

PLAN		
	OBJET (Subject) :	Ref : CF-GLAST-Q-41555-041-PA
	<p style="text-align: center;">PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE</p>	Pages :1/24
		Annexes : 1
		Date : 15/10/01

Destinataires (To)

Pour application :

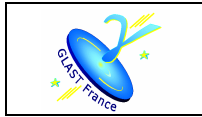
Y. Acker, D.Bédérède, G.Bogaert, P.Bourgeois, C.Chapron, R.Chipaux, A.Djannati-Ataï, O. Ferreira, D.Imbault, P. Prat, J.L Ritou

Pour information :

Révision

1

PA	15/10/01	Création	C.Chapron	JL. Ritou	D. Imbault	D. Bédérède
Ind.	Date	Modifications	Visa Auteur	Visa RAQ	Visa Vérificateur	Visa Approb.



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Ref CF-GLAST-Q-41555-xxx-PA

Sommaire

1	GENERALITE :	4
1.1	INTRODUCTION	4
1.2	OBJECTIFS	4
1.3	DOMAINE D'APPLICATION	4
1.4	DOCUMENTS DE REFERENCE	4
1.5	ABREVIATIONS (ACRONYMS)	4
2	EXIGENCES TECHNIQUES	5
2.1	EXIGENCES DE LA MISSION	5
2.2	CONSTRAINTES ET CRITERES	5
3	DESCRIPTION DE LA SOLUTION PROPOSEE :	5
3.1	PRINCIPALES CARACTERISTIQUES	5
3.2	DIMENSIONS :	6
4	ORGANISATION - RESPONSABILITE	6
5	RISQUES	6
5.1	RISQUES MAJEURS IDENTIFIES	6
5.2	ANALYSE DES RISQUES ET PLAN D'ACTION DE SURVEILLANCE	6
5.2.1	<i>Colle et / ou primaire</i>	6
5.2.1.1	Mauvaises caractéristiques mécaniques	6
5.2.1.2	Mauvaises caractéristiques optiques	7
5.2.2	<i>Non respect de la procédure :</i>	7
5.2.2.1	Environnement non conforme (HR et température)	7
5.2.2.2	Mauvaise préparation des surfaces	7
5.2.2.3	Mélange : mauvaise proportion	8
5.2.2.4	Non respect des temps	8
5.2.2.5	Epaisseur de colle non respectée	8
5.2.2.6	Présence de bulles dans le joint de colle	8
5.2.2.7	Mauvaise manipulation lors du « démoulage »	9
5.2.2.8	Temps de polymérisation avant manipulation non respecté	9
5.3	ACTIONS ENGAGEES POUR DIMINUER LES RISQUES	9
6	VERIFICATION DES EXIGENCES	10
6.1	ADHERENCE	10
6.1.1	<i>Essais de cisaillement</i>	10
6.1.2	<i>Essais de clivage</i>	10
6.2	THERMIQUE	11
6.3	OPTIQUE	11
6.4	IRRADIATION	11
6.5	VIBRATIONS	12
6.6	QUALIFICATION SPATIALE DE LA COLLE	12
6.7	NOMBRE D'ECHANTILLONS	12
7	ANALYSE ET CONCEPTION	12
7.1	HERITAGE ET PREMIER ESSAIS	12
7.1.1	<i>Etudes préliminaires</i>	12
7.1.2	<i>Recherche de colle</i>	12
7.1.3	<i>Essais préliminaire</i>	13
7.2	DEMARCHE MISE EN PLACE	13
7.3	CALCULS ET DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE COLLE	13
7.4	ETUDES ET ESSAIS REALISES	14
7.4.1	<i>Influence du primaire et du dépoli</i>	14
7.4.1.1	Poly acétal / verre	14
7.4.1.2	CsI/verre – Primaire 1200 OS	15



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

cea
DSM-DAPNIA
Ref CF-GLAST-Q-41555-xxx-PA

cnes
INSU IN2P3

GLAST

7.4.1.3	CsI/verre – Primaire DC 92-023	16
7.4.1.4	CsI/Diode	17
7.4.1.5	Conclusion	17
7.4.2	<i>Essais de clivage</i>	18
7.4.3	<i>Vieillissement – Cyclages thermiques</i>	18
7.5	CONCLUSION.....	19



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

1 Généralité :

1.1 Introduction

La mission GLAST est une mission scientifique destinée à observer le ciel dans le domaine gamma. Le satellite sera déposé sur son orbite en 2005. L'espérance de vie de la mission est supérieure à 5 ans. Le télescope à grand champ est l'expérience première de GLAST. Il est composé d'un système de détection en anti-coïncidence, d'un trajectographe à pistes sur silicium, d'un calorimètre à cristal de CsI, d'un trigger et enfin d'un système de traitement de données. Le but principal du LAT est d'identifier la direction incidente et l'énergie des rayons gamma.

Les mesures sont redirigées vers le vaisseau pour stockage de données et pour transmission vers les centres d'analyse sur terre.

Le calorimètre est un empilement hodoscopique de cristaux scintillants de CsI(Tl). La lumière scintillante est collectée de chaque côté du cristal par des photodiodes PIN et amplifiée par des pré-amplis de charge. Le sous système calorimétrique est composé de 4*4 modules identiques (plus 2 de rechange) et de son électronique de proximité. Chaque cristal mesure 26.7 x 19.7 x 333 mm.

Deux photodiodes, une grande et une petite, se partagent la lumière de chaque côté des cristaux. L'une est reliée à une chaîne d'amplification destinée à lire les particules de faible énergie (la plus grande) et l'autre à une chaîne destinée à des énergies plus élevées. Ces deux diodes sont montées dans un même support et reliées à l'électronique de proximité à travers un câble flexible. La diode est couplée au cristal par une colle optique.

1.2 Objectifs

Ce document analyse l'ensemble des technologies nécessaires qui devront être mise en œuvre lors du collage de 2 DPD sur un cristal scintillant de CsI(Tl) afin de constituer un CDE après enrobage (wrapping).

1.3 Domaine d'application

Ce document concerne la réalisation de la liaison optique entre un cristal scintillant de CsI(Tl) et d'une DPD placée à chacune de ses extrémités, les DPD étant munies de leur câble.

La liaison optique est assuré à l'aide d'une colle.

Ce document n'inclus pas l'aspect enrobage (wrapping) du cristal.

1.4 Document de référence

GE-00010	'GLAST LAT Performance Specification', August 2000
GLAST00110	'Mission Assurance Requirements (MAR) for Gamma-Ray Large Area Telescope (GLAST) Large Area Telescope (LAT)', NASA Goddard Space Flight Center, Current Draft Sept 20, 2000
	Manuel management de projet "guide pour l'IN2P3"
LAT-DS-00095-03	LAT Calorimeter CsI Crystal Spécification
LAT-DS-00072-03	Spécification for Calorimeter PIN Photodiode Assembly

1.5 Abréviation (Acronyms)

CAL	Calorimeter
EM	Engineering model
FM	Flight model
GSE	Ground Support Equipment



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



DPD	Dual PIN Diode
CDE	Crystal Detector Element
NRL	Naval Research Laboratory
PEM	Pre-electronics module
QM	Qualification model
VM2	Validation Model N°2
CETIM	Centre d'Etude Techniques des Industries Mécaniques

2 Exigences techniques

2.1 Exigences de la mission

- Durée de vie : minimum 5 ans / maximum 10 ans
- Thermique : 40 cycles entre -30°C et $+50^{\circ}\text{C}$ avec une pente de $5^{\circ}\text{C}/\text{heure}$.
- Irradiation : l'assemblage doit pouvoir supporter une dose de 10 krad, ce nombre inclus un facteur de sécurité de 5.
- Vibrations : 8,7grms, de 20 à 2000 Hz

Fréquences (Hz)	ASD level (g^2/Hz)
20	0,00160
20-300	Pente : +4 dB/oct.
300-700	0,06
700-2000	Pente : -3 dB/oct.
2000	0,021
Moyenne :	8,7 g rms

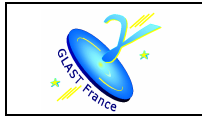
2.2 Contraintes et critères

- Dimensions : l'épaisseur de colle ne doit pas être supérieure à 1 mm pour rester compatible avec les dimensions du module. Elle doit couvrir la totalité de la surface sensible de la DPD et son congé autour de la DPD ne devra pas dépasser 0,4 mm afin de garantir la montabilité et le bon fonctionnement du joint bloquant les mouvements horizontaux du module.
- Positionnement relatif : en position nominale la DPD est centrée sur la face du cristal où elle est collée. La précision sera de $\pm 0,3$ mm par rapport au centre de cette face.
- Optique : adaptateur d'indice et transparence dans le domaine bleu violet du spectre (350nm à 700nm)
- Adhérence : la colle doit assurer d'une part la tenue mécanique de la DPD sur le cristal pour répondre aux exigences de la mission et d'autre part la tenue à la traction lors de manipulations, soit 10 N transmis par le câble (clivage).
- Qualification spatiale : si cela est possible, la colle sera qualifiée spatiale.
- Stockage, transport : le collage ne doit pas être affecté par les conditions de stockage, transport et manipulations.
- Humidité relative : elle sera inférieure à 50 % durant les phases de manipulation et de collage des cristaux.
- Orientation des DPD : les câbles des 2 DPD d'un même cristal seront orientés dans la même direction de l'axe Z.

3 Description de la solution proposée :

3.1 Principales caractéristiques

- Colle : Dow Corning 93-500, colle silicone bi-composants transparente.
- Primaire : Dow Corning 92-023, déposé en fine couche sur le CsI dépoli et la DPD.
- Diode étuvée à 70°C pendant 2 heures.



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

- Epaisseur de colle de 0,5 à 0,6 mm.
- Diode centrée sur le cristal de CsI.
- Nettoyage du pourtour de la diode après collage, pour assurer l'appui du bumper.

