

Abstract

Hydrodynamic processes in Lake Geneva (Switzerland and France) have been studied since the pioneering work of François-Alphonse Forel who initiated the science of limnology as a sibling branch of oceanography. Lake Geneva is characterized by thermal stratification of the water column from spring to autumn and homogenization from the end of winter to the beginning of spring. Lake Geneva is a "monomictic" lake according to the classification of Hutchison.

To obtain a better understanding of the hydrodynamics of Lake Geneva, a three-dimensional finite element model (SHYFEM) with the ability to simulate the temperature structure and water movement was applied. The finite element grid superimposed on the bathymetric data has a resolution of 8149 triangular elements of different size ranging from 10 to 100 meter each side and 4553 nodes, covering the two lake basins: Petit-Lac and Grand-Lac.

The model was run for a period of one year (2005) with continuously updated weather data. The model solves the equations for the conservation of mass transport, dynamics and temperature, which can simulate the water temperature, current velocity and direction.

The annual thermal cycle begins with isothermal conditions in winter, followed by thorough mixing in late winter, and by stratification from May to October. The annual cycle of temperature distribution in the Grand-Lac shows strong seasonal

trends. Depending on the difference in volume and morphology of the basin, cooling and warming during the transition periods (spring and fall) are slower in the Grand-Lac than in the Petit-Lac. Minor differences within the basins could be linked to local circulations between coastal areas and deep areas, as well as the influence of fluvial input, including the Rhone.

Over much of the year, the waters of Grand-Lac circulate in a gyre turning counterclockwise. The size and lifetime of the vortex vary depending on weather conditions. Appendices of the main gyre are found in major bays of the northern shore, in Morges and Vidy (Lausanne). These are less stable than the main gyre and their direction may switch depending on wind direction. In the transitional area between the Grand-Lac and the Petit-Lac a gyre oriented clockwise is established. The western end of the Petit-Lac is characterized by a counterclockwise circulation system. In the Petit-Lac, flow towards the Rhone outlet mainly occurs in surface waters and along the borders of the basin, while the return currents to the Grand-Lac are deeper-water currents and found in the central part of the basin. In the Grand-Lac, the downstream flow from East to West follows the northern edge of the basin, while the return current, from the western to the eastern part of the basin, predominantly follows the southern border.

Results of modeling are generally in good agreement with field data; however systematic current surveys in the different parts of the lake basin are still missing for the model validation.

Résumé

Les processus hydrodynamiques du Léman (Suisse et France) ont été étudiés depuis les travaux fondateurs de François-Alphonse Forel qui a initié la science de la limnologie comme une branche parallèle de l'océanographie. Le Léman est caractérisé par un régime thermique de stratification de la colonne d'eau du printemps à l'automne et une homogénéisation vers la fin de l'hiver soit un régime de lac « monomictique » selon la classification de Hutchison.

Afin d'obtenir une meilleure compréhension de l'hydrodynamique du Léman, un modèle tridimensionnel par éléments finis (SHYFEM) avec la capacité de simuler la structure de température et les mouvements d'eau a été appliqué. La grille des éléments finis superposée aux données bathymétriques est d'une résolution de 8149 éléments triangulaires de taille variable entre 10 et 100 m chaque côté et 4553 nœuds, couvrant les deux bassins du lac: Petit-Lac et Grand-Lac.

Le modèle a été exécuté pour une période d'un an (année 2005) avec des séries temporelles de données météorologiques et hydrologiques. Le modèle résout les équations de conservation pour le transport de masse, de la dynamique et de la température, ce qui permet de simuler la température de l'eau, la vitesse des courants et leur direction.

Le cycle thermique commence par l'état isotherme en hiver, suivi d'un mélange complet ou partiel vers la fin de l'hiver, puis par la stratification de mai à octobre. Le cycle annuel de la distribution thermique dans le Grand-Lac montre des tendances saisonnières renforcées. En fonction de la différence de volume et de morphologie du bassin, refroidissement et réchauffement au cours des périodes de transition (printemps et automne) sont moins rapides dans le Grand-Lac que dans le Petit-Lac. Des différences mineures au sein des bassins pourraient être liées aux circulations locales entre les zones côtières et les zones profondes, de même qu'à l'influence des apports fluviaux, notamment du Rhône.

Sur une grande partie de l'année, les eaux du Grand-Lac constituent une grande gire qui tourne dans le sens antihoraire. La taille et la durée de vie de ce tourbillon varient selon les conditions météorologiques. Des gires annexes s'observent dans les baies majeures de la rive septentrionale, à Morges et à Vidy (Lausanne). Ces gires sont moins stables que la gire principale du Grand-Lac et leurs orientations peuvent basculer en fonction de la direction du vent. Au passage du Grand-Lac au Petit-Lac, une gire orientée dans le sens horaire peut s'installer. La terminaison occidentale du Petit-Lac est caractérisée par un système de circulation antihoraire. Dans le Petit-Lac, les courants descendants vers Genève se font essentiellement dans les eaux de surface et le long des bordures du bassin, alors que les courants de retour vers le Grand-Lac se font plutôt en eau profonde et au centre. Dans le Grand-Lac, les courants descendants suivent la bordure méridionale du bassin, alors que les courants de retour se font de préférence le long de la bordure méridionale.

Les résultats des différentes modélisations concordent avec les observations de terrain; toutefois, notamment la validation par des mesures systématiques de la courantologie dans les différentes parties du bassin lacustre reste ouverte.