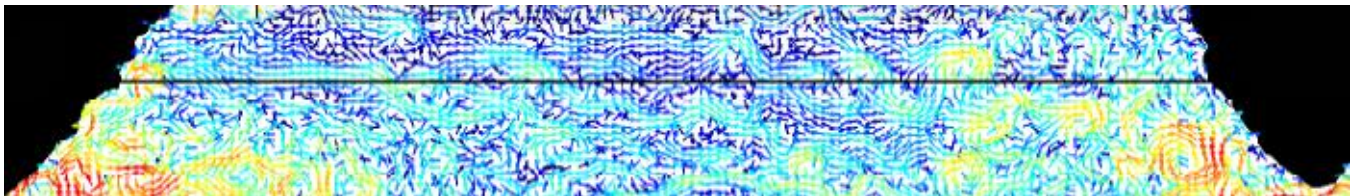


La grande circulation méridionale de l'Atlantique : stable ou bi-stable ?

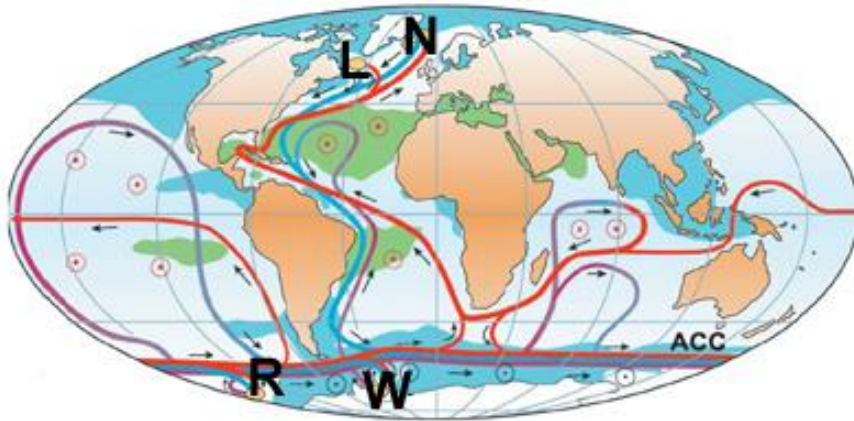
Des simulations de l'océan mondial à une précision jamais encore atteinte montrent que l'augmentation de l'apport d'eau douce dans l'Atlantique pourrait faire basculer la circulation océanique d'un état stable à un autre, ce que les modèles de climat ne parviennent pas à reproduire.



Un des mécanismes essentiels de l'interaction entre l'océan et le climat est la circulation océanique méridienne, en anglais Meridional Overturning Circulation (MOC). Cette boucle de circulation océanique d'échelle planétaire est parfois appelée circulation thermohaline parce qu'elle dépend en grande partie des différences de température et de salinité -donc de densité- entre les masses d'eau : deux masses d'eau de densité différente ne peuvent se trouver à la même profondeur, celle dont la densité est la plus forte doit se trouver en dessous de l'autre. L'hétérogénéité des échanges de chaleur à la surface de l'océan (le soleil chauffe plus l'équateur que les pôles) crée des contrastes horizontaux en densité instables. Pour y remédier la MOC transporte les eaux chaudes de l'Atlantique équatorial vers le nord, où elles se mélangent avec les eaux froides environnantes, tandis que ces dernières circulent, en profondeur, dans le sens opposé : de l'Atlantique nord vers l'équateur et les autres bassins océaniques.

Les fluctuations de la MOC intéressent beaucoup les scientifiques car elles ont provoqué dans le passé des alternances climatiques entre des périodes tempérées (lorsque la MOC est forte) et des périodes glaciaires (lorsque la MOC est faible), en particulier pendant les derniers 30 000 ans. Ces transitions climatiques sont liées à la salinité dans l'Atlantique Nord : un surplus d'eau douce allège les masses d'eau froide et compense le gradient horizontal en température, ce qui ralentit la MOC (et inversement). Il existe des effets de seuil dans les interactions entre salinité et MOC, en particulier dans un régime, dit "bi-stable", où les deux états de la MOC co-existent ; alors la transition du régime fort au régime faible est abrupte

.../...



Représentation schématique de la MOC (courants de surface en rouge, de fond en violet, intermédiaires en bleu ; L : mer du Labrador, N : mer de Norvège ; R : mer de Ross ; W : mer de Weddell)

Les fluctuations de la MOC intéressent beaucoup les scientifiques car elles ont provoqué dans le passé des alternances climatiques entre des périodes tempérées (lorsque la MOC est forte) et des périodes glaciaires (lorsque la MOC est faible), en particulier pendant les derniers 30 000 ans. Ces transitions climatiques sont liées à la salinité dans l'Atlantique Nord : un surplus d'eau douce allège les masses d'eau froide et compense le gradient horizontal en température, ce qui ralentit la MOC (et inversement). Il existe des effets de seuil dans les interactions entre salinité et MOC, en particulier dans un régime, dit "bi-stable", où les deux états de la MOC co-existent ; alors la transition du régime fort au régime faible est abrupte.