3.2 Dimensions :

- Cristal de CsI (T1) : voir LAT Calorimeter CsI Crystal Spécification n° LAT-DS-00095-03.
- DPD : voir Specification for Calorimeter PIN Photodiode Assembly n° LAT-DS-00072-03.

4 Organisation - Responsabilité

- Définition, rédaction procédures de collage : PCC – Collège de France.
- Outillage nécessaire à la réalisation du collage : études et réalisation, PCC – Collège de France.
- Fourniture des cristaux de CsI (T1) : LPNHE – Ecole polytechnique.
- Fourniture des DPD : CEA.
- Approvisionnement colle et ensemble du petit matériel nécessaire : PCC – Collège de France.
- Transport et liaisons entre les différents sites : CEA.
- Réalisation des collages : PCC – Collège de France, avec pour
 - VM2 et EM : collage réalisé dans les locaux du PCC – Collège de France
 - QM et autres (série) : TBD.
- Réalisation des essais permettant de valider et vérifier la tenue des exigences requises :
 - Adhérence (essais de cisaillement, clivage) et thermique : PCC – Collège de France
 - Optique et irradiation : CEA
 - Vibrations : LPNHE – Ecole polytechnique

5 Risques

5.1 Risques majeurs identifiés

Les risques majeurs identifiés à ce jour sont au nombre de 2 :

- Lors de l'utilisation d'un nouveau lot de colle et / ou de primaire, celui ci n'a pas les bonnes caractéristiques mécaniques ou optiques.
- Non respect de la procédure de collage.

5.2 Analyse des risques et plan d'action de surveillance

5.2.1 Colle et / ou primaire

5.2.1.1 Mauvaises caractéristiques mécaniques

- Analyse :

De mauvaises caractéristiques mécaniques d'un nouveau lot de colle et / ou de primaire peuvent entraîner une dégradation de l'adhérence ou des contraintes admissibles et la colle ne remplit plus alors correctement sa fonction.

- Plan d'action de surveillance :

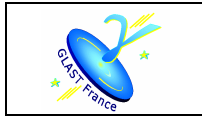
Afin de limiter ce risque, l'assemblage collé intègre un facteur de sécurité pour la tenue mécanique, ce facteur étant de 5 .

De plus il est prévu qu'avant chaque utilisation d'un nouveau lot de colle et / ou de primaire, il sera réalisé des échantillons éprouvettes.

Ces échantillons seront au nombre de 8 :

- 4 échantillons réalisés pour faire des essais en cisaillement
- 4 échantillons réalisés pour être cyclés thermiquement (20 cycles).

Les échantillons auront un temps de polymérisation de 3 jours au minimum (87% de la résistance maximale).



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

Ainsi tout lot ne donnant pas satisfaction lors de ces essais ne sera pas utilisé pour réaliser des assemblages.

5.2.1.2 Mauvaises caractéristiques optiques

- Analyse :

De mauvaises caractéristiques optiques d'un nouveau lot de colle et / ou de primaire peuvent entraîner une dégradation de la transparence et une mauvaise adaptation d'indice.

- Plan d'action de surveillance :

Il est prévu qu'avant chaque utilisation d'un nouveau lot de colle et / ou de primaire, des échantillons éprouvettes seront réalisés.

Ces échantillons seront au nombre de 4 pour réaliser des essais et mesures de transparence.

Ainsi tout lot ne donnant pas satisfaction lors de ces essais ne sera pas utilisé pour les assemblages.

5.2.2 Non respect de la procédure :

Concernant le non respect de la procédure à suivre pour réaliser correctement les assemblage, il y a aujourd'hui 8 risques majeurs identifiés. Ces risques sont analysés ci après ainsi que le plan d'action de surveillance prévu afin d'éliminer ces risques ou de les minimiser le plus possible.

5.2.2.1 Environnement non conforme (HR et température)

- Analyse :

Le fait de travailler dans un environnement non conforme en terme d'humidité et de température peut entraîner une diminution de l'adhérence ou des conditions de polymérisation de la colle et donc des performances de tenue mécanique de l'assemblage.

- Plan d'action de surveillance :

Afin de s'affranchir le plus possible de ces risques, le local dans lequel sera réalisé les collages sera équipé d'un système de climatisation pour garantir la température (20 ° C +/- 2°C) et d'un déshumidificateur (HR < 50%).

De plus avant chaque opération de collage, il sera soigneusement noté la température et le taux d'humidité régnant dans la pièce. Si un des paramètres n'est pas conforme, le collage n'aura pas lieu.

Enfin la pièce sera équipée d'un système mesurant en permanence la température et le taux d'humidité avec mémorisation des niveaux maxi et mini.

5.2.2.2 Mauvaise préparation des surfaces

- Analyse :

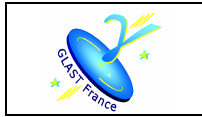
La préparation de surface comporte 3 étapes :

- Le dépoli du CsI
- Le nettoyage du CsI dépoli et des DPD
- L'application de primaire.

Une défaillance à l'une de ces 3 étapes (oubli par exemple) peut entraîner une diminution de l'adhérence et donc des performances de tenue mécanique de l'assemblage.

- Plan d'action de surveillance :

- Le dépoli du CsI : pour réaliser le dépoli, il sera utilisé un outillage pour minimiser l'intervention humaine et assurer la reproductibilité (résultat non lié à un individu).
- Le nettoyage : ne seront nettoyés que les CsI dépolis (différence nettement visible à l'œil). Une fois nettoyés, les cristaux de CsI seront immédiatement montés sur l'outillage de maintien des cristaux pour le collage.
- Les DPD nettoyées seront immédiatement entreposées dans un bac (de couleur dédiée) spécialement prévu a cet effet.
- L'application de primaire : une fois déposé, le primaire est difficilement visible, il devient alors délicat de faire la différence entre un CsI ou une DPD ayant ou n'ayant pas de primaire. Par conséquent, une fois le primaire déposé



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

sur un cristal de CsI, il sera apposé sur ce cristal une pastilles autocollante de couleur pour identifier clairement les CsI avec primaire. Les DPD seront elles entreposée dans un bac (de couleur dédiée et différente de la précédente) spécialement prévu a cet effet.

De plus, l'ensemble de ces opération sera nécessairement effectué par 2 personnes. Une première personne réalisera les opérations pendant que la seconde personne vérifiera et s'assurera que tout est bien réalisé selon la procédure. Cette seconde personne interviendra immédiatement lorsqu'elle constatera un non respect de la procédure ou tout autre anomalie afin d'y remédier rapidement sur l'instant.

5.2.2.3 Mélange : mauvaise proportion

- Analyse :

Le risque est de ne pas respecter les bonnes proportions entre les 2 composants entrant dans la composition de la colle lors de sa préparation, pouvant entraîner ainsi une diminution de l'adhérence ou des caractéristiques mécaniques de la colle et donc des performances de tenue mécanique de l'assemblage.

- Plan d'action de surveillance :

Afin de s'affranchir le plus possible de ce risque, le mélange sera réalisé par 2 personnes :

- Une première personne manipulera et remplira les flacons en prenant garde de respecter les proportions.
- Une seconde personne vérifiera que la première personne met bien les bonnes proportions et l'avertira immédiatement lors du non respect des proportions pour pouvoir corriger rapidement ces dernières.

De plus, il sera soigneusement noté les proportions utilisées pour réaliser la série de collages concernée.

Il sera utilisé une balance au 1/100 grammes pour assurer la précision du mélange.

5.2.2.4 Non respect des temps

- Analyse :

Un certains nombre de temps sont à respecter lors du déroulement de la procédure (temps séchage primaire, temps de dégazage de la colle, temps de repos de la colle ...). Le non respect d'un de ces temps peut entraîner une diminution de l'adhérence et donc des performances de tenue mécanique de l'assemblage.

- Plan d'action de surveillance :

Pour respecter les temps, il sera utilisé un chronomètre qui décomptera le temps passé et sonnera une fois celui ci écoulé. Les temps seront ainsi respectés au mieux.

De plus, comme pour l'ensemble de la procédure, il y aura nécessairement 2 personnes. Une première personne réalisera les opération pendant que la seconde personne s'occupera du chronomètre et s'assurera que les temps sont bien respectés.

5.2.2.5 Epaisseur de colle non respectée

- Analyse :

Le non respect de l'épaisseur de colle peut avoir 2 conséquences :

- Epaisseur < 0,5 mm : risque de décollement de la DPD lors des cyclages thermiques.
- Epaisseur > 0,6 mm : non montabilité de l'ensemble collé dans le module.

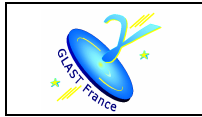
- Plan d'action de surveillance :

L'épaisseur minimum de 0,5 mm sera garantie par l'outillage utilisé pour réaliser le collage.

Le respect de l'épaisseur maxi sera garanti par une vérification systématique (par une seconde personne), avant moulage, a l'aide d'un gabarit (TBC).

5.2.2.6 Présence de bulles dans le joint de colle

- Analyse :



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

La présence d'un certain nombre de bulles dans le joint de colle peut entraîner un diminution des performances optiques. D'un point de vue mécanique il n'y a pas d'influence (voir résultats cyclages thermiques – paragraphe 7.4.2)

- Plan d'action de surveillance :

Le procédé utilisé garantit l'absence de bulle dans le joint de colle. Afin de s'assurer qu'il n'y a pas de dérive sur ce point, il sera régulièrement (périodicité et nombre d'échantillons à définir) réalisé des échantillons. Un morceau de verre sera collé en lieu et place de la DPD, permettant de voir à travers et de vérifier la présence ou non de bulles.

5.2.2.7 Mauvaise manipulation lors du « démoulage »

- Analyse :

L'outillage permettant de réaliser cet assemblage par collage comporte des éléments maintenue par vissage (maintien de la DPD par exemple). Le non dévissage d'une de ces vis lors de l'opération consistant à retirer l'outillage (dite de démoulage) peut avoir 2 conséquences :

- La destruction du joint de colle
- La détérioration du cristal de CsI.

