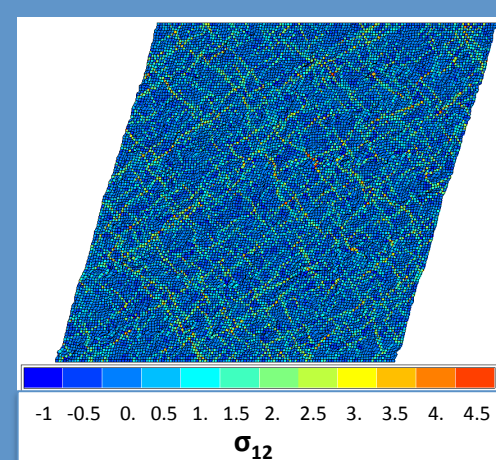
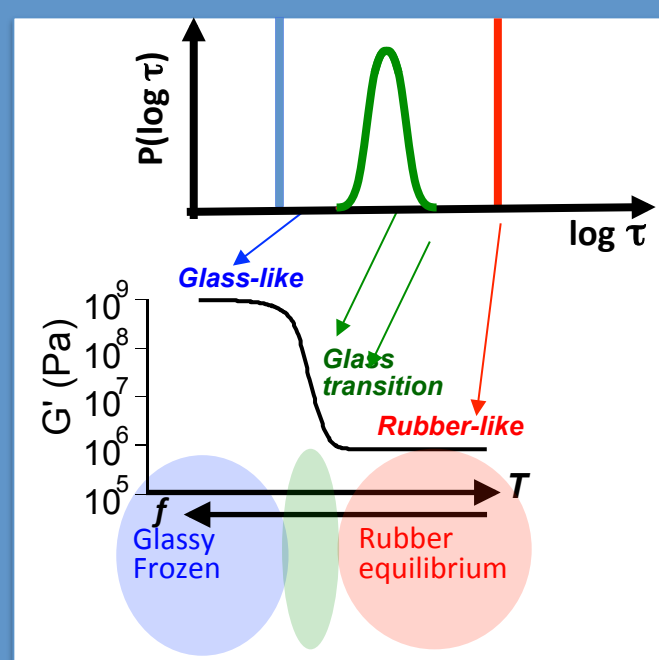


Simulation multi-échelles des polymères nano-renforcés

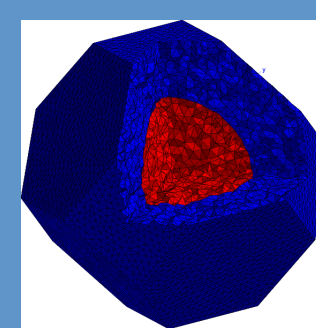
- Prédiction des propriétés mécaniques
- Aide à la conception de nouveaux matériaux
- Calcul de structures de pièces industrielles

(10 nm) Simulation de l'hétérogénéité de distribution des longueurs de chaînes macromoléculaires

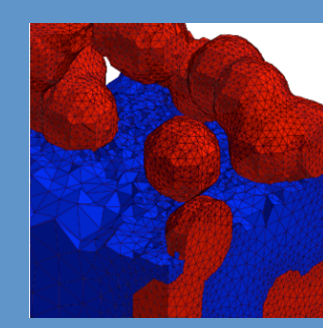


Distribution aléatoire des temps de relaxations sur 10 décades (1 élément = 1 temps τ)

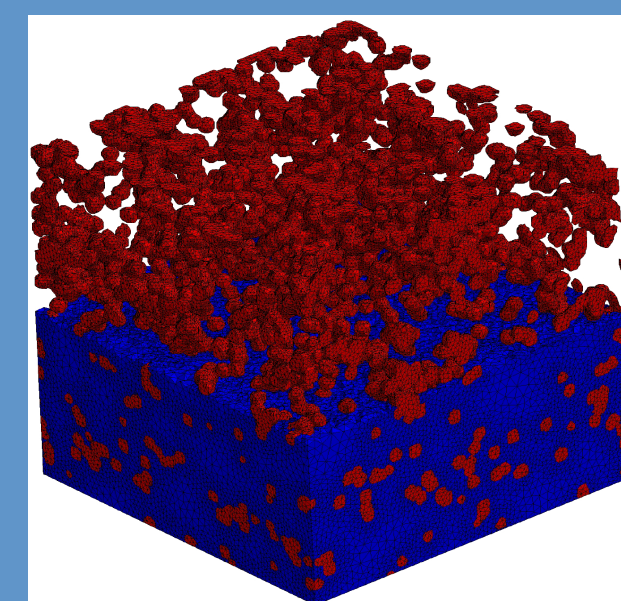
(100 nm) Simulation de la microstructure de caoutchouc renforcé de Noir de Carbone



Modèle d'homogénéisation périodique : volume élémentaire représentatif dodecahedron



