

# SOLUTIONS DE PROTECTION POUR LES OPTIQUES

J. Eck<sup>1</sup>, S. Fontorbes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Airbus Defence & Space, 31 Rue des Cosmonautes, 31402 Toulouse Cedex 4

## 1. CONTEXTE

Le nettoyage des optiques une fois intégrées dans les instruments étant la plupart du temps risqué ou impossible, ces surfaces sont sujettes constamment au dépôt d'un film moléculaire et à la sédimentation des particules même en environnement de salle propre ; à noter qu'une classe ISO 5 est généralement requise dans le cas de ces équipements, ce qui peut générer un certain nombre de contraintes opérationnelles. Par conséquent, l'utilisation d'un film de protection durant les différentes phases d'intégration voire d'essais permettrait de réaliser ces étapes plus aisément en classe ISO 8 et ce avec une réduction des coûts de fabrication. En outre, en limitant la contamination surfacique, les propriétés physiques des éléments sensibles pourraient ne pas être altérées. Par ailleurs, le nettoyage des optiques étant souvent difficile après leur livraison en raison de la fragilité du revêtement final, une protection permettrait d'éviter des anomalies de manipulation ou autres durant l'assemblage, l'intégration et les tests (AIT).

A ce jour, si l'on se tourne vers d'autres secteurs d'application, on peut trouver des solutions de protection comme les films en polycarbonate ou les films en verre flexible déjà largement utilisés sur les écrans de téléphones portables et tablettes. Ces matériaux sont en effet intéressants dans la mesure où ils sont transparents et pourraient être maintenus en place même lors des essais optiques. Ils sont aussi sans adhésif : le risque de contamination moléculaire intrinsèque devrait alors être limité.

Le but de l'étude est de trouver comment protéger efficacement les surfaces sensibles en environnement d'assemblage, d'intégration et de test (AIT) d'équipements spatiaux vis-à-vis des risques de contamination moléculaire et particulaire ; les surfaces qui seront considérées seront essentiellement les surfaces optiques et les surfaces de contrôle thermique émissives (ex : réflecteurs).

Un panel de dispositifs de protection potentiels a été sélectionné. Trois types de solutions ont été considérés : les films polymères avec adhésifs, les vernis polymérisables et les films électrostatiques.

## 2. ETAT DE L'ART

Dans la littérature, il n'y a pas d'articles ou de publications qui traitent spécifiquement de la problématique abordée dans le cadre de cette étude.

Toutefois, dans des domaines d'activités variés (métallurgie, plasturgie, micro-électronique, industrie verrière, ...), on note également la nécessité de protéger des surfaces afin de conserver leur aspect et leur état de surface.

De manière générale, les objectifs des dispositifs de protection existants (films, vernis, ...) sont les suivants :

- Protection des surfaces aux petits chocs, rayures lors de la manutention, l'assemblage, le stockage ou le transport
- Protection de tout support de l'attaque d'agents chimiques ou physiques, au cours d'un stockage, d'un transport ou d'un montage
- Protection temporaire anticorrosion
- Protection contre les taches, ...

### 3. CAHIER DES CHARGES

Afin de prendre en compte les contraintes propres à l'industrie spatiale, notamment concernant le domaine des instruments optiques, il est nécessaire d'établir un cahier des charges spécifiques couvrant l'ensemble des besoins propres à l'application visée.

Un des points critiques du cahier des charges est l'aspect contamination. En effet, les dispositifs de protection envisagés devront protéger les optiques durant les différentes phases de l'AIT Instrument/Satellite sans induire de transfert de contamination moléculaire par contact. Ces points sont spécifiés dans les normes ECSS [RD1&2].