- Plan d'action de surveillance :

Pour cette opération de « démoulage », il y aura là aussi nécessairement 2 personnes. Une première personnes dévisse l'ensemble des vis des outillages, pendant que la seconde personne passe après la première et vérifie que tout est bien dévissé et procède alors au « démoulage ».

5.2.2.8 Temps de polymérisation avant manipulation non respecté

- Analyse :

Avant toute manipulation, il est impératif de respecter un temps de polymérisation. Si ce temps n'est pas respecté, il peut y avoir une diminution de l'adhérence ou de la résistance de la colle et donc des performances de tenue mécanique de l'assemblage, ou un endommagement de l'assemblage lors d'une des phases de manipulations qui suivent.

- Plan d'action de surveillance :

Les ensembles collés en cours de polymérisation seront stockés dans une zone dédiée et clairement identifiée en tant que telle (zone dite de polymérisation). Lors du collage, il aura été noté sur une fiche (dite suiveuse) la date et l'heure de la réalisation du collage et ceci pour chaque cristal collé. Ainsi, avant de sortir un cristal de la zone de polymérisation, il faudra s'assurer, en regardant la fiche suiveuse, que le temps de polymérisation est bien respecté et compléter cette même fiche avec la date et l'heure de sortie du cristal de la zone de polymérisation.

5.3 *Actions engagées pour diminuer les risques*

Un certains nombre d'actions sont engagées pour diminuer les risques :

- Coefficient de sécurité de 5 sur la tenue de mécanique (cisaillement, clivage) de l'assemblage collé avec la colle silicone.
- Les essais de tenue au cyclage thermique sont réalisés avec des pentes bien supérieures aux 5°C/heure demandés.
- Recherche et tests complémentaires avec une autre colle pouvant répondre aux besoins, les caractéristique de cette seconde solution sont alors :

Colle : Master Bond de la famille des Epoxy (type EP37-3FLF), mais rendue plus souple pour répondre aux contraintes des cycles thermiques.

Diode étuvée à 70°C pendant 2 heures.

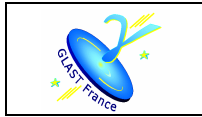
Epaisseur de colle de 1 mm pour assurer la tenue au cisaillement.

Diode centrée sur le cristal de CsI dépoli.

Nettoyage du pourtour de la diode après collage.

D' autres actions sont aujourd'hui prévues :

- Rappel et relecture de la procédure en début de chaque semaine pour le personnel devant coller.



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



- Affichage permanent d'un tableau rappelant les principales étapes de la procédure et les points critiques sous forme graphique sur le poste de travail.
- Réalisation régulière d'échantillons (tous les 120 collages - TBR) dans la chaîne en même temps que les collages sur les barreaux
L'objectif est de surveiller et de s'assurer la validité du procédé en cours. Ces échantillons seront séparés en 3 groupes :
 - 4 échantillons pour essais en cisaillement.
 - 4 échantillons pour cyclage thermique : 20 cycles.
 - 4 échantillons pour essais et mesures de transparence (TBR).
- A chaque nouvelle série de collage (TBC), réalisation de 4 échantillons témoins. Ces échantillons seront conservés à long terme (sous HR < 50%) et pourront servir de référence en cas de problème sur les collages réalisés.

6 Vérification des exigences

L'ensemble de ces essais seront effectués avec un même lot de colle et de primaire.

6.1 Adhérence

Afin de vérifier que la colle répond bien aux au besoin en terme d'adhérence, c'est à dire de tenue mécanique de la DPD sur le CsI, deux types d'essais seront réalisés :

- Essais de cisaillement : il est représentatif de la façon dont est sollicitée la colle lorsque celle ci est soumise à des variations de température. En effet la différence de coefficient de dilatation entre le CsI et la DPD se traduit lors de changements de températures par des dilatations différentes dans le CsI et la DPD faisant travailler la colle en cisaillement. Ce test va permettre de connaître la force maximum admissible par l'assemblage collé en cisaillement et par conséquent la contrainte maximum admissible par la colle lors de telles sollicitations.
- Essais de clivage : il simule une mauvaise manipulation possible de l'assemblage qui est le résultat d'une traction excessive exercée sur le câble de la DPD. Cette mauvaise manipulation se traduit pour la colle par du clivage. Ce test va permettre de connaître la force maximale admissible par l'assemblage collé en clivage et par conséquent la force maximale avec laquelle on peut tirer sur le câble sans dégrader l'assemblage.

6.1.1 Essais de cisaillement

Ils seront réalisés avec un outillage permettant d'exercer une force parallèle au plan de colle (ou face du CsI qui supporte la DPD). Cette force sera exercée sur la DPD collée, avec le CsI immobilisé, jusqu'au décollement complet de la diode. Un dynamomètre permettra de mesurer la force exercée et ainsi de connaître la force maximale admissible par la colle. Ce test conduira à la destruction de l'assemblage.

Ces essais seront réalisés sur des échantillons CsI / DPD :

- Collés selon la procédure retenue pour la réalisation des collages en série.
- Ayant polymérisé la durée minimale requise dans la procédure de collage.

Le nombre d'échantillons considérés sera au minimum de 4 .

6.1.2 Essais de clivage

Ils seront réalisés avec un outillage permettant d'exercer une force perpendiculaire au plan de colle (ou face du CsI qui supporte la DPD). Cette force sera exercée sur la DPD collée, avec le CsI immobilisé, jusqu'au décollement complet de la diode. Le point d'application de cette force sera les pins de la diode pour simuler une traction exercée sur son câble. Un dynamomètre permettra de mesurer la force exercée et ainsi de connaître la force maximale admissible par la colle. Ce test conduira à la destruction de l'assemblage.

Ces essais seront réalisés sur des échantillons CsI / DPD :

- Collés selon la procédure retenue pour la réalisation des collages séries.
- Ayant polymérisé la durée minimale requise dans la procédure de collage.



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Le nombre d'échantillons considérés sera au minimum de 4.

6.2 Thermique

Afin de vérifier que la colle répond bien aux besoins en terme de tenue à la fatigue thermique (cyclages thermiques sous vide) des essais seront réalisés.

Ces essais consisteront à appliquer sur des échantillons CsI / DPD :

- Collés selon la procédure retenue pour la réalisation des collages séries
- Ayant polymérisé la durée minimale requise dans la procédure de collage

40 cycles thermiques, avec contrôle visuel tous les 10 cycles des échantillons pour s'assurer qu'il n'y a pas de décollement. En même temps que le contrôle visuel, il sera prélevé 2 échantillons minimum pour essais en cisaillement, permettant de suivre l'évolution de l'adhérence en fonction du nombre de cycles vus par l'assemblage collé.

A l'issue des 40 cycles, l'ensemble des échantillons restants sera cisailé.

Un cycle thermique aura les caractéristiques suivantes :

- Température de départ = 20° C
- De 20° C à 50° C avec une pente de 40° C/h
- Maintien à 50° C pendant 15 minutes.
- De 50° C à 20° C avec une pente de - 35° C/h
- De -20° C à -10° C avec une pente de -20° C/h
- De -10° C à -30° C avec une pente de -6,5° C/h (le plus rapidement possible, limite de la machine)
- Maintien à -30° C pendant 15 minutes.
- De -30° C à 20° C avec une pente de 30° C/h.

Ces cycles seront réalisés sous un vide compris entre 10 mbar et 100 mbar.

Le nombre d'échantillons considérés sera au minimum de 10 (avec un prélèvement tous les 10 cycles)

6.3 Optique

Afin de vérifier que la colle répond bien aux besoins du point de vue optique, des essais seront réalisés.

Les éprouvettes utilisées pour ces essais sont composées de colle polymérisée entre 2 plaques de quartz auparavant enduites de primaire en couche fine (par le même procédé que pour le collage final), la colle ayant polymérisé la durée minimale requise dans la procédure de collage. Une référence est faite sur une éprouvette ayant une épaisseur de colle de quelques dizaines de microns (TBC). La transparence est mesurée sur des éprouvettes ayant une épaisseur de colle comprise entre 0,5 mm et 0,6 mm.

De plus pour prendre en compte le vieillissement de la colle lié aux contraintes thermiques, des éprouvettes subiront les 40 cycles thermiques. En même temps que le contrôle visuel effectué sur les échantillons CsI / DPD (voir paragraphe 6.2), il sera prélevé 2 éprouvettes minimum pour mesure de transparence, permettant de suivre l'évolution de la transparence en fonction du nombre de cycles.

A l'issue des 40 cycles, l'ensemble des éprouvettes restantes sera mesuré.

Le nombre d'éprouvettes considérées sera au minimum de 10 (si un prélèvement tous les 10 cycles)

6.4 Irradiation

Afin de vérifier que la colle répond bien aux besoins de tenue à l'irradiation, des essais seront réalisés.

Les éprouvettes utilisées pour ces essais seront identiques aux éprouvettes utilisées pour les essais optiques.

Une référence est faite sur une éprouvette ayant une épaisseur de colle de quelques dizaines de microns (TBC). La transparence est mesurée sur des éprouvettes ayant une épaisseur de colle comprise entre 0,5 mm et 0,6 mm. Puis elle est mesurée après une irradiation de 10 krad (TBC).



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Le nombre d'éprouvettes considérées sera au minimum de 4.

6.5 Vibrations

Les essais de tenue aux vibrations seront inclus et réalisés en même temps que les essais de vibrations du module. Ceci permettra de tenir compte de l'environnement mécanique vu par l'assemblage collé et d'être ainsi dans des conditions de sollicitations réalistes et représentatives de ce que verra réellement l'assemblage.

A l'issu des essais de vibrations, un cristal (soit 2 collages) sera cisailé (TBC).

6.6 Qualification spatiale de la colle

La colle DC 93-500 est déjà utilisée dans le spatial. La qualification de cette colle n'est donc pas nécessaire.

