



## Å HOLDE ET ØYE MED JORDENS HAV MED ARGO ROBOTER

Blair J. Greenan<sup>1</sup>, Annie P. Wong<sup>2</sup>, Tammy Morris<sup>3</sup>, Emily A. Smith<sup>4</sup> and Marine Bollard<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Oceans Canada, Halifax, NS, Canada

<sup>2</sup>School of Oceanography, University of Washington, Seattle, WA, United States

<sup>3</sup>South African Weather Service, Cape Town, South Africa

<sup>4</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, United States

<sup>5</sup>Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC), Brest, France

Har du noen gang lurt på hvordan forskere vet hva som skjer dypt nede under havoverflaten? Det finnes flere typer roboter som kan dykke under havoverflaten og bringe tilbake data fra under overflaten. En type robot, kalt en Argo-bøye, beveger seg i de midterste dypene av havet med strømmene der, og kommer til havoverflaten hver tiende dag for å fortelle forskerne om informasjonen den har samlet inn. For øyeblikket er det omtrent 4000 Argo-bøyer som holder et øye med jordens hav hver dag. Disse robotene måler temperatur og saltholdighet, og noen kan også overvåke mer komplekse kjemiske og biologiske parametere. Argo-roboter gir et annet verktøy til havforskernes verktøykasse for å hjelpe forskerne med å forstå hvordan havet fungerer og hvordan det påvirker ikke bare det marine liv, men også hele jorden.

### HVORFOR HOLDER FORSKERE ET ØYE MED JORDENS HAV?

Havet er veldig viktig for menneskelig trivsel fordi det gir oss mat, medisiner, transport og rekreasjon. Havet er også hjemmet til mange marine arter som gjør jorden vennlig for mennesker. For eksempel produserer de små **planktonene** i havet mer enn 50 % av oksygenet vi puster inn. Havet utgjør mer enn 70 % av jordens overflate og spiller en viktig rolle i planetens miljø.

#### PLANKTON

Drivende planter, alger og noen bakterier som kan fotosyntetisere.

**KLIMA**

Beskrivelsen av det langsiktige værmønsteret i et bestemt område. Dette beregnes vanligvis som et gjennomsnitt av data som er samlet inn (for eksempel temperatur) over minst to tiår.

**DRIVHUSGASSER**

Gasser som fanger varme i atmosfæren, inkludert karbondioksid, metan, lystgass og fluorholdige gasser.

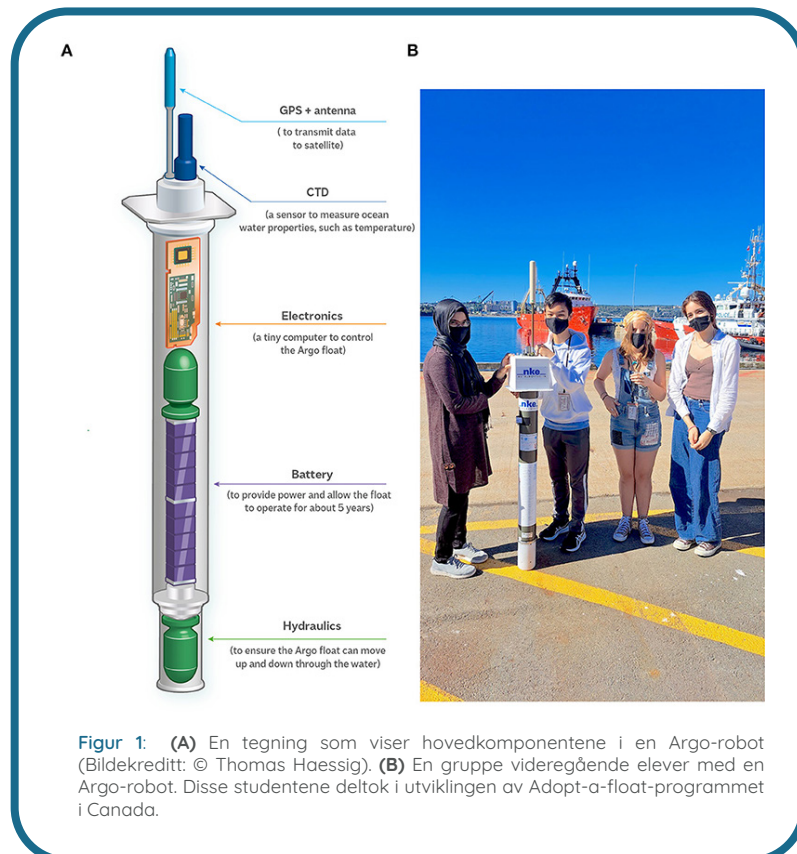
Av alle disse grunnene har forskere forstått i mange år at det er viktig å observere havet, for å forstå det bedre og for å kunne forutsi endringene som kan skje.

