

CNES MAG



ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

93
Juillet 2022

SWOT

PLANÈTE EAU



cnes
CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES



SOMMAIRE



05 ÉDITORIAL

06 L'ESSENTIEL

Success-Story, enjeux scientifiques, applications et produits, découvrez toutes les facettes de Swot

12
#COMMUNAUTÉ
Les followers du CNES suivent aussi les masses d'eau continentales, côtières et océaniques

13
GRAND ORAL
Emma Haziza, hydrologue et fondatrice du centre de recherche appliquée Mayane

16
EN IMAGES
Inondation, ressources stratégiques : l'eau est au cœur de nos vies

18
EN CHIFFRES
Nouvelles technologies, objectifs : les données clés de SWOT

19
LE CNES EN ACTIONS
Plongée dans le cycle de l'eau

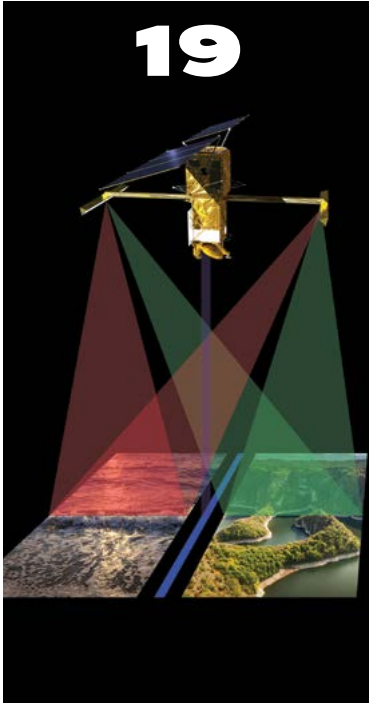
27
MATIÈRE
Les atouts de KaRIn

28
INSTANTS T
Swot, les multiples applications

30
RENCONTRES
• Karen St. Germain
Directrice Observation de la Terre à la NASA
• Guillaume Choisy
Directeur de l'agence de l'eau Adour-Garonne
• Jean-Baptiste Voisin
Directeur de CLS Indonésie



SOMMAIRE



19

33

ESPACE ÉTHIQUE

Gardiens des eaux,
par Jacques Arnould

34

EN VUE

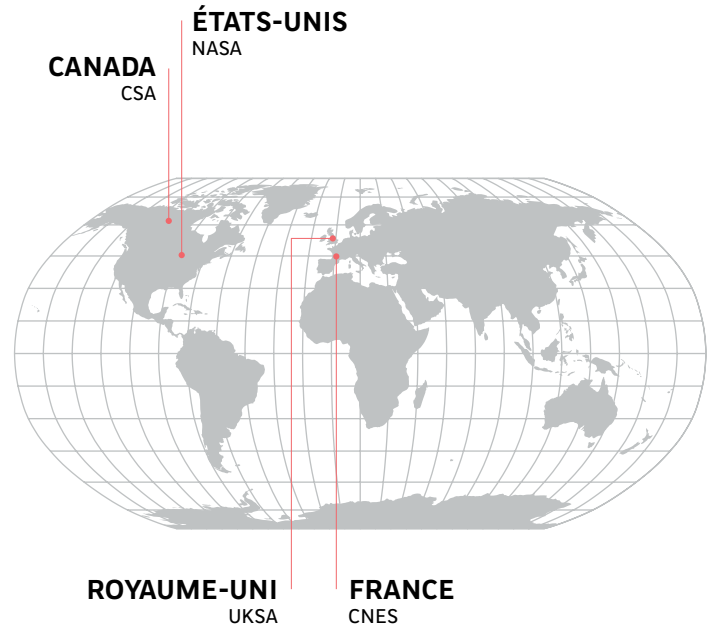
Les événements
à ne pas manquer

36

TRANSFERT

VorteX.io sonde
les eaux de surface

LES AGENCES SPATIALES QUI COLLABORENT À SWOT



CANADA
CSA

ÉTATS-UNIS
NASA

ROYAUME-UNI
UKSA

FRANCE
CNES

PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro : Cerfacs (centre de recherche fondamentale et appliquée spécialisé dans la modélisation et la simulation numériques) p10 ; Airbus Defense and Space p10 ; CLS (Collecte Localisation Satellites), filiale du CNES, p 10-18-32 ; Union européenne p11-23 ; ESA (agence spatiale européenne) p11 ; CSIRO, agence nationale scientifique australienne p18 ; GFZ, centre allemand de recherche sur les sciences de la Terre p25 ; CS Group p18 ; IGN (institut national de l'information géographique et forestière) p18 ; Onera p18 ; CNRS p21 ; Irstea (institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) p21 ; IRD (institut de recherche pour le développement) p21-25-35 ; Legos (laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales) p21-22-25 ; OIEAU, office international de l'eau p35.

En couverture : © Getty Images/Alex-Ugalek



WWW.CNES.FR

Découvrez les contenus
en ligne de ce nouveau
numéro sur
cnes.fr/cnesmag

CNESfrance

@CNES

CNES



CONTRIBUTEURS

THIERRY LAFON



Le programme Swot, Thierry Lafon l'a pris à la source et en connaît les moindres détails.

Il porte la conscience aiguë d'une urgence vitale : aider science et humanité dans la gestion cruciale de l'eau. Chef du projet, il en a assuré la supervision technologique et administrative. Avec une légitime fierté, à l'heure du lancement, il nous fait partager cette aventure humaine et technologique.

NICOLAS PICOT



Jason-2, Saral/AltiKa, Sentinelles et aujourd'hui Swot, Nicolas Picot veille depuis plus de vingt ans à la qualité des produits des missions altimétriques. Rien ne lui échappe, depuis les caractéristiques des instruments jusqu'à leurs performances ou celles des chaînes de traitement. Son lien indéfectible avec la communauté scientifique a contribué à la réussite de Swot-Aval, un programme préparatoire dont il décrypte, pour nous, les plus-values.

de vingt ans à la qualité des produits des missions altimétriques. Rien ne lui échappe, depuis les caractéristiques des instruments jusqu'à leurs performances ou celles des chaînes de traitement. Son lien indéfectible avec la communauté scientifique a contribué à la réussite de Swot-Aval, un programme préparatoire dont il décrypte, pour nous, les plus-values.



SELMA CHERCHALI

La santé des océans la préoccupe, l'état des fleuves l'inquiète... Selma Cherchali met son énergie naturelle au service d'un climat planétaire en peine. Très active au sein du SCO depuis 2018, elle anime entre autres des programmes relatifs à l'environnement terrestre et à l'hydrologie. Sous-directrice Etude et observation de la Terre à la direction de la Stratégie, elle a mis ses services à la disposition de *Cnesmag* pour cette édition.

SERGE DELMAS



De formation universitaire mais également globe-trotter, photographe, Serge Delmas a couru le monde dans le sillage de multiples missions spatiales et par curiosité personnelle. Chargé de communication en observation de la Terre, il porte un regard éclairé sur l'état de la planète et particulièrement sur la problématique de l'eau. Il nous a fait partager ses constats et nous a aidés dans le choix des lieux emblématiques à vous présenter.

CNESMAG

CNESmag, le magazine d'information du Centre national d'études spatiales, 2 place Maurice Quentin, 75039 Paris cedex 01. Adresse postale pour toute correspondance : 18, avenue Édouard Belin, 31401 Toulouse cedex 9. Tél. : +33 (0)5 61 27 40 68. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : <https://cnes.fr/reabonnement-cnesmag>.
Directeur de la publication : Philippe Baptiste. **Directrice éditoriale :** Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef :** Brigitte Alonzo-Thomas. **Secrétaire générale de la rédaction :** Céline Arnaud. **Rédaction :** Brigitte Alonzo-Thomas, Aude Borel, Liliane Feuillerac, Dominique Fidel, Guillaume Tixier. **Photothèque (recherche iconographique) :** Marie-Claire Fontebasso. **Responsable photo :** Thierry De Prada. **Crédits photo :** p.4 CNES/T. De Prada ; p.5 CNES/C. Peus ; p.6 NASA Earth Observatory/image by Lauren Dauphin/MODIS ; p.7 (haut) EU COPERNICUS MARINE&CLIMATE SERVICES/CNES/LEGOS, 2022 ; p.7 (bas) CNES/F. Maligne ; p.8 (haut) SCO Space for Climate Observatory ; p.9 Getty Images ; p.10 (haut) AFP/MUNIR UZ ZAMAN ; p.10 (bas) Gwilhmet Primmel ; p.11 Getty Images ; p.13 Agence H2e/Emmanuel Layani ; p.15 Agence-H2e/Emmanuel Layani ; p.16 AFP/BIJU BORO ; p.17 Getty Images/De Agostini ; p.18 Copernicus Sentinel Data, 2022 ; p.19 Thales Alenia Space, 2021 ; p.20 CNES/Thales Alenia Space/L. Barranco, 2019 ; p.22 Ocean/NEXT : <https://github.com/ocean-next/eNATL60> ; p.23 (haut) Getty Images ; p.23 (bas) CNES/O. Sattler ; p.24 CNES/Distribution Airbus DS, 2019 ; p.25 ESA ; p.26 CNES/Distribution Airbus DS, 2014 ; p.27 CNES/Mira Productions ; p.33 J. Arnaud ; p.34 (haut à droite) Lycée Victor Duruy/Bagnères de Bigorre ; p.34 (en bas à gauche) CNES/E. Grimault, 2022 ; p.35 Yves Barou/Djibril Sy/site yvesbarou.fr ; p.36 vorteXio. **Illustrations :** Jean-Marc Pau, gettyimages. **Web master :** Sylvain Charrier, Mélanie Ramel. **Réseaux sociaux :** Mathilde de Vos. **Traduction :** Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation :** Citizen Press – David Corvaisier, Fabienne Laurent, Alexandra Roy, Guillaume Tixier. **Impression :** Ménard. ISSN 1263-9817. **Ont participé à ce numéro :** Alice Andral, Christophe Brachet, Pierre Boutte, Frédéric Bretar, Pierre-Marie Brunet, Philippe Collot, Sophie Coutin Faye, Jean-François Crétaux, Isabelle Fratter, Flavien Guillon, Emeline Deseez, Francesco d'Ovidio, Roger Fjortoft, Benoît Laignel, Anne Lifermann, Pena Luque Santiago, Florent Lyard, Philippe Maisongrande, Rosemary Morrow, Jean-Christophe Poisson, Amélie Proust, Estelle Raynal, Anna Salsac, Annick Sylvestre-Barron, Guillaume Valladeau.



É D I T O R I A L



Une photographie, prise en décembre 1972 par les équipages d’Apollo 17, vaut à notre Terre son surnom de Planète bleue. Cette couleur, elle la doit aux océans qui couvrent plus de 70 % de sa surface. Les océans absorbent le rayonnement solaire, régulent la température atmosphérique, séquestrent le carbone, distribuent la chaleur au moyen des courants, produisent par évaporation les nuages qui font la pluie, la neige et l’eau douce. Largement responsables de l’apparition de la vie, ils sont les garants de son maintien. Mais, dans un contexte de dérèglement climatique, leur « état de santé » inquiète, leur rôle doit être défini en profondeur. Il faut comprendre ces mécanismes généraux, leur emballement. Pour cela, il faut changer d’échelle, faire un plan large sur la perspective globale mais focaliser aussi sur les microphénomènes locaux. C’est l’objectif même de la mission franco-américaine Swot. Concentrée d’innovations technologiques en altimétrie et interférométrie, Swot va faire progresser les connaissances sur l’ensemble du grand cycle de l’eau en signant de nombreuses « premières ». En hydrologie, elle va établir le premier inventaire des eaux de surface continentale. Le satellite mesurera hauteurs d’eau et débits, évaluera le stock d’eau douce à l’échelle de la planète, surveillera l’assèchement des lacs, cours d’eau, etc. En océanographie, avec une résolution dix fois supérieure à celle des technologies actuelles, elle observera, à une échelle fine de dix à vingt kilomètres de résolution, les circulations océaniques de tourbillons, les filaments, leurs interactions. Ainsi elle affinera nos connaissances et modèles de prévision. Enfin, dernier volet de cette triple mission, grâce à l’interférométrie radar, Swot va pouvoir s’approcher des littoraux pour étudier l’hydrodynamique de ces zones complexes. Intégrables et intégrées à des produits déjà existants, les données Swot vont améliorer nos modèles climatiques et, en nous permettant de mieux prévoir les impacts du changement climatique, mieux nous y préparer. Un sujet qui nous concerne tous. Bonne lecture.

