

# Hot, Sour and Breathless – Ocean Under Stress



This article has been republished with the authorization of the Plymouth Marine Laboratory<sup>1</sup>

## How is the biggest ecosystem on Earth faring?

The ocean covers nearly three quarters of the Earth's surface, contains 96 per cent of its living space, provides around half of the oxygen we breathe and is an increasing source of protein for a rapidly growing world population. However, human activity is having an impact on this precious resource on local, regional and global scales.

Over the coming decades and centuries, ocean health will become increasingly stressed by at least three interacting factors. Rising seawater temperature, ocean acidification and ocean deoxygenation will cause substantial changes in marine physics, chemistry and biology. These changes will affect the ocean in ways that we are only beginning to understand.

It is imperative that international decision-makers understand the enormous role the ocean plays in sustaining life on Earth, and the consequences of a high CO<sub>2</sub> world for the ocean and society.

### 1 – Ocean acidification

Ocean acidification is directly caused by the increase of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) levels in the atmosphere. When CO<sub>2</sub> enters the ocean it rapidly goes through a series of chemical reactions, which increase the acidity of the surface seawater (lowering its pH). The ocean has already removed about 30 per cent of anthropogenic CO<sub>2</sub> over the last 250 years, decreasing pH at a rate not seen for around 60 million years.

<sup>1</sup> By C. Turley, T. Keizer, P. Williamson, J.-P. Gattuso, P. Ziveri, R. Monroe, K. Boot and M. Huelsenbeck of the Plymouth Marine Laboratory, UK Ocean Acidification Research Programme, European Project on Ocean Acidification, Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate project, Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, OCEANA; 2013 6pp. ISBN: 978-0-9519618-6-5 (available at [www.oceanunderstress.com](http://www.oceanunderstress.com)).

This effect can be considered beneficial since it has slowed the accumulation of CO<sub>2</sub> in the atmosphere and the rate of global warming; without this ocean sink, atmospheric CO<sub>2</sub> levels would already be greater than 450 ppm. However, the continuation of such a fundamental and rapid change to ocean chemistry is likely to be bad news for life in the sea; it will not only cause problems for many organisms with calcium carbonate skeletons or shells (such as oysters, mussels, corals and some planktonic species) but could also impact many other organisms, ecosystems and processes with potentially serious implications for society.

The average acidity of the upper ocean has already declined by around 0.1 pH unit (30% increase in acidity) since the industrial revolution and it is expected to further decline by about 0.3 pH units by the end of this century if CO<sub>2</sub> emissions continue at the current rate.

### 2 – Ocean warming

Over the last decades ocean warming has been a direct consequence of increasing atmospheric temperature due to the “greenhouse effect.” This warming affects the exchange of gases between the ocean surface and the atmosphere, and their transport and storage in deeper waters. In a warmer ocean, there will also be less mixing between the nutrient-rich deep waters and the nutrient-poor surface ocean, particularly in tropical areas with detrimental consequences for ocean productivity, hence significantly diminishing food security from fisheries.

Ocean warming is also likely to have direct effects on the physiology of marine organisms and thereby alter the geographical distribution of species, including those of commercial importance, currently well-adapted to existing conditions; for example, temperature increase is almost certainly contributing to the decline of cod in the North Atlantic.

The heat content of the ocean is immense with ~90 per cent of the energy from warming of the Earth system stored in the ocean over recent decades. There has already been a mean sea surface warming of about 0.7°C over the last 100 years, likely to increase by over 3°C in some ocean regions by the end of this century.

### 3 – Ocean deoxygenation

Ocean deoxygenation is the reduction of dissolved oxygen (O<sub>2</sub>) in seawater. Climate change can influence oxygen levels in the ocean in several ways. This is certain to occur in a warmer ocean since higher temperatures reduce oxygen solubility. Warming is also likely to create a more stratified ocean, decreasing the downward oxygen supply from the surface. Ocean acidification and nutrient run-off from streams and rivers can also contribute to deoxygenation.

Fish and many other marine organisms depend on sufficient levels of oxygen to function, and may therefore be stressed by declining oxygen concentrations. Extended zones of low oxygen may result in the exclusion of such organisms. However, other organisms tolerant of low oxygen, particularly microbes are likely to flourish, altering the balance of communities. Low oxygen levels in the ocean may also increase the amount of greenhouse gases in the atmosphere by changing feedback mechanisms involving methane and nitrous oxide.

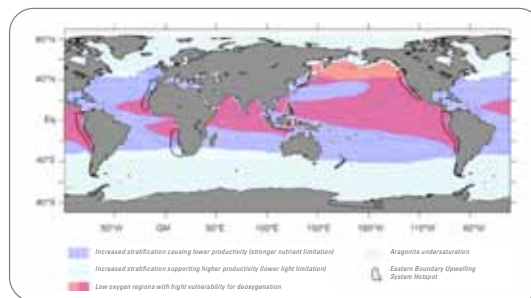
Current ocean models project declines of 1 to 7 per cent in the global ocean oxygen inventory over the next century. However, there are considerable uncertainties regarding the scale and location of oxygen changes, and their ecological impacts.

#### Triple trouble – multiple stressors

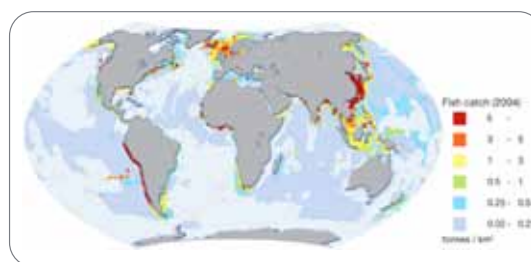
In the future many parts of the ocean are likely to experience more than one of these environmental stressors at the same time, since they are driven by the same underlying process – increases in atmospheric CO<sub>2</sub> and other greenhouse gases. These “hot spots” will not only be warmer, but are also likely to be more stratified, have increased acidity and contain less oxygen, increasing the stress on marine life in ways that may be more than the simple addition of each.

For example, ocean acidification can make species more susceptible to the impacts of warming waters, and higher CO<sub>2</sub> alongside lower oxygen levels can create respiratory difficulties. Acting together these stressors could more rapidly threaten biogeochemical cycles, ecosystems and the goods and services the ocean provides to society, thereby increasing the risk to human food security and industries depending on

productive marine ecosystems. Furthermore, changes in the exchange of gases between the atmosphere and ocean will impact on climate change.



Nicolas Gruber, *Phil. Trans. R. Soc. A* (2011) 369, 1980–1996



UNEP 2010. UNEP Emerging Issues: Environmental Consequences of Ocean

*Importantly and worryingly, these “hot spots” of multiple stressors are likely to coincide with areas high in ocean productivity - and currently supporting significant fisheries and subsistence fisheries in developing countries (see maps).*

#### Steps ahead

**Mitigation:** As ocean acidification is mainly caused by CO<sub>2</sub>, strong mitigation measures are required to reduce its emission. Atmospheric accumulation of other greenhouse gases should also be limited, as all of them contribute to ocean warming and hence deoxygenation.

**Adaptation:** Adaptation strategies need to be developed as the world is already committed to a substantial amount of additional warming, acidification and deoxygenation, even if atmospheric CO<sub>2</sub> could be stabilized at the current level. A key strategy is to ensure maximum potential for resilience in the system, e.g. by maintaining, or even increasing biodiversity and by conserving a diverse set of habitats. The reduction of other environmental stressors, such as coastal eutrophication and pollution by organic and inorganic substances will be helpful as well. However, given the unprecedented rate of change it is doubtful that adaptation measures alone, without mitigation, will be sufficient to avoid most of the harm.

**Research:** Research is required to improve our knowledge and understanding of these three connected stressors. For example, whilst ocean acidification has recently become a topic of high research priority, deoxygenation has not yet reached that level of recognition.

What is really missing is the joint perspective, where the combined effects of two or all three stressors acting at the same time are investigated. Already, detailed laboratory studies and field experiments from regional to global scale monitoring and modelling are beginning, through cross-disciplinary and international cooperative partnerships. Importantly, research capacity needs to be grown globally, particularly in vulnerable developing countries.

In order to better understand the impacts on ecosystems and the consequences for every one of us, research will increasingly need to follow a multi-disciplinary approach across the physical, life, chemical, Earth, social and economic sciences. These studies need to be policy relevant, with a rapid exchange of knowledge between researchers and decision-makers.

# Ocean Stress Guide

What the ocean will experience this century without urgent and substantial reduction in greenhouse gas emissions.

