

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/002833 A1

(43) Date de la publication internationale
02 janvier 2025 (02.01.2025)

(51) Classification internationale des brevets :

C07C 1/20 (2006.01) *C07C 15/08* (2006.01)
C07C 5/27 (2006.01) *C07C 15/02* (2006.01)
C07C 7/04 (2006.01) *C01B 32/50* (2017.01)
C07C 7/12 (2006.01) *C10G 3/00* (2006.01)
C07C 29/151 (2006.01) *C07C 7/14* (2006.01)
C07C 31/04 (2006.01) *C10G 45/58* (2006.01)
C07C 15/06 (2006.01) *C12P 7/10* (2006.01)
C07C 15/067 (2006.01)

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2306979 30 juin 2023 (30.06.2023) FR

(71) Déposant : **IFP ENERGIES NOUVELLES** [FR/FR] ; 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92500 RUEIL-MALMAISON (FR).

(72) Inventeurs : **JOLY, Jean-Francois** ; IFP Energies nouvelles - 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX (FR). **LAROCHE, Catherine** ; IFP Energies nouvelles - 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX (FR). **CHAHEN, Ludovic** ; IFP Energies nouvelles - 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX (FR). **CAIL-**

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2024/066435

(22) Date de dépôt international :

13 juin 2024 (13.06.2024)

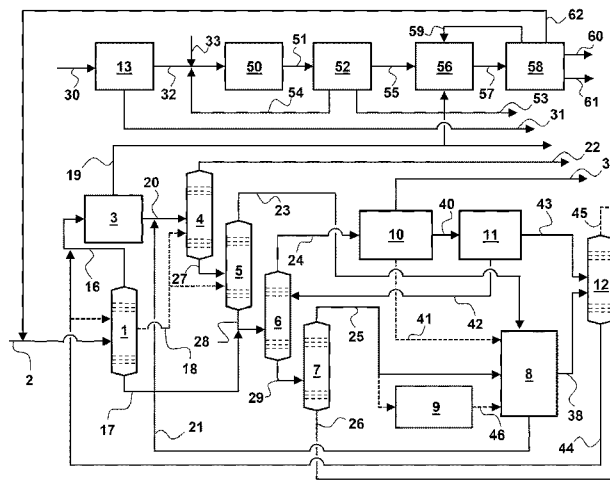
(25) Langue de dépôt :

français

(54) Title: PRODUCTION OF AROMATICS AND ETHANOL BY BIOMASS CONVERSION

(54) Titre : PRODUCTION D'AROMATIQUES ET D'ÉTHANOL PAR CONVERSION DE BIOMASSE

Fig. 1



(57) Abstract: Disclosed are a process and a device for converting a hydrocarbon feedstock, in which a unit for producing ethanol by biochemical transformation (13) treats a hydrocarbon feedstock (30) to produce ethanol (31) and CO₂ (32); and a methanol synthesis reaction section (50) treats the CO₂ to produce methanol (51). Preferably the methanol is aromatized in an aromatization reaction section (56) and then sent to a fractionation train (4-7), a xylene separation unit (10) and an isomerization unit (11) to produce xylene.

(57) Abrégé : Procédé et dispositif de conversion d'une charge hydrocarbonée, dans lesquels une unité de production d'éthanol par transformation biochimique (13) traite une charge hydrocarbonée (30) pour produire de l'éthanol (31) et



WO 2025/002833 A1

LOT, Maxime ; AXENS, 89 bd Franklin Roosevelt, 92500 RUEIL-MALMAISON (FR).

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

du CO₂ (32); et une section réactionnelle de synthèse de méthanol (50) traite le CO₂ pour produire du méthanol (51) Préférentiellement le méthanol est aromatisé dans une section réactionnelle d'aromatization (56) puis envoyé vers un train de fractionnement (4-7), une unité de séparation des xylènes (10) et une unité d'isomérisation (11) pour produire du xylène.

Production d'aromatiques et d'éthanol par conversion de biomasse

Domaine technique

L'invention porte sur la production d'éthanol et d'aromatiques pour la pétrochimie (benzène, toluène, xylènes, *i.e.*, BTX). Plus particulièrement, l'objet de l'invention concerne la production d'éthanol et d'aromatiques (e.g. de paraxylène) à partir de la conversion de composés hydrocarbonés (e.g. biomasse) en éthanol et en CO₂, le CO₂ étant converti en aromatiques. L'invention porte également sur la production d'éthanol et de méthanol à partir de la conversion de composés hydrocarbonés. L'invention porte également sur la production de carburant pour l'aviation comprenant la conversion du méthanol et/ou de l'éthanol et/ou d'autres effluents issus de la conversion de composés hydrocarbonés.

Un complexe aromatique (ou dispositif de conversion de composés aromatiques) est un dispositif alimenté par des charges majoritairement composées de six à dix atomes de carbone ou plus notées charges C6 à C10+. Différentes sources de composés aromatiques peuvent être introduites dans un complexe aromatique, la plus répandue étant issue d'un procédé de reformage catalytique des naphthas.

Au sein d'un complexe aromatique, quel qu'en soit la source d'aromatiques, le benzène et les alkyles aromatiques (e.g. toluène, paraxylène, orthoxylène) y sont extraits puis convertis en intermédiaires souhaités. Les produits d'intérêt sont des aromatiques avec 0 (benzène), 1 (toluène) ou 2 (xylènes) groupes méthyle, et en particulier, au sein des xylènes, le paraxylène, ayant la plus forte valeur marchande.

Les procédés de conversion de la biomasse par transformation biochimique permettent de produire de l'éthanol, mais avec une co-production d'une grande quantité de CO₂ provenant de la fermentation des sucres issus de la conversion par hydrolyse enzymatique de la biomasse. La quantité de CO₂ produite peut être du même ordre de grandeur que la quantité d'éthanol produit. Il est donc avantageux de mettre en œuvre une solution permettant de valoriser ce CO₂, en particulier sous forme de composés aromatiques à haute valeur ajoutée.

Technique antérieure

Les procédés de production d'alcool pour produire notamment de l'éthanol par voie fermentaire comprennent de façon connue la succession d'étapes suivantes : broyage de la biomasse, éventuellement une imprégnation de la biomasse, puis prétraitement par explosion à la vapeur ou cuisson en conditions acides, hydrolyse enzymatique pour produire des sucres ou des molécules bio-sourcées et fermentation alcoolique pour produire de l'éthanol ou autre type de fermentation pour produire des molécules bio-sourcées, l'éthanol (ou molécules bio-sourcées) étant séparé ensuite par exemple par distillation. Du CO₂ est produit lors de l'étape de fermentation.

A ce jour, les complexes aromatiques permettent de produire du benzène, éventuellement du toluène, et des xylènes (souvent le paraxylène, quelques fois l'orthoxylène). Un complexe aromatique dispose généralement d'au moins une unité catalytique présentant au moins une des fonctions suivantes :

- 5 - l'isomérisation des composés aromatiques à 8 atomes de carbone notés composés A8 permettant de convertir l'orthoxylène, le métaxylène et l'éthylbenzène en paraxylène ;
- la transalkylation permettant de produire des xylènes à partir d'un mélange de toluène (et optionnellement de benzène) et de composés A9+ tels que les triméthylbenzènes et les tétraméthylbenzènes ; et
- 10 - la dismutation du toluène, qui permet de produire du benzène et des xylènes.

La boucle aromatique permet de produire du paraxylène haute pureté par séparation par adsorption ou par cristallisation, opération bien connue de l'art antérieur. Cette « boucle C8-aromatique » inclut une étape d'élimination des composés lourds (i.e., C9+) dans une colonne de distillation appelée « colonne des xylènes ». Le flux de tête de cette colonne, qui contient les

15 isomères en C8-aromatiques (i.e., A8), est ensuite envoyé dans le procédé de séparation du paraxylène qui est très généralement un procédé de séparation par adsorption en lit mobile simulé (LMS) pour produire un extrait et un raffinat, ou un procédé de cristallisation dans lequel une fraction de paraxylène est isolée du reste des constituants du mélange sous forme de cristaux.

20 L'extrait, qui contient le paraxylène est ensuite distillé pour obtenir du paraxylène de haute pureté. Le raffinat, riche en métaxylène, orthoxylène et éthylbenzène est traité dans une unité catalytique d'isomérisation qui redonne un mélange d'aromatiques en C8, dans lequel la proportion des xylènes (ortho-, méta-, para- xylènes) est pratiquement à l'équilibre thermodynamique et la quantité d'éthylbenzène est amoindrie. Ce mélange est à nouveau envoyé dans la « colonne des

25 xylènes » avec la charge fraîche.

Les complexes aromatiques produisant du benzène et paraxylène sont très majoritairement alimentés par des charges issues du pétrole ou du gaz naturel. Ces complexes ne permettent pas de produire des aromatiques biosourcés. Un autre enjeu est de valoriser le carbone sous forme CO₂, et en particulier le carbone biosourcé, en composés à haute valeur ajoutée. Un objet de la

30 présente invention est de palier à ces inconvénients.

Résumé de l'invention

Dans le contexte précédemment décrit, un premier objet de la présente description est de surmonter les problèmes de l'art antérieur et de fournir un procédé et un dispositif de production d'éthanol et d'aromatiques pour la pétrochimie permettant de convertir (par exemple en totalité)

le dioxyde de carbone, i.e., CO₂, produit par transformation biochimique de biomasse, en composés aromatiques.

L'invention repose sur la conversion du CO₂ en composés aromatiques qui sont introduits dans le complexe aromatique, et notamment sur la disposition de plusieurs unités permettant de convertir le CO₂ en composés aromatiques en deux étapes : dans un réacteur de synthèse de méthanol puis dans un réacteur d'aromatisation du méthanol. Les composés aromatiques issus de la conversion du CO₂ sont traités au sein de la boucle aromatique.