Forskere som studerer atmosfæren er også interessert i observasjoner av havet fordi været vi opplever hver dag, påvirkes av havet. For eksempel, har du noen gang sett vann som fordampner fra en varm vei? Det samme skjer i havet, når varm havoverflate forårsaker fordampning overføres vann fra havet til atmosfæren. Når vannet først er i atmosfæren, hjelper det til med å danne skyer, snø og regn. Så bedre overvåking av havforholdene gir bedre værvarsler.

Noen forskere er spesialister i å studere jordens **klima**. Områder med et «tropisk klima» får mye sollys hvert år. Det gjør havoverflaten varm og det dannes skyer og regn, så klimaet i disse områdene er typisk varmt og fuktig. Men klimaet kan endre seg over tid. For eksempel kan noen menneskelige aktiviteter, som å kjøre biler eller varme opp hjemmene våre, gi mere **drivhusgasser** i atmosfæren. Drivhusgasser fungerer som et teppe som fanger opp varme og varmer opp jordens overflate. Havobservasjoner er viktige for å forstå hvordan drivhusgasser bidrar til klimaendringer fordi havet kan absorbere karbondioksid og varme fra jordens atmosfære og flytte dem rundt med havstrømmer.

## ARGO ROBOTER: FRITTVANDRENDE HAVEVENTYRERE

For å studere havet, må forskere samle data kontinuerlig i mange år. En viktig måte å få denne informasjonen på er å dra med skip for å ta målinger (Se også denne artikkelen fra «Frontiers for Young Minds»). Men det er steder som er vanskelige for skip å komme til, som Arktis og Antarktis. Vintrene gir også røft hav som er vanskelig for skip å operere i. For å samle inn målinger fra jordens hav i alle årstider oppfant forskere Argo-roboter (Figur 1).

