



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1994/02/25

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1994/08/27

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2004/11/02

(30) Priorité/Priority: 1993/02/26 (93/02.366) FR

(51) Cl.Int.⁵/Int.Cl.⁵ B01J 37/00, B01J 20/30

(72) Inventeurs/Inventors:

MITZKAT, MARTIN, FR;
DUFRESNE, PIERRE, FR;
ACKERMANN, FRANCOIS, FR

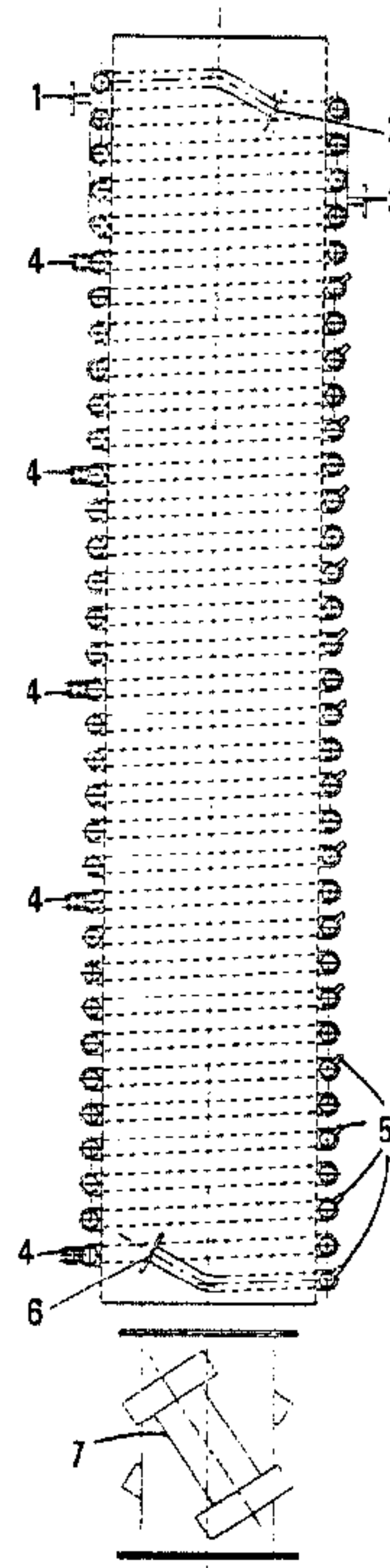
(73) Propriétaire/Owner:

EUROPEENNE DE RETRAITEMENT DE
CATALYSEURS EURECAT, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : TRAITEMENT THERMIQUE DE PARTICULES SOLIDES DE CATALYSEURS OU D'ADSORBANTS EN
PRESENCE DE FLUIDE DANS UNE SPIRE HELICOIDALE VIBRANTE

(54) Title: THERMAL TREATMENT OF CATALYST/ADSORBENT SOLID PARTICLES IN PRESENCE OF A VIBRATING
HELICOIDAL COIL



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un procédé de traitement de particules solides de catalyseurs ou d'adsorbants qui consiste à faire monter lesdites particules dans au moins une spire hélicoïdale vibrante comportant au moins deux pas, lesdites particules étant soumises à un profil de température sur la majeure partie de leur trajet dans ladite spire, et lesdites particules étant mises en contact avec au moins un fluide sur au moins une partie de leur trajet, ledit procédé étant caractérisé par le chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule à une température comprise entre 20 et 1 000°C. L' invention concerne également l'appareil de mise en oeuvre dudit procédé.

2116503

PRECIS DE LA DIVULGATION

L'invention concerne un procédé de traitement de particules solides de catalyseurs ou d'adsorbants qui consiste à faire monter lesdites particules dans au moins une spire hélicoïdale vibrante comportant au moins deux pas, lesdites particules étant soumises à un profil de température sur la majeure partie de leur trajet dans ladite spire, et lesdites particules étant mises en contact avec au moins un fluide sur au moins une partie de leur trajet, ledit procédé étant caractérisé par le chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule à une température comprise entre 20 et 1 000 °C. L'invention concerne également l'appareil de mise en oeuvre dudit procédé.

La présente invention concerne un procédé servant au traitement de particules solides qui consiste à faire monter lesdites particules dans au moins une spire hélicoïdale vibrante, à les soumettre sur la majeure partie de leur trajet à un profil de température et à les mettre en contact avec au moins un fluide sur au moins une partie de leur trajet. La présente invention peut s'appliquer aux particules solides catalytiques et/ou adsorbantes.

La présente invention concerne aussi l'appareil de mise en oeuvre du procédé.

