

La valorisation catalytique de la liqueur noire pour l'industrie chimique

Léa VILCOCQ

Résumé Les usines de pâte à papier sont implantées depuis des décennies dans le paysage industriel. En plus de leur production de pâte pour la fabrication du papier et du carton, elles génèrent un résidu liquide appelé liqueur noire qui contient de la lignine, un biopolymère aromatique, et de nombreux composés aliphatiques. Cet article présente quelques exemples de procédés catalytiques développés pour valoriser les composés de la liqueur noire.

Mots-clés Biomasse, catalyse, lignine, liqueur noire.

Abstract Catalytic valorization of black liquor for the chemical industry

Paper mills have been part of the industrial landscape for decades. As well as producing pulp for the manufacture of paper and cardboard, they generate a liquid residue known as black liquor, which contains lignin, an aromatic biopolymer, and numerous aliphatic compounds. This article presents some examples of catalytic processes developed to valorize the compounds in black liquor.

Keywords Biomass, catalysis, lignin, black liquor.

<https://doi.org/10.63133/scf.act-chim.2025.510.07>

Les usines de pâtes à papier, bioraffineries d'hier et d'aujourd'hui

La pâte à papier et la liqueur noire

L'histoire du papier commence en Chine il y a deux mille ans avec des fibres végétales bouillies, pilées et étalées pour fabriquer des feuilles. La fabrication artisanale du papier s'est ensuite diffusée en Europe au Moyen-Âge, accompagnée par le développement des moulins. Les matières premières utilisées étaient alors des plantes cultivées comme le lin ou le chanvre.

Au XIX^e siècle, le développement de l'industrie chimique donne naissance à de nouveaux procédés papetiers permettant de convertir le bois en pâte à papier. On parle de procédés de cuisson du bois. La pâte obtenue sert alors à la fabrication de papier et d'un nouveau matériau en plein essor, le carton. Le bois qui approvisionne les usines de pâte à papier est principalement constitué de lignocellulose, formée de trois biopolymères principaux : la cellulose, polymère linéaire de glucose, arrangé en fibres de grande taille ; l'hémicellulose, un ensemble de plusieurs polymères de sucres ramifiés de petite taille, jouant le rôle de liant ; et la lignine, un polymère à base d'unités phénoliques liées par différents types de liaisons (liaisons éther, carbone-carbone, etc.). Par comparaison avec le pétrole, la composition de la lignocellulose est beaucoup plus complexe : la teneur en carbone est plus faible et la teneur en oxygène est plus forte ; la variété de fonctions chimiques est beaucoup plus grande ; les structures polymères sont plus diverses. Cette complexité représente une richesse pour la chimie biosourcée.

Dans les usines de pâte à papier, les troncs d'arbre sont écorchés, réduits en copeaux, mélangés à une solution aqueuse contenant éventuellement des additifs (ions bisulfite, soude ou sulfure de sodium), avant de passer à l'étape de cuisson (150-190 °C), dans laquelle les fibres de cellulose restent solides tandis que la lignine et l'hémicellulose sont partiellement dégradées et dissoutes. Le résidu solide de la cuisson

constitue alors la pulpe, tandis que la fraction liquide s'appelle la liqueur noire. Le procédé papetier le plus répandu à l'heure actuelle est le procédé Kraft.

Chaque année, dans le monde, 150 à 160 millions de tonnes de pâte à papier chimique sont produites, dont 120 à 160 milliers de tonnes en France (chiffres FAO 2020-2023). Dans le cas du procédé Kraft, environ sept tonnes de liqueur noire sont produites par tonne de pâte, soit plus d'un milliard de tonnes de liqueur produites annuellement à l'échelle mondiale, dont plus de 800 000 tonnes en France. À l'heure actuelle, la liqueur noire Kraft est concentrée puis brûlée pour récupérer les composés inorganiques qui sont recyclés dans le procédé et générer de l'énergie, tandis que le carbone issu de la lignine et de l'hémicellulose est converti en CO₂.

La bioraffinerie forestière

Le concept de bioraffinerie a émergé il y a une vingtaine d'années pour désigner un ensemble d'opérations unitaires visant à transformer de la biomasse en un panel de produits commercialisables : des carburants, des produits pour la chimie des polymères, la chimie fine et la chimie de spécialité, des matériaux, et de l'énergie [1]. Pour limiter l'impact de la crise climatique actuelle, l'industrie chimique va devoir diminuer drastiquement sa consommation de ressources fossiles et d'énergie, et réduire sa production. Les bioraffineries pourraient ainsi accompagner ce processus de décarbonation en remplaçant une partie des matières premières pétrosourcées par des matières premières biosourcées. Les papeteries, qui produisent de la pâte à papier, de l'énergie mais aussi des composés pour la chimie fine comme la térébenthine ou des terpènes, sont donc essentiellement des bioraffineries implantées dans le paysage industriel depuis des décennies. La transition des usines de pâte à papier vers des bioraffineries forestières intégrées produisant une gamme élargie de composés pour la chimie est une opportunité économique pour l'industrie papetière, mais aussi pour l'industrie chimique qui pourrait alors diversifier son approvisionnement⁽¹⁾. Cette