Spécifiquement, l'objet de la présente invention concerne un procédé et un dispositif utilisant et comprenant une unité de conversion du CO₂ en méthanol suivi d'une unité d'aromatisation du méthanol, respectivement. Avantagusement, les composés aromatiques issus de l'aromatisation du méthanol sont introduits dans le complexe aromatique pour y être transformés en benzène et paraxylène.

Selon un premier aspect, les objets précités, ainsi que d'autres avantages, sont obtenus par un procédé de conversion d'une charge hydrocarbonée, comprenant les étapes suivantes :

- traiter une charge hydrocarbonée, e.g. biomasse, dans une unité de production d'éthanol par transformation biochimique pour produire de l'éthanol et du CO₂ ; et
- traiter au moins en partie le CO₂ dans une section réactionnelle de synthèse de méthanol pour produire du méthanol.

Un avantage de la présente invention est notamment de pouvoir produire du méthanol en une seule étape à partir de gaz du CO₂ sous-produit de la transformation biochimique de la biomasse.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le procédé comprend les étapes suivantes :

- traiter au moins en partie le méthanol dans une section réactionnelle d'aromatisation pour produire un effluent d'hydrocarbures comprenant des composés aromatiques;

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le procédé comprend les étapes suivantes :

- fractionner au moins en partie l'effluent d'hydrocarbures dans un train de fractionnement pour extraire au moins une coupe comprenant du benzène, une coupe comprenant du toluène et une coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène ;
- séparer la coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène dans une unité de séparation des xylènes et produire un extrait comprenant du paraxylène et un raffinat comprenant de l'orthoxyène, du métaxylène et de l'éthylbenzène ;
- isomériser le raffinat dans une unité d'isomérisation et produire un isomérisat enrichi en paraxylène ;
- envoyer l'isomérisat enrichi en paraxylène vers le train de fractionnement.

Un autre avantage de la présente invention est notamment de pouvoir convertir du CO₂ sous-produit de la transformation biochimique de la biomasse, en composés aromatiques en seulement deux étapes.

5 Un autre avantage de la présente invention est notamment de pouvoir convertir du CO₂ sous-produit de la transformation biochimique de la biomasse, en paraxylène.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le procédé comprend le traitement du méthanol dans une section de purification pour séparer de l'eau et produire du méthanol purifié.

10 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section de purification est adaptée pour séparer un gaz de recycle comprenant du CO₂ non converti, et recycler le gaz de recycle à l'entrée la section réactionnelle de synthèse de méthanol.

Un des avantages de la présente invention est notamment de pouvoir, par le biais de recyclage, convertir la totalité du CO₂.

15 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la deuxième charge hydrocarbonée comprend de la biomasse, de préférence lignocellulosique, et le traitement de la deuxième charge hydrocarbonée dans l'unité de production d'éthanol par transformation biochimique, comprend les étapes élémentaires suivantes :

- broyage de la biomasse en particules ;
- optionnellement lavage et séparation des particules ;
- optionnellement imprégnation des particules en substrat lignocellulosique imprégné ;
- 20 - optionnellement séparation solide/liquide du substrat lignocellulosique imprégné ;
- prétraitement par explosion à la vapeur ou cuisson en conditions acides ;
- hydrolyse enzymatique pour produire des sucres ou des molécules bio-sourcées ; et
- fermentation alcoolique pour produire l'éthanol et le CO₂.

25 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le procédé comprend de fournir un apport en hydrogène (H₂) dans le flux de CO₂, par exemple au moyen d'une ligne d'appoint disposée (directement) en amont section réactionnelle de synthèse du méthanol.

30 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le procédé comprend le traitement de l'effluent d'hydrocarbures dans une section de séparation pour séparer de l'eau et une purge de gaz léger comprenant de l'hydrogène et des composés hydrocarbonés en C1-C2, et produire un effluent enrichi en composés aromatiques pour alimenter le train de fractionnement.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section de séparation est adaptée pour :

- séparer un effluent de recycle comprenant au moins un des composés suivants : des composés hydrocarbonés en C3-C4, des composés hydrocarbonés non aromatiques en C5-C10, du benzène, du toluène ; et

- recycler l'effluent de recycle à l'entrée la section réactionnelle d'aromatisation.

Un des avantages de la présente invention est notamment de pouvoir, par le biais de recyclage, convertir en aromatiques des composés hydrocarbonés non aromatiques. Un des avantages de la présente invention est notamment de pouvoir, par le biais de recyclage, d'alkyler benzène et toluène en xylènes.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la transformation biochimique de la biomasse lignocellulosique comprend au moins une des étapes suivantes :

- a) on conditionne la biomasse lignocellulosique par au moins une étape de broyage, notamment de façon à obtenir des particules de biomasse broyée ayant une taille d'au plus 300 mm ;
 - b) on lave lesdites particules avec une solution aqueuse de pH compris entre 4 et 8,5, à une température comprise entre 10 et 95°C, à pression atmosphérique, et pendant une durée comprise entre 1 minute et 300 minutes ;
 - c) on sépare la solution aqueuse des particules de biomasse lavées pour obtenir, d'une part, un substrat lignocellulosique ayant un taux de matière sèche compris entre 15 et 70% en poids, et, d'autre part, une solution aqueuse de lavage usée ;
 - d) on imprègne ledit substrat lignocellulosique avec une liqueur acide, de façon à obtenir un substrat lignocellulosique imprégné ayant un pH compris entre 0,1 et 3 ;
 - e) on réalise une séparation solide/liquide du substrat lignocellulosique imprégné, pour obtenir, d'une part, un deuxième substrat lignocellulosique ayant un taux de matière sèche compris entre 15% en poids et 70% en poids, et, d'autre part, un effluent liquide ;
 - f) on prétraite ledit deuxième substrat lignocellulosique imprégné issu de l'étape e) par explosion à la vapeur, ou par cuisson, notamment pendant une durée comprise entre 1 minute et 120 minutes, de façon à obtenir un substrat lignocellulosique prétraité ;
 - g) on effectue une hydrolyse enzymatique du substrat lignocellulosique prétraité par des enzymes produits à partir de microorganismes de type champignons, de manière à obtenir un hydrolysât contenant des sucres ;
 - h) on effectue une fermentation, par des microorganismes de type bactéries ou levures, de l'hydrolysât issu de l'étape g) pour obtenir un moût de fermentation contenant au moins une molécule biosourcée telle qu'un solvant et/ou un alcool ;
- optionnellement on intègre audit procédé une étape de production d'enzymes et/ou une étape de production/propagation de micro-organismes utilisés dans l'étape g) et/ou h) ;
 - optionnellement on introduit au moins une partie de la solution aqueuse de lavage usée séparée à l'étape c) dans une étape dudit procédé de traitement de la biomasse qui est postérieure à l'étape f) de prétraitement, et/ou dans une étape de production d'enzymes et/ou

dans une étape de production/propagation des micro-organismes utilisés dans l'étape g) et/ou h) quand au moins une de ces étapes de production d'enzymes et/ou de production/propagation de microorganismes est intégrée audit procédé de traitement de biomasse.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section réactionnelle de synthèse de méthanol

- 5 comprend au moins un réacteur utilisé dans au moins une des conditions opératoires suivantes :
- température comprise entre 200°C et 450°C, préférentiellement comprise entre 220°C et 400°C, et plus préférentiellement encore comprise entre 250°C et 350°C ;
 - pression comprise entre 1 MPa et 12 MPa, préférentiellement comprise entre 2 MPa et 10 MPa, et plus préférentiellement comprise entre 5 MPa et 10 MPa ;
 - 10 - ratio molaire hydrogène sur CO₂, compris entre 3 et 10, préférentiellement entre 3 et 7, très préférentiellement entre 3 et 5 ;
 - vitesse spatiale du gaz à l'entrée du réacteur comprise entre 0,2 g/g_{cata}/h et 1 g/g_{cata}/h.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section réactionnelle d'aromatisation comprend au moins un réacteur utilisé dans au moins une des conditions opératoires suivantes

- 15 - température comprise entre 250°C et 500°C, préférentiellement comprise entre 300°C et 450°C, et plus préférentiellement encore comprise entre 350°C et 420°C ;
- pression comprise entre 0,1 MPa et 1 MPa, préférentiellement comprise entre 0,2 MPa et 0,8 MPa, et plus préférentiellement comprise entre 0,4 MPa et 0,5 MPa ;
 - vitesse spatiale du gaz à l'entrée du réacteur comprise entre 0,2 g/g_{cata}/h et 1 g/g_{cata}/h.

20 Selon un deuxième aspect, les objets précités, ainsi que d'autres avantages, sont obtenus par un dispositif de conversion d'une charge hydrocarbonée, comprenant :

- un train de fractionnement adapté pour extraire au moins une coupe comprenant du benzène, une coupe comprenant du toluène et une coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène à partir de la première charge hydrocarbonée ;
- 25 - une unité de séparation des xylènes adaptée pour traiter la coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène et produire un extrait comprenant du paraxylène et un raffinat comprenant de l'orthoxyène, du métaxylène et de l'éthylbenzène ;
- une unité d'isomérisation adaptée pour traiter le raffinat et produire un isomérisat enrichi en paraxylène envoyé vers le train de fractionnement ;
- 30 - une unité de production d'éthanol par transformation biochimique adaptée pour traiter une deuxième charge hydrocarbonée, préférentiellement de la biomasse, de préférence lignocellulosique, pour produire de l'éthanol et du dioxyde de carbone (CO₂) ;
- une section réactionnelle de synthèse de méthanol adaptée pour convertir au moins en partie le CO₂ en méthanol ; et

- une section réactionnelle d'aromatisation adaptée pour convertir au moins en partie le méthanol en composés aromatiques et produire un effluent d'hydrocarbures comprenant des composés aromatiques, et alimenter la première charge hydrocarbonée au moins en partie avec l'effluent d'hydrocarbures.

5 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le dispositif comprend une section de purification adaptée pour traiter le méthanol pour séparer de l'eau et produire du méthanol purifié.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section de purification est adaptée pour séparer un gaz de recycle comprenant du CO₂ non converti, et recycler le gaz de recycle à l'entrée la section réactionnelle de synthèse de méthanol.

