



SOLVAY

asking more from chemistry®

Le futur
commence dès aujourd'hui

Présentation de Solar Impulse 2

Si2

SOLARIMPULSE

Les produits Solvay
à bord de Solar Impulse 2



1
Halar[®]ECTFE
Capter l'énergie

2
Solstick
Capter l'énergie

3
Solef[®] PVDF
Stocker l'énergie
4 moteurs

4
F1EC
Stocker l'énergie
4 moteurs

5
Torlon[®]PAI
Structure

6
Pré-imprégnés VTM[®]264
Adhésif structurel VTA[®]260
Structure

7
Solkane[®]365 mfc
Structure

8
Mousse PPSU TegraCore[™]
Structure

10
Ixef[®] PARA
Allègement/
Remplacement du métal

11
Sinterline[®] Polyamide 6
Allègement/
Remplacement du métal

12
Fomblin[®] PFPE
Lubrification
4 moteurs

14
Emana[®] à base de Polyamide 6.6
Au-delà de l'avion

13
Modélisation non-linéaire
Simulations numériques

9
KetaSpire[®] PEEK
PrimoSpire[®] SRP
Allègement/
Remplacement du métal

15
Hangar mobile gonflable
Au-delà de l'avion

Si2

SOLARIMPULSE

Les produits Solvay à bord de Solar Impulse 2

1

Capter l'énergie Halar[®] ECTFE

Les cellules photovoltaïques sont protégées par un film transparent à base de **Halar[®] ECTFE** contre les conditions atmosphériques difficiles endurées en vol. L'épaisseur du film réduite à 17-20 microns soit moins de 0,02 millimètre, contre 26 microns pour un film concurrent, permet un gain de poids d'environ 35 % tout en conservant les mêmes performances électriques. L'expérience du Solar Impulse 1 (Si1) a démontré que les cellules photovoltaïques n'étaient pas protégées contre l'humidité. L'utilisation du film **Halar[®] ECTFE** sur les deux faces a résolu ce problème et transformé Solar Impulse 2 (Si2) en un avion électrique parfaitement étanche. Le film **Halar[®] ECTFE** enrobe désormais la totalité



des 17 248 cellules photovoltaïques (pour une superficie de 300 m²) disposées sur les ailes, le stabilisateur arrière et le fuselage. Ce film a été fabriqué par Ajedium aux États-Unis.

2

Capter l'énergie Solstick

Capter l'énergie de manière efficace est un défi qui a nécessité une planification minutieuse et une attention aux moindres détails au moment

de la conception de la structure de l'avion. Entre autres, la circulation d'air des petits interstices entre les cellules solaires disposées sur les ailes risquait d'affecter l'aérodynamisme et d'entraîner une perte d'énergie. Ces interstices ont été recouverts par un film capable de résister aux fortes fluctuations de température sans se décoller. Ce film devait également

être suffisamment flexible pour supporter le mouvement des ailes pendant le vol et transparent pour permettre aux cellules solaires de capter l'énergie solaire, sans toutefois alourdir l'avion. Solvay Specialty Polymers a alors mis au point le ruban adhésif **Solstick** à partir de son polymère **Solef[®] PVDF**.



3

Stocker l'énergie Solef[®] PVDF

L'énergie solaire transformée en électricité par les cellules photovoltaïques est stockée dans les batteries au lithium, dont la masse totale atteint 633 kg. Étant donné que le stockage de l'énergie constitue un goulot d'étranglement dans la chaîne énergétique, il a fallu optimiser la densité énergétique (mesurée en Wh/Kg) de ces batteries. La densité initiale de 180 Wh/Kg a ainsi été portée à 240 Wh/Kg dans Si1. Pour Si2, Solvay a mis au point un nouveau grade de **Solef[®] PVDF**, utilisé comme liant pour les



deux électrodes, afin de garantir une adhésion optimale tout en contribuant à réduire le poids des batteries. L'amélioration de la stabilité électrochimique des cellules a également permis d'accroître la fréquence des cycles de charge et de décharge tout en élevant la densité énergétique à 260 Wh/Kg.

4

Stocker l'énergie F1EC


Le solvant à base de carbonate d'éthylène monofluoré appelé **F1EC** ou FIC peut représenter jusqu'à 20 % de l'électrolyte dans les batteries

lithium-ion rechargeables. En améliorant la circulation des ions, cet additif permet aux batteries de transporter davantage de courant à poids égal. Utilisé sur les batteries du Si2, il a contribué à améliorer la densité énergétique des batteries jusqu'à 260 Wh/Kg.

