

## Job offer: postdoctoral Fellow

**Project Title:**

**Estimation of anisotropic mechanical parameters of flax and carbon fibres by instrumented nano-indentation testing**

**Research Fields:** Mechanics of Materials, Numerical Simulation, Small-scale mechanical testing, Inverse problems, fibres, composites

**Work Place:** Univ. Bretagne Sud, Lorient, France

**Research Laboratory(ies):** IRDL, UMR CNRS 6027

**UBL Research Department:** Industry

**Head(s) of the Scientific Project:** Prof. V. Keryvin (IRDL)

**Offer type:** postdoctoral researcher (short term contract, 24 months)

**Hiring Institution:** Univ. Bretagne Sud

**Application deadline:** December, 1<sup>st</sup>, 2018

**Job Starting Date:** February, 1<sup>st</sup>, 2019

### Environment

Enterprising and citizen, the University of South Brittany has 3 campuses: Lorient, Vannes and Pontivy. Professional and human-sized, it relies on the expertise of its 900 staff including 500 teachers and teacher-researchers to train their 9,400 students.

The ambition of the IRDL research unit is to play, in the short term, an even more important role at the regional, national and international levels in solving the current issues related to the engineering of materials and systems used in the automotive-related industries, in energy, aeronautics, health, transport and more particularly all areas in dynamic interaction with the marine environment, such as shipbuilding and offshore, marine energy. The project is part of the prediction of the durability of composite fibre structures used in racing yachts in connection with racing teams from the Sailing Valley. This theme is supported by the departmental council of Morbihan and the Brittany region, as well as by the University of Southern Brittany. The project leader has been working since 2013 via collaborations with the offshore racing teams, the construction sites and the engineering firms, to make the link between the manufacturing processes, the properties of use and the service life of structures (masts, hydrofoils, ...).

### Mission (scientific project)

The innovative manufacturing of these materials, for example by fibre placement methods, the durability of structures (fatigue, shaping) and the replacement of mineral fibres (glass, carbon) with fibre from agricultural bioresources (flax) are very much in line with the scientific orientations of UBL's Industry Department.

The challenge of this project is to feed a multi-scale approach to predict fatigue life. A PhD thesis (with GSeaDesign, design company based in Lorient) was completed in 2017 on the proposal of a multi-scale approach to predict fatigue life by homogenizing the properties of the constituents (fiber, matrix) and by localizing the loadings (mechanical, thermal ...). A second PhD in the same collaborative framework has just begun on the continuity of this topic. One of the keys to these multi-scale methods is the knowledge of the behaviour (mechanical, for example) of the constituents. However, they are highly anisotropic in the case of carbon fibres or flax fibres. Moreover, the small size of these objects (a few micrometres in diameter) makes it almost impossible to determine the 9 (orthotropic case) or 5 (transverse isotropy) of the elasticity constants. This is not to mention that in the case of flax fibers the behaviour is strongly nonlinear (viscoelasticity (see Keryvin et al., 2015)).

The objective is to extract the mechanical properties of these constituents by instrumented nanoindentation tests. The project leader has a great deal of experience with this type of experimental techniques and the extraction of properties by inverse analysis. (V. Keryvin et al., 2017), using experimental equipment and software used at the IRDL. Nevertheless, specific difficulties, and not least, remain for these materials. We read the main locks here.

1. Regarding the elasticity properties, for an isotropic material, a single test theoretically allows access to the plane strain modulus. For an anisotropic material, the difficulty is greatly increased since the indentation modulus measured depends on the 5 (or 9) elasticity parameters of the material. Analytical solutions that are exact but complex (Vlassak et al., 2003) or approximate and simple but limited (Delafargue and Ulm, 2004) have nonetheless been proposed. We will start from these existing solutions.
2. Carbon fibers, unlike glass fibers, besides the fact that they are very anisotropic (contrast of 40 between longitudinal and transverse moduli) are in addition themselves heterogeneous. Crystalline planes may have a tendency to buckle, for example (Barsoum et al., 2004, Gross et al., 2013). The type of indenter vis-à-vis the orientation of these plans, as well as the level of loading will have to be adapted.
3. Indenting on a fiber surrounded by matrix and other fibers does not allow the fiber to be considered as isolated. Taking into account an isolated fiber or in a fiber environment will have to be taken into account for example by a specific numerical approach (L. Charleux et al., 2015).