10 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le dispositif comprend une ligne d'appoint pour fournir un apport en hydrogène dans le CO₂.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité de production d'éthanol par transformation biochimique est adaptée pour traiter la deuxième charge hydrocarbonée (30) comprenant de la biomasse, de préférence lignocellulosique, et comprend les sections élémentaires suivantes :

- 15
- section de broyage de la biomasse en particules ;
 - section optionnelle de lavage et séparation des particules ;
 - section optionnelle d'imprégnation des particules en substrat lignocellulosique imprégné ;
 - section optionnelle de séparation solide/liquide du substrat lignocellulosique imprégné ;
 - section prétraitement par explosion à la vapeur ou cuisson en conditions acides ;
- 20
- section d'hydrolyse enzymatique pour produire des sucres ou des molécules bio-sourcées ;
- et
- section de fermentation alcoolique pour produire l'éthanol et le CO₂.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le dispositif comprend une section de séparation adaptée pour traiter l'effluent d'hydrocarbures pour séparer de l'eau et une purge de gaz léger
25 comprenant de l'hydrogène et des composés hydrocarbonés en C1-C2, et produire un effluent enrichi en composés aromatiques pour alimenter la première charge hydrocarbonée.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section de séparation est adaptée pour :

- séparer un effluent de recycle comprenant au moins un des composés suivants : des composés hydrocarbonés en C3-C4, des composés hydrocarbonés non aromatiques en C5-C10,
30 du benzène, du toluène ; et
- recycler l'effluent de recycle à l'entrée la section réactionnelle d'aromatisation.

Selon un troisième aspect, les objets précités, ainsi que d'autres avantages, sont obtenus par un procédé de production de carburant pour l'aviation comprenant la conversion du méthanol et/ou de l'effluent d'hydrocarbures et/ou de l'éthanol produit par les procédés précités.

Des modes de réalisation ainsi que d'autres caractéristiques et avantages des dispositifs et procédés selon les aspects précités, vont apparaître à la lecture de la description qui suit, donnée à titre uniquement illustratif et non limitatif, et en référence au dessin suivant.

Liste des figures

- 5 La figure 1 représente une vue schématique d'un procédé selon la présente invention permettant d'augmenter la production de composés aromatiques.

Description des modes de réalisation

Des modes de réalisation du procédé selon le premier aspect et du dispositif selon le deuxième aspect vont maintenant être décrits en détail. Dans la description détaillée suivante, de nombreux
10 détails spécifiques sont exposés afin de fournir une compréhension plus approfondie du procédé et du dispositif selon la présente invention. Cependant, il apparaîtra à l'homme du métier que le procédé et le dispositif peuvent être mis en œuvre sans ces détails spécifiques. Dans d'autres cas, des caractéristiques bien connues n'ont pas été décrites en détail pour éviter de compliquer inutilement la description.

- 15 Dans la présente demande, le terme « comprendre » est synonyme de (signifie la même chose que) « inclure » et « contenir », et est inclusif ou ouvert et n'exclut pas d'autres éléments non récités. Il est entendu que le terme « comprendre » inclut le terme exclusif et fermé « consister ». En outre, dans la présente description, un effluent comprenant essentiellement ou uniquement des composés A correspond à un effluent comprenant au moins 80% ou 90% en poids,
20 préférablement au moins 95% en poids, très préférablement au moins 99% en poids, de composés A.

La présente invention peut se définir comme un procédé et un dispositif comprenant un enchaînement d'opérations unitaires permettant de produire de l'éthanol, du paraxylène et du benzène, notamment à partir de biomasse.

- 25 Le procédé et le dispositif selon l'invention sont caractérisés en ce qu'ils comprennent et utilisent les unités catalytiques et les unités de séparation connues de l'homme du métier pour produire du benzène et du paraxylène, unités que l'on trouve habituellement dans les complexes aromatiques.

Une des caractéristiques de la présente invention peut être résumée en l'utilisation de dioxyde
30 de carbone (CO₂), sous-produit d'une unité de transformation biochimique de biomasse, pour produire des composés aromatiques. Ainsi la biomasse est valorisée en éthanol et composés aromatiques, sans perte de carbone sous forme de CO₂.

- Spécifiquement, la combinaison d'une unité de conversion du CO₂ en méthanol suivi d'une unité
35 d'aromatisation du méthanol et de l'introduction de composés aromatiques issus de la section d'aromatisation dans le complexe aromatique permet de produire du benzène et du paraxylène

et ainsi de valoriser, potentiellement intégralement, le CO₂ produit dans l'unité de transformation biochimique de biomasse.

En référence à la figure 1, selon un ou plusieurs modes de réalisation, le procédé et le dispositif de conversion de composés aromatiques utilisent et comprennent :

- 5 - une unité optionnelle de séparation de charge 1 pour séparer la première charge hydrocarbonée 2 du complexe aromatique en une coupe hydrocarbonée à 7 atomes de carbone ou moins (C7-) et une coupe aromatique à 8 atomes de carbone ou plus (A8+) ;
- une unité optionnelle d'extraction des aromatiques 3 entre l'unité de séparation de charge 1 et un train de fractionnement 4-7 pour séparer les composés aliphatiques du benzène et du
10 toluène de la coupe en C7- de la première charge hydrocarbonée 2 ;
- le train de fractionnement 4-7 en aval de l'unité optionnelle d'extraction des aromatiques 3 permettant d'extraire du benzène, du toluène et des xylènes des autres aromatiques ;
- une unité optionnelle de transalkylation 8 convertissant en xylènes du toluène (et optionnellement du benzène) et des méthylalkylbenzènes tels que des triméthylbenzènes -
15 avantageusement cette unité peut également traiter des tétraméthylbenzènes ;
- une unité optionnelle d'hydrogénolyse sélective 9 adaptée pour traiter une coupe comprenant des composés aromatiques à 9 et 10 atomes de carbone et produire un effluent d'hydrogénolyse enrichi en composés aromatiques substitués en méthyles ;
- une unité optionnelle de séparation (non montrée) pour séparer l'effluent d'hydrogénolyse
20 disposée (e.g. directement) en aval de l'unité d'hydrogénolyse sélective 9, pour produire une pluralité de coupes d'effluents liquides ;
- une unité de séparation des xylènes 10 (e.g. de type cristallisation ou lit mobile simulé utilisant un tamis moléculaire et un désorbant tel que du toluène) permettant d'isoler le paraxylène des xylènes et de l'éthylbenzène ;
- 25 - une unité d'isomérisation 11 du raffinat obtenu comme effluent de l'unité de séparation des xylènes 10 pour convertir notamment l'orthoxyène, le métaxyène et l'éthylbenzène en paraxyène ;
- une colonne optionnelle de stabilisation 12, permettant notamment de retirer les espèces plus volatiles (e.g. C5-) du complexe aromatique, notamment des effluents de l'unité de
30 transalkylation 8 et/ou de l'unité d'isomérisation 11 ;
- une unité de transformation biochimique 13 adaptée pour traiter une deuxième charge hydrocarbonée 30, telle que de la biomasse, de préférence lignocellulosique, et produire de l'éthanol 31 et du CO₂ 32 ;
- une section réactionnelle de synthèse de méthanol 50 pour traiter au moins en partie le
35 CO₂ 32 provenant de l'unité de transformation biochimique 13 et produire du méthanol 51 ;

- une première ligne optionnelle d'appoint pour fournir un apport en hydrogène 33 dans le CO₂ 32 ;
- une section optionnelle de purification 52 pour traiter le méthanol, séparer une purge d'eau 53 et un gaz de recycle 54 comprenant du CO₂ non converti, et produire du méthanol purifié 55 ;
- 5 - une section réactionnelle d'aromatization 56 pour traiter le méthanol 51 ou le méthanol purifié 55 et produire un effluent d'hydrocarbures 57 comprenant des composés aromatiques ;
- une section optionnelle de séparation 58 pour : traiter l'effluent d'hydrocarbures 57 ; séparer de l'eau 61 ; séparer une purge de gaz léger 60 comprenant de l'hydrogène et des composés hydrocarbonés en C1-C2 ; séparer un effluent optionnel de recycle 59 comprenant des composés hydrocarbonés en C3-C4 et/ou des composés hydrocarbonés non aromatiques en C5-C10 et optionnellement du benzène et/ou du toluène ; et produire un effluent enrichi en composés aromatiques 62.

Il est entendu qu'il est possible de stopper le procédé selon l'invention à la production du méthanol 51 et/ou de l'effluent d'hydrocarbures 57, par exemple pour utiliser de tels composés (ainsi que par exemple l'éthanol) pour la production de carburant pour l'aviation. Selon ces modes de réalisation, le train de fractionnement 4-7, l'unité de séparation des xylènes 10 et l'unité d'isomérisation 11 sont optionnels.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section de purification 52 est adaptée pour recycler à l'entrée la section réactionnelle de synthèse de méthanol 50 le gaz de recycle 54.

20 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section de séparation 58 est adaptée pour recycler au moins en partie l'effluent de recycle 59 à l'entrée de la section réactionnelle d'aromatization 56.

Avantageusement, la première charge hydrocarbonée 2 est alimentée par l'effluent d'hydrocarbures 57 ou l'effluent enrichi en composés aromatiques 62.