6.7 Nombre d'échantillons

ESSAIS	Nombre échantillons mini
ADHERENCE – Cisaillement	4
ADHERENCE – Clivage	4
THERMIQUE	10
VIBRATIONS	2
TOTAL	20

Ce tableau n'inclut pas les essais d'optique et d'irradiation où il n'y a pas besoin de DPD pour réaliser ces essais.

7 Analyse et conception

7.1 Héritage et premier essais

7.1.1 Etudes préliminaires

Le collage de larges plaques de CsI a été réalisé pour le bouclier anti-coïncidence de Sigma. Le couplage optique concernait une surface de collage de 2 x 20 cm. Il était réalisé par la société Crismatec à l'aide d'une colle époxy optique.

PICsIT a rencontré des problèmes de tenue des diodes Hamamatsu de 1 x 1 cm lors de cycles thermiques, le collage étant réalisé par une couche mince de colle époxy dure.

Au sein de la collaboration GLAST, le module de calorimètre de démonstration réalisé par le NRL utilisait la colle époxy dure Epotek 301 en couche mince, qui n'a pas résisté au premier cycle thermique lors d'un voyage en avion.

L'étude de ces cas et quelques essais ont permis de mettre le doigt sur le problème critique : la dilatation différentielle du CsI (coefficient de dilatation : $56 \text{ E-}06$) et de la céramique ($6 \text{ E-}06$) induit des contraintes de cisaillement supérieures à ce que l'assemblage peut supporter. Les deux paramètres critiques du collage sont

- la dureté de la colle (relié au module d'Young)
- l'épaisseur du joint de colle.

7.1.2 Recherche de colle

En parallèle, la consultation extensive des fabricants de colle a permis de restreindre le choix des solutions envisageables, parmi toutes les catégories de systèmes adhésifs du marché.

2 solutions apparaissaient viables :



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Un silicone élastomère bi composant, type Mapsil 213, RTV142, DC93-500. Cette dernière est utilisée sur PICsIT et d'autres missions spatiales.

Une colle époxy souple. La Master Bond EP37-3FLF, un des produits dérivé de l'époxy dure MB EP29, qualifié par la NASA et similaire à un autre dérivé, lui aussi utilisé par la NASA.

La société Master Bond, basée aux USA, propose d'ajuster la souplesse de la colle à la demande.

Ces produits polymérisent à température ambiante, ce qui a l'avantage par rapport à une polymérisation à température plus élevée, de réduire les contraintes permanentes dans le joint de colle.

7.1.3 Essais préliminaires

Des essais de collage ont été réalisés à l'école Polytechnique et au CEA sur la Master Bond EP37-3FLF et la DC93-500. Ils ont permis de se familiariser avec ces produits.

7.2 Démarche mise en place

Pour avoir des indications quant aux voies à explorer pour aborder efficacement le problème du collage CsI / diodes, le PCC et le LPNHE ont fait initialement appel au Centre d'études techniques des industries mécaniques (le CETIM) qui possède un savoir faire reconnu par les industriels français dans le domaine du collage. Sa mission comportait trois points:

- à partir des informations et d'un cahier des charges établi au LPNHE (ref :....), rechercher d'autres colles qualifiées spatiales transparentes que celles proposées qui polymérisaient près de la température ambiante (voir paragraphe 7.1.2)
- effectuer des calculs de contraintes mécaniques résultantes des variations de températures (-30°C / $+50^{\circ}\text{C}$) susceptibles d'être vues par la colle. Ces contraintes ainsi connues assuraient un point de départ à la démarche suivie.
- faire des moulages avec des candidats colles (au nombre de 2) et effectuer des essais mécaniques de cisaillement.

Les calculs (voir paragraphe 7.3) nous ont donc permis de dimensionner l'assemblage (épaisseur de colle à mettre en œuvre) et de connaître la limite des colles supposées pouvoir répondre à notre besoins (3 colles initialement sélectionnées). Connaissant cette limite, il nous fallait nous assurer que la résistance au cisaillement de l'ensemble collé soit toujours nettement supérieure à cette limite.

Dans un premier temps, nous avons cherché quelle était l'influence des facteurs intervenant dans la résistance du collage (nettoyage, dépoli, primaire) en commençant par le CsI et en finissant par la diode.

Ensuite, nous avons mis au point un procédé de « moulage » permettant d'assurer avec précision l'épaisseur du joint de colle, le centrage de la diode sur le CsI et un démoulage facile.

En parallèle, des essais de cisaillement ont été réalisés ainsi que des cyclages thermiques sous vide (au PCC) sur des moulages réalisés par le CETIM (colles DC93-500 et EP37).

7.3 Calculs et dimensionnement de l'assemblage collé

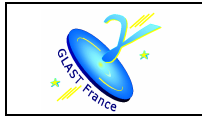
Voir note de calculs établie par le CETIM.

Les calculs réalisés par le CETIM prenaient en compte les principales hypothèses suivantes :

- liaison très résistante (parfaite) aux interfaces diode/colle et colle / CsI.
- la diode est considérée comme un élément homogène, ce qui conduit à l'emploi d'un coefficient de dilatation, d'un coefficient de poisson et d'un module d'Young moyens.
- Une différence de température de 50°C correspondant à la différence de température entre la température de polymérisation (20°C) et la température mini possible (-30°C).

Les calculs ont été réalisés avec le logiciel COSMOS V2.0.

Ils ont permis de trouver l'épaisseur minimale de colle à mettre en œuvre, sachant que la limite supérieure était fixée par l'encombrement mécanique disponible (1 mm) ainsi que par les contraintes de mise en œuvre des colles.



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Trois colles ont été simulées : Masterbond EP29, Masterbond EP37, Dow corning 93500

Le tableau ci dessous synthétise les principaux résultats.

Colle	Masterbond EP29	Masterbond EP37	Dow Corning 93500
Epaisseur	1 mm	1 mm	0,5 mm
Limite élastique	30 N/mm ²	15 N/mm ²	~ 1 N/mm ²
Limite à la rupture	44,8 N/mm ²	27,6 N/mm ²	7 N/mm ²
Contrainte max de Von Mises calculée	50 N/mm ²	13 N/mm ²	0,12 N/mm ²
Coefficient sécurité	Limite dépassée. Ne convient pas	1.36	>7

Ces résultats montrent que les contraintes obtenues avec l'EP37 (avec 1 joint d'épaisseur maximale autorisée de 1 mm) risquent d'amener une rupture de la liaison alors que la silicone souple DC 93500 (joint de 0,5 mm) donne un coefficient de sécurité nettement plus grand.

Les contraintes maximales sont localisées sur les bords de la colle et dans la céramique de la diode.

Connaissant ces limites, le PCC a réalisé de nombreux tests *en étudiant en priorité la solution donnant la meilleure sécurité, c'est à dire le DC 93500*. Des tests de cyclages thermiques sous vide ont cependant été réalisés avec l'EP37.

7.4 Etudes et essais réalisés

7.4.1 Influence du primaire et du dépoli

Au vu des résultats des calculs (voir paragraphe 7.3), l'ensemble des essais qui suivent ont été réalisés avec de la colle DC 93-500.

Pour des questions de coût et de disponibilité de CsI, les premiers tests ont été faits avec du polyacétal (représentant le CsI) et du verre (représentant la diode).

Les tests qui ont suivi ont été faits d'abord entre du verre et du CsI, puis entre du CsI et des diodes. Enfin pour des raisons de délais, le temps de polymérisation de la colle de 7 jours (préconisation du fournisseur) a été ramené à 3 jours assurant 87 % de la résistance maximale.

7.4.1.1 Polyacétal / verre

Ces premiers essais avec un collage de DC 93500 ont été réalisés avec du polyacétal et du verre. Ces tests, non représentatifs du montage final diodes / CsI, ont permis de quantifier *l'influence relative* du dépoli (effectué avec un papier de grain 240) et du primaire 1200 OS sur la résistance au cisaillement.

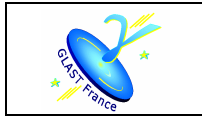
Les assemblages avaient les caractéristiques suivantes :

- Joint d'épaisseur 0,04 mm
- 3 jours de polymérisation
- Température lors du collage : 22° C
- HR < 50 %
- Nettoyage des surface à l'éthanol

- *Les principaux résultats :*

Ils ont été obtenus par destruction de séries de 3 échantillons identiques. La force mentionnée dans ce tableau est donc une moyenne sur les 3 échantillons détruits.

Le coefficient calculé dans ce tableau est le rapport entre la force mesurée pour un type de dépoli sur la force mesurée pour non dépoli sans primaire (force de référence : F réf).



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE

Type de dépoli	Sans primaire		Avec primaire 1200 OS	
	Force (N)	coefficient	Force (N)	coefficient
• Non dépoli	80 (F réf)	1	235	3
• Direction // à l'effort	138	1.7	157	3
• deux directions perpendiculaires	135	1.7	230	3
• Deux directions en diagonale.	161	2	Non réalisé.	
• Sans direction privilégiée	168	2.1	> 270 Limite de l'appareil de mesure	>3.6

Après rupture par cisaillement du joint, on constate que :

- La rupture se fait au niveau du polyacétal
- Le dépoli apporte une nette augmentation de la force nécessaire pour le cisaillement et celui donnant les meilleurs résultats est de direction quelconque.
- Le primaire améliore nettement la résistance au cisaillement.

• Conclusion :

Les meilleurs résultats sont obtenus avec primaire et un dépoli sans direction privilégiée.

Les tests avec le CsI ont donc été réalisés avec un dépoli dans des directions quelconques et utilisation du primaire 1200 OS

7.4.1.2 CsI / verre – Primaire 1200 OS

Ces tests sont représentatifs du montage final diodes / CsI et avaient les caractéristiques suivantes :

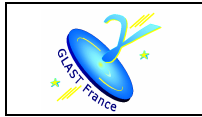
- Joint d'épaisseur 0,6 mm
- 3 jours de polymérisation
- Température lors du collage : 21° C
- HR < 50 %
- Nettoyage des surface à l'éthanol
- Surface de collage 15 x 15 mm²

• Les principaux résultats :

Ils ont été obtenus par destruction de séries de 4 échantillons identiques. Les contraintes mentionnées dans ce tableau sont donc une moyenne sur les 4 échantillons détruits.