Stressor	Causes	Result	Direct effects	Impacts	Feedback to climate
<b>Warming</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● A relatively mature study area in terms of physical changes and physiology but poorly studied at ecosystem and biogeochemical level</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Increasing greenhouse gas emissions to the atmosphere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Temperature increase, particularly in near-surface waters</li> <li>● Less ocean mixing due to increased stratification</li> <li>● Increased run-off and sea-ice melt will also contribute to stratification in Arctic waters</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Decreased carbon dioxide solubility</li> <li>● Increased speed of chemical and biological processes</li> <li>● Reduced natural nutrient re-supply in more stratified waters</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Stress to organism physiology, including coral bleaching</li> <li>● Extensive migration of species</li> <li>● More rapid turnover of organic matter</li> <li>● Nutrient stress for phytoplankton, particularly in warm waters</li> <li>● <b>Changes to biodiversity, food webs and productivity, with potential consequences for fisheries, coastal protection and tourism</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduced ocean uptake of carbon dioxide due to solubility effect</li> <li>● Increased oxygen consumption, carbon dioxide production and decrease in oxygen transfer to the deep ocean</li> <li>● Potential decrease in the export of carbon to the ocean's interior</li> <li>● Decreasing primary production except in the Arctic where sea-ice loss may result in an increase</li> </ul>
<b>Acidification</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Developed as a research topic in past decade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Increasing atmospheric carbon dioxide emissions</li> <li>● Coastal nutrient enrichment, methane hydrates and acid gases from industrial emissions may also contribute locally</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Unprecedented rapid change to ocean carbonate chemistry</li> <li>● Much of the ocean will become corrosive to shelled animals and corals, with effects starting in the Arctic by 2020</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduced calcification, growth and reproduction rates in many species</li> <li>● Changes to the carbon and nitrogen composition of organic material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Impeded shell or skeletal growth and physiological stress in many species, including juvenile stages</li> <li>● Change to biodiversity and ecosystems, and the goods and services they provide</li> <li>● <b>Cold and upwelling waters currently supporting key fisheries and aquaculture likely to be especially vulnerable</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduced ocean uptake of carbon dioxide due to chemical effects</li> <li>● Changes to the export of carbon to the ocean's interior</li> <li>● Higher oxygen use throughout the water column due to changing composition of organic material</li> </ul>
<b>Deoxygenation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Emerging issue, poorly studied</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduced oxygen solubility due to warming</li> <li>● Decreased oxygen supply to the ocean interior due to less mixing</li> <li>● Nutrient rich land run-off stimulating oxygen removal locally</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Less oxygen available for respiration especially in productive regions, and in the ocean interior</li> <li>● Extended areas of low and very low oxygen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Reduced growth and activity of zooplankton, fish and other oxygen-using organisms</li> <li>● Endocrine disruption</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Stress to oxygen-using organisms</li> <li>● Risk of species loss in low oxygen areas</li> <li>● Impacts on reproductive success</li> <li>● <b>Shift to low oxygen-tolerant organisms, especially microorganisms and loss of ecosystem services in these areas</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Enhanced production of the two greenhouse gases methane and nitrous oxide</li> </ul>
<b>All three together</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Few studies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Increasing greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide, to the atmosphere</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● More frequent occurrence of waters that will not only be warmer but also have higher acidity and less oxygen content</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Damage to organism physiology, energy balance, shell formation: e.g. coral reef degradation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ocean acidification can reduce organisms' thermal tolerance, increasing the impact of warming</li> <li>● <b>Combined effects further increase risk to food security and industries depending on healthy and productive marine ecosystems</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Major change to ocean physics, chemistry and ecosystems</li> <li>● Risk of multiple positive feedbacks to atmosphere, increasing the rate of future climate change</li> </ul>

# The Polar Prediction Project



By Neil D. Gordon<sup>1</sup>, Thomas Jung<sup>2</sup> and Stefanie Klebe<sup>3</sup>

Scientific and public awareness of the importance of the polar regions in the global weather and climate system is increasing. The popular use of the term “polar vortex” in the United States of America earlier this year is just one example of increased interest in rapid climate changes at high latitudes. The WMO annual reports on summer Arctic ice cover catch worldwide media attention every year. There is a high level of public interest – especially amongst youth – about how these factors might affect the weather and climate in the rest of the world. The expansion of human activities into the polar regions is also increasing the demand for more information and better predictions.

Recognition of the important role that polar regions occupy within global environmental systems, including the climate, has placed increasing demands for scientific investigation, semi- and permanent research stations, and various forms of in situ and remote environmental monitoring, with corresponding needs for weather and environmental information in support of tactical decision-making. For example, the forecasting of fog, low clouds and poor visibility is a concern for aircraft flights into Antarctica. These flights support a range of research activities in the Antarctic; unpredicted poor weather can be very costly if flights, unable to reach their planned destination, have to turn around.

However, the remoteness and prevalence of harsh weather and climate conditions contribute to making the polar regions the poorest observed in the world.

There are many gaps in our knowledge and understanding of key processes in polar regions, of how best to improve computer models and prediction systems, how to optimize the observing system, and what services should be provided. Polar research is an extremely resource-demanding endeavour requiring large-scale infrastructure. Coordination of research activities at an international level is therefore especially important for generating the knowledge required to improve prediction capabilities for the polar regions and beyond.

The international Polar Prediction Project was established to provide the observational database required to optimize the polar observing system. It will improve the quality of data on initial conditions in a cost-effective manner. It will also provide the ground-truthing of data needed to improve satellite retrieval algorithms, and the understanding of key polar processes, which is urgently needed to advance numerical modelling capabilities.

The Project was established under the World Weather Research Programme to address these research challenges on time scales from hourly to seasonal. It will collaborate closely with the World Climate Research Programme’s Polar Climate Predictability Initiative, which deals with time scales from seasonal to multi-decadal. Together, they will provide the research that will underpin the Global Integrated Polar Prediction System (GIPPS).

The Project’s International Steering Group includes academics and representatives from the operational weather and climate prediction communities. The Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, in Bremerhaven, Germany will host the Project.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Consultant, Polar Prediction Project, New Zealand

<sup>2</sup> Chair, Polar Prediction Project; Expert member, WMO Executive Council Panel of Experts on Polar Observations, Research and Services; and Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Germany

<sup>3</sup> Assistant, Polar Prediction Project; Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Germany

<sup>4</sup> Further information is available at <http://polarprediction.net>

# Introduction

La *Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial en 2015* porte sur de nombreux aspects du système climatique, notamment les conditions atmosphériques et océaniques, le phénomène El Niño, la cryosphère, les concentrations de gaz à effet de serre, les extrêmes régionaux, les cyclones tropicaux et la déperdition d'ozone. Elle repose sur des observations *in situ* et spatiales, recueillies dans le cadre de différents programmes mis en œuvre ou coparrainés par l'OMM, ainsi que sur des analyses numériques objectives. Ces observations couvrent les variables climatologiques essentielles définies par le Système mondial d'observation du climat.

Les jeux mondiaux de données sur lesquels s'appuie la présente évaluation sont gérés par des centres de pointe dans la collecte de données climatologiques, la surveillance du climat et la recherche climatologique, qui collaborent avec l'OMM. En outre, des données et des informations climatologiques ont été recueillies directement auprès des Membres dans le cadre d'une enquête spéciale de l'OMM. L'analyse des températures mondiales s'appuie sur trois jeux mondiaux de données: le premier (HadCRUT) est géré par le Centre Hadley du Met Office et l'Unité de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia (Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord); le deuxième par le Centre national d'information sur l'environnement

relevant de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (États-Unis d'Amérique); et le troisième par le *Goddard Institute for Space Studies* qui dépend de l'Administration américaine pour l'aéronautique et l'espace (États-Unis d'Amérique). L'analyse de l'OMM intègre également des données de réanalyse gérées par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme et par le Service météorologique japonais. Les informations relatives aux précipitations mondiales proviennent du Centre mondial de climatologie des précipitations (Allemagne).

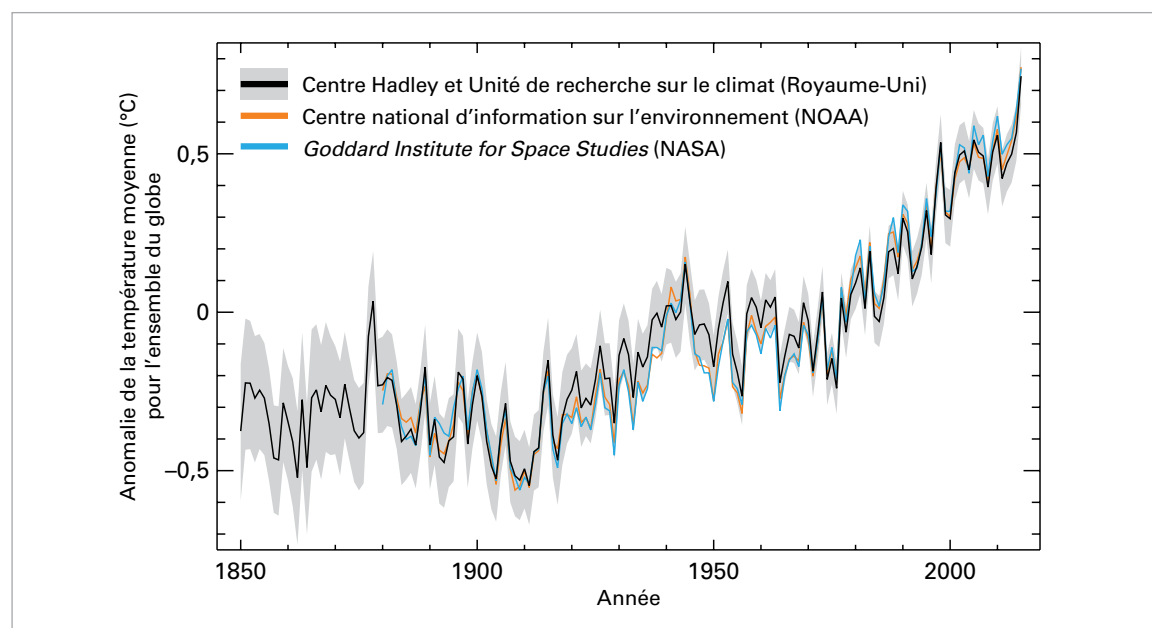
L'évaluation des anomalies de température au niveau national repose sur des données recueillies directement auprès des Membres dans le cadre d'une enquête spéciale de l'OMM. Les données relatives aux incidences socio-économiques utilisées dans la présente publication sont basées sur des rapports fournis directement par les Membres ou proviennent de sources des Nations Unies faisant autorité. Le processus d'évaluation par les pairs rassemble des climatologues internationaux, des organismes régionaux traitant des produits climatologiques et des experts des Services météorologiques et hydrologiques nationaux. Dans certains cas, il a été nécessaire de procéder à des recoupements avec des coordonnateurs nationaux afin de valider ou de mettre à jour des informations émanant de sources mondiales.



## HAWAÏ, ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Un puissant épisode El Niño associé à une augmentation des températures entraîne un phénomène de blanchissement des coraux à l'échelle du globe, d'une durée sans précédent.

# Principaux résultats



**Figure 1.** Anomalies de la température moyenne annuelle entre 1850 et 2015 pour l'ensemble du globe, par rapport à la période de référence 1961–1990. La courbe noire et la zone grise, qui indique l'intervalle de confiance de 95 % des estimations, est réalisée à partir de l'analyse HadCRUT4, produite par le Centre Hadley du Met Office en collaboration avec l'Unité de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia. La courbe orange est réalisée à partir du jeu de données NOAA GlobalTemp établi par le Centre national d'information sur l'environnement (NCEI) de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA). La courbe bleue est réalisée à partir du jeu de données GISTEMP produit par le *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) de l'Administration américaine pour l'aéronautique et l'espace (NASA). (Source: Centre Hadley du Met Office et Unité de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia, Royaume-Uni)

## TEMPÉRATURES

En 2015, la hausse persistante des températures mondiales – due principalement aux émissions de gaz à effet de serre – conjuguée aux effets de la mise en place d'un épisode El Niño, a donné lieu à une chaleur record à l'échelle mondiale.

