



- (72) ALARIO, Fabio, FR  
(72) DEVES, Jean-Marie, FR  
(72) EUZEN, Patrick, FR  
(71) INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE, FR  
(51) Int.Cl.<sup>6</sup> C10G 35/09  
(30) 1995/06/16 (95/07182) FR  
(30) 1995/06/16 (95/07186) FR  
(30) 1995/06/16 (95/07188) FR  
(30) 1995/06/16 (95/07189) FR  
(54) **METHOD FOR CATALYTICALLY CONVERTING  
HYDROCARBONS INTO AROMATIC COMPOUNDS USING A  
SILICON-CONTAINING CATALYST**  
(54) **PROCEDE DE TRANSFORMATION CATALYTIQUE  
D'HYDROCARBURES EN COMPOSES AROMATIQUES  
AVEC UN CATALYSEUR COMPRENANT DU SILICIUM**

(57) L'invention concerne un procédé de transformation d'hydrocarbures en composés aromatiques, en particulier de reformage catalytique des essences et de production de composés aromatiques à partir d'hydrocarbures paraffiniques et naphthéniques, procédé dans lequel la charge à traiter est soumise à l'action d'un catalyseur. Ce catalyseur comprend une matrice d'alumine de transition  $\gamma$ , d'alumine de transition  $\gamma$  ou d'un mélange de ces alumines, et de 0,001 à 2 % en poids de silicium, de 0,1 à 15 % en poids d'au moins un halogène choisi dans le groupe formé par le fluor, le chlore, le brome et l'iode, de 0,01 à 2 % en poids d'au moins un métal noble de la famille du platine, et de 0,005 à 10 % en poids d'au moins un métal promoteur choisi dans le groupe formé par l'étain, le germanium, l'indium, le gallium, le thallium, l'antimoine, le plomb, le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène et le tungstène, et éventuellement de 0,001 à 10 % en poids d'un métal dopant.

(57) A method for converting hydrocarbons into aromatic compounds, and particularly for catalytically reforming petrols and producing aromatic compounds from paraffinic and naphthenic hydrocarbons, wherein the feedstock to be processed is contacted with a catalyst which includes a matrix consisting of transition alumina  $\gamma$ , transition alumina  $\gamma$  or a mixture thereof, and 0.001-2 wt.% of silicon, 0.1-15 wt.% of at least one halogen selected from the group which consists of fluorine, chlorine, bromine and iodine, 0.01-2 wt.% of at least one noble metal from the platinum family, 0.005-10 wt.% of at least one promoter metal selected from the group which consists of tin, germanium, indium, gallium, thallium, antimony, lead, rhenium, manganese, chromium, molybdenum and tungsten, and optionally 0.001-10 wt.% of a doping metal.



PCT

ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE  
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

<b>(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> :</b> <b>C10G 35/09, B01J 23/56, 23/89</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Numéro de publication internationale:</b> <b>WO 97/00306</b> <b>(43) Date de publication internationale:</b> 3 janvier 1997 (03.01.97)
<b>(21) Numéro de la demande internationale:</b> PCT/FR96/00919 <b>(22) Date de dépôt international:</b> 14 juin 1996 (14.06.96) <b>(30) Données relatives à la priorité:</b> 95/07182                      16 juin 1995 (16.06.95)                      FR 95/07186                      16 juin 1995 (16.06.95)                      FR 95/07189                      16 juin 1995 (16.06.95)                      FR 95/07188                      16 juin 1995 (16.06.95)                      FR  <b>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US):</b> INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE [FR/FR]; 1 et 4, avenue de Bois-Préau, F-92506 Rueil-Malmaison (FR).  <b>(72) Inventeurs; et</b> <b>(75) Inventeurs/Déposants (US seulement):</b> ALARIO, Fabio [FR/FR]; 16, rue de l'Eglise, F-92200 Neuilly-sur-Seine (FR). DEVES, Jean-Marie [FR/FR]; 3, avenue Claude-Monet, F-78400 Chatou (FR). EUZEN, Patrick [FR/FR]; 12, rue du Général-Noël, F-92500 Rueil-Malmaison (FR).  <b>(74) Mandataire:</b> SOCIETE DE PROTECTION DES INVENTIONS; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).		<b>(81) Etats désignés:</b> CA, CN, JP, KR, RU, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Publiée</b> <i>Avec rapport de recherche internationale.</i>

**(54) Title:** METHOD FOR CATALYTICALLY CONVERTING HYDROCARBONS INTO AROMATIC COMPOUNDS USING A SILICON-CONTAINING CATALYST

**(54) Titre:** PROCEDE DE TRANSFORMATION CATALYTIQUE D'HYDROCARBURES EN COMPOSES AROMATIQUES AVEC UN CATALYSEUR COMPRENANT DU SILICIUM

**(57) Abstract**

A method for converting hydrocarbons into aromatic compounds, and particularly for catalytically reforming petrols and producing aromatic compounds from paraffinic and naphthenic hydrocarbons, wherein the feedstock to be processed is contacted with a catalyst which includes a matrix consisting of transition alumina  $\eta$ , transition alumina  $\gamma$  or a mixture thereof, and 0.001-2 wt.% of silicon, 0.1-15 wt.% of at least one halogen selected from the group which consists of fluorine, chlorine, bromine and iodine, 0.01-2 wt.% of at least one noble metal from the platinum family, 0.005-10 wt.% of at least one promoter metal selected from the group which consists of tin, germanium, indium, gallium, thallium, antimony, lead, rhenium, manganese, chromium, molybdenum and tungsten, and optionally 0.001-10 wt.% of a doping metal.

**(57) Abrégé**

L'invention concerne un procédé de transformation d'hydrocarbures en composés aromatiques, en particulier de reformage catalytique des essences et de production de composés aromatiques à partir d'hydrocarbures paraffiniques et naphthéniques, procédé dans lequel la charge à traiter est soumise à l'action d'un catalyseur. Ce catalyseur comprend une matrice d'alumine de transition  $\eta$ , d'alumine de transition  $\gamma$  ou d'un mélange de ces alumines, et de 0,001 à 2 % en poids de silicium, de 0,1 à 15 % en poids d'au moins un halogène choisi dans le groupe formé par le fluor, le chlore, le brome et l'iode, de 0,01 à 2 % en poids d'au moins un métal noble de la famille du platine, et de 0,005 à 10 % en poids d'au moins un métal promoteur choisi dans le groupe formé par l'étain, le germanium, l'indium, le gallium, le thallium, l'antimoine, le plomb, le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène et le tungstène, et éventuellement de 0,001 à 10 % en poids d'un métal dopant.

PROCEDE DE TRANSFORMATION CATALYTIQUE D'HYDROCARBURES  
EN COMPOSES AROMATIQUES AVEC UN CATALYSEUR COMPRENANT  
DU SILICIUM

5 DESCRIPTION

L'invention a pour objet un procédé de transformation catalytique d'hydrocarbures en composés aromatiques, utilisable en particulier pour le reformage des essences et la production d'aromatiques.

10 De façon plus précise, elle concerne un procédé de ce type utilisant comme catalyseur un catalyseur multifonctionnel à matrice d'alumine.

Le reformage catalytique est un procédé permettant d'améliorer l'indice d'octane des coupes pétrolières et en particulier de l'essence lourde de distillation par transformation des n-paraffines et des naphènes en hydrocarbures aromatiques.

15 L'opération de reformage catalytique consiste donc à transformer d'une part les n-paraffines en C<sub>7</sub>-C<sub>10</sub> en aromatiques et en paraffines légères et d'autre part les naphènes en C<sub>7</sub>-C<sub>10</sub> en aromatiques et en paraffines légères. Ces réactions sont illustrées notamment par la transformation par déshydrogénation des cyclohexanes et la déhydroisomérisation des  
25 alkylcyclopentanes pour donner des aromatiques, le méthylcyclohexane donnant par exemple du toluène, ainsi que par la transformation par cyclisation des n-paraffines en aromatiques, le n-heptane donnant par exemple du toluène.

30 Lors du reformage catalytique se produisent également des réactions de craquage des n-paraffines lourdes en paraffines légères conduisant notamment à des produits en C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> essentiellement du propane, de l'isobutane : ces réactions sont préjudiciables au  
35 rendement en reformat.

Enfin, il se produit également la formation de coke par condensation de noyaux aromatiques formant un produit solide, riche en carbone qui se dépose sur le catalyseur.

5 Les catalyseurs de reformage sont extrêmement sensibles outre le coke à divers poisons susceptibles de dégrader leur activité : en particulier le soufre, l'azote, les métaux et l'eau.

10 Le coke, en se déposant sur la surface du catalyseur entraîne une perte d'activité au cours du temps qui conduit à des températures de fonctionnement plus élevées, un rendement en reformat plus faible, et un rendement en gaz plus important.

15 De ce fait et eu égard à la régénération du catalyseur, le procédé de reformage catalytique peut être mis en oeuvre de deux manières différentes : de manière semi-régénérative ou cyclique et de manière continue. Dans le premier cas, le procédé est réalisé en lit fixe, dans le second en lit mobile.

20 Dans le procédé semi-régénératif pour compenser la perte d'activité du catalyseur, on augmente progressivement la température puis l'installation est arrêtée pour procéder à la régénération du catalyseur en éliminant le coke. Dans le reformage cyclique qui  
25 est en fait une variante du procédé semi-régénératif, l'installation comporte plusieurs réacteurs en série et chacun est mis hors service à tour de rôle, les dépôts de coke sont éliminés du catalyseur mis hors circuit et le catalyseur régénéré tandis que les autres réacteurs  
30 restent en fonctionnement.

Dans le reformage continu, les réacteurs mis en oeuvre sont des réacteurs à lit mobile opérant à basse pression (moins de 15 bars), ce qui permet d'améliorer de façon importante les rendements en reformat et en  
35 hydrogène en favorisant les réactions d'aromatization

au détriment de celle de craquage, par contre la formation de coke est fortement accélérée. Le catalyseur traverse les réacteurs puis une action régénératrice.

5 Les procédés de production d'aromatiques impliquent des réactions de transformation des hydrocarbures paraffiniques et naphténiques en composés aromatiques.

Dans ces procédés de transformation  
10 d'hydrocarbures, on utilise habituellement des catalyseurs bifonctionnels contenant par exemple du platine et un support d'alumine chloré, qui associent la fonction acide de l'alumine chloré nécessaire pour les réactions d'isomérisation de naphtènes  
15 cyclopentaniques et de cyclisation des paraffines à la fonction déshydrogénante du platine nécessaire pour les réactions de déshydrogénation. Des catalyseurs de ce type comprenant de plus un autre métal tel que le rhénium, l'étain ou le plomb ont été décrits dans US-A-  
20 3 700 588 et US-A- 3 415 737.

Comme on l'a vu ci-dessus, les procédés de reformage catalytique peuvent être mis en oeuvre en utilisant soit un lit fixe, soit un lit mobile de catalyseur.

25 Dans chaque cas, le catalyseur subit un traitement de régénération se déroulant à haute température et en présence de vapeur d'eau, qui consiste, entre autres, à brûler le coke déposé sur le catalyseur. Malheureusement les conditions de ce  
30 traitement sont favorables à la dégradation du catalyseur. Il est donc important de rechercher à augmenter la résistance du catalyseur dans ces conditions.