Le coefficient de sécurité calculé dans ce tableau est le rapport entre la contrainte mesurée pour un type de dépoli sur la contrainte maxi calculée par le CETIM (0,12 N/mm²).

Type de dépoli	Sans primaire		Avec primaire 1200 OS	<i>Une réaction chimique se produit avec ce primaire. On constate que le silicone ne polymérise pas complètement et que des bulles apparaissent dans le joint.</i>
	contrainte (N/mm ²)	Coefficient de sécurité		
Non dépoli	0,2	1,7	Incompatibilité primaire CsI	
Directions quelconques	0,36	3	0,15 N/mm ² Incompatibilité primaire CsI	



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Après cisaillement du joint, on constate que la rupture se fait au niveau de la surface du CsI (seuls 3 échantillons ont eu 1 rupture au niveau de la surface du verre)

Remarque : Lors des essais, quelques collages ont été effectués au delà de 60 % d'humidité relative et n'ont pas été pris en compte car la colle polymérisait mais il y avait, lors du dépoli, détérioration de la surface du CsI.

• Conclusion :

Le primaire 1200 OS n'est pas utilisable avec le CsI.

L'utilisation du DC93500 sans primaire avec dépoli (direction quel conques) donne des contraintes de rupture de 0,36 N/mm² : il y a donc un coefficient de sécurité de 3 (insuffisant par rapport à l'objectif de 5) par rapport aux contraintes maximales que doit subir la colle (voir calculs du CETIM).

Pour tous les essais qui suivent, **le CsI sera toujours dépoli avec un dépoli dans des directions quelconques**

7.4.1.3 CsI / verre – Primaire DC 92-023

Etant donné les résultats obtenus avec du primaire lors des essais Polyacétal / verre, il nous semblait indispensable de poursuivre nos recherches dans cette voie en trouvant un primaire adapté pouvant répondre à notre besoin. Nous avons donc contacté le fabricant qui nous a conseillé d'essayer un autre primaire : le DC92-023. Rappelons que l'équipe PICsIT a également adopté ce primaire.

Nous avons donc réalisé des essais avec ce nouveau primaire en cherchant tout d'abord si le primaire devait être déposé en couche mince ou en couche épaisse.

Ces tests sont représentatifs du montage final diodes / CsI et avaient les caractéristiques suivantes :

- Joint d'épaisseur 0,6 mm
- 3 jours de polymérisation
- Température lors du collage : 25° C
- HR < 45 %
- Nettoyage des surface à l'éthanol
- Surface de collage 15 x 15 mm²
- CsI dépoli dans des directions quelconques

• Les principaux résultats :

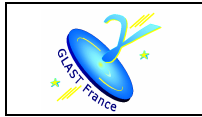
Ils ont été obtenus par destruction de séries de 3 échantillons identiques. Les contraintes mentionnées dans ce tableau sont donc une moyenne sur les 3 échantillons détruits.

Le coefficient calculé dans ce tableau est le rapport entre la contrainte mesurée pour un type de dépoli sur la contrainte maxi calculé (0,12 N/mm²) ou encore le coefficient de sécurité.

Dépoli direction quelconques	contrainte (N/mm ²)	Coefficient
Sans primaire (rappel)	0,36	3
Primaire en épaisseur forte	0,4	3,3
Primaire en épaisseur faible	0,6	5

Après rupture par cisaillement du joint, on constate que :

- la rupture se fait au niveau de la surface du CsI pour le primaire en épaisseur forte
- pour le primaire en couche mince, la rupture se fait au niveau de la colle avec environ la moitié du joint de colle qui reste sur le verre et l'autre moitié sur le CsI. Sur 1 échantillon la rupture a eu lieu au niveau du verre.
- Il y a une bonne polymérisation de la colle ; le primaire est donc compatible avec le CsI.



• Conclusion :

Ce primaire appliqué en couche mince est utilisable avec le CsI et améliore nettement les résultats en cisaillement.
Ce primaire sera donc retenu et utilisé par la suite pour les collages.

7.4.1.4 CsI / Diode

Ayant trouvé des résultats satisfaisants pour l'adhérence et l'accrochage du joint de colle sur le CsI, il nous fallait maintenant étudier le cas de la diode.

Des diodes 14x27 mm ont donc été collées sur du CsI. Les premiers tests réalisés avaient pour objectif de regarder l'influence du dépoli et du primaire.

Ces tests sont représentatifs du montage final diodes / CsI et avaient les caractéristiques suivantes :

- Joint d'épaisseur 0,6 mm
- **1,5** jours de polymérisation
- Température lors du collage : 25° C
- HR < 47 %
- CsI sans primaire
- Nettoyage des surface à l'éthanol

Après 1,5 jours de polymérisation, les résistances à la rupture étaient les suivantes :

diodes non dépolies sans primaire, simplement nettoyées avec de l'éthanol : 0,178 N/mm²

diodes dépolies sans primaire (difficulté de mise en œuvre) : 0,26 N/mm²

diodes non dépolies avec primaire en couche mince sur la diode seulement : 0,34 N/mm². La rupture se fait au niveau du CsI

La durée différente de polymérisation et le faible nombre d'échantillons réalisés (5 au total) rendent les comparaisons difficiles. On a simplement des ordres de grandeur mais le 0,34 N/mm² obtenu correspond pratiquement à la limite trouvée précédemment (0,36 pour le CsI dépoli sans primaire).

La solution du primaire en couche mince sur la diode non dépolie donne le meilleur résultats pour ces 3 essai) et étant donnée la difficulté de réaliser le dépoli de la diode, nous avons donc retenu cette solution (non dépoli + primaire) et fait des test complémentaires.

Pour pouvoir effectuer des comparaisons fiables, quatre autres échantillons ont été collés avec utilisation de primaire sur la diode et sur le CsI.

Ces tests sont représentatifs du montage final diodes / CsI et avaient les caractéristiques suivantes :

- Joint d'épaisseur 0,6 mm
- **3** jours de polymérisation
- Température lors du collage : 25° C
- HR < 50 %
- Nettoyage des surface à l'éthanol
- Diode non dépolie + primaire
- CsI dépoli + primaire

La résistance au cisaillement est en moyenne de 0,63 N/mm², soit un coefficient de sécurité de 5,25.

La colle est adhésive sur la diode pour 3 échantillons. Le joint de silicone est cisailé sur le quatrième et se trouve en partie sur la diode et en partie sur le cristal.

7.4.1.5 Conclusion

La rupture de l'adhésion se fait dans la majorité des cas au niveau du CsI.

La confirmation est faite que le collage utilisant le primaire DC92-023 et le dépolissage (dans des directions quelconques) du CsI nous donne un coefficient de sécurité de plus de 5 par rapport à la contrainte maximale évaluée par les calculs du CETIM.

Mais la polymérisation n'était pas complète (3 jours), donc il est à noter que les valeurs obtenues sont pessimistes (87 % de la résistance maximale).

On a donc bien obtenu un coefficient de sécurité supérieur à 5 pour le cisaillement

7.4.2 Essais de clivage

Afin de s'assurer que l'assemblage collé puisse supporter une ou des mauvaises manipulations, on a réalisé des tests de clivage. Ce test simule une traction exercée accidentellement sur le câble de la DPD. Cette force de traction a été par essai évaluée à 10 N.

Les tests de clivage sont représentatifs du montage final diodes / CsI et avaient les caractéristiques suivantes :

- Joint d'épaisseur 0,6 mm
- 3 jours de polymérisation
- Température lors du collage : 25° C
- HR = 45 %
- Nettoyage des surface à l'éthanol
- Collage verre / CsI sans primaire .

Résultat : Une force de 68 N a été nécessaire pour détruire l'assemblage.

Le résultat a été obtenus par destruction de 4 échantillons identiques. La force mentionnées est donc une moyenne sur les 4 échantillons détruits.

• **Conclusion :**

L'assemblage supporte aisément une manipulation accidentelle, puisque nous avons une force de 68 N (sans primaire) pour un minimum de 10 N demandé.

7.4.3 Vieillissement – Cyclages thermiques

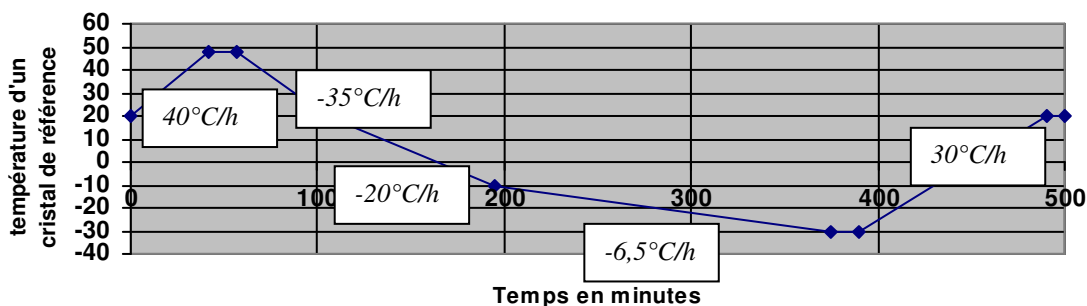
Des échantillons CsI / verre ont été fabriqués par le CETIM avec deux sortes de colles :

_ Colle époxy EP37-3FLF : 8 échantillons (numérotés A2, A4 , A5, A6 puis de A9 à A12)

_ Colle silicoïde DC 93500 + primaire 1200 OS : 8 échantillons, certains intégrant des bulles (numérotés de B3 à B7 puis de B11 à B13)

Ces échantillons ont subi 78 cyclages thermiques.

Cycle de température



Remarques :

La durée d'un cycle est de 500 min (soit 8h20min).



