

## **MEDLEY: Heterogeniteit van de menglaag**

De overdracht van warmte, energie en gassen door de oceanische gemengde laag is uiterst complex en ruimtelijk heterogeen. De discontinue, dynamische zee-ijsbedekking en de aanwezigheid van oceanische wervelingen, fronten en filamenten op een schaal van een kilometer zijn belangrijke heterogeniteiten die de dikte en eigenschappen van deze laag bepalen. De huidige klimaatmodellen die gebruikt worden voor de klimaatprojecties van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) vertonen grote verschillen in de simulatie van de diepte van de gemengde laag, deels door een slechte weergave van het geïntegreerde effect van deze heterogeniteiten. Dit beperkt de bruikbaarheid van deze modellen bij het beoordelen van de effecten van toekomstige klimaatverandering in Europa en op mariene ecosystemen.

MEDLEY was een Europees project binnen het JPI Oceans & Climate dat tot doel had meer inzicht te krijgen in de heterogeniteit van de oceanische gemengde laag in het noordelijke deel van de Noord-Atlantische Oceaan, een hotspot voor antropogene CO<sub>2</sub>-opslag, en in de snel opwarmende Noordelijke IJsee. De belangrijkste doelstellingen waren (1) het beoordelen van de ruimtelijke heterogeniteit van fluxen en processen die de oceanische gemengde laag controleren, en (2) het verbeteren van de weergave van de overdrachten over deze laag in klimaatmodellen door rekening te houden met deze heterogeniteit.

Het project integreerde ultramoderne observationele datasets en oceaanmodellen op schaal van het bekken met een resolutie van een kilometer, innovatieve zeeijsmodellen en de nieuwste generatie mondiale klimaatmodellen met een eddy-oceaancomponent. Dankzij de interdisciplinaire samenwerking tussen de partners (zes instellingen, waaronder de UCLouvain) maakte MEDLEY gebruik van de meest geavanceerde methoden voor gegevensanalyse. Meer specifiek was het project gericht op het verbeteren van de afstemming en consistentie van de weergave van de gemengde lagen in de oceaancomponent van mondiale klimaatmodellen, door middel van modellering op meerdere schaalniveaus en validatie aan de hand van recente waarnemingen met hoge resolutie. In het kader van dit project richtte UCLouvain zijn aandacht op de met ijs bedekte gebieden van de Noordelijke IJsee en de randzeeën. Onze inspanningen hebben geleid tot de publicatie van twee belangrijke resultaten in belangrijke wetenschappelijke tijdschriften.

In een eerste studie evalueerden we het vermogen van oceaan-zee-ijs algemene circulatiemodellen die betrokken zijn bij het CMIP6 Ocean Modelling Intercomparison Project (OMIP) om de diepte van de oceanische gemengde laag en de seizoensgebonden cyclus ervan in het Noordpoolgebied te simuleren. Tijdens de zomermaanden onderschatten alle modellen systematisch de diepte van de gemengde laag in vergelijking met observatiegegevens van de Monthly Isopycnal Mixed layer Ocean Climatology en Ice Tethered Profilers. In de herfst en winter werden verschillen van enkele tientallen meters waargenomen tussen de modellen onderling en tussen de modellen en de observatiegegevens. Vervolgens analyseerden we de oorsprong van de modelvertekeningen in de herfst en winter in met ijs bedekte regio's, waar het zoutgehalte aan het oppervlak en de diepte van de gemengde laag grotendeels worden bepaald door het vrijkomen van pekels in verband met de groei van het zee-ijs. Als we ons eerst richtten op de centrale Noordelijke IJsee, hier gedefinieerd als het gebied ten noorden van 80° N, ontdekten we dat alle modellen min of meer dezelfde massabalans van

