

ACTUALITÉS TECHNIQUES ET INDUSTRIELLES

Recherche

Les élastomères, des matériaux à la conquête de l'espace

Par Tony Demerville

SMAC, 66 impasse Branly, 83130 La Garde, France

Contact : tony.demerville@smac.fr

Les matériaux élastomères sont aujourd'hui largement utilisés en tant que solutions antivibratoires pour des domaines très variés, tels que l'automobile, l'aéronautique, l'industrie, ... Or depuis quelques années, ces matériaux aux propriétés d'amortissement élevées, ont su trouver une place entière dans un domaine d'application très particulier : le spatial. Cette particularité tient tout d'abord au niveau élevé d'exigence demandé pour chaque pièce embarquée, la défaillance étant interdite. À cela s'associe un environnement agressif très spécifique auquel seront soumises les pièces en élastomère qui, comme tous polymères, sont sensibles au vieillissement. Les formulations ont su s'adapter à ces contraintes et aujourd'hui ces matériaux se trouvent intégrés dans les lanceurs mais aussi dans les satellites.

Matériaux complexes devenus indispensables

Les élastomères, plus familièrement appelés « caoutchoucs », appartiennent à la grande famille des polymères, et se composent de longues chaînes macromoléculaires ($M_w > 100 \text{ g.mol}^{-1}$) constituées d'éléments standards tels que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène...

Dans leur état non réticulé, ces matériaux sont très peu utilisés car visqueux et faiblement élastiques. Pour obtenir leurs caractéristiques finales, il est nécessaire de les vulcaniser à l'aide d'agents soufrés ou de peroxydes.

Ce sont finalement des matériaux therm durcissables constitués de longues chaînes moléculaires, une structure qui leur confère des propriétés bien spécifiques telles que :

- *une grande élasticité* : les élastomères sont en effet très flexibles, et peuvent être étirés de plusieurs centaines de pourcents avant de rompre (typiquement 800 % pour les caoutchoucs naturels). Ils se retrouvent donc naturellement dans les pièces travaillant en grandes déformations, telles que les soufflets, les accouplements élastiques, les absorbeurs de chocs, ...

- *une bonne étanchéité* : l'exemple historique associé à cette propriété est celui du pneumatique, dont l'industrie représente aujourd'hui ~70 % du marché du caoutchouc. Mais il en existe bien d'autres utilisant cette propriété notamment dans le domaine marin (joints, clapets, ...);
- *un fort pouvoir amortissant* : le caractère visco-élastique de ces matériaux fait qu'ils peuvent présenter des coefficients d'amortissement $\tan \delta$ supérieurs à 1. Aujourd'hui ces matériaux sont naturellement utilisés en tant que solutions antivibratoires pour de nombreux domaines d'activités (automobile, industrie, aéronautique, ...).

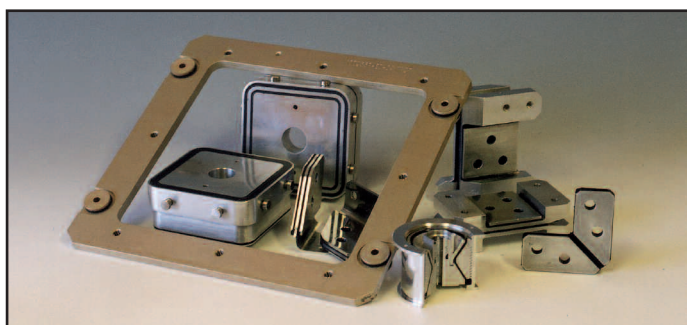
Les élastomères ne peuvent être utilisés seuls en tant que tels, ils sont toujours associés à un grand nombre d'additifs, tels que les charges renforçantes (typiquement le noir de carbone), les accélérateurs (pour gagner en productivité), les agents protecteurs (anti UV, anti oxygène). On parle alors de formulation d'élastomère ou de mélange d'élastomère, dont le nombre d'ingrédients peut être d'une quinzaine. Cela amène une grande diversité de matériaux mais aussi une grande complexité, les relations polymère/additifs étant directement responsables des propriétés finales du matériau.

