



(22) **Date de dépôt/Filing Date:** 2008/12/30

(41) **Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.:** 2009/07/04

(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2017/02/28

(30) **Priorité/Priority:** 2008/01/04 (FR08/00.056)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. C10G 2/00** (2006.01),
B01J 23/75 (2006.01), **C07C 1/04** (2006.01)

(72) **Inventeurs/Inventors:**
MARION, MARIE-CLAIRE, FR;
HUGUES, FRANCOIS, FR;
ROY-AUBERGER, MAGALIE, FR

(73) **Propriétaires/Owners:**
ENI S.P.A., IT;
IFP ENERGIES NOUVELLES, FR

(74) **Agent:** ROBIC

(54) **Titre : PROCÉDE AMÉLIORE DE SYNTHÈSE FISCHER-TROPSCH PAR CONTRÔLE DE LA PRESSION PARTIELLE D'EAU
DANS LA ZONE RÉACTIONNELLE**

(54) **Title: IMPROVED FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS PROCESS THROUGH CONTROL OF THE PARTIAL PRESSURE OF
WATER IN THE REACTION ZONE**

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention a pour objet un procédé de synthèse d'hydrocarbures à partir d'une charge de type gaz de synthèse dans lequel on met en contact ledit gaz de synthèse avec un catalyseur dans un réacteur dans les conditions de synthèse Fischer-Tropsch et dans lequel on contrôle la pression partielle d'eau pour la maintenir en deçà d'une valeur critique ppH_2O_{limit} définie par la formule: $ppH_2O_{limit} = \exp(-7751/d_p \cdot T) \cdot P_s(T)$ où T est la température de réaction en K, d_p est le diamètre moyen des pores du catalyseur en nm, déterminé par adsorption-désorption d'azote (méthode BJH), $P_s(T)$ est la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T, en bar.

ABREGE DU CONTENU TECHNIQUE DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé de synthèse d'hydrocarbures à partir d'une charge de type gaz de synthèse dans lequel on met en contact ledit gaz de synthèse avec un catalyseur dans un réacteur dans les conditions de synthèse Fischer-Tropsch et dans lequel on contrôle la pression partielle d'eau pour la maintenir en deçà d'une valeur critique ppH_2O_{limit} définie par la formule: $ppH_2O_{limit} = \exp(-7751/d_p \cdot T) \cdot P_s(T)$ où T est la température de réaction en K, d_p est le diamètre moyen des pores du catalyseur en nm, déterminé par adsorption-désorption d'azote (méthode BJH), $P_s(T)$ est la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T, en bar.

**PROCÉDÉ AMÉLIORÉ DE SYNTHÈSE FISCHER-TROPSCH PAR CONTRÔLE DE LA
PRESSION PARTIELLE D'EAU DANS LA ZONE RÉACTIONNELLE**

La présente invention concerne le domaine de la synthèse d'hydrocarbures à partir d'un gaz de synthèse par une étape de synthèse Fischer-Tropsch. Elle concerne plus particulièrement un procédé amélioré de synthèse Fischer-Tropsch permettant de maximiser la production d'hydrocarbures tout en minimisant les coûts d'opération, notamment les coûts inhérents à la consommation de catalyseur.

L'invention a pour objet un procédé amélioré de synthèse d'hydrocarbures à partir de gaz de synthèse dans lequel la pression partielle d'eau dans le réacteur de synthèse est contrôlée afin de la maintenir en deçà d'une valeur critique ppH_2O_{limit} , qui dépend de la température du réacteur et des caractéristiques physico-chimiques du catalyseur mis en oeuvre. L'invention permet d'augmenter la durée de vie du catalyseur et de limiter sa dégradation mécanique. Elle s'applique tout particulièrement dans le cas des procédés Fischer-Tropsch mis en oeuvre dans les complexes XTL (GTL, CTL ou BTL, respectivement "Gas To Liquid", "Coal To Liquid" et "Biomass To Liquid" selon la terminologie anglo-saxonne).

Art antérieur

La réaction de conversion du gaz de synthèse (mélange comprenant du monoxyde de carbone, de l'hydrogène et éventuellement du dioxyde de carbone) en hydrocarbures est connue depuis le début du vingtième siècle et est communément appelée synthèse Fischer-Tropsch. Des unités ont été opérées en Allemagne pendant la seconde guerre mondiale, puis en Afrique du Sud afin de synthétiser des carburants synthétiques. La majorité de ces unités, essentiellement dédiées à la production de carburants synthétiques, étaient ou sont encore opérées avec des catalyseurs à base de fer.