D'après les sources de données<sup>1</sup> analysées par l'OMM, la température moyenne à la surface du globe en 2015 a été de loin la plus élevée jamais enregistrée (figure 1). Elle a accusé une anomalie positive d'environ  $0,76 \pm 0,09$  °C par rapport à la normale calculée pour la période 1961–1990 et de près de 1 °C par rapport à la normale pour la période 1850–1900. La marge d'incertitude relative à cette période plus ancienne est plus grande et plus difficile à estimer.

Ces estimations reposent sur des données relatives à la température de l'air recueillies par des stations météorologiques à la surface des terres émergées,

ainsi que sur des températures de surface de la mer mesurées en mer par des navires d'observation bénévoles et par des bouées dérivantes ou ancrées. Elles sont corroborées par une analyse du Service météorologique japonais.

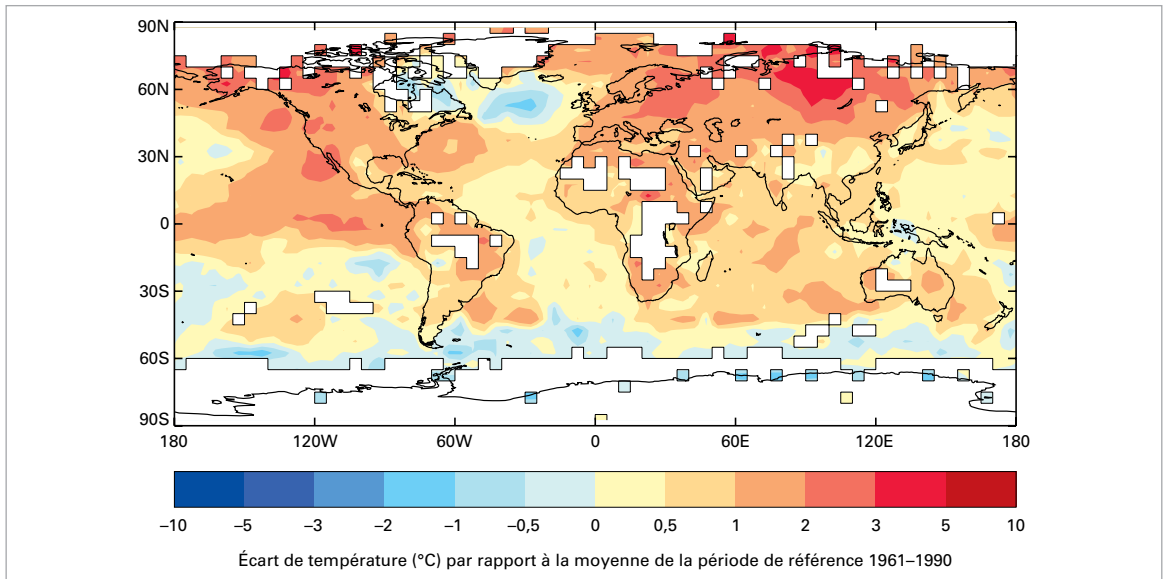
On peut aussi estimer les températures moyennes à l'échelle du globe à l'aide des résultats de réanalyses. Lors d'une réanalyse, des observations anciennes réalisées par de nombreux instruments différents sont combinées au moyen d'un système de prévision météorologique moderne, de façon à obtenir un relevé complet des conditions météorologiques et climatiques. Deux réanalyses à long terme ont été étudiées: la réanalyse ERA-Interim, réalisée par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme, et la réanalyse JRA-55, conduite par le Service météorologique japonais. Dans ces deux réanalyses, les estimations centrales indiquent que 2015 a été l'année la plus chaude à la surface du globe depuis le début des relevés.

Moyennées à l'échelle mondiale, les températures mesurées au-dessus du sol font de 2015, à égalité avec 2005, 2007 et 2010, l'année la plus chaude jamais enregistrée à la surface des terres émergées. La moyenne mondiale des températures relevées à la surface de la mer en 2015 a égalé sa valeur record de 2014. La combinaison de températures élevées au-dessus des terres émergées et à la surface de la mer a fait de 2015 une année record.

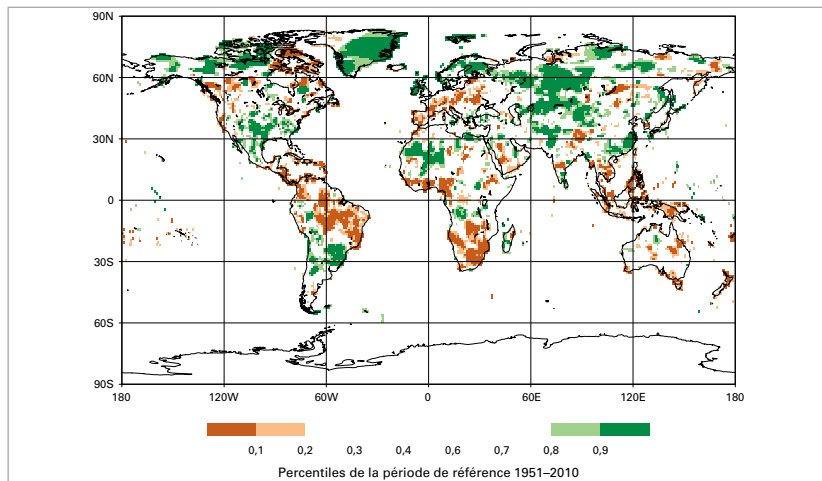
Des températures élevées ont été relevées sur la majeure partie des terres émergées observées

<sup>1</sup> Jeu de données **HadCRUT4.4.0.0** établi par le Centre Hadley du Met Office et l'Unité de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia; jeu de données **GISTEMP** établi par le *Goddard Institute for Space Studies* (GISS) relevant de l'Administration américaine pour l'aéronautique et l'espace; et jeu de données **NOAAGlobalTemp** établi par le Centre national d'information sur l'environnement relevant de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère. La valeur indiquée est une moyenne de ces trois jeux de données, et la marge d'incertitude associée est tirée du jeu de données HadCRUT4.

**Figure 2.** Anomalies de la température moyenne annuelle à la surface du globe (par rapport à la moyenne de la période de référence 1961–1990) pour l'année 2015, d'après le jeu de données HadCRUT4. (Source: Centre Hadley du Met Office, Royaume-Uni)



**Figure 3.** Cumuls de précipitations annuels exprimés en percentiles de la période de référence 1951–2010, pour les zones qui auraient figuré dans la fourchette des 20 % d'années les plus sèches (marron) et des 20 % d'années les plus arrosées (vert) de la période de référence, des nuances plus foncées de marron et de vert indiquant les zones qui auraient fait partie, respectivement, de la fourchette des 10 % les plus sèches et des 10 % les plus arrosées. (Source: Centre mondial de climatologie des précipitations, Service météorologique allemand)



(figure 2). Elles ont été particulièrement élevées dans de vastes zones de l'Amérique du Sud, en Afrique, dans une grande partie de l'Europe, dans le nord-est de l'Eurasie, au Moyen-Orient et dans l'ouest de l'Amérique du Nord. Des records de température au niveau continental ont été établis en Asie et en Amérique du Sud. Jamais la Fédération de Russie n'avait enregistré une année aussi chaude, avec une température dépassant de 2,16 °C la normale calculée pour la période 1961–1990. La Chine a également vécu son année la plus chaude (au moins depuis 1961), et 10 de ses provinces ont connu une chaleur record. En Europe, 2015 a été soit la deuxième année la plus chaude (après 2014), soit l'année la plus chaude. Au niveau national, elle a été l'année la plus chaude dans plusieurs pays (Estonie, Finlande et Espagne) ou l'une des trois années les plus chaudes dans d'autres (Allemagne, France, Slovaquie, République de Moldova, Hongrie et Serbie). L'Afrique et l'Océanie ont toutes deux

connu leur deuxième année la plus chaude depuis le début des relevés.

Rares sont les zones continentales qui ont connu des conditions particulièrement froides en moyenne annuelle. Des températures notablement inférieures à la normale ont été relevées en Antarctique, où la phase positive du mode annulaire austral s'est maintenue plusieurs mois. Au cours de cette phase, les vents d'ouest se renforcent et se contractent en direction de l'Antarctique, entraînant un refroidissement de la majeure partie de l'Antarctique oriental et un réchauffement de la péninsule Antarctique. En octobre, l'indice du mode annulaire austral a évolué vers des valeurs moins extrêmes qui se sont maintenues jusqu'à la fin de l'année, et le continent a connu des conditions plus chaudes que la moyenne. Certaines zones du nord-est de l'Amérique du Nord ont connu des températures inférieures à la normale au cours de l'année.

## PRÉCIPITATIONS ET ENNEIGEMENT

La répartition des précipitations au cours d'une année type varie fortement tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale, et 2015 n'a pas dérogé à la règle. De nombreuses régions du monde ont enregistré des extrêmes pluviométriques, qui ont abouti dans certains cas à des inondations ou à des sécheresses. On trouvera ci-après de plus amples informations concernant les extrêmes pluviométriques et leurs incidences.

