

dossier

SOLAR IMPULSE : L'HISTOIRE D'UNE PASSION

Lancé dans un tour du monde historique, Solar Impulse est un avion solaire monoplace révolutionnaire en fibre de carbone aux performances exceptionnelles. Avec une envergure supérieure à celle d'un Boeing 747-800 pour un poids ne dépassant pas celui d'une voiture, il est conçu pour pouvoir voler jour et nuit à la seule force de l'énergie solaire. Nous vous proposons de revivre, dans ce dossier JITEC, les grandes étapes de ce défi technologique et humain porté par Bertrand PICCARD et André BORSCHBERG.

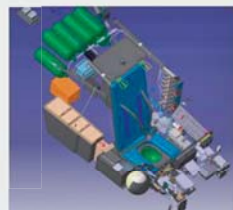
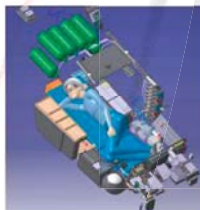
- Avion monoplace en fibre de carbone ;
- Cockpit non pressurisé et non chauffé de 3,8 m³ ;
- Envergure : 72 m ;
- Longueur : 25 m ;
- Poids à vide : 2 300 kg ;
- Vitesse de croisière : 45-55 km/h ;
- Altitude maximale de vol : 8 500 m ;
- Alimentation : 17 248 cellules solaires qui chargent 4 batteries de 38,5 kWh chacune ;
- Propulsion : 4 moteurs brushless électriques (13,5 kw chacun) entraînant des hélices de 3,5 m de diamètre ;
- Rendement du système de propulsion : 93 %.

thesame

Dossier conçu par :

André MONTAUD

am@thesame-innovation.com



UN REVE DEVENU REALITE

1999 Naissance d'une idée

« La question maintenant n'est pas tant de savoir si l'homme pourra aller encore plus loin et peupler d'autres planètes, la question est de savoir comment s'organiser de façon à rendre la vie sur Terre de plus en plus digne d'être vécue ». déclarait Auguste Piccard en 1931 à la suite de sa première ascension stratosphérique. Quoi de plus logique, dès lors, que son petit-fils initie 70 ans plus tard un projet combinant exploration scientifique et promotion des énergies renouvelables. L'idée de Solar Impulse est venue à Bertrand Piccard à la suite du premier tour du monde en ballon réalisé avec Brian Jones en 1999. C'est en prenant conscience que le manque de carburant aurait pu faire rater son aventure qu'il s'est fait la promesse de refaire un tour du monde, mais cette fois sans carburant ni émissions polluantes.

2001 - 2003 Etude de faisabilité de l'EPFL

En 2002, Bertrand Piccard sillonne les USA pour faire un état des lieux de la recherche et se lie avec plusieurs spécialistes de l'aviation solaire. Tous les encouragent à relever le défi de faire voler ainsi un pilote autour du monde. Il se tourne alors vers l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne qui accepte de mener une étude de faisabilité et en confie la direction à André Borschberg, ingénieur et pilote de chasse. Les résultats concluants de cette étude permettent d'annoncer officiellement le lancement du projet le 28 novembre 2003. La première configuration, celle de l'étude de faisabilité, tient compte de tout ce que les chercheurs ont découvert et imaginé, c'est-à-dire un avion de très grande envergure et extrêmement performant aérodynamiquement. Cependant, tous les détails ne sont pas encore pris en compte et les premières images ne sont que des vues d'artistes. Début 2004, des études plus approfondies conduisent à la première version du prototype, déjà sensiblement différente. Les moteurs sont placés devant le bord d'attaque des ailes, afin d'équilibrer la force de propulsion de l'avion et les forces aérodynamiques. Cette version présente un cockpit-nacelle nettement détaché sous l'aile. Finalement, une troisième version naît du travail des ingénieurs qui décident de commencer par un premier prototype à cabine non pressurisée. En novembre 2007, après 4 ans de recherches, de calculs complexes et de simulations, Bertrand Piccard et André Borschberg présentent le design final du premier prototype d'une envergure de 63 mètres pour une masse de 1 600 kg, qui sera immatriculé HB-SIA.