Methodologically, the project should proceed according to the following elements:

- Experimental work
  - Selection of carbon and flax fibers from unidirectional folds from other laboratory studies
  - Cutting of samples at different angles with respect to the direction of the folds of the unidirectional
  - Small-scale indentation (~ 100 nm depth) of the different samples with different indenters (cone, pyramid, sphere)
  - - imprint imaging by atomic force microscopy
- Modeling work
  - Implementation of direct analytical models in scripts (eg Python)
  - Creation of optimization scripts using analytical models allowing via experimental data to extract the mechanical properties of the fiber
- Simulation work

- Creation of numerical models (finite elements) representative of indentations carried out taking into account
  - the angle between the axis of the fiber and the indenter
  - type of indenter (cone, pyramid, sphere)
  - of the matrix
- Use of inverse methods integrating the previous numerical models

It should be noted that some works may be done in relation with colleagues:

- DR. Jean-Pierre Guin (IPR, U. Rennes 1) for a complementary experimental part in nano-indentation and atomic force microscopy
- Dr. L. Charleux (SYMME, U. Savoie-Mont-Blanc) for a complementary numerical part
- Dr. O. Arnouldt (LMGC, U. Montpellier II) for a complementary analytical modelling

## Required Profile

Doctor (PhD) in mechanics of materials or solids maximum 3 years of experience after thesis defense<sup>1</sup>. An international experience in research is required (during or after Doctorate). Candidates must not have supported their thesis in the hiring institution and not previously worked in the host research unit.

The searched profile includes the following elements:

- Doctor in mechanics of materials or structures
- Experimental capacities especially in instrumented nano-indentation
- Use of finite element analyses codes
- Use of programming softwares (Python, Matlab ...)
- Ability to write in English
- Autonomous work
- Restitution of work by exchanges, reports

## Usefull References

Barsoum, M., Murugaiah, A., Kalidindi, S., Zhen, T., Gogotsi, Y. (2004). Kink bands, nonlinear elasticity and nanoindentations in graphite. *Carbon*, 42(8-9), 1435–1445.

Charleux, L., Keryvin, V., Bizet, L. (2015). abapy : Abapy\_v1.0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17784>

Delafargue, A., Ulm, F.-J. (2004). Explicit approximations of the indentation modulus of elastically or-thotropic solids for conical indenters. *International Journal of Solids and Structures*, 41(26), 7351–7360.

Gross, T. S., Timoshchuk, N., Tsukrov, I. I., Piat, R., Reznik, B. (2013). On the ability of nanoindentation to measure anisotropic elastic constants of pyrolytic carbon. *ZAMM-Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik*, 93(5, SI), 301–312.

Keryvin, V., Charleux, L., Bernard, C., Nivard, M. (2017). The influence of indenter tip imperfection and deformability on analysing instrumented indentation tests at shallow depths of penetration on stiff and hard materials. *Exp. Mech.*, 57(7), 1107–1113.

---

<sup>1</sup> The thesis defense must have taken place after 31/08/2014, except in rare exceptions. Periods of sickness, maternity or parental leave shall not be counted in this 3 years period.

Keryvin, V., Lan, M., Bourmaud, A., Parenteau, T., Charleux, L., Baley, C. (2015). Analysis of flax fibres viscoelastic behaviour at micro and nano scales. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 68, 219–225.

Vlassak, J., Ciavarella, M., Barber, J., Wang, X. (2003). The indentation modulus of elastically anisotropic materials for indenters of arbitrary shape. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 51(9), 1701–1721.

IRD L [www.irdl.fr](http://www.irdl.fr)

UBS [www.univ-ubs.fr](http://www.univ-ubs.fr)

## How to apply ?

Please send the following documents by email to : Pr. V. Keryvin [vincent.keryvin@univ-ubs.fr](mailto:vincent.keryvin@univ-ubs.fr), with copy to [recherche@u-bretagne-loire.fr](mailto:recherche@u-bretagne-loire.fr) :

- Short Curriculum Vitae and a covering letter showing your interest and especially addressing your professional project
- A list of your major works (2 pages max.) : scientific publications, patents and others scientific productions
- Letters of recommendation (not required)
- A copy of your PhD diploma<sup>2</sup>

The general selection process is described here : <https://u-bretagne-loire.fr/dossiers/postdoc/candidatures>

The selection of the candidate will be made by a jury of 3 people including the project leader and two members outside the project. After a pre-selection process on file, the candidates presenting the files most adapted to the desired profile will be auditioned mid-December, face-to-face or by videoconference, by the members of the jury. At the end of the auditions, a ranking of the candidates will be realized.

## Further information

Annual Gross Salary : 34440 €/month (provided the co-funding is agreed)

This Fellowship is co-funded by Université Bretagne Loire and Bretagne Region.

