

RAPPORT ANNUEL 2018

FLOTTE
Océanographique
FRANÇAISE



LE PROJET OVIDE : 16 ANS D'OBSERVATION DE L'ATLANTIQUE NORD SUBPOLAIRE

AUTEURS

Pascale Lherminier et l'équipe OVIDE

CAMPAGNES OVIDE, CATARINA, GEOVIDE, BOCATS

Océan Atlantique Nord
Étés 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012,
2014, 2016, 2018
À bord des navires *Thalassa*, *Pourquoi Pas ?*,
Maria S. Merian et du *Sarmiento de Gamboa*



OBJECTIFS

Depuis 2002, le projet OVIDE a contribué à l'observation des propriétés de circulation et des masses d'eau le long de la section joignant le Groenland au Portugal référencée comme WOCE A25 ou «section OVIDE». Dans le contexte du changement climatique, l'objectif était de documenter et

comprendre la variabilité des propriétés de la circulation et des masses d'eau dans le nord de l'Atlantique Nord avec un accent particulier sur la mise en évidence de la variabilité de la circulation méridienne de retournement et du puits de carbone.

LE RÔLE DE L'ATLANTIQUE NORD DANS L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE

Dans l'océan Atlantique Nord, la quasi-totalité du volume en dessous de 2000 m de profondeur est occupée par les eaux profondes de l'Atlantique Nord (NADW). Il constitue la branche froide de la circulation méridienne de renversement de l'Atlantique (AMOC) qui est exporté vers le sud par le courant profond de bord ouest (DWBC) et certaines routes intérieures. Simultanément, la branche supérieure de l'AMOC transporte vers le nord l'eau chaude et salée d'origine subtropicale, qui est progressivement refroidie et partiellement convertie en eau de mode subpolaire (SPMW), l'une des sources NADW. Ces échanges entre les branches supérieure et inférieure de l'AMOC sont particulièrement intenses dans les régions de convection profonde du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord. L'AMOC est responsable du transport de la chaleur vers le nord dans l'Atlantique, ce qui en fait une composante majeure du système climatique.

Les principaux changements de l'AMOC ont été associés aux changements climatiques majeurs du passé (Rahmstorf, 2002). Un ralentissement de l'AMOC est l'une des conséquences attendues de la réponse de l'océan au forçage anthropique (Schmittner et al., 2005). Cependant, l'amplitude et l'échelle de temps de cette réponse restent un sujet de débat (GIEC, 2013; Roberts et Palmer, 2012). Un ralentissement de l'AMOC aurait un impact significatif sur l'excès de chaleur et de CO₂ généré par les activités humaines. En effet, l'AMOC transfère la chaleur et le CO₂ dans les couches profondes de l'océan, favorisant le rôle tampon de l'océan sur le changement climatique. Jusqu'à présent, l'océan a absorbé environ 93 % de l'excès de chaleur lié à l'augmentation de l'effet de serre (Cheng et al., 2019), et environ 30 % des émissions anthropiques de CO₂ (C_{ant}) depuis le début de l'ère industrielle. L'AMOC agit comme une pompe physique de C_{ant} dans l'Atlantique Nord, et son efficacité pourrait être réduite par la réduction de l'AMOC en réponse au forçage anthropique (Perez et al., 2010; 2013).

LE PROJET OVIDE

Les campagnes biennales OVIDE contribuent depuis 2002 à l'observation des éléments de circulation du gyre subpolaire de l'océan Atlantique Nord, afin de mieux comprendre la variabilité climatique de cet océan et ses interactions avec l'atmosphère. Les données recueillies sont conformes aux exigences des normes internationales tant en qualité qu'en quantité, de plus la section OVIDE a été labellisée « Section de référence haute-résolution » par la *Global Ocean Ship-based Hydrographic Investigations Program* (GO-SHIP⁴). Avec ces données, nous étudions certaines caractéristiques océaniques qui ont un impact potentiellement important sur le climat de l'Europe :

- l'amplitude de la circulation méridienne de renversement et les variations associées des caractéristiques des masses d'eau sur la verticale;
- les caractéristiques des eaux modales subpolaires et des régions de convection profonde, afin de comprendre la variabilité de leur formation et leur association avec le transfert de chaleur entre l'océan et l'atmosphère;
- la variabilité du puits de CO₂ dans l'Atlantique subpolaire et celle des bilans naturels et anthropiques du carbone par rapport à la variabilité des flux air-mer et de la circulation.

