

CNES MAG

FR

ESPACE • INNOVATION • SOCIÉTÉ

#65
Juin 2015

CLIMAT

L'ESPACE RELÈVE LE DÉFI



cnes
CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES



SOMMAIRE



09

05 ÉDITORIAL

06 L'ESSENTIEL

La charte internationale Espace et catastrophes majeures, l'impact des aérosols, l'observation de la cryosphère... Le point sur la mobilisation du CNES autour de l'enjeu climatique

12 #COMMUNAUTÉ

Le changement climatique vu par les followers du CNES

13 GRAND ORAL

Jean Jouzel, vice-président du GIEC, livre son analyse sur le rôle du spatial dans la compréhension du réchauffement climatique



16

16 EN IMAGES

Un satellite suit les migrations des ours polaires et manchots royaux

18 EN CHIFFRES

Climat et spatial : les données clés

19 LE CNES EN ACTIONS

L'espace offre un point de vue privilégié pour comprendre et évaluer le changement climatique

27 MATIÈRE

Les ballons utilisés lors des campagnes d'observation évoluent

28 INSTANTS T

La dynastie Jason



20

30 RENCONTRES

- Pierre Bahurel, directeur général de Mercator Océan
- François Parisot, responsable de la mission Jason 2, Eumetsat
- Tru'o'ong Công Chor'i, pêcheur vietnamien

33 ESPACE ÉTHIQUE

La grenouille et le papillon, par Jacques Arnould

34 EN VUE

Les expos, les ouvrages, les manifestations réalisés ou soutenus par le CNES

36 TRANSFERT

Conçue avec le soutien du CNES, l'application Coovia stimule le covoiturage

PARTENAIRES

Sont cités dans ce numéro :

p. 32 CLS (Collecte Localisation Satellites), la filiale du CNES, de l'Ifremer et d'Ardian ; p 31 Mercator ocean dont Le CNES, membre fondateur, reste un partenaire privilégié.

En couverture : Bora-Bora, une des îles de la Polynésie française, vue par le satellite Pléiades 1A le 2 mai 2012.
© CNES/Distribution Airbus DS, 2012



Ce symbole signale les contenus complémentaires que vous pouvez retrouver sur le web.



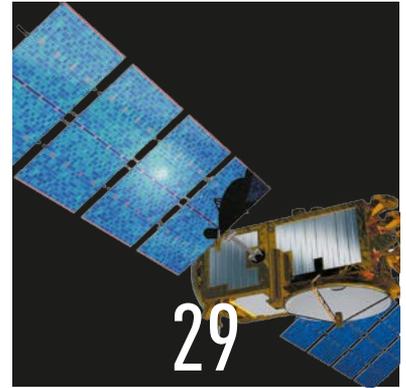
CNESfrance



@CNES



CNES



P. 23

ALLEMAGNE

Merlin est né de la volonté politique, lors de la COP15 de Copenhague (2009), de développer entre la France et l'Allemagne un projet dédié au climat.

P. 24

CHINE

Le 29 janvier 2015, à Pékin, a été formalisé l'accord de coopération sur Cfosat dans le domaine de l'océanographie, signé à Paris le 26 mars 2014.

P. 10

ÉTATS-UNIS :

De **Topex-Poséidon** à **SWOT**, la filière altimétrique est un des fleurons de la coopération entre le CNES et la NASA.

P. 28-29

EUROPE

L'**Organisation européenne** pour l'exploitation des satellites météorologiques Eumetsat est chargée de développer, en coopération avec l'ESA, Jason-CS pour assurer la continuité de service des données Jason.



CONTRIBUTEURS



DIDIER JAMET

Journaliste scientifique et auteur d'ouvrages sur l'espace, Didier considère qu'une journée au cours de laquelle il n'a rien appris est une journée de perdue. Pour ce numéro, il est allé, entre autres, à la rencontre du climatologue de renom Jean Jouzel, très sollicité en cette année Climat.



LILIANE FEUILLERAC

À la tête d'une agence de presse indépendante, Liliane a l'art de rendre compréhensibles les technologies les plus complexes. Collaboratrice des premières heures de *Cnesmag*, elle s'est infiltrée auprès de nos équipes pour vous informer sur les projets dédiés au climat menés en ce moment au CNES.



PASCALE ULTRÉ-GUÉRARD

Responsable du Programme d'observation de la Terre au CNES, cette géophysicienne de formation a été notre référente pour ce numéro. Elle a mobilisé ses équipes et mis son carnet d'adresses à notre disposition. Pascale représente le CNES dans les instances internationales concernées par « Terre, Environnement, Climat ».



JEAN-MARC PAU

Après des études de graphisme et de publicité, Jean-Marc Pau se consacre à l'illustration dans la presse et l'édition. Réalisés à l'encre et au pinceau, puis colorisés en numérique, ses dessins offrent une représentation singulière des personnalités politiques et artistiques dans *Le Monde*, *L'Obs*, *La Vie* ou *Marie-Claire*.

CNES MAG

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 Edouard Belin. 31401 Toulouse cedex 9. Tél : +33 (0)5 61 28 33 90. Internet : <http://www.cnes.fr>. Cette revue est adhérente à Communication&Entreprises. Abonnement : cnesmag@cnes.fr

Directeur de la publication : Jean-Yves Le Gall. **Directrice éditoriale** : Marie-Claude Salomé. **Rédactrice en chef** : Brigitte Alonzo-Thomas. **Responsables de rubrique** : Joëlle Brami, Liliane Feuillerac, Séverine Klein, Didier Lapierre/ Romain Desplats, Marie-Claude Siron. **Conseil iconographique** : Serge Delmas. **Photothèque** : Marie-Claire Fontebasso, Orianne Arnould. **Crédits photo** : Crédits photo : p.4 D. Jamet, L. Feuillerac, CNES/E. Grimault, Sophie Pierre; p.5 CNES/O.Pascaud; p.6 AFP Photo/STR; p.7 Atacama-DLR-2015; p.7 Thinkstock; p.8 gauche Naturagency/Christophe Courteau; p.8 droite T. Montford; p.9 Hervé Dunoyer/Naturimages; p.10 CLS/CNES/Aviso; p.11 à gauche CNRS-LMD/D Sourgen; p.11 à droite CNES; p.13-p.15 Baltel/SIPA; p.16 Naturagency/Patrick Kientz; p.17 Naturagency/J-L. Klein & M-L. Hubert; p.18 CNES/E. Maligne; p.19 CNES/Distribution Airbus DS, 2012; p. 20 Nasa; p.21 CNES/E. Grimault; p.22-23 CNES/D. Ducros, p.23 en bas Coeurs de nature/Biot Tim/Sipa; p.24 Thinkstock; p.25. CNES/E. Grimault; p.26 Thales Alenia Space/J.L. Bazile; p.27 CNES/P. Cocquerez; p.28-29 CNES/D.Ducros; p.33 CNES/E. Grimault; p.34 haut CNES/R. Barranco; p.34 bas Thinkstock; p.36 Coovia.

Illustrations : p.30-32 Jean-Marc Pau. **Web master** : Sylvain Charrier. **Traduction** : Boyd Vincent. **Conception, conseil et réalisation** : Citizen Press - Camille Aulas, Stéphane Boumendil, David Corvaisier, Alexandra Roy, Aurélien Saublet. **Impression** : Ménard. ISSN 1283-9817.

Ont participé à ce numéro : François Bermudo, Guilhem Boyer, Selma Cherchali, Philippe Collot, Sophie Coutin-Faye, Nathalie Corcoral, Chantal Delabarre, Carole Deniel, Danièle DeStaerke, Vincent Dubourg, Jean-François Dupuis, Philippe Escudier, Anita Gonzalez, Thierry Lafon, Juliette Lambin, Denis Moura, Jean-Gabriel Parly, Sophie Perraud, Pierrick Perrier, Amélie Proust, Steven Hosford, Philippe Veyre, Cecile Vignolles.



ÉDITORIAL



Cette nouvelle déclinaison de Cnesmag, le magazine du CNES, est plus dynamique, plus lisible et surtout plus attractive, à l'image de notre activité. Dans un monde qui évolue de plus en plus vite, avec l'arrivée de nouveaux acteurs venus de l'Internet ou des pays émergents, le CNES s'adapte en permanence à l'évolution de la géopolitique de son secteur, à la nouvelle donne des satellites et à la problématique du changement climatique. Nos satellites et nos instruments nous permettent d'étudier les océans, l'eau douce sur les terres émergées, la météorologie ou encore le gaz carbonique, le méthane et surtout leurs conséquences sur l'effet de serre. Ces enjeux constitueront le fil conducteur de notre pavillon, tout au long du 51^e Salon international de l'aéronautique et de l'espace à Paris-Le Bourget, et ils seront aussi au centre de nos préoccupations à la fin de l'année, lorsque Paris accueillera la conférence mondiale sur le climat, la COP21. Encore plusieurs occasions pour le CNES d'innover pour gagner!

JEAN-YVES LE GALL
PRÉSIDENT DU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

PHÉNOMÈNES EXTRÊMES

Quand le climat devient une menace

Événements météo extrêmes – comme les pluies diluviennes qui se sont abattues sur le Chili en mars dernier (photo) –, recul des glaciers, montée des eaux... les manifestations du réchauffement climatique sont multiples. En à peine deux décennies, les données spatiales se sont révélées indispensables à notre compréhension du phénomène. Le CNES, avec ses partenaires, démontre chaque jour la pertinence des solutions spatiales dans l'évaluation des causes et des conséquences des bouleversements qui s'annoncent.