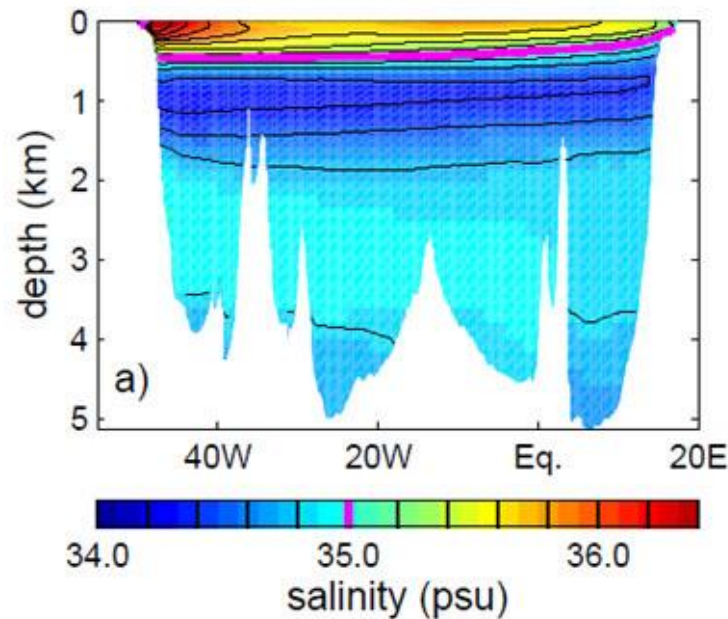
Tous les modèles climatiques prévoient que l'augmentation des précipitations et la fonte des glaces du Groenland vont apporter une quantité croissante d'eau douce dans l'Atlantique Nord, ce qui provoquera un ralentissement de la MOC. Mais la plupart des modèles considèrent que la MOC n'est pas dans le régime bi-stable, ce qui exclut l'éventualité d'un ralentissement abrupt, alors que l'analyse rétrospective des observations à l'aide de modèles suggère au contraire qu'elle est dans le régime bi-stable.



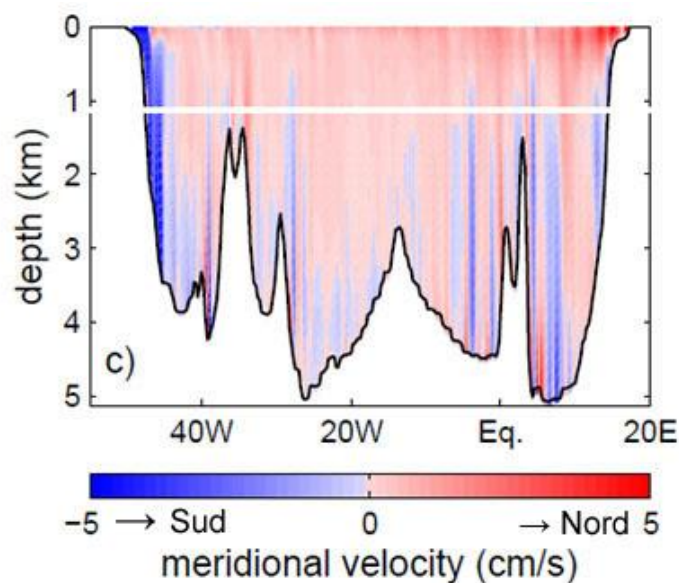
Glacier de l'Arctique (Svalbard) © CNRS/N. Morata

Pour confirmer le régime actuel de l'AMOC, les chercheurs ont mesuré le bilan salin de l'Atlantique à son ouverture vers l'océan Austral à 30°S, qui est un indicateur de l'existence du régime bi-stable : des études précédentes ont montré en effet que lorsque la MOC est sous ce régime, elle importe (vers le nord) de l'eau salée et exporte (vers le sud) une eau moins salée. Pour estimer ce transport dans des conditions aussi proches que possible de l'océan réel, ils ont utilisé un modèle très détaillé dont la maille élémentaire de 1/12 de degré (soit moins de 10 km) permet de reproduire la dynamique des tourbillons océaniques, largement ignorée par des modèles à maille plus large comme les modèles de climat. Le développement de ce modèle unique a été rendu possible par la collaboration de partenaires français, allemands et anglais dans le cadre du consortium DRAKKAR.

Les modèles montrent qu'à 30°S, l'eau est plus salée en surface (salinité supérieure à 35 g/l jusqu'à 500 m environ), avec un maximum à l'ouest du bassin océanique. Les courants y portent majoritairement vers le nord, sauf le long du bord ouest, de la surface jusqu'au fond, et partout ailleurs en dessous de 1000 m environ.