En plus de ces aspects contamination, des contraintes propres à l'AIT sont également à considérer et notamment les points suivants :

- Facilité de mise en place
- Possibilité de repositionnement
- Pas de dégradation des substrats lors de l'enlèvement du dispositif de protection

Idéalement, les propriétés suivantes pourront également être considérées :

- Compatibilité avec les tests environnementaux (acoustique, mécanique, EMC, Vide Thermique, ...)
- Possibilité de réaliser des tests fonctionnels sans retirer le film

### 4. SOLUTIONS POTENTIELLES

Référence	Matériau	Adhésif	Applications actuelles
FA1	Polyéthylène (PE)	Oui (Acrylique)	Optique
V1	Polyuréthane (PU)	Non	Industrie verrière, métallurgie
FA2	Polyéthylène téréphtalate (PET)	Oui (Acrylique)	Optique
FE1	Polypropylène (PP)	Non	Bureautique
FE2	Polyéthylène (PE)	Non	Industrie verrière, micro-électronique
V2	Non spécifié	Non	Media
V3	Non spécifié	Non	Optique, spatial

**Figure 1 – Liste des solutions potentielles**

Les potentielles solutions identifiées sont des produits qui proviennent de différents domaines d'application.

Certaines d'entre elles sont adaptées aux optiques (FA1 & FA2) et même aux conditions salle blanche pour le produit FA2 mais comportent cependant un adhésif qui sera en contact avec la surface sensible.

D'autres solutions sont également utilisées dans l'industrie verrière (V1 & FE2) et peuvent potentiellement répondre au cahier des charges. De plus, ce sont des solutions sans adhésif.

Enfin, les 2 derniers produits (V2 & FE1) sont issus de domaines d'application plus éloignées du domaine spatial mais peuvent être intéressants à évaluer. Le matériau V2 est appliqué sur les media numériques (type CD) alors que le film FE1 est une solution bureautique pour la création de surface d'écriture. Dans ce cas, il s'agit d'un film transparent. C'est une solution à bas coût, sans adhésif et facilement adaptable à la géométrie de l'optique qui peut être intéressante.

Le produit V3 est le seul explicitement dédié aux applications optiques et spatiales.

## 5. CAMPAGNE D'ESSAIS

Afin de déterminer l'aptitude des solutions potentielles à répondre au besoin, un plan d'essai itératif a été défini. Les différents tests réalisés visent à effectuer une première étape de sélection avant une caractérisation avancée. La philosophie et le plan d'essai sont résumés dans la Figure 2.

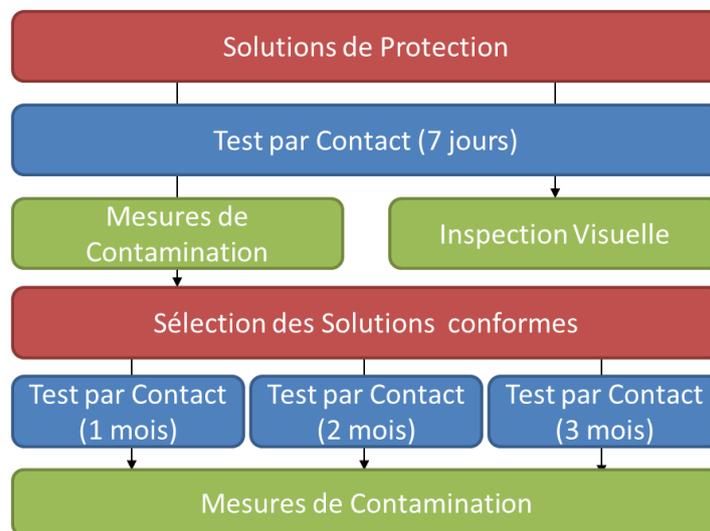


Figure 2 – Première phase de sélection

### 5.1. Evaluation préliminaire

#### 5.1.1. Test par contact

Ce test consiste à appliquer la solution à tester directement sur un témoin de contamination moléculaire ZnSe (Fig. 3) pendant 7 jours à température ambiante afin de déterminer le taux de contamination moléculaire induite par transfert direct.

Chaque candidat subit trois tests par contact afin de pouvoir établir une valeur moyenne.

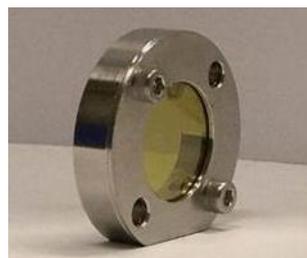


Figure 3 – Témoin de contamination moléculaire ZnSe

Après 7 jours d'application, la protection est retirée du témoin et ce dernier est analysé en spectroscopie infrarouge en transmission. Le but de cette analyse est de détecter et de quantifier les quatre familles de contaminants suivants :

- Hydrocarbures
- Esters
- Méthyl-silicones
- Phényl-silicones

La contamination moléculaire induite par la solution de protection doit rester inférieure ou égale à 0,5 mg/m<sup>2</sup> (valeur typiquement attendue pour un matériau en contact avec du matériel vol).