Plus récemment, un nouvel intérêt s'est manifesté envers ces synthèses, et plus particulièrement envers l'utilisation de catalyseurs comprenant du cobalt qui permettent d'orienter la réaction vers la formation d'hydrocarbures plus lourds, principalement paraffiniques, essentiellement des hydrocarbures C5+ (hydrocarbures comprenant 5 atomes de carbone ou plus par molécule), tout en minimisant la formation de méthane et d'hydrocarbures ayant entre 2 et 4 atomes de carbone par molécule (C2 – C4). Les hydrocarbures ainsi formés peuvent être transformés dans une unité d'hydrocraquage en aval, afin de produire majoritairement du kérosène et du gasoil. Un tel procédé est par exemple décrit dans le brevet EP-B-1 406 988.

L'utilisation de catalyseur comprenant du cobalt est plus adaptée pour traiter des gaz de synthèse (charge) plus riche en hydrogène, issu de la transformation de gaz naturel notamment.

5 De nombreuses formulations à base de cobalt ont été décrites dans l'art antérieur et par exemple dans les demandes de brevet EP-A-0 313 375 ou EP-A-1 233 011. Contrairement aux catalyseurs à base de fer qui sont actifs dans la réaction de conversion du CO (en CO₂, water gas shift reaction ou WGSR selon la terminologie anglo-saxonne):

10 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$, les catalyseurs à base de cobalt ne présentent que très peu d'activité pour cette réaction (B.H. Davis, Catalysis Today, 84, 2003, p.83).

Par conséquent, selon les conditions opératoires utilisées (pression, température, niveau de conversion...), de fortes pressions partielles de vapeur d'eau peuvent être générées lors de la réaction Fischer-Tropsch. Ces conditions sévères peuvent être néfastes au catalyseur et provoquer rapidement sa dégradation.

15

L'effet de l'eau sur des catalyseurs Fischer-Tropsch au cobalt a, par exemple, été étudié par M. Rothaemel et col. (Catalysis Today, Vol. 38, Issue 1, 1997, p. 79-84) qui a mis en évidence une désactivation de catalyseurs supportés avec du cobalt sur alumine due à l'eau. La désactivation s'explique par la perte de sites actifs et plus précisément, par l'oxydation du
20 cobalt métallique en surface.

Le phénomène de désactivation par l'eau de catalyseurs Fischer-Tropsch a également été étudié par P.J van Berge et col. (Catalysis today, Vol. 58, Issue 4, May 2000, p. 321-334).

25 Ils ont montré par différents moyens analytiques que le phénomène d'oxydation de catalyseurs au cobalt réduits était fonction du ratio $P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$.

Dans le document US 2004/0127586, il est décrit un procédé permettant de fabriquer des catalyseurs à stabilité hydrothermale améliorée en introduisant dans leur composition des agents stabilisants tels que du bore, du cobalt et du zirconium.

30

Le document US 6,262,132 B1 décrit une méthode visant à réduire l'attrition de catalyseurs mis en oeuvre en réacteur de type "slurry" et dans d'autres types de réacteurs susceptibles de conduire à des pertes de catalyseur par fragmentation, abrasion...etc. Dans ce document,

il est divulgué un support de catalyseur contenant une certaine quantité de titane permettant d'augmenter la résistance à l'attrition du catalyseur.

5 En ce qui concerne l'effet de l'eau, la dégradation des catalyseurs par transformation de la phase active, due à l'oxydation ou à un phénomène de transformation en espèce moins réductible, est souvent citée. Mais il est également connu que l'eau produite par la réaction Fischer-Tropsch ou bien encore que le fait d'ajouter volontairement de l'eau dans le réacteur de synthèse permet d'augmenter l'activité d'un catalyseur contenant du cobalt (J. Catal, 211, 2002, 422). L'effet positif de l'eau sur la sélectivité de la réaction Fischer-Tropsch est
10 également rapporté. Ainsi, l'effet de l'eau sur les catalyseurs utilisés pour la réaction fischer-Tropsch est très équivoque et les explications pour rendre compte des différents résultats font défaut (M E Dry, Stud Surf Sci Cata 152, 2004, p. 577-578).

La demanderesse a découvert que le fait de contrôler la pression partielle d'eau dans le
15 réacteur de synthèse Fischer-Tropsch permettait de limiter le phénomène de dégradation du catalyseur et notamment celle de ses propriétés mécaniques, ce qui est crucial pour un procédé de type slurry ou lit bouillonnant où le catalyseur mis en mouvement est soumis à des contraintes mécaniques importantes. Le procédé selon l'invention présente également l'avantage, du fait de la plus grande stabilité mécanique du catalyseur au cours du temps, de
20 faciliter l'étape ultérieure de séparation des produits de la réaction et du catalyseur.