Le programme scientifique OVIDE est basé sur toutes les données in situ recueillies dans le tourbillon subpolaire de l'Atlantique Nord, qui comprennent les radiales hydrographiques et géochimiques (GO-SHIP A25, IOCCP, CDIAC) effectuées tous les deux ans entre le Groenland et le Portugal (figure 1), deux années d'observation continue du courant de la limite ouest par des mouillages à l'est de la pointe du Groenland, des données altimétriques satellitaires, le réseau de Flotteurs profileurs Argo, ainsi que les forçages atmosphériques issus des modèles des centres météorologiques. Le programme d'analyse des données comprenait la mise en œuvre de modèles inverses et s'appuyait sur la simulation pronostique à ¼° de résolution horizontale qui a permis de situer les observations OVIDE dans un contexte dynamique cohérent.

4. <http://www.go-ship.org>

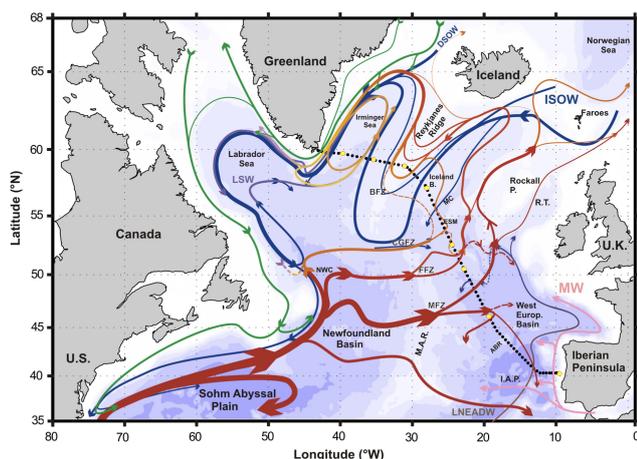


FIGURE 1. Schéma de la circulation à grande échelle (adapté de Daniault et al., 2016).

Les emplacements des stations hydrographiques OVIDE (environ 100) sont indiqués par des points noirs. Les points jaunes marquent les limites des régions avec des propriétés hydrographiques et/ou dynamiques différentes. Les principales masses d'eau sont indiquées: Eaux de débordement du détroit du Danemark (DSOW), eaux de débordement Islande-Ecosse (ISOW), eaux de la mer du Labrador (LSW), eaux méditerranéennes (MW) et eaux profondes du nord-est de l'Atlantique (LNEADW). Les flèches de courant sont de couleur rouge pour les courants chauds et de surface, bleu et violet pour les courants froids et profonds, vert pour les courants de surface très froids et dessalés de l'Arctique, rose pour les courants intermédiaires de MW. La bathymétrie est tracée en couleur avec changement de couleur à 100 m, à 1000 m et tous les 1000 m en dessous de 1000 m. Les principales caractéristiques topographiques de l'Atlantique subpolaire nord sont indiquées: Ride Açores-Biscay (ABR), Zone de Fracture de Bight (BFZ), Charlie-Gibbs (CGFZ), Faraday (FFZ) et Maxwell (MFZ), Dorsale Médio-Atlantique (M.A.R.), Plaine Abyssale Ibérique (I.A.P.), Coin Nord-Ouest (NWC), Fosse de Rocall (RT), Plateau de Rockall (Rockall P) et Chenal de Maury (MC).