Sur l'ensemble de l'année, certaines zones ont connu une pluviosité anormalement élevée (figure 3): régions du sud des États-Unis, Mexique, Pérou, nord

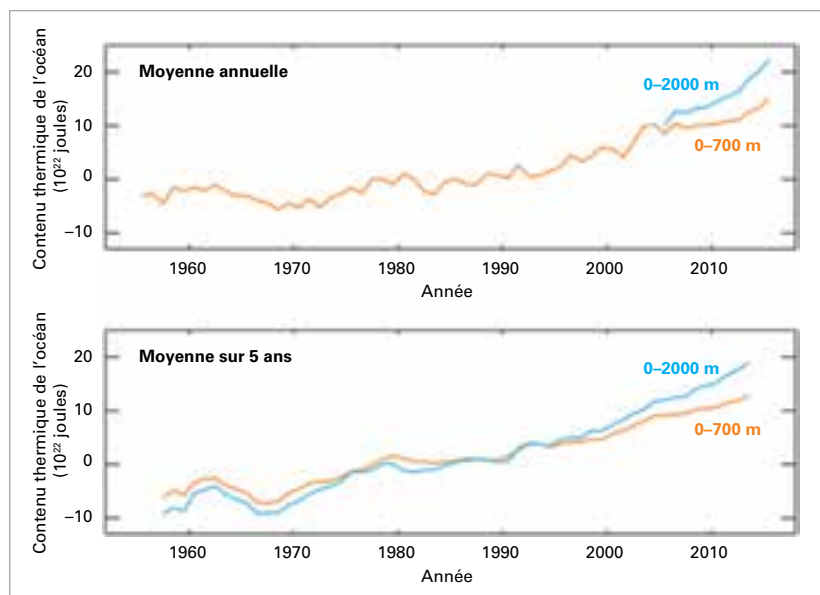
du Chili, majeure partie de l'État plurinational de Bolivie, Paraguay, sud du Brésil et nord de l'Argentine, Europe du Nord et du Sud-Est, parties de l'Asie centrale, sud-est de la Chine, régions du Pakistan, et Afghanistan. À l'inverse, l'année a été sèche dans les zones suivantes: Amérique centrale et Caraïbes, nord-est de l'Amérique du Sud, y compris le Brésil, parties de l'Europe centrale et de l'Europe du Sud, parties de l'Asie du Sud-Est, Indonésie et Afrique australe. Bien que les cumuls de précipitations relevés sur de longues périodes soient élevés, ils peuvent masquer une grande variabilité pour ce qui est des totaux à court terme.

Selon les données du *Global Snow Lab* de l'Université Rutgers, le manteau neigeux dans l'hémisphère Nord a couvert une étendue de 28,5 millions de km<sup>2</sup> au printemps, ce qui est inférieur à la normale et le classe au huitième rang des moins étendus jamais constatés. En Amérique du Nord, le manteau neigeux de printemps se classe au quatrième rang des moins étendus. Le nord-est des États-Unis a toutefois subi de nombreuses tempêtes de neige en février. Dans le Massachusetts, les villes de Boston et Worcester ont connu le mois et l'hiver les plus neigeux de leur histoire. En février, 164,6 cm de neige sont tombés sur Boston, ce qui est plus que ce que la ville reçoit normalement pendant la totalité de la saison.

## OCÉANS

S'agissant des océans, de vastes zones ont affiché des températures particulièrement élevées. Comme on peut s'y attendre lors d'un épisode El Niño, le Pacifique tropical a été beaucoup plus chaud que la normale, l'anomalie positive dépassant 1 °C dans une grande partie du centre et de l'est du Pacifique équatorial (figure 2). De même, le Pacifique Nord-Est, une grande partie de l'océan Indien ainsi que certaines zones de l'Atlantique Nord et de l'Atlantique Sud ont affiché des températures clairement supérieures à la normale. En revanche, certaines régions situées au sud du Groenland et dans l'extrême sud-ouest de l'Atlantique ont été nettement plus froides que la normale. D'autres zones de l'océan austral (au sud de 60 °S environ) ont affiché des températures inférieures à la normale, mais dans de nombreux cas, les données disponibles pour la période climatologique 1961–1990 sont trop peu nombreuses pour estimer de manière fiable l'importance des anomalies actuelles.

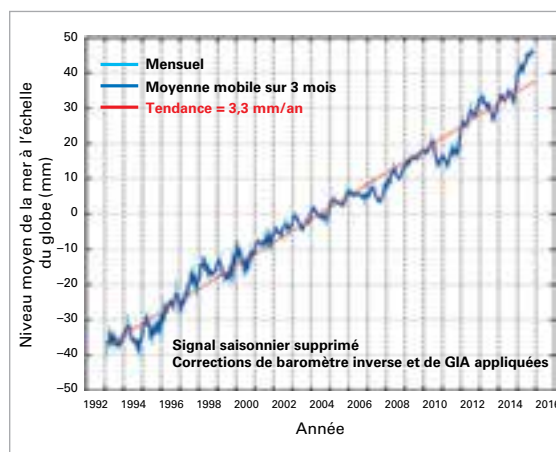
En 2015, le contenu thermique de l'océan a atteint des niveaux records à l'échelle du globe, tant jusqu'à



700 m que jusqu'à 2 000 m de profondeur (figure 4). Les températures jusqu'à moins 2 000 m sont désormais mesurées de manière régulière à l'aide de flotteurs Argo. Pour plus d'informations et d'explications concernant le contenu thermique de l'océan, voir la page 22.

Le niveau de la mer est mesuré par des satellites ainsi que par des marégraphes traditionnels. Selon les dernières estimations obtenues à l'aide d'altimètres satellitaires (figure 5), le niveau moyen de la mer de janvier à novembre 2015 est le plus élevé qui ait été constaté depuis le début des observations par satellite, et, en regard de la tendance durable à l'élévation du niveau de la mer indiquée par les estimations des marégraphes, le plus élevé depuis le début des relevés mondiaux il y a plus d'un siècle.

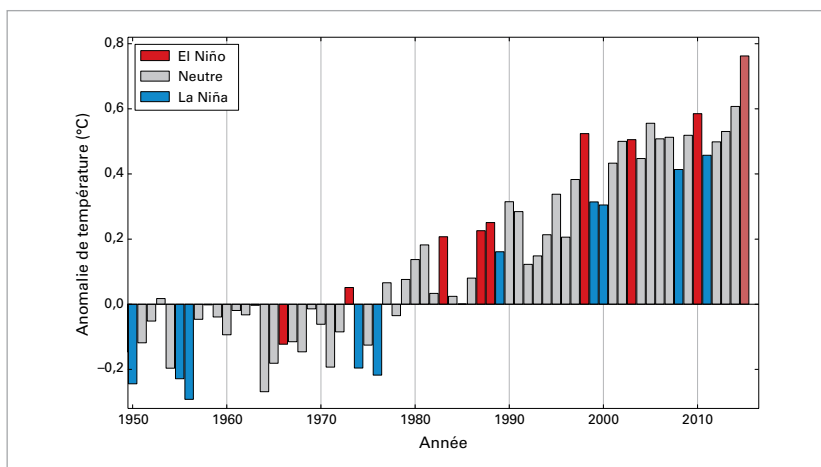
Bien que le niveau moyen de la mer ait atteint des valeurs records à l'échelle mondiale, cela n'a pas été



**Figure 4.** Contenu thermique moyen annuel des océans entre 0 et 700 m de profondeur (orange) et entre 0 et 2 000 m (bleu) (haut) et valeur moyenne sur cinq ans du contenu thermique des océans (bas). Les valeurs moyennes annuelles entre 0 et 2 000 m de profondeur ne sont indiquées qu'à partir de l'année 2005, à compter de laquelle le réseau Argo fournit des données jusqu'à 2 000 m pour la quasi-totalité du globe à une fréquence au moins annuelle. (Source: données de l'Ocean Climate Laboratory (NOAA/NESDIS/NODC), États-Unis d'Amérique, actualisation de l'étude de Levitus et al. (2012))

**Figure 5.** Évolution du niveau moyen de la mer à l'échelle du globe entre 1993 et novembre 2015, sans indication du cycle annuel; valeurs mensuelles en bleu clair, moyennes trimestrielles en bleu foncé et tendance linéaire en rouge. (Source: Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth, Australie)





**Figure 6.** Anomalies de la température moyenne annuelle à l'échelle du globe (par rapport à la moyenne de la période 1961–1990) correspondant à la moyenne des trois jeux mondiaux de données sur la température. Les colonnes de couleur indiquent les années qui ont subi l'influence d'un épisode El Niño (rouge) ou d'un épisode La Niña (bleu) et les années qui n'ont pas subi d'influence majeure (gris). La colonne rouge pâle représente l'année 2015. (Source: Centre Hadley du Met Office et Unité de recherche sur le climat de l'Université d'East Anglia, Royaume-Uni)

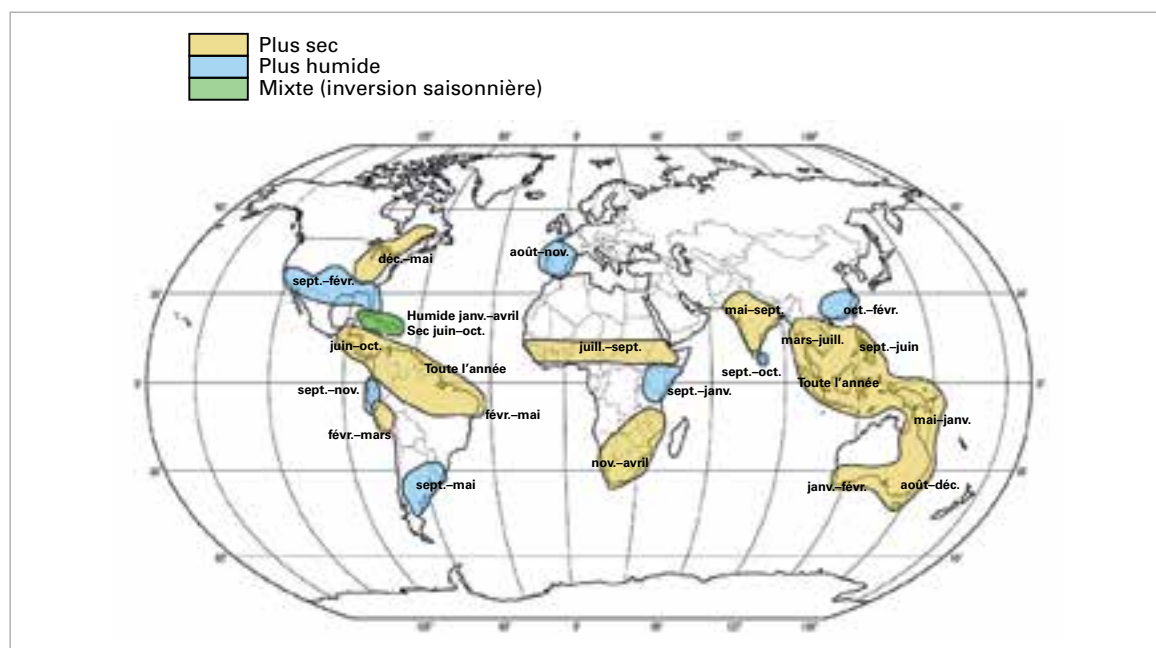
le cas partout. Les moyennes mensuelles du niveau de la mer ont été inférieures à la normale dans l'ouest du Pacifique tropical, ce à quoi l'on peut s'attendre lors d'un épisode El Niño. Dans la seconde moitié de l'année, des anomalies négatives du niveau de la mer d'environ 10 cm ont été relevées dans les Îles Marshall, les États fédérés de Micronésie et la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Ces anomalies sont moins importantes que celles observées lors de l'épisode El Niño de 1997/98. À l'inverse, le niveau de la mer le long de l'équateur à l'est de la ligne de changement de date a été plus élevé que la normale, ce qui est également révélateur d'un épisode El Niño.

