(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 036 335**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **15 54458**

(51) Int Cl[8] : ***B 60 L 13/04*** *(2006.01)*

(12) BREVET D'INVENTION B1

(54) SYSTEME DE TRANSPORT A SUSTENTATION MAGNETIQUE.

(22) **Date de dépôt :** 19.05.15.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 25.11.16 Bulletin 16/47.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 25.01.19 Bulletin 19/04.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(○) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *METROLAB Société par actions simplifiée* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** CARON JEAN-PAUL, BERNSTEIN PIERRE, NOUDEM JACQUES, ABURAS MUHAMAD, DELIVET ELISABETH et BOUGLE BENOIT.

(73) **Titulaire(s) :** METROLAB Société par actions simplifiée.

(74) **Mandataire(s) :** LAVOIX.

FR 3 036 335 - B1

Système de transport à sustentation magnétique

La présente invention concerne un système de transport à sustentation magnétique comprenant :

- un ensemble de voies magnétiques comprenant une voie magnétique principale, une voie magnétique directe et une voie magnétique déviée et un aiguillage divisant la voie magnétique principale en voie magnétique directe et voie magnétique déviée,

- un véhicule à sustentation magnétique comprenant des moyens de sustentation magnétique aptes à interagir avec l'ensemble de voies magnétiques pour maintenir le véhicule en sustentation et des moyens de guidage magnétique aptes à interagir avec l'ensemble de voies magnétiques pour guider le véhicule au niveau de l'aiguillage, en direction de la voie magnétique directe ou de la voie magnétique déviée.

Dans le domaine des systèmes de transport à sustentation magnétique, afin d'aiguiller un train circulant sur une voie magnétique principale, vers une voie magnétique directe ou vers une voie magnétique déviée, il est connu d'utiliser un aiguillage magnétique positionné au niveau de la voie magnétique principale. Un tel aiguillage est généralement formé d'un tronçon de voie mobile entre une position de liaison avec la voie directe et une position de liaison avec la voie déviée. Cependant, un tel aiguillage est complexe et coûteux à mettre en œuvre.

Il est également connu de WO 2009/046064 A2 un système de transport à sustentation magnétique, qui comprend un véhicule à sustentation magnétique et une voie magnétique principale comportant un aiguillage divisant la voie magnétique principale en une voie magnétique directe et une voie magnétique déviée. Dans ce document, le véhicule à sustentation comprend des aimants permanents de sustentation, propres à interagir avec la voie principale pour maintenir le véhicule en sustentation, et des bobines électromagnétiques de stabilisation latérale du véhicule et de guidage du véhicule. Les bobines électromagnétiques sont associées aux aimants permanents de sustentation et positionnées entre les aimants permanents de sustentation et la voie principale. Les bobines électromagnétiques permettent, lorsqu'elles sont traversées par un courant, de générer une force latérale guidant le véhicule sur la voie déviée ou sur la voie directe au niveau de l'aiguillage. Cependant, un tel système reste complexe et coûteux à mettre en œuvre.

Le but de l'invention est donc de proposer un système de transport à sustentation magnétique simplifié, facile à mettre en œuvre et qui permet le guidage d'un véhicule à sustentation vers une voie déviée ou vers une voie directe.

A cet effet, l'invention a pour objet un système de transport du type précité, caractérisé en ce que les moyens de guidage magnétique comprennent au moins un élément magnétique de guidage, chaque élément magnétique de guidage étant décalé latéralement vers l'extérieur du véhicule par rapport aux moyens de sustentation.

Grâce à l'invention, la mise en œuvre du système de transport est simplifiée puisque chaque élément magnétique est dissocié des moyens de sustentation et décalé vers l'extérieur du train par rapport aux moyens de sustentation. En outre, le positionnement vers l'extérieur du train de chaque élément magnétique de guidage facilite le guidage du véhicule au niveau de l'aiguillage et permet de générer facilement une force de guidage du train vers la voie déviée ou vers la voie directe.

Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, un tel système de transport comprend en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- les moyens de sustentation magnétique sont positionnés en regard de l'ensemble de voies magnétiques, et les moyens de sustentation comprennent au moins un cryostat, le cryostat comportant au moins un élément supraconducteur et un fluide caloriporteur propre à refroidir chaque élément supraconducteur,

- le véhicule comprend deux côtés latéraux, et les voies magnétiques principale, directe et déviée comprennent deux bords latéraux extérieurs, chaque élément magnétique de guidage étant positionné sur l'un des deux côtés latéraux du véhicule et étant, lorsque le véhicule circule sur l'une des voies magnétiques principale, directe ou déviée, décalé latéralement vers l'extérieur de la voie magnétique principale, directe ou déviée, sur laquelle circule le véhicule par rapport à l'un des bords latéraux extérieurs,

- chaque élément magnétique de guidage comprend soit un aimant permanent, soit un électroaimant,

- les moyens de guidage magnétique comprennent au moins un organe de commande de chaque élément magnétique de guidage, propre à commander chaque élément magnétique de guidage entre un état actif, dans lequel l'élément magnétique de guidage est propre à interagir avec un champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques pour guider le véhicule au niveau de l'aiguillage et un état passif, dans lequel les interactions entre l'élément magnétique de guidage et le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques sont négligeables,

- chaque élément magnétique de guidage comprend un aimant permanent de guidage mobile entre une position de guidage correspondant à l'état actif et une position de repos correspondant à l'état passif, et l'organe de commande est propre à commander

le déplacement de chaque aimant permanent de guidage entre la position de guidage et la position de repos,

- chaque élément magnétique de guidage comprend un électroaimant, et pour chaque électroaimant, l'organe de commande est propre à commander l'intensité d'un courant circulant dans l'électroaimant pour commander l'électroaimant entre l'état actif et l'état passif,

- dans l'état actif, chaque élément magnétique est configuré pour générer un champ magnétique local, qui est de sens opposé au champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques au niveau de l'élément magnétique de guidage,

- la voie déviée s'étend sur un côté de la voie directe, le véhicule comprend un côté latéral interne situé du côté de la voie déviée et un côté latéral externe opposé au côté latéral interne, au moins un élément magnétique de guidage est positionné sur le côté latéral externe et au moins un autre élément magnétique de guidage est positionné sur le côté latéral interne, et l'organe de commande est configuré pour, au niveau de l'aiguillage, commander chaque élément magnétique de guidage positionné sur le côté latéral externe dans son état actif pour guider le véhicule sur la voie directe et commander chaque élément magnétique de guidage positionné sur le côté latéral interne dans son état actif pour guider le véhicule sur la voie déviée,

- le véhicule est un véhicule ferroviaire comprenant au moins une caisse avant et une caisse arrière suivant un sens de déplacement du véhicule, et le ou les éléments magnétiques de guidage sont intégrés uniquement à la caisse avant ou uniquement à la caisse avant et à la caisse arrière,

- la voie magnétique principale, ainsi que les voies magnétiques directe et déviée comprennent des aimants permanents et sont, de préférence, en configuration Halbach.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront à la lumière de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique partielle de dessus, d'un système de transport à sustentation magnétique conforme à un premier mode de réalisation de l'invention, comprenant une voie magnétique principale munie d'un aiguillage et un véhicule à sustentation magnétique muni de deux éléments magnétiques de guidage du véhicule au niveau de l'aiguillage,

- la figure 2 est une représentation schématique partielle du système de transport de la figure 1, suivant un plan de coupe transversale P1 perpendiculaire à la voie magnétique principale, dans lequel l'un des éléments magnétiques de guidage est dans un état passif ;

- la figure 3 est une représentation analogue à la figure 2, l'élément magnétique de guidage étant dans un état actif ; et

- la figure 4 est une représentation analogue à la figure 2, suivant un deuxième mode de réalisation de l'invention.