PLAN DE DEVELOPPEMENT COLLAGE



Des sondes de température ont permis de s'assurer que la température lors des paliers à -30 ou à $+50^{\circ}\text{C}$ était bien uniforme (à $0,2^{\circ}\text{C}$ près à -30°C , entre 1 et 2°C à 50°C) pour le cristal et ne correspondait pas seulement à la température de consigne prise au niveau de l'échangeur.

Afin de mesurer l'évolution du collage, nous avons pris des photos régulièrement (voir annexe 1 les photos les plus représentatives)

Sur les 78 cycles effectués :

- 1 cycle sur les 6 premiers n'est descendu qu'à -25°C au lieu de -30°C (problème de mise au point machine).
- 19 cycles (les derniers) effectués sous un vide de 480 mbar seulement (panne de la pompe)

Les résultats ont confirmé :

- qu'il y a **décollement progressif pour l'EP37** (comme prévu par le CETIM)
- **la bonne tenue des joints silicone** (aucune évolution) même pour ceux intégrant des bulles (pas de migration ni de variation de tailles ; le vide n'a aucune action sur les bulles). Ceci avec un primaire inadapté au CsI (mauvaise polymérisation , voir 7.4.1.2), ce qui est d'autant plus encourageant.

• Actuellement :

Actuellement, de nouveaux échantillons sont en cours de cyclage avec deux sortes de colles.

- Echantillons CsI / verre :

- * Colle époxy EP37 souple (module d'Young 2 fois plus faible que pour la précédente) : 6 échantillons. Nombre de cycles réalisés : 39 cycles. Pas de décollement constaté pour le moment, le cyclage continu.
- * Colle silicoïde DC 93500 + primaire DC92-023 : 6 échantillons. Nombre de cycles réalisés : 35. Pas de décollement constaté pour le moment, le cyclage continu.

- Echantillons CsI / Diode :

- * Colle époxy EP37 souple avec diode 14×27 mm : 2 échantillons. Nombre de cycles réalisé : 39 cycles
Début de décollement d'une diodes à 20 cycles.
Début de décollement de la seconde diodes à 31cycles.
Le cyclage continue.
- * Colle silicoïde DC 93500 + primaire DC92-023 avec DPD : 8 échantillons. Nombre de cycles réalisés : 17. Pas de décollement constaté pour le moment ; le cyclage continue.

Ces nouveaux résultats partiels montrent que :

- la nouvelle EP37 (plus souple) donne des résultats encore insuffisants, mais est mieux adaptée que la première époxy plus rigide. A confirmer par de nouveaux essais.
- La DC93-500 + primaire DC92-023 a un comportement satisfaisant. A confirmer par la poursuite des cyclages.

7.5 Conclusion

Ces essais et études nous ont permis de choisir une solution adaptée pour la réalisation de l'assemblage collé des DPD sur le CsI (Les cyclages thermiques sous vide en cours sur les échantillons CsI/Diode vont continuer et seront complétés par des essais de cisaillement et de clivage).

Cette solution est celle décrite au paragraphe 3, c'est à dire :

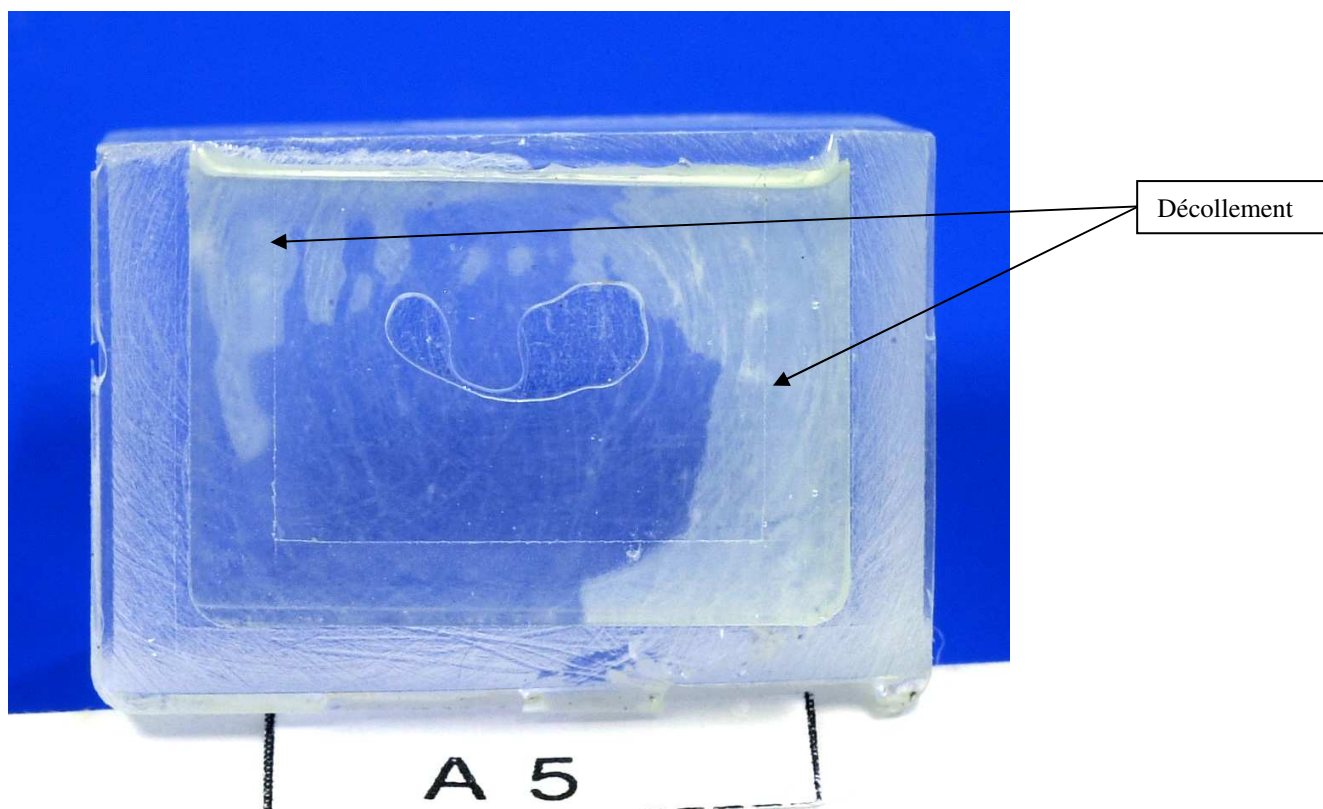
- Colle DC 93-500 + primaire DC 92-023 en couche mince
- CsI dépoli
- Epaisseur du joint de colle de $0,5$ mm à $0,6$ mm.

Toutefois, pour nous garantir d'un risque que nous avons pas identifié aujourd'hui avec cette solution, nous continuons en parallèle d'étudier et de faire des essais avec un autre candidat colle : l'EP37 assouplie.

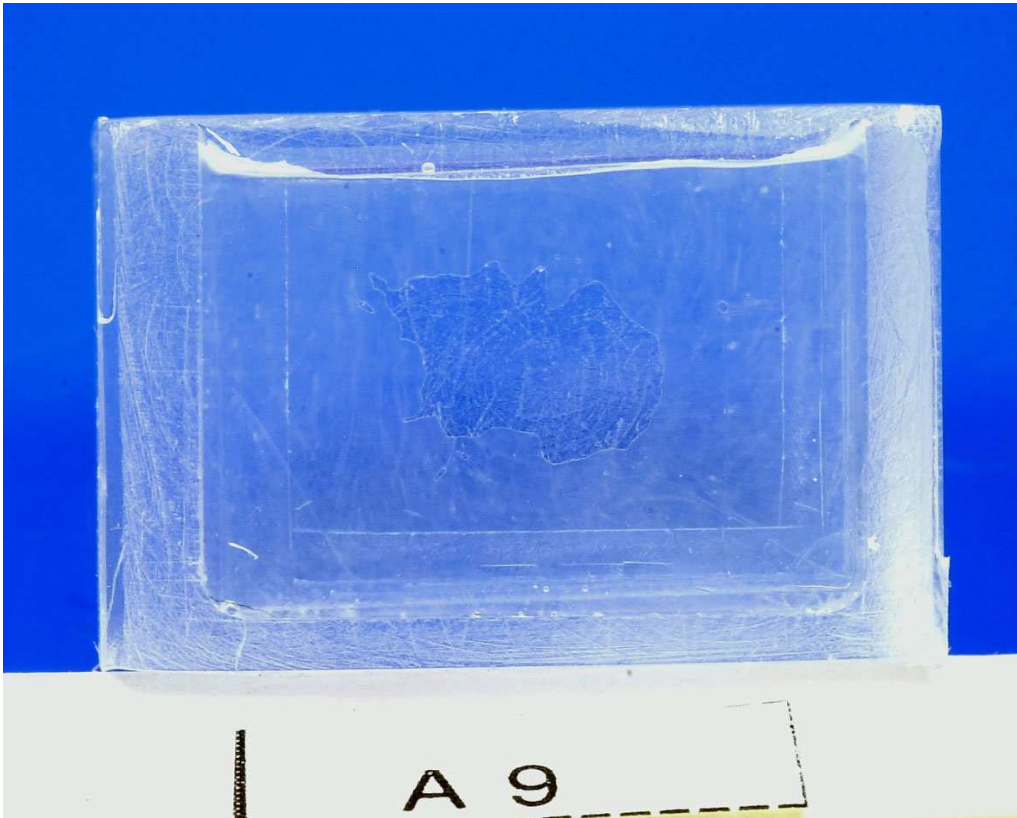
ANNEXE 1 : Photos représentatives des cyclages thermiques