Un autre avantage est de limiter la baisse des performances du catalyseur en limitant sa transformation physico-chimique et ainsi de maintenir au cours du temps de bonnes performances catalytiques en termes de productivité et de sélectivité.

25 Résumé de l'invention

L'invention a pour objet un procédé amélioré de synthèse d'hydrocarbures à partir d'une charge de type gaz de synthèse obtenu, par exemple, à partir de gaz naturel, charbon et/ou biomasse dans lequel on met en contact ledit gaz de synthèse avec un catalyseur dans un
30 réacteur dans les conditions de synthèse Fischer-Tropsch et dans lequel on contrôle la pression partielle d'eau pour la maintenir en deçà d'une valeur critique.

Elle permet de limiter tout phénomène de dégradation mécanique du catalyseur et permet ainsi de maintenir des performances élevées, notamment en terme de rendement en produits lourds (hydrocarbures C5+).

L'invention a également pour objet un procédé de synthèse d'hydrocarbures à partir d'une charge de type gaz de synthèse dans lequel on met en contact ledit gaz de synthèse avec un catalyseur dans un réacteur dans les conditions de synthèse Fischer-Tropsch et dans lequel on contrôle la pression partielle d'eau dans le réacteur ppH_2O_{react} pour la maintenir en deçà d'une valeur critique ppH_2O_{limit} définie par la formule:

$$ppH_2O_{\text{limit}} = \exp(-7751/d_p \cdot T) \cdot P_s(T)$$

où T est la température de réaction en K,

d_p est le diamètre moyen des pores du catalyseur en nm, déterminé par adsorption-désorption d'azote,

$P_s(T)$ est la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T, en bar.

et dans lequel la pression partielle d'eau dans le réacteur est contrôlée en mettant en oeuvre les actions suivantes:

- a) détermination de la valeur ppH_2O_{limit} dans les conditions de réaction, tenant compte de la température de la zone réactionnelle et du diamètre moyen des pores du catalyseur utilisé dans l'étape de synthèse Fischer-Tropsch; et
- b) mesure de la pression partielle d'eau dans le réacteur, comparaison avec la valeur ppH_2O_{limit} et ajustement éventuel de ladite pression partielle d'eau dans le réacteur à l'aide d'au moins un moyen sélectionné parmi les moyens suivants, pour vérifier la condition $ppH_2O_{\text{react}} < ppH_2O_{\text{limit}}$:

1. diminution de la pression totale,
2. introduction d'un diluant inerte dans la charge du réacteur,
3. augmentation du débit de charge,
4. augmentation du taux de recyclage dans le cas où la section réactionnelle ou le réacteur est équipé d'un recyclage du gaz non converti,
5. élimination en continu de tout ou partie de l'eau formée par la réaction, et
6. diminution de la température opératoire.

Description détaillée

L'invention concerne un procédé de synthèse d'hydrocarbures à partir d'une charge de type gaz de synthèse obtenu, par exemple mais de manière non restrictive, à partir de gaz naturel, charbon et/ou biomasse dans lequel on met en contact ledit gaz de synthèse avec un catalyseur dans un réacteur dans les conditions de synthèse Fischer-Tropsch et dans lequel on contrôle la pression partielle d'eau pour la maintenir en deçà d'une valeur critique ppH_2O_{limit} définie par la formule:

$$ppH_2O_{limit} = \exp(-7751/d_p \cdot T) \cdot P_s(T)$$

où T est la température de réaction en K,

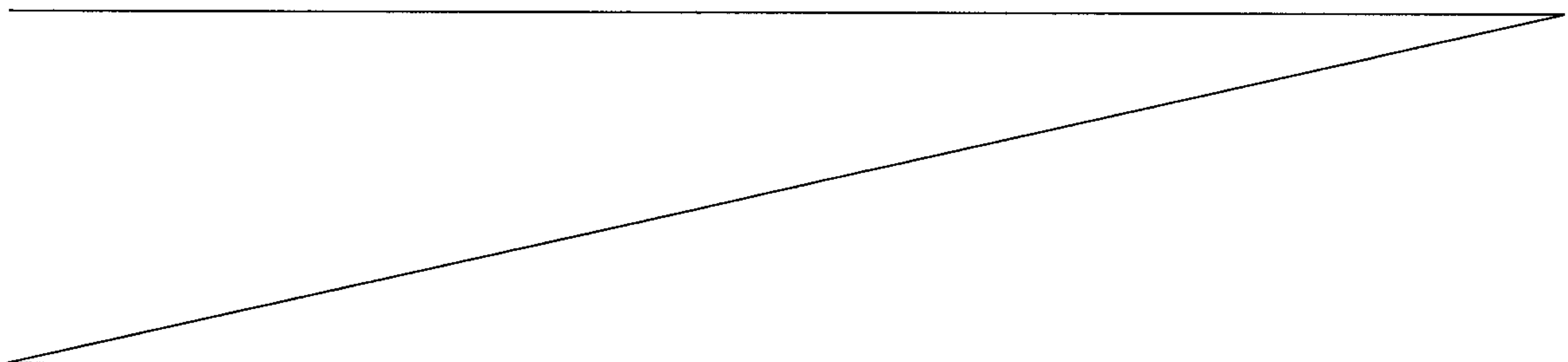
d_p est le diamètre moyen des pores du catalyseur en nm, déterminé par adsorption-désorption d'azote (méthode BJH, Barrett, Joyner et Halenda),

$P_s(T)$ est la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T, en bar.

Le procédé selon l'invention permet d'améliorer l'opération du réacteur de synthèse Fischer-Tropsch en limitant le phénomène de dégradation des propriétés mécaniques du catalyseur lié à la présence de vapeur d'eau dans le réacteur de synthèse. Par dégradation, on entend une transformation physico-chimique du catalyseur qui entraîne une diminution de ses propriétés mécaniques et notamment de sa résistance à l'attrition.

Pour l'Homme du métier, il est déterminant de limiter tout phénomène d'attrition, d'érosion, de fragmentation ou de rupture du catalyseur, inhérent à la mise en oeuvre de particules, notamment dans des réacteurs de type "slurry" ou lit bouillonnant mais également de type lit fixe.

La demanderesse a découvert que le fait d'opérer le réacteur de synthèse Fischer-Tropsch en maintenant la pression partielle d'eau en deçà d'une valeur limite à l'intérieur de celui-ci



permet de limiter considérablement le phénomène de dégradation mécanique du catalyseur et, par conséquent, d'améliorer l'opération. En effet, la moindre production de fines lors de l'opération du réacteur permet un gain au niveau de la consommation de catalyseur mais également une séparation plus aisée du catalyseur et des produits de la réaction. De plus, en maintenant la pression partielle d'eau dans le réacteur en deçà d'un certain seuil, on limite également la désactivation du catalyseur et on maintient ainsi la productivité à un bon niveau.

Dans le procédé selon l'invention, la dégradation mécanique du catalyseur est évaluée en mesurant l'évolution de la quantité de fines (% volume) de taille inférieure à 10 microns, générées lors d'un test de synthèse Fischer-Tropsch. La mesure est effectuée au moyen d'un granulomètre à diffraction laser LS230® de la société Coulter, en utilisant l'heptane comme diluant.

L'activité du catalyseur est évaluée à partir du niveau de conversion des réactifs, conversion de CO par exemple, dans un test catalytique mettant en oeuvre la réaction Fischer-Tropsch dans des conditions données (P, T, VVH...).

Le procédé selon l'invention consiste à maintenir la pression partielle d'eau dans le réacteur de synthèse en deçà de la valeur critique définie par la formule:

$$ppH_2O_{\text{limit}} = \exp(-7751/d_p \cdot T) \cdot P_s(T)$$

où T est la température de réaction en K,

d_p est le diamètre moyen des pores du catalyseur en nm, déterminé par adsorption-désorption d'azote (méthode BJH),

$P_s(T)$ est la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T, en bar.

De préférence, la pression partielle d'eau dans le réacteur est contrôlée et maintenue en deçà de la valeur $0,95 \cdot ppH_2O_{\text{limit}}$. De manière encore préférée, celle-ci est contrôlée et maintenue en deçà de la valeur $0,9 \cdot ppH_2O_{\text{limit}}$ et de manière encore plus préférée, en deçà de la valeur $0,8 \cdot ppH_2O_{\text{limit}}$.

La pression partielle d'eau dans le réacteur est de préférence strictement inférieure à la pression partielle d'hydrogène, de manière encore préférée la pression partielle d'eau dans le réacteur est inférieure ou égale à 0,8 fois la pression partielle d'hydrogène et de manière encore plus préférée inférieure ou égale à 0,7 fois la pression partielle d'hydrogène. De cette manière, les performances du procédé sont optimisées, notamment en termes de sélectivité en hydrocarbures les plus lourds et de stabilité du catalyseur.

