







# Caractérisation mécanique statique et dynamique et renforcement d'un collage par adhérence moléculaire

LMA: N.Cocheteau, Q.Bui, M.Voisin, A.Maurel-Pantel, F.Lebon, C.Hochard,

Winlight: Y.Salaun & Thales SESO: C.Dujeu

LAM: E.Prieto

CNES: S.Begoc, S.Ait Zaid, I.Savin de Larclause











## Le LMA UMR7031 AMU CNRS Centrale Marseille

#### Très large spectre qui s'étend de la Mécanique des Solides à l'Acoustique

- Innover autour de 3 grandes thématiques
  - Matériaux & Structures : Changement d'échelle Contact, frottement, interface - Couplages multiphysiques - Structures
- Ondes & Imagerie: Méthodes mathématiques et numériques pour les ondes – Acoustique sous-marine – Contrôle non destructif – Sismique et sismologie – Ultrasons médicaux
  - Sons: Environnement et nuisances sonores Perception auditive – Sons et Musique
- Collaborations inter-équipes autour de thèmes transverses fédérateurs

Dynamique non linéaire et vibrations - Imagerie et calcul haute-performance - Contact et Sismique – Matériaux - Viscoélasticité avec loi de puissance - Propagation non linéaire dans les instruments de la famille des cuivres



# Les Objectifs

Ces travaux se placent dans le contexte de la caractérisation et de l'amélioration des performances mécaniques pour développer des applications dans le domaine de l'optique spatiale.

#### Le projet se fixe quatre objectifs principaux :

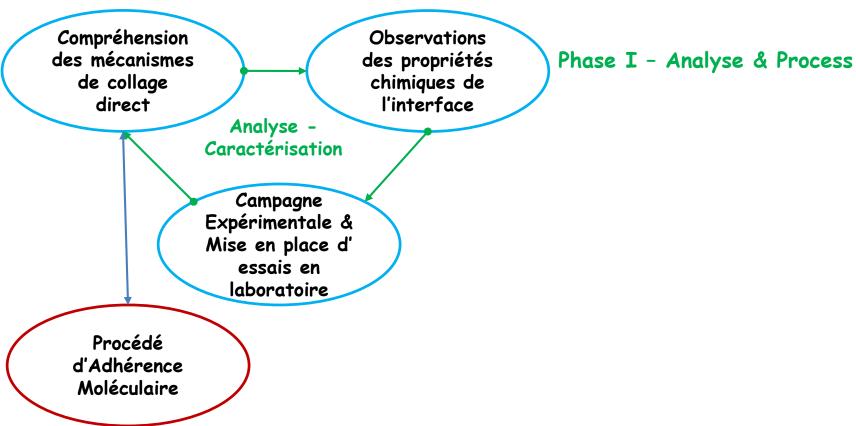
- -La compréhension précise du phénomène de collage direct, son lien avec le procédé de fabrication et les améliorations possibles en utilisant des traitements (thermiques, plasmas...).
- La caractérisation fine de la tenue mécanique en statique et dynamique de ces assemblages.
- La validation des résultats sur maquette de vol
- La **modélisation du comportement mécanique** de l'adhérence afin d'effectuer des **simulations et de prédire le comportement** des structures.



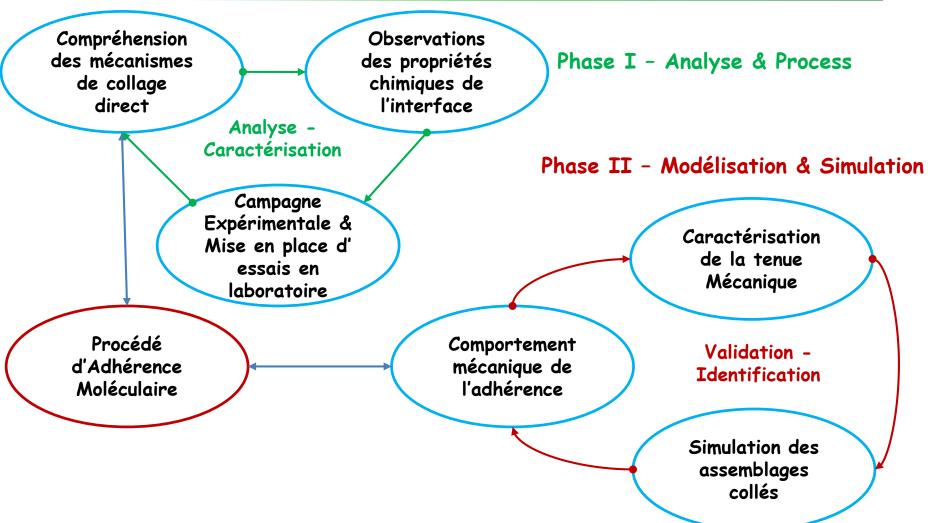


Procédé d'Adhérence Moléculaire

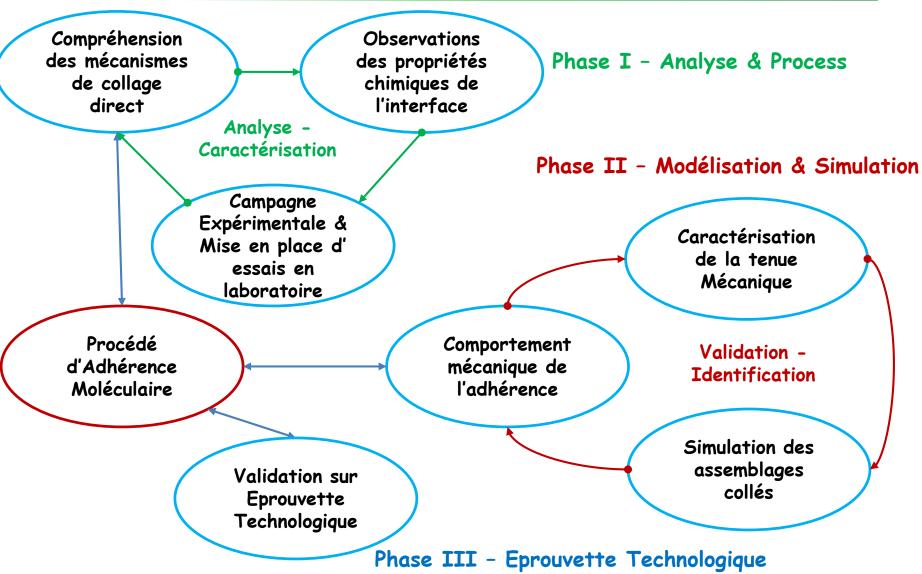














2008-2010

Stage Alexis Delattre

Stage H.Hamdane LAM/LMA/WL 2010-2013

**These WinLight/CNES** 

N.Cocheteau Adhésion moléculaire renforcée

> R&T LAM/LMA/CNES 75k€

2014-2016

AMIDEX Fond de Transfert

N.Cocheteau Procédure Adhésion 2017-....
Collaboration
INSA Bourges

Essais dynamiques Hopkinson

AMIDEX LMA 140k€

To

Crédit Carnot Natacha 30k€ 2011-2014

These Région/AMU

Q.Bui Essais mécanique Initiation

R&T LMA/CNES 50k€ 2014-2017

These Thales SESO/CNES

M.Voisin Tenue sollicitations dynamiques et chocs

> R&T LMA/CNES 75k€









# RENFORCEMENT DU COLLAGE PAR ADHERENCE MOLECULAIRE DE LAMES EN VERRE DE SILICE

Natacha COCHETEAU, Aurélien MAUREL-PANTEL, Frédéric LEBON, Sonia AIT ZAID, Isabelle SAVIN DE LARCLAUSE







# Spatialisation de la technologie:

- Meilleure compréhension des phénomènes mis en jeux
  - Influence de la rugosité des surfaces
  - Humidité
  - o traitement thermique de l'interface
- Renforcement du collage: augmentation de la résistance mécanique des interfaces
  - La nature des liaisons
  - Traitement thermique
  - o UV/Plasma
- Caractérisation et Prédiction de la résistance mécanique des interfaces adhérées
- Matériaux Etudiés
  - Verre de Silice
  - Zerodur





## Mécanisme chimique du collage à température ambiante

 Avant adhésion: Les surfaces hydrophiles se recouvrent de clusters d'eau [2,3]

 Importance du rôle de l'humidité de l'air ambiant lors de la préparation des surfaces

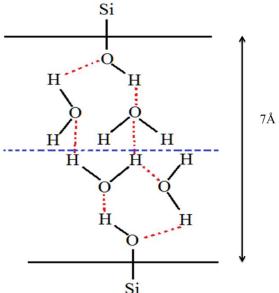
hydroxyl groups on silica surfaces. Surface Science, 2:252260, 1964





## Mécanisme chimique du collage à température ambiante

- Avant adhésion: Les surfaces hydrophiles se recouvrent de clusters d'eau
- Mise en contact des surfaces: des liaisons hydrogènes apparaissent entre les clusters d'eau présents sur les deux surfaces [2]

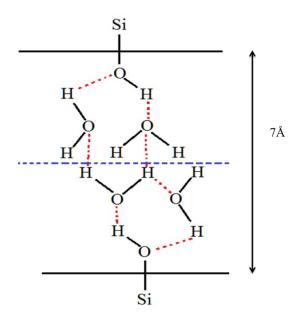






## Evolution de l'interface avec un traitement thermique

- Dans le cadre d'un wafer de silicium recouvert de sa couche d'oxyde
- T < 200°C: Surfaces en contact via les clusters [2]</li>

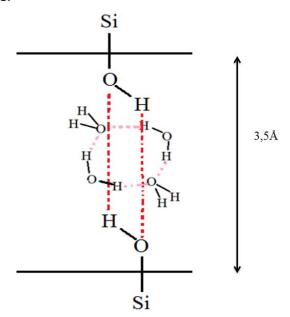






### Evolution de l'interface avec un traitement thermique

- Dans le cadre d'un wafer de silicium recouvert de sa couche d'oxyde
- T < 200°C: Surfaces en contact via les clusters
- 200°C < T <700°C: Apparition d'une double liaison hydrogène et d'un tétramère d'eau



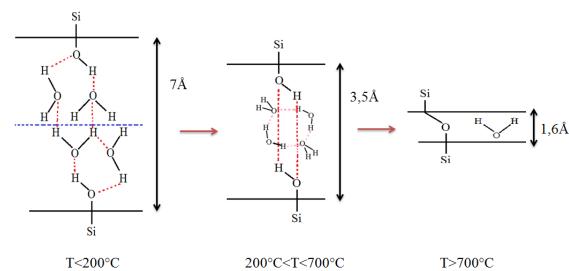




### Evolution de l'interface avec un traitement thermique

- Dans le cadre d'un wafer de silicium recouvert de sa couche d'oxyde
- T < 200°C: Surfaces en contact via les clusters
- 200°C < T <700°C: Apparition d'une double liaison hydrogène et d'un tétramère d'eau
- T > 700°C: Polymérisation des liaisons covalentes

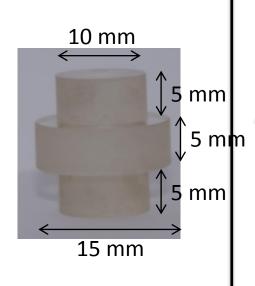
Si-OH (1) + Si-OH (2) = Si-O-Si + H<sub>2</sub>O

