



“Physics in Canada”  
Book Review

“La Physique au Canada”  
Critique de livre

“**Buoyancy-Driven Flows**” Edited by Eric Chassignet, Claudia Cenedese, Jacques Verron, Cambridge University Press, 2012, pp: 436, ISBN: 978-1-107-00887-8, Hb, price 120.00

Ce volume fait suite aux ateliers donnés lors du Alpine Summer School on Buoyancy-Driven Flows en 2010 (<http://www.to.isac.cnr.it/aosta/>). L'écoulement avec flottaison (Buoyancy-Driven Flows) joue un rôle majeur dans la circulation océanique globale et la variabilité climatique par son impact sur la formation des eaux profondes. Il contribue aussi à la redistribution de l'eau douce, de nutriments, de sédiments, de polluants, de composantes géochimiques, d'organismes et de transport de chaleur le long des côtes et plateaux continentaux. Ce volume est une source indispensable pour les chercheurs ou étudiants gradués dans le domaine de l'océanographie, de la dynamique des fluides géophysiques, et des sciences atmosphériques, qui s'intéressent ou qui ont besoin de références sur le sujet de l'écoulement avec flottaison.

Le premier chapitre, écrit par Paul Linden, fait la revue des études théoriques et expérimentales des courants de gravité. Malgré le fait qu'un courant de gravité soit turbulent, stratifié, et dépendant du temps, il est possible de tenir compte de sa physique à l'aide d'un simple paramètre adimensionnel: le *nombre de Froude*. Ce nombre peut être obtenu théoriquement pour un courant de gravité se déplaçant à vitesse constante, en utilisant la théorie hydraulique pour un volume de contrôle se déplaçant avec le front de courant. Cette approche fonctionne bien lorsqu'un volume fini de fluide s'écoule suite au retraitement d'une cloison par exemple. Par la suite, une approche solutionnant les équations d'eau peu profonde seront nécessaires lors d'une décélération du courant. Dans un milieu stratifié, le courant de gravité peut être à la fois sous-critique ou sur-critique. Dans ce dernier cas, la vitesse du courant peut excéder la vitesse d'onde interne supportée par la stratification, et peut être bien décrite par la théorie modifiée. Dans le cas sous-critique, les interactions au sein du fluide sont plus complexes et nécessitent des études plus approfondies. En somme, ce chapitre donne un aperçu de la dynamique complexe de ce type d'écoulement par un simple nombre adimensionnel.

Dans le second chapitre, de l'auteur Joseph Pedlosky, examine certains aspects particuliers de l'écoulement avec flottaison d'un fluide stratifié à deux couches en rotation, tout en gardant en considération son analogie avec le phénomène océanique. Afin de simuler un petit bassin océanique (plan  $f$ ), l'auteur utilise l'analogie d'un cylindre en rotation à laquelle est appliquée une distribution radiale de température à son sommet. Il est alors possible de reconstituer, à l'aide de la théorie linéaire, les observations expérimentales données par le dispositif. Entre autres, la théorie confirme que lorsque la stratification est suffisante, celle-ci permet la suppression complète à l'intérieur du cylindre; de l'effet de pompage d'Ekman. Toujours dans l'analogie d'un petit bassin océanique, un volume rectangulaire est chauffé ou refroidi à la surface afin d'examiner la distribution de la remontée (upwelling) ou la plongée (downwelling) du fluide à l'intérieur du bassin et sur les côtés. Seulement trois côtés sont isolés et la

temperature est stratifiée de façon linéaire. La solution analytique montre que, dans le cas d'ajout de chaleur (refroidissement) à l'intérieur du bassin, la remontée (plongée) près de la surface s'effectue sur une mince couche près du dernier côté et dont la largeur est de l'ordre du rayon de déformation. Le fait de négliger la non-linéarité dans l'équation de chaleur est la faiblesse majeure de la théorie linéaire utilisée jusqu'à maintenant. Par la suite, pour tenir compte d'un bassin océanique plus grand, un plan  $\beta$  est considéré. Une approche analytique et numérique est utilisée pour décrire la circulation océanique suite à l'apport du gradient de tourbillon planétaire. Le gradient de tourbillon planétaire a alors pour effet d'intensifier la plongée du fluide près du côté ouest du bassin comparativement à l'étude faite avec l'utilisation d'un plan  $f$ . Enfin, c'est tout un tour d'horizon que présente l'auteur avec une solution analytique et des résultats non-intuitifs sur le sujet de l'écoulement avec flottaison. Ce chapitre est basé sur trois articles majeurs (Pedlosky, Whitehead and Veitch, 1997), (Pedlosky, 2003), (Pedlosky and Spall, 2005).