MARIE-CLAUDE SALOMÉ
DIRECTRICE DE LA COMMUNICATION DU CNES



LANCEMENT

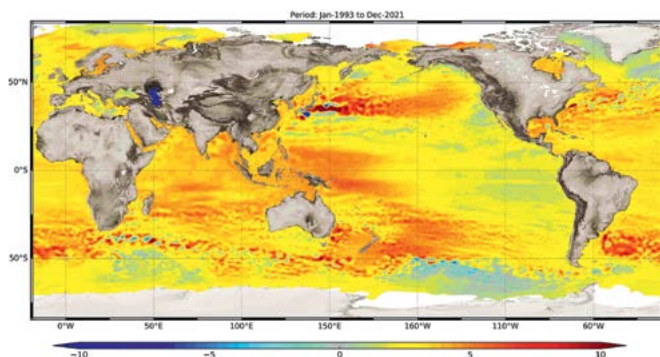
LE COMPTE À REBOURS S'ENCLENCHE

Jour et heure du départ ne sont pas totalement figés, mais le site de lancement, lui, est certain : Swot s'envolera de la base de Vandenberg aux États-Unis. Son lancement est prévu fin 2022 ! Dès juin 2021, le JPL¹ avait livré à Cannes, chez Thales Alenia Space, la charge utile et son instrument phare, KaRIn, un altimètre radar totalement innovant. Mandaté par le CNES, l'industriel a développé la plateforme sur laquelle ces instruments ont été intégrés ces derniers mois. Depuis juin 2022, Swot est dans sa configuration finale ! À Cannes, le satellite passe l'été à l'abri, en salle blanche où il est soumis à une batterie de tests. Tout au long de sa mission, il va rencontrer dans l'espace un certain nombre de contraintes. Les essais en cours – mécaniques, techniques, radiatifs, vibrations – vont vérifier qu'il peut faire face sans dommage à ces épreuves. En octobre, le satellite sera acheminé vers la base américaine. Présentes sur place pour la campagne de lancement, les équipes franco-américaines célébreront le résultat de plus de dix ans d'une coopération exemplaire.

1. Jet Propulsion Laboratory, laboratoire de la NASA.



L'ESSENTIEL



Evolution du niveau des mers sur la période de janvier 1993 à septembre 2021 calculée grâce aux données cumulées des satellites altimétriques de haute précision, Topex-Poséidon, Jason-1-2-3, Sentinel-6.

Océanographie opérationnelle UNE SUCCESS STORY FRANCO-AMÉRICAINE

Les turbulences océaniques tourmentent depuis longtemps les scientifiques. Dans les années 1980, pour analyser ces phénomènes et anticiper leurs effets, le CNES et la NASA se penchent chacun sur un concept d'altimètre à même de mesurer hauteur d'eau, de vague, vents de surface. Les Américains planchent sur Topex, les Français sur Poséidon, un instrument prévu pour équiper Spot. En 1983, ils joignent leurs efforts et officialisent un projet commun : Topex-Poséidon, scellé par un protocole d'accord en 1987. La suite tient de la success story : lancée en 1992, la mission met en évidence, en 1994, le phénomène saisonnier El Niño dont les effets sont dévastateurs : sécheresses, baisse des rendements agricoles en Afrique, inondations, chute du cours du café en Amérique du Sud, etc. Topex-Poséidon jette alors les bases de l'océanographie opérationnelle. Ses successeurs, notamment Jason (1 à 3) et Sentinel 6, alimentent une vaste banque de données sur les phénomènes océaniques. Avec Swot, le CNES et la NASA offrent à l'altimétrie spatiale un précieux cadeau pour son 30^e anniversaire !

14 000

C'est le nombre de nouveaux produits Swot haute résolution qui seront référencés quotidiennement dans le catalogue hydroweb.next. Ils représenteront un volume de 7 téraoctets/jour soit 7 millions de mégaoctets.

FINANCEMENT

UN SOUTIEN PRIMORDIAL ET SIGNIFICATIF



mbiteuse, la mission Swot ne pouvait voir le jour sans le sérieux « coup de pouce » budgétaire du Programme d'investissement d'avenir (PIA)

mis en place par l'État en 2018 pour financer « des investissements innovants et prometteurs ». À ce titre, Swot a bénéficié de 160 millions d'euros. En complément, le CNES a financé sur sa subvention publique propre 190 millions d'euros, portant la contribution française totale au tiers du coût total de la mission¹. Cet investissement important a permis à l'agence spatiale et à ses partenaires de jouer un rôle structurant dans le programme. Le CNES est en charge de la plateforme du satellite, de l'unité radiofréquence (RFU) de KaRIn, de l'altimètre nadir bi-fréquence Poséidon 3, du système de localisation de précision Doris. Il met également à disposition un segment sol de contrôle et commande du satellite ainsi qu'un centre de traitement des données. Le centre de calcul Swot a été adapté pour apporter des solutions technologiquement très innovantes. Il sera capable de traiter le volume important de données Swot puis de les distribuer grâce au portail hydrologique dédié : hydroweb.next. En facilitant la mise à disposition de ces données, le CNES va aussi stimuler l'écosystème spatial et de nombreuses start-up, un atout économique pris en considération dans le soutien du PIA.

1. 350 millions d'euros sur 1 milliard de dollars.





L'ESSENTIEL

OpHySE

MOBILISATION AUTOUR DES FLEUVES GUYANAIS



Le Maroni au nord-ouest et l'Oyapock au sud-est délimitent les frontières

de la Guyane, des zones sensibles pour des raisons sociales, politiques, économiques et environnementales. Ces deux fleuves constituent la seule route d'acheminement de marchandises, de biens et de personnes pour les villages en amont. Par ailleurs, sept fleuves de plus de 100 km traversent le territoire guyanais. L'équipement et la maintenance d'un réseau de surveillance hydrologique sont difficiles et onéreux. L'espace offre une alternative pertinente.

La plateforme numérique OpHySE¹ suit en temps réel l'état des fleuves, leur hauteur d'eau, leur débit et leur navigabilité à partir des données de Jason-3, Sentinel-3-6 et de



la constellation GPM². La société Hydromatters, le CNES, mais aussi les utilisateurs finaux (que sont les services de l'État en région³) se sont mobilisés pour mettre en œuvre ce

projet qui a été labellisé en 2021 par le Space for Climate Observatory (SCO).

1. Operational Hydrology from Space and modEls.
2. Mesures des précipitations mondiales.
3. Direction générale des territoires et de la mer de Guyane, Office de l'Eau de Guyane.

HYDROWEB.NEXT

LES DONNÉES D'HYDROLOGIE À PORTÉE DE CLIC



Swot aborde sa dernière ligne droite. Le CNES, lui, est déjà fin prêt à traiter et distribuer le flot de données généré. Le portail hydroweb.next est la nouvelle porte d'entrée pour ces produits hydrologiques au sein du pôle de données Theia¹. Il sera directement connecté au centre de mission Swot. Au-delà des produits Swot, cette « base de données spatialisées sur l'eau » va compiler à l'échelle mondiale d'autres données hydrologiques issues du spatial (altimétrie, algorithmes, etc.). Le site est en accès libre, ouvert à tous, gratuitement ou sur abonnement pour certains produits spécifiques. L'ensemble

des produits disponibles sont présentés en quelques lignes qui décrivent leur contenu, leur licence, leur résolution temporelle, leur résolution spatiale et leur producteur. Déjà très complet, le site web proposera prochainement une version plus élaborée, qui donnera accès à des données hydrologiques issues de multiples capteurs et de technologies différentes : spatial, mesures terrain, modèles numériques, drones, etc.

1. Pôle thématique surface continentale.

 PLUS D'INFOS :
HYDROWEB-NG@CNES.FR



90%

La mission Swot permettra de sonder 90 % des eaux de surface de la Terre : fleuves, lacs, rivières, réservoirs...

STOCK WATER

LES VOLUMES D'EAU SOUS SURVEILLANCE



Comment évaluer le volume d'eau stocké dans les centaines de milliers de barrages répartis dans le monde ? Collectées et détenues par des gestionnaires locaux publics ou privés, ces informations sont aléatoires.

Conçue par le CNES et plusieurs autres partenaires, Stock Water est une solution pour accéder à ces données. Ouverte aux pays volontaires, Stock Water est un moyen de surveillance mondial et global. Des indicateurs de volume d'eau sont fournis chaque semaine à chaque pays partenaire et un système de traitement spécifique a été étudié pour les autorités publiques. Alimentée par les données spatiales de Sentinel-1-2 et de TanDEM-X, Stock Water est accessible par QR code. Labellisée en 2021 par le Space for Climate Observatory (SCO), Stock Water est expérimentée en Inde, en Tunisie et au Laos. Les données Swot seront essentielles pour améliorer la qualité des produits générés.

620 000 km

L'ensemble des rivières françaises représente une longueur totale de 620 000 km, dont 430 000 km en France métropolitaine.

1,4 MILLIARD DE KM³

C'est le volume total d'eau sur la planète. Le volume d'eau douce est estimé à 35 millions de km³ (soit 3 % du volume total d'eau sur terre) dont 24 000 km³ sont utilisés par l'homme chaque année.

DES SATELLITES AU SERVICE DU CYCLE DE L'EAU



2001
2008
2016

Jason-1-2-3
(CNES/ NASA)
– Mesure du niveau des océans



2009

Smos
(ESA) – Terres émergées – Humidité des sols, salinité des océans



2011

Megha-Tropiques
(CNES/ISRO-Inde)
– Précipitations, cyclones, mousson, sécheresse



2015
2016
2020

Sentinel-2-3-6
(CE/ESA) – Couverture des sols, niveau des eaux océaniques et continentales, voies navigables, littoraux



2018

Cfosat
(CNES/CNSA) – Chine – Vents et vagues (océan)



2022

Swot
(CNES/NASA) – Topographie des eaux de surface, des océans et des zones côtières



2025

Trishna
(CNES/ISRO-Inde) – Évapotranspiration de la végétation – Température des eaux côtières



L'ESSENTIEL

SCIENCE CITOYENNE

PHOTOGRAPHER DES NIVEAUX D'EAU



Vous êtes randonneur ou pêcheur à la ligne ? Qu'importe ! La gestion de la ressource en eau nous concerne tous : en soutenant le projet OECS¹, vous aidez la science.

Comment ? Simplement ! Indicateurs de niveau, des règles d'eau bordent certains lacs ou rivières mis à l'étude. Elles sont associées à un QR code. Avec votre téléphone, faites un cliché et transmettez-le. La mesure indiquée sur l'image viendra compléter celles déjà enregistrées sur le site web oecsmap.org. Cette forme de science participative n'est pas juste ludique. D'une part, les données manquent sur les lacs naturels et vous contribuerez à enrichir la base de données. D'autre part, ces observations de terrain seront comparées à des mesures satellitaires. Par recoupement, elles vérifieront la fiabilité des mesures établies par Swot. Les États-Unis sont à l'origine du projet, appelé LOCSS, OECS en est la déclinaison nationale en partenariat avec l'Agence de l'eau Adour-Garonne. Participez ! Vous ne serez pas seul au monde : des initiatives identiques sont lancées au Canada, en Inde ou au Bangladesh.