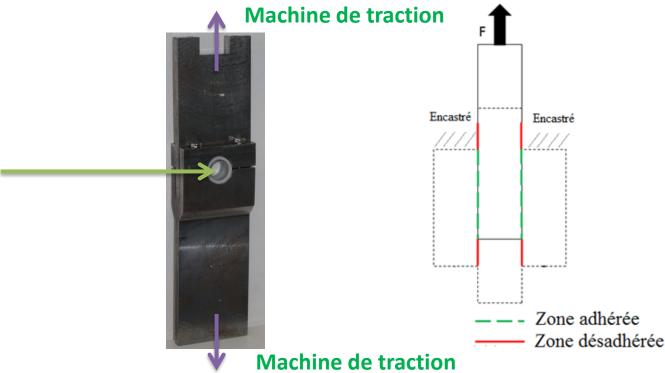




#### **Double cisaillement**

- 150 essais réalisés sur des éprouvettes cylindriques
- Essais quasi statique: 1 mm/min







#### **Double cisaillement**

# Objectifs:

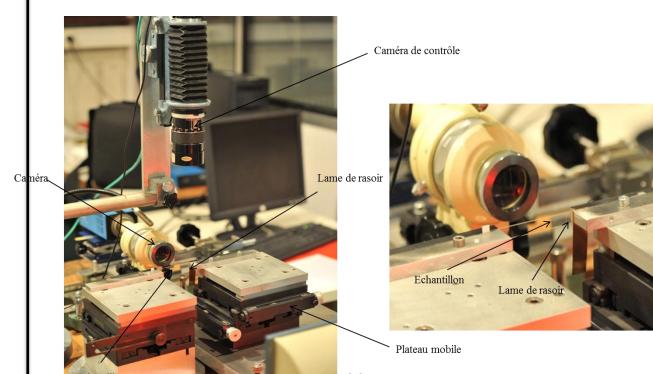
- Influence des paramètres procédés sur la tenue mécanique
- Comparer verre de Silice et Zérodur

Matériaux	T (°C)	Durée (h)	Rugosité (nm RMS)	Taux d'humidité (%)
Zérodur	100, 150, 200, 400, 550	15	4	55
Zérodur	130	120	2, 6, 10	55
Zérodur	X	Χ	4	32, 55, 82
Verre de silice	100, 200, 400, 700, 800, 900	15	4	55
Verre de silice	200	1, 15, 35, 120	4	55
Verre de silice	200	120	2, 4, 6, 10	55
Verre de silice	х	Х	4	32, 55, 82



#### Clivage au coin Essais Maszara

- Mesure de l'énergie d'adhésion
- Méthode de propagation de fissure [6, 7]



21/11/2019

Journée thématique adhésion moléculaire

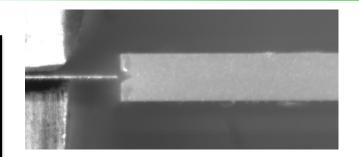
[6]Y. Bertholet, F. Iker, J.P. Raskin, and T. Pardoen. Steady-state measurement of

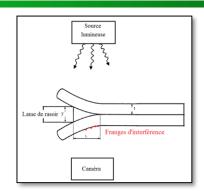
wafer bonding cracking resistance. Sensors and Actuators A, 110 :157163, 2004

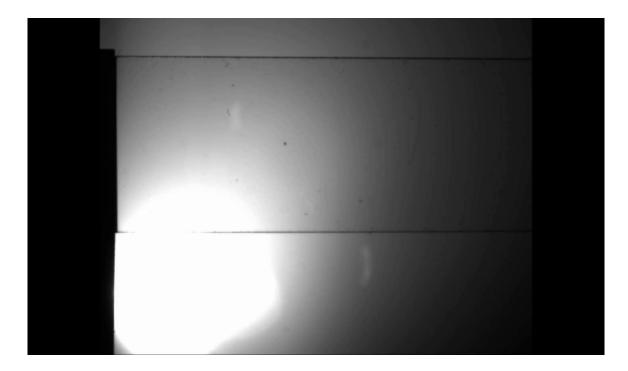
[7] J. Cognard. The mechanics of the wedge test. The Journal of Adhesion, 20:113,1986



#### Clivage au coin Essais Maszara









#### Clivage au coin Essais Maszara

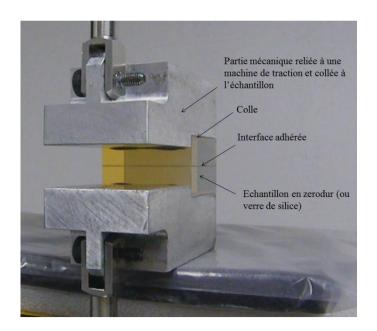
- Mesure de l'énergie d'adhésion
- Méthode de propagation de fissure
  - o A l'équilibre:  $W_{adhésion} = G_{1C}$
  - La longueur L désadhérée, donne accès à la valeur de G<sub>1C</sub> (mécanique linéaire de la rupture, théorie des poutres) [8]
- o Influence:
  - Température de recuit
  - o durée de recuit
  - Rugosité

T (°C)	Durée (h)	Rugosité (nm RMS)
X	X	0,4
X	Χ	0,8
100	5, 30, 120	0,4
100	5, 30, 120	0,8
200	5, 30, 120	0,4
200	5, 30, 120	0,8



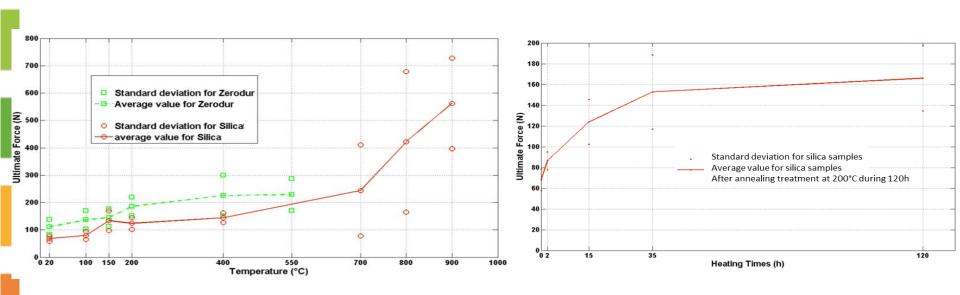
#### Clivage

- Essais de validation
- Dimensions éprouvettes
  - o 40x40x10 mm
  - 5 éprouvettes en verre de silice
  - 5 éprouvettes en Zérodur

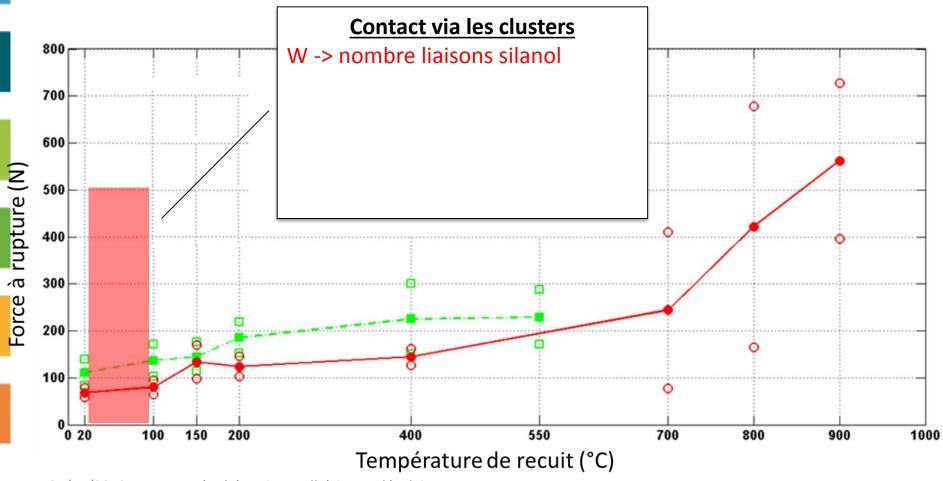




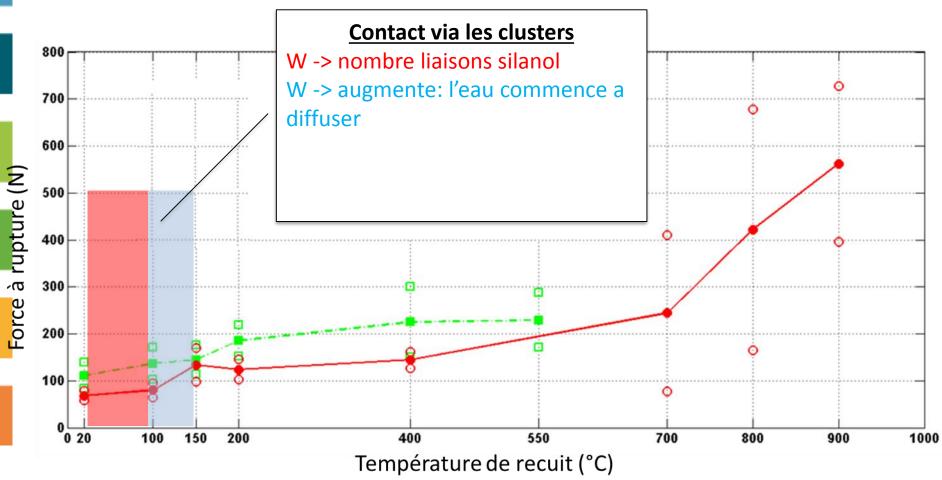
- Le zérodur est un meilleur candidat pour l'adhésion
- Quasi réversibilité du collage
- Influence de la température et durée de recuit



