

SIMULATION NUMERIQUE THERMOMECHANIQUE DE LA CAPSULE DE SURVIE DE JEAN LOUIS ETIENNE : « MISSION BANQUISE »

La Mission Banquise :

La Mission « Banquise » est l'expédition à caractère scientifique et pédagogique réalisée par Jean Louis Etienne d'avril à juillet 2002.

C'est la traversée de l'Océan Glacial Arctique, du pôle Nord vers le Nord-Est du Groenland, 3 mois à bord du POLAR OBSERVER, un module d'observation emporté par le courant de dérive transpolaire de la banquise.

Tous les observateurs sont unanimes, la banquise connaît une régression sans précédent. En quatre décennies, son étendue s'est réduite de 6 % et son épaisseur moyenne est passée de 3,1 mètres à 1,8 mètres (soit près de 40% de perte en épaisseur).



Depuis des millions d'années, des révolutions écologiques naturelles ont jalonné l'histoire de la Terre et de ses habitants - météorites, éruptions volcaniques, glaciations... Mais aujourd'hui, il ne fait mystère pour personne que la révolution économique et industrielle pèse sur l'avenir écologique du monde. Acteur de cette brutale accélération, l'Homme est devenu l'auteur d'une nouvelle révolution écologique qui bouleverse l'échelle du temps. En moins de deux siècles, l'humanité a pris le contrôle de l'évolution des espèces et des conditions de vie sur terre. À partir

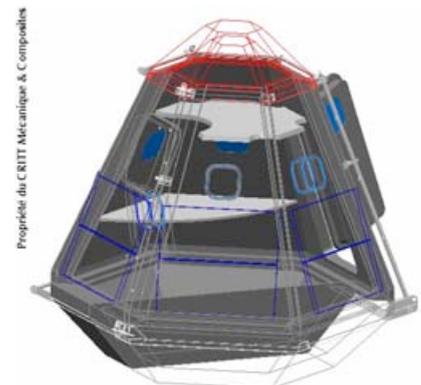
d'aujourd'hui, l'évolution ne se compte plus en ères, mais en générations !

Pour cette expédition, Jean Louis Etienne a mené à bien un programme d'observation et de mesures à bord du **POLAR OBSERVER**. C'est le nom du vaisseau en matériaux composites tout spécialement conçu pour cette expédition en Arctique par le CRITT MECANIQUE et COMPOSITES de TOULOUSE. Il s'agit d'un module habitable, capable de répondre à des contraintes mécaniques, climatiques et énergétiques dans cet environnement hostile. La forme doit donner une stabilité en eau libre, en cas de fracture de la banquise.



Le Polar Observer, nanti de six hublots, est totalement autonome: un habitacle de 3,7 mètres de haut et de 3,5 de large, de forme conique utilisant de l'énergie propre (panneaux solaires et pile à combustible) et bourré d'appareils de mesure, de sondes et moyens de transmission.

POLAR OBSERVER a été conçu et réalisé en plusieurs parties démontables afin de pouvoir le transporter jusqu'au pôle. Chaque pièce élémentaire devant passer dans la porte de 2 x 2 mètres de l'avion Antonov 75 pour rejoindre la base russe de Barnéo.



Choix et importance du collage dans le POLAR OBSERVER

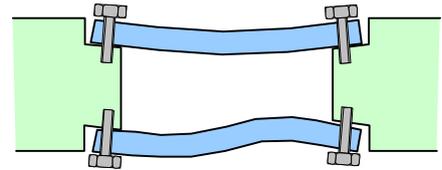
Le POLAR OBSERVER est un assemblage de pièces composites (soutes, panneaux latéraux calotte, plancher, couchette, plans de travail) ceinturé par une structure métallique pour l'hélicoptère: ces pièces sont donc comme tous les composites, constituées de matériaux différents assemblés par collage. La morphologie et le calcul des structures des pièces a été réalisé par le CRITT MECANIQUE et COMPOSITES de Toulouse.

