



“Physics in Canada”
Book Review

“La Physique au Canada”
Critique de livre

Internal Gravity Waves, Bruce R. Sutherland, Cambridge University Press, 2010, pp. 377, ISBN 978-0-521-83915-0 (hc) \$120 U.S.

L'étude des ondes internes de gravité ne se résume pas uniquement à un intérêt théorique car ces ondes sont présentes naturellement dans l'atmosphère et les océans. Dans l'atmosphère, elles influencent la structure thermique de celle-ci, et dans les océans elles causent d'importants effets de mélange. Même si les ondes internes ne jouent pas un rôle important dans l'évolution du climat et des conditions météorologiques, leur influence est non-négligeable. Le fait de ne pas en tenir compte dans les modèles numériques peut occasionner de mauvaises prévisions des vents et de la température dans l'atmosphère. Leur absence dans les modèles pourrait aussi mener à des mélanges turbulents et à de la diffusion différents de ce qui est observé dans les océans.

Le premier chapitre introduit brièvement la notion de fluide stratifié et d'ondes internes de gravité, ainsi que les notions de thermodynamique et de dynamique de l'atmosphère et de l'océan. Par la suite, des notions d'ondes périodiques et de paquets d'ondes sont présentées. Ce chapitre est suffisamment clair et précis pour qu'un lecteur, connaissant uniquement le calcul différentiel, puisse s'y retrouver.

Dans le second chapitre, l'auteur décrit les ondes à l'interface de deux fluides de densités différentes et les ondes qui interviennent dans un fluide à multicouche. On débute avec la description de la structure et de l'évolution périodique des ondes de petite amplitude, telles les ondes de surface, même si elles ne sont pas à proprement parler des ondes de gravité interne. La description mathématique de celles-ci est étendue aux ondes entre différentes interfaces. On poursuit la présentation avec les ondes à l'interface entre eau saline et eau douce ou eau chaude et eau froide. De façon générale ces interfaces peuvent être autant entre des milieux gazeux que liquides. La présence de cisaillement horizontal dans ce cas aura pour effet de produire des instabilités et des perturbations (ondes de Kelvin Helmholtz, Taylor et Holmboe). En tenant compte du fait que ces ondes peuvent aussi être influencées par la rotation, on introduit l'étude des ondes inertielles.

Il est intéressant à ce stade de la lecture, d'observer les illustrations graphiques sur le site web de l'auteur à l'Université de l'Alberta, ainsi que celles de simulations numériques des ondes à des interfaces telles que présentées sur le site web du département de mathématique appliquée de l'Université de Waterloo.

Le chapitre 3 présente plus spécifiquement les ondes internes de petite amplitude dans un fluide uniformément stratifié. Ainsi, si la densité dans le fluide diminue lentement avec la hauteur, celui-ci peut supporter des ondes internes qui oscilleront de bas en haut, selon la fréquence de

flottaison, et qui ne seront pas nécessairement confinées près d'une interface. On fait intervenir dans ce cas des ondes dites Boussinesq. Dans le cas où la densité ou la température potentielle diminue significativement, on fera intervenir les notions d'ondes non-Boussinesq ou anélastiques dans le cas d'un gaz comme l'atmosphère. On étend par la suite les résultats obtenus en incluant l'influence de la rotation, du cisaillement et des frontières. Ce chapitre nécessite des connaissances relatives à la solution d'équations différentielles partielles.

Le chapitre 4 introduit les mathématiques nécessaires à l'étude des ondes d'amplitude faible mais non-négligeable. On dira de celles-ci qu'elles sont faiblement non-linéaires. On utilise donc la théorie des perturbations pour estimer les effets non-linéaires de premier ordre et ainsi examiner comment ils modifient l'évolution des ondes internes et à une interface. Cela permet en outre de faire intervenir une nouvelle classe d'ondes, les ondes solitaires. Ce chapitre décrit aussi diverses formes d'instabilités associées aux ondes telles l'instabilité dite, de modulation, subharmonique, de retournement et de cisaillement. Après cette description mathématique avancée, il est intéressant de retourner à l'étude des ondes internes, telles que perçues dans la nature, avec la lecture du récent numéro spécial sur les ondes internes dans l'océan, dans la revue *The Official Magazine of the Oceanography Society*, Volume 25, Number 2, June 2012.

Le chapitre 5 commence par le développement théorique de la génération d'ondes de gravité interne par un cylindre oscillant. Ce développement mathématique plus avancé ouvre la porte aux études expérimentales en laboratoire, permettant de vérifier les limites de la théorie. Le chapitre enchaîne avec un aperçu d'une application plus réaliste et plus pertinente à la géophysique, soit la génération d'ondes associées aux marées ou aux variations de topographie sous-marine. Enfin, le dernier chapitre examine comment les ondes internes se propagent lorsque le milieu est non-uniforme, comme lorsque la profondeur, la stratification, le courant ou le vent varient. L'auteur présente, pour terminer, une brève discussion des spectres empiriques d'ondes dans l'atmosphère et dans l'océan (voir aussi *The Garrett and Munk Internal Wave Spectra Matlab Toolbox*, School of Earth and Ocean Sciences, University of Victoria).

Chaque chapitre se termine avec une série d'exercices pédagogiques sur le thème abordé dans le chapitre. L'auteur nous suggère aussi, à la fin du volume, des lectures sur la plupart des thèmes mentionnés. Je considère que *Internal Gravity Waves* par Bruce R. Sutherland présente un traitement approfondi et spécialisé du sujet. Ce volume ne peut être considéré comme une introduction au sujet des ondes internes de gravité, même si le contenu permet au lecteur non familier de s'y initier.

André April
Environnement Canada