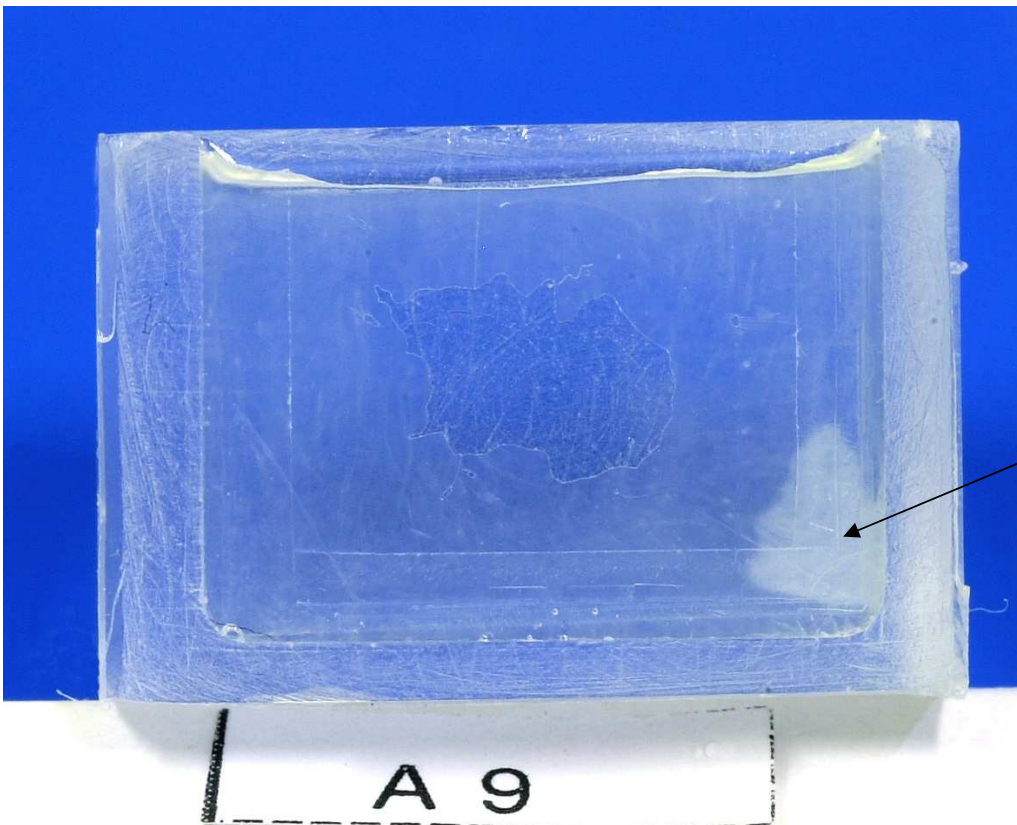
A5, EP37 : photo après 7 cycles - Décollement constaté après 14 cycles. (premier échantillon décollé)



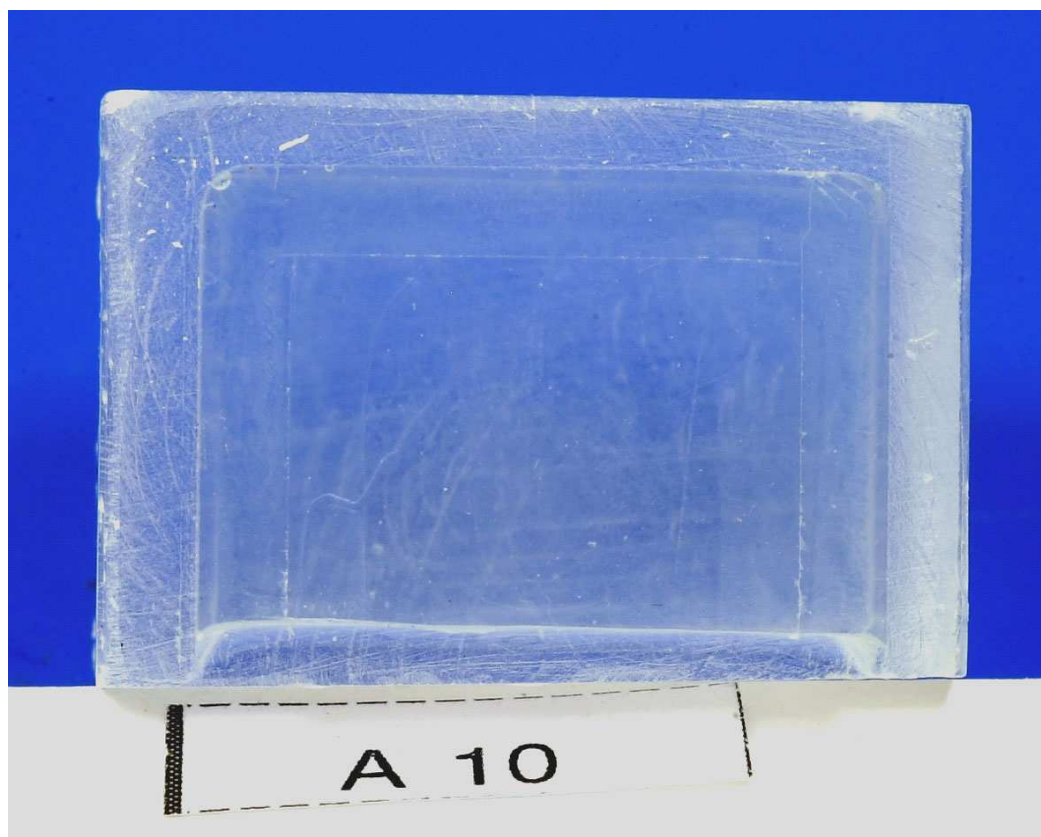
A5, EP37 : photo après 62 cycles



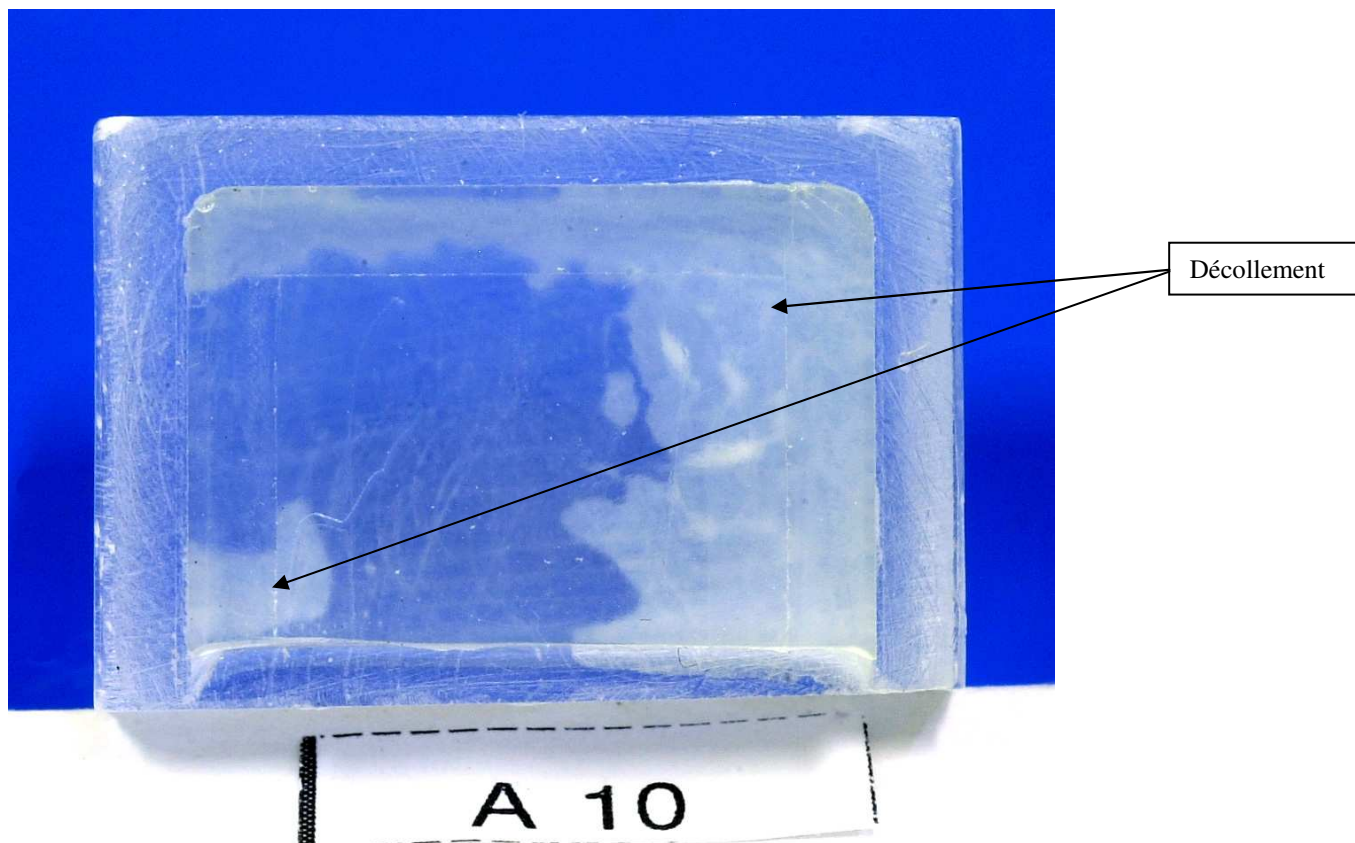
A9, EP37 : photo après 7 cycles - Décollement constaté après 42 cycles. (dernier échantillon décollé)