L'utilisation d'appareil élévateur vibrant comportant une rampe hélicoïdale est bien connu de l'art antérieur dans le but de faire monter des produits du type granulé, extrudé, pastille. Un tel appareil permet notamment aussi d'obtenir la séparation de produits granulés, d'une part en produits de plus grande dimension qui remontent à l'intérieur de la couche de produit granulé et d'autre part en produits de plus petite dimension qui viennent directement au contact de ladite rampe.

Un tel appareil peut être simultanément utilisé en tant qu'échangeur de chaleur. La demande de brevet français 2634187 décrit ainsi un appareil comportant une spire hélicoïdale vibrante, tel que les échanges de chaleur sont réalisés par contact indirect avec un fluide caloporteur baignant les pas de la spire ou par contact direct avec au moins un gaz circulant à l'intérieur de la spire à co-courant ou à contre-courant par rapport au sens de circulation des particules solides.

La présente invention permet de réaliser le traitement de particules solides catalytiques et/ou adsorbantes s'élevant au sein d'au moins une spire hélicoïdale vibrante de forme sensiblement tubulaire, lesdites particules étant soumises à un profil de température sur la majeure partie de leur trajet et lesdites particules étant mises en contact avec au moins un fluide sur au moins une partie de leur trajet. Ledit fluide est de préférence un gaz réactif dans le cas de particules solides catalytiques.

Le procédé selon l'invention se caractérise par le chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule à une température comprise entre 20 et 1 000 °C. L'effet joule a pour conséquence directe la génération de chaleur dans la masse de la spire. Il permet ainsi d'obtenir une plus grande souplesse pour la maîtrise de la température au coeur de la spire par rapport au chauffage indirect par fluide caloporteur ou au chauffage direct par un gaz, réactif ou non, circulant dans la spire.

Une mise en oeuvre préférée du procédé selon l'invention comprend un refroidissement des particules solides en fin de trajet, c'est-à-dire dans l'extrémité supérieure de la spire. Ce refroidissement est effectué par mise en contact indirect de ladite extrémité avec un fluide caloporteur. Ledit fluide est de préférence de l'eau.

5

La mise en contact des particules solides avec au moins un fluide sur au moins une partie du trajet desdites particules peut se faire successivement de nombreuses fois le long du trajet desdites particules indépendamment ou non du chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule dans la matière de la spire. Ledit fluide circule à co-courant ou à contre courant par rapport à la circulation des particules solides. Toute mise en contact se fait sur au moins une partie du trajet, c'est-à-dire sur au moins un pas de la spire. De préférence se produisent de 2 à 10 mises en contact successives le long du trajet des particules solides et de manière encore plus préférée se produisent 3 à 4 mises en contact successives le long dudit trajet.

15

Le procédé selon l'invention comprend l'utilisation d'au moins une spire hélicoïdale vibrante de forme sensiblement tubulaire. Ladite spire métallique comporte au moins deux pas et peut être obtenue par exemple par la mise en forme d'un tube métallique selon une hélice autour d'un axe sensiblement vertical. Un fût central permet de rigidifier et de soutenir l'hélice formée par la spire. La spire est isolée électriquement du fût central par le système de fixation.

20

Un transformateur alimente la spire en courant à basse tension permettant de chauffer directement par effet joule la masse métallique du tube à une température comprise entre 20 et 1 000 °C. La mise en oeuvre d'un tel système de chauffage nécessite généralement de nombreux points de piquage électrique le long de la spire. La tension est suffisante pour permettre de dégager la puissance voulue et en général basse pour des raisons de sécurité, par exemple inférieure à 50 V.

25

Les vibrations peuvent être produites par au moins un système placé à tout niveau adéquat, par exemple à la base ou au sommet du fût ou encore positionné autour de la spire. Parmi les systèmes que l'on peut utiliser se trouvent les systèmes suivants : les moteurs à balourds, les vibrants électromagnétiques (excités par un cycle variable, avec création d'impulsions) et les excitations à balourds. De préférence, les vibrations sont produites par une table servant de support au fût central et actionnée par deux moteurs à balourds.

30

35

Les particules solides transformées par le procédé selon l'invention ont une granulométrie comprise entre 0,1 μm (micromètre) et 10 cm de préférence comprise entre 1 μm et 1 cm.

Lesdites particules sont de préférence des billes, des extrudés ou des pastilles. Elles sont utilisées pour l'une au moins des propriétés suivantes: l'adsorption, la catalyse. Ce sont de préférence des particules solides catalytiques.