2007- 2009 Vols virtuels et construction

En mai 2007, la mise sur pied d'une mission de vol virtuel, grâce à un logiciel développé par Altran, conforte Bertrand Piccard et André Borschberg dans l'idée que leur rêve de pionniers peut effectivement devenir réalité. Les nombreuses stratégies simulées dans des conditions météorologiques réelles ont apporté une foison d'enseignements. En mai 2008, le simulateur de vol développé en collaboration avec Dassault et l'EPFL permet aux deux aviateurs de « piloter » le HB-SIA pour la première fois durant 25 heures, équipés et harnachés comme ils le seront lors des vols réels : casque, harnais de sécurité, parachute, masque à oxygène, avec des vivres et les accessoires adaptés à leurs besoins naturels. Disposés sur 210° autour du cockpit, cinq écrans de projection donnent au pilote l'impression de se sentir aux commandes comme dans la réalité.

Dès septembre 2008, après l'assemblage du cockpit et de la queue du prototype HB-SIA, la construction de l'aile peut commencer. Pièces maîtresses, les longerons centraux réalisés par Décision S.A, sont des poutres de section rectangulaire en fibre de carbone et sandwich nid d'abeille, dont la plus grande mesure allègrement 20 mètres de long, qui sont mises bout à bout pour constituer la colonne vertébrale de l'aile qui fait 63 mètres d'envergure. Mi-février 2009, une série de tests met à l'épreuve le longeron. Ils visent à éprouver directement sa résistance à des charges élevées. Le groupe électrique et de propulsion fait aussi l'objet de mises à l'épreuve approfondies. Les quatre moteurs, avec leurs hélices de 3,5 mètres de diamètre, les batteries lithium-polymère, les circuits d'optimisation et de régulation, le câblage, les commandes de puissance, tous les composants de l'avion sont testés sans exception.

2010 Décollage !

7 ans de design, de calculs, de simulations puis de construction pour aboutir au premier vol le 7 avril 2010, sur l'aérodrome de Payerne en Suisse. Le prototype décolle devant plusieurs milliers de spectateurs avec le pilote d'essais Markus Scherdel aux commandes. Le premier vol de nuit se déroulera 3 mois plus tard entre le 7 et le 8 juillet 2010. André Borschberg pilotera durant 26 heures et montera à 8 720 mètres d'altitude.

2011 - 2013 Vols de démonstration



Durant l'été 2011, l'avion solaire effectue son premier vol international en atterrissant à Bruxelles, avant de participer au Salon du Bourget comme invité d'honneur. La construction de son grand frère le Solar Impulse 2 démarre dans le hangar militaire de Dübendorf. En Juin 2012, le prototype HB-SIA réussit un parcours de 6 000 km en 7 étapes qui l'amène au Maroc. Invité par le Roi Mohammed VI, et soutenu par l'Agence Marocaine pour l'Energie Solaire, Solar Impulse traverse le désert dans le but de promouvoir la construction de la plus grande centrale solaire thermodynamique du monde.

Tandis que la construction du deuxième avion continue, le prototype Solar Impulse 1 s'est vu offrir l'opportunité d'entreprendre une dernière aventure inoubliable : la traversée des USA ! Un challenge incroyable pour Bertrand Piccard et André Borschberg mais également l'occasion de présenter ce bijou de technologie au pays de l'innovation. Ce fut la dernière mission de Solar Impulse 1, qui quittera définitivement les pistes à l'été 2013. La fin de l'année 2013 est consacrée à l'assemblage final de Solar Impulse 2, immatriculé HB-SIB. Avec près de 50% de cellules photovoltaïques en plus, une capacité de stockage optimisée en termes de durée et de densité et des moteurs deux fois plus puissants, la performance de Solar Impulse 2 dépasse de loin celle du 1^{er} prototype. Les équipements de survie ont été multipliés et le confort est maintenant une priorité pour assurer la vigilance du pilote pendant les longues étapes.