CATASTROPHES NATURELLES VERS UNE CHARTE UNIVERSELLE

Le rapport spécial du GIEC de 2012 sur les événements météorologiques extrêmes est formel : les changements climatiques à l'œuvre sur notre planète induiront une augmentation du nombre et de l'intensité des catastrophes naturelles. La charte internationale Espace et catastrophes majeures, cofondée par le CNES et l'ESA¹ en 2000, a été conçue dans le but de fournir, en urgence, toute donnée spatiale utile aux secours dans les pays signataires. Aujourd'hui, la charte évolue et devient applicable partout. Dernièrement, l'Australie, le Malawi, le Chili (photo ci-dessus), la Colombie et le Pakistan ont bénéficié du dispositif. Par ailleurs, depuis un an et demi, ce sont des membres récents de la charte, tels l'Allemagne, la Chine ou la Corée du Sud, qui assurent tour à tour sa présidence tournante. Depuis mi-avril 2015, c'est l'ISRO, l'agence spatiale indienne, qui a pris le relais. En moyenne, la charte est activée une cinquantaine de fois par an.

¹ Agence spatiale européenne



315

C'est le nombre d'activations de la charte internationale Espace et catastrophes majeures dues à des phénomènes climatiques d'une extrême violence (cyclones, tsunami, inondations, etc.) entre 2000 et 2014.

ATMOSPHÈRE SORTIR LA PRÉVISION CLIMATIQUE DU BROUILLARD



Quel est l'impact des aérosols (particules en suspension dans l'air) et des nuages sur le changement climatique ? Accentuent-ils le réchauffement ou contribuent-ils, au contraire, à refroidir l'atmosphère par effet parasol ? Cette incertitude est une des principales limites des modèles qui tentent de prévoir l'évolution du climat. Afin de mieux comprendre l'impact de l'ensemble de ces particules sur le changement climatique, le CNES a lancé, dès 2004, le satellite Parasol, puis Calipso en 2006, conjointement avec la NASA. Véritables précurseurs dans leur domaine, ces satellites ont démontré tout l'intérêt des missions spatiales, seules à pouvoir couvrir l'ensemble de la planète. Ils ont également ouvert la voie aux instruments de nouvelle génération qui seront lancés dans les années à venir, comme 3MI ou EarthCARE.



L'ESSENTIEL

FORUM MONDIAL DE L'EAU LA SCIENCE A DE LA RESSOURCE

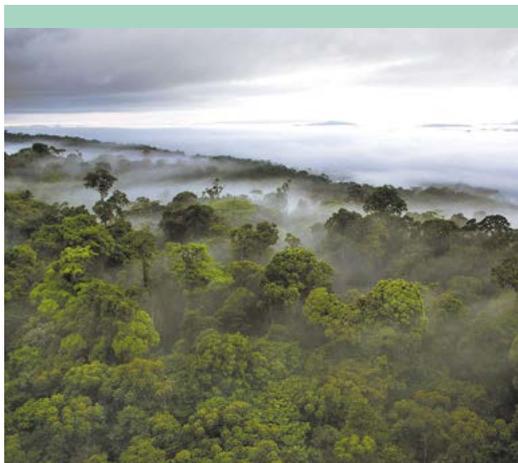


Nord du Botswana.

La dernière édition du Forum mondial de l'eau, qui s'est tenue du 12 au 17 avril 2015 en Corée du Sud, a permis de rappeler à quel point l'eau est l'élément fondamental du développement. Qu'il s'agisse de sécurité alimentaire, d'énergie ou de santé, les menaces que les changements climatiques font peser sur l'eau mettent en péril les besoins essentiels des populations. Les acteurs français de l'eau, regroupés au sein du Partenariat français pour l'eau, dont le CNES est membre, ont plaidé pour une prise en compte accrue de la ressource dans les négociations lors de la conférence de Paris sur le climat de décembre prochain (COP21).

DES PRÉVISIONS ALARMANTES

Comme le confirmait le dernier rapport du GIEC, il y a en effet urgence à réduire la vulnérabilité des accès à l'eau dans un contexte de changement climatique : de la baisse de la pluviométrie de 10 à 30 % dans les pays de latitude intermédiaire à l'intensification des catastrophes naturelles liées à l'eau (inondations aussi bien que sécheresses), tous les voyants sont au rouge. En mars dernier, les experts de l'ONU soulignaient que, faute de gestion durable de la ressource au niveau mondial, la planète pourrait faire face à un déficit global en eau de 40 % d'ici à 2030. Un stress hydrique planétaire sans précédent qui pourrait être la première manifestation dramatique du changement climatique.



Forêt amazonienne.

BIOMASS FEU VERT POUR LE SATELLITE DES FORÊTS

À partir de 2020, Biomass aura pour mission de cartographier les forêts de la planète afin d'y évaluer la quantité de carbone stockée. Les données satellites recueillies permettront également de restituer la structure 3D des forêts. Soutenues par le CNES, de nombreuses équipes en France se préparent à l'exploitation de ces observations, qui devraient nous donner un nouvel éclairage sur le cycle du carbone et son impact sur le climat. Le 18 février 2015, la mission européenne Biomass a reçu le feu vert des États membres de l'ESA.

CHANGEMENT CLIMATIQUE :

1988



Création du
Groupe d'experts
intergouvernemental
sur l'évolution du
climat (GIEC)

1992



Sommet de la Terre à
Rio de Janeiro. Adoption
de la convention-cadre
des Nations unies sur les
changements climatiques



L'ESSENTIEL

CRYOSPHERE

LA DONNÉE SPATIALE, REINE DES NEIGES

Avec 200 000 glaciers et deux calottes polaires représentant une grande partie des réserves d'eau douce de notre planète, les glaces constituent un élément essentiel de la biosphère terrestre, que les scientifiques nomment cryosphère. À la fois indicatrice et actrice des changements climatiques, la cryosphère occupe désormais une place centrale dans le débat scientifique. Avec, par exemple, la question suivante : quel est le rôle exact de la fonte des glaces dans l'augmentation du niveau des mers ? Dans ces régions souvent hostiles et peu accessibles, il est particulièrement difficile de recueillir des données *in situ*. La télédétection spatiale a donc un rôle majeur à jouer pour répondre à ces questions.

VIDÉO



WWW.CNES.FR

Reportage sur l'observation des glaces sur le mont Blanc.



Iceberg en Antarctique.

2 °C

Limiter l'augmentation de la température planétaire à 2 °C d'ici à 2050, tel est l'objectif fixé par la convention cadre des Nations unies sur le changement climatique, une réduction de 50 % des gaz à effet de serre liés aux activités humaines.

5 MILLIONS DE KM²

En 2014, la banquise de l'Arctique a atteint son minimum saisonnier, soit quelque 5 millions de km². Son long déclin est dû aux changements climatiques qui affectent particulièrement les régions polaires. Le réchauffement y est environ deux fois plus rapide que la moyenne mondiale.

-5 °C

Le réchauffement global pourrait affaiblir le Gulf Stream, courant chaud qui adoucit en partie le climat de l'Europe occidentale ; ce scénario entraînerait un refroidissement important sur l'Europe du Nord et la côte est des Etats-Unis de -5°C.

UNE LENTE PRISE DE CONSCIENCE

1997



Début des négociations du protocole de Kyoto. Objectif : réduire de 5 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990

2005



Entrée en vigueur du protocole de Kyoto

2007



4^e rapport du GIEC, qui obtient également le prix Nobel de la paix

2008



Adoption du paquet énergie-climat par le Conseil européen

2012



Rapport spécial du GIEC sur les événements extrêmes



L'ESSENTIEL

OCÉANOGRAPHIE

DES INSTRUMENTS DE MESURE TOUJOURS PLUS PERFORMANTS

La planète Terre porte bien mal son nom. Avec 71 % de sa surface recouverte d'eau, une caractéristique unique dans tout le système solaire, elle mériterait plutôt le titre de planète Océan. Pour mieux comprendre les changements climatiques, il faut s'intéresser de près aux dynamiques océaniques. En effet, les océans stockent de grandes quantités de chaleur, qu'ils redistribuent d'un bout à l'autre de la planète : l'eau, chauffée par le Soleil sous les tropiques, est transférée par les courants vers les côtes tempérées, où elle se refroidit en cédant sa chaleur à l'atmosphère. Devenue plus froide, et donc plus dense, elle s'enfonce à grande profondeur pour redescendre vers les zones équatoriales, et ainsi de suite selon un circuit qui dure plus d'un millier d'années.

L'ÉLEVATION DU NIVEAU DES MERS À LA LOUPE

Ce tapis roulant océanique, appelé circulation thermohaline, joue bien sûr un rôle essentiel dans l'équilibre climatique, d'où l'intérêt des scientifiques pour des missions spatiales leur permettant de saisir le phénomène dans sa globalité. Après Topex-Poséidon, une mission d'altimétrie spatiale lancée en 1992 en partenariat avec la NASA, le CNES a initié une série particulièrement féconde de missions spatiales dédiées à la mesure du niveau des océans, les Jason(s), dont le 3^e exemplaire sera lancé cet été (voir le dossier Jason 3 du Cnesmag 64). Grâce à cette série de mesures spatiales ininterrompue depuis 1992, les océanographes et les climatologues savent aujourd'hui avec certitude que le niveau des océans monte en moyenne de 3 mm par an. Cette élévation est liée à deux phénomènes : d'une part, l'augmentation de la quantité de

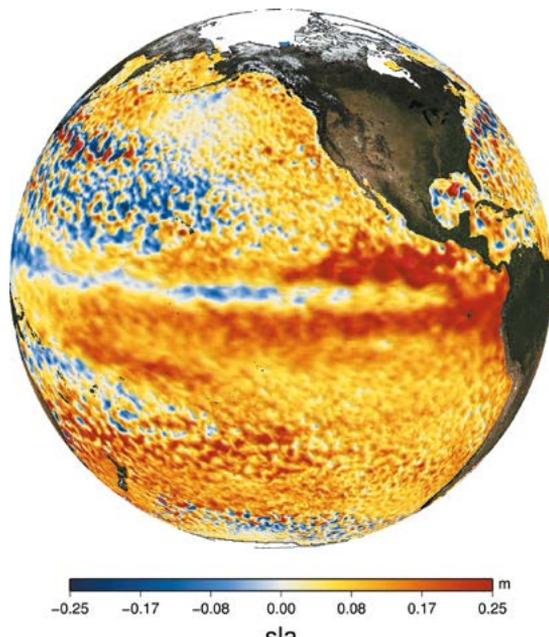
chaleur emmagasinée dans les océans, et d'autre part, l'apport d'eau douce en provenance des glaciers continentaux, qui régressent sous l'effet de l'élévation des températures.

