

# Traitement des Obsolescences sur les Structures Composites : Méthodologie et Exemples

## *Obsoleting Materials Treatment on Composite Structures : Method and Examples*

Philippe Forio<sup>1</sup>, Alexis Repellin<sup>1</sup>, Claire Veyne-Marti<sup>1</sup>, Patrice Dourthe<sup>1</sup>

1 : ARIANEGROUP  
Rue du Général Niox, BP 20011, F- 33165 Saint Médard en Jalles  
Philippe.forio@ariane.group  
Alexis.repellin@ ariane.group  
Claire.veyne-marti@ ariane.group  
Patrice.dourthe@ ariane.group

### Résumé

La qualification et la certification de structures composites dans le domaine spatial demande un certain nombre d'éprouvettes élémentaires, de démonstrateurs et d'essais constructeur à échelle réelle. Les politiques nationales et internationales en terme d'environnement, ainsi que les restructurations des sociétés industrielles entraînent l'arrêt de fabrication ou l'évolution de certains matériaux. Cela remet en cause la justification des structures composites. L'objectif de cet article est de présenter la méthodologie de traitement des obsolescences impactant les structures composites sous pression d'ARIANEGROUP.

### Abstract

The qualification and the certification of composite structures in space industry require an important number of elementary samples, demonstrators, mock-up and structure at full-scale. National and international policies for environment protection, industrial evolutions, induce material change or manufacturing stopping. So the justification of composite structures must be altered. This paper presents the methodology of treatment of obsoleting materials applied on the ARIANEGROUP internal pressure composite structures.

**Mots clés :** Obsolescence des Matériaux, méthodologie, test, TRL, qualification.

**Keywords :** Obsoleting Materials, methodology, test, TRL, qualification.

### 1- Introduction

L'industrie aérospatiale s'est intéressée rapidement à l'utilisation des matériaux composites afin d'augmenter la résistance de ses structures tout en diminuant la masse globale. Les structures sous pression, constituées d'une enveloppe étanche, sur laquelle est bobiné du composite, permettent de répondre à cet objectif de compromis masse/performance [1].

ARIANEGROUP développe des structures composites sous pression, corps de propulseurs [2] (figure 1), ou réservoirs hautes pressions [3] pour les applications spatiales. Le développement de chaque type de structure est plus ou moins long et coûteux, et une fois le produit qualifié, sa production peut s'étaler sur plusieurs décennies.

Actuellement, les politiques nationales ou internationales (REACH) en matière d'environnement, les restructurations des sociétés industrielles et la rationalisation de leur portefeuille de produits, conduisent, sur certains matériaux de structures composites, soit à l'arrêt de production, soit à l'évolution de la formulation ou au changement de source d'approvisionnement. Ceci engendre un coût de justification pour les utilisateurs.

---



Fig. 1. Structure composite pour propulseur civil [2].

L'objectif de cet article est de présenter, au travers d'exemples, la méthodologie de traitement d'une obsolescence sur les structures composites déjà qualifiées, pour lesquelles il n'est pas possible de refaire une nouvelle conception, en prenant en compte les nouveaux impératifs environnementaux.

## 2. Les obsolescences et la méthodologie de traitement.

### 2.1. Les causes d'obsolescence et la stratégie de traitement.

Les principales causes d'obsolescence de produits sont les suivantes :

- Évolution de la réglementation : réglementations environnementales comme REACH (Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals), hygiène et sécurité ...
- Réglementation sur l'import/export : ITAR (International Traffic in Arms Regulations), contrôle des exportations, licence d'exportation, embargo...
- Évolution fournisseurs :
  - évolution des produits : formulation, chaîne d'approvisionnement des matières premières, conditionnement, changement de propriétés, divergence avec la définition d'origine ;
  - changement de procédés et de moyens de fabrication ;
  - rationalisation des gammes de produits ;
  - arrêt de fabrication ;
  - changement de lieu de fabrication ;
  - changement de référence ;
  - évolution de l'organisation industrielle ...
- « Manquement » de la part des fournisseurs : faillite, accidents industriels, catastrophes naturelles, perte de compétences et de savoir-faire spécifiques...
- Lois du marché ou règles industrielles : volume de production trop faible, technologie vieillissante...
- Perte d'exploitabilité des moyens et outils de fabrication et d'assemblage : technologie dépassée, pas de pièces de rechange disponibles, maintenance complexe...

