

# Caractérisation rapide de l'influence du vieillissement marin sur le comportement mécanique d'un adhésive structural

**A. Ilioni<sup>a</sup>, C. Badulescu<sup>a</sup>, PY. Le Gac<sup>b</sup>, P. Davies<sup>b</sup>, D. Thévenet<sup>a</sup>**

a. IRDL, FRE CNRS 3744, ENSTA Bretagne, F-29200, Brest, France, [alin.ilioni@ensta-bretagne.org](mailto:alin.ilioni@ensta-bretagne.org)

b. IFREMER, LCSM, 29280, Plouzané, France, [peter.davies@ifremer.fr](mailto:peter.davies@ifremer.fr)

## Résumé

*Ce papier présente une méthode rapide de prise en compte de l'effet du vieillissement marin d'un adhésif époxy dans un assemblage collé. Pour ce faire, une caractérisation expérimentale du joint de colle à l'état non vieilli (en absence d'eau) est réalisée avec l'aide du dispositif Arcan. À partir de ces résultats, le comportement mécanique de l'adhésif est modélisé en utilisant un modèle viscoélastique-viscoplastique. L'identification du modèle peut se faire à partir des résultats des essais Arcan modifié ou bien sur des essais « bulk ». La simulation d'un essai de traction sur une éprouvette massique est réalisée et comparée avec les résultats expérimentaux. En se basant sur la corrélation observée entre le comportement mécanique de l'adhésif dans le joint de colle (Arcan) et le comportement massique (bulk), une méthode d'identification du modèle sur échantillons bulk vieillis (saturés avec différents quantités d'eau) a été proposée. Le modèle identifié sur des échantillons bulk vieillis est utilisé pour prédire le comportement du joint de colle à l'état vieilli.*

**Mots clés :** assemblages collés ; colle époxy ; Arcan ; vieillissement accéléré ; expérimental

## 1. Introduction

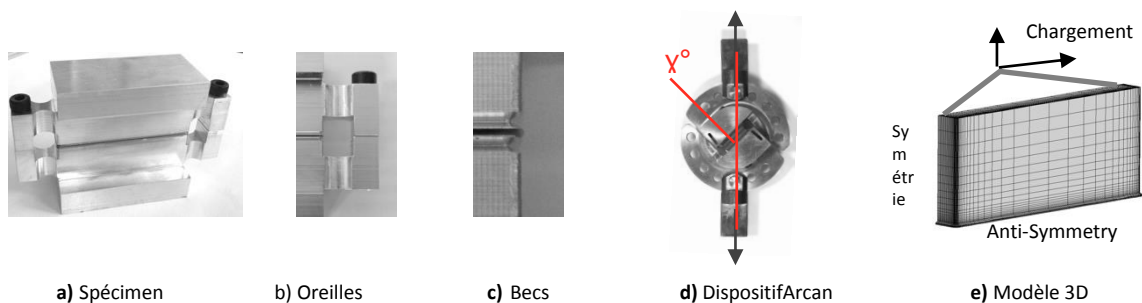
Les matériaux composites sont largement utilisés dans le domaine des énergies marines renouvelables en raison de leurs propriétés très intéressantes (matériaux légers, propriétés mécaniques très élevées). Une des meilleures solutions pour l'assemblage de ces matériaux est le collage structural. Cependant, l'utilisation du collage structural dans ce type d'industrie demande une bonne compréhension de son comportement mécanique quand il est soumis à différents chargements et conditions environnementales. Une part importante des adhésifs utilisés dans le collage structural est constituée par des polymères caractérisés par un comportement mécanique fortement non-linéaire, souvent associé à des comportements visqueux et par conséquent, dépendant de la vitesse de sollicitation [1], la température [1] ou la quantité d'eau diffusée dans leur structure [2]. Le dispositif expérimental Arcan modifié [3] permet la caractérisation du comportement mécanique non-linéaire d'adhésifs, dans un assemblage collé, jusqu'à la rupture. Différentes stratégies sont proposées dans la littérature pour modéliser le comportement mécanique de ces adhésifs [1][4][5]. Dans le cadre de cette étude, un modèle viscoélastique-viscoplastique a été développé. Il est important de noter que ce type de modèle peut prendre en compte l'effet de la vitesse de sollicitation d'un joint de colle mais, à ce jour, il n'est pas capable de prendre en compte l'évolution des propriétés mécaniques avec le vieillissement marin ou hydrique (la quantité d'eau diffusée dans la structure d'adhésif). Afin d'identifier les paramètres de ce modèle, des échantillons Arcan non vieillis ont été utilisés pour pouvoir prédire le comportement du joint de colle non vieilli.