## EL NIÑO

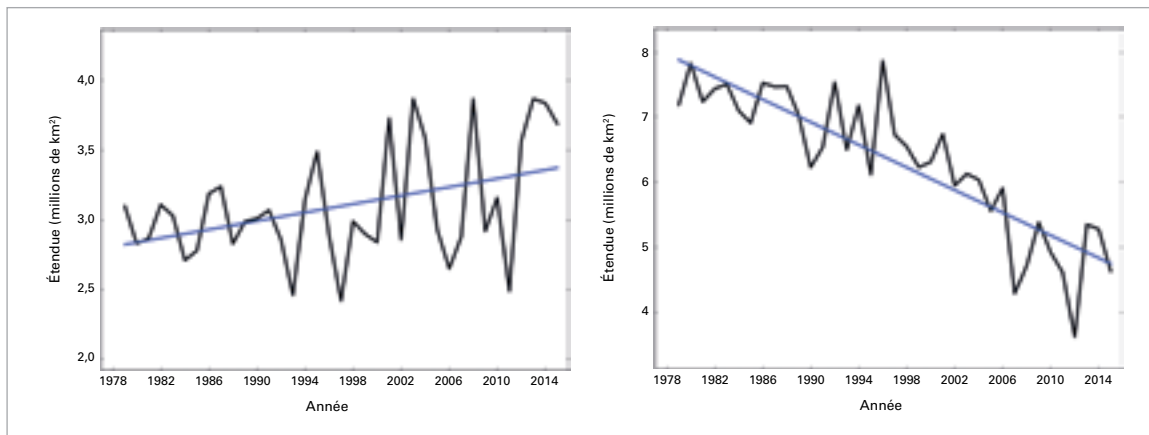
Les variations de température des eaux de surface du Pacifique tropical interagissent avec des

rétroactions atmosphériques pour déterminer les deux phases distinctes du phénomène El Niño/Oscillation australe (ENSO): El Niño et La Niña. Lors d'un épisode El Niño, la surface de la mer se réchauffe dans l'est du Pacifique tropical, pour atteindre une température supérieure à la normale. Il s'ensuit un affaiblissement ou une inversion des alizés dominants, ce qui a pour effet d'accroître le réchauffement de la surface. Le phénomène ENSO est le principal mode de variabilité interannuelle du climat mondial. Les épisodes El Niño ont des incidences sur la circulation atmosphérique mondiale, provoquant ainsi, à l'échelle mondiale, une perturbation des régimes météorologiques et une hausse temporaire des températures.

En 2015, les températures de surface de la mer dans le centre-est du Pacifique ont augmenté, pour dépasser les valeurs seuils correspondant typiquement à un épisode El Niño au cours du printemps boréal. Les indicateurs atmosphériques attestent eux aussi la mise en place d'un épisode El Niño, par exemple un écart de pression entre Tahiti et Darwin, un renforcement de la convection à proximité de la ligne de changement de date, et un affaiblissement ou une inversion des alizés. L'épisode El Niño a continué à se renforcer, pour atteindre son pic d'intensité en décembre. Les températures de surface de la mer dans certaines zones clés étaient alors comparables à celles observées lors des épisodes El Niño exceptionnellement intenses de 1997/98 et 1982/83, même si les anomalies de température de surface de la mer les plus importantes se trouvaient plus à l'ouest en 2015.



**Figure 7.** Anomalies de précipitations associées à El Niño, compte tenu de leur taux d'occurrence au cours des épisodes El Niño observés jusqu'à présent. (Source: adapté de données du Centre Hadley du Met Office, Royaume-Uni)



**Figure 8.** Étendue, en moyenne mensuelle, de la banquise en février dans l'hémisphère austral (gauche) et en septembre dans l'hémisphère boréal (droite), entre 1979 et 2015. (Source: Centre national américain de données sur la neige et la glace, NOAA, États-Unis d'Amérique)

Le phénomène El Niño a des incidences sur les régimes pluviométriques et météorologiques de nombreuses régions du monde. Bien que ses manifestations précises varient d'un épisode à l'autre, il existe des principes généraux que l'on peut s'attendre à voir respectés lors d'un épisode El Niño intense.

El Niño se manifeste généralement par une hausse des températures à l'échelle du globe, à la surface (figure 6) et jusqu'à la troposphère. Il y a toutefois un délai entre le réchauffement du Pacifique tropical et son incidence sur les températures mondiales, et ce délai est plus long dans la troposphère qu'à la surface. Bien que les températures à la surface du globe aient pu légèrement augmenter sous l'effet des conditions proches d'un épisode El Niño observées à la fin de 2014, il est probable que le puissant épisode El Niño de 2015 conserve toute son influence sur les températures mondiales après avoir atteint son pic d'intensité.

La figure 7 présente sous forme schématique les anomalies de précipitations généralement favorisées lors d'un épisode El Niño. La figure 3 fait ressortir les anomalies de précipitations observées en 2015. Des déficits pluviométriques en adéquation avec un épisode El Niño ont été constatés de l'Amérique centrale au nord du Brésil, dans certaines zones de l'Afrique australe, en Asie du Sud-Est, dans de vastes zones de l'Océanie et dans l'est de l'Australie. En Inde, les pluies de mousson ont également été moins fortes que la normale. À l'inverse, le sud du Brésil et le nord de l'Argentine, ainsi que certaines zones du sud des États-Unis ont reçu des précipitations plus abondantes qu'à l'accoutumée.

Par ailleurs, El Niño a des incidences sur la formation et l'évolution des cyclones tropicaux: il limite la formation d'ouragans dans l'Atlantique Nord et

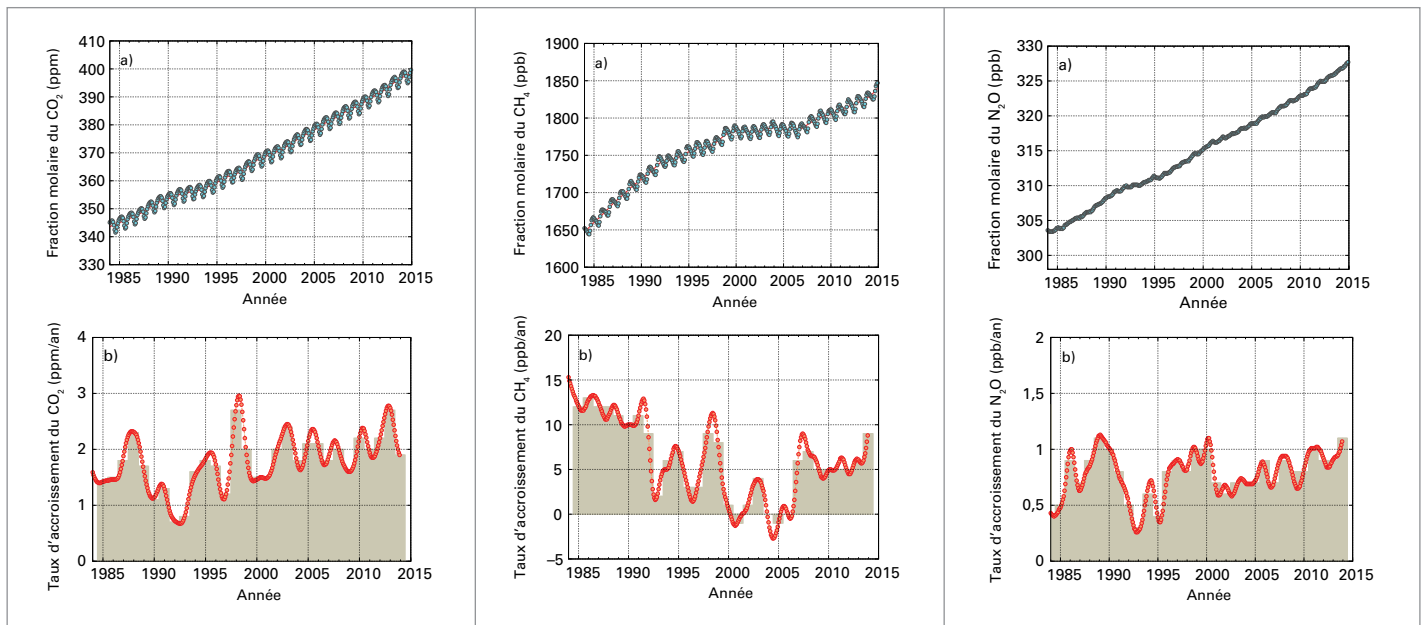
favorise la formation d'ouragans et de typhons dans le Pacifique Nord-Est, comme cela a pu être vérifié en 2015 (voir la page 19).

