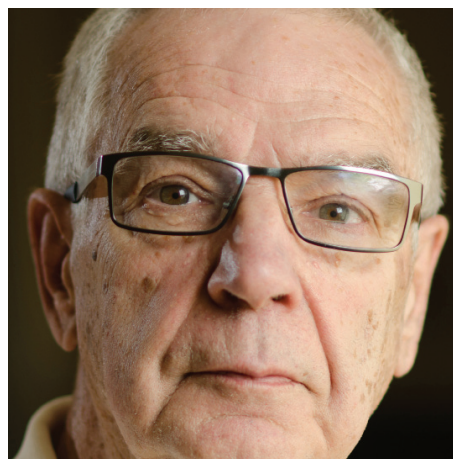
Répartie sur la surface totale des océans qui est 3,6 × 10<sup>8</sup> km<sup>2</sup>, la hausse de leur niveau n'est que de 0,23 mm. Cette valeur peut sembler insignifiante pour convaincre les élèves du danger que représente ce phénomène. Dans son article publié par La Presse, Perreault (2020) avance ceci : « Si la température mondiale cessait magiquement d'augmenter aujourd'hui, de la glace antarctique fonderait encore jusqu'à ce que le niveau de la mer augmente de 1,5 m par rapport à l'ère préindustrielle. »

Bien que la situation proposée semble complexe, je suis d'avis qu'elle est accessible, en tout ou en partie, aux élèves de cinquième secondaire. Par exemple, l'enseignant ou l'enseignante peut faire calculer l'augmentation moyenne de l'élévation au cours des 10 dernières années ou à un instant donné en utilisant les données accessibles sur Wikipédia (augmentation du niveau de la mer). Une discussion de groupe peut être menée sur les conséquences des augmentations du niveau des océans (érosion des côtes, migration climatique...). L'enseignant ou l'enseignante peut ne pas aborder le calcul de l'augmentation du niveau de l'océan et s'en tenir à une discussion sur le résultat de l'équation (7).

Comme il est mentionné au début du texte, si les élèves réalisent que des connaissances en physique sont des outils très utiles pour résoudre des problèmes complexes au sujet de notre environnement, la démarche aura atteint son but.

## RÉFÉRENCES

- Labrecque, A. (2018). Hausse du niveau des mers : 2 mètres d'ici 2100. Repéré à <https://www.quebecscience.qc.ca/environnement/hausse-du-niveau-des-mers-2-metres-d-ici-2100/>
- Lan. B.L. (2010). Does Sea Level Change When a Floating Iceberg Melts? *The Physics Teacher*, 48(5), 328-329.
- Meier, M.F. et Wahr, J.M. (2002). Sea level is rising: Do we know why? Repéré à <https://www.pnas.org/content/99/10/6524>
- Organisation des Nations Unies (ONU) (2019). Pour sauver la planète, il faut sauver les océans. Repéré à <https://news.un.org/fr/story/2019/09/1052512>
- Perreault, M. (2020). Le déclin des glaciers antarctiques « irréversible ». Repéré à <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2020-09-27/le-declin-des-glaciers-antarctiques-irreversible.php>
- Svoboda, M. (2019). 12 major climate change reports from 2019. Repéré à <https://yaleclimateconnections.org/2019/10/12-major-climate-change-reports-from-2019/>
- The Earth Observatory (2018). End of the Journey for Iceberg B-15Z? Repéré à <https://earthobservatory.nasa.gov/images/92238/end-of-the-journey-for-iceberg-b-15z>
- Wikipédia (2021). Élévation du niveau de la mer. Repéré à [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89%C3%A9vation\\_du\\_niveau\\_de\\_la\\_mer](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89%C3%A9vation_du_niveau_de_la_mer)
- Wikipédia (2020). Inlandsis. Repéré à <https://fr.wikipedia.org/wiki/Inlandsis>



**Yvon Lapointe**