La première étape du traitement de l'obsolescence est d'établir une stratégie de traitement de l'obsolescence pour chaque produit impacté, en rassemblant les informations suivantes :

- temps requis pour traiter l'obsolescence eu égard au calendrier de production,
  - possibilité de constituer des stocks,
  - alternative existante,
  - respect de la réglementation ou des contraintes liées à l'import/export ;
  - possibilité de modifier les exigences en vue de s'adapter au nouveau rendement,
  - possibilité de modifier la conception,
  - impact au niveau des interfaces,
-

Diverses mesures de traitement peuvent être mises en œuvre :

- constitution de stock du produit obsolète,
- anticipation de la production en vue de la constitution de stock de la pièce finie,
- évaluation et qualification d'une solution alternative : nouveau matériau, nouveau procédé, nouveau fournisseur, nouveau sous-traitant, solution proposée par le fournisseur...
- modification de la conception,
- modification des exigences,
- absence de traitement, si un produit ne sera plus produit avant la date d'interruption,

## 2.2. Définition du besoin et niveau de maturité.

Lorsque l'obsolescence d'un produit est avérée, il est nécessaire de connaître les sous-ensembles impactés. Ceci permet de mutualiser les besoins et les coûts de justification. En effet un sous-ensemble peut avoir besoin d'un niveau C1 de contraintes (mécaniques, physiques, chimiques, opératoire, mise en œuvre...) et un autre sous-ensemble un niveau C2. Dans le meilleur des cas, le produit de substitution retenu sera celui permettant de respecter l'ensemble des besoins de justification.

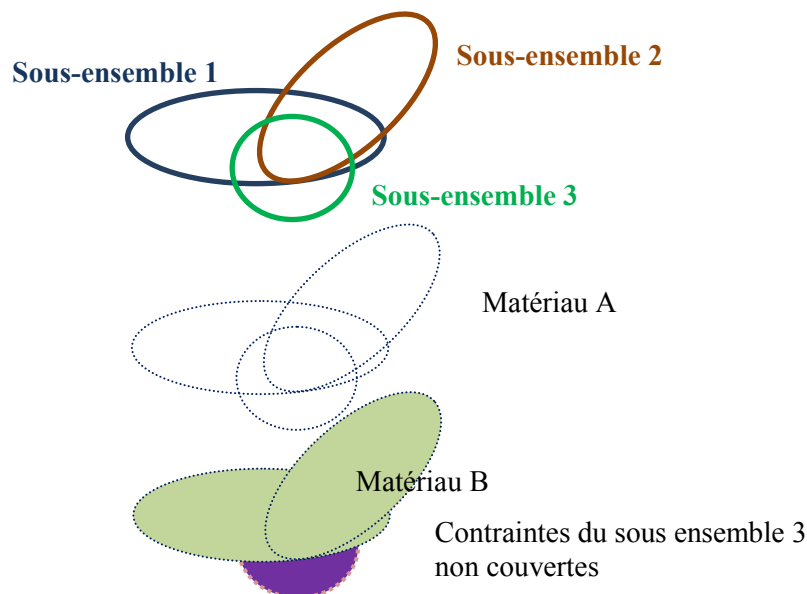
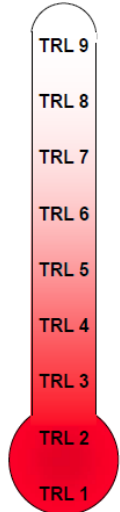


Fig.2. Représentation schématique des besoins de 3 sous-ensembles et réponse de deux matériaux.

Dans la figure 2, 3 sous-ensembles définissent un certain environnement de contraintes. Le matériau A répond aux besoins de ces 3 sous-ensembles (zone verte). Le matériau B répond aux besoins des sous-ensembles 1 et 2 (zone verte), et partiellement à ceux du sous-ensemble 3. Soit le sous-ensemble 3 ne retient pas le matériau B, soit il adapte son besoin (évolution de la conception, de la réalisation industrielle...).

Dans le domaine spatial, un produit est utilisable s'il est qualifié et certifié, correspondant à un certain niveau de TRL (Technical Readiness Level). L'indice de TRL est un moyen de quantifier le niveau de maturité d'une technologie, d'un matériau, d'un composant (avec une notation de 1 à 9). Afin de communiquer entre les diverses sociétés, la norme ISO 16290 [4] définit les différents niveaux (figure 3), complétés dans le cadre de l'ESA par la norme ECSS-E-HB-11A [5].

