

Résumé

Une des conséquences du réchauffement climatique est la modification du cycle hydrologique et par conséquent du flux d'eau douce reçu par l'océan. Or ces flux ont une influence locale sur la salinité de surface de l'océan et donc sur sa circulation. La circulation océanique, et plus précisément la circulation thermohaline, est particulièrement susceptible de produire de la variabilité basse fréquence, en tant que composante lente du climat. Nous allons nous intéresser à l'impact du flux d'eau douce sur la circulation thermohaline et principalement sur sa variabilité décennale à millénaire.

Dans l'océan, comme dans tous systèmes dynamiques, deux paradigmes coexistent pour expliquer la variabilité observée : elle peut être endogène ou exogène.

Pour le premier paradigme, la variabilité provient de mode interne comme une oscillation de relaxation ou une saturation non-linéaire d'un mode linéaire croissant : cette théorie est intrinsèquement liée à des effets non-linéaires.

Le second paradigme se base sur l'existence d'un état d'équilibre stable et de la nécessité d'une stimulation externe pour soutenir la variabilité : *e.g.* croissance transitoire de perturbations initiales ou oscillation soutenue par un forçage stochastique. En effet, la non-normalité de la dynamique océanique permet une forte variabilité autour d'un état d'équilibre même si celui-ci est stable.

Au cours de cette thèse nous nous avons cherché à identifier la variabilité apparaissant suivant différents régimes de forçages du flux d'eau douce. Pour cela nous implémentons des méthodes systématiques d'analyse comme des études de stabilité linéaire ou des études de stabilité généralisée dans une hiérarchie de modèles de plus en plus réalistes (allant de la Boucle d'Howard-Malkus à un modèle aux équations primitives, OPA en configuration globale réaliste, en passant par des modèles 2D latitude-profondeur ou planétaire-géostrophique). Ces méthodes permettent d'extraire les mécanismes physiques liés à des modes de variabilité interne ou à des modes de variabilité forcée.

Plusieurs résultats notables apparaissent. Au cours de l'étude de la variabilité endogène dans un modèle 2D latitude-profondeur, les mécanismes de croissance et d'oscillation d'un mode centenaire sont analysés et ses caractéristiques décrites. Ce mode, correspondant à l'advection d'une anomalie de densité dominée par la salinité le long de la circulation, se

nourrit par la rétroaction de la salinité sur l'advection dans les zones de forçage par le flux d'eau douce.

De plus, l'apparition de bifurcation période-infinie laissant apparaître un cycle millénaire est caractérisée. Cette bifurcation est due à la présence de modes de plus hautes fréquences au cours du cycle millénaire. Ainsi, nous montrons que l'oscillation centenaire est un précurseur de l'oscillation millénaire.

Au cours de l'étude de la variabilité exogène, les perturbations optimales de la circulation océanique par la salinité de surface sont obtenues dans un modèle latitude-profondeur de la circulation thermohaline. Nous analysons un mode optimal de croissance en temps fini : une croissance de l'intensité de la circulation océanique, 67 yr après une perturbation de salinité de surface, est non seulement possible mais optimale. Cette perturbation optimale correspond à une stimulation de l'oscillation centenaire au moment où celle-ci se renforce dans la zone d'évaporation-précipitation par la rétroaction positive de la salinité sur l'advection. L'obtention de la perturbation optimale du flux d'eau douce confirme l'idée que l'augmentation de l'intensité de ce flux diminue la circulation océanique dans ce type de modèle. La perturbation stochastique optimale du flux d'eau douce, quant à elle, montre la forte réponse du mode linéaire le moins amorti, c'est à dire ici l'oscillation centenaire. Le reste du spectre de réponse océanique à la perturbation stochastique optimale correspond, comme attendu, à un bruit rouge.

De la même façon, une croissance après 24 yr est optimale au travers de l'oscillation multi-décennale apparaissant dans un modèle planétaire-géostrophique. Des études de perturbations stochastiques optimales montrent la forte réponse aux fréquences des modes linéaires avec une intensité contrôlée par la non-normalité du système. La variabilité étant fortement contrôlée par la condition limite de surface (*i.e.* condition mixte ou condition en flux), la forme des perturbations optimales et leur réponse le sont aussi.

Enfin, en utilisant un modèle aux équations primitives en configuration globale réaliste, une croissance optimale de l'intensité de la circulation océanique et du transport de chaleur apparaissent respectivement 10.5 yr et 2.2 yr après la perturbation de salinité de surface. Ces perturbations initiales optimales nous permettent de caractériser un mécanisme de croissance efficace de la circulation méridienne et du transport de chaleur. Un gradient méridien d'une perturbation de salinité de surface induit une perturbation des vitesses zonales par la relation du vent thermique. Cette perturbation des vitesses zonales, par interaction avec le gradient de température zonal, crée une perturbation du gradient de température méridien. Ce dernier induit, par la relation du vent thermique, une perturbation des vitesses méridiennes qui modifie la circulation méridienne ou le transport de chaleur. En outre, l'obtention de perturbations optimales nous permet de borner les variations de la circulation. En posant une perturbation d'une intensité équivalente aux *Great Salinity Anomalies*, nous obtenons une modification bornée à 0.75 Sv et de 0.03 PW.