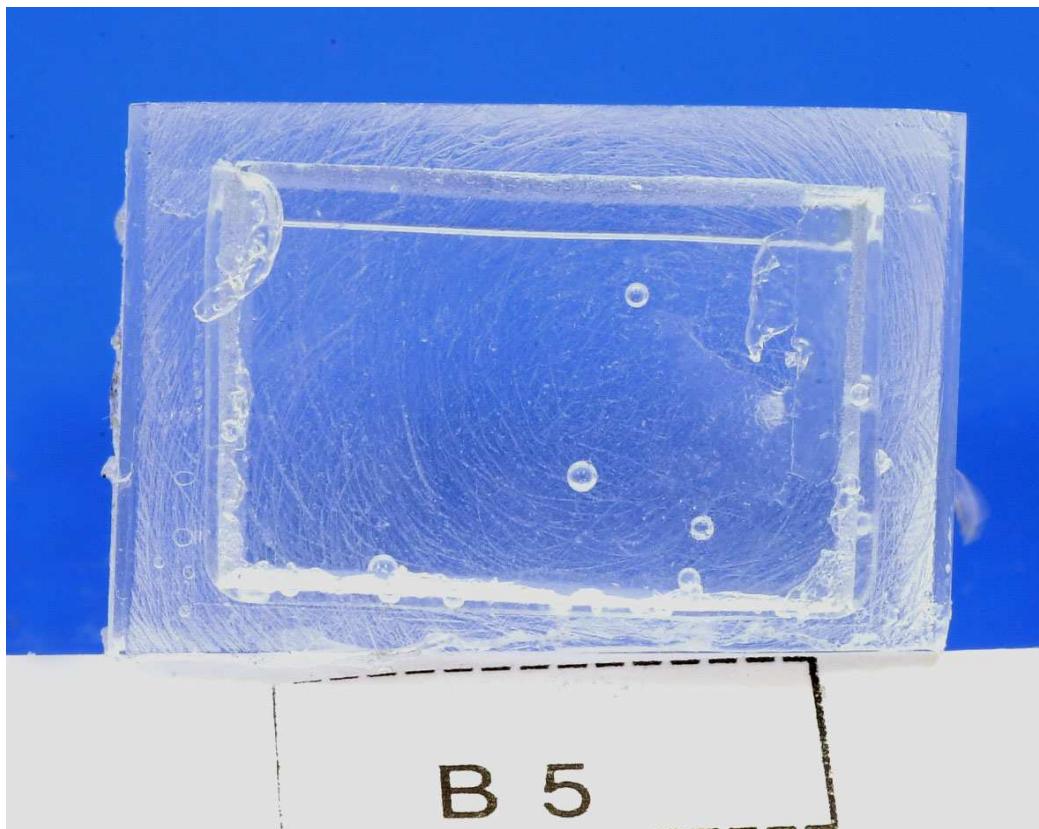
A9, EP37 : photo après 62 cycles



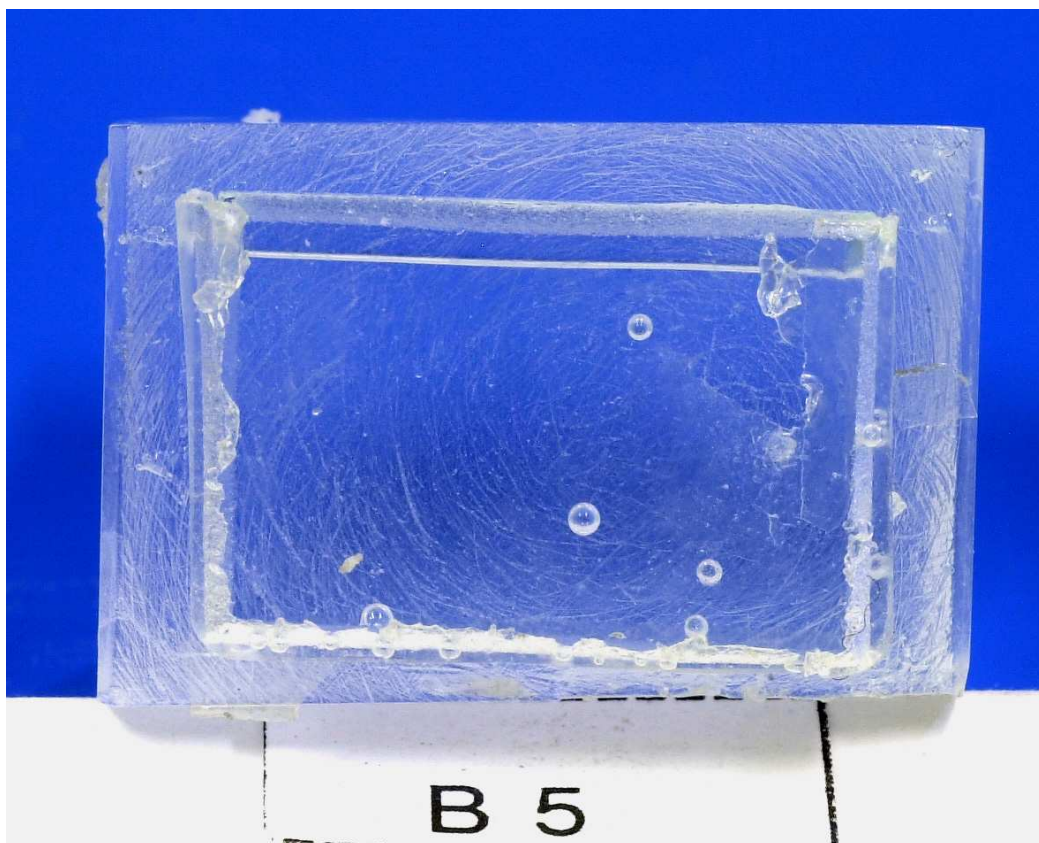
A10, E37 : photo après 7 cycles - Décollement constaté après 21 cycles. (2de échantillon décollé)



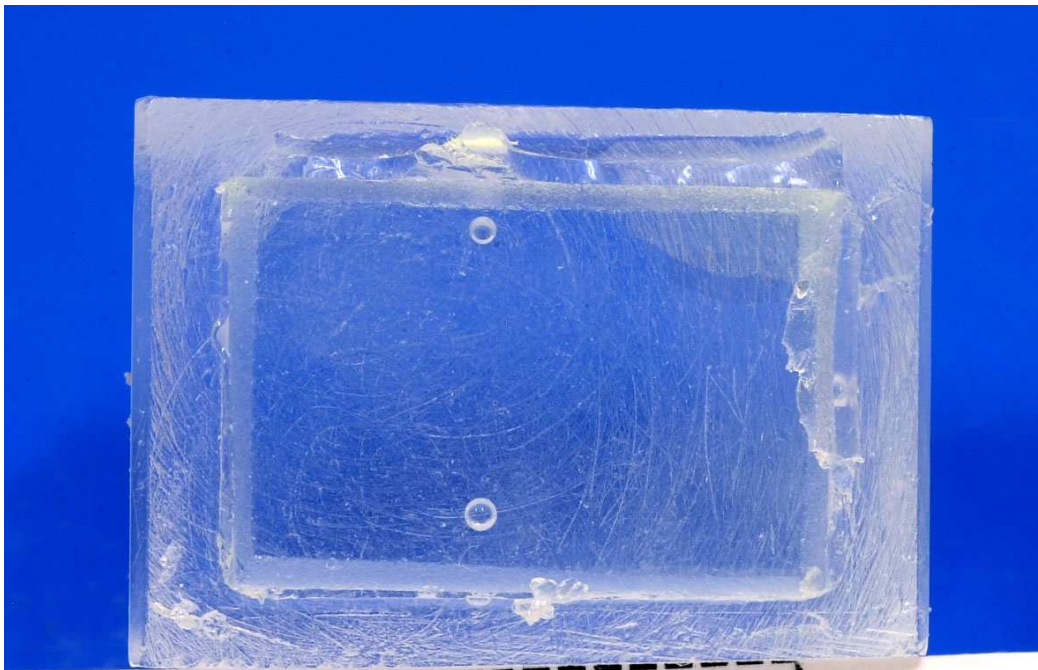
A10, EP 37 : photo après 62 cycles



B5, DC93-500 : photo après 7 cycles.

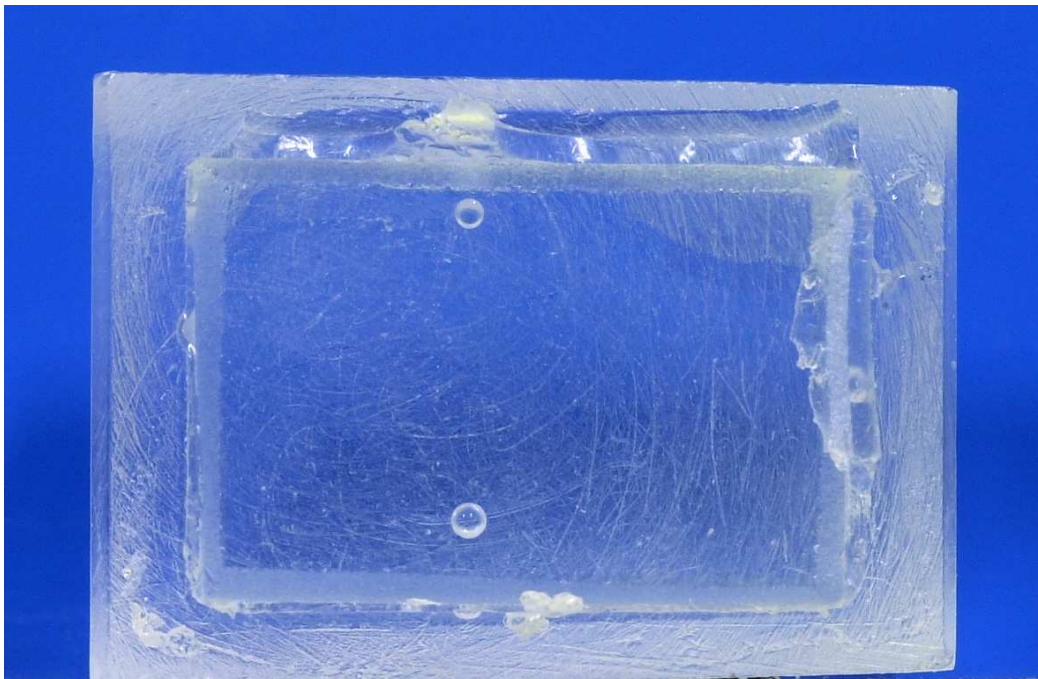


B5, DC93-500 : photo après 62 cycles



B 13

B13, DC93-500 : photo après 7 cycles.



B 13

B13, DC93-500 : photo après 62 cycles.