



## (12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 35389 B1** (51) Cl. internationale : **B61G 11/16; B61D 15/06**

(43) Date de publication :  
**01.09.2014**

---

(21) N° Dépôt :  
**36436**

(22) Date de Dépôt :  
**15.11.2013**

(30) Données de Priorité :  
**22.04.2011 IT TO2011A000359**

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :  
**PCT/IB2012/052036 23.04.2012**

(71) Demandeur(s) :  
**ANSALDOBREDA S.P.A., VIA ARGINE, 425 NAPOLI (IT)**

(72) Inventeur(s) :  
**RAITI, Stefano ; LENZI, Luca**

(74) Mandataire :  
**SABA & CO**

---

(54) Titre : **TRAIN POURVU D'INTERFACES REPLIABLES ENTRE LES WAGONS**

(57) Abrégé : Un train (1) comporte une pluralité de wagons (2) alignés le long d'une direction longitudinale (3) et accouplés les uns aux autres par le biais d'interfaces (4), qui sont identiques les unes aux autres et sont pourvues de structures repliables respectives (18); chaque structure repliable est plastiquement déformable lorsque l'interface (4) est soumise à une compression longitudinale supérieure à un seuil donné (B) et présente des caractéristiques telles que la réalisation, pendant la déformation plastique, d'une résistance à la compression sensiblement égale à celle d'une courbe de raideur, qui est définie par conception, augmente de manière monotone en fonction du flambage longitudinal et comporte une concavité descendante.

**Abrégé**

Un train (1) comporte une pluralité de wagons (2) alignés le long d'une direction longitudinale (3) et accouplés les uns aux autres par le biais d'interfaces (4), qui sont identiques les unes aux autres et sont pourvues de structures repliables respectives (18); chaque structure repliable est plastiquement déformable lorsque l'interface (4) est soumise à une compression longitudinale supérieure à un seuil donné (B) et présente des caractéristiques telles que la réalisation, pendant la déformation plastique, d'une résistance à la compression sensiblement égale à celle d'une courbe de raideur, qui est définie par conception, augmente de manière monotone en fonction du flambage longitudinal et comporte une concavité descendante.

01 SEPT 2014

## TRAIN POURVU D'INTERFACES REPLIABLES ENTRE LES WAGONS

### DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un train pourvu d'interfaces repliables entre les wagons.

- 5 En particulier, le terme "train", ci-après, est interprété comme se référant à la fois à un train de surface, notamment un train à grande vitesse, et un métro.

### CONTEXTE DE L'INVENTION

- 10 La demande de brevet européen n° EP 1927524 A1, qui correspond au préambule de la revendication 1, décrit un train, les wagons sont couplés via des interfaces pourvues des structures repliables qui subissent une déformation plastique quand ils sont comprimés avec une charge supérieure à un seuil donné pour absorber l'énergie en cas de collision frontale du train et pour préserver ainsi l'intégrité des zones occupées par les passagers et l'équipage.

- 15 Les structures repliables mentionnées dans le document n° EP 1927524 A1 fournissent, lors de leur déformation plastique, une compression longitudinale qui augmente linéairement avec l'augmentation de la déformation. Cette solution permet de répartir l'absorption de l'énergie d'impact tout au long du train.

- 20 Les interfaces les plus proches de la zone d'impact (et donc plus proche de la cabine) sont les plus soumises au stress, contrairement à celles les plus éloignées (dans les zones centrales et finales du train). Dans un train donné, toutefois, toutes les interfaces doivent être les mêmes, pour les besoins de l'industrialisation, l'interchangeabilité et la flexibilité de configuration du train lui-même. Par conséquent, la conception et le dimensionnement des interfaces doivent être réalisés en tenant compte des spécifications requises de la première interface, c'est à dire, celle qui doit supporter la charge la plus élevée, même si les structures repliables des interfaces suivantes ne seront pas exploitées pour leur capacité d'absorption entière.

- 30 Comme on le sait, dans un train, les problèmes d'espace et de poids sont cruciaux. En particulier, la zone de frontière entre les wagons adjacents est très encombrée, dans la mesure où, dans un espace très étroit, les éléments de dessin/répulsion, l'interphone, les branchements électriques, les raccordements pneumatiques, etc, doivent être logés, d'ailleurs garantissant la liberté nécessaire de mouvement relatif entre les organes pendant le voyage.

- 35 Il est par conséquent ressenti le besoin d'améliorer la solution décrite dans le brevet EP 1927524 A1 afin de limiter l'action de la charge maximale, dans le cas de collision frontale ou arrière, sur la première interface, qui, comme mentionné ci-dessus, impose l'exigences de conception pour toutes les interfaces suivantes.