Le système de transport 6 à sustentation magnétique représenté à la figure 1 comprend un ensemble 8 de voies magnétiques et un véhicule à sustentation magnétique 10.

L'ensemble de voies magnétiques 8 comprend une voie magnétique principale 12 et un aiguillage 16 divisant la voie magnétique principale 12 en une voie magnétique directe 18 et une voie magnétique déviée 20.

L'ensemble de voies magnétiques 8 comprend également la voie magnétique directe 18 et la voie magnétique déviée 20.

La voie déviée 20 s'étend sur un côté de la voie directe 18.

Les voies magnétiques principale 12, directe 18 et déviée 20 comprennent chacune respectivement deux rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B et deux bords latéraux extérieurs respectivement 27A, 27B, 28A, 28B, 29A, 29B positionnés sur l'extérieur des voies respectivement 12, 18, 20.

Les rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B de chacune des voies magnétiques 12, 18, 20 sont globalement identiques et comprennent une pluralité d'aimants permanents 30, ainsi que des éléments ferromagnétiques externes 31 et des éléments ferromagnétiques internes 32 magnétisés par les aimants permanents 30.

Avantageusement, et comme représenté aux figures 2 et 3, chaque rail 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B est en configuration Halbach et est composé, suivant un axe transversal Y perpendiculaire à la voie magnétique correspondante 12, 18, 20, d'une alternance d'aimants permanents 30 et d'éléments ferromagnétiques externes 31 et/ou internes 32.

Les rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B sont dits en configuration passive, dans le sens où ils comprennent des aimants permanents 30 et sont dépourvus d'électroaimants.

Aux figures 2 et 3, seul le rail 12B est représenté et des flèches de polarisation 34 sont représentées sur les aimants permanents 30 et indiquent l'axe de polarité Sud/Nord des aimants permanents 30, c'est-à-dire la polarisation des aimants permanents 30.

Les aimants permanents 30 génèrent un champ magnétique B1, non représenté, également appelé champ magnétique du rail 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B et plus généralement champ magnétique de la voie magnétique 12, 18, 20.

Les éléments ferromagnétiques externes 31 sont positionnés sur des extrémités latérales des rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B.

Les éléments ferromagnétiques internes 32 sont positionnés entre les extrémités latérales des rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B et sont chacun compris, suivant l'axe transversal Y, entre deux aimants permanents 30.

Les éléments ferromagnétiques externes 31 et internes 32 sont disposés en partie haute des rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B en regard du véhicule 10.

Les éléments ferromagnétiques externes 31 et internes 32 sont en matériau ferromagnétique, par exemple en acier, et forment soit un pôle Nord, soit un pôle Sud, en fonction de la polarité des aimants permanents 30 qui leur sont accolés.

Plus précisément, chaque élément ferromagnétique 31, 32, forme un pôle Nord, lorsque les flèches de polarisation 34 du ou des aimants permanents 30 accolés à l'élément ferromagnétique pointent vers l'élément ferromagnétique 31, 32.

De même, chaque élément ferromagnétique 31, 32, forme un pôle Sud, lorsque les flèches de polarisation 34 du ou des aimants permanents 30 accolés à l'élément ferromagnétique 31, 32 pointent dans une direction opposée de celle de l'élément ferromagnétique 31, 32.

Les éléments ferromagnétiques externes 31 et internes 32 permettent le guidage du champ magnétique B1 vers le véhicule 10, afin que le véhicule 10 interagisse avec le champ magnétique B1 avec une efficacité maximale.

Comme représenté aux figures 2 et 3, dans le premier mode de réalisation de l'invention, le véhicule à sustentation magnétique 10 comprend une caisse 36 et un cryostat 38, disposé en partie basse de la caisse 36, de manière à être positionné en regard des voies magnétiques 12, 18, 20 lorsque le véhicule 10 circule sur celles-ci.

Plus précisément, aux figures 2 et 3, le cryostat 38 est positionné en regard du rail 12B de la voie magnétique principale 12.

Le véhicule à sustentation magnétique 10 comprend également des éléments magnétiques 40 de guidage du véhicule au niveau de l'aiguillage 16 et un organe 42 de commande des éléments magnétiques de guidage 40.

Plus généralement, et de manière non représentée, le véhicule 10 comprend plusieurs caisses 36 munies chacune d'au moins deux cryostats 38, avec chaque cryostat 38 qui est en regard de l'un des rails correspondant 12A, 12B de la voie magnétique 12 sur laquelle le véhicule 10 circule.

Avantageusement encore, et de manière non représentée, le véhicule 10 est un véhicule ferroviaire qui comprend au moins une caisse avant et une caisse arrière, et les éléments magnétiques de guidage 40 sont intégrés uniquement à la caisse avant.

Le véhicule 10 comprend un côté latéral interne 44 situé du côté de la voie déviée, c'est-à-dire du même côté que la voie déviée 20 par rapport à la voie directe 18.

Le véhicule 10 comprend également un côté latéral externe 46 opposé au côté latéral interne 44.

Dans l'exemple de la figure 1, le véhicule 10 circule suivant un sens de circulation S et la voie déviée 20 est située sur la droite de la voie directe 18, suivant le sens de circulation du véhicule 10. Ainsi, dans l'exemple de la figure 1, le côté latéral interne 44 correspond à un côté latéral droit du véhicule 10 et le côté latéral externe 46 correspond à un côté latéral gauche du véhicule 10.

La caisse 36 comprend un système 48 de refroidissement du cryostat 38, adapté pour réfrigérer un fluide caloriporteur C circulant dans le cryostat 38.

Le système de refroidissement 48 est, par exemple, propre à maintenir le fluide caloriporteur C à une température désirée, par exemple de l'ordre de 30 Kelvin (K).

Le cryostat 38 comprend un boîtier 50, une enveloppe 52 et deux éléments supraconducteurs 56 compris dans le boîtier 50. L'enveloppe 52 contient les deux éléments supraconducteurs 56 et le fluide caloriporteur C.

Ainsi, le cryostat 38 est adapté pour maintenir chaque élément supraconducteur 56 à la température désirée à l'aide du fluide caloriporteur C.