1. OECS pour Observation des eaux continentales par des citoyens et des satellites.



FloodDAM

ANTICIPER LES INONDATIONS



Le risque d'inondation est le risque naturel le plus courant et le plus meurtrier. Il est accru par les effets du changement climatique.

Le SCO, observatoire spatial du climat, incite à la mise en place d'outils pour anticiper les inondations et en limiter les impacts, en particulier au travers de FloodDAM¹, un système de détection et de cartographie associé à des solutions d'alertes rapides. Fruit d'un partenariat entre la start-up Vortex.io² (voir Transfert p. 36), Predict Services³, le Cerfacs⁴ et le CNES, ce projet s'appuie sur des images à très haute résolution fournies par Airbus Defense and Space. À partir d'images radar d'une plateforme de visualisation des surfaces inondées observées et de cartes de modélisation, la société CLS, filiale du CNES, a conçu un système automatique de cartographie rapide des inondations. Sur les rivières, Swot mesure simultanément les surfaces et les hauteurs d'eau. La modélisation lui permet d'estimer les débits, une information indispensable pour déclencher les systèmes d'alerte. Le programme a été testé dans plusieurs bassins hydrologiques dans le monde dont, en France, le bassin Adour-Garonne.

1. Flood Detection, Alert and rapid Mapping – Détection d'inondation, alerte et cartographie rapide.
2. Fourniture d'instruments de mesure innovants.
3. Prévention et gestion des risques.
4. Prévisions à court terme.

 PLUS D'INFOS :
WWW.OECSMAP.ORG



L'ESSENTIEL

ADOpte UN CROSS-OVER

UNE COOPÉRATION SCIENTIFIQUE MONDIALE



Par l'observation de phénomènes à une échelle de 7 à 20 km, Swot offre une perspective nouvelle sur le rôle de l'océan dans le climat. L'impact de tourbillons ou de fronts océaniques sur les organismes marins reste méconnu. Un écart significatif existe entre les modèles et les observations. Issu de l'équipe scientifique de Swot, le consortium AdAC¹ souhaite réconcilier les deux échelles, les observations réalisées lors de campagnes en mer et les futures observations de Swot. À cette fin, le consortium va s'intéresser plus particulièrement aux zones océaniques où se croisent (cross-over) les trajectoires ascendantes et descendantes du satellite. Le nombre de revisites de ces zones (jusqu'à deux fois par jour) sera maximal pendant la première phase de vie du satellite. Le consortium AdAC invite la communauté scientifique et universitaire du monde entier à le rejoindre pour concevoir et réaliser des protocoles expérimentaux afin de tirer le meilleur parti des outils de Swot. Il propose un forum pour échanger et mutualiser les recherches sur l'approche, l'interprétation, voire les produits qui pourraient être développés.

1. AdAc pour Adopte un cross-over.



PLUS D'INFOS :
[HTTPS://WWW.SWOT-ADAC.ORG/](https://www.swot-adac.org/)

WISA

DANS LE SILLAGE DE KaRIn



l'altimétrie par radar interférométrique à large fauché dont dispose KaRIn (voir p. 27),

bouscule l'altimétrie classique. Elle offre une perspective nouvelle sur le cycle global de l'eau et devrait s'installer durablement dans la charge utile de missions futures. Depuis 2017,

en préparation de la future mission Copernicus-Sentinel-3NG de l'Union européenne, l'ESA¹ et le CNES ont mené en synergie des études complémentaires de faisabilité (Wisa² pour le CNES), basées sur ce principe d'interférométrie à large fauchée. L'étude Wisa, qui propose deux satellites pour une meilleure revisite,

réinvestit cette nouvelle technologie au service de programmes opérationnels. En élargissant le champ des données, elle devrait aussi, dans des applications futures, élargir le panel des utilisateurs.

1. Agence spatiale européenne.
2. Wide-swath altimetry – Altimétrie à large fauchée.



COMMUNAUTÉ

Tous les jours, sur les réseaux sociaux, le CNES discute avec vous. Vous nous faites part de vos réflexions ou questions. Rejoignez la conversation ! ;)

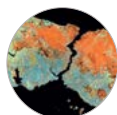


@THOM_ASTRO

Astronaute @ESA 🇫🇷 🇫🇷, pilote de vaisseau spatial, de retour sur Terre après la #MissionAlpha, parrain @ONG_ASF



2 lacs artificiels. Vous pouvez être sûrs que les rives dentelées de ce lac sont dues à la présence d'un barrage : les lacs naturels ont en général des bords plus ronds. #MissionAlpha



@IMGSAT973

Enseignant H-Geo ; doctorant à l'EHESS ; intérêt pour l'utilisation des images satellite en classe de géographie



Remonter dans le temps avec les satellites 🛰️ : suivi de la construction du Barrage Atatürk sur l'Euphrate, en #Turquie 🇹🇷 #Turkiye 37°28'45.2"N, 38°19'01"E
Timelapse réalisé avec @sentinel_hub à partir d'images satellite #landsat 4&5 [1984-1993]
@CopernicusEU @USGSLandsat



@JOELBRUNEAU

Maire de @CaenOfficiel (#Normandie).
Président de la Communauté Urbaine de @caenlamer.

Par son caractère maritime, @Caenlamer aura à faire face à de nombreux défis, à l'image de celui du recul du trait de côte ou du changement climatique. Il est indispensable que nous puissions dès à présent réfléchir à notre adaptation à ces changements.



@THALES_ALENIA_S

Compte officiel de Thales Alenia Space

Bonjour, je suis #SWOT le satellite d'#oceanographie. Il y a quelques semaines, je suis rentré dans une chambre thermique à vide du site de #Cannes de @Thales_Alenia_S. En orbite, les #satellites doivent résister dans le vide à des températures extrêmes, c'est ce qui rend ce test indispensable @CNES @NASAJPL.





GRAND ORAL

**EMMA
HAZIZA**

SÉCHERESSES ÉCLAIRS, PLUIES TORRENTIELLES, STOCKS D'EAU MENACÉS... Avec le réchauffement climatique, les cycles de l'eau sont chaque année déréglés davantage. Hydrologue et fondatrice du centre de recherche appliquée Mayane, Emma Haziza sonne l'alarme.



GRAND ORAL

Comment résumez-vous la place de l'eau dans nos sociétés ?

Emma Haziza : C'est très simple : s'il n'y a pas d'eau, il n'y a pas de vie. L'eau sert à boire, à nous laver, à nous nourrir et, plus généralement, tout ce que nous achetons utilise nécessairement de l'eau. Même notre énergie dépend de l'or bleu : sans eau, les centrales nucléaires et thermiques sont à l'arrêt parce qu'on ne peut plus les refroidir. Au fil du temps, tous ces postes de consommation sont devenus de plus en plus gourmands. En l'espace d'un siècle, la population mondiale a triplé mais notre consommation d'eau a été multipliée par six.

Et dans le même temps, la température moyenne mondiale a augmenté de presque 1°. Quels sont les effets de ce réchauffement sur le cycle de l'eau ?

E. H. : Avec le dérèglement climatique, on assiste à un emballement du cycle de l'eau. Sur tous les continents, des régions de plus en plus vastes sont affectées par des déficits pluviométriques. Conjugés à une forte évaporation due aux températures records relevées, les sols s'assèchent massivement et les niveaux des nappes phréatiques baissent de manière drastique. Ailleurs, on subit des épisodes pluvieux d'autant plus intenses que l'élévation des températures renforce le pouvoir précipitant des nuages. Il faut aussi tenir compte de certains

mécanismes pernicieux. Ainsi, l'augmentation des concentrations de vapeur d'eau atmosphérique contribue activement à l'effet de serre et donc à la hausse des températures, la vapeur d'eau étant le premier gaz à effet de serre sur la planète. L'hémisphère nord se réchauffe trois fois plus vite que le reste du globe, ce qui explique que des géants de l'eau comme le Canada sont désormais touchés sur les deux tableaux avec des inondations hivernales gigantesques et des épisodes caniculaires engendrant des sécheresses fulgurantes.

« Les satellites nous ont fait faire des bonds considérables dans la compréhension des phénomènes extrêmes dont nous pouvons désormais anticiper l'évolution et la propagation. »

Multiplication des événements extrêmes, sécheresses, villes englouties... Le second volet du rapport du GIEC publié en février est terrible. Que vous inspire-t-il ?

E. H. : Les conséquences du changement climatique se sont amplifiées depuis le dernier rapport du GIEC, avec des impacts plus violents et plus fréquents dans toutes les parties

du monde. Ainsi, au cours de l'année passée, la moitié de la population mondiale a souffert de pénurie d'eau à un moment donné. Entre 42 % et 79 % des bassins hydrographiques du monde entier devraient être affectés de façon critique d'ici à 2050, ce qui aura un impact conséquent sur les écosystèmes d'eau douce et la capacité des réservoirs à assurer la sécurité en approvisionnement en eau, menaçant ainsi l'ensemble des activités humaines. On atteint aujourd'hui les limites des possibilités de nos ressources en eau, à l'image de la Californie qui continue à fournir les États-Unis en salades vertes en puisant dans les nappes fossiles tout en sachant qu'elles ne se rechargeront jamais.

Et la France n'y échappera pas ?

E. H. : La France n'y échappe déjà plus. Depuis 2014, nous constatons une succession de records de températures et de sécheresses notable. L'an dernier a semblé en rupture avec des pluies plus abondantes sur une grande partie de l'Hexagone, ainsi que des pluies diluviennes et des orages aux conséquences parfois dramatiques, en Allemagne ou en Belgique. Mais tout autour, les records de chaleur ont continué, à l'image des températures atteintes en Espagne, des feux en Algérie ou en Grèce. 2022 ne se présente pas mieux. L'absence de pluies de janvier à avril a conduit à une absence de recharge des nappes. Nous avons connu le mois de mai le plus chaud depuis l'après-guerre et la canicule très précoce de juin n'augure rien de bon. On s'oriente vers une sécheresse historique qui aura un impact



GRAND ORAL



EMMA HAZIZA

HYDROLOGUE ET FONDATRICE DU CENTRE DE RECHERCHE APPLIQUÉE MAYANE

« J'espère que les futures missions spatiales nous aideront à mieux comprendre l'eau "verte". »

désastreux sur les systèmes agricoles mais pas uniquement : les bâtiments et la productivité énergétique et industrielle vont aussi en pâtir. Et la situation n'est pas près de s'améliorer : depuis quelques années, nous étions dans une ère La Niña, qui refroidit la planète, mais selon les derniers modèles, nous pourrions basculer d'ici à six mois dans un phénomène inverse, El Niño, dont on sait qu'il accélère l'augmentation des températures !

Quels volets de notre compréhension du grand cycle de l'eau restent à améliorer ? Quels peuvent être les apports de l'imagerie satellitaire ?

E. H. : Depuis les années 1990, les satellites nous ont fait faire des bonds

considérables dans la compréhension des phénomènes extrêmes dont nous pouvons désormais anticiper l'évolution et la propagation. Pour l'étude du cycle de l'eau, les outils de l'hydrologie spatiale sont devenus les compagnons indispensables des scientifiques, fournissant des données toujours plus précises, fréquentes et variées. Grâce à eux, nous connaissons de mieux en mieux les dynamiques des océans et aussi celles de l'eau « bleue » des rivières, des lacs et des nappes phréatiques. J'espère que les futures missions spatiales nous aideront également à mieux comprendre l'eau « verte », celle qui est stockée dans les couches supérieures du sol et qui assure la survie et le développement des végétaux. C'est un sujet brûlant : des chercheurs du Potsdam Institute viennent en effet de publier des travaux qui tendent à prouver que la limite planétaire de l'eau « verte » est désormais dépassée, conduisant à l'aridification.