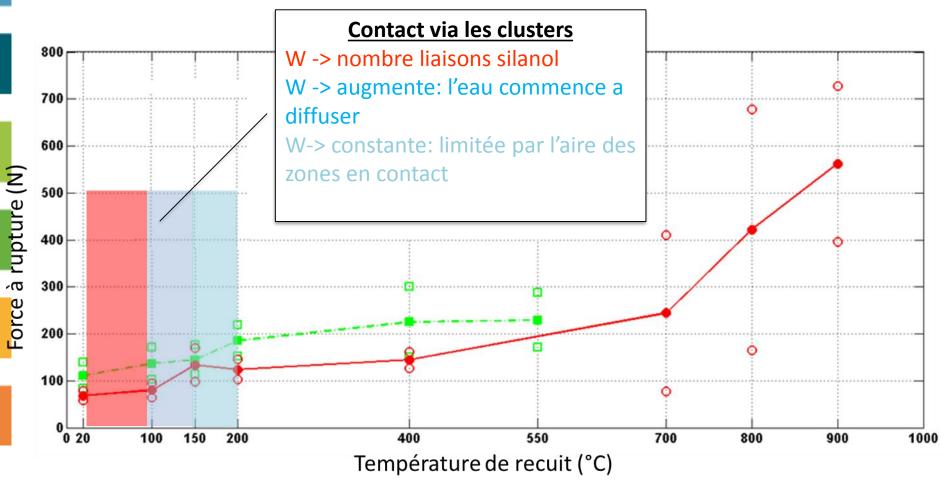




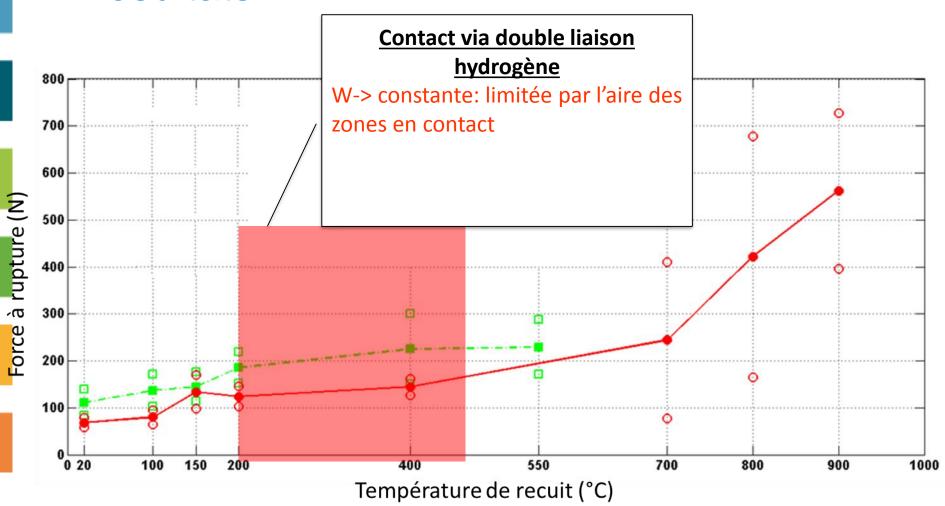




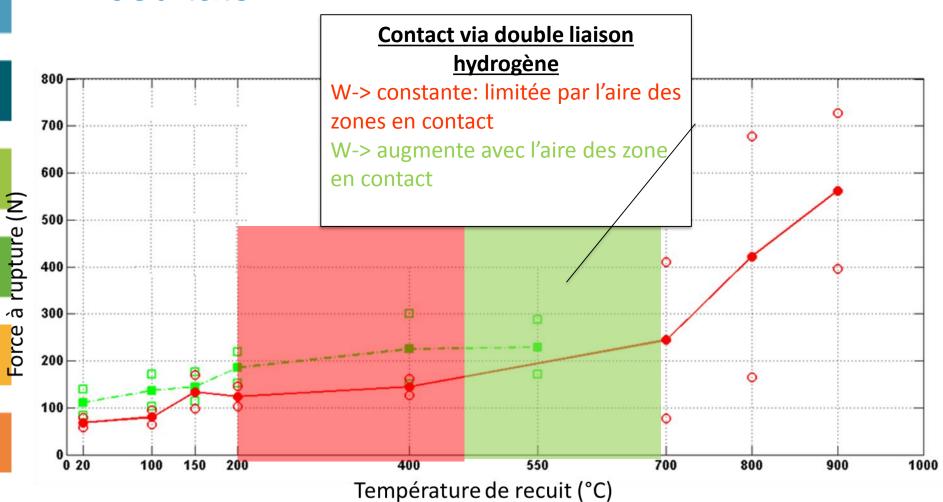


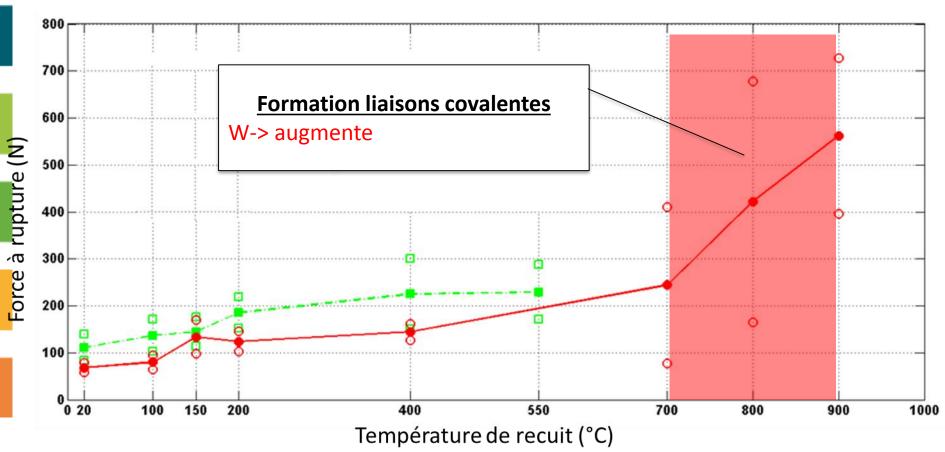








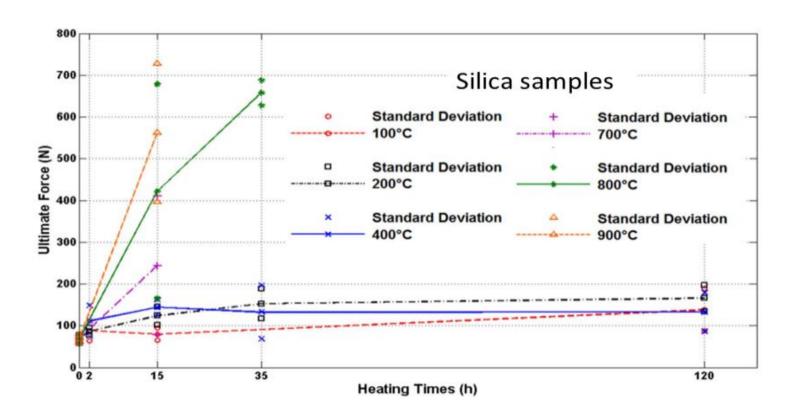






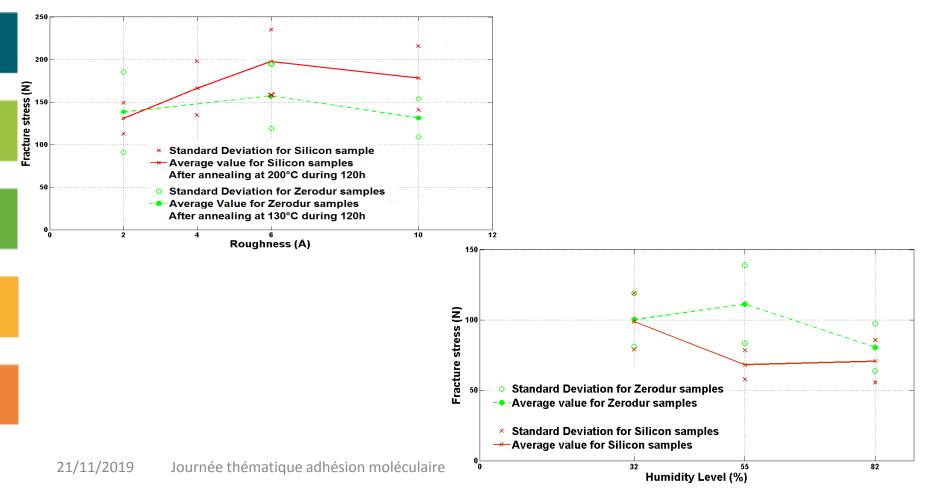
## Résultats:

Equivalence temps-température



## Résultats:

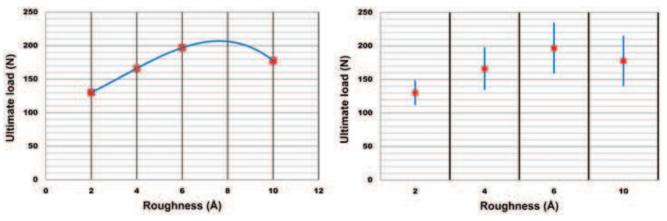
Influence de la rugosité et de l'humidité



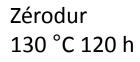


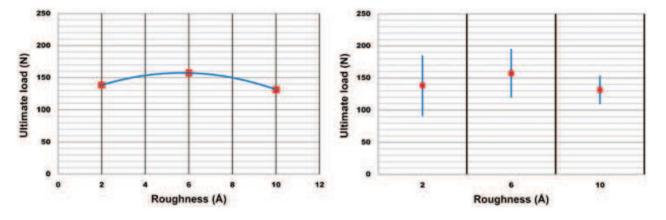
#### Il apparait un optimum de rugosité

Essai de double cisaillement Limite de rupture



Verre de silice 200 °C 120 h







Lower silicon wafer

#### Modèle 1

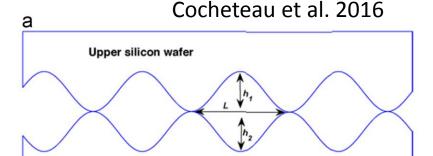
Modèle simplifié de rugosité : Tang 2008 basé sur la théorie JKR

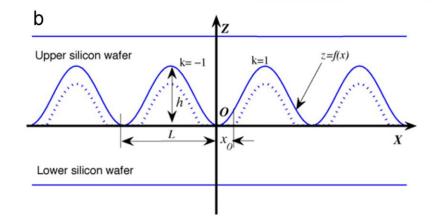
x<sub>0</sub> longueur de la zone de contact, L taille des aspérités, R rayon des aspérités

$$\hat{F} = \sin^2(\pi c) - \alpha \sqrt{\tan(\pi c)}$$

$$c = \frac{x_0}{L}$$

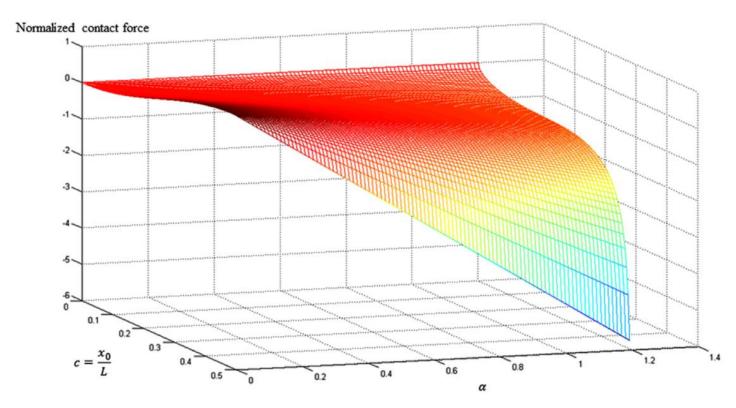
$$\alpha = 4\sqrt{2}\pi\sqrt{\frac{\omega R^2}{E^*L^3}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\sqrt{\frac{\omega}{E^*}\cdot\frac{L}{h^2}}$$







#### Il apparait un optimum de rugosité



- La force de contact dépend de la rugosité et des paramètres mécaniques (taille de la rugosité, longueur d'onde, rigidité, etc.)
- La rugosité optimale est un compromis entre ces paramètres



#### Modèle 2

Surface plane

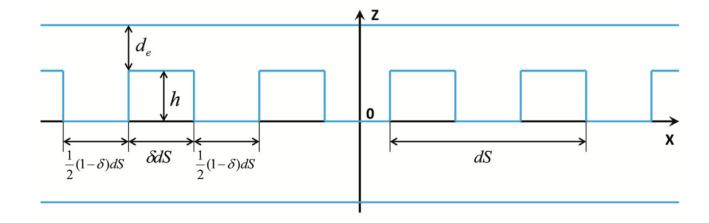
$$T = \frac{A}{3\pi d_{\rm c}^3} \left[ \left( \frac{d_{\rm c}}{d} \right)^3 - \left( \frac{d_{\rm c}}{d} \right)^9 \right] z \qquad \text{Hamaker 1937}$$

$$w = \int_{d_c}^{+\infty} \frac{A}{3\pi d_c^3} \left[ \left( \frac{d_c}{d} \right)^3 - \left( \frac{d_c}{d} \right)^9 \right] dl ds$$

$$w = \frac{An \ ds}{8\pi d_c^2} = w^s$$



#### Modèle 2

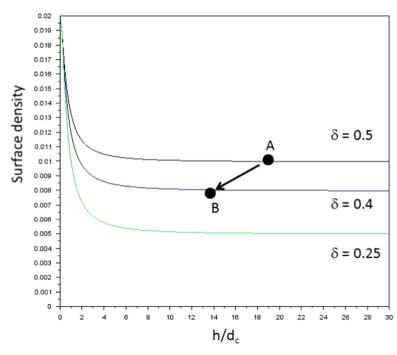


$$T = \frac{A}{6\pi d_c^3} \left[ \delta \left( \frac{d_c}{d} \right)^3 - \delta \left( \frac{d_c}{d} \right)^9 + (1 - \delta) \left( \frac{d_c}{d + h} \right)^3 - (1 - \delta) \left( \frac{d_c}{d + h} \right)^9 \right] z$$

$$\overline{w} = \frac{A}{6\pi} \left[ \frac{\delta}{2d_e^2} - \frac{\delta d_c^6}{8d_e^8} + \frac{1 - \delta}{2(d_e + h)^2} - \frac{(1 - \delta)d_c^6}{2(d_e + h)^8} \right]$$