25 En référence à la figure 1, l'unité de séparation de charge 1 traite la première charge hydrocarbonée 2 du complexe aromatique pour séparer une coupe de tête comprenant (e.g. essentiellement) des composés à 7 atomes de carbone ou moins 16 (C7-) contenant notamment du benzène et du toluène, et une coupe de fond comprenant (e.g. essentiellement) des aromatiques à 8 atomes de carbone ou plus 17 (A8+) envoyée vers la colonne de xylène 6. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité de séparation de charge 1 sépare également une première coupe de toluène 18 comprenant au moins 90% en poids, préférablement au moins 95% en poids, très préférablement au moins 99% en poids de toluène, par rapport au poids total de la première coupe de toluène 18. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première coupe de toluène 18 est envoyée vers la première colonne de distillation de composés

aromatiques 4, appelée également colonne de benzène, et/ou vers la deuxième colonne de distillation de composés aromatiques 5, appelée également colonne de toluène.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 est une coupe hydrocarbonée contenant majoritairement (i.e., > 50% en poids) des molécules dont le nombre de carbone s'étend de 6 à 10 atomes de carbone. Cette charge peut également contenir des molécules ayant plus de 10 atomes de carbone et/ou des molécules à 5 atomes de carbone.

La première charge hydrocarbonée 2 du complexe aromatique est riche en aromatiques (e.g. > 50% en poids) et contient préférentiellement au moins 20% en poids de benzène, préférentiellement au moins 30% en poids, très préférentiellement au moins 40% en poids de benzène, par rapport au poids total de la première charge hydrocarbonée 2. La première charge hydrocarbonée 2 peut être produite par reformage catalytique d'un naphta ou être un produit d'unité de craquage (e.g. à la vapeur, catalytique) ou tout autre moyen de production d'alkyles aromatiques.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 est au moins partiellement voire entièrement biosourcée. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 provient (essentiellement) d'un procédé de conversion de la biomasse lignocellulosique. Par exemple, un effluent produit par conversion de la biomasse lignocellulosique peut être traité pour être aux spécifications requises de la première charge hydrocarbonée 2 afin de présenter des teneurs en éléments soufrés, azotés et oxygénés compatibles avec un complexe aromatique.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 du complexe aromatique comprend au moins 25% en poids, préférentiellement au moins 30% en poids, très préférentiellement au moins 35% en poids, d'effluent d'hydrocarbures 57 (ou d'effluent enrichi en composés aromatiques 62), par rapport au poids total de la première charge hydrocarbonée 2. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 du complexe aromatique est sensiblement constituée de l'effluent d'hydrocarbures 57 (ou d'effluent enrichi en composés aromatiques 62). Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 peut comprendre un mélange de composés aromatiques et paraffiniques biosourcé et un mélange de composés aromatiques et paraffiniques non-biosourcé (provenant par exemple d'une unité de reformage catalytique).

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la première charge hydrocarbonée 2 comprend moins de 10 ppm poids, préférentiellement moins de 5 ppm poids, très préférentiellement moins de 1 ppm poids en azote élémentaire, et/ou moins de 10 ppm poids, préférentiellement moins de 5 ppm poids, très préférentiellement moins de 1 ppm poids en soufre élémentaire, et/ou moins de 100 ppm poids, préférentiellement moins de 50 ppm poids, très préférentiellement moins de 10 ppm poids en oxygène élémentaire.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la coupe de tête 16, optionnellement mélangée au produit de fond (benzène et toluène) de la colonne de stabilisation 12 définie ci-après, est envoyée vers l'unité d'extraction des aromatiques 3 afin d'extraire un effluent comprenant des espèces aliphatiques en C6-C7 19 qui est exporté comme co-produit du complexe aromatique ou au moins en partie recyclé dans la section réactionnelle d'aromatization 56. La coupe aromatique 20 (essentiellement du benzène et du toluène) appelée extrait de l'unité d'extraction des aromatiques 3, optionnellement mélangée à la fraction lourde 21 de l'unité de transalkylation 8 définie ci-après, est envoyée vers le train de fractionnement, préférablement dans la colonne de benzène 4. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la coupe aromatique 20 est une charge hydrocarbonée (e.g. essentiellement) aromatique en C6-C7 (A6-A7).

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la coupe de tête 16 de l'unité de séparation de charge 1, optionnellement mélangée à la fraction lourde 21 de l'unité de transalkylation 8 définie ci-après, est envoyée directement vers le train de fractionnement, préférablement dans la colonne de benzène 4 (sans traitement par l'unité d'extraction des aromatiques 3).

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le train de fractionnement comprend les colonnes de distillation de composés aromatiques 4, 5, 6 et 7 permettant de séparer les cinq coupes suivantes :

- une coupe comprenant (e.g. essentiellement) du benzène 22 ;
- une coupe comprenant (e.g. essentiellement) du toluène 23 ;
- une coupe comprenant (e.g. essentiellement) des xylènes et de l'éthylbenzène 24 ;
- une coupe comprenant (e.g. essentiellement) des composés aromatiques à 9 et 10 atomes de carbone 25 ;
- une coupe comprenant (e.g. essentiellement) des composés aromatiques dont les espèces les plus volatiles sont des aromatiques à 10 atomes de carbone 26.

La colonne de benzène 4 est adaptée pour : traiter la coupe aromatique 20 qui est une charge hydrocarbonée (e.g. essentiellement) aromatique en C6-C10 (A6+) ; produire en tête la coupe comprenant du benzène 22 qui peut être un des produits recherchés en sortie du complexe aromatique ; et produire en fond un effluent (e.g. essentiellement) aromatique en C7-C10 27 (A7+).

La colonne de toluène 5 est adaptée pour : traiter l'effluent aromatique en C7-C10 27 (A7+), produit de fond de la colonne de benzène 4 ; produire en tête la coupe comprenant du toluène 23 qui est dirigée vers l'unité de transalkylation 8 ; et produire en fond un effluent (e.g. essentiellement) aromatique en C8-C10 28 (A8+).

La troisième colonne de distillation de composés aromatiques 6, appelée également colonne de xylène, est adaptée pour : traiter la coupe aromatique à 8 atomes de carbone ou plus 17 (A8+)

de la première charge hydrocarbonée 2 et optionnellement l'effluent de fond de la colonne de toluène 28 ; produire en tête la coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène 24 qui est dirigée vers l'unité de séparation des xylènes 10 ; et produire en fond un effluent (e.g. essentiellement) comprenant des aromatiques en C9-C10 29 (A9+).

- 5 La quatrième colonne de distillation de composés aromatiques 7, appelée également colonne des aromatiques lourds est optionnelle et est adaptée pour : traiter l'effluent de fond de la colonne de xylène 29 ; produire en tête la fraction comprenant des mono-aromatiques en C9-C10 25 ; et produire en fond la coupe comprenant (e.g. essentiellement) des composés aromatiques dont les espèces les plus volatiles sont des aromatiques à 10 atomes de carbone 26 (A10+).
- 10 Préférentiellement, la coupe de fond 26 comprend des composés en C11+.

Dans l'unité de transalkylation 8, la fraction comprenant des mono-aromatiques en C9-C10 25 (et/ou l'effluent d'hydrogénolyse enrichi en composés aromatiques substitués en méthyles décrit ci-après) est mélangée à la coupe comprenant du toluène 23 en provenance de la tête de la colonne de toluène 5, et alimente la section réactionnelle de l'unité de transalkylation 8 pour

15 produire des xylènes par transalkylation d'aromatiques en défaut de groupes méthyles (toluène), et en excès de groupes méthyles (e.g. tri- et tétra-méthylbenzènes). Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité de transalkylation 8 est alimentée en benzène (ligne non représentée sur la figure 1), par exemple lorsqu'un excès de groupes méthyles est observé pour la production de paraxylène. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité de transalkylation 8 traite

20 directement l'effluent de fond de la colonne de xylène 29.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité de transalkylation 8 comprend au moins un premier réacteur de transalkylation adapté pour être utilisé dans au moins une des conditions opératoires suivantes :

- température comprise entre 200°C et 600°C, préférentiellement comprise entre 350°C et
- 25 550°C, et plus préférentiellement encore comprise entre 380°C et 500°C ;
- pression comprise entre 2 MPa et 10 MPa, préférentiellement comprise entre 2 MPa et 6 MPa, et plus préférentiellement comprise entre 2 MPa et 4 MPa ;
- PPH comprise entre 0,5 h⁻¹ et 5 h⁻¹, préférentiellement comprise entre 1 h⁻¹ et 4 h⁻¹, et plus préférentiellement comprise entre 2 h⁻¹ et 3 h⁻¹.

30 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le premier réacteur de transalkylation est opéré en présence d'un catalyseur comprenant de la zéolithe, par exemple de la ZSM-5. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le deuxième réacteur de transalkylation est de type lit fixe.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, les effluents de la section réactionnelle de l'unité de transalkylation 8 sont séparés dans une première colonne de séparation (non représentée) en

35 aval de ladite section réactionnelle de l'unité de transalkylation 8. Une coupe comprenant au

moins une partie du benzène et les espèces plus volatiles 38 (C6-) est extraite en tête de la première colonne de séparation et est envoyée vers une colonne optionnelle de stabilisation 12, permettant notamment de retirer les espèces plus volatiles (e.g. C5-) du complexe aromatique. La fraction lourde 21 des effluents de la première colonne de séparation comprenant (e.g. essentiellement) des aromatiques au moins 7 atomes de carbone (A7+), est optionnellement recyclée vers le train de fractionnement 4-7, par exemple vers la colonne de benzène 4.

La coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène 24 est traitée dans l'unité de séparation des xylènes 10 pour produire une fraction ou un extrait 39 comprenant du paraxylène et un raffinat 40. L'extrait 39 peut être ensuite distillé (e.g. si séparation par adsorption LMS), par exemple au moyen d'une colonne d'extrait puis d'une colonne de toluène supplémentaire (non montrées) dans le cas où le toluène est utilisé comme désorbant, pour obtenir du paraxylène de haute pureté exporté comme produit principal. Le raffinat 40 de l'unité de séparation des xylènes 10 comprend (e.g. essentiellement) de l'orthoxyène, du métaxyène et de l'éthylbenzène et alimente l'unité d'isomérisation 11.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité de séparation des xylènes 10 sépare également une deuxième coupe de toluène 41 comprenant au moins 90% en poids, préférablement au moins 95% en poids, très préférablement au moins 99% en poids de toluène, par rapport au poids total de la deuxième coupe de toluène 41. La coupe de toluène 41 peut être par exemple une partie du toluène utilisé comme désorbant lorsque l'unité de séparation des xylènes 10 comprend une unité d'adsorption LMS. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la deuxième coupe de toluène 41 est envoyée vers l'unité de transalkylation 8.

Dans la section réactionnelle d'isomérisation de l'unité d'isomérisation 11, les isomères du paraxylène sont isomérisés alors que l'éthylbenzène peut être : isomérisé en un mélange de C8 aromatiques, par exemple si on souhaite produire principalement du paraxylène ; et/ou désalkylé pour produire du benzène, par exemple si on souhaite produire à la fois du paraxylène et du benzène. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, les effluents de la section réactionnelle d'isomérisation sont envoyés vers une deuxième colonne de séparation (non représentée) pour produire en fond un isomérisat 42 enrichi en paraxylène préférablement recyclé vers la colonne de xylène 6 ; et produire en tête une coupe hydrocarbonée comprenant des composés à 7 atomes de carbone ou moins 43 (C7-) envoyée vers la colonne optionnelle de stabilisation 12, par exemple avec la coupe comprenant au moins une partie du benzène et les espèces plus volatiles 38.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité d'isomérisation 11 comprend une première zone d'isomérisation travaillant en phase liquide, et/ou une deuxième zone d'isomérisation travaillant en phase gaz. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité d'isomérisation 11 comprend une première zone d'isomérisation travaillant en phase liquide, et une deuxième zone

d'isomérisation travaillant en phase gaz. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, on envoie dans l'unité d'isomérisation en phase liquide une première partie du raffinat 40, pour obtenir un premier isomérat alimentant directement et au moins en partie l'unité de séparation 10, et on envoie dans l'unité d'isomérisation en phase gaz une seconde partie du raffinat 40 pour obtenir un isomérat qui est envoyé dans la colonne de xylène 6.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la zone d'isomérisation en phase gaz est adaptée pour être utilisée dans au moins une des conditions opératoires suivantes :

- température supérieure à 300°C, de préférence de 350°C à 480°C ;
- pression inférieure à 4,0 MPa, et de préférence de 0,5 MPa à 2,0 MPa ;
- 10 - vitesse spatiale horaire inférieure à 10 h⁻¹ (10 litres par litre et par heure), de préférence comprise entre 0,5 h⁻¹ et 6 h⁻¹ ;
- rapport molaire hydrogène sur hydrocarbure inférieur à 10, et de préférence compris entre 3 et 6 ;
- présence d'un catalyseur comportant au moins une zéolithe présentant des canaux dont l'ouverture est définie par un anneau à 10 ou 12 atomes d'oxygène (10 MR ou 12 MR), et au moins un métal du groupe VIII B de teneur comprise entre 0,1 et 0,3% en poids (forme réduite), bornes incluses, par rapport au poids total du catalyseur.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la zone d'isomérisation en phase liquide est adaptée pour être utilisée dans au moins une des conditions opératoires suivantes :

- 20 - température inférieure à 300°C, de préférence 200°C à 260°C ;
- pression inférieure à 4 MPa, de préférence 2 MPa à 3 MPa ;
- vitesse spatiale horaire (VVH) inférieure à 10 h⁻¹ (10 litres par litre et par heure), de préférence comprise entre 2 h⁻¹ et 4 h⁻¹ ;
- présence d'un catalyseur comportant au moins une zéolithe présentant des canaux dont l'ouverture est définie par un anneau à 10 ou 12 atomes d'oxygène (10 MR ou 12 MR), préférentiellement un catalyseur comportant au moins une zéolithe présentant des canaux dont l'ouverture est définie par un anneau à 10 atomes d'oxygène (10 MR), et de manière encore plus préférée un catalyseur comportant une zéolithe de type ZSM-5.

Le terme VVH correspond au volume de charge hydrocarbonée horaire injecté rapporté au volume de catalyseur chargé.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la colonne optionnelle de stabilisation 12 produit : en fond une coupe stabilisée comprenant (e.g. essentiellement) du benzène et du toluène 44 optionnellement recyclée en entrée de l'unité de séparation de charge 1 et/ou de l'unité d'extraction des aromatiques 3 ; et en tête une coupe d'espèces plus volatiles 45 (e.g. C5-) retirée du complexe aromatique.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité d'hydrogénolyse sélective 9 est adaptée pour :

- traiter les mono-aromatiques ayant entre 9 et 10 atomes de carbone 25 ; et
- produire un effluent d'hydrogénolyse enrichi en composés aromatiques substitués en méthyles 46.

- 5 Spécifiquement, l'unité d'hydrogénolyse sélective 9 peut être adaptée pour traiter les aromatiques ayant entre 9 et 10 atomes de carbone 25 en transformant un ou plusieurs groupe(s) alkyle(s) au moins deux atomes de carbone (groupes éthyle, propyle, butyle, isopropyle, etc..) fixé(s) sur un noyau benzénique, en un ou plusieurs groupe(s) méthyle(s), c'est-à-dire formé(s) d'un seule groupe CH₃. L'intérêt majeur l'unité d'hydrogénolyse sélective 9 est d'augmenter la teneur en
- 10 groupements CH₃ et baisser la teneur en groupements éthyle, propyle, butyle, isopropyle, etc..., dans la charge de l'unité d'isomérisation 11 pour augmenter le taux de production de xylènes, et notamment de paraxylène, dans ladite unité d'isomérisation 11.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'unité d'hydrogénolyse sélective 9 comprend au moins un réacteur d'hydrogénolyse adapté pour être utilisée dans au moins une des conditions

15 opératoires suivantes :

- température comprise entre 300°C et 550°C, préférentiellement comprise entre 350°C et 500°C, et plus préférentiellement encore comprise entre 370°C et 450°C ;
 - pression comprise entre 0,1 MPa et 3 MPa, préférentiellement comprise entre 0,2 MPa et 2 MPa, et plus préférentiellement comprise entre 0,2 MPa et 1 MPa ;
 - 20 - rapport molaire H₂/HC (charge hydrocarbure) compris entre 1 et 10, et préférentiellement compris entre 1,5 et 6 ;
 - PPH comprise entre 0,1 h⁻¹ et 50 h⁻¹ (e.g. 0,5-50 h⁻¹), préférentiellement comprise entre 0,5 h⁻¹ et 30 h⁻¹ (e.g. 1-30 h⁻¹), et plus préférentiellement comprise entre 1 h⁻¹ et 20 h⁻¹ (e.g. 2-20 h⁻¹, 5-20 h⁻¹).
- 25 Le terme PPH correspond au poids de charge hydrocarbonée horaire injecté rapporté au poids de catalyseur chargé.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le réacteur d'hydrogénolyse est opéré en présence d'un catalyseur comportant au moins un métal du groupe VIII B de la classification périodique, de préférence le nickel et/ou cobalt, déposé sur un support poreux comprenant au moins un oxyde

30 réfractaire cristallin ou non, à porosité structurée ou non. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le métal du groupe VIII B est le nickel. La présence d'un promoteur (Groupe VIB VIII B VIII B IB IIB) est également possible. Le catalyseur est supporté sur un oxyde réfractaire (e.g. alumine, silice), éventuellement traité par une base pour le neutraliser.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le réacteur d'hydrogénolyse est de type lit fixe, et le

35 support de catalyseur se présente sous la forme d'extrudés. Selon un ou plusieurs modes de

réalisation, le réacteur d'hydrogénolyse est de type lit mobile, et le support de catalyseur se présente sous la forme de billes approximativement sphériques. Un lit mobile peut être défini comme étant un lit à écoulement gravitaire, tels que ceux rencontrés dans le reformage catalytique des essences.

- 5 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la deuxième charge hydrocarbonée 30 est un mélange de composés hydrocarbonés présentant une teneur en oxygène élémentaire supérieure à 1% en poids, préférentiellement supérieure à 3% en poids, très préférentiellement supérieure à 5% en poids par rapport au poids total de ladite deuxième charge hydrocarbonée 30. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la deuxième charge hydrocarbonée 30 comprend ou est
10 constituée de biomasse, préférentiellement de la biomasse lignocellulosique ou d'un ou plusieurs constituants de biomasse lignocellulosique choisis dans le groupe formé par la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

La biomasse lignocellulosique peut être constituée de bois, de déchets agricoles ou de déchets végétaux. D'autres exemples non limitatifs de matière biomasse lignocellulosique sont les résidus
15 d'exploitation agricole (paille, tige de maïs...), les résidus d'exploitation forestière (produits de première éclaircie), les produits d'exploitation forestière, les cultures dédiées (taillis à courte rotation), les résidus de l'industrie agro-alimentaire, les déchets organiques ménagers, les déchets des installations de transformation du bois, les bois usagés de construction, du papier, recyclé ou non.

- 20 La biomasse lignocellulosique peut aussi provenir de sous-produits de l'industrie papetière comme la lignine Kraft, ou les liqueurs noires issues de la fabrication de pâte à papier.

La biomasse lignocellulosique est composée de trois principaux constituants : la cellulose (35 à 50%), l'hémicellulose (23 à 32%) qui est un polysaccharide essentiellement constitué de pentoses et d'hexoses et la lignine (15 à 25%) qui est une macromolécule de structure complexe et de haut
25 poids moléculaire, provenant de la copolymérisation d'alcools phénylpropénoïques. Ces différentes molécules sont responsables des propriétés intrinsèques de la paroi végétale et s'organisent en un enchevêtrement complexe.

La cellulose, majoritaire dans cette biomasse, est ainsi le polymère le plus abondant sur Terre et celui qui présente le plus grand potentiel pour former des matériaux et des biocarburants.
30 Cependant le potentiel de la cellulose et de ses dérivés n'a pas pu, pour le moment, être complètement exploité, majoritairement en raison de la difficulté d'extraction de la cellulose. En effet, cette étape est rendue difficile par la structure même des plantes. Les verrous technologiques identifiés à l'extraction et à la transformation de la cellulose sont notamment son accessibilité, sa cristallinité, son degré de polymérisation, la présence de l'hémicellulose et de la
35 lignine.

Le principe du procédé de conversion de la biomasse lignocellulosique par transformation biochimique dans l'unité 13 utilise une étape d'hydrolyse enzymatique de la cellulose contenue dans les matières végétales pour produire du glucose.

5 Le glucose obtenu peut ensuite être fermenté en différents produits tels que des alcools (éthanol, 1,3-propanediol, 1-butanol, 1,4-butanediol, etc.) ou des acides (acide acétique, acide lactique, acide 3-hydroxypropionique, acide fumarique, acide succinique, etc.).

La cellulose et éventuellement les hémicelluloses sont les cibles de l'hydrolyse enzymatique mais ne sont pas directement accessibles aux enzymes. C'est la raison pour laquelle ces substrats doivent subir un prétraitement précédant l'étape d'hydrolyse enzymatique. Le prétraitement vise
10 à modifier les propriétés physiques et physico-chimiques du matériau lignocellulosique, en vue d'améliorer l'accessibilité de la cellulose emprisonnée au sein de la matrice de lignine et d'hémicellulose. Un des prétraitements les plus efficaces est l'explosion à la vapeur, qui permet une hydrolyse presque totale de l'hémicellulose et une amélioration importante de l'accessibilité et la réactivité de la cellulose aux enzymes. Ce prétraitement peut être précédé d'autre(s)
15 traitement(s) tels qu'une imprégnation acide. La biomasse imprégnée d'une solution aqueuse, avec ou sans acide, est traitée en continu avec de la vapeur dans un réacteur sous pression et en température afin de déstructurer principalement l'hémicellulose.

La biomasse prétraitée est composée de solide (cellulose et lignine principalement) et de sucres solubles dans l'eau. Dans certaines configurations de procédés, une fraction du solide prétraité
20 est envoyée dans une étape d'extraction des sucres solubles pour récupérer un jus sucré. Par exemple, le document « Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover », Aden et al. NREL/TP-510-32438 enseigne la séparation de la biomasse prétraitée en une fraction solide et une fraction liquide. Ce jus riche en sucres peut ensuite être utilisé comme source de carbone
25 dans les unités de production d'enzymes et de propagation des levures. Le substrat prétraité appauvri en sucres solubles peut être dirigé vers l'étape d'hydrolyse enzymatique conjointement au marc brut sortant de l'unité de prétraitement.

L'hydrolyse enzymatique vise à convertir le substrat prétraité en sucres monomériques. Le cocktail enzymatique utilisé pour cette étape est un mélange d'enzymes cellulolytiques et/ou
30 hémicellulolytiques capables de décomposer la cellulose en solution de sucres, contenant notamment du glucose. Les enzymes du cocktail enzymatique contiennent trois grands types d'enzymes selon leurs activités : les endoglucanases, les exoglucanases et les cellobiases. Le microorganisme le plus utilisé pour la production du cocktail enzymatique est le champignon *Trichoderma reesei*. Le procédé de production du cocktail enzymatique débute par une phase de
35 propagation dont le but est de multiplier le champignon filamentueux *T. reesei*. Une fois la concentration en champignon suffisante pour produire un cocktail enzymatique assez concentré,

une phase de production de cocktail enzymatique est induite par un changement de substrat sucré. A l'issue de ce procédé fermentaire, on obtient un moût contenant un mélange d'enzymes et de champignon filamenteux *T. reesei*. Ce moût peut être utilisé directement en hydrolyse enzymatique, ou bien les enzymes peuvent être séparées du champignon puis éventuellement concentrées.

La fermentation des sucres issus de l'hydrolyse enzymatique en différents produits tels que des alcools, des solvants ou des acides nécessite l'utilisation de biocatalyseurs (bactéries ou levures). Bien que la cible principale de l'étape de fermentation soit la conversion des sucres en bioproduits, et que les conditions de l'étape de fermentation soient choisies pour favoriser cette voie métabolique, la conduite d'une étape de fermentation implique nécessairement des réactions parallèles visant au développement et au maintien des micro-organismes fermentaires. Par exemple, Pasteur a montré au 19^e siècle qu'environ 5% des sucres sont convertis en coproduits, ou utilisés pour la maintenance et la croissance cellulaire, dans le cas de la fermentation du glucose en éthanol par la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

Le jus sucré issu de l'étape d'extraction du marc prétraité peut être utilisé partiellement ou complètement pour la production des biocatalyseurs. Ce substrat riche en sucres est mis en contact avec un inoculum de levures ou bactéries dans des conditions favorables à leur multiplication. La production de biocatalyseur nécessite l'apport de composés carbonés et azotés mais également des éléments minéraux, vitamines. Les besoins varient selon le type de biocatalyseur considéré. En fin de croissance, le moût obtenu contenant les levures ou bactéries est directement utilisé sans séparation dans l'étape de fermentation, ou alternativement ce moût peut être concentré, par exemple par centrifugation.

Ce procédé de conversion de la biomasse lignocellulosique par transformation biochimique dans l'unité 13 et production d'éthanol 31 par voie fermentaire comprend donc de façon connue la succession d'étapes suivantes : broyage de la biomasse, éventuellement une imprégnation de la biomasse, puis prétraitement par explosion à la vapeur ou cuisson en conditions acides, hydrolyse enzymatique pour produire des sucres ou des molécules bio-sourcées et fermentation alcoolique pour produire des alcools pouvant servir de biocarburants tel que l'éthanol ou autre type de fermentation pour produire des molécules bio-sourcées, l'éthanol (ou les biocarburants ou molécules bio-sourcées) étant séparé ensuite par exemple par distillation.

L'étape de fermentation s'accompagne de la production de CO₂ 32.

Dans l'unité 13 de conversion de la biomasse lignocellulosique par transformation biochimique la deuxième charge hydrocarbonée 30 est notamment convertie en éthanol 31 et en CO₂ 32. L'effluent comprenant, de préférence constitué par, du CO₂ 32 est introduit dans l'unité 50 de conversion du CO₂ en méthanol.

Dans la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50, le gaz CO₂ 32, préférablement enrichi avec un apport en hydrogène 33, est converti au moins partiellement en méthanol et en eau. La réaction de synthèse du méthanol à partir de CO₂ et de CO est bien connue de l'homme du métier (voir par exemple : US5631302, US4238403, EP 3 402 773, et Renewable Energy, 146 (2020),
5 1192-1203).

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50 comprend au moins un réacteur utilisé dans au moins une des conditions opératoires suivantes :

- température comprise entre 200°C et 450°C, préférentiellement comprise entre 220°C et 400°C, et plus préférentiellement encore comprise entre 250°C et 350°C ;
- 10 - pression comprise entre 1 MPa et 12 MPa, préférentiellement comprise entre 2 MPa et 10 MPa, et plus préférentiellement comprise entre 5 MPa et 10 MPa ;
- ratio molaire H₂/CO₂ compris entre 3 et 10, préférablement entre 3 et 7, très préférablement entre 3 et 5 ;
- vitesse spatiale du gaz à l'entrée du réacteur comprise entre 0,2 g/g_{cata}/h et 1 g/g_{cata}/h.

15 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le réacteur de la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50 est adapté pour fonctionner en lit fluide ou lit fixe, de préférence en lit fixe.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la réaction de synthèse du méthanol est effectuée en présence d'un catalyseur d'hydrogénation. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, ledit catalyseur est un catalyseur pour l'hydrogénation du CO₂. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur pour l'hydrogénation du CO₂ comprend du cuivre (e.g. sous forme d'oxyde) et optionnellement au moins un promoteur choisi parmi les éléments suivants : Zn, Zr, Si, Al, Ti, Cr, Ga, Ce (e.g. sous forme d'oxyde), et optionnellement un support (e.g. un oxyde réfractaire tel que de l'alumine). Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur pour l'hydrogénation du CO₂ est de type CuO/ZnO/Al₂O₃. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur pour l'hydrogénation du CO₂ comprend 50-75% en poids de CuO, 15-35% en poids de ZnO et 5-20% d'Al₂O₃, par rapport au poids total du catalyseur.
20
25

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le flux de CO₂ 32 peut être purifié avant d'être introduit dans la section réactionnelle de synthèse de méthanol 50. La purification du CO₂ 32 vise à éliminer les composés soufrés, azotés, des halogènes, métaux lourds et métaux de transition.
30 Les principales technologies de purification des gaz sont : adsorption, absorption, réactions catalytiques.

Les différentes méthodes de purification sont bien connues de l'homme du métier, on peut se référer par exemple à : Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, 68 (2013), No. 4 ; et à Applied Energy, 237 (2019), 227-240.

Dans la section optionnelle de purification 52 le méthanol 51 est traité pour séparer de l'eau 53 et un gaz de recycle 54 comprenant du CO₂ non converti, et pour produire du méthanol purifié 55. Le gaz de recycle 54 est préférablement recyclé à l'entrée de la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50. La séparation eau-méthanol peut être réalisée par distillation. Selon

5 un ou plusieurs modes de réalisation, le méthanol purifié 55 comprend au moins 99,1 % en poids de méthanol. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'eau 53 comprend au moins 99,99% en poids d'eau. L'eau 53, co-produit de la réaction de synthèse du méthanol, est purgée et sortie du procédé ou envoyée vers un électrolyseur pour produire de l'hydrogène ou utilisée en amont de l'unité de transformation biochimique 13 pour les opérations de prétraitement de biomasse.

10 Conformément à l'invention, le méthanol 51 ou le méthanol purifié 55 est envoyé dans la section réactionnelle d'aromatisation 56 pour traiter le méthanol et produire des composés aromatiques. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la section réactionnelle d'aromatisation 56 comprend au moins un réacteur utilisé dans au moins une des conditions opératoires suivantes

- température comprise entre 250°C et 500°C, préférablement comprise entre 300°C et

15 450°C, et plus préférablement encore comprise entre 350°C et 420°C ;

- pression comprise entre 0,1 MPa et 1 MPa, préférablement comprise entre 0,2 MPa et 0,8 MPa, et plus préférablement comprise entre 0,4 MPa et 0,5 MPa ;

- vitesse spatiale du gaz à l'entrée du réacteur comprise entre 0,2 et 1 g/g_{cata}/h.