3,8 KM

C'est la profondeur moyenne des océans, qui recouvrent plus des deux tiers de la surface terrestre.

L'OCÉANOGRAPHIE SPATIALE S'ORGANISE

Au-delà de la mesure du niveau moyen des océans, emblématique de l'apport déterminant des données spatiales dans l'étude du changement climatique, c'est une véritable océanographie spatiale qui se met en place au fil des missions, avec la mesure des températures de surface, de la quantité de plancton grâce à la couleur de l'eau, de la salinité avec Smos et bientôt des vagues avec Cfosat.



En mai 2015, les signes avant-coureurs d'un El Niño sont visibles dans le Pacifique (surélévation de la hauteur de mer se propageant de l'est vers l'ouest due au réchauffement des eaux de surface).



L'ESSENTIEL

STRATOSPHERE CLIMAT ET H₂O VOLERONT EN BALLON



Hissage de la nacelle avant son envol.

Le CNES, ce n'est pas seulement des satellites ! Depuis plus de 30 ans, des ballons sont envoyés dans la stratosphère pour étudier le climat. Ce sera encore le cas du 12 août au 30 septembre avec le vol CLIMAT (Combinaison de Lasers et d'Instrument de Mesure in situ en Atmosphère Terrestre), qui emportera un ensemble d'instruments dédié à l'étude de l'interaction entre atmosphère et climat. La nacelle H₂O et ses instruments de mesure du contenu en vapeur d'eau de la stratosphère devraient également être du voyage.

60 %

Si les tendances actuelles d'utilisation ne changent pas, en 2030 le monde ne disposera plus que de 60 % de l'eau indispensable à l'homme.

SANTÉ MALADIES INFECTIEUSES : LES SATELLITES VEILLENT

En 2025, plus de 4 milliards d'êtres humains seront sous la menace directe des maladies infectieuses. Le changement climatique est un facteur propice à leur apparition car il peut affecter la reproduction et la dispersion des vecteurs à l'origine de leur transmission. Dans ce contexte, le CNES a développé, avec ses partenaires, la télé-épidémiologie. Cette méthode, qui consiste à analyser les relations climat-environnement-santé grâce aux données spatiales, met en évidence les liens entre les changements climatiques et les risques d'émergence et de propagation des maladies infectieuses. En collaboration avec les autorités de santé des pays concernés, le CNES et ses partenaires ont mis au point des outils de prévision des risques. Dans le cas des maladies transmises par certains moustiques, il s'agit de cartes fréquemment actualisées recensant très précisément les points d'eau susceptibles d'abriter des larves, stade auquel il est encore possible d'agir préventivement. La



méthode brevetée par le CNES est actuellement validée pour la fièvre de la vallée du Rift (Sénégal), le paludisme urbain (Dakar) et le paludisme rural (Burkina Faso). Elle fait aussi l'objet de développements pour la dengue dans les îles de la Caraïbe (Martinique) et en Guyane, notamment.

PALUDISME : PROPAGATION OU RÉGRESSION ?

Dans le cadre de l'étude Paluclim sur les moustiques vecteurs du paludisme au Burkina Faso, l'impact de deux scénarios de réchauffement climatique a été testé afin d'évaluer la vulnérabilité de la région à la maladie. Bonne nouvelle sur ce front : la température moyenne devrait tellement augmenter d'ici à la fin du siècle que les moustiques ne trouveront plus, dans la région, de conditions propices à leur reproduction ! Mais il y a aussi une mauvaise nouvelle : affectant toute la planète, le changement climatique risque de transformer d'autres régions, jusqu'ici épargnées, en nouveaux paradis pour les moustiques vecteurs. Il faut cependant rester prudent car les mécanismes de transmission du paludisme sont complexes ; le facteur climatique ne permet pas, à lui seul, d'expliquer l'émergence de la maladie.



COMMUNAUTÉ

Tous les jours, sur les réseaux sociaux, le CNES discute avec vous. Vous nous faites part de vos réflexions, questions. Voici quelques messages qui nous ont marqués. Rejoignez la conversation ! :)



@ FLORENCE PORCEL

Auteure, comédienne, animatrice.

En Arctique, la glace la plus vieille fond et emporte la banquise <http://www.slate.fr/monde/83743/arctique-glace-la-plus-vieille-fond-emporte-reste-banquise-avec-elle> Rappel : on n'a toujours qu'une planète.



ASSOCIATION PAPILLON

2 mars

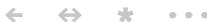
Nous détenons des outils de pointe pour observer et prévenir notre « bien vivre », plus qu'à mettre en place [la civilisation](#) qui va avec.



@ CHRIS HADFIELD

Canadian Astronaut, back on Earth after living aboard ISS as Commander of Expedition 35.

Perspective - [the Aral Sea](#) was our 4th largest lake, now gone due to bad policy, visible from space.



ADOS, À VOS PORTABLES !



Snapchat est le réseau social en vogue auprès des adolescents. Le CNES l'a bien compris et propose aux

jeunes, dans le cadre de cette année dédiée au climat, de suivre deux ourses polaires, Diamant et Bettilia, via cette plateforme. En ajoutant cnesfr à leurs amis Snapchat à partir de mi-juin, ils recevront régulièrement des photos ou vidéos éphémères pour les suivre à l'aide des satellites. Lancement au salon du Bourget !



RELOOKING DE CNES.FR



Ergonomie repensée, design plus contemporain, technologie responsive adaptée aux terminaux mobiles : la nouvelle version de cnes.fr sera en ligne mi-juin. Recentré sur l'activité institutionnelle du CNES, le site se complète d'un blog sur l'actualité spatiale et d'un site destiné aux jeunes où les passionnés du spatial pourront satisfaire leur curiosité !

Site institutionnel : cnes.fr
Blog : blog.cnes.fr
Site Jeunes : jeunes.cnes.fr



VIDÉO



WWW.CNES.FR

Retrouvez
l'intégralité
de l'interview
en direct
du palais
d'Iéna (Paris).



GRAND ORAL

JEAN JOUZEL

CLIMATOLOGUE, VICE-PRÉSIDENT
DU GIEC, Jean Jouzel est l'auteur de plus
de 250 publications scientifiques. À six mois
du sommet de Paris, il livre son analyse sur le rôle
du spatial dans la compréhension
du réchauffement climatique.



GRAND ORAL

QUELS SONT LES ENJEUX DE LA CONFÉRENCE PARIS CLIMAT 2015 ?

Jean Jouzel : Les Conférences des parties (COP) réunissent chaque année les pays qui ont adhéré à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques. Il s'agit de la 21^e réunion de ce type, les deux plus emblématiques ayant été celle de Kyoto en 1997 et celle de Copenhague en 2009. Cette dernière a permis de fixer l'objectif de limiter le réchauffement climatique à long terme à 2 °C par rapport à l'ère pré-industrielle, ce qui a été une étape décisive. Mais maintenant, il faut passer à l'action. Pour tenir cet engagement, l'objectif de la conférence de Paris est de parvenir à un accord chiffré sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre après 2020.

DE QUELLE AMPLIEUR DEVRAIT ÊTRE CETTE RÉDUCTION POUR TENIR L'OBJECTIF DE 2 °C ?

J. J. : Il faut diviser nos émissions de gaz à effet de serre au moins par 2, idéalement par 3, entre 2020 et 2050 pour parvenir par la suite à la neutralité carbone d'ici à la fin du siècle. La meilleure façon de l'illustrer est de se pencher sur le cas de l'énergie, qui, pour le moment, est largement liée à l'utilisation de combustible fossile. Si on veut que cet objectif de 2 °C soit respecté à long terme, il ne faut pas utiliser plus de 20 % des réserves de combustible fossile, facilement accessibles ! On voit bien que cela suppose un mode de développement complètement différent de celui sur lequel nous sommes actuellement.

QUEL SERA LE RÔLE DU GIEC AU COURS DE CETTE CONFÉRENCE ?

J. J. : La mission du GIEC est de poser un diagnostic, de donner les éléments scientifiques sur le fonctionnement du système climatique, les impacts de son dérèglement et les possibles solutions à mettre en œuvre, ceci afin que les responsables politiques prennent leurs décisions en toute connaissance de cause.

ET VOTRE RÔLE À VOUS ?

J. J. : Je ferai partie, comme à chaque fois depuis l'an 2000, de l'équipe d'experts scientifiques de la délégation française. Pour ce rendez-vous de Paris, mon rôle commencera cependant un peu en amont car Laurent Fabius, qui préside le comité de pilotage de la conférence, a souhaité que j'en fasse également partie.