Propriétés d'amortissement recherchées pour les applications spatiales

Grâce à leur fort pouvoir amortissant, les élastomères sont largement utilisés dans des applications vibro-acoustiques, y compris dans un domaine très particulier qu'est le spatial.

Historiquement, en Europe, la première utilisation des élastomères dans le spatial est associée au développement du lanceur « Ariane IV ». Lors du lancement et plus particulièrement lors des phases de séparations d'étages, des dispositifs pyrotechniques (découpleurs de sangles, boulons explosifs, ...) sont mis en action afin de libérer les différents éléments du lanceur, ce qui génère une onde de choc qui peut être destructrice pour les éléments sensibles embarqués à bord (typiquement les équipements électroniques).

La protection de ces différents éléments passe alors par la mise en place d'absorbeurs de chocs à base d'élastomère. Ces pièces qui sont en fait constituées d'un assemblage de pièces en aluminium et de pièces en élastomère, sont placées sur le chemin de propagation de l'onde de choc (Fig. 1).

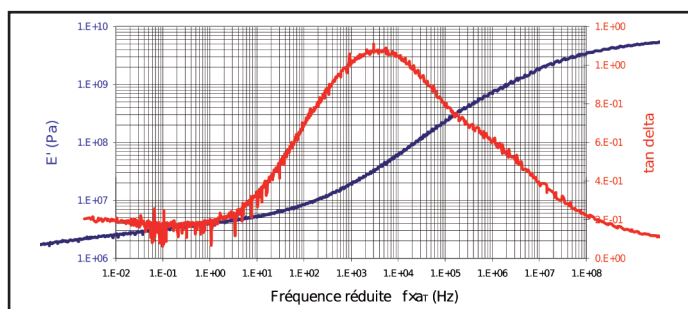


▲ Figure 1 : Exemples d'absorbeurs de chocs en élastomère pour application spatiales.

Avec de tels dispositifs, les niveaux de chocs sont réduits grâce à deux phénomènes :

- le premier est lié au filtre mécanique type « passe bas » obtenu grâce à la faible raideur de l'absorbeur comparée à la raideur de la structure environnante ;
- le second est lié à l'utilisation d'un élastomère présentant un fort pouvoir amortissant sur une large gamme de fréquence. Cela est dû au profil particulier des chocs pyrotechniques qui sont très énergétiques sur une large bande de fréquences (Fig. 2).

▼ Figure 2 : En rouge, évolution de $\tan \delta$ en fonction de la fréquence pour l'élastomère « ref SMACTANE ».

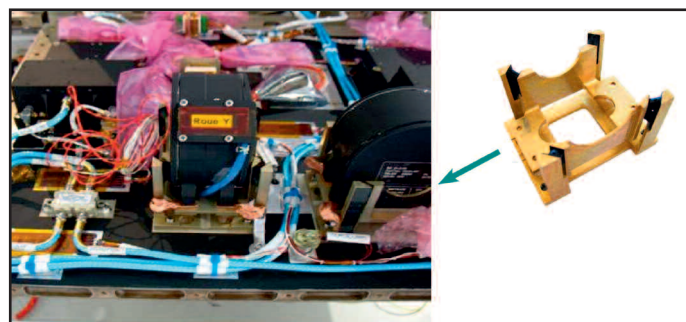


L'efficacité de ces dispositifs fait qu'ils ont été généralisés, et finalement ils se comptent aujourd'hui par dizaine à l'intérieur des lanceurs.

Matériaux fonctionnels qui ont su s'intégrer à bord des satellites

Lors du lancement, il est certes important de protéger les équipements sensibles du lanceur, mais aussi ceux qui se trouvent à bord des satellites qui vont être placés en orbite. L'environnement dynamique rencontré lors du lancement ne se limite pas uniquement aux chocs de séparations d'étages. En effet, aux chocs viennent se greffer un environnement acoustique et un environnement vibratoire pouvant tous deux être sévères pour les mécanismes montés à bord des satellites.