Depuis 2002, Aida Ríos, Fiz Perez et leur équipe mènent le troisième objectif du projet: la variabilité du cycle du carbone. En 2012, nous avons décidé d'alterner la responsabilité de l'organisation des campagnes, et l'équipe espagnole a organisé les campagnes de 2012 et 2016, ajoutant les mesures de matières organiques et autres éléments biogènes dans la colonne d'eau et les sédiments. Entre-temps, notre connaissance des courants et des provinces hydrographiques le long de la section a été l'un des principaux arguments pour choisir la section OVIDE comme contribution française au programme GEOTRACES⁵ (Anderson et al., 2005) qui étudie la concentration d'éléments traces et d'isotopes dans les océans du monde. C'est ainsi qu'en 2014, la section «GAO1» (ou GEOVIDE) a été réalisée, ajoutant la section Groenland-Terre-Neuve à la section OVIDE. Les résultats scientifiques de GEOVIDE ont fait l'objet d'un numéro spécial dans *Biogeosciences* (Sarhou et al., 2018).

PRINCIPAUX RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

Les campagnes OVIDE sont officiellement associées à 95 publications évaluées par des pairs (OVIDE group, 2019; Sarhou et Lherminier, 2014), mais les données OVIDE faisant partie des principales bases de données internationales (CCHDO, OCADS), elles ont indirectement contribué à de nombreuses autres études qui ne peuvent être suivies. Parmi les résultats du groupe OVIDE, nous illustrons ici la variabilité de l'AMOC dans l'Atlantique subpolaire depuis 1993.

L'amplitude de l'AMOC représente le bilan de transport en volume, en Sv ($10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), entre le transport vers le nord d'eau chaude et salée et le transport vers le sud d'eau froide et moins salée. Les mesures le long de la section OVIDE ont été présentées et analysées en termes de variabilité de la circulation par Lherminier et al (2007; 2010), qui ont montré que pour chaque campagne, l'amplitude AMOC pouvait être estimée en combinant les données hydrographiques in situ (température et salinité) et les données de courant directement mesurées par effet Doppler sous la coque du navire avec des SADCP (points rouges de la figure 2). Plus tard, Gourcuff et al (2011) ont exposé une méthode d'utilisation des données altimétriques à la place du SADCP, avec des résultats similaires mais moins précis que la première méthode.