QU'EST-CE QUE LES SATELLITES ONT APPORTÉ À LA COMPRÉHENSION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

J. J. : Les données satellitaires représentent une véritable révolution dans notre compréhension du système climatique. L'exemple le plus marquant est celui de l'élévation du niveau des mers. Nous sommes sur

un rythme de 3 mm chaque année. Grâce aux mesures satellites qui sont faites parallèlement sur les calottes glaciaires et sur les glaciers tempérés, on sait aussi qu'à peu près la moitié de cette hausse est liée à la fonte des glaciers et des calottes glaciaires. Un peu moins de l'autre moitié résulte de la dilatation de l'océan sous l'effet du réchauffement, car 93 % de la chaleur supplémentaire est stockée dans les océans. Une dernière part vient du pompage des nappes souterraines, que l'on retrouve fatalement dans l'océan. C'est modeste mais cela compte tout de même pour 13 % dans l'élévation du niveau des mers. C'est grâce aux satellites que nous savons faire aussi précisément la part entre ces différentes contributions. Sans eux, nous n'aurions jamais eu cette précision, en particulier sur les caractéristiques régionales. C'est un apport formidable. Ce sont des choses dont on n'osait même pas rêver il y a une trentaine d'années !

ET AUJOURD'HUI, DE QUELS NOUVEAUX OUTILS SPATIAUX RÊVEZ-VOUS ?

J. J. : Les satellites qui resteraient à inventer seraient ceux qui nous permettraient de réduire les incertitudes des modèles. Et aujourd'hui la principale incertitude, c'est l'évolution des

« IL AURAIT ÉTÉ PLUS FACILE DE TENIR CET OBJECTIF DE 2 °C SI DES MESURES TELLES QUE LE DÉVELOPPEMENT MASSIF DU RENOUVELABLE AVAIENT ÉTÉ ENGAGÉES NON PAS AUJOURD'HUI MAIS IL Y A QUINZE ANS. »



GRAND ORAL



JEAN JOUZEL

CLIMATOLOGUE, DIRECTEUR
DE RECHERCHE AU CEA, SPÉCIALISTE
DES PALÉOCLIMATS.

« LES DONNÉES
SATELLITAIRES
REPRÉSENTENT UNE
VÉRITABLE RÉVOLUTION
DANS NOTRE
COMPRÉHENSION DU
SYSTÈME CLIMATIQUE.
L'EXEMPLE LE PLUS
MARQUANT EST CELUI
DE L'ÉLEVATION DU
NIVEAU DES OCÉANS. »

nuages. Nous ne savons pas s'ils ont tendance à réchauffer ou à refroidir le système climatique. Si les satellites, grâce à leur couverture globale, pouvaient nous aider à mieux comprendre les interactions entre nuages, aérosols et rayonnement et la façon dont évoluent les nuages sur un plan physico-chimique sous l'effet du réchauffement, ce serait fantastique. Je sais que des projets sont à l'étude, même si le défi est difficile. L'autre volet, c'est la connaissance de la composition de l'atmosphère. Plusieurs projets de satellites visent à déterminer les émissions de gaz à effet de serre par région. Encore faut-il s'assurer de la continuité dans les observations. Enfin, les satellites peuvent nous aider à observer les

conséquences du réchauffement climatique sur l'agriculture, la forêt, le permafrost... Dans tous ces domaines, ils ont encore beaucoup à nous apporter.

DANS CE CONTEXTE, COMMENT PERCEVEZ-VOUS LE RÔLE DU CNES ?

J. J. : Le CNES est incontestablement un apporteur de solutions satellitaires. Chacune des missions à vocation climatique auxquelles il a contribué nous a apporté un net bénéfice. J'ai aussi pu constater une vraie émulation dans les laboratoires scientifiques partenaires du CNES dans lesquels les instruments étaient conçus, réalisés ou mis au point, même s'il y a aujourd'hui un peu moins de proximité entre les chercheurs des labos et le CNES qu'auparavant. Mais cela fonctionne bien; un projet spatial engage toute une communauté scientifique et engendre beaucoup de résultats, de publications et, au final, de satisfaction!

PENSEZ-VOUS QUE L'HUMANITÉ SAURA ATTEINDRE L'OBJECTIF DE LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT À 2 °C À LONG TERME ?

J. J. : C'est un vrai défi. Ce serait beaucoup plus facile si on avait vraiment commencé à prendre des mesures il y a vingt ans. Le message de la communauté scientifique n'a pas changé. Nous disions déjà qu'il fallait diminuer rapidement les émissions de gaz à effet de serre si on voulait stabiliser le réchauffement. Nous l'avons encore redit il y a 10 ans.

Le protocole de Kyoto a été une certaine réussite. Entre la mise sur pied du GIEC et le protocole en lui-même, l'évolution a été très rapide, moins de 10 ans. On ne peut pas dire qu'il ne s'est rien passé, mais les 10 premières années de ce siècle ont été trop attentistes : les émissions de gaz à effet de serre n'ont jamais augmenté aussi rapidement que depuis les années 2000 ! Il aurait été plus facile de tenir cet objectif de 2 °C si le développement massif du renouvelable avait été engagé, non pas aujourd'hui mais il y a quinze ans. Il manquait aussi une vraie vision politique. Pour en revenir aux satellites, ils pourraient grandement aider aux négociations si leurs mesures du CO₂ étaient suffisamment précises. Cela nous permettrait d'évaluer finement les émissions de gaz à effet de serre des différents contributeurs. Je pense que nous y parviendrons dans quelques années, je sais que des projets sont en route.

Profil

2012

Prix Vetlesen, équivalent du prix Nobel dans la discipline.

2007

Sous sa vice-présidence, le GIEC reçoit le prix Nobel de la paix.

2002

Médaille d'or du CNRS, plus haute distinction scientifique française.



EN IMAGES



CLS, filiale du CNES, a équipé 900 ours polaires de la banquise du pôle Nord de colliers Argos afin de suivre leurs déplacements. À cause de la fonte des glaces, les animaux sont contraints d'évoluer dans un territoire restreint, où ils disposent de moins de proies. Pour se nourrir, une femelle a ainsi dû nager pendant neuf jours sans interruption. Résultat : 22 % de masse grasseuse en moins et la perte de son petit. Les données recueillies sur les réactions de l'espèce face aux modifications de son territoire permettent aux scientifiques de sélectionner des zones d'habitat potentiel et de les sanctuariser.



EN IMAGES

DIAPORAMA



WWW.CNES.FR



Les manchots royaux pourraient prochainement disparaître en raison du réchauffement des eaux de l’océan Antarctique. Cet animal, équipé de balises Argos, a montré qu’il devait aller pêcher toujours plus loin. Les données spatiales ont mis en lumière que ses zones de pêche attirées rentraient en conflit avec celles des pêcheries industrielles. Le suivi des manchots royaux fournit des arguments concrets pour définir des plans de gestion des territoires marins respectueux des écosystèmes étudiés.



EN CHIFFRES

BREVETS



90 brevets ont été déposés par le CNES dans le domaine de l'imagerie spatiale. Ces innovations jouent un rôle complémentaire important pour la compréhension des phénomènes tels que le réchauffement climatique.

30 secondes à 2 minutes

C'EST L'INTERVALLE QUI SÉPARE, ENTRE EUX, LES SIX SATELLITES (français, américains, japonais) dédiés au bilan radiatif de la Terre et à l'étude des nuages, source principale d'incertitude dans les projections climatiques. OCO2, GCOM-W1, Aqua, Calipso, Cloudsat et Aura constituent l'A-Train. Parasol a quitté la constellation le 18 décembre 2013, après 9 ans de bons et loyaux services.



GLOBE

1 025 élèves du primaire et du secondaire participent à Calisph'Air, le projet pédagogique d'accompagnement du satellite Calipso dédié au rôle des nuages et des aérosols (particules) dans le changement climatique. Ce volet français s'inscrit dans GLOBE, programme éducatif international d'étude de l'environnement, pour lequel 635 313 mesures sont réalisées tous les mois par les élèves de 28 234 établissements dans 114 pays.

1 316

JOURS DE VOL CUMULÉS EN 2010 pour la flotte des 19 ballons stratosphériques du programme international d'observation atmosphérique Concordiasi, consacré à la dynamique et à la chimie de l'ozone en Antarctique. Le projet Stratéole 2 prévoit, à l'horizon 2018, d'en utiliser 50 pour réaliser des mesures à 18-20 km d'altitude en zone équatoriale.

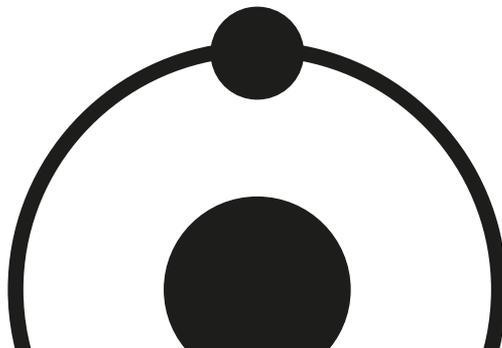
70_{cm}

C'EST LA RÉOLUTION DES SATELLITES PLÉIADES

qui observent et cartographient quotidiennement la surface de la Terre, à 694 km d'altitude. Des images précieuses pour organiser les secours pendant la crise et aider par la suite à la reconstruction après le passage d'un épisode climatique dévastateur.

3,27

C'est, en mm/an, l'augmentation du niveau moyen de l'océan. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a validé et intégré cette mesure issue des données Jason, satellite d'océanographie conçu par le CNES. Une reconnaissance officielle pour le Centre national d'études spatiales, qui confirme sa réputation mondiale dans l'altimétrie spatiale.