Quelles sont selon vous les mesures prioritaires à mettre en place pour lutter contre les effets du dérèglement climatique ?

E. H. : En France, nous savons plutôt bien prévenir les grandes inondations liées aux cours d'eau. Nous avons aussi appris à tenir compte du phénomène de retrait-gonflement des argiles dans les stratégies d'aménagement du territoire. Cependant, il y a d'autres domaines pour lesquels nous sommes encore mal armés alors que nous savons

qu'ils vont devenir plus fréquents et plus intenses : les effets de températures élevées sur les structures béton, les ruissellements urbains... Au-delà des mesures d'atténuation, l'urgence, c'est surtout de penser à l'adaptation de notre société aux futures conditions climatiques. Les leviers à actionner sont très nombreux. Dans l'agriculture d'abord, qui en été peut consommer jusqu'à 80 % de l'eau française. Il est temps de repenser nos modes de vie au prisme de la consommation d'eau et de l'exposition aux impacts du changement climatique : nos habitations, nos villes, nos habitudes de consommation sont-elles compatibles avec le climat de demain ?

PROFIL

2007

Docteur de l'École des Mines de Paris en hydrologie et psychosociologie des organisations face aux événements extrêmes.

2010

Fondation du centre de recherche appliquée Mayane dédié aux problématiques d'adaptation face au changement climatique.

2020

Fondation de la plateforme de développement de solutions numériques Mayane Labs.

2021

Membre du conseil scientifique de France Ville Durable, membre du conseil d'administration d'Eau de Paris.



EN IMAGES



ENJEUX CLIMATIQUES : BANGLADESH

Mai 2022, les fortes pluies de pré-mousson s'abattent sur le nord et le centre du Bangladesh. Les deux principales rivières frontalières avec l'Inde, la Surma et la Kushiara, brisent les digues. Les niveaux des eaux de 14 fleuves importants se retrouvent dangereusement élevés. Même la capitale Dhaka est touchée. Ces inondations sont les pires connues par ce territoire depuis près de 20 ans : elles font une soixantaine de morts et plus de 4 millions de personnes déplacées. 1,5 million d'enfants se retrouvent exposés à un risque accru de maladies d'origine hydrique. Rapport du GIEC et experts confirment que le changement climatique augmente la fréquence, la violence et l'imprévisibilité de la montée des eaux dans le pays. En affinant les études d'impact, Swot pourra contribuer à définir des scénarios d'adaptation pertinents pour les populations.



EN IMAGES



ENJEUX GÉOPOLITIQUES : LAC TCHAD

De 1970 à 1980, le lac Tchad a perdu 90 % de son eau, selon ce qu'indiquaient les suivis de l'évolution du lac de l'époque. Mais les mesures étaient alors parcellaires, intermittentes, voire biaisées ou partiales, du fait d'une gestion transfrontalière. Des décennies plus tard, des études basées sur des mesures spatiales continues et répétitives, menées par le CNES et l'IRD¹, montrent que ce réservoir ne s'assèche plus ; au contraire, sa surface et sa capacité de stockage augmentent depuis 2003. L'état des lieux est encourageant d'un point de vue hydrologique et vital d'un point de vue géopolitique sur un territoire fragilisé par les conflits. Swot, grâce à la mesure des rivières alentour, permettra un suivi dans le temps de la recharge du lac.

1. Institut de recherche pour le développement.



EN CHIFFRES

Early adopters



Nouvelle technologie, nouveaux types de mesures. Pour préparer les utilisateurs potentiels aux futurs produits de Swot, la NASA et le CNES ont fédéré en 2018 une communauté d'Early Adopters. Ces « utilisateurs précoces » ne sont pas des scientifiques, mais bien des usagers appelés à tirer très concrètement bénéfice de Swot.

En pratique et en fonction de leur problématique, les Early Adopters associent des données simulées de Swot à d'autres indicateurs à leur disposition. Ils peuvent ainsi mesurer la plus-value de ces futures données. Leurs observations nourrissent des échanges et permettent des ajustements importants. Ainsi, le temps de mise à disposition des données a pu être raccourci et ramené de 45 à 3 jours. Autres exemples : les Early Adopters de l'institut de technologie de Bombay¹ ont intégré des mesures Swot et Sentinel-1 dans une carte de prévision d'inondations ; la Compagnie nationale du Rhône (CNR) a également utilisé des mesures simulées de Swot pour des bilans énergétiques en relation avec l'hydroélectricité et la prévision de navigabilité de fleuves peu instrumentés.

1. Indian Institute of Technology Bombay.

AQUAWATCH AUSTRALIA



Initié par la CSIRO¹ en collaboration avec SmartSat CRC, divers organismes nationaux et internationaux dont des agences spatiales, AquaWatch

Australia va assurer le suivi de la qualité des eaux continentales et côtières australiennes. Ce dispositif de prédiction va mesurer des variables aquatiques clés et fournir une alerte précoce des événements extrêmes. Il surveillera et informera sur les écosystèmes menacés, la qualité des eaux intérieures et côtières ainsi que les conditions d'habitat. Ce service national d'information contribuera à aider les utilisateurs finaux – gestionnaires de l'eau, industriels, etc. – à la prise de décision.

1. La CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation – est l'agence scientifique nationale australienne.

4

L'EAU, SON ACCÈS, SA GESTION SONT AU CŒUR DES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD) définis par l'Agenda 2030 de l'ONU.

La mission Swot va contribuer à l'atteinte de 4 de ces 17 objectifs retenus par la France. L'inventaire des eaux de surface, l'évaluation des stocks, le suivi régulier de la quantité fourniront en temps réel des données concrètes pour « garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement » (ODD 6). Swot complétera les données spatiales déjà disponibles pour veiller à la conservation des ressources marines, contrôler les zones de pêche, etc. (ODD 14). Plus marginalement, il aidera à « garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables » : une gestion étroite des barrages et de leur capacité est nécessaire à la production d'énergies plus durables comme l'hydroélectricité (ODD 7). Enfin, en étudiant les interactions océan/atmosphère à fine échelle, Swot va contribuer à « prendre d'urgence des mesures de lutte contre les changements climatiques » (ODD 13).

AI4Geo

COMMENT TIRER parti du foisonnement des données géospaciales et mieux les valoriser ?

Soutenu par le Programme d'investissement d'avenir, AI4Geo est un programme R&D coordonné par CS Group. Le CNES, l'IGN et l'Onera y participent en fournissant données spatiales et expertise. L'objectif : automatiser la production d'information géospaciale. Pour y parvenir, AI4Geo mise sur l'intelligence artificielle pour transformer les données satellitaires en cartes 3D extrêmement précises. En parallèle aux travaux de recherche, AI4Geo développe des démonstrateurs applicatifs dont certains, dédiés au cycle de l'eau, sont portés par CLS.



LE CNES EN ACTIONS

PLONGÉE

DANS LE CYCLE DE L'EAU

DEPUIS DES DÉCENNIES, AVEC TOPEX-POSÉIDON, JASON, MEGHATROPIQUES, PLÉIADES, SENTINEL, CFOSAT, LE CNES OBSERVE LA TERRE DANS TOUTES SES COMPOSANTES. DE LA R&D AUX APPLICATIONS, IL A CONÇU, PORTÉ, SOUTENU DE NOMBREUX PROGRAMMES SCIENTIFIQUES.

UNE NOUVELLE FOIS, AVEC SWOT, LE CNES ET LA NASA VONT CONTRIBUER À UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DU CYCLE DE L'EAU EN APPORTANT LES PREMIÈRES MESURES MONDIALES À HAUTE RÉOLUTION DE LA SURFACE GLOBALE DES OCÉANS ET DES EAUX CONTINENTALES. MAIS SEUL, SWOT NE PEUT PAS TOUT FAIRE : SES DONNÉES SERONT INTÉGRÉES À CELLES D'AUTRES CAPTEURS. UNE ALCHEMIE DÉLICATE QUE LE CNES S'EST ATTACHÉ À RENDRE POSSIBLE.



LE CNES EN ACTIONS



ans les années 2000, le comité des programmes scientifiques (CPS) du CNES a tracé les lignes du futur et porté sa priorité sur une mission

« d'observation de l'eau de la surface planétaire dédiée, en particulier, aux eaux continentales, à leur inventaire et à leur dynamique ». Concorde de temps et d'idées, de l'autre côté de l'Atlantique, le Decadal Survey, son homologue américain, était sur la même ligne. Dix ans après leur collaboration sur Topex-Poséidon, le CNES et la NASA signent un nouvel accord de mise en œuvre en septembre 2010. Avec une ligne rouge claire : il n'est pas question de reproduire Topex-Poséidon, il faut une rupture technologique pour préparer l'avenir ! La rupture attendue est apportée par l'altimétrie interférométrique à large fauchée. Précédemment testée puis délaissée par l'agence spatiale américaine, elle est réinvestie. L'instrument principal KaRIn, un interféromètre radar en bande Ka¹ (cf. p. 27), porte la largeur de surface couverte – la fauchée – à 120 km et gé-

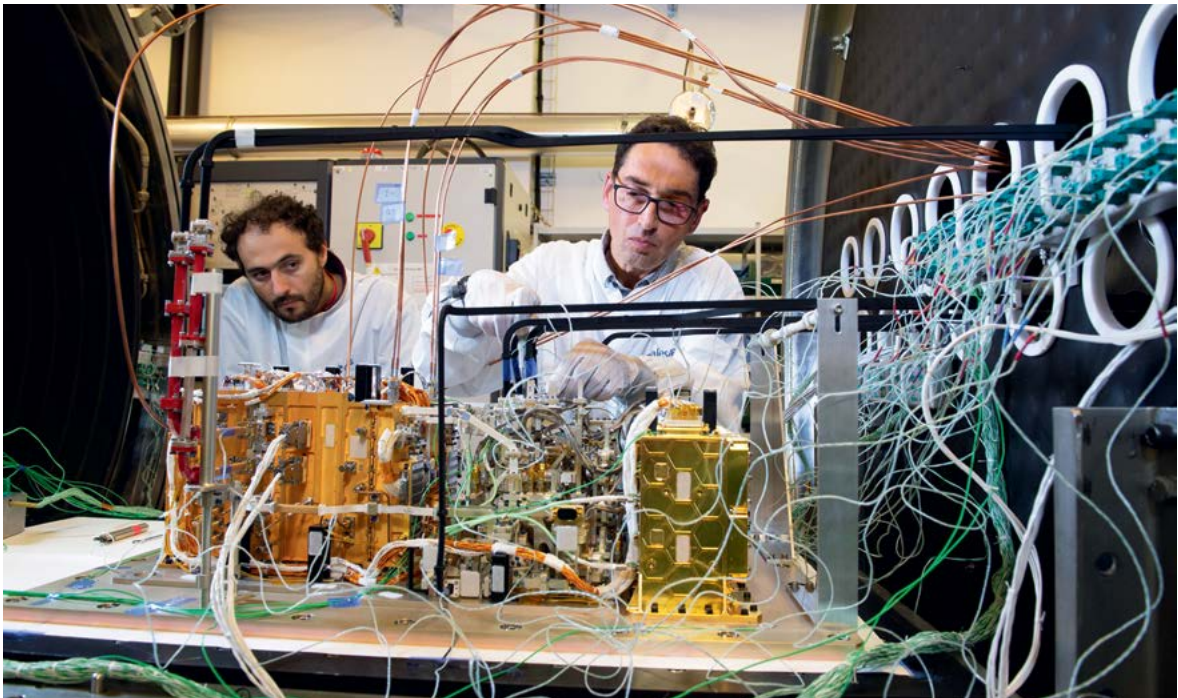


Une centaine de scientifiques en France et plus de 300 à l'échelle internationale se sont mobilisés pour apporter leur contribution à la mission Swot considérée, avant même son lancement, comme « révolutionnaire ».

nère un gain de résolution multiplié par 10 par rapport aux technologies existantes.