2014 Prêt pour le tour du monde !

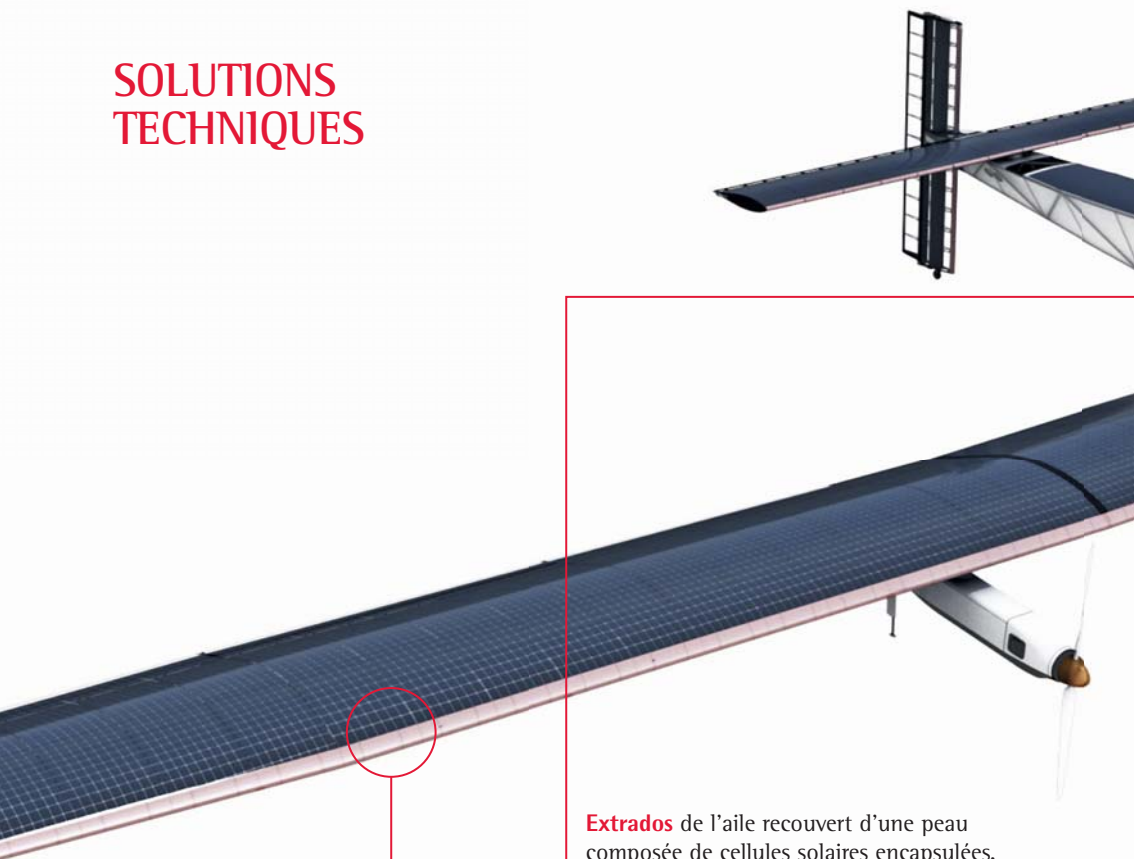
Après sa présentation officielle le 9 avril, Solar Impulse 2 est soumis à une série de vols tests à l'aérodrome de Payerne.

Ceux-ci s'étant avérés positifs, l'avion est démonté afin d'être transporté à Abu Dhabi par avion-cargo.

