

ENGLISH VERSION WITH FRENCH TRADUCTION

Introduction au cours MEC57 :
Sciences de l'eau et environnement

Introduction to the course MEC567 :
Water Sciences and Environment

Introduction

L'eau est à la base de toute vie sur Terre. La description du cycle de l'eau (voir Figure 1) fait appel à de nombreuses disciplines ou sous-disciplines : thermodynamique, physicochimie, biologie, mécanique du solide, sociologie ... et mécanique des fluides. Ce dernier point de vue est abordé dans cet ouvrage en privilégiant le point de vue de l'hydraulique continentale et côtière.

Water is at the base of life on Earth. The description of the water cycle (see Figure 2) is involving numerous scientific domains such as thermodynamics, chemistry, biology, solid mechanics, sociology ... and fluid mechanics. This is this last point of view that is taken here with a focus subsurface hydraulics, open channel flows and coastal hydraulics.

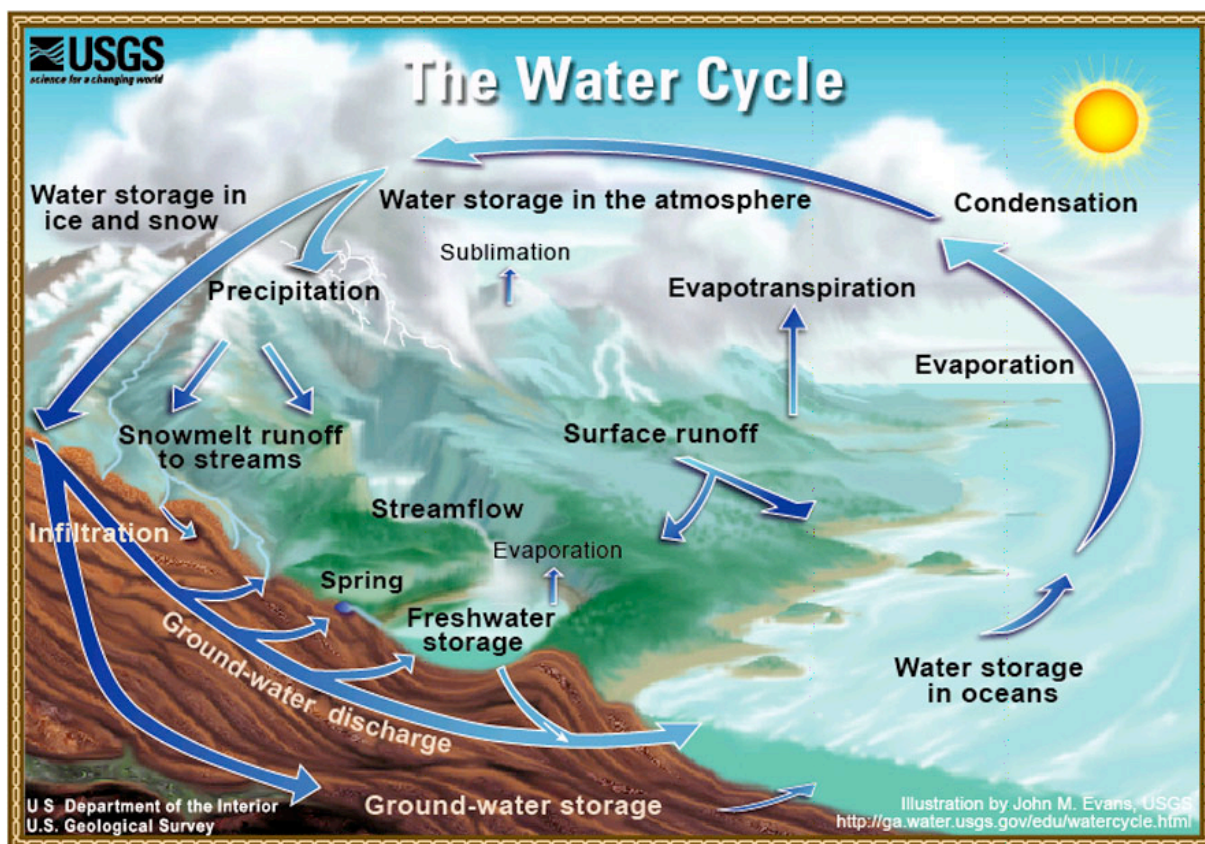


FIG. 1 – Le cycle de l'eau. Schéma USGS.

