



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





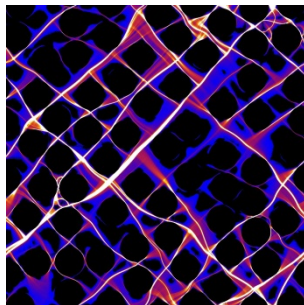
Le LMA UMR7031 AMU CNRS Centrale Marseille

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.



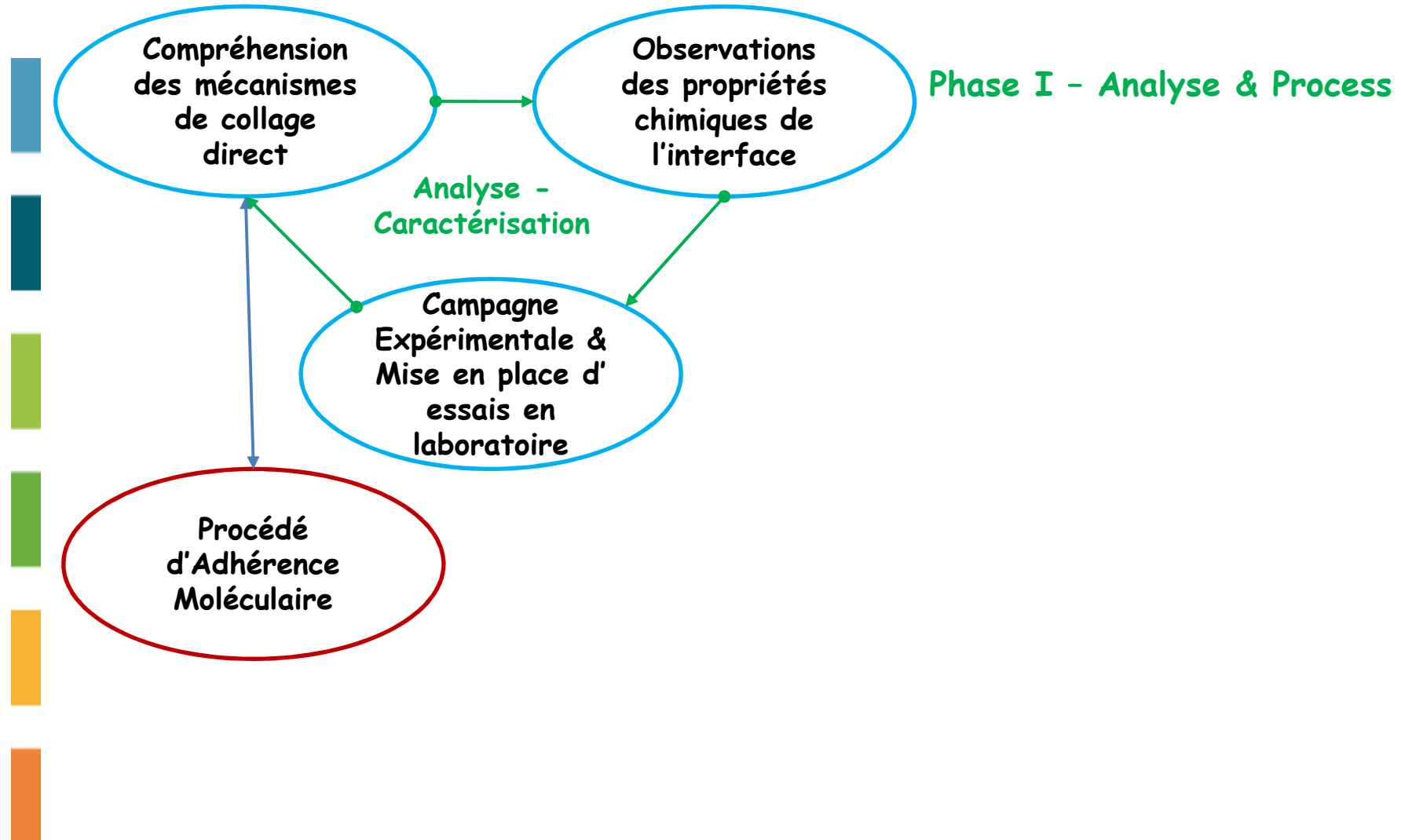
Synopsis



**Procédé
d'Adhérence
Moléculaire**

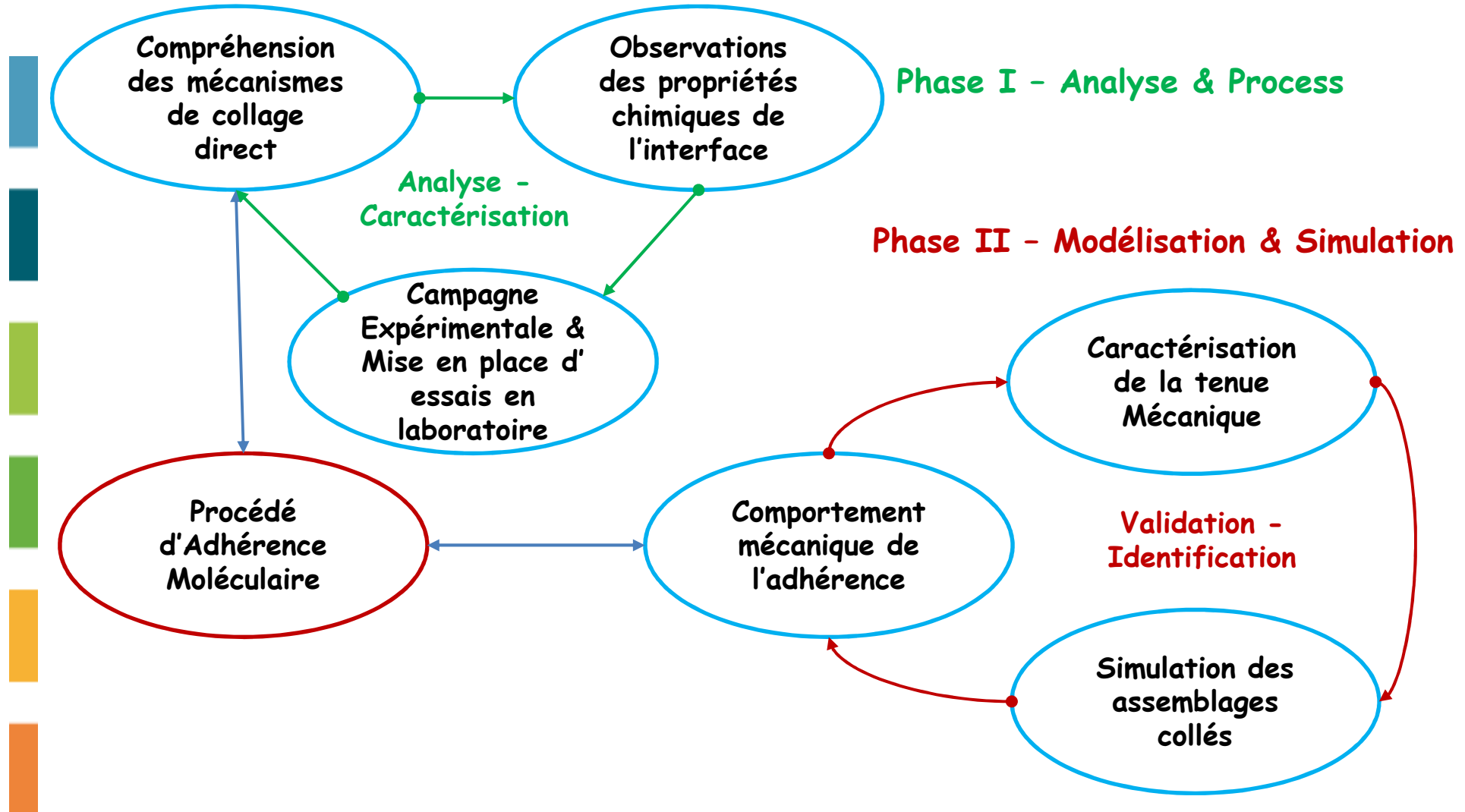


Synopsis



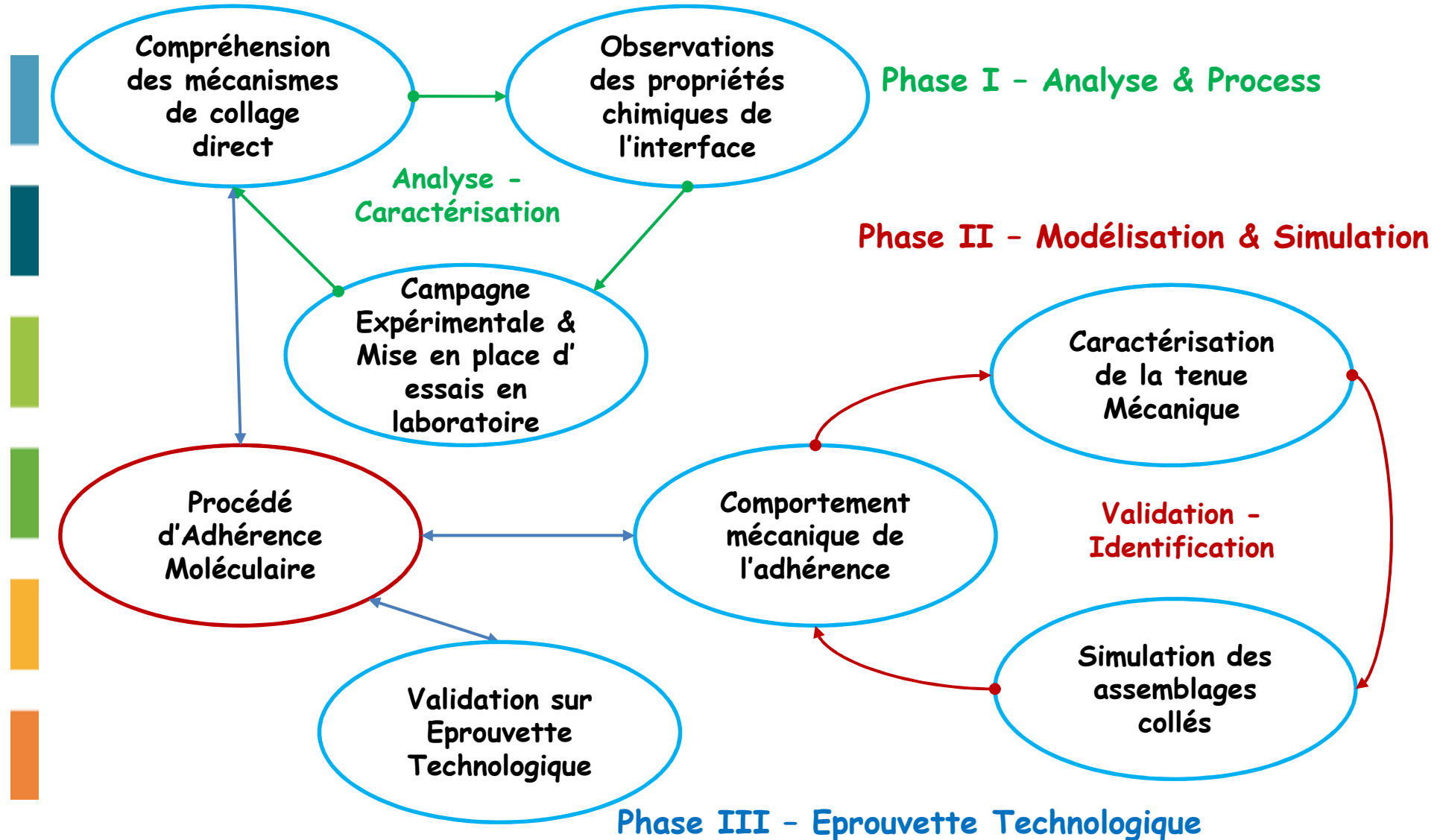


Synopsis



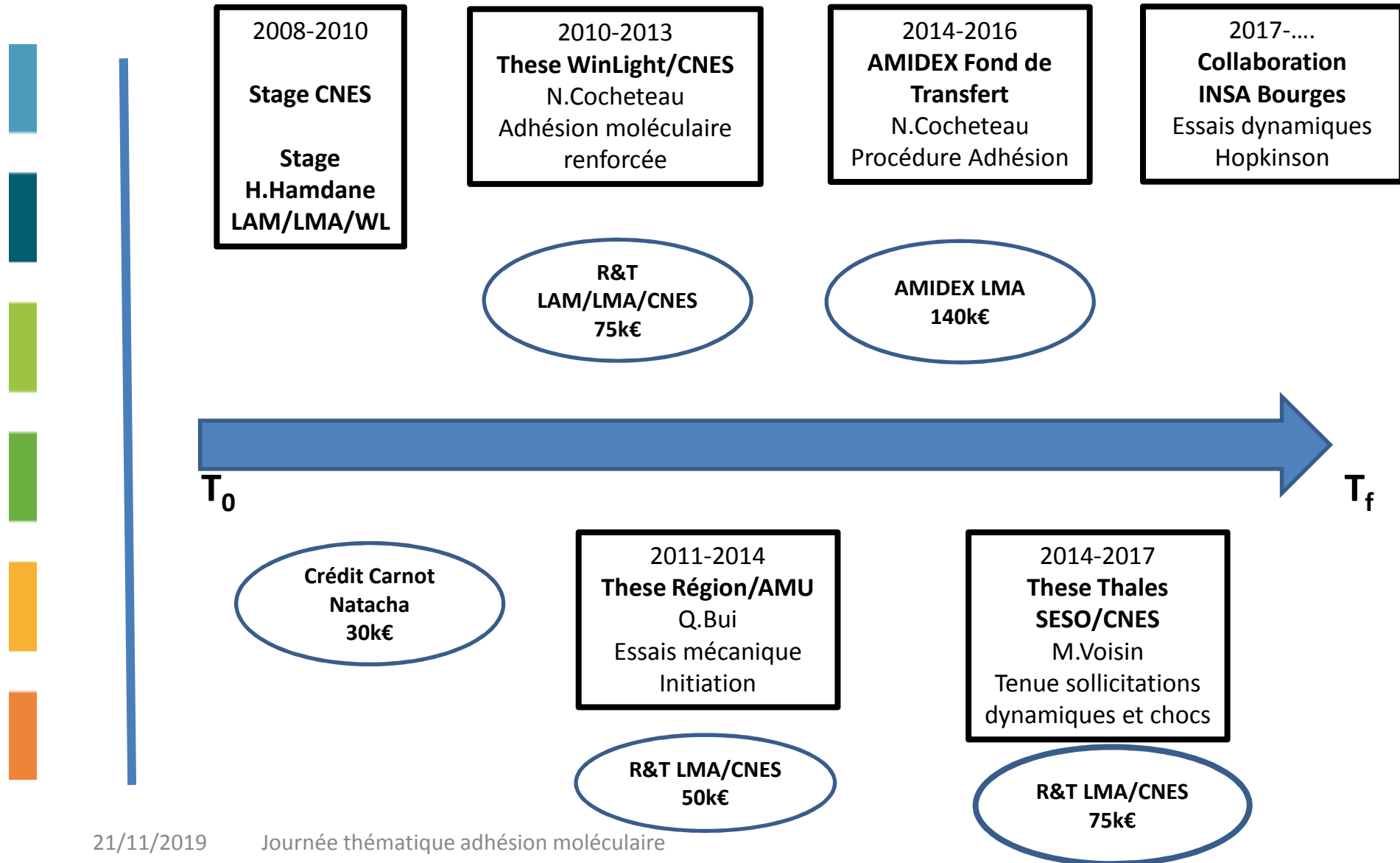


Synopsis





Synopsis





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 LARCLAUZE





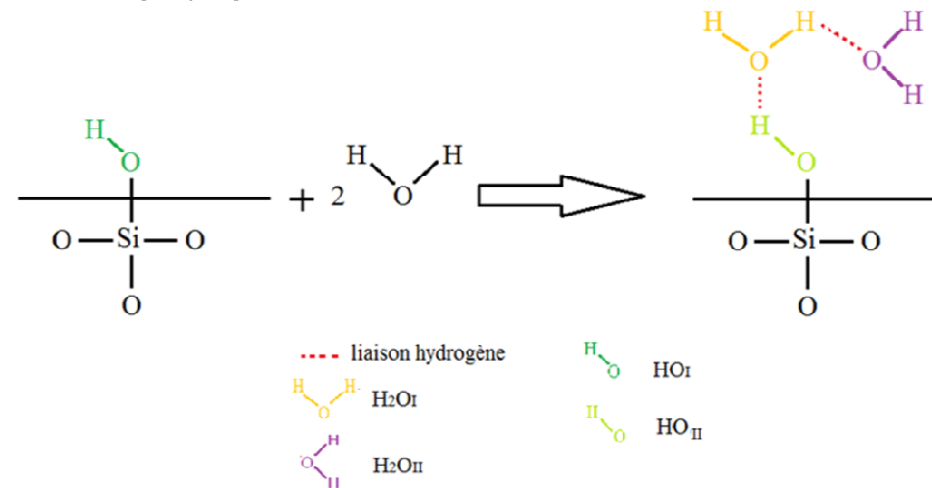
Spatialisation de la technologie:

- **Meilleure compréhension** des phénomènes mis en jeux
 - Influence de la rugosité des surfaces
 - Humidité
 - traitement thermique de l'interface
- **Renforcement du collage**: augmentation de la résistance mécanique des interfaces
 - La nature des liaisons
 - Traitement thermique
 - UV/Plasma
- **Caractérisation et Prédiction** de la résistance mécanique des interfaces adhérees
- **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]

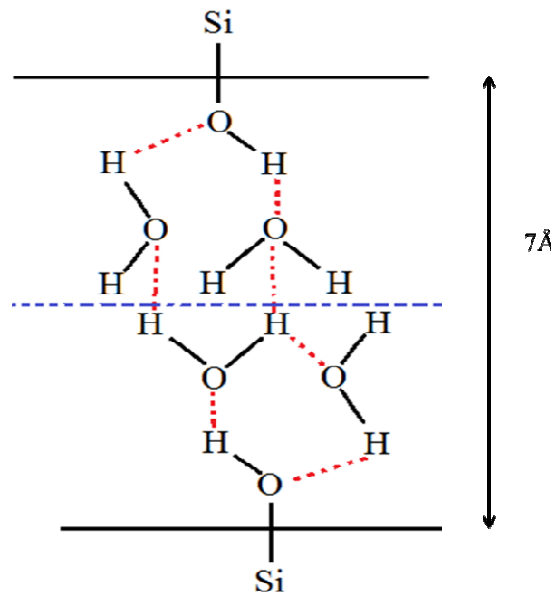


- Importance du rôle de l'humidité de l'air ambiant lors de la préparation des surfaces



Mécanisme chimique du collage à température ambiante

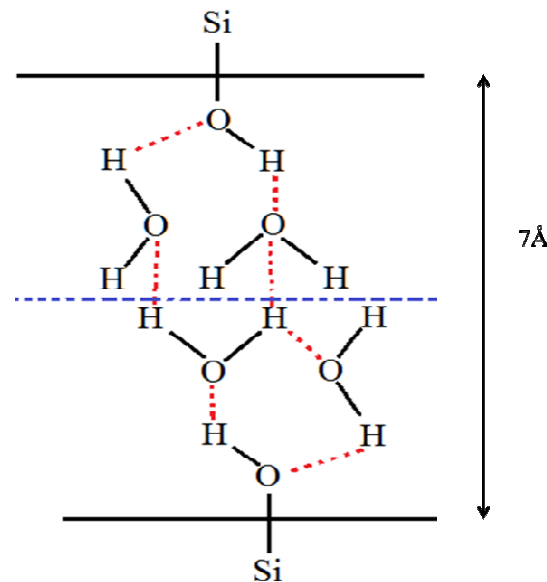
- Avant adhésion: Les surfaces hydrophiles se recouvrent de clusters d'eau
- Mise en contact des surfaces: des liaisons hydrogènes apparaissent entre les clusters d'eau présents sur les deux surfaces [2]





Evolution de l'interface avec un traitement thermique

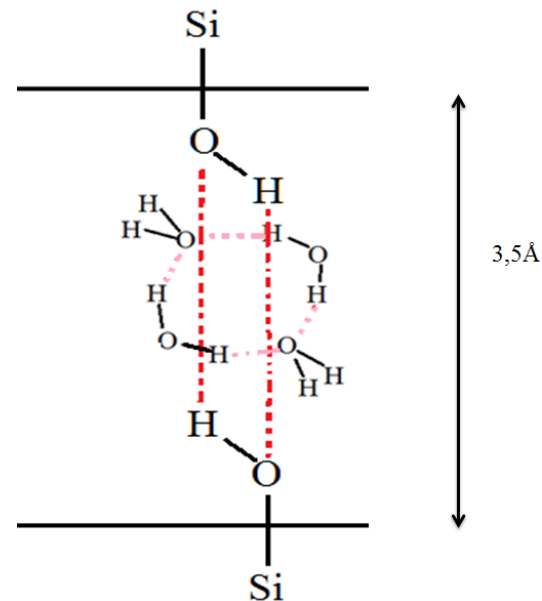
- Dans le cadre d'un wafer de silicium recouvert de sa couche d'oxyde
- $T < 200^{\circ}\text{C}$: Surfaces en contact via les clusters [2]





Evolution de l'interface avec un traitement thermique

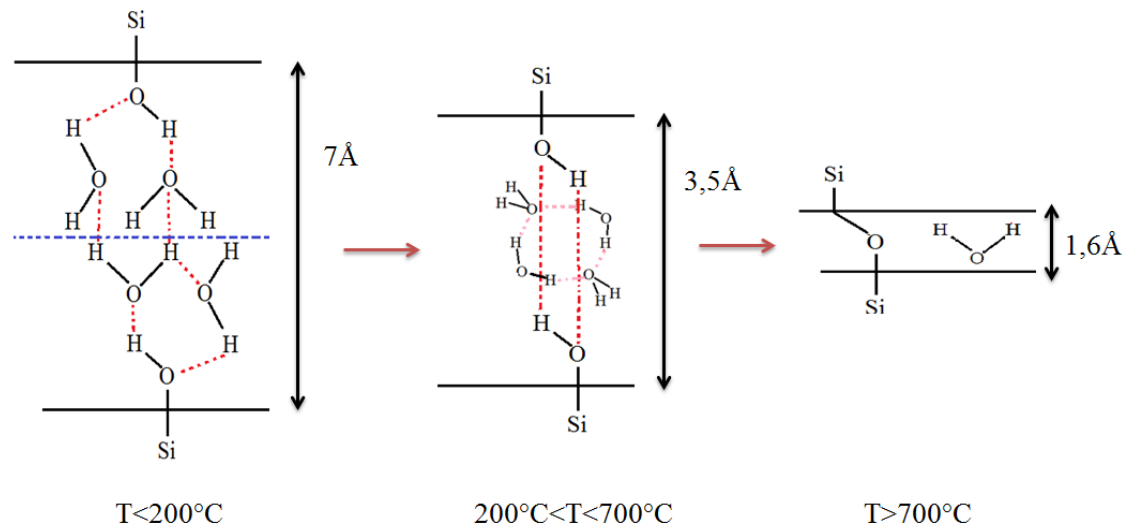
- Dans le cadre d'un wafer de silicium recouvert de sa couche d'oxyde
- $T < 200^{\circ}\text{C}$: Surfaces en contact via les clusters
- $200^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$: Apparition d'une double liaison hydrogène et d'un tétramère d'eau





Evolution de l'interface avec un traitement thermique

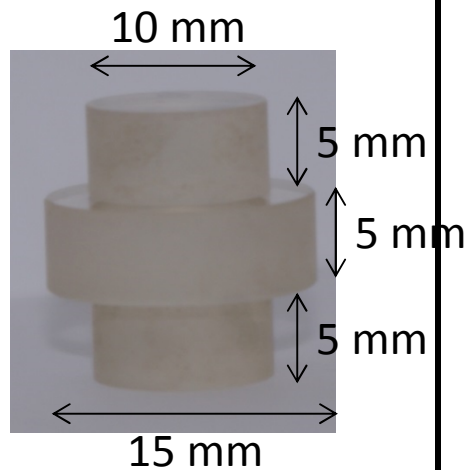
- Dans le cadre d'un wafer de silicium recouvert de sa couche d'oxyde
- $T < 200^{\circ}\text{C}$: Surfaces en contact via les clusters
- $200^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$: Apparition d'une double liaison hydrogène et d'un tétramère d'eau
- $T > 700^{\circ}\text{C}$: Polymérisation des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



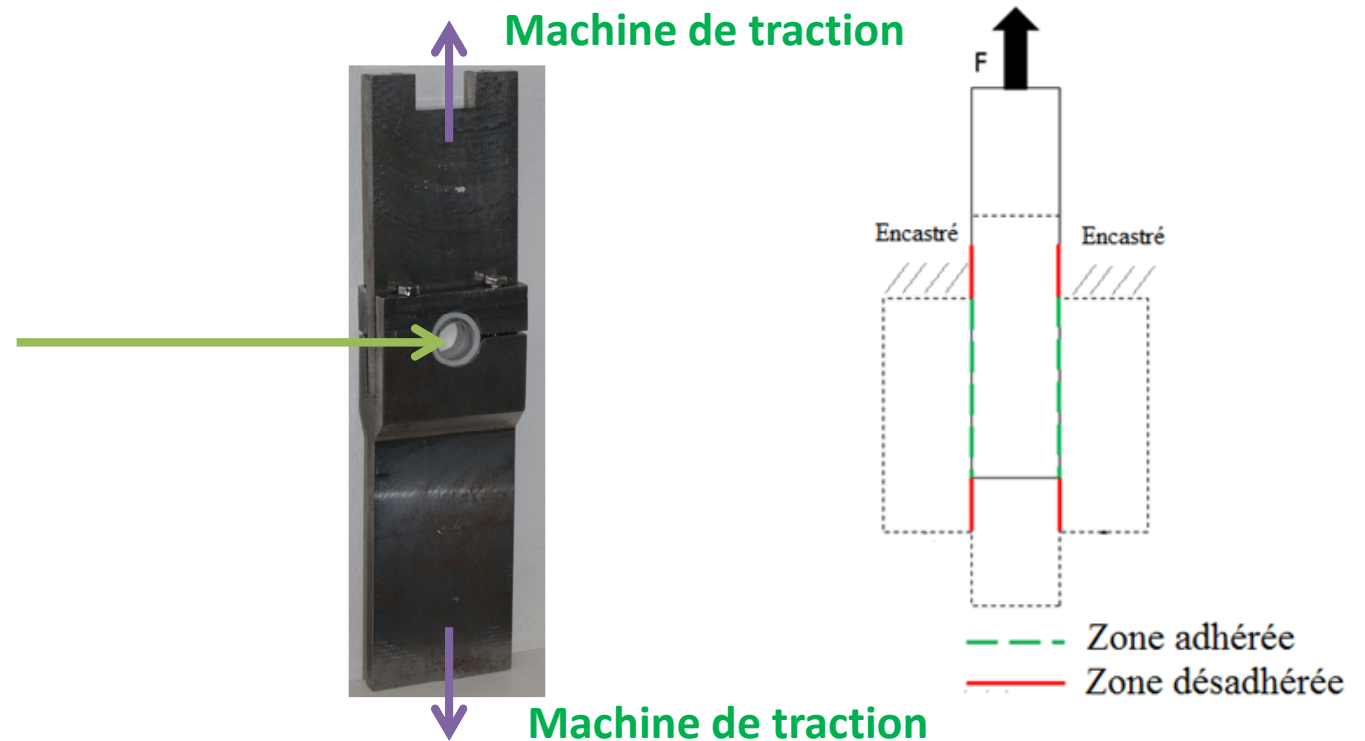


Essais Mécaniques

Double cisaillement



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





Essais Mécaniques

Double cisaillement

Objectifs:

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

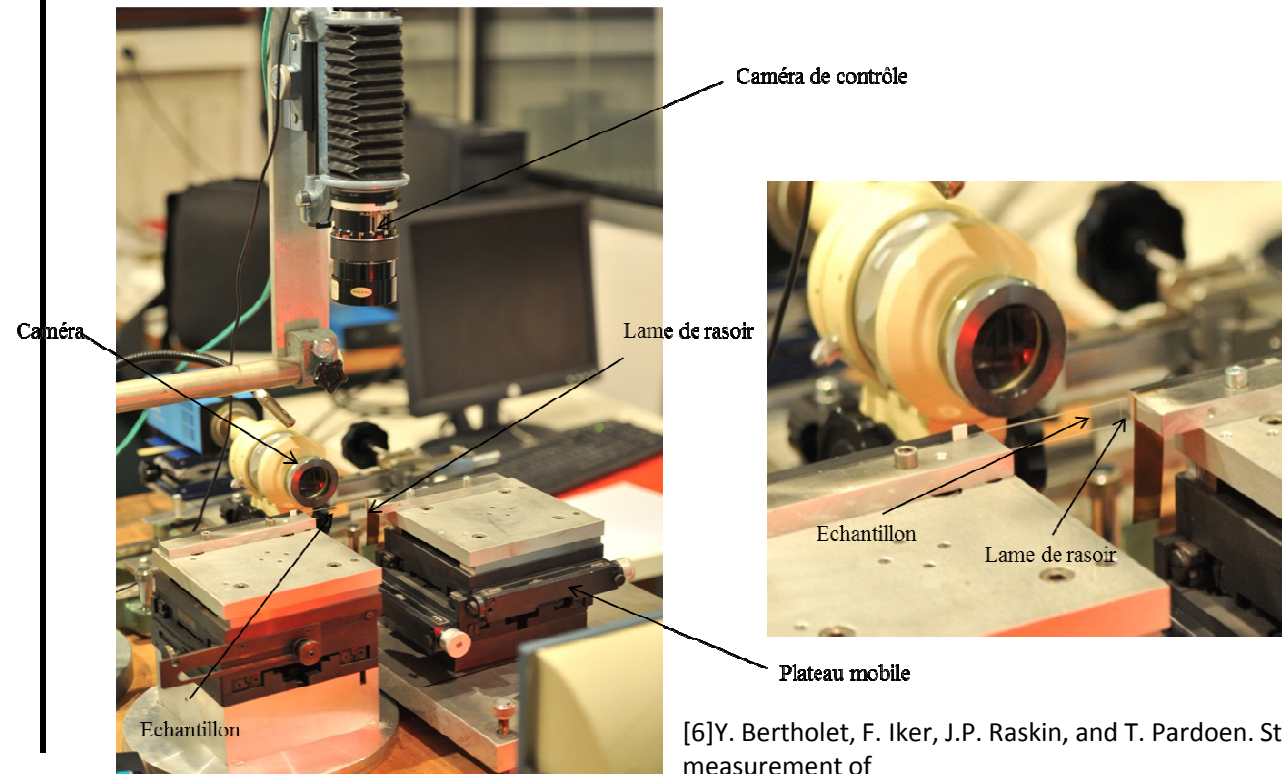
Matériaux	T (°C)	Durée (h)	Rugosité (nm RMS)	Taux d'humidité (%)
Zérodur	100, 150, 200, 400, 550	15	4	55
Zérodur	130	120	2, 6, 10	55
Zérodur	X	X	4	32, 55, 82
Verre de silice	100, 200, 400, 700, 800, 900	15	4	55
Verre de silice	200	1, 15, 35, 120	4	55
Verre de silice	200	120	2, 4, 6, 10	55
Verre de silice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



Essais Mécaniques

Clivage au coin Essais Maszara

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

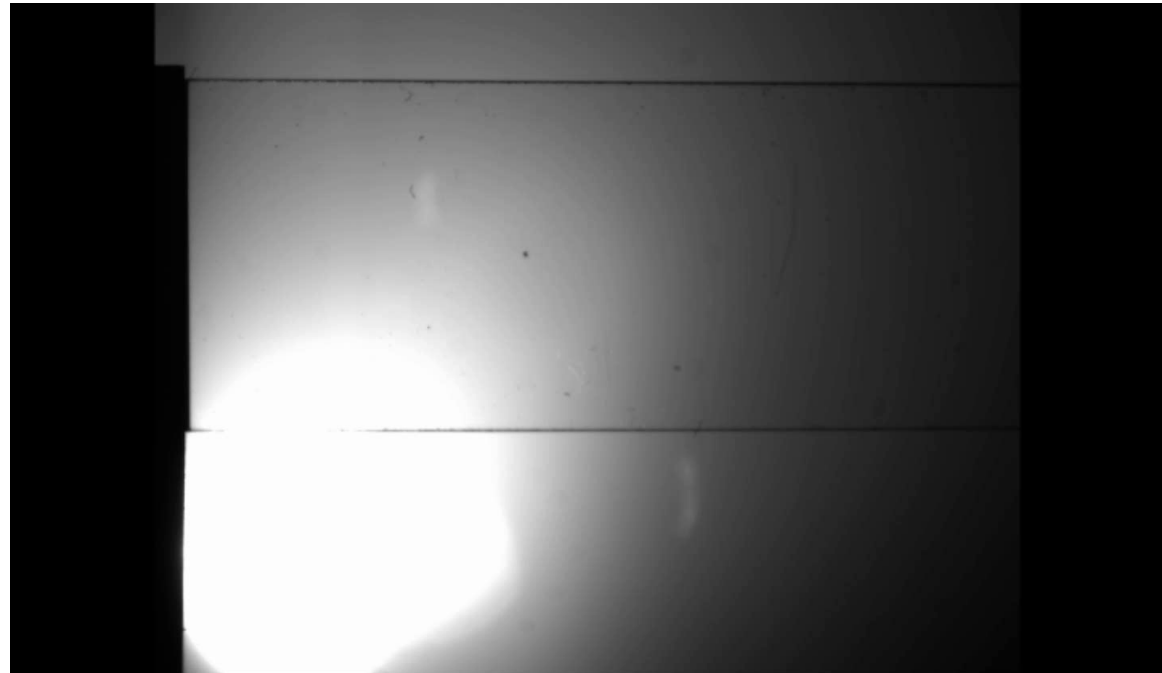
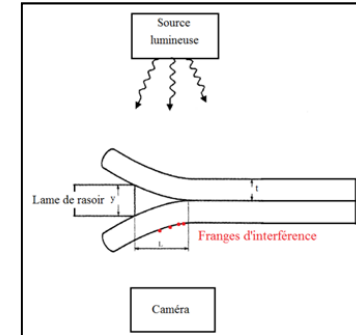
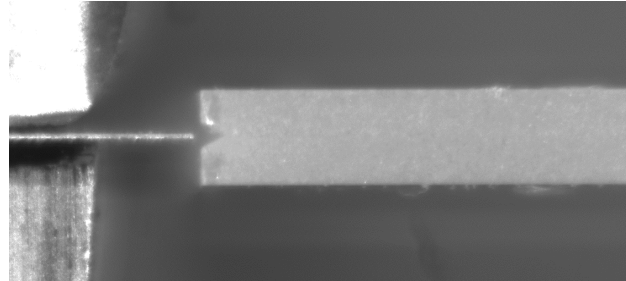


- [6] Y. Bertholet, F. Iker, J.P. Raskin, and T. Pardoën. Steady-state measurement of wafer bonding cracking resistance. Sensors and Actuators A, 110 :157163, 2004
- [7] J. Cognard. The mechanics of the wedge test. The Journal of Adhesion, 20 :113,1986



Essais Mécaniques

Clivage au coin Essais Maszara





Essais Mécaniques

Clivage au coin Essais Maszara

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

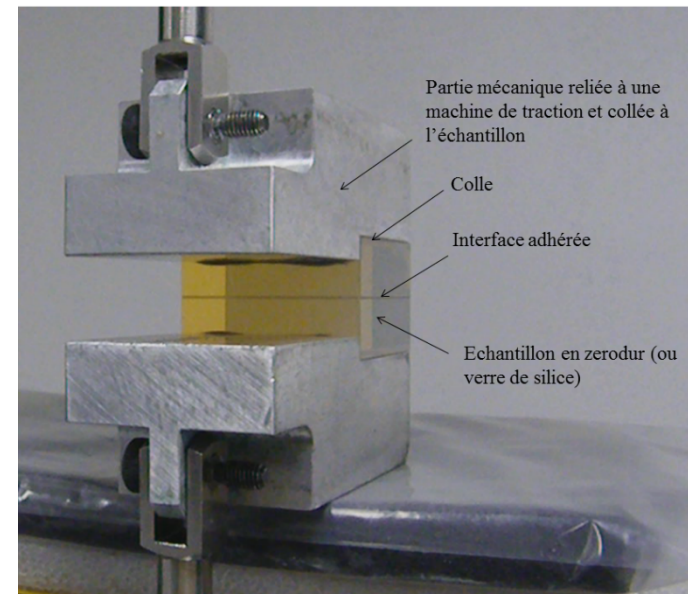
T (°C)	Durée (h)	Rugosité (nm RMS)
x	X	0,4
x	X	0,8
100	5, 30, 120	0,4
100	5, 30, 120	0,8
200	5, 30, 120	0,4
200	5, 30, 120	0,8



Essais Mécaniques

Clivage

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

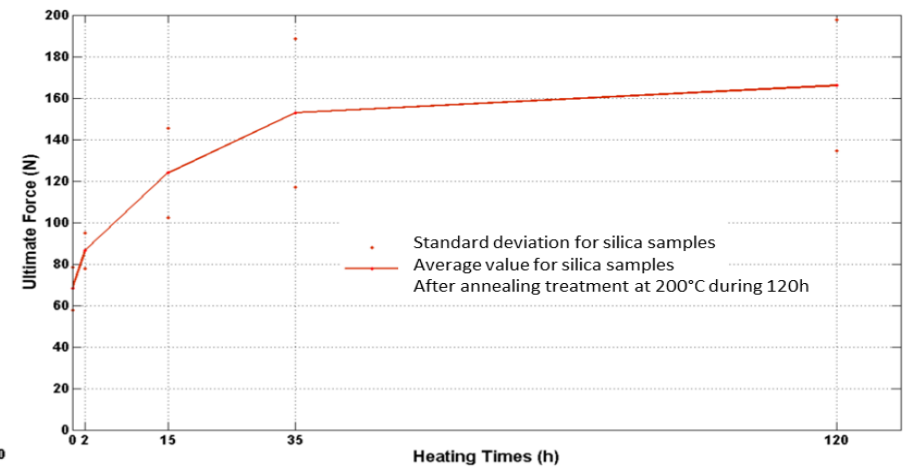
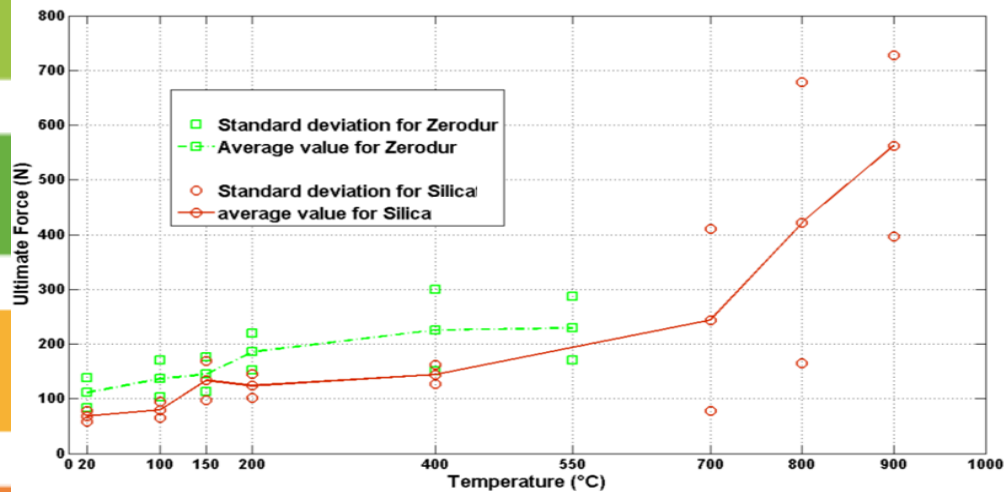




Traitement thermique

Résultats:

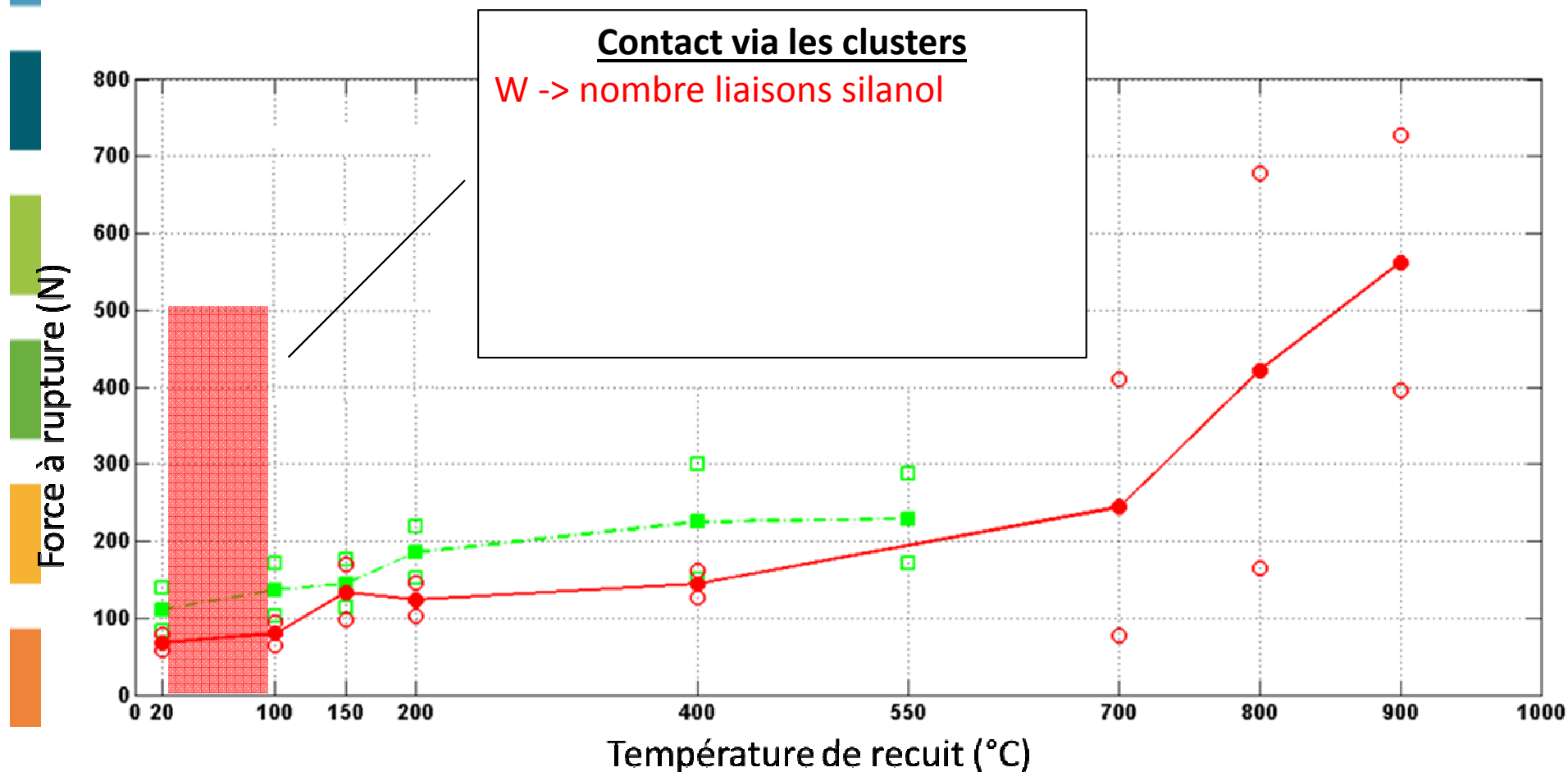
- Le zérodur est un meilleur candidat pour l'adhésion
- Quasi réversibilité du collage
- Influence de la température et durée de recuit





Traitement thermique

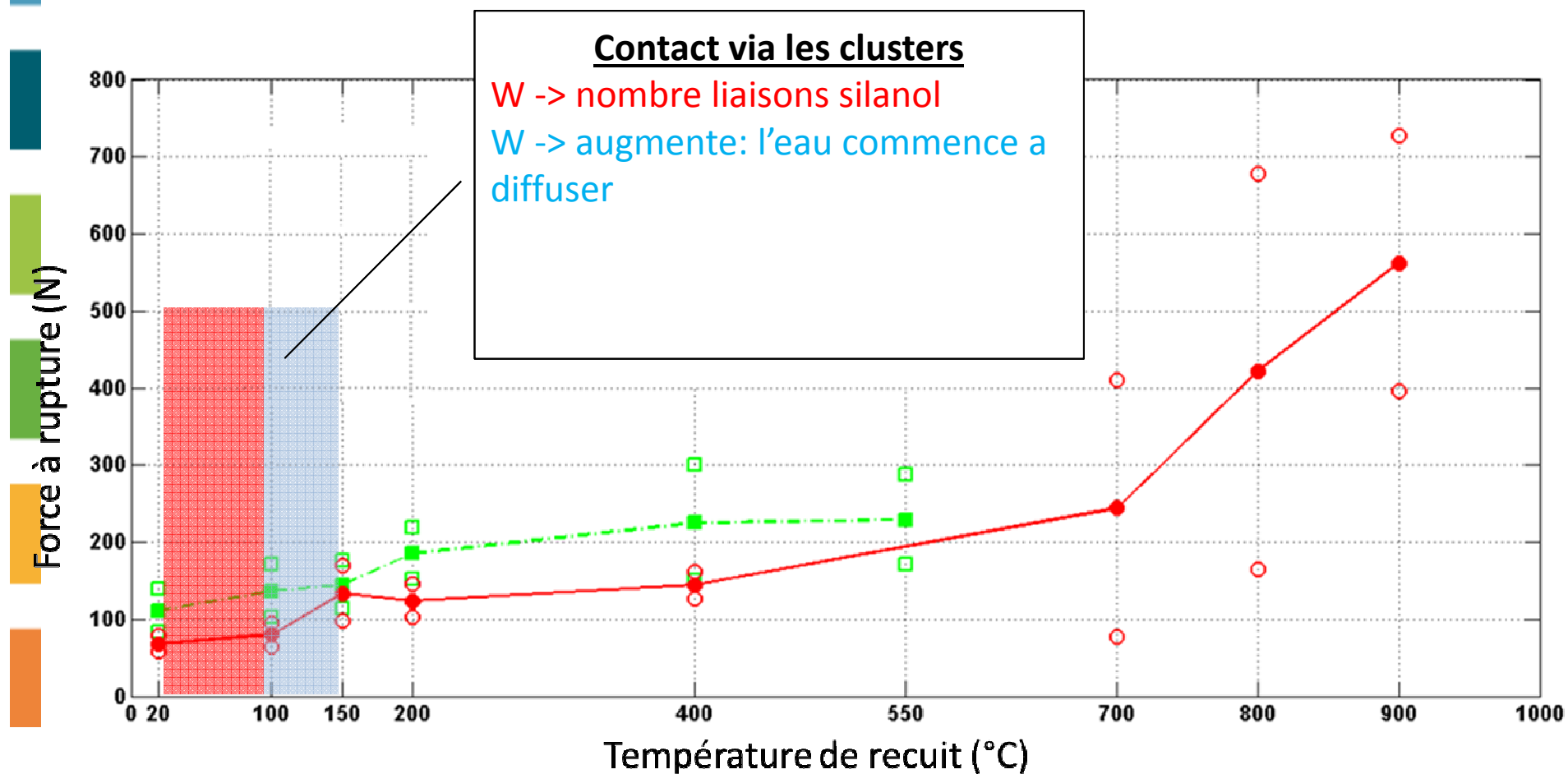
Résultats:





Traitement thermique

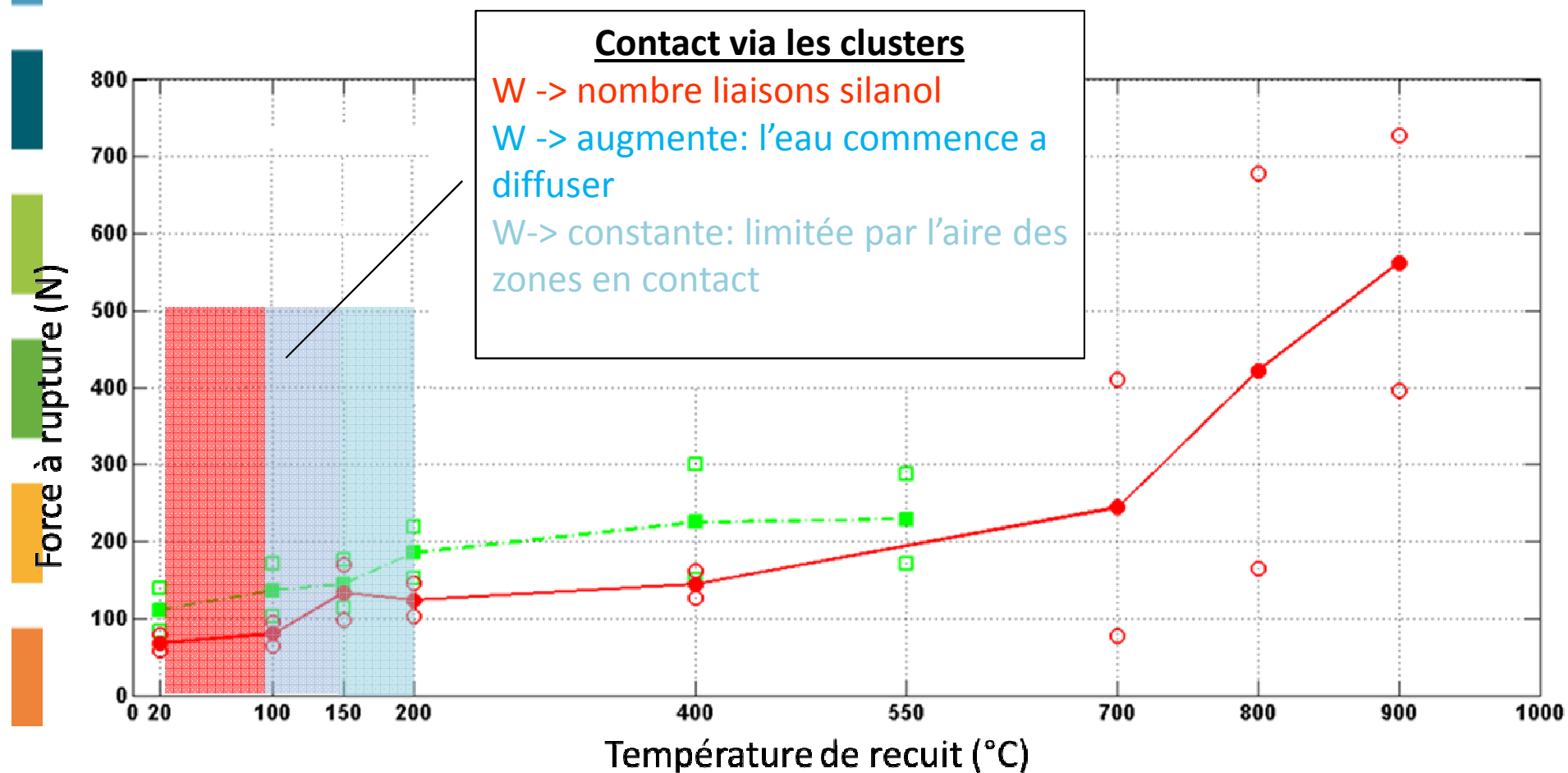
Résultats:





Traitement thermique

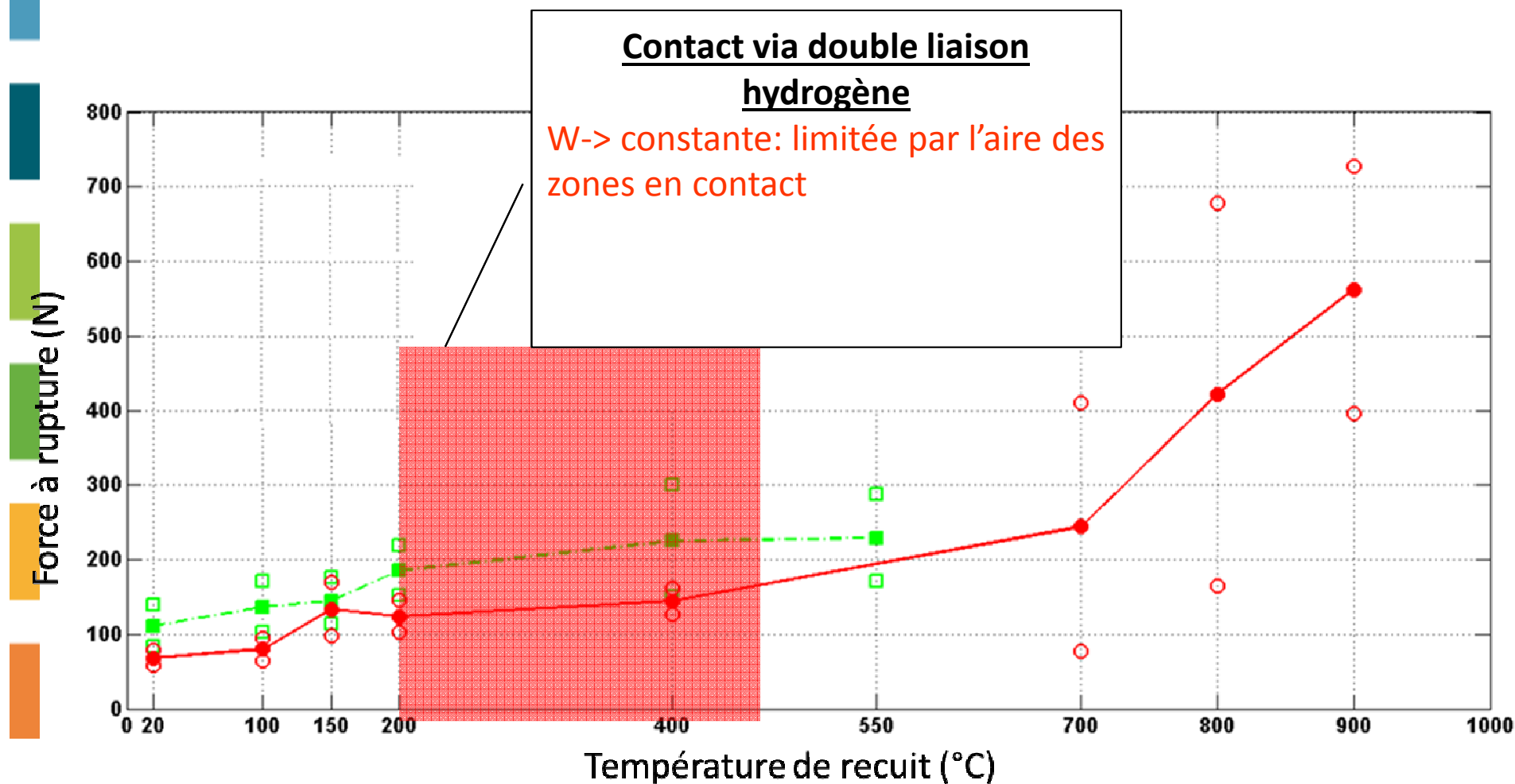
Résultats:





Traitement thermique

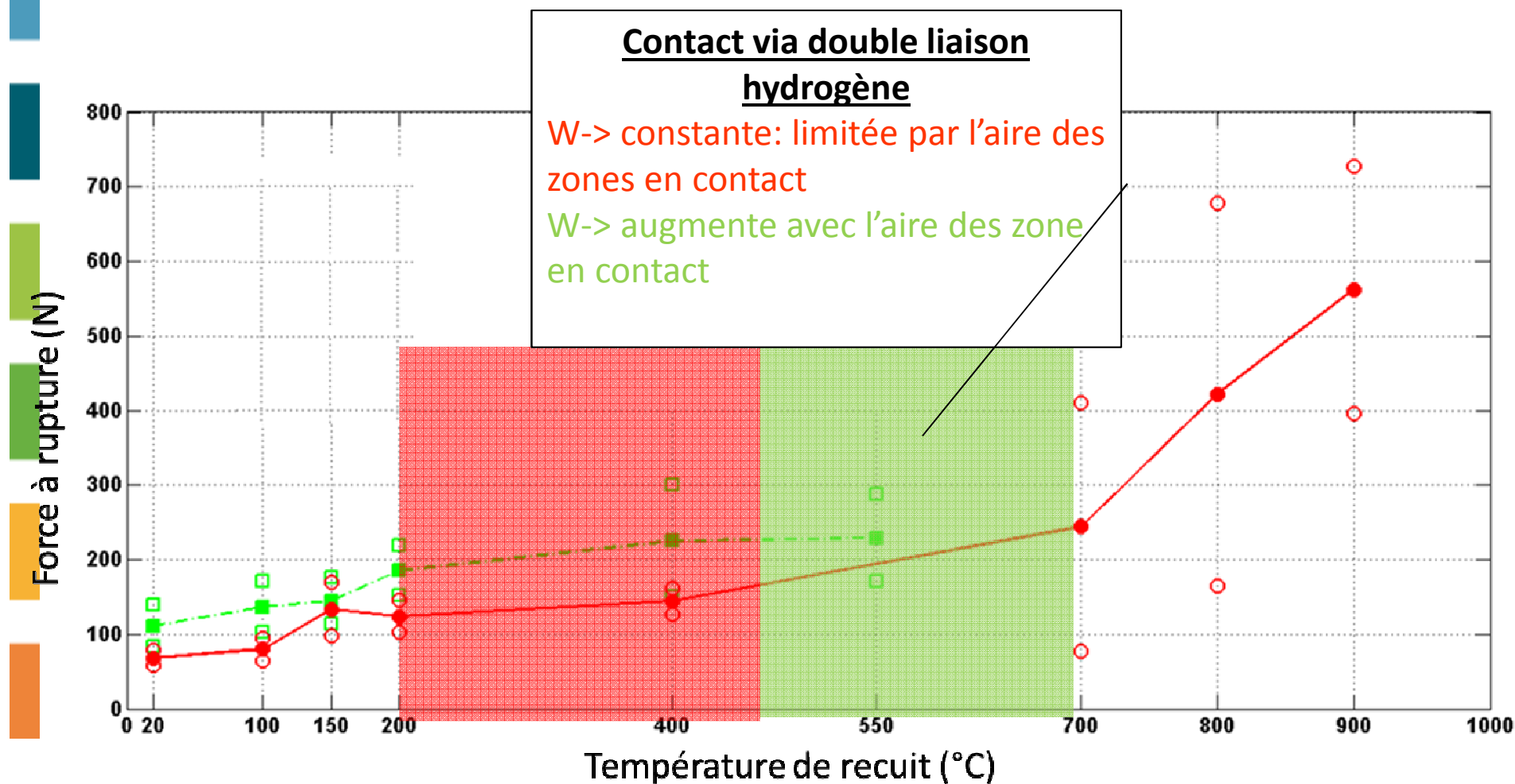
Résultats:





Traitement thermique

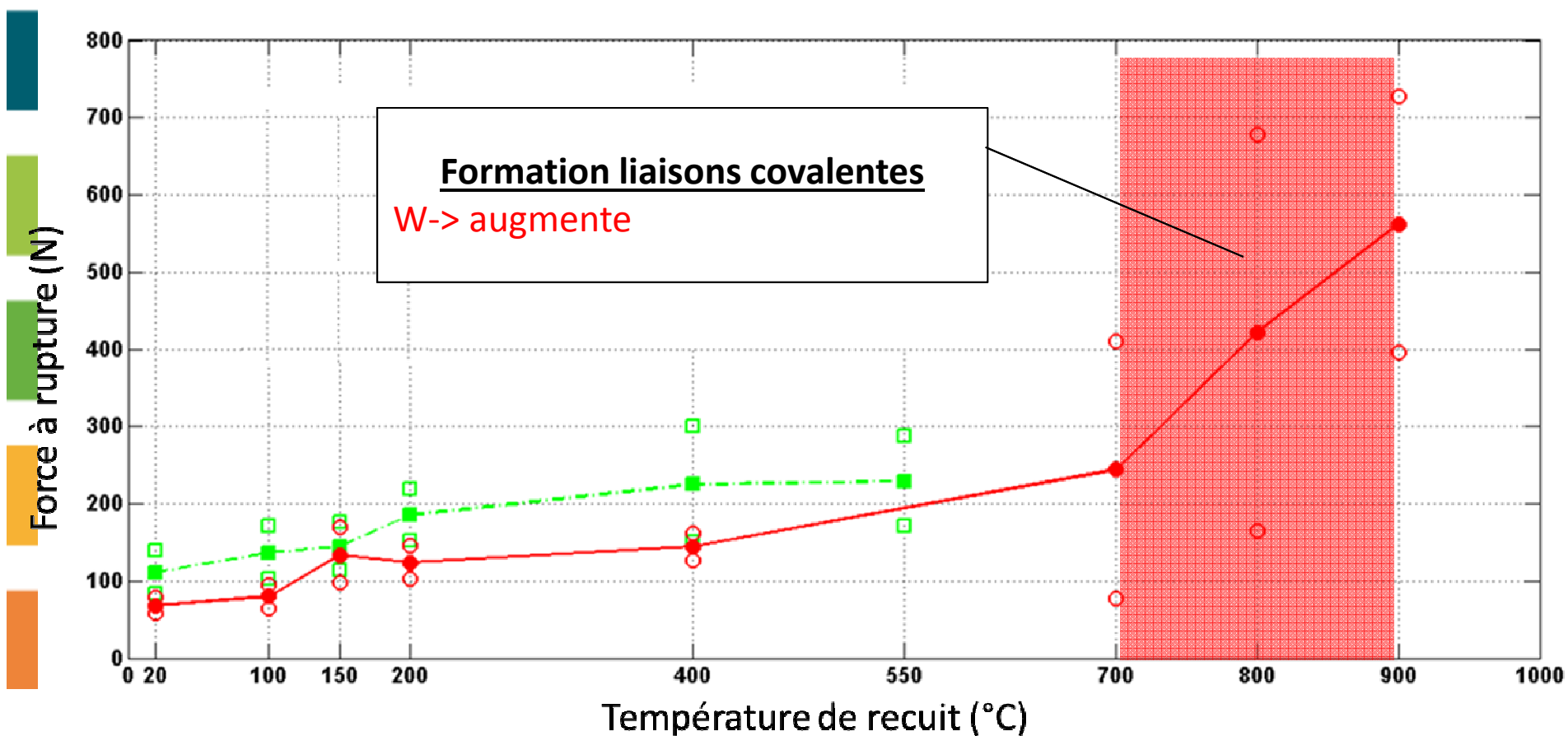
Résultats:





Traitement thermique

Résultats:

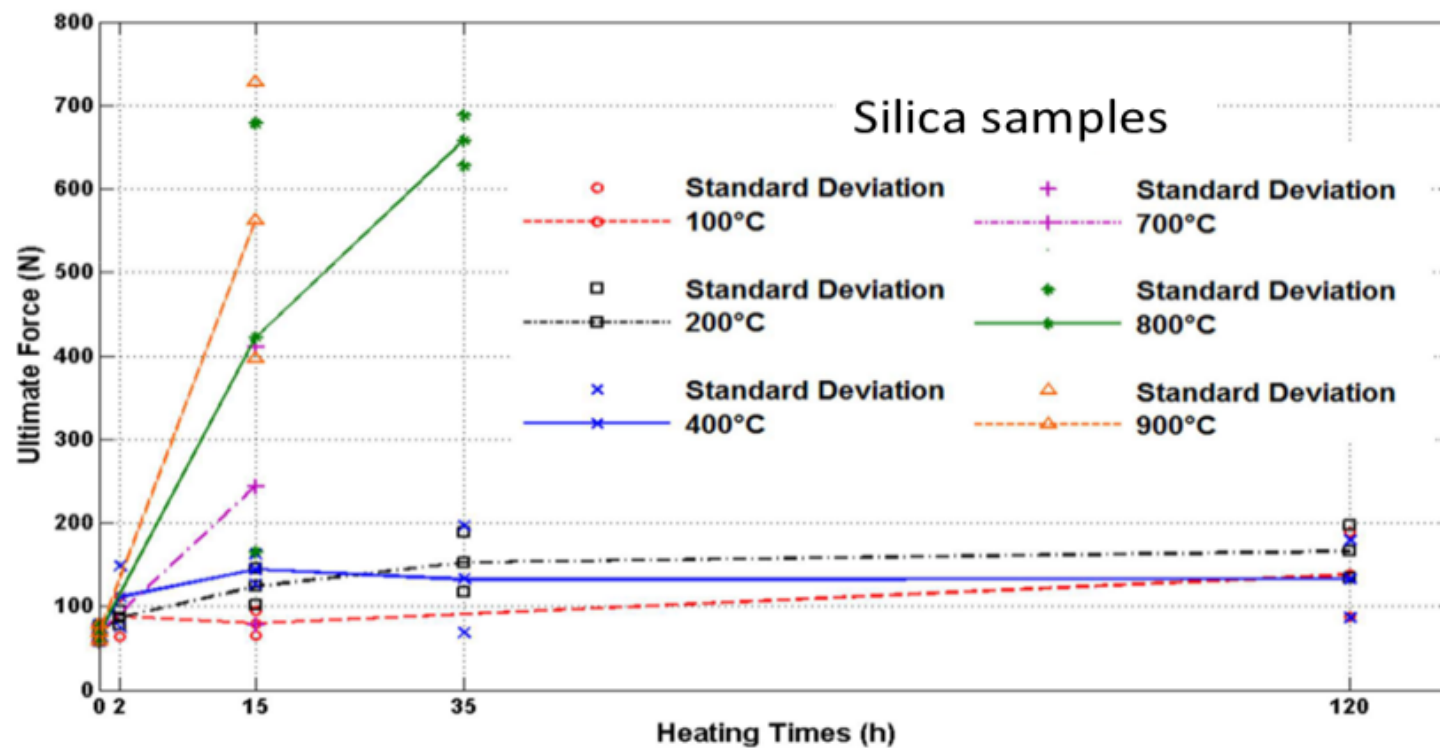




Traitement thermique

Résultats:

- Equivalence temps-température

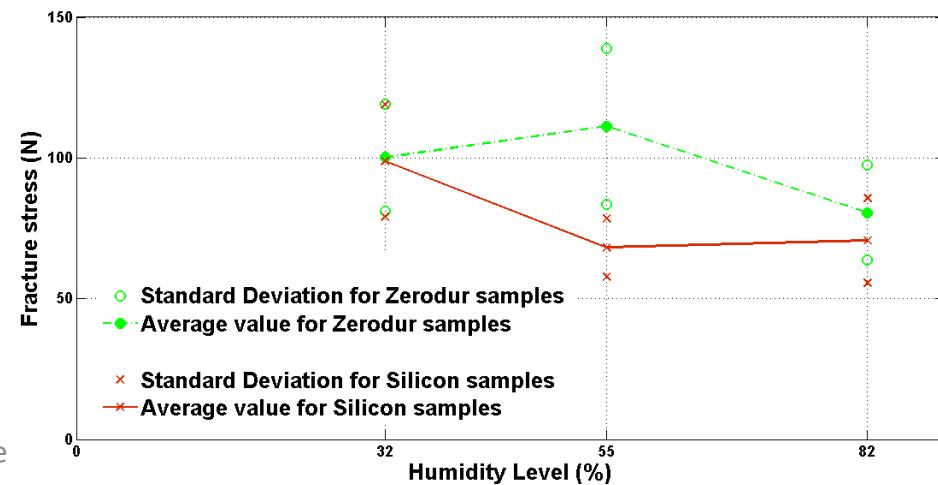
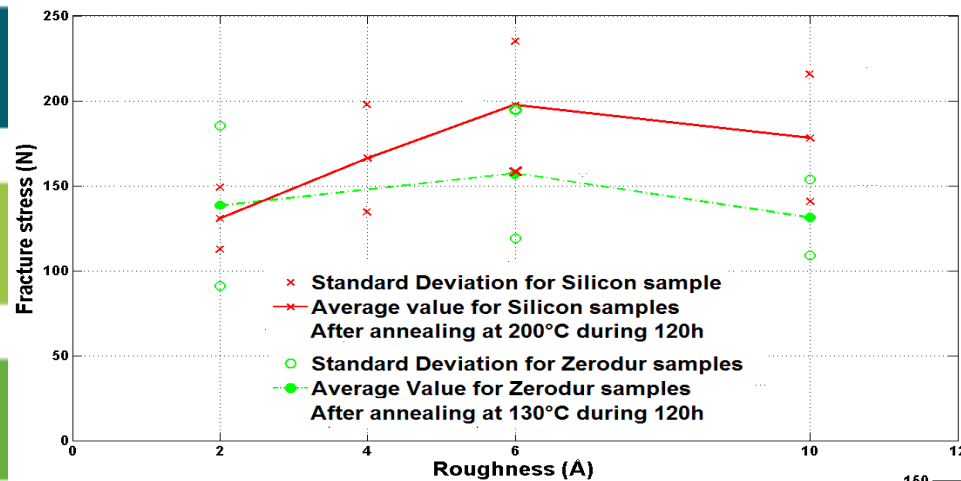




Traitement thermique

Résultats:

- Influence de la rugosité et de l'humidité

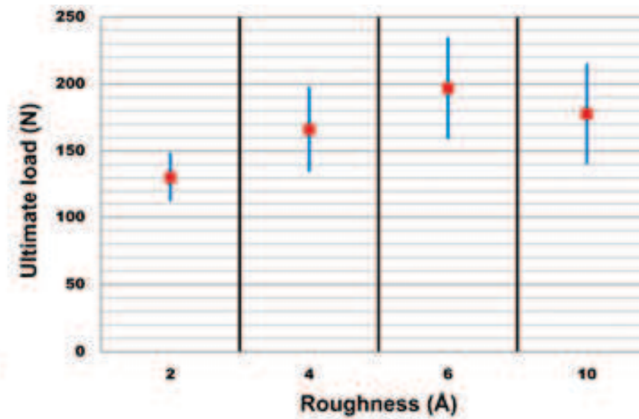
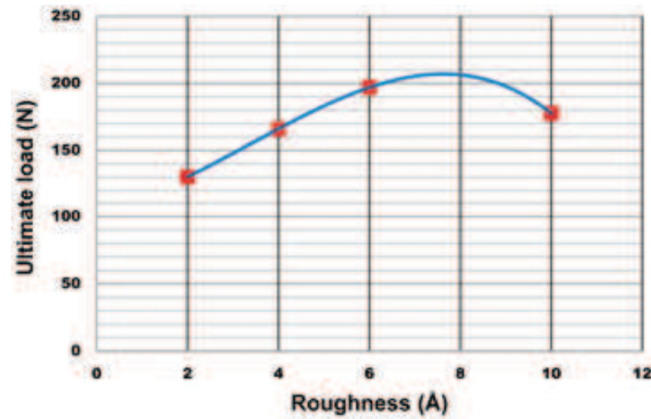




Influence de la rugosité

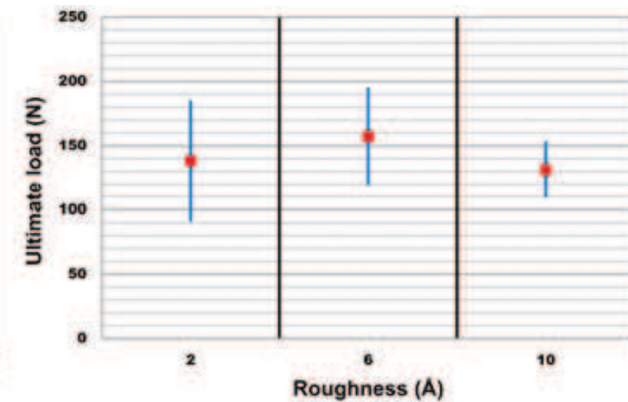
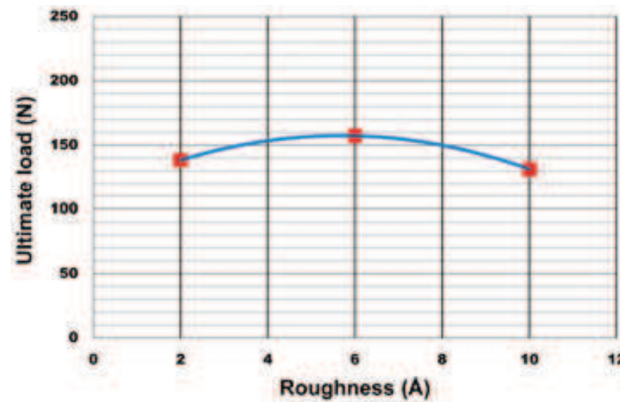
Il apparait un optimum de rugosité

Essai de double cisaillement
Limite de rupture



Verre de silice
200 °C 120 h

Zérodur
130 °C 120 h





Influence de la rugosité

Modèle 1

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

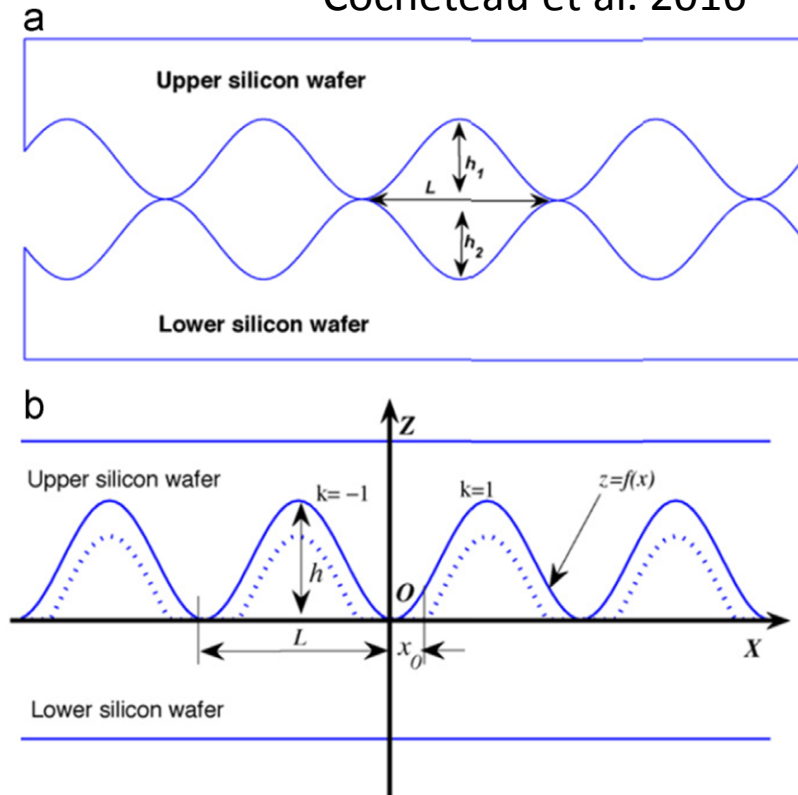
x_0 longueur de la zone de contact, L taille
des aspérités, R rayon des aspérités

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

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

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

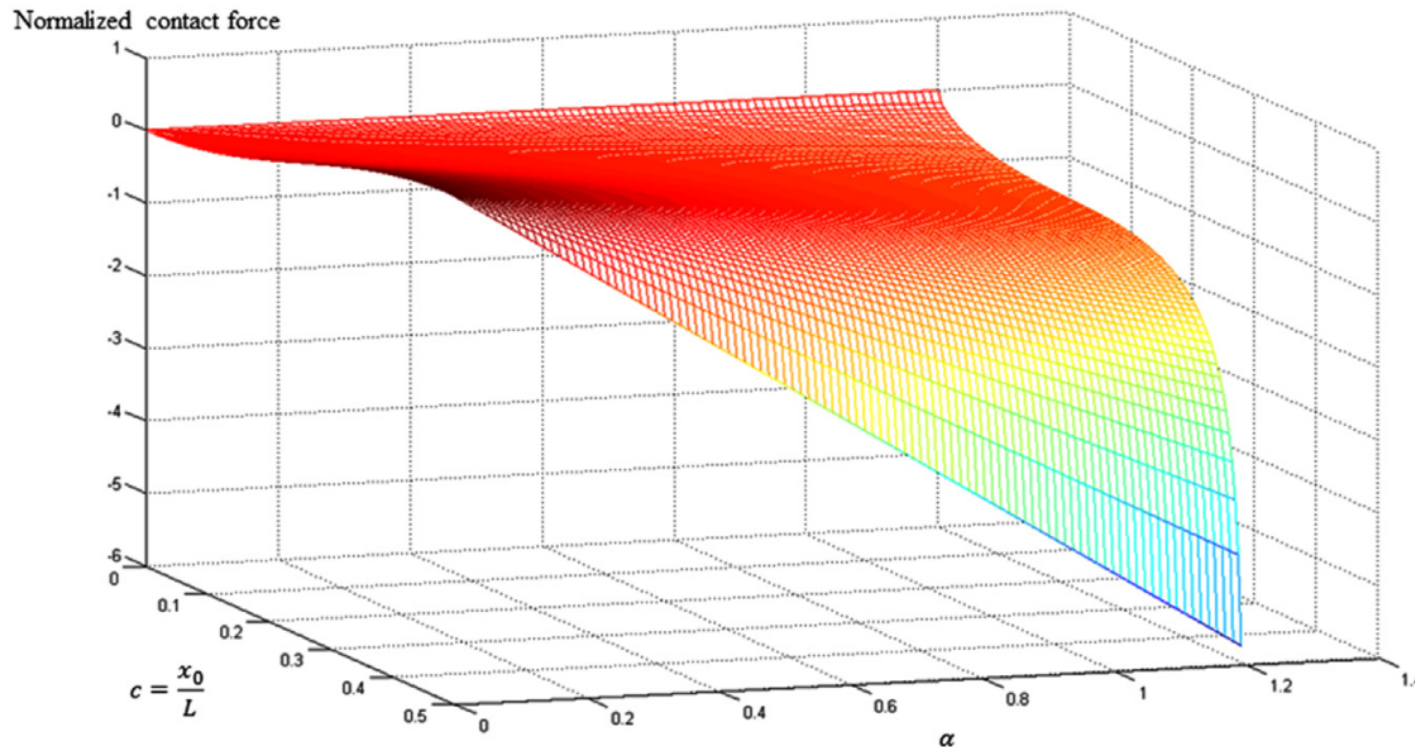
Cocheteau et al. 2016





Influence de la rugosité

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



Influence de la rugosité

Modèle 2

Surface plane

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

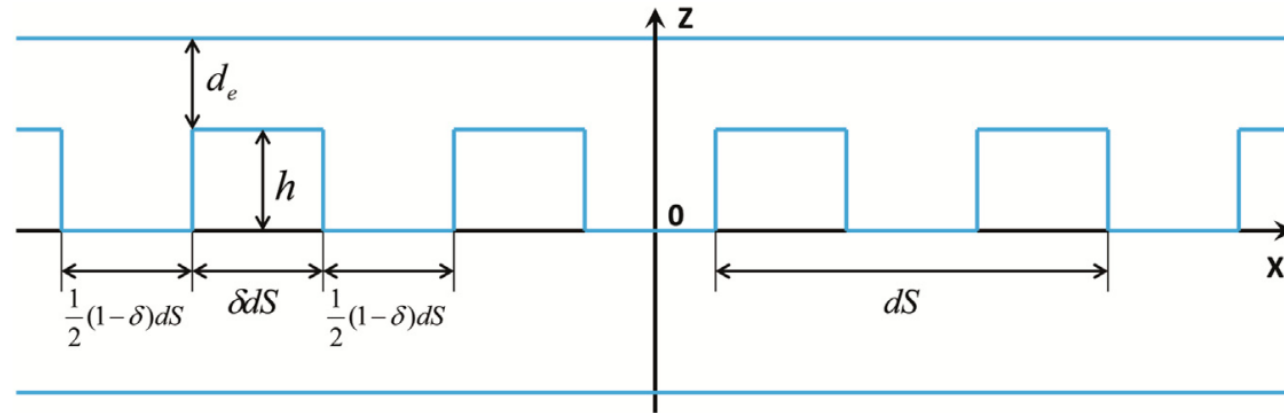
$$w = \int_{d_c}^{+\infty} \frac{A}{3\pi d_c^3} \left[\left(\frac{d_c}{d} \right)^3 - \left(\frac{d_c}{d} \right)^9 \right] dl \, ds$$

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



Influence de la rugosité

Modèle 2



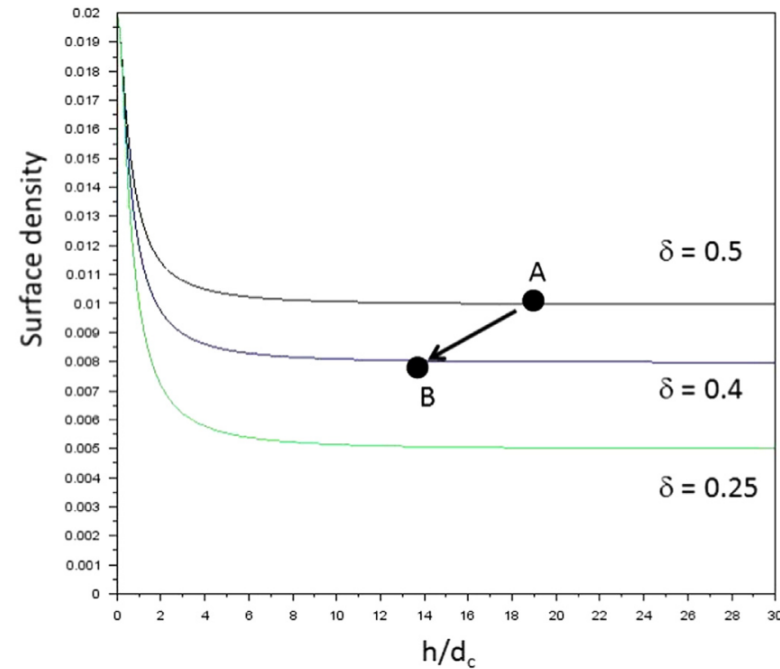
$$T = \frac{A}{6\pi d_c^3} \left[\delta \left(\frac{d_c}{d} \right)^3 - \delta \left(\frac{d_c}{d} \right)^9 + (1 - \delta) \left(\frac{d_c}{d+h} \right)^3 - (1 - \delta) \left(\frac{d_c}{d+h} \right)^9 \right] z$$