LE CNES EN ACTIONS

2015

LE CNES AU RENDEZ-VOUS DU CLIMAT

LES EXPERTS SONT FORMELS : LES ACTIVITÉS HUMAINES TRANSFORMENT LE CLIMAT À UN RYTHME JAMAIS OBSERVÉ PAR LE PASSÉ. PARCE QUE L'ESPACE OFFRE UN POINT DE VUE PRIVILÉGIÉ POUR COMPRENDRE LE PHÉNOMÈNE, LE CNES S'ENGAGE DANS PLUSIEURS PROGRAMMES SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES. UN APPORT DÉCISIF À LA CONNAISSANCE DE NOTRE PLANÈTE ET DE SON ÉVOLUTION.

Le déclin du glacier du mont Blanc, constaté par le satellite d'observation de la Terre Pléiades, s'est considérablement accéléré au cours de la dernière décennie.



LE CNES EN ACTIONS



râce aux programmes spatiaux, les chercheurs qui travaillent sur l'avenir du climat bénéficient d'une multitude de données pertinentes. Cette profusion d'informations résulte de la dynamique

scientifique impulsée par le CNES. En tant qu'agence spatiale française comptant parmi ses tutelles le ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, l'organisme réunit tous les quatre ou cinq ans un séminaire de prospective destiné à identifier les futures missions ou expériences spatiales répondant aux besoins et aux priorités de la communauté scientifique nationale. La pertinence, la faisabilité et le coût de chaque projet sont soigneusement évalués. Dans la foulée, son comité des programmes scientifiques choisit ceux qui seront menés à leur terme. C'est selon ce principe que le CNES a lancé les projets Jason3, IASI-NG, SWOT et Merlin (voir pages suivantes).



Image inédite du typhon Maysak prise, le 31 mars 2015, par Samantha Cristoforetti depuis la station spatiale internationale.

26 VARIABLES CLIMATIQUES ESSENTIELLES

En matière de changement climatique, le CNES intègre également dans le cahier des charges de ses projets les recommandations du GCOS (*Global Climate Observing System*, « Système mondial d'observation du climat »). Cet organisme international, créé en 1982, a identifié une cinquantaine de variables climatiques es-

sentielles, toutes techniquement et économiquement accessibles à l'observation systématique. Les missions spatiales ne sont pas forcément pertinentes sur l'ensemble des variables. Au total, sur les quelque 50 identifiées par le GCOS, 26 sont à l'heure actuelle mesurables depuis l'espace. Mais pour qu'une mission soit reconnue d'intérêt pour l'étude du climat, elle doit également remplir une série de conditions, elles aussi définies par le GCOS, par exemple sur l'étalonnage des capteurs ou la continuité des données.



C'est, sur un total de 50, le nombre de variables climatiques susceptibles d'être observées depuis l'espace, selon les critères définis par le Système mondial d'observation du climat.



scientifiques utilisent les données recueillies par le pôle thématique Atmosphère (Icare), mis en place et coordonné par le CNES.

DES PÔLES THÉMATIQUES AU SERVICE DES CHERCHEURS

En outre, les observations spatiales ne se suffiront jamais à elles-mêmes. Elles doivent être à la fois complétées et validées par des mesures *in situ*, puis interprétées et intégrées dans des modèles qui leur donneront tout leur sens. Pour cela, elles doivent être mises à la disposition des scientifiques de plusieurs disciplines sous des formes facilement utilisables. C'est tout l'enjeu des pôles thématiques actuellement mis en place par le CNES. Véritables centres de données scientifiques, ces pôles offrent aux chercheurs l'assistance d'experts qui les aide-



LE CNES EN ACTIONS

ront à consolider leurs algorithmes de traitement ou encore à mettre en place des outils de visualisation. Lesquels pourront être réutilisés par d'autres chercheurs. Les chercheurs sont aussi en demande de données croisées en provenance de plusieurs missions. D'où la nature thématique de ces pôles : le pôle Atmosphère (Icare + Ether), le pôle Surfaces continentales (Theia), le pôle Océan et le pôle Terre solide (Form@ter). Le pôle Atmosphère compte déjà plus de 2000 utilisateurs dans le monde.

ARCHITECTE DE CONSTELLATION VIRTUELLE

Les ingénieurs du CNES aiment à parler de « vision système » pour évoquer leur capacité à aborder les problématiques spatiales en intégrant tous leurs aspects dans une vision globale. La thématique du climat leur aura fait

franchir une nouvelle étape, celle du « système de systèmes ». Prenons l'exemple des missions d'altimétrie spatiale, si précieuses dans l'évaluation de la montée du niveau des océans. Grâce à ses partenariats précoces avec la NASA et l'ESA dans ce domaine, le CNES s'est retrouvé idéalement placé pour coordonner la mise en place d'un cahier des charges destiné à faire converger les standards de mesure des instruments. Des standards désormais utilisables par n'importe quelle agence spatiale. Fort de son expertise en altimétrie et de sa tradition de coopération multilatérale, le CNES apparaît comme l'architecte de ce système de systèmes, si crucial pour la compréhension de l'océan et de son futur. Il est ainsi devenu le pilote de la constellation virtuelle dédiée à la mesure du niveau des océans du CEOS (Committee on Earth Observation Satellites).



MESURE

LA PHASE D'ÉTUDE DE MICROCARB

conclut à la possibilité d'embarquer, sur un microsatellite, un instrument capable de mesurer le dioxyde de carbone (CO₂), premier gaz à effet de serre. Des études préparatoires sont en cours au Laboratoire de spectrométrie haute résolution du Centre spatial de Toulouse.



LE CNES EN ACTIONS



SWOT est le fruit d'un accord de coopération entre le CNES et la NASA sur l'hydrologie continentale et l'océanographie.

SWOT

LE SATELLITE QUI SCRUTE LES EAUX DU GLOBE

D'ici à 2020, SWOT passera au peigne fin l'océan mondial et les eaux de surface continentales pour en évaluer le potentiel et les interactions.



hydrologie garde une part de mystère : les données spatiales disponibles sur les eaux de surface sont limitées. Le satellite SWOT¹ doit combler ces lacunes. La mission franco-américaine CNES-NASA va mesurer les hauteurs d'eau et leurs dérivées spatio-temporelles des fleuves, lacs, rivières, ruisseaux, zones inondées, etc. Il y a urgence à étudier finement ces réserves sous peine d'aggraver le déséquilibre entre besoins des populations et offre naturelle d'eau douce.

IMAGEUR 3D

SWOT innove à plus d'un titre. Son instrumentation d'abord, en rupture avec l'altimétrie spatiale conventionnelle. Son atout majeur : KaRIn, un altimètre radar interféromètre en bande Ka. Son concept est amené par le JPL², qui assure

VIDÉO



WWW.CNES.FR

Le secours en mer grâce à SWOT.



LE CNES EN ACTIONS

la maîtrise d'œuvre. Avec ses deux antennes placées aux extrémités d'un mât de 10 m, KaRIn dispose d'une fauchée de 120 km, en continu. Cette amplitude laisse un large champ pour échantillonner de manière fiable et globale lacs, rivières et autres réservoirs. En onze jours seulement, l'imageur 3D va couvrir la totalité de la surface du globe à très haute résolution. De quoi éclairer la communauté scientifique sur la dynamique globale des eaux, les interactions avec les parties côtières, les estuaires, etc.

« SWOT FONCTIONNE EN ÉQUIPE »

SWOT devrait être lancé en 2020. Soutenue par le Programme d'investissements d'avenir (PIA), la mission mobilise fortement le CNES. Le centre fournit la plateforme, les instruments Doris, l'altimètre Ku ainsi que le cœur radar (RFU) de KaRIn et le segment sol de contrôle. Les données générées par la mission seront exploitées dans un centre de traitement construit par le CNES. Cette nouvelle coopération avec la NASA s'inscrit dans la continuité des liens tissés dans le cadre de Topex-Poséidon et de la filière Jason. « *Le programme SWOT fonctionne en équipe quasi intégrée et les contacts par visio-conférence sont quotidiens* », commente Thierry Lafon, chef de projet au CNES. Tous les six mois, un séminaire réunit l'ensemble des équipes scientifiques, océanographes et hydrologues. Pour accompagner le développement des applications SWOT, le CNES a aussi lancé un programme préparatoire à l'intention des futurs utilisateurs.

1. Surface Water & Ocean Topography
2. Jet Propulsion Laboratory, à Pasadena



Lac du Mont-Cenis (parc national de la Vanoise, Alpes)

MERLIN

LE MÉTHANE SOUS SURVEILLANCE

Le méthane contribue de façon significative au réchauffement climatique. Le programme franco-allemand MERLIN observera son évolution de jour comme de nuit.



hague, les deux agences spatiales unissent ici leurs expertises.

LIDAR ET SATELLITE DE HAUTE PERFORMANCE

Alors que les données sur le méthane manquent cruellement dans certaines régions du globe (zones arctiques, Amérique du Sud), les observations réalisées par Merlin devraient permettre de vérifier certaines hypothèses.

Pour y parvenir, l'agence spatiale allemande a conçu un lidar hautement performant qui traquera les traces de méthane, en toute saison, y compris dans la nuit polaire. Avec l'appui du Programme d'investissements d'avenir (PIA), le CNES fournira de son côté le satellite et le segment sol. En cours de définition, la mission Merlin devrait être lancée en 2019.

