

HYDROCONVERSION EN LIT ENTRAINE D'UNE CHARGE HYDROCARBONEE LOURD COMPRENANT LE PRÉMÉLANGE DE LADITE CHARGE AVEC UN ADDITIF ORGANIQUE

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé pour la conversion de charges hydrocarbonées lourdes en
5 la présence d'hydrogène, d'un catalyseur colloïdal ou moléculaire, et d'un additif organique.

En particulier, la présente invention porte sur un procédé pour l'hydroconversion de charges
hydrocarbonées lourdes contenant une fraction d'au moins 50 % en poids possédant un point
d'ébullition d'au moins 300°C, et notamment de charges hydrocarbonées lourdes comportant une
quantité significative d'asphaltènes et/ou de fractions à point d'ébullition supérieur à 500°C, telles que
10 des pétroles bruts ou des fractions hydrocarbonées lourdes résultant de la distillation atmosphérique
et/ou sous vide d'un pétrole brut, pour donner des matières de plus haute qualité, à point d'ébullition
plus bas.

Le procédé comprend spécifiquement le prémélange de ladite charge avec un additif organique, avant
d'être mise en contact avec le catalyseur, ledit catalyseur opérant dans un ou plusieurs réacteurs à lit
15 entraîné, afin de permettre la valorisation de cette charge de basse qualité tout en minimisant
l'encrassement des installations avant l'hydroconversion dans le(s) réacteur(s) à lit entraîné.

Art antérieur

La conversion de charges hydrocarbonées lourdes en produits finaux utiles requiert un traitement
poussé, comportant la réduction du point d'ébullition de la charge hydrocarbonée lourde,
20 l'augmentation du rapport hydrogène-sur-carbone, et l'élimination d'impuretés telles que des métaux,
le soufre, l'azote et des composés à forte teneur en carbone.

L'hydroconversion catalytique est communément utilisée pour des charges hydrocarbonées lourdes
et est généralement mise en œuvre à l'aide de réacteurs triphasiques dans lesquels la charge est mise
en contact avec de l'hydrogène et un catalyseur. Dans le réacteur, le catalyseur peut être utilisé sous
25 forme d'un lit fixe, d'un lit mobile, d'un lit bouillonnant ou d'un lit entraîné, comme décrit par exemple
dans le chapitre 18 « Catalytic Hydrotreatment and Hydroconversion: Fixed Bed, Moving Bed,
Ebullated Bed and Entrained Bed » du livre « Heavy Crude Oils: From Geology to Upgrading, An
Overview », publié aux Éditions Technip en 2011. Dans le cas d'un lit bouillonnant ou d'un lit entraîné,
le réacteur comprend un écoulement ascendant de liquide et de gaz.

30 Le choix de la technologie dépend généralement de la nature de la charge à traiter et en particulier de
sa teneur en métaux, de sa tolérance aux impuretés et de la conversion visée.

Les procédés d'hydroconversion en lit entraîné utilisent des technologies de lit entraîné également appelées technologies « slurry ».

Dans de tels procédés, un catalyseur ou précurseur de catalyseur dispersé est injecté sur une base continue dans la charge hydrocarbonée lourde dans le réacteur à lit entraîné, favorisant
5 l'hydrogénation de radicaux formés par des réactions de craquage thermique, et limitant la formation de coke.

Le catalyseur fournit l'activité catalytique mais également une surface pour le dépôt de métaux et d'asphaltènes de la charge.

Le catalyseur de très petite taille, dispersé dans la charge, est entraîné hors du réacteur avec les
10 effluents, puisque le catalyseur et la charge hydrocarbonée lourde se comportent comme une phase homogène.

Les procédés d'hydroconversion en lit entraîné sont connus pour viser généralement à convertir totalement la charge hydrocarbonée lourde en fractions plus légères, en utilisant des conditions d'opération très sévères (température, pression partielle d'hydrogène, temps de séjour).

15 Les avantages théoriques des procédés en lit entraîné résident en une hydrogénation bien meilleure, notamment des produits les plus lourds, grâce à une meilleure accessibilité des sites actifs, résultant en une conversion plus élevée, une qualité de produit améliorée et une stabilité de produit plus élevée.

De plus, en raison du temps de séjour de catalyseur plus faible, la désactivation du catalyseur est fortement réduite.

20 À propos de la stabilité du produit, il est connu que pendant le fonctionnement d'un réacteur à lit entraîné pour la valorisation d'une charge hydrocarbonée lourde, la charge lourde est chauffée à une température à laquelle les fractions à point d'ébullition élevé de la charge hydrocarbonée lourde possédant typiquement un poids moléculaire élevé et/ou un rapport hydrogène/carbone bas, dont un exemple est une famille de composés complexes regroupés sous le nom d'« asphaltènes », tendent à
25 subir un craquage thermique pour former des radicaux libres à longueur de chaînes réduite. Ces radicaux libres peuvent réagir avec d'autres radicaux libres, ou avec d'autres molécules, pour produire des précurseurs de coke et des sédiments. Un catalyseur entraîné traversant le réacteur réagit avec les radicaux libres dans ces zones, formant des molécules stables de poids moléculaire et de point d'ébullition réduits, et contribue ainsi à contrôler et réduire la formation de sédiments et de
30 précurseurs de coke. Puisque la formation de coke et de sédiments est l'une des causes principales de l'encrassement d'installations d'hydroconversion, un tel procédé en lit entraîné permet d'empêcher

l'encrassement d'installations en aval, telles que des cuves de séparation, des colonnes de distillation, des échangeurs de chaleur etc.

Des catalyseurs entraînés pour l'hydroconversion d'une charge hydrocarbonée lourde, et en particulier des catalyseurs colloïdaux ou moléculaires formés par l'utilisation de précurseurs catalytiques solubles, sont bien connus dans l'art. Il est en particulier connu que certains composés métalliques, tels que des composés organosolubles (e.g. le naphténate de molybdène ou l'octoate de molybdène comme cité dans US4244839, US2005/0241991, US2014/0027344) ou des composés hydrosolubles (e.g. l'acide phosphomolybdique cité dans les brevets US3231488, US4637870 et US4637871 ; l'heptamolybdate d'ammonium cité dans le brevet US6043182, des sels d'un hétéropolyanion comme cité dans FR3074699), peuvent être utilisés comme précurseurs de catalyseur dispersé et former des catalyseurs. Dans le cas de composés hydrosolubles, le précurseur de catalyseur dispersé est généralement mélangé avec la charge pour former une émulsion. La dissolution du précurseur de catalyseur dispersé (en général du molybdène), optionnellement activé par du cobalt ou du nickel en milieu acide (en la présence de H_3PO_4) ou en milieu basique (en la présence de NH_4OH), a été le sujet de nombreuses études et brevets.

Le document de brevet US8431016 décrit un procédé d'hydroconversion pour des charges hydrocarbonées lourdes utilisant un catalyseur colloïdal ou moléculaire dans un réacteur d'hydrocraquage à lit entraîné. L'ajout d'un précurseur de catalyseur organosoluble dispersé, qui est pré-dilué dans du gasoil sous vide (VGO), est mis en œuvre dans une étape de mélange intime avec la charge pour la préparation d'une charge conditionnée avant son introduction dans le réacteur à lit entraîné. Le précurseur de catalyseur, typiquement le 2-éthylhexanoate de molybdène, forme un catalyseur colloïdal ou moléculaire (e.g. du sulfure de molybdène dispersé) une fois chauffé, par réaction avec de l' H_2S provenant de l'hydrodésulfuration de la charge.

Un tel procédé inhibe la formation de précurseurs de coke et de sédiments qui pourraient sinon encrasser le réacteur à lit bouillonnant et des installations en aval, tout en fournissant une conversion de la fraction d'asphaltènes essentiellement au même taux que le taux de conversion de résidus global, même à un taux de conversion de résidus global très élevé, au contraire des procédés d'hydroconversion utilisant des catalyseurs supportés conventionnels.

En plus de l'encrassement dû aux précurseurs de coke et aux sédiments qui peuvent apparaître dans le réacteur à lit entraîné et dans les installations en aval, les inventeurs ont observé que l'encrassement peut également apparaître dans les installations en amont, dès que la charge hydrocarbonée lourde contenant le précurseur de catalyseur est chauffée avant son introduction dans le réacteur d'hydroconversion.

Un tel encrassement dans des installations en amont du réacteur d'hydroconversion, notamment dans l'installation de chauffage de la charge hydrocarbonée lourde, mélangée avec le précurseur de catalyseur du catalyseur moléculaire ou colloïdal particulaire, semble être principalement lié à l'accumulation de métaux et de carbone en paroi, et peut limiter l'exploitabilité des installations.

- 5 Ainsi, bien que le catalyseur entraîné dans des procédés en lit entraîné connus, tels que décrits dans le document US8431016, soit connu pour réduire l'encrassement dû aux précurseurs de coke et aux sédiments dans le réacteur d'hydroconversion et dans des installations en aval, l'encrassement observé dans des installations en amont contenant la charge hydrocarbonée lourde mélangée avec le précurseur de catalyseur, tel que dans un dispositif de préchauffage, constitue un autre problème
- 10 opérationnel non résolu jusqu'à présent. En outre, il a été observé que l'encrassement dû aux précurseurs de coke et aux sédiments peut encore survenir dans des installations en aval dans certains cas, montrant que la performance de l'ajout d'un tel catalyseur entraîné peut encore être améliorée.

Objectifs et résumé de l'invention

- Dans le contexte décrit ci-dessus, un objectif de la présente invention est de fournir un procédé
- 15 d'hydroconversion en lit entraîné mettant en œuvre un catalyseur colloïdal ou moléculaire formé par l'utilisation d'un précurseur catalytique soluble, réglant le problème d'encrassement, notamment dans des installations en amont du réacteur d'hydroconversion, en particulier dans un dispositif de préchauffage de la charge avant sa conversion dans le(s) réacteur(s) d'hydroconversion à lit entraîné.

- Plus généralement, la présente invention a pour objectif de fournir un procédé d'hydroconversion en
- 20 lit entraîné pour la valorisation de charges hydrocarbonées lourdes permettant un ou plusieurs des effets suivants : encrassement réduit des équipements, traitement plus efficace des molécules d'asphaltènes, réduction de la formation de précurseurs de coke et de sédiments, taux de conversion augmenté, possibilité que le réacteur traite une plage plus large de charges hydrocarbonées de qualité inférieure, élimination de zones exemptes de catalyseur dans les installations de traitement en aval,
- 25 fonctionnement plus long entre des arrêts de maintenance, et débit accru de charge hydrocarbonée lourde, et taux de production accru de produits convertis. Une réduction de la fréquence d'arrêt et de mise en route des équipements du procédé implique une réduction des cycles de pression et de température des installations de procédé, et ceci augmente significativement la sécurité du procédé et étend la durée de vie utile d'installations coûteuses.

- 30 Ainsi, afin d'atteindre au moins l'un des objectifs visés ci-dessus, parmi d'autres, la présente invention fournit, selon un premier aspect, un procédé pour l'hydroconversion d'une charge hydrocarbonée

lourde contenant une fraction d'au moins 50 % en poids possédant un point d'ébullition d'au moins 300°C, et contenant des métaux et des asphaltènes, comprenant les étapes suivantes :

- (a) préparation d'une première charge hydrocarbonée lourde conditionnée, en mélangeant ladite charge hydrocarbonée lourde avec un composé chimique organique comprenant au moins une
- 5 fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou une fonction anhydride d'acide ;
- (b) préparation d'une deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée en mélangeant une composition de précurseur de catalyseur avec la charge hydrocarbonée lourde conditionnée de l'étape (a) de telle manière qu'un catalyseur colloïdal ou moléculaire soit formé lorsqu'elle réagit avec du soufre ;
- 10 (c) chauffage de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée de l'étape (b) dans au moins un dispositif de préchauffage ;
- (d) introduction de ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée chauffée de l'étape (c) dans au moins un réacteur à lit entraîné et opération dudit réacteur à lit entraîné en la présence d'hydrogène et dans des conditions d'hydroconversion pour produire une matière valorisée ; et dans
- 15 lequel

le catalyseur colloïdal ou moléculaire est formé *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée à l'étape (c) et/ou à l'étape (d).

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (a) comprend le mélange dudit composé chimique organique et de ladite charge hydrocarbonée lourde dans une cuve dédiée d'un dispositif de mélange

20 actif.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (a) comprend l'injection dudit composé chimique organique dans une conduite acheminant ladite charge hydrocarbonée lourde vers le réacteur à lit entraîné.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (a) est réalisée à une température comprise entre

25 la température ambiante et 300°C, préférablement entre 70°C et 200°C, et le temps de séjour du composé chimique organique avec la charge hydrocarbonée lourde avant l'étape (b) est compris entre 1 seconde et 10 heures.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le composé chimique organique est choisi dans le groupe constitué par l'acide 2-éthylhexanoïque, l'acide naphténique, l'acide caprylique, l'acide adipique,

30 l'acide pimélique, l'acide subérique, l'acide azélaïque, et l'acide sébacique, l'octanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle, le 2-éthylhexanoate de benzyle, l'adipate de diéthyle, l'adipate de diméthyle, l'adipate de bis(2-éthylhexyle), le pimélate de diméthyle,

le subérate de diméthyle, le subérate de monométhyle, l'anhydride hexanoïque, l'anhydride caprylique, et leurs mélanges.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le composé chimique organique comprend de l'acide 2-éthylhexanoïque, et est préférablement l'acide 2-éthylhexanoïque.

- 5 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le composé chimique organique comprend de l'octanoate d'éthyle ou du 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle, et est préférablement l'octanoate d'éthyle ou le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle.

- Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la composition de précurseur de catalyseur comprend un composé ou complexe organo-métallique ou bimétallique soluble dans l'huile, préférablement un
10 composé ou complexe organo-métallique soluble dans l'huile choisi dans le groupe constitué par le 2-éthylhexanoate de molybdène, le naphtanate de molybdène, le naphtanate de vanadium, l'octoate de vanadium, le molybdène hexacarbonyle, le vanadium hexacarbonyle et le fer pentacarbonyle, et est préférablement le 2-éthylhexanoate de molybdène.

- Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le rapport molaire entre ledit composé chimique organique
15 ajouté à l'étape (a) et le métal actif ou les métaux actifs, préférablement le molybdène, de la composition de précurseur de catalyseur ajoutée à l'étape (b) dans ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée est compris entre 0,1 : 1 et 20 : 1.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur colloïdal ou moléculaire comprend du disulfure de molybdène.

- 20 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (b) comprend (b1) le pré-mélange de la composition de précurseur de catalyseur avec un diluant d'huile hydrocarbonée en dessous d'une température à laquelle une partie substantielle de la composition de précurseur de catalyseur commence à se décomposer thermiquement pour former un mélange de précurseur dilué ; et (b2) le mélange dudit mélange de précurseur dilué avec la charge hydrocarbonée lourde conditionnée.

- 25 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (b1) est réalisée à une température comprise entre la température ambiante et 300°C et pendant une période de temps de 1 seconde à 30 minutes, et l'étape (b2) est réalisée à une température comprise entre la température ambiante et 300°C et pendant une période de temps de 1 seconde à 30 minutes.

- Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (c) comprend un chauffage à une température
30 comprise entre 280°C et 450°C, plus préférablement entre 300°C et 400°C, et encore plus préférablement entre 320°C et 365°C.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la charge hydrocarbonée lourde comprend au moins une charge parmi les suivantes : un pétrole brut, du bitume de sables bitumineux, des fonds de colonnes de distillation atmosphérique, des fonds de colonnes de distillation sous vide, des résidus, des fonds de viscoréducteur, du goudron de charbon, une huile lourde provenant de schistes bitumineux, du charbon liquéfié, des bio-huiles lourdes, et des huiles lourdes comprenant des déchets de plastique et/ou une huile de pyrolyse de plastique.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la charge hydrocarbonée lourde possède du soufre en une teneur supérieure à 0,5 % en poids, un résidu de carbone Conradson d'au moins 0,5 % en poids, des asphaltènes en C₇ à une teneur supérieure à 1 % en poids, des métaux de transition et/ou de post-transition et/ou métalloïdes à une teneur supérieure à 2 ppm en poids, et des métaux alcalins et/ou alcalino-terreux à une teneur supérieure à 2 ppm en poids.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape (d) est mise en œuvre sous une pression absolue comprise entre 2 MPa et 38 MPa, à une température comprise entre 300°C et 550°C, à une vitesse volumique horaire VVH par rapport au volume de chaque réacteur à lit entraîné comprise entre 0,05 h⁻¹ et 10 h⁻¹ et sous une quantité d'hydrogène mélangé avec la charge entrant dans le réacteur à lit entraîné comprise entre 50 et 5 000 Nm³/m³ de charge.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la concentration en métal du catalyseur, préférablement en molybdène, dans la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée est préférablement dans une plage de 10 ppm à 10 000 ppm en poids de la charge hydrocarbonée lourde.

D'autres sujets et avantages de l'invention deviendront apparents à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation exemplaires spécifiques de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, la description étant faite par référence aux figures annexées décrites ci-dessous.

Liste des figures

La figure 1 est un schéma fonctionnel illustrant le principe du procédé d'hydroconversion en lit entraîné selon l'invention.

La figure 2 est un schéma fonctionnel illustrant un exemple du procédé d'hydroconversion en lit entraîné selon l'invention.

La figure 3 est un graphique montrant la tendance à l'encrassement d'exemples charges hydrocarbonées conditionnées telles que préparées dans le procédé d'hydroconversion en lit entraîné selon l'invention et selon l'art antérieur.

Description des modes de réalisation

L'objet de l'invention est de fournir des procédés et des systèmes d'hydroconversion en lit entraîné pour l'amélioration de la qualité d'une charge hydrocarbonée lourde.

- De tels procédés et systèmes emploient un catalyseur entraîné qui est un catalyseur d'hydroconversion dispersé de manière moléculaire ou colloïdale. Ils emploient également un additif organique mélangé avec la charge hydrocarbonée lourde, avant d'utiliser le catalyseur entraîné dans un ou plusieurs réacteurs à lit entraîné, chacun desquels comprenant une phase liquide comprenant la charge hydrocarbonée lourde, le catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans celle-ci et l'additif organique, et une phase gazeuse comprenant de l'hydrogène gazeux.
- Les procédés et systèmes d'hydroconversion en lit entraîné de l'invention réduisent l'encrassement des installations, et notamment l'encrassement dans des installations en amont du ou des réacteur(s) d'hydroconversion à lit entraîné, en particulier dans des installations de préchauffage de la charge avant sa conversion dans le(s) réacteur(s) d'hydroconversion à lit entraîné, et peuvent traiter efficacement les asphaltènes, réduire ou éliminer la formation de précurseurs de coke et de sédiments, augmenter le taux de conversion notamment en permettant de réaliser l'hydroconversion à haute température, et éliminer des zones exemptes de catalyseur qui existeraient sinon dans des installations de traitement en aval.

Terminologie

- Certaines définitions sont données ci-dessous, bien que plus de détails sur les objets définis ci-après sont donnés plus loin dans la description.

- Le terme « hydroconversion » fait référence à un procédé dont le but principal est de réduire la plage de point d'ébullition d'une charge hydrocarbonée lourde et dans lequel une partie substantielle de la charge est convertie en des produits dotés de plages de point d'ébullition plus basses que celles de la charge d'origine. L'hydroconversion implique généralement la fragmentation de molécules d'hydrocarbure plus grandes en fragments moléculaires plus petits possédant un nombre d'atomes de carbone plus petit et un rapport hydrogène sur carbone plus élevé. Les réactions mises en œuvre pendant l'hydroconversion permettent de réduire la taille de molécules d'hydrocarbure, principalement par clivage de liaisons carbone-carbone, en la présence d'hydrogène afin de saturer les liaisons coupées et les cycles aromatiques. Le mécanisme par lequel l'hydroconversion se produit implique typiquement la formation de radicaux libres d'hydrocarbure pendant la fragmentation principalement par craquage thermique, suivie du coiffage des terminaisons ou fragments de radicaux libres avec de l'hydrogène en la présence de sites de catalyseur actifs. Bien sûr, pendant un procédé

d'hydroconversion, d'autres réactions typiquement associées à l'« hydrotraitement » peuvent se produire comme l'élimination de soufre et d'azote de la charge ainsi que la saturation d'oléfines.

Le terme « hydrocracking » est souvent utilisé comme synonyme d'« hydroconversion » selon la terminologie anglaise, bien que « l'hydrocracking » fasse plutôt référence à un procédé similaire à une hydroconversion mais dans lequel le craquage de molécules d'hydrocarbure est principalement un craquage catalytique, c'est-à-dire un craquage se produisant en la présence d'un catalyseur d'hydrocraquage possédant une phase responsable de l'activité de craquage, par exemple des sites acides tels que contenus dans une argile ou des zéolithes. Selon la terminologie française par exemple, l'hydrocracking, qui peut être traduit par « hydrocraquage », fait généralement référence à cette dernière définition (craquage catalytique), et son usage est par exemple plutôt réservé pour le cas de distillats sous vide comme matières premières d'huile devant être converties, alors que le terme français « hydroconversion » est généralement réservé à la conversion de charges hydrocarbonées lourdes comme des résidus atmosphériques et sous vide (mais pas seulement).

Le terme « hydrotraitement » fait référence à une opération plus douce dont le but principal est d'éliminer des impuretés telles que le soufre, l'azote, l'oxygène, des halogénures, et des traces de métaux de la charge et de saturer des oléfines et/ou de stabiliser des radicaux libres d'hydrocarbure en les mettant à réagir avec de l'hydrogène plutôt que de les laisser réagir avec eux-mêmes. Le but principal n'est pas de changer la plage de point d'ébullition de la charge. L'hydrotraitement est mis en œuvre le plus souvent à l'aide d'un réacteur à lit fixe, bien que d'autres réacteurs d'hydroprocessing puissent également être utilisés pour l'hydrotraitement, par exemple un réacteur d'hydrotraitement à lit bouillonnant.

Le terme « hydroprocessing » fait référence d'une manière générale à la fois à des procédés « d'hydroconversion »/« d'hydrocraquage » et d'« hydrotraitement ».

Le terme « réacteur d'hydroconversion » fait référence à une quelconque cuve dans laquelle l'hydroconversion d'une charge est le but principal, e.g. le craquage de la charge (c'est-à-dire la réduction de la plage de point d'ébullition), en la présence d'hydrogène et d'un catalyseur d'hydroconversion. Les réacteurs d'hydroconversion comprennent typiquement un orifice d'entrée par lequel une charge hydrocarbonée lourde et de l'hydrogène peuvent être introduits et un orifice de sortie duquel une matière valorisée peut être soutirée. Spécifiquement, les réacteurs d'hydroconversion sont également caractérisés par le fait qu'ils possèdent suffisamment d'énergie thermique pour provoquer la fragmentation de molécules d'hydrocarbure plus grandes en molécules plus petites par décomposition thermique. Des exemples de réacteurs d'hydroconversion, et en particulier de réacteurs d'hydrocraquage, comprennent, sans s'y limiter, des réacteurs à lit entraîné,

également appelés réacteurs « slurry » (réacteurs à trois phases – liquide, gaz, solide, dans lesquels les phases solides et liquides peuvent se comporter comme une phase homogène), des réacteurs à lit bouillonnant (réacteurs fluidisés à trois phases), des réacteurs à lit mobile (réacteurs à trois phases avec mouvement descendant du catalyseur solide et écoulement ascendant ou descendant de liquide et de gaz), et des réacteurs à lit fixe (réacteurs à trois phases avec ruissellement descendant de charge liquide sur un lit fixe de catalyseur supporté avec de l'hydrogène s'écoulant typiquement
5 simultanément avec le liquide, mais possiblement à contre-courant dans certains cas).

Les termes « lit hybride » et « lit bouillonnant hybride » et « lit hybride entraîné-bouillonnant » pour un réacteur d'hydroconversion font référence à un réacteur d'hydroconversion à lit bouillonnant
10 comprenant un catalyseur entraîné en plus d'un catalyseur supporté poreux maintenu dans le réacteur à lit bouillonnant. De manière similaire, pour un procédé d'hydroconversion, ces termes font ainsi référence à un procédé comprenant un fonctionnement hybride d'un lit bouillonnant et d'un lit entraîné dans au moins un même réacteur d'hydroconversion. Le lit hybride est un lit mixte de deux types de catalyseurs de taille de particules et/ou de densité nécessairement différente(s), un type de
15 catalyseur – le « catalyseur supporté poreux » – étant maintenu dans le réacteur et l'autre type de catalyseur – le « catalyseur entraîné », également communément appelé « catalyseur slurry » – étant entraîné hors du réacteur avec les effluents (charge valorisée). Dans la présente invention, le catalyseur entraîné est un catalyseur colloïdal ou un catalyseur moléculaire, tel que défini ci-dessous.

Les termes « réacteur à lit entraîné », « réacteur à phase entraînée » et « réacteur slurry » font
20 référence à des réacteurs à lit entraîné à trois phases, c'est-à-dire liquide, gaz, et solide, pour l'hydroconversion de charge hydrocarbonée lourde.

Dans la présente invention, ceci fait référence à un réacteur à suspension qui au moins comporte un catalyseur colloïdal ou moléculaire tel que défini ci-dessous.

Dans la présente invention, le réacteur à lit entraîné contient un catalyseur entraîné, au moins un
25 catalyseur colloïdal ou catalyseur moléculaire tel que défini ci-dessous, qui est le seul catalyseur d'hydroconversion dans le réacteur à lit entraîné (pas de catalyseur supporté poreux maintenu dans le réacteur pendant le fonctionnement comme dans un réacteur à lit bouillonnant ou hybride).

Un exemple de réacteur à lit entraîné est divulgué dans le document US6960325 B.

La phase liquide comprend typiquement une charge hydrocarbonée qui contient un catalyseur
30 colloïdal ou un catalyseur de taille moléculaire (particules solides).

Les particules de catalyseur solide, de taille colloïdale ou moléculaire, ensemble avec la charge hydrocarbonée liquide, peuvent se comporter comme une phase liquide continue en raison de la taille de particule de catalyseur (colloïdale ou moléculaire).

Un catalyseur solide sous la forme de particule solide de taille du micron ou plus grande peut également être employé ainsi que du liquide et du gaz.

Les termes « catalyseur colloïdal » et « catalyseur dispersé de manière colloïdale » font référence à des particules de catalyseur possédant une taille de particule qui est colloïdale en taille, e.g. moins de 1 µm en taille (diamètre), préférablement moins de 500 nm en taille, plus préférablement moins de 250 nm en taille, ou moins de 100 nm en taille, ou moins de 50 nm en taille, ou moins de 25 nm en taille, ou moins de 10 nm en taille, ou moins de 5 nm en taille. Le terme « catalyseur colloïdal » comprend, sans s'y limiter, des composés de catalyseur moléculaire ou dispersé de manière moléculaire.

Les termes « catalyseur moléculaire » et « catalyseur dispersé de manière moléculaire » font référence à des composés de catalyseur qui sont essentiellement « dissous » ou complètement dissociés d'autres composés ou molécules de catalyseur dans une charge hydrocarbonée lourde, une fraction liquide non volatile, une fraction de fond, des résidus, ou une autre charge ou un autre produit dans laquelle/lequel le catalyseur peut se trouver. Ils font également référence à de très petites particules ou feuillettes de catalyseur qui contiennent seulement quelques molécules de catalyseur jointes ensemble (e.g. 15 molécules ou moins).

Les termes « catalyseur supporté poreux », « catalyseur supporté solide », et « catalyseur supporté » font référence à des catalyseurs qui sont typiquement utilisés dans des systèmes d'hydroconversion à lit bouillonnant et à lit fixe conventionnels, y compris des catalyseurs conçus principalement pour l'hydrocraquage ou l'hydrodémétallation et des catalyseurs conçus principalement pour l'hydrotraitement. De tels catalyseurs comprennent typiquement (i) un support de catalyseur possédant une grande surface et de nombreux canaux ou pores interconnectés et (ii) des particules fines d'un catalyseur actif telles que des sulfures de cobalt, de nickel, de tungstène, et/ou de molybdène dispersées dans les pores. Les catalyseurs supportés sont communément produits sous forme d'extrudés (« pellets ») cylindriques ou de solides sphériques, bien que d'autres formes soient possibles.

Les termes « valoriser », « valorisation » et « valorisé », lorsqu'ils sont utilisés pour décrire une charge qui est soumise ou a été soumise à une hydroconversion, ou une matière ou un produit résultant(e), font référence à l'une des caractéristiques suivantes : une réduction du poids moléculaire de la charge, une réduction de la plage de point d'ébullition de la charge, une réduction de la concentration d'asphaltènes, une réduction de la concentration de radicaux libres d'hydrocarbure, une réduction du

résidu de carbone Conradson, une augmentation du rapport atomique H/C de la charge, et une réduction de la quantité d'impuretés, telles que le soufre, l'azote, l'oxygène, et des halogénures.

Les termes « charge conditionnée » et « charge hydrocarbonée lourde conditionnée » font référence à la charge hydrocarbonée lourde devant être traitée dans au moins un réacteur à lit entraîné d'hydroconversion, charge dans laquelle un additif organique a été combiné (ici « première charge conditionnée »), ou dans laquelle un tel additif organique a été combiné et ensuite une composition de précurseur de catalyseur a été combinée et mélangée suffisamment de sorte que, lors de la formation du catalyseur, notamment par réaction avec du soufre, le catalyseur comprendra un catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans la charge (ici « deuxième charge conditionnée »).

10 Dans ce qui suit, le terme « comprend » est synonyme de (signifie la même chose que) « comporte » et « contient », et est inclusif ou ouvert, et n'exclut pas d'autres éléments non spécifiés. Il sera compris que le terme « comprend » inclut le terme exclusif et fermé « constitué ».

Les termes « compris entre ... et ... » et « dans la plage de ... à ... » et « dans une plage de ... à ... » signifient que les valeurs aux limites de l'intervalle sont incluses dans la plage de valeurs décrite, sauf mention contraire.

Dans la description détaillée ci-dessous, de nombreux détails spécifiques sont exposés pour transmettre une compréhension plus profonde du procédé du système selon l'invention. Cependant, il sera apparent à l'homme de l'art que le procédé et le système peuvent être employés sans tous ces détails spécifiques. Dans d'autres cas, des caractéristiques qui sont bien connues n'ont pas été décrites en détails, afin de ne pas compliquer la description inutilement.

La figure 1 est un diagramme fonctionnel illustrant de manière schématique le principe du procédé 100 d'hydroconversion en lit entraîné selon l'invention. Il diffère en particulier d'un procédé en lit entraîné conventionnel, tel que décrit par exemple dans le document US8431016, en ce qu'il comprend l'ajout d'un additif organique à la charge avant son mélange avec une composition de précurseur de catalyseur.

Les termes « composé chimique organique » et « additif organique » sont utilisés indifféremment dans la présente description pour désigner le composé chimique organique comprenant au moins une fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou une fonction anhydride d'acide ajouté à la charge hydrocarbonée lourde à l'étape (a), et décrit en détails plus loin.

30 Selon l'invention, une charge hydrocarbonée lourde 101 contenant une fraction d'au moins 50 % en poids possédant un point d'ébullition d'au moins 300°C, et contenant des métaux et des asphaltènes, est traitée dans un procédé d'hydroconversion 100 comprenant les étapes suivantes :

- (a) préparation d'une première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 en mélangeant ladite charge hydrocarbonée lourde 101 avec un composé chimique organique 102 comprenant au moins une fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou au moins une fonction anhydride d'acide ;
- 5 (b) préparation d'une deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 105 en mélangeant une composition de précurseur de catalyseur 104 avec la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 de l'étape (a) de sorte qu'un catalyseur colloïdal ou moléculaire soit formé lorsqu'elle réagit avec du soufre ;
- (c) chauffage de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée de l'étape (b) dans au moins
- 10 un dispositif de préchauffage ;
- (d) introduction de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée chauffée 106 de l'étape (c) dans au moins un réacteur à lit entraîné et fonctionnement dudit réacteur à lit entraîné en la présence d'hydrogène et dans des conditions d'hydroconversion pour produire une matière valorisée 107.
- 15 La matière valorisée 107 peut être en outre traitée dans une étape optionnelle (e).

Dans le procédé d'hydroconversion selon l'invention, le catalyseur colloïdal ou moléculaire est formé *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée à l'étape (c) et/ou à l'étape (d).

Chaque étape, flux et matière impliqués sont maintenant détaillés ci-dessous.

- Certaines des références numériques mentionnées ci-dessous font référence à la figure 2, qui illustre
- 20 schématiquement un exemple d'un système d'hydroconversion en lit entraîné 200 selon l'invention, ledit système étant décrit en détails plus tard dans la description, après la description du procédé général.

Charge hydrocarbonée lourde

- Le terme « charge hydrocarbonée lourde » fait référence à des pétroles bruts, du bitume de sables
- 25 bitumineux, des fonds de baril et des résidus restants de procédés de raffinerie (e.g. des fonds de viscoréducteur), et une quelconque autre matière de qualité inférieure qui contient une quantité substantielle de fractions hydrocarbonées à point d'ébullition élevé et/ou qui comporte une quantité significative d'asphaltènes qui peuvent désactiver un catalyseur supporté solide et/ou provoquer ou résulter en la formation de précurseurs de coke et de sédiments.
- 30 La charge hydrocarbonée lourde 101 peut ainsi comprendre au moins l'une des charges suivantes : un pétrole brut, du bitume de sables bitumineux, des fonds de colonnes de distillation atmosphérique, des fonds de colonnes de distillation sous vide, des résidus, des fonds de viscoréducteur, du goudron

de charbon, une huile lourde provenant de schistes bitumineux, du charbon liquéfié, des bio-huiles lourdes, et des huiles lourdes comprenant des déchets de plastique et/ou une huile de pyrolyse de plastique.

5 Les huiles de pyrolyse de plastique sont des huiles obtenues par la pyrolyse de plastiques, préférablement de déchets de plastique, et peuvent être obtenues par un traitement par pyrolyse catalytique, thermique ou alors peuvent être préparées par hydropyrolyse (pyrolyse en la présence d'un catalyseur et d'hydrogène).

10 En particulier, la charge hydrocarbonée lourde traitée contient des fractions hydrocarbonées parmi lesquelles au moins 50 % en poids, préférablement au moins 80 % en poids possèdent une température d'ébullition d'au moins 300°C, préférablement d'au moins 350°C ou d'au moins 375°C.

15 Ce sont des pétroles bruts ou des fractions hydrocarbonées lourdes résultant de la distillation atmosphérique et/ou sous vide d'un pétrole brut. Elles peuvent être aussi des résidus atmosphériques et/ou sous vide, et en particulier des résidus atmosphériques et/ou sous vide résultant d'un hydrotraitement, d'un hydrocraquage et/ou d'une hydroconversion. Elles peuvent être aussi des distillats sous vide, des fractions provenant d'une unité de craquage catalytique tel qu'un craquage catalytique en lit fluidisé (FCC), une unité de cokéfaction ou de viscoréduction.

Préférablement, ce sont des résidus sous vide. Généralement, ces résidus sont des fractions dans lesquelles au moins 80 % en poids possèdent une température d'ébullition d'au moins 450°C ou plus, et le plus souvent d'au moins 500°C ou 540°C.

20 Des fractions aromatiques extraites d'une unité de production de lubrifiant, des huiles désasphaltées (raffinats provenant d'une unité de désasphaltage), et de l'asphalte (résidus provenant d'une unité de désasphaltage) sont également appropriés en tant que charge.

25 La charge peut également être une fraction résiduelle provenant d'une liquéfaction directe de charbon (distillat sous vide et/ou résidu atmosphérique et/ou sous vide provenant e.g. d'un procédé H-Coal, marque commerciale déposée), d'une pyrolyse de charbon ou de résidus de schistes bitumineux, ou d'une fraction résiduelle provenant de la liquéfaction directe de biomasse lignocellulosique seule ou mélangée avec du charbon et/ou une fraction de pétrole (appelée ici « bio-huiles lourdes »).

30 Des exemples de charges hydrocarbonées lourdes comprennent, sans s'y limiter, un pétrole brut de Lloydminster, une bitume de Cold Lake, un bitume d'Athabasca, un pétrole brut de l'Oural, un pétrole brut Arabian Heavy, un pétrole brut Arabian Light, des fonds de colonnes de distillation atmosphérique, des fonds de colonnes de distillation sous vide, un résidu (ou « résidus »), un brai de résidus, un résidu sous vide, un brai de désasphaltage au solvant, et des fractions liquides non volatiles

qui restent après la soumission d'un pétrole brut, de bitume provenant de sables bitumineux, de charbon liquéfié, de schistes bitumineux, ou de charges de goudron de charbon à une distillation, une séparation à chaud, et autres, et qui contiennent des fractions à point d'ébullition élevé et/ou des asphaltènes.

- 5 Toutes ces charges peuvent être utilisées seules ou en mélange.

Les charges hydrocarbonées lourdes ci-dessus traitées dans le procédé et le système selon l'invention contiennent des métaux et des asphaltènes, en particulier des asphaltènes en C₇, et d'autres impuretés telles que du soufre et de l'azote.

- 10 Le terme « asphaltène » fait référence à la fraction d'une charge hydrocarbonée lourde qui est typiquement insoluble dans des solvants paraffiniques tels que le propane, le butane, le pentane, l'hexane, et l'heptane et qui comprend des feuillets de composés cycliques condensés maintenus ensemble par des hétéroatomes tels que le soufre, l'azote, l'oxygène et des métaux. Les asphaltènes comprennent globalement une large plage de composés complexes possédant de 80 à 160 000 atomes de carbone. Les asphaltènes sont définis sur le plan opérationnel comme des « asphaltènes en C₇ »,
15 c'est-à-dire des composés insolubles dans l'heptane selon la norme ASTM D 6560 (correspondant également à la norme NF T60-115), et une quelconque teneur en asphaltènes fait référence à des asphaltènes en C₇ dans la présente description. Les asphaltènes en C₇ sont des composés connus pour inhiber la conversion de fractions résiduelles, à la fois par leur capacité à former des résidus d'hydrocarbure lourd, communément appelés coke, et par leur tendance à produire des sédiments qui
20 limitent grandement l'exploitabilité d'unités d'hydrotraitement et d'hydroconversion.

- La charge hydrocarbonée lourde 101 peut typiquement posséder du soufre à une teneur supérieure à 0,5 % en poids, un résidu de carbone Conradson d'au moins 3 % en poids, des asphaltènes en C₇ à une teneur supérieure à 1 % en poids, des métaux de transition et/ou de post-transition et/ou métalloïdes à une teneur supérieure à 2 ppm en poids, et des métaux alcalins et/ou alcalino-terreux à
25 une teneur supérieure à 2 ppm en poids.

- Ces types de charges sont en effet généralement riches en impuretés comme des métaux, en particulier des métaux de transition (e.g. Ni, V) et/ou des métaux de post-transition, et/ou des métalloïdes, pour lesquels une teneur peut être supérieure à 2 ppm en poids, ou supérieure à 20 ppm en poids, et même supérieure à 100 ppm en poids, et également en métaux alcalins (e.g. Na) et/ou en
30 métaux alcalino-terreux dont la teneur peut être supérieure à 2 ppm en poids, même supérieure à 5 ppm en poids, et même supérieure à 7 ppm en poids ou 10 ppm en poids.

La teneur en soufre est en effet généralement supérieure à 0,5 % en poids, et même supérieure à 1 % en poids, ou même supérieure à 2 % en poids.

La teneur en asphaltènes en C₇ peut en effet être d'au moins 1 % en poids, et même supérieure à 3 % en poids.

- 5 Le résidu de carbone Conradson est en effet en général supérieur à 3 % en poids, et même d'au moins 5 % en poids. Le résidu de carbone Conradson est défini par la norme ASTM D 482 et représente la quantité de résidu de carbone produit après pyrolyse dans des conditions standards de température et de pression.

Ces teneurs sont exprimées en % en poids du poids total de la charge.

10 **Étape (a) : préparation de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée : charge hydrocarbonée lourde + additif organique**

- L'étape (a) comprend le mélange de ladite charge hydrocarbonée lourde 101 avec un composé chimique organique 102 comprenant au moins une fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou au moins une fonction anhydride d'acide. Ce mélange forme ce qui est appelé ici
15 une première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103.

Cette étape est mise en œuvre avant l'étape (b) de mélange complet/intime avec une composition de précurseur de catalyseur qui conduira à la formation d'un catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans la charge hydrocarbonée lourde lorsqu'elle réagit avec du soufre.

- Les inventeurs ont montré que l'étape (a) de mélange entre un tel additif organique et la charge
20 hydrocarbonée lourde, avant l'étape (b), améliore le procédé d'hydroconversion en lit entraîné, en particulier en réduisant l'encrassement des installations, notamment en amont du réacteur d'hydroconversion à lit entraîné dans l'installation de chauffage de charge à l'étape (c).

- Sans être lié à une quelconque théorie, l'additif organique, mélangé à la charge hydrocarbonée lourde, permet une meilleure solubilité du précurseur de catalyseur colloïdal ou moléculaire dans la charge,
25 évitant ou réduisant l'encrassement en particulier dû à des dépôts métalliques dans les installations en amont du réacteur d'hydroconversion à lit entraîné comme dans l'installation de chauffage, et améliorant ainsi la dispersion du catalyseur colloïdal ou moléculaire formé à l'étape (c) et/ou à une étape ultérieure, générant ainsi une disponibilité accrue des sites actifs métalliques, favorisant l'hydrogénation de radicaux libres qui sont des précurseurs de coke et de sédiments, et générant une
30 réduction substantielle de l'encrassement des installations.

L'additif organique

L'additif organique 102 possédant au moins une fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou au moins une fonction anhydride d'acide comprend préféablement au moins 6 atomes de carbone, et plus préféablement au moins 8 atomes de carbone.

- 5 Typiquement, l'additif organique 102 n'est ni un précurseur de catalyseur, ni un catalyseur.

En particulier, l'additif organique 102 ne contient aucun métal.

- Des exemples d'additif organique comprennent, sans s'y limiter, l'acide 2-éthylhexanoïque, l'acide naphtéinique, l'acide caprylique, l'acide adipique, l'acide pimélique, l'acide subérique, l'acide azélaïque, l'acide sébacique, l'octanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle, le 2-éthylhexanoate de benzyle, l'adipate de diéthyle, l'adipate de diméthyle, l'adipate de bis(2-éthylhexyle), le pimélate de diméthyle, le subérate de diméthyle, le subérate de monométhyle, l'anhydride hexanoïque, l'anhydride caprylique. Avantageusement, l'additif organique est un composé chimique organique choisi dans le groupe constitué par la liste de composés spécifiques décrite ci-dessus, et leurs mélanges.
- 10

- 15 Préféablement, l'additif organique est un composé chimique organique comprenant au moins une fonction acide carboxylique, et plus préféablement choisi dans le groupe constitué par l'acide 2-éthylhexanoïque, l'acide naphtéinique, l'acide caprylique, l'acide adipique, l'acide pimélique, l'acide subérique, l'acide azélaïque, et l'acide sébacique.

Plus préféablement, l'additif organique comprend, ou est constitué de, l'acide 2-éthylhexanoïque.

- 20 L'additif organique peut être un composé chimique organique comprenant au moins une fonction ester et/ou une fonction anhydride d'acide, et par exemple choisi dans le groupe constitué par l'octanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle, le 2-éthylhexanoate de benzyle, l'adipate de diéthyle, l'adipate de diméthyle, l'adipate de bis(2-éthylhexyle), le pimélate de diméthyle, le subérate de diméthyle, le subérate de monométhyle, et/ou dans le groupe constitué par l'anhydride hexanoïque et l'anhydride caprylique.
- 25

Plus préféablement, l'additif organique comprenant au moins une fonction ester et/ou une fonction anhydride d'acide comprend, ou est constitué de, l'octanoate d'éthyle ou le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle ou leurs mélanges, et préféablement est l'octanoate d'éthyle ou le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle.

- 30 Cette étape (a) de mélange de l'additif organique 102 avec la charge hydrocarbonée lourde 101 formant la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 est mise en œuvre avant une

étape (b) de mélange complet/intime avec une composition de précurseur de catalyseur qui conduira à la formation du catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans la charge hydrocarbonée lourde.

L'additif organique est préférablement ajouté de sorte que le rapport molaire d'additif organique sur métal actif ou métaux actifs de la composition de précurseur de catalyseur ajoutée à l'étape (b) soit
5 dans une plage d'environ 0,1 : 1 à environ 20 : 1, plus préférablement dans une plage d'environ 0,75 : 1 à environ 7 : 1, et encore plus préférablement dans une plage d'environ 1 : 1 à environ 5 : 1. Le terme « environ » fait référence à une approximation de $\pm 5\%$, préférablement de $\pm 1\%$.

Avantageusement, la composition de précurseur de catalyseur ajoutée à l'étape (b) comprend du Mo, e.g. du 2-éthylhexanoate de molybdène, et l'additif organique est préférablement ajouté de sorte que
10 le rapport molaire d'additif organique sur Mo de la composition de précurseur de catalyseur ajoutée à l'étape (b) soit dans une plage d'environ 0,1 : 1 à environ 20 : 1, plus préférablement dans une plage d'environ 0,75 : 1 à environ 7 : 1, et encore plus préférablement dans une plage d'environ 1 : 1 à environ 5 : 1.

Mélange avec l'additif organique

15 Le mélange de l'additif organique et de la charge hydrocarbonée lourde est avantageusement mis en œuvre dans un premier mélangeur conditionneur 210.

Le premier mélangeur conditionneur 210 peut comprendre un dispositif de mélange actif, tout type de système d'injection pour des conduites ou tout type de mélangeur en ligne comme détaillé ci-dessous.

20 Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la préparation de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 comprend le mélange dudit additif organique 102 et de ladite charge hydrocarbonée lourde 101 dans une cuve dédiée d'un dispositif de mélange actif (formant le premier mélangeur conditionneur 210).

Les termes « dispositif de mélange actif » font référence à un dispositif de mélange comprenant une
25 partie mobile, e.g. une tige d'agitation, pour mélanger activement les composants.

Une telle configuration permet en particulier d'augmenter la dispersion du catalyseur colloïdal ou moléculaire formé à un stade ultérieur.

L'utilisation d'une cuve dédiée permet également un temps de séjour élevé.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la préparation de la première charge hydrocarbonée
30 lourde conditionnée 103 comprend l'injection dudit composé chimique organique 102 dans une conduite acheminant ladite charge hydrocarbonée lourde 101 vers le réacteur à lit entraîné.

Le premier mélangeur conditionneur 210 comprend ainsi dans une telle configuration la partie de la conduite dans laquelle le mélange est réalisé, et éventuellement des systèmes supplémentaires pour améliorer le mélange, comme par exemple des mélangeurs en ligne statiques tels que décrits plus loin pour l'étape (b).

- 5 Une telle configuration permet en particulier de réduire les investissements d'installation et l'encombrement requis par comparaison au mélange dans une cuve dédiée.

- Le temps de séjour de l'additif organique avec la charge hydrocarbonée lourde avant le mélange avec la composition de précurseur de catalyseur au stade (b) formant la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 105 est préférablement compris entre 1 seconde et 10 heures, plus
10 préférablement compris entre 1 seconde et 1 heure, et encore plus préférablement compris entre 1 seconde et 30 minutes.

Dans la présente description, un temps de mélange (ou temps de séjour pour le mélange) de 1 seconde comprend un mélange instantané.

- Le mélange de l'additif organique et de la charge hydrocarbonée lourde est préférablement mis en
15 œuvre entre la température ambiante, e.g. 15°C, et 300°C, plus préférablement entre 70°C et 200°C, par exemple à 150°C.

La température à laquelle le mélange est réalisé est avantageusement la température réelle du flux de charge hydrocarbonée lourde 101.

- La température à l'étape (a) doit préférablement inférieure à une température de décomposition de
20 la composition de précurseur de catalyseur.

La pression pour l'étape de mélange (a) est aussi avantageusement la pression réelle du flux de charge hydrocarbonée lourde 101.

Préférablement, la pression manométrique pour l'étape de mélange (a) est comprise entre 0 MPa et 25 MPa, plus préférablement comprise entre 0,01 MPa et 5 MPa.

- 25 Dans le cas de charges hydrocarbonées lourdes qui sont solides ou extrêmement visqueuses à température ambiante, de telles charges peuvent avantageusement être chauffées afin de les ramollir et de créer une charge possédant une viscosité suffisamment basse pour permettre un bon mélange de l'additif organique, et notamment avec la composition de précurseur de catalyseur dans l'étape supplémentaire (b).

En général, la diminution de la viscosité de la charge hydrocarbonée lourde réduira le temps requis pour effectuer un mélange complet et intime de la composition de précurseur de catalyseur dans la première charge conditionnée à l'étape (b).

5 Cependant, la charge ne devrait pas être chauffée, à une température au-delà de laquelle une décomposition thermique significative de la composition de précurseur de catalyseur se produit, avant le mélange complet avec la composition de précurseur de catalyseur à l'étape (b).

La décomposition thermique prématurée de la composition de précurseur de catalyseur résulte généralement en la formation de particules de catalyseur de la taille du micron ou plus grande plutôt qu'en un catalyseur colloïdal ou moléculaire.

10 À l'étape (a), le mélange de la charge hydrocarbonée lourde 101 avec l'additif organique 102 peut être réalisé pour la charge hydrocarbonée lourde 101, en partie ou en totalité.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation préférés, l'étape de mélange (a) est mise en œuvre entre l'additif organique 102 et le flux entier de la charge hydrocarbonée lourde 101 envoyé au système d'hydroconversion.

15 Selon une ou plusieurs variantes, l'étape de mélange (a) est mise en œuvre entre l'additif organique 102 et une partie du flux de la charge hydrocarbonée lourde 101 envoyé à l'hydroconversion.

Ainsi, la préparation de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 peut être mise en œuvre en mélangeant au moins une partie du flux de ladite charge hydrocarbonée lourde 101, par exemple au moins 50 % en poids du flux de ladite charge hydrocarbonée lourde 101, avec l'additif organique 102.

20 La partie complémentaire du flux de ladite charge hydrocarbonée lourde 101 peut être réincorporée une fois que la composition de précurseur de catalyseur a été ajoutée (étape (b)), c'est-à-dire mélangée avec la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée avant son préchauffage à l'étape (c).

25 **Étape (b) : préparation de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée : mélange avec la composition de précurseur de catalyseur**

La première charge hydrocarbonée conditionnée 103 est ensuite mélangée avec une composition de précurseur de catalyseur 104 pour former une deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 105.

Composition de précurseur de catalyseur

La composition de précurseur de catalyseur est choisie parmi tous les précurseurs de catalyseur métallique connus d'un homme de l'art, capables de former un catalyseur dispersé de manière colloïdale ou moléculaire (c'est-à-dire le catalyseur entraîné) en la présence d'hydrogène et/ou de H₂S
5 et/ou d'une quelconque autre source de soufre, et permettant l'hydroconversion d'une charge hydrocarbonée lourde après injection dans ladite charge hydrocarbonée lourde.

La composition de précurseur de catalyseur est avantageusement une composition de précurseur de catalyseur soluble dans l'huile, contenant au moins un métal de transition.

La composition de précurseur de catalyseur comprend préférablement un composé ou complexe
10 organo-métallique soluble dans l'huile.

La composition de précurseur de catalyseur peut comprendre un composé ou complexe organo-métallique ou bimétallique soluble dans l'huile comprenant un ou deux des métaux suivants : Mo, Ni, V, Fe, Co ou W, ou des mélanges de tels composés/complexes.

La composition de précurseur de catalyseur soluble dans l'huile possède préférablement une
15 température de décomposition (température en dessous de laquelle la composition de précurseur de catalyseur est sensiblement stable chimiquement) dans une plage de 100°C à 350°C, plus préférablement dans une plage de 150°C à 300°C, et le plus préférablement dans une plage de 175°C à 250°C.

Le composé ou complexe organo-métallique soluble dans l'huile est préférablement choisi dans le
20 groupe constitué par le 2-éthylhexanoate de molybdène, le naphtanate de molybdène, le naphtanate de vanadium, l'octoate de vanadium, le molybdène hexacarbonyle, le vanadium hexacarbonyle et le fer pentacarbonyle.

Ces composés sont des exemples non limitatifs de composés de précurseur de catalyseur solubles dans l'huile.

25 Plus préférablement, la composition de précurseur de catalyseur comprend du molybdène, et par exemple comprend un composé choisi dans le groupe constitué par le 2-éthylhexanoate de molybdène, le naphtanate de molybdène, et le molybdène hexacarbonyle.

Une composition de précurseur de catalyseur actuellement préférée comprend du, ou est constitué de, 2-éthylhexanoate de molybdène (également communément appelé octoate de molybdène).
30 Typiquement, le 2-éthylhexanoate de molybdène contient 15 % en poids de molybdène et possède une température de décomposition ou plage de température de décomposition suffisamment élevée

pour éviter une décomposition thermique substantielle lorsqu'il est mélangé avec une charge hydrocarbonée lourde à une température inférieure à 250°C.

Un homme de l'art peut, en suivant la présente invention, choisir un profil de température de mélange qui entraîne le mélange d'une composition de précurseur choisie, sans décomposition thermique substantielle avant la formation du catalyseur colloïdal ou moléculaire.

Mélange avec la composition de précurseur de catalyseur

Le mélange de la composition de précurseur de catalyseur et de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée est mis en œuvre dans un deuxième mélangeur conditionneur 220.

La composition de précurseur de catalyseur 104, préférablement une composition de précurseur de catalyseur soluble dans l'huile, peut être pré-mélangée avec un flux hydrocarboné de diluant pour former un mélange de précurseur dilué, comme décrit dans les documents US2005/0241991, US10822553 ou US10941353, et rappelé ci-dessous.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation préférés, l'étape (b) comprend :

(b1) le pré-mélange de la composition de précurseur de catalyseur 104 avec une huile hydrocarbonée (diluant) pour former un mélange de précurseur dilué, ledit pré-mélange étant préférablement mis en œuvre à une température inférieure à laquelle une partie substantielle de la composition de précurseur de catalyseur commence à se décomposer, préférablement entre la température ambiante, e.g. 15°C, et 300°C, et avantageusement pendant une période de temps de 1 seconde à 30 minutes ; et

(b2) le mélange dudit mélange de précurseur dilué avec la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103, préférablement entre la température ambiante, e.g. 15°C et 300°C, et avantageusement pendant une période de temps de 1 seconde à 30 minutes.

Des exemples de diluants hydrocarbonés appropriés comprennent, sans s'y limiter, un gasoil sous vide connu sous le nom de « VGO » (qui possède typiquement une plage d'ébullition de 360°C à 524°C), une huile de décantation ou une huile de recyclage (qui possède typiquement une plage d'ébullition de 360°C à 550°C), un gasoil léger (qui possède typiquement une plage d'ébullition de 200°C à 360°C), des résidus sous vide (qui possèdent typiquement une plage d'ébullition de 524°C+), des huiles désasphaltées, et des résines. Le diluant d'hydrocarbure est préférablement un VGO.

Le rapport massique de composition de précurseur de catalyseur 104 sur diluant d'huile hydrocarboné est préférablement dans une plage de 1 : 500 à 1 : 1, plus préférablement dans une plage de 1 : 150 à

1 : 2, et encore plus préférablement dans une plage de 1 : 100 à 1 : 5 (e.g. 1 : 100, 1 : 50, 1 : 30, ou 1 : 10).

La composition de précurseur de catalyseur 104 est plus préférablement mélangée avec le diluant hydrocarboné à une température comprise entre la température ambiante, e.g. 15°C, et 200°C, encore
5 plus préférablement comprise entre 50°C et 200°C, encore plus préférablement comprise entre 75°C et 150°C, et encore plus préférablement entre 75°C et 100°C, pour former le mélange de précurseur dilué.

Il est entendu que la température réelle à laquelle le mélange de précurseur dilué est formé dépend majoritairement, de manière générale, de la température de décomposition de la composition de
10 précurseur spécifique qui est utilisée.

La composition de précurseur de catalyseur 104 est plus préférablement mélangée avec le diluant d'huile hydrocarboné pendant une période de temps dans une plage de 1 seconde à 10 minutes, et encore plus préférablement dans une plage de 2 secondes à 30 minutes.

Le temps de mélange réel dépend, au moins en partie, de la température (i.e. qui affecte la viscosité
15 des fluides) et l'intensité de mélange.

L'intensité de mélange dépend, au moins en partie, du nombre d'étapes, par ex. pour un mélangeur statique en ligne.

Bien qu'il soit dans la portée de l'invention de mélanger directement la composition de précurseur de catalyseur 104 avec la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée, on doit prendre soin dans
20 de tels cas de mélanger les composants pendant un temps suffisant pour mélanger complètement/intimement la composition de précurseur de catalyseur dans la charge avant la formation du catalyseur. Cependant, un temps de mélange long, par exemple un mélange de 24 heures, peut engendrer pour certaines opérations industrielles un coût rédhibitoire.

Le prémélange de la composition de précurseur de catalyseur 104 avec un diluant hydrocarboné avant
25 le mélange du mélange de précurseur dilué avec la charge hydrocarbonée lourde facilite grandement le mélange de manière complète et intime de la composition de précurseur dans la charge, particulièrement dans la période de temps relativement courte requise pour que des opérations industrielles à grande échelle soient économiquement viables.

La formation d'un mélange de précurseur dilué raccourcit le temps de mélange global (1) en réduisant
30 ou en éliminant les différences de solubilité entre la composition de précurseur de catalyseur plus polaire et la charge hydrocarbonée lourde, (2) en réduisant ou en éliminant les différences de

rhéologie entre la composition de précurseur de catalyseur et la charge hydrocarbonée lourde, et/ou (3) en brisant les molécules de précurseur de catalyseur pour former un soluté dans un diluant d'huile hydrocarboné qui est beaucoup plus facilement dispersé dans la charge hydrocarbonée lourde. Il est particulièrement avantageux de former tout d'abord un mélange de précurseur dilué dans le cas où la charge hydrocarbonée lourde contient de l'eau (e.g. de l'eau condensée).

Sinon, la plus grande affinité de l'eau pour la composition de précurseur de catalyseur polaire peut causer une agglomération localisée de la composition de précurseur de catalyseur, résultant en une mauvaise dispersion et la formation de particules de catalyseur de taille micrométrique ou plus grande. Le diluant d'huile hydrocarboné est préférablement sensiblement exempt d'eau (i.e. contient moins de 0,5 % en poids d'eau, préférablement moins de 0,1 % en poids d'eau, et plus préférablement moins de 750 ppm en poids d'eau) pour empêcher la formation de quantités substantielles de particules de catalyseur de taille micrométrique ou plus grande.

Le mélange de précurseur dilué est ensuite combiné avec la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 et mélangé pendant un temps suffisant de telle manière à disperser la composition de précurseur de catalyseur dans toute la charge afin de donner une deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 105 dans laquelle la composition de précurseur de catalyseur est complètement/intimement mélangée dans la charge hydrocarbonée lourde.

Afin d'obtenir un mélange suffisant de la composition de précurseur de catalyseur dans la charge hydrocarbonée lourde avant la formation du catalyseur colloïdal ou moléculaire, le mélange de précurseur dilué et la charge hydrocarbonée lourde sont plus préférablement mélangés pendant une période de temps dans une plage de 1 seconde à 10 minutes, et encore plus préférablement dans une plage de 2 secondes à 3 minutes.

L'augmentation de la vigueur et/ou de l'énergie de cisaillement du procédé de mélange réduit généralement le temps requis pour effectuer un mélange complet/intime.

Des exemples d'appareils de mélange qui peuvent être utilisés pour effectuer un mélange complet/intime de la composition de précurseur de catalyseur 104 et de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 comprennent, sans s'y limiter, un mélange à cisaillement élevé tel qu'un mélange créé dans une pompe avec une hélice ou un rotor de turbine ; des mélangeurs en ligne statiques multiples ; des mélangeurs en ligne statiques multiples en combinaison avec des mélangeurs en ligne à cisaillement élevé ; des mélangeurs en ligne statiques multiples en combinaison avec des mélangeurs en ligne à cisaillement élevé suivis par un pompage de recirculation dans la cuve tampon ; des combinaisons des appareils ci-dessus suivies par une ou plusieurs pompes

centrifuges multi-étagées. Selon un mode de réalisation, un mélange en continu plutôt que discontinu par lots successifs peut être mis en œuvre à l'aide de pompes à haute énergie possédant plusieurs compartiments dans lesquels la composition de précurseur de catalyseur 104 et la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 sont brassées et mélangées comme faisant partie du procédé de pompage lui-même. L'appareil de mélange décrit précédemment peut également être utilisé pour l'étape de prémélange (b1) discutée ci-dessus dans laquelle la composition de précurseur de catalyseur 104 est mélangée avec le diluant d'huile hydrocarboné pour former le mélange de précurseur de catalyseur.

En variante, le mélange de précurseur dilué 104 peut être initialement mélangé avec 20 % de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée, la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée mélangée résultante peut être mélangée avec encore 40 % de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée, et les 60 % résultant de la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée mélangée peuvent être mélangés avec les 40 % restants de première charge hydrocarbonée lourde conditionnée conformément à de bonnes pratiques d'ingénierie de dilution progressive pour disperser complètement la composition de précurseur de catalyseur 104 dans la charge hydrocarbonée lourde. Le temps de mélange dans les dispositifs ou procédés de mélange appropriés décrits ici doit également être utilisé pour l'approche par dilution progressive.

La première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 et le mélange de précurseur dilué sont préférablement mélangés et conditionnés à une température dans une plage de 50°C à 200°C, et le plus préférablement dans une plage de 75°C à 175°C, pour donner la deuxième charge d'huile conditionnée. Préférablement, la pression manométrique est comprise entre 0 MPa et 25 MPa, plus préférablement comprise entre 0,05 MPa et 5 MPa.

Étape (c) : chauffage de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée

La deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 105 formée à l'étape (b) est ensuite chauffée dans au moins un dispositif de préchauffage 230, avant d'être introduite dans le réacteur à lit entraîné pour l'hydroconversion.

La deuxième charge d'huile conditionnée 105 est envoyée à l'au moins un dispositif de préchauffage 230 optionnellement pressurisé par une pompe.

Le dispositif de préchauffage comprend tout moyen de chauffage capable de chauffer une charge hydrocarbonée lourde connu d'un homme de l'art. Le dispositif de préchauffage peut comprendre un four comprenant au moins un compartiment de préchauffage, et/ou des tubes dans lesquels la charge hydrocarbonée s'écoule, un mélangeur de la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée avec H₂,

un type quelconque d'échangeurs de chaleur appropriés, par exemple des échangeurs de chaleur tubulaires ou en spirale dans lesquels la charge hydrocarbonée s'écoule, etc.

Ce pré-chauffage de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée permet ensuite d'atteindre une température cible dans le réacteur d'hydroconversion à lit entraîné à l'étape ultérieure (d).

La deuxième charge hydrocarbonée conditionnée 105 est plus préférablement chauffée dans le dispositif de préchauffage 230 à une température dans une plage de 280°C à 450°C, encore plus préférablement dans une plage de 300°C à 400°C, et encore plus préférablement dans une plage de 320°C à 365°C, en particulier afin d'atteindre plus tard une température cible dans le réacteur d'hydroconversion à l'étape (d).

La température de peau du dispositif de préchauffage, e.g. la température de peau de la coque en acier d'un compartiment ou de tubes d'un four ou d'échangeur(s) de chaleur, peut atteindre de 400°C à 650°C. Le mélange de la charge hydrocarbonée lourde avec l'additif organique à l'étape (a) évite ou réduit l'encrassement qui peut se produire dans le dispositif de préchauffage à ces températures élevées.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée est chauffée à une température qui est 100°C inférieure à la température d'hydroconversion dans le réacteur d'hydroconversion à lit entraîné, préférablement environ 50°C inférieure à la température d'hydroconversion. Par exemple, pour une température d'hydroconversion dans la plage de 410°C à 440°C, la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée peut être chauffée à l'étape (c) à une température dans la plage de 310°C à 340°C.

La pression absolue est comprise entre la pression atmosphérique (e.g. 0,101325 MPa) et 38 MPa, préférablement entre 5 MPa et 25 MPa et préférablement entre 6 MPa et 20 MPa.

Le chauffage à l'étape (c) provoque avantageusement le fait que la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée libère du soufre qui peut se combiner avec le métal de la composition de précurseur de catalyseur.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, le catalyseur colloïdal ou moléculaire est formé, ou au moins commence à se former, *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée à cette étape (c) de chauffage dans le dispositif de préchauffage 230.

Afin de former le catalyseur colloïdal ou moléculaire, du soufre doit être disponible (e.g. en tant qu'H₂S) pour se combiner avec le métal de la composition de précurseur de catalyseur dispersée.

Formation du catalyseur colloïdal ou moléculaire *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée

La formation générale du catalyseur colloïdal ou moléculaire *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée est décrite en détails ci-dessous, ainsi que les conditions requises
5 pour une telle formation à l'étape (c) et/ou (d).

Dans le cas où la charge hydrocarbonée lourde comprend du soufre en quantités suffisantes ou en excès, le catalyseur activé final peut être formé *in situ* par chauffage de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée à une température suffisante pour libérer le soufre de celle-ci.

Une source de soufre peut ainsi être de l'H₂S dissous dans la charge hydrocarbonée lourde, ou de l'H₂S
10 contenu dans de l'hydrogène recyclé au réacteur d'hydroconversion à lit entraîné pour l'hydroconversion ou de l'H₂S provenant de molécules organiques soufrées présentes dans la charge ou éventuellement introduites à l'avance dans la charge hydrocarbonée lourde (injection de disulfure de diméthyle, de thioacétamide, de toute charge hydrocarbonée contenant du soufre du type mercaptans, de sulfures, de pétrole contenant du soufre, de gasoil contenant du soufre, de distillat
15 sous vide contenant du soufre, de résidu contenant du soufre), une telle injection étant rare et réservée à des charges hydrocarbonées lourdes très atypiques.

Ainsi, une source de soufre peut être des composés du soufre dans la charge ou un composé du soufre ajouté à la charge.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la formation du catalyseur dispersé colloïdal ou
20 moléculaire est mise en œuvre à une pression manométrique absolue comprise entre 0 MPa et 25 MPa.

En raison du mélange complet/intime à l'étape (b), un catalyseur dispersé de manière moléculaire peut se former lors de la réaction avec du soufre pour former le composé de type sulfure métallique. Dans certaines circonstances, une faible agglomération peut se produire, donnant des particules de
25 catalyseur de taille colloïdale. Cependant, on estime que le fait de prendre soin de mélanger complètement la composition de précurseur de catalyseur dans toute la première charge d'huile conditionnée à l'étape (b) donnera des molécules de catalyseur individuelles plutôt que des particules colloïdales. Le fait de réaliser un simple assemblage, en omettant de mélanger suffisamment, provoque typiquement la formation de grands composés agglomérés de type sulfure métallique qui
30 sont de taille du micron ou plus grande.

Afin de former le catalyseur de type sulfure métallique, la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée 105 est préférablement chauffée à une température dans une plage allant de la

température ambiante, e.g. 15°C, à 500°C, plus préférablement dans la plage de 200°C à environ 500°C, encore plus préférablement dans une plage de 250°C à 450°C, et encore plus préférablement dans une plage de 300°C à 435°C.

La température utilisée à l'étape (c) et/ou (d) permet la formation du catalyseur de type sulfure
5 métallique.

Le catalyseur colloïdal ou moléculaire peut ainsi être formé, au moins en partie, pendant cette étape de chauffage (c), avant que la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée chauffée ne soit introduite dans le réacteur d'hydroconversion à lit entraîné à l'étape (d).

Le catalyseur colloïdal ou moléculaire peut également être formé *in situ* dans le réacteur
10 d'hydroconversion à lit entraîné lui-même à l'étape (d), en particulier soit totalement, soit en partie dans le cas où il a commencé à se former à l'étape (c).

La concentration en métal du catalyseur, préférablement en molybdène, dans la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée 105 est préférablement dans une plage de 10 ppm à 10 000 ppm en poids de la charge hydrocarbonée lourde, plus préférablement dans une plage de 50 ppm à 6 000 ppm en
15 poids, plus préférablement dans une plage de 100 ppm à 1 000 ppm en poids, encore plus préférablement dans une plage de 100 ppm à 800 ppm en poids, et encore plus préférablement dans une plage de 150 ppm à 400 ppm en poids.

Le métal du catalyseur peut devenir plus concentré alors que des fractions volatiles sont éliminées d'une fraction de résidus non volatile.

20 Puisque le catalyseur colloïdal ou moléculaire a tendance à être très hydrophile, les particules ou molécules individuelles auront tendance à migrer vers les fragments ou molécules plus hydrophiles dans la charge hydrocarbonée lourde, notamment les asphaltènes. Tandis que la nature hautement polaire du composé de catalyseur provoque ou permet au catalyseur colloïdal ou moléculaire de s'associer avec des molécules d'asphaltènes, c'est l'incompatibilité générale entre le composé de
25 catalyseur hautement polaire et la charge hydrocarbonée lourde hydrophobe qui nécessite le mélange intime ou complet mentionné précédemment de la composition de précurseur de catalyseur soluble dans l'huile dans la charge hydrocarbonée lourde avant la formation du catalyseur colloïdal ou moléculaire.

Préférablement, le catalyseur colloïdal ou moléculaire comprend du disulfure de molybdène.

30 Théoriquement, un cristal nanométrique de disulfure de molybdène possède 7 atomes de molybdène pris en sandwich entre 14 atomes de soufre, et le nombre total d'atomes de molybdène exposés au

niveau du bord, ainsi disponibles pour une activité catalytique, est plus grand que dans un cristal de taille du micron de disulfure de molybdène. En termes pratiques, la formation de petites particules de catalyseur comme dans la présente invention, c'est-à-dire un catalyseur colloïdal ou moléculaire, dotées d'une dispersion améliorée, se traduit par plus de particules de catalyseur et des sites de catalyseur distribués plus uniformément dans toute la charge hydrocarbonée. De plus, on estime que les particules de disulfure de molybdène de taille nanométrique ou plus petite s'associent intimement avec des molécules d'asphaltène.

Étape (d) : hydroconversion de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée

La deuxième charge conditionnée chauffée 106 est ensuite introduite, éventuellement pressurisée par une pompe, notamment si elle n'est pas déjà pressurisée avant l'étape (c), dans au moins un réacteur à lit entraîné 240 conjointement avec de l'hydrogène 201, et est exploitée dans des conditions d'hydroconversion pour produire une matière valorisée 107.

Comme mentionné précédemment, le catalyseur colloïdal ou moléculaire peut se former *in situ* dans le réacteur d'hydroconversion à lit entraîné lui-même à l'étape (d), s'il n'a pas été totalement formé ou pas formé du tout à l'étape (c).

Lorsque le catalyseur colloïdal ou moléculaire est formé *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée à l'étape (c), la deuxième charge conditionnée chauffée 106 contient déjà le catalyseur colloïdal ou moléculaire, en partie ou en totalité, lorsqu'elle est introduite dans l'au moins un réacteur à lit entraîné 240.

Le réacteur à lit entraîné 240 comprend une phase liquide qui comprend ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée chauffée 106 contenant le catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans celle-ci, et une phase gazeuse comprenant de l'hydrogène.

Ce type de réacteur à lit entraîné est bien connu d'un homme de l'art.

Le réacteur à lit entraîné comprend préférablement un écoulement ascendant de liquide et de gaz.

Le réacteur à lit entraîné pour l'hydroconversion de charges hydrocarbonées lourdes peut, comme la plupart des réacteurs à lit entraîné, être une cuve vide de type à écoulement piston, puisque la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 106 contenant le catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans celle-ci se comporte comme une phase homogène.

Lors d'un fonctionnement avec un écoulement ascendant de liquide et de gaz, le réacteur à lit entraîné comprend préférablement un orifice d'entrée situé au niveau ou à proximité de la partie inférieure du réacteur à lit entraîné par lequel la deuxième charge conditionnée chauffée 106 est introduite

ensemble avec l'hydrogène 201, et un orifice de sortie au niveau ou à proximité de la partie supérieure du réacteur par lequel la matière valorisée 107 est soutirée.

Le catalyseur d'hydroconversion colloïdal ou moléculaire est dispersé dans toute la charge dans le réacteur à lit entraîné et est entraîné hors du réacteur avec les effluents comprenant la matière valorisée 107.

Le réacteur à lit entraîné peut comprendre au niveau de sa partie inférieure un agitateur servant à disperser de manière plus uniforme l'hydrogène dans la charge.

Le réacteur à lit entraîné peut comprendre un ancien réacteur à lit bouillonnant converti en un réacteur à lit entraîné en éliminant le catalyseur supporté poreux de l'ancien réacteur à lit bouillonnant.

10 Dans de tels cas, le réacteur à lit entraîné peut comprendre au niveau de sa partie inférieure un agitateur, et en variante ou en plus d'un tel agitateur, le réacteur à lit entraîné peut comprendre un conduit de recycle, une pompe de recycle, et une plaque de grille de distributeur comme dans des réacteurs à lit bouillonnant conventionnels, permettant le recyclage continu d'au moins une partie d'une fraction liquide aspirée au niveau de la partie supérieure du réacteur et réinjectée au niveau de la partie inférieure du réacteur et de promouvoir une dispersion plus uniforme des réactants, du catalyseur, et de la chaleur, et, comme par exemple dans le document US6960325B, comprenant également une colonne montante.

Si une charge recyclée interne est mise en œuvre, une telle charge recyclée interne peut être mélangée avec une deuxième charge conditionnée chauffée fraîche 106 et de l'hydrogène gazeux 201 supplémentaire.

La présence de catalyseur colloïdal ou moléculaire dans le réacteur à lit entraîné fournit l'activité d'hydrogénation catalytique. Le coiffage de radicaux libres minimise la formation de sédiments et de précurseurs de coke, comme cela a déjà été expliqué.

25 Dans l'étape d'hydroconversion (d), ladite deuxième charge conditionnée chauffée 106 est généralement convertie dans des conditions conventionnelles pour l'hydroconversion d'une charge hydrocarbonée lourde.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape d'hydroconversion (d) est mise en œuvre sous une pression absolue comprise entre 2 et 38 MPa, préférablement entre 5 et 25 MPa et préférablement entre 6 et 20 MPa, et à une température comprise entre 300°C et 550°C, préférablement entre 350°C et 500°C, préférablement entre 370°C et 450°C, et plus préférablement entre 400°C et 440°C, et encore plus préférablement entre 410°C et 435°C.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la vitesse volumique horaire (VVH), ou liquid hourly space velocity (LHSV) en anglais, de la charge par rapport au volume de chaque réacteur à lit entraîné est comprise entre $0,05 \text{ h}^{-1}$ et 10 h^{-1} , préférablement entre $0,10 \text{ h}^{-1}$ et 2 h^{-1} et préférablement entre $0,10 \text{ h}^{-1}$ et 1 h^{-1} . Selon un autre mode de réalisation, la VVH est comprise $0,05 \text{ h}^{-1}$ et $0,09 \text{ h}^{-1}$. La VVH est définie comme le débit volumétrique de charge liquide à température ambiante et pression atmosphérique (typiquement 15°C et $0,101325 \text{ MPa}$) par volume de réacteur.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, la quantité d'hydrogène mélangée avec la charge hydrocarbonée lourde 106 est préférablement comprise entre 50 et 5 000 mètres cubes normaux (Nm^3) par mètre cube (m^3) de charge hydrocarbonée lourde liquide, telle qu'entre 100 et 2 000 Nm^3/m^3 et préférablement entre 500 et 1 500 Nm^3/m^3 .