#### Modèle 2

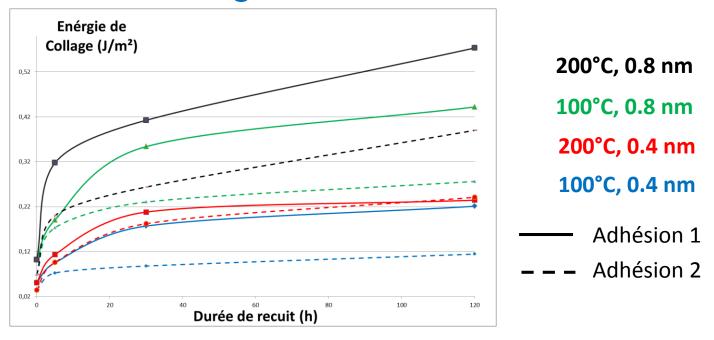


- Pour une valeur donnée de la largeur de l'aspérité, l'énergie croit avec la diminution de la hauteur de l'aspérité.
- Réciproquement, pour une valeur donnée de la hauteur de l'aspérité, l'énergie croit avec la croissance de la largeur de l'aspérité.
  - Néanmoins, les effets conjugué d'une décroissance de la largeur et de la hauteur de l'aspérité peut à une décroissance de l'énérgie de surface (du point A au point B)



## Traitement thermique

## Résultats clivage au coin:



- Augmentation de l'énergie de collage: température et durée de recuit (plateau)
- Energie de collage supérieure pour R=0,8 nm RMS
- Diminution de l'énergie de collage pour une 2nd adhésion



### T < 200°C

200°C < T < 700°C

## Modèle cinétique et énergie de collage

- L'énergie de collage dépend du nombre de sites d'adhésion
- Formation de la double liaison hydrogène et d'un tétramère d'eau [4]
- Hypothèse[4]: le gain d'énergie de surface est proportionnel au nombre de liaisons H et proportionnel au nombre de liaison silanol Si-OH. L'énergie de collage:

$$W = (W_{\phi II} - W_{\phi I})(1 - e^{(-k_1 t)}) + W_{\phi I} J. m^{-2}$$

 $\circ$   $W_{\phi II}$  le maximum de l'énergie de surface en phase II et  $W_{\phi I}$  l'énergie de surface en phase I

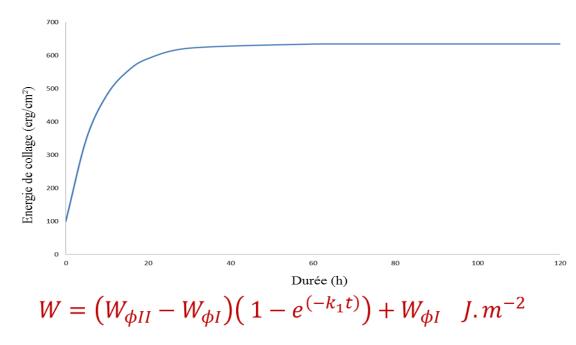
SiOH: 
$$(H_2O)_2$$
:  $(H_2O)_2$ : SiOH $\xrightarrow{k_1}$ SiOH: SiOH +  $(H_2O)_4$   
Phase I



## Modèle cinétique et énergie de collage

T < 200°C

200°C < T < 700°C



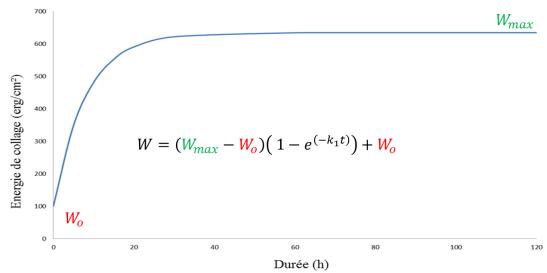
 $\circ$   $W_{\phi II}$  le maximum de l'énergie de surface en phase II et  $W_{\phi I}$  l'énergie de surface en phase I



Modèle cinétique :

$$W = (W_{max} - W_o)(1 - e^{(-k_1 t)}) + W_o$$
$$k_1 = \frac{1}{\tau} e^{(-\frac{Ea1}{KT})}$$

- W<sub>max</sub> correspond à l'énergie de collage après un temps infini de traitement
- W<sub>0</sub> correspond à l'énergie de collage initiale





Modèle cinétique [1]:

$$W = (W_{max} - W_o)(1 - e^{(-k_1 t)}) + W_o$$
$$k_1 = \frac{1}{\tau} e^{(-\frac{Ea1}{KT})}$$

- W<sub>max</sub> correspond à l'énergie de collage après un temps infini de traitement
- W<sub>0</sub> correspond à l'énergie de collage initiale

W fonction de la Température T, durée t, rugosité R et nombre d'adhésion n

$$W=W(T, t, R, n)$$

Loi proposée:

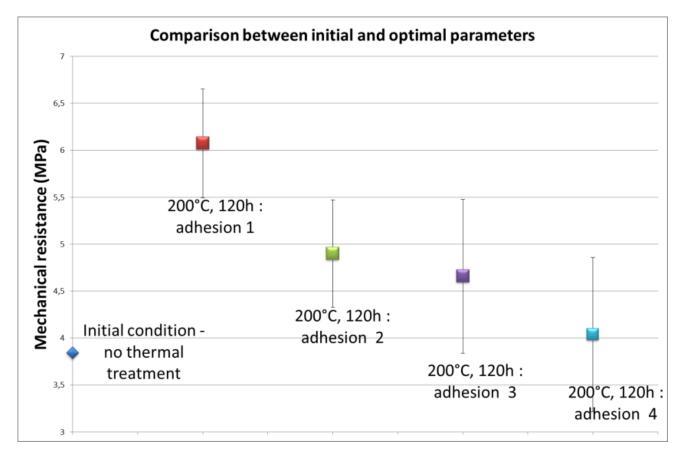
$$W^{n}(T,t,R) = z(R,n) (W_{max}(T,R) - W_{0}(R)) (1 - e^{(-k_{1}(T)t)}) + W_{0}(R))$$



## Traitement thermique

## Résultats:

Paramètres optimaux : doublent la résistance mécanique











# Caractérisation de l'amorçage de fissure dans les assemblages collés : application à l'adhérence moléculaire renforcée

Q.BUI, M.VOISIN, A.MAUREL-PANTEL, C.HOCHARD, S.AIT ZAID







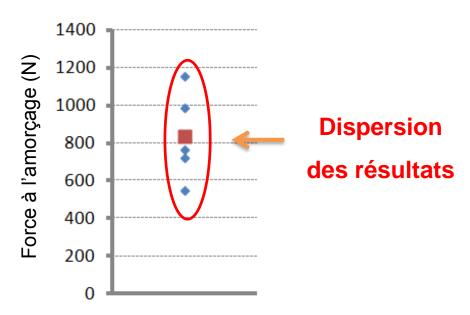




## ☐ Essais mécaniques :

○ Des essais classiques (pelage, clivage ou double cisaillement) → Force à l'amorçage

### Résultats d'essais --->







## ☐ Essais mécaniques :

- Des essais classiques (pelage, clivage ou double cisaillement) → Force à l'amorçage
- Essai clivage en coin → Mesure de l'énergie d'adhésion

□ Résultats d'essais → Sensibilité aux défauts - Faible résistance

Taux de restitution d'énergie

$$G_c \approx 0.234 \text{ J/m}^2 << G_c = 300 \text{ J/m}^2$$

(Colle époxy)





- ☐ Essais mécaniques :
- Des essais classiques (pelage, clivage ou double cisaillement) → Force à l'amorçage
- Essai clivage en coin → Mesure de l'énergie d'adhésion

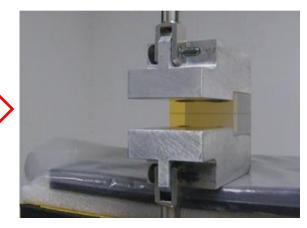
- Objectifs: Caractériser la résistance à <u>l'amorçage</u> en mode l
  - Diminuer la sensibilité aux défauts
  - Analyser des critères d'amorçage classiques