Le cryostat 38 comprend un isolant thermique 58 disposé entre le boîtier 50 et l'enveloppe 52.

Le cryostat 38 est mécaniquement solidaire de la caisse 36.

L'enveloppe 52 est alimentée en fluide caloriporteur C, qui est par exemple de l'azote liquide, à l'aide du système de refroidissement 48 et via des tubes 60 de circulation du fluide caloriporteur C.

L'enveloppe 52 s'étend suivant un axe longitudinal X, perpendiculaire au plan de coupe P1 et parallèle à la voie magnétique principale 12.

Les éléments supraconducteurs 56 sont disposés en partie basse de l'enveloppe 52 et sont positionnés au-dessus du rail 12B de la voie 12 sur laquelle le véhicule 10 circule.

Chaque élément supraconducteur 56 est disposé en regard de l'un des éléments ferromagnétiques internes 32 et est avantageusement centré sur l'un des éléments ferromagnétiques suivant l'axe transversal Y.

Chaque élément supraconducteur 56 est par exemple à base de magnésium diboride (MgB2).

Les éléments supraconducteurs 56 sont propres à induire une force de sustentation magnétique F lorsque le cryostat 38 est au-dessus de l'un des rails 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B, c'est-à-dire lorsque le cryostat 38 interagit avec le champ magnétique B1 généré par le rail correspondant 12A, 12B, 18A, 18B, 20A, 20B.

Les éléments supraconducteurs 56 sont aptes à interagir avec l'ensemble de voies magnétiques 8, et notamment avec les voies magnétiques 12, 18, 20 pour maintenir le véhicule en sustentation.

La force de sustentation magnétique F s'exerce entre les rails 12A, 12B sur lesquels circule le véhicule 10, qui forment une source de champ magnétique B1, et chaque élément supraconducteur 56.

Les éléments magnétiques de guidage 40 et l'organe de commande 42 forment des moyens de guidage magnétique aptes à interagir avec l'ensemble de voies magnétiques 8 pour guider le véhicule 10 au niveau de l'aiguillage 16, en direction de la voie magnétique directe 18 ou de la voie magnétique déviée 20 et l'y maintenir.

Les éléments magnétiques de guidage 40 sont dissociés du cryostat 38 et des éléments supraconducteurs 56 et sont décalés latéralement vers l'extérieur du véhicule 10 par rapport au cryostat 38 et aux éléments supraconducteurs 56. En d'autres termes, les éléments magnétiques de guidage 40 sont, suivant un axe Z vertical du véhicule 10, non-alignés avec les éléments supraconducteurs 56.

Avantageusement et comme présenté à la figure 1, les éléments magnétiques de guidage 40 sont positionnés sur les côtés latéraux interne 44 et externe 46.

Plus précisément, le véhicule 10 comprend, par exemple, un élément magnétique de guidage 40 positionné sur le côté latéral externe 46 et un autre élément magnétique de guidage 40 positionné sur le côté latéral interne 44.

Sur les figures 1 à 3, les éléments magnétiques de guidage 40 sont décalés latéralement vers l'extérieur de la voie magnétique 12 par rapport à l'un des bords latéraux extérieurs 27A, 27B.

Plus généralement, chaque élément magnétique de guidage 40 est positionné sur l'un des deux côtés latéraux 44, 46 du véhicule 10 et est, lorsque le véhicule circule sur l'une des voies magnétiques principale 12, directe 18 ou déviée 20, décalé latéralement, suivant l'axe transversal Y, vers l'extérieur de la voie magnétique principale 12, directe 18 ou déviée 20 sur laquelle circule le véhicule, par rapport à l'un des bords latéraux extérieurs correspondant 27A, 27B, 28A, 28B, 29A, 29B.

Dans l'exemple des figures 2 et 3, chaque élément magnétique de guidage 40 comprend un aimant permanent de guidage 64 positionné au bout d'une tige 66 fixée sur l'extérieur de la caisse 36, au niveau de l'un des côtés latéraux 44, 46, via un axe de rotation 68.

L'axe de rotation 68 s'étend à l'extérieur de la caisse 36, parallèlement à l'axe transversal Y, et la tige 66 est mobile en rotation autour de l'axe de rotation 68, dans un plan longitudinal P2 perpendiculaire à l'axe transversal Y.

Plus précisément, chaque aimant permanent de guidage 64 est mobile par rapport à la caisse 36 et est propre à tourner autour de l'axe de rotation 68 pour être déplacé entre une position de guidage, également appelée état actif, dans laquelle l'élément magnétique de guidage 40 est propre à interagir avec le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8 pour guider le véhicule au niveau de l'aiguillage et une position de repos, également appelée état passif, dans laquelle les interactions entre l'élément magnétique de guidage 40 et le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8 sont négligeables.

La position de guidage est représentée à la figure 3 et correspond à une position de l'aimant permanent 64, dans laquelle l'aimant permanent de guidage 64 est à proximité de l'ensemble de voies magnétiques 8.

La position de repos est représentée à la figure 2 et correspond à une position de l'aimant permanent 64, dans laquelle l'aimant permanent de guidage 64 est à distance de l'ensemble de voies magnétiques 8, et dans laquelle les interactions entre l'aimant permanent de guidage 64 et l'ensemble de voies magnétiques 8 sont négligeables.

En d'autres termes, chaque aimant permanent de guidage 64 est plus proche de la de l'ensemble de voies magnétiques 8 et notamment de la voie magnétique principale 12 et de l'aiguillage 16 en position de guidage qu'en position de repos, de sorte que l'aimant permanent de guidage 64 et notamment le champ magnétique qu'il génère interagisse avec le champ magnétique de l'ensemble de voies magnétiques 8 et notamment de la voie magnétique principale 12 et de l'aiguillage 16.

Dans la suite de la description, on parlera indistinctement de position de guidage de l'aimant permanent 64 et de position de guidage de l'élément magnétique de guidage 40.

De même, dans la suite de la description, on parlera indistinctement de position de repos de l'aimant permanent 64 et de position de repos de l'élément magnétique de guidage 40.

Chaque aimant permanent de guidage 64 est, par exemple, en position de guidage, à une distance de l'ensemble de voies magnétiques 8, mesurée suivant l'axe vertical Z, comprise entre 5 cm et 80 cm.

Avantageusement, chaque aimant permanent de guidage 64 est, par exemple, en position de guidage, à une distance de la voie magnétique 12, 18, 20 sur laquelle il circule et notamment de l'élément ferromagnétique externe 31 le plus proche, mesurée suivant l'axe transversal Y, comprise entre 2 cm et 30 cm.

Chaque élément magnétique de guidage 40 et notamment chaque aimant permanent de guidage 64 est configuré pour, lorsqu'il est dans sa position de guidage,

générer un champ magnétique local, qui est de sens opposé au champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8, afin de générer une force de guidage du véhicule 10 correspondant à une force de répulsion entre la voie magnétique 12, 18, 20 sur laquelle circule le véhicule 10 et l'élément magnétique de guidage 40.