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, l'étape d'hydroconversion (d) est mise en œuvre dans un ou plusieurs réacteurs d'hydroconversion à lit entraîné, qui peuvent être en série et/ou en parallèle.

Étape (e) : traitement ultérieur de la matière valorisée de l'étape d'hydroconversion (d)

La matière valorisée 107 peut être traitée plus avant.

Des exemples d'un tel traitement ultérieur comprennent, sans limitation, au moins l'un des traitements suivants : une séparation de fractions d'hydrocarbure de la matière valorisée, une hydroconversion supplémentaire dans un ou plusieurs réacteurs à lit entraîné ou réacteurs hybrides bouillonnant-entraîné ou réacteurs à lit bouillonnant supplémentaires, qui peuvent être en série et/ou en parallèle, pour produire une matière davantage valorisée, un fractionnement en fractions hydrocarbonées de la matière davantage valorisée, un désasphaltage d'au moins une partie de la matière valorisée 107 ou d'une fraction liquide lourde résultant d'un fractionnement de la matière valorisée ou de la matière davantage valorisée, une purification dans un lit de garde de la matière valorisée ou davantage valorisée pour éliminer au moins une partie du catalyseur colloïdal ou moléculaire et des impuretés métalliques.

Les diverses fractions hydrocarbonées qui peuvent être produites à partir de la matière valorisée 107 peuvent être envoyées à différents procédés dans la raffinerie, et des détails de ces post-traitements ne sont pas décrits ici puisque qu'ils sont généralement connus de l'homme de l'art et compliqueront la description inutilement. Par exemple, des fractions gazeuses, du naphta, des distillats moyens, du VGO, de la DAO peuvent être envoyés à des procédés d'hydrotraitement, de vapocraquage, de craquage catalytique en lit fluidisé (FCC), d'hydrocraquage, d'extraction d'huile lubrifiante, etc., des résidus (des résidus atmosphériques ou sous vide) peuvent également être post-traités, ou utilisés pour d'autres applications comme la gazéification, la production de bitume etc. Les fractions lourdes,

y compris les résidus, peuvent également être recyclé(e)s dans le procédé d'hydroconversion, par exemple dans le réacteur à lit entraîné.

Selon un ou plusieurs modes de réalisation, comme illustré dans la figure 2, le procédé comprend en outre :

- 5 - une deuxième étape d'hydroconversion dans un deuxième réacteur à lit entraîné 260 en la présence d'hydrogène 204 d'au moins une partie de, ou de toute, la matière valorisée résultant de l'étape d'hydroconversion (d) ou optionnellement d'une fraction lourde liquide 203 qui bout de manière prédominante à une température supérieure ou égale à 350°C résultant d'une étape de séparation optionnelle séparant une partie de, ou toute, la matière valorisée résultant de l'étape
- 10 d'hydroconversion (d), ledit deuxième réacteur à lit entraîné 260 étant opéré dans des conditions d'hydroconversion pour produire un effluent liquide hydroconverti 205 doté d'une fraction de résidu lourd réduite, d'un résidu de carbone Conradson réduit, et éventuellement d'une quantité réduite de soufre et/ou d'azote ;
- une étape de fractionnement d'une partie de, ou de tout, ledit effluent liquide hydroconverti 205
- 15 dans une section de fractionnement 270 pour produire au moins une fraction lourde 207 qui bout de manière prédominante à une température supérieure ou égale à 350°C, ladite fraction lourde contenant une fraction résiduelle qui bout à une température supérieure ou égale à 540°C ;
- une étape optionnelle de désasphaltage d'une partie de, ou de toute, ladite fraction lourde 207 dans un désasphalteur 280 avec au moins un solvant hydrocarboné pour produire une huile désasphaltée
- 20 DAO 208 et un asphalte résiduel 209.

Ladite deuxième étape d'hydroconversion est réalisée d'une manière similaire à celle qui a été décrite pour l'étape d'hydroconversion (d), et sa description n'est par conséquent pas répétée ici. Ceci s'applique notamment aux conditions d'opération, aux équipements utilisés, à l'exception des spécifications mentionnées ci-dessous.

- 25 Comme pour l'étape d'hydroconversion (d), la deuxième étape d'hydroconversion est réalisée dans un deuxième réacteur à lit entraîné 260 similaire au réacteur à lit entraîné 240.

- Dans cette étape d'hydroconversion supplémentaire, les conditions d'opération peuvent être similaires ou différentes de celles dans l'étape d'hydroconversion (d), la température restant dans la plage comprise entre 300°C et 550°C, préférablement entre 350°C et 500°C, plus préférablement entre
- 30 370°C et 450°C, encore préférablement entre 400°C et 440°C, et encore plus préférablement entre 410°C et 435°C, et la quantité d'hydrogène introduite dans le réacteur restant dans la plage comprise entre 50 et 5 000 Nm³/m³ de charge liquide, préférablement entre 100 et 2 000 Nm³/m³, et encore

plus préférablement entre 500 et 1 500 Nm³/m³. Les autres paramètres de pression et de VVH sont dans des plages identiques à celles décrites pour l'étape hydroconversion (d).

L'étape de séparation optionnelle, séparant une partie de, ou toute, la matière valorisée 107 pour produire au moins deux fractions comprenant la fraction liquide lourde 203 qui bout de manière
5 prédominante à une température supérieure ou égale à 350°C, est mise en œuvre dans une section de séparation 250.

La ou les autres fractions 202 sont une ou des fractions légère(s) et intermédiaire(s). La fraction légère ainsi séparée contient principalement des gaz (H₂, H₂S, NH₃, et C₁-C₄), du naphta (fraction qui bout à une température inférieure à 150°C), du kérosène (fraction qui bout entre 150°C et 250°C), et au moins
10 une partie du diesel (fraction qui bout entre 250°C et 375°C). La fraction légère peut ensuite être envoyée au moins partiellement à unité de fractionnement (non représentée dans la figure 2) où les gaz légers sont extraits de ladite fraction légère, par exemple par passage à travers un ballon de détente. L'hydrogène gazeux ainsi récupéré, qui peut avoir été envoyé à une installation de purification et de compression, peut avantageusement être recyclé dans l'étape d'hydroconversion (d).
15 L'hydrogène gazeux récupéré peut également être utilisé dans d'autres installations de la raffinerie.

La section de séparation 250 comprend tout moyen de séparation connu d'un homme de l'art. Elle peut comprendre un ou plusieurs ballons de détente agencés en série, et/ou une ou plusieurs colonnes de stripping de vapeur et/ou à l'hydrogène, et/ou une colonne de distillation atmosphérique, et/ou une colonne de distillation sous vide, et est préférablement constituée d'un unique ballon de détente,
20 communément appelé « séparateur chaud ».

L'étape de fractionnement séparant une partie de, ou tout, l'effluent liquide hydroconverti de la deuxième étape d'hydroconversion pour produire au moins deux fractions comprenant l'au moins une fraction liquide lourde 207 qui bout de manière prédominante à une température supérieure à 350°C, préférablement supérieure à 500°C et préférablement supérieure à 540°C, est mise en œuvre dans la
25 section de fractionnement 270 comprenant tout moyen de séparation connu d'un homme de l'art. La ou les autres fractions 206 sont une ou des fractions légère(s) et intermédiaire(s).

La fraction liquide lourde 207 contient une fraction qui bout à une température supérieure à 540°C, appelée résidu sous vide (qui est la fraction non convertie). Elle peut contenir une partie de la fraction de diesel qui bout entre 250°C et 375°C et une fraction qui bout entre 375°C et 540°C, appelée distillat
30 sous vide.

La section de fractionnement 270 peut comprendre un ou plusieurs ballons de détente agencés en série, et/ou une ou plusieurs colonnes de stripping de vapeur et/ou à l'hydrogène, et/ou une colonne

de distillation atmosphérique, et/ou une colonne de distillation sous vide, et est préférablement constituée d'un ensemble de plusieurs ballons de détente en série et de colonnes de distillation atmosphérique et sous vide.

5 Lorsque l'on souhaite recycler une partie de la fraction de résidus lourds (e.g. une partie de la fraction liquide lourde 207, et/ou une partie de l'asphalte résiduel 209, ou une partie de la DAO 208) dans le système d'hydroconversion (e.g. dans le réacteur à lit entraîné 240 ou en amont) il peut être avantageux de laisser le catalyseur colloïdal ou moléculaire dans les résidus, et/ou la fraction d'asphalte résiduelle. Une purge sur le flux recyclé peut être mise en œuvre, en général pour éviter que certains composés ne s'accumulent à des niveaux excessifs.

10 La présente invention concerne également un système en lit entraîné 200 configuré pour hydroconvertir la charge hydrocarbonée lourde 101 comme détaillé ci-dessus. Les références numériques mentionnées ci-dessous concernent la figure 2, qui illustre schématiquement un exemple d'un système d'hydroconversion en lit entraîné selon l'invention. Ledit système 200 comprend :

- le premier mélangeur conditionneur 210 configuré pour préparer la première charge hydrocarbonée 15 lourde conditionnée 103 en mélangeant ladite charge hydrocarbonée lourde 101 avec l'additif organique 102 comprenant au moins une fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou une fonction anhydride d'acide ;
- le deuxième mélangeur conditionneur 220 configuré pour préparer la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée 105 en mélangeant une composition de précurseur de catalyseur 20 104 avec ladite première charge hydrocarbonée lourde conditionnée 103 ;
- l'au moins un dispositif de préchauffage 230 configuré pour chauffer la deuxième charge conditionnée 105 ;
- l'au moins un réacteur à lit entraîné 240 configuré pour comprendre :
 - une phase hydrocarbonée liquide comprenant ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde 25 conditionnée chauffée 106 contenant le catalyseur colloïdal ou moléculaire dispersé dans celle-ci ;
 - et une phase gazeuse comprenant de l'hydrogène.

Ledit au moins un réacteur à lit entraîné 240 est configuré pour opérer en la présence d'hydrogène et dans des conditions d'hydroconversion afin de causer un craquage thermique d'hydrocarbures dans ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée pour fournir une matière valorisée 107.

30 Ledit au moins un dispositif de préchauffage 230 et/ou ledit au moins un réacteur à lit entraîné 240 sont également configurés pour former le catalyseur colloïdal ou moléculaire dans ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée.

Des détails concernant chaque appareil/dispositif/section utilisé(e) dans le système en lit entraîné ont déjà été mentionnés ci-dessus en rapport avec le procédé et ne sont pas répétés.

Exemple

5 L'exemple suivant illustre, sans limiter la portée de l'invention, certaines des performances du procédé et du système selon l'invention, en particulier l'encrassement réduit des installations, par comparaison avec un procédé et un système selon l'art antérieur.

10 L'exemple est basé sur un essai utilisant un dispositif analytique, appelé Alcor Hot Liquid Process Simulator, ou HLPS, de la société Alcor, stimulant l'effet d'encrassement de résidus atmosphériques (AR) dans des échangeurs de chaleur. L'AR est pompé à travers un tube chauffant (échangeur de chaleur à tube-dans-coque à écoulement laminaire) dans des conditions contrôlées et des dépôts d'encrassement sont formés sur le tube chauffant. La température de l'AR qui sort de l'échangeur de chaleur est liée à l'effet des dépôts sur l'efficacité de l'échangeur de chaleur. La diminution de la température de sortie de liquide d'AR depuis sa valeur maximale initiale est appelée Delta T et est corrélée à la quantité de dépôts. Plus la diminution de Delta T est grande, plus la quantité d'encrassement et de dépôts est élevée.

15 L'essai HLPS peut être utilisé pour évaluer la tendance à l'encrassement de différents AR en comparant la pente décroissante de la température de sortie de liquide d'AR obtenue dans des conditions d'essai identiques. L'efficacité d'un additif organique peut également être déterminée en comparant les résultats d'essais d'un échantillon pur (sans un additif organique) à l'échantillon mélangé avec l'additif organique.

20 Trois échantillons sont testés : l'échantillon 1 est un mélange d'une charge hydrocarbonée lourde et d'un catalyseur moléculaire ou colloïdal selon l'art antérieur, et les échantillons 2 et 3 sont des mélanges selon l'invention d'une charge hydrocarbonée lourde avec un additif organique, en plus du même catalyseur moléculaire ou colloïdal.