La présente invention vise aussi un appareil de traitement de particules solides de taille comprise entre 0,1 μm et 10 cm ledit appareil comprenant:

- 10 • au moins une spire métallique de forme sensiblement circulaire et comportant au moins deux pas, s'enroulant hélicoïdalement autour d'un axe vertical et d'un fût central, ladite spire ayant un diamètre compris entre 10 et 300 mm, une longueur développée d'au plus 200 m, la hauteur de l'hélice formée par ladite spire étant d'au plus 20 m et l'angle de montée de la spire étant compris entre 1 et 10°,
- au moins une conduite latérale d'introduction desdites particules et au moins une conduite latérale de soutirage desdites particules,
- 20 • au moins un piquage électrique de courant à basse tension permettant le chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule à une température comprise entre 20 et 1000°C,
- au moins un ensemble de deux conduites comportant une conduite latérale d'introduction d'au moins un fluide et une conduite latérale de soutirage d'au moins ledit

3a

fluide de telle sorte que ledit fluide circule dans au moins un pas de la spire,

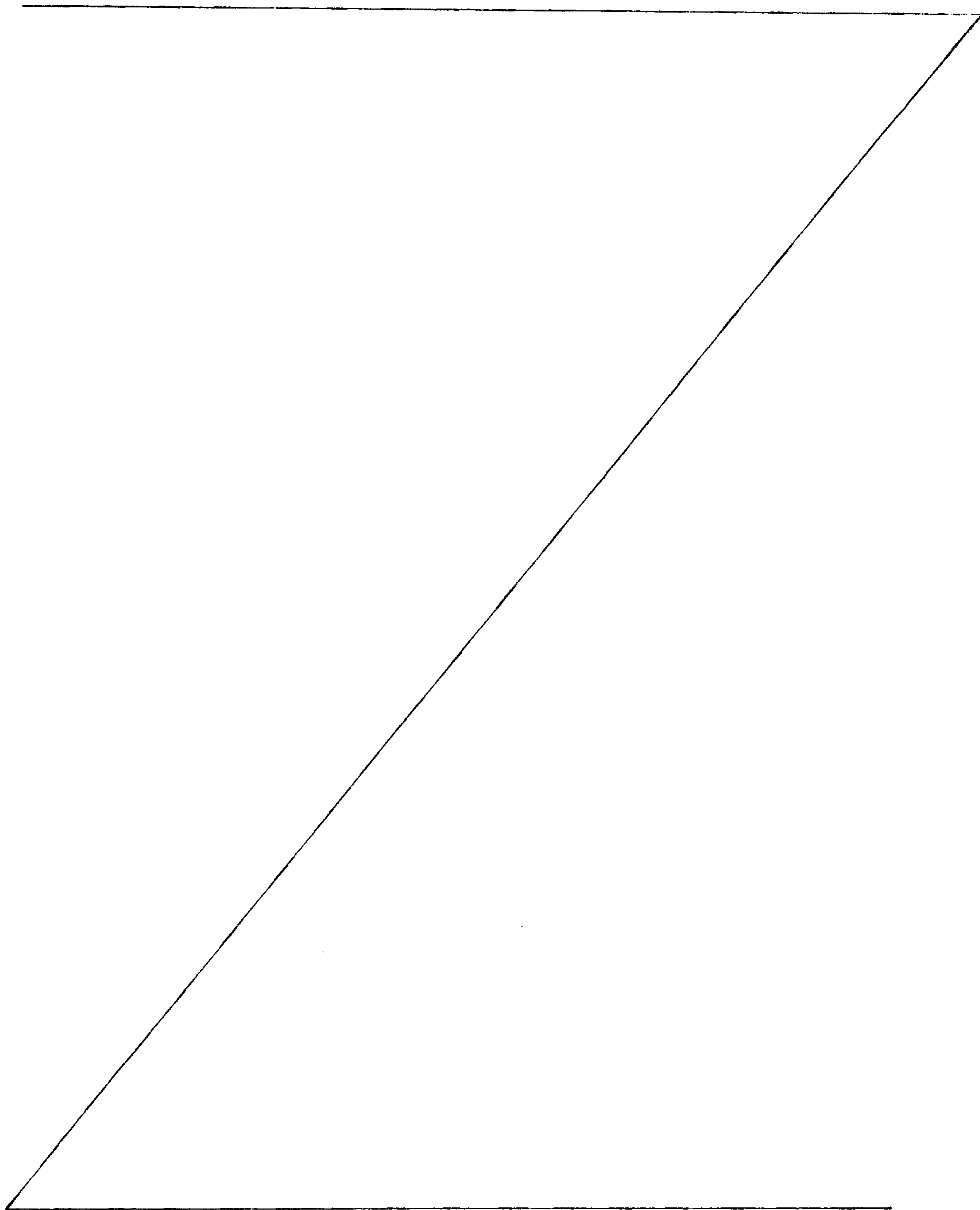
- des moyens pour imprimer des vibrations à l'ensemble fût-spire, tels que la constante adimensionnelle d'accélération est comprise entre 0 et 4, la vitesse d'avancement des particules est comprise entre 0,05 et 0,5 m/s et le débit massique horaire des particules est compris entre 1 kg/h et 50 tonnes/h.