5. <http://www.geotraces.org>

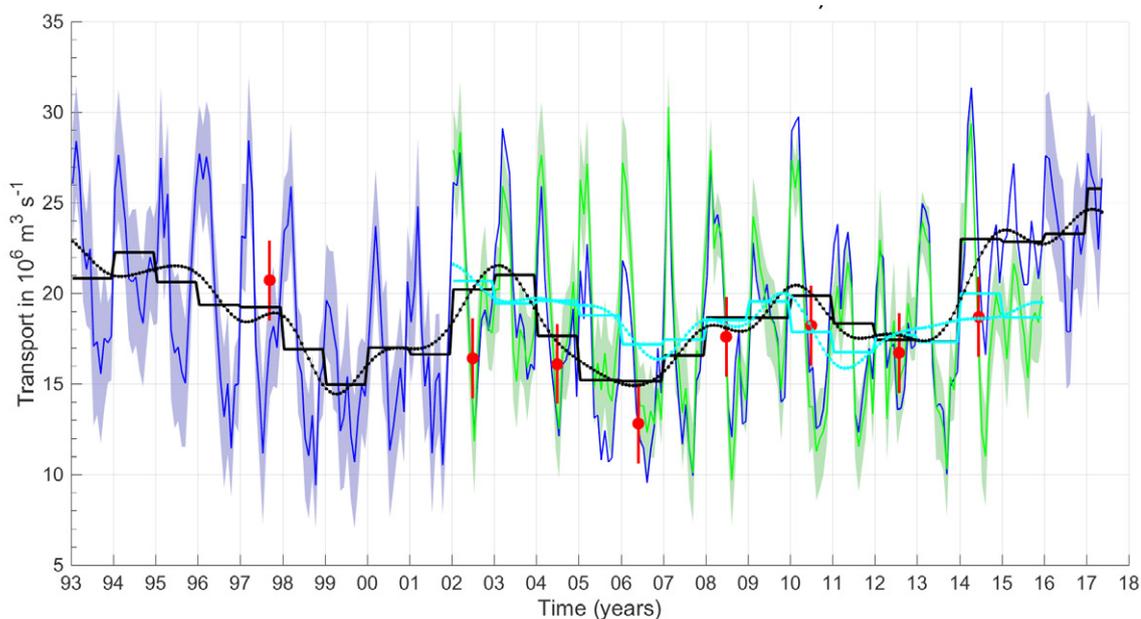


FIGURE 2. Série temporelle de l'amplitude de la circulation méridienne de renversement au niveau de la section Ovide comme dans Mercier et al (2015). Les points rouges sont les estimations des données de campagnes. La courbe bleue combine les données altimétriques et une climatologie mensuelle de la période ARGO, et les courbes noires sont la moyenne glissante sur 2 ans et les moyennes annuelles. La courbe verte combine l'altimétrie avec toutes les données *in situ* moyennées mensuellement depuis le début du programme ARGO.

Une étude minutieuse des données acquises a montré que l'estimation du transport de la branche supérieure de l'AMOC pouvait être un bon indicateur de l'amplitude de l'AMOC. Sachant que la branche supérieure était moins profonde que 2000 m, les données des profileurs Argo pouvaient être utilisées en combinaison avec les courants de surface de l'altimétrie pour calculer une série temporelle de l'amplitude AMOC à travers OVIDE (courbe verte de la figure 2; Mercier et al., 2015). Constatant que la variabilité des courants de surface avait beaucoup plus d'impact que la variabilité des données hydrographiques, une climatologie mensuelle de ces dernières a été utilisée pour explorer la variabilité avant l'ère Argo (courbe bleue de la figure 2). L'accord remarquable entre les deux estimations indépendantes de l'AMOC aux périodes de campagne a validé notre approche.

Cette série temporelle de l'AMOC confirme la forte variabilité interannuelle des estimations de l'AMOC pour chaque campagne, malgré l'importante variabilité saisonnière. Cette variabilité saisonnière est en fait comparable à celle de la série temporelle de 13 ans mesurée par le réseau RAPID à 26,5°N (6,7 Sv; Kanzow et al., 2010), mais elle résulte de processus différents.

De plus, l'amplitude moyenne de l'AMOC est similaire à OVIDE et RAPID, ce qui révèle que la majeure partie de la conversion de l'eau légère en eau dense (ou chaude en froide) se produit à l'est du Groenland et non dans la mer du Labrador, où la convection profonde ne fait que transformer (et densifier) l'eau qui est déjà dans la branche inférieure de l'AMOC. Ce résultat nous a conforté dans le choix de la section OVIDE pour surveiller l'AMOC.

La série temporelle de l'AMOC présente également une forte variabilité décennale, à environ 8 ans (figure 2); son origine est encore sujette à débat, puisqu'elle est apparemment décorrélée de la plus faible variabilité décennale à 26,5°N (Smeed et al., 2018). Une série chronologique plus longue à cette latitude subtropicale est nécessaire pour montrer (ou non) le décalage de 5-12 ans obtenu par les modèles numériques entre les régions subpolaires et subtropicales (Robson et al., 2016; Ortega et al., 2017). Il est essentiel de comprendre les processus qui déterminent la variabilité de l'AMOC pour être en mesure de prévoir de façon fiable l'état dynamique futur de l'océan.