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



Influence de la rugosité

Modèle 2

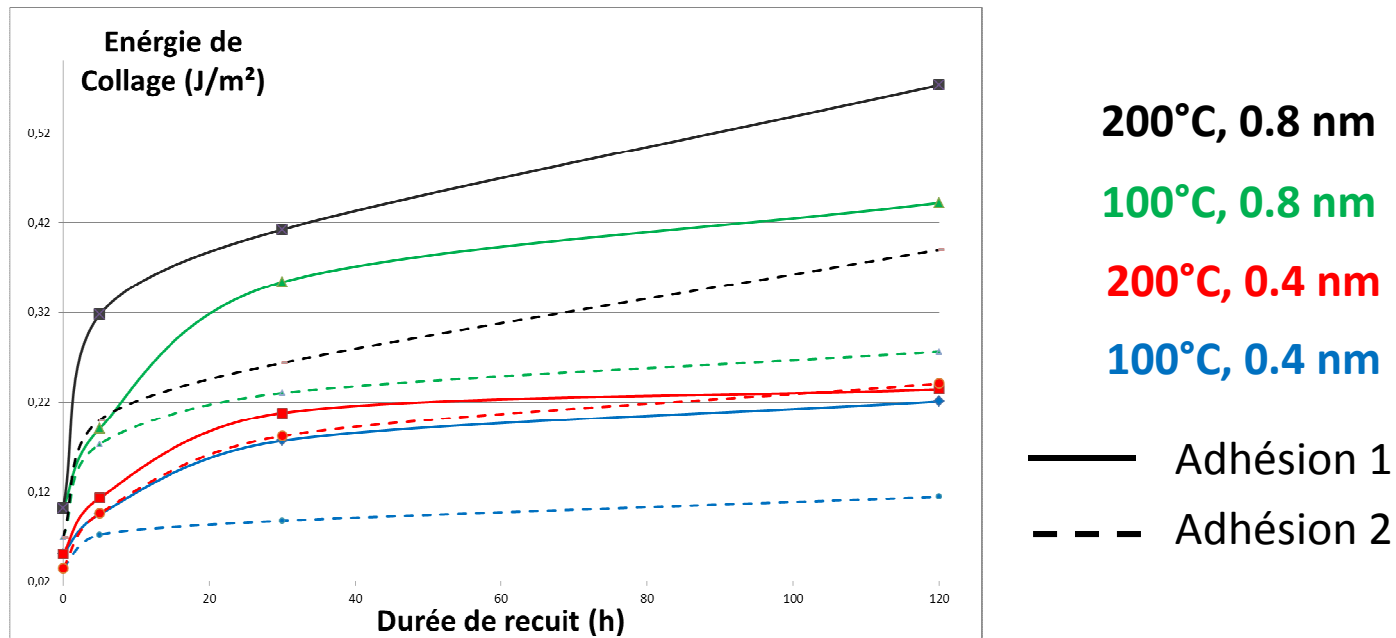


- Pour une valeur donnée de la largeur de l'aspérité, l'énergie croît avec la diminution de la hauteur de l'aspérité.
 - Réciproquement, pour une valeur donnée de la hauteur de l'aspérité, l'énergie croît avec la croissance de la largeur de l'aspérité.
- Néanmoins, les effets conjugué d'une décroissance de la largeur et de la hauteur de l'aspérité peut à une décroissance de l'énergie 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



Modèle Phénoménologique

Modèle cinétique et énergie de collage

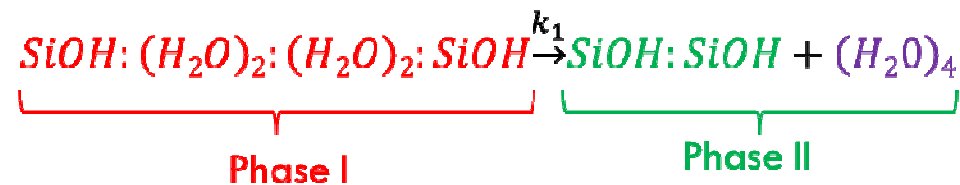
$T < 200^{\circ}\text{C}$

$200^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$

- 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:

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

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



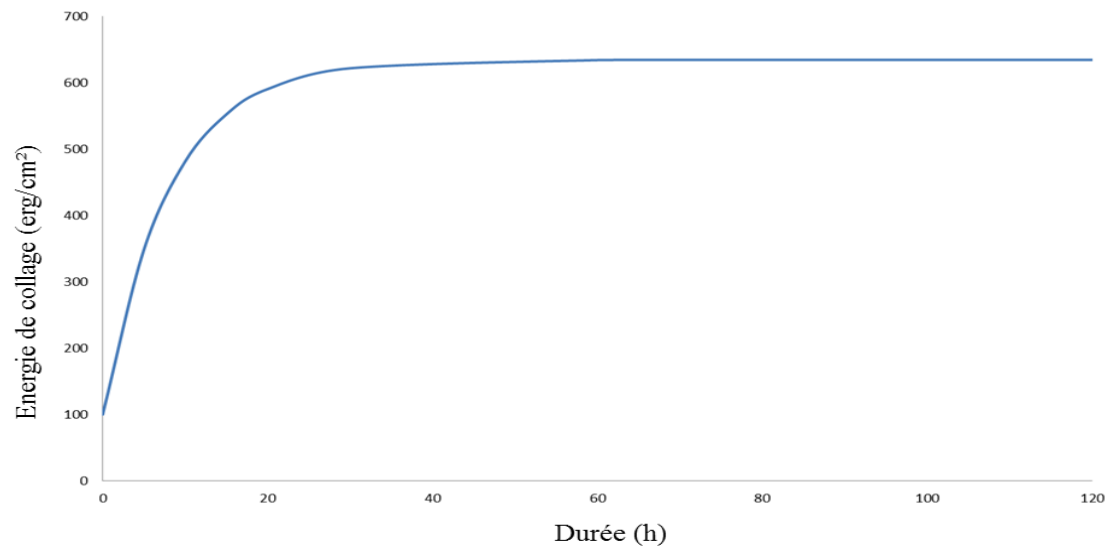


Modèle Phénoménologique

Modèle cinétique et énergie de collage

$T < 200^{\circ}\text{C}$

$200^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$



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

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



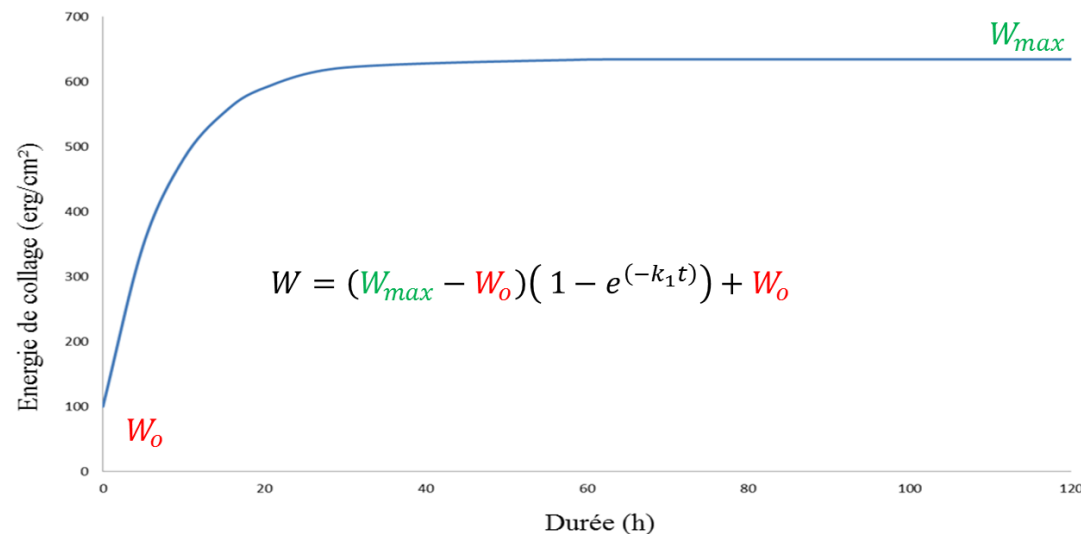
Modèle Phénoménologique

- Modèle cinétique :

$$W = (W_{max} - W_o)(1 - e^{(-k_1 t)}) + W_o$$

$$k_1 = \frac{1}{\tau} e^{(-\frac{Ea}{RT})}$$

- W_{max} correspond à l'énergie de collage après un temps infini de traitement
- W_o correspond à l'énergie de collage initiale





Modèle Phénoménologique

- Modèle cinétique [1]:

$$W = (W_{max} - W_0)(1 - e^{(-k_1 t)}) + W_0$$

$$k_1 = \frac{1}{\tau} e^{(-\frac{Ea1}{KT})}$$

- W_{max} correspond à l'énergie de collage après un temps infini de traitement
- W_0 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:

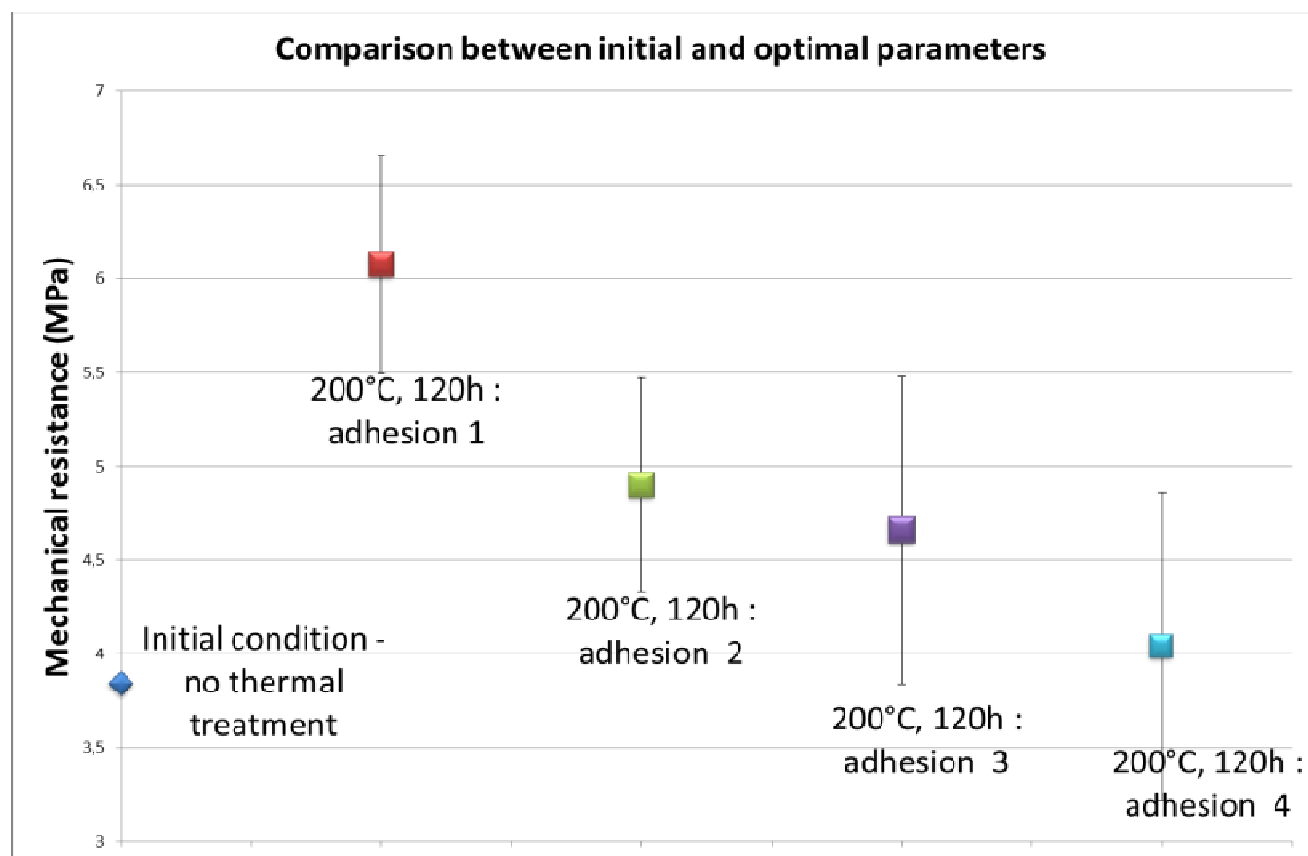
$$W^n(T, t, R) = z(R, n)(W_{max}(T, R) - W_0(R))(1 - e^{(-k_1(T)t)}) + W_0(R)$$



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



Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur



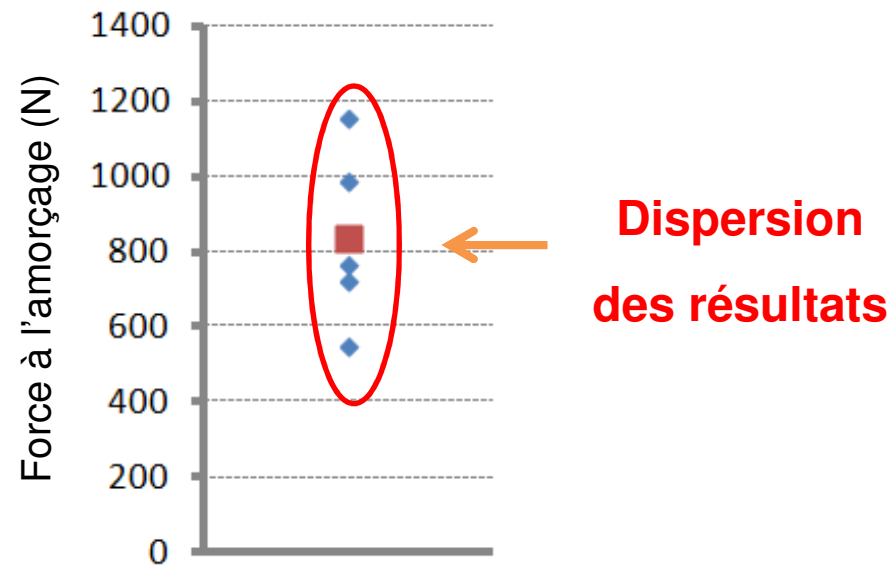


Objectifs

❑ 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

$$G_c \approx 0,234 \text{ J/m}^2 \ll G_c = 300 \text{ J/m}^2$$

(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**

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

❑ Objectifs: **Caractériser la résistance à l'amorçage en mode I**

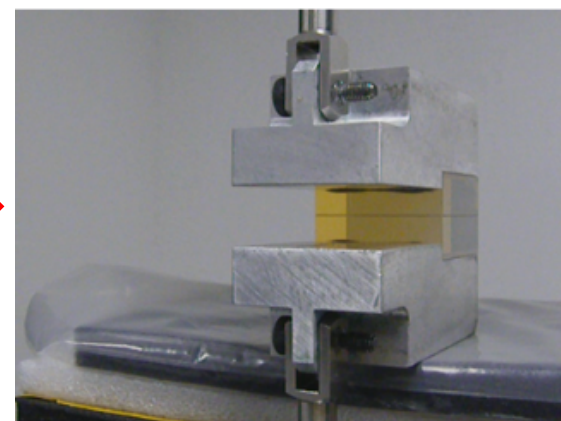
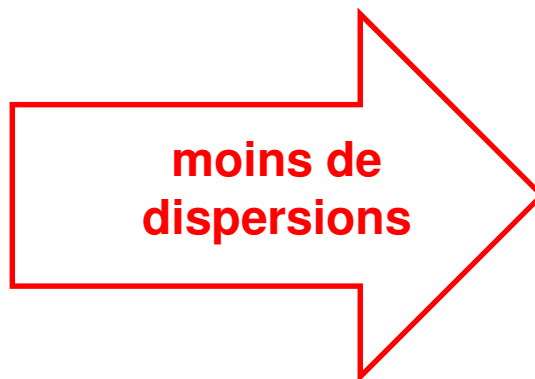
- **Diminuer la sensibilité aux défauts**
- **Analyser des critères d'amorçage classiques**



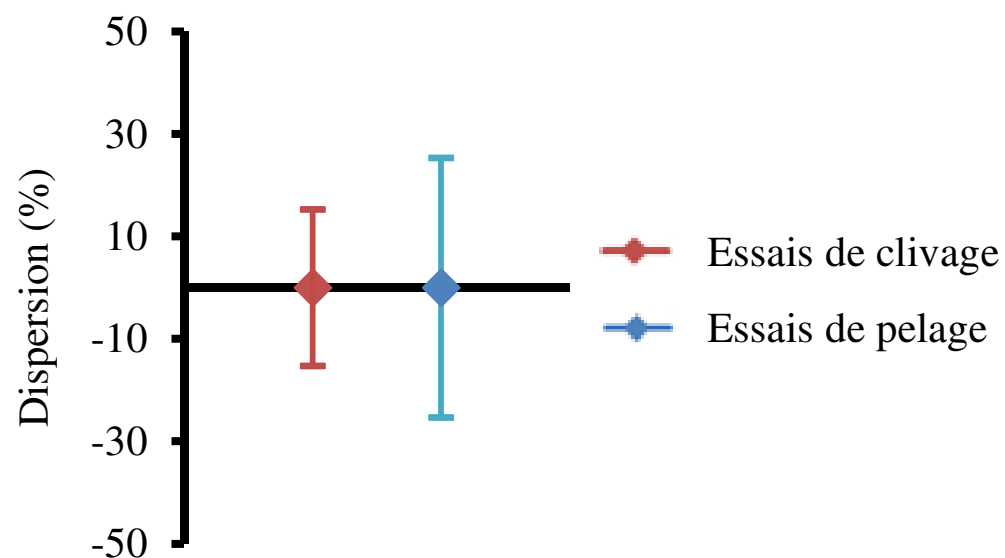
Nouvel Essai d'amorçage



Essais de pelage

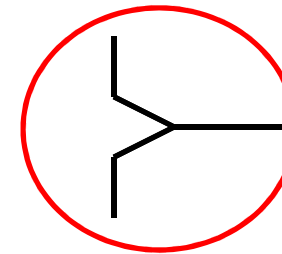
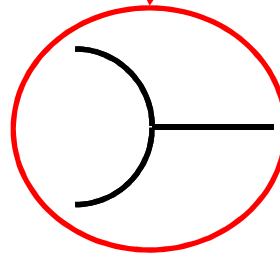
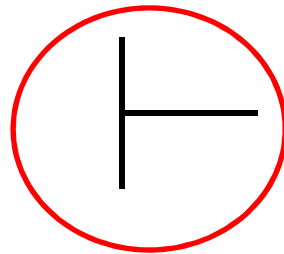
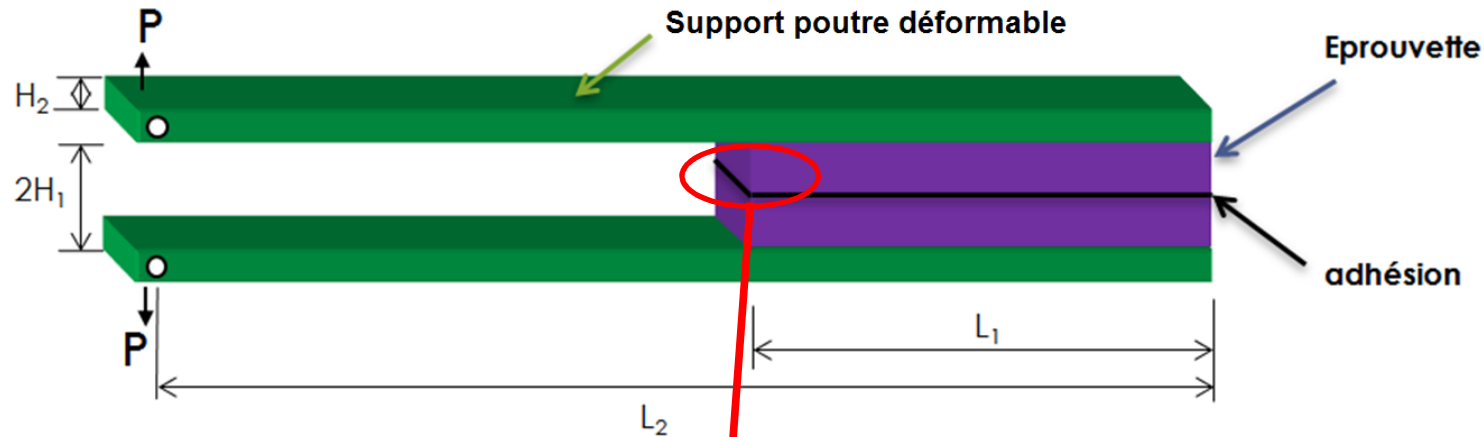


Essais de clivage





Nouvel Essai d'amorçage



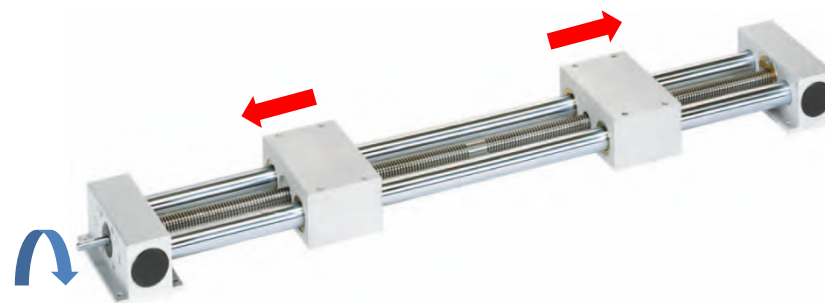
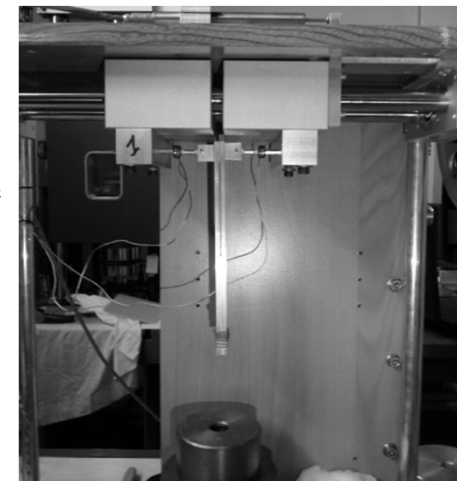
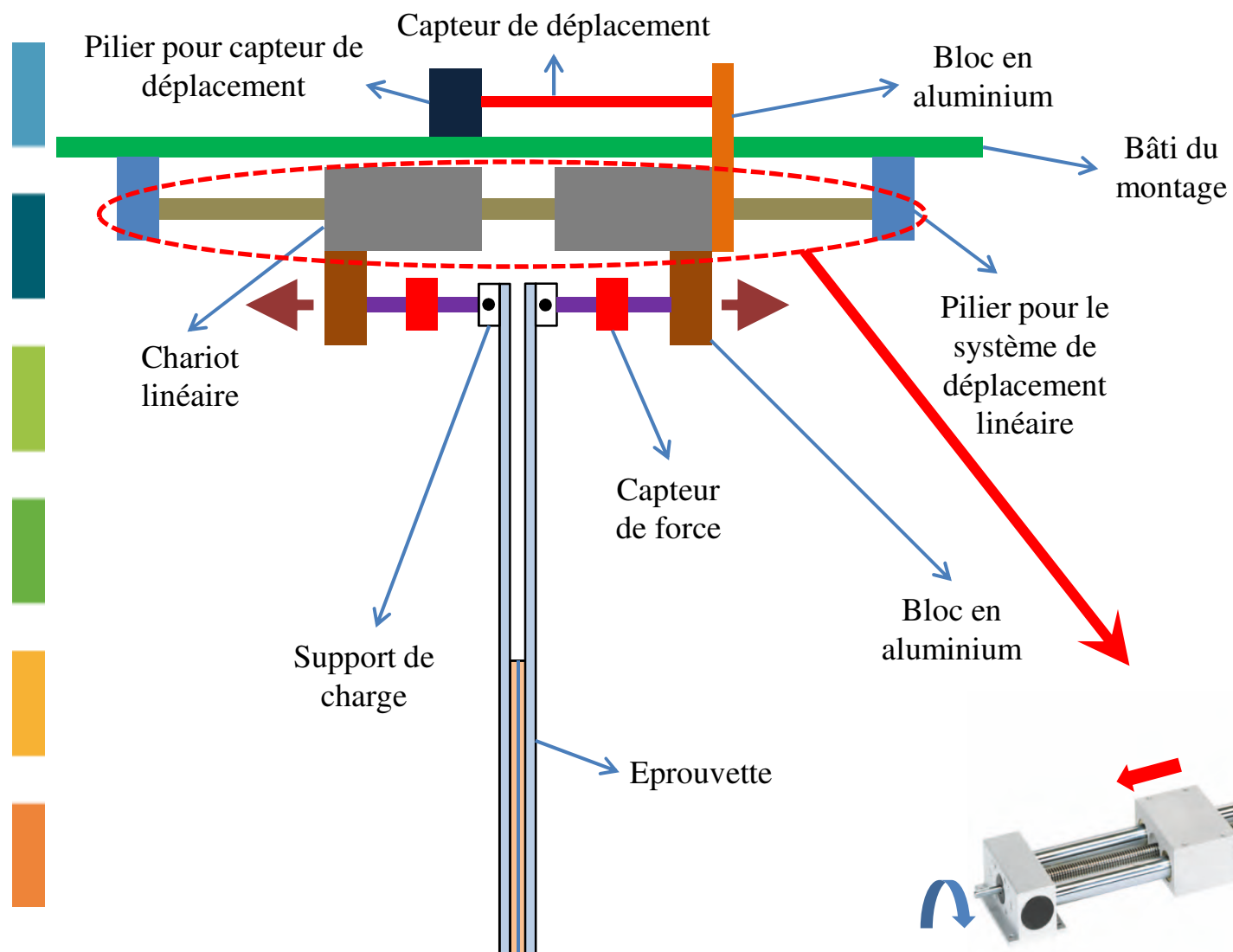
Nouvel essai proposé

Introduire des
supports poutres
déformables

Décaler le point
d'application de
l'effort



Nouvel Essai d'amorçage





❑ Collage Alu-Alu par adhésif

➤ Substrat : Aluminium 2017A

➤ Adhésifs :

✓ Colle cyanoacrylate Permabond 910 ≈ l'adhérence moléculaire

- Comportement fragile
- Épaisseur très faible ($\approx 0,01$ mm)