## CRYOSPHERE

Dans l'hémisphère boréal, l'étendue de la banquise arctique atteint en général son maximum saisonnier en mars et son minimum en septembre. Depuis la fin des années 1970, lorsque ont débuté les observations régulières par satellite, on a constaté un recul général de la banquise arctique à toutes les phases de son cycle saisonnier. En 2015, l'étendue maximale de la banquise, en moyenne journalière, qui a été atteinte le 25 février, était la plus faible jamais observée, s'établissant à 14,54 millions de km<sup>2</sup>, valeur inférieure de 1,10 million de km<sup>2</sup> à la normale calculée pour la période 1981-2010 et de 0,13 million de km<sup>2</sup> au précédent record établi en 2011. Quant au minimum saisonnier, enregistré le 11 septembre, il se chiffrait à 4,41 millions de km<sup>2</sup>, ce qui le classe au quatrième rang des plus faibles depuis le début des observations par satellite (figure 8). Le 30 décembre, après que de l'air anormalement chaud se déplaçant



NOAA



**Figure 9.** Fractions molaires (mesure de la concentration) moyennées à l'échelle du globe du CO<sub>2</sub> (en parties par million, gauche), du CH<sub>4</sub> (en parties par milliard, centre) et du N<sub>2</sub>O (en parties par milliard, droite) de 1984 à 2014, représentées en haut, et leurs taux de croissance moyens annuels respectifs, représentés sous forme de colonnes en bas.

vers le Nord était entré dans la région polaire, une température positive de +0,7 °C a été enregistrée, certes brièvement, par une bouée météorologique à proximité du pôle Nord.

Dans l'hémisphère austral, l'étendue de la banquise antarctique atteint généralement son maximum saisonnier vers septembre ou octobre et son minimum en février ou mars. En 2015, l'étendue maximale, en moyenne journalière, de la banquise – 18,83 millions de km<sup>2</sup> – a été enregistrée le 6 octobre. Elle se classe au seizième rang des plus grandes de l'ère satellitaire et présente une valeur inférieure de 1,33 million de km<sup>2</sup> à l'étendue maximale record de 2014. Quant au minimum saisonnier, relevé le 20 février, il s'établissait à 3,58 millions de km<sup>2</sup>, ce qui le classe au quatrième rang des plus étendus, à 0,17 million de km<sup>2</sup> du record de 2008. La variabilité interannuelle de l'étendue minimale de la banquise antarctique est grande en regard de la tendance à long terme; au cours des cinq dernières années ont été enregistrées, en moyenne mensuelle, la deuxième étendue la plus grande (2013) et la troisième étendue la plus faible (2011). En moyenne journalière, l'étendue de la banquise antarctique atteignait en début d'année des valeurs records ou s'en approchait, mais s'est établie à un niveau proche de la normale en août. Les scientifiques ont du mal à expliquer la croissance continue de la banquise antarctique observée depuis 1979.

Au Groenland, l'étendue totale de la fonte estivale des glaces de surface en 2015 se classe au onzième rang depuis 1978, dépassant d'environ 85 000 km<sup>2</sup>

la normale pour la période 1981–2010. Si la fonte des glaces a atteint un niveau supérieur à la normale, celui-ci n'est toutefois pas inhabituel dans le contexte des dix dernières années. En 2012, l'étendue totale de la fonte estivale des glaces de surface, la plus grande jamais constatée, était supérieure de plus de 300 000 km<sup>2</sup> à la normale pour la période 1981–2010. Les températures hivernales, printanières et estivales relevées à la station Summit, qui relève de l'Institut météorologique danois, étaient inférieures à la normale. Le 28 août, une température de –39,6 °C a été enregistrée, ce qui constitue un nouveau record de température minimale pour ce mois. Le 24 octobre, le record de température minimale mensuelle établi le 31 octobre 2007 a été égalé, avec le relevé d'une température de –55,2 °C.

## GAZ À EFFET DE SERRE

La dernière analyse des données d'observation recueillies dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale de l'OMM révèle qu'à l'échelle du globe, les fractions molaires moyennes du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), du méthane (CH<sub>4</sub>) et du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ont atteint de nouveaux pics en 2014 (figure 9 – les informations les plus récentes datent de 2014 car les rapports détaillés sur les gaz à effet de serre sont disponibles après un délai d'un an). La fraction molaire moyenne du CO<sub>2</sub> a atteint 397,7 ± 0,1 ppm<sup>2</sup> en 2014, soit 143 % de ce qu'elle était à l'époque préindustrielle. Le taux d'accroissement entre 2013 et 2014 a été de 1,9 ppm,

<sup>2</sup> ppm = parties par million; ppb = parties par milliard

ce qui est proche de l'augmentation annuelle moyenne pour les dix dernières années, et supérieur à celle observée pendant les années 1990 (environ 1,5 ppm/an). Selon des données préliminaires émanant de la NOAA, la concentration de CO<sub>2</sub> a continué de croître à un taux record de 3,01 ppm/an en 2015. L'accroissement du CO<sub>2</sub> atmosphérique entre 2003 et 2013 représente environ 45 % du CO<sub>2</sub> émis par l'activité humaine, le reste étant absorbé par les océans et la biosphère terrestre.

La concentration de CH<sub>4</sub> dans l'atmosphère a atteint un nouveau record en 2014, du fait de la hausse des émissions anthropiques. Elle s'est établie à 1833 ± 1 ppb, ce qui représente 254 % de ce qu'elle était à l'époque préindustrielle. Moyennée à l'échelle du globe, la fraction molaire du N<sub>2</sub>O a atteint 327,1 ± 0,1 ppb en 2014, ce qui représente une progression de 1,1 ppb par rapport à 2013 et 121 % du niveau qu'elle avait à l'époque préindustrielle (270 ppb). Le taux d'accroissement entre 2013 et 2014 est supérieur à la moyenne calculée sur les dix dernières années (0,87 ppb/an).

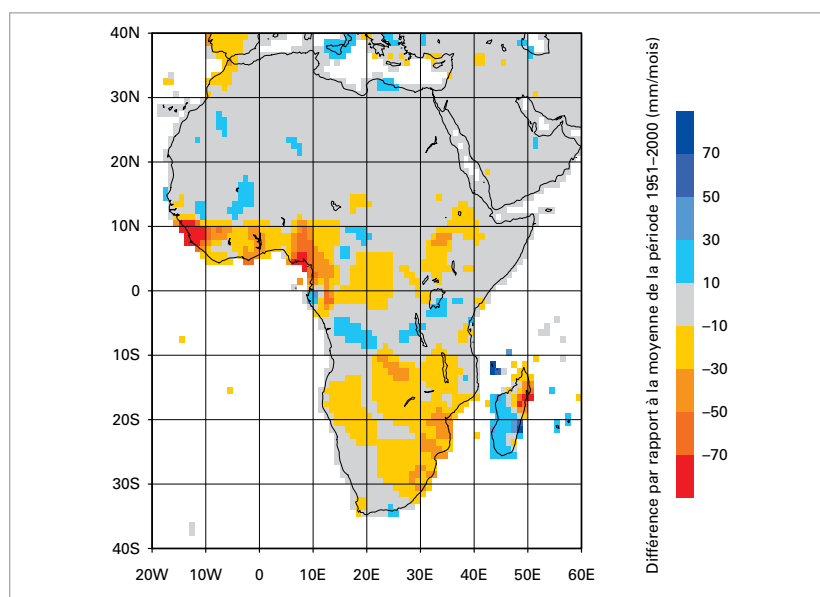
Selon l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre publié par la NOAA, le forçage radiatif de l'atmosphère induit par les gaz à effet de serre persistants s'est accru de 36 % entre 1990 et 2014, 80 % environ de cette hausse étant due au CO<sub>2</sub>. L'augmentation du forçage radiatif total induit par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants depuis l'époque préindustrielle a atteint +2,94 W/m<sup>2</sup>. Ce forçage radiatif correspond à une fraction molaire de 481 ppm en équivalent CO<sub>2</sub>.

## EXTRÊMES RÉGIONAUX

Un grand nombre de phénomènes extrêmes ont été observés à travers le monde, certains causant des dommages et faisant des victimes (figure 11). La présente section donne un aperçu des phénomènes météorologiques et climatiques à fort impact observés dans différentes régions au cours de l'année.

### AFRIQUE

Au printemps austral, des records de chaleur ont été régulièrement battus en Afrique du Sud. Le 27 octobre, on a relevé à Vredendal une température de 48,4 °C, la plus haute jamais constatée dans le pays. La vague de chaleur a continué au début du mois de novembre. Pretoria et Johannesburg ont enregistré des records absolus de température avec, respectivement, 40,3 °C et 36,5 °C.



De nombreux endroits d'Afrique du Nord ont subi de fortes chaleurs. Au Maroc, de nouveaux records de température pour le mois de mai ont été établis dans certaines stations, et la chaleur extrême qui a sévi en juillet a réduit de près de 50 % la production d'agrumes. En Égypte, les températures maximales en juillet ont atteint 47,6 °C à Louxor. En Afrique de l'Ouest, le mois de mai a été anormalement chaud au Burkina Faso et au Niger, avec des températures 3 °C au-dessus de la normale.

En février, de fortes pluies ont touché l'Afrique du Nord. La ville marocaine d'Al Hoceima, où la hauteur mensuelle des précipitations est normalement de 36 mm, a reçu 206 mm de pluie en février, dont 88 mm dans la seule journée du 18 février. En septembre, l'ouest du littoral de la Libye a également connu des précipitations abondantes, plus de 90 mm tombant en 24 heures à Sorman (où la moyenne mensuelle est de 8 mm), ce qui a provoqué des crues soudaines. De septembre à la fin de l'année, le Maroc a connu une grave sécheresse.

En Afrique de l'Ouest, la mousson a provoqué des inondations importantes. De fortes pluies ont causé des inondations en juillet et en août, faisant plus de 21 000 sinistrés au Burkina Faso. Au Niger, le cumul annuel des précipitations est proche de la normale, mais des chutes de pluie abondantes (plus de 100 mm en 24 heures) ont été enregistrées en plusieurs endroits, avec pour conséquence des inondations qui ont fait 25 morts. De fortes pluies et des inondations ont également touché la Gambie et le Mali (figure 10).