The Université Bretagne Loire federates 7 universities, 15 “grandes écoles” and 5 research organisations in the West of France (Bretagne and Pays de la Loire). This community of universities and institutions aims to develop the scientific and academic potential of this territory at national and international level.

The regional policy of Brittany aims at consolidating Breton research in seven areas of innovation and strategic research, which include both the historical axes of Breton research (science and information and communication technologies, the sea , agriculture and the environment) and emerging fields of exploration at the international level (life and health sciences or human and social sciences).

---

<sup>2</sup> For doctors graduated from a French establishment, a link to the thesis notice in the [SUDOC Catalogue](#) or the French official portal [Theses.fr](http://theses.fr) is sufficient.

## Offre de recrutement : chercheur postdoctorant

### TITRE DU PROJET:

**Détermination du comportement mécanique anisotrope de fibres hétérogènes de lin et de carbone par nano-indentation instrumentée**

**Thème de recherche :** Mécanique des matériaux, simulation numérique, essais à petite échelle, problèmes inverses, fibres, composites

**Lieu de travail :** Centre de Recherches Christiaan Huyghens, Lorient

**Unité(s) de recherche :** Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRD), UMR CNRS 6027

**Département(s) de Recherche UBL de rattachement :** Industrie

**Responsable(s) scientifique(s) du projet :** Pr. Vincent Keryvin (IRD)

**Type d'offre :** chercheur contractuel (CDD 24 mois)

**Etablissement employeur :** Université de Bretagne Sud (UBS)

**Date limite de candidature :** 01/12/2018

**Date prévisionnelle de prise de poste :** 01/02/2019

### Environnement

Plurielle, entreprenante et citoyenne, l'Université Bretagne Sud rassemble 3 campus : Lorient, Vannes et Pontivy. Professionnalisante et à taille humaine, elle s'appuie sur la compétence de ses 900 personnels dont 500 enseignants et enseignants-chercheurs pour former chaque année ses membres : 9 400 étudiants.

L'ambition de l'unité de recherche IRDL est de jouer, à court terme, un rôle encore plus important aux niveaux régional, national et international dans la résolution des questions actuelles liées à l'ingénierie des matériaux et des systèmes utilisés dans les secteurs industriels liés à l'automobile, l'énergie, l'aéronautique, la santé, aux transports et plus particulièrement tous les domaines en interaction dynamique avec le milieu marin, telles que la construction navale et offshore, les énergies marines. Le projet s'inscrit dans le cadre de la prévision de la durabilité des structures composites à fibres employées dans le nautisme de compétition en lien avec les écuries de course au large de la Sailing Valley. Cette thématique est soutenue par le conseil départemental du Morbihan et la région Bretagne, ainsi que par l'Université de Bretagne Sud. Le porteur du projet s'attache depuis 2013 via des collaborations avec les écuries de course au large, les chantiers de construction et les cabinets d'ingénierie, à faire le lien entre les procédés de fabrication, les propriétés d'usage et la tenue en service des structures (mâts, hydrofoils,...).

## Mission (projet scientifique)

La fabrication innovante de ces matériaux, par exemple par méthodes de placement de fibre, et sa prise en main par les chantiers de la course au large (usine du futur), la durabilité des structures (fatigue, mise en forme) et le remplacement de fibres minérales (verre, carbone) par des fibres provenant des bioressources agricoles (lin) sont très en lien avec les orientations scientifiques du département Industrie de l'UBL.

L'enjeu du présent projet est d'alimenter une démarche multi-échelles de prédiction de la durée de vie en fatigue. Une thèse de doctorat (financement CIFRE avec l'entreprise GSeaDesign basée à Lorient) s'est terminée en 2017 sur la proposition d'une démarche multi-échelles de prédiction de la durée de vie en fatigue par homogénéisation des propriétés des constituants (fibre, matrice) et par localisation des sollicitations (mécanique, thermique...). Une seconde thèse dans le même cadre collaboratif vient de débiter sur la continuité de ce sujet.

L'une des clés de ces méthodes multi-échelles est la connaissance du comportement (mécanique p. ex.) des constituants. Cependant ceux-ci sont fortement anisotropes dans le cas des fibres de carbone ou des fibres de lin. De surcroît la petite taille de ces objets (quelques micromètres de diamètre) rendent quasi impossible la détermination des 9 (cas orthotrope) ou 5 (isotropie transverse) des constantes d'élasticité. Ceci sans compter que dans le cas des fibres de lin le comportement est fortement non linéaire (viscoélasticité (V. Keryvin et al., 2015)).