zeeijs simuleren en dus dezelfde zoutflux naar de oceaan tijdens de vorming van zeeijs. Bovendien laten alle modellen een sterke relatie zien tussen het verticale stratificatieprofiel van de oceaan in september en de diepte van de gemengde laag aan het eind van de winter. We hebben geconcludeerd dat de verschillen tussen de modellen dus niet zozeer te maken hebben met de zoutbalans aan het oppervlak als wel met de nauwkeurigheid waarmee deze modellen het verticale zoutprofiel weergeven. Kortom, een zwak gestratificeerde oceaan heeft de neiging om een diepe gemengde laag te creëren, terwijl een sterke stratificatie leidt tot een ondiepe gemengde laag. Om deze conclusie te ondersteunen, hebben we een eenvoudig conceptueel model toegepast, dat de maandelijkse evolutie van de diepte van de gemengde laag simuleert met verticale zoutgradiënten en zoutfluxen aan het oppervlak van algemene circulatiemodellen voor de oceaan als invoergegevens. Verrassend genoeg geeft dit vereenvoudigde model het gedrag van de complexere algemene circulatiemodellen voor de oceaan zeer goed weer, wat de rol benadrukt van de verticale stratificatie bij het bepalen van de diepte van de gemengde laag aan het einde van het ijsgroeiseizoen. Bovendien kan dit verband ook de grote vertekeningen in de menglaag verklaren die in andere met ijs bedekte regio's van de pan-Arctische zeeën worden waargenomen, zelfs als de interacties tussen zee-ijs en oceaan niet de enige drijvende kracht zijn achter de variabiliteit van de menglaag in deze regio's in de herfst en winter.

In een tweede studie hebben we de prestaties van het verticale mengschema voor turbulente kinetische energie (TKE) van het wereldwijde oceaan-zeeijsmodel NEMO-SI<sup>3</sup> (Nucleus for European Modelling of the Ocean - Sea Ice Modelling Integrated Initiative) beoordeeld met een resolutie van 1° in met ijs bedekte gebieden van de Noordelijke IJsee. Specifiek hebben we de gevoeligheid van het model getest voor de parameters die betrokken zijn bij een ad hoc parameterisatie (aangeduid als TKE mixed layer penetration (MLP) parameterisatie) die recentelijk is toegevoegd aan het standaard TKE mengschema om rekening te houden met het effect van kleinschalige processen zoals bijna-inertiële oscillaties en oceaan deining en golven. We hebben deze parameterisatie voor het eerst geëvalueerd in drie regio's van de Noordelijke IJsee: het Makarovbekken, het Euraziatische bekken en het Canadese bekken. We toonden het sterke effect aan van de schaalparameter die rekening houdt met de aanwezigheid van zeeijs. Onze resultaten bevestigen dat de TKE MLP parameterisatie onder zeeijs omlaag moet worden geschaald om onrealistische diepe gemengde lagen te voorkomen. De andere bestudeerde parameters waren het percentage energie dat onder de gemengde laag doordringt en de lengteschaal van het verval met de diepte. Al deze parameters beïnvloeden de simulatie van de diepte van de gemengde laag en de seizoensgebonden cyclus ervan, de oppervlaktetemperatuur en het zoutgehalte en de onderliggende verticale stratificatie van de oceaan. We hebben met name significante effecten waargenomen op de dikte van het zeeijs in de Noordelijke IJsee in twee scenario's: wanneer de schalingsparameter als gevolg van de aanwezigheid van zeeijs afwezig is en wanneer de TKE MLP parameterisatie is uitgeschakeld. In het eerste geval vonden we een toename van enkele meters in de diepte van de gemengde laag en een afname van de dikte van het zee-ijs, variërend van 5 tot 30 cm, als gevolg van meer menging. In het tweede geval, daarentegen, zagen we dat een lagere diepte van de gemengde laag gepaard ging met een matige toename van de dikte van het zee-ijs, variërend van 5 tot 20 cm, zoals verwacht van een zwakkere menging. Bovendien laat de analyse van de interjaarlijkse variabiliteit van de eigenschappen van de bovenste oceaan en het zee-ijs die door het model worden gesimuleerd, zien dat experimenten met een schalingsparameter gebaseerd op zee-ijsconcentratie een grotere menglaagdiepte laten zien tijdens perioden van zee-ijsafname, wat consistent is met de waargenomen trends. Deze resultaten benadrukken hoe belangrijk het is om goed rekening te houden met de invloed van kleinschalige processen op de

verticale menging in oceanen bedekt met ijs door het gebruik van geschikte fysisch gebaseerde parameterisaties in modellen.

**Kernbegrippen:** oceaanglaag, ruimtelijke heterogeniteit, klimaatmodellen, Noord-Atlantische Oceaan, Noordelijke IJzee, zeeijs, mesoschaalwervelingen, submesoschaalfronten, observationele datasets, hoge-resolutiemodellen.