Michael A. Spall présente au chapitre 3 l'étude de la circulation d'un océan marginal d'eau peu profonde (shallow marginal seas) avec bathymétrie, sujet à un refroidissement en surface, à l'aide d'un modèle numérique à équation primitive et d'un modèle analytique de géostrophie planétaire à deux couches. L'océan marginal est forcé par un refroidissement en surface et connecté à un océan ouvert avec une source d'eau plus chaude. Un résultat important obtenu par l'étude est le suivant: la chaleur perdue à l'intérieur du bassin est équilibrée par une advection latérale gouvernée par une circulation cyclonique profonde le long des contours topographiques. Les tourbillons à méso-échelle eux, auront pour effet de stratifier la colonne d'eau et ainsi d'uniformiser la température à un certain point, mais ils ne jouent pas de rôle majeur dans le bilan de chaleur. Par ailleurs, la plongée de la masse d'eau est concentrée dans un étroit courant le long de la frontière du bassin. Le modèle analytique montre que la distribution de température est bien prédite lorsque l'on intègre celle-ci le long des contours géostrophique à l'entrée et la sortie du bassin océanique marginale. On peut se référer pour ce chapitre aux deux articles suivants : Michael .A. Spall (2004), (2005).

L'auteur du chapitre 4, Steve Lentz, relate que l'eau douce provenant d'une rivière ou d'un estuaire pénétrant dans un environnement côtier, forme un écoulement avec flottaison tournant de façon anticyclonique (hémisphère nord) qui peut s'étendre loin au large de la côte. L'auteur se concentre alors sur deux aspects : 1) la détermination des caractéristiques de l'écoulement avec flottaison au-dessus d'une pente sous-marine, 2) la détermination de l'influence du forçage du vent sur l'écoulement de flottaison. Puisque l'écoulement de flottaison côtier transporte à la fois des sédiments, et des nutriments et polluants chimiques, celui-ci pouvant poser des problèmes environnementaux importants. L'écoulement avec flottaison au-dessus d'une pente sous-marine est étudié à l'aide d'un modèle analytique simple et vérifié avec un modèle en laboratoire et numériquement. Des observations émanant d'échantillonnage effectué dans la baie de Chesapeake permettent de vérifier les caractéristiques obtenues de ces modèles. Puisqu'en réalité l'océan côtier est soumis à un forçage dû au vent, la géométrie de l'écoulement de flottaison sera différente selon la présence de plongée ou remontée des eaux suite à ce forçage. En étudiant

particulièrement la situation de remontée des eaux, un modèle analytique permet à la fois d'estimer l'épaisseur, la densité, la largeur et la position au large de l'écoulement de flottaison. On compare les caractéristiques de l'écoulement de flottaison avec des observations provenant toujours de la baie de Chesapeake. On peut se référer pour ce chapitre aux deux articles suivants : Lentz, S.J. (2004) et Lentz, S.J. and J. Largier (2006).

Au chapitre cinq, Sonya Legg compare l'écoulement de type 'Overflows' et la convection océanique. L'écoulement de type 'Overflows' est celui qui se présente lorsqu'un fluide plus dense s'écoule le long d'une pente océanique, comme dans le détroit du Danemark par exemple, et participe par le fait à la formation de la source d'eau profonde nord Atlantique. La convection océanique qui s'effectue dans la mer du Labrador par exemple, fait suite dans ce cas à une perte de chaleur en surface vers l'atmosphère, lorsque le vent souffle au-dessus d'une surface d'eau libre de glace. Ils ont en commun un écoulement initié par leur énergie potentielle. De leurs structures de flottaison négative émane un écoulement causant de l'entraînement qui s'accélère vers le bas suite à l'anomalie de flottaison, devient turbulent, s'étend et se dilue à la fin. Le sommaire très intéressant à la fin du chapitre présente très bien les caractéristiques qui font qu'ils se ressemblent tout en étant à la fois complètement différent. On approfondie notamment les notions de la paramétrisation de l'entraînement, qui est encore aujourd'hui un sujet de recherche dans les modèles climatiques océaniques.