La protection de ces mécanismes passe aujourd'hui également par l'utilisation de pièces en élastomère, utilisées en tant que suspensions antivibratoires. Celles-ci viennent s'insérer entre l'équipement à protéger et la structure du satellite, et ont pour rôle de filtrer les vibrations générées lors du lancement (Fig. 3). Il s'agit de solutions dites « passives », dont la simplicité et la robustesse les rendent avantageuses par rapport aux solutions dites « actives » qui nécessitent d'être alimentées et commandées électriquement.



▲ Figure 3 : Amortisseur viscoélastique pour roue d'inertie d'un microsatellite.

Une difficulté réside néanmoins lors de la conception de ces pièces. C'est la prise en compte de la dépendance de la température mais aussi de la fréquence de ces matériaux, directement liée au caractère viscoélastique. Il est donc nécessaire de définir avec finesse les conditions environnementales rencontrées lors des phases opérationnelles. À cela s'ajoute également une autre difficulté qui est liée au comportement non linéaire de ces matériaux, ce qui amènera le concepteur très rapidement aux essais sur des maquettes simplifiées.

Atténuateurs de micros vibrations utiles pour les missions d'observation

Aujourd'hui la sensibilité des instruments optiques embarqués à bord des satellites d'observation est telle qu'il est nécessaire de filtrer au maximum les micros vibrations générées par les différents mécanismes embarqués, tels que les roues d'inertie, les gyroscopes, les compresseurs, ...

Un moyen simple pour isoler ces éléments perturbateurs du reste de la structure est là aussi d'intercaler un amortisseur viscoélastique, c'est-à-dire à base d'élastomère, entre ces équipements et la structure satellite (Fig. 4). Le principe est le même que celui des solutions passives utilisées pour limiter la propagation des vibrations lors du lancement, sauf qu'ici la source perturbatrice est l'équipement suspendu. Il s'agit de l'isoler afin d'éviter la propagation des vibrations qu'il génère.

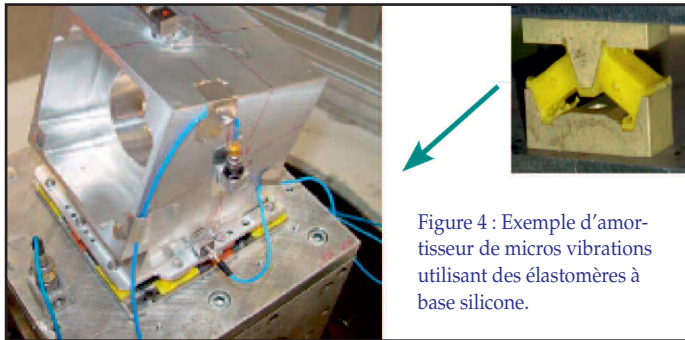


Figure 4 : Exemple d'amortisseur de micros vibrations utilisant des élastomères à base silicone.

Les élastomères sont également utilisés à bord des satellites pour apporter de l'amortissement à la structure en elle-même. Pour cela, l'élastomère en général sous forme de plaque ou de film, peut être directement inséré dans la structure, entre deux plis de matériaux composites par exemple, ou alors directement adhésivé sur la pièce dont il faut amortir les modes propres. On parle alors d'amortissement structural.

Un environnement très spécifique qu'il faut bien appréhender

Les exemples précédents montrent que les pièces en élastomères furent tout d'abord utilisées pour des applications lanceurs, puis peu à peu elles ont fini par être intégrées au cœur même des satellites. La grande différence entre ces deux grands types d'application vis-à-vis des pièces en élastomère est la durée de vie : seulement quelques minutes pour les lanceurs contre plusieurs années pour les applications satellites (jusqu'à 10 ans voire plus pour les sondes interplanétaires).