L'une des principales problématiques de collage a concerné les hublots.

Les hublots sont constitués de deux lames de Polycarbonate disposées de part et d'autre de la structure composite sur un méplat.

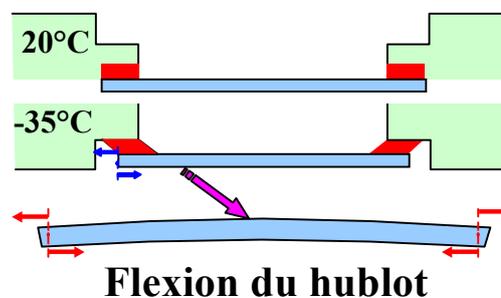
Le choix du collage s'est imposé naturellement pour plusieurs raisons : l'étanchéité, l'isolation, le maintien mécanique, la faible présence de sur-contraintes mécaniques. En comparaison avec une technologie comme le vissage, le collage présentait certains avantages.

- L'utilisation d'un joint sec bridé pour l'étanchéité nécessite des tolérances géométriques serrées : difficiles à obtenir avec des moules chaudronnés et les défauts éventuels des pièces composites (retrait, plis, bulle,...). Ces aspérités ou défauts de surfaces sont des sources de défauts d'étanchéité. Lors d'un collage, l'adhésif qui passe d'un état liquide à un état solide comble les défauts pour assurer l'étanchéité et également le maintien de la plaque (enlèvements des vis et des opérations de perçage, et de poses d'insert,...).
- L'assemblage par vis entraîne souvent la déformation des pièces en conformant la pièce la plus souple (le hublot). La pièce la plus souple se déforme pour épouser le défaut de la pièce la plus rigide. Lors d'un assemblage par collage, c'est l'adhésif qui va combler le défaut et permettre de ne pas imposer d'efforts supplémentaires aux différentes pièces (au retrait de l'adhésif près).
- Dans le cas de POLAR OBSERVER, la dilatation différentielle entre les deux matériaux (entre l'assemblage à 20°C et leur utilisation à -35°C) a motivé le choix du collage. L'utilisation de vis entraîne la rupture du hublot polycarbonate ou l'arrachement des inserts dans le composite.



L'utilisation du collage a permis d'absorber une partie des efforts de dilatation différentielle tout en assurant l'étanchéité, le maintien et une répartition des efforts dans la liaison mécanique.

Nous notons tout de même une flexion du hublot à -35°C qui est liée à la différence de tension entre les deux peaux du hublot. L'adhésif empêche la rétraction de l'une des peaux : la peau collée est mise en traction relative par rapport à l'autre peau.



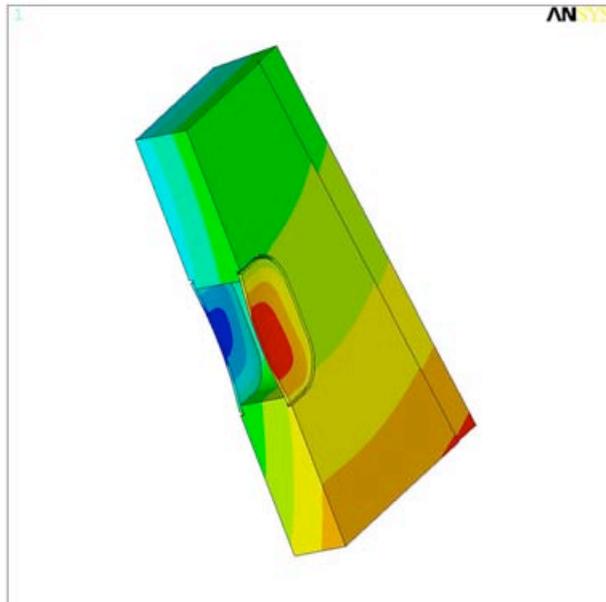
Simulation thermomécanique et dimensionnement des joints de hublots.