## DESCRIPTION DE L'INVENTION

Le but de la présente invention est de fournir un train ayant des interfaces repliables entre les wagons qui permettront à la nécessité énoncée ci-dessus d'être respectée d'une manière simple et peu coûteuse.

- 5 Selon la présente invention, un train est prévu tel que défini dans la revendication 1.

## DESCRIPTION SOMMAIRE DES DESSINS

L'invention va maintenant être décrite en référence aux dessins annexés, qui illustrent un exemple non limitatif de réalisation de celle-ci et dans laquelle:

- 10 La figure 1 est une vue de côté d'un mode de réalisation préféré d'un train pourvu d'interfaces repliables entre les wagons, selon la présente invention;

La figure 2 est une vue de côté, à une échelle plus grande, d'une interface du train de la figure 1;

La figure 3 illustre, avec les pièces retirées pour plus de clarté et à une échelle plus grande, un détail de la figure 2;

- 15 La figure 4 est un graphique qui représente la résistance à la compression en fonction de la déformation de la structure repliable de l'interface de la figure 2;

Les figures 5a et 5b sont des représentations schématiques de la déformation plastique d'un élément d'absorption d'une interface du train de la figure 1;

La figure 6 est semblable à la figure 2 et montre une variante de la figure 2, et

- 20 Les figures 7 et 8 sont similaires aux figures 1 et 2, respectivement, et illustrent une autre variante du train de la présente invention.

## MEILLEUR MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

- 25 Dans la figure 1 désigné par 1 est un train à grande vitesse, constitué en particulier par huit wagons 2 qui sont alignés le long d'une direction longitudinale 3 et sont couplés les uns aux autres par l'intermédiaire d'interfaces 4. Les deux wagons 2a fixés à la tête et à la queue du train sont alimentés et sont fournis avec une cabine, quatre wagons intermédiaires 2b sont tirés, et deux wagons intermédiaires 2c sont alimentés et sont réglés entre les wagons tirés.

- 30 En ce qui concerne la sécurité passive en cas de collision frontale, le train 1 est conçu de manière à répondre aux directives mentionnées dans la norme européenne EN 15227 visant à prévenir la déformation plastique évidente sur les cabines de conduite, sur les compartiments voyageurs, et sur les zones d'extrémité de chaque wagon 2 où les vestibules et les zones d'accès aux compartiments voyageurs sont situés.

En référence aux figures 2 et 3, chaque interface 4 comprend deux éléments de sécurité 9, qui sont couplés, respectivement, aux organes (ou châssis porteur) 7 des deux wagons adjacents 2, sont fixés à une distance longitudinale à part pendant le voyage, par exemple à une distance  $F$  d'environ 70 mm, sont sensiblement les mêmes et  
5 sensiblement symétriques par rapport à un plan médian idéal orthogonale à la direction 3.

Chaque interface 4 comprend en outre une barre de traction 10, qui est mise sous les deux organes 9, transmet les forces de traction entre les deux wagons pendant le voyage, et est couplée aux organes 7 par l'intermédiaire de points d'articulation  
10 respectifs 11, dont un seul est représenté dans une manière simplifiée dans la figure 3. Les points d'articulation 11 permettent une inclinaison relative entre la barre 10 et les organes 7 et, par conséquent, les changements de direction sur une courbure de chaque chariot 2 par rapport à l'autre.

Chaque élément 9 comporte deux éléments absorbeurs 18, qui s'étendent le long d'axes respectifs 19 parallèles à la direction 3, sont fixés les uns à côté les autres dans une direction horizontale (un seulement est visible sur les figures), sont les mêmes, et sont symétriques par rapport à un plan vertical idéal dans lequel se trouve la direction 3. Les quatre éléments absorbants 18 de chaque interface 4 définissent une structure repliable qui est capable de subir une déformation plastique pour absorber l'énergie lors une  
15 collision frontale ou une collision par l'arrière du train 1 afin de garantir la sécurité de compartiments voyageurs.

Les deux membres 9 comportent en outre des éléments respectifs de front anti-grimpeur 12, qui sont sensiblement rigides, s'étendent dans une direction transversale par rapport aux axes 19, et ont des surfaces respectives 13 qui se font face et sont  
25 pourvues de nervures horizontales 14 qui définissent une pluralité de rainures 15 entre eux.

Les deux éléments 18 de chaque élément 9 comprennent des parties de fixation de borne respectives 20, couplés aux extrémités latérales de l'élément 12: en particulier, les parties 20 sont articulées sur lesdites extrémités latérales autour d'axes verticaux respectifs. A l'extrémité opposée par rapport aux portions 20, les deux éléments 18  
30 comprennent des corps respectifs 23, qui sont sensiblement cylindriques et sont logés, dans des positions fixes, dans des logements respectifs 24 définis par le corps 7. En particulier, chaque siège 24 est défini par deux plaques 27, 28, qui sont situées dans des plans orthogonaux à l'axe 19, sont fixées axialement à une certaine distance, et sont  
35 renforcées d'une manière non illustrée.