✓ Colle époxy Araldite AV138/HV998

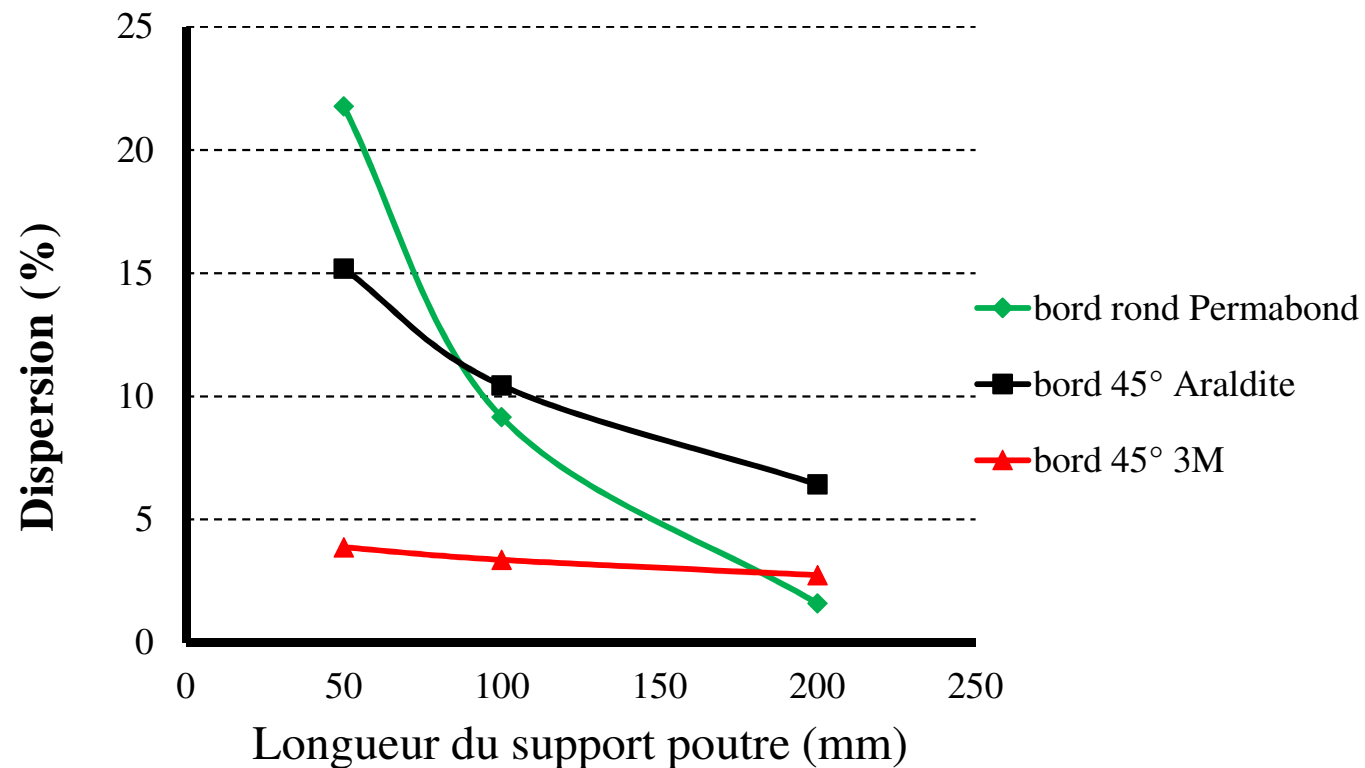
- Comportement fragile
- Épaisseur 0,1 mm

✓ Colle époxy 3M 2216 B/A

- Comportement flexible
- Épaisseur 0,1 mm



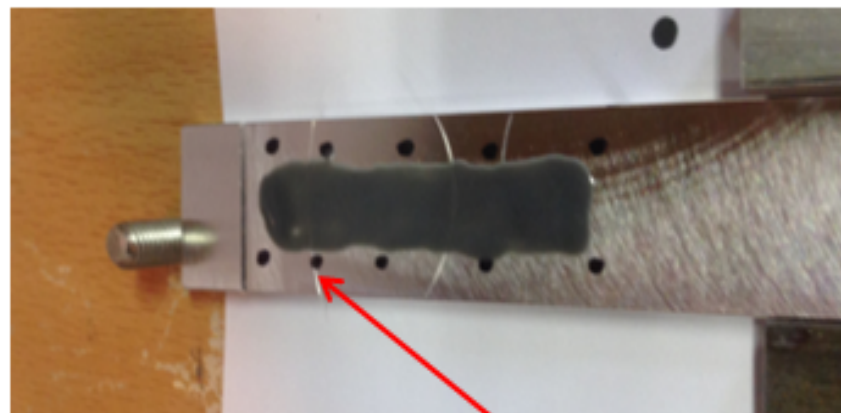
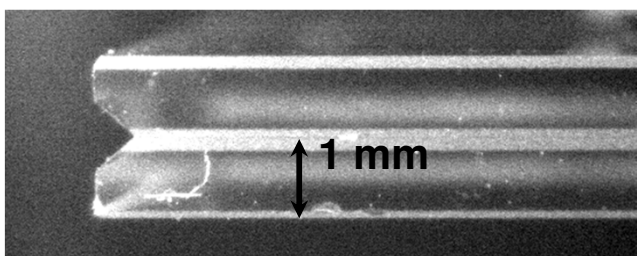
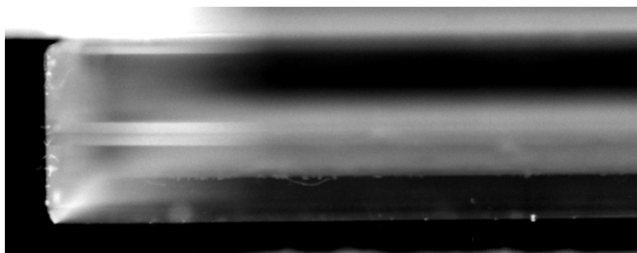
Validation FIT test



- L'augmentation de la longueur du support poutre → diminuer la dispersion
- La diminution de la dispersion est importante pour les colles fragiles



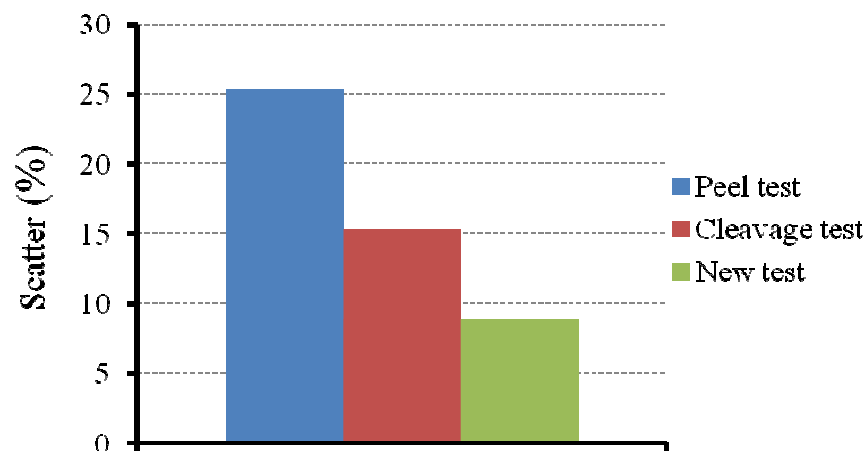
Application adhérence moléculaire



Fil de pêche

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

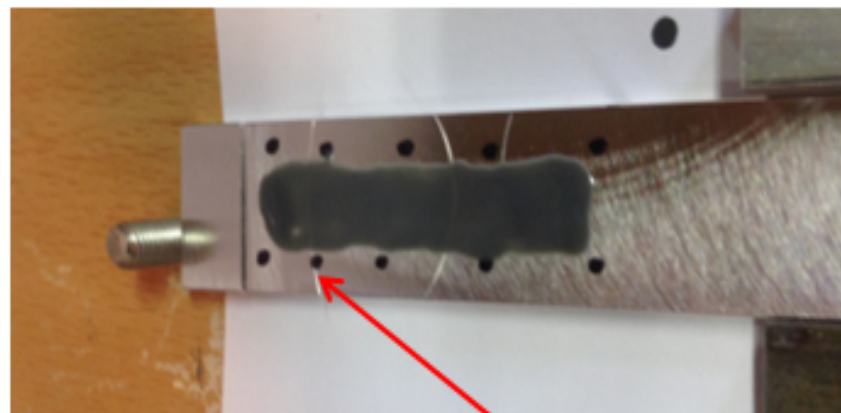
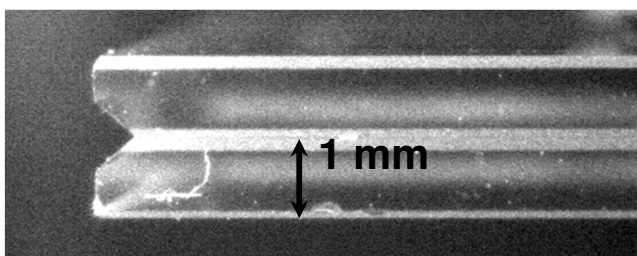
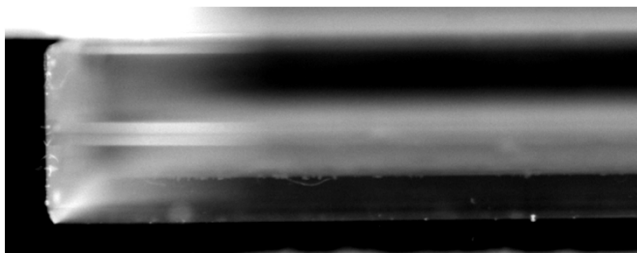
Adhérence moléculaire



Adhérence moléculaire renforcée



Application adhérence moléculaire



Fil de pêche

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

Adhérence moléculaire

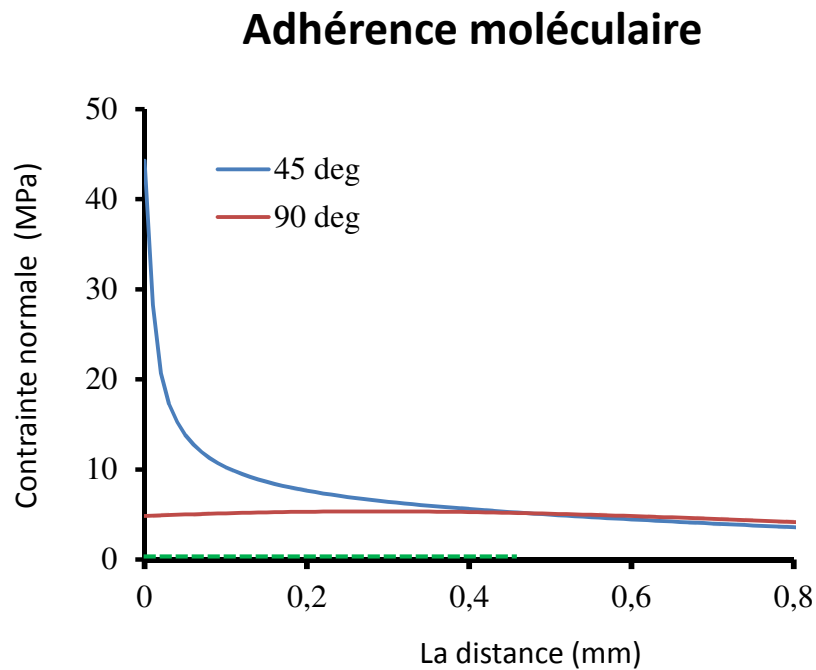
Formes des éprouvettes	Forces à l'amorçage		
	Moyennes (N)	Écart-types	Erreurs (%)
45°	4,738	0,423	8,9
90°	3,789	0,278	7,3

Adhérence moléculaire renforcée

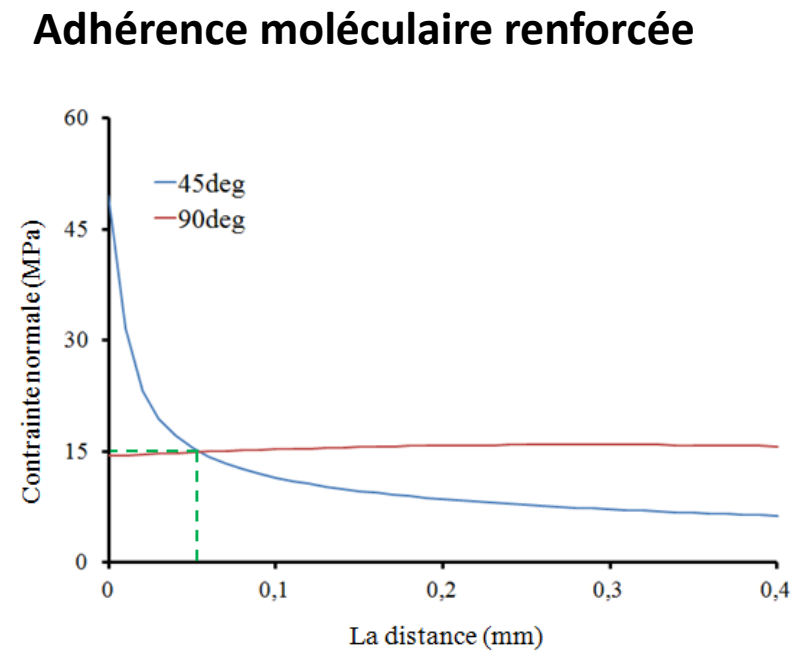


Application adhérence moléculaire

□ Application d'un critère Point-Stress



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



$a_c = 0,0548$ 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

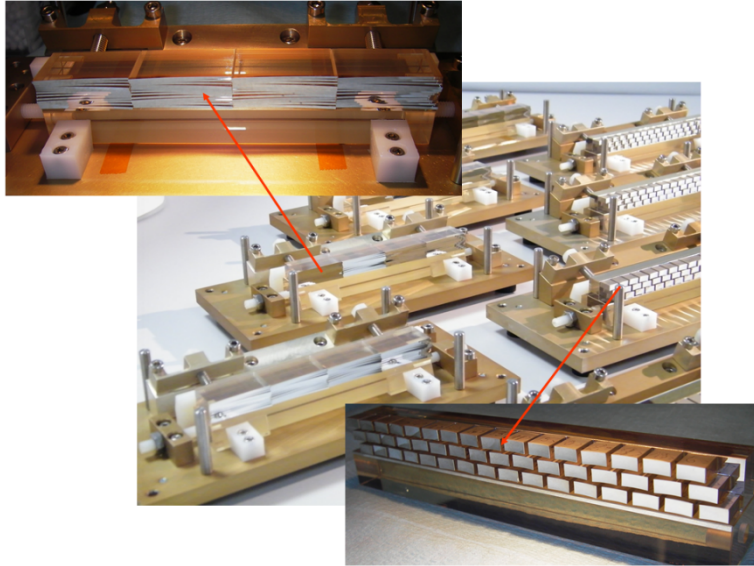


Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur

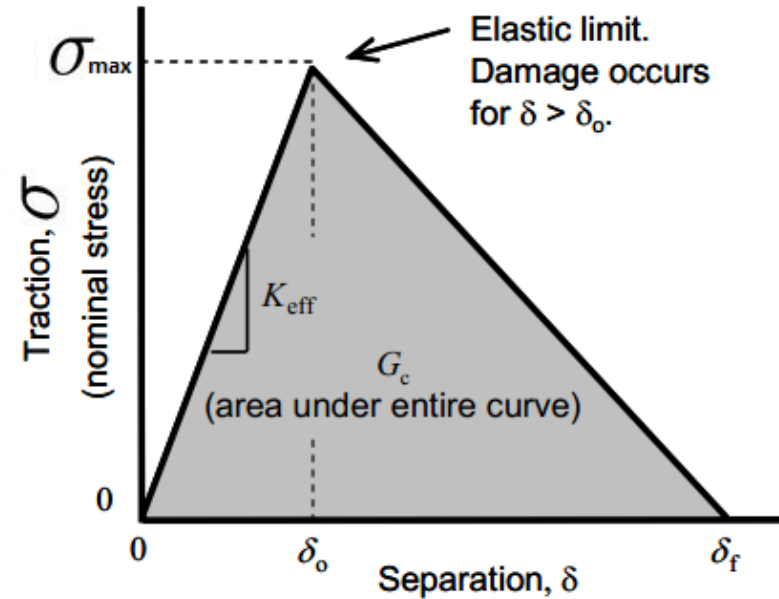




Modélisation zone cohésive



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



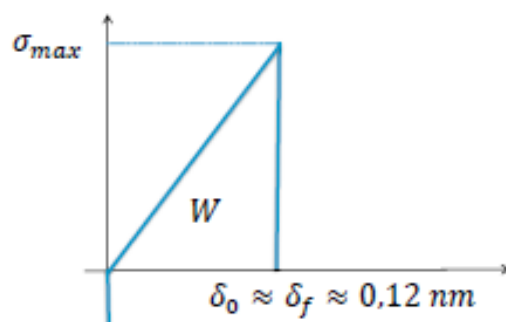


Modélisation zone cohésive

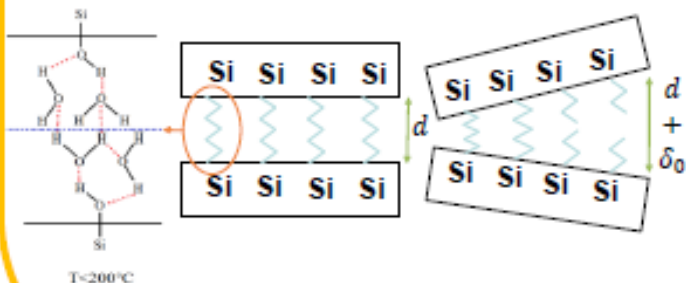
Deux modèles

Modèle macroscopique [1]

Loi élastique-fragile



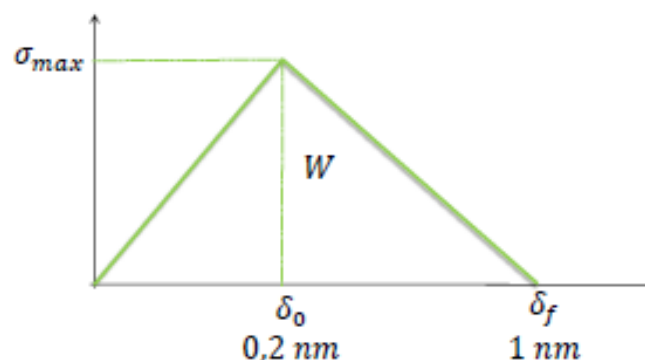
Pas de pénétration Elastique Rompue



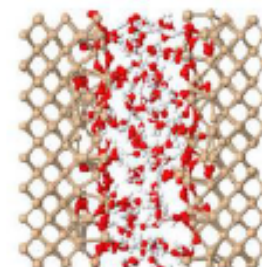
$$W = f(\text{rugosité}, T \text{ et } T^\circ\text{C de recuit})$$

Modèle de Kubair [3]

Loi multi-échelle



Elastique Endommagée Rompue



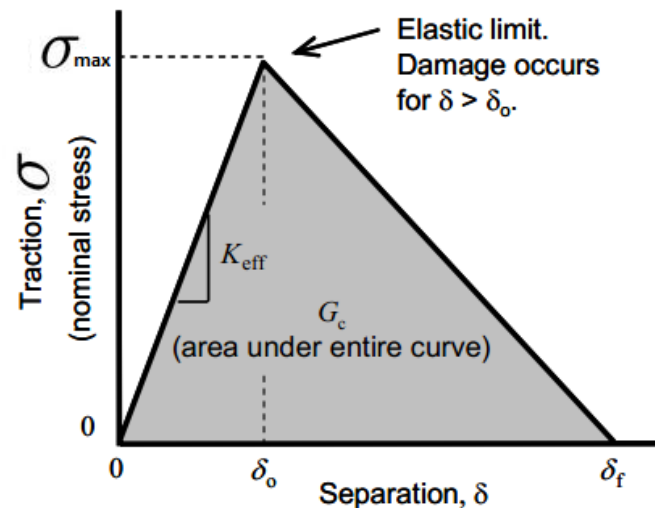
Ensemble de liaisons représentées dans la simulation par dynamique moléculaire.



Modélisation zone cohésive


Méthodologie:

- Identification contrainte critique avec FIT test
- Identification G_c avec wedge test
- Validation du modèle sur l'essai d'initiation du clivage et sur l'essai de propagation

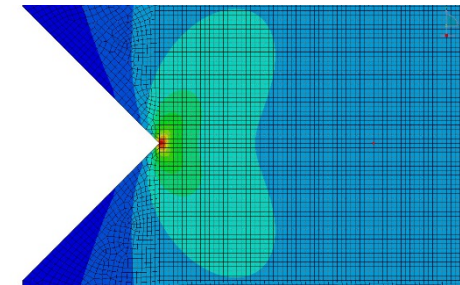
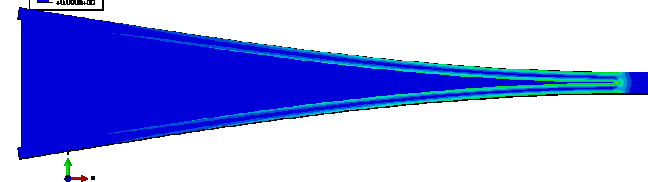




S, S22
(Avg: 75%)



Red	+6.283e+00
Orange	+5.759e+00
Yellow	+5.236e+00
Light Green	+4.712e+00
Green	+4.188e+00
Teal	+3.665e+00
Cyan	+3.141e+00
Blue	+2.618e+00
Dark Blue	+2.094e+00
Black	+1.571e+00
Black	+1.047e+00
Black	+5.236e-01
Black	+0.000e+00
Black	-4.921e+00

[illegible]



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

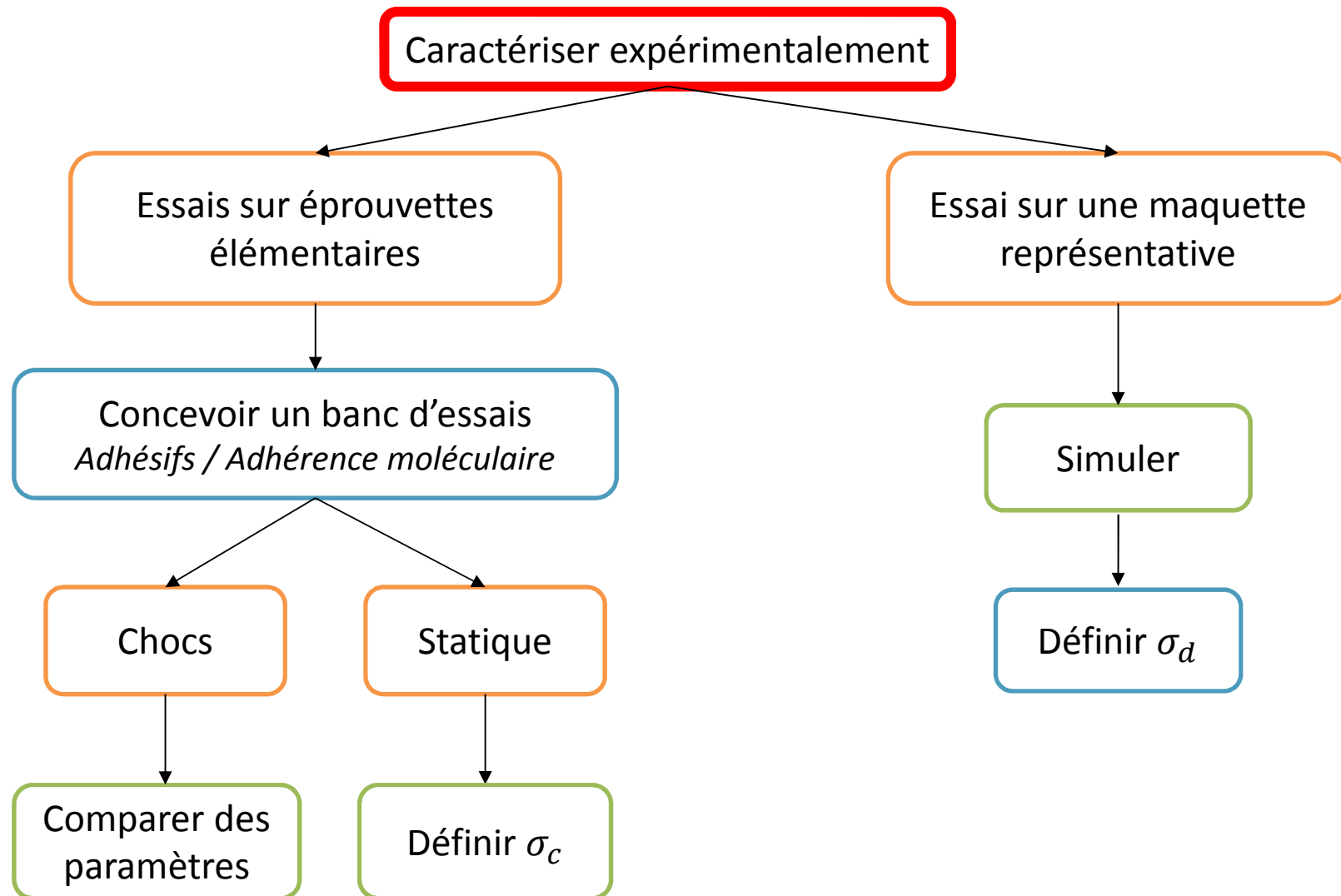


Région
Provence
Alpes
Côte d'Azur

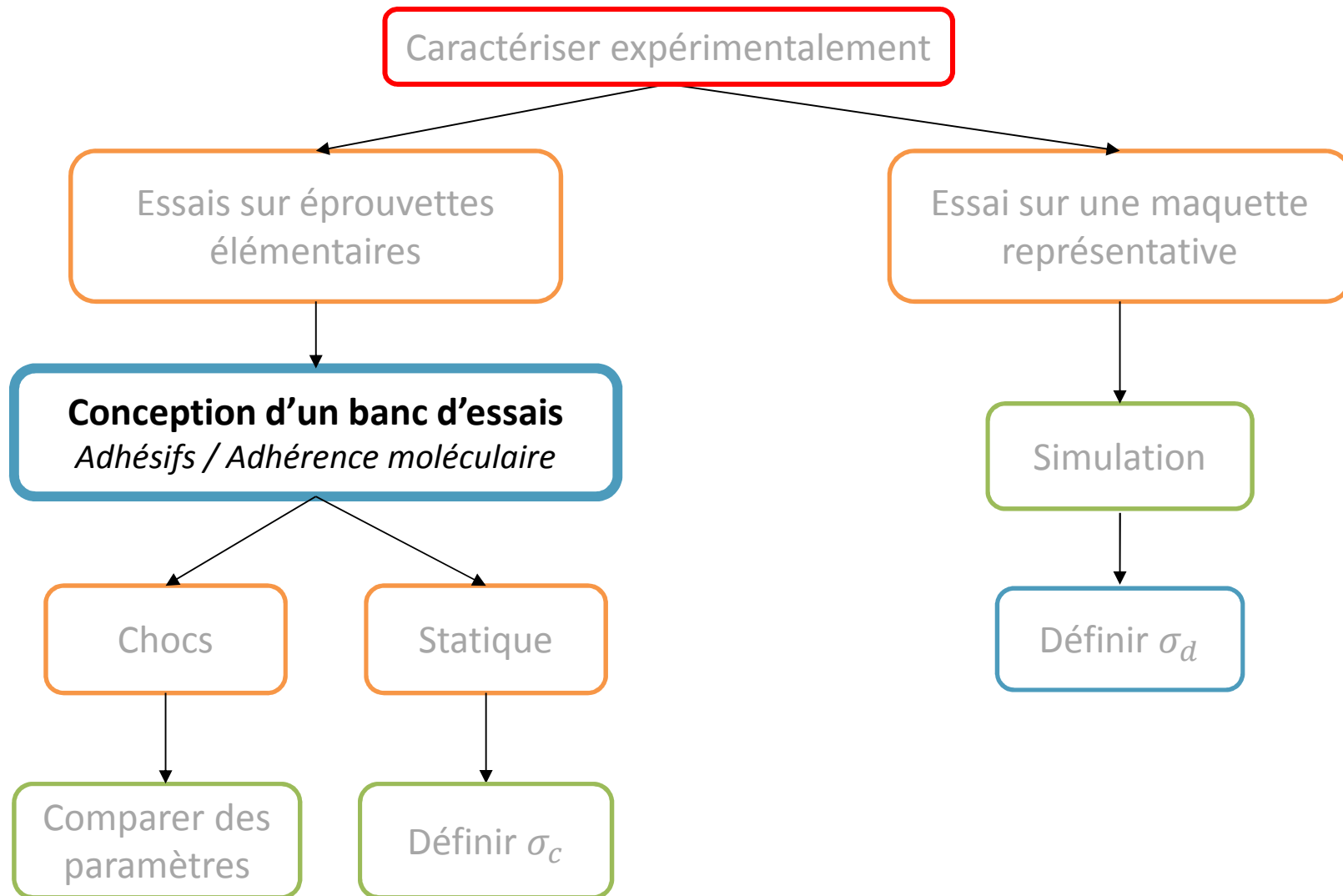


Démarche de caractérisation dynamique

Intro



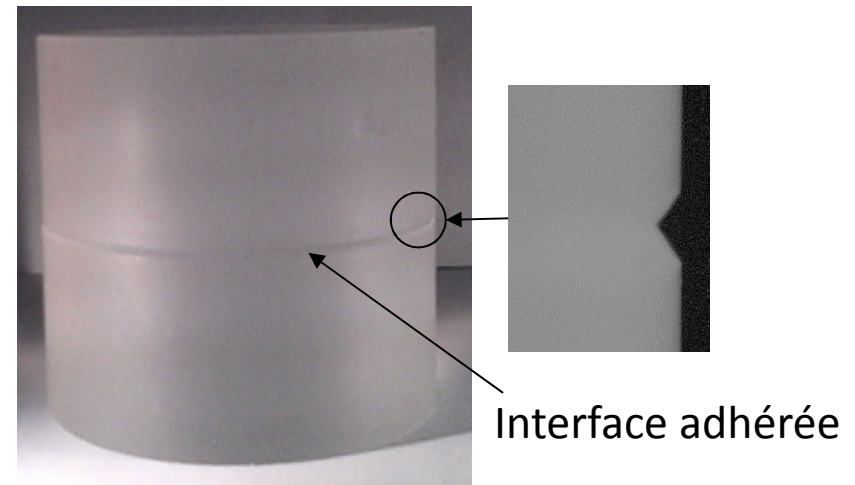
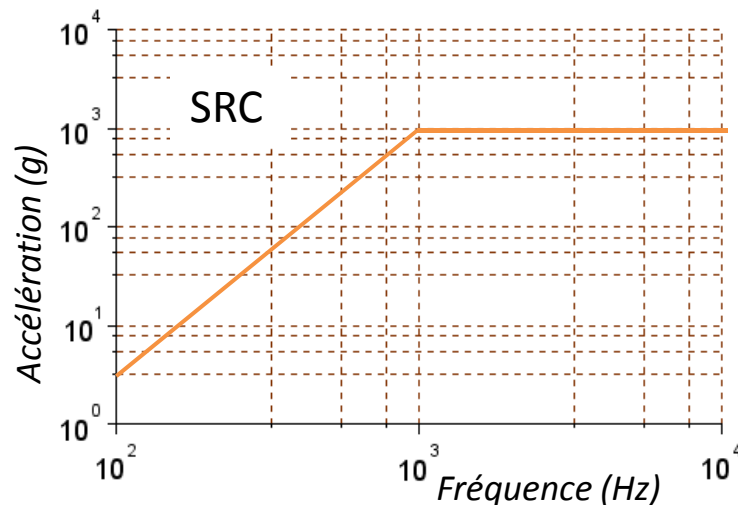
Démarche de caractérisation dynamique



Banc

■ Choc à imposer

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

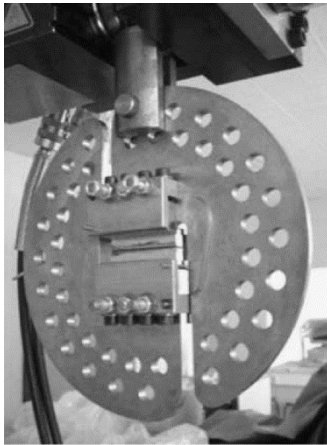


Comment générer ce type de chocs sur l'adhérence moléculaire du verre ?