La simulation des joints collés : rétrospective des problématiques de la simulation des joints collés :

- Simulations des matériaux de fines épaisseurs :
 - Disproportion entre les 3 dimensions d'une pièce.
 - Effets de bords et d'interfaces
 - Surconsommation d'éléments finis,
- La simulation des efforts aux interfaces.
- La simulation des matériaux anisotropes dans les domaines non linéaires et linéaires.
- La simulation thermomécanique d'adhésifs viscoélastiques.
- Développement de géométries de joints pour la répartition des contraintes et pour des mises en œuvre fiables.

Dans le cas de Polar Observer, les principales contraintes mécaniques dans le joint de colle et dans les matériaux adjacents sont liés à :

- La dilatation différentielle qui engendre des variations de côtes de plusieurs millimètres et surtout un effort constant sur le joint (fatigue statique).
- La dépression entre les deux plaques (liés à la différence de température entre la fabrication et l'utilisation).



En fonction de l'adhésif et de la morphologie du joint, la flèche du hublot

peut aller jusqu'à quelques millimètres. Cette flèche modifie les sollicitations du joint qui se résument alors à :

- du cisaillement (dilatation différentielle).
- du clivage (flexion induite).

Dans un premier temps, des essais d'adhérence et des caractérisations thermomécaniques ont été réalisés afin de sélectionner des adhésifs adaptés aux interfaces des matériaux retenus (adhérence) et d'étalonner la simulation (domaines linéaires, transitions, rupture).

Les caractéristiques thermomécaniques des matériaux utilisés ont été déterminées à l'aide d'un **rhéomètre** dans les trois directions degré par degré sur la plage -60°C à $+60^{\circ}\text{C}$ puis elles ont été intégrées dans la simulation thermomécanique afin de définir des champs de contraintes et de déformations proches de la réalité.

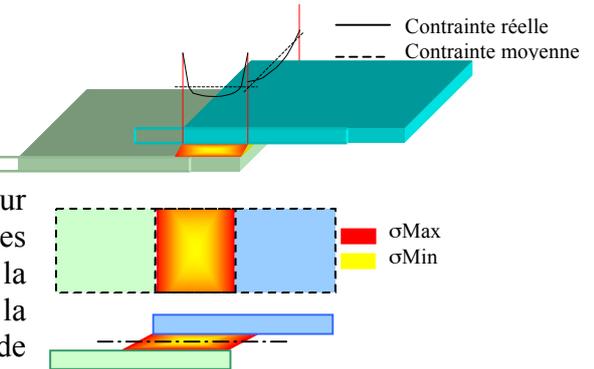
Nous nous proposons d'aborder succinctement deux thèmes concernant cette simulation.

- L'homogénéisation des contraintes : morphologie du joint.
- L'importance de la dilatation thermique de la colle

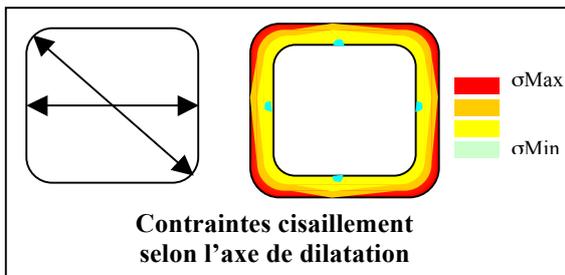
- **L'homogénéisation des contraintes.**

Les contraintes dans le joint de colle sollicité en cisaillement ne sont pas réparties de manière homogène.

- La déformation des matériaux et le sens de la sollicitation en cisaillement mènent à des hétérogénéités de contraintes entre la largeur du joint (dimension transversale à la sollicitation) et la longueur du joint (dimension longitudinale à la sollicitation). Les contraintes dans la largeur du joint sont proches de la contrainte moyenne de cisaillement. Alors que pour la longueur de recouvrement, des accumulations de contraintes sont observées en périphéries de joint.