Le catalyseur se présente généralement sous la  
35 forme d'extrudés ou de billes d'une taille suffisante

de manière à laisser un passage relativement facile aux réactifs et produits gazeux. Il se produit une usure du catalyseur, en particulier par frottement dans les procédés à lit mobile, ce qui provoque la formation de  
5 poussières et de grains plus fins. Ces grains plus fins perturbent l'écoulement gazeux et obligent à augmenter la pression d'entrée des réactifs voire, dans certains cas, à arrêter l'unité. Dans les unités à lit mobile, cette usure progressive a de plus pour conséquence de  
10 perturber la circulation du catalyseur et de nécessiter l'appoint fréquent de catalyseur neuf.

Un catalyseur tel qu'un catalyseur de reformage doit donc répondre à un grand nombre d'exigences dont certaines peuvent apparaître comme étant  
15 contradictoires. Ce catalyseur doit tout d'abord présenter la plus grande activité possible permettant d'obtenir des rendements élevés, mais cette activité doit se conjuguer avec la plus grande sélectivité possible, c'est-à-dire que les réactions de craquage  
20 conduisant à des produits légers contenant de 1 à 4 atomes de carbone doivent être limitées.

D'autre part, le catalyseur doit présenter une grande stabilité vis-à-vis de sa désactivation par dépôt de coke ; le catalyseur doit également avoir une  
25 excellente résistance à la dégradation lorsqu'il doit subir les conditions extrêmes régnant dans les opérations de régénération répétées qu'il doit subir.

Dans le cas du procédé de reformage continu mettant en oeuvre des réacteurs à lit mobile et comme  
30 cela est mentionné ci-dessus, les catalyseurs sont également soumis à une usure intense et progressive par frottement qui conduit à une diminution sensible de leur surface spécifique et à la formation de "fines" préjudiciables au fonctionnement de l'installation. Les  
35 catalyseurs actuellement disponibles, s'ils peuvent

répondre à l'une ou à plusieurs de ces conditions, ne satisfont pas à l'ensemble des exigences mentionnées ci-dessus.

5 Aussi, malgré les nombreux perfectionnements déjà réalisés sur les catalyseurs bifonctionnels utilisés, on recherche encore de nouveaux catalyseurs présentant des performances améliorées, non seulement en ce qui concerne le rendement des réactions de transformation, mais aussi la durée de vie du catalyseur.

10 La présente invention a précisément pour objet un procédé de transformation d'hydrocarbures utilisant un catalyseur multi-fonctionnel qui présente des performances catalytiques améliorées et une durée de vie accrue dans les réactions de reformage et de  
15 production d'aromatiques.

Selon l'invention, le procédé de transformation d'hydrocarbures en composés aromatiques consiste à mettre en contact une charge desdits hydrocarbures avec un catalyseur dans des conditions de température et de  
20 pression appropriées à ladite transformation, et il se caractérise en ce que le catalyseur comprend :

- une matrice constituée de 0 à 100 % en poids d'alumine de transition  $\eta$ , le complément à 100 % en poids de la matrice étant de l'alumine de  
25 transition  $\gamma$ , et

- par rapport au poids total du catalyseur,  
de 0,001 à 2 % en poids de silicium,  
de 0,1 à 15 % en poids d'au moins un halogène choisi dans le groupe formé par le fluor, le  
30 chlore, le brome et l'iode,

de 0,01 à 2 % en poids d'au moins un métal noble de la famille du platine,

de 0,005 à 10 % en poids d'au moins un métal promoteur choisi dans le groupe formé par  
35 l'étain, le germanium, l'indium, le gallium, le

thallium, l'antimoine, le plomb, le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène et le tungstène, ledit catalyseur ayant subi un traitement hydrothermique complémentaire, à une température de 300  
5 à 1000°C, dans une atmosphère gazeuse contenant de la vapeur d'eau.

Selon une variante de réalisation de l'invention, le catalyseur comprend de plus de 0,001 à 10 % en poids d'au moins un métal dopant choisi  
10 dans le groupe constitué des métaux alcalins et alcalino-terreux, des lanthanides, du titane, du zirconium, de l'hafnium, du cobalt, du nickel et du zinc.

On précise que dans la suite de ce texte toutes  
15 les teneurs en silicium, halogène, métal noble, métal promoteur et métal dopant sont exprimées en % en poids par rapport au poids total du catalyseur, sauf indications contraires. Par ailleurs, ces teneurs correspondent à la teneur totale en constituant (métal  
20 dopant, halogène, métal noble ou métal promoteur) lorsque le constituant comporte plusieurs éléments (halogènes ou métaux).

Selon l'invention, la réalisation d'un traitement hydrothermique complémentaire du catalyseur est très  
25 importante. En effet, dans les catalyseurs de l'invention, il a été constaté que la présence de silicium préserve la matrice en alumine(s) du catalyseur d'une perte de surface spécifique lorsqu'il sera soumis aux traitements de régénération nécessaires  
30 à sa mise en oeuvre dans des réactions de transformation d'hydrocarbures, mais le catalyseur au silicium a l'inconvénient de produire un craquage important. De façon inattendue, le déposant a constaté que le traitement hydrothermique complémentaire sévère  
35 en présence d'eau appliqué à ce type de catalyseur a

pour effet de préserver la perte de surface spécifique, tout en améliorant les performances catalytiques (craquage plus faible).

De préférence, ce traitement hydrothermique complémentaire est effectué dans une atmosphère gazeuse contenant non seulement de la vapeur d'eau, mais également un halogène tel que le chlore.

Un catalyseur préféré de l'invention comprend :

- un support constitué d'une matrice d'alumine  $\gamma$ , d'alumine  $\eta$  ou d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$ , et de silicium,
- au moins un halogène,
- un métal catalytique assurant la fonction de déshydrogénation du catalyseur, constitué par un ou plusieurs métaux nobles de la famille du platine, et
- au moins un métal promoteur choisi parmi les métaux cités ci-dessus.

Selon l'invention la matrice est à base d'un oxyde d'aluminium hydraté. On sait que des supports en oxyde d'aluminium de formule générale  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ , avec  $n$  allant de 0 à 0,6, qui présentent une surface spécifique de 150 à 400  $m^2/g$ , peuvent être obtenus par déshydratation contrôlée d'hydroxydes d'aluminium amorphes dans lesquels  $n$  a une valeur allant de 1 à 3. Les hydroxydes amorphes de départ peuvent exister sous plusieurs formes dont les plus communes sont la boehmite ( $n = 1$ ), la gibbsite et la bayérite ( $n = 3$ ), et ils peuvent conduire lors du traitement de déshydratation à plusieurs oxydes ou alumines de transition tels que les formes  $\rho, \gamma, \eta, \chi, \theta, \delta, \kappa$  et  $\alpha$  qui se différencient essentiellement par l'organisation de leur structure cristalline. Lors de traitements thermiques, ces différentes formes sont susceptibles d'évolution entre elles, selon une filiation complexe qui dépend des conditions opératoires du traitement. La

forme  $\alpha$  qui présente une surface spécifique et une acidité presque nulles, est la plus stable à haute température. Pour les catalyseurs de reformage, l'alumine de transition de forme  $\gamma$  est la plus souvent employée, en raison du compromis qu'elle présente entre ses propriétés d'acidité et de stabilité thermique.

Selon l'invention, on utilise de l'alumine de transition  $\gamma$ , de l'alumine de transition  $\eta$ , ou de préférence un mélange d'alumine de transition  $\gamma$  et d'alumine de transition  $\eta$ .

L'alumine de transition  $\eta$  peut être obtenue par calcination de bayérite sous air sec, à la pression atmosphérique, entre 250 et 500°C, de préférence entre 300 et 450°C. La surface spécifique atteinte qui dépend de la température finale de calcination, se situe entre 300 et 500 m<sup>2</sup>/g. L'alumine  $\gamma$  provient, elle de la boehmite par calcination sous air à une température comprise entre 450 et 600°C. La surface spécifique de l'alumine  $\gamma$  obtenue est comprise entre 100 et 300 m<sup>2</sup>/g.

Ces deux alumines de transition ont des structures cristallines proches mais distinctes. La technique de diffraction des rayons X permet notamment de les différencier. Leurs structures sont de type spinelle avec des défauts, leurs réseaux s'écartant légèrement de la symétrie cubique. Cette déformation quadratique est minime pour la forme  $\eta$  et nettement marquée pour l'alumine  $\gamma$  dont les paramètres de maille sont les suivants :  $a = b = 7,95 \text{ \AA}$  et  $c = 7,79 \text{ \AA}$ .

Selon l'invention lorsqu'on utilise un mélange d'alumine de transition  $\gamma$  et d'alumine de transition  $\eta$ , celui-ci peut comprendre de 0,1 jusqu'à 99 % ou plutôt de 1 à 84 % en poids d'alumine  $\eta$ . De préférence, ce mélange comprend 3 à 70 % en poids, et mieux encore de 5 à 50 % en poids d'alumine de transition  $\eta$ , le

complément à 100 % en poids du mélange étant de l'alumine de transition  $\gamma$ .

Selon l'invention, la matrice en alumine est modifiée par du silicium.

5 La teneur en silicium du catalyseur est de 0,001 à 2 % en poids, de préférence de 0,01 à 1 % en poids.

Le ou les halogène(s) utilisé(s) pour acidifier le support peuvent représenter au total 0,1 à 15 % en poids, de préférence 0,2 à 10 % en poids. De  
10 préférence, on utilise un seul halogène, en particulier le chlore.

Le catalyseur comprend également un ou plusieurs métaux promoteurs qui ont pour effet de promouvoir l'activité déshydrogénante du métal noble du groupe du platine et de limiter la perte de dispersion des atomes  
15 de métal noble à la surface du support, qui est en partie responsable de la désactivation du catalyseur.

La teneur totale en métaux promoteurs est de 0,005 à 10 % en poids, de préférence de 0,01 à 1 % en  
20 poids.

Les métaux promoteurs sont choisis en fonction du mode d'utilisation du catalyseur.

Ainsi, lorsque le catalyseur est destiné à être utilisé dans un procédé à lit fixe, le métal promoteur  
25 est choisi de préférence dans le groupe constitué par le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène, le tungstène, l'indium et le thallium.

Lorsque le catalyseur doit être utilisé dans un procédé à lit mobile, le métal promoteur est de  
30 préférence choisi dans le groupe constitué par l'étain, le germanium, l'indium, l'antimoine, le plomb, le thallium et le gallium.

Parmi ceux-ci, on préfère de plus le rhénium pour les procédés à lit fixe et l'étain pour les procédés à

lit mobile car ceux-ci procurent les meilleurs effets de promotion de l'activité du catalyseur.

Le rhénium permet en particulier d'accroître la stabilité du catalyseur vis-à-vis de sa désactivation par dépôt de coke. On utilise donc de préférence le rhénium dans les catalyseurs destinés aux unités à lit fixe car ce gain de stabilité permet d'allonger la durée des cycles réactionnels compris entre deux régénérations du catalyseur.