FIG. 2 – The water cycle [USGS (ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html)].

La figure 1 résume les caractéristiques principales du cycle de l'eau. Les grandes lignes de la circulation générale de l'atmosphère et des océans, qui gouvernent au premier ordre le transport de l'eau, sont décrites dans de nombreux ouvrages pédagogiques (voir par exemple [?]). Au-delà de la description du cycle de l'eau, il est important de prendre en compte le changement climatique observé et prévu qui en perturbe le fonctionnement et le fait passer au centre des préoccupations de l'homme et des industries qui en dépendent ou dont il découle.

Figure 2 sums up the principal components of the water cycle. The main features of the general circulation of atmosphere and oceans, which governs the water transport at the first order, are described in numerous pedagogical books (see for instance in the course [?]). Beyond the description of the water cycle, it is important to take into account the climatic change that has been recorded and predicted, which strongly impacted by the climatic change and put it at the center of interest for human beings in a lot of area of the world.

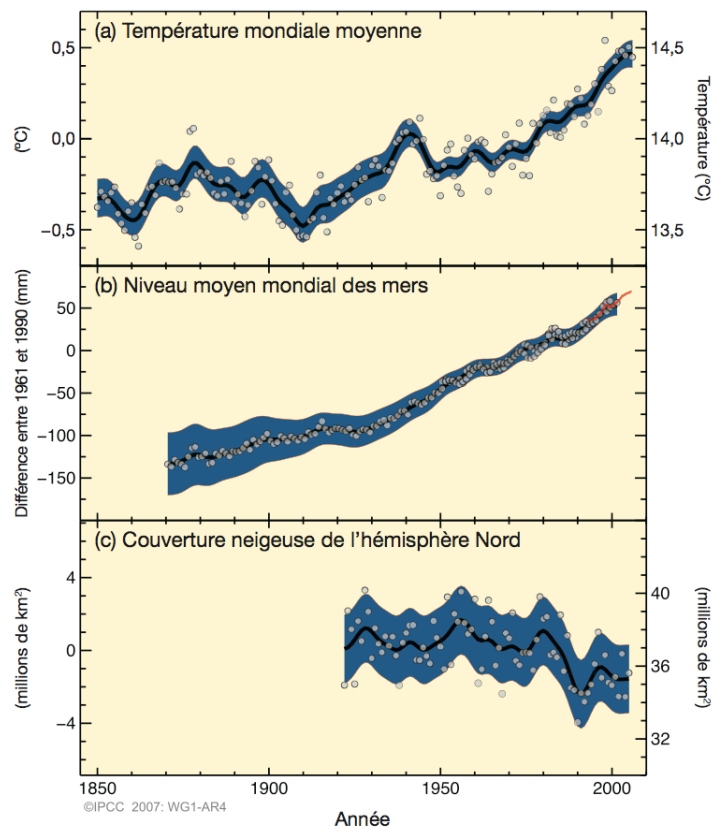


FIG. 3 – Changements de température, du niveau des mers et de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord. Rapport IPCC 2007.

L'évolution du climat du siècle passé et du siècle à venir est décrite dans les rapports quadriennaux du "Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat (GIEC)", ou "Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)" [17]. La figure 3 montre que la température moyenne du globe a augmenté de 0.75 °C en un siècle et continue de croître de 0.1 à 0.2 °C par décennie. Le niveau des mers a augmenté d'environ 20 cm et continuera sa progression pendant des siècles, par inertie, bien au-delà d'une éventuelle stagnation de la concentration des gaz à effet de serre. La couverture neigeuse du globe a reculé de 10% et continuera à se résorber jusqu'à la disparition de nombreux glaciers.