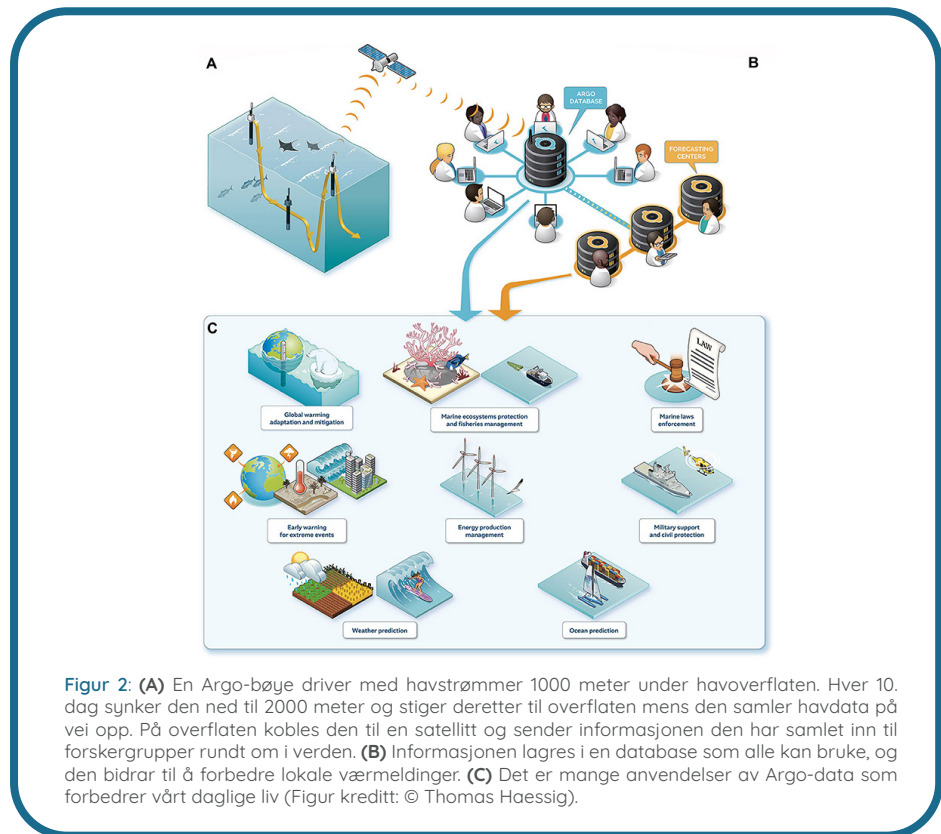


**Figur 1:** (A) En tegning som viser hovedkomponentene i en Argo-robot (Bildekreditt: © Thomas Haessig). (B) En gruppe videregående elever med en Argo-robot. Disse studentene deltok i utviklingen av Adopt-a-float-programmet i Canada.

## SENSORER

En enhet som oppdager og reagerer på en form for input fra det fysiske miljøet.

Disse Argo-robotene kalles «bøyer» og de bærer **sensorer** for å samle inn havdata. Selv om vi kaller disse robotene «bøyer» går de faktisk opp og ned i havet. Forskere plasserer Argo-robotene ut i havet fra skip. Når de er satt ut i havet, synker de ned til 1000 meters dyp og driver der fritt med havstrømmene i 9 dager. På den 10. dagen dykker de ned til 2000 meters dyp, og deretter stiger de til havoverflaten mens de tar havmålinger på vei opp. Når de kommer til overflaten sender de dataene de har samlet inn sammen med sin posisjon tilbake til forskerne via satellitter, noe som gjør det mulig for forskerne å bygge en database med informasjon for denne delen av havet. Etter dette dykker de tilbake til 1000 meters dyp og starter syklusen på nytt (Figur 2A). Forskere bruker dataprogrammer for å sjekke kvaliteten på målingene og overføre informasjonen til en database (Figur 2B). Målingene er fritt tilgjengelige for alle i løpet av 24 timer etter at robotene har kommet opp til havoverflaten (Figur 2C).



**Figur 2:** (A) En Argo-bøye driver med havstrømmer 1000 meter under havoverflaten. Hver 10. dag synker den ned til 2000 meter og stiger deretter til overflaten mens den samler havdata på vei opp. På overflaten kobles den til en satellitt og sender informasjonen den har samlet inn til forskergrupper rundt om i verden. (B) Informasjonen lagres i en database som alle kan bruke, og den bidrar til å forbedre lokale værmeldinger. (C) Det er mange anvendelser av Argo-data som forbedrer vårt daglige liv (Figur kreditt: © Thomas Haessig).

## SALTHOLDIGHET

Et mål på konsentrasjonen av salt i havet. Den kan også kalles salinitet.

## TETTHET

Mengden materie i et stoff (massen) delt på hvor mye plass stoffet opptar (volumet).

Argo-roboter registrerer trykk, temperatur og **saltholdighet**. Saltholdighet er et mål på saltkonsentrasjonen i havet. Saltholdighet og temperatur bestemmer sammen **tettheten** til sjøvann. Trykk forteller forskerne dybden til temperatur- og saltholdighetsmålingene. I havet tilsvarer én meter (m) i dybde omtrent én decibar (dbar) i trykk. I atmosfæren skaper høytrykk og lavtrykk værsystemene våre. I havet skaper områder med høy og lav tetthet strømmer, som flytter store mengder vann rundt på kloden. Å forstå hvordan vann beveger seg rundt i havet er viktig for forskning på klima samt for å beskytte plantene og dyrene som lever i havet.

Da forskere først designet nettverket med Argo-roboter på slutten av 1990-tallet, ønsket de at dataene skulle utfylle målinger av havoverflatehøyden samlet inn av en satellitt som heter Jason. I gresk mytologi seilte Jason på et skip som het Argo på jakt etter det gyldne skinnet. Derfor kalte havforskere disse robotene for Argo-bøyer. Havoverflatehøydedata fra satellitter kan kombineres med Argo-data for å gi forskere informasjon om endringer i havstrømmer. Argo-robotene har vandret rundt i havet de siste 20 årene og har samlet inn over 2 millioner målinger over hele verden<sup>1</sup>. I dag er det nesten 4 000 Argo-roboter som samler inn havmålinger.