LA DONNÉE, MAÎTRISE ET EXCELLENCE

Prestigieuse, cette mission est aussi onéreuse. Son coût final est estimé à 1 milliard de dollars, dont environ deux tiers seront pris en charge par la NASA. Soutenu par le Programme d'investissement d'avenir, le CNES apporte, outre sa contribution financière, son expertise et celle de ses partenaires (voir p. 6). Très concrètement, un réseau dense de stations terrestres fera le lien avec Swot. Le centre de contrôle implanté à Toulouse va suivre et vérifier le bon déroulement de la mission. « *Mais notre force tient aussi à notre savoir-faire dans la gestion de la donnée, explique Thierry Lafon, chef de mission Swot au CNES. Swot va générer un volume vertigineux de données qu'il faut recueillir, traiter, stocker, diffuser.* » La compétence du CNES est là encore un atout dans les négociations. La NASA fournit l'instrument principal de la charge utile, KaRIn. D'autres instruments sont appor-



Intérieur de l'unité de radiofréquence (RFU), contribution française à l'instrument KaRIn.



LE CNES EN ACTIONS

tés par les agences spatiales qui collaborent aussi à Swot : un émetteur à impulsion micro-ondes de forte puissance, développé par l'agence canadienne (CSA) tandis que l'agence britannique (UKSA) contribue pour partie à l'unité radiofréquence de KaRIn.

UNE IMPLICATION DE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE

Le programme préparatoire « Swot-Aval » (voir encadré) est un autre atout de la contribution française. Le groupe Swot scientifique bénéficie de l'animation d'une communauté active de chercheurs. Hydrologues, océanographes, chercheurs du CNRS, de l'Irstea², de l'Office international de l'eau, de l'IRD, du Legos... ont, par leurs suggestions, leurs simulations, leurs modélisations, aidé à préciser le cahier des charges et ont suivi le développement de la mission. Leur rôle est majeur, en particulier dans les phases de validation et de calibration qui suivent le lancement. Au moyen de capteurs embarqués dans des navires ou sur des bouées, cette communauté scientifique va comparer les données multisources avec celles de Swot pour vérifier leur pertinence. In fine, elle va garantir aux futurs utilisateurs la fiabilité des produits Swot.

UN TREMPLIN POUR L'ÉCOSYSTÈME SPATIAL

Tout comme il a compté sur la communauté scientifique, le CNES s'est appuyé sur le tissu économique dont il est un des animateurs. « *Au travers de ces missions prestigieuses, le CNES permet aux industriels de monter en compétence et d'acquérir une visibilité sur le marché mondial* », remarque Thierry Lafon. Exemple emblématique, Thales Alenia Space (TAS) avait conçu en 1990 le premier altimètre Poséidon. Fort de cette réussite, l'industriel est désormais un des leaders mondiaux de l'altimétrie spatiale, entraînant des PME, dans son sillage : Steel Electronique, Avantis pour les structures et moyens sol, Nexeya pour les harnais électriques, Soditech pour le contrôle thermique, etc. TAS s'est vu confier la maîtrise d'œuvre industrielle de Swot. En charge de la construction de la plateforme et de l'intégration de la charge utile, il a aussi fourni l'altimètre nadir Poséidon 3 ainsi que le cœur radar de l'instrument principal de la mission.

Le premier retour sur investissement de Swot sera au bénéfice de la planète : entre la définition de la mission

Programme Aval

L'AUTRE RÉVOLUTION SWOT

La première « révolution » Swot est technologique. La seconde repose, elle, sur le programme « Swot-Aval ». Conçu très en amont, il s'appuie sur l'ensemble des données multisources (spatiales, capteurs, modèles d'hydrologie et d'océanographie, etc.). Soutenu par le Programme d'investissement d'avenir, ce programme préparatoire s'adresse aux futurs utilisateurs. Le CNES est parvenu à sensibiliser et fédérer une véritable communauté mondiale autour des données à venir. Il a fait la promotion de la mission dans de multiples forums, colloques, sommets¹, organisé des ateliers en Guyane, au Congo, mené des enquêtes de terrain, analysé les besoins. Il a encouragé des experts et des laboratoires à partager leurs connaissances. Pour Swot-Aval, des démonstrateurs ont également été développés : l'instrument aéroporté AirSwot de la NASA a réalisé des mesures interférométriques assimilables aux mesures Swot et complétées par de nombreux simulateurs de données. Un portail sur l'hydrologie a été construit, dans le cadre de la plateforme Theia, le pôle d'accès aux données spatiales d'observation de la Terre. Les différents utilisateurs – agences de bassin, industriels, agriculteurs, etc. – peuvent y retrouver tous les observables dans le domaine de l'hydrologie. Enfin, Swot-Aval se projette vers l'avenir. Réunis au sein de groupes de travail, les différents acteurs concernés — laboratoires, scientifiques, acteurs publics et privés — imaginent déjà les services et les applications à valeur ajoutée qui suivront le lancement de Swot.

1. 8^e forum de l'eau à Brasilia (2018) et à Manaus 2019, Water from Space in South America à Santiago (Chili) (2018), Forum mondial de l'eau à Dakar (2022).



1,6 milliards
Plus de 20%
de la population
mondiale (soit près
de 1,6 milliards
d'habitants) vit à moins
de 30 km des côtes.

en 2010 et son lancement, le réchauffement climatique s'est emballé. Le dernier rapport du GIEC³ est, là-dessus, formel. En croisant les données qu'il va recueillir des autres sources d'information, Swot va nourrir la connaissance scientifique qui pourra ainsi éclairer l'action publique. On peut aussi s'attendre au développement rapide d'applications citoyennes utiles à la surveillance écologique et climatique de la Terre.

1. Bande de fréquence utilisée par l'Internet par satellite.

2. Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

3. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

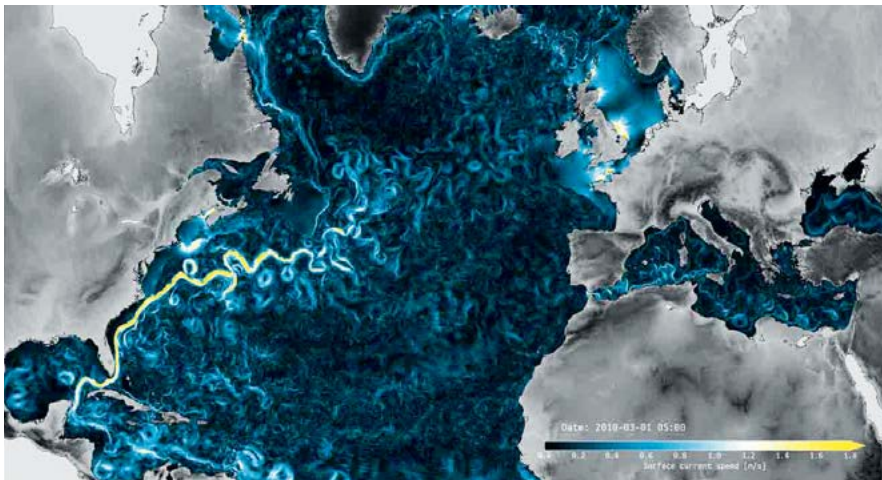


LE CNES EN ACTIONS

Océanographie

LE DIABLE EST DANS LES DÉTAILS

Trente ans d'altimétrie ont offert aux océanographes une vision globale du fonctionnement de l'océan. Mais des zones d'ombre subsistent sur lesquelles Swot pourrait lever le voile.



Ce modèle océanique à très haute résolution développé par les équipes de l'université de Grenoble (labo IGE) donne une vision de la dynamique de l'océan (grands courants, tourbillons, marées internes, etc.). Il permettra d'analyser la qualité des données de Swot en orbite.

RENTREZ DANS L'INTIMITÉ DES TURBULENCES

Les missions successives – Jason-1-2-3, Sentinel-3 de Copernicus¹ – ont bien détecté les grands tourbillons énergétiques de plus de 100 km de diamètre, et leur incidence sur le brassage de la température, la salinité, la qualité de l'eau... Mais aujourd'hui, la situation climatique à l'échelle planétaire pousse à l'urgence et à aller plus loin dans l'investigation. « Il est vital de comprendre ce qui se passe au sein de plus fines échelles² ou des méso-échelles³ », constate

La circulation océanique est un moteur climatique. L'océan absorbe plus de 90 % de l'excès de la chaleur atmosphérique liée au réchauffement climatique. Mais plus de 50 % du transfert vertical est porté par les processus océaniques à fine échelle. Or ces phénomènes sont aujourd'hui difficiles à observer. « L'altimétrie classique nous a fait progresser dans la connaissance du relief des océans, des zones de haute et basse pression et dans la circulation océanique globale, remarque Rosemary Morrow du Legos, responsable scientifique en océanographie de Swot. Les grands phénomènes – Gulf Stream, El Niño – et les grands tourbillons océaniques ont pu être observés ; on connaît leur fonctionnement. »



litres,
c'est le volume total estimé d'eau sur Terre, contenu à 97% dans les océans.

la scientifique. Car le diable, comme souvent, est dans les détails : c'est au cœur de ces petites sections qu'on pense trouver l'origine de certains dérèglements et mieux comprendre des mécanismes inobservables jusque-là – turbulences, filaments, petits tourbillons ou zones de friction. D'un point à l'autre de l'océan, des différences dans la hauteur de surface affectent aussi la circulation océanique et le climat de la Terre. Comment ces petits phénomènes se produisant sur une dizaine de kilomètres peuvent-ils avoir de grandes conséquences sur la circulation océanique à l'échelle planétaire, impacter les évolutions saisonnières à l'autre bout de la Terre ? Et entre eux, quelles interactions ont-ils ; quels rôles pour le mélange océanique et le pompage de l'eau à la verticale ? Et quelle influence ont-

ils dans le transport du carbone, des nutriments ou la dispersion en surface et en profondeur des polluants ? Les chercheurs ont des questions, Swot leur fournira des informations pour évaluer les impacts sur les cycles biogéochimiques, les micro-organismes, le plancton, etc.



DE LA MODÉLISATION À L'ASSIMILATION

Les réponses apportées par Swot prendront la forme de données. La mission fournira aux chercheurs des mesures complémentaires, nouvelles, en particulier une résolution améliorée d'un facteur 10 et des images 3D. Ces observations vont aussi pouvoir, très rapidement, profiter à des services opérationnels d'évaluation du climat. Les organismes de prévision de l'océan global comme Mercator Ocean ou le programme d'observation de la Terre de l'Union européenne CMEMS⁴ sont intéressés au premier chef. À condition toutefois de pouvoir intégrer et assimiler les données Swot aux

10,2

millions de km²
d'espaces maritimes
font de la France
le deuxième
domaine maritime
mondial, après les
États-Unis.

produits d'altimétrie conventionnelle. Une exigence qui est en bonne voie d'être satisfaite. Les premières simulations ont eu lieu et leurs résultats sont rassurants. Les données Swot seront bien intégrables et intégrées dans les modèles climatiques existants. Elles pourront ainsi, très concrètement, améliorer les modèles de circulation océanique pour, in fine, mieux prédire les conditions météorologiques et climatiques.