L'étain, quant à lui, permet d'améliorer les performances des catalyseurs lorsqu'on les utilise à basse pression. Cette amélioration conjointe à la plus faible activité craquante des catalyseurs utilisant l'étain permet d'obtenir des rendements en reformat améliorés, surtout dans les procédés à régénération continue à lit mobile fonctionnant à basse pression opératoire.

La teneur totale en métal (métaux) promoteur(s) est de 0,005 à 10 % en poids, de préférence de 0,01 à 1 % en poids.

Lorsque le catalyseur ne contient qu'un seul métal promoteur, par exemple le rhénium ou l'étain, il est présent de préférence, à raison de 0,005 à 0,9 % en poids et mieux encore de 0,01 à 0,8 % en poids.

Le catalyseur de l'invention comprend de plus au moins un métal noble de la famille du platine à une teneur de 0,01 à 2 % en poids, de préférence de 0,1 à 0,8 % en poids.

Les métaux nobles susceptibles d'être utilisés sont le platine, le palladium, l'iridium ; on préfère le platine.

Selon une variante de réalisation de l'invention, le catalyseur comprend de plus de 0,001 à 10 % en poids d'au moins un métal dopant choisi dans le groupe constitué des métaux alcalins et

alcalino-terreux, des lanthanides, du titane, du zirconium, de l'hafnium, du cobalt, du nickel et du zinc.

Dans ce cas, la matrice en alumine est modifiée  
5 par du silicium et par un ou plusieurs métaux dopants.

De préférence, les métaux dopants appartiennent à un seul des groupes suivants :

- 1)- groupe des métaux alcalins et alcalino-terreux,
- 10 2)- groupe des lanthanides, et
- 3)- groupe constitué par le titane, le zirconium, l'hafnium, le cobalt, le nickel et le zinc.

Dans le cas des métaux dopants appartenant au premier groupe (métaux alcalins et alcalino-terreux) la  
15 teneur totale en métal dopant du catalyseur est généralement de 0,001 à 8 % en poids.

Les métaux alcalins utilisés peuvent être le lithium, le sodium, le potassium, le rubidium et le césium; les métaux alcalino-terreux peuvent être  
20 choisis parmi le béryllium, le magnésium, le calcium, le strontium et le baryum.

La teneur en métal dopant du premier groupe est choisie en particulier en fonction du réacteur dans lequel sera utilisé le catalyseur de l'invention.

25 Ainsi, dans le cas d'un réacteur à lit fixe, la teneur en métal dopant du catalyseur se situe généralement dans la gamme de 0,001 à 0,3 %, de préférence de 0,005 à 0,3 % et mieux encore de 0,01 à 0,3 %, en poids.

30 Dans le cas d'un réacteur à lit mobile, la teneur en métal dopant du catalyseur est plus élevée, généralement de plus de 0,3 à 8 %, de préférence de plus de 0,3 à 4 % et mieux encore de 0,7 à 4 % en poids.

De préférence, le métal dopant est un métal alcalin tel que le potassium.

Dans le cas des métaux dopants appartenant au second groupe (lanthanides), la teneur totale en métal dopant du catalyseur peut être de 0,001 à 10 % en poids.

Le groupe des lanthanides ou terres rares est constitué par les éléments de la famille du lanthane dans le classement périodique de Mendeleef et dont les numéros atomiques vont de 57 à 71, par exemple le lanthane, le cérium, le néodyme et le praséodyme.

La teneur totale en métal dopant du second groupe est choisie en particulier également en fonction du réacteur dans lequel sera utilisé le catalyseur.

Ainsi, elle peut être de préférence de 0,001 à 0,5 % et mieux encore de 0,01 à 0,5 % en poids quand le catalyseur est utilisé dans un procédé à lit fixe. De préférence, elle est de plus de 0,5 à 10 %, mieux encore de plus de 0,5 à 4 % en poids quand le catalyseur est utilisé dans un procédé à lit mobile.

Dans le cas des métaux dopants appartenant au troisième groupe (Ti, Zr, Hf, Co, Ni, Zn,), la teneur totale en métal dopant du catalyseur peut être de 0,001 à 10 % en poids.

Elle peut être choisie également en fonction du réacteur dans lequel sera utilisé le catalyseur.

Ainsi, la teneur totale en métal dopant du troisième groupe est, de préférence, de 0,001 à 0,7 % et mieux encore de 0,01 à 0,7 % en poids quand le catalyseur est utilisé dans un procédé à lit fixe. De préférence, elle est de plus de 0,7 à 10 % et mieux encore de plus de 0,7 à 4 % en poids quand le catalyseur est utilisé dans un procédé à lit mobile.

Le catalyseur de l'invention peut être préparé par dépôt de ses différents constituants sur la matrice

en alumine. Le dépôt de chaque constituant peut être effectué, en totalité ou partiellement sur l'une ou les deux alumines de la matrice avant ou après mise en forme de celle-ci. Les constituants peuvent être  
5 déposés séparément ou simultanément dans n'importe quel ordre.

Ainsi, lorsqu'on utilise comme matrice un mélange d'alumines, on peut déposer les constituants du catalyseur sur les deux alumines ou sur l'une d'entre  
10 elles, de préférence sur l'alumine  $\eta$  avant d'effectuer le mélange des deux alumines et leur mise en forme.

On peut aussi effectuer le dépôt partiel ou total d'un ou de certains constituants sur les deux alumines ou l'une d'entre elles avant leur mélange, puis  
15 effectuer les autres dépôts après mélange des deux alumines, soit avant, soit après la mise en forme du mélange. Lorsqu'on dépose un ou plusieurs constituants avant de mélanger les deux alumines, on effectue, de préférence, le dépôt de silicium sur l'alumine de  
20 transition  $\eta$ .

Toutefois, selon l'invention, on préfère généralement mélanger les deux alumines avant de déposer les constituants métalliques et le ou les halogènes.

25 Aussi, selon l'invention, on peut préparer le catalyseur par un procédé comprenant les étapes suivantes :

a) préparation éventuellement par mélange puis par mise en forme d'une matrice en alumine de  
30 transition  $\gamma$ , en alumine de transition  $\eta$ , ou en mélange d'alumine de transition  $\eta$  et d'alumine de transition  $\gamma$ ,

b) dépôt sur au moins une des alumines de transition  $\gamma$  et  $\eta$  des constituants suivants, dans les pourcentages en poids donnés ci-dessous, qui se  
35 rapportent au poids total du catalyseur,

- de 0,001 à 2 % en poids, de préférence de 0,01 à 1 % en poids, de silicium,

- de 0,1 à 15 %, de préférence 0,2 à 10 %, en poids d'au moins un halogène choisi dans le groupe  
5 constitué par le fluor, le chlore, le brome et l'iode,

- de 0,01 à 2 % d'au moins un métal noble de la famille du platine, et

- de 0,005 à 10 % en poids d'au moins métal promoteur choisi dans le groupe constitué par l'étain,  
10 le germanium, l'indium, le gallium, le thallium, l'antimoine, le plomb, le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène et le tungstène,

- éventuellement de 0,001 à 10 % en poids d'au moins un métal dopant choisi dans le groupe  
15 constitué des métaux alcalins et alcalino-terreux, des lanthanides, du titane, du zirconium, de l'hafnium, du cobalt, du nickel et du zinc.

les étapes a) et b) pouvant être effectuées dans n'importe quel ordre et les dépôts de l'étape b)  
20 pouvant être réalisés en partie seulement avant l'étape a) et pouvant être effectués dans n'importe quel ordre ; et

c) traitement hydrothermique complémentaire du catalyseur obtenu après les étapes a) et b), à une  
25 température de 300 à 1000°C, dans une atmosphère gazeuse contenant de la vapeur d'eau.

Selon un mode préféré de mise en oeuvre de ce procédé, on prépare tout d'abord un support formé de la matrice d'alumine et de Si, puis on dépose sur celui-ci  
30 le ou les métaux dopants, le ou les métaux promoteurs, le ou les halogènes, et le ou les métaux nobles de la famille du platine.

Dans ce cas, on peut déposer Si sur l'alumine ou le mélange d'alumines, avant ou après mise en forme.

De préférence, on dépose le silicium après mise en forme de la matrice d'alumine.

Le dépôt des différents constituants du catalyseur peut être effectué par des techniques classiques, en phase liquide ou en phase gazeuse, à partir de composés précurseurs appropriés. Lorsque le dépôt est effectué sur la matrice en alumine mise en forme, les techniques employées peuvent être par exemple l'imprégnation à sec, l'imprégnation par excès de solution ou l'échange ionique. Cette opération est suivie si nécessaire d'un séchage et d'une calcination à une température de 300 à 900°C, de préférence en présence d'oxygène.

Ainsi, le silicium peut être déposé à partir de composés tels que les tétraorthosilicates d'alkyle, les alkoxydes de silicium, les silicates d'ammonium quaternaire, les silanes, les disilanes, les silicones, les siloxanes, les halogénures de silicium, les halogénosilicates et silicium sous forme de microbilles de silice colloïdale. Dans le cas où le précurseur de silicium est un fluorosilicate, celui-ci peut répondre à la formule  $M_{2/x}SiF_6$ , dans laquelle M est un cation métallique ou non métallique possédant la valence x, choisi parmi les cations suivants :  $NH_4^+$ , des alkyl ammonium,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^+$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cs^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Rb^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Tl^+$  et  $H^+$ .

Lorsque le silicium est déposé après la mise en forme de la matrice d'alumine, on effectue de préférence ce dépôt par imprégnation en milieu aqueux en utilisant un excès de solution aqueuse de précurseur. On élimine ensuite le solvant d'imprégnation, par exemple par séchage et on procède à une calcination sous air, à une température comprise par exemple entre 300 et 900°C.

5

Le dépôt du ou des métaux dopants du premier  
10 groupe choisis parmi les métaux alcalins et alcalino-  
terreux peut être effectué par n'importe quelle  
technique et intervenir à n'importe quel stade du  
procédé de préparation du catalyseur. Lorsque ce dépôt  
est réalisé après la mise en forme de la matrice  
15 d'alumine, on utilise, de préférence, l'imprégnation en  
milieu aqueux par excès de solution, suivie d'un  
séchage pour éliminer le solvant d'imprégnation et  
d'une calcination sous air à une température comprise  
par exemple entre 300 et 900°C.

20 Les composés précurseurs utilisés peuvent être  
par exemple des sels de métaux alcalins et alcalino-  
terreux tels que les halogénures, les nitrates, les  
carbonates, les acétates, les sulfates, les cyanures et  
les oxalates.

25 Le dépôt du ou des métaux dopants du second groupe  
(lanthanides) peut être effectué par toutes les  
techniques connues de l'homme de l'art, et peut  
intervenir à tout moment de la préparation du  
catalyseur. Par exemple, dans le cas où cet élément du  
30 groupe des lanthanides ou terres rares est déposé après  
la mise en forme de la ou des alumines contenant  
éventuellement d'autres métaux, on peut utiliser  
l'imprégnation à sec, l'imprégnation par excès de

solution ou l'échange ionique. Sur une matrice déjà mise en forme, une méthode préférée d'introduction de cet élément additionnel est l'imprégnation en milieu aqueux en utilisant un excès de solution. Afin  
5 d'éliminer le solvant d'imprégnation, cette imprégnation est suivie d'un séchage et d'une calcination sous air à une température comprise par exemple entre 300 et 900°C.