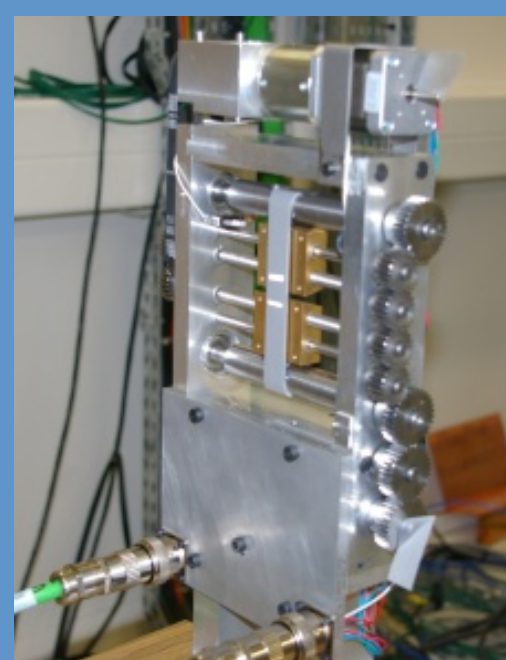
Modèle mathématique multi-échelles, modèle booléen de sphères



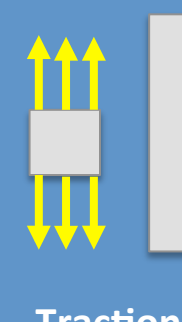
800 nm de longueur d'arête constitué de 10 000 particules de Noir de Carbone

(Carnot Nanostructures, 2012)

(1 nm) Caractérisation de la phase cristalline sous déformation multi-axiale



Conception d'une machine motorisée TRACY sous Rayon X (Carnot, 2009)

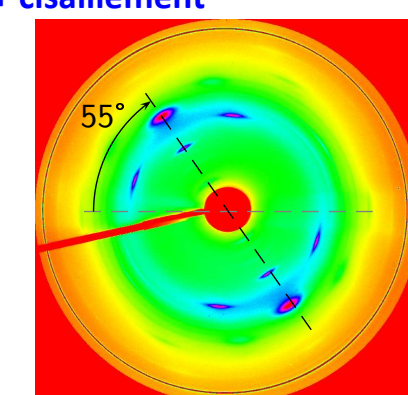
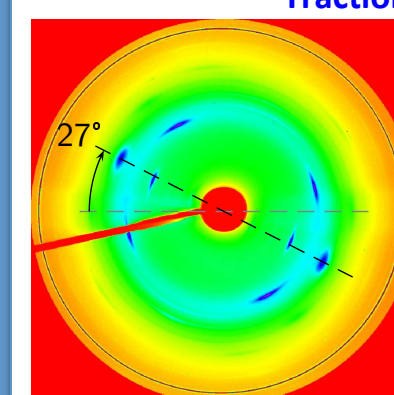
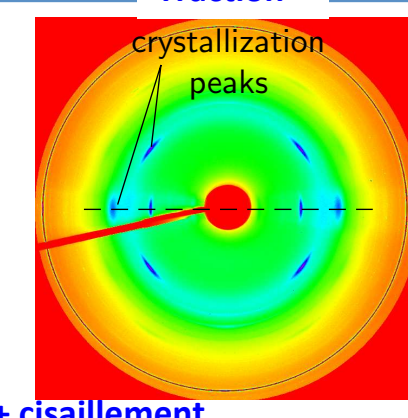
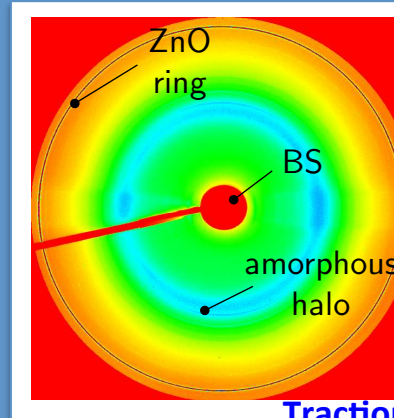


Traction



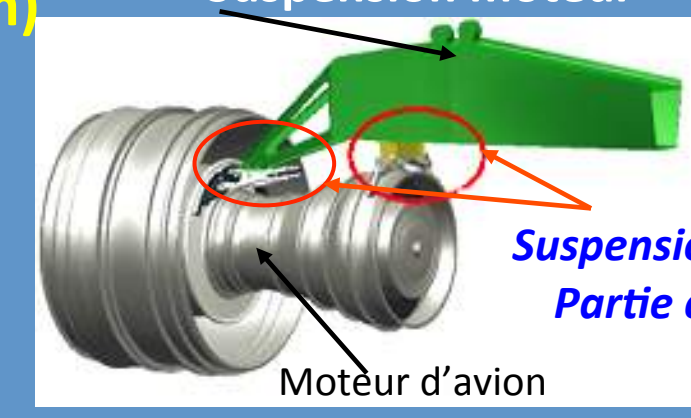
Traction + cisaillement

Diffractogrammes



Évolution sous charge du taux de cristallinité et de l'orientation des cristallites

(10 cm) Suspension moteur



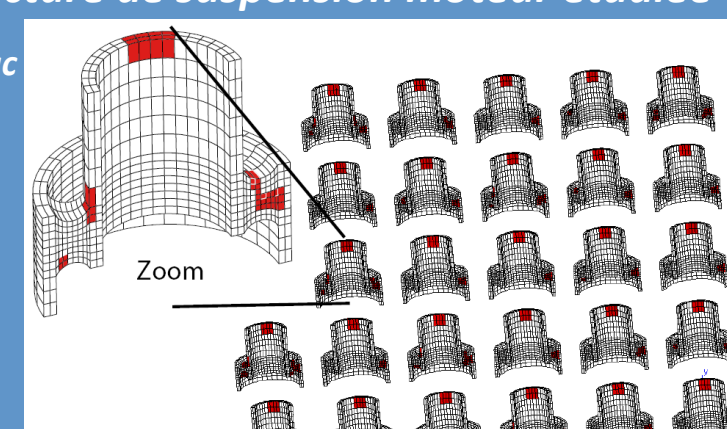
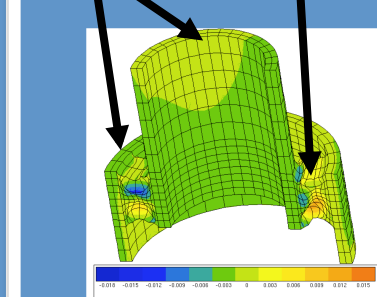
Suspension souple
Partie étudiée

Moteur d'avion

Architecture de suspension moteur étudiée

Métal

Caoutchouc



Enjeux et verrous technologiques

Le coût croissant de l'énergie et la nécessité de réduire les émissions de CO₂, conduisent à développer des solutions matériaux alternatives aux métaux dans les applications automobile et l'aéronautique. Le faible poids des polymères renforcés, leur bon compris de rigidité et la tenue au choc de certains grades en font d'excellents candidats.

Les principaux verrous technologiques identifiés sont :

- Prédire les propriétés mécaniques statiques et d'amortissement des vibrations de pièces soumises à des contraintes de température et de vieillissement,
- Déduire la résistance à la fatigue,
- Concevoir et optimiser des nouveaux matériaux.

Compétences développées

Physique des matériaux :

- Caractérisation in situ sous Rayons X (Synchrotron) de la cristallisation induite des polymères sous chargements mécaniques,
- Développement d'essais de sollicitations thermo-mécaniques in situ adaptés aux lignes synchrotron (SOLEIL Saclay, ESRF Grenoble).

Comportement mécanique des matériaux :

- Développement de nouvelles méthodes de caractérisations mécaniques des élastomères.

Mécanique numérique :

- Développement de nouveaux modèles de morphologie mathématiques,
- Nouvelle méthode de réduction de modèle pour mener des calculs paramétriques selon une approche raisonnée du calcul intensif.

Résultats

- Développement et mise en œuvre d'une nouvelle loi de Comportement mécanique des caoutchoucs dans un code de Calcul par éléments Finis (Zset)
- Outil de simulation numérique optimisé pour la prédiction de l'amortissement d'une structure industrielle
- Meilleure compréhension des mécanismes physiques à différentes échelles et de leur impacts sur la réponse macroscopique du caoutchouc naturel renforcé de noir de carbone.

Articles :

- "A priori hyper-reduction method for coupled viscoelastic-viscoplastic composites", B. Miled, D. Ryckelynck, S. Cantournet, Computers and Structures, vol 0,119, p 95-103, 4, 2013.
- "Multidimensional a priori hyper-reduction of mechanical models involving internal variables », D. Ryckelynck, F. Vincent, S. Cantournet, CMAME, vol 225, p 28-43, 2012.
- "In situ multiaxial loading frame to probe elastomers using X-ray scattering", Y. Pannier, H. Proudhon, C. Mocuta, D. Thiaudière and S. Cantournet, Journal of Synchrotron Radiation, vol 18, p 907-911, 2011.
- "Large scale computations of effective mechanical properties of rubber with carbon black fillers », A. Jean, S. Forest, F. Willot, S. Cantournet and D. Jeulin, International Journal for Multiscale Computational Engineering, vol 9,3, p 271-303, 2011.
- "A multi-scale microstructure model of carbon black distribution in rubber". A. Jean, D. Jeulin, S. Forest, S. Cantournet and F. N'Guyen, vol 241,3, p 243-260, Journal of Microscopy, 2011.

Impacts et perspectives

Académiques :

- Ouverture du domaine de la modélisation mécanique déterministe vers la modélisation non - locale et statistique,
- Collaboration avec l'ESPCI, dépôt de projet PSL, afin d'enrichir le modèle mécanique en intégrant les découvertes récentes de la physique statistique dans le domaine de la transition vitreuse des polymères.

Industriels :

- Intégration de la loi de comportement mécanique dans la chaîne de calcul de dimensionnement de pièces, optimisées par rapport à rigidité et la viscosité,
- Thèse CIFRE Hutchinson-TOTAL : « Mécanique non-linéaire et interactions polymère/charges dans les silicones renforcés silice », Davide Colombo (2013 -)