# Nouvel Essai d'amorçage

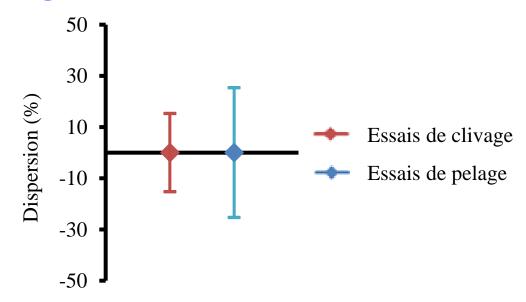






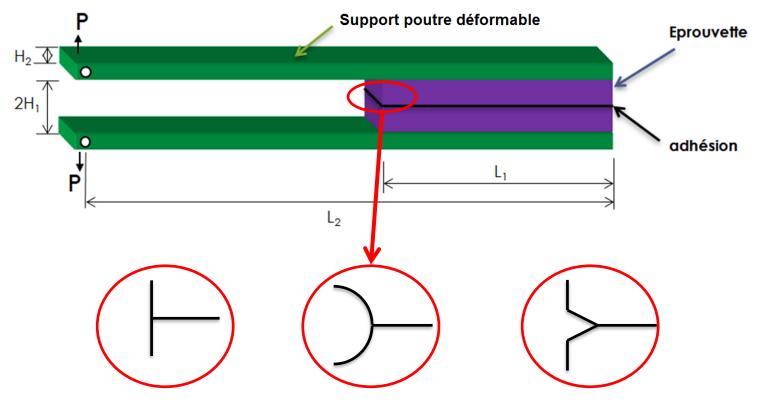
Essais de pelage

Essais de clivage





## Nouvel Essai d'amorçage



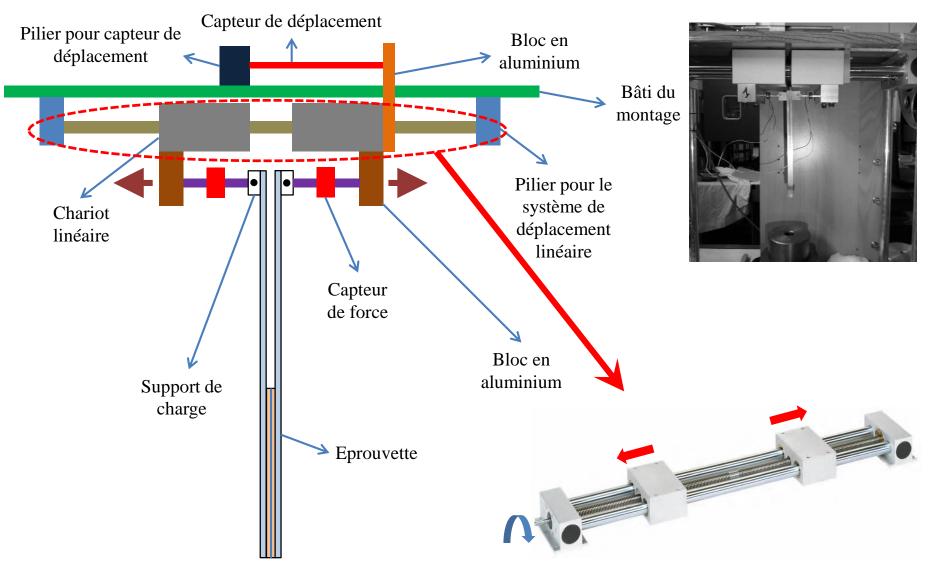
## Nouvel essai proposé

Introduire des supports poutres déformables

Décaler le point d'application de l'effort



# Nouvel Essai d'amorçage



## Validation FIT Test

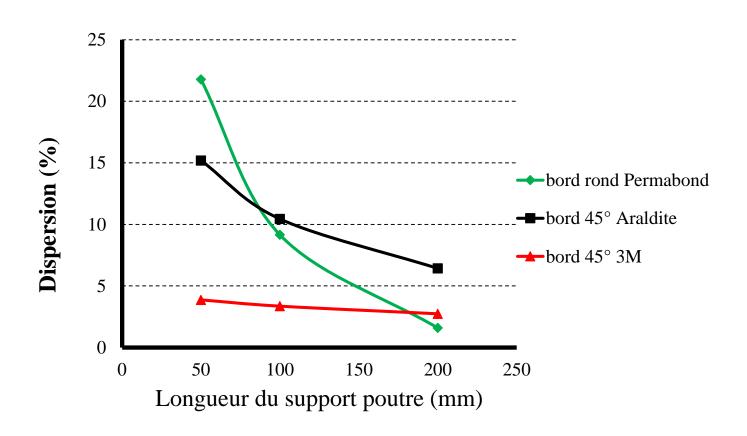


## Collage Alu-Alu par adhésif

- Substrat : Aluminium 2017A
- Adhésifs :
  - ✓ Colle cyanoacrylate Permabond 910 ≈ l'adhérence moléculaire
    - Comportement fragile
    - ó Épaisseur très faible (≈ 0,01 mm)
  - ✓ Colle époxy Araldite AV138/HV998
    - Comportement fragile
    - Épaisseur 0,1 mm
  - ✓ Colle époxy 3M 2216 B/A
    - Comportement flexible
    - Épaisseur 0,1 mm



## Validation FIT test

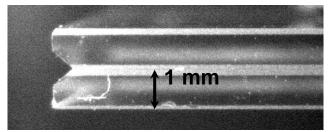


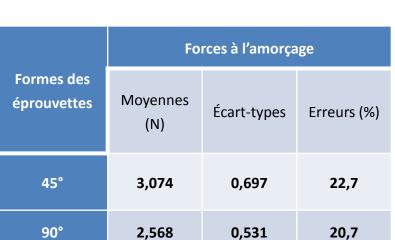
- $\succ$  L'augmentation de la longueur du support poutre  $\rightarrow$  diminuer la dispersion
- > La diminution de la dispersion est importante pour les colles fragiles



# Application adhérence moléculaire



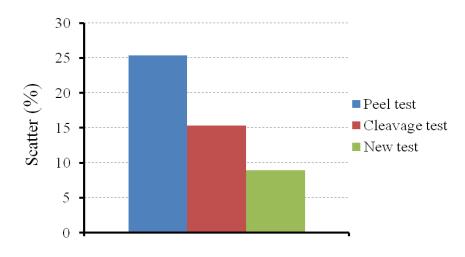




Adhérence moléculaire



Fil de pêche

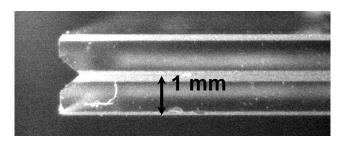


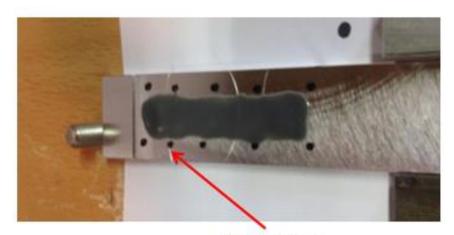
Adhérence moléculaire renforcée



# Application adhérence moléculaire







Fil de pêche

	Forces à l'amorçage		
Formes des éprouvettes	Moyennes (N)	Écart-types	Erreurs (%)
45°	3,074	0,697	22,7
90°	2,568	0,531	20,7

Adhérence moléculaire

	Forces à l'amorçage		
Formes des éprouvettes	Moyennes (N)	Écart-types	Erreurs (%)
45°	4,738	0,423	8,9
90°	3,789	0,278	7,3

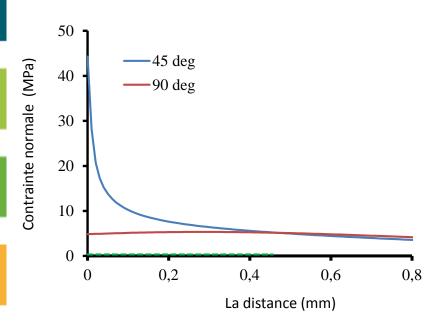
Adhérence moléculaire renforcée



# Application adhérence moléculaire

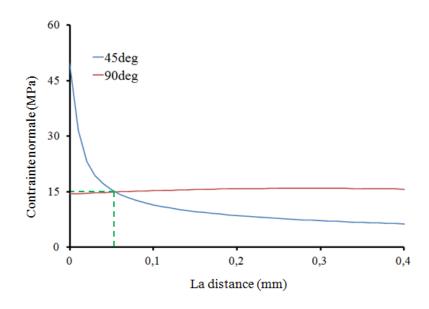
## Application d'un critère Point-Stress

#### Adhérence moléculaire



 $a_c = 0,471 \text{ mm et } \sigma_c = 5,1 \text{ MPa.}$ 

#### Adhérence moléculaire renforcée



 $a_c$  = 0,0548 mm et  $\sigma_c$  = 14,9 MPa.









# Modélisation d'un essai d'initiation et de propagation d'un assemblage collé par adhérence moléculaire

M.VOISIN, A.MAUREL-PANTEL, F.LEBON, N.COCHETEAU, S.BEGOC



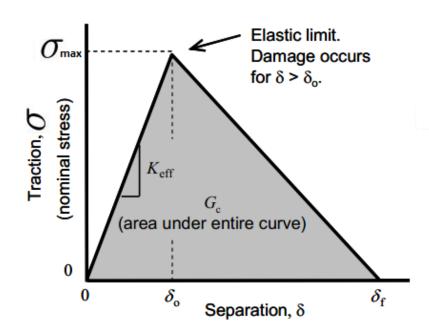








Développer un outil de type zone cohésive pour modéliser des structures complexes

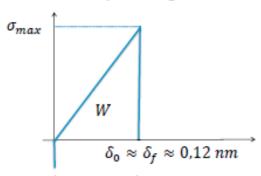




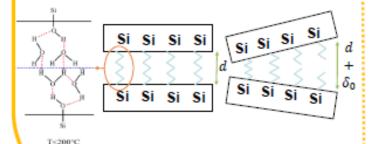
#### Deux modèles

## Modèle macroscopique [1]

Loi élastique-fragile



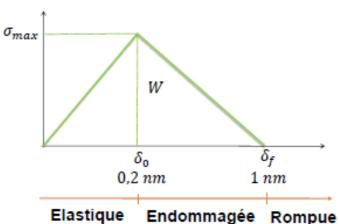
Pas de Elastique Rompue pénétration

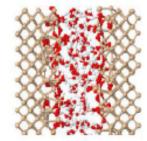


 $W = f(rugosité, T et T^{\circ}C de recuit)$ 

#### Modèle de Kubair [3]

Loi multi-échelle



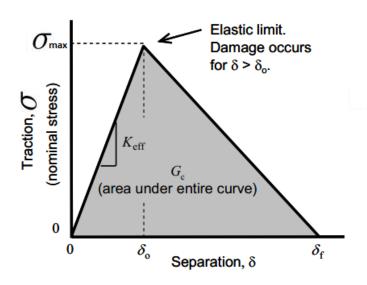


Ensemble de liaisons représentées dans la simulation par dynamique moléculaire.



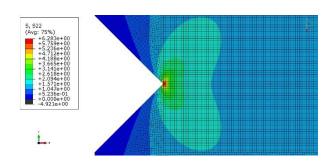
# Méthodologie:

- Identification contrainte critique avec FIT test
- Identification G<sub>C</sub> avec wedge test
- Validation du modèle sur l'essai d'initiation du clivage et sur l'essai de propagation

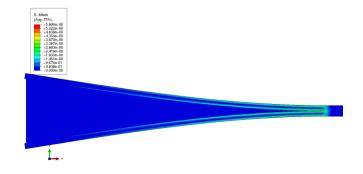




$L_e (mm)$	$F_c^{exp}$	$F_c^{num}$	Error (%)	Calculation time (h)
0.1	310.4	549.3	77	2.6
0.05	310.4	426.4	37.4	12.5
0.01	310.4	317.4	2.2	14.6
0.008	310.4	315.5	1.6	16.2



$L_e \ (mm)$	$L^{exp}$	$L^{num}$	Error (%)	Calculation time (h)
0.1	28.6	16,7	41.6	1.8
0.05	28.6	21	26.5	13.8
0.01	28.6	27,5	3.8	53.3
0.008	28.6	27,7	3.2	75.3