L'appareil selon des modes de réalisation préféré de
10 l'invention comprend:

- un tube d'au moins une spire comportant au moins deux pas s'enroulant hélicoïdalement autour d'un axe vertical et d'un fût central. Le tube est en métal, de préférence en acier. Ladite spire a une longueur développée comprise entre 0 et 200 m et la hauteur de l'hélice formée par ladite spire est généralement comprise entre 0 et 20 m. L'angle de montée de la spire qui mesure l'inclinaison de la spire par rapport à l'horizontale est compris entre 1 et 10 °, de préférence entre 1 et 5 ° et de manière encore plus préférée entre 1 et 4 °. La section transversale de la spire est de préférence sensiblement circulaire auquel cas la spire est un tube. Ledit tube a généralement un diamètre compris entre 10 et 300 mm. Dans le cas d'un appareil préféré selon l'invention pour lequel la spire est un tube, le choix du diamètre dudit tube est lié aux différents autres paramètres du système parmi lesquels
20 le débit massique horaire, le temps de séjour dans la spire des particules solides et dans le cas du système de vibrations préféré selon l'invention, la puissance des moteurs à balourds ;
- au moins une conduite latérale d'introduction des particules solides s'ouvrant sur l'extrémité inférieure de la spire et au moins une conduite latérale de soutirage desdites particules s'ouvrant sur l'extrémité supérieure de la spire ;
- au moins un piquage électrique de courant à basse tension permettant le chauffage d'au moins un pas de spire par effet joule, à une température comprise entre 20 et 1 000 °C. L'efficacité du chauffage est mesurée par le coefficient global de transfert de chaleur entre
30 le tube chauffant et les particules solides véhiculées. Ledit coefficient augmente quand le coefficient adimensionnel de vibration augmente, mais alors la vitesse d'avancement des

3b

particules solides augmente aussi pour une inclinaison des moteurs donnée et donc le temps de séjour desdites particules dans la spire diminue. Le coefficient adimensionnel de vibration est défini comme le rapport de la composante verticale de la vibration imposée à la pesanteur. La puissance électrique doit donc être choisie judicieusement, en tenant compte des paramètres de vibration (dont l'inclinaison des moteurs dans le cas du système de vibration préféré selon l'invention) et de la longueur du tube. Le coefficient de transfert dépend d'autre part de la granulométrie des particules solides. A titre d'exemple, pour un



sable de 200 μm (micromètres) avec un coefficient adimensionnel de vibration compris entre 1,2 et 3,5, le coefficient de transfert est compris entre 50 et 200 $\text{W/m}^2\text{°C}$.

- 5

• au moins un ensemble de deux conduites comportant une conduite latérale d'introduction d'au moins un fluide et une conduite latérale de soutirage d'au moins ledit fluide, de telle sorte que ledit fluide circule dans au moins un pas de la spire. Le nombre de conduites de ce type est de préférence de 2 à 10 et de manière encore plus préférée il est égal à 3 ou à 4. Le fluide circule à co-courant ou à contre courant par rapport au sens de circulation des particules solides. Il est également possible de récupérer par la conduite latérale de

10

soutirage dudit ensemble de deux conduites le ou les gaz dégagé (s) par effet de la chaleur ou par une réaction. La vitesse d'un courant de fluide (fluide introduit ou gaz dégagé) est choisie en fonction des particules solides véhiculés. Il faut tenir compte de ce courant car il accélère ou freine les particules selon son sens de circulation surtout pour de petites particules. En particulier, un courant de fluide circulant à contre courant risque de bloquer

15

l'appareil. Par exemple, pour des particules de sable de granulométrie égale à 1 600 μm , la vitesse de courant réactif gazeux circulant à contre courant doit être inférieure à 2 m/s pour permettre un bon fonctionnement de l'appareil.
- 20

• des moyens pour imprimer des vibrations à l'ensemble fût-spire, tels que : la constante adimensionnelle d'accélération, rapport de la composante verticale de l'accélération à l'accélération de la pesanteur, est comprise entre 0 et 4, de préférence entre 1, 2 et 3,5, et de manière encore plus préférée entre 1 et 3, tels que la vitesse d'avancement des particules est comprise entre 0,05 et 0,5 m/s, de préférence entre 0,1 et 0,4 m/s et de manière encore plus préférée entre 0,1 et 0,3 m/s et tels que le débit massique horaire de

25

particules est compris entre 1 kg/h et 50 tonnes/h, de préférence entre 5 kg/h et 10 tonnes/h.

Dans le cas de la mise en oeuvre préférée selon l'invention, les vibrations sont produites par une table servant de support au fût central et actionnée par deux moteurs à balourds. Dans ce

30

cas, les particules solides véhiculées à l'intérieur de la spire avancent à une vitesse proportionnelle à la constante adimensionnelle d'accélération, pour une inclinaison de moteurs et un angle de montée donnés. La constante adimensionnelle d'accélération dépend de l'écartement des balourds et de leur vitesse de rotation pour le système donné. Pour une variation de ladite constante comprise entre 1,2 et 3,5 la vitesse d'avancement des particules

35

est typiquement comprise entre 0,1 et 0,3 m/s. Ainsi ladite vitesse est facilement réglable en agissant sur l'écartement des balourds, l'inclinaison des moteurs ou la vitesse de rotation des

5 moteurs. Quant au débit volumique horaire des particules, il dépend de la constante adimensionnelle de vibration, mais aussi du diamètre du tube formant la spire. La puissance des moteurs et l'encombrement au sein du tube sont des facteurs limitants. Ainsi un tube de référence DN 40 (1 1/4") véhicule au maximum 700 kg/h de sable dont les particules ont un diamètre de 1,6 mm. D'autre part, l'inclinaison des moteurs ne doit généralement pas dépasser 35 ° pour faire avancer efficacement les particules solides dans le tube sans engendrer de vibrations excessives.

10 Il est possible que la partie du trajet des particules solides où au moins un pas de la spire est chauffé, coïncide au moins partiellement avec la partie de trajet où au moins un fluide circule dans la spire. Mais il est également possible dans le cadre de la présente invention que lesdites parties de trajet ne coïncident pas du tout.

15 Une autre mise en oeuvre particulière dudit appareil comprend aussi une mise en contact de l'extrémité supérieure de la spire, au dessous du soutirage des particules solides, avec un fluide caloporteur de façon à refroidir lesdites particules. De préférence, ledit fluide est de l'eau. Ce système de refroidissement peut être celui décrit dans le brevet français 2634187 dans le cas d'un échange de chaleur par contact indirect avec un fluide caloporteur.

20 Le procédé de la présente invention et l'appareil qui le met en oeuvre selon l'invention sont utilisables pour toute transformation de catalyseur qui comprend un traitement de particules solides catalytiques en présence d'au moins un gaz réactif et pour tout traitement d'adsorption qui comprend un traitement de particules solides en présence d'au moins un fluide. Il est possible de mettre en oeuvre successivement plusieurs appareils selon l'invention pour une utilisation donnée sans sortir du cadre de la présente invention. Quelques exemples de traitements de catalyseurs sont le strippage, la régénération ou l'oxydation, la présulfuration, la sulfuration, la réduction, la chloration ou toute combinaison de ces traitements ou tout autre traitement nécessitant une atmosphère contrôlée.

30 Les exemples et les figures décrits ci-après illustrent l'invention sans toutefois en limiter la portée.

La figure 1 permet d'illustrer l'exemple 1 décrit ci-après. Il s'agit d'une utilisation pour le strippage d'un catalyseur. La spire est disposée sur une table vibrante avec deux moteurs à balourds (7). L'entrée des particules solides catalytiques se fait par la conduite (6) et leur sortie se fait par la conduite (2). Les quatre derniers pas de la spire, à l'extrémité supérieure de celle-

ci sont baignés par un fluide caloporteur qui est de l'eau, en vue de refroidir les particules solides catalytiques avant leur sortie de la spire. L'eau entre par la conduite (1) et ressort par la conduite (3). De nombreux points (4) de piquage électrique par du courant à basse tension sont disposés le long de spire. Enfin, les entrées et sorties d'azote qui sert au stripping se font par les conduites (5).

La figure 2 illustre l'exemple 2 décrit ci-après, dans le cas d'un stripping puis d'une régénération de particules solides catalytiques. Les références (1) à (7) indiquées pour la figure 1 se retrouvent dans la figure 2. De plus, la régénération est effectuée grâce à un contact desdites particules avec l'air, qui sort et entre dans la spire par les conduites (8).

La figure 3 illustre les exemples 4 et 5 décrits ci-après dans le cas d'une présulfuration ou d'une sulfuration de particules solides catalytiques. Les références (1) à (4), (6) et (7) sont celles indiquées pour les figures 1 et 2. Les entrées et sorties des gaz se font par les conduites (9).

Exemple 1

On procède à un traitement de stripping sous azote d'un catalyseur d'hydrotraitement imbibé d'hydrocarbures. Le catalyseur est de type cobalt molybdène déposé sur alumine contenant:

		Entrée	Sortie
Hydrocarbures libres mesurés par extraction au toluène dans un SOXHLET	% pds	7.2	0.1
Carbone	% pds	23.6	17.8
Soufre	% pds	6.4	7.6

L'appareil de chauffage comprend une zone de montée en température avec un temps de résidence de 3 minutes et une longueur de spire de 10 mètres, une zone de palier avec un temps de résidence de 15 minutes, une longueur de spire de 60 mètres et une température de 280°C, et une zone de refroidissement avec un temps de résidence de 4 minutes et une longueur de spire de 15 mètres. Le débit en azote est de 30m³/h et en catalyseur de 150kg/h.