---



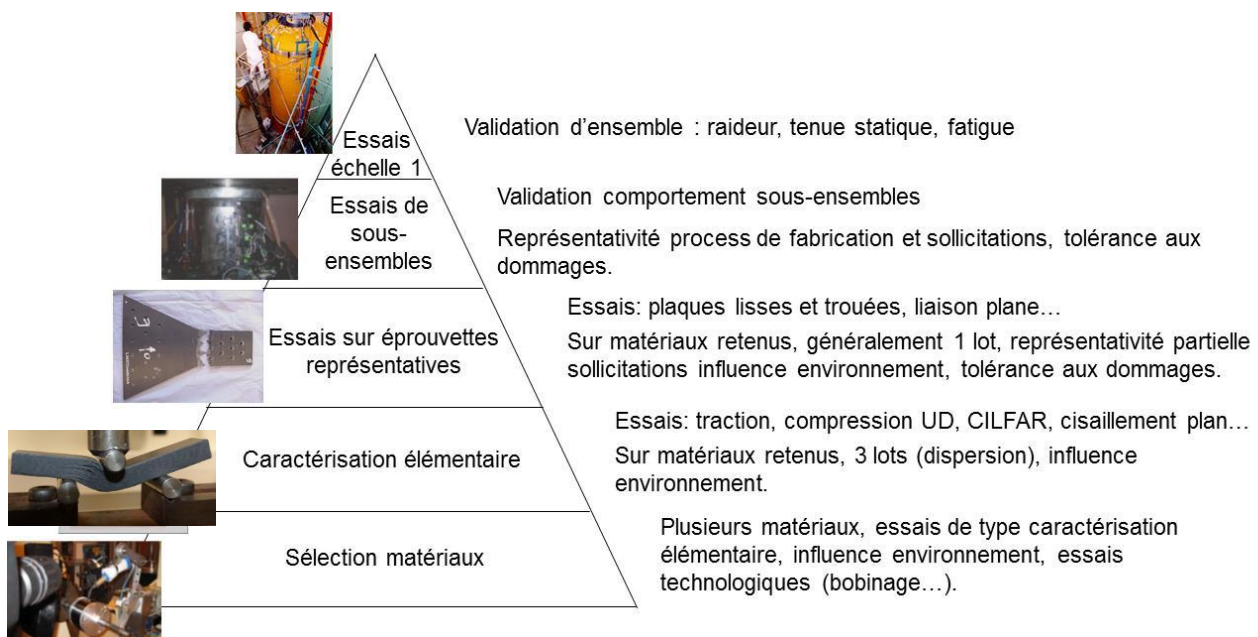
TRL	Exigences
9	Actual system “flight proven” through successful mission operations
8	Actual system completed and accepted for flight (“flight qualified”)
7	Model demonstrating the element performance for the operational environment
6	Model demonstrating the critical functions of an element in a relevant environment
5	Component and/or breadboard critical function validation in relevant environment
4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment
3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept
2	Technology concept and/or application formulated
1	Basic principles observed and reported

Fig.3. Echelle TRL et correspondance.

Un produit en série a un statut de TRL9. Dès qu’il y a une obsolescence matériau sur ce produit, ou d’une technologie, il repasse automatiquement en TRL7, voire un niveau inférieur, puisque le TRL8 correspond à la certification de l’objet et la pré-série (Proto-Flight Model).

L’objectif d’un traitement d’obsolescence est donc de revenir au niveau de TRL9, le plus rapidement possible (sans avoir d’arrêt de fabrication) et au moindre coût.

Pour acquérir le niveau de maturité de TRL9 en fin de développement ou dans le cadre d’une stratégie de remplacement (évaluation et qualification d’une solution alternative), il est nécessaire de passer par différents types d’essais, de la caractérisation matériaux, aux essais élémentaires, aux sous-ensembles jusqu’à un essai échelle 1. Chaque étape correspond à un certain niveau de TRL. Le nombre d’éprouvettes/d’essais diminue au fur et à mesure, d’où cette représentation en pyramide (figure 4) utilisée par les différents auteurs [6], [7], mais la complexité et le coût des essais augmentent.