# Tenue aux chocs d'une adhérence moléculaire renforcée: application à des systèmes optiques spatiaux embarqués

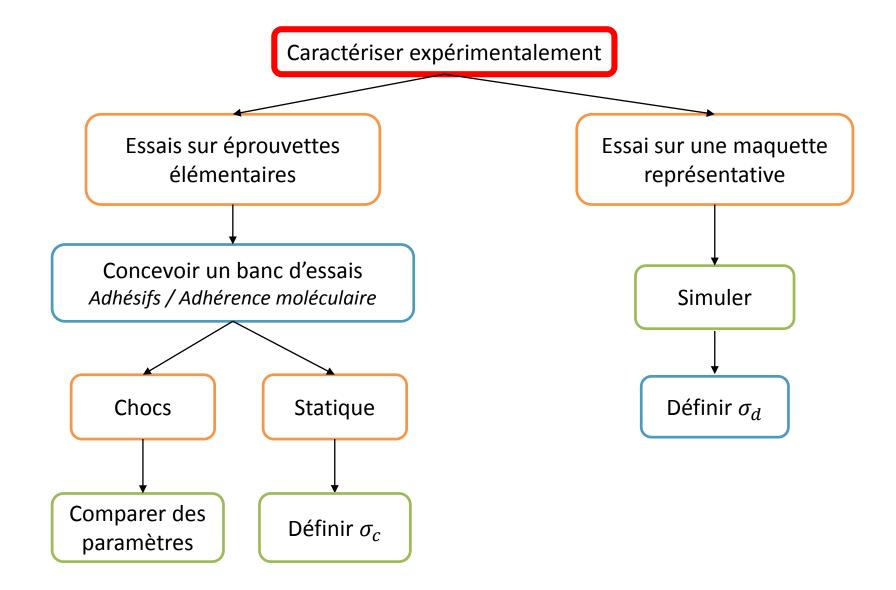
M.VOISIN, A.MAUREL-PANTEL, F.LEBON, N.COCHETEAU, S.BEGOC



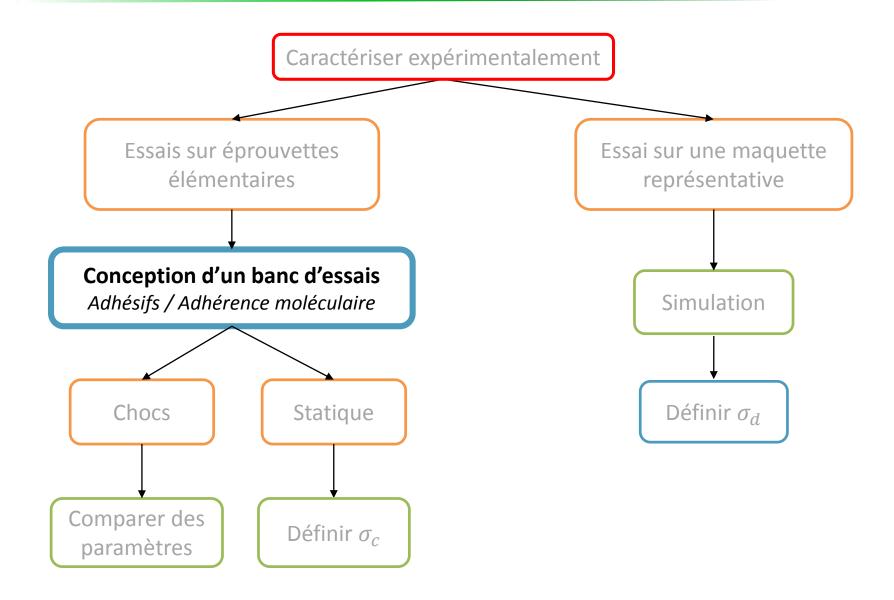




## Démarche de caractérisation dynamique

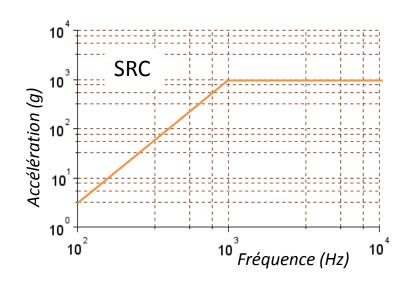


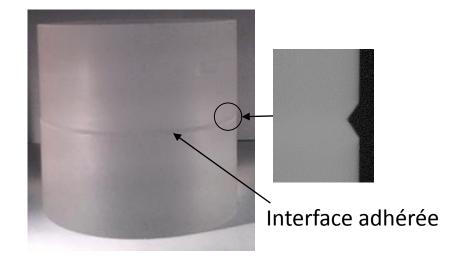
# Démarche de caractérisation dynamique



## Choc à imposer

- Une durée : environ 20ms
- Une accélération : 1000g/1000Hz
- Des directions : tester suivant 3 directions





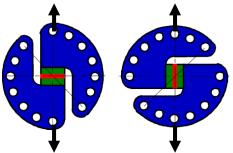
Comment générer ce type de chocs sur l'adhérence moléculaire du verre ?

## Développement du banc de chocs

#### Montage Arcan modifié

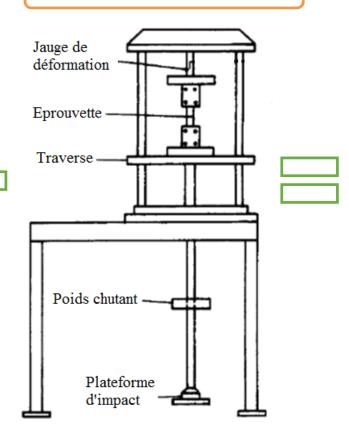






[Cognard et al., 2006]

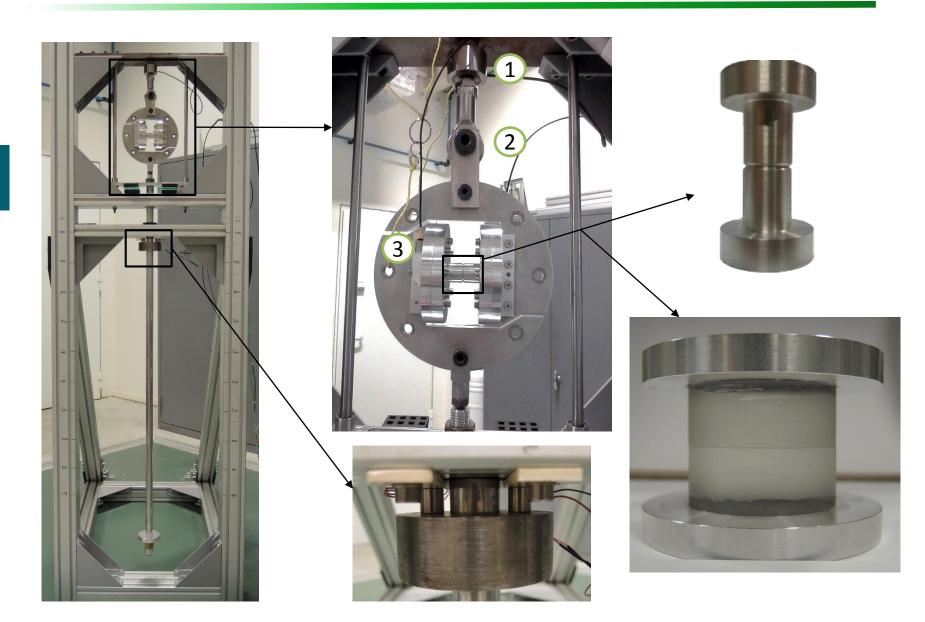
#### Montage par poids tombant



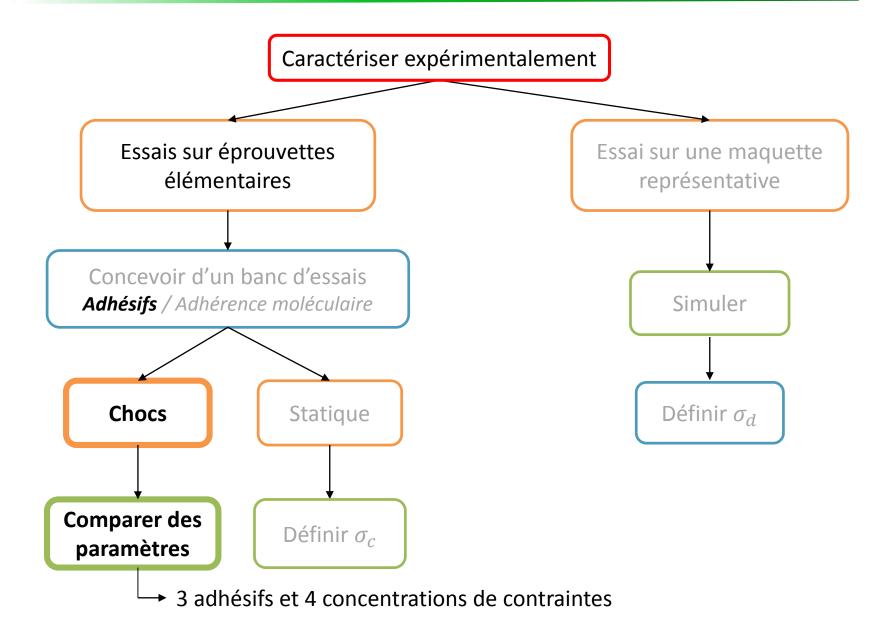
[Beevers et Ellis, 1984]

Notre concept

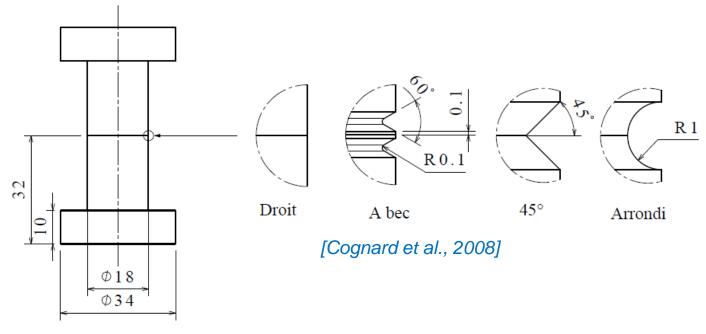




## Démarche de caractérisation dynamique

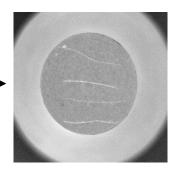


## Influence de différents bords à l'interface



## Adhésifs utilisés : un ductile et 2 fragiles

- **Epoxy 3M Scotch-Weld 2216** B/A → 0,1 mm ——
- Epoxy Araldite AV138/HV998 → 0,1 mm →
- Cyanoacrylate Permanbond 910 → 0,01 mm



## Essais de chocs



$$E = m_1 g h_1 = m_2 g h_2$$

$$F_1 \neq F_2$$

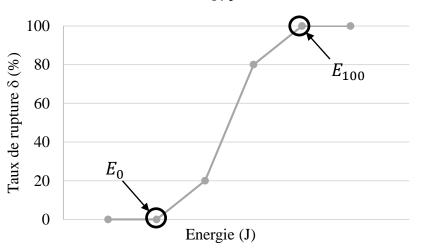
$$F = g \left[ M + \eta m \right]$$

$$avec \eta = 1 + \sqrt{1 + 2 \frac{h}{f_s} \frac{1}{1 + \frac{M}{m}}}$$

$$f_s = \frac{mg}{K} \text{ et } K = \frac{E_{Young}S}{L}$$
[Brossard, 1994]

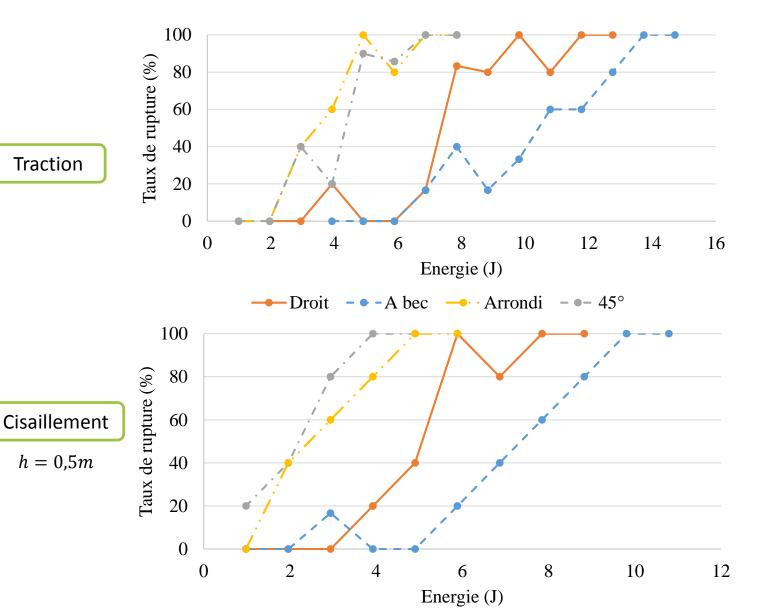
$$h = 1m \longrightarrow v = \sqrt{2gh}$$
$$= 4.43 \text{ m. s}^{-1}$$