La température T (en Kelvin) est celle de la zone réactionnelle (imposée au niveau du réacteur). Lorsque le réacteur comporte plusieurs zones réactionnelles opérant à des températures différentes, le contrôle de la pression partielle d'eau est effectué zone par zone et est généralement comprise entre 100 et 500°C, de manière préférée entre 180 et 300°C.

Le diamètre moyen des pores d_p est déterminé à partir de la méthode BJH (Barrett, Joyner et Halenda) d'adsorption et désorption d'azote à 77 K. Il correspond à la valeur du rapport $4V/A$, V étant le volume BJH désorbé et A l'aire des pores BJH à désorption.

Pour les catalyseurs utilisés dans le procédé selon l'invention, le diamètre moyen est compris entre 0,1 et 100 nm, de préférence entre 1 et 50 nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$).

La pression de vapeur saturante de l'eau est donnée par les tables thermodynamiques bien connues de l'Homme du métier et est exprimée en bar ($1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$).

En ce qui concerne la pression partielle d'eau, celle-ci est déterminée selon la définition de l'Homme du métier, à partir de la composition molaire de la phase gaz contenue dans l'enceinte réactionnelle et de la pression totale: $p_{\text{H}_2\text{O}} = (x_{\text{H}_2\text{O}} / \sum x_i) \cdot P_T$

où $x_{\text{H}_2\text{O}}$ est la fraction molaire en eau

x_i est la fraction molaire en composé i

P_T est la pression totale du réacteur.

Généralement, la composition molaire de la phase gaz est déterminée par analyse CPG (Chromatography Phase Gas) d'un échantillon prélevé à la sortie du réacteur. Tout autre moyen connu de l'Homme du métier est utilisable pour déterminer la composition de la phase gazeuse. Par exemple, elle peut être également obtenue par calcul à partir des

données de bases de la réaction Fischer-Tropsch: ratio H_2/CO , niveau de conversion et de la distribution des produits.

5 A titre illustratif, le tableau 1 ci-après indique des valeurs de pression partielle d'eau critique pour différentes valeurs de température et de diamètre moyen de pores pour le catalyseur.

T (°C)	T (K)	diam. moyen pore 10 nm	diam. moyen pore 9 nm	diam. moyen pore 8 nm
210	483	3,91	3,27	2,62
215	488	4,37	3,66	2,94
220	493	4,87	4,09	3,28
225	498	5,41	4,55	3,67
230	503	6,00	5,05	4,08

tableau 1: valeurs de ppH_2O_{limit} (en bar) en fonction de la température et du diamètre moyennes pores du catalyseur

10 Le procédé selon l'invention est mis en oeuvre dans un réacteur de synthèse Fischer-Tropsch, soit en lit fixe (réacteur avec un catalyseur en lit fixe ou bien encore avec un ou plusieurs lits de catalyseur dans un même réacteur), ou préférentiellement dans un réacteur triphasique (mise en oeuvre en "slurry" selon la terminologie anglo-saxonne) comprenant le catalyseur en suspension dans une phase liquide essentiellement inerte et la phase gazeuse
15 réactive (gaz de synthèse).

Le gaz de synthèse utilisé pour la réaction peut être obtenu via la transformation du gaz naturel, du charbon, ou de la biomasse par des procédés tels que le vaporeformage ou l'oxydation partielle, ou encore via la décomposition du méthanol, ou à partir de tout autre
20 procédé connu de l'Homme du métier. Toute charge comprenant au moins de l'hydrogène et du monoxyde de carbone peut donc convenir. De préférence, le gaz de synthèse utilisé dans la synthèse Fischer-Tropsch présente un rapport molaire H_2/CO compris entre 1:2 et 5:1, de manière plus préférée entre 1,2:2 et 3:1 et de manière encore plus préférée entre 1,5:1 et 2,6:1. Le gaz de synthèse comprend généralement en sus une faible proportion de dioxyde
25 de carbone (CO_2), de préférence moins de 15% en volume, voire moins de 10% en volume.

La synthèse Fischer-Tropsch est généralement mise en oeuvre sous une pression comprise entre 0,1 MPa et 15 MPa, de préférence comprise entre 1 MPa et 10 MPa et de manière plus préférée comprise entre 1,5 et 5 MPa. La vitesse volumétrique horaire du gaz de synthèse est généralement comprise entre 100 et 20000 h⁻¹ (volume de gaz de synthèse par
5 volume de catalyseur et par heure), de préférence entre 400 et 10000 h⁻¹.