The climate evolution of the last century and the next one is described in the 2007 "Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)" report [17]. Figure 3 shows that the mean surface temperature over the globe has increased of 0.75°C within one century and continue to increase of 0.1 to 0.2 °C per decades during the next century. The sea level has increased of about 20 cm and will continue its growth during centuries, by inertia, well beyond a hypothetical stagnation of the greenhouse gas concentration. The snow cover of the Northern hemisphere has decreased by 10% and will continue to do so until the disappearance of numerous glaciers.

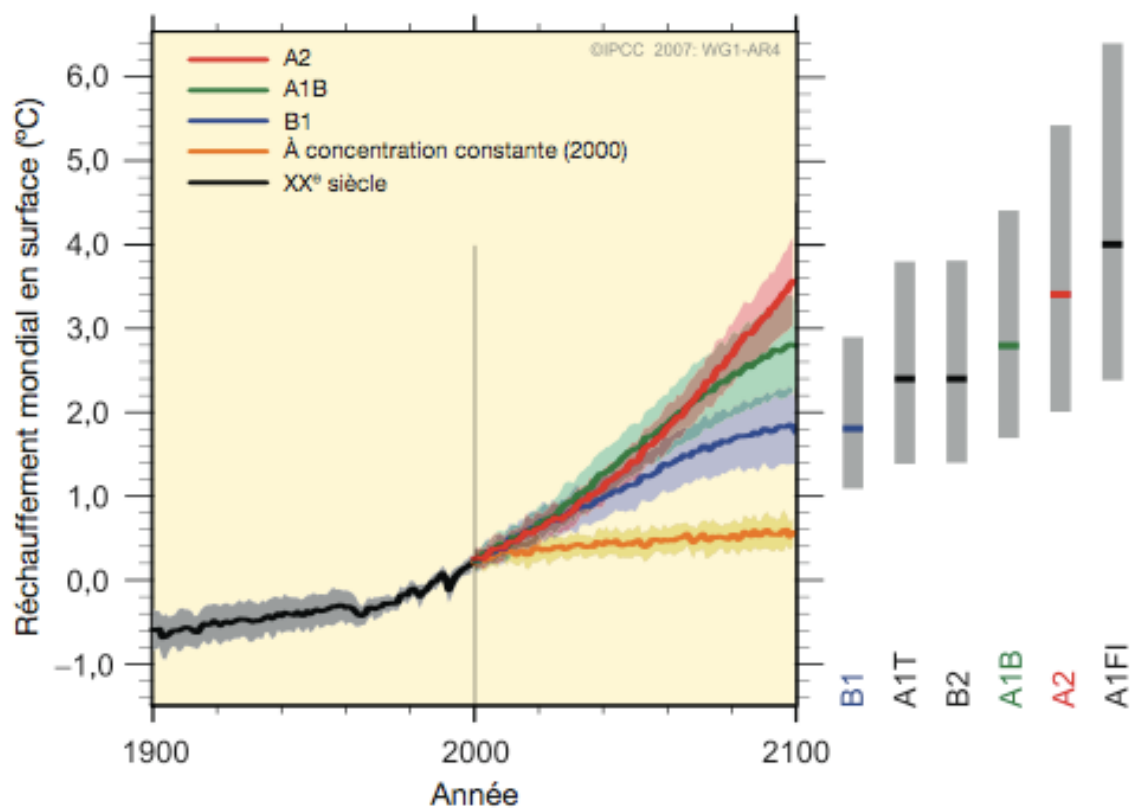


FIG. 4 – Moyennes des multi-modèles et fourchettes estimées du réchauffement en surface. Rapport IPPC 2007.