Exemple 2

Le catalyseur de l'exemple 1 subit un traitement associé de strippage et de régénération, qui donne les résultats suivants :

5

		Entrée	Sortie
Hydrocarbures	% pds	7.2	<0.1
Carbone	% pds	23.6	0.1
Soufre	% pds	6.4	0.2
Longueur moyenne	mm	2.9	2.8
Résistance à écrasement	MPa	-	0.95
Surface spécifique	m2/g	-	195

Ce traitement est réalisé dans un contacteur gaz solide vibré aux conditions suivantes :

ZONE	TYPE	TEMPERATURE (°C)	TEMPS DE SEJOUR (minutes)	LONGUEUR (mètres)
A	Chauffe		6	15
B	Palier	280	15	40
C	Chauffe		6	15
D	Palier	350	30	80
E	Chauffe		6	15
F	Palier	480	30	80
G	Refroidissement		10	25

10

Les zones A et B sont sous débit d'azote (15m³/h). Les zones C à G sont sous débit d'air/oxygène (300m³/h).

Exemple 3 (Comparatif)

5 Le même catalyseur que celui utilisé à l'exemple 2 est traité dans un procédé conventionnel de stripage et régénération. Ceci consiste en 3 passages dans un même four rotatif de type four à louveres: un premier passage à une température de 280°C avec un débit d'azote de 20m³/h, un deuxième passage à 350°C et un troisième passage à 480°C avec un débit d'air de 1000m³/h, ce qui donne les résultats suivants :

		Entrée	Sortie
HC	% pds	7.2	<0.1
Carbone	% pds	23.6	0.1
Soufre	% pds	6.4	0.2
Longueur moyenne	mm	2.9	2.8
Résistance à écrasement	MPa	-	0.90
Surface spécifique	m ² /g	-	185

10 La résistance à l'écrasement est plus faible, ce qui fait préférer la technique décrite dans l'exemple 2.

Exemple 4

15 On procède à un traitement de présulfuration par chimisorption de Soufre sur un catalyseur d'hydrotraitement, de type HR 306 de PROCATALYSE, de couleur bleue, contenant 3% CoO, 14% MoO₃, le reste étant de l'alumine.

20 1000 kg de ce catalyseur sont imprégnés par un mélange de 187 litres de TPS 37, produit fourni par ATOCHEM et contenant 37% poids de Soufre, et 360 litres de White Spirit dans un tonneau rotatif. Le catalyseur imprégné est admis dans un four à tube rotatif vibré avec un débit d'azote de 10m³/h à une température de 240°C. Le débit solide est 40kg/h et la longueur de spire de chauffage est de 60 mètres et de refroidissement dégazage de 25 mètres. A la sortie, le catalyseur d'une couleur gris foncé contient 6.1% de Soufre et la perte au feu à 500°C

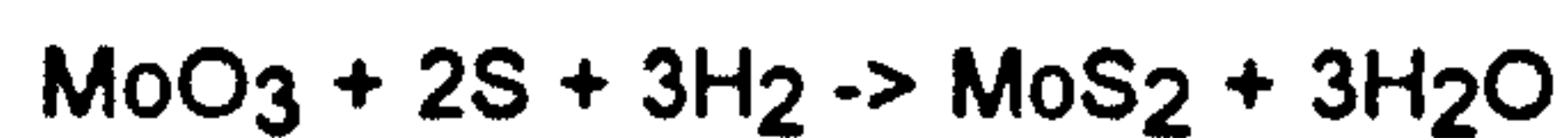
25 est de 12.9%.

Le composé ainsi préparé est constitué d'oxydes de Molybdène et de Cobalt sur lesquels le Soufre a réagi pour former des espèces apparentées à des oxysulfures ou des oxydes supportant des espèces Soufre chimisorbées.

5

Exemple 5

On procède à un traitement de sulfuration du catalyseur solide de l'exemple 3, dans un four vibrant par un mélange Hydrogène/Azote dans des proportions 95/5 à un débit de 5m³/h et à
10 une température de 320°C avec un débit de catalyseur de 20kg/h. La transformation des oxydes ou oxysulfures de métaux en sulfures s'effectue selon la réaction suivante :



15 Ceci donne un catalyseur de couleur noire avec une teneur en Soufre de 5.7%, une perte au feu de 5.8%.

Ce catalyseur est soumis à un test de chimisorption d'oxygène, technique qui permet de doser les sites actifs de ces phases sulfures pour les réactions d'hydrodésulfuration. La valeur de la
20 D.O.C. (Dynamic Oxygen chimisorption) est de $1.8 \cdot 10^{-4}$ mole/g catalyseur.

Exemple 6

Cet exemple décrit un traitement intégré de présulfuration et de sulfuration à l'hydrogène.