6
5

Structure
Torlon® PAI

Pré-imprégnés VTM® 264
Adhésif structurel VTA® 260



Le longeron d'aile de 70 mètres est fait à partir d'une structure en nid d'abeille prise en sandwich entre deux feuilles de fibres de carbone. Cette structure composite complexe est faite de papier imprégné du polymère **Torlon® PAI**. Assemblée par collage, elle combine d'excellentes propriétés mécaniques (solidité, torsion, flexion, vibration) pour un poids incroyablement léger. Recouverte de cellules solaires encapsulées sur sa partie supérieure, l'aile compte 144 nervures qui lui confèrent son profil aérodynamique.



Les **pré-imprégnés VTM® 264** et l'**adhésif structurel VTA® 260** sont utilisés dans la fabrication de la grande structure nid d'abeille du longeron d'aile, et d'autres pièces composites. L'utilisation de tels composites, avec une grande souplesse dans la conception, permet également de fabriquer des pièces ultralégères ; un atout majeur pour le projet Solar Impulse.

7

Structure
Solkane® 365 mfc



Le cockpit de 3,8 m³ du Si2 devait être léger et stable, tout en garantissant une isolation optimale contre des températures extérieures pouvant descendre jusqu'à -50°C. Ce défi a pu être relevé grâce aux mousses polyuréthanes fabriquées à partir de deux monomères (polyol et iso cyanate) et à un agent moussant. L'agent moussant **Solkane® 365 mfc** offre une conductivité thermique inégalée. Les mousses polyuréthanes possèdent quant à elles un ensemble de caractéristiques unique : isolation, stabilité dimensionnelle, résistance à la compression et à l'humidité. Ce produit a été développé conjointement avec Bayer Material Science (appelé aujourd'hui Covestro) et Puren en Allemagne.



Solvay a de son côté mis au point une solution pour le carénage du cockpit en fabriquant de gros blocs de mousse qui sont ensuite usinés ou taillés pour devenir des pièces.

8

Structure
Mousse TegraCore™ PPSU



La mousse de **TegraCore™ PPSU** est un matériau cellulaire principalement utilisé en combinaison avec des surfaces rigides (« sandwich ») à base du polymère **Radel® PPSU** ayant remporté un franc succès. Les structures « sandwich » **TegraCore™ PPSU** présentent une remarquable résistance et tolérance aux dommages et font preuve de bonnes caractéristiques structurelles et isolantes. La mousse **TegraCore™ PPSU** réduit d'une part les déchets et accélère d'autre part la production, la rénovation et la maintenance de l'avion et ce, à moindre coût. Elle est utilisée pour le plancher du cockpit de Si2.



Allègement/
 Remplacement du métal

9

KetaSpire[®] PEEK
PrimoSpire[®] SRP


Sur Si1 comme sur Si2, des écrous et vis sont utilisés pour fixer les divers composants des ailes. Ces éléments à la fois robustes et légers fabriqués dans les matériaux **KetaSpire[®] PEEK** et **PrimoSpire[®] SRP** ont été considérablement améliorés par rapport à ceux utilisés sur Si1.

Au lieu d'être fabriqués en deux étapes par usinage, ils sont directement moulés par injection réduisant considérablement le risque de fissures ou de rupture.

 Allègement/
 Remplacement du métal

10

Ixef[®] PARA


Les portes du train d'atterrissage sont actionnées par des cylindres pneumatiques aussi appelés vérins, dont la position du piston change sous l'effet de la pression. Sur Si1, ces cylindres pneumatiques étaient en métal, et donc extrêmement lourds. Pour Si2, Solvay a créé un cylindre pneumatique fabriqué presque exclusivement en **Ixef[®] PARA**, un matériau à la fois robuste et léger. Sa surface à la fois très lisse et brillante garantit l'étanchéité et le bon fonctionnement du piston. Ce cylindre pneumatique entièrement en plastique est une première mondiale, qui a permis de réduire de 20 % le poids du cylindre d'origine.