Les composés précurseurs peuvent être, par exemple,  
10 les halogénures, les nitrates, les carbonates, les acétates, les sulfates ou les oxalates desdits éléments.

Le dépôt du ou des métaux dopants du troisième groupe constitué par le titane, le zirconium,  
15 l'hafnium, le cobalt, le nickel et le zinc sur la matrice du catalyseur utilisé dans la présente invention, est réalisable selon toutes les techniques connues de l'homme de l'art, et peut intervenir à tout moment de la préparation du catalyseur. Par exemple,  
20 dans le cas où cet élément est déposé après la mise en forme de la ou des alumines contenant éventuellement d'autres métaux, on peut utiliser l'imprégnation à sec, l'imprégnation par excès de solution ou l'échange ionique. Sur une matrice déjà mise en forme, une  
25 méthode préférée d'introduction de cet élément additionnel est l'imprégnation en milieu aqueux en utilisant un excès de solution. Afin d'éliminer le solvant d'imprégnation, cette imprégnation est suivie d'un séchage et d'une calcination sous air à une  
30 température comprise par exemple entre 300 et 900°C.

Les dépôts de silicium et d'au moins un élément choisi dans le groupe constitué par le titane, le zirconium, l'hafnium, le cobalt, le nickel et le zinc

peuvent être réalisés indépendamment l'un de l'autre et, ou bien sur une alumine de transition ou sur la matrice non mises en forme, ladite matrice comprenant 0 à 99 % poids d'alumine de transition h et le  
5 complément à 100 % poids d'alumine de transition g, ou bien encore sur la matrice préformée, cette dernière méthode étant préférée.

Le dépôt du ou des métaux nobles de la famille du platine peut être effectué également par des techniques  
10 classiques, notamment l'imprégnation à partir d'une solution aqueuse ou non contenant un sel ou un composé du métal noble. A titre d'exemple de sels ou de composés utilisables, on peut citer l'acide chloroplatinique, les composés ammoniacés, le  
15 chloroplatinate d'ammonium, le dichlorure de platine dicarbonyle, l'acide hexahydroxyplatiniq ue, le chlorure de palladium et le nitrate de palladium.

Dans le cas du platine, les composés ammoniacés peuvent être par exemple les sels de platine IV  
20 hexamines de formule  $Pt(NH_3)_6X_4$ , les sels de platine IV halogénopentamines de formule  $(PtX(NH_3)_5)X_3$ , les sels de platine tétrahalogénodiamines de formule  $PtX_4(NH_3)_2X$ , les complexes de platine avec les halogènes-polycétones et les composés halogénés de  
25 formule H  $(Pt(aca)_2X)$  dans lesquels l'élément X est un halogène choisi dans le groupe formé par le chlore, le fluor, le brome et l'iode, et de préférence le chlore, et le groupe aca représente le reste de formule  $C_5H_7O_2$  dérivé de l'acétylacétone. L'introduction du métal  
30 noble de la famille du platine est de préférence effectué par imprégnation à l'aide d'une solution aqueuse ou organique de l'un des composés organométalliques cités ci-dessus. Parmi les solvants organiques utilisables, on peut citer les hydrocarbures  
35 paraffiniques, naphténiques ou aromatiques, et les

composés organiques halogénés ayant par exemple 1 à 12 atomes de carbone par molécule. On peut citer par exemple le n-heptane, le méthylcyclohexane, le toluène et le chloroforme. On peut aussi utiliser des mélanges de solvants.

Après introduction du métal noble, on effectue de préférence un séchage et une calcination, par exemple à une température de 400 à 700°C.

Le dépôt du ou des métaux nobles de la famille du platine peut intervenir à tout moment lors de la préparation du catalyseur. Il peut être effectué isolément ou simultanément au dépôt d'autres constituants, par exemple du ou des métaux promoteurs. Dans ce dernier cas, on peut utiliser pour l'imprégnation une solution contenant tous les constituants à introduire simultanément.

Le dépôt du ou des métaux promoteurs peut être effectué également par des techniques classiques à partir de composés précurseurs tels que les halogénures, les nitrates, les acétates, les tartrates, les citrates, les carbonates et les oxalates de ces métaux. Tout autre sel ou oxyde de ces métaux soluble dans l'eau, les acides, ou dans un autre solvant approprié, convient également comme précurseur. A titre d'exemples de tels précurseurs, on peut ainsi citer les rhénates, les chromates, les molybdates et les tungstates. On peut aussi introduire le ou les métaux promoteurs, par mélange d'une solution aqueuse de leur(s) composé(s) précurseur(s) avec l'alumine ou les alumines-avant mise en forme, suivie d'une calcination sous air à une température comprise entre 400 et 900°C.

L'introduction du ou des métaux promoteurs peut être également effectuée à l'aide d'une solution d'un composé organométallique desdits métaux dans un solvant organique. Dans ce cas, on effectue de préférence ce

dépôt après celui du ou des métaux nobles de la famille du platine et calcination du solide, suivie éventuellement d'une réduction à l'hydrogène à haute température, par exemple entre 300 et 500°C. Les composés organométalliques sont choisis dans le groupe constitué par les complexes dudit métal promoteur, en particulier les complexes polycétoniques et les hydrocarbylemétaux tels que les alkyl, cycloalkyl, aryl, alkylaryl et arylalkyl métaux. On peut également employer des composés organohalogénés. On peut citer en particulier le tétrabutylétain dans le cas où le métal promoteur est l'étain, le tétraéthylplomb dans le cas où le métal promoteur est le plomb et le triphénylindium dans le cas où le métal promoteur est l'indium. Le solvant d'imprégnation peut être choisi dans le groupe constitué par les hydrocarbures paraffiniques, naphténiques ou aromatiques contenant de 6 à 12 atomes de carbone par molécule et les composés organiques halogénés contenant de 1 à 12 atomes de carbone par molécule. On peut citer par exemple le n-heptane, le méthylcyclohexane et le chloroforme. On peut aussi utiliser des mélanges des solvants définis ci-dessus.

L'halogène, par exemple le chlore, peut être introduit dans le catalyseur en même temps qu'un autre constituant métallique, par exemple dans les cas où on utilise un halogénure comme composé précurseur du métal de la famille de platine, du métal promoteur ou du métal alcalin ou alcalino-terreux. On peut aussi effectuer cette introduction par imprégnation du support au moyen d'une solution aqueuse contenant un acide ou un sel halogéné. Par exemple, le chlore peut être déposé en utilisant une solution d'acide chlorhydrique. On peut encore effectuer l'introduction de chlore par calcination du catalyseur à une

température allant par exemple de 400 à 900°C, en présence d'un composé organique contenant l'halogène comme par exemple  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  et  $\text{CH}_3\text{Cl}$ .

Bien-entendu, on peut introduire simultanément au moins deux constituants du catalyseur, par exemple à partir d'une solution comprenant des composés précurseurs de ceux-ci. On peut aussi introduire les constituants successivement dans n'importe quel ordre, à partir de solutions distinctes. Dans ce dernier cas, on peut procéder à des séchages et/ou des calcinations intermédiaires.

La mise en forme de la matrice d'alumine peut être réalisée en utilisant les techniques de mise en forme des catalyseurs connues de l'homme de l'art telles que par exemple : l'extrusion, la coagulation en goutte, la dragéification, le séchage par atomisation ou encore le pastillage.

De manière préférée, le procédé de préparation est caractérisé en ce qu'il comprend les étapes successives suivantes :

- a) mise en forme de la matrice d'alumine  $\gamma$  ou d'alumine  $\eta$  ou d'un mélange d'alumine  $\gamma$  ou d'alumine  $\eta$ ,
- b) dépôt de silicium sur cette matrice,
- c) dépôt éventuel d'au moins un métal dopant, et
- d) dépôt simultané ou successif
  - d'au moins un métal promoteur choisi parmi l'étain, le germanium, l'indium, le gallium, le thallium, l'antimoine, le plomb, le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène et le tungstène ;
  - d'au moins un élément choisi dans le groupe constitué par le fluor, le chlore, le brome et l'iode, et

- d'au moins un métal noble de la famille du platine.

Après mise en forme de la matrice et dépôt de tous les constituants, on peut procéder à un traitement  
5 thermique final entre 300 et 1000°C, qui peut ne comporter qu'une seule étape à une température de 400 à 900°C de préférence, et sous atmosphère contenant de l'oxygène, et de préférence en présence d'oxygène libre ou d'air. Ce traitement correspond généralement au  
10 séchage-calcination suivant le dépôt du dernier constituant. Après mise en forme de la matrice et dépôt de tous les constituants, on effectue le traitement hydrothermique complémentaire, réalisé à une température de 300 à 1000°C, de préférence de 400 à 700°C, dans  
15 une atmosphère gazeuse contenant de la vapeur d'eau et éventuellement un halogène tel que le chlore.

Ce traitement peut être effectué en lit traversé par un courant de gaz ou en atmosphère statique. De préférence, l'atmosphère gazeuse contient de l'eau et  
20 éventuellement au moins un halogène. La teneur molaire en eau est comprise entre 0,05 et 100 %, de préférence entre 1 et 50 %. La teneur molaire en halogène est comprise entre 0 et 20 %, de préférence entre 0 et 10 %, et de préférence encore entre 0 et 2 %. La durée  
25 de ce traitement est variable en fonction des conditions de température, pression partielle d'eau et quantité de catalyseur. Cette valeur est avantageusement comprise entre une minute et 30 heures, de préférence de 1 à 10 heures. L'atmosphère gazeuse  
30 utilisée est par exemple à base d'air, d'oxygène, ou d'un gaz inerte tel que l'argon ou l'azote.

Le rôle de ce traitement à haute température en présence d'eau est important. Comme cela est montré dans les exemples décrits ci-après, en présence de  
35 silicium qui préserve la matrice en alumine(s) d'une

perte de surface spécifique lors des différents traitements régénératifs, de façon inattendue, un traitement thermique sévère en présence d'eau appliqué à ce type de catalyseur a pour effet de le préserver  
5 d'une perte de surface spécifique, tout en améliorant les performances catalytiques.

Après le traitement thermique final, on peut faire subir au catalyseur un traitement d'activation sous hydrogène à haute température, par exemple à une  
10 température de 300 à 550°C.

La procédure de traitement sous hydrogène consiste par exemple en une montée lente de la température sous courant d'hydrogène jusqu'à la température maximale de réduction, comprise  
15 généralement entre 300 et 550°C et de préférence entre 350 et 450°C, suivie d'un maintien à cette température pendant une durée allant généralement de 1 à 6 heures.

Selon l'invention, on utilise le catalyseur décrit ci-dessus pour la transformation  
20 d'hydrocarbures, et plus particulièrement dans les procédés de reformage des essences et de production d'aromatiques.

Les procédés de reformage permettent d'augmenter l'indice d'octane des fractions essences provenant de la distillation du pétrole brut et/ou d'autres procédés  
25 de raffinage.

Les procédés de production d'aromatiques fournissent les bases (benzène, toluène et xylène) utilisables en pétrochimie. Ces procédés revêtent un  
30 intérêt supplémentaire en contribuant à la production de quantités importantes d'hydrogène indispensable pour les procédés d'hydrotraitement de la raffinerie.

Ces deux procédés se différencient par le choix de conditions opératoires et la composition de la  
35 charge.

La charge typique traitée par ces procédés contient des hydrocarbures paraffiniques, naphténiques et aromatiques contenant de 5 à 12 atomes de carbone par molécule. Cette charge est définie, entre autres, par sa densité et sa composition pondérale.

Pour mettre en oeuvre ces procédés, on met en contact la charge d'hydrocarbures avec le catalyseur de la présente invention dans des conditions appropriées, par exemple à une température de 400 à 700°C, sous une pression allant de la pression atmosphérique à 4 MPa, en utilisant la technique du lit mobile ou du lit fixe. Lorsqu'on opère en lit fixe, la pression est de 1 à 2 Mpa, lorsqu'on opère en lit mobile, la pression est de préférence de 0,1 à 0,9 Mpa.

Généralement la mise en contact est effectuée avec un débit massique de charge traitée par unité de masse de catalyseur et par heure allant de 0,1 à 10 kg/kg.h.

Une partie de l'hydrogène produit est recyclé selon un taux de recyclage molaire allant de 0,1 à 8. Ce taux est le rapport molaire du débit d'hydrogène recyclé sur le débit de charge.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture des exemples qui suivent, donnés bien-entendu à titre illustratif et non limitatif.

EXEMPLE 1 :

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés du silicium, du chlore, du rhénium et du platine.

a) Mise en forme de la matrice en alumine

On prépare tout d'abord la matrice en alumine par mélange mécanique d'une poudre d'alumine  $\gamma$  d'une surface spécifique de 220 m<sup>2</sup>/g et d'une poudre

d'alumine  $\eta$  de surface spécifique égale à  $320 \text{ m}^2/\text{g}$  qui a été préparée par calcination de bayérite. La proportion d'alumine  $\eta$  est de 10 % en poids. Ce mélange est ensuite mis en forme par extrusion, puis calciné  
5 sous un courant d'air sec à  $520^\circ\text{C}$  pendant 3 h.

b) Dépôt du silicium

Après refroidissement, on dépose du silicium sur la matrice calcinée par mise en contact avec une solution éthanolique d'orthosilicate de tétraéthyle  
10  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ . La concentration de cette solution est de 18,5 g de silicium par litre. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 2 h sous agitation. Le solvant est ensuite évaporé sous pression réduite. Puis les extrudés imprégnés sont séchés à  
15  $120^\circ\text{C}$  pendant 15 h, et calcinés à  $530^\circ\text{C}$  sous un courant d'air sec pendant 2 h.

c) Dépôt de platine, d'étain et de chlore

On dépose ensuite simultanément sur ce support, le platine, l'étain et le chlore par  
20 imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

0,96 g d'étain sous forme de  $\text{SnCl}_2$ , et

0,81 g de platine sous forme d' $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ .

La solution est laissée au contact du support pendant  
25 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à  $120^\circ\text{C}$ , le support imprégné est calciné à  $530^\circ\text{C}$  pendant 3 h sous courant d'air sec.

d) Traitement hydrothermique

On effectue alors un traitement  
30 hydrothermique en présence d'eau et de chlore. Dans ce but, on traite le catalyseur à  $510^\circ\text{C}$  pendant 2 h sous un courant de  $2000 \text{ dm}^3/\text{h}$  d'air pour 1 kg de produit solide. Cet air contient de l'eau et du chlore injectés dans une zone de préchauffage située en amont du lit de

solide. Les concentrations molaires en eau et en chlore sont respectivement égales à 1 % et 0,05 % .

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 1.

5 EXEMPLE 2 :

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 1 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique de l'étape d).

10 Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 1.

EXEMPLE COMPARATIF 1:

15 Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 1, mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$ , et on ne réalise pas l'étape b) de dépôt de silicium et l'étape d) de traitement hydrothermique.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont également données dans le tableau 1.

20

Tableau 1

Catalyseur	Proportion alumine $\eta$ (% poids de la matrice)	Surface spécifique ( $m^2/g$ )	Teneur en platine (% en poids)	Teneur en étain (% en poids)	Teneur en chlore (% en poids)	Teneur en silicium (% en poids)
Ex 2	10	227	0,25	0,17	1,08	1,04
Ex 1	10	228	0,24	0,18	1,13	1,02
Ex comparatif 1	0	219	0,23	0,18	1,15	0

EXEMPLE 3 :

25 Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 1 et 2 et de l'exemple comparatif, pour la

transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

	masse volumique à 20°C	0,736	kg/dm <sup>3</sup>
	indice d'octane recherché	~ 38	
5	teneur en paraffines	54,8 %	en poids
	teneur en naphènes	33,1 %	en poids
	teneur en aromatiques	12,1 %	en poids

Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :

	température	500°C
10	pression totale	1,0 Mpa
	débit de charge	1,8 kg/kg de catalyseur
	durée	100 h

A la fin de la durée de fonctionnement, le catalyseur désactivé est régénéré par combustion contrôlée du coke et ajustement de sa teneur en chlore à environ 1,10 % en poids. La surface spécifique du support est mesurée après cette régénération. Puis après activation à haute température du catalyseur par de l'hydrogène, la charge est injectée pour une nouvelle période de fonctionnement. Ainsi, chaque catalyseur a été soumis à 5 cycles fonctionnement-régénération. Les surfaces spécifiques correspondant au début du premier et du dernier cycles et les performances obtenues après 15 h de fonctionnement dans chacun de ces deux cycles sont reportées dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2

Catalyseur	cycle	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	rendement en reformat (% en poids)	Indice d'octane recherché	Rendement en aromatique (% en poids)	Rendement en C4 (% en poids)
Ex 2	1	227	91,2	97,4	67,7	5,2
	5	226	91,6	96,9	66,8	5,1
Ex 1	1	228	91,4	98,0	68,3	5,2
	5	225	91,9	97,2	67,2	4,3
Ex comparatif 1	1	219	90,3	97,2	67,0	5,9
	5	197	91,7	94,8	64,8	5,1

Si l'on compare les performances des catalyseurs des exemples 1 et 2, à celles du catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 1), on constate que les catalyseurs des exemples 1 et 2 présentent les meilleurs rendements en aromatiques et les meilleures indices d'octane du réformat. On constate également que ces gains se font sans que les rendements en reformat ne soient affectés.

Si l'on considère maintenant l'évolution durant 5 cycles, il apparaît que la chute des surfaces spécifiques des exemples 1 et 2 est beaucoup plus faible que celle du catalyseur de l'art antérieur. Cette moindre chute s'accompagne d'un meilleur maintien des rendements en aromatiques et des indices d'octane.

Les catalyseurs de l'invention permettent donc d'obtenir de façon stable durant plusieurs cycles, les meilleurs indices d'octane pour des rendements en reformat inchangés.

EXEMPLE 4 :

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés du silicium, du chlore, du potassium, du rhénium et du platine.

a) Mise en forme de la matrice en alumine

On prépare tout d'abord la matrice en alumine par mélange mécanique d'une poudre d'alumine  $\gamma$  d'une surface spécifique de 220  $\text{m}^2/\text{g}$  et d'une poudre d'alumine  $\eta$  de surface spécifique égale à 320  $\text{m}^2/\text{g}$  qui a été préparée par calcination de bayérite. La proportion d'alumine  $\eta$  est de 30 % en poids. Ce mélange est ensuite mis en forme par extrusion, puis calciné sous un courant d'air sec à 520°C pendant 3 h.

b) Dépôt du silicium

Après refroidissement, on dépose du silicium sur la matrice calcinée par mise en contact avec une solution éthanolique d'orthosilicate de tétraéthyle  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ . La concentration de cette solution est de 2,5 g de silicium par litre. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 2 h sous agitation. Le solvant est ensuite évaporé sous pression réduite. Puis les extrudés imprégnés sont séchés à 120°C pendant 15 h, et calcinés à 530°C sous un courant d'air sec pendant 2 h.

c) Dépôt du potassium

On met ensuite les extrudés en contact avec une solution aqueuse de carbonate de potassium  $\text{K}_2\text{CO}_3$  contenant 12,8 g/l de potassium. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 1 h, puis la matrice ainsi imprégnée est séchée à 120°C

pendant 15 h et calcinée à 530°C sous un courant d'air sec pendant 2 h.

d) Dépôt de platine et de chlore

On dépose ensuite simultanément sur ce support, le platine et une partie du chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

8,20 g de chlore sous forme de HCl, et

1,00 g de platine sous forme d' $H_2PtCl_6$ .

La solution est laissée au contact du support pendant 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à 120°C, le support imprégné est calciné à 530°C pendant 3 h sous courant d'air sec.

e) Dépôt de rhénium et de chlore

On dépose ensuite simultanément le rhénium et le reste du chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

4,20 g de chlore sous forme HCl, et

1,50 g de rhénium sous forme de  $ReCl_3$ .

Après séchage, le support imprégné est calciné à 530°C pendant 2 heures sous un courant d'air sec.

f) Traitement hydrothermique

On effectue alors un traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore. Dans ce but, on traite le catalyseur à 510°C pendant 2 h sous un courant de 2000 dm<sup>3</sup>/h d'air pour 1 kg de produit solide. Cet air contient de l'eau et du chlore injectés dans une zone de préchauffage située en amont du lit de solide. Les concentrations molaires en eau et en chlore sont respectivement égales à 1 % et 0,05 % .

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 3.

EXEMPLE 5 :

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 4 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que dans l'étape c), la solution d'imprégnation contient 6,4 g/l de potassium, et que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique de l'étape e).

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 3.

10 EXEMPLE COMPARATIF 2 :

Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 4, mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$ , et on ne réalise pas les étapes b) et c) de dépôts de silicium et de potassium et l'étape f) de traitement hydrothermique.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont également donnés dans le tableau 3.

EXEMPLE 6 :

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$  comprenant 8 % d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés du silicium, du chlore, du potassium, de l'étain et du platine.

Pour cette préparation, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 4, en utilisant dans l'étape a) 8 % en poids d'alumine  $\eta$  et en effectuant au lieu des étapes d) et e) une seule étape de dépôt simultané de platine, d'étain et de chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

0,81 g de platine sous forme d' $H_2PtCl_6$ , et

0,96 g d'étain sous forme de  $SnCl_2$ .

La solution est laissée au contact du support pendant 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à 120°C, le

support imprégné est calciné à 530°C pendant 3 h sous courant d'air sec.

On effectue ensuite un traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore comme dans l'étape f) de l'exemple 4.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 3.

EXEMPLE 7 :

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 6 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que dans l'étape c), la solution d'imprégnation contient 6,4 g/l de potassium, et que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique final en présence d'eau et de chlore.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 3.

EXEMPLE COMPARATIF 3 :

Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 6 mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$  et on ne réalise pas les étapes b) et c) de dépôt de silicium et de potassium et la dernière étape f) de traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore décrite dans l'exemple 1.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 3.

Tableau 3

Catalyseur	Proportion alumine $\eta$ (% poids de la matrice)	Surface spécifique ( $m^2/g$ )	Teneur en platine (% en poids)	Teneur en étain (% en poids)	Teneur en rhénium (% en poids)	Teneur en chlore (% en poids)	Teneur en silicium (% en poids)	Teneur en potassiu (% en poids)
Ex 4	30	237	0,25	0	0,47	1,17	0,045	0,23
Ex 5	30	238	0,24	0	0,50	1,07	0,045	0,12
Ex comparatif 2	0	216	0,23	0	0,48	1,12	0	0
Ex 6	8	227	0,22	0,18	0	1,14	0,13	0,76
Ex 7	8	225	0,25	0,16	0	1,06	0,15	0,34
Ex comparatif 3	0	219	0,23	0,18	0	1,15	0	0

5 EXEMPLE 8 :

Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 4 et 5 et de l'exemple comparatif 2, pour la transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

10	masse volumique à 20°C	0,742	kg/dm <sup>3</sup>
	indice d'octane recherché	~ 41	
	teneur en paraffines	52,2 %	en poids
	teneur en naphthènes	32,4 %	en poids
	teneur en aromatiques	15,4 %	en poids
15	Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :		
	température	500°C	
	pression totale	1,5 Mpa	
	débit de charge	2,0 kg/kg de	
		catalyseur et par h	
20	durée	100 h	

Les performances des catalyseurs sont reportées dans le tableau 4 ci-dessous, et sont exprimés au

travers des rendements pondéraux et de l'indice d'octane recherche du reformat.

Tableau 4

Catalyseur	Rendement reformat (% en poids)	Rendement hydrogène (% en poids)	Rendement aromatiques (% en poids)	Rendement C4 (% en poids)	C4 aromatiques
Exemple 4	85,1	3,2	60,2	11,7	0,19
Exemple 5	84,7	3,3	60,8	12,0	0,20
Ex comparatif 2	83,9	3,0	60,0	13,1	0,22

5

Si l'on compare les performances des catalyseurs de l'exemple 4 et de l'exemple comparatif 2 d'une part, et celles des catalyseurs de l'exemple 5 et de l'exemple comparatif 2 d'autre part, on constate que les catalyseurs des exemples 4 et 5 ont des performances nettement améliorées par rapport au catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 2).

10

En effet, les rendements en produits légers de craquage C4 obtenus lors du test des deux catalyseurs des exemples 4 et 5 sont très significativement inférieurs à ceux observés sur le catalyseur de l'exemple comparatif 2.

15

Ainsi, on s'aperçoit que le rapport des rendements en produits de craquage C4 sur les rendements en composés aromatiques, dénommé C4-/aromatiques dans le tableau ci-dessus, est inférieur pour les deux catalyseurs selon l'invention. La sélectivité des catalyseurs vis-à-vis des produits aromatiques recherchés sera d'autant plus forte que ce rapport est faible.

20

25

Les catalyseurs des exemples 4 et 5 contenant en plus par rapport au catalyseur de l'exemple

comparatif 2, de l'alumine  $\eta$ , du silicium et du potassium, présentent des caractéristiques améliorées par rapport au catalyseur de l'exemple comparatif 2, notamment des sélectivités en produits de craquage plus  
 5 faibles, et donc des sélectivités en produits aromatiques améliorées.

#### EXEMPLE 9

Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 6 et 7 et de l'exemple comparatif 3, pour la  
 10 transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

	masse volumique à 20°C	0,736	kg/dm <sup>3</sup>
	indice d'octane recherché	~ 38	
	teneur en paraffines	54,8 %	en poids
15	teneur en naphtènes	33,1 %	en poids
	teneur en aromatiques	12,1 %	en poids

Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :

	température	495°C
	pression totale	0,75 Mpa
20	débit de charge	1,8 kg/kg de catalyseur
	durée	100 h

A la fin de la durée de fonctionnement, le catalyseur désactivé est régénéré par combustion  
 25 contrôlée du coke et ajustement de sa teneur en chlore à environ 1,10 % en poids. La surface spécifique du support est mesurée après cette régénération. Puis après activation à haute température du catalyseur par de l'hydrogène, la charge est injectée pour une  
 30 nouvelle période de fonctionnement. Ainsi, chaque catalyseur a été soumis à 5 cycles fonctionnement-régénération. Les surfaces spécifiques correspondant au début du premier et du dernier cycles et les performances obtenues après 15 h de fonctionnement dans

chacun de ces deux cycles sont reportées dans le tableau 5 ci-après.

Tableau 5

Catalyseur	cycle	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	rendement en reformat (% en poids)	Indice d'octane recherché	Rendement en aromatique (% en poids)	Rendement en C4 (% en poids)
Ex 6	1	227	91,2	97,9	68,2	5,5
	5	220	92,1	96,8	67,3	4,7
Ex 7	1	225	91,2	97,6	67,9	5,4
	5	213	91,5	96,5	66,5	5,3
Ex comparatif 3	1	219	90,7	97,5	67,2	6,0
	5	198	91,6	95,4	65,1	5,2

5

Si l'on compare les performances des catalyseurs des exemples 6 et 7, à celles du catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 3), on constate que les catalyseurs des exemples 6 et 7 présentent les meilleurs rendements en aromatiques et les meilleures indices d'octane du reformat. On constate également que ces gains se font sans que les rendements en reformat ne soient affectés.

Si l'on considère maintenant l'évolution durant 5 cycles, il apparaît que la chute des surfaces spécifiques des catalyseurs des exemples 6 et 7 est beaucoup plus faible que celle du catalyseur de l'art antérieur. Cette moindre chute s'accompagne d'un meilleur maintien des rendements en aromatiques et des indices d'octane.

20

**EXEMPLE 10 :**

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés  
5 du silicium, du chlore, du lanthane, du rhénium et du platine.

**a) Mise en forme de la matrice en alumine**

On prépare tout d'abord la matrice en alumine par mélange mécanique d'une poudre d'alumine  $\gamma$  d'une  
10 surface spécifique de 220  $\text{m}^2/\text{g}$  et d'une poudre d'alumine  $\eta$  de surface spécifique égale à 320  $\text{m}^2/\text{g}$  qui a été préparée par calcination de bayérite. La proportion d'alumine  $\eta$  est de 40 % en poids. Ce mélange est ensuite mis en forme par  
15 extrusion, puis calciné sous un courant d'air sec à 520°C pendant 3 h.

**b) Dépôt du silicium**

Après refroidissement, on dépose du silicium sur la matrice calcinée par mise en contact avec une  
20 solution éthanolique d'orthosilicate de tétraéthyle  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ . La concentration de cette solution est de 2,5 g de silicium par litre. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 2 h sous agitation. Le solvant est ensuite évaporé sous pression  
25 réduite. Puis les extrudés imprégnés sont séchés à 120°C pendant 15 h, et calcinés à 530°C sous un courant d'air sec pendant 2 h.

**c) Dépôt de lanthane**

On met ensuite les extrudés en contact avec  
30 une solution aqueuse de nitrate de lanthane  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  contenant 42 g/l de lanthane. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 2 h, puis la matrice ainsi imprégnée est séchée à 120°C pendant 15 h et calcinée à 530°C sous un courant d'air  
35 sec pendant 2 h.

d) Dépôt de platine et de chlore

On dépose ensuite simultanément sur ce support, le platine et une partie du chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant  
5 par litre :

8,20 g de chlore sous forme de HCl, et  
1,00 g de platine sous forme d' $H_2PtCl_6$ .

La solution est laissée au contact du support pendant 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à 120°C, le  
10 support imprégné est calciné à 530°C pendant 3 h sous courant d'air sec.

e) Dépôt de rhénium et de chlore

On dépose ensuite simultanément le rhénium et le reste du chlore par imprégnation par une solution  
15 aqueuse chlorée contenant par litre :

4,20 g de chlore sous forme HCl, et  
1,50 g de rhénium sous forme de  $ReCl_3$ .

Après séchage, le support imprégné est calciné à 530°C pendant 2 heures sous un courant d'air sec.

20 f) Traitement hydrothermique

On effectue alors un traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore. Dans ce but, on traite le catalyseur à 510°C pendant 2 h sous un courant de 2000 dm<sup>3</sup>/h d'air pour 1 kg de produit  
25 solide. Cet air contient de l'eau et du chlore injectés dans une zone de préchauffage située en amont du lit de solide. Les concentrations molaires en eau et en chlore sont respectivement égales à 1 % et 0,05 % .

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont  
30 données dans le tableau 6.

EXEMPLE 11:

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 10 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que dans l'étape c), la  
35 solution d'imprégnation contient 21 g/l de lanthane, et

que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique de l'étape f).

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 6.

5 EXEMPLE 12 :

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'alumine  $\gamma$ , sur laquelle sont déposés du silicium, du chlore, du lanthane, du rhénium et du platine.

10 Pour cette préparation, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 10, mais on n'effectue pas l'étape f). Dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$  et on réalise l'étape b) dans les mêmes conditions que celles de l'exemple 10, sauf la  
15 concentration en silicium de la solution qui est de 3,2 g/l. Les étapes c), d) et e) sont réalisées comme dans l'exemple 10.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 6.

20 EXEMPLE 13 :

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 12 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, mais on effectue de plus un traitement hydrothermique dans les mêmes conditions que  
25 celles de l'exemple 10 (étape f).

La teneur en chlore du catalyseur est de 1,08 % en poids.

EXEMPLE COMPARATIF 4 :

Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire  
30 que dans l'exemple 10, mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$ , et on ne réalise pas les étapes b) et c) de dépôts de silicium et de lanthane et l'étape f) de traitement hydrothermique.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont  
35 également donnés dans le tableau 6.

**EXEMPLE 14 :**

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$  comprenant 12 % d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés du silicium, du chlore, du lanthane, de l'étain et du platine.

Pour cette préparation, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 10, en utilisant dans l'étape a) 12 % en poids d'alumine  $\eta$  et en effectuant au lieu des étapes d) et e) une seule étape de dépôt simultané de platine, d'étain et de chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

0,81 g de platine sous forme d' $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ , et  
0,96 g d'étain sous forme de  $\text{SnCl}_2$ .

La solution est laissée au contact du support pendant 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à  $120^\circ\text{C}$ , le support imprégné est calciné à  $530^\circ\text{C}$  pendant 3 h sous courant d'air sec.

On effectue ensuite un traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore comme dans l'étape f) de l'exemple 10, mais en opérant à  $500^\circ\text{C}$  avec des concentrations molaires en eau et chlore respectivement de 1,5 % et 0,02 %.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 6.

**EXEMPLE 15:**

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 14 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que dans l'étape c), la solution d'imprégnation contient 21 g/l de lanthane, et que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique final de l'étape f) en présence d'eau et de chlore.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 6.

EXEMPLE COMPARATIF 5 :

Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 14 mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$  et on ne réalise pas les 5 étapes b) et c) de dépôt de silicium et de lanthane et la dernière étape f) de traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore de l'exemple 14.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 6.

10

Tableau 6

Catalyseur	Proportion alumine $\eta$ (% poids de la matrice)	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	Teneur en platine (% en poids)	Teneur en étain (% en poids)	Teneur en rhénium (% en poids)	Teneur en chlore (% en poids)	Teneur en silicium (% en poids)	Teneur en lanthane (% en poids)
Ex 10	40		0,23	0	0,24	1,18	0,028	0,47
Ex 11	40		0,22	0	0,24	1,09	0,028	0,11
Ex 12	0		0,24		0,23	1,05	0,035	0,43
Ex comparatif 4	0		0,23	0	0,25	1,12	0	0
Ex 14	12	229	0,24	0,16	0	1,13	0,11	1,70
Ex 15	12	231	0,24	0,16	0	1,08	0,13	0,82
Ex comparatif 5	0	219	0,25	0,18	0	1,15	0	0

EXEMPLE 16:

15 Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 10 à 13 et de l'exemple comparatif 4, pour la transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

20 masse volumique à 20°C 0,742 kg/dm<sup>3</sup>  
 indice d'octane recherché ~ 41  
 teneur en paraffines 52,2 % en poids

teneur en naphtènes 32,4 % en poids

teneur en aromatiques 15,4 % en poids

Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :

température 490°C

5 pression totale 1,4 Mpa

débit massique de charge 3,0 kg/kg de

catalyseur et par h

Les performances des catalyseurs sont reportées dans le tableau 7 ci-dessous, et sont exprimées au travers des rendements pondéraux et de l'indice d'octane recherche du reformat.

Tableau 7

Catalyseur	Rendement reformat (% en poids)	Rendement hydrogène (% en poids)	Rendement aromatiques (% en poids)	Rendement C4 (% en poids)	C4 aromatiques
Exemple 10	86,0	3,2	58,9	10,8	0,18
Exemple 11	85,2	3,2	59,2	11,6	0,20
Exemple 12	84,8	3,1	58,7	12,1	0,20
Exemple 13	85,7	3,2	58,8	11,1	0,19
Ex comparatif 4	84,4	3,0	58,4	12,6	0,22

15 Si l'on compare les performances des catalyseurs de l'exemple 10 et de l'exemple comparatif 4 d'une part, et celles des catalyseurs de l'exemple 11 et de l'exemple comparatif 4 d'autre part, on constate que les catalyseurs des exemples 10 et 11 ont des performances nettement améliorées par rapport au

20 catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 4). En effet, les rendements en produits légers de craquage C4 obtenus lors du test des deux catalyseurs des exemples 10 et 11 sont très significativement

inférieurs à ceux observés sur le catalyseur de l'exemple comparatif 4.

Ainsi, on s'aperçoit que le rapport des rendements en produits de craquage C4 sur les  
5 rendements en composés aromatiques, dénommé C4-/aromatiques dans le tableau ci-dessus, est inférieur pour les deux catalyseurs selon l'invention. La sélectivité des catalyseurs vis-à-vis des produits aromatiques recherchés sera d'autant plus forte que ce  
10 rapport est faible.

Les catalyseurs des exemples 10 et 11 contenant en plus par rapport au catalyseur de l'exemple comparatif 4, de l'alumine  $\eta$ , du silicium et du lanthane, présentent des caractéristiques améliorées  
15 par rapport au catalyseur de l'exemple comparatif 4, notamment des sélectivités en produits de craquage plus faibles, et donc des sélectivités en produits aromatiques améliorées.

Si l'on compare les performances des catalyseurs des exemples 12 et 13, on constate que le catalyseur de  
20 l'exemple 13 présente des performances améliorées par rapport au catalyseur de l'exemple 12.

En effet, le catalyseur de l'exemple 13 présente un rendement en produits de craquage  
25 C4- nettement inférieur et un rendement en aromatique sensiblement supérieur. Le rapport des rendements en produits de craquage C4- sur les rendements en composés aromatiques, dénommé C4-/aromatiques dans le tableau ci-dessus, est inférieur pour le catalyseur de  
30 l'exemple 13. La sélectivité des catalyseurs vis-à-vis des produits aromatiques recherchés, sera d'autant plus forte que ce rapport est faible.

Les catalyseurs des exemples 12 et 13 contiennent entre autres du silicium et du lanthane.  
35 Le catalyseur de l'exemple 13 a, en plus, été soumis à

un traitement hydrothermique. Il présente des caractéristiques améliorées par rapport au catalyseur de l'exemple 12, notamment des sélectivités en produits de craquage plus faibles, et donc des sélectivités en produits aromatiques améliorées.

EXEMPLE 17

Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 14 et 15 et de l'exemple comparatif 5, pour la transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

masse volumique à 20°C	0,736	kg/dm <sup>3</sup>
indice d'octane recherché	~ 38	
teneur en paraffines	54,8 %	en poids
teneur en naphtènes	33,1 %	en poids
teneur en aromatiques	12,1 %	en poids

Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :

température	500°C
pression totale	0,40 Mpa
débit de charge	2,0 kg/kg de catalyseur
durée	100 h

A la fin de la durée de fonctionnement, le catalyseur désactivé est régénéré par combustion contrôlée du coke et ajustement de sa teneur en chlore à environ 1,10 % en poids. La surface spécifique du support est mesurée après cette régénération. Puis après activation à haute température du catalyseur par de l'hydrogène, la charge est injectée pour une nouvelle période de fonctionnement. Ainsi, chaque catalyseur a été soumis à 5 cycles fonctionnement-régénération. Les surfaces spécifiques correspondant au début du premier et du dernier cycles et les performances obtenues après 15 h de fonctionnement dans chacun de ces deux cycles sont reportées dans le tableau 8 ci-après.

Tableau 8

Catalyseur	cycle	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	rendement en reformat (% en poids)	Indice d'octane recherché	Rendement en aromatique (% en poids)	Rendement en C4 (% en poids)
Ex 14	1	229	90,0	101,0	71,7	6,5
	5	224	90,8	100,1	71,1	5,7
Ex 15	1	231	89,2	101,4	71,8	7,2
	5	222	90,2	100,3	70,8	6,4
Ex comparatif 5	1	219	88,2	100,9	70,5	8,5
	5	194	89,4	98,6	67,8	7,5

Si l'on compare les performances des catalyseurs des exemples 14 et 15, à celles du catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 5), on constate que les catalyseurs des exemples 14 et 15 présentent les meilleurs rendements en aromatiques et les meilleures indices d'octane du reformat. On constate également que ces gains se font sans que les rendements en reformat ne soient affectés.

Si l'on considère maintenant l'évolution durant 5 cycles, il apparaît que la chute des surfaces spécifiques des catalyseurs des exemples 14 et 15 est beaucoup plus faible que celle du catalyseur de l'art antérieur. Cette moindre chute s'accompagne d'un meilleur maintien des rendements en aromatiques et des indices d'octane.

**EXEMPLE 18 :**

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés

du silicium, du chlore, du zirconium, du rhénium et du platine.

a) Mise en forme de la matrice en alumine

On prépare tout d'abord la matrice en alumine par mélange mécanique d'une poudre d'alumine  $\gamma$  d'une surface spécifique de 220 m<sup>2</sup>/g et d'une poudre d'alumine  $\eta$  de surface spécifique égale à 320 m<sup>2</sup>/g qui a été préparée par calcination de bayérite. La proportion d'alumine  $\eta$  est de 20 % en poids. Ce mélange est ensuite mis en forme par extrusion, puis calciné sous un courant d'air sec à 520°C pendant 3 h.

b) Dépôt du silicium

Après refroidissement, on dépose du silicium sur la matrice calcinée par mise en contact avec une solution éthanolique d'orthosilicate de tétraéthyle Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>. La concentration de cette solution est de 2,5 g de silicium par litre. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 2 h sous agitation. Le solvant est ensuite évaporé sous pression réduite. Puis les extrudés imprégnés sont séchés à 120°C pendant 15 h, et calcinés à 530°C sous un courant d'air sec pendant 2 h.

c) Dépôt du zirconium

On met ensuite les extrudés en contact avec une solution aqueuse de chlorure de zirconyle ZrOCl<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O contenant 26,7 g/l de zirconium. Cette mise en contact est réalisée à la température ambiante pendant 2 h, puis la matrice ainsi imprégnée est séchée à 120°C pendant 15 h et calcinée à 530°C sous un courant d'air sec pendant 2 h.

d) Dépôt de platine et de chlore

On dépose ensuite simultanément sur ce support, le platine et une partie du chlore par

imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

8,20 g de chlore sous forme de HCl, et  
1,00 g de platine sous forme d' $H_2PtCl_6$ .

5 La solution est laissée au contact du support pendant 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à 120°C, le support imprégné est calciné à 530°C pendant 3 h sous courant d'air sec.

e) Dépôt de rhénium et de chlore

10 On dépose ensuite simultanément le rhénium et le reste du chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

4,20 g de chlore sous forme HCl, et  
1,50 g de rhénium sous forme de  $ReCl_3$ .

15 Après séchage, le support imprégné est calciné à 530°C pendant 2 heures sous un courant d'air sec.

f) Traitement hydrothermique

On effectue alors un traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore. Dans ce  
20 but, on traite le catalyseur à 510°C pendant 2 h sous un courant de 2000 dm<sup>3</sup>/h d'air pour 1 kg de produit solide. Cet air contient de l'eau et du chlore injectés dans une zone de préchauffage située en amont du lit de solide. Les concentrations molaires en eau et en chlore  
25 sont respectivement égales à 1 % et 0,05 % .

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 9.

EXEMPLE 19 :

30 On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 18 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que dans l'étape c), la solution d'imprégnation contient 13,3 g/l de zirconium, et que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique de l'étape f).

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 9.

EXEMPLE COMPARATIF 6 :

Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 18, mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$ , et on ne réalise pas les étapes b) et c) de dépôts de silicium et de zirconium et l'étape f) de traitement hydrothermique.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont également donnés dans le tableau 9.

EXEMPLE 20 :

Cet exemple illustre la fabrication d'un catalyseur comprenant une matrice formée d'un mélange d'alumine  $\gamma$  et d'alumine  $\eta$  comprenant 8 % d'alumine  $\eta$ , sur laquelle sont déposés du silicium, du chlore, du zirconium, de l'étain et du platine.

Pour cette préparation, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 18, en utilisant dans l'étape a) 8 % en poids d'alumine  $\eta$  et en effectuant au lieu des étapes d) et e) une seule étape de dépôt simultané de platine, d'étain et de chlore par imprégnation par une solution aqueuse chlorée contenant par litre :

0,81 g de platine sous forme d' $H_2PtCl_6$ , et  
0,96 g d'étain sous forme de  $SnCl_2$ .

La solution est laissée au contact du support pendant 2 h. Après essorage et séchage pendant 4 h à 120°C, le support imprégné est calciné à 530°C pendant 3 h sous courant d'air sec.

On effectue ensuite un traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore comme dans l'étape f) de l'exemple 18.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 9.

EXEMPLE 21 :

On suit le même mode opératoire que dans l'exemple 20 pour préparer un catalyseur comprenant les mêmes constituants, sauf que dans l'étape c), la solution d'imprégnation contient 13,3 g/l de zirconium, et que l'on n'effectue pas le traitement hydrothermique final en présence d'eau et de chlore.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données également dans le tableau 9.

10 EXEMPLE COMPARATIF 7 :

Dans cet exemple, on suit le même mode opératoire que dans l'exemple 20 mais dans l'étape a) on utilise uniquement de l'alumine  $\gamma$  et on ne réalise pas les étapes b) et c) de dépôt de silicium et de zirconium et la dernière étape f) de traitement hydrothermique en présence d'eau et de chlore.