Plus précisément, à la figure 3, la force de répulsion s'exerce entre le bord latéral 27B et l'aimant permanent de guidage 64.

A la figure 3, une flèche de polarisation 70 est représentée sur l'aimant permanent de guidage 64 et indique l'axe de polarité Sud/Nord de l'aimant en position de guidage. A la figure 2, la même flèche de polarisation 70 est représentée lorsque l'aimant permanent de guidage 64 est en position de repos.

La polarité de l'aimant permanent de guidage 64 est telle que, en position de guidage, l'axe de polarité Sud/Nord de l'aimant permanent de guidage 64 s'étend globalement dans une direction opposée à celle du champ magnétique, non représenté, issu de l'ensemble de voies magnétiques 8 au niveau du bord latéral 27B, afin de générer la force de répulsion entre la voie magnétique 12 et l'aimant permanent 64.

L'organe de commande 42 est propre à commander individuellement chaque élément magnétique de guidage 40 entre la position de guidage et la position de repos.

L'organe de commande 42 comprend, par exemple, un moteur 72 différent associé à chaque élément magnétique de guidage 40 et une unité 74 de contrôle associée à chaque moteur 72.

En variante, non représenté, l'organe de commande 42 comprend un moteur 72 différent associé à chaque élément magnétique de guidage 40 et une unité 74 de contrôle associée à l'ensemble des moteurs 72.

Chaque moteur 72 est configuré pour commander la rotation de l'élément magnétique de guidage 40 auquel il est associé entre la position de guidage et la position de repos.

Chaque unité de contrôle 74 est propre à commander le fonctionnement du moteur auquel elle est associée afin de déplacer les éléments magnétiques de guidage 40 entre leur position de guidage et leur position de repos.

L'organe de commande 42 est configuré pour, au niveau de l'aiguillage 16, commander à partir des unités de contrôle 74 et des moteurs 72, chaque élément magnétique de guidage 40, positionné sur le côté latéral externe 46, dans sa position de guidage, et chaque élément magnétique 40, positionné sur le côté latéral interne 44, dans sa position de repos, pour guider le véhicule sur la voie directe 18.

De même, l'organe de commande 42 est configuré pour, au niveau de l'aiguillage 16, commander à partir des unités de contrôle 74 et des moteurs 72, chaque élément

magnétique 40, positionné sur le côté latéral interne 44, dans sa position de guidage, et chaque élément magnétique 40, positionné sur le côté latéral externe 46, dans sa position de repos, pour guider le véhicule 10 sur la voie déviée 20.

Avantageusement, une fois que le véhicule a passé l'aiguillage 16 et/ou lorsque le véhicule 10 est à distance de l'aiguillage 16, par exemple à 2 km, le véhicule 10 et notamment l'organe de commande 42 est propre à commander tous les éléments magnétiques de guidage 40 en position de repos.

Avantageusement encore, lorsque le véhicule 10 comprend plusieurs caisses, les éléments magnétiques de guidage 40 sont intégrés uniquement à une caisse avant du véhicule 10 suivant le sens de circulation S du véhicule 10, et l'organe de commande 42 est propre à commander tous les éléments magnétiques de guidage 40 en position de repos lorsque la caisse avant a passé l'aiguillage 16 et est engagée sur la voie directe 18 ou sur la voie déviée 20.

Avantageusement encore, lorsque le véhicule 10 comprend plusieurs caisses, les éléments magnétiques de guidage 40 sont intégrés à une caisse avant et à une caisse arrière du véhicule 10, suivant le sens de circulation S du véhicule 10. Une telle configuration permet d'assurer la réversibilité du sens de circulation du véhicule 10, sans retournement du véhicule 10.

Avantageusement encore, et de manière non représentée, l'organe de commande 42 est associé à un dispositif de pilotage du véhicule qui comprend un organe de géolocalisation du véhicule 10, un organe de calcul d'un itinéraire à suivre par le véhicule 10 et un organe de mémorisation de la position des aiguillages dans un réseau ferroviaire. Le dispositif de pilotage est alors propre à commander, via l'organe de commande 42, la position des éléments magnétiques de guidage 40 en fonction de l'itinéraire calculé, de la géolocalisation du véhicule et de la proximité du véhicule avec le prochain aiguillage.

En variante, au lieu d'être mobile en rotation, chaque aimant permanent de guidage 64 est mobile en translation suivant l'axe vertical Z par rapport à la caisse 36. Dans cette variante, chaque aimant permanent de guidage 64 est par exemple, en position de guidage, à une distance de l'ensemble de voies magnétiques 8, mesurée suivant l'axe vertical Z, comprise entre 5 cm et 80 cm et, en position de repos, à une distance de l'ensemble de voies magnétiques 8, mesurée suivant l'axe vertical Z, supérieure à 1 m, de préférence supérieure à 1,5 m.

Dans le premier mode de réalisation, la structure des éléments magnétiques de guidage 40 est simple et ces éléments sont mécaniques et non électroniques, ce qui limite les risques de panne et facilite les opérations de maintenance.

Dans un deuxième mode de réalisation de l'invention, représenté à la figure 4, les éléments similaires à ceux du premier mode de réalisation portent les mêmes références. Dans le deuxième mode de réalisation, un système de transport 100 comprend la voie magnétique 12 et un véhicule 102 différent du véhicule 10 présenté dans le premier mode de réalisation.

Par la suite, seules les différences entre le premier et le deuxième mode de réalisations seront présentés.

Le véhicule 102 diffère du véhicule 10 présenté aux figures 2 et 3, en ce qu'il comprend des éléments magnétiques de guidage 104 différents, qui comportent un électroaimant de guidage 106 positionné dans un boîtier 108 fixé à la caisse 36.

Chaque électroaimant de guidage 106 comprend, par exemple, comme présenté à la figure 4, un noyau ferromagnétique autour duquel est enroulée une bobine.

Chaque électroaimant de guidage 106 est configuré pour être commandé entre un état actif, dans lequel il génère un champ magnétique de guidage propre à interagir avec le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8, afin de guider le véhicule 102 au niveau de l'aiguillage 16, et un état passif, dans lequel les interactions entre l'électroaimant de guidage 106 et le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8 sont négligeables.

Le véhicule 102 comprend également un organe de commande 110 qui comprend, par exemple, un générateur de courant 112 différent associé à chaque élément magnétique de guidage 104 et une unité 114 de contrôle pour chaque générateur 112.

En variante, non représenté, l'organe de commande 110 comprend un générateur de courant 112 différent associé à chaque élément magnétique de guidage 40 et une unité 114 de contrôle de l'ensemble des générateurs 112.

Chaque générateur de courant 112 est configuré pour commander le passage d'un courant dans la bobine de l'électroaimant 106 auquel il est associé.