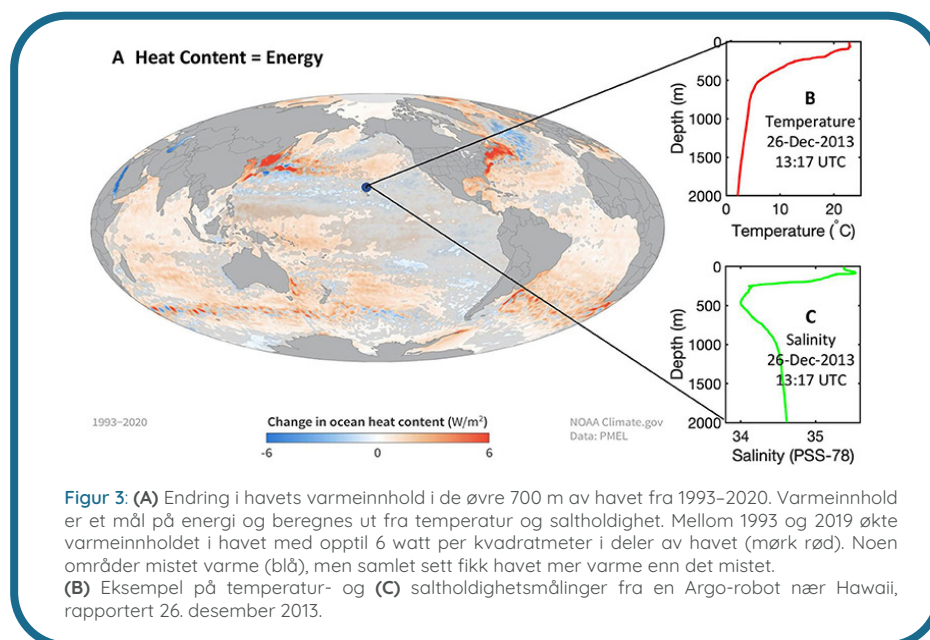
Argo-roboter drives av batterier og jobber døgnet rundt, hver dag hele året. På grunn av disse robotene kan forskere nå holde et øye med jordens hav som aldri før. Batteriene i Argo-robotene varer vanligvis mer enn fem år. Når batteriene er tomme vil disse robotene bli inaktive og synke til havbunnen. Selv om dette kan virke som forsøpling av havet, er miljøpåvirkningen på havet ekstremt liten sammenlignet med andre forurensninger, og havdataene som samles inn er ekstremt verdifulle for å forstå jorden.

## HVA KAN ARGO ROBOTENE FORTELLE OSS OM HAVET?

Siden 1970 har havet absorbert mer enn 90 % av varmen som er skapt av drivhusgasser fra menneskelige aktiviteter. Temperaturene i mange områder av verdens hav har økt. En måte forskere overvåker dette på er ved å bruke temperatur- og saltholdighetsmålinger for å beregne hvor mye varme som har blitt lagt til i et lag av havet, kalt **havvarmeinnhold** (Figur 3). Ved å bruke data samlet inn av Argo-roboter, har forskere oppdaget at ekstreme hendelser som varmebølger skjer hyppigere i havet, akkurat som i atmosfæren. Disse marine varmebølgene får marine dyr til å flytte til andre områder for å finne kjøligere vann. Imidlertid vil planter og dyr som ikke kan bevege seg lide under disse marine varmebølgene.

### HAVETS VARMEINNHold

Mengden energi i form av varme som er lagret i havet.



Global havnivåstigning er en annen stor konsekvens av klimaendringer. Når vannet i havet varmes opp, utvider det seg også, noe som er en av hovedårsakene til havnivåstigning. Et stigende havnivå kan ha dramatiske konsekvenser i våre daglige liv fordi det kan forårsake oversvømmelser, erosjon og gjøre ferskvann udrikkelig på grunn av blanding med salt sjøvann. (Se denne artikkelen fra «Frontiers for Young Minds» for mer informasjon om havnivåstigning). Argo-roboter er et viktig verktøy for å overvåke global havnivåstigning fordi de holder øye med hvordan jordens hav endrer seg.