Membres de l'Agence spatiale européenne, le CNES et le DLR¹ s'investissent également dans des collaborations bilatérales. Dernier exemple en date : la mission Merlin², centrée sur l'observation des impacts du méthane, un puissant gaz à effet de serre en partie responsable du réchauffement climatique. Ce programme va suivre l'évolution des mécanismes de sources et de puits du méthane afin d'en déduire des modèles de calcul sur les flux. En adéquation avec la volonté de leurs gouvernements respectifs de mettre en œuvre l'accord de Copen-

1. Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
2. MEthane Remote sensing Lidar mission



LE CNES EN ACTIONS

CFOSAT

LE VENT, LES VAGUES, LE CLIMAT

Fruit d'une collaboration inédite entre la France et la Chine, la mission Cfosat se polarise sur l'observation de la surface des océans. De quoi livrer de nouvelles clés de compréhension des évolutions climatiques.

Pour le CNES, le partenariat avec la CNSA¹ représente une première. Déjà pleinement engagée dans le spatial, la Chine se tourne vers de nouvelles applications au profit de la lutte contre le réchauffement climatique. La France et l'Europe lui ont proposé leur soutien. Cfosat, dont le lancement opérationnel est programmé pour 2018, entre dans le champ d'une coopération technologique contractualisée. Les agences française et chinoise vont donc poser un regard commun au même moment, en un même lieu, sur « l'état de la mer ». Le « quatre mains » vaut aussi pour les données : elles seront reçues et traitées à la fois par des stations terrestres et des centres de mission chinois et français.

PRÉVISION MÉTÉOROLOGIQUE

Swim, le radar français, surveillera les vagues et Scat, l'instrument chinois, surveillera les vents. Logique ! Les deux phénomènes sont couplés : les vagues naissent de l'énergie transmise par le vent. Ces observations conjointes manquent au catalogue des données spatiales, pour que puisse progresser la compréhension des interactions atmosphère-océans. La climatologie va y gagner, la technologie aussi : Swim, le radar fourni par le CNES, est totalement innovant. On attend de lui des perfor-



mances jamais atteintes à ce jour sur la mesure des spectres des vagues. Le satellite, fourni par le partenaire chinois, aura valeur de démonstrateur pour de futures missions qui pourraient alimenter en continu les systèmes de prévision météorologique.

UNE COOPÉRATION EXEMPLAIRE

Entre Swim et Scat, le partage des tâches est clairement défini. Entre le CNES et la CNSA aussi. Les équipes française et chinoise travaillent chacune leur partition en veillant à l'harmonie d'ensemble. Travailler de concert était aussi une première. « *Les approches culturelles, individuelles et techniques sont différentes. Sur un programme aussi complexe, il a fallu établir un climat de confiance, trouver les points de convergence* », explique Patrick Castilan, chef de pro-



VIDÉO



WWW.CNES.FR

La surface des océans à la loupe avec Cfosat.



LE CNES EN ACTIONS



Intégration du modèle électrique de l'instrument Swim par les ingénieurs du CNES.

jet au CNES. Le résultat dépasse les espérances. Les essais thermiques, mécaniques, électriques et les radiofréquences valident la bonne osmose des deux équipes. Sur sa dernière ligne droite, la coopération s'avère exemplaire. Techniquement profitables, les échanges sont aussi humainement agréables.

1. Agence spatiale chinoise (China National Space Administration)

BILAN CARBONE

LE CNES VISE L'EXEMPLARITÉ

Maîtrise des consommations d'eau, impressions recto-verso, modes de déplacement doux... les différents sites agissent pour réduire leur impact environnemental.

Le CNES est soumis aux exigences de la loi Grenelle de l'environnement au titre de ses activités. En 2011, un état des lieux des émissions de gaz à effet de serre a été réalisé sur l'ensemble de ses sites. Il pourrait s'arrêter là, mais ce n'est pas l'esprit de la maison. Le volontarisme est culture d'entreprise. Il s'impose à tous pour les grands projets comme pour les petits gestes du quotidien.

L'établissement réfléchit à l'évolution de ses systèmes avec, en ligne de mire, la réduction de son propre impact environnemental, dont les émissions de gaz à effet de serre. À Paris, Toulouse ou Kourou, la chasse au gaspillage énergétique s'organise : adaptation, modernisation des installations, rénovation des productions de chaud et de froid, installation de moyens photovoltaïques, rénovation de l'éclairage, maîtrise des consommations d'eau, etc. ont généré des économies quantifiables. Pour exemple, la consommation d'électricité est passée de 50 336 MWH



en 2010 à 45 861 MQH en 2013. Celle de gaz est passée de 57 652 MWH en 2010 à 51 600 MWH en 2013.

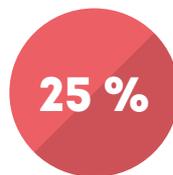
La démarche d'éco-responsabilité s'applique aussi aux gestes du quotidien. Au CNES, on imprime systématiquement en recto-verso pour économiser le papier. Les « plans de déplacement entreprise » encouragent les trajets en mode de transport doux. Les vestiaires et garages vélo incitent à laisser la voiture au garage. Le renforcement des moyens de visioconférence limite les besoins de mobilité... Demain, d'autres initiatives renforceront la contribution du CNES via des démarches de compensation carbone volontaire.



LE CNES EN ACTIONS



Essais de compatibilité électromagnétique de l'instrument en chambre anéchoïque.



C'est le gain
de précision attendu
des performances de
IASI-NG sur les profils
de température
atmosphérique.



C'est la date
à laquelle IASI-NG
devrait produire ses
premiers résultats.



En 2006, la communauté scientifique découvre les résultats remarquables du premier instrument IASI qui ont permis d'établir des profils de température et d'humidité grâce aux

spectres infrarouges de l'atmosphère. Au cœur du programme européen EPS-SG¹, la nouvelle génération IASI-NG va améliorer ces observations dans le domaine de la météorologie opérationnelle et de la chimie de l'atmosphère pour la période 2020-2040.

IASI-NG est également attendu sur le segment de la climatologie. Il apportera sa contribution à l'étude de plusieurs gaz présents dans l'atmosphère.

En analysant leur impact sur l'effet de serre, il va assurer le suivi à long terme de l'évolution climatique. Par rapport à son prédécesseur, IASI-NG opère une véritable rupture technologique. L'instrument adopte un principe innovant, celui de l'interféromètre de Mertz, implémenté pour la première fois dans un programme spatial. Partenaires historiques, le CNES, qui livrera l'instrument, et Eumetsat, qui l'exploitera en vol, signent là une première mondiale.

ÉCONOMIES D'ÉCHELLE

Sa plus-value porte sur deux points essentiels : les performances de bruit radiométrique et la résolution spectrale. Sur ces performances, l'interféromètre affiche un gain d'un facteur 2, et une amélioration significative est attendue sur la caractérisation de l'atmosphère. En 2019, le CNES livrera IASI-NG à Eumetsat pour un lancement de Metop-SG programmé en 2021. Pour des raisons d'économie d'échelle, trois modèles de vol seront réalisés dans la continuité, mais leur lancement sera séquencé jusqu'en 2035. Avec cette suite, les climatologues bénéficieront d'une fabuleuse réserve de données couvrant la période 2006-2040.

1. Eumetsat Polar System Second Generation

IASI-NG DE LA SUITE DANS LES DONNÉES

Dix ans après le lancement de l'interféromètre Iasi, une nouvelle génération d'instrument prend le relais. A la clé, des gains de performance exceptionnels pour les observations météorologiques.



MATIÈRE

LE BALLON DE NOUVELLE GÉNÉRATION

UTILISÉS LORS DES CAMPAGNES D'OBSERVATION CLIMATIQUE,

les ballons instrumentés évoluent. Les plus anciens, les ballons stratosphériques ouverts (BSO), utilisaient le polyéthylène, un plastique adapté aux missions de courte durée et à des charges lourdes. La nouvelle génération se veut plus résistante et plus écologique. Les ballons pressurisés des campagnes Stratéole 2, envisagées pour 2018 et 2019, seront ainsi réalisés avec du polyéthylène téréphtalate, un matériau capable de maintenir les nacelles à altitude constante pendant trois mois.

Par ailleurs, un prototype d'aéroclipper¹ en tissu enduit de polyuréthane sera conçu en 2016.

Résistant aux forces des vents, il se fauflera dans l'œil des cyclones pour les étudier de l'intérieur.

Le CNES signera alors une première mondiale.

1. Petit dirigeable semi-captif

VIDÉO

[+]

WWW.CNES.FR

Vivez le lâcher de ballon de la campagne EusoBallon depuis la base de Timmins au Canada.



INSTANTS T

J

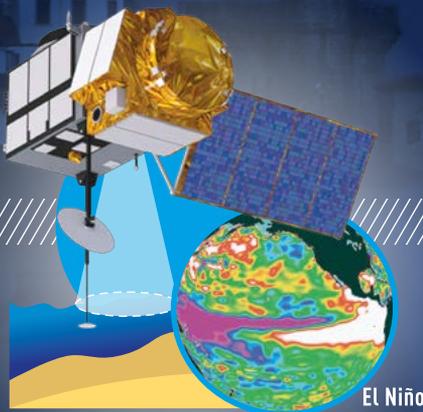
A

S

O

N

PAR LA PRÉCISION DE SES MESURES, L'ALTIMÉTRIE SPATIALE PERMET DE DÉCRIRE LES FLUX OCÉANIQUES, MOTEUR ÉNERGÉTIQUE DU CLIMAT. AVEC UNE COUVERTURE PLANÉTAIRE ET UN SUIVI TEMPOREL ININTERROMPU, LA SAGA JASON EST UN PRÉCIEUX OUTIL POUR L'ÉTUDE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.