**Figure 10.** Anomalies des précipitations annuelles en Afrique (par rapport à la moyenne de la période de référence 1951–2000), en mm par mois, pour l'année 2015. (Source: Centre mondial de climatologie des précipitations, Allemagne)

# The Future of the Aral Sea Lies in Transboundary Cooperation



Based on the UNEP Global Environment Alert Service (GEAS) bulletin January 2014 <sup>1 2</sup>

Diversion of water sources has caused the Aral Sea in Central Asia to decline significantly over the past five decades. It has broken into several smaller seas, leaving behind a vast desert and a multitude of environmental, economic and social problems. Recent restorative action has produced a rebound in the fishing industry in what is now the North Aral Sea, possibly indicating a turn for the better, but it has come at the expense of the South Aral Sea which was starved of water flow when the Kok-Aral dam was constructed. Although the water levels of the Aral Sea may never return to pre-1960s levels, transboundary co-operation on the implementation of and compliance with conservation policies and activities provides some hope for the survival of the Aral Sea and security of livelihoods in the region.

## Why is this issue important?

Once the fourth largest lake in the world, the Aral Sea now covers approximately 10 per cent of its former surface area, holds less than 10 per cent of its former volume, and receives 10 times less water than it used to. The basin supports a population of more than 60 million people – a population that has increased more than four times since 1960. The Aral Sea basin covers 1.5 million square kilometres in Central Asia and is predominantly shared by six countries: Afghanistan, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan.

Meltwater from snow and glaciers on the southwestern Pamir Mountains in Tajikistan and the Tien Shan

Mountains that border China and Kyrgyzstan contributes water to the Amu Darya and the Syr Darya, the two main rivers that historically have fed the Aral Sea. The sea has no outflow river. Meltwater is particularly valuable during the hot, dry summers. However, the Amu Darya and Syr Darya have been diverted to support irrigation schemes and, consequently, the flow of both rivers has been altered and the sea itself has become desiccated. Diversion of the Amu Darya and Syr Darya rivers began as early as 1938 to provide water for irrigation. Natural events such as spring floods breaching the banks of the Amu Darya have also occurred, but they have caused only insignificant changes in water levels.



Kvritlauk / Flickr.com / CC BY-NC 2.0

*The salty shores of the Aral Sea*

<sup>1</sup> Lead Author Lindsey Harriman, Remote Sensing Research Scientist, United Nations Environment Programme/Global Resource Information Database Project, Sioux Falls.

<sup>2</sup> The original, full-length version of this article with full references is available in the online version of the Bulletin and from UNEP at [www.unep.org/geas](http://www.unep.org/geas)

New irrigation schemes for cotton and rice farming in the arid region accelerated the diversion of water in the 1960s. While the use of groundwater for irrigation was explored, the focus remained on using surface water. Climate change could also influence water flows into, and around, the Aral Sea. Glacier shrinkage on surrounding mountains is already occurring, which could eventually lead to reduced runoff, and the region could experience more floods and droughts.

The sea itself is now made up of several water bodies: the North Aral Sea, which has essentially maintained its water levels due to the construction of a dam; and two independent sections of the South Aral Sea, the deeper, more stable western portion and a shallower eastern portion, which has recently been fluctuating in size. Maintaining water levels of the western lobe of the South Aral Sea is essential to any hope of preserving the sea as an ecological system. Additionally, some water needs to remain in the eastern portion to ensure that it does not dry up completely, leaving behind a larger area of potentially dangerous dust and salt.



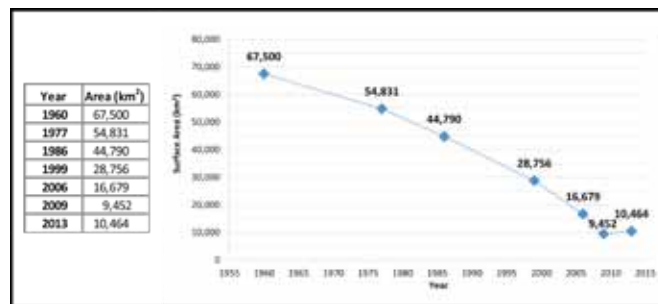
*The Aral Sea Basin*<sup>3</sup>

The significant decrease in the size and volume of the sea (see graph at right) has contributed to the collapse of its fishing industry, compromised drinking water, and caused soil salinization and the proliferation of dust storms due to the formation of a man-made desert, the Aral-kum. Transboundary co-operation between upstream and downstream countries, collaborative water management and the development of water resources are central to meeting the needs of water, energy, food and environmental security in the future. Regional projects, such as planting trees along the former sea-bed, have contributed to afforestation efforts in the Aral-kum and to the conservation of particular ecosystems. The question is, how can these efforts be sustained to increase ecosystem health and livelihoods of the surrounding populations?

## Impacts and responses

The Aral Sea has gone through many changes over the past 50 years, including a significant increase in the population of the Aral Sea basin, a doubling of the area of irrigated land and an unsustainable decline in water runoff to the sea. As a result, shocking visible changes to the sea have occurred together with environmental, economic and social impacts.

At present, fluctuations between seasons, wet and dry years and the yearly flows of the Amu Darya determine the water levels of the two lobes of the South Aral Sea, as demonstrated by the satellite image time series on page 8. A general increase in surface area of the eastern lobe of the South Aral Sea can be observed from June 2009 to June 2013, as can water retention in the Amu Darya delta. The figure on page 8 shows how much the eastern lobe of the South Aral Sea can fluctuate; it almost disappeared in 2012 but then rebounded to more than 10 000 km<sup>2</sup> by 2013. The surface area of the North Aral Sea remained relatively stable, and some fluctuations in the Syr Darya delta are visible. The estimated total volume of the Aral Sea in 2010 was 98.1 km<sup>3</sup> (22.6 km<sup>3</sup> for the North and 75.5 km<sup>3</sup> for the South), and it is expected to decrease to 75.4 km<sup>3</sup> by 2031, based on measurements of trends in precipitation, evaporation and river runoff.<sup>4</sup> River runoff has decreased to 3-20 km<sup>3</sup>/yr from the pre-1960s range of 47-70 km<sup>3</sup>/yr. This has increased the importance of groundwater as a source of water for both the rivers and the surrounding populations.

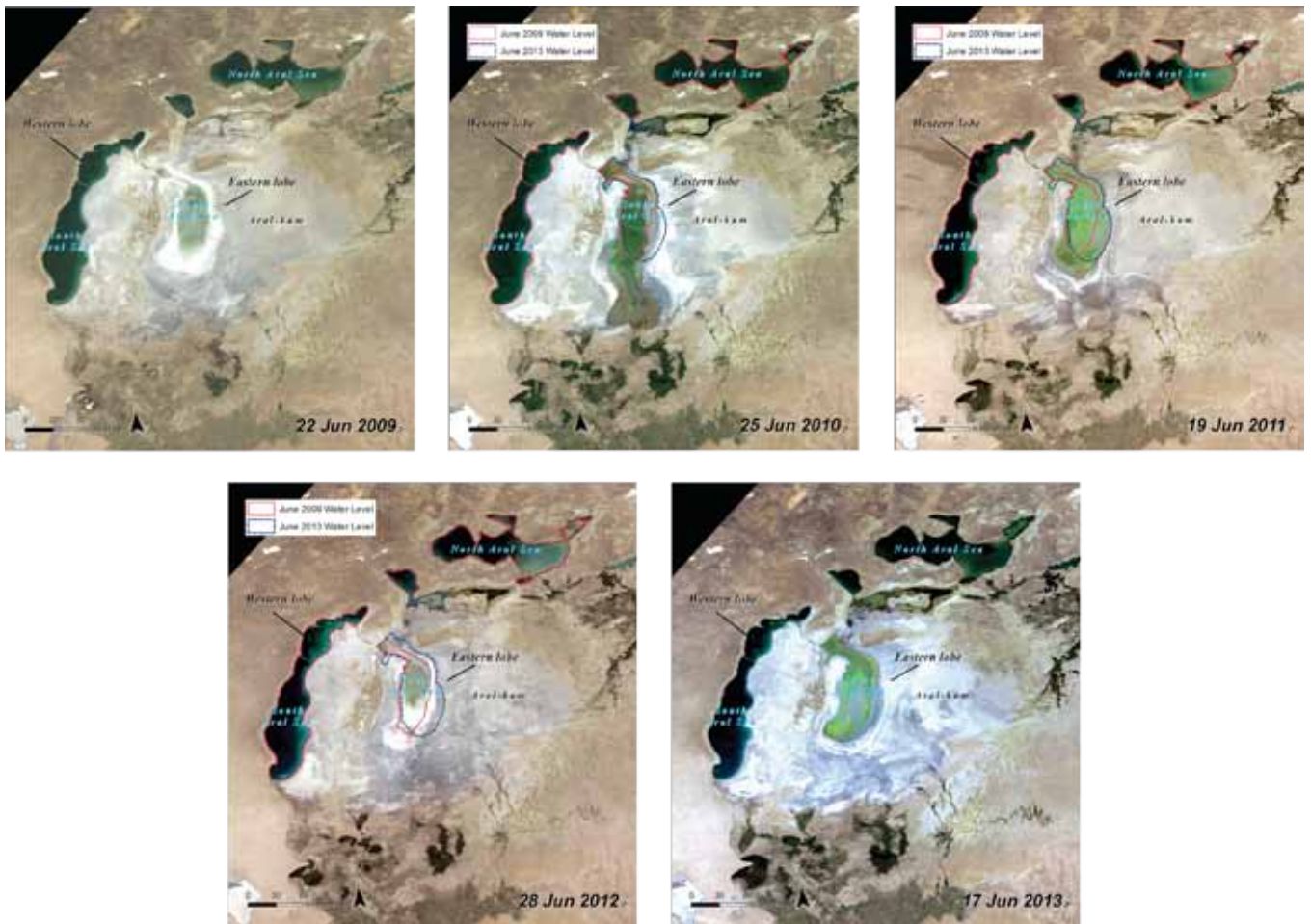


*Changes in total surface area of the Aral Sea for select years from 1960 to 2013*<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Gaybullaev, B., Chen, S-C., Gaybullaev, D., 2012. Changes in water volume of the Aral Sea after 1960. *Applied Water Science* 2, 285 – 291. ; Micklin, P. P., 2007. The Aral Sea Disaster. *Annual Review, Earth Plan. Sci.* 35(4), 47-72. ; Landsat satellite imagery from USGS/NASA; Digital Elevation Model from USGS EROS; visualization by UNEP/GRID-Sioux Falls

<sup>4</sup> Gaybullaev, B., Chen, S-C., Gaybullaev, D., 2012. Changes in water volume of the Aral Sea after 1960. *Applied Water Science* 2, 285 – 291.