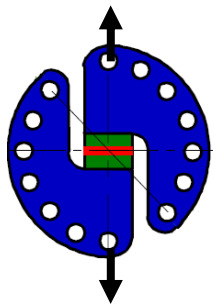
Développement du banc de chocs

Notre concept

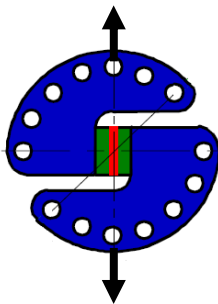
Montage Arcan modifié



Mode I

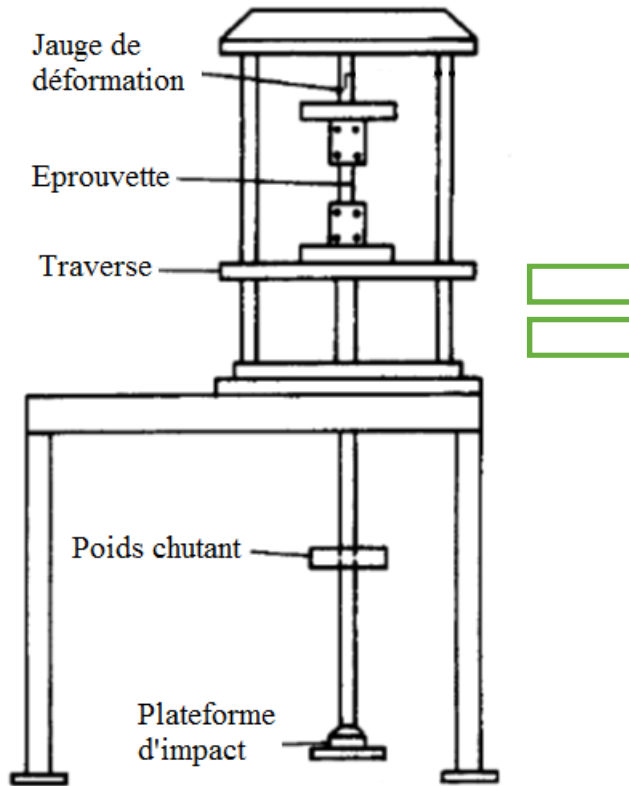


Mode II



[Cognard et al., 2006]

Montage par poids tombant



[Beevers et Ellis, 1984]

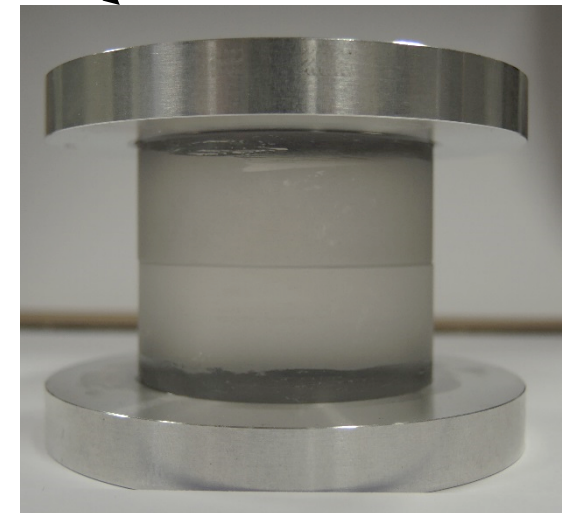
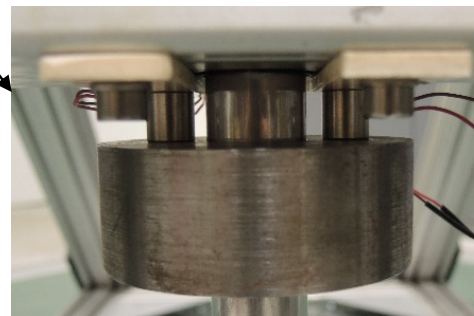
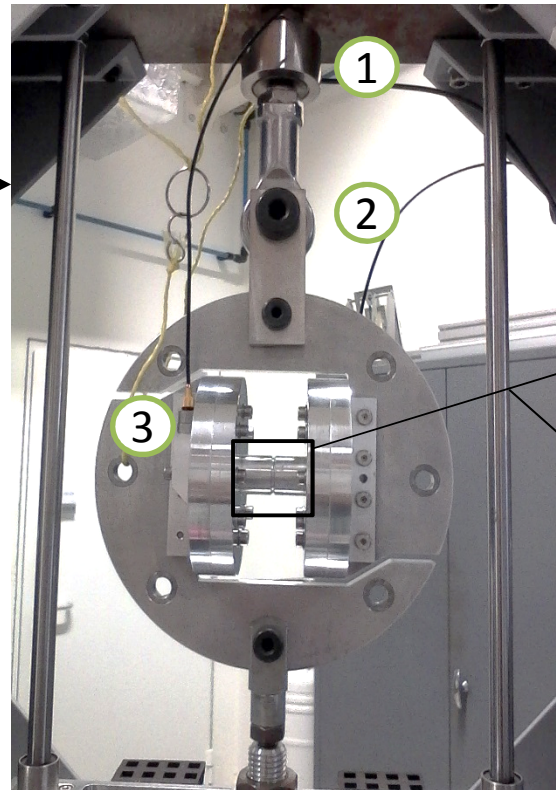
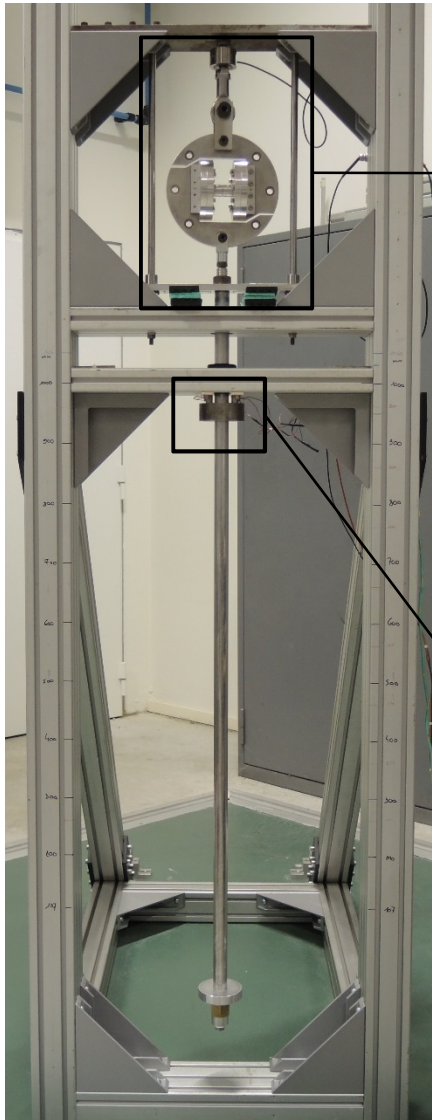


Banc

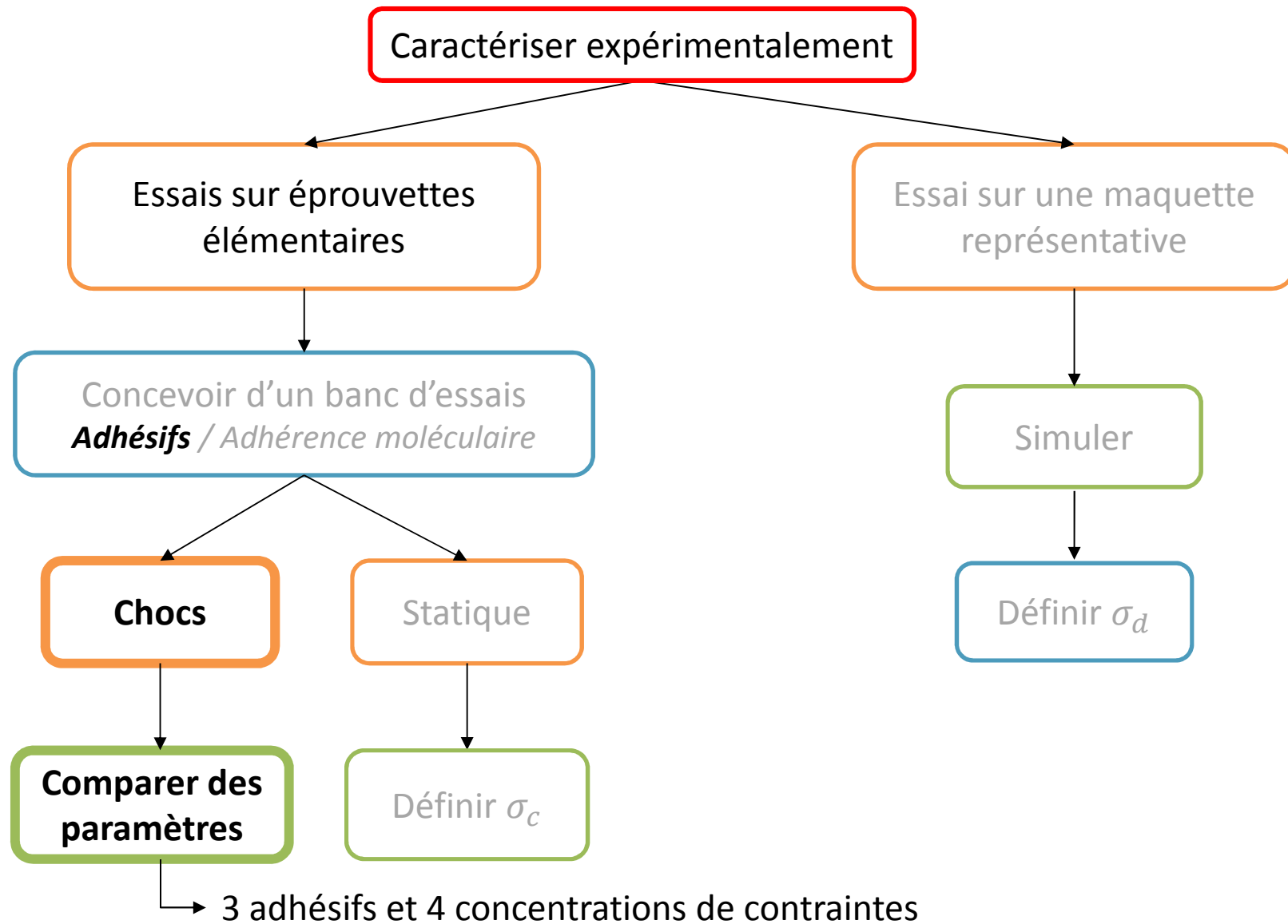
Le banc de chocs



Banc

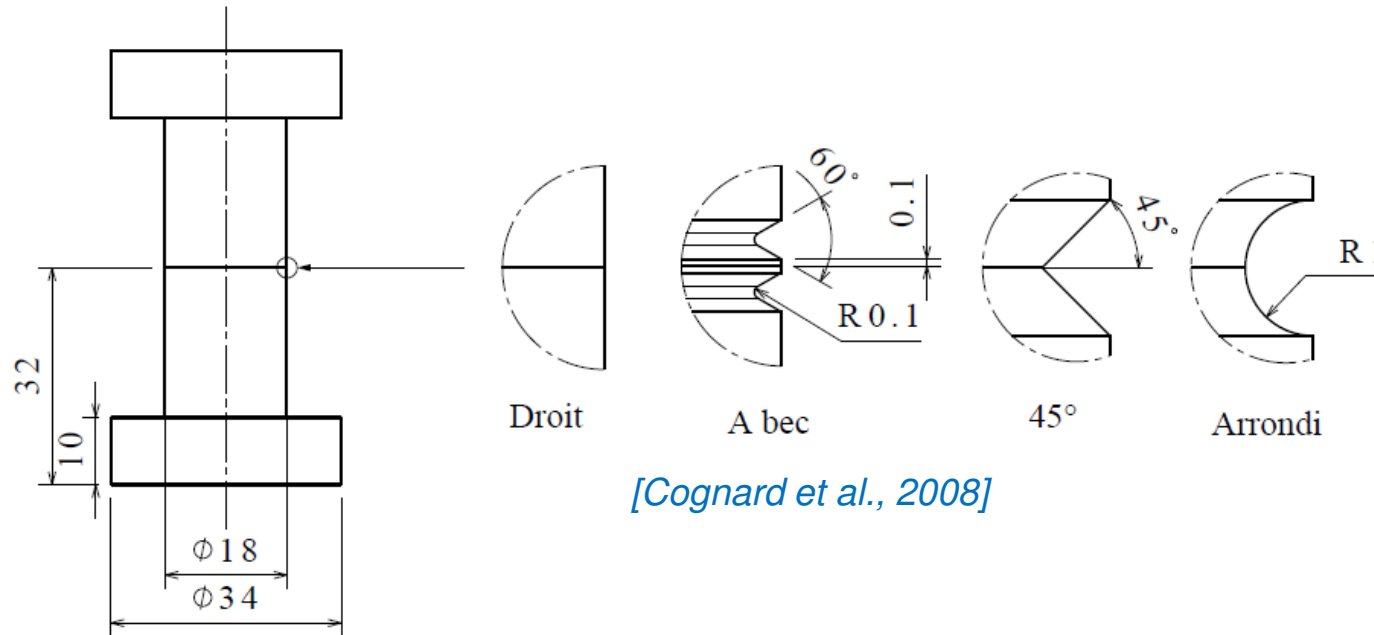


Démarche de caractérisation dynamique



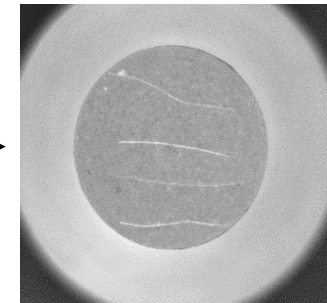
Caractérisation des adhésifs

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

Adhésifs



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

$$F_1 \neq F_2$$

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

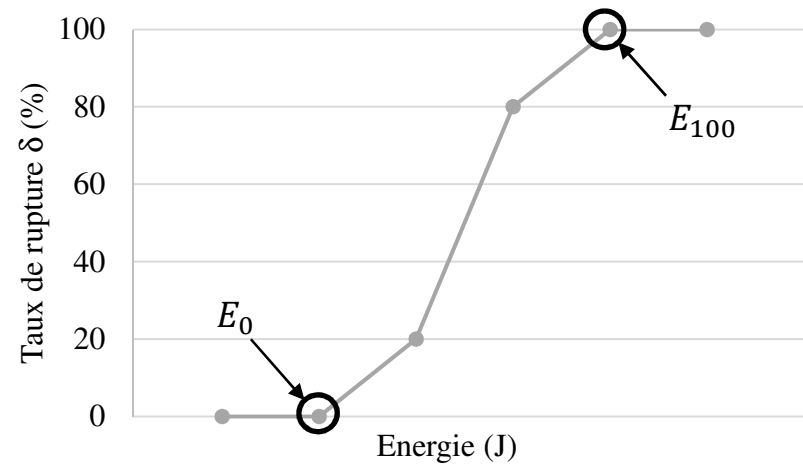
$$\text{avec } \eta = 1 + \sqrt{1 + 2 \frac{h}{f_s} \frac{1}{1 + \frac{M}{m}}}$$

$$f_s = \frac{mg}{K} \text{ et } K = \frac{E_{\text{Young}} S}{L}$$

[Brossard, 1994]

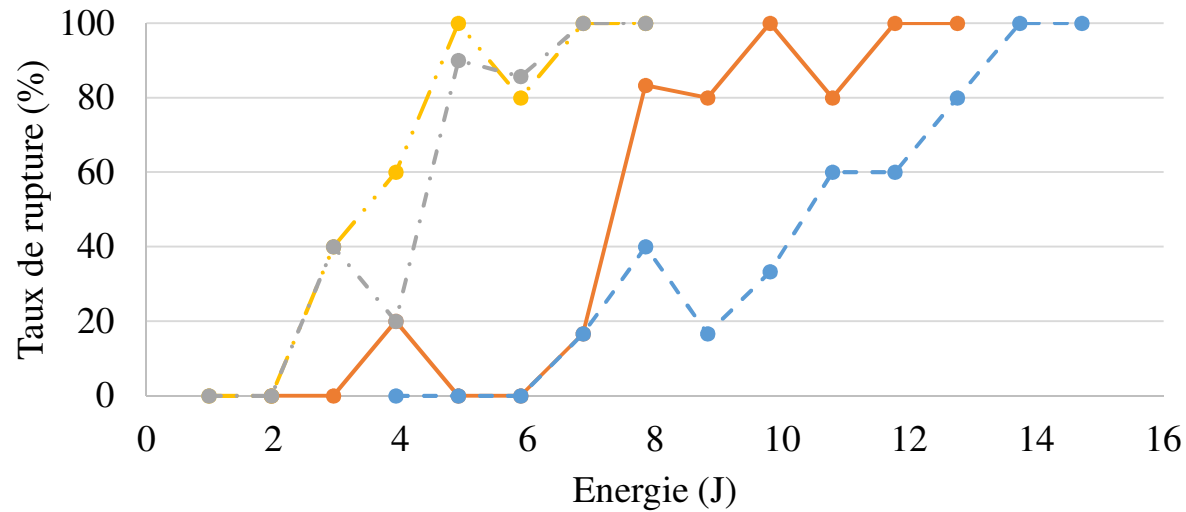
$$h = 1\text{m} \longrightarrow v = \sqrt{2gh} = 4.43 \text{ m.s}^{-1}$$

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



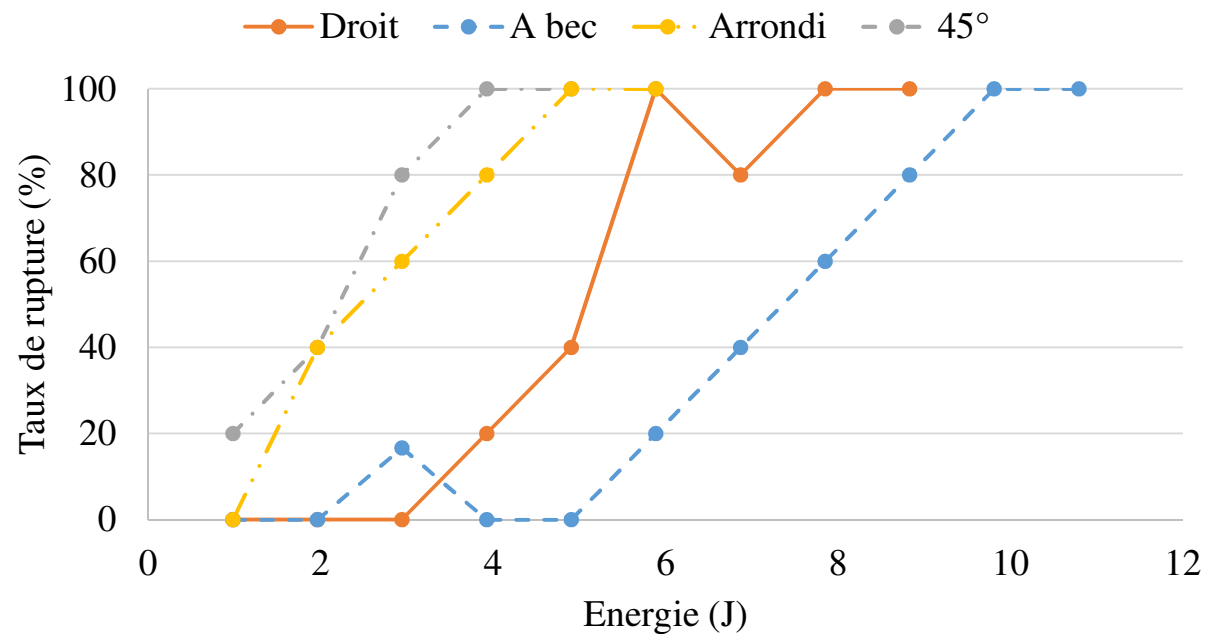
Résultats sur la Cyanoacrylate

Traction

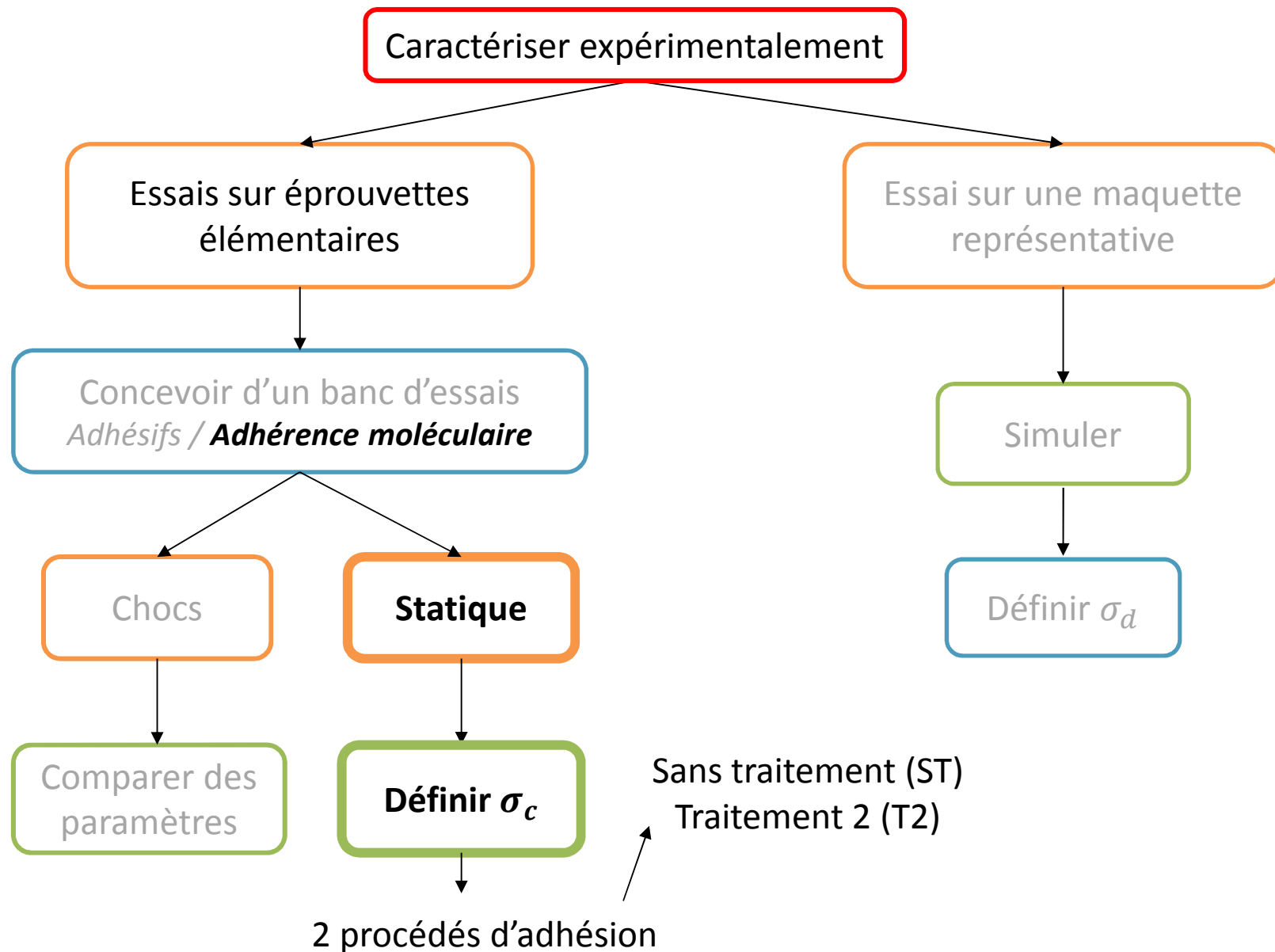


Cisaillement

$h = 0,5m$

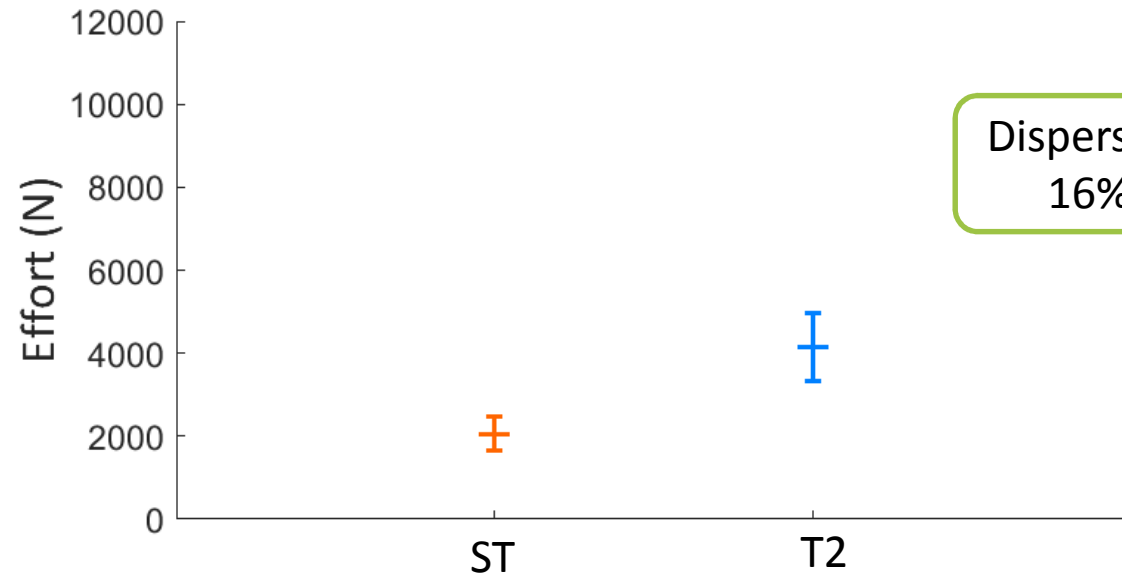
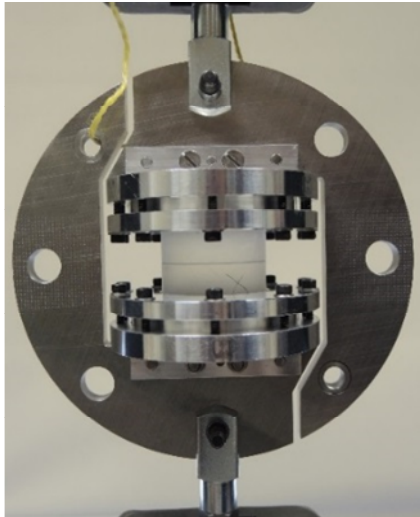