Les caractéristiques du catalyseur obtenu sont données dans le tableau 9.

20

Tableau 9

Catalyseur	Proportion alumine $\eta$ (% poids de la matrice)	Surface spécifique ( $m^2/g$ )	Teneur en platine (% en poids)	Teneur en étain (% en poids)	Teneur en rhénium (% en poids)	Teneur en chlore (% en poids)	Teneur en silicium (% en poids)	Teneur en zirconium (% en poids)
Ex 18	20		0,24	0	0,26	1,16	0,032	0,51
Ex 19	20		0,23	0	0,23	1,05	0,032	0,15
Ex comparatif 6	0		0,23	0	0,25	1,12	0	0
Ex 20	8	223	0,22	0,17	0	1,12	0,12	1,72
Ex 21	8	226	0,25	0,15	0	1,05	0,14	0,85
Ex comparatif 7	0	219	0,24	0,18	0	1,15	0	0

EXEMPLE 22 :

Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 18 et 19 et de l'exemple comparatif 6, pour la transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

5	masse volumique à 20°C	0,742	kg/dm <sup>3</sup>
	indice d'octane recherché	~ 41	
	teneur en paraffines	52,2 % en poids	
	teneur en naphtènes	32,4 % en poids	
10	teneur en aromatiques	15,4 % en poids	

Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :

	température	505°C
	pression totale	1,3 Mpa
	débit de charge	4,0 kg/kg de
15		catalyseur et par h
	durée	100 h

Les performances des catalyseurs sont reportées dans le tableau 10 ci-dessous, et sont exprimées au travers des rendements pondéraux et de l'indice d'octane recherche du reformat.

Tableau 10

Catalyseur	Rendement reformat (% en poids)	Rendement hydrogène (% en poids)	Rendement aromatiques (% en poids)	Rendement C4 (% en poids)	C4 aromatiques
Exemple 18	86,0	3,2	60,4	10,8	0,18
Exemple 19	85,2	3,2	61,1	11,5	0,19
Ex comparatif 6	84,4	3,0	59,8	12,8	0,21

Si l'on compare les performances des catalyseurs de l'exemple 18 et de l'exemple comparatif 6 d'une part, et celles des catalyseurs de l'exemple 19 et de l'exemple comparatif 6 d'autre part, on constate que

les catalyseurs des exemples 18 et 19 ont des performances nettement améliorées par rapport au catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 6).

En effet, les rendements en produits légers de craquage C4 obtenus lors du test des deux catalyseurs des exemples 18 et 19 sont très significativement inférieurs à ceux observés sur le catalyseur de l'exemple comparatif 6.

Ainsi, on s'aperçoit que le rapport des rendements en produits de craquage C4 sur les rendements en composés aromatiques, dénommé C4-/aromatiques dans le tableau ci-dessus, est inférieur pour les deux catalyseurs des exemples 18 et 19. La sélectivité des catalyseurs vis-à-vis des produits aromatiques recherchés sera d'autant plus forte que ce rapport est faible.

Les catalyseurs des exemples 18 et 19, contenant en plus par rapport au catalyseur de l'exemple comparatif 6, de l'alumine  $\eta$ , du silicium et du zirconium, présentent des caractéristiques améliorées par rapport au catalyseur de l'exemple comparatif 6, notamment des sélectivités en produits de craquage plus faibles, et donc des sélectivités en produits aromatiques améliorées.

EXEMPLE 23 :

Dans cet exemple, on teste les catalyseurs des exemples 20 et 21 et de l'exemple comparatif 7, pour la transformation d'une charge d'hydrocarbures ayant les caractéristiques suivantes :

masse volumique à 20°C	0,742	kg/dm <sup>3</sup>
indice d'octane recherché	~ 41	
teneur en paraffines	44,2 %	en poids
teneur en naphtènes	39,4 %	en poids
teneur en aromatiques	16,4 %	en poids

Les conditions opératoires suivantes sont utilisées :

température	505°C
pression totale	0,75 Mpa
débit de charge	2,5 kg/kg de catalyseur
durée	100 h

A la fin de la durée de fonctionnement, le catalyseur désactivé est régénéré par combustion contrôlée du coke et ajustement de sa teneur en chlore à environ 1,10 % en poids. La surface spécifique du support est mesurée après cette régénération. Puis après activation à haute température du catalyseur par de l'hydrogène, la charge est injectée pour une nouvelle période de fonctionnement. Ainsi, chaque catalyseur a été soumis à 5 cycles fonctionnement-régénération. Les surfaces spécifiques correspondant au début du premier et du dernier cycles et les performances obtenues après 15 h de fonctionnement dans chacun de ces deux cycles sont reportées dans le tableau 11 ci-après.

Tableau 11

Catalyseur	cycle	Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)	rendement en reformat (% en poids)	Indice d'octane recherché	Rendement en aromatique (% en poids)	Rendement en C4 (% en poids)
Ex 20	1	223	89,7	102,1	73,3	6,6
	5	212	90,7	100,7	71,9	5,8
Ex 21	1	226	90,4	101,9	73,6	5,9
	5	209	90,7	100,5	71,6	5,7
Ex comparatif 7	1	219	89,2	102,0	72,8	7,3
	5	196	90,2	100,2	70,7	6,4

Si l'on compare les performances des catalyseurs des exemples 20 et 21, à celles du catalyseur de l'art antérieur (exemple comparatif 7), on constate que les catalyseurs des exemples 20 et 21 présentent les  
5 meilleurs rendements en aromatiques et les meilleures indices d'octane du reformat. On constate également que ces gains se font sans que les rendements en reformat ne soient affectés.

Si l'on considère maintenant l'évolution durant  
10 5 cycles, il apparaît que la chute des surfaces spécifiques des catalyseurs des exemples 20 et 21 est beaucoup plus faible que celle du catalyseur de l'art antérieur. Cette moindre chute s'accompagne d'un meilleur maintien des rendements en aromatiques et des  
15 indices d'octane.

Le procédé de l'invention permet donc d'améliorer de façon substantielle les résultats obtenus par la transformation d'hydrocarbures en composés aromatiques, en terme de sélectivité et de stabilité au cours des  
20 cycles de réaction.

N 120707

54

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de transformation d'hydrocarbures en composés aromatiques consistant à mettre en contact une charge desdits hydrocarbures avec un catalyseur dans des conditions de température et de pression appropriées à ladite transformation, caractérisé en ce que le catalyseur comprend :

- une matrice constituée de 0 à 100 % en poids d'alumine de transition  $\eta$ , le complément à 100 % en poids de la matrice étant de l'alumine de transition  $\gamma$ , et

- par rapport au poids total du catalyseur, de 0,001 à 2 % en poids de silicium, de 0,1 à 15 % en poids d'au moins un halogène choisi dans le groupe formé par le fluor, le chlore, le brome et l'iode,

de 0,01 à 2 % en poids d'au moins un métal noble de la famille du platine, et

de 0,005 à 10 % en poids d'au moins un métal promoteur choisi dans le groupe formé par l'étain, le germanium, l'indium, le gallium, le thallium, l'antimoine, le plomb, le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène et le tungstène, ledit catalyseur ayant subi un traitement hydrothermique complémentaire, à une température de 300 à 1000°C, dans une atmosphère gazeuse contenant de la vapeur d'eau.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la matrice du catalyseur comprend de 3 à 70 % en poids d'alumine de transition  $\eta$ .

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel le catalyseur comprend, en outre, par rapport au poids total du catalyseur, de 0,001 à 8 % en poids d'au moins un métal

dopant choisi dans le groupe des métaux alcalins et alcalino-terreux.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le métal dopant est le potassium.

5 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel le catalyseur comprend en outre, par rapport au poids total du catalyseur, de 0,001 à 10 % en poids d'au moins un métal dopant choisi dans le groupe constitué par le  
10 titane, le zirconium, l'hafnium, le cobalt, le nickel et le zinc.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel le métal dopant est le zirconium .

7. Procédé selon l'une quelconque des  
15 revendications 1 et 2, dans lequel le catalyseur comprend en outre, par rapport au poids total du catalyseur, de 0,001 à 10 % en poids d'au moins un métal dopant choisi dans le groupe des lanthanides.

8. Procédé selon la revendication 7, dans  
20 lequel le métal dopant est le lanthane.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la teneur en silicium du catalyseur est de 0,01 à 1 % en poids.

10. Procédé selon l'une quelconque des  
25 revendications 1 à 8, dans lequel la teneur en halogène du catalyseur est de 0,2 à 10 % en poids.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la teneur totale en métal noble du catalyseur est de 0,1 à 0,8 % en poids.

30 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel le métal promoteur du catalyseur est choisi dans le groupe formé par le rhénium, le manganèse, le chrome, le molybdène, le tungstène, l'indium et le thallium.

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel le métal promoteur du catalyseur est le rhénium.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel le métal promoteur est choisi dans le groupe formé par l'étain, le germanium, l'indium, l'antimoine, le plomb, le thallium et le gallium.

15. Procédé selon la revendication 14 dans lequel le métal promoteur du catalyseur est l'étain.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel l'halogène du catalyseur est le chlore.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le métal noble du catalyseur est le platine.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que, le traitement hydrothermique auquel est soumis le catalyseur, est effectué pendant une durée de 1 minute à 30 heures, sous une atmosphère gazeuse dont la teneur molaire en eau est de 0,05 à 100 %.

19. Procédé selon la revendication 1 ou 18, dans lequel la teneur molaire en eau est de 1 à 50 %.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 18 et 19, dans lequel la durée du traitement hydrothermique est de 1 à 10 heures.

21. Procédé selon la revendication 1 ou 18, caractérisé en ce que l'atmosphère gazeuse comprend de plus au moins un halogène.

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que la teneur en halogène de l'atmosphère gazeuse peut aller jusqu'à 20 % en mol.

23. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que la teneur en halogène peut aller jusqu'à 10 % en mol.

24. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que la teneur en halogène peut aller jusqu'à 2 % en mol.

25. Procédé selon l'une quelconque des  
5 revendications 1, et 18 à 24, caractérisé en ce que l'atmosphère gazeuse est de l'air, de l'oxygène, de l'argon ou de l'azote.

26. Procédé selon l'une quelconque des  
10 revendications 1 à 25, dans lequel la charge d'hydrocarbures contient des hydrocarbures paraffiniques, naphthéniques et aromatiques ayant 5 à 12 atomes de carbone, et on effectue la mise en contact de cette charge avec le catalyseur à une température de 400 à 700°C, sous une pression allant de la pression  
15 atmosphérique à 4 MPa.

27. Procédé selon les revendications 12 ou 26, dans lequel la pression est de 1 à 2 MPa.

28. Procédé selon les revendications 14 ou 26, dans lequel la pression est de 0,1 à 0,9 MPa.

29 . Procédé selon l'une quelconque des  
20 revendications 26 à 28, caractérisé en ce que la mise en contact de la charge d'hydrocarbures avec le catalyseur est effectuée avec un débit massique de charge allant de 0,1 à 10 kg de charge par kg de  
25 catalyseur et par heure.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 29, dans lequel la transformation d'hydrocarbures est un reformage catalytique.