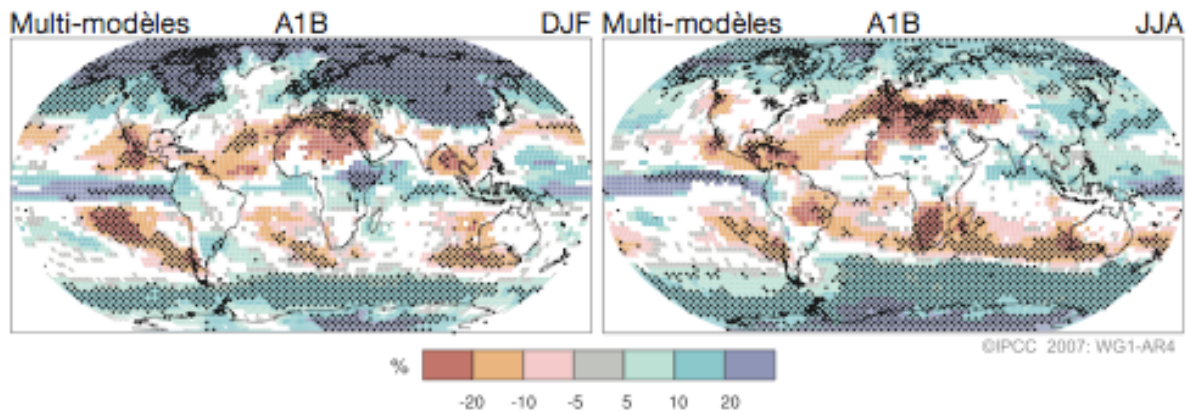


FIG. 5 – Simulation de la répartition des modifications des précipitations d'ici la fin du XXI^e siècle. a) Hiver. b) Été. Rapport IPPC 2007.

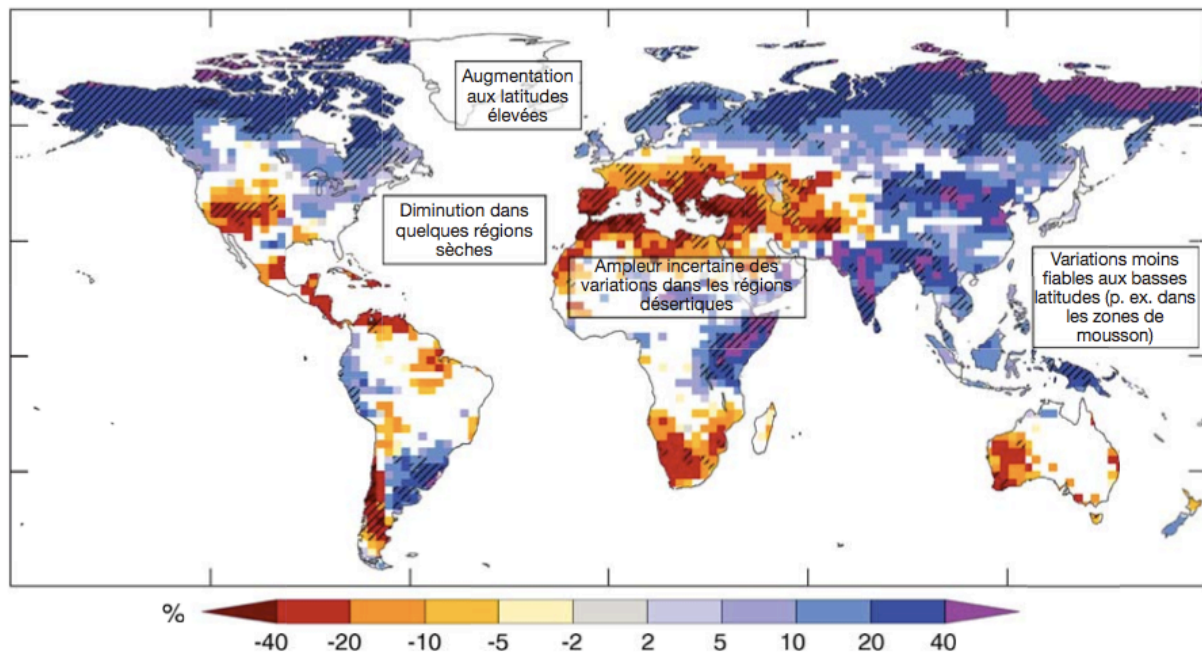


FIG. 6 – Projections et cohérence des simulations concernant les variations relatives du ruissellement d'ici la fin du XXI^e siècle. Rapport IPPC 2007.