La grande aventure peut commencer



SOLUTIONS TECHNIQUES



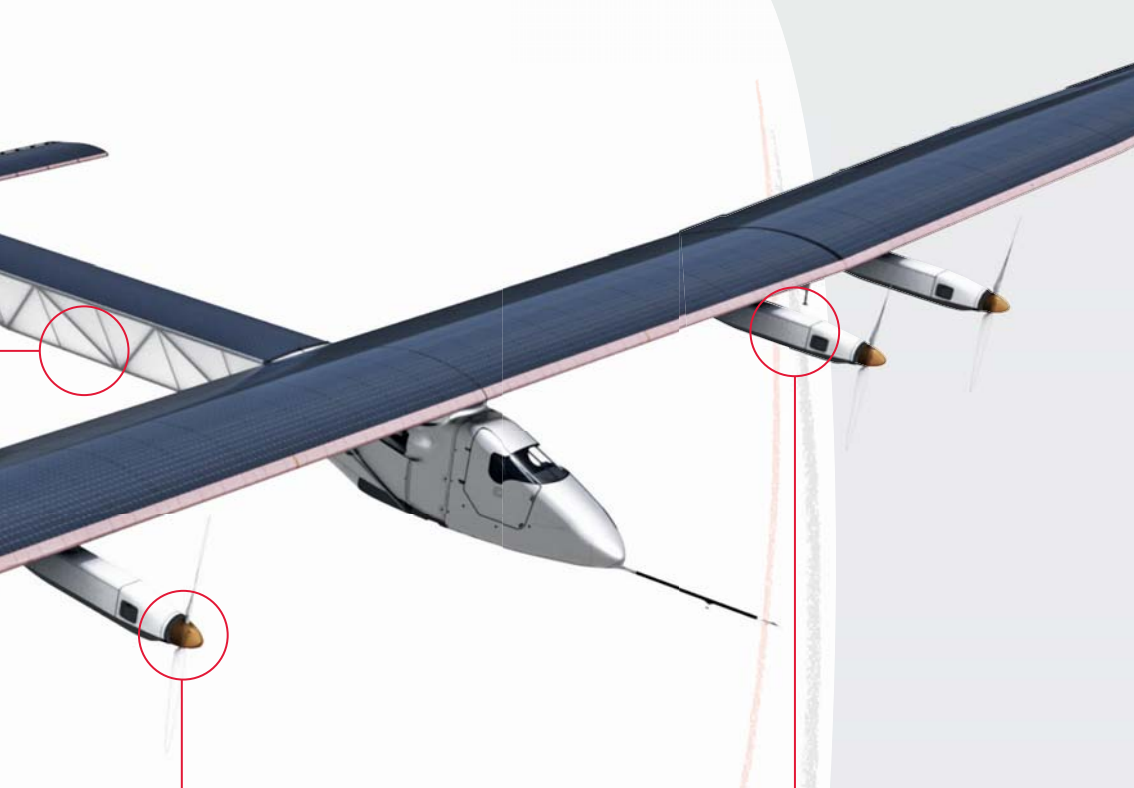
17 248 cellules en silicium monocristallin de 135 microns (plus fines qu'un cheveu humain) sur les ailes, le fuselage et le stabilisateur horizontal, présentant le meilleur compromis entre légèreté, flexibilité et rendement (23 %).

Extrados de l'aile recouvert d'une peau composée de cellules solaires encapsulées, et intrados d'un film flexible à haute résistance.

140 nervures en fibre de carbone réparties tous les 50 cm donnent à l'aile son profil aérodynamique tout en garantissant sa rigidité.

Structure en matériaux composites (fibres de carbone et nid d'abeille assemblés en sandwich).





Quatre moteurs brushless sensorless de 17,4 V chacun (13,5 kw) fixés sous les ailes, munis d'un réducteur limitant à 525 tours/minute la rotation d'une hélice bipale de 4 m de diamètre.

L'ensemble comporte un rendement de 94 %, ce qui en fait un record d'efficacité énergétique.

Stimulation de l'innovation dans le domaine des feuilles de carbone qui ne pèsent plus que 25 gr/m², soit le tiers d'une feuille de papier d'imprimante.



Stockage de l'énergie dans des batteries au lithium polymère, d'une densité énergétique poussée à 260 Wh/kg. Réparties dans les 4 nacelles et isolées dans une mousse de haute densité, avec un système de contrôle des seuils de charge et de température, leur masse totale se monte à 633 kg, soit un peu plus du quart de l'ensemble de l'avion.

Prouesses des ingénieurs qui ont redoublé de créativité pour construire cet appareil révolutionnaire et le porter à un tel degré d'efficacité énergétique.



2015 Décollage

Extrait du communiqué de presse :

Etape # 1 : Abou Dhabi (UAE) - Muscat (Oman)
Abou Dhabi, UAE, le 9 mars 2015. C'est sous le regard ému de l'équipe de Solar Impulse, partagée entre Abou Dhabi et le Mission Control Centre de Monaco (MCC), que l'avion solaire a décollé ce matin pour rejoindre Muscat (Oman) avant de traverser la Mer d'Arabie jusqu'à Ahmedabad (Inde). André Borschberg s'est envolé ce samedi à 07:12 (UTC+4) aux commandes de Si2 pour effectuer la première étape du tour du monde en avion sans une goutte de carburant. Bertrand Piccard le rejoindra à Oman pour reprendre les commandes et poursuivre jusqu'à Ahmedabad (Inde).

Le duo se relayera ainsi à bord de ce prototype expérimental jusqu'au Japon où il attendra les conditions clémentes pour tenter la traversée du Pacifique.