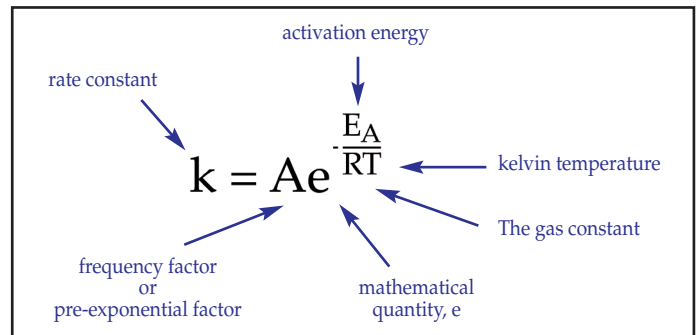
La connaissance de l'évolution des élastomères durant toutes ces années de vol opérationnel devient alors obligatoire, d'autant plus que l'environnement spatial est très particulier et relativement agressif pour les polymères. Il faut pouvoir garantir la fonctionnalité de la pièce jusqu'au terme de la mission, et cela passe par la connaissance des mécanismes de vieillissement.

Aujourd'hui trois sources de vieillissement ont été identifiées pour un élastomère exposé aux conditions du spatial :

- les radiations solaires ;
- les fortes amplitudes thermiques ;
- le vide.

Pour traiter des problèmes de vieillissement, il est fréquent d'utiliser le modèle d'Arrhenius (Fig. 5), qui décrit la vitesse d'une réaction chimique en fonction de la température.

Mais dans le cas du vieillissement spatial, cela est plus complexe car il n'y a pas qu'un seul mécanisme de vieillissement mis en jeu. De plus, il faut prendre en considération les éventuelles interactions entre ces mécanismes, tâche d'autant plus compliquée que le matériau étudié est constitué de nombreux additifs.



▲ Figure 5 : Modèle d'Arrhenius.

Cette problématique fait aujourd'hui l'objet de travaux qui viennent de débiter et qui seront menés jusqu'en 2012 par le laboratoire MAPIEM de l'université de Toulon, en collaboration avec le CNES.

À ce jour, seuls les effets du vide ont été abordés. Le premier effet du vide sur les élastomères est d'en libérer les molécules volatiles initialement contenues dans ceux-ci. Le risque majeur associé à ce phénomène est de voir ces polluants se redéposer sur des éléments sensibles tels que les miroirs des instruments ou encore les connexions électriques. Ces phénomènes se retrouvent avec l'utilisation d'élastomères standards, et font que ces matériaux ont la réputation d'être « salissants » dans le monde du spatial.

Or pour éviter cela, il existe un moyen efficace qui est de travailler directement à la source, c'est-à-dire d'éliminer de la formulation les éléments susceptibles de dégazer. Cela s'accompagnera d'une évolution du process de fabrication, d'une productivité moindre mais qui est facilement gérable étant donné qu'il s'agit en général de « petites » séries de pièces à fabriquer (Fig. 6).

Il s'agit là d'un bel exemple d'adaptabilité de ces matériaux lorsqu'il s'agit de répondre à une problématique bien spécifique.

	Neoprene	SMACTANE SP	SMACTANE SP
CVCM %	0,79	0,07	< 0,1

▲ Figure 6 : Taux de dégazage (CVCM) d'un élastomère standard et d'un élastomère qualifié spatial.

Évolutions et perspectives

A ce jour, l'implémentation de pièces en élastomère s'est limitée au « bus » des satellites : elles ont toujours été montées à l'intérieur de la structure, là où se trouvent la majorité des sous systèmes (tels que les batteries, les contrôles d'attitude,...). Mais le besoin de ces pièces à l'extérieur du « bus » existe, notamment sous l'instrument, afin de limiter la remontée des micros vibrations vers ce dernier, et en améliorer ainsi la résolution.

L'inconvénient majeur serait alors de ne plus bénéficier de la protection de la structure, les pièces élastomères se retrouvant directement exposées au rayonnement du cosmos.

L'étude des mécanismes de vieillissement qui vient de débiter devrait permettre aux formulateurs d'élastomère d'adapter leurs futurs matériaux pour faire face à cet environnement très sévère, et ceci pour toute la durée de la mission.

Copyright des images : SMAC.