<sup>5</sup> Sources: 1960 water level: EC-IFAS, 2013; 1977, 1986, 1999, 2006, 2013 water levels: calculated by UNEP/GRID-Sioux Falls from digitisation of similar season Landsat satellite imagery; calculations exclude land masses; line connects the data points and should not be considered a trend line.



*NASA MODIS Terra satellite imagery showing changes in the Aral Sea from 2009 to 2013*

The changes in the area and volume of the Aral Sea have had a serious impact on the environment, livelihoods and economies of local populations in Central Asia. The decline of the Aral Sea's fishing industry in the 1980s costs tens of thousands of people their jobs. Some of these jobs, and the resulting fish catch, have been reclaimed due to the stabilization of water levels in the North Aral Sea in the past decade and the replenishment of surrounding lakes. Fishery output in the late 2000s reached an estimated range of 2 650 to 3 000 tonnes of fish, as compared to only 52 tonnes caught in 2004. The diversion itself has proved relatively successful economically, as irrigated lands, which cover only 10 per cent of all agricultural land in Uzbekistan, now account for more than 95 per cent of gross agricultural products. Uzbekistan is a top global producer of cotton worldwide. However, any and all benefits have come at a cost to local populations and the environment.

### **Aridification and dust storms**

The Aral-kum is nearly 60 000 km<sup>2</sup> of sandy, salty soil, most of which is contaminated with fertilizers from the agricultural lands, and which is now fuel for dust storms

The salty soils and bare areas surrounding the Aral Sea, which are the types of surface that generate the greatest potential for dust storms, increased surface area from 40 per cent in 2000 to 54 per cent in 2008. This increasing size has also contributed to a more arid local climate, with hotter summers and colder winters.

High winds that blow through the region carry an estimated 15 million to 75 million tonnes per year of contaminated sand and dust. Researchers have found that about 13 dust storms occurred per year between 2000 and 2009 in the Aral Sea region, carrying dust in all directions. The salt-dust clouds can be up to 400 km long, and finer particles can travel up to 1 000 km away.

The densely populated areas south of the Aral Sea in the Amu Darya delta are most vulnerable to these storms because of their location downwind from the Aral-kum source area. These dust storms have negative implications for agricultural and pastoral land. As for local populations, increased respiratory and kidney disorders have been reported, and the dust affects visibility for air and vehicle traffic. Further studies regarding the implications of land cover change and increased salt and dust

loads, including the cumulative effects of salt and dust storms on human and ecosystem health, are needed. Additionally, more regional weather observations and models would make it possible to more effectively quantify impacts.

Widespread afforestation of the Aral-kum would reduce ecological tension in the southern Aral region. Increased vegetation cover could help to reduce the number of dust storms. In the past decade or so, several international organizations have initiated afforestation projects in the Aral Sea region, creating forest plantations on the dried seabed of the Aral-kum in order to help stabilize the soil. An ongoing project conducted by the International Fund for saving the Aral Sea (IFAS) plans to increase forest cover by 10 to 14 per cent (approximately 40 000 ha) across parts of Kazakhstan, Turkmenistan and Uzbekistan. The health of the local environment could be improved through the continued facilitation of afforestation projects. Involving local populations in afforestation could also make the projects more sustainable and less expensive to implement.

### Drinking water

Increased agriculture has been accompanied by a greater use of fertilizers and pesticides. This has compromised the quality of ground and surface water, contaminated seabed sediment and caused groundwater levels to rise. Reports show that groundwater levels have risen as much as 2.5 metres in some areas, including in parts of Turkmenistan, which can lead to further soil salinization. Water quality, especially for drinking, has also decreased because of higher salinity, bacterial contamination and the introduction of pesticides and heavy metals. Low-energy and low-cost desalinization techniques to increase the quality of drinking water have yet to be developed or widely adopted in Uzbekistan.

### Biodiversity

Diversion of the Amu Darya and Syr Darya has not only resulted in lower water levels for the Aral Sea, but also in the disappearance of the smaller lakes and deltas that these rivers once supported, as well as of riparian habitats such as tugai forests and reed beds. The Amu Darya delta supported about 2 600 lakes in the 1960s, but the number had fallen to 400 by 1985. Tugai forests and reed beds once covered more than 500 000 ha but now only about 10 per cent of these ecosystems remain; the rest has been replaced by irrigated cropland or has disappeared because of the lack of water regeneration.

To restore the ecology of the surrounding deltas, numerous man-made lakes or reservoirs have been constructed. As a result, wetland cover has increased, and

some migratory waterbirds have taken refuge. Diversity remains low, but some species of waterbirds have expanded their breeding ranges along valleys of the Amu Darya and Syr Darya. Additionally, a conservation project was completed in 2011 to establish Uzbekistan's first biosphere reserve consisting of 68 718 ha of protected area in Karakalpakstan. The reserve will support the conservation and sustainable use of biodiversity resources, including the tugai forests.

### What are the implications for policy?

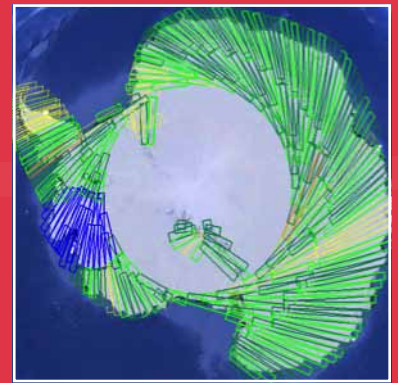
Transboundary co-operation is needed to address the future use of water resources between upstream (Kyrgyzstan and Tajikistan) and downstream countries (Kazakhstan, Turkmenistan and Uzbekistan) in the Aral Sea basin. However, conflicts of interest can inhibit co-operation. Efforts to strengthen transboundary co-operation for water and land management within the basin date back to the early 1970s, when the Aral Sea first showed signs of decline. Integrated Water Resources Management has been implemented in Central Asia, but the principles have not yet been fully applied. The region's critical issues need to be more deeply integrated into institutional frameworks to encourage co-operation. A lack of regional coordination to implement effective restoration and awareness projects has been cited as the reason why some attempts at cooperation have proved unsuccessful.

Several committees, organizations and institutions have been created, and third-party donors have been engaged to cope with the consequences of the loss of the Aral Sea. Most recently, the 2013 High-Level International Conference on Water Cooperation held in Tajikistan addressed the implementation of policies. It highlighted the outcome of a multi-agency project that included a tangible set of analytical policy tools related to the water, agriculture and energy sectors that have been adopted by all participating member countries.

Historically, countries across the globe have leaned toward co-operation in response to transboundary water competition. Competition for water in the Aral Sea basin has led to the desiccation of the Aral Sea and a multitude of negative consequences for people, economies and the environment. The ecosystems and livelihoods supported by the Aral Sea may never be what they were five decades ago, but they have a chance for revitalization with political will and proper attention to water resource management, ecosystem health, energy resources and human needs.



# Ice Sheet Observations from Space



By WMO Secretariat

## Ice Sheet Observations from Space

WMO and the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) both recognize ice sheets as an essential climate variable within the Global Climate Observing System. Observing and monitoring the vast, remote Arctic and Antarctic ice sheets, however, is a challenge, and only feasible globally from space. To better understand and help predict changes in ice sheet size and volume, and implications for example on sea level, significant progress is needed in generating continuous, global datasets. This can only be achieved through global cooperation, and by bringing together all space agencies that operate satellite instruments relevant for observing ice sheets and other variables of the cryosphere, the WMO Polar Space Task Group (herein referred to as the Task Group) started this task in 2011. The Task Group prioritizes user requirements for observations, engages in dialogue with polar science authorities and supports the development of satellite sensor-derived products for cryospheric research and applications. The Task Group builds on the legacy of successful satellite data collection efforts during the International Polar Year.

Over the last two years, the ice sheet science community collected and consolidated user needs for observing ice sheets in order to inform the Task Group of satellite operators. Surveys on ice sheet science and climate change impacts summarized the requirements of more than 60 experts worldwide.

Users emphasized the need for continuous records of low-resolution satellite data in the interior areas of ice sheets and high-resolution data in the margin areas for measuring both ice velocity and grounding lines (where the glacier loses contact with the ground and becomes a floating ice shelf), particularly for modelling major fast-flowing ice streams and glacier systems.

Polar-orbiting satellites with Synthetic Aperture Radar (SAR) instruments provide an all-weather, day/night sensing capability which is suitable for measuring ice sheet topography and variability. SAR instruments use active radar signals (in L, C, or X-bands) and typically offer a range of observation modes that determine the spatio-temporal coverage of the generated datasets. SAR-related Science Requirements for Ice Sheets were analyzed, consolidated and documented for consideration by the Task Group.<sup>1</sup> The document suggests a phased implementation of SAR data acquisition campaigns for Arctic and Antarctic ice sheets monitoring and outlines areas of priority. To address these requirements, the Task Group is using the SAR assets of several space agencies (see inset Box on the right), a “virtual constellation” of coordinated satellite SAR missions.



*During its 17-year mission, the Canadian RADARSAT-1 provided a wealth of SAR data over polar regions, including the Antarctic Mapping Mission in 1997 and concluding with InSAR coverage of Greenland in 2013.*

<sup>1</sup> An SAR Coordination Working Group (SAR CWG) was formed by the Task Group to assist with the collection and use of spaceborne synthetic aperture radar (SAR) data sets.