

### Présentation du projet

La question énergétique, et plus particulièrement la **valorisation de ressources et gisements locaux renouvelables**, est aujourd'hui un enjeu prioritaire pour la recherche et l'industrie. Récemment, le recours au **bois** et ses dérivés comme **source d'énergie** connaît un intérêt grandissant : (i) c'est une **ressource renouvelable** dont les **émissions de CO<sub>2</sub>** à la combustion peuvent être **compensées** (captation par les arbres replantés), (ii) la **forêt française est en croissance** depuis plusieurs années (+6 Mha au cours du siècle dernier), et (iii) l'industrie exploitant le bois pour d'autres usages (construction, ameublement, papier...) produit une grande quantité de « déchets » (**50% de la masse de bois !**) potentiellement **valorisables**. Cette valorisation peut se faire sous forme de **granulés pour l'énergie**, élaborés à partir de la sciure et plus généralement des connexes de sciage du bois. Cependant, de nombreux verrous existent encore pour les méthodes de production « traditionnelles » : investissements considérables dans des machines de transformation, volumes nécessaires aux procédés élevés, seuls quelques types de déchets et d'essences de bois sont transformables... Le **projet ANR FeelWood<sup>1</sup>** a donc été élaboré pour répondre à cette problématique autour d'une technologie de **transformation des connexes de sciage par extrusion**. Dans ce procédé, le bois est directement broyé et transformé en granulés cohésifs à travers des filières (voir images en haut à droite), le tout sans additif, dans une seule machine (voir schéma ci-dessous). La dernière étape de conversion (encadrée en vert sur le schéma) est primordiale : c'est ici que vient être poussée le bois humide, sous une forme transformée **anisotrope et au comportement encore mal compris**, qui est ensuite mise en forme en granulés en passant, à une certaine pression, température, et pendant un certain temps, dans les filières latérales. Il y a donc tout une problématique **d'étude physico-chimique et rhéologique** de ce matériau à aborder, pour comprendre et optimiser l'étape ultime de mise en forme.



(haut) Bois humide broyé, (bas) Granulés produits par le procédé

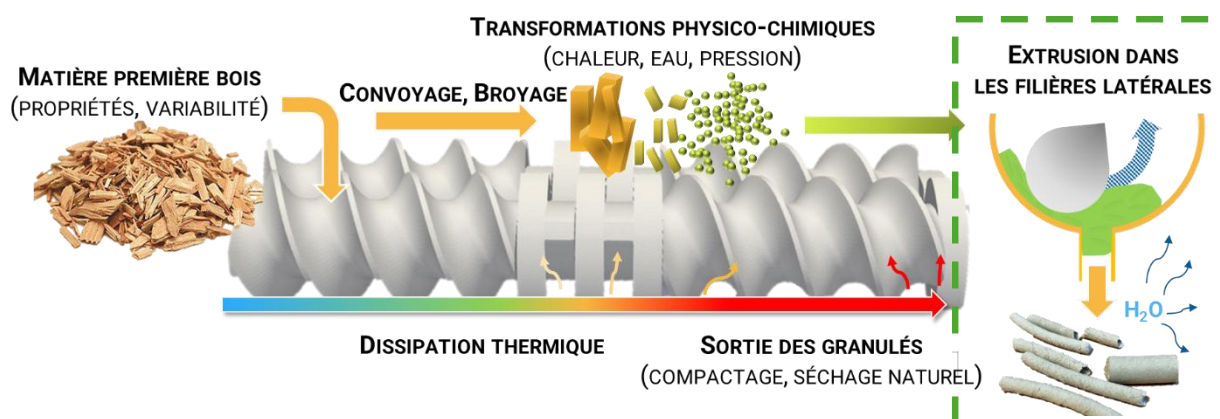


Schéma de fonctionnement du procédé de fabrication de granulés par extrusion bivis.

<sup>1</sup> <https://feelwood.science>

## Problématique de la thèse et plan de travail

Même si le procédé a montré une certaine faisabilité, de nombreuses questions demeurent, auxquelles devra répondre la thèse. En particulier, **une fois le bois broyé, quels processus garantissent son compactage dans les filières latérales en fin de vis ?** Comment cette **pâte anisotrope** s'écoule-t-elle ? **Quelles conditions physicochimiques, microstructurales et rhéologiques** accompagnent sa transformation, et permettent d'obtenir des granulés cohésifs en sortie ?

Le bois est un **matériau biosourcé complexe**, tant aux échelles auxquelles ses constituants s'organisent (des parois cellulaires aux structures fonctionnelles de l'arbre) que du fait de sa composition (mélange de composés cristallins, semi-cristallins et amorphes). Une des hypothèses permettant d'expliquer la densification et la formation de granulés cohésifs en sortie de filière est sa **plastification dans des conditions extrêmes de pression et température**. Schématiquement, une suspension fibreuse (principalement de cellulose) s'écoule dans un mélange, d'eau, de lignine et d'autres composés amorphes ou semi-cristallins. Le tout se comporte comme une suspension anisotrope de fibres, qui sera densifiée et probablement essorée dans les filières, puis solidifie quand la température et la pression chutent en sortie.

Pour vérifier cette hypothèse et quantifier les cinétiques de transformation, nous utiliserons plusieurs **dispositif modèles** mimant l'écoulement de la pâte fibreuse et sa compaction dans des filières transversales. Seront mesurées les caractéristiques de l'écoulement de la pâte et la relation cinétique de transformation / propriétés mécaniques finales ainsi que la répartition de l'eau résiduelle dans les pastilles pressées, paramètres qui serviront aux autres partenaires du projet. Ce travail sera accompagné d'une étape de **modélisation rhéo-physico-chimique** et d'**élaboration de matériaux modèles** (suspensions et pâtes de cellulose pure, fluides à seuil isotropes, mélanges à base de lignine) afin de mieux comprendre les phénomènes élémentaires à l'origine de la formation des granulés.

## Environnement et profil recherché

Ce projet de thèse, d'une durée de **36 mois**, s'inscrit au sein d'un consortium de plusieurs partenaires académiques et industriels (laboratoires IMP et GEPEA, entreprises Sciences Computers Consultants et WOODTECHNO). L(a)e candidat(e), titulaire d'un Master ou diplôme d'ingénieur, devra être issu(e) d'une formation axée sur la physico-chimie des matériaux, et posséder idéalement des connaissances spécifiques en systèmes biosourcés. Une forte expérience en mesures expérimentales est indispensable. La thèse se déroulera au sein du laboratoire **CEMEF** (UMR CNRS), sur le **campus Pierre Laffitte de l'Ecole des Mines de Paris**, situé à **Sophia Antipolis** (06).

### Contacts

Dr. Romain Castellani : [romain.castellani@minesparis.psl.eu](mailto:romain.castellani@minesparis.psl.eu)

Prof. Rudy Valette : [rudy.valette@minesparis.psl.eu](mailto:rudy.valette@minesparis.psl.eu)