### DATAMODELL

Et program som kjøres på en datamaskin for å simulere et system i den virkelige verden, som Jordens atmosfære eller hav.

Å holde styr på havet har også ført til forbedringer i værvarsling. Ved å bruke temperatur- og saltholdighetsdata fra Argo-robotene har forskere lagt til en **datamodell** av havet i sine værvarslingsberegninger. Å ha ekte havdata i disse modellene, forbedrer forskernes forståelse av hvordan atmosfæren og havet samhandler med hverandre. Dette er svært viktig for å forutsi intense stormer som orkaner, sykloner og tyfoner, som får mye av sin styrke fra varme havoverflater.

## GÅR DYPERE OG I NYE RETNINGER

Tidligere var Argo-roboter begrenset til de øverste 2000 meterne av havet, noe som representerer <50 % av det globale havvolumet. Det er svært utfordrende å designe roboter som kan gå til havbunnen, men forskere og ingeniører har nylig lyktes med å lage noen roboter som kan dykke så dypt som til 6000 meter<sup>2</sup>. Prøvetaking av havet fra overflaten til bunnen vil gjøre det mulig for forskere å bedre forstå endringer i varme- og ferskvannsinhold, og dette vil gi bedre informasjon om global havnivåstigning.

Vi står nå ved begynnelsen av en ny æra, der Argo-roboter kan gjøre målinger relatert til havets kjemi og biologi<sup>3</sup>. Dette vil for eksempel gi informasjon om endringer i mengden oksygen og karbondioksid i havet. Det globale havet taper for tiden oksygen og absorberer mer karbondioksid fra jordens atmosfære. Disse endringene har innvirkning på de marine økosystemene, inkludert fiskeriene som skaffer mange av oss mat.

Argo-roboter er ett verktøy i en havforskers verktøykasse. De er en del av et globalt system kalt «Globalt Ocean Observing System» (GOOS). Sammen med andre partnere i GOOS vil fremskrittene til Argo-roboter hjelpe oss med å bygge et globalt bilde av havets helse og hvordan det endrer seg over tid. Du kan også bli med disse havobservatørene. Hvordan? Ved å «adoptere» en bøye. Du kan velge en Argo-robot, gi den et navn og følge dens reise rundt om i verden. Du kan også lære mer om Argo på «Argo Online School» og hos «Ocean Observers». Et haveventyr venter!

## REFERANSER

1. Wong, A. P. S., Wijffels, S. E., Riser, S. C., Pouliquen, S., Hosoda, S., Roemmich, D. et al. 2020. Argo data 1999–2019: two million temperature-salinity profiles and subsurface velocity observations from a global array of profiling floats. *Front. Mar. Sci.* 7:700. doi: 10.3389/fmars.2020.00700
2. Roemmich, D., Alford, M. H., Claustre, H., Johnson, K., King, B., Moum, J. et al. 2019. On the future of argo: a global, full-depth, multi-disciplinary array. *Front. Mar. Sci.* 6:439. doi: 10.3389/fmars.2019.00439
3. Bittig, H. C., Maurer, T. L., Plant, J. N., Schmechtig, C., Wong, A. P. S., Claustre, H., et al. 2019: A BGC-argo guide: planning, deployment, data handling and usage. *Front. Mar. Sci.* 6:502. doi: 10.3389/fmars.2019.00502

**INNSENDT:** 13. mai 2022

**AKSEPTERT:** 21. september 2023

**PUBLISERT ONLINE:** 6. oktober 2023

**REDAKTØR:** Pedro Morais, Florida International University, United States

**VITENSKAPELIGE VEILEDERE:** Laura Lorenzoni and Sagi Dalryot

**INTERESSEKONFLIKT:** Forfatterne erklærer at forskningen ble gjennomført uten noen kommersielle eller økonomiske relasjoner som kunne tolkes som en mulig interessekonflikt.

## UNGE ANMELDERE

### DENIZE, ALDER: 12

Hei, jeg heter Deniz, og jeg liker å se på stjernene og spille videospill med venner. Min favorittstjernekllynge er Messier 45, og mitt favorittstjernebilde er Orions belte. Mitt favorittvideospill er Call of Duty 2.