On se propose d'extraire les propriétés mécaniques de ces constituants par des essais de nano-indentation instrumentée. Le porteur du projet a une grande expérience de ce type de techniques expérimentales et de l'extraction des propriétés par analyse inverse. (V. Keryvin et al., 2017), à partir de matériels expérimentaux et de logiciels utilisés à l'IRD.

Néanmoins, des difficultés spécifiques, et non des moindres, subsistent pour ces matériaux. Nous listons les principaux verrous ici.

1. En ce qui concerne les propriétés d'élasticité, pour un matériau isotrope, un seul essai permet théoriquement d'accéder au module de déformation plane. Pour un matériau anisotrope, la difficulté est fortement augmentée puisque le module d'indentation mesuré dépend des 5 (ou 9) paramètres d'élasticité du matériau. Des solutions analytiques exactes mais complexes (Vlassak et al., 2003) ou approchées et simples mais limitées (Delafargue and Ulm, 2004) ont néanmoins été proposées. Nous partirons de ces solutions existantes.
2. Les fibres de carbone, au contraire des fibres de verre, outre le fait qu'elles soient très anisotropes (contraste de 40 entre modules longitudinal et transversal) sont en plus elles-mêmes hétérogènes. Les plans cristallins peuvent avoir tendance à flamber par exemple (Barsoum et al., 2004; Gross et al., 2013). Le type d'indenteur vis-à-vis de l'orientation de ces plans, ainsi que le niveau de chargement devra être adapté.
3. Le fait d'effectuer une indentation sur une fibre entourée de matrice et d'autres fibres ne permet pas de considérer la fibre comme isolée. La prise en compte d'une fibre isolée ou bien dans un environnement de fibres devra être pris en compte par exemple par une approche numérique spécifique (L. Charleux et al., 2015).

De façon méthodologique, le projet devrait se dérouler suivant les éléments suivants :

- Travail expérimental
  - sélection de fibres de carbone et de lin à partir de plis unidirectionnels venant d'autres études menées au laboratoire
  - découpe d'échantillons suivant différents angles vis-à-vis de la direction des plis de l'unidirectionnel

- indentation à petite échelle ( $\sim 100$  nm de profondeur) des différents échantillons avec différents indenteurs (cone, pyramide, sphère)
- observation des empreintes par microscopie à force atomique
- Travail de modélisation
  - Implémentation des modèles analytiques directs dans des scripts (Python p.ex.)
  - Création de scripts d'optimisation utilisant les modèles analytiques permettant via les données expérimentales d'extraire les propriétés mécaniques de la fibre
- Travail de simulation
  - Création de modèles numériques (éléments finis) représentatifs des indentations effectuées tenant compte
    - de l'angle entre l'axe de la fibre et l'indenteur
    - du type d'indenteur (cone, pyramide, sphère)
    - de la matrice
  - Utilisation de méthodes inverses intégrant les modèles numériques précédents

Il est à noter que certains travaux pourront se faire en relation avec des collègues :

- DR. Jean-Pierre Guin (IPR, U. Rennes 1) pour une partie expérimentale complémentaire en nano-indentation et microscopie à force atomique
- Dr. L. Charleux (SYMME, U. Savoie-Mont-Blanc) pour une partie numérique complémentaire
- Dr. O. Arnouldt (LMGC, U. Montpellier II) pour une partie modélisation analytique complémentaire

## Profil recherché

Docteur en mécanique des matériaux ou des solides, avec au maximum 3 ans d'expérience après l'obtention de son doctorat<sup>3</sup>, disposant d'une expérience de recherche à l'international (durant ou après son doctorat)<sup>4</sup>, n'ayant pas soutenu sa thèse au sein de l'établissement de recrutement et n'ayant pas déjà travaillé dans l'unité de recherche d'accueil.

Le profil recherché comporte les éléments suivants :

- Docteur en mécanique des matériaux ou des structures
- Capacités expérimentales en particulier en nano-indentation instrumentée
- Utilisation de codes de calcul par éléments finis
- Utilisation de logiciels de programmation (Python, Matlab...)
- Capacité à rédiger en anglais
- Travail en autonomie
- Restitution du travail par échanges, rapports

<sup>3</sup> Durée appréciée au 1/9/2018 : la date de soutenance doit être postérieure au 31/08/2015, sauf dérogation exceptionnelle. Les périodes de congés pour maladie, maternité ou parentalité ne sont pas comptées dans cette durée.