El Niño

1992-2005

TOPEX-POSÉIDON LE PRÉCURSEUR

En 1992, le CNES et la NASA misent sur Topex-Poséidon, un programme d'altimétrie innovant et ambitieux destiné à mesurer les fluctuations annuelles du niveau moyen des océans. Sa précision est de l'ordre du centimètre. En dépit des pièges (turbulences, variations de vent et de pression), Topex-Poséidon relève le défi et impressionne la communauté scientifique. Il est le premier à décrypter les caractéristiques du courant marin El Niño. Dès lors, l'altimétrie spatiale devient un outil incontournable pour les climatologues.



Mesure de la hauteur des vagues

2001-2013 ET 2008

JASON 1 ET JASON 2 LES SUCCESSEURS

Jason 1 et 2 assurent la relève de Topex-Poséidon. Ils mesurent, en temps réel, la hauteur des océans ainsi que la vitesse du vent de surface. L'innovation tient à l'utilisation de Proteus, une plateforme conçue par le CNES et Thales. À la fois légère, de petite taille et résistante aux radiations, elle est adaptée aux orbites des missions Jason. Dans le même temps, le CNES et la NASA mettent la « Science Team » en pratique : une équipe scientifique est rattachée au projet dès son développement.



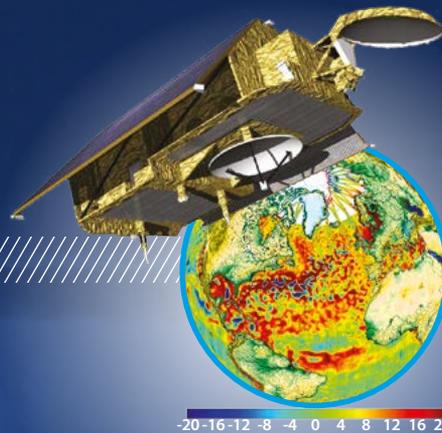
INSTANTS T

VIDÉO



WWW.CNES.FR

Le routage maritime grâce à Jason 3.



Topographie des océans

SECOND SEMESTRE 2015

JASON 3, PLACE À L'OcéANOGRAPHIE OPÉRATIONNELLE

Pas de révolution technologique pour Jason 3, qui reprend les caractéristiques majeures de ses prédécesseurs en matière d'orbite, d'instrumentation embarquée ou encore de précision des mesures. Le portage évolue ; une étroite coopération internationale associe agences opérationnelles (Eumetsat, NOAA), agences spatiales et utilisateurs, qui signent ainsi une mission de référence en termes de qualité des données, d'applications scientifiques et opérationnelles. Rappelons que Jason 3 s'inscrit dans une continuité de service ininterrompue depuis 23 ans.

2021

JASON-CS/SENTINEL-6, L'INTÉGRATION À COPERNICUS

Jason-CS/Sentinel-6 s'inscrit dans le programme européen de surveillance de la Terre Copernicus (lancement prévu en 2021). La mission s'appuiera sur une nouvelle plateforme, dérivée de CryoSat, et sur Poséidon-4, un altimètre encore plus performant. Placé sur la même orbite que ses prédécesseurs, le satellite poursuivra la mission de ses ancêtres. Dans le même temps, le radar nouvelle génération de la mission SWOT viendra compléter les données rassemblées par les Jason(s) sur toutes les surfaces d'eau du globe (p. 22-23).



RENCONTRES

PIERRE BAHUREL

Directeur général de Mercator Océan.

« Transformer une donnée spatiale en information pour qu'un marin, un chercheur ou un décideur en dispose. »



En novembre 2014, l'Union européenne confie à Mercator Océan la responsabilité de son service de surveillance et prévision des océans. À la tête de cette société toulousaine, un capitaine visionnaire : **Pierre Bahurel, précurseur et promoteur de l'océanographie opérationnelle française.**

Enfant, il se rêve cartographe. Jeune polytechnicien, il navigue un an sur un bateau de plongeurs, avant de remettre le cap sur ses études. Il choisit l'océanographie. Sa vie professionnelle débute en 1994, un moment clé car les observations de Topex-Poséidon ouvrent justement de nouveaux horizons pour cette discipline. Pierre Bahurel s'attaque à un défi technique : il combine observations

spatiales et puissance de la modélisation pour tester la prévision océanique. Il signe ainsi, en 1998, le premier bulletin opérationnel de prévision océanique pour la marine nationale. Trois ans plus tard, la préparation du premier centre français d'analyses et de prévisions océaniques lui est confiée. Mercator Océan s'impose alors comme la référence de la prévision océanographique. Pierre Bahurel voit plus loin : « *Je me suis attaché à lui donner une identité, une compétence et une reconnaissance internationales.* » Sa détermination sera saluée par ses pairs : **en 2007, il est choisi pour coordonner un consortium européen de 60 partenaires issus de 28 pays différents et pré-**

parer un futur service européen.

Mercator Océan, qui emploie aujourd'hui une soixantaine de personnes, en est le navire amiral. Sa figure de proue, toujours le même capitaine, fier d'avoir gardé la France pour port d'attache. Le choix de l'Union européenne « *est une reconnaissance énorme pour l'océanographie française* », confie-t-il. Un brin idéaliste, il voit au-delà de l'utilité opérationnelle : « *Transformer une donnée spatiale en information pour qu'un marin, un chercheur ou un décideur en dispose, c'est notre mission. Mais en partageant cette connaissance du milieu océanique, on aide aussi à une prise de conscience du rôle des océans dans le climat* », conclut-il.



RENCONTRES

FRANÇOIS PARISOT

Responsable de la mission Jason 2, Eumetsat.

« Jason, un service de produits à la carte ! »



Depuis près de deux décennies, la trajectoire de François Parisot suit à la lettre celle de la filière Jason. Au CNES, d'abord, il a été l'une des chevilles ouvrières de la mission Jason 1. **« J'aimais cette thématique et j'étais convaincu de sa plus-value pour le suivi climatique »**, dit-il. En 2003, François Parisot quitte la France pour l'Allemagne et le CNES pour Eumetsat¹; il va accompagner le développement applicatif de la filière Jason. L'organisation intergouvernementale, qui exploite les satellites de météorologie, veut élargir son champ d'action. Sur la base d'une évolution de sa convention, elle étend son activité au suivi opérationnel du climat et des changements climatiques.

À Eumetsat, en qualité d'Altimetry Manager, François Parisot apporte son expertise pour relever le challenge : **« Jason 2 possédait des atouts majeurs pour l'observation des océans et du climat, en particulier les applications de mesures vent/vagues et de courant, et de suivi d'élévation du niveau de la mer. Nous avons développé un service de produits à la carte, dans une gamme qui va de la donnée de très court terme au suivi de précision extrême sur le long terme. Cette grande flexibilité et la qualité des produits assurent le succès de Jason auprès de la communauté des utilisateurs, qui compte plusieurs milliers de membres »**, commente-t-il. Pour autant, l'altimétrie spatiale ne

« baigne » pas dans des eaux paisibles. **« Les témoignages attestent de l'excellence des produits Jason et de l'absolue nécessité de poursuivre ce type de mesure. C'est aussi l'une des collaborations spatiales les plus abouties et les plus réussies entre l'Europe et les États-Unis. Pourtant, le financement public reste essentiel en phase opérationnelle... et il est toujours aussi difficile de lever des fonds! »**, constate François. Jason 3 partira avec le soutien de la Communauté européenne, qui finance les opérations de cette mission au travers du programme Copernicus.

1. Organisation intergouvernementale qui compte 30 pays membres



RENCONTRES

TRU'O'ONG CÔNG CHOR'I

Pêcheur vietnamien.

« Le système Movimar a révolutionné notre façon de pêcher. »



En 2006, Tru'o'ong Công Chor'i, capitaine d'un bateau de pêche en mer de Chine, essayait le cyclone Chan Chu et voyait disparaître de nombreux amis et collègues. Neuf ans plus tard, **en avril 2015, le typhon Maysak le surprenait de nouveau au large, avec 35 hommes à bord.** Mais la tragédie ne se reproduira pas. Équipés par le gouvernement vietnamien de Movimar, une technologie de pointe alliant systèmes de surveillance des pêches et d'envoi d'alertes cycloniques par satellite, les bateaux de pêche sont désormais avertis du danger. Au Vietnam, la société CLS¹ a équipé plus de 3 000 bateaux de pêche de balises satellitaires LEO et de terminaux Marlin, puis installé trois centres de surveillance des pêches. « **Le me**

rappelle très bien la première alerte cyclonique adressée par le système.

C'était le 3 avril. Elle était envoyée par l'un des centres installés dans les terres », précise le capitaine. L'équipage décide alors de s'éloigner pour ne pas être pris au piège de la dépression grandissante. L'alerte dure 3 jours. Le 6 avril, le typhon s'éloigne enfin et les pêcheurs regagnent alors leurs zones de pêche habituelles.

Aujourd'hui une chose est certaine, ces typhons causent en Asie des dégâts de plus en plus importants. Leur intensité est bien supérieure à celle observée au début du XX^e siècle. L'augmentation de la température de surface de l'océan et les modifications importantes de la circulation atmos-

phérique semblent être les principaux facteurs mis en cause.

« Nous n'avions aucun dispositif d'alerte en haute mer avant celui-ci. **Aujourd'hui, nous recevons des bulletins météo quotidiens et des alertes en cas de danger immédiat.** Ce système a révolutionné notre façon de pêcher. Nous sommes de plus en plus confiants et pêchons plus sereinement », conclut Tru'o'ong Công Chor'i Si l'impact de l'homme sur son environnement peut s'avérer catastrophique, l'impact de la technologie sur ses conditions de vie peut aussi se révéler salutaire.