Les unités de contrôle 114 sont propres à commander le fonctionnement des générateurs 112 afin de commander la valeur de l'intensité du courant circulant dans chaque électroaimant 106.

L'organe de commande 110 est propre à commander, à partir des unités de contrôle 114 et des générateurs 112, chaque élément magnétique de guidage 104, c'est-à-dire chaque électroaimant de guidage 106 entre l'état actif et l'état passif, en commandant le courant circulant dans chaque électroaimant de guidage 106.

L'organe de commande 110 est par exemple propre à commander le passage d'un courant de valeur non nulle et de sens prédéfini dans chaque électroaimant 106 pour commander l'élément magnétique de guidage correspondant 104 dans son état actif. Le

passage du courant dans l'électroaimant 106 induit, au niveau de l'électroaimant 106, un champ magnétique local, qui est de sens opposé au champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques. Ceci permet de générer une force de guidage du véhicule 102 correspondant à une force de répulsion entre la voie magnétique 12, 18,20 sur laquelle circule le véhicule 10 et l'élément magnétique de guidage correspondant 104.

De même, l'organe de commande 110 est par exemple configuré pour commander le passage d'aucun courant, c'est-à-dire d'un courant de valeur nulle, dans chaque électroaimant 106 pour commander l'élément magnétique de guidage correspondant 104 dans son état passif.

Comme dans le premier mode de réalisation, l'organe de commande 110 est configuré pour, au niveau de l'aiguillage 16, commander chaque élément magnétique de guidage 104, positionné sur le côté latéral externe 46, dans son état actif, et chaque élément magnétique 104, positionné sur le côté latéral interne 44, dans son état passif, pour guider le véhicule 102 sur la voie directe 18.

De même, l'organe de commande 110 est configuré pour, au niveau de l'aiguillage 16, commander chaque élément magnétique de guidage 104, positionné sur le côté latéral interne 44, dans son état actif, et chaque élément magnétique 104, positionné sur le côté latéral externe 46, dans son état passif, pour guider le véhicule 102 sur la voie déviée 20.

Avantageusement, les éléments magnétiques de guidage 104 ont une position fixe par rapport à la caisse 36 et sont globalement à la même position que les éléments magnétiques de guidage 40 du premier mode de réalisation, lorsque les éléments magnétiques de guidage 40 sont dans leur état actif.

Le deuxième mode de réalisation permet une meilleure maîtrise des interactions entre le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8 et le véhicule 102 puisque, dans leur état passif, les éléments magnétiques de guidage 104 ne génèrent aucun champ magnétique.

En outre, le deuxième mode de réalisation permet un contrôle de l'intensité du champ magnétique généré par chaque élément magnétique de guidage 104 lorsqu'il est dans son état actif, via une modulation du courant le traversant commandée à partir de l'unité de contrôle 114 et du générateur 112 associé à l'élément magnétique 104.

Par ailleurs, la durée de vie des éléments magnétiques de guidage 104 est améliorée puisqu'ils ne comportent pas d'éléments mobiles.

Dans les deux modes de réalisation, les éléments supraconducteurs 56 sont propres à assurer à la fois la sustentation du véhicule 10 et la stabilité latérale du véhicule 10 sur les voies 12, 18, 20.

De plus, le positionnement des éléments magnétiques de guidage 40, 104 sur l'extérieur du véhicule 10 facilite le guidage du véhicule 10, 102 au niveau de l'aiguillage 16. En effet le guidage est réalisé à l'aide de la force de répulsion générée d'un côté latéral du véhicule 10, 102, entre l'ensemble de voies magnétiques 8 et les éléments magnétiques de guidage 40, 104 positionnés sur ledit côté latéral.

En outre, le fait que les éléments magnétiques de guidage 40, 104 soient distants du cryostat 38 et des éléments supraconducteurs 56 et soient positionnés sur les côtés latéraux du véhicule 10, 102, permet de faciliter les opérations de maintenance au niveau des éléments magnétiques de guidage 40, 104.

De plus, dans les deux modes de réalisation, l'ensemble de voies magnétiques 8 est complétement passif et le guidage du véhicule 10, 102 est globalement indépendant de l'ensemble de voies magnétiques 8. Le véhicule 10, 102 est apte à choisir la voie sur laquelle il souhaite se diriger au niveau de l'aiguillage 16 de façon indépendante, sans qu'aucune action ne soit entreprise au niveau de l'ensemble de voies magnétiques 8 et notamment de la voie magnétique 12 et de l'aiguillage 16.

Enfin, dans les deux modes de réalisation, le positionnement des éléments magnétiques de guidage 40, 104 par rapport au véhicule 10 et à la voie magnétique 12, 18, 20 sur laquelle circule le véhicule 10 permet, d'une part, un meilleur contrôle des interactions entre le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques 8 et le champ magnétique généré par les éléments magnétiques de guidage 40, 104 lorsqu'ils sont dans leur état actif, et, d'autre part, de minimiser l'impact de la présence de ces éléments magnétiques de guidage 40, 104 sur la force de sustentation qui résulte des interactions entre les éléments supraconducteurs 56 et l'ensemble de voies magnétiques 8.

Les modes de réalisation et variantes envisagés ci-dessus sont propres à être combinés entre eux pour donner lieu à d'autres modes de réalisation de l'invention.

REVENDICATIONS

1.- Système de transport (6 ; 100) à sustentation magnétique comprenant :

- un ensemble (8) de voies magnétiques comprenant une voie magnétique principale (12), une voie magnétique directe (18) et une voie magnétique déviée (20) et un aiguillage (16) divisant la voie magnétique principale (12) en voie magnétique directe (18) et voie magnétique déviée (20),

- un véhicule (10 ; 102) à sustentation magnétique comprenant des moyens de sustentation magnétique (38) aptes à interagir avec l'ensemble (8) de voies magnétiques pour maintenir le véhicule en sustentation et des moyens de guidage magnétique (40, 42 ; 104, 110) aptes à interagir avec l'ensemble de voies magnétiques pour guider le véhicule (10 ; 102) au niveau de l'aiguillage (16), en direction de la voie magnétique directe (18) ou de la voie magnétique déviée (20),

caractérisé en ce que les moyens de guidage magnétique (40, 42 ; 104, 110) comprennent au moins un élément magnétique de guidage (40 ; 104), chaque élément magnétique de guidage (40 ; 104) étant décalé latéralement vers l'extérieur du véhicule (10, 102) par rapport aux moyens de sustentation (38), et en ce que le véhicule (10 ; 102) est un véhicule ferroviaire comprenant au moins une caisse avant et une caisse arrière suivant un sens de déplacement du véhicule, et en ce que le ou les éléments magnétiques de guidage (40 ; 104) sont intégrés uniquement à la caisse avant ou uniquement à la caisse avant et à la caisse arrière.