<sup>4</sup> Cette expérience de recherche peut être une mobilité de quelques mois durant le doctorat, une cotutelle internationale de thèse, un doctorat réalisé entièrement à l'étranger, un précédent postdoc à l'étranger après un doctorat en France. En cas d'expérience internationale uniquement pré-doctorale, il s'agira d'évaluer s'il s'est agi d'une véritable expérience de pratique/initiation à la recherche (stage dans un laboratoire). En cas de doute, l'éligibilité de la candidature sera décidée par le(s) directeur(s) du/des Département(s) de recherche concerné(s).

## Références utiles

Barsoum, M., Murugaiah, A., Kalidindi, S., Zhen, T., Gogotsi, Y. (2004). Kink bands, nonlinear elasticity and nanoindentations in graphite. *Carbon*, 42(8-9), 1435–1445.

Charleux, L., Keryvin, V., Bizet, L. (2015). abapy : Abapy\_v1.0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17784>

Delafargue, A., Ulm, F.-J. (2004). Explicit approximations of the indentation modulus of elastically or-thotropic solids for conical indenters. *International Journal of Solids and Structures*, 41(26), 7351–7360.

Gross, T. S., Timoshchuk, N., Tsukrov, I. I., Piat, R., Reznik, B. (2013). On the ability of nanoindentation to measure anisotropic elastic constants of pyrolytic carbon. *ZAMM-Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 93(5, SI), 301–312.

Keryvin, V., Charleux, L., Bernard, C., Nivard, M. (2017). The influence of indenter tip imperfection and deformability on analysing instrumented indentation tests at shallow depths of penetration on stiff and hard materials. *Exp. Mech.*, 57(7), 1107–1113.

Keryvin, V., Lan, M., Bourmaud, A., Parenteau, T., Charleux, L., Baley, C. (2015). Analysis of flax fibres viscoelastic behaviour at micro and nano scales. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 68, 219–225.

Vlassak, J., Ciavarella, M., Barber, J., Wang, X. (2003). The indentation modulus of elastically anisotropic materials for indenters of arbitrary shape. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 51(9), 1701–1721.

IRDl [www.irdl.fr](http://www.irdl.fr)

UBS [www.univ-ubs.fr](http://www.univ-ubs.fr)

## Dossier de candidature

Pour candidater à cette offre, veuillez transmettre les éléments suivants à Pr. V. Keryvin [vincent.keryvin@univ-ubs.fr](mailto:vincent.keryvin@univ-ubs.fr), avec copie à la mission recherche de l'UBL [recherche@u-bretagne Loire.fr](mailto:recherche@u-bretagne Loire.fr) :

- Un CV court et une lettre de motivation qui aborde notamment votre projet professionnel
- Une liste de vos principaux travaux réalisés (2 pages max.) : publications scientifiques, brevets et autres productions scientifiques
- D'éventuelles lettres de recommandations
- Une copie de votre diplôme de doctorat<sup>5</sup>

Vous trouverez la description du processus général de sélection sur la page suivante : <https://u-bretagne Loire.fr/dossiers/postdoc2018/candidatures>

La sélection des candidats sera effectuée par un jury de 3 personnes incluant le porteur du projet et deux membres extérieurs au projet. Après un processus de présélection sur dossier, les candidats présentant les dossiers les plus adaptés au profil recherché seront auditionnés mi-décembre, en présentiel ou par visioconférence, par les membres du jury. A l'issue des auditions, un classement des candidats sera réalisé.

---

<sup>5</sup> Pour les titulaires d'un doctorat soutenu dans un établissement français, un lien vers la notice de votre thèse dans le [catalogue SUDOC](#) ou le portail officiel [Theses.fr](http://theses.fr) suffit.





## Informations complémentaires

Salaire brut annuel : sous réserve que le co-financeur donne son aval, 34440 € / an sur 2 ans

Ce poste est co-financé par l'Université Bretagne Loire et la région Bretagne.

L'Université Bretagne Loire fédère 7 universités, 15 grandes écoles et 5 organismes de recherche de Bretagne et Pays de la Loire. Cette communauté d'universités et établissements (ComUE) a pour objectif de développer le potentiel scientifique et académique de ce territoire au niveau national et international.

La politique régionale de Bretagne vise à conforter la recherche bretonne dans sept domaines d'innovation et de recherche stratégiques, qui regroupent à la fois les axes historiques de la recherche bretonne (sciences et technologies de l'information et de la communication, de la mer, de l'agriculture et de l'environnement) et les champs d'exploration émergents au niveau international (sciences de la vie et de la santé ou sciences humaines et sociales).