1. Programme de l'Union européenne de surveillance du climat.
2. Fines échelles : d'environ 1 à 50 km.
3. Meso-échelles : de quelques kilomètres à moins de 2 000 kilomètres.
4. Copernicus Marine Environment Monitoring Service.

interface air/mer

VENT/VAGUES, UN COUPLE INFERNAL



Grâce à Swot, les océanographes vont plonger leur regard au cœur des turbulences océaniques. Mais le satellite est aussi complémentaire d'une autre mission d'importance, cette fois franco-chinoise, Cfosat, qui s'intéresse au couple vent/vagues. Lancée en 2018, elle embarque deux radars. Conçu au CNES et fabriqué par TAS, Swim¹ mesure la longueur, la hauteur et la direction des vagues. Sous responsabilité chinoise, Scat² mesure, quant à lui, l'intensité et la direction des vents. Les données des deux missions Swot/Cfosat vont permettre de mener un travail de recherche sur l'interface air-mer, essentielle pour mieux comprendre les observations spatiales de la température et la salinité de l'eau, des courants, du flux air-mer, mais aussi pour mieux prévoir les phénomènes extrêmes, au large comme près des côtes. Le fonctionnement de la machine climatique ne pourra être compris que par le croisement de données multisources (Smos, Sentinel-1A-1B, Cfosat, Swot, etc.).

1. SWIM- Surface Waves Investigation and Monitoring.
2. Wind SCATerometer.

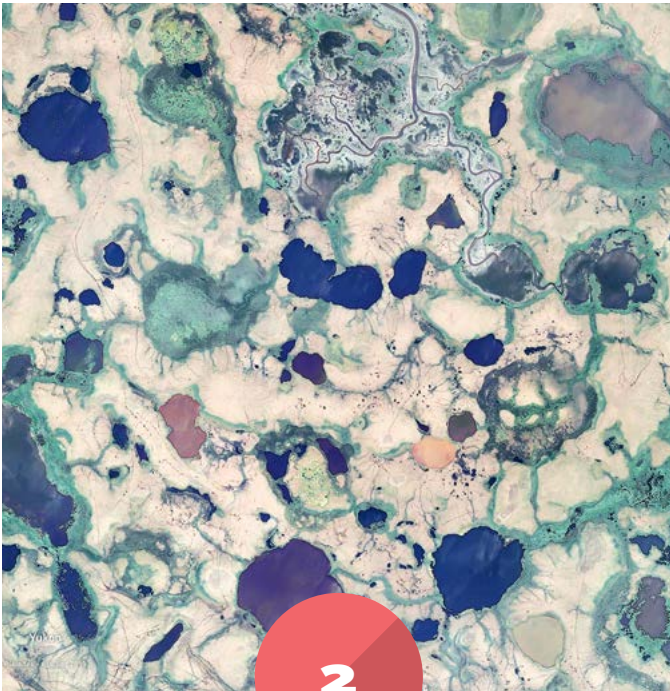


Hydrologie

PUISER L'INFORMATION À LA SOURCE

Va-t-on manquer d'eau ? Se dirige-t-on vers un déficit hydrique de 40 % dès 2030 ? Pour le savoir, il est indispensable de quantifier et de mesurer précisément la précieuse ressource, pour mieux la gérer. L'hydrologie manquait de moyens d'investigation : Swot va les apporter.

Le Yukon, territoire du nord-ouest canadien peuplé de lacs glaciaires et de montagnes enneigées.



2

millions

C'est le nombre de lacs que mesurera Swot, soit les 2 millions plus grands des 120 millions de lacs de plus de 0,2 hectares répartis dans le monde.



n juillet 2010, l'assemblée générale des Nations unies faisait de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement un droit fondamental.

Pourtant, il reste difficile de transformer ce droit en réalité. Car l'hydrologie ne sait pas quantifier précisément l'eau présente partout sur Terre. Si les grands volumes sont connus, comment mieux répartir l'eau des sources, des lacs, des rivières, des fleuves, des étangs, des zones humides ? Celle des glaciers, des couverts neigeux ou des nappes souterraines ? Les masses se déplacent, se transforment, disparaissent... Comment établir un inventaire exhaustif de la ressource pour mieux la partager ?

UNE PROBLÉMATIQUE À ENTRÉES MULTIPLES

Jusqu'ici, la résolution des satellites altimétriques était insuffisante pour disposer d'une observation fine ou d'un inventaire précis partout dans le monde. « *Le Canada, pays développé et stable, dispose de plusieurs centaines de milliers de lacs, soit près de 20 % de l'eau douce de la planète*, remarque Jean-François Cretaux, chercheur au Legos¹. *Combien exactement ? Aucun hydrologue canadien ne le sait !* » Et ce n'est pas le seul problème pour contrôler l'or bleu : « *L'océan hauturier (au large) est une masse d'eau globalement circonscrite qui n'appartient à personne*, poursuit-il, *tandis que les eaux continentales sont dispersées, disparates et appartiennent à des pays qui gèrent ensemble tout ou partie des bassins avec plus ou moins de consensus.* » Ainsi le bassin du Rhin répartit ses eaux entre pas moins de sept pays², et un comité de bassin international partage analyses et informations. À l'opposé, sur des bassins comme le Nil, le Tigre et l'Euphrate, ou certains grands fleuves d'Asie, la géopolitique transfrontalière joue les fauteurs de troubles. Autre difficulté pour inventorier ces eaux en surface, elles émanent de sources multiples et inconstantes : « *La pluie n'est pas seule à approvisionner les rivières* », souligne le chercheur, pointant l'interconnexion complexe des masses d'eau de surface.

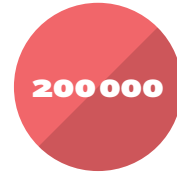
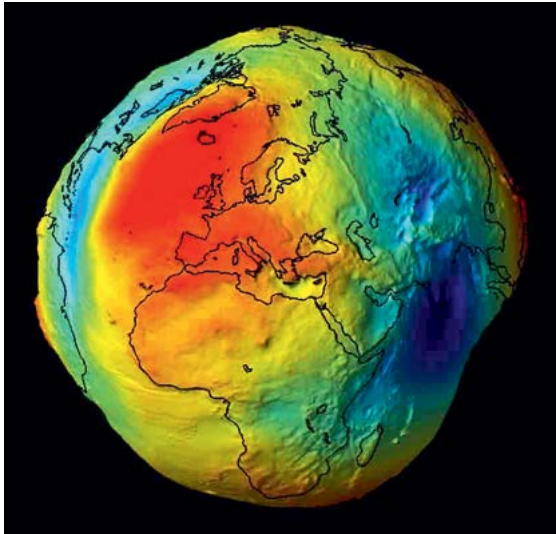


Grace et Grace Follow-on

SUIVRE LES EAUX SOUTERRAINES

Depuis vingt ans, les hydrologues appuient leurs estimations du volume global des masses d'eau sur les missions de gravitométrie des satellites *Grace*¹ (2002) et *Grace Follow-on* (2018) de la NASA et du GFZ². Pour déterminer le champ gravitationnel du globe, deux satellites volent en tandem sur une même orbite, à 500 km d'altitude, et se suivent à une distance de 220 km. Une liaison micro-onde mesure très précisément leur écart avec une précision de quelques microns. Au cours de nombreux passages, le tandem effectue des mesures détaillées de la gravité terrestre. Cette mesure en continu des variations du champ gravitationnel de la Terre donne des indications précises sur la répartition et les mouvements des masses d'eau, leur évolution, y compris en sous-sol. Ces missions permettent ainsi aux scientifiques de « voir sous la Terre » et de mesurer par exemple les variations d'humidité des sols, les stocks d'eaux souterraines, etc. Les résultats obtenus montrent qu'un tiers des principales réserves souterraines d'eau douce diminue rapidement en raison des prélèvements exercés. Il reste à déterminer si l'état des stocks peut supporter cette pression. *Grace* et *Grace Follow-on* restent des missions centrales pour l'étude du cycle de l'eau.

1. Gravity Recovery And Climate Experiment.
2. Centre allemand de recherche sur les sciences de la Terre (GFZ).



200 000

Les fleuves

de plus de 100 m de large pourront être surveillés tronçon par tronçon; on estime à 200 000 le nombre de tronçons de 20 km que Swot pourra observer sur l'ensemble des continents.

LES DONNÉES SPATIALES EN ARBITRE

Swot va « apporter un maillon essentiel pour comprendre tout ce qui se passe en surface », insiste Jean-François Cretaux, le responsable scientifique (PI) de *Swot* pour l'hydrologie. Il va sonder 90 % des eaux de surface de la Terre, suivre les fleuves, cartographier les lacs, les réservoirs, plans d'eau et ce par n'importe quel temps. Ces données délivreront plusieurs types de produits (voir p. 28). « Grâce aux revisites, nous allons avoir, simultanément de façon globale, répétitive et quantitative, une mesure des niveaux d'eau, une évaluation des stocks, des débits des rivières, de l'étendue de plans d'eau... Autant de données qui manquaient et qui, sans *Swot*, auraient nécessité de combiner plusieurs missions. »

Véritable pierre angulaire pour les hydrologues, la mission *Swot* fournira des éléments tangibles et incontestables. Dans les situations transfrontalières tendues, elle pourrait favoriser l'adoption des mesures objectives pour désamorcer des conflits. Avant même son lancement, *Swot* suscite l'engouement. À Madagascar où l'IRD, le CNES et le Legos menaient récemment des campagnes de calibration en prévision du lancement du satellite, les gestionnaires de bassin étaient formels : « Pour nous, c'est un espoir ! » Leurs ingénieurs sont impatients de se former au traitement des données *Swot*. À l'échelle mondiale, la mission aura des répercussions très concrètes dans de nombreux domaines : prédiction des crues, gestion de la ressource pour la consommation d'eau potable, l'irrigation, la navigation fluviale, la production d'énergie hydroélectrique, etc.

1. Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales.
2. Suisse, Autriche, France, Allemagne, Luxembourg, Belgique et Pays-Bas.



La baie d'Authie vue par le satellite Pléiades. Une partie du territoire de la baie d'Authie (Côte d'Opale) a été acquise, entre 1986 et 2003, par le Conservatoire du littoral. Comme tous les estuaires, c'est une zone de nourricière pour les organismes marins mais son trait de côte est vulnérable à cause de la montée de la mer, des submersions lors des tempêtes, et localement de l'ensablement ou de l'envasement.

Littoraux

ATTENTION ZONES SENSIBLES

À l'interface entre la Terre et l'océan, les eaux littorales sont le théâtre d'épisodes climatiques violents soumettant à risques les populations. Les missions d'altimétrie conventionnelles peinent à informer sur ces zones de transition car leur signal est dégradé à l'approche des côtes. La mission Swot va changer la donne.



es zones côtières ont de tout temps concentré populations et activités économiques. D'une grande diversité, battues par les vents et les marées, les plages de sable, les lignes de fa-

laises, les baies, deltas, estuaires, marais, mangroves et les écosystèmes riches qu'elles abritent sont vulnérables à un dérèglement climatique qui s'accélère.

Les scientifiques n'ont pas attendu Swot pour observer leur évolution et assurer leur protection : ils ont mené des campagnes de « *mesures in situ* mais elles sont, forcément, partielles et ne donnent pas une vision globale et complète d'un littoral. D'autant que ces zones sont complexes : formes, nature, hydrodynamique, tout les différencie », dit Benoît Laignel qui coordonne les travaux de l'équipe scientifique (ST - Science Team) de Swot sur ces environnements.

Grâce à une couverture spatiale par altimétrie radar à large fauchée, les scientifiques vont bénéficier d'infor-



km.
C'est le recul littoral français, dont 270 km à une vitesse moyenne de 50 cm par an.

mations clés : cartographie complète à l'échelle mondiale, connaissance sur l'élévation du niveau des mers, spatialisation des hauteurs d'eau sur tous les pays...

« *Même pour des phénomènes difficilement prévisibles comme les tempêtes, nous aurons des informations* », précise Benoît Laignel. Les simulations le montrent déjà.