### LEO, ALDER: 12

Leo ble født i Florida og liker stranden; han liker spesielt å snorkle. Han er interessert i historie og mytologi, særlig hvis det involverer noe under vann. Han spiller cello, har to hunder, og liker å spille videospill på fritiden.





### OMER, ALDER: 14

Jeg er interessert i internasjonal politikk, og jeg liker å lese om politikk, filosofi og historie. Jeg liker å spille videospill på min Nintendo Switch og PC, og jeg elsker å lytte til musikk og spille rollespill som D&D og Warhammer 40K.

## FORFATTERE



### BLAIR J. GREENAN

Blair er en forsker ved Bedford Institute of Oceanography med base i Halifax, Nova Scotia, Canada. Han leder Canadas bidrag til det internasjonale Argo programmet. Forskningen hans fokuserer på å hjelpe kystsamfunn med å tilpasse seg havklimaendringer. Dette inkluderer å løse infrastrukturproblemer ved å tilby vitenskapsbaserte verktøy med informasjon om lokale endringer i havnivå som følge av klimaendringer.



### ANNIE P. WONG

Annie er forsker ved University of Washington i Seattle, Washington, USA. Hun er en oseanograf som startet innen marin vitenskap med å samle havdata fra skip. Nå bruker hun Argo data for å studere havets saltholdighet og er interessert i havene rundt Antarktis. Hun er medlem av Argo Data Management Team som hjelper med å distribuere Argo data til offentligheten.



### TAMMY MORRIS

Tammy Morris er seniorforsker ved Marine Unit i den sørafrikanske værvarslingstjenesten basert i Cape Town, Sør-Afrika. Hun er en observasjonsoseanograf som har tilbrakt mange måneder til sjøs på forskningsskip, hvor hun arbeider med havovervåkningsinstrumenter som Argo bøyer, drivbøyer og rigger. Forskningen hennes har hovedsakelig konsentrert seg rundt det større Agulhas-strømsystemet, og mer nylig interaksjoner med Sørishavet.



### EMILY A. SMITH

Emily er leder for flere programmer, inkludert det amerikanske Argo programmet, det globale havnivåovervåkningssystemet (GLOSS), havglidere i kantstrømmer og produkter knyttet til havvarmeinnhold. Emily er ansvarlig for å administrere budsjetter og strategisk planlegging av overvåkningssystemene. Hun koordinerer også «Adopt a Drifter»-programmet, som fremmer samarbeid med skoler i USA og internasjonalt, slik at elevene kan spore drivbøyer og bruke dataene i sanntid i klasserommene. Før hun begynte hos NOAA, tilbrakte Emily flere år med å undervise elever på ungdomsskolen, og dette programmet hjelper henne med å opprettholde tilknytningen til utdanningssektoren.



### MARINE BOLLARD

Marine er ansvarlig for informasjonsaktivitetene i Euro-Argo European Research Infrastructure Consortium (ERIC). ERIC er dedikert til å utvikle et langsiktig europeisk bidrag til det globale Argo havovervåkningssystemet, med mål om å støtte bedre forståelse og prediksjon av havet, dets rolle i klimasystemet og havets helse. Hun har to mastergrader, én i hydrogeologi og én i vitenskapsjournalistikk. Før hun begynte i Euro-Argo, tilbrakte Marine flere år med å publisere bøker og artikler om populærvitenskap for utdanningsformål og for publikum.

**SITERING** : Greenan BJ, Wong AP, Morris T, Smith EA and Bollard M (2023) Keeping an Eye on Earth's Oceans With Argo Robots Front. Young Minds 11:943491. doi: 10.3389/frym.2023.943491

**OVERSETTELSE** : Kjell Arne Mork

**OPPHAVSRETT** © 2023 Greenan, Wong, Morris, Smith og Bollard. Dette er en artikkel med åpen tilgang distribuert under vilkårene for Creative Commons Attribution License (CC BY). Bruk, distribusjon eller reproduksjon i andre fora er tillatt, forutsatt at de opprinnelige forfatterne og opphavsrettseiere krediteres og at den opprinnelige publikasjonen i dette tidsskriftet siteres, i henhold til akseptert akademisk praksis. Ingen bruk, distribusjon eller reproduksjon er tillatt som ikke samsvarer med disse vilkårene.