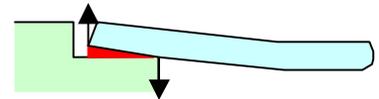


- Nous notons des hétérogénéités au sein même de l'épaisseur. Outre les effets de bord, la flexion engendre un déplacement de la fibre neutre vers l'une des interfaces en fonction de la rigidité des substrats et de leur épaisseur. Dans le cas du hublot du Polar Observer, les contraintes s'accumulent sur l'interface du composite.

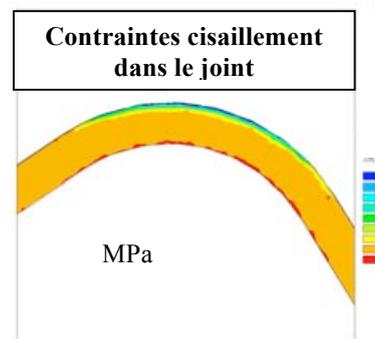


- Dans notre cas la sollicitation en cisaillement est due aux effets de dilatations différentielles. La dilatation variant avec la longueur de dilatation, les contraintes de cisaillement induites varient le long de la périphérie du hublot.

- La flexion du hublot (rétraction différentielle des peaux du hublot) et la dépression inter hublots (-60°C) engendre un clivage. Le joint à sa périphérie extérieure est sollicité en traction arrachement alors qu'à son extrême périphérie intérieure il est en compression

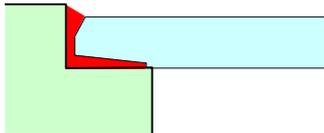
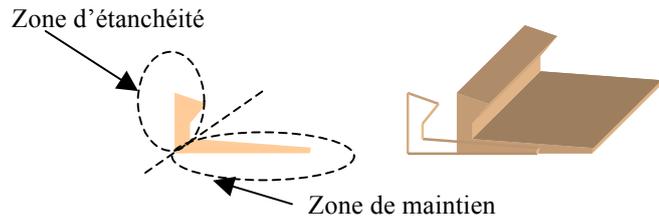


La déformation des matériaux, le sens de la dilatation différentielle et les variations dimensionnelles selon la périphérie, entraînent l'accumulation de contraintes en cisaillement à la périphérie extérieure du joint et particulièrement dans les angles (plus grande distance de dilatation).