Les simulations numériques de plusieurs modèles climatiques indépendants montrent en effet (voir figure 4) que la température globale continuera à augmenter de 3 °C en un siècle si aucune mesure n'est prise pour réduire l'émission des gaz à effet de serre. La prévision du changement de régime des précipitations est l'un des exercices les plus difficiles de la modélisation climatique. La figure 5 montre que les précipitations diminueront jusqu'à 20% dans les zones arides tandis qu'une augmentation du même ordre de grandeur dans les régions tempérées est prévue en hiver.

Numerical simulations of several independent climatic models indeed shows (see figure 4) that the global temperature will continue to increase of 3 °C in one century if no measure is taken to reduce the greenhouse gaz emissions. The forecast of the change in precipitations is one of the most difficult tasks for climate modelling. Figure 5 shows that the precipitations will decrease down to 20% in the arid area while an increase of the same order of magnitude is forecast in Northern Hemisphere winter.

Le débit des fleuves suit cette tendance, comme le montre la figure 6, la diminution de la pluviométrie étant souvent amplifiée par l'augmentation de l'évaporation. La diminution des ressources en eaux dans certaines régions et l'augmentation des crues dans d'autres régions (ou les mêmes) va modifier drastiquement l'hydrologie continentale. L'élévation du niveau de la mer va changer sensiblement l'érosion des côtes par la houle.

Le présent ouvrage n'aborde que les aspects spécifiques de la mécanique des fluides que sont le ruissellement de surface, l'hydraulique des rivières, l'écoulement de l'eau souterraine, le stockage d'eau douce et la dynamique de l'océan dans les régions côtières. À plusieurs égards, le point de vue de l'ingénieur sera privilégié, la compréhension des phénomènes étant motivée par les aménagements qui permettent la maîtrise de l'eau.

The river discharge flux is following this trend as shown by Figure 6. The increase in the land evaporation due to the global warming is reducing the river discharge flux in a significant manner. The decrease of water resources in some area and the increase of the floods in other ones (sometimes the same ones) is going to drastically change the continental hydrology as it has been observed during the numerous centuries. The increase of the sea level will noticeably change coastal erosion by the swell.

The present course only deals with fluid mechanics specific aspects which are surface water stream, river discharge, subsurface flows, fresh water storage and ocean dynamics in the coastal regions. In several regards, the engineer point of view will be selected, the understanding of phenomena being motivated by constructions which enable water mastering.



FIG. 7 – Crues et inondations. Photo USGC.



FIG. 8 – Érosion des côtes. Photo USGC.

Face aux bouleversements du climat, l'ingénieur est confronté à de nouveaux défis. Les métiers de l'ingénieur concernés par le cycle de l'eau et la mécanique des fluides sont nombreux. Une meilleure maîtrise des ressources en eau sera nécessaire en réponse à sa raréfaction et à l'augmentation de la demande. Une gestion optimisée des eaux souterraines au même titre que sa protection contre la pollution devient indispensable. L'accroissement de la fréquence et de l'amplitude des inondations nécessitera de nouveaux aménagements hydrauliques et un effort accru de modélisation. L'augmentation du niveau de la mer et de la fréquence des tempêtes nécessitera de nombreux aménagements pour la protection du littoral. Enfin, la recherche de nouvelles sources d'énergie, en remplacement des énergies fossiles, est de nature à développer la technologie permettant de récupérer l'énergie de la houle et des marées.

With the disruption of climate, the environmental engineer is facing new challenges. Trades dealing with fluid mechanics and the water cycle are numerous. A better mastering of water resources will be needed in response to its rarefaction and the increase of the demand. An optimised management of the underground water as well as its protection against pollution becomes mandatory. The increase of the floods frequency and amplitude will necessitate new hydraulic land settlements and an increased effort in modelling. The increase of the sea level and of the storms frequency will necessitate numerous land settlements for the protection of the coasts. At last, the seek for new energy sources, in replacement of fossil energies, is likely to develop technology enabling the recovery of energy out of swells or tides.

Plan de l'ouvrage

La première partie de cet ouvrage présente les outils de base de la “mécanique des fluides” utiles pour aborder l'hydrodynamique de l'environnement. Le chapitre 1 est un cours de base sur la mécanique des milieux continus débouchant sur les équations de Navier-Stokes qui décrivent les écoulements incompressibles de fluides newtoniens. Deux exemples d'applications introduisant l'hydraulique en charge et à surface libre concluent ce chapitre. Le chapitre 2 s'intéresse aux écoulements potentiels dont le champ de vitesse est le gradient de la charge hydraulique, définie à partir de la pression et de l'altitude. Ce type d'écoulement se rencontre dans les milieux poreux et de nombreux exemples d'hydraulique souterraine illustrent ce chapitre. Le chapitre 3 aborde la modélisation de la turbulence et la paramétrisation du frottement sur des parois en fonction des grandeurs moyennes d'un écoulement. Ce chapitre est illustré par l'exemple des pertes de charge dans des écoulements en conduites fermées.

La deuxième partie présente les principes de base de l'“hydraulique fluviale”. Le chapitre 4 traite de l'hydraulique à surface libre dans le cas des écoulements stationnaires et graduellement variés. Les concepts de charge hydraulique, de ressauts hydrauliques et de courbes de remous sont introduits. Le chapitre 5 aborde le cas des écoulements instationnaires en dérivant tout d'abord les équations de Saint-Venant à partir des équations de Navier-Stokes à surface libre. Les notions de courbes caractéristiques et de ressauts mobiles sont alors introduites sur le modèle des ondes de crues. Le chapitre 6 applique ensuite ces outils au cas des ondes de détente et de compression modélisées par les équations de Saint-Venant. Les relations de saut associées à ce modèle sont explicitées en ne retenant que les ressauts dont la dissipation d'énergie est positive.

La troisième partie aborde les concepts de base de l'“hydrodynamique marine”. Le chapitre 7 traite de la génération et de la dispersion des ondes de surface à l'aide des équations de Navier-Stokes à surface libre linéarisées. Les champs oscillants sont détaillés et la notion de vitesse de groupe est présentée à travers l'évolution des conditions initiales du système linéaire. Le chapitre 8 traite de la réfraction de la houle par une bathymétrie inhomogène. Les notions de tracé de rayons et de conservation de l'énergie sont illustrées à travers l'exemple des ondes de surface, mais leur présentation peut s'appliquer à tout type d'ondes. Le chapitre 9 complète l'étude des ondes de surface en évoquant les phénomènes de réflexion et de diffraction. Un aperçu général de la modélisation des ondes de marée est donné, motivant ainsi la présentation des oscillations de la surface libre en présence de rotation.

L'ensemble des notions abordées dans cet ouvrage devrait permettre à l'ingénieur ou au chercheur de disposer des concepts de base pour appréhender la plupart des problèmes de l'hydrodynamique de l'environnement et pour approfondir ses connaissances dans ce domaine.