- 5 Le catalyseur HR 306 est imprégné par du TPS 37 conformément à l'exemple 4 puis traité dans un four à tube enroulé vibré de dimension analogue à celui de l'exemple 2, selon les conditions suivantes :

ZONE	TYPE	TEMPERATURE (°C)	TEMPS DE SEJOUR (minutes)	LONGUEUR (mètres)	ATMOSPHERE
A	Chauffe		6	15	Azote
B	Palier	240	30	80	Azote
C	Chauffe		6	15	Azote Hydrogène 95/5
D	Palier	320	30	80	Azote Hydrogène 95/5
E	Refroidissement		10	25	Azote

10

La valeur de la DOC est de $1,9 \cdot 10^{-4}$ mole/g catalyseur, ce qui est supérieur à ce qui était obtenu à l'exemple 5. Le traitement intégré comme décrit dans cet exemple est donc meilleur que les traitements séquentiels des exemples 4 et 5.

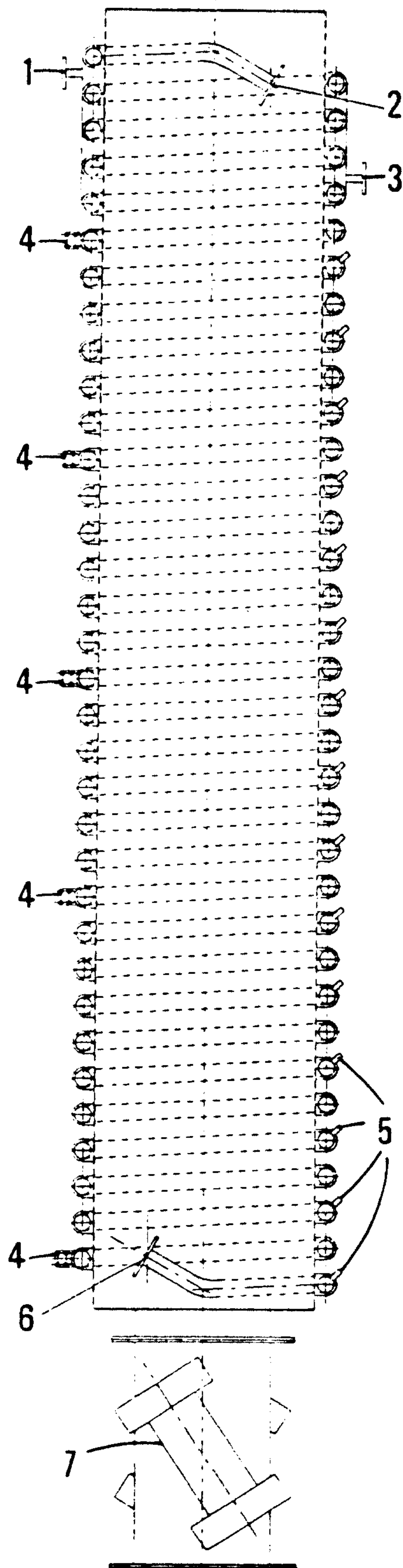
REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement de particules solides de granulométrie comprise entre 0,1 μm et 10 cm qui consiste à faire monter lesdites particules dans au moins une spire hélicoïdale vibrante métallique, de forme sensiblement tubulaire et comportant au moins deux pas, lesdites particules étant soumises à un profil de température sur la majeure partie de leur trajet dans ladite spire et lesdites particules étant mises en contact avec au moins un fluide sur au moins une partie de leur trajet, ledit procédé étant caractérisé par le chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule à une température comprise entre 20 et 1 000 °C.
- 10 2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel, en fin de trajet, les particules sont refroidies par un fluide caloporteur avec lequel est en contact l'extrémité supérieure de ladite spire.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2 dans lequel le nombre de mises en contact avec au moins un fluide varie de 2 à 10.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel lesdites particules sont des particules solides catalytiques et ledit fluide est un gaz réactif.
- 20 5. Appareil de traitement de particules solides de taille comprise entre 0,1 μm et 10 cm, ledit appareil comprenant :
 - au moins une spire métallique de forme sensiblement circulaire et comportant au moins deux pas, s'enroulant hélicoïdalement autour d'un axe vertical et d'un fût central, ladite spire ayant un diamètre compris entre 10 et 300 mm, une longueur développée d'au plus 200 m, la hauteur de l'hélice formée par ladite spire étant d'au plus 20 m et l'angle de montée de la spire étant compris entre 1 et 10°,