20 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le réacteur de la section réactionnelle d'aromatisation 56 est adapté pour fonctionner en lit fluide.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la réaction d'aromatisation est effectuée en présence d'un catalyseur d'aromatisation. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, ledit catalyseur est un catalyseur pour l'aromatisation du méthanol. Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur l'aromatisation du méthanol comprend du zinc optionnellement imprégné sur une

25 zéolithe (e.g. ZSM-5), la zéolithe étant optionnellement disposée un support (e.g. un oxyde réfractaire tel que de l'alumine). Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur pour l'aromatisation du méthanol est de type Zn-ZSM-5/Al₂O₃, et comprend préférablement entre 0,1% en poids et 10% en poids, tel qu'entre 1% en poids et 5% en poids de Zn, par rapport au poids total du catalyseur. Des exemples de tels catalyseurs sont décrits dans Journal of Catalysis, 394

30 (2021), 416–428, et dans Catalysis Today, 233 (2014), 8–13.

A la sortie de la section réactionnelle d'aromatisation 56, on peut séparer quatre flux :

- un effluent enrichi en composés aromatiques 62 qui est envoyé vers l'unité de séparation de charge 1 en mélange avec la première charge hydrocarbonée 2 ;

- un effluent de recycle 59 comprenant des composés hydrocarbonés en C3-C4 et/ou des

35 composés hydrocarbonés non aromatiques en C5-C10, qui est recyclé à l'entrée de la section réactionnelle d'aromatisation 56 ;

- un flux d'eau 61 purgé à la sortie de la section réactionnelle d'aromatation 58, potentiellement envoyé vers un électrolyseur pour produire de l'hydrogène ou utilisé en amont de l'unité de transformation biochimique 13 pour les opérations de prétraitement de biomasse ; et
- une purge de gaz léger 60 comprenant hydrogène et C1-C2.

5 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'effluent de recycle 59 comprend du benzène et/ou du toluène.

Avantageusement, la combinaison d'une section réactionnelle de synthèse de méthanol 50, suivie d'une section d'aromatation 56 permet de produire des aromatiques à partir du CO₂, sous-produit de l'unité de conversion de la deuxième charge hydrocarbonée 30 par transformation
10 biochimique 13.

Le procédé et le dispositif selon l'invention permettent ainsi, notamment à partir de biomasse, de produire de l'éthanol et des composés aromatiques.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le méthanol 51 (ou le méthanol purifié 55) et/ou l'effluent d'hydrocarbures (57) (ou l'effluent enrichi en composés aromatiques 62) sont en partie
15 retirés du procédé. Avantageusement, le méthanol et/ou l'éthanol (31) peuvent servir de base/précurseur pour produire du carburant pour l'aviation (« jet-fuel » selon la terminologie anglo-saxonne). Avantageusement, le procédé selon l'invention permet d'obtenir, en très peu d'étapes, du carburant aviation à partir de biomasse.

Dans la présente demande, les groupes d'éléments chimiques sont donnés par défaut selon la
20 classification CAS (CRC Handbook of Chemistry and Physics, éditeur CRC press, rédacteur en chef D.R. Lide, 81ème édition, 2000-2001). Par exemple, le groupe VIII B selon la classification CAS correspond aux métaux des colonnes 8, 9 et 10 selon la nouvelle classification IUPAC ; le groupe VI B selon la classification CAS correspond aux métaux de la colonne 6 selon la nouvelle classification IUPAC.

25 **Exemples**

Exemple 1 de procédé de référence

On utilise un exemple 1 de procédé de référence de transformation biochimique d'une charge comprenant de la biomasse lignocellulosique.

Dans l'exemple de référence les unités de conversion du CO₂ en méthanol 50 et du méthanol en
30 aromatiques 56 sont absentes.

Pour 100 t/h de biomasse type peuplier on obtient par transformation biochimique :

- 21 t/h d'éthanol ;
- 20,5 t/h de CO₂.

Soit une production à peu près équivalent en masse du produit désiré l'éthanol et d'un sous-produit, le CO₂.

Exemple 2 de procédé selon l'invention

5 L'exemple 2 de procédé selon l'invention permet de valoriser le CO₂ sous-produit de l'étape de transformation biochimique de la biomasse en composés aromatiques à haute valeur ajoutée.

Par rapport au schéma du procédé de référence, sont notamment ajoutés la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50, la section de purification 52 avec le recyclage du gaz de recycle 54 (CO₂ non convertis) de la section de purification 52 vers l'entrée de la section réactionnelle de
10 de la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50. Dans cet exemple 2, un apport en hydrogène 33 est ajouté à l'entrée de la section réactionnelle de synthèse du méthanol 50. Une purge d'eau 53 permet en outre d'éliminer l'eau sous-produit de la synthèse du méthanol.

Sont également ajoutés la section réactionnelle d'aromatisation 56, la section de séparation 58, deux lignes de purge pour l'eau 61 et la purge de gaz léger 60, et une ligne de recycle pour envoyer l'effluent de recycle 59 à l'entrée de la section réactionnelle d'aromatisation 56.

15 Le CO₂ 32, produit par l'unité de transformation biochimique 13, est introduit dans la section réactionnelle de de synthèse du méthanol 50, avec un apport en hydrogène 33. A la sortie de la section de purification 52, on introduit le méthanol purifié 55 dans une section réactionnelle d'aromatisation 56. A la sortie de la section de séparation 58 : on recycle l'effluent de recycle 59
20 à l'entrée de la section réactionnelle d'aromatisation 56, on purge de l'eau 61, on purge des gaz légers 60, et on envoie l'effluent enrichi en composés aromatiques 62 à l'entrée du complexe aromatique.

Grâce à ce procédé, la conversion du CO₂ sous-produit de la transformation biochimique de la biomasse est complète.

Les bilans matières globaux des procédés de référence et selon l'invention sont comparés dans la table 1.

Table 1

Effluents	Exemple 1 (référence)	Exemple 2 (invention)
Charge biomasse (t/h)	-	-
Biomasse sèche	100	100
Produits (t/h)	-	-
Ethanol	21	21
CO ₂	20,5	0
Benzène	0	0,606
Paraxylène	0	5,246
C1-C2	0	0,373
eau	0	16,773
Appoint en Hydrogène (t/h)	0	2,498

La table 1 montre que la mise en œuvre selon l'invention permet de produire, en plus de l'éthanol
5 5,246 t/h de paraxylène et 0,606 t/h de benzène, le CO₂ sous-produit de la transformation
biochimique de la biomasse étant intégralement converti en produits d'intérêt pour la pétrochimie.

Revendications

1. Procédé de conversion d'une charge hydrocarbonée, comprenant les étapes suivantes :
 - traiter une charge hydrocarbonée (30) dans une unité de production d'éthanol par transformation biochimique (13) pour produire de l'éthanol (31) et du CO₂ (32) ; et
 - 5 - traiter au moins en partie le CO₂ (32) dans une section réactionnelle de synthèse de méthanol (50) pour produire du méthanol (51).

2. Procédé de conversion selon la revendication 1, comprenant les étapes suivantes :
 - traiter au moins en partie le méthanol (51) dans une section réactionnelle d'aromatisation (56) pour produire un effluent d'hydrocarbures (57) comprenant des
 - 10 composés aromatiques ;
 - fractionner au moins en partie l'effluent d'hydrocarbures (57) dans un train de fractionnement (4-7) pour extraire au moins une coupe comprenant du benzène (22), une coupe comprenant du toluène (23) et une coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène (24) ;
 - 15 - séparer la coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène (24) dans une unité de séparation des xylènes (10) et produire un extrait (39) comprenant du paraxylène et un raffinat (40) comprenant de l'orthoxylène, du métaxylène et de l'éthylbenzène ;
 - isomériser le raffinat (40) dans une unité d'isomérisation (11) et produire un isomérat (42) enrichi en paraxylène ;
 - 20 - envoyer l'isomérat (42) enrichi en paraxylène vers le train de fractionnement (4-7).

3. Procédé de conversion selon la revendication 1 ou la revendication 2, comprenant le traitement du méthanol (51) dans une section de purification (52) pour séparer de l'eau (53) et produire du méthanol purifié (55).

4. Procédé de conversion selon la revendication 3, dans lequel la section de purification (52)
- 25 est adaptée pour séparer un gaz de recycle (54) comprenant du CO₂ non converti, et recycler le gaz de recycle (54) à l'entrée la section réactionnelle de synthèse de méthanol (50).

5. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la deuxième charge hydrocarbonée (30) comprend de la biomasse, de préférence lignocellulosique, et le traitement de la deuxième charge hydrocarbonée (30) dans l'unité de
- 30 production d'éthanol par transformation biochimique (13), comprend les étapes élémentaires suivantes :
 - broyage de la biomasse en particules ;
 - prétraitement par explosion à la vapeur ou cuisson en conditions acides ;

- hydrolyse enzymatique pour produire des sucres ou des molécules bio-sourcées ; et
 - fermentation alcoolique pour produire l'éthanol et le CO₂.
6. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant de fournir un apport en hydrogène (33) dans le CO₂ (32).
- 5 7. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, comprenant le traitement de l'effluent d'hydrocarbures (57) dans une section de séparation (58) pour séparer de l'eau (61) et une purge de gaz léger (60) comprenant de l'hydrogène et des composés hydrocarbonés en C1-C2, et produire un effluent enrichi en composés aromatiques (62) pour alimenter le train de fractionnement (4-7).
- 10 8. Procédé de conversion selon la revendication 7, dans lequel la section de séparation (58) est adaptée pour :
- séparer un effluent de recycle (59) comprenant au moins un des composés suivants : des composés hydrocarbonés en C3-C4, des composés hydrocarbonés non aromatiques en C5-C10, du benzène, du toluène ; et
 - 15 - recycler l'effluent de recycle (59) à l'entrée la section réactionnelle d'aromatization (56).
9. Procédé de conversion selon l'une quelconque des revendication précédentes, dans lequel la section réactionnelle de synthèse de méthanol (50) comprend au moins un réacteur utilisé dans au moins une des conditions opératoires suivantes :
- température comprise entre 200°C et 450°C, préférentiellement comprise entre 220°C
 - 20 et 400°C, et plus préférentiellement encore comprise entre 250°C et 350°C ;
 - pression comprise entre 1 MPa et 12 MPa, préférentiellement comprise entre 2 MPa et 10 MPa, et plus préférentiellement comprise entre 5 MPa et 10 MPa ;
 - ratio molaire hydrogène sur CO₂, compris entre 3 et 10, préférentiellement entre 3 et 7, très préférentiellement entre 3 et 5 ;
 - 25 - vitesse spatiale du gaz à l'entrée du réacteur comprise entre 0,2 g/g_{cata}/h et 1 g/g_{cata}/h ;
10. Dispositif de conversion d'une charge hydrocarbonée, comprenant :
- un train de fractionnement (4-7) adapté pour extraire au moins une coupe comprenant du benzène (22), une coupe comprenant du toluène (23) et une coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène (24) à partir d'une première charge hydrocarbonée (2) ;
 - 30 - une unité de séparation des xylènes (10) adaptée pour traiter la coupe comprenant des xylènes et de l'éthylbenzène (24) et produire un extrait (39) comprenant du paraxylène et un raffinat (40) comprenant de l'orthoxylène, du métaxylène et de l'éthylbenzène ;

- une unité d'isomérisation (11) adaptée pour traiter le raffinat (40) et produire un isomérisat (42) enrichi en paraxylène envoyé vers le train de fractionnement (4-7) ;
 - une unité de production d'éthanol par transformation biochimique (13) adaptée pour traiter une deuxième charge hydrocarbonée (30) et produire de l'éthanol (31) et du CO₂ (32) ;
 - une section réactionnelle de synthèse de méthanol (50) adaptée pour convertir au moins en partie le CO₂ (32) en méthanol (51) ;
 - une section réactionnelle d'aromatisation (56) adaptée pour convertir au moins en partie le méthanol (51) en composés aromatiques et produire un effluent d'hydrocarbures (57) comprenant des composés aromatiques, et alimenter la première charge hydrocarbonée (2) au moins en partie avec l'effluent d'hydrocarbures (57).
11. Dispositif de conversion selon la revendication 10, comprenant une section de purification (52) adaptée pour traiter le méthanol (51) pour séparer de l'eau (53) et produire du méthanol purifié (55).
12. Dispositif de conversion selon la revendication 10 ou la revendication 11, dans lequel l'unité de production d'éthanol par transformation biochimique (13) est adaptée pour traiter la deuxième charge hydrocarbonée (30) comprenant de la biomasse, de préférence lignocellulosique, et comprend les sections élémentaires suivantes :
- section de broyage de la biomasse en particules ;
 - section prétraitement par explosion à la vapeur ou cuisson en conditions acides ;
 - section d'hydrolyse enzymatique pour produire des sucres ou des molécules bio-sourcées ; et
 - section de fermentation alcoolique pour produire l'éthanol et le CO₂.
13. Dispositif de conversion selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, comprenant une section de séparation (58) adaptée pour traiter l'effluent d'hydrocarbures (57) pour séparer de l'eau (61) et une purge de gaz léger (60) comprenant de l'hydrogène et des composés hydrocarbonés en C1-C2, et produire un effluent enrichi en composés aromatiques (62) pour alimenter la première charge hydrocarbonée (2).
14. Dispositif de conversion selon la revendication 13, dans lequel la section de séparation (58) est adaptée pour :
- séparer un effluent de recycle (59) comprenant au moins un des composés suivants : des composés hydrocarbonés en C3-C4, des composés hydrocarbonés non aromatiques en C5-C10, du benzène, du toluène, et
 - recycler l'effluent de recycle (59) à l'entrée la section réactionnelle d'aromatisation (56).

15. Procédé de production de carburant pour l'aviation comprenant la conversion du méthanol et/ou de l'effluent d'hydrocarbures et/ou de l'éthanol produit par un procédé de conversion selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/066435

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>C07C 1/20</i> (2006.01)i; <i>C07C 5/27</i> (2006.01)i; <i>C07C 7/04</i> (2006.01)i; <i>C07C 7/12</i> (2006.01)i; <i>C07C 29/151</i> (2006.01)i; <i>C07C 31/04</i> (2006.01)i; <i>C07C 15/06</i> (2006.01)i; <i>C07C 15/067</i> (2006.01)i; <i>C07C 15/08</i> (2006.01)i; <i>C07C 15/02</i> (2006.01)i; <i>C01B 32/50</i> (2017.01)i; <i>C10G 3/00</i> (2006.01)i; <i>C07C 7/14</i> (2006.01)i; <i>C10G 45/58</i> (2006.01)i; <i>C12P 7/10</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C07C; C01B; C10G; C12P		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, CHEM ABS Data, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 5070016 A (HALLBERG DAVID E [US]) 03 December 1991 (1991-12-03) claim 1; figure 1	1,3-6,9,15 10-14 2
X Y	US 9108894 B1 (FOODY PATRICK J [CA] ET AL) 18 August 2015 (2015-08-18) column 23, line 31 - line 62 column 36, line 1 - line 11; claims 1-3; figure 1	1,3-6,9,15 10-14
Y	PINILLA-HERRERO IRENE ET AL. "Finding the active species: The conversion of methanol to aromatics over Zn-ZSM-5/alumina shaped catalysts" <i>JOURNAL OF CATALYSIS, ACADEMIC PRESS, DULUTH, MN, US,</i> Vol. 394, 02 November 2020 (2020-11-02), pages 416-428, [retrieved on 2020-11-02] DOI: 10.1016/J.JCAT.2020.10.024 ISSN: 0021-9517, XP086502884 abstract	10-14
X A	FR 3104576 A1 (IFP ENERGIES NOW [FR]) 18 June 2021 (2021-06-18) paragraph [0045] - paragraph [0096]; figure 1	10-15 1-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 22 August 2024		Date of mailing of the international search report 06 September 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Lacombe, Céline Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/EP2024/066435

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	5070016	A	03 December 1991	AT	E135742	T1	15 April 1996
				AU	659048	B2	04 May 1995
				CA	2061800	A1	29 September 1992
				DE	69209124	T2	23 January 1997
				EP	0508657	A2	14 October 1992
				GR	3020114	T3	31 August 1996
				SG	65585	A1	22 June 1999
				US	5070016	A	03 December 1991
				ZA	922269	B	24 February 1993

US	9108894	B1	18 August 2015	NONE			

FR	3104576	A1	18 June 2021	BR	102020025462	A2	14 September 2021
				CA	3102551	A1	17 June 2021
				CN	112979403	A	18 June 2021
				FR	3104576	A1	18 June 2021
				US	2021179513	A1	17 June 2021

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2024/066435

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE					
INV.	C07C1/20	C07C5/27	C07C7/04	C07C7/12	C07C29/151
	C07C31/04	C07C15/06	C07C15/067	C07C15/08	C07C15/02
	C01B32/50	C10G3/00	C07C7/14	C10G45/58	C12P7/10
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB					
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE					
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) C07C C01B C10G C12P					
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche					
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, CHEM ABS Data, WPI Data					
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS					
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents				no. des revendications visées
X	US 5 070 016 A (HALLBERG DAVID E [US]) 3 décembre 1991 (1991-12-03)				1, 3 - 6, 9, 15
Y	revendication 1; figure 1				10-14
A					2
X	US 9 108 894 B1 (FOODY PATRICK J [CA] ET AL) 18 août 2015 (2015-08-18)				1, 3 - 6, 9, 15
Y	colonne 23, ligne 31 - ligne 62 colonne 36, ligne 1 - ligne 11; revendications 1-3; figure 1				10-14

	-/-				
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe					
* Catégories spéciales de documents cités:					
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent			"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention		
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date			"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément		
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)			"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier		
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens			"&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée					
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée			Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale		
22 août 2024			06/09/2024		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Fonctionnaire autorisé Lacombe, Céline		

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	<p>PINILLA-HERRERO IRENE ET AL: "Finding the active species: The conversion of methanol to aromatics over Zn-ZSM-5/alumina shaped catalysts", JOURNAL OF CATALYSIS, ACADEMIC PRESS, DULUTH, MN, US, vol. 394, 2 novembre 2020 (2020-11-02), pages 416-428, XP086502884, ISSN: 0021-9517, DOI: 10.1016/J.JCAT.2020.10.024 [extrait le 2020-11-02] abrégé</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	10-14
X	<p>FR 3 104 576 A1 (IFP ENERGIES NOW [FR]) 18 juin 2021 (2021-06-18)</p>	10-15
A	<p>alinéa [0045] - alinéa [0096]; figure 1</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-9

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/066435

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5070016	A	03-12-1991	AT E135742 T1	15-04-1996
			AU 659048 B2	04-05-1995
			CA 2061800 A1	29-09-1992
			DE 69209124 T2	23-01-1997
			EP 0508657 A2	14-10-1992
			GR 3020114 T3	31-08-1996
			SG 65585 A1	22-06-1999
			US 5070016 A	03-12-1991
			ZA 922269 B	24-02-1993

US 9108894	B1	18-08-2015	AUCUN	

FR 3104576	A1	18-06-2021	BR 102020025462 A2	14-09-2021
			CA 3102551 A1	17-06-2021
			CN 112979403 A	18-06-2021
			FR 3104576 A1	18-06-2021
			US 2021179513 A1	17-06-2021