$$\delta (\%) = \frac{Nr}{Nt} * 100$$

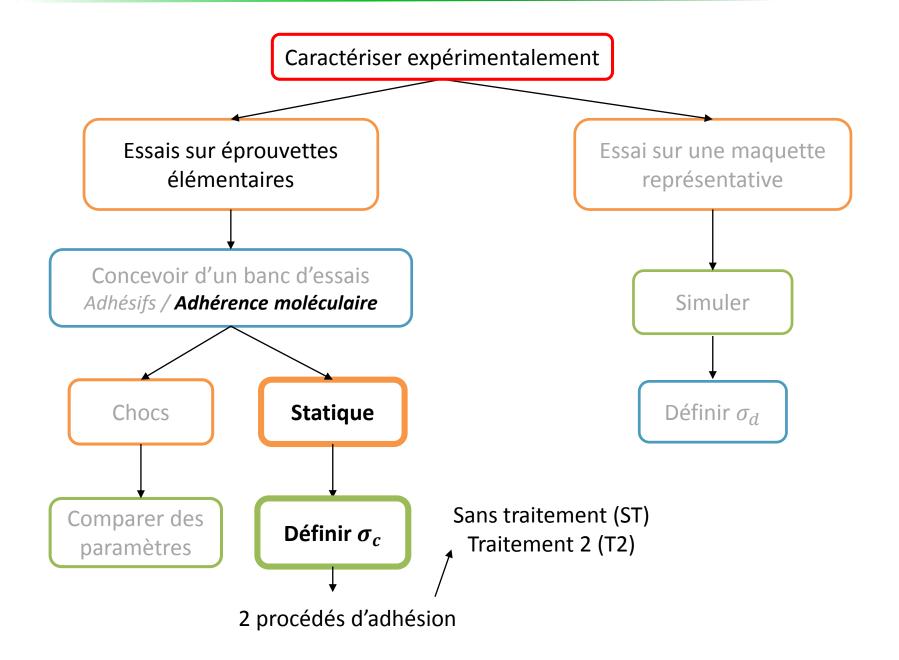




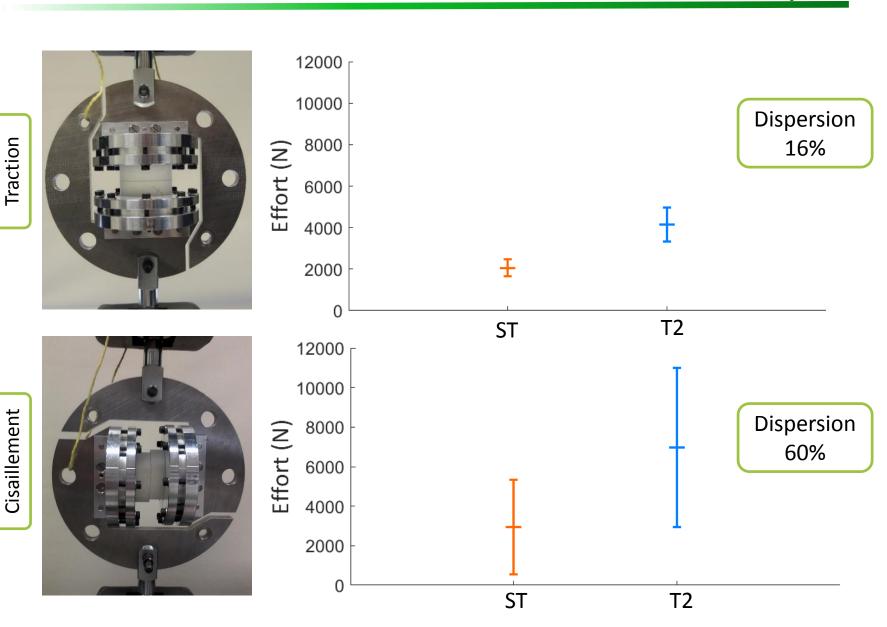
Traction



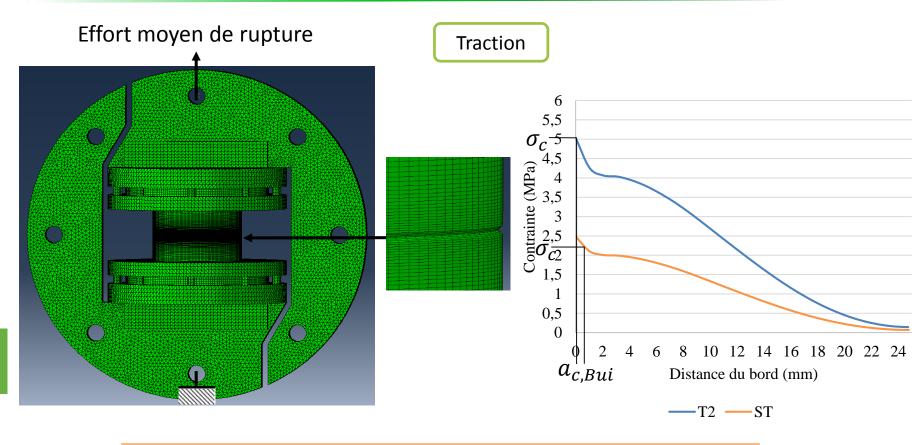
## Démarche de caractérisation dynamique



## Essais en statique



## Application du Point Stress Criterion

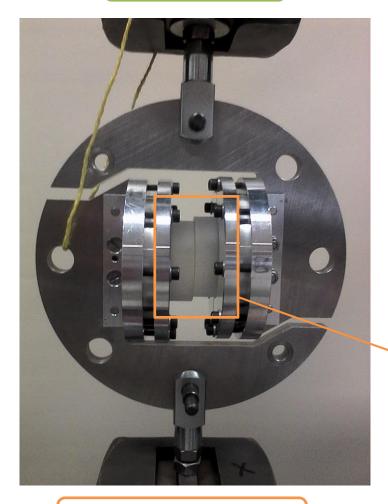


	$a_{c,I,Bui} (mm)$	$\sigma_{c,I} (MPa)$
Sans traitement	0,471	2,3
Traitement 2	0,0548	5
	[D : D]	

[Bui, Phd thesis 2015]

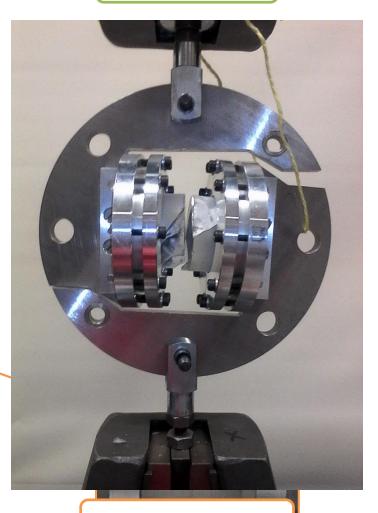
## Essais en statique

Cisaillement ST



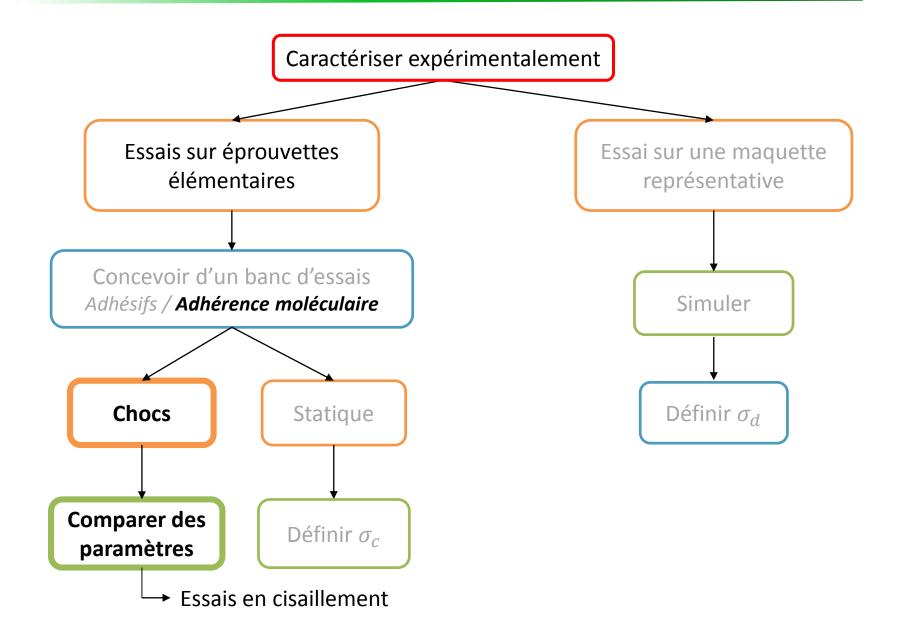
ST rupture à l'interface

Cisaillement T2



T2 rupture mixte

## Démarche de caractérisation dynamique



### Essais de chocs en cisaillement

Hauteur de chute de 10 cm

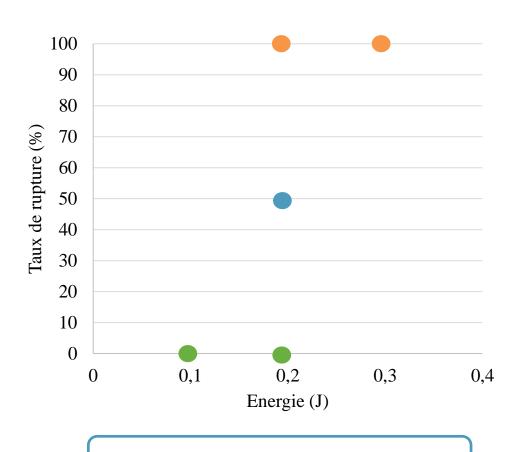
- 3 éprouvettes ST
  - 4 essais validés

1<sup>ière</sup> Eprouvette

- **0,1J**
- **0,2J**
- 0,31

2ième Eprouvette

- **0,2J**
- 3ième Eprouvette
  - **0,3J**

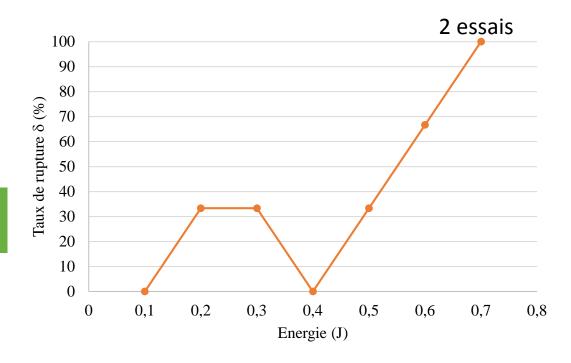


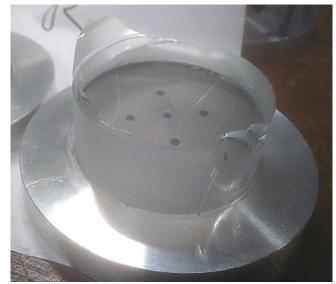
Rappel: avec h = 1m;  $E_{0,Cyanoacrylate} = 1J$ 

### Essais de chocs en cisaillement

## ■ 15 éprouvettes T2

3 essais par points

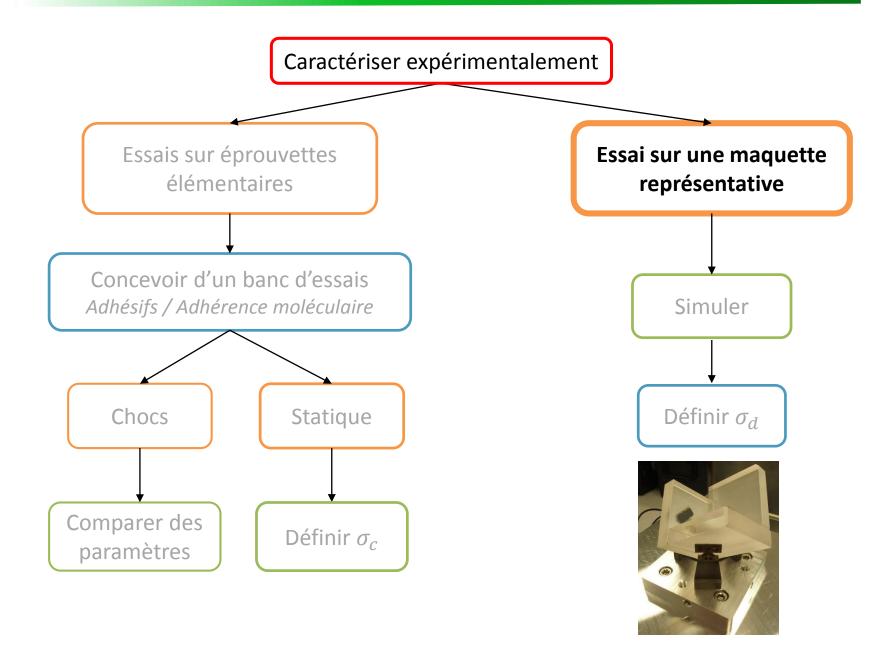




Rupture à l'interface

Rappel:  $E_{0,ST} = 0.1 J$ 

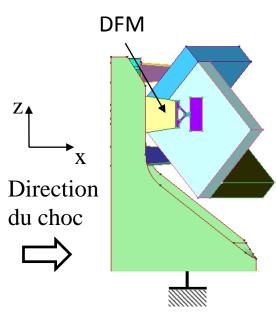
## Démarche de caractérisation dynamique