- au moins une conduite latérale d'introduction desdites particules et au moins une conduite latérale de soutirage desdites particules,
 - au moins un piquage électrique de courant à basse tension permettant le chauffage d'au moins un pas de la spire par effet joule à une température comprise entre 20 et 1000°C,
 - au moins un ensemble de deux conduites comportant une conduite latérale d'introduction d'au moins un fluide et
10 une conduite latérale de soutirage d'au moins ledit fluide de telle sorte que ledit fluide circule dans au moins un pas de la spire,
 - des moyens pour imprimer des vibrations à l'ensemble fût-spire, tels que la constante adimensionnelle d'accélération est comprise entre 0 et 4, la vitesse d'avancement des particules est comprise entre 0,05 et 0,5 m/s et le débit massique horaire des particules est compris entre 1 kg/h et 50 tonnes/h.
- 20 6. Appareil selon la revendication 5 dans lequel les moyens pour imprimer des vibrations à l'ensemble fût-spire consistent en une table vibrante actionnée par deux moteurs à balourds.
7. Appareil selon l'une des revendications 5 ou 6 dans lequel la conduite latérale d'introduction desdites particules solides s'ouvre sur l'extrémité inférieure de la spire et la conduite latérale de soutirage desdites particules s'ouvre sur l'extrémité supérieure de la spire.
8. Appareil selon l'une des revendications 5 à 7 dans lequel l'extrémité supérieure de ladite spire est refroidie par contact avec un fluide caloporteur.

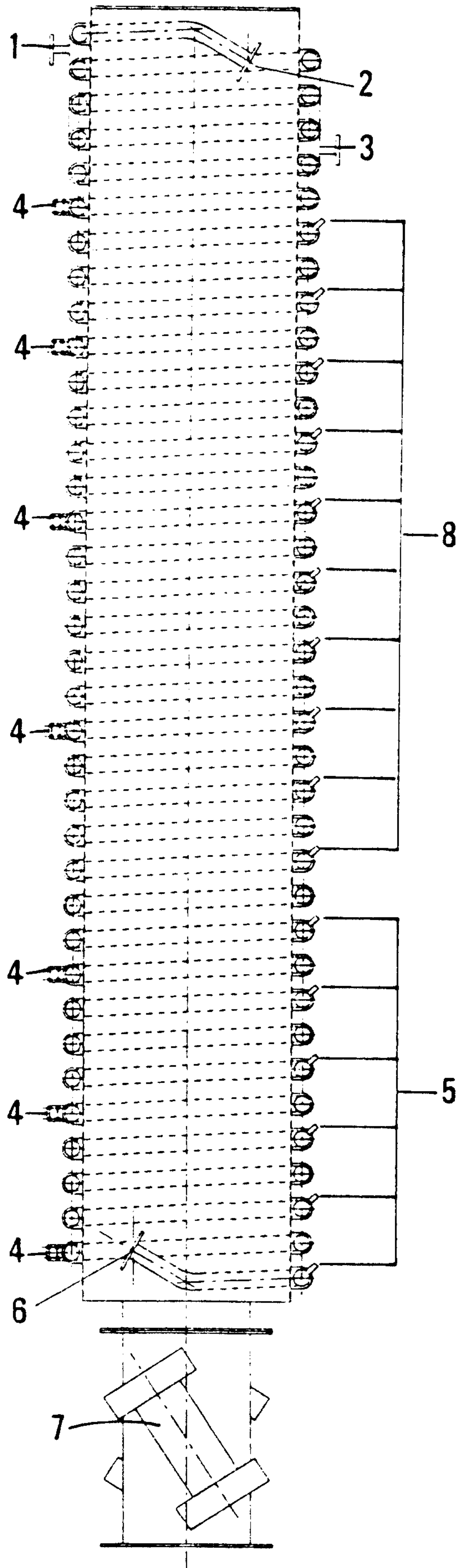
9. Appareil selon l'une des revendications 5 à 8 dans lequel la spire a une section transversale sensiblement circulaire.
10. Appareil selon l'une des revendications 5 à 9 dans lequel l'angle de montée de la spire est compris entre 1 et 5 °, les particules ont une granulométrie comprise entre 1 µm et 1 cm, la constante adimensionnelle d'accélération est comprise entre 1,2 et 3,5, la vitesse d'avancement des particules est comprise entre 0,1 et 0,4 m/s, le débit massique horaire des particules est compris entre 5 kg/h et 10 tonnes/h et le nombre desdits ensembles de deux conduites est de 2 à 10.
- 10 11. Appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 10, dans lequel l'angle de montée de la spire est compris entre 1 et 4°, la constante adimensionnelle d'accélération est comprise entre 1 et 3, la vitesse d'avancement des particules est comprise entre 0,1 et 0,3 m/s et le nombre desdits ensembles de deux conduites est égal à 3 ou 4.
12. Utilisation d'un appareil selon l'une quelconque des revendications 5 à 11 pour le traitement des particules solides catalytiques avec comme fluide un gaz réactif.

FIG.1



2116503

2/3
FIG.2



2116503

3/3

FIG.3