Démarche de caractérisation dynamique



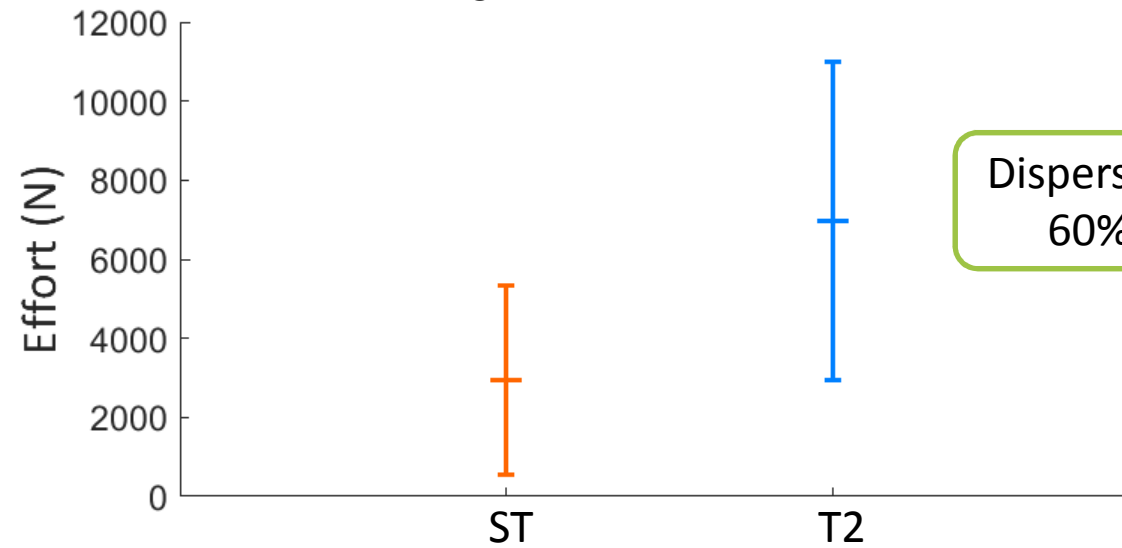
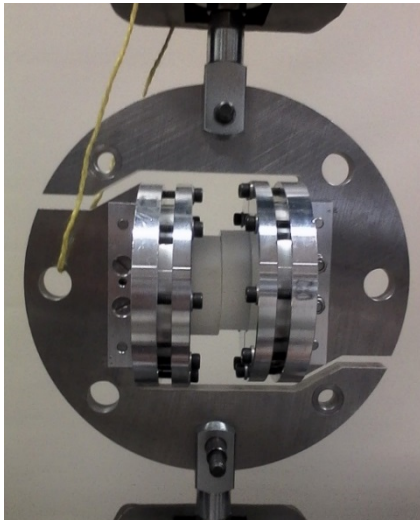
Essais en statique

Traction



Silice

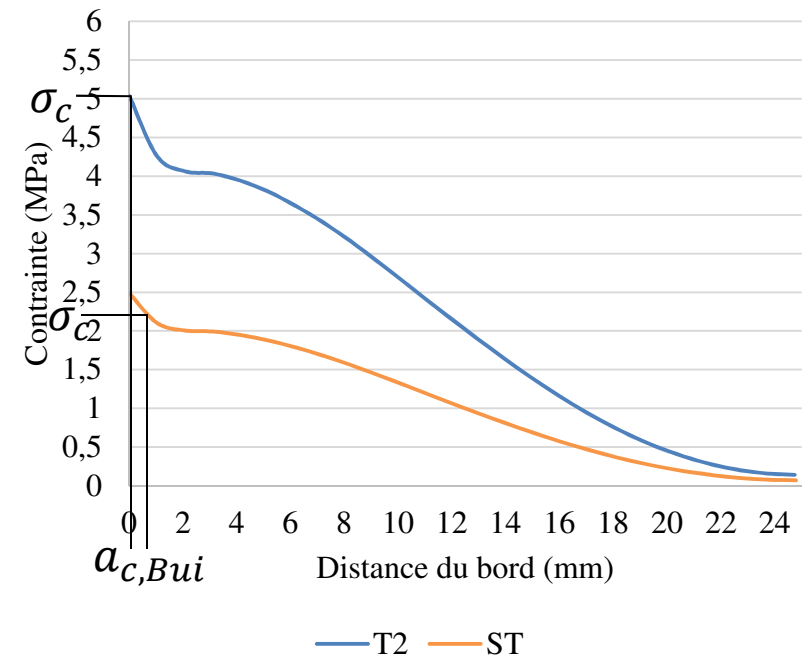
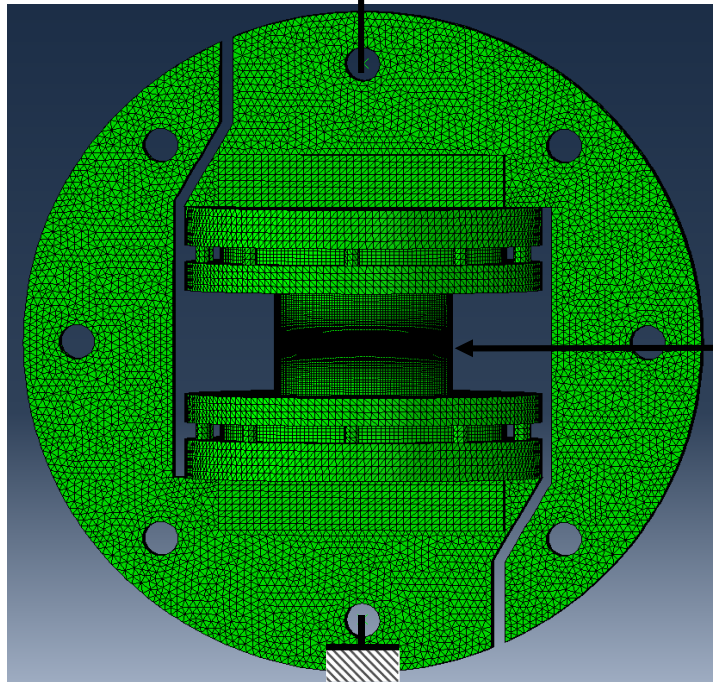
Cisaillement



Application du Point Stress Criterion

Effort moyen de rupture

Traction

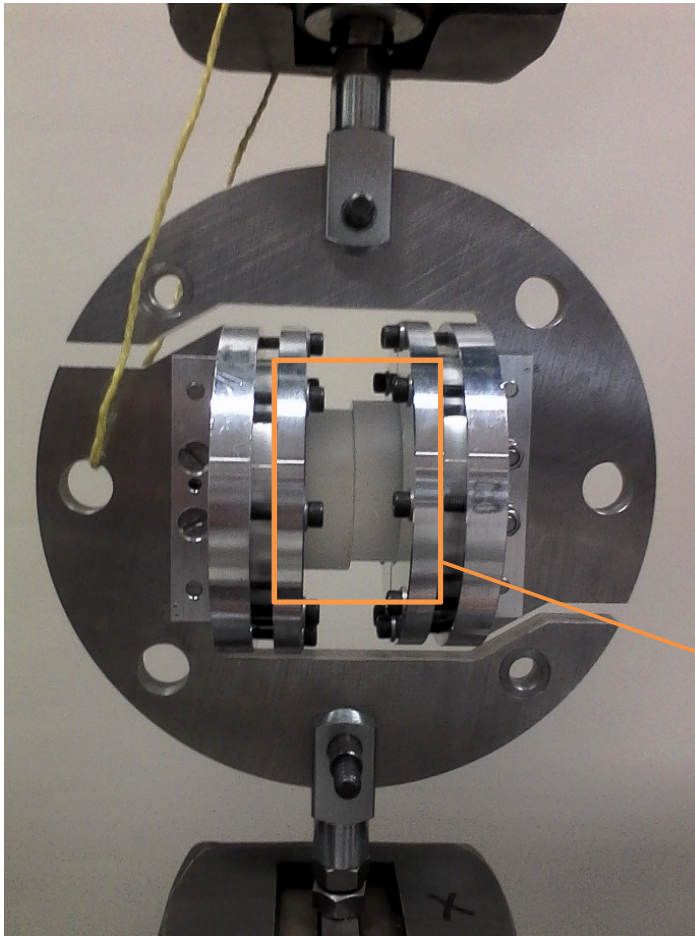


	$a_{c,I,Bui} \text{ (mm)}$	$\sigma_{c,I} \text{ (MPa)}$
Sans traitement	0,471	2,3
Traitement 2	0,0548	5

[Bui, Phd thesis 2015]

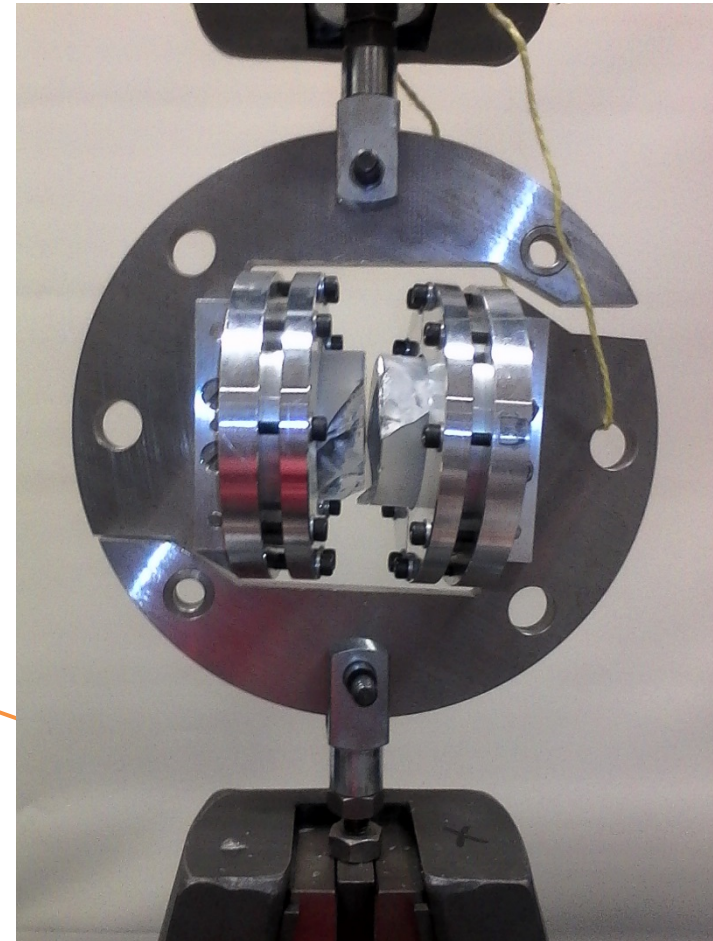
Essais en statique

Cisaillement ST



ST rupture à l'interface

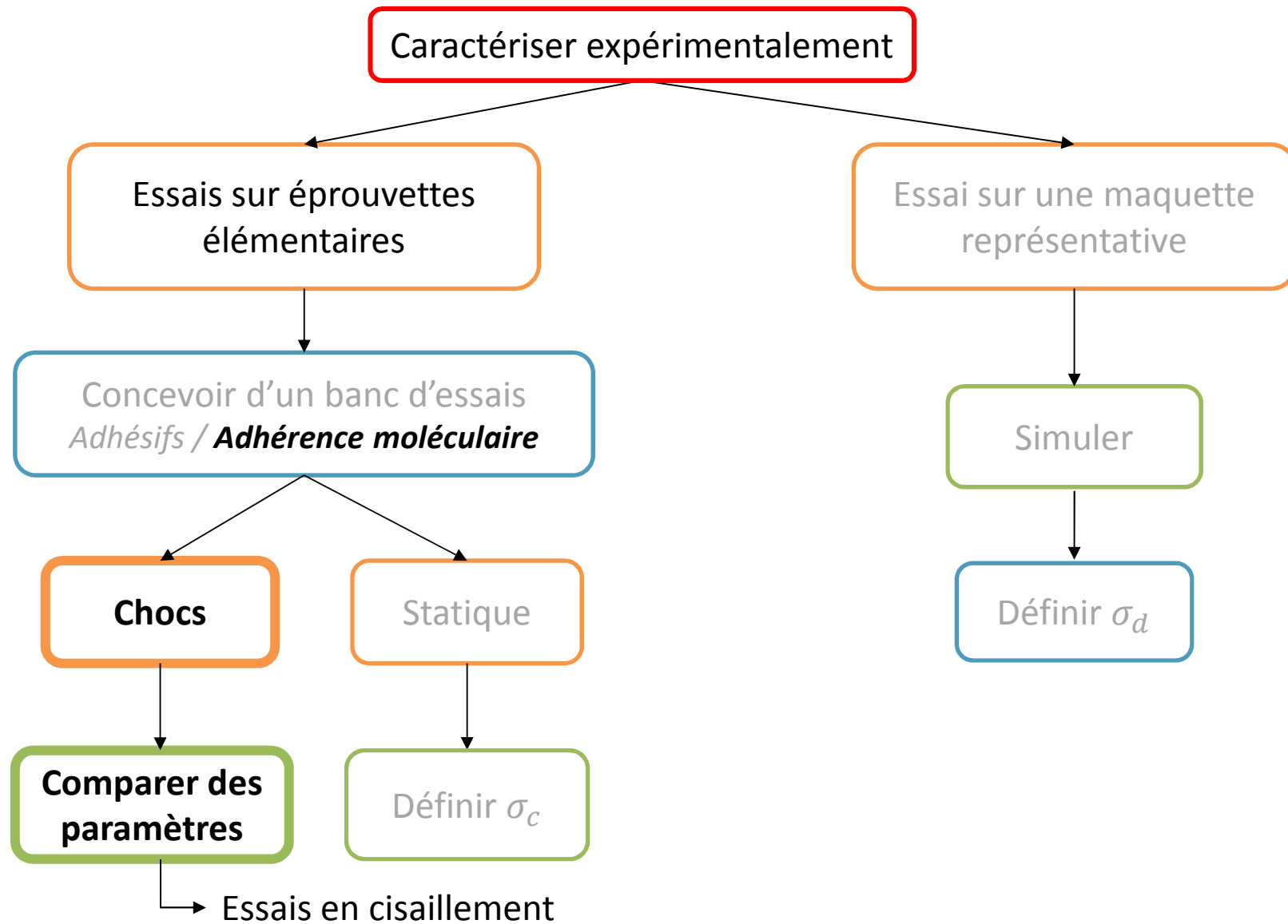
Cisaillement T2



T2 rupture mixte

Silice

Démarche de caractérisation dynamique



Essais de chocs en cisaillement

■ Hauteur de chute de 10 cm

■ 3 éprouvettes ST

■ 4 essais validés

1^{ière} Eprouvette

■ 0,1J

■ 0,2J

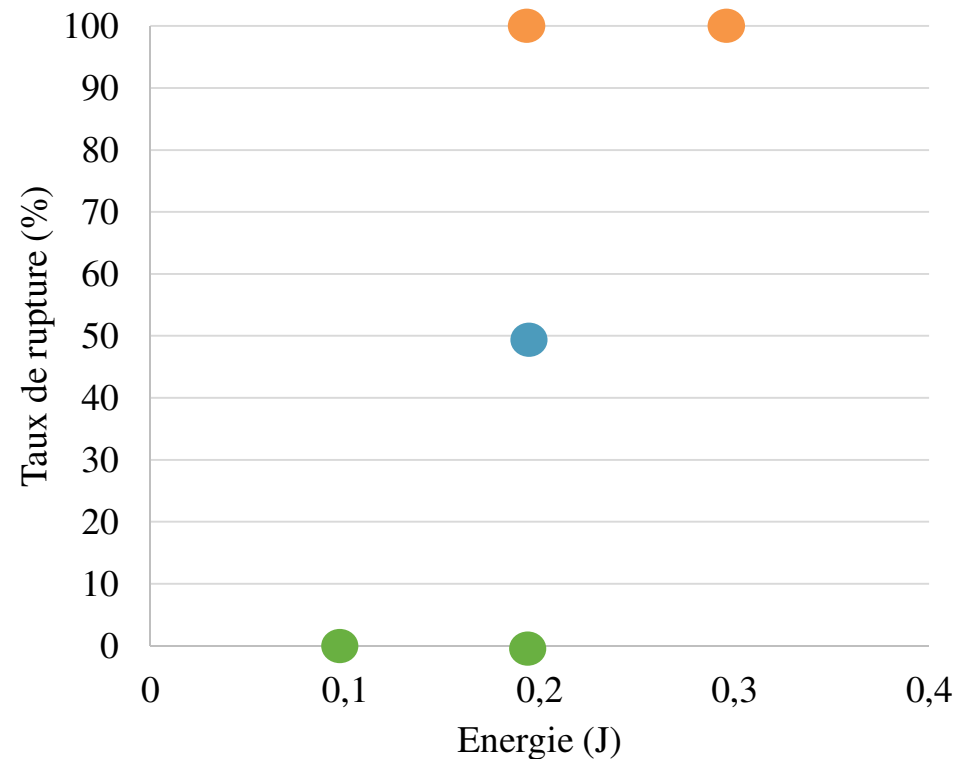
■ ~~0,3J~~

2^{ième} Eprouvette

■ 0,2J

3^{ième} Eprouvette

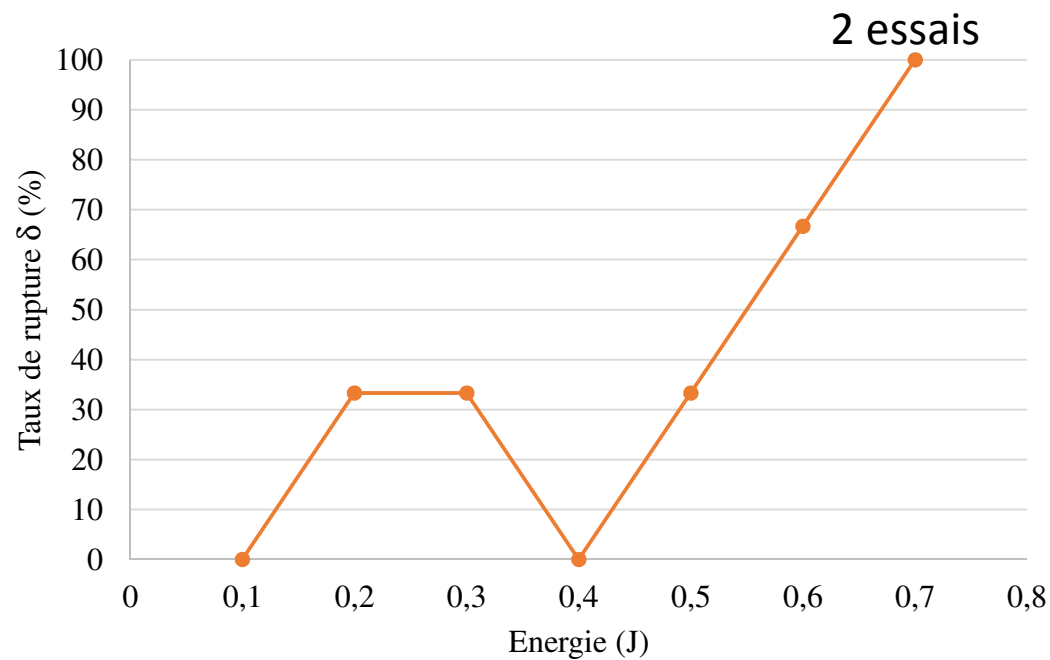
■ 0,3J



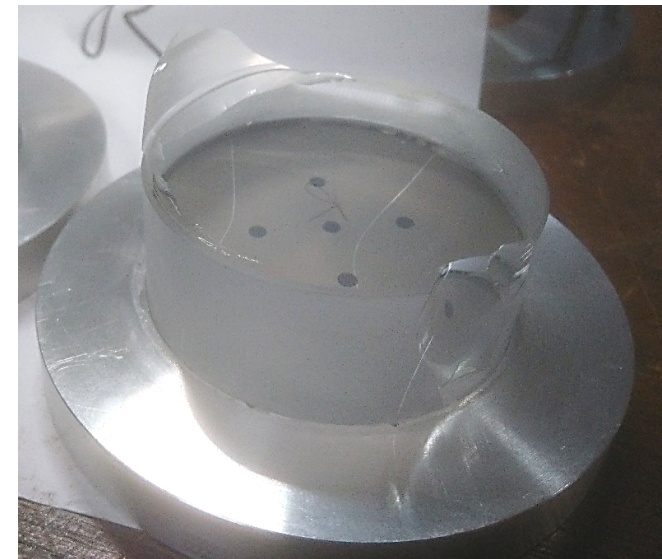
Rappel : avec $h = 1m$; $E_{0,Cyanoacrylate} = 1 J$

Essais de chocs en cisaillement

- 15 éprouvettes T2
- 3 essais par points

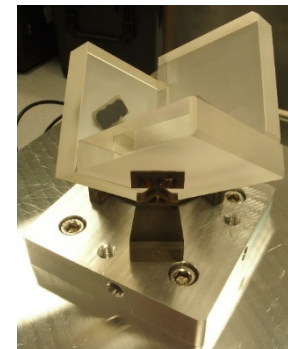
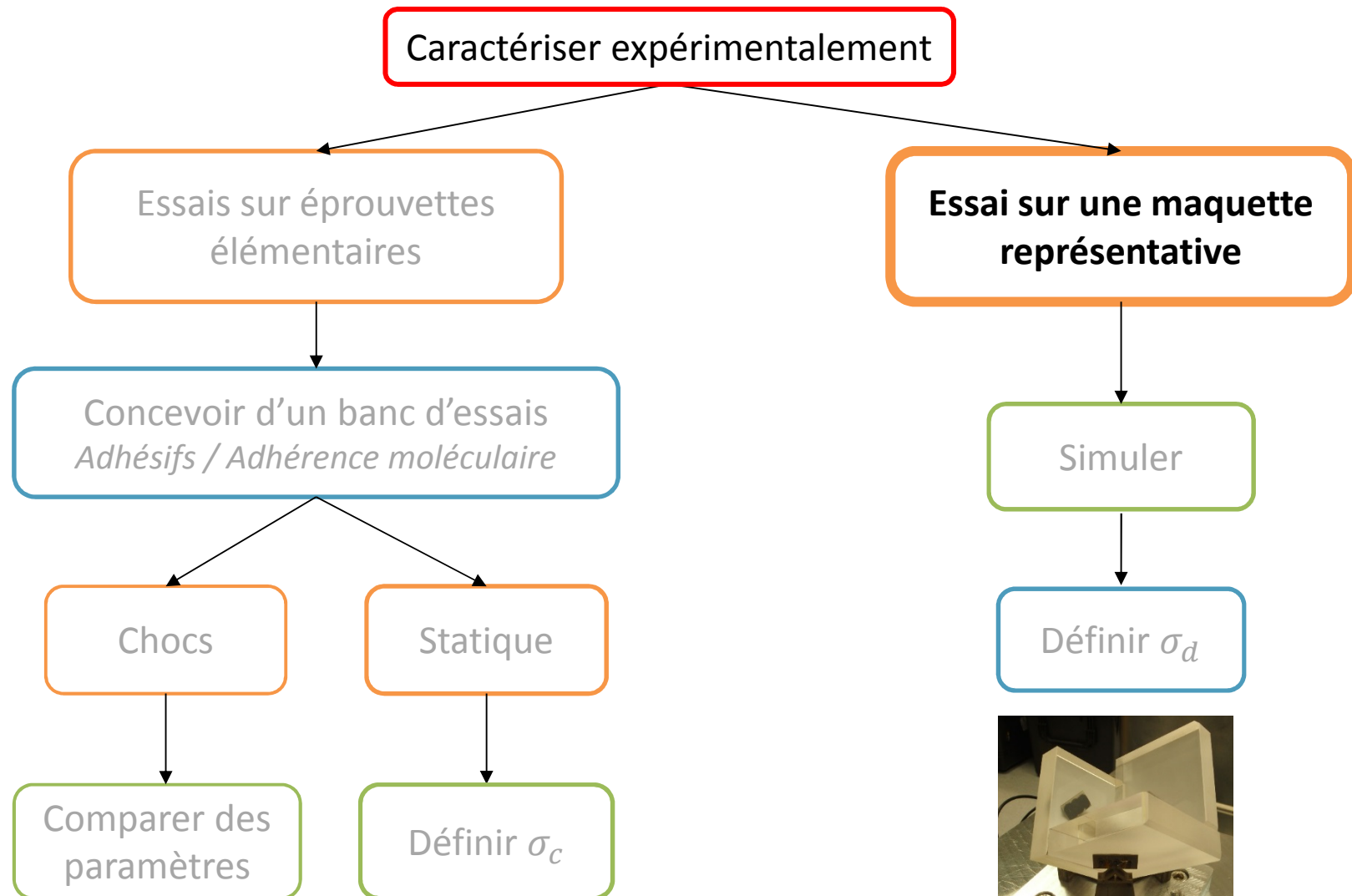