 Allègement/
 Remplacement du métal

11

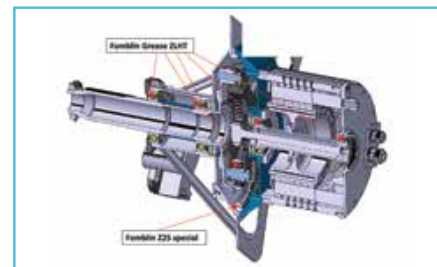
Sinterline[®]
Polyamide 6


Le frittage sélectif par laser est une technologie d'impression 3D industrielle qui permet de réaliser rapidement des pièces complexes, avec une grande souplesse dans la conception. Le boîtier de l'ordinateur de bord à l'intérieur du cockpit ainsi que les attaches d'éclairage à l'avant des ailes du Si2 ont été réalisés à partir de poudres **Sinterline[®] Polyamide 6**. Cette technologie a permis de réduire le poids de 78 % par rapport à l'aluminium.

12

 Lubrification
Fomblin[®] PFPE


Le lubrifiant **Fomblin[®] PFPE** a été utilisé avec succès pour lubrifier les paliers par lesquels passe l'arbre reliant le moteur à l'hélice sur Si1. Par conséquent, Si2 utilise également les lubrifiants liquides **Fomblin[®] PFPE** pour son train planétaire. Ces additifs renforcent les propriétés anti-usure et anti-rouille du lubrifiant et prolongent sa durée de vie, réduisant ainsi la maintenance.



13

Simulations numériques Modélisation non-linéaire

Si1 et Si2 ont profité du savoir-faire unique de Solvay en matière de **modélisation non-linéaire**. Pour Si1, ces simulations ont été effectuées dans deux domaines clés : comportement des matériaux (cellules solaires encapsulées, assemblages de polymères) et définition de la structure de l'avion (panneaux solaires, nervures et bords d'attaque de l'aile).

Solar Impulse 2 HB-SIB – De plus en plus léger

Toutes les simulations, les missions et les 500 heures de vol accumulées par Si1 au-dessus de l'Europe, du Maroc et des États-Unis ont confirmé la performance de l'avion et parfois même dans des conditions de vent maximales autorisées.

Les choix faits pour Si1 ont donc été réitérés pour Si2. Pour cet avion plus puissant avec 18 000 cellules solaires et d'une plus large envergure (72 m), les ingénieurs se sont efforcés de réduire le poids de chaque composant individuel. Là encore, Solvay a apporté son expertise dans l'évaluation et les tests des propriétés mécaniques des matériaux.

Projet de test de traction sur des cellules solaires

De 150 micromètres sur Si1, l'épaisseur de chaque cellule solaire a été réduite à moins de 120 micromètres sur Si2, sans en altérer le rendement. Une telle réduction aurait pu fragiliser. Solvay a conçu un outil spécifique pour tester la résistance à la traction de ces deux modèles de cellules solaires positionnées près des connecteurs. Les résultats du test ont montré que les nouvelles cellules, les plus fines, étaient tout aussi résistantes que les précédentes.

Projet de simulation d'assemblage

Pour identifier la robustesse de la structure bien que la plus légère possible, Solvay a modélisé grâce à son expertise en simulation non-linéaire, le comportement mécanique de deux sortes d'adhésifs.

Plusieurs échantillons ont été testés à des températures de -40°C, 50°C et 70°C. De cette manière, Solar Impulse a pu sélectionner les meilleurs adhésifs, en tenant compte des cycles de fatigue mécanique à ces différentes températures.

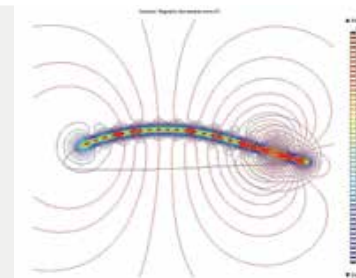
14

Au-delà de l'avion La fibre Emana® à base de Polyamide 6.6

Solvay a conçu **Emana®**, une "fibre intelligente" à base de Polyamide 6.6. Emana® contient des minéraux bioactifs qui absorbent la chaleur du corps et la restituent sous forme de rayonnement infrarouge long interagissant avec le corps. Les vêtements fabriqués avec **Emana®** possèdent par conséquent des propriétés spécifiques. Portés à même la peau, ils stimulent la microcirculation sanguine et améliorent la performance musculaire. Les deux pilotes ont testé avec succès des sous-vêtements fabriqués avec la fibre **Emana®** lors de simulations de vols de 72 heures en février 2012 et décembre 2013.

Où positionner le compas ?