2.- Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de sustentation magnétique (38) sont positionnés en regard de l'ensemble de voies magnétiques (8), et en ce que les moyens de sustentation (38) comprennent au moins un cryostat, le cryostat comportant au moins un élément supraconducteur (56) et un fluide caloriporteur (C) propre à refroidir chaque élément supraconducteur (56).

3.- Système selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le véhicule (10 ; 102) comprend deux côtés latéraux (44, 46), et en ce que les voies magnétiques principale (12), directe (18) et déviée (20) comprennent deux bords latéraux extérieurs (27A, 27B, 28A, 28B, 29A, 29B), chaque élément magnétique de guidage (40 ; 104) étant positionné sur l'un des deux côtés latéraux (44, 46) du véhicule (10 ; 102) et étant, lorsque le véhicule circule sur l'une des voies magnétiques principale (12), directe (18) ou déviée (20), décalé latéralement vers l'extérieur de la voie magnétique principale

(12), directe (18) ou déviée (20), sur laquelle circule le véhicule par rapport à l'un des bords latéraux extérieurs (27A, 27B, 28A, 28B, 29A, 29B).

4.- Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque élément magnétique de guidage (40 ; 104) comprend soit un aimant permanent (64), soit un électroaimant (106).

5.- Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de guidage magnétique (40, 42 ; 104, 110) comprennent au moins un organe de commande (42, 110) de chaque élément magnétique de guidage (40 ; 104), propre à commander chaque élément magnétique de guidage (40 ; 104) entre un état actif, dans lequel l'élément magnétique de guidage (40 ; 104) est propre à interagir avec un champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques (8) pour guider le véhicule au niveau de l'aiguillage (16) et un état passif, dans lequel les interactions entre l'élément magnétique de guidage (40 ; 104) et le champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques (8) sont négligeables.

6.- Système selon la revendication 5, caractérisé en ce que chaque élément magnétique de guidage (40) comprend un aimant permanent de guidage (64) mobile entre une position de guidage correspondant à l'état actif et une position de repos correspondant à l'état passif, et en ce que l'organe de commande est propre à commander le déplacement de chaque aimant permanent de guidage (64) entre la position de guidage et la position de repos.

7.- Système selon la revendication 5, caractérisé en ce que chaque élément magnétique de guidage (104) comprend un électroaimant (106), et en ce que pour chaque électroaimant (106), l'organe de commande (110) est propre à commander l'intensité d'un courant circulant dans l'électroaimant (106) pour commander l'électroaimant (106) entre l'état actif et l'état passif.

8.- Système selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que, dans l'état actif, chaque élément magnétique (40 ; 104) est configuré pour générer un champ magnétique local, qui est de sens opposé au champ magnétique généré par l'ensemble de voies magnétiques (8) au niveau de l'élément magnétique de guidage (40 ; 104).

9.- Système selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que la voie déviée (20) s'étend sur un côté de la voie directe (18), en ce que le véhicule (10; 102) comprend un côté latéral interne (44) situé du côté de la voie déviée (20) et un côté latéral externe (46) opposé au côté latéral interne (44), en ce qu'au moins un élément magnétique de guidage (40 ; 104) est positionné sur le côté latéral externe (46) et au moins un autre élément magnétique de guidage (40 ; 104) est positionné sur le côté latéral interne (44), et en ce que l'organe de commande (42 ; 110) est configuré pour, au niveau de l'aiguillage (16), commander chaque élément magnétique de guidage positionné sur le côté latéral externe (46) dans son état actif pour guider le véhicule (10 ; 102) sur la voie directe (18) et commander chaque élément magnétique de guidage positionné sur le côté latéral interne (44) dans son état actif pour guider le véhicule (10 ; 102) sur la voie déviée (20).

10.- Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la voie magnétique principale (12), ainsi que les voies magnétiques directe (18) et déviée (20) comprennent des aimants permanents (30) et sont, de préférence, en configuration Halbach.