Afin d'évaluer l'évolution dans le temps de la contamination moléculaire induite par les différentes protections, un test par contact de longue durée (1, 2 et 3 mois) est également effectué pour les candidats conformément au critère de succès du test précédent.

#### 5.1.2. Inspection visuelle

Dans le but de compléter les résultats quantitatifs des deux premiers tests, les candidats ont été appliqués sur des wafer de silicium préalablement nettoyé et inspecté. Au bout de 7 jours, la protection a été retirée et une inspection visuelle réalisée.

L'inspection visuelle avant application et après retrait de la protection a été réalisée à l'œil nu, à l'aide d'une lumière blanche et d'une lumière UV (365 nm) sous incidence rasante afin de vérifier la présence d'éventuels résidus/défauts.

### 5.2. Caractérisation avancée

#### 5.2.1. Repositionnement

Le but des essais de repositionnement est de déterminer la contamination moléculaire induite par la réutilisation des protections sur la même surface. Pour ce faire, les protections à tester ont été positionnées sur un témoin de contamination moléculaire ZnSe et laissées une semaine. Au bout de ces 7 jours, la protection a été retirée et le témoin analysé pour quantifier la contamination moléculaire déposée. Ensuite, le même échantillon de protection a été à nouveau appliqué sur le même témoin (sans nettoyage) pour une semaine supplémentaire. Ces étapes ont été répétées jusqu'à avoir un temps de contact cumulé de 4 semaines.

#### 5.2.2. Compatibilité avec les essais environnementaux

L'objectif est de s'assurer qu'il n'y a pas de dégradation des substrats ou de décollement spontané des solutions de protection après ces tests

##### 5.2.2.1 *Chaleur humide*

Un essai de chaleur humide suivant les recommandations données par la note technique [DA4] a été effectué sur les candidats retenus afin de simuler un vieillissement long terme. Les protections ont été positionnées sur des substrats représentatifs (revêtements optiques et réflecteurs solaires) du domaine d'application spatial. Ces échantillons ont subi un essai de chaleur humide suivant les conditions suivantes :

- Durée : 7 jours
- Température : 50°C
- Taux d'humidité relative : 95%

### 5.2.2.2 Cyclage thermique sous vide

Les protections à tester ont été appliquées sur des témoins de contamination ZnSe et sur des substrats représentatifs afin de vérifier leur compatibilité au vide et à une gamme de température étendue (-150°C/+60°C) et l'évolution du transfert de contamination moléculaire induite par contact. Le test a été réalisé selon les normes ECSS [DR3].

### 5.2.2.3 Dégazage

Dans le cadre des applications spatiales, l'utilisation d'un matériau sous vide avec du matériel vol requiert qu'il soit conforme aux spécifications générales de dégazage données par l'ECSS (i.e. RML < 1% et CVCM < 0,1%). Le candidat le plus prometteur a donc été soumis à un test de dégazage à 125°C pendant 24h selon la norme européenne [DR4]. Ce test a permis d'obtenir les données suivantes :

- TML : Total Mass Loss
- RML : Recovered Mass Loss
- CVCM : Collected Volatile Condensable Material
- WVR : Water Vapour Regain (= TML – RML)