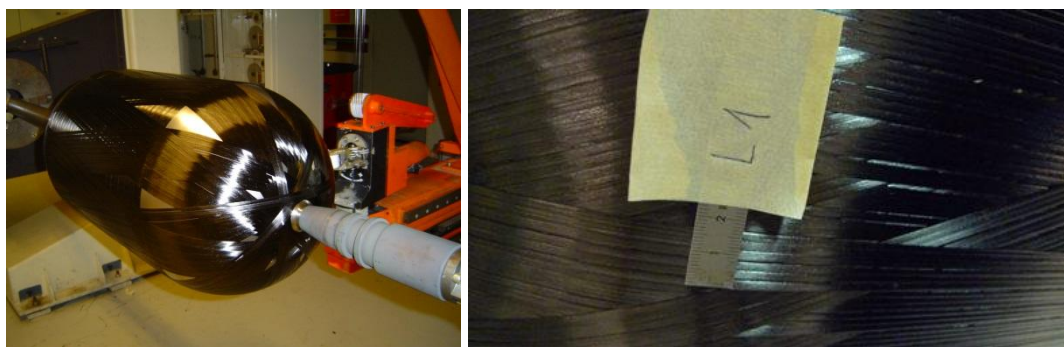


*Fig.4. Exemple de pyramide d'essais dans le cadre d'un développement.*

### 3. Exemples de traitement d'obsolescence.

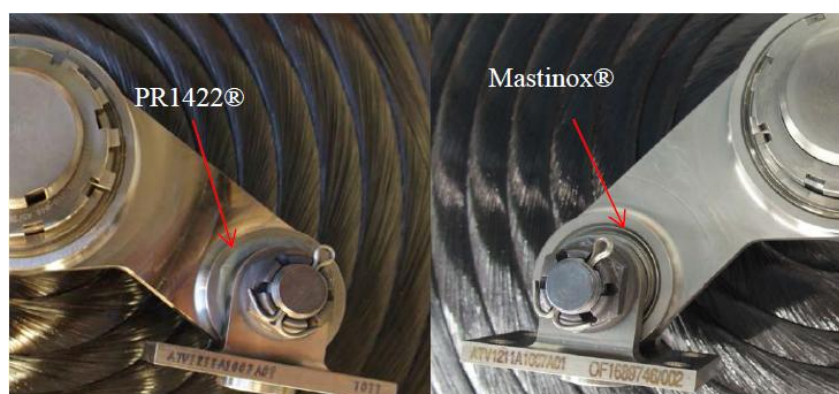
#### 3.1. Traitement sans essais.

La norme ECSS-E-HB-11A traite à la fois de l'obsolescence des matériaux, mais également des technologies pour réaliser le produit fini. Dans le cas des réservoirs haute-pression, les moyens critiques sont soumis à cette norme. Ils concernent la réalisation du liner, le bobinage la polymérisation du composite et le contrôle. Une rénovation de la commande numérique d'une machine à bobiner nécessite donc de revalider les produits. Pour chaque type de réservoir, une étude des positions des enroulements avant et après modification est menée. Une fois ce dossier de contrôle dimensionnel réalisé et approuvé, le produit est qualifié avec son nouveau moyen de fabrication (figure 5).



*Fig.5. Bobinage d'un RHP et mesure de paramètres géométriques (largeur de nappe).*

Dans le cadre du programme MPCV-ESM (capsule ORION), il a été nécessaire de palier aux arrêts de fabrication de l'encre de marquage des réservoirs, et d'un mastic, le PR1422®. Dans le premier cas, une nouvelle encre qualifiée par le fournisseur aux environnements spatiaux a été sélectionnée, ne nécessitant pas d'essais supplémentaires. Dans le deuxième cas, le mastic était utilisé pour le sertissage de rotules Inox dans une pièce titane, pour éviter les problèmes de corrosion. Il a donc été préconisé l'utilisation d'un autre mastic, le Mastinox® 6856K, déjà utilisé sur le même réservoir pour les mêmes fonctions (figure 6), et de réaliser un stock stratégique de pièces traitées, car ce mastic est lui-même sujet à obsolescence.