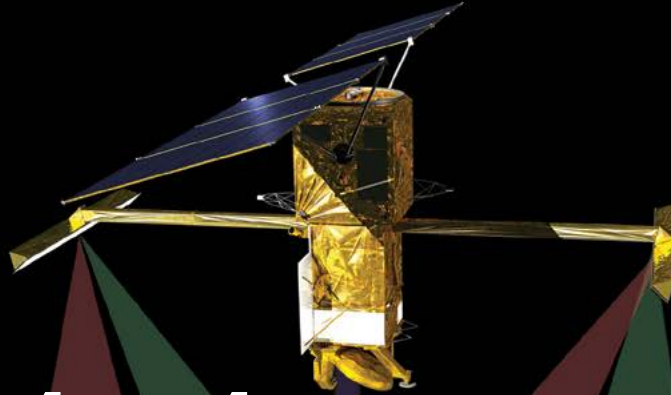
DES SIMULATIONS SUR SITES PILOTES

La ST a mené plusieurs projets scientifiques supportés par le CNES (programme du groupe Tosca¹). En miroir, la NASA a soutenu un projet dans le delta du Mississippi (programme Roses²). De part et d'autre de l'Atlantique, 16 sites pilotes sont étudiés. Leur éventail témoigne de la diversité des milieux : estuaire du Saint-Laurent (Canada), estuaire du Sénégal, estuaires de la Seine et de la Gironde ou encore côtes normandes en France. Après le lancement de Swot, des mesures seront réalisées pour calibrer et valider les données du satellite sur plusieurs sites côtiers, dont ceux de Normandie (mesures in situ par bateaux, drones et aéroportées). Combinées aux données multisources (caméra, drone vidéo et infrarouge, lidar aéroporté, altimètre in situ, données issues d'autres satellites en imagerie et altimétrie, etc.), celles de Swot apporteront une vision multi-échelle des processus hydrométéo marins et une meilleure compréhension de l'hydrodynamique côtière et de l'évolution morphologique et sédimentaire de ces environnements. Ces travaux ont aussi inspiré un programme, labellisé par le SCO mené sur le littoral de Saint-Louis du Sénégal pour protéger les écosystèmes côtiers menacés par le dérèglement climatique.

1. Groupe Terre solide, océan, surfaces continentales et atmosphère.
2. Research Opportunities in Space and Earth Sciences.



MATIÈRE



Les atouts de KaRIn

RÉVOLUTIONNAIRE, L'ALTIMÉTRIE INTERFÉROMÉTRIQUE À LARGE FAUCHÉE S'APPUIE SUR LE RADAR IMAGEUR KaRIn. Cet instrument de nouvelle génération dispose de deux antennes, à chaque extrémité d'un mât de 10 m. L'une des antennes envoie des impulsions, alternativement à gauche et à droite de la trace du satellite. En retour, les réponses parviennent aux deux antennes. Ce dispositif permet de constituer deux images complexes de la surface. Le calcul de la hauteur de l'eau en chaque point de l'image est obtenu à partir de la différence de phase entre elles. Grâce à ce procédé, une largeur, dite « fauchée », d'environ 50 km¹ est couverte de chaque côté. Du sondage le long de la trace du satellite en altimétrie nadir, on passe ainsi à l'imagerie 3D à large fauchée avec Swot. Concrètement, cette technologie améliore la résolution et la couverture des données et étend les mesures altimétriques des océans aux surfaces d'eau continentales.

1. Les deux fauchées de 50 km de large, situées à gauche et à droite, sont séparées par une distance (ou une trace) de 20 km à la verticale du satellite offrant une largeur totale de couverture de 120 km.





I N S T A N T S T



1

INSTRUMENTATION UNE CHARGE UTILE INNOVANTE

Swot embarque deux altimètres. Le premier, Poséidon 3, est conventionnel ; il fournit une mesure à la verticale sous le satellite.

Le second, KaRIn, totalement novateur, est un radar interférométrique à large fauchée (cf. p. 27). Grâce à ses deux antennes, il analysera une surface d'une largeur de 120 km. Relayé par un réseau de 50 stations terrestres, le système Doris, de localisation par effet Doppler, fabriqué par Thales Alenia Space garantira, lui, des mesures de trajectoire ultra-précises. Un radiomètre micro-ondes, un GPS de précision et un ensemble de réflecteurs lasers complètent la charge utile. Le satellite assurera une revisite, sur le même point du globe, tous les 21 jours et fournira des images 3D.

2

HYDROLOGIE UN ÉTAT DES LIEUX DES FLEUVES

Swot va assurer le suivi des fleuves de largeur supérieure à 100 m et fournir plusieurs types de « produits » :

- « Tronçon par tronçon » : Sur des tronçons de 10 km prédéfinis et enregistrés dans une base de données, Swot produira des mesures de hauteur de la rivière, de pente et de largeur qui seront utilisées pour déterminer les débits.
- « Cycle » : un fleuve peut être observé jusqu'à 4 fois par cycle de 21 jours. Pour chaque tronçon, le produit « cycle » compilera les informations disponibles sur l'ensemble du cycle (hauteur, largeur, pente, débit).



NOUVELLE TECHNOLOGIE, NOUVELLES DONNÉES, NOUVEAUX PRODUITS, SWOT EST LA PREMIÈRE MISSION DÉDIÉE AUX SURFACES HYDROCONTINENTALES ; ELLE SCRUTERA ÉGALEMENT L'OCÉAN ET LES SURFACES CÔTIÈRES. TOUR D'HORIZON DE SES FUTURES APPLICATIONS.

3

STOCKS D'EAU UNE SURVEILLANCE DES LACS

Swot observera les lacs, zones humides ou réservoirs d'une dimension de 250 m x 250 m. À terme, la performance visée est de 100 m x 100 m.

Le « single pass », obtenu après un passage unique, donnera des mesures de superficie, de hauteur d'eau et d'évolution du stock d'eau.

Un utilisateur qui dispose du relief du fond d'un lac (bathymétrie) pourra en déduire la valeur absolue de son stock d'eau et de ses variations.

Un lac peut être observé partiellement lors d'un passage ; l'observation sera complétée lors du passage suivant pour donner un produit « moyenne/cycle » qui indiquera la hauteur et la superficie moyenne par cycle de 21 jours.

4

OCÉANOGRAPHIE UNE NOUVELLE APPROCHE DES OCÉANS

Sur l'océan, Swot va poursuivre les missions des satellites d'océanographie en se concentrant à une échelle spatiale fine (méso et sous-méso) sur des mécanismes dont le rôle reste encore méconnu. Grâce à la vision bidirectionnelle et une résolution améliorée d'un facteur 10, il va proposer des produits de résolution 2 km x 2 km sur une largeur de 60 km. Des produits dits « experts » pourront également être extraits avec une résolution de 500 m x 500 m.

Ces produits seront fournis aux utilisateurs avec les données d'accompagnement nécessaires à leur traitement : informations géographiques, biais d'instruments, données géophysiques, météorologiques, etc.



RENCONTRES

KAREN ST. GERMAIN

Directrice Observation de la Terre à la NASA

« La collaboration entre la NASA et le CNES va au-delà de la somme de nos expertises. »



En 1665, St. Germain, un soldat français, débarquait en nouvelle France depuis sa Dordogne natale. Neuf générations plus tard, sa descendante, Karen St. Germain, dirige l'observation de la Terre à la NASA et se réjouit de travailler avec l'agence spatiale française. « **Nos deux agences se complètent et ont en commun le goût de l'excellence et l'engagement de leurs professionnels** », souligne-t-elle, évoquant les liens qui se sont tissés entre les deux équipes en trente ans de coopération. Sa passion pour l'espace est née en même temps que son intérêt pour l'environnement. Étudiante, elle traversait les ouragans à bord d'un avion de l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique

pour étudier les vents marins. En 1992, pour le lancement de **Topex-Poséidon, la première mission altimétrique franco-américaine**, elle participait à la calibration des instruments depuis l'île-Norfolk, dans l'océan Pacifique. « *Trente ans plus tard, avec Swot, le CNES et la NASA s'apprêtent à lancer une nouvelle mission qui va révolutionner notre manière de considérer notre planète. Nous allons disposer d'une résolution dix fois supérieure à ce que proposent les technologies actuelles pour mesurer la hauteur des océans et comprendre comment les fronts et les tourbillons océaniques influent sur le climat. Enfin, nous allons améliorer nos modèles et nos capacités prédictives* », se réjouit-elle.

Pour elle qui, depuis l'enfance, s'attache à résoudre les problèmes, **le changement climatique est un vrai défi**. « *Je souhaite contribuer aux solutions. Les décisions à prendre doivent se fonder sur la science* », indique Karen St. Germain. Particulièrement enthousiasmée à l'approche du lancement, la directrice de l'observation de la Terre outre-Atlantique, n'oublie pas les autres missions franco-américaines telles Calipso qui, depuis quinze ans, observe les nuages et les aérosols. « *La signature à Washington des accords d'Artemis par Philippe Baptiste, le jour des 60 ans du CNES, montre que nos deux pays partagent une même vision, qui va continuer à guider l'exploration spatiale* », conclut-elle.



RENCONTRES

GUILLAUME CHOISY

Directeur de l'agence de l'eau Adour-Garonne

« Le déficit en eau du bassin Adour-Garonne représentera plus de la moitié de la consommation annuelle. »



Notre pays compte six agences de l'eau. Toutes guidées par un grand principe : l'eau paie l'eau. « Nous collectons les redevances auprès de ceux qui utilisent de l'eau ou en altèrent la qualité (ménages, collectivités, industriels, agriculteurs...) et nous redistribuons les recettes auprès des acteurs du territoire, explique Guillaume Choisy, directeur de l'agence de l'eau Adour-Garonne. Cet argent sert à financer des actions de préservation des milieux aquatiques et contribue à l'adaptation au changement climatique des territoires sous notre responsabilité. » Une mission qui n'a rien d'évident quand on couvre **26 départements** répartis sur la Nouvelle-Aquitaine, l'Occitanie et une partie de l'Auvergne-

Rhône-Alpes avec des contextes géographiques et socio-économiques très différents. « **Mais tous sont concernés par le dérèglement du climat** et les perspectives ne sont pas réjouissantes. » En 2050, le déficit en eau pourrait atteindre 1,2 milliard de m³ par an sur l'ensemble du bassin, soit plus de la moitié de la consommation actuelle. Les causes sont connues : évapotranspiration accélérée, périodes pluvieuses plus courtes, nappes bloquées par les sols asséchés, etc. Pour faire face, l'agence de l'eau s'est dotée l'an dernier d'un nouveau schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux. Elle approfondit aussi ses connaissances, et c'est là que les satellites entrent en scène. « Nous utilisons déjà la

télé-détection pour calibrer les volumes d'eau présents dans les retenues et **grâce à Swot, nous connaissons mieux les variations des niveaux des lacs et des cours d'eau.** À l'avenir, nous comptons aussi sur les satellites pour observer les cyanobactéries et pour détecter certaines molécules présentes dans les rivières. » Autant de données précieuses qui sont, dès que possible, transformées en actions. « **Ainsi, nous allons bientôt recevoir deux fois par jour des images qui permettront d'évaluer les réserves en eau contenues dans les sols.** Nous voulons transmettre ces informations aux agriculteurs afin qu'ils puissent moduler et orienter l'irrigation en fonction des besoins réels. »



RENCONTRES

JEAN-BAPTISTE VOISIN

Directeur de GLS Indonésie

« Les balises satellites nous aident à traquer les déchets plastiques en mer. »



L'histoire d'amour entre Jean-Baptiste Voisin et les satellites a germé il y a plus de vingt ans sur les bancs d'ISAE Supaero. Mais dès la fin de son projet de fin d'études chez Astrium, le jeune homme s'envole vers l'Indonésie pour une coopération dans le domaine des télécommunications. Exit les satellites. « *Au bout de 15 ans, une candidature chez CLS ravive la flamme. En 2017, me voici directeur de la branche indonésienne.* » Présent depuis 2004 dans l'archipel, l'opérateur historique du réseau Argos mène alors de nombreux projets avec le gouvernement indonésien : traque de la pêche illégale, suivi de la biodiversité, météorologie marine... La filiale du CNES ajoute une nouvelle corde à son arc, la surveillance de la

pollution plastique. « *L'Indonésie est le deuxième pollueur plastique au monde et j'ai des souvenirs très vifs des tapis de déchets qui flottaient à la surface des rivières il y a une dizaine d'années.* » **L'État s'est engagé à réduire de 70 % la pollution d'ici à 2025**, avec des mesures d'éradication à la source et d'autres destinées à éviter les déversements en mer, mais les déchets sont difficiles à repérer. La solution viendra aussi des balises Argos. « *Depuis 2020, nous avons largué 70 balises dans plusieurs rivières du pays afin d'observer leurs trajectoires en partant du principe qu'elles se comportent en partie comme des déchets. En conjuguant les données de suivi à un modèle de dérives de particules, on obtient*

des simulations qui permettent de décider d'actions correctives, installations de barrages ou campagnes de collecte. » Dans les mois qui viennent, ce projet pourrait connaître de nouveaux développements : partenariat avec SeaCleaners, initiatives similaires dans d'autres pays, nouvelles balises. « *Parallèlement, nous continuons à affiner nos outils de modélisation qui servent également au suivi des équipements de météorologie marine ou des pollutions aux sargasses. La future mission Swot promet de très belles avancées dans la compréhension des océans, par exemple dans l'étude des tourbillons côtiers qui sont un casse-tête pour les océanographes* », conclut Jean-Baptiste Voisin.