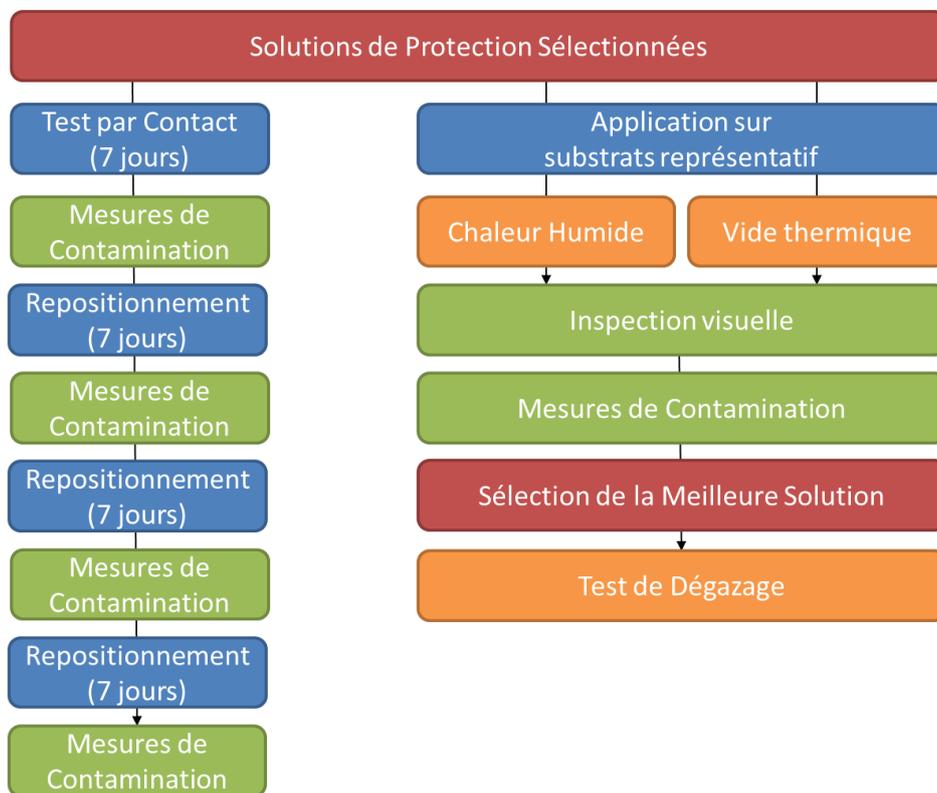


Figure 4 – Phase de caractérisation avancée

## 6. RESULTATS

### 6.1. Evaluation préliminaire

L'évaluation préliminaire a été effectuée en réalisant des tests par contact sur 7 jours puis sur des durées plus longues représentatives des applications spatiales.

Dès la première phase d'évaluation, une majorité de matériaux ont induit des niveaux de contamination moléculaire au-delà du seuil acceptable de 0.5 mg/m<sup>2</sup> dans le cas d'applications optiques. Seuls 3 matériaux sont conformes à ce critère (Fig. 5).

Sur ces matériaux, un test longue durée a été réalisé afin de vérifier l'évolution du transfert de contamination au cours du temps (Fig. 6). On constate une différence de comportement entre les films électrostatiques et le film avec adhésif. Pour les premiers, un phénomène de saturation intervient et il n'y a pas d'évolution significative du niveau de contamination au-delà du premier mois alors que dans le cas du film adhésif, on observe une augmentation constante du niveau de contamination avec le temps d'application.

Référence	Hydrocarbures (mg/m <sup>2</sup> )	Esters (mg/m <sup>2</sup> )	Méthyl-silicones (mg/m <sup>2</sup> )	Phényl-silicones (mg/m <sup>2</sup> )	Total (mg/m <sup>2</sup> )
FA1	0,50	-	-	-	0,50
V1	1,65	1,69	-	-	3,34
FA2	0,75	-	0,83	-	1,58
FE1	0,20	-	-	-	0,20
FE2	0,41	-	-	-	0,41
V2	1,91	-	-	-	1,91
V3	207,00	-	-	-	207,00