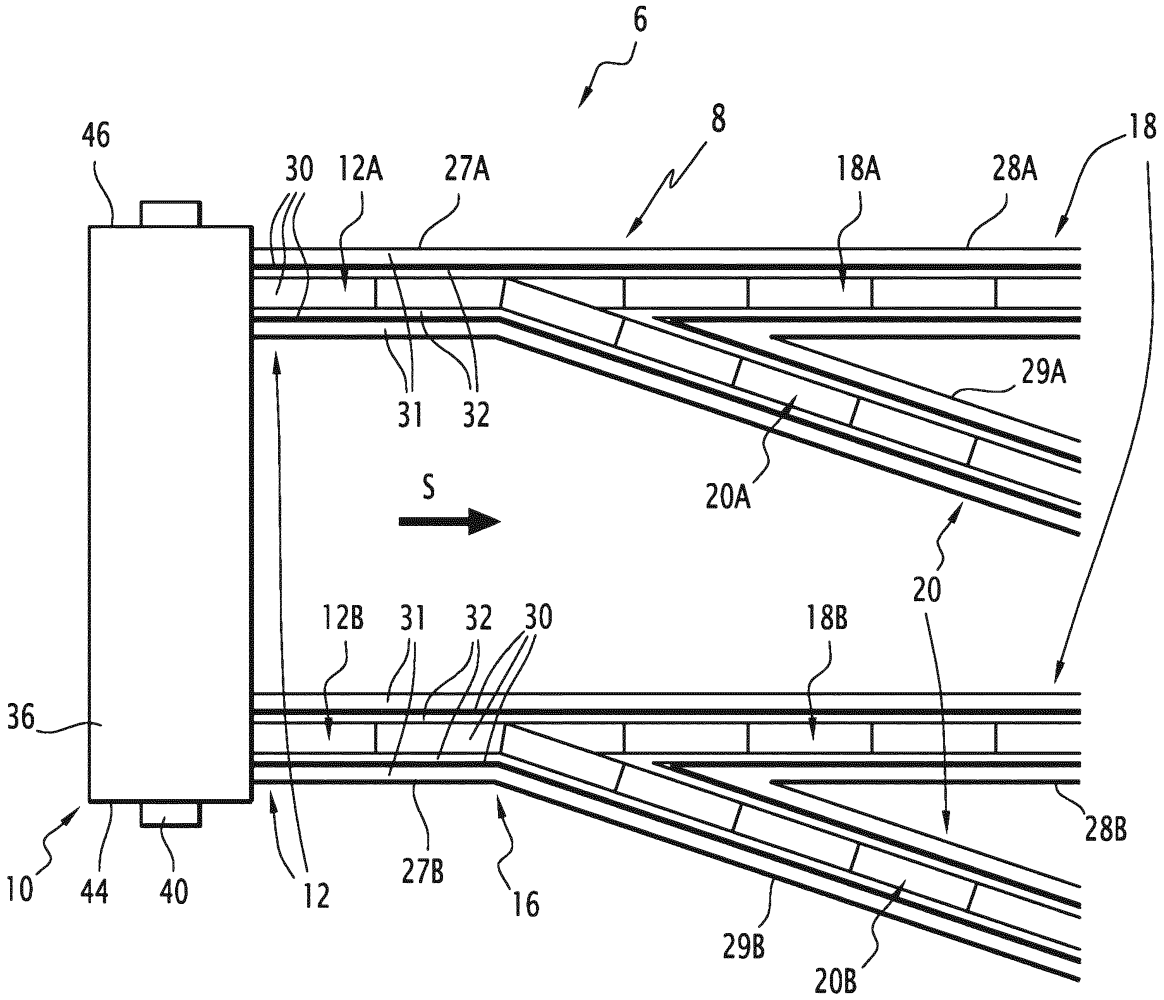

6
8
18
46
30
12A
27A
18A
28A
29A
31
32
20A
S
20
12B
31
32
30
18B
36
28B
10
44
40
12
27B
16
29B
20B

FIG.1

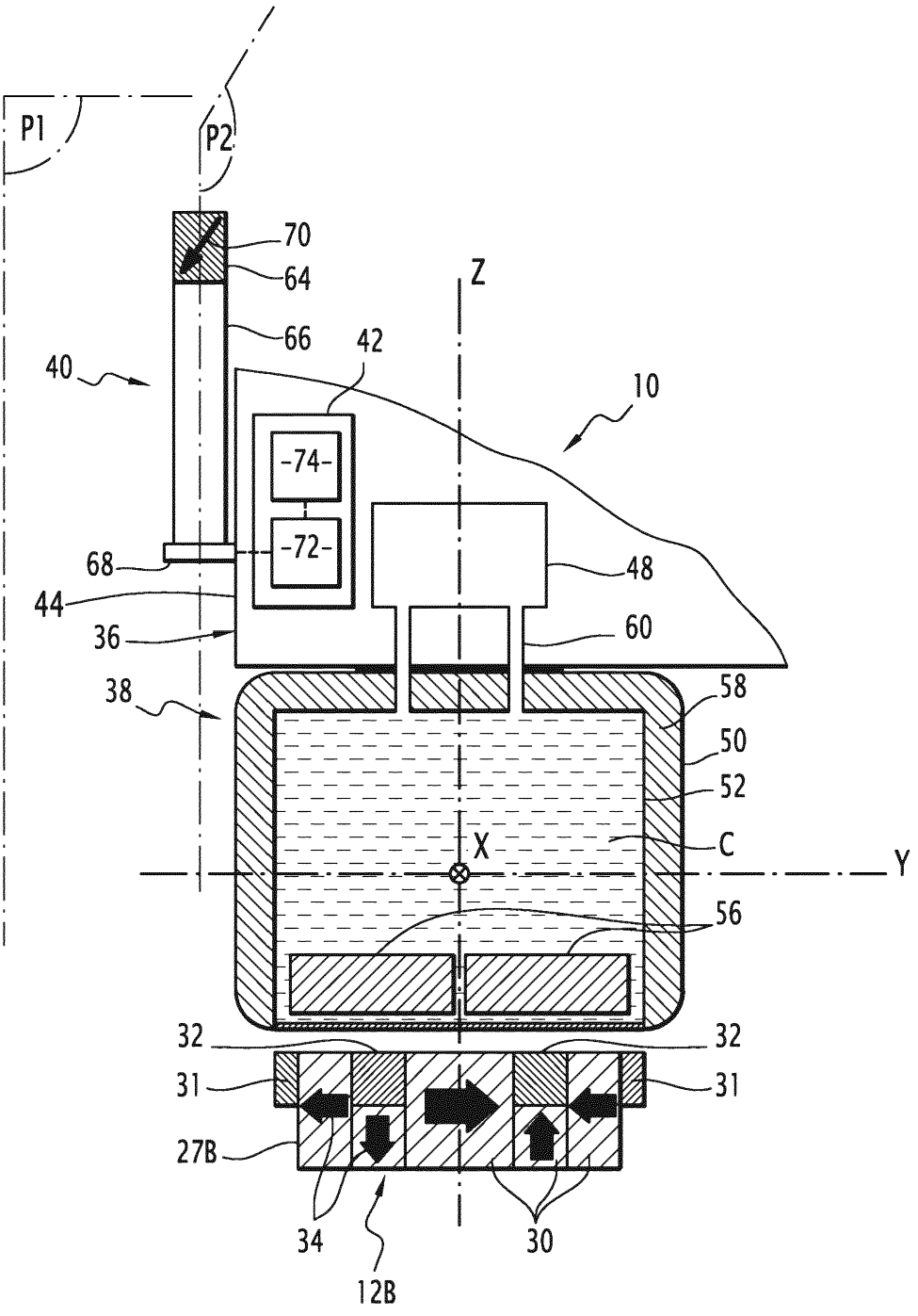

P1
P2
70
64
66
42
40
Z
10
-74-
-72-
68
48
44
36
60
38
58
50
52
X
C
Y
56
32
32
31
31
27B
34
30
12B

FIG.2

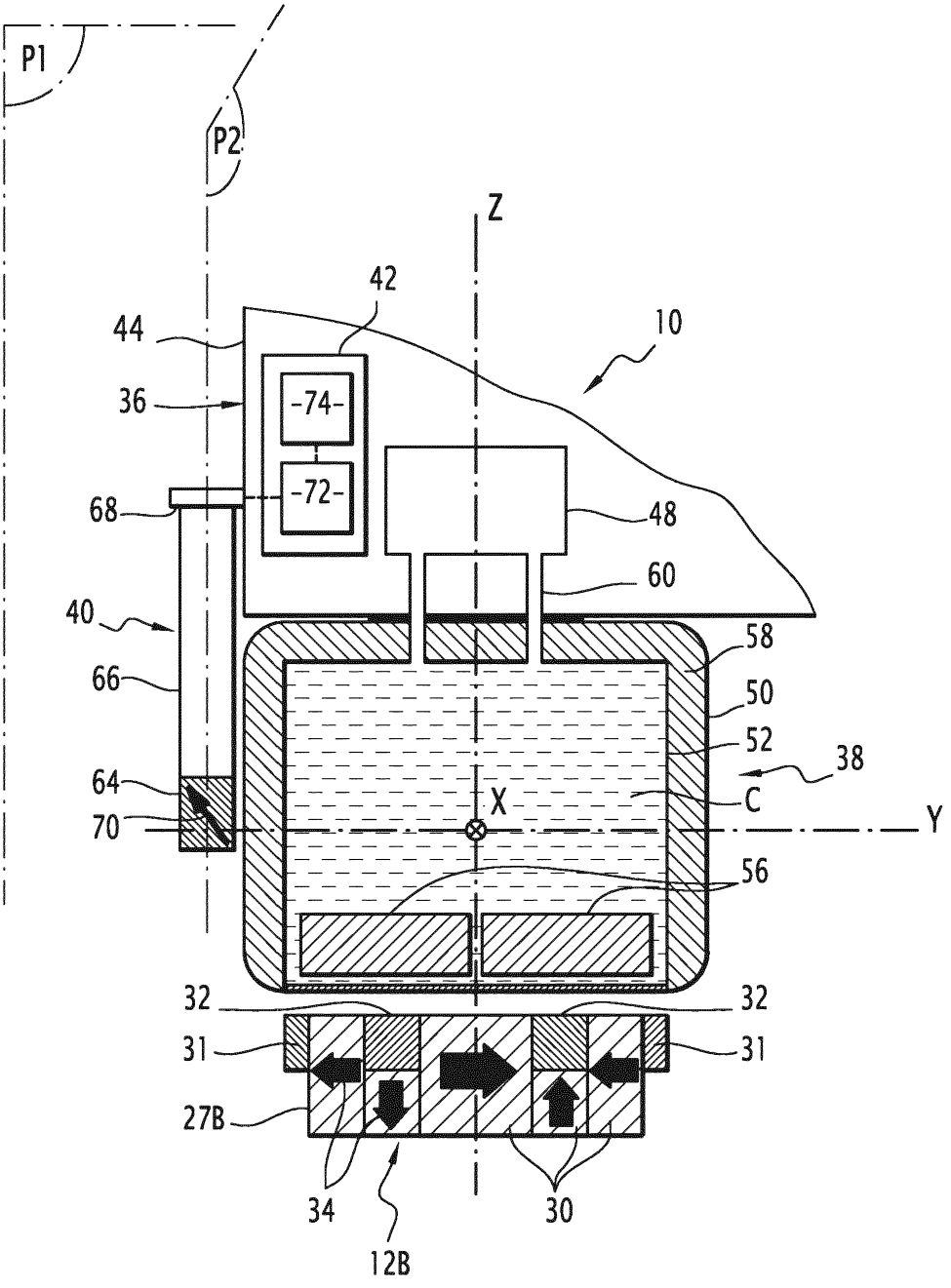

P1
P2
Z
42
44
10
36
-74-
-72-
68
48
60
40
58
66
50
52
38
64
X
C
Y
70
56
32
32
31
31
27B
34
30
12B

FIG.3

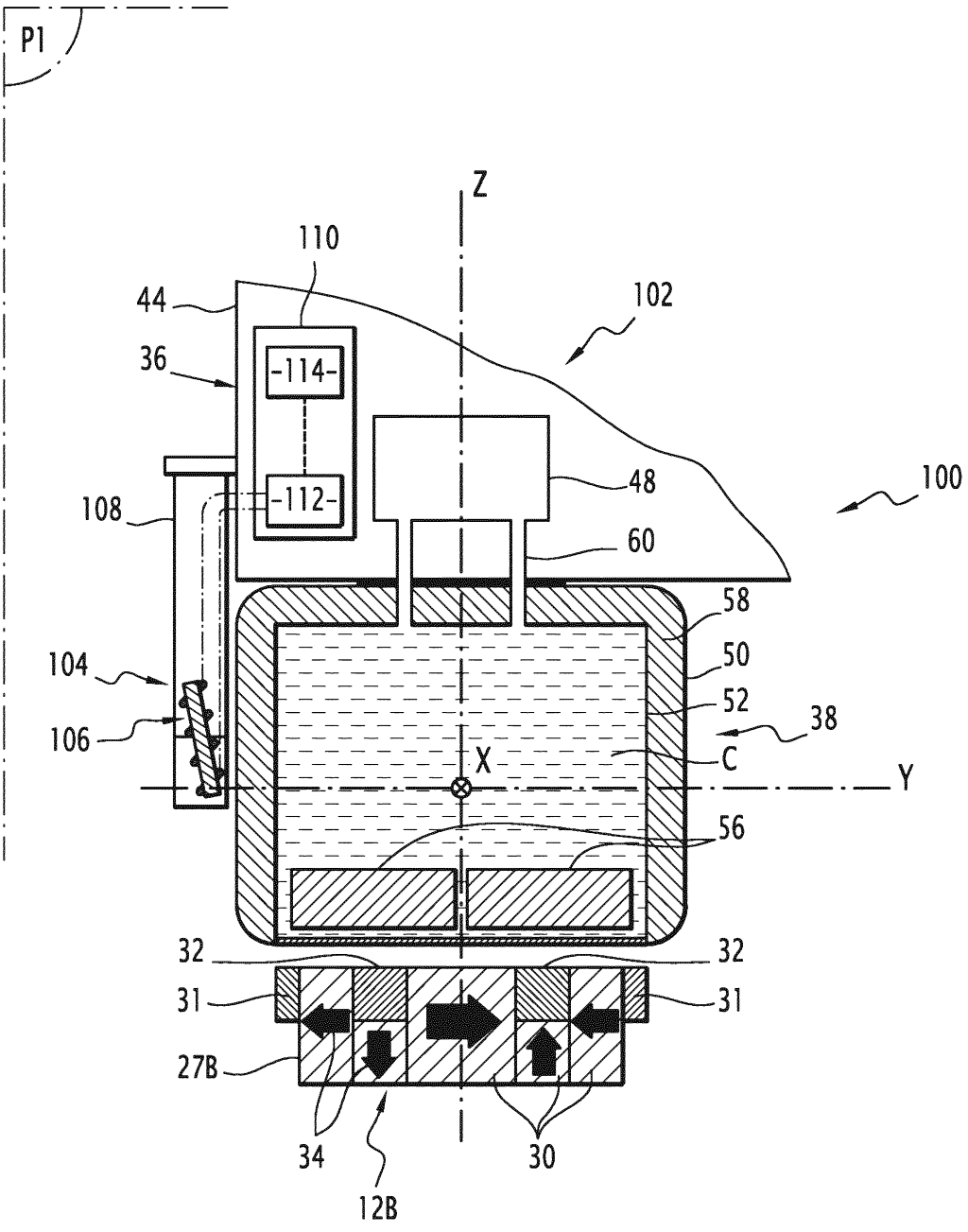

P1
Z
110
44
102
36
-114-
-112-
48
100
108
60
58
104
50
52
38
106
X
C
Y
56
32
32
31
31
27B
34
30
12B

FIG.4

N° d'enregistrement national : 1554458 N° de publication : 3036335

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- [x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- [ ] Le demandeur a maintenu les revendications.
- [x] Le demandeur a modifié les revendications.
- [ ] Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- [ ] Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- [ ] Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- [x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- [ ] Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- [ ] Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- [ ] Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

N° d'enregistrement national : 1554458 N° de publication : 3036335

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

FR 2 197 087 A1 (SIEMENS AG [DE])
22 mars 1974 (1974-03-22)

CN 101 192 463 A (SHANGHAI MAGNETIC SUSPENSION [CN])
4 juin 2008 (2008-06-04)

FR 2 168 418 A1 (KRAUSS MAFFEI AG [DE])
31 août 1973 (1973-08-31)

GB 1 213 453 A (PERROTT FRANCIS CYRIL)
25 novembre 1970 (1970-11-25)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT