

Extraction de la lignine du bois pour la transformer en fibres de carbone

Maxime PAROT

Introduction

Nous vivons dans un monde où la technologie évolue de façon exponentielle. L'amélioration de notre quotidien demande toujours plus de ressources, autant en terme d'énergie que de matière première. La découverte du pétrole et de ses diverses utilisations telles que le carburant, le plastique ou la synthèse de molécules ont fait de cette ressource une des plus utilisées dans le monde. Récemment, une innovation révolutionnaire a fait son apparition sur le marché : la fibre de carbone (FC). Ces fibres sont décrites comme étant beaucoup plus résistantes que les fibres en acier et moins lourdes. On en trouve, par exemple, dans certaines coques de téléphone, dans les équipements sportifs (vélo, canne à pêche...) ou dans les domaines tels que l'armée ou l'aérospatial. Pour en savoir plus sur les fibres de carbone, la revue littéraire de Frank *et. al.* décrit bien le sujet [1]. Toutefois, elles sont actuellement très chères car synthétisées à partir d'une molécule appelée acrylonitrile, qui est une molécule issue du pétrole. Cette ressource n'est ni illimitée, ni renouvelable. Son exploitation massive mènera indéniablement à un épuisement des réserves et donc à une augmentation considérable de son prix (sauf en cas de confinement, mais c'est une autre histoire !). De plus, son utilisation pose des problèmes environnementaux qui ne sont plus à prouver aujourd'hui [2].

Ces dernières années, de nombreux chercheurs tentent de trouver des alternatives aux ressources fossiles, comme par exemple, changer le précurseur de la FC, l'acrylonitrile, par une molécule biosourcée. Pour cela, le bois s'est avéré être un bon candidat, car il possède des molécules intéressantes pour cette application. En plus de réduire l'impact environnemental des FC cela réduira son coût, car le précurseur actuel représente 50% du prix de fabrication de ces fibres [3].

Le bois, aussi appelé matière lignocellulosique, est une matière abondante, peu chère et renouvelable. Trois fractions majeures composent le bois : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Les études portant sur la cellulose comme précurseur de FC ont montré que les fibres résultantes ne possédaient pas des propriétés pouvant rivaliser avec celles produites via l'acrylonitrile [1]. Cependant, les études sur la lignine sont très prometteuses, et incitent à poursuivre dans cette voie. La lignine est toutefois un copolymère naturel complexe dont la composition varie d'une espèce d'arbre à l'autre et dont la structure diffère selon l'environnement, ce qui la rend difficile à étudier.

Il existe différentes façons d'extraire la lignine du bois, les plus connues étant les procédés kraft et bisulfite. Ces procédés sont surtout utilisés pour la fabrication du papier, qui n'utilise que la cellulose. Ainsi, la lignine est dégradée afin de la séparer de la cellulose, puis brûlée pour fournir de l'énergie. La revalorisation de la lignine en fibre de carbone a d'abord été pensée pour la lignine kraft, puisque celle-ci était déjà extraite du bois et donc

disponible. Cependant de nombreuses difficultés ont été rencontrées, causées par l'impureté ou la dégradation de la lignine [4].

Dans cette étude, nous utilisons un procédé appelé Organosolv, qui règle les problèmes de pureté et de dégradation.

Le procédé Organosolv

Lors du procédé, on réalise ce que l'on appelle une cuisson, qui n'est pas sans rappeler sa similarité avec la cuisine. En effet, les copeaux de bois sont mis dans un solvant, puis chauffés dans un réacteur comme l'on mettrait des légumes dans de l'eau pour les faire chauffer dans une cocotte-minute.

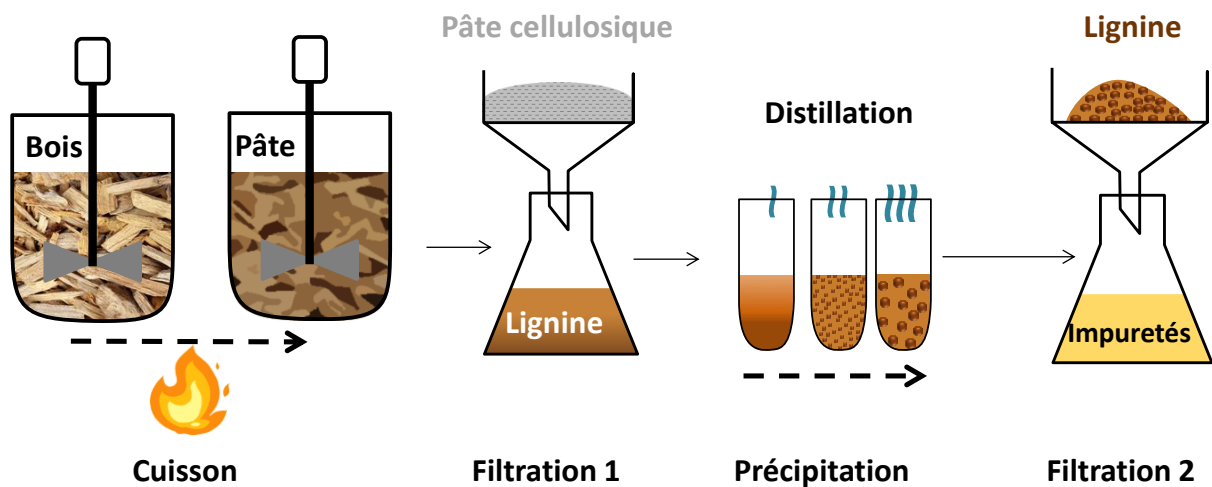


Figure 1 : Procédé Organosolv

Pour entrer plus dans les détails, le solvant utilisé ici est un mélange d'eau et d'éthanol. Ces solvants ont été choisis avec soin : l'eau pénètre dans le bois afin de le faire gonfler et de dégrader légèrement l'hémicellulose, pour permettre à l'éthanol d'entrer dans le bois à son tour. L'éthanol a un rôle bien particulier qui est de solubiliser la lignine qui fait office de « colle » entre la cellulose et l'hémicellulose. De ce fait, en enlevant « la colle » qui relie l'hémicellulose et les fibres de cellulose ensemble on obtient une pâte ou plus précisément, un mélange liquide-solide (Figure 1, étape cuisson). La partie solide contenant la cellulose et l'hémicellulose s'appelle la pâte cellulosique tandis que la partie liquide est composée d'eau, d'éthanol, de lignine et de quelques impuretés (sucres principalement). À la fin de la cuisson, une filtration suffit pour séparer la pâte cellulosique du liquide (Figure 1, étape Filtration 1). Si l'on réalise une distillation sur la fraction liquide, l'éthanol s'évapore et il ne reste plus que la lignine, l'eau et les impuretés. La lignine n'étant pas soluble dans l'eau, elle va précipiter (se solidifier) durant l'évaporation de l'éthanol, et une filtration permettra de la récupérer (Figure 1, étape précipitation et Filtration 2) [5].

Le procédé Organosolv permet donc d'extraire la lignine très pure, sans la dégrader. Actuellement, le procédé Organosolv est utilisé en grande majorité pour des bois de feuillus, car l'extraction de la lignine (délignification) est plus aisée [6]. Cependant, les résineux contiennent plus de lignine, ce qui rend la délignification plus difficile, mais augmente le rendement. Il serait donc intéressant d'adapter ce procédé aux résineux et c'est l'objectif de ce travail.

Expériences réalisées

Le procédé Organosolv a été étudié pour 100 g de bois avec une cuisson à 180 °C pendant 90 minutes, 6 mmol de catalyseur (FeCl₃) et un solvant à 50 % d'éthanol et d'eau. Pour l'optimisation, chacun de ces paramètres ont été testés individuellement afin d'en déterminer l'impact durant la cuisson. Les résultats obtenus sont reportés dans la Figure 2.

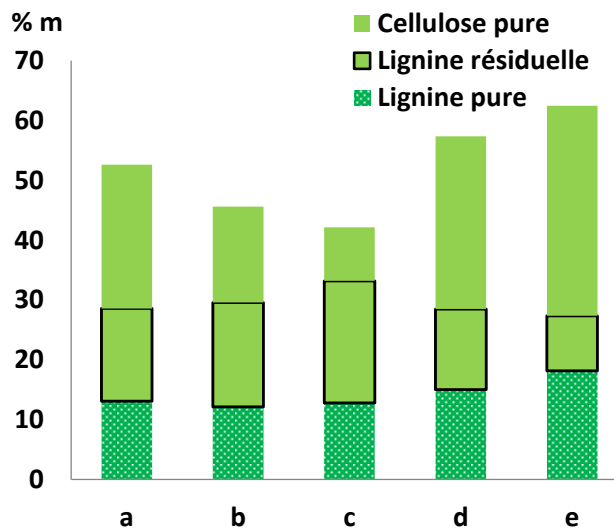


Figure 2 : Bilans massiques à la fin des cuissons. Paramètres initiaux (a) : 50 % éthanol-50 % eau, 90 min, 6 mmol de catalyseur et 180 °C. Paramètre changé : (b) 120 min; (c) 180 min ; (d) 60 % éthanol ; (e) 70 % éthanol.

Sur la Figure 2, les rendements sont indiqués en %m, c'est-à-dire en pourcentage massique. Ce pourcentage est calculé par rapport à la masse de bois. Par exemple, la quantité de lignine dans l'épinette noire, le bois utilisé dans cette étude, est de 28 %m, donc pour 100 g de bois sec il y a 28 g de lignine. De fait, si l'on récupère 14 %m de lignine lors d'une cuisson, cela représente 50 % de rendement : la moitié de la lignine disponible. La lignine pure représente la lignine extraite, et la lignine résiduelle représente la lignine qui est restée « collée » sur la cellulose, autrement dit qui est encore dans la pâte cellulosique.

Comme l'indique la Figure 2, les paramètres développés pour les feuillus ne sont pas optimaux pour les résineux et ne permettent de récupérer que 13 %m de lignine, soit 46 % de rendement (Figure 2a). Les temps de cuisson supérieurs à 90 min n'augmentent pas le rendement en lignine, mais diminuent la quantité de cellulose

récupérée (Figure 2b et Figure 2c). Cela s'explique par l'acidité du milieu qui dégrade la cellulose. Ce phénomène s'appelle l'hydrolyse acide, causée par le catalyseur qui est un acide de Lewis (FeCl_3) [6]. Le paramètre ayant le plus d'impact est la concentration en éthanol. Plus on augmente la quantité d'alcool, plus on augmente le rendement en lignine jusqu'à 64 %, soit 18 %m de la masse de bois de départ (Figure 2d et Figure 2e).

Conclusion

L'optimisation du procédé Organosolv pour des essences de résineux est en bonne voie, et plusieurs paramètres ayant une influence sur le rendement en lignine et en cellulose ont été identifiés. Pour les prochains travaux, l'impact de la quantité de catalyseur sera évalué avant de tester plusieurs paramètres simultanément pour atteindre un objectif de 80 % de rendement total. Des travaux similaires portant sur l'optimisation du procédé Organosolv sur des feuillus sont présentés plus en détail dans la publication de Koumba *et al.* [6].

Références

- [1] E. Frank, L. M. Steudle, D. Ingildeev, J. M. Spörl, et M. R. Buchmeiser, « Carbon Fibers: Precursor Systems, Processing, Structure, and Properties », *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 53, n° 21, p. 5262-5298, 2014, doi: 10.1002/anie.201306129.
- [2] IPCC, « AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 », 2014. Consulté le: avr. 20, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- [3] D. A. Baker et T. G. Rials, « Recent advances in low-cost carbon fiber manufacture from lignin », *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 130, n° 2, p. 713-728, 2013, doi: 10.1002/app.39273.
- [4] A. Diop, « Extraction, dépolimérisation et valorisation de la lignine Kraft de la liqueur noire », phd, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, 2014.
- [5] F. Felissia, M. Vallejos, et M. Area, « Lignin recovery from spent liquors from ethanolwater fractionation of sugar cane bagasse », *Cellul. Chem. Technol.*, vol. 44, p. 311-318, sept. 2010.
- [6] G. Koumba-Yoya et T. Stevanovic, « New Biorefinery Strategy for High Purity Lignin Production », *ChemistrySelect*, vol. 1, n° 20, p. 6562-6570, 2016, doi: 10.1002/slct.201601476.