Pour des raisons de navigation et de transmission, Si2 a besoin d'un compas très précis à bord. Le défi était de garantir que les courants électriques sur les ailes n'interfèrent pas avec le fonctionnement du compas qui utilise les champs magnétiques terrestres. Les perturbations du champ magnétique autour de l'avion ont été calculées par simulation numérique, ce qui a permis de trouver la meilleure position pour le système de compas.

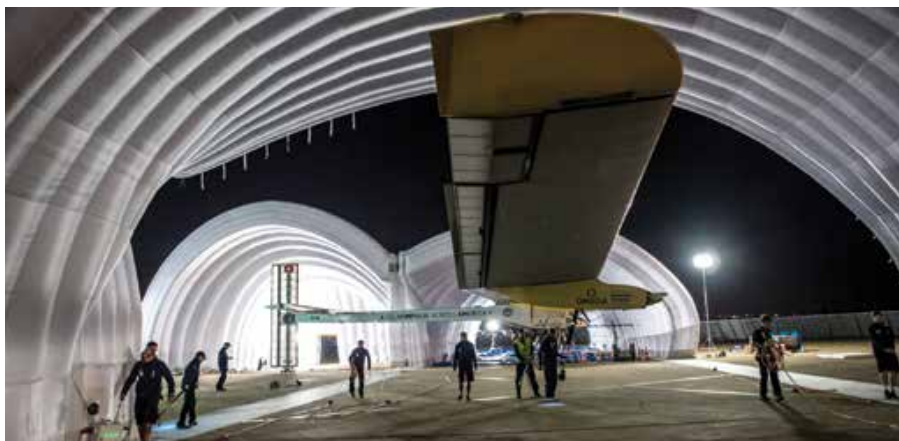


15

Au-delà de l'avion Hangar mobile gonflable

Le concept de cette structure révolutionnaire conçue et fabriquée pour le tour du monde de Solar Impulse, trouve ses origines chez Solvay dès 2007. Fabriquée en majeure partie à base de film PET enduit de polyuréthane, cette

structure gonflable en forme d'arche tient sans aucune pièce de métal. Les pièces en contact avec le sol et de nombreuses autres sont faites en PET enduit de PVC. Lors de sa traversée de l'Amérique en 2013, Solar Impulse a dû s'abriter dans son hangar mobile gonflable, le hangar officiel de Saint Louis ayant été endommagé par une tempête. Le 4 juin 2013, le hangar a ainsi été utilisé pour la première fois en situation réelle.



Fiche descriptive du hangar gonflable

- Longueur totale : 88 m (289 pieds)
- Poids total : 3 500 kg (2 kg par m² de surface au sol) / 7 716 livres (0,05 livre par pied carré de surface au sol)
- Nombre de modules composant la structure : 12
- Hauteur de la structure couvrant l'aile : 8,5 m (28 pieds)
- Hauteur de la structure couvrant la queue : 11 m (36 pieds)
- Largeur maximale : 32 m (105 pieds)
- Équipe requise pour le déploiement : 12 personnes
- Temps requis pour le déploiement : 6 heures
- Conçu pour résister à des vents de : 100 km/h (60 miles/h)

Les produits Solvay à bord de Solar Impulse 2



GBU Specialty Polymers

Halar[®] ECTFE
 Solstick
 Solef[®] PVDF
 Torlon[®] PAI
 Mousse TegraCore[™] PPSU
 KetaSpire[®] PEEK
 PrimoSpire[®] SRP
 Ixef[®] PARA
 Graisse Fomblin[®] PFPE
 Liquide de lubrification Fomblin[®] PFPE

GBU Special Chem

F1EC
 Solkane[®] 365 mfc

GBU Composite Materials

Pré-imprégnés VTM[®] 264
 Adhésif structurel VTM[®] 260

GBU Performance Polyamides

Sinterline[®] Polyamide 6

GBU Fibras

Emana[®] Polyamide 6.6

Recherche & Innovation

Modélisation numérique non-linéaire

Des questions
supplémentaires?
Contactez-nous

 **service chimie**

📍 5 place de l'Église
74400 Saint Thibault des Vignes
France

☎ +33 (0) 164 308 922

📠 +33 (0) 164 308 749

✉ hse@service-chimie.fr

🌐 www.service-chimie.fr



Solvay sa
Rue de Ransbeek, 310
1120 Bruxelles
Belgique
T: +32 2 264 2111
F: +32 2 264 3061