Figure 5 – Résultats obtenus après test par contact

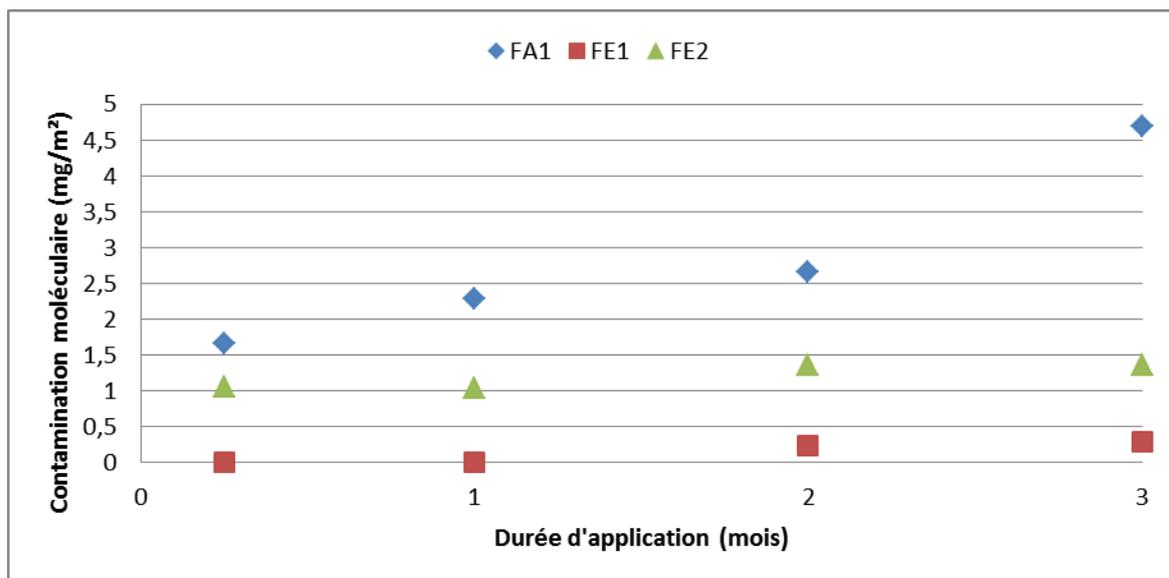


Figure 6 – Résultats obtenus après test par contact longue durée

### 6.2. Caractérisation avancée

Afin d'être représentatif de l'utilisation de ces films lors de l'AIT des instruments optiques, des étapes de retrait/repositionnement des films ont été réalisées pour vérifier la contamination moléculaire induite par ces opérations. La tendance observée est similaire à celle relevée pour les tests par contact de longue durée, à savoir un phénomène asymptotique pour les films électrostatiques et une augmentation continue du niveau de contamination pour le film avec adhésif (Fig. 7).

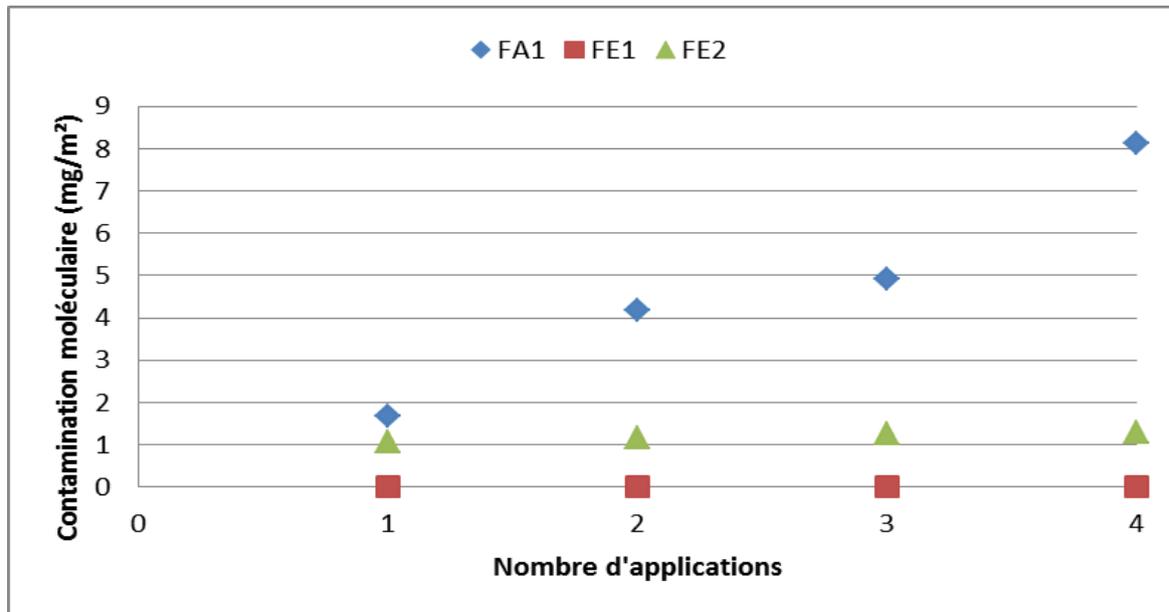


Figure 7 – Résultats obtenus après repositionnement

Des tests environnementaux ont également été réalisés de manière à vérifier la compatibilité potentielle des solutions de protection. En effet, ces étapes de tests (vide thermique, vibrations, tests acoustiques, ...) étant des contributeurs significatifs à la contamination globale des éléments sensibles, la possibilité de laisser les solutions de protection lors de ces étapes permettrait un gain important en terme de propreté.

Le premier test de chaleur humide, vise à reproduire un vieillissement accéléré de la solution de protection pour vérifier sa capacité à rester en place sur une durée représentative du besoin en conditions standard d'utilisation (environnement salle blanche). Les films ont été apposés sur des substrats types (réflecteurs solaires, traitement optique, wafer, ...) afin de s'assurer qu'il n'y a ni dégradation du film, ni contamination induite sur les substrats. Dans toutes les configurations, aucune altération n'a été observée.

Les mêmes combinaisons de substrats et de solutions de protections ont été considérées pour le cyclage thermique sous vide. Les films ont également été appliqués sur des témoins de contamination afin de vérifier l'évolution de la contamination moléculaire induite dans ces conditions. L'inspection visuelle après essai a permis d'observer une dégradation significative des films FA1 et FE2 suite aux conditions appliquées (Fig. 8).

Suite à ces résultats, un test de dégazage a également été réalisé sur FE1 afin de vérifier si son utilisation sous vide avec du matériel spatial vol est envisageable. Les valeurs obtenues sont résumées dans le tableau ci-dessous et confirment la conformité du matériau conformément aux critères de succès définis dans la norme ECSS [DR1].

## 7. SYNTHESE

La première phase de test par contact de 7 jours a permis une sélection drastique dans laquelle seules 3 solutions de protection se sont avérées conformes au critère de succès dans le cadre d'une application optique spatiale.

Sur ces trois solutions, le matériau FE1 s'est avéré être le film le plus prometteur du point de vue de la contamination moléculaire avec un niveau inférieur à 0,5 mg/m² pour chaque test effectué. C'est également le film qui s'est révélé être le plus résistant vis-à-vis des différents environnements de tests (cyclage thermique et chaleur humide). Le test de

dégazage standard à 125°C pendant 24h a par ailleurs permis de confirmer sa possible utilisation lors des essais de vides thermiques incluant du matériel vol.

Référence	OSR	Wafer	SiC + argenture	Contamination (mg/m <sup>2</sup> )
FA1				3.04
FE1				0.13
FE2				1.26

Figure 8 – Aspect des films après cyclage thermique sous vide et contamination induite

Référence	TML (%)	RML (%)	CVCM (%)
FE1	0,22	0,19	0,05

Figure 9 – Données de dégazage du matériau FE1

Afin d'autoriser formellement son utilisation en tant que protection d'optiques durant l'AIT instrument ou satellite, des essais de qualification incluant les spécificités des différents projets sont actuellement en cours à Airbus Defence & Space.

## 8. REMERCIEMENT

Airbus Defence & Space remercie le CNES (D. Faye) pour le co-financement de l'étude R&T (R-S16/TG-0003-041) dont les résultats présentés dans cet article sont issus.

## 9. REFERENCES

- [DR1] ECSS-Q-ST-70-71C, Cleanliness and contamination control, 15 November 2008
- [DR2] ECSS-Q-ST-70-05C, Detection of organic contamination surfaces by IR spectroscopy, 6 March 2009
- [DR3] ECSS-Q-ST-70-04C, Thermal testing for the evaluation of space materials, processes, mechanical parts and assemblies, 15 November 2008
- [DR4] ECSS-Q-ST-70-02C, Thermal vacuum outgassing test for the screening of space materials, 15 November 2008