Le traitement de la flottaison dans un modèle océanique climatique, est le sujet traité par William G. Large au chapitre six. La première partie de ce chapitre fait un survol du traitement de la flottaison dans des modèles de circulation générale océanique (OGCM) et discute des conditions à la surface et le couplage avec l'atmosphère. Une leçon apprise avec les OGCM est qu'il faut être prudent et réaliste avec ce type de modèle. Les ressources en calcul numérique sont souvent limitées, ce qui peut parfois entraîner des résultats conflictuels. La deuxième partie fait intervenir le fait que lorsque la surface océanique se refroidit ou qu'il y a une perte d'eau douce dans les hautes latitudes, cela entraîne une perte de flottaison responsable de la circulation thermohaline, et occasionne de la convection dans la couche limite océanique. Afin de comprendre ce phénomène, on utilise la physique de l'analogie atmosphérique, soit la théorie de similarité semi-empirique Monin-Obukhov. La troisième partie étudie des aspects de la modélisation de la ventilation dans les modèles océaniques, plus particulièrement la ventilation peu profonde de la thermocline et la ventilation profonde. Enfin, la dernière partie s'intéresse à l'écoulement de type 'Overflows' et sa paramétrisation dans les modèles océaniques, puisque ce type d'écoulement n'est pas encore résolu dans ces modèles actuellement.

Anne Marie Treguier, Bruno Ferron et Raphael Dussin exposent dans le chapitre sept les difficultés des modèles océaniques à plus haute résolution (1/12 degrés horizontale, permettant la formation de tourbillon) à résoudre les écoulements avec flottaison, particulièrement de type 'Overflows'. Dans tous les cas, les coordonnées verticales nécessitent un ajustement 'tuning' adéquat pour qu'ils puissent obtenir des performances acceptables. En fait, le choix des coordonnées, la discrétisation numérique, et la paramétrisation sous-grille sont toutes

importantes, et interagissent toutes de façon complexe et parfois inattendue. Les modèles doivent être validés avec des observations, et sont souvent comparés à des produits climatologiques (World Ocean Atlas), où certains écoulements avec flottaison ne sont pas toujours représentés. On fait référence à l'ouvrage de Griffies (2004) pour plus d'information sur les modèles numériques, leurs paramétrisations et la discrétisation numérique.

Sylvie Malardel fait un survol de l'écoulement de flottaison dans l'atmosphère. Après une introduction des composantes atmosphériques, elle s'intéresse particulièrement à la flottaison de l'air sec et humide. Elle mentionne l'importance du CAPE (l'intégration verticale de la flottaison entre le niveau de convection libre et le niveau de flottaison neutre) pour la formation des nuages convectifs ainsi que leurs simulations dans les modèles atmosphériques. Elle fait référence aux ouvrages de Gill (1982) et Holton (1992). Par la suite, Andy Woods nous introduit au domaine des processus explosifs des éruptions volcaniques, tout particulièrement à l'évolution des fluides et leurs densités lorsque la température ou la pression change, ainsi que le mélange avec leur environnement. La plupart des modèles décrits dans ce chapitre font suite à des observations géologiques. Christophe Ancey termine le volume sur le sujet des écoulements sous gravité tel les avalanches et les écoulements de débris rocheux. Du modèle de l'écoulement en bloc au modèle numérique gouverné par les équations de Saint-Venant, des produits commerciaux sont maintenant disponibles aux ingénieurs et responsables de l'aménagement du terrain. Reste maintenant à fixer la calibration et les valeurs des paramètres que ces modèles nécessitent, une tâche qui n'est pas complètement achevée.

Enfin, c'est un ouvrage relativement complet et très actuel que l'on présente au lecteur sur le sujet des écoulements de gravité et des écoulements avec flottaison. Je considère les premiers chapitres du volume comme étant plus utiles pour la compréhension et la mise en place du sujet des écoulements avec flottaison, étant donné le titre du volume. A la fin de chacun des chapitres sont énumérées les références utilisées par cette dizaine d'auteurs. Je remercie les éditeurs de nous faire partager cette source de connaissance qui autrement aurait été seulement connue des participants à ces ateliers de 2010.

André April.  
Environnement Canada.