Les deux éléments 18 de chaque élément 9 comprennent en outre des corps cylindriques respectifs 30, qui sont coaxiaux aux corps 23, s'étendent sur le côté extérieur du corps 7 correspondante, et ont un diamètre plus petit que celui des corps 23.

Chaque élément 9 comporte alors deux plaques de fixation ou de brides 32, montés dans une position fixe sur les extrémités respectives des organes 23 et fixés au corps 7, par exemple à la plaque 27, au moyen de vis, pour bloquer les organes 23 eux-mêmes.

5 Dans le cas d'une collision frontale ou collision de l'arrière du train, à chaque interface 4, lorsque la compression entre les organes 7 dépasse un seuil donné, par exemple un seuil de  $1,7 \cdot 10^6$  N, dans la direction 3, les dispositifs qui relient la barre d'attelage 10 au corps 7 pausent. Le timon 10 devient par conséquent libre de coulisser par rapport à au moins l'un des deux wagons 2 et, par conséquent, sa contribution en ce qui concerne l'absorption d'énergie est négligeable.

10 Les deux wagons 2 s'abordent par conséquent, et la distance F tombe à zéro. A ce stade, les rainures 15 d'un élément 12 sont engagées par les nervures 14 de l'élément 12 ; l'engagement entre les rainures 15 et les nervures 14 des deux éléments 12 empêche les deux wagons 2 de monter l'un par rapport à l'autre.

15 Au moment où les éléments 12 viennent en engagement mutuel, la compression entre les deux éléments 9 dans une direction parallèle à la direction 3 augmente d'une manière rapide, avec une déformation élastique correspondante d'une quantité négligeable (tronçon de courbe désignée par (b) dans le diagramme de la figure 4).

20 Lorsque la compression est supérieure à un seuil B donnée (par exemple  $1,6 \cdot 10^6$  N), les organes 30 commencent à se retirer à l'intérieur des corps 23, comme s'ils étaient des pistons dans des cylindres respectifs, entraînant une déformation plastique qui absorbe de l'énergie.

25 Le déplacement de chaque corps 30 correspondant à la déformation plastique de l'élément 18 est également défini comme «flambage longitudinal», et peut atteindre une valeur maximale C (figure 5a), définie par fin de course épaules du corps 23, qui arrête le retrait axial du corps 30 (figure 5b).

30 Dans chaque interface 4, la structure repliable définie dans son ensemble par les éléments 18 pourvus, dans une direction parallèle à la direction 3, une résistance à la compression qui augmente à mesure que les longitudinales des augmentations de flambage, en fonction de la courbe de raideur théorique qui est défini par la conception. Le graphique de la figure 4 illustre cette courbe de rigidité, ce qui augmente de façon monotone, c'est à dire avec une pente qui est pratiquement toujours positive, à partir d'un point initial de coordonnées (0; B) jusqu'à un dernier point de coordonnées ( D, E). Dans le dernier point de coordonnées (D, E) de la courbe de raideur définie par conception pourrait même avoir une tangente horizontale (pente nulle).

35 Dans le cas d'un train à grande vitesse, de préférence, nous avons:

D = environ 610 mm;

B = environ 1600 kN;

E = environ 2700 kN;

L'abscisse D dépend des caractéristiques de construction de la structure pliable et, dans le cas du mode de réalisation des figures 2 et 3, soit deux fois la valeur C. Une fois de plus, dans l'exemple de la figure 3, étant donné que chaque membre 9 a deux éléments  
5 18 ensemble en parallèle, chaque élément 18 subit une déformation plastique dans une gamme de charge de 800 kN à 1350 kN.

La courbe de rigidité fixée par conception au cours de la déformation plastique de la structure pliante d'une interface unique 4 présente une concavité vers le bas, en tous les points de la courbe de rigidité elle-même. De cette façon, non seulement l'énergie  
10 maximale absorbable dans chaque interface supérieure à une courbe de raideur linéaire hypothétique (dans la mesure où l'aire sous-tendue par la courbe est plus grande), mais également une meilleure répartition des charges entre les différentes interfaces 4 peut être obtenu, comme cela sera expliqué plus en détail dans ce qui suit.

En fait, la résistance à la compression est déterminée par les caractéristiques du  
15 matériau, la géométrie et les dimensions de la structure repliable de l'interface 4. Les caractéristiques de la structure repliable sont donc conçues de façon à fournir une résistance à la compression égale à celle de la courbe de rigidité définies par la conception. En particulier, la résistance à la compression efficace, lors d'une collision à une vitesse standard de l'impact, est autorisée à présenter une déviation maximale de  $\pm$   
20 7,5% par rapport à celle de la courbe de raideur définie par conception.