JACQUES ARNOULD

GARDIENS DES EAUX

« La Terre est bleue comme une orange » : lorsqu'en 1929 Paul Eluard forge cette poétique formule pour célébrer son amour pour la belle Gala, il n'imagine pas qu'un siècle plus tard, la Planète bleue serait au centre de nos attentions empressées.

Bien avant que nous puissions envoyer des sondes dans l'espace pour y traquer la moindre goutte d'eau, la moindre trace des œuvres habituelles de l'eau, nous avons développé l'hypothèse et même la conviction que la présence d'eau sur une planète constituerait à la fois un indice et une condition de la présence de formes vivantes, présentes ou passées. « L'affaire » des canaux de Mars qui anima la communauté des astronomes entre la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e et qui eut une influence prolongée sur l'opinion publique en offre une célèbre illustration. L'exploration robotique de la planète rouge et du système solaire, la recherche de nouvelles exoplanètes continuent à mettre l'eau au centre de nombreuses missions d'exploration spatiale. Même s'il n'en est pas la seule explication, cet engouement pour les eaux du ciel, les eaux extraterrestres, a sans aucun doute contribué à nous rendre plus attentifs aux eaux de la Terre. À la suite du poète, mais avec les yeux de l'astronome plus que ceux de l'amoureux, nous avons compris combien notre planète bleue était singulière au sein de la petite portion d'espace qu'elle occupe. Nous avons même été capables de mesurer la quantité totale d'eau qui lui confère sa teinte particulière : le volume

d'une sphère de 1385 km de diamètre. Autrement dit, toutes les eaux terrestres – qu'elles soient océaniques, fluviales, polaires, glaciaires, atmosphériques, souterraines – ne forment qu'une grosse goutte à l'échelle de la Terre.

L'EAU EN PARTAGE

Nous nous trouvons alors dans une situation assez paradoxale. Le droit de l'espace nous invite à souscrire au principe selon lequel les corps célestes et leurs ressources (l'eau en particulier... autant qu'elle existe) appartiennent au patrimoine commun de l'humanité : nous ne devons pas nous prétendre leurs propriétaires, mais plutôt en prendre soin, en assumer la responsabilité. Tel est le statut juridique des eaux du ciel. Et celui des eaux de la Terre, elles qui existent bel et bien ? Alors que les techniques spatiales ne cessent de nous donner une compréhension toujours plus fine de leurs quantités et de leurs localisations, de leurs dynamiques et de leurs devenir, quelles mesures prenons-nous pour qu'elles deviennent davantage le patrimoine commun de l'humanité ? Nous ne sommes les maîtres ni des eaux du ciel ni des eaux de la Terre, mais nous devons impérativement en être d'amoureux et prévenants gardiens.



EN VUE

JOURNÉES ARGONAUTICA

L'EAU, DÉNOMINATEUR COMMUN

Fin mai 2022, Montpellier accueillait les rencontres Argonautica. Ce programme éducatif pour la jeunesse conçu par le CNES a démarré sous les auspices du Vendée Globe il y a vingt ans. Il se décline aujourd'hui en trois offres de projets dont l'eau reste le dénominateur commun. Grâce aux données de satellites environnementaux, les élèves du premier et du second degré étudient la biodiversité marine (ArgoNimaux), l'océanographie (ArgOcéan) ou l'impact du changement climatique sur les ressources en eau (ArgoHydro). Chaque année, à l'occasion de journées nationales, les classes participantes se retrouvent pour partager leur expérience au travers d'ateliers, de présentation de projets, de rencontres avec des scientifiques. En mai, à Montpellier, 17 classes du CM2 au lycée se sont ainsi retrouvées.



PLUS D'INFOS :

[HTTPS://ENSEIGNANTS-MEDIATEURS.CNES.FR/FR](https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr)



10 000

Organisé du 22 au 27 mars 2022,
le 9^e Forum mondial de l'eau a accueilli près
de 10 000 participants en une semaine. Il est organisé
tous les trois ans ; la première édition a eu lieu
à Marrakech, au Maroc, en mars 1997.



RÉGL'EAU

UNE EXPÉRIENCE... SUR MESURE

En lien avec l'OECS (voir p. 10), Régl'eau est une ressource mise à la disposition des enseignants par ArgoHydro. L'exercice est simple et repose sur une action à la fois pédagogique, scientifique et citoyenne : les élèves installent une règle de mesure du niveau d'eau sur un lac ou une rivière proche de leur établissement et en relèvent régulièrement les cotes. Le CNES fournit la règle et deux panneaux explicatifs du projet. Les élèves peuvent ainsi mesurer les variations saisonnières à un même endroit, comparer différents sites d'un même cours d'eau ou comparer différents cours d'eau. Les données sont ensuite centralisées sur oecsmap.org.

20

règles OECS sont actives.

Elles sont complétées par 16 règles LOCSS (fournie par la NASA) et plus de 10 microstations automatiques. Démarrée en septembre 2020, l'expérience est prévue pour durer 3 ans.

ARGOHYDRO

Le bassin Adour-Garonne, site pilote

Mis en œuvre en amont de la mission Swot, avec le soutien du CNES qui fournit méthodologie et ressources, le projet ArgoHydro mené sur le bassin Adour-Garonne mobilise élèves et enseignants. Ils s'initient au télémètre laser pour mesurer la hauteur d'eau, construisent une bouée de mesure hydrologique, collectent des paramètres de température, de pH (acidité de l'eau), des taux de nitrate... Une démarche expérimentale chez les plus jeunes qui les sensibilise aux enjeux environnementaux et à la protection de cette si précieuse ressource.



EN VUE



AGENDA

4-6 JUIN 2022

PARIS

SWOT Application – 2022 SWOT
Early Adopter Virtual Hackathon

19-24 JUIN 2022

SAN JUAN – PUERTO RICO
AGU - Frontiers in hydrology

12-16 DÉCEMBRE 2022

CHICAGO

AGU Fall Meeting 2022



FORUM MONDIAL DE L'EAU

PLAIDOYER POUR LA PAIX ET LE DÉVELOPPEMENT

L'Afrique subsaharienne, continent durement touché par la sécheresse, accueillait pour la première fois le Forum mondial de l'eau dont la 9^e édition, qui se tenait à Dakar (Sénégal) au mois de mars 2022, était consacrée à « La sécurité de l'eau pour la paix et le développement ». La ressource en eau a été considérée sous l'angle économique et sociétal. La gestion des bassins transfrontaliers et les conflits d'intérêts entre pays riverains sont un enjeu majeur. L'hydrologie spatiale offre le recul nécessaire avec des cartes et données objectives qui s'affranchissent des frontières politiques. Associés dans un groupe de travail depuis 2014, le CNES, l'OiEau¹, association d'utilité publique, et l'IRD ont pu mettre en évidence le potentiel de Swot pour l'hydrologie. Grâce au projet pilote mené sur le bassin du Congo, le deuxième plus grand bassin fluvial mondial, des solutions d'appui à la gestion de ce fleuve ont été trouvées et se sont concrétisées par la signature d'un accord entre sept institutions publiques et privées. Ce projet a été labellisé par le forum mondial dans le cadre de « l'Initiative Dakar 2021 ». D'autres bassins, avec le soutien de l'Agence française de développement, vont bénéficier de l'hydrologie spatiale, notamment ceux des fleuves Niger et Sénégal. Une nécessité pour rendre effective la Déclaration de Dakar, dite « blue deal », qui concluait ce forum en réaffirmant l'urgence d'une « vision partagée d'un monde dans lequel chaque personne a accès à l'eau potable et à l'assainissement ».

1. Office international de l'eau.



COP27

L'URGENCE CLIMATIQUE POUR ÉTENDARD

Conférence internationale de l'ONU, la COP27¹ a pris date : elle se déroulera du 7 au 18 novembre 2022 à Charm el-Cheikh en Égypte. Plus que jamais, après le sixième rapport alarmant du GIEC, les pays signataires de la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CNUCC) devront faire preuve de réalisme et engager des actions significatives pour l'avenir. Cinq ans après la conférence de Marrakech, la COP est de retour sur un continent particulièrement sensible à la question de l'eau. Le ministre égyptien de l'Eau et de l'Irrigation, Mohamed Abdel Aty, a d'ailleurs souligné que cette COP27 va « constituer une bonne occasion de présenter les défis que relève le continent africain dans le domaine de l'eau ».

1. Conférence des Parties



TRANSFERT

VORTEX.IO SONDE LES EAUX DE SURFACE

VorteX.io a développé une solution de surveillance des cours d'eau. Dans le cadre de la mission Swot, la start-up collabore avec le CNES sur le volet de l'hydrologie continentale.



n janvier 2022, la Garonne sort de son lit. L'état de catastrophe naturelle est déclaré dans 65 communes alentour. Si les cours d'eau majeurs sont scrutés par les services de l'État (Vigicrues), « *les petits affluents contribuent de plus en plus au risque d'inondation*

et ne sont pas observés en France », alerte Guillaume Valladeau, océanographe. En 2018, avec son associé Jean-Christophe Poisson, il se lance le défi de miniaturiser l'instrumentation d'altimétrie satellitaire, cette technologie spatiale utilisée pour mesurer le niveau de la mer. Objectif ? Faire le pont entre le spatial et l'hydrologie continentale. À la clef : un instrument de 17 cm, déployable sur drone pour l'étude des eaux de surface (lacs, rivières) et destiné à compléter les données satellitaires de Swot. Séduit par l'innovation, le CNES les accompagne dans les vols d'essai. Un contrat de support est signé.

UNE MESURE EN TEMPS RÉEL

En 2019, les deux ingénieurs fondent vorteX.io. Ils mettent au point une microstation : un outil de télédétection fixe, léger et compact pour surveiller les cours d'eau, anticiper les inondations et alerter les populations à risque. Un capteur fournit des mesures de hauteur d'eau en temps réel, avec une précision de l'ordre du centimètre.

« *Une station va détecter en amont l'arrivée d'une onde de crue et mettre en alerte le réseau* », décrypte Guillaume.

Une connectivité spatiale assurera bientôt la transmission des informations lorsque la 4G est inopérante.

« *Les données récoltées in situ par les capteurs vorteX.io permettent de calibrer et valider*

les mesures satellites, analyse Nicolas Picot, chef de projet au CNES.

Une étape cruciale pour démontrer la précision de Swot. »



400

C'est le poids
en gramme
d'une microstation
vorteX.io.