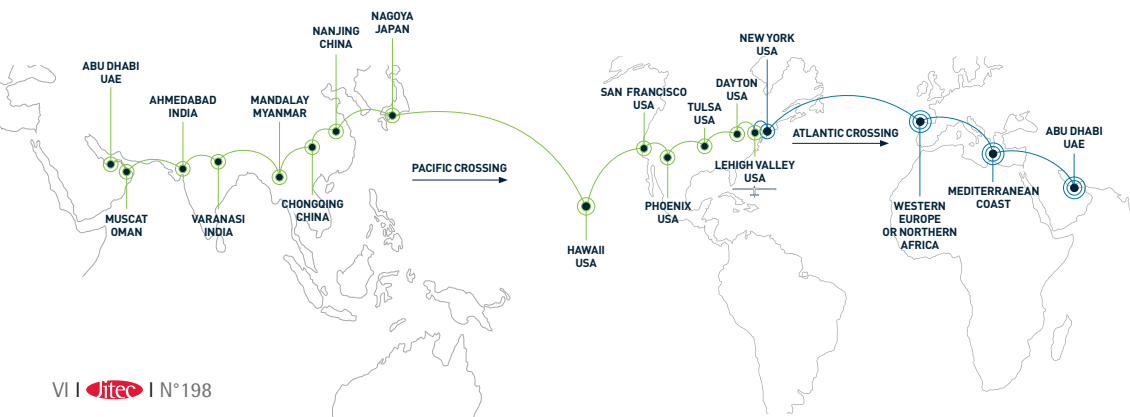
Juillet 2015 Vol historique de tous les records

L'étape la plus longue et la plus difficile du premier tour du monde en avion solaire se termine par un exploit humain le 3 juillet à 15h55 GMT à Hawaï. Parti du Japon, le pilote André Borschberg a volé pendant 5 jours et 5 nuits au-dessus du Pacifique. Il a battu les records du monde de distance et de durée de vol dans la catégorie aviation solaire, ainsi que le record du monde du plus long vol en solitaire jamais réalisé (117 heures 52 minutes et 7 200 km). Hélas, malgré la réussite absolue de ce vol historique, les batteries de l'avion ont subi une surchauffe les ayant définitivement endommagées et nécessitant leur changement. Les causes sont connues : au cours de la première ascension, le premier jour du départ de Nagoya vers Hawaï, la température des batteries a anormalement augmenté en raison d'un taux de montée élevé et de la trop bonne isolation thermique de la cabine. Durant le vol, il n'y avait aucun moyen de diminuer la température lors de l'ascension quotidienne vers 8 500 m et de descente progressive qui constituent le profil de vol idéal pour une gestion optimale de l'énergie.

Les dommages aux batteries ne sont pas une défaillance technique ou une faiblesse dans la technologie, mais plutôt une erreur d'évaluation en termes de programme de vol et de spécification du refroidissement des batteries lors des cycles de montée / descente rapide en climat tropical.

2016 Boucler la boucle

Après un hivernage à Hawaï et les lourdes réparations des batteries, les vols d'essai se déroulent entre février et avril avant de repartir cap vers l'Est : USA, Europe, Moyen-Orient.



INTERVIEW : L'HOMME QUI A VAINCU LE PACIFIQUE À LA FORCE DU SOLEIL !



Andre Borschberg restera sans doute pour longtemps le pilote qui aura effectué le plus long vol en solitaire avec plus de 5 jours et 5 nuits entre le Japon et Hawaï. Nous lui avons demandé quelle expérience humaine il retirait de cet exploit hors du commun. Son approche autour du leadership, rempli d'humanité et de confiance en l'équipe, est une leçon de management !

**Pour vous, l'explorateur est avant tout un leader !
Étonnant alors que l'on est assis seul dans son cockpit au milieu de nulle part, non ?**

Il y a des moments dans la vie des explorateurs où des décisions cruciales doivent être prises, des décisions qui conduiront soit au succès, soit à l'échec, et qui peuvent aller à l'encontre des idées établies. C'est dans ces moments que les explorateurs deviennent des leaders !

Tirons un exemple de mon expérience lors du vol du Japon à Hawaï : quelques heures après le décollage de l'aéroport de Nagoya à bord du Solar Impulse 2, j'ai détecté une défaillance dans le système qui commande l'avion pendant que je me reposais. Pour un vol d'au moins 5 jours et nuits, étant le seul pilote dans le cockpit, ce système était d'une importance capitale.