Tout catalyseur adapté à la synthèse Fischer-Tropsch connu de l'Homme du métier convient au procédé selon l'invention, notamment ceux mentionnés dans la partie "Art Antérieur" de cette demande. On utilise de préférence un catalyseur supporté, le support étant
10 préférentiellement choisi parmi les oxydes du groupe formé par l'alumine, la silice, la zircone, l'oxyde de titane, l'oxyde de magnésium ou leurs mélanges. De manière préférée, le support du catalyseur contient l'élément Al.

De manière très préférée, le catalyseur mis en oeuvre selon l'invention est un catalyseur comprenant un support à base d'alumine et contenant du cobalt.

15 Différents promoteurs connus de l'Homme du métier peuvent également être ajoutés, notamment ceux sélectionnés parmi les éléments suivants: rhénium, ruthénium, molybdène, tungstène, chrome. Il est également possible d'ajouter au moins un alcalin ou alcalino-terreux dans la formulation du catalyseur.

20 Selon le procédé de l'invention la pression partielle d'eau dans le réacteur est contrôlée en mettant en oeuvre les actions suivantes:

a) détermination de la valeur ppH_2O_{limit} dans les conditions de réaction, tenant compte de la température de la zone réactionnelle et des propriétés du catalyseur utilisé dans l'étape de
25 synthèse Fischer-Tropsch (diamètre moyen des pores);

b) mesure de la pression partielle de vapeur d'eau, comparaison avec la valeur ppH_2O_{limit} et ajustement éventuel de ladite pression partielle dans le réacteur de synthèse Fischer-Tropsch (ppH_2O_{react}) à l'aide d'au moins un moyen sélectionné parmi les moyens suivants,
30 pour vérifier la condition $ppH_2O_{react} < ppH_2O_{limit}$:

Cet ajustement peut être effectué en utilisant tout moyen connu de l'Homme du métier et notamment un moyen sélectionné parmi les moyens suivants:

1. diminution de la pression totale,
2. introduction d'un diluant inerte dans la charge du réacteur Fischer-Tropsch,
3. augmentation du débit de charge,
4. augmentation du taux de recyclage dans le cas où la section réactionnelle ou le réacteur
- 5 est équipé d'un recyclage du gaz non converti,
5. élimination en continu de tout ou partie de l'eau formée par la réaction,
6. diminution de la température opératoire.

De manière plus détaillée, cet ajustement peut être effectué en utilisant au moins un moyen
10 sélectionné parmi les moyens suivants:

1. L'augmentation du débit de charge fraîche (gaz de synthèse) est un des moyens
préférés. Il permet de réduire le temps de contact de la charge avec le catalyseur,
donc de réduire le taux de conversion de CO par passe et par conséquent de réduire
15 la pression partielle d'eau. En outre, cette action présente l'avantage d'augmenter la
productivité de l'unité sans dégrader la sélectivité intrinsèque de la réaction Fischer-
Tropsch.
2. L'augmentation du taux de recyclage du gaz non converti, dans le cas où la section
20 réactionnelle ou le réacteur est équipé d'un recyclage interne, compte parmi les
moyens d'action préférés. Il engendre la diminution du taux de conversion par passe
et par conséquent la diminution de la pression partielle d'eau dans la section
réactionnelle.
- 25 3. La diminution de la température conduit à un ralentissement de la cinétique de la
réaction selon la loi d'Arrhenius. Par conséquent, la diminution de la température
provoque une diminution du taux de conversion de CO et donc une diminution de la
pression partielle d'eau. Cette action présente l'inconvénient de réduire également la
productivité du procédé.
- 30 4. La diminution de la pression totale a un impact direct sur les pressions partielles et
donc sur la pression partielle d'eau. Elle a également un impact sur la cinétique de la
réaction, ce qui conduit aussi à une diminution de la pression partielle d'eau par

diminution du niveau de conversion. Toutefois, ce moyen présente un impact négatif sur la production du procédé. Il est également plus difficile à mettre en oeuvre.

- 5 5. L'introduction d'un diluant inerte, de l'azote ou du méthane par exemple, à l'entrée de la section réactionnelle conduit à des conditions cinétiques de synthèse Fischer-Tropsch moins favorables et à une diminution de la pression partielle d'eau dans le réacteur. Toutefois, cette option n'est généralement pas l'option préférée car elle est difficile à mettre en oeuvre industriellement (problème de disponibilité de l'inerte par exemple).

- 10 6. Une autre méthode consiste à éliminer en continu l'eau formée par la réaction au moyen d'un dispositif de séparation implanté dans la zone réactionnelle ou dans une boucle de recyclage. Une telle séparation peut par exemple être réalisée au moyen d'un ballon permettant de séparer la phase aqueuse et la phase organique dans une
15 boucle de recyclage ou au moyen d'une membrane implantée dans cette boucle ou dans le réacteur.