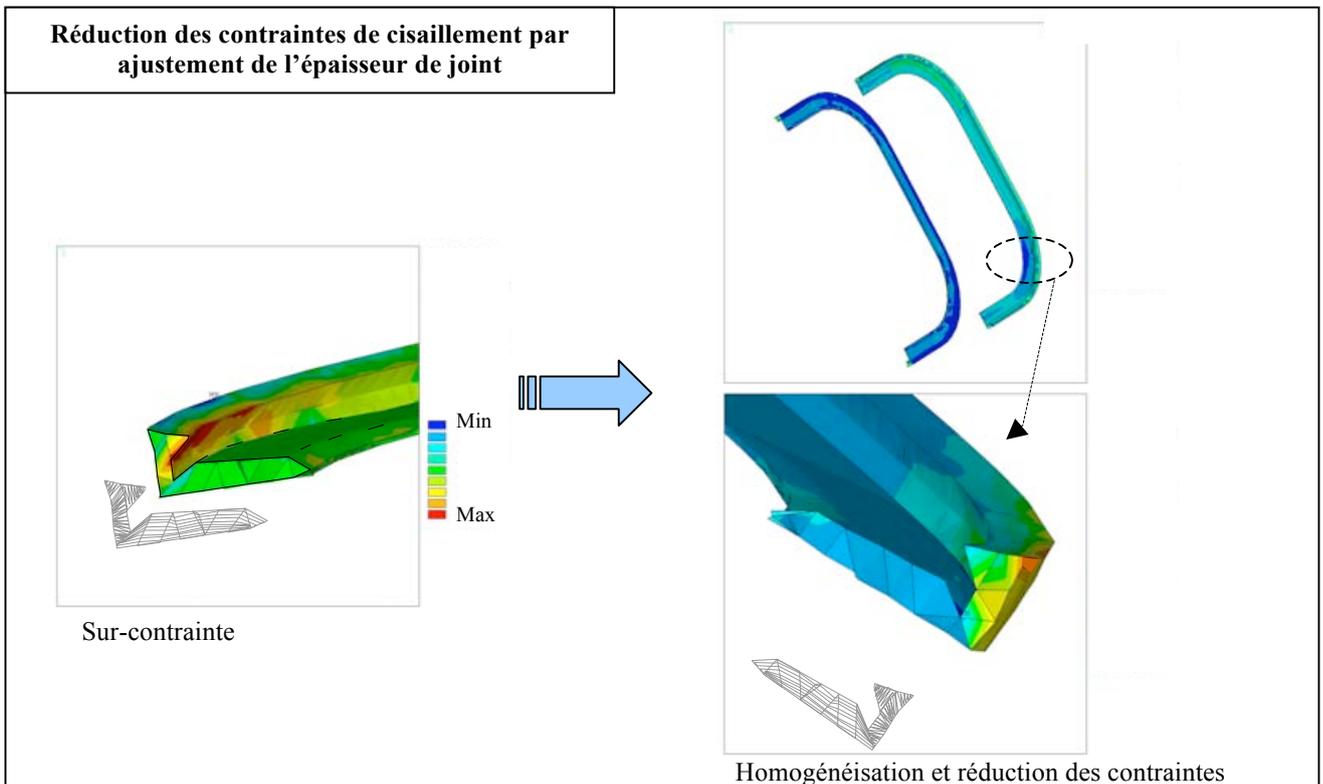


Pour répondre à une meilleure homogénéisation des contraintes, l'une des solutions développées a consisté à définir en tout point, une épaisseur de joint amenant à une contrainte moyenne satisfaisante.

Le joint proposé est constitué de 2 zones : une zone de maintien qui travaille en cisaillement, et une zone d'étanchéité qui travaille faiblement en traction.



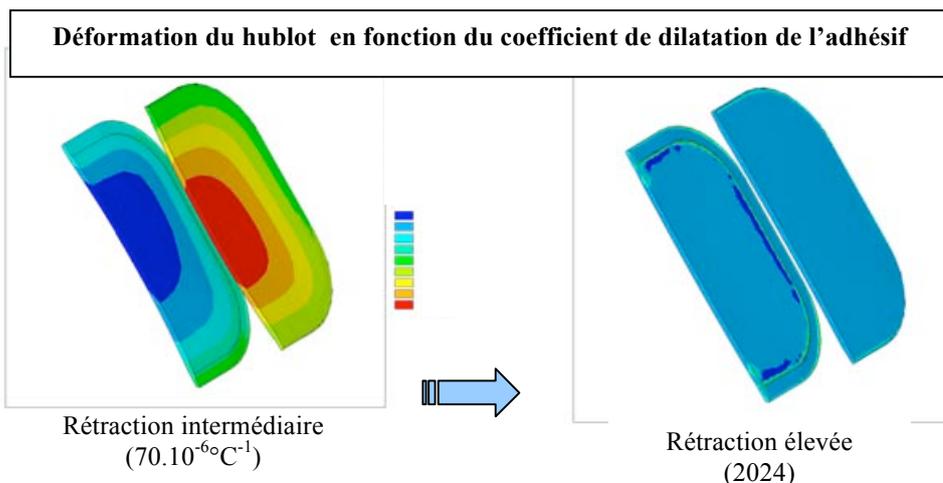
Pour un profil donné de recouvrement, l'épaisseur varie progressivement dans chaque zone afin de conformer la contrainte à la contrainte moyenne.



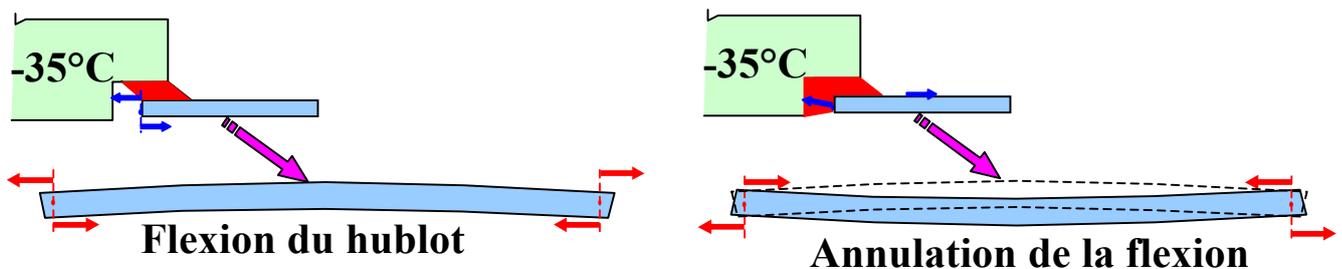
- **Influence de la dilatation de la colle**

Les caractéristiques (mécaniques et thermiques), et la géométrie du joint peuvent permettre d'influencer la flèche voire de l'inverser. La sollicitation en clivage s'en trouve alors réduite, voire annulée.

L'adhésif ARALDITE 2024 de VANTICO est un adhésif méthacrylate. Il fait parti des adhésifs retenus pour les hublots du Polar Observer de part sa capacité à résister à un effort permanent (résistance à rupture élevée) et de par son aptitude à diminuer les efforts de dilatation différentielle (déformation élevée). L'une de ses propriétés les plus remarquables est son coefficient de dilatation important ($125 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).



La rétraction élevée de l'ARALDITE 2024 et la morphologie du joint entraîne un Moment contraire à celui engendré par la différence de rétraction des peaux du hublot.



La flexion est annulée. La sollicitation en clivage étant alors quasi inexistante, les sommes des contraintes dans les 3 directions (critères de Von Mises) diminuent. Le joint est alors amené à travailler principalement en cisaillement privilégiant les sollicitations dans le plan de joint : les sur-contraintes diminuent significativement (-50%) et les efforts de rétraction de la colle sur le hublot s'expriment alors principalement en cisaillement. La contrainte moyenne de cisaillement du joint s'en trouve alors sensiblement augmentée (+20%).

L'ajustement de l'épaisseur du joint en fonction du champ de contrainte a une influence fortement significative sur la baisse des contraintes moyennes, mais il doit cependant tenir compte des caractéristiques thermiques de la colle qui ont des répercussions importantes sur le sens, la valeur et la répartition des efforts.

