

Soutenance de thèse CNRM***vendredi 3 juillet 2026 à 14h******DU CHANGEMENT CLIMATIQUE AUX ÉCOSYSTÈMES
MARINS : RÉPONSES DE L'OCÉAN À DIFFÉRENTS
SCÉNARIOS DE NEUTRALITÉ CARBONE*****par Isaline BOSSERT (CNRM/GMGEC)****en salle Noilhan****Lien visio : <https://visio.numerique.gouv.fr/ggr-lwiu-wmu>****Composition du jury :**

Rapporteur.es : Andrea Dittus, Laurent Bopp, Thomas Frölicher

Examineur.ices : Lester Kwiatkowski, Claude Estournel

Résumé :

L'océan joue un rôle fondamental dans la régulation du climat. Chaque année, il absorbe environ 91 % de la chaleur excédentaire résultant du déséquilibre énergétique de la Terre induit par l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. L'une des conséquences les plus frappantes du réchauffement de l'océan est l'occurrence de vagues de chaleur marines—des événements caractérisés par des températures de surface de la mer anormalement élevées—qui peuvent avoir de graves répercussions sur les organismes et les écosystèmes marins tels que les récifs coralliens. Des observations récentes suggèrent que les vagues de chaleur marines s'intensifient et deviennent plus fréquentes avec le réchauffement climatique ce qui suscite des inquiétudes quant à l'état futur des océans.

Afin d'éviter ou de réduire ces effets indésirables du changement climatique, des politiques internationales ambitieuses d'atténuation des émissions ont été ratifiées. Ainsi, l'Accord de Paris prévoit d'atteindre la neutralité carbone au cours de la seconde moitié du XXI^e siècle. Bien que l'on parte généralement du principe que les effets du changement climatique seront limités voire stoppés dès que cet objectif sera atteint, la réponse du système Terre—et en particulier celle de l'océan—à la neutralité carbone reste mal comprise. En effet, la plupart des études s'appuient sur des simulations transitoires préexistantes plutôt que sur des expériences dédiées à la stabilisation du climat global. Cette limite a incité la communauté climatique, ainsi que

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

CNRM, UMR 3589

cette thèse, à développer des scénarios spécifiques visant explicitement à explorer ces conditions dites « net-zéro ».

Dans ce cadre, la thèse examine trois questions : (i) en quoi les climats à net-zéro diffèrent-ils des climats transitoires (ii) quels changements à long terme apparaissent à l'échelle globale et régionale suite à l'arrêt des émissions de CO₂ pour différents niveaux de réchauffement climatique et (iii) dans quelle mesure la trajectoire suivie pour atteindre la neutralité carbone induit des réponses différentes. L'accent est mis sur les vagues de chaleur marines et la probabilité d'épisodes de blanchissement des coraux.

Pour répondre à ces questions, nous avons généré une série de simulations net-zéro de 300 ans à l'aide du modèle de système Terre CNRM-ESM2-2, couvrant des niveaux de réchauffement allant de +1,1 °C à +5,0 °C. Toutes sont dérivées d'un scénario linéaire de réchauffement de +0,2 °C par décennie. Une simulation complémentaire de dépassement a été construite à partir d'une trajectoire symétrique de refroidissement.

Les résultats montrent que l'arrêt total des émissions de CO₂ conduit à une quasi-stabilisation de la température moyenne de surface de l'atmosphère, et ce, pour la plupart des niveaux de réchauffement. Certains niveaux de réchauffement présentent toutefois une tendance au refroidissement liée à un déclin continu de la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique. Dans une situation de net-zéro, l'état de l'océan diffère fondamentalement d'un état transitoire avec des températures de surface caractérisées par une augmentation de la moyenne et/ou de la variabilité. En outre, nous identifions une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur marines dans les hautes latitudes, parallèlement à une diminution dans la bande tropicale. Dans les régions abritant des récifs coralliens, les résultats suggèrent une diminution du dépassement des seuils de blanchissement après l'arrêt des émissions. Par ailleurs, nos résultats indiquent une réversibilité complète des indicateurs de blanchissement après un dépassement multi-décennal de forte intensité, remettant ainsi en question la pertinence de ces indicateurs pour l'évaluation des risques à long terme.

Dans l'ensemble, cette thèse suggère que les simulations dédiées à la neutralité carbone sont nécessaires car les approches transitoires pourraient sous-estimer des conséquences dévastatrices à l'échelle régionale.

Abstract:

The ocean plays a fundamental role in regulating the global climate. Every year, it absorbs about 91 % of the heat gain in the Earth system resulting from the energy imbalance induced by the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere. One of the most striking consequences of ocean warming are marine heatwaves— anomalously warm sea surface temperature events—that induce severe impacts on

Pour tout renseignement, contacter Y. Poirier (05 61 07 96 55)

Centre National de Recherches Météorologiques
42, Avenue G. Coriolis - 31057 Toulouse Cedex

CNRM, UMR 3589

marine organisms and ecosystems such as coral reefs. Recent observations suggest that marine heatwaves have intensified and become more frequent with global warming raising concern as to future ocean conditions.

To avoid or reduce these and other undesirable climate change impacts, ambitious international mitigation policies have been ratified. Thus, the Paris Agreement plans to reach net-zero CO₂ emissions in the second half of the 21st century. Though it is largely assumed that the impacts of climate change will be limited or stopped as soon as this objective is reached, the response of the Earth system—and particularly of the ocean—to net-zero emissions remains insufficiently understood. Indeed, most studies rely on prevailing transient simulations rather than dedicated global climate stabilization experiments. This limitation has motivated the climate modeling community, as well as this thesis, to develop specific scenarios to explicitly reach and explore net-zero conditions. In this framework, three key questions are investigated in this thesis: (i) how net-zero climates differ from transient ones, (ii) what long-term changes emerge at global and regional scales under net-zero emissions across various global warming levels, and (iii) to what extent different pathways to net-zero yield different model outputs. Emphasis is given on marine heatwaves and the likelihood of coral-bleaching events.

To tackle these questions, we generated a set of 300-year net-zero simulations using the CNRM-ESM2-2 Earth System Model, spanning global warming levels from +1.1 °C to +5.0 °C. All simulations were branched from a linear +0.2 °C per decade ramp-up run. A complementary overshoot trajectory was constructed using a symmetric ramp-down pathway.

Results show that net-zero CO₂ leads to global mean surface temperature near-stabilization across most global warming levels. Some global warming levels exhibit, however, a cooling trend linked to a continuous decline of the Atlantic meridional overturning circulation. We also show that net-zero ocean states differ fundamentally from transient states at identical warming levels. In particular, this leads to widespread shifts in sea surface temperature distributions characterized by increased mean and variance relative to transient baselines. We further identify increasing marine heatwave occurrences in the polar bands alongside a decrease in the tropics. In addition, coral bleaching threshold exceedance is shown to lessen with after emission cessation in warm-coral reefs regions. Notably, our results indicate a complete reversibility of coral bleaching indices following a high-intensity multi-decadal overshoot questioning, thus, the relevance of such induced for long-term risks assessment.

Overall, this thesis suggests that dedicated net-zero runs are necessary, as transient approaches might underestimate threatening processes at regional scales.

Link for remote: <https://visio.numerique.gouv.fr/gqr-lwiu-wmu>