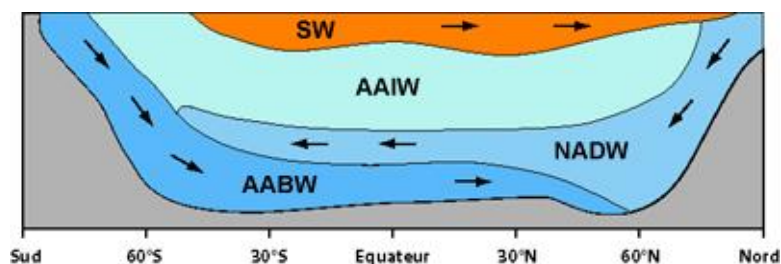


Salinité le long de 30°S dans un modèle d'océan à haute résolution : la ligne rose identifie le contour de la salinité de référence (35 g/l)



Vitesse du courant le long de 30°S dans un modèle d'océan à haute résolution : la ligne horizontale blanche montre la profondeur à laquelle la circulation méridienne s'inverse (la circulation est dirigée vers le nord au dessus, vers le sud en dessous).

Ces caractéristiques reflètent l'existence et le déplacement de masses d'eau différentes : l'eau salée de surface qui alimente la gyre (tourbillon) subtropicale, l'eau antarctique intermédiaire, la moins salée, l'eau profonde nord-atlantique formée dans l'Atlantique Nord et l'eau Antarctique de fond qui s'écoule sur le plancher océanique. Les contrastes en salinité, qui s'ajoutent aux contrastes de courants, font que le profil vertical du transport d'eau douce s'inverse en fonction de la profondeur, mais le bilan est négatif dans toutes les simulations, c'est-à-dire que dans les conditions actuelles l'AMOC exporte de l'eau douce vers le sud. Cependant le volume transporté est très variable, à des échelles diverses, et le flux peut même s'inverser.



Répartition schématique des principales masses d'eau le long d'une coupe nord-sud de l'Atlantique (SW : eau de surface ; AAIW : eau antarctique intermédiaire ; NADW : eau profonde nord-atlantique ; AABW : eau Antarctique de fond)

Le fait que quatre simulations indépendantes du même modèle à haute résolution conduisent à des résultats semblables en termes de volume transporté et de variabilité intra-saisonnière et inter-annuelle, confirme la robustesse des résultats malgré les incertitudes de ces expériences numériques (principalement sur les flux d'évaporation et de précipitation). Le sens de ce flux d'eau douce (vers le sud) suggère que la MOC actuelle est dans le régime bistable, une condition nécessaire pour que se produise un changement abrupt si l'apport d'eau douce augmente dans l'Atlantique nord. La bistabilité de la MOC actuelle est cohérente avec les observations et les analyses rétrospectives de l'océan, mais diffère de la plupart des modèles climatiques, dont certaines composantes pourraient souffrir de biais (dans les flux d'évaporation / précipitation et les courants de bord océaniques principalement). Ces modèles pourraient alors surestimer la stabilité de la MOC et du climat actuel.

Ces premières simulations à haute résolution confirment que la finesse de la maille du modèle permet d'améliorer le réalisme de la MOC mais pourrait conduire à des projections climatiques significativement différentes de ce que produisent les modèles de climat actuels. Parallèlement aux simulations numériques, le projet international SAMOC (étude de la circulation et de l'hydrographie de l'Atlantique sud) permettra d'acquérir de nouvelles données dans cette région clé pour la MOC, et ainsi de mieux valider le transport d'eau douce et la MOC dans les modèles d'océan et de climat.

[L'article](#)

[Deshayes J.](#), [Tréguier A.-M.](#), [Barnier B.](#), [Lecointre A.](#), [Le Sommer J.](#), [Molines J.-M.](#), [Penduff T.](#), [Bourdallé-Badie R.](#), [Drillet Y.](#), [Garric G.](#), [Benshila R.](#), [Madec G.](#), [Biastoch A.](#), [Böning C. W.](#), [Scheinert M.](#), [Coward A. C.](#), [Hirschi J. J.-M.](#), 2013. Oceanic hindcast simulations at high resolution suggest that the Atlantic MOC is bistable, *Geophysical Research Letters*, 40 : 3069–3073.

[Les auteurs](#)

Les 17 co-auteurs sont des chercheurs du [Laboratoire de Physique des Océans](#) (IUEM-Plouzané et LMI [ICEMASA](#)-Afrique du sud), du Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement ([LGGE](#), Grenoble), du Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels ([LEGI](#), Grenoble), de [Mercator Océan](#), du Laboratoire d'océanographie et du climat – expérimentations et approches

numériques ([LOCEAN](#), Paris), des centres océanographiques [GEOMAR](#) (Kiel, Allemagne) et [NOC](#) (Southampton, Angleterre).

La revue

Editée par Wiley pour le compte de l'*American Geophysical Union*, *Geophysical Research Letters* est l'une des revues scientifiques les plus citées, notamment en matière de changement climatique. Couvrant l'ensemble des domaines et des disciplines relevant de la géophysique, elle a pour objectif de publier dans des délais très rapides des articles courts ("lettres") susceptibles d'apporter une contribution majeure à la communauté scientifique.

Contacts

Auteurs : consulter [l'annuaire de l'IUEM](#)

Service Communication et médiation scientifique : communication.iuem@univ-brest.fr