25 La charge hydrocarbonée lourde utilisée (« Charge ») est un résidu atmosphérique (AR) dont la composition principale et les propriétés sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1

	Méthode normalisée	Unité	Charge	VGO (diluant de CPC)
Densité	NF EN ISO 12185		0,959	0,8677
IBP à 350°C	ASTM D1160	% en poids	21	2,7
350 à 540°C	ASTM D1160	% en poids	35	95,5
540°C+	ASTM D1160	% en poids	44	1,8
C	ASTM D5291	% en poids	84,5	86,5
H	ASTM D5291	% en poids	11,4	13,71
N	ASTM D5291	% en poids	0,3	0,0037
S	NF ISO 8754	% en poids	3,81	0,074
Ni	ASTM D7260	ppm en poids	25	< 2
V	ASTM D7260	ppm en poids	78	< 2
K	ASTM D7260	ppm en poids	2	< 1
Na	ASTM D7260	ppm en poids	196	< 1
Ca	ASTM D7260	ppm en poids	< 1	< 1
P	ASTM D7260	ppm en poids	< 5	< 5
Si	ASTM D7260	ppm en poids	< 1	< 1
Fe	ASTM D7260	ppm en poids	3	6
Ti	ASTM D7260	ppm en poids	79	< 1
Asphaltènes en C ₅	UOP99 - 07	% en poids	10,6	0,2
Asphaltènes en C ₇	NF T60-115	% en poids	4,7	0,05
Carbone Conradson	NF EN ISO 10370	% en poids	11,3	0,2

Échantillon 1 : l'échantillon 1 est un mélange de la Charge (AR) et d'une composition de précurseur de catalyseur (CPC) qui est du 2-éthylhexanoate de molybdène, le 2-éthylhexanoate de molybdène étant dilué dans un gasoil sous vide (VGO) pour former une solution de CPC.

- 5 La composition du VGO est donnée dans le tableau 1 ci-dessus.

La solution de CPC est obtenue en mélangeant le 2-éthylhexanoate de molybdène avec le VGO, à une température de 70°C pendant une période de temps de 30 minutes. La teneur en 2-éthylhexanoate de molybdène dans la solution de CPC contenant du VGO est de 3 500 ppm en poids.

- 10 La solution de CPC est ensuite mélangée avec la Charge (AR) à une température de 70°C et pendant une période de temps de 30 minutes.

La teneur en Mo dans l'échantillon 1 est de 315 ppm en poids (voir tableau 2 ci-dessous).

Échantillon 2 : l'échantillon 2 est un mélange de la Charge (AR) avec la même solution de CPC (2-éthylhexanoate de molybdène dilué avec le VGO) comme dans l'échantillon 1, et avec un additif organique qui est l'acide 2-éthylhexanoïque (2EHA). Le numéro CAS du 2EHA est 149-57-5.

La Charge est d'abord mélangée avec l'additif organique 2EHA, pendant une période de temps de 30 minutes, et à une température de 70°C, pour former la première charge conditionnée.

Ensuite, la première charge conditionnée est mélangée avec la solution de CPC, obtenue comme détaillé pour l'échantillon 1 à une température de 70°C et pendant une période de temps de 30 minutes, pour former une deuxième charge conditionnée qui est l'échantillon 2.

La teneur en Mo dans l'échantillon 2 est de 315 ppm en poids (voir tableau 2 ci-dessous).

La concentration d'additif organique 2EHA est de 5 827 ppm en poids (voir tableau 2 ci-dessous).

Le rapport molaire de 2EHA/Mo = 12,3.

Échantillon 3 : l'échantillon 3 est un mélange de la Charge (AR) avec la même solution de CPC (2-éthylhexanoate de molybdène dilué avec le VGO) comme dans les échantillons 1 et 2, et avec un additif organique qui est l'octanoate d'éthyle (EO).

Le numéro CAS de l'EO est 106-32-1.

La Charge est d'abord mélangée avec l'additif organique EO, pendant une période de temps de 30 minutes, et une température de 70°C, pour former une première charge conditionnée.

Ensuite, la première charge conditionnée est mélangée avec la solution de CPC, obtenue comme détaillé pour l'échantillon 1, à une température de 70°C et pendant une période de temps de 30 minutes, pour former une deuxième charge conditionnée qui est l'échantillon 3.

La teneur en Mo dans l'échantillon 3 est de 315 ppm en poids (voir tableau 2 ci-dessous).

La concentration d'additif organique EO est de 7 340 ppm en poids (voir tableau 2 ci-dessous).

Le rapport molaire de EO/Mo = 13,0.

Tableau 2

	Échantillon 1 : Charge + CPC dans VGO	Échantillon 2 : [Charge + 2EHA] + CPC dans VGO	Échantillon 3 : [Charge + EO] + CPC dans VGO
Mo (ppm en poids)	315	315	315
Additif organique de type acide 2EHA (ppm en poids)	-	5 827	-
Additif organique de type ester EO (ppm en poids)	-	-	7 340

La teneur en Mo dans les échantillons a été déterminée selon la norme ASTM D7260. La teneur en additif organique de type acide et ester a été déterminée par pesée.

Les conditions d'essai au HLPS sont données dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3

Mode d'essai	Passage unique
Température de la Charge (°C)	90
Débit (mL/min)	1
Température d'huile entrante (°C)	100
Température de tube (°C)	450
Matériau de tube	Acier 1018
Pression Manométrique (MPa)	3,4

Les résultats de l'essai pour les différents échantillons (S_1 pour l'échantillon 1, S_2 pour l'échantillon 2, S_3 pour l'échantillon 3) sont montrés dans le graphique de la figure 3. L'axe X représente le temps en heures, et l'axe Y représente la différence de température ΔT entre la température du mélange d'huile (échantillon) sortant du tube à un temps t $[T_{\text{Huile Sortie}}]_t$ et la température maximale du mélange d'huile (échantillon) sortant du tube $[T_{\text{Huile Sortie}}]_{\text{Max}}$: $\Delta T = [T_{\text{Huile Sortie}}]_t - [T_{\text{Huile Sortie}}]_{\text{Max}}$.

Les résultats montrent que l'échantillon 1 possède une forte tendance à l'encrassement puisque son Delta T baisse rapidement. Les échantillons 2 et 3 qui contiennent un additif organique, e.g. le 2EHA ou l'EO, selon l'invention ont un Delta T plus bas que l'échantillon 1, montrant que le comportement d'encrassement est significativement réduit sous l'action dudit additif organique.

Revendications

1. Procédé pour l'hydroconversion d'une charge hydrocarbonée lourde (101) contenant une fraction d'au moins 50 % en poids possédant un point d'ébullition d'au moins 300°C, et contenant des métaux et des asphaltènes, comprenant les étapes suivantes :
 - 5 (a) préparation d'une première charge hydrocarbonée lourde conditionnée (103) en mélangeant ladite charge hydrocarbonée lourde (101) avec un composé chimique organique (102) comprenant au moins une fonction acide carboxylique et/ou au moins une fonction ester et/ou au moins une fonction anhydride d'acide ;
 - (b) préparation d'une deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée (105) en mélangeant
10 une composition de précurseur de catalyseur (104) avec la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée (103) de l'étape (a) d'une telle manière qu'un catalyseur colloïdal ou moléculaire soit formé lorsqu'elle réagit avec du soufre ;
 - (c) chauffage de la deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée de l'étape (b) dans au moins un dispositif de préchauffage ;
 - 15 (d) introduction de ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée chauffée (106) de l'étape (c) dans au moins un réacteur à lit entraîné et l'opération dudit réacteur à lit entraîné en la présence d'hydrogène et dans des conditions d'hydroconversion pour produire une matière valorisée (107), et
le catalyseur colloïdal ou moléculaire étant formé *in situ* dans la deuxième charge hydrocarbonée
20 lourde conditionnée à l'étape (c) et/ou à l'étape (d).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape (a) comprend le mélange dudit composé chimique organique (102) et de ladite charge hydrocarbonée lourde (101) dans une cuve dédiée d'un dispositif de mélange actif.
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape (a) comprend l'injection dudit composé
25 chimique organique (102) dans une conduite acheminant ladite charge hydrocarbonée lourde (101) vers le réacteur à lit entraîné.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (a) est mise en œuvre à une température comprise entre la température ambiante et 300°C, préférablement entre 70°C et 200°C, et le temps de séjour du composé chimique organique avec la charge hydrocarbonée
30 lourde avant l'étape (b) est compris entre 1 seconde et 10 heures.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le composé chimique organique (102) est choisi dans le groupe constitué par l'acide 2-éthylhexanoïque, l'acide naphtéinique, l'acide caprylique, l'acide adipique, l'acide pimélique, l'acide subérique, l'acide azélaïque, et l'acide sébacique, l'octanoate d'éthyle, le 2-éthylhexanoate d'éthyle, le
- 5 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle, le 2-éthylhexanoate de benzyle, l'adipate de diéthyle, l'adipate de diméthyle, l'adipate de bis(2-éthylhexyle), le pimélate de diméthyle, le subérate de diméthyle, le subérate de monométhyle, l'anhydride hexanoïque, l'anhydride caprylique, et leurs mélanges.
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le composé chimique organique (102) comprend de l'acide 2-éthylhexanoïque, et est préférablement l'acide 2-éthylhexanoïque.
- 10 7. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le composé chimique organique (102) comprend de l'octanoate d'éthyle ou du 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle, et est préférablement l'octanoate d'éthyle ou le 2-éthylhexanoate de 2-éthylhexyle.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la composition de précurseur de catalyseur (104) comprend un composé ou complexe organo-métallique ou
- 15 bimétallique soluble dans l'huile, préférablement un composé ou complexe organo-métallique soluble dans l'huile choisi dans le groupe constitué par le 2-éthylhexanoate de molybdène, le naphtanate de molybdène, le naphtanate de vanadium, l'octoate de vanadium, le molybdène hexacarbonyle, le vanadium hexacarbonyle, et le fer pentacarbonyle, et est préférablement le 2-éthylhexanoate de molybdène.
- 20 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le rapport molaire entre ledit composé chimique organique (102) ajouté à l'étape (a) et le métal actif ou les métaux actifs, préférablement le molybdène, de la composition de précurseur de catalyseur (104) ajoutée à l'étape (b) dans ladite deuxième charge hydrocarbonée lourde conditionnée est compris entre 0,1 : 1 et 20 : 1.
- 25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le catalyseur colloïdal ou moléculaire comprend du disulfure de molybdène.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (b) comprend : (b1) le pré-mélange de la composition de précurseur de catalyseur avec un diluant d'huile d'hydrocarbure inférieure à une température à laquelle une partie substantielle de la
- 30 composition de précurseur de catalyseur commence à se décomposer thermiquement pour former un mélange de précurseur dilué ; et (b2) le mélange dudit mélange de précurseur dilué avec la première charge hydrocarbonée lourde conditionnée.

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel l'étape (b1) est mise en œuvre à une température comprise entre la température ambiante et 300°C et pendant une période de temps de 1 seconde à 30 minutes, et l'étape (b2) est mise en œuvre à une température comprise entre la température ambiante et 300°C et pendant une période de temps de 1 seconde à 30 minutes.
- 5 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (c) comprend un chauffage à une température comprise entre 280°C et 450°C, plus préférablement entre 300°C et 400°C, et plus préférablement entre 320°C et 365°C.
- 10 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la charge hydrocarbonée lourde (101) comprend au moins l'une des charges suivantes : un pétrole brut, un bitume de sables bitumineux, des fonds de colonnes de distillation atmosphérique, des fonds de colonnes de distillation sous vide, des résidus, des fonds de viscoréducteur, du goudron de charbon, une huile lourde provenant de schistes bitumineux, du charbon liquéfié, des bio-huiles lourdes, et des huiles lourdes comprenant des déchets de plastique et/ou une huile de pyrolyse de plastique.
- 15 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la charge hydrocarbonée lourde (101) possède du soufre à une teneur supérieure à 0,5 % en poids, un résidu de carbone Conradson d'au moins 0,5 % en poids, des asphaltènes en C₇ à une teneur supérieure à 1 % en poids, des métaux de transition et/ou de post-transition et/ou métalloïdes à une teneur supérieure à 2 ppm en poids, et des métaux alcalins et/ou alcalino-terreux à une teneur supérieure à 2 ppm en poids.
- 20 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite étape d'hydroconversion (d) est mise en œuvre sous une pression absolue comprise entre 2 MPa et 38 MPa, à une température comprise entre 300°C et 550°C, à une vitesse volumique horaire VVH par rapport au volume de chaque réacteur à lit entraîné comprise entre 0,05 h⁻¹ et 10 h⁻¹ et sous une quantité d'hydrogène mélangé avec la charge entrant dans le réacteur à lit entraîné comprise
25 entre 50 et 5 000 mètres cubes normaux (Nm³) par mètre cube (m³) de charge.
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la concentration en métal du catalyseur, préférablement en molybdène, dans la deuxième charge hydrocarbonée conditionnée (105) est dans une plage de 10 ppm à 10 000 ppm en poids de la charge hydrocarbonée lourde.