Le choix de l'un de ces moyens dépend essentiellement des moyens disponibles sur l'unité industrielle et des conditions opératoires au moment du choix.

20 Les moyens préférés utilisés à l'étape b) d'ajustement éventuel de la pression partielle de vapeur d'eau dans le réacteur sont en général les suivants:

- 25 1. Augmentation du débit de charge,
2. Augmentation du taux de recyclage du gaz non converti, dans le cas où la section réactionnelle ou le réacteur est équipé d'un recyclage interne,
3. Diminution de la température.

30 De manière très préférée le moyen 1 ou le moyen 2 est utilisé.

La méthode décrite permet ainsi de maximiser la stabilité du catalyseur dans le procédé Fischer-Tropsch. Elle permet notamment de limiter le phénomène de dégradation mécanique du catalyseur et de maintenir son activité.

La portée de l'invention pourra être mieux comprise au vu de l'exemple 1 ci-dessous mais qui ne revêt aucun caractère limitatif.

Exemple 1

5

La réaction de synthèse Fischer-Tropsch est mise en oeuvre dans un dispositif comprenant un réacteur de 1 litre avec un diamètre de 7,6 cm (réacteur du type parfaitement agité, CSTR selon la terminologie anglo-saxonne) maintenu en pression et en température et pouvant être opéré en continu. On alimente le réacteur par un gaz de synthèse présentant un rapport H_2/CO égal à 2. Le débit de charge (gaz de synthèse) est contrôlé et peut être également ajusté pour augmenter ou diminuer le temps de réaction. La synthèse Fischer-Tropsch est effectuée à 230 °C en présence d'un catalyseur à base de cobalt supporté sur alumine gamma ($Co/Al_2O_3=12\%$ poids), préalablement réduit. Ledit catalyseur est mis en suspension dans 800 ml d'octadécane, et présente une granulométrie moyenne de 55 microns (μm) avec 1,3% en volume de particules de taille inférieure à 10 microns et 0,7% en volume de particules de taille supérieure à 150 microns.

15

Les performances catalytiques sont déterminées à partir de l'analyse de l'effluent gazeux et de la mesure de son débit.

20

La résistance ou dégradation mécanique du catalyseur est évaluée sous conditions réactionnelles, dans les conditions de la synthèse Fischer-Tropsch par mesure de l'attrition du solide.

L'attrition du catalyseur est évaluée par détermination de la distribution de taille de particules par granulométrie Laser avant et à l'issue du test. Les mesures dont les résultats sont présentés ci-après ont été réalisées à l'aide d'un granulomètre à diffraction laser LS230® commercialisé par la société Coulter, en utilisant l'heptane comme diluant et en appliquant des ultrasons pendant la durée nécessaire pour que la mesure soit stabilisée (en général de 1 à 15 minutes).

25

L'activité du catalyseur est évaluée à partir du niveau de conversion des réactifs, conversion de CO par exemple, dans un test catalytique mettant en oeuvre la réaction Fischer-Tropsch dans des conditions données (P, T, VVH...).

30

Plusieurs expériences sont réalisées dans différentes conditions d'alimentation en gaz de synthèse :

cas 1 : la réaction est effectuée à 230 °C sous 30 bar et le débit de charge est de 100 NI/h (VVH: 2000 h⁻¹)

cas 2 : la réaction est effectuée à 230 °C sous 30 bar et le débit de charge est de 220 NI/h (VVH: 4400 h⁻¹)

5 cas 3 : la réaction est effectuée à 220 °C sous 30 bar et le débit de charge est de 124 NI/h (VVH: 2480 h⁻¹)

cas 4: la réaction est effectuée à 230°C sous 30 bar et le débit de charge est de 220 NI/h (VVH: 4400 h⁻¹). Le catalyseur présente un diamètre plus faible que dans les cas 1 à 3 (8 nm au lieu de 10 nm).

10

	cas 1	cas 2	cas 3	cas 4
T (°C)	230	230	220	230
P (bar)	30	30	30	30
diamètre moyen des pores du catalyseur (nm)	10	10	10	8
Débit de charge (NI/h)	100	220	124	220
Conversion de CO initiale	73,3 %	42,4 %	42,2 %	42,4 %
PpH ₂ O _{react.} initiale (bar)	12,5	5,6	5,6	5,6
PpH ₂ O _{react.} moyenne au cours de l'essai (bar)	8,1	5,5	5,1	5,0
PpH ₂ O _{limit} (bar)	6	6	4,87	4,08
ppH ₂ initiale (bar)	7,9	14,7	14,8	14,7
conversion résiduelle après 850 h (%)	49 %	98 %	88 %	85 %
granulométrie du catalyseur (% vol. < 10 micron)				
- initiale	1,3	1,3	1,3	1,3
- à l'issue du test	13,1	4,1	7,8	8,8

Les résultats de granulométrie évaluant la quantité de fines (taille inférieure à 10 microns) indiquent que les catalyseurs qui sont mis en oeuvre dans le réacteur dans des conditions telles que ppH₂O_{react} reste inférieur à ppH₂O_{limit} présentent une meilleure résistance mécanique (résistance à l'attrition). Il est ainsi observé que la formation de fines (particules de

15 taille inférieure à 10 micron) est nettement supérieure dans les cas 1, 3 et 4.

Le cas 2 (selon l'invention) illustre que, de façon concomitante, l'activité du catalyseur reste plus stable lorsque la pression partielle d'eau est en deçà de la valeur limite selon l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de synthèse d'hydrocarbures à partir d'une charge de type gaz de synthèse dans lequel on met en contact ledit gaz de synthèse avec un catalyseur dans un réacteur dans les conditions de synthèse Fischer-Tropsch et dans lequel on contrôle la pression partielle d'eau dans le réacteur ppH_2O_{react} pour la maintenir en deçà d'une valeur critique ppH_2O_{limit} définie par la formule:

$$ppH_2O_{\text{limit}} = \exp(-7751/d_p \cdot T) \cdot P_s(T)$$

où T est la température de réaction en K,

d_p est le diamètre moyen des pores du catalyseur en nm, déterminé par adsorption-désorption d'azote,

$P_s(T)$ est la pression de vapeur saturante de l'eau à la température T, en bar,

et dans lequel la pression partielle d'eau dans le réacteur est contrôlée en mettant en oeuvre les actions suivantes:

a) détermination de la valeur ppH_2O_{limit} dans les conditions de réaction, tenant compte de la température de la zone réactionnelle et du diamètre moyen des pores du catalyseur utilisé dans l'étape de synthèse Fischer-Tropsch; et

b) mesure de la pression partielle d'eau dans le réacteur, comparaison avec la valeur ppH_2O_{limit} et ajustement éventuel de ladite pression partielle d'eau dans le réacteur à l'aide d'au moins un moyen sélectionné parmi les moyens suivants, pour vérifier la condition $ppH_2O_{\text{react}} < ppH_2O_{\text{limit}}$:

1. diminution de la pression totale,
2. introduction d'un diluant inerte dans la charge du réacteur,
3. augmentation du débit de charge,
4. augmentation du taux de recyclage dans le cas où la section réactionnelle ou le réacteur est équipé d'un recyclage du gaz non converti,
5. élimination en continu de tout ou partie de l'eau formée par la réaction, et
6. diminution de la température opératoire.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la pression partielle d'eau dans le réacteur est contrôlée et maintenue en deçà de la valeur $0,95 \cdot ppH_2O_{\text{limit}}$.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la pression partielle d'eau dans le réacteur est contrôlée et maintenue en deçà de la valeur $0,8 \cdot p_{H_2O_{limit}}$.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel ledit moyen sélectionné est choisi parmi les moyens suivants:
 1. augmentation du débit de charge,
 2. augmentation du taux de recyclage du gaz non converti, dans le cas où la section réactionnelle ou le réacteur est équipé d'un recyclage interne, et
 3. diminution de la température
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel ledit catalyseur comprend un support.
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le support du catalyseur contient l'élément Al.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel ledit catalyseur comprend un support à base d'alumine et contient du cobalt.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel ledit catalyseur a un diamètre moyen de pores compris entre 0,1 et 100 nm.
9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel ledit catalyseur a un diamètre moyen de pores compris entre 1 et 50 nm.
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel ladite pression partielle d'eau dans le réacteur est strictement inférieure à la pression partielle d'hydrogène.
11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel ladite pression partielle d'eau dans le réacteur reste inférieure ou égale à 0,8 fois la pression partielle d'hydrogène.
12. Procédé selon la revendication 10 ou 11, dans lequel ladite pression partielle d'eau dans le réacteur est inférieure à 0,7 fois la pression partielle d'hydrogène.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel le réacteur est opéré sous une pression totale comprise entre 0,1 et 15 MPa, à une température comprise entre 100 et 500°C et avec une vitesse volumétrique horaire du gaz de synthèse comprise entre 100 et 20000 h⁻¹.