1. CLS (Collecte Localisation Satellites), filiale du CNES, de l'IFREMER et de la société d'investissement Ardian, est opérateur de systèmes satellitaires et fournisseur de produits et services à valeur ajoutée depuis 1986.



ESPACE ÉTHIQUE



JACQUES ARNOULD

LA GRENOUILLE ET LE PAPILLON

En deux siècles, les hommes ont acquis la capacité de prendre de la hauteur, grâce aux ballons, aux avions, aux fusées. Leur manière d'appréhender la météo et le climat de leur planète s'en trouve modifiée.



Tout est question d'échelle. Celle de la grenouille n'a jamais permis de dépasser l'horizon de la météorologie : un halo autour de la Lune, un vent qui se lève ou change de sens, un air qui se rafraîchit, une hirondelle qui rase les herbes... et nous voilà en train d'imaginer, de prévoir le « temps » qu'il fera quelques heures plus tard. Avec la naissance et le développement de la science météorologique, de ses réseaux d'observation et de communication, de ses modèles qui permettent de calculer plus vite que l'égrènement des heures et des jours, cet horizon a reculé de quelques jours et permis de sauver des vies et des récoltes, de protéger des œuvres de l'art humain. Mais c'est encore une échelle de grenouille, du haut de laquelle l'alternance des saisons au fil des années a longtemps ressemblé à une lassante répétition. « Y a-t-il jamais eu quelque chose de nouveau sous le soleil ? », se sont longtemps demandés les sages du passé.

« APRÈS NOUS, LE DÉLUGE! »

Lorsque les humains se sont munis des ailes du papillon, puis de celles de l'aigle, lorsqu'ils ont franchi les limites de l'air à l'aide de leurs satellites, ils n'ont pas seulement amélioré leurs prévisions météorologiques ; ils ont aussi

découvert, étrange coïncidence, que les climats de la Terre étaient en train de perdre leur sempiternelle immutabilité. Oui, il y a du nouveau sur Terre et sous le Soleil : des températures aux niveaux des océans, des glaces arctiques et antarctiques à la biomasse, tout paraît changer. Au pire de devenir menaçant : n'a-t-il pas été avancé que les battements d'ailes d'un papillon pouvaient provoquer des raz-de-marée ? À l'échelle du papillon qui couvre toute la planète et plusieurs décennies, l'horizon a pris aux yeux de l'humanité une teinte dramatique, voire catastrophique.

Faut-il écouter les fans de madame de Pompadour qui s'étourdissent à répéter : « Après nous, le déluge ! » et restent agrippés à leur échelle de grenouille ? Je crois plutôt qu'il est l'heure de s'interroger sur l'avenir de notre humanité et de notre Terre. D'ores et déjà, nous pouvons mesurer l'impact de nos œuvres sur le présent et le transposer sur le futur. Dès lors, que nous manque-t-il pour infléchir, autant qu'il nous plaira et nous sera permis, la trajectoire, l'évolution des indicateurs de santé de notre bonne vieille planète ? De la volonté, de l'audace ? Rappelons-nous que la vie d'un papillon traverse elle aussi plusieurs métamorphoses. Et si l'humanité se trouvait au seuil d'un tel événement ?



EN VUE

OUVRAGE CHANGEMENT CLIMATIQUE & SATELLITES

Année climat oblige, Sud(s) Concepts réédite son book magazine *Changement climatique & Satellites* (2007). Dans cette version actualisée, les auteurs initiaux ont revu leur copie et d'autres les ont rejoints. Au fil des 176 pages, un nouveau chapitre sur les impacts sociétaux s'est imposé. Parmi d'autres partenaires, le CNES a souhaité s'associer à cette production de Thales Alenia Space.



INNOVATION C3, UN CHALLENGE POUR LE CLIMAT

Pour relever le défi climatique, on recherche... des idées neuves! Novateur dans sa formule, C3 recueille de manière ouverte les projets innovants. Citoyens, professionnels, start-up... tout le monde peut contribuer à l'élaboration d'actions collaboratives. Lancé par plusieurs partenaires dont Météo-France, le CNES ou encore l'IGN, C3 est porté par le secrétariat général pour la Modernisation de l'action publique et par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

+ WWW.C3CHALLENGE.COM

TECHNOLOGIE

ACTINSPACE, ACTE II



La deuxième édition d'ActInSpace a été lancée les 20 et 21 mai 2015. En moins de 24 heures chrono, des équipes ont relevé les défis proposés par le CNES et l'ESA à partir des technologies spatiales, dont certaines en lien avec l'étude du climat.

VIDÉO



WWW.CNES.FR

Retour
en images
sur la première
édition
d'ActInSpace.

EXPO LA FAUNE DES PÔLES

Dans le cadre d'un partenariat entre le CNES et les centres culturels de la ville de Toulouse sur la diffusion de la culture scientifique, la maison de quartier de Ranguil a programmé, du 2 au 19 juin, l'exposition « Le changement climatique et les animaux des pôles », accompagnée d'une borne pédagogique et de vidéos.

ÉTHIQUE UNE PERLE BLEUE

Vue du cosmos, notre Terre est une singulière perle bleue. Elle est soumise à bien des changements que nous apprenons à mesurer, à prévoir. Et si l'espace nous apprenait à œuvrer ensemble pour assurer l'avenir de la Terre, et le nôtre? Après *La Seconde Chance d'Icare*. Pour une éthique de l'espace (2001) et *Le Rire d'Icare*. Le risque et l'aventure spatiale (2013), Jacques Arnould poursuit sa réflexion en publiant aux éditions du Cerf, *Une perle bleue. L'espace, la Terre et le changement climatique* (2015).





EN VUE



Le pavillon du CNES au Bourget 2015.

COP21

OPUS 1, LE BOURGET

Le Salon international de l'aéronautique et de l'espace (15-21 juin) du Bourget marque, pour le CNES, le début d'une grande mobilisation autour de la conférence mondiale sur le climat (COP21). Cette année plus que jamais, il proposera « un espace pour le climat » de grande ampleur : sous un grand dôme évoquant la planète Terre, seront présentées de façon originale toutes les solutions apportées par l'espace au changement climatique. Écran géant, scénographie immersive et installations interactives seront au rendez-vous.

OPUS 2, SUITE AUTOMNALE

La mobilisation du CNES se poursuivra, dans le cadre de la Fête de la Science jusque dans le « ClimaTrain ». À partir du 6 octobre, ce dernier va sillonner la France pour aller à la rencontre de tous, curieux, néophytes, passionnés... Une zone sera réservée à l'apport du spatial. Au cours de l'automne, le dôme du CNES réintégrera Paris intra-muros afin d'accompagner les préparatifs de la COP21, puis participera à l'opération prévue au Grand Palais (4-11 décembre) aux côtés de tous les organismes et industriels qui proposent des solutions face au changement climatique.



AGENDA

15-21 JUIN

Salon international de l'aéronautique et de l'espace
Paris, Le Bourget

7-10 JUILLET

Conférence scientifique sur le changement climatique
Paris, Unesco

À PARTIR DU 22 JUILLET

Lancement du satellite d'océanographie Jason 3

6 SEPTEMBRE - 11 OCTOBRE

Fête de la science
(ClimaTrain)

25 SEPTEMBRE

Nuit des chercheurs
Brest, Montpellier,
Toulouse

13-16 OCTOBRE

Salon Pollutec des « solutions décarbonées »
Paris, porte de Versailles

17-19 NOVEMBRE

Colloque sur « Le cycle de l'eau et de l'énergie tropicales »
Paris, Maison des océans



TRANSFERT

COOVIA REND LE COVOITURAGE INTELLIGENT

Destinée aux trajets du quotidien, l'application pour smartphones Coovia associe localisation par GPS et co-voiturage. Une start-up soutenue par le CNES.



Huit heures du matin sur le périphérique. À Paris ou Toulouse, ça coince et ça chauffe! « C'est mauvais pour vous et pour le climat! » lâche David Larcher, créateur de Coovia¹. C'est aussi un gâchis économique : « Le coût du trajet maison-travail, c'est un mois de

salaire par an. »

Le concept imaginé par David Larcher est simple : capitaliser sur la flotte de véhicules privés pour étendre le transport en commun. « Il y a toujours un siège vide quelque part, explique-t-il. Notre application le fait savoir en créant une synergie entre la base de données des transports publics et les plateformes communautaires! »

Le dispositif bénéficie du coup de pouce du spatial.

« Via le GPS, les utilisateurs de Coovia sont géolocalisés ce qui optimise la réactivité et la flexibilité de leurs recherches », précise David Larcher. Depuis janvier 2015, l'usager peut aussi, à tout moment, adapter, voire annuler un transport. Soutenu par l'ESA BIC Sud France, Coovia est né dans la métropole toulousaine, berceau de l'industrie spatiale.

Premier centre d'incubation d'affaires de l'Agence spatiale européenne en France, l'ESA BIC Sud France est piloté par le pôle de compétitivité Aerospace Valley, associé au CNES et au pôle de compétitivité Pégase. Aujourd'hui, l'application de Coovia est présente à Rennes, Nantes, Paris et Bordeaux. Les premiers bénéfices financiers sont attendus dès 2016.

➔ [HTTP://WWW.COOVIA.FR](http://WWW.COOVIA.FR)

1. Avec Coovia, David Larcher a été lauréat du concours Open Data Toulouse Métropole 2012

8500

C'est le nombre d'utilisateurs du réseau Coovia à Toulouse pour 800 trajets quotidiens.

-16%

C'est la baisse potentielle du nombre de véhicules en circulant à deux par voiture (source : CGDD).



VIDÉO



WWW.CNES.FR

L'appli testée à Toulouse par notre reporter.