Bibliographie

===== **OUVRAGES EN FRANCAIS** : =====

- [1] R. BONNEFILLE, Cours d'hydraulique maritime, Masson, 1992.
- [2] Ph. BOUGEAULT et H. LE TREUT, Dynamique de l'atmosphère et des océans, Cours de l'Ecole Polytechnique, 2007
MEC433 : <http://catalogue.polytechnique.fr>
- [3] M. CARLIER, Hydraulique générale et appliquée, Eyrolles, 1972.
- [4] P. CHASSAING, Mécanique des Fluides, éléments d'un premier parcours, Cépaduès-Éditions, 2000.
- [5] P. CHASSAING, Turbulence en mécanique des fluides, analyse du phénomène en vue de sa modélisation l'usage de l'ingénieur, Cépaduès-Éditions, 2000.
- [6] E. CRAUSSE, Hydraulique des canaux découverts, Eyrolles 1951.
- [7] W. A. GRAF et M. S. ALTINAKAR, Hydrodynamique : une introduction, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1998.
- [8] W. A. GRAF et M. S. ALTINAKAR, Hydraulique Fluviale : écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2000.
- [9] L. JACQUIN et P. TABELING, Turbulence et Tourbillons, Cours de l'Ecole Polytechnique, 2006.
MEC555 : <http://catalogue.polytechnique.fr>
- [10] P. HUERRE, Mécanique des Fluides, Cours de l'Ecole Polytechnique, 1998, édition 2006.
MEC432 : <http://catalogue.polytechnique.fr>
- [11] A. LENCASTRE, Hydraulique générale, Eyrolles, 1996.
- [12] C. SUZANNE, Tome I : hydraulique en charge, Tome II : hydraulique à surface libre. Polycopié de l'ENSEEIH, 2007.

- [13] O. THUAL, Introduction à la mécanique des milieux continus déformables, Cépaduès-Éditions, 1997.
- [14] O. THUAL, Des ondes et des fluides, Cépaduès-Éditions, 2005.
- [15] O. THUAL, Articles Pédagogiques Multimedia,
<http://thual.perso.enseeiht.fr/>
- [16] P.-L. VIOLLET, J.-P. CHABARD, P. ESPOSITO, et D. LAURENCE, Mécanique des fluides appliquées : écoulement incompressibles dans les circuits, canaux et rivières atour de strucutres et dans l'environnement, Presse des Ponts et Chaussées, 1998.

===== **BOOKS IN ENGLISH :** =====

- [17] Climate Change 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC),
<http://www.ipcc.ch/>.
- [18] M. BENDER, S. A. Advanced, ORSZAG mathematical methods for scientists and engineers, Mc Graw-Hill (1978).
- [19] R. W. G. CARTER, Coastal Environments : an introduction to physical, ecological and cultural systems of coastlines, Academic Press, 1988.
- [20] V. T. CHOW, Open-channel hydraulics, McGraw-Hill, 1959.
- [21] B. CUSHMAN-ROISIN, Introduction to geophysical fluid dynamics, Prentice Hall, 1994.
- [22] R. G. DEAN et R. A. DALRYMPLE, Water wave mechanics for engineers and scientist, Word Scientific, 1991.
- [23] R. A. FREEZE, J. A. CHERRY, Groundwater, Prentice-Hall, 1979.
- [24] J. BEAR, Dynamics of Fluids in Porous Media, Dover 1988.
- [25] F. M. HENDERSON, Open channel flow, Macmillan 1966.
- [26] V. T. CHOW, Open-channel hydraulics, McGraw-Hill, 1959.
- [27] L. H. KANTHA et C. A. CLAYSON, Small scale processes in geophysical fluid flows, Academic Press, 2000.
- [28] J. LIGHTHILL, Waves In Fluids, Cambridge University Press, 1978, 1980.
- [29] S. L. POLEVOY, Water science and engineering, Chapman et Hall, 1996.
- [30] H. RUBIN et J. ATKINSON, Environmental Fluid Mechanics, Marcel Dekker, 2001
- [31] R. H. STEWART, Introduction to Physical Oceanography, 2005
<http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng-textbook/contents.html>
- [32] G. B. WHITHAM, Linear and Nonlinear Waves, Wiley, 1974.