Afin de caractériser le comportement du joint de colle vieilli en eau de mer, il est nécessaire d'identifier le modèle sur des échantillons saturés en eau. Cela demande un grand nombre d'essais expérimentaux de type Arcan, pour les différentes conditions. Les temps de saturation peuvent être très longs (jusqu'à un an pour des échantillons de type Arcan). Pour éviter cet inconvénient, la solution qui sera présentée ultérieurement propose une méthode d'identification du modèle sur des échantillons bulk qui nécessitent des temps de saturation très courts (de l'ordre de quelques jours en fonction de l'épaisseur de l'éprouvette et de la température). Cette stratégie permettra d'observer très rapidement l'évolution des propriétés mécaniques de l'adhésif en fonction des différentes quantités d'eau diffusées dans le joint de colle. Les paramètres identifiés seront utilisés pour modéliser numériquement le comportement mécanique du joint de colle vieilli (avec un gradient ou complément saturé). Les résultats présentés concernent la colle structurale *Araldite 420 AB*.

## 2. Caractérisation du comportement d'un adhésif non vieilli

### 2.1 Procédure expérimentale et identification de paramètres du modèle

Pour pouvoir caractériser le comportement d'un adhésif dans un joint de colle, les éprouvettes utilisées *Fig.1a)* ont une géométrie particulière (becs) *Fig.1c)*, qui permet de réduire les concentrations des contraintes proches du bord libre [3]. Elles sont usinées en un alliage d'aluminium 2017. La surface de collage est soumise à un traitement de surface (ponçage au papier verre, nettoyage à l'acétone) avant collage. Les oreilles *Fig.1b)* assurent la planéité et l'épaisseur du joint de colle. Le dispositif expérimental Arcan utilisé dans cet étude *Fig.1d)* permet de solliciter le joint de colle en traction, cisaillement et chargement mixte. L'identification de paramètres du modèle est réalisée avec une simulation par élément finis présentée dans la *Fig.1e)*.

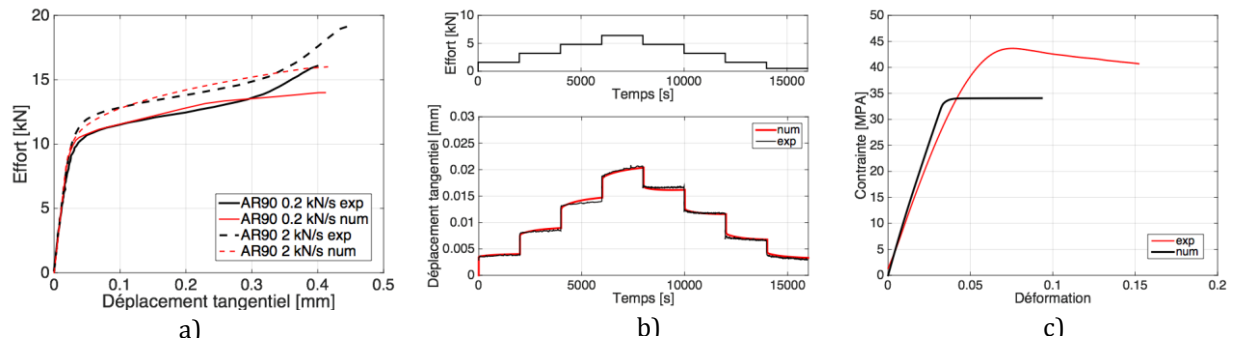


**Figure 1:** Échantillon Arcan, dispositif expérimental, modèle éléments finis

Le modèle viscoélastique-viscoplastique utilisé pour caractériser le comportement de l'adhésif dans l'assemblage est décrit par Eq. 1 où  $\underline{\underline{C}}$  est la rigidité élastique.

$$\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{C}} \left( \underline{\underline{\varepsilon}} - \underline{\underline{\varepsilon}}^{ve} - \underline{\underline{\varepsilon}}^{vp} \right) \quad (1)$$

Deux types d'essais sont nécessaires pour identifier le modèle: des essais de fluage à différents paliers de charge *Fig.2a)* afin de pouvoir identifier la partie viscoélastique et des essais monotones *Fig.2b)* pour l'identification de la partie viscoplastique. Ci-dessous seront présentés que les résultats obtenus en cisaillement.



**Figure 2.** Identification et validation du modèle (en cisaillement) a), b). Comparaison entre le comportement non vieilli d'une éprouvette massive et la prédiction du modèle identifié sur un joint de colle non-vieilli c)

### 2.3 Comparaison entre le comportement massique expérimental de l'adhésif et la prédiction numérique

Après avoir identifié les paramètres du modèle à partir d'essais Arcan modifié, une comparaison entre un essai de traction sur éprouvette massive et sa prédiction numérique est réalisée. Les résultats obtenus *Fig.2c)* montrent une différence entre les limites d'élasticité dans les deux cas. Cela s'explique par le fait qu'en identifiant le modèle sur les essais Arcan, on identifie une limite d'élasticité de 32 MPa inférieure à celle observée sur les essais de traction massive soit 37 MPa.