*Fig.6. Equipement du réservoir MPCV-ESM. Deux versions de protection à la corrosion (PR1422® à gauche, MASTINOX® à droite)*

---



### 3.2. Traitement avec un faible nombre d'essais

Un autre cas d'étude consiste au changement d'un composant d'un produit, soit le composant n'existe plus, soit le composant n'est plus obtenu par le même procédé ou il n'est plus fabriqué sur le même site de fabrication, soit une nouvelle source d'approvisionnement a été sélectionnée. Dans la majorité, la justification repose sur le dossier de qualification du fournisseur, éventuellement complété par quelques éprouvettes élémentaires spécifiques aux applications ARIANEGROUP.

Le primaire d'un agent d'adhésion, utilisé sur certains réservoirs haute-pression, contenait un certain grade de résine époxy solide, dont le fournisseur a décidé d'arrêter la production. Les travaux menés par le fabricant sur le remplacement de ce grade par celui d'un autre fournisseur (caas B), ont été complétés par des essais spécifiques réservoir consistant en des essais de simple cisaillement avec des peignes TA6V, sur une partie de la liaison (la liaison modifiée étant la liaison TA6V/primaire/colle), la liaison Composite / colle restant inchangée.

Primaire	Cisaillement à 20°C
• Cas A (testé en 2001)	32,3 MPa (Cv < 10%)
• Cas B (testé en 2017)	38,5 MPa (Cv = 4%)

Tab.1. Essais de cisaillement simples en fonction du constituant du primaire.

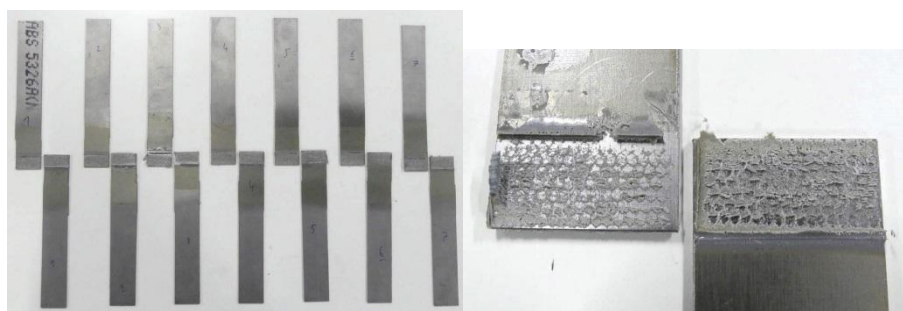


Fig.7. Faciès de rupture des éprouvettes.

Le niveau de cisaillement obtenu (tableau 1) ainsi que les faciès de rupture (cohésifs au sein de la colle) (figure 7) sont conformes au besoin du produit et donc la nouvelle formulation est qualifiée.

### 3.3. Traitement avec essais sur éprouvettes représentatives

Dans le cadre de la recherche d'un matériau de substitution, il est nécessaire d'élaborer une stratégie qui sera coûteuse en éprouvettes. Les travaux seront alors décomposés en plusieurs étapes.

La première étape permet d'estimer les caractéristiques principales des différents matériaux candidats par des essais simples, au stade du semi-produit. A ce stade, dans le cadre de composite, des caractérisations élémentaires, des mesures de Tg par DMA, à l'état neuf ou après un vieillissement forfaitaire, des mesures d'enthalpie de réaction, des essais de pelage, des micrographies sont privilégiés afin de sélectionner deux matériaux parmi les nombreux candidats.

La seconde étape permet de comparer les deux matériaux restant par des essais à l'échelle élémentaire sur un lot de matière. A ce stade, les essais sur éprouvettes élémentaires permettront en fin de phase de validation de ne retenir qu'un candidat. Ils sont limités aux caractéristiques les plus importantes (raideur, tenue, assemblage...).

Les dernières phases permettent de réaliser l'ensemble des essais manquant pour atteindre le niveau de qualification attendu. Afin de réduire les coûts, les essais sur échelles 1 seront évités et remplacés par de la justification basée sur les résultats d'essais de plus bas niveau de la pyramide (figure 4).

Dans l'exemple de l'obsolescence d'un tissu de carbone pré-imprégné pour des jupettes (liaison équatoriale), deux matériaux ont été sélectionnés sur quatre candidats. Les essais de justification n'ont été poursuivis que sur le matériau le plus prometteur.

En plus des essais de caractérisation élémentaire du tissu, des essais sur liaisons collées et liaisons boulonnées, des éprouvettes technologiques (figure 8) représentatives des jupettes échelle 1 en terme de fabrication ont été réalisées et testées.

Ces éprouvettes sont conçues pour des essais de compression pure ou des essais de compression + déplacements radiaux locaux. Ce dernier cas correspond à une structure en pression interne (réservoir pressurisé dans un tube central de satellite, propulseur en fonctionnement comme sur ARIANE 6) sur laquelle s'applique des efforts de compression (poids et accélération) par exemple.



*Fig.8. Eprouvette technologique (flèches : application locale des déplacements radiaux).*

Le chargement est réalisé en marche d'escalier, d'abord l'application de la compression, puis l'application du déplacement radial (figures 9 et 10). Les différents essais permettent d'appréhender l'influence des lots de matière (reproductibilité), la température d'essai, le vieillissement hydrique...



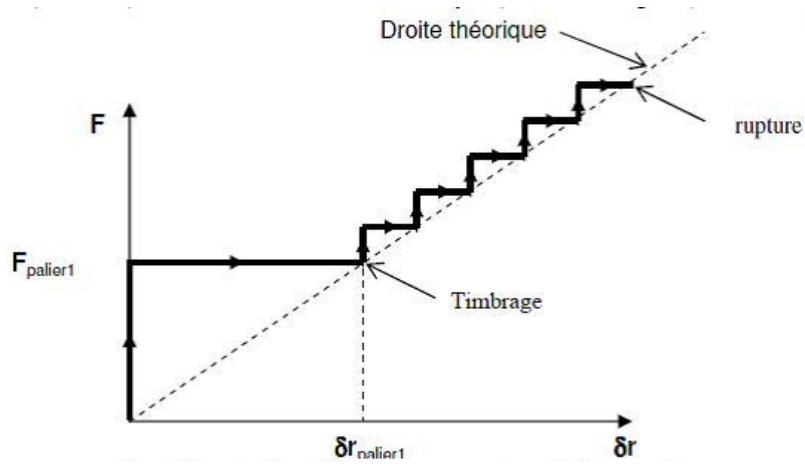


Fig.9. Représentation du chargement expérimental en compression + déplacement radial.



Fig.10. Jupette intégrée sur le bâti d'essai. Rupture en compression + déplacement radial.

L'ensemble de ces résultats (éprouvettes élémentaires et éprouvettes de validation – figure 11) a permis d'appréhender l'influence de chacun des paramètres (lot de matière, température d'essais, vieillissement hydrique, chargement mécanique,...) et de qualifier le nouveau matériau par comparaison aux résultats acquis lors du développement.

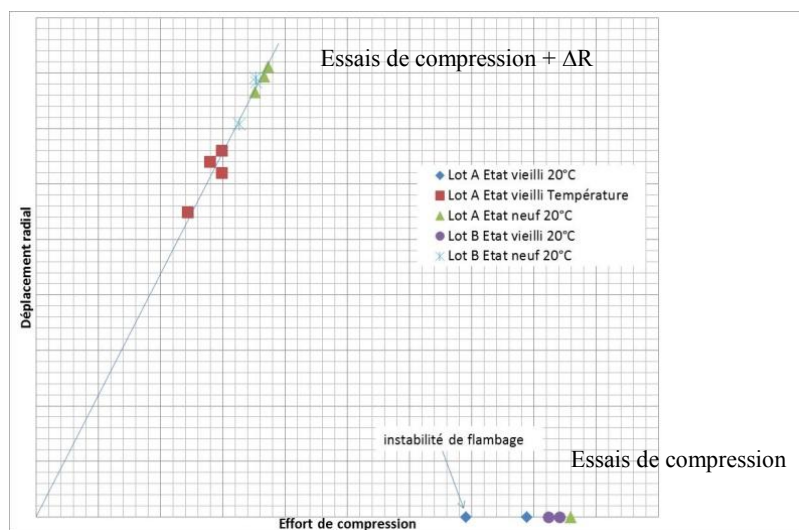


Fig.11. Ensemble des résultats (adimensionnel).

### 3.4. Traitement avec essais sur un sous-ensemble.

Les matériaux de liaisons collés comme les élastomères sont constitués de différents ingrédients. Une obsolescence sur un constituant doit être analysée au cas par cas. Sur un même élastomère, 3 obsolescences sont survenues sur une décennie, avec différentes stratégies de traitement.

Le premier cas traite du support de l'agent de vulcanisation de l'élastomère : remplacement de la poudre (risque opérateur) par une solution en pâte. C'est un changement mineur. Le traitement a reposé sur un certain nombre d'éprouvettes élémentaires traitant principalement les caractéristiques intrinsèques du matériau.

Le deuxième cas porta sur l'obsolescence de deux constituants de l'élastomère. Le traitement a reposé sur des éprouvettes élémentaires, mais en quantité plus importante que précédemment, car la fonctionnalité des constituants était plus critique que la première obsolescence.

Le troisième cas concerne l'obsolescence de la gomme de l'élastomère et un changement de l'atelier de fabrication. Ce sont des évolutions majeures qui demandent une qualification de la liaison collée complète. Le traitement est axé sur des éprouvettes élémentaires et sur un essai de qualification (essai sur une échelle réduite selon la figure 12) représentant la liaison collée à une échelle intermédiaire.



*Fig.12. Structure d'essai de qualification liaison collée, en compression.*

Cet exemple montre l'inconvénient d'utiliser un matériau mis au point dans les années 70. Le changement de paradigme en terme de conception à la fin de la décennie passée avec la réglementation REACH, impacte ces définitions développées antérieurement. Quelle serait alors la meilleure méthode pour traiter ces obsolescences au moindre coût, et de façon rapide ?

---

#### 4. Conclusion et perspectives.

Pour éviter tout arrêt de fabrication, tout en garantissant le niveau de justification requis, il est nécessaire de mettre en place une méthodologie de traitement des obsolescences, rapide, adaptable, et peu couteuse en limitant les essais mécaniques et physico-chimiques au strict besoin. Celle retenue par ARIANEGROUP sur les structures composites en phase d'industrialisation, a été présentée au travers de quelques exemples.

Néanmoins, cette approche est perfectible, car elle essaye de traiter ces obsolescences en trouvant le produit le plus proche du précédent, dans le but de limiter le nombre d'essais nécessaires. Cela peut conduire à choisir une substance potentiellement obsolète dans quelques années.

Afin de mieux répondre dans l'avenir à cette problématique, il est nécessaire de la prendre en compte dès la conception, via l'éco-conception, par le choix des matériaux initiaux avec une vision à long terme des politiques environnementales, et par l'établissement de véritables cahiers des charges pour chaque matériau ou liaison collée lors de la phase de développement afin d'anticiper une obsolescence future.

Ces activités initiales devraient permettre de limiter les risques d'apparition d'une obsolescence. Mais lors d'une obsolescence avérée, quelle méthodologie serait la plus adaptée ? Une compréhension des mécanismes chimiques, physiques, mécaniques des collages et composites permettrait-elle de prononcer une équivalence, rapidement, tout en réduisant le nombre d'essais ?

#### Références

- [1] Kerizian M.T., Johnson K.L., Phoenix S.L., « Composite Overwrapped Pressure Vessel (COPV) : Flight Rationale for the Space Shuttle Program ». AIAA, <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20110015972>.
  - [2] Forzan M., « ASL Composite Booster Mastering – The Biggest Carbon Monolithic Booster Case Prototype ever Done ». *6th AIRBUS DS R&T days*, Paris, November 2015.
  - [3] Forio P., Velut L., Leard J.P., Dodelin J.L., « Les réservoirs haute-pression chez Airbus Defence and Space : bilan et perspectives. ». *Comptes-rendus des dix-neuvièmes journées nationales sur les composites (JNC 19)*, Lyon, 29 Juin au 1<sup>er</sup> Juillet 2015, N. GODIN, AMAC.
  - [4] ISO 16290 « Space systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment..
  - [5] ECSS-E-HB-11A « Space Engineering – TRL Guidelines ».
  - [6] Rouchon J. « Certification of large airplane composite structures, recent progress and new trends in compliance philosophy », ICAS-90-1.8.1.
  - [7] J. Serra, J.E. Pierré, J.N. Périé, J.C Passieux, C. Bouvet, B. Castanié, « Sur le dialogue essais-calcul dans les essais structuraux complexes » 13<sup>ème</sup> Colloque National en Calcul des Structures 15-19 mai 2017, Presqu'île de Giens (Var).
-