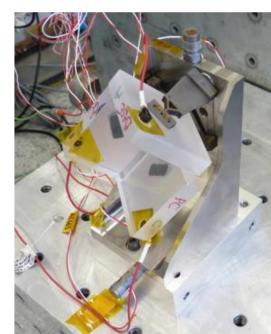


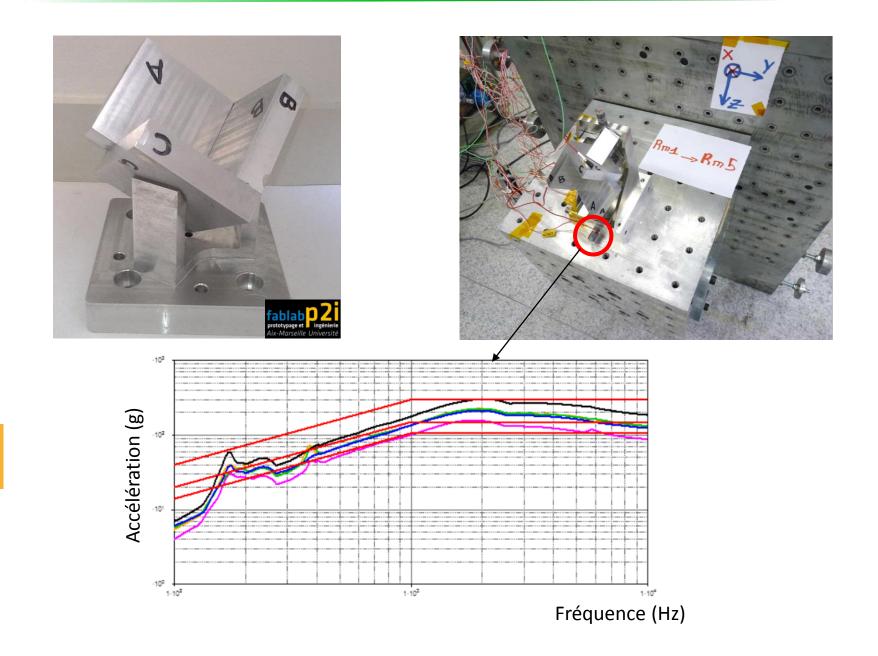
### Tenue aux chocs d'un Coin de cube

- Essai de chocs sur une maquette (Coin de Cube)
  - Banc d'essais pyrotechnique du CNES

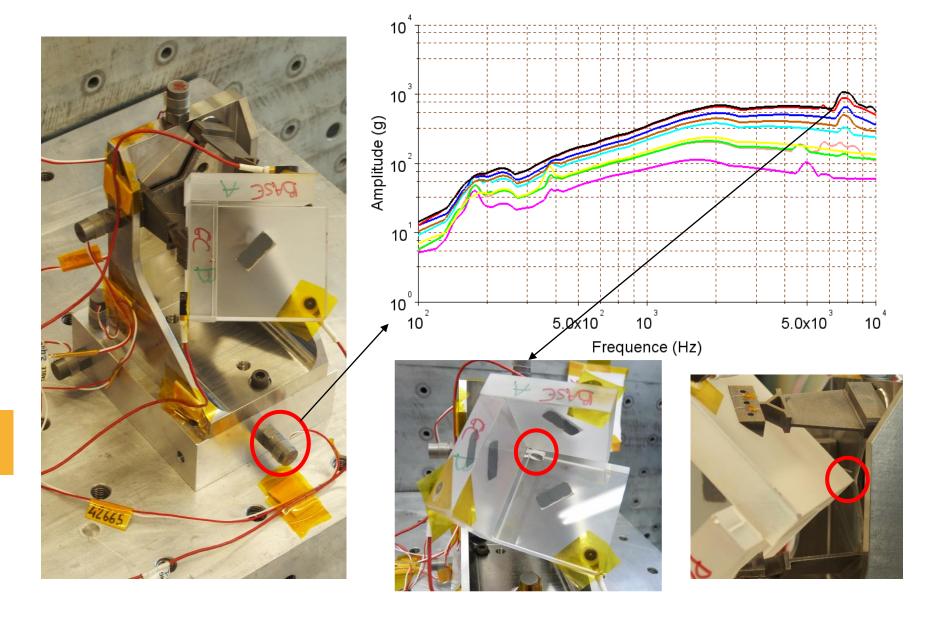




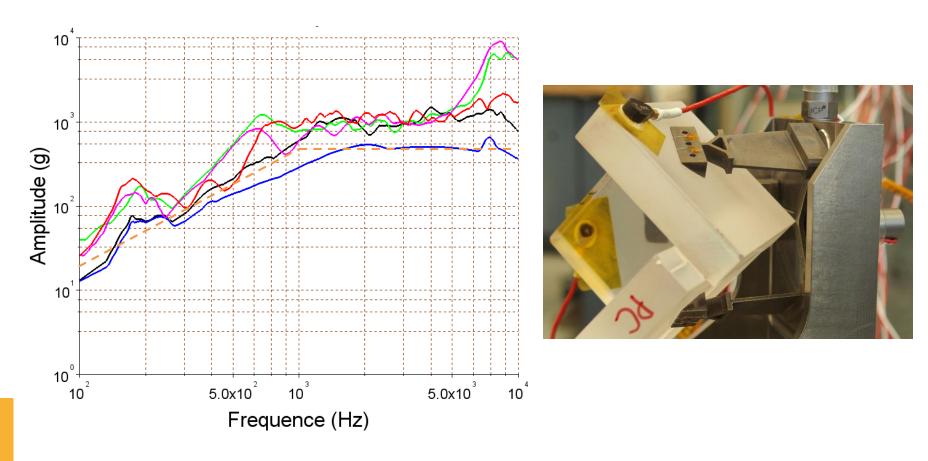




## Résultats des essais de chocs sur le CC



### Résultats des essais de chocs sur le CC



- Validation de l'équipement jusqu'à 500g
- Validation du traitement 2

### Tenue aux chocs adhésion moléculaire

### Adhérence moléculaire

- Tenue en statique améliorée par le traitement 2
- Réalisation du 1<sup>er</sup> essai de choc sur un Coin de Cube
- Faire une étude sur les contraintes résiduelles liées à un traitement thermique
- Etudier de nouveaux procédés d'adhésion (plasma)
- Etudier d'autres contraintes spatiales

### Simulations numériques

- Simuler un choc avec une accélération en temporel
- Développer un critère de rupture en dynamique

### **Publications**

#### 2014

N. Cocheteau, A. Maurel-Pantel, F. Lebon, I. Rosu, E. Prieto, S. AitZaid, I. Savin De Larclause, Y. Salaün "Mechanical characterization of direct bonded silica surfaces",

Journal of Adhesion Science and Technology 28(10) (2014), pp 915-934 - https://doi.org/10.1080/01694243.2013.876138

#### 2016

N. Cocheteau, A. Maurel-Pantel, F. Lebon, F.Mazerolle, I. Rosu,, S. AitZaid, I. Savin De Larclause "Influence of roughness on mechanical strength of direct bonded silica and Zerodur® glasses"

International Journal of Adhesion and Adhesives 68(2016), pp87-94 - https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.02.006

#### 2018

Q.Bui, A.Maurel-Pantel, F.Mazerolle, C.Hochard

"The Flexible Initiation Test (FIT): A new experimental test to characterize fracture initiation in mode I at the free edge of bonded assemblies"

International Journal of Adhesion and Adhesives 84(2018), pp291-300- <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.02.037">https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.02.037</a>

#### 2019

A.Maurel-Pantel, M.Voisin, Q.Bui, N.Cocheteau, F.Lebon, C.Hochard

"A cohesive zone model for fracture initiation and propagation of fused silica direct bonding interface"

Engineering Fracture Mechanics (2019) pp106649 - https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106649

#### <u>Thèses</u>

Tenue aux chocs d'une adhérence moléculaire renforcée : application à des systèmes optiques spatiaux embarqués par Marina Voisin, décembre 2017

Caractérisation de l'amorçage de fissure dans les assemblages collés : application à l'adhérence moléculaire renforcée par Thanh Quang Bui, juillet 2015

Caractérisation et modélisation d'une adhérence moléculaire renforcée par Natacha Cocheteau, janvier 2014









# Merci de votre attention

### **Synopsis**

Les travaux s'articulent autour de 2 stages de Master 2 et de 2 thèses :

M2: Avec le LAM une large campagne expérimentale est déroulée pour comprendre l'influence des paramètres du process (H.Hamdane)

### Une thèse concerne les phases I+II (N.Cocheteau) :

- ·Compréhension des propriétés des surfaces et analyses des processus chimiques
- ·Mise en place d'un essai académique pour étudier l'évolution de l'interface
- •Proposition d'un modèle mécanique d'adhérence basé sur les énergies d'adhésion décrites par la cinétique chimique de l'interface et conditionnées par les paramètres du process
- •Implémentation du modèle dans Abaqus
- ·Validation de la démarche

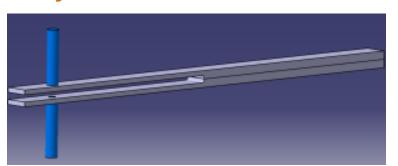
### Une thèse concerne la phase II (Q.Bui) :

- ·Analyse des difficultés concernant la mesure de la tenue mécanique du collage direct
- •Développement plus large sur la problématique de mesure de l'initiation
- ·Proposition d'un essai mécanique original pour la mesure de l'initiation de la décohésion
- •Réduire les dispersions dans les essais mécaniques qualifiants

M2: Modélisation et simulation d'une structure laminée collée par adhésion moléculaire

### Validation numérique

### Analyse de la sensibilité aux défauts



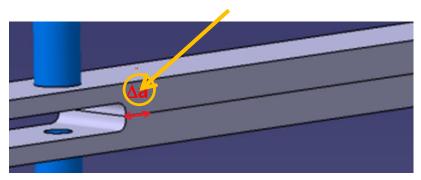
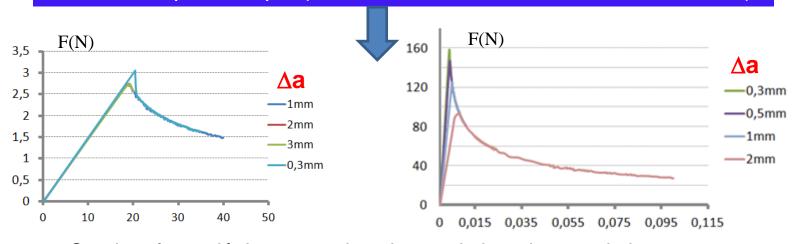


Schéma de l'essai dans le cas du bras long et du bras court

### Simulation par Abaqus (Utilisation d'un modèle de zone cohésive)



Courbes force-déplacement dans le cas du bras long et du bras court

- Simulation par analyse d'un spectre de réponses
  - Basée sur un calcul des modes propres

