

Du sucre à la bouteille de PEF

Terminale spécialité Physique-Chimie · Synthèses organiques

1. Deux voies vers le DFF

Avec l'oxydant B, le groupe aldéhyde du HMF ne peut pas rester libre : il serait oxydé en groupe carboxyle. Il faut donc enchaîner les entrées **A**, **B**, puis **C** : protection de l'aldéhyde, oxydation du groupe alcool en aldéhyde, puis déprotection.

Le rendement global de cette voie vaut :

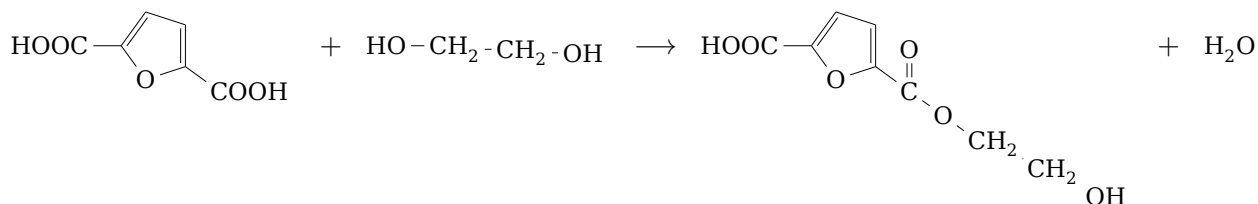
$$\eta_{ABC} = 0,96 \times 0,88 \times 0,94 = 0,794, \quad \boxed{\eta_{ABC} = 79,4 \%}.$$

L'entrée **D** fournit une seconde voie, directe et chimiosélective : le catalyseur permet d'oxyder le groupe alcool tout en conservant le groupe aldéhyde. Son rendement est $\eta_D = 74 \%$.

La voie ABC donne le meilleur rendement, mais multiplie trois rendements, mobilise trois opérations et produit davantage d'effluents. Pour une première production au laboratoire, la voie D peut être privilégiée malgré ses 5,4 points de rendement en moins : elle comporte une seule étape, emploie le dioxygène et évite protection et déprotection. La voie ABC reste recevable si la priorité annoncée est la quantité de DFF et si la récupération des réactifs et solvants est maîtrisée.

2. Estérification et possibilité de polymérisation

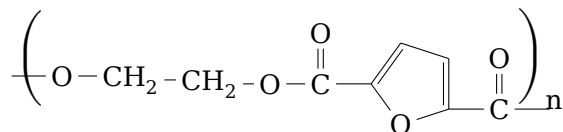
Le nom éthane-1,2-diol conduit à la formule semi-développée $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$. Une première estérification peut s'écrire :



Le FDCA possède deux groupes carboxyle et l'éthane-1,2-diol deux groupes hydroxyle. Le produit représenté conserve donc un groupe carboxyle à une extrémité et un groupe hydroxyle à l'autre : il peut réagir de nouveau avec les monomères et permettre l'allongement de la chaîne. La polymérisation est ainsi possible. Il s'agit d'une **polycondensation**, car chaque liaison ester formée s'accompagne de l'élimination d'une molécule d'eau.

3. Motif du PEF

Le motif du PEF est :



Il alterne le fragment issu de l'éthane-1,2-diol et le fragment issu du FDCA, reliés par des groupes ester. Le PEF est donc un polymère synthétique de la famille des polyesters.

4. Degré de polymérisation

Un motif rassemble une molécule de FDCA ($C_6H_4O_5$) et une molécule d'éthane-1,2-diol ($C_2H_6O_2$), avec élimination de deux molécules d'eau. Sa formule est donc $C_8H_6O_5$ et sa masse molaire vaut :

$$M_{\text{motif}} = 8 \times 12,0 + 6 \times 1,0 + 5 \times 16,0 = 182 \text{ g mol}^{-1}.$$

Le nombre moyen de motifs est alors :

$$n \simeq \frac{M_{\text{PEF}}}{M_{\text{motif}}} = \frac{76,9 \times 10^3}{182} = 4,23 \times 10^2.$$

Une chaîne contient donc en moyenne $n \simeq 4,2 \times 10^2$ motifs. La contribution des groupes d'extrémité est négligeable devant la masse d'une chaîne aussi longue.

5. Exemples de polymères

Parmi les polymères naturels, on peut citer la **cellulose**, qui assure un rôle structural dans les végétaux et sert à fabriquer du papier.

Parmi les polymères synthétiques, le **polyéthylène (PE)** est utilisé pour des films et emballages. D'autres exemples corrects issus du cours sont acceptables.

6. Avis sur le remplacement du PET

Le PEF présente des avantages importants pour la fonction étudiée. La bouteille requiert moins de polymère (13 g contre 24 g), utilise du carbone renouvelable et, dans l'étude, réduit de 33 % les émissions de gaz à effet de serre et de 45 % la consommation de ressources fossiles. Son tri et son recyclage paraissent techniquement possibles.

Un remplacement immédiat et total n'est cependant pas justifié par ces seules données. Les cultures augmentent certains impacts sur les sols et l'eau. La formation du PEF exige actuellement une température élevée, le vide et une durée importante, tandis que la production du PET bénéficie d'un procédé ancien et très optimisé. Les résultats reposent en partie sur une mise à l'échelle de données de pilote. Le commanditaire de l'étude a en outre intérêt au développement du PEF : une confirmation indépendante est nécessaire.

On peut recommander un **déploiement progressif**, d'abord pour les usages où la meilleure barrière du PEF permet réellement d'alléger l'emballage, avec mesure indépendante des impacts à l'échelle industrielle. Une priorité d'amélioration est de réduire la température et la durée de polycondensation, d'employer une énergie bas-carbone et de développer des sucres issus de biomasse non alimentaire. L'organisation d'une filière de tri dédiée doit accompagner la montée en volume.