Une fois le point de non-retour atteint, le système ne fonctionnant toujours pas correctement, tous mes ingénieurs m'ont demandé de retourner au Japon pour régler le problème, mais c'était la première fois que les conditions météorologiques au-dessus du Pacifique étaient si favorables après 2 mois passés à attendre et à reporter notre départ. J'ai donc envisagé la question sous un autre angle et me suis dit que le risque de la mission était globalement mesuré, que je pouvais trouver des solutions pour compenser la défaillance du matériel. J'ai décidé de continuer, ce qui provoqua une grande émotion au sein de l'équipe. C'était le seul moyen d'avancer. Ce fut une décision difficile, mais je sentais au fond de moi que c'était le bon moment.

Votre équipe, c'est votre cordon ombilical, votre ligne de vie. La confiance, dites-vous, est essentielle pour tirer le meilleur de chacun. Ce n'est pas un excès de modestie par rapport à votre exploit ?

Les explorateurs ne peuvent réussir que s'ils parviennent à tirer le meilleur de ceux qui les entourent. C'est une question de motivation et d'autonomisation. Chaque personne doit comprendre son rôle dans l'aventure, être encouragée et reconnue dans son travail. Lorsque l'objectif est aussi précis que le nôtre, les collaborateurs l'ont toujours en tête. Les ingénieurs de Solar Impulse, qui ont construit l'avion, savaient qu'ils fabriquaient un appareil révolutionnaire. La sécurité du pilote est devenue primordiale pour tous. Le but restait de continuer à explorer, mais la sécurité des pilotes et de l'avion est devenue la priorité. Ils se sont tellement impliqués que d'une certaine manière, ils sont devenus porteurs du projet au même titre que nous. L'appropriation du projet à l'échelon individuel fait de l'exploration une aventure pour toutes les personnes concernées.

Lorsque nous volions à bord du Solar Impulse 2, nous nous appuyions fortement sur le Centre de contrôle de mission à Monaco (CCM). Situé à des milliers de kilomètres de l'avion et du pilote, le CCM établissait les conditions météorologiques, assurait le fonctionnement du système. Jour après jour, heure après heure, ils suivaient l'avion et participaient à sa surveillance afin d'identifier les dysfonctionnements le plus tôt possible.

Les enjeux étaient importants et je savais que tout le monde faisait de son mieux pour que nous réussissions. Ils étaient tous tellement impliqués que je savais que si nous n'y arrivions pas, ce ne serait pas un manque de persévérance ou de volonté qui serait en cause, mais le destin !

Pour vous, traverser le Pacifique c'est aussi un voyage intérieur ?

Prendre le temps de la réflexion est crucial dans les moments de risque extrême. Au final, toute expérience d'exploration dépend de l'individu et ce qui en résulte vraiment est le fruit d'un voyage intérieur.

Entre le mental et le physique, vous privilégiez le premier dans la réussite. Pourquoi ?

L'un des moyens de se préparer au risque est de se préparer au pire pour le rendre moins terrifiant. Le fait de savoir que l'on peut gérer des situations très délicates (la nécessité de s'éjecter de l'avion au-dessus de l'océan) permet de diminuer l'anxiété et d'être en mesure de se concentrer sur le présent.

Ce que je trouve également utile est de s'observer soi-même, de scruter ses propres réactions, comportements et émotions. J'ai découvert que pour développer cette compétence, le yoga et la méditation étaient de très bons outils. Le yoga ne consiste pas simplement à faire de l'exercice différemment, il s'agit de développer un état d'esprit, de mettre l'esprit et le corps en harmonie. L'observation de soi en fait partie, elle permet de voir comment notre propre corps réagit lorsque nous prenons une posture, comment nous respirons, comment nous nous sentons. C'est exactement ce qu'il faut faire lorsqu'on se retrouve confronté à une situation de stress.

Ce dossier a été réalisé avec l'aide des équipes de Solar Impulse, de leurs divers dossiers techniques et du blog <http://blog.solarimpulse.com>

Photos by :

- ① ©ESA Oxyde de-Sapristi EPFL
- ②③ ©Solar Impulse - Revillard - Rezo.ch
- ④ ©Solar Impulse -Stefatou - Rezo.ch