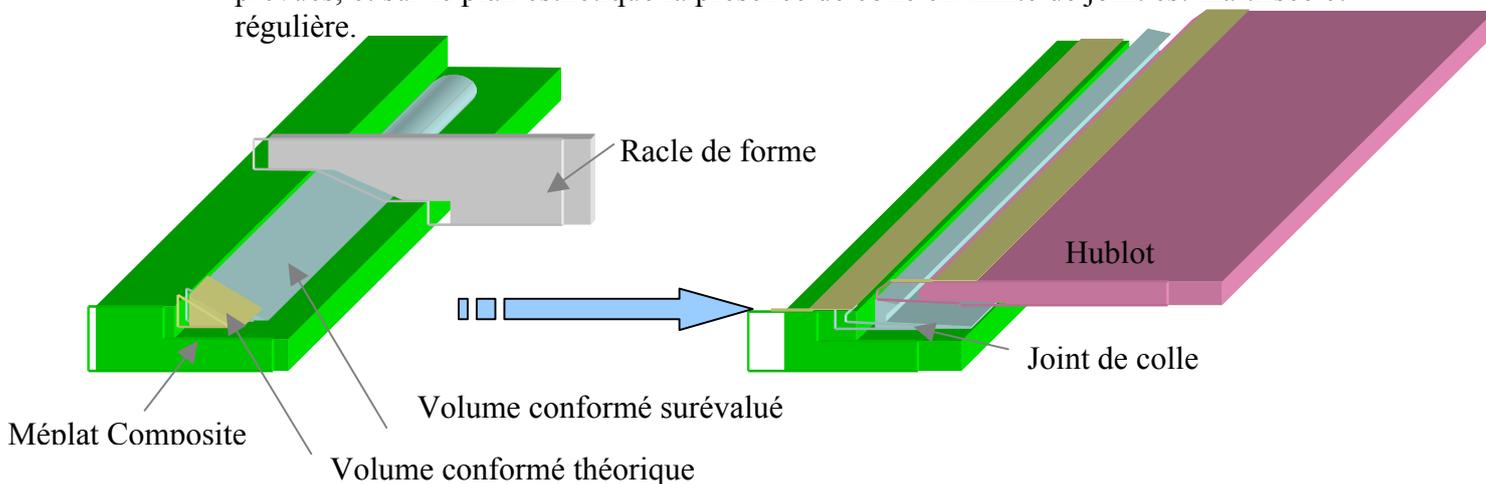
Importance de la mise en œuvre du collage

La mise en œuvre du collage (ou d'une technologie d'assemblage) est garante du bon fonctionnement du produit car elle assure la conformité de la morphologie et des caractéristiques du joint de colle par rapport à celles qui ont été prévues lors de sa conception.

Certaines opérations sont nécessaires à la réalisation d'un collage. Elles ne doivent pas être perçues comme des contraintes spécifiques au collage. Chaque technique d'assemblage présente des contraintes de mise en œuvre. Ainsi, des actes comme le décapage avant une brasure, ou le pointage des pièces pour une soudure sont devenus de véritables automatismes dans le monde de la mécanique.

Dans le cas du collage, les opérations rémanentes de la mise en œuvre sont :

- La maîtrise du positionnement : (idem pour autres techniques d'assemblage).
- La maîtrise de l'état de surface (idem pour autres techniques d'assemblage).
- La maîtrise de l'espace : température, hors poussières
- La maîtrise du temps : Suivant l'adhésif utilisé, le colleur est confronté à une gestion de différentes opérations. La production est intimement liée à des temps minimums et maximums à respecter pour la bonne marche du collage. Il s'agit du temps de travail ou « pot life » (extruder, mélanger ; déposer, et réaliser son assemblage), du temps pour l'ébavurage, du temps pour la manipulation, et du temps avant utilisation.
- La maîtrise de la forme du joint a d'importantes répercussions sur les performances mécaniques et l'esthétique du joint. Le joint a été dimensionné en fonction d'une surface de recouvrement et des propriétés intrinsèques d'un adhésif. Le remplissage du joint complet est donc important. La mise en œuvre de l'adhésif et l'affichage des pièces doivent se faire sans introduction de bulles d'air qui affecte le comportement mécanique de l'adhésif. Dans notre cas, nous avons utilisé une racle de forme pour préformer le joint et l'amener lors de son écrasement à se déplacer vers l'extérieur de la pièce (accessible pour la finition). Le préformage permet un mouillage des surfaces prévues, et sur le plan esthétique la présence de colle en limite de joint est maîtrisée et régulière.



=>Le développement de produits collants et de produits collés est grandissant en raison des multiples possibilités qu'offre cette technologie. Les outils et les compétences développés aujourd'hui permettent des conceptions de joint rapides et efficaces.

Les nombreux avantages du collage ont permis de pouvoir répondre au cahier des charges du Polar Observer.

ARTICLE « COLLAGE ACTUALITE » Diffusé par Créacol (www.creacol.fr)