PLUS D'INFORMATIONS

DATES	PROJECT	NAVIRES	CHEFS DE MISSION	RÉFÉRENCE
06/10 au 07/12/2002	OVIDE	Thalassa	Herlé Mercier	
06/04 au 07/07/2004	OVIDE	Thalassa	Thierry Huck	
05/21 au 06/28/2006	OVIDE	M.S. Merian	Pascale Lherminier	https://doi.org/10.18142/140
06/10 au 07/10/2008	OVIDE	Thalassa	Bruno Ferron	
06/08 au 07/07/2010	OVIDE	Thalassa	Virginie Thierry	
06/21 au 07/24/2012	CATARINA	Sarmiento de Gamboa	Aida F. Ríos	http://hdl.handle.net/10261/115138
05/15 au 06/30/2014	GEOVIDE	Pourquoi Pas ?	Géraldine Sarthou et Pascale Lherminier	https://doi.org/10.17600/14000200
06/17 au 07/31/2016	BOCATS	Sarmiento de Gamboa	Fiz F. Perez	http://hdl.handle.net/10261/154348
06/11 au 07/16/2018	OVIDE	Thalassa	Pascale Lherminier	https://doi.org/10.17600/18000510

RÉFÉRENCES

Anderson, R. F., & Henderson, G. M. (2005). Program update: GEOTRACES—A Global study of the marine biogeochemical cycles of trace elements and their isotopes. *Oceanography*, 18(3), 76–79. DOI: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.31>

Cheng, Lijing, John Abraham, Zeke Hausfather, Kevin E. Trenberth, 2019: How fast are the oceans warming? *Science*, Vol. 363 (6423), pp. 128-129. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aav7619>.

Daniault Nathalie, Mercier Herle, Lherminier Pascale, Sarafanov Artem, Falina Anastasia, Zunino Patricia, Perezf Fiz F., Rios Aida F., Ferron Bruno, Huck Thierry, Thierry Virginie, Gladyshev Sergey (2016). The northern North Atlantic Ocean mean circulation in the early 21st Century. *Progress In Oceanography*, 146, 142-158. Publisher's official version: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.06.007>, Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00345/45569/>

Gourcuff Claire, Lherminier Pascale, Mercier Herle, Le Traon Pierre-Yves (2011). Altimetry combined with hydrography for ocean transport estimation. *Journal of Atmospheric And Oceanic Technology*, 28(10), 1324-1337. DOI: <https://doi.org/10.1175/2011JTECH018.1>, Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00038/14921/>

IPCC (2013), CLIMATE CHANGE 2013: *The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Bischung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Lherminier, P., H. Mercier, C. Gourcuff, M. Alvarez, S. Bacon, and C. Kermabon (2007), Transports across the 2002 Greenland-Portugal Ovide section and comparison with 1997, *J. Geophys. Res.*, 112(C7), C07003, DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JC003716>.

Lherminier, P., H. Mercier, T. Huck, C. Gourcuff, F. F. Perez, P. Morin, A. Sarafanov, and A. Falina (2010), The Atlantic Meridional Overturning Circulation and the subpolar gyre observed at the A25-OVIDE section in June 2002 and 2004, *Deep. Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 57(11), 1374–1391, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2010.07.009>.

Mercier Herle, Lherminier Pascale, Sarafanov Artem, Gaillard Fabienne, Daniault Nathalie, Desbruyeres Damien, Falina Anastasia, Ferron Bruno, Gourcuff Claire, Huck Thierry, Thierry Virginie (2015). Variability of the meridional overturning circulation at the Greenland–Portugal OVIDE section from 1993 to 2010. *Progress In Oceanography*, 132, 250-261.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.11.001>,
Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00165/27583/>

Ortega, P., Robson, J., Sutton, R.T. et al. Clim Dyn (2017): Mechanisms of decadal variability in the Labrador Sea and the wider North Atlantic in a high-resolution climate model. *Climate Dyn.*, 49, 2625-2647. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3467-y>

OVIDE Group (2019): The OVIDE set of cruises. French Oceanographic cruises directory, <https://doi.org/10.18142/140>

Robson J, Ortega P, Sutton R (2016) A reversal of climatic trends in the North Atlantic since 2005. *Nat Geosci* 9:513–517. DOI: <https://doi.org/10.1038/NNGEO2727>.

Perez, F. F., M. Vázquez-Rodríguez, H. Mercier, a. Velo, P. Lherminier, and a. F. Ríos (2010), Trends of anthropogenic figure storage in North Atlantic water masses, *Biogeosciences*, 7(5), 1789–1807, DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-7-1789-2010>.

Perez, F. F., H. Mercier, M. Vázquez-Rodríguez, P. Lherminier, A. Velo, P. C. Pardo, G. Rosón, and A. F. Ríos (2013), Atlantic Ocean figure uptake reduced by weakening of the meridional overturning circulation, *Nat. Geosci.*, 6(2), 146–152, DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo1680>.

Perez Fiz F, Fontela Marcos, Garcia-Ibanez Maria Isabel, Mercier Herle, Velo Anton, Lherminier Pascale, Zunino Patricia, De La Paz Mercedes, Alonso-Perez Fernando, Guallart Elisa E., Padin Xose A. (2018). Meridional overturning circulation conveys fast acidification to the deep Atlantic Ocean. *Nature*, 554(7693), 515-518. Publisher's official version : DOI: <https://doi.org/10.1038/nature25493>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00426/53783/>

Rahmstorf, S. (2002), Ocean circulation and climate during the past 120,000 years., *Nature*, 419(6903), 207–214, DOI: <https://doi.org/10.1038/nature01090>.

Roberts, C. D., and M. D. Palmer (2012), Detectability of changes to the Atlantic meridional overturning circulation in the Hadley Centre Climate Models, *Clim. Dyn.*, 39(9–10), 2533–2546, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1306-3>.

Sarthou Géraldine, Lherminier Pascale (2014) GEOVIDE cruise, RV *Pourquoi pas?*, French Oceanographic cruises directory, <https://doi.org/10.17600/14000200>

Sarthou Geraldine, Lherminier Pascale, et al. (2018). Introduction to the French GEOTRACES North Atlantic Transect (GA01): GEOVIDE cruise. *Biogeosciences*, 15(23), 7097-7109. Publisher's official version: <https://doi.org/10.5194/bg-15-7097-2018>, Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00470/58178/>

Schmittner, A., M. Latif, and B. Schneider (2005), Model projections of the North Atlantic thermohaline circulation for the 21st century assessed by observations, *Geophys. Res. Lett.*, 32(23), L23710, DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GL024368>.

Smeed, D. A., S. A. Josey, C. Beaulieu, W. E. Johns, B. I. Moat, E. Frajka-Williams, D. Rayner, C. S. Meinen, M. O. Baringer, H. L. Bryden, and G. D. McCarthy (2018): The North Atlantic Ocean Is in a State of Reduced Overturning. *Geophys. Res. Lett.*, 370 (1962), 1228–1533. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017GL076350>

LE CHEF DE MISSION ET SON ÉQUIPE

Le projet OVIDE a été initié et porté par Herlé Mercier (LOPS, CNRS) depuis 2001, épaulé par une équipe de quatre chercheurs français du LOPS (Ifremer, CNRS et UBO) et deux chercheurs espagnols (CSIC/IIM) et par le Service Technique d'Observation in Situ.

Les données du projet OVIDE ont donné lieu à 12 thèses. Le projet a été principalement financé par la Flotte océanographique française, l'Ifremer, le CNRS, l'INSU, Les Enveloppes Fluides et l'Environnement (LEFE), le Ministère Espagnol de l'Économie et de la Compétitivité et cofinancé par le Fondo Europeo de Desarrollo Regional 2014-2020 (FEDER), le « Laboratoire d'Excellence » LabexMER (ANR-10-LABX-19) et cofinancé par une subvention du gouvernement français du programme « Investissements d'Avenir ».

Nous sommes profondément reconnaissants aux équipages et aux capitaines qui nous ont accompagnés et aidés lors des campagnes OVIDE, pour leur travail acharné et leur dévouement.