Rappel : $E_{0,ST} = 0,1 J$



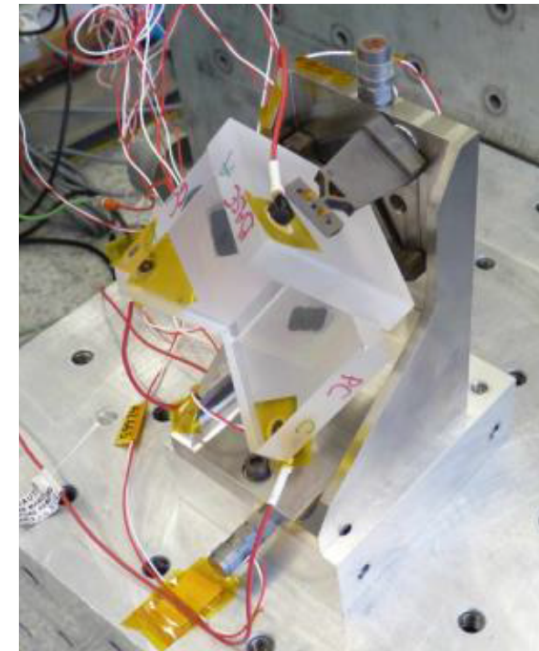
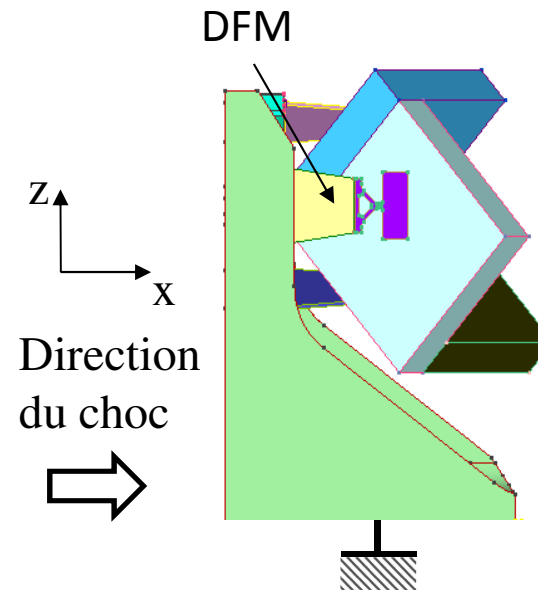
Rupture à l'interface

Démarche de caractérisation dynamique

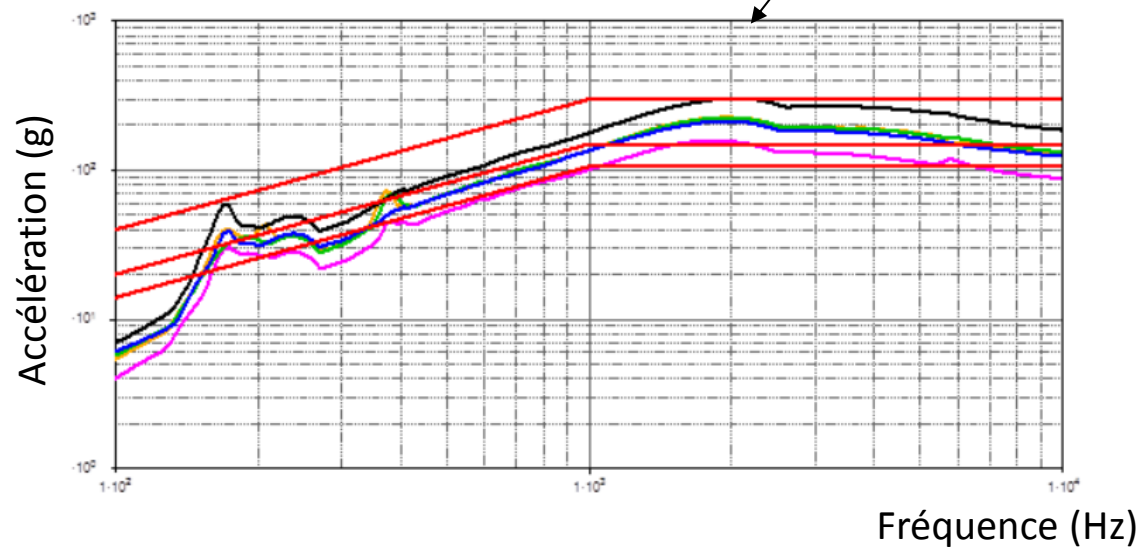
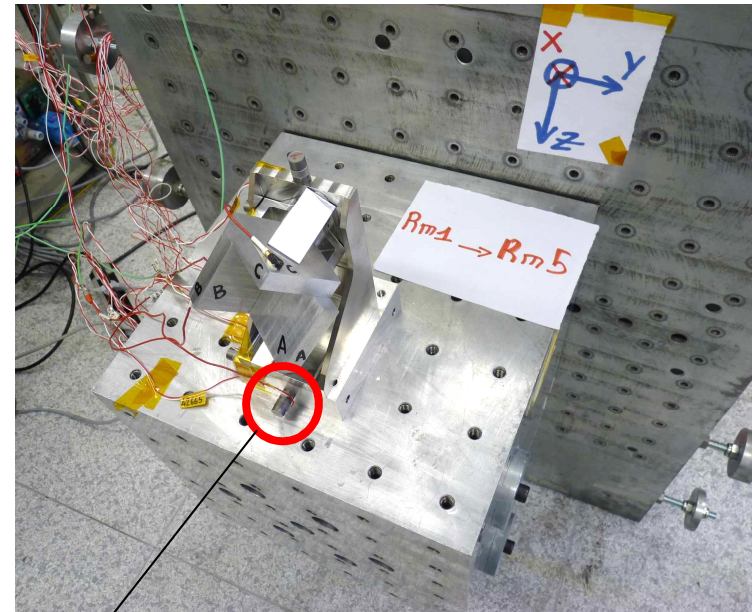


Tenue aux chocs d'un Coin de cube

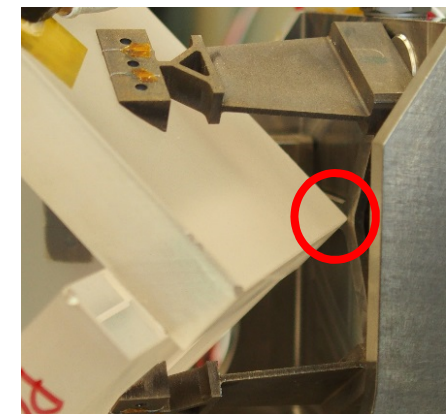
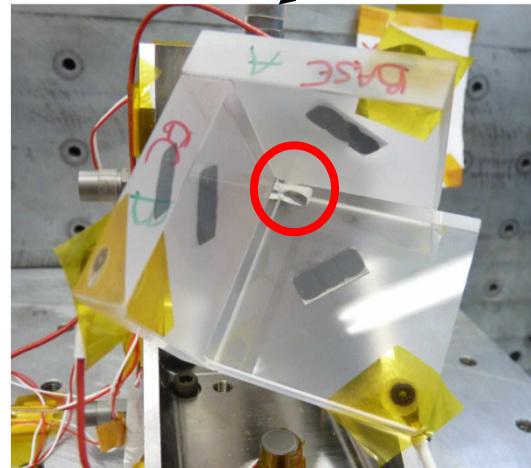
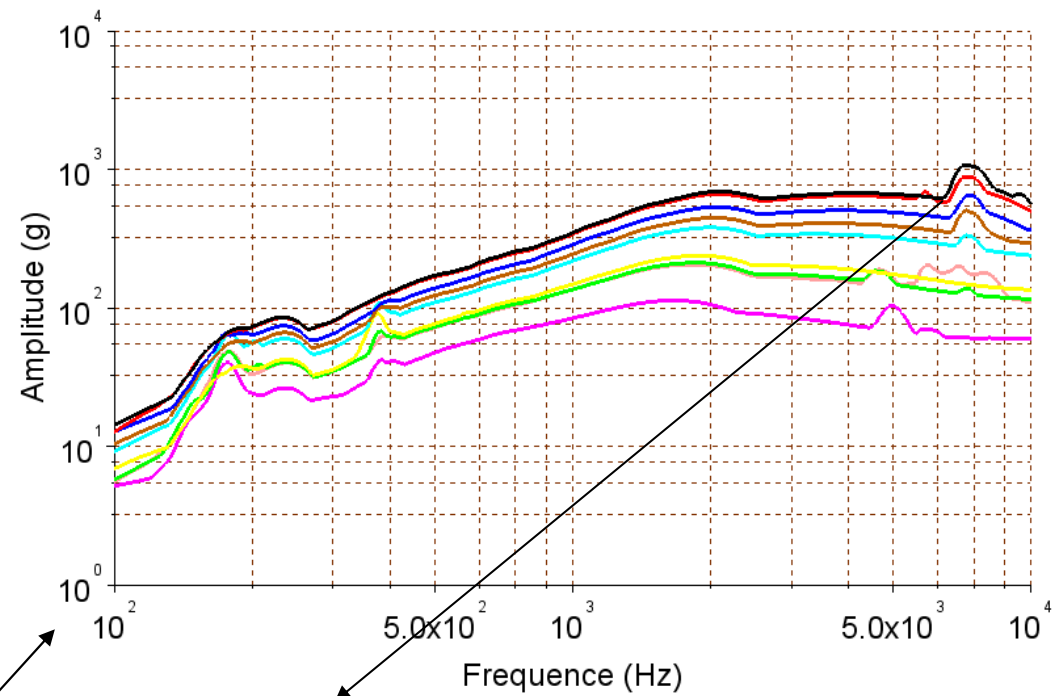
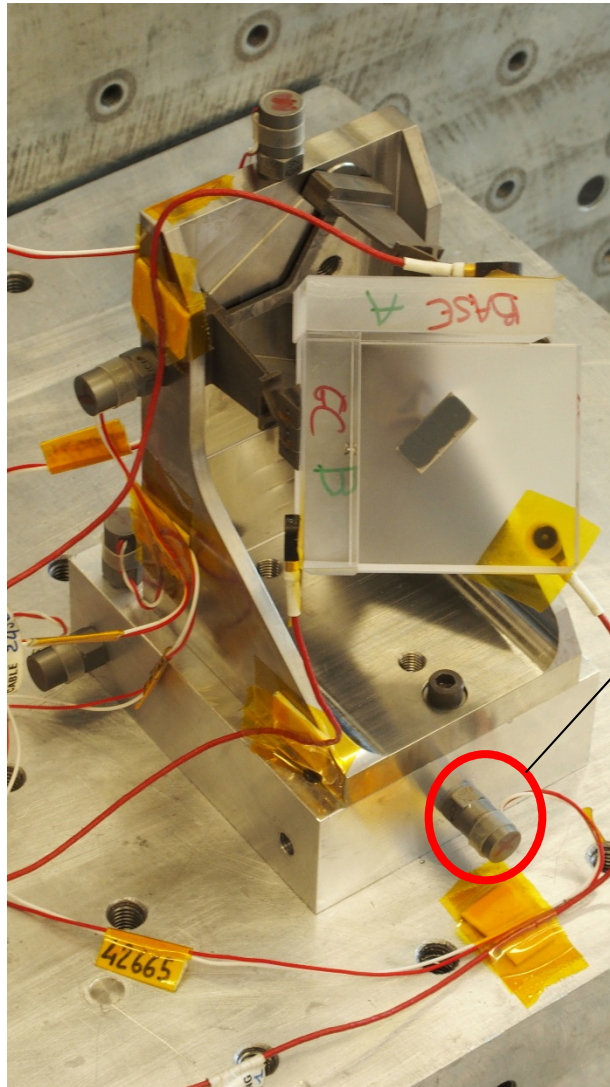
- Essai de chocs sur une maquette (Coin de Cube)
- Banc d'essais pyrotechnique du CNES



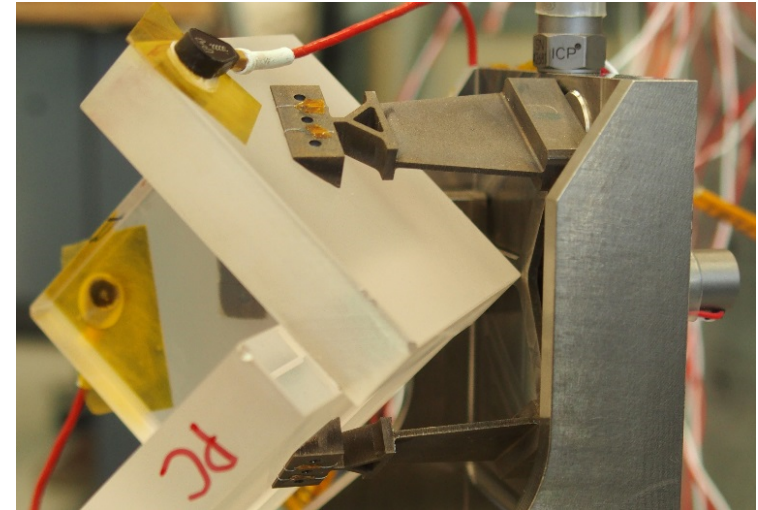
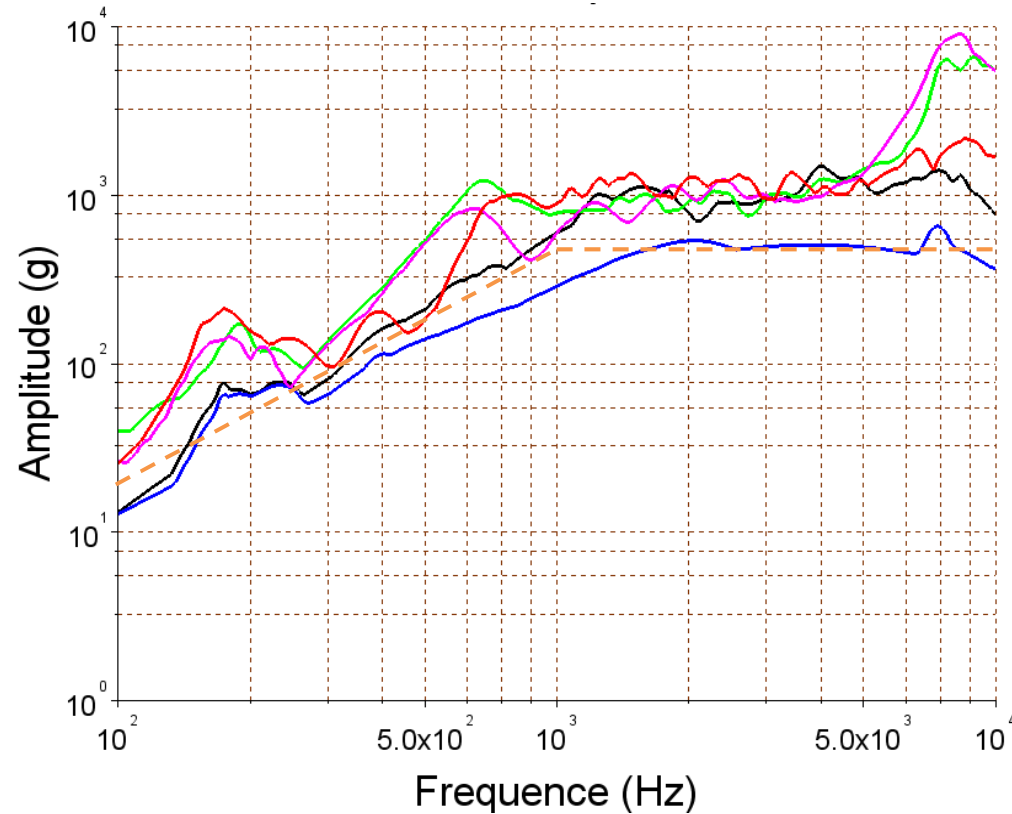
Pré-étude



Résultats des essais de chocs sur le CC



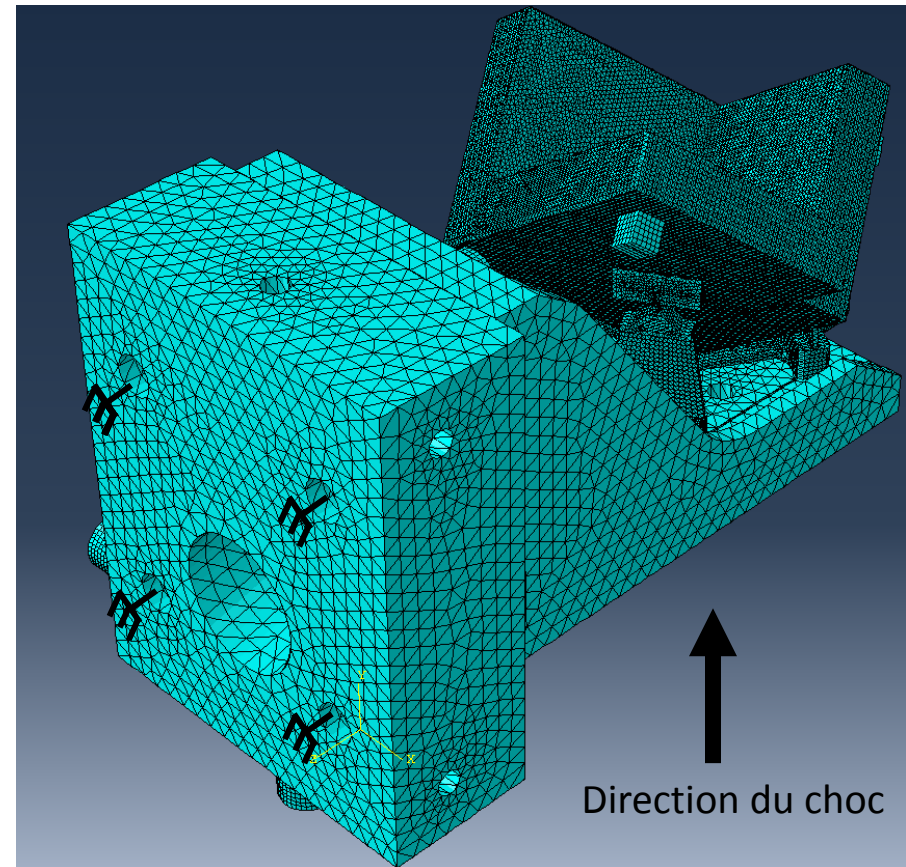
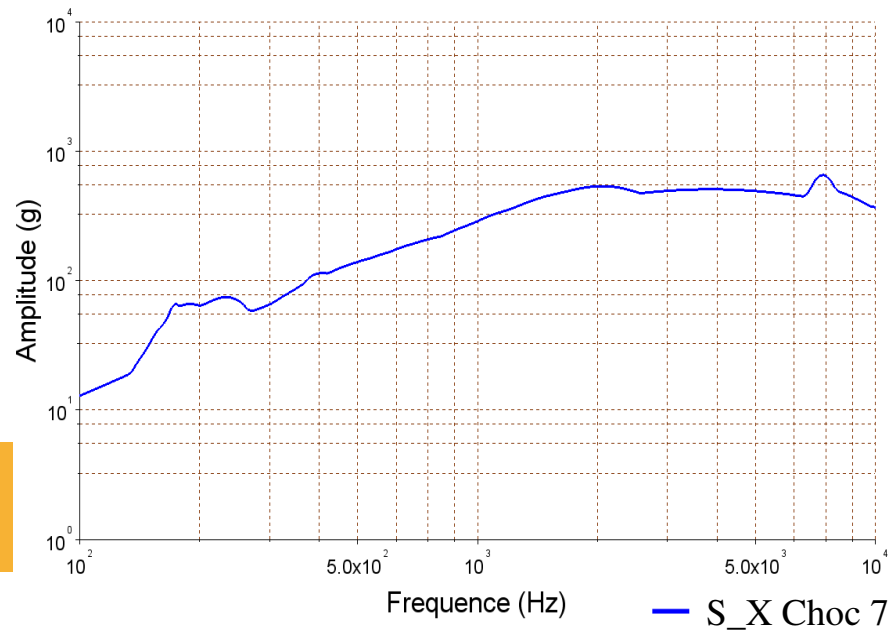
Résultats des essais de chocs sur le CC



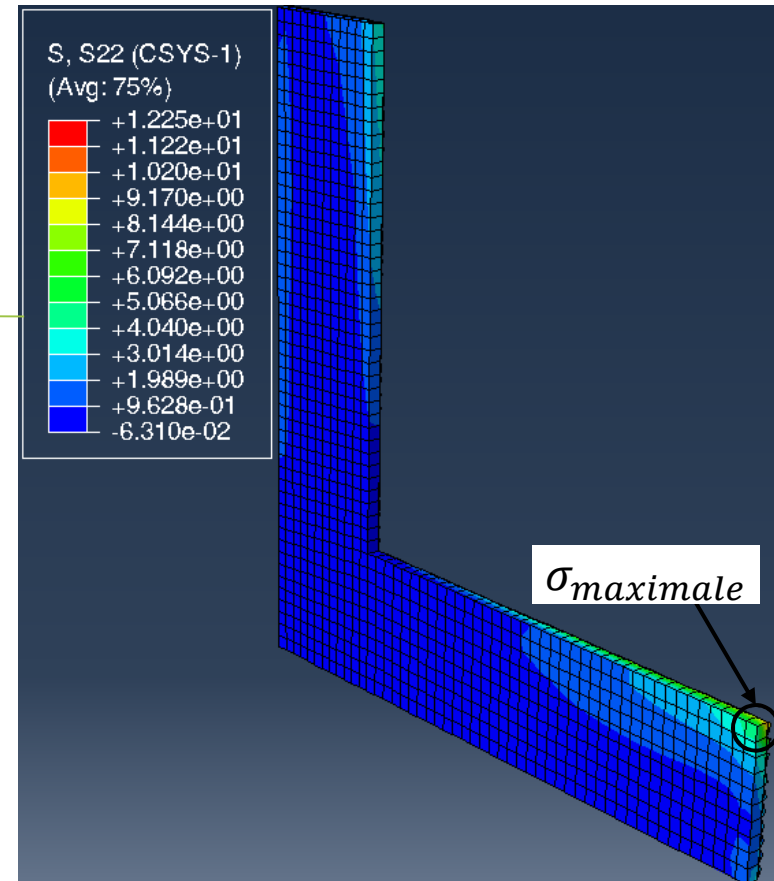
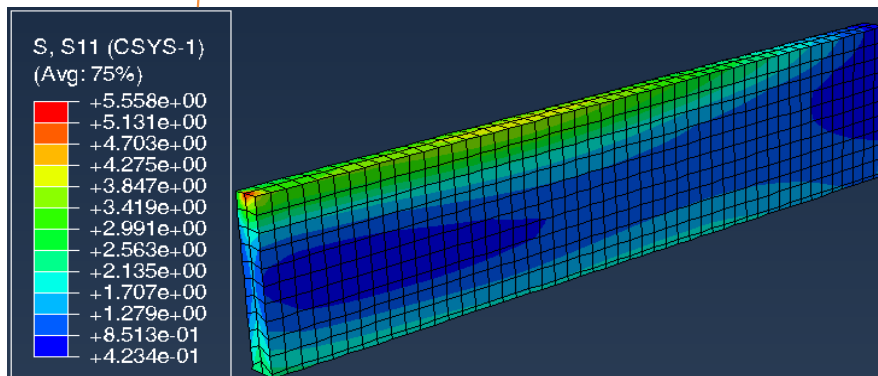
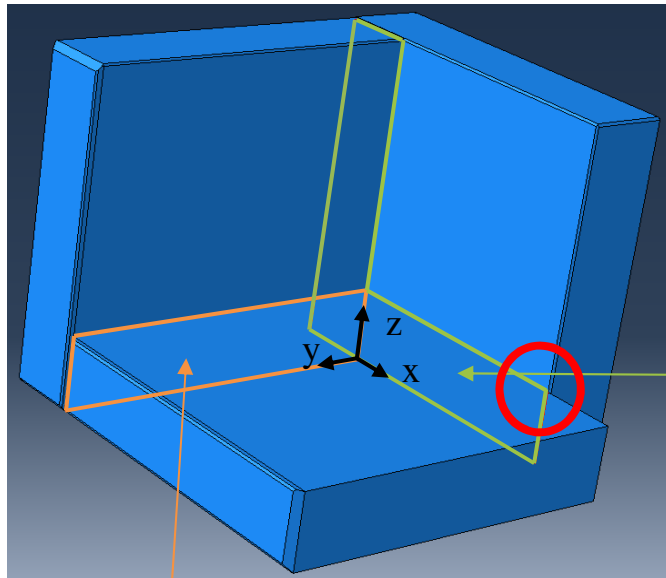
- Validation de l'équipement jusqu'à 500g
- Validation du traitement 2

Simulation du 7^{ième} choc

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



Champ de contraintes aux interfaces



Tenue aux chocs adhésion moléculaire

■ Adhérence moléculaire

- Tenue en statique améliorée par le traitement 2
- Réalisation du 1^{er} 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- <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.02.037>

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>

Thèses

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

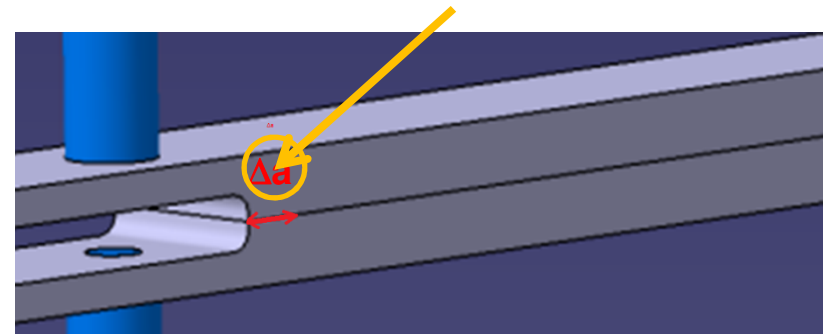
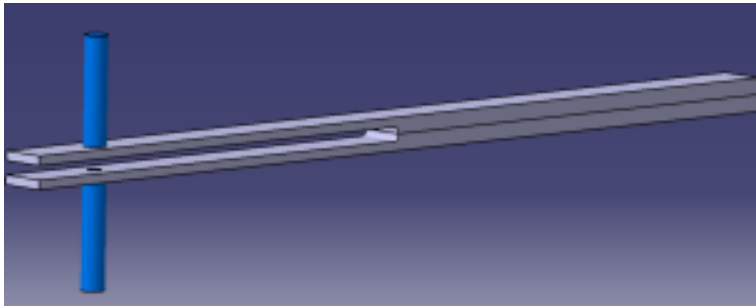
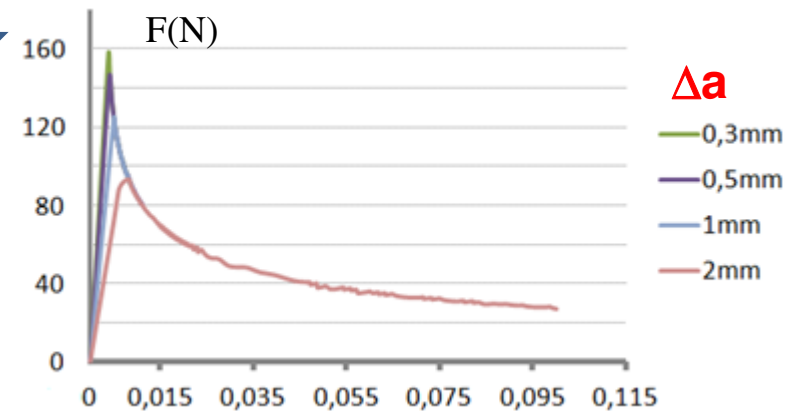
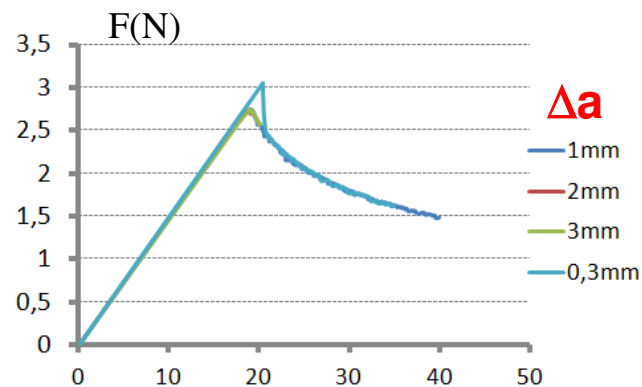


Schéma de l'essai dans le cas du bras long et du bras court

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



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