## 3. Prédiction du comportement d'un assemblage collé vieilli

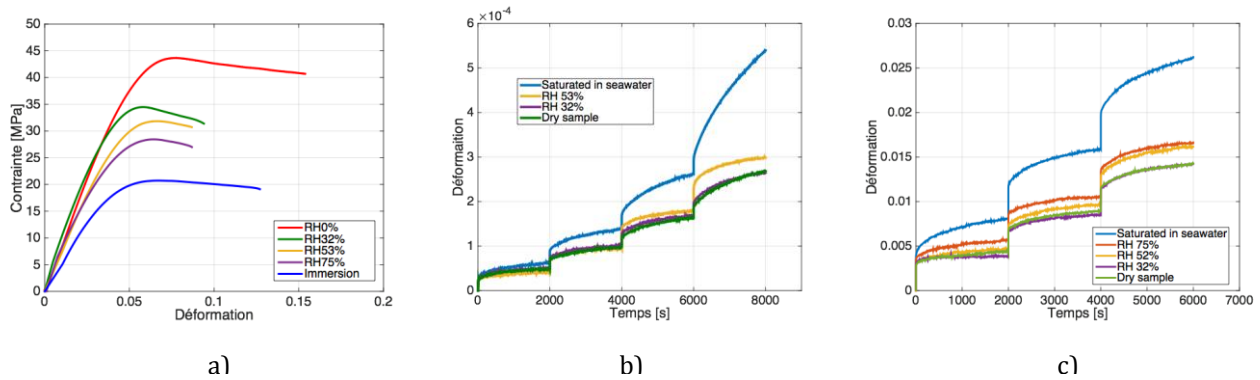
### 3.1 Vieillissement rapide des éprouvettes massiques

Avant de commencer le vieillissement accéléré des éprouvettes massiques, une étude de la cinétique de diffusion d'eau dans l'adhésif a été réalisée à différentes températures. La température de 40°C a été choisie pour effectuer le vieillissement rapide de ces échantillons. Cette température a été choisie car elle diminue les temps de saturation de 3 mois (25°C) à quelques jours. Les éprouvettes ont été saturées à l'Ifremer de Brest par immersion complète dans l'eau de mer et dans des enceintes à différents pourcentages d'humidité relative (RH): 32%RH, 53%RH, 75%RH. Cela a permis d'obtenir des éprouvettes saturées homogènes avec différentes quantités d'eau, nécessaires à l'identification des paramètres du modèle.

### 3.2 Influence de l'eau sur le comportement massique et modélisation du comportement d'un joint de colle vieilli

L'identification du modèle sur les échantillons massiques saturés à quantités d'eau différentes se fait via les mêmes types d'essais que ceux réalisés sur les éprouvettes Arcan : des essais de fluage en traction *Fig.3b)* et en cisaillement *Fig.3c)*.

Une méthode d'identification inverse est utilisée afin d'identifier des groupes de paramètres pour les différentes conditions. 0%RH correspond à un état non vieilli de l'adhésif. L'influence de l'eau sur les propriétés mécaniques peut être observée dans les différents types d'essais réalisés. En traction monotone *Fig.3a)*, le module d'Young évolue beaucoup et on peut noter aussi une diminution significative de la limite d'élasticité.



**Figure 3.** Résultats expérimentaux obtenus sur des éprouvettes massiques saturées à différents %RH en a) traction monotone b) fluage en cisaillement c) fluage en traction

Avant de modéliser le comportement d'un assemblage collé vieilli, il est nécessaire de simuler la diffusion d'eau dans le joint de colle. Cela permet de déterminer le gradient de concentration en eau en fonction du temps. Ensuite, pour les zones saturées avec différentes quantités d'eau il est possible d'associer les paramètres identifiés au préalable sur les échantillons massiques. À cause des temps très longs de saturation des éprouvettes Arcan, les essais de validation sont en cours.

## 4. Conclusion

Ce papier propose une méthode rapide de la caractérisation de comportement mécanique d'un joint collé vieilli en eau de mer. Le temps nécessaire pour saturer un échantillon massif (quelques jours) est considérablement plus court en comparaison avec le temps de saturation d'un joint de colle. De plus, les essais expérimentaux réalisés sur des éprouvettes massiques sont plus faciles à réaliser, ce qui peut être aussi intéressant de point de vue industriel.

## Références

- [1] C. Badulescu, C. Germain, J.Y. Cognard, N. Carrère, Characterization and modelling of the viscous behaviour of adhesives using the modified Arcan device, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(5):443–461, 2015
- [2] N. Arnaud, Analyse de l'effet du vieillissement en milieu humide sur le comportement mécanique d'adhésifs en assemblages sous sollicitations multiaxiales, PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale, 2014
- [3] J.Y. Cognard, Numerical analysis of edge effects in adhesively-bonded assemblies application to the determination of the adhesive behaviour, *Computers & Structures*, 86(17):1704–1717, 2008.
- [4] P. Bidaud, R. Créac'hacdec, D. Thévenet, J. Y. Cognard, P. Jousset, A prediction method of the behavior of adhesively bonded structures under cyclic shear loading based on a characterization of the viscous aspects of the adhesive in an assembly. *The Journal of Adhesion*, 91(9), 701-724, 2015
- [5] R. Mahnen, M. Schlimmer, Simulation of strength difference in elasto-plasticity for adhesive materials, *International journal for numerical methods in engineering*, 63(10):1461-77, 2005