Dans la phase de conception, il est possible d'adopter différentes solutions alternatives de structure afin d'obtenir une résistance à la compression effective égale à celle de la courbe de rigidité fixé par conception. Par exemple, comme illustré à la figure 5a, pour  
25 chaque élément 18, il est possible d'adopter un tube, défini par la partie avant du corps 23, qui reçoit un piston, défini par une partie cylindrique du corps 30, comportant une enveloppe extérieure qui a un diamètre supérieur au diamètre interne du tube. Fondamentalement, la résistance que le tube s'oppose à l'insertion du piston est fonction de la matière du tube, de l'interférence diamétrale entre le tube et le piston, et de l'épaisseur du tube lui-même. En faisant varier de façon appropriée la valeur de  
30 l'interférence et/ou l'épaisseur du tube de façon progressive tout au long de la course d'insertion du piston, il est possible d'obtenir une loi de rigidité. Dans le cas particulier, l'épaisseur du tube varie selon une loi de manière à obtenir la courbe de rigidité fixée par la conception d'une concavité vers le bas.

Après conception de construction de la structure repliable, à savoir des éléments 18, il  
35 est possible d'effectuer un essai afin de calculer la résistance à la compression effective au cours d'une déformation plastique et de déterminer si elle correspond à celui défini par la conception. Ledit test est constitué de préférence dans une simulation par l'intermédiaire d'un logiciel fourni.

Dans le cas d'un essai quasi-statique, c'est à dire, en simulant des taux extrêmement bas  
40 de la déformation, la résistance à la compression efficace est très proche, sinon

identique, à celui de la courbe de rigidité fixée par la conception. Dans le cas d'un test de nature dynamique, c'est à dire, stimuler des taux de déformation qui correspondent sensiblement aux taux réels en cas de collision, la résistance à la compression efficace en fonction de la déformation plastique, en général, les fluctuations autour d'une  
5 évolution moyenne, qui doit être sensiblement égale à la courbe de rigidité fixée par conception. Comme mentionné en haut, l'écart par rapport à la courbe de rigidité fixée par conception doit respecter la tolérance de  $\pm 7,5\%$ .

Cette procédure de conception permet une absorption contrôlée de l'énergie associée à un impact.

10 Dans l'étape de conception, la courbe de raideur peut être définie par des points (comme sur la figure 4) et/ou sous la forme d'une équation polynomiale, d'un degré égal ou supérieur à deux. Par exemple, une équation polynomiale du quatrième degré approprié pour le train 1 est la suivante:

$$y(x) = -9591 \cdot x^4 + 13511 \cdot x^3 - 8333 \cdot x^2 + 4030 \cdot x + 16001$$

15 où:

x [m] est la déformation de flambage longitudinal ou en matière plastique de la structure repliable (définie par l'ensemble des éléments 18) dans une interface 4 (l'abscisse x = 0 correspond au début de la déformation plastique), et

20 y [kN] est la résistance à la compression dans le sens longitudinal entre les corps 7 des deux wagons adjacents 2 lors de la déformation plastique.

Le tableau suivant présente les résultats de deux simulations de logiciels, qui considèrent, respectivement, un choc frontal d'un train selon l'art connu, dans lequel la structure pliable des interfaces est plastiquement déformable avec une courbe de  
25 rigidité linéaire, et une tête -lors de l'impact du train 1 de la courbe de rigidité de la figure 4. Les coordonnées (O; B) du point initial et les coordonnées (D, E) du point final de la déformation plastique sont les mêmes pour les deux courbes de rigidité comparées et sont égaux aux valeurs mentionnées ci-dessus.

Les simulations ont été réalisées par la génération d'un modèle FEM selon les directives  
30 de la norme européenne EN 15227. En particulier, l'impact simulé était un choc frontal sur un tronçon rectiligne, avec un véhicule lancé à 36 kilomètres par heure contre un véhicule identique stationnaire et non freiné. Le modèle utilisé était du type «unidimensionnel», où le système constitué des différents wagons 2 et les structures repliables d'absorption d'énergie a été modélisé de recourir à l'utilisation de masses et  
35 de ressorts de rigidité appropriée. En particulier, chaque corps 7 était idéalement divisé en une partie centrale et deux parties d'extrémité, qui ont été modélisées séparément. Dans ces conditions, les analyses non linéaires d'un type explicite ont été menées avec le solveur LS-Dyna de LSTC, version 970.



- De la comparaison des résultats du tableau, il apparaît que, avec une courbe de raideur à concavité vers le bas dans le domaine plastique, une partie des interfaces les plus éloignés de la zone d'impact absorbe une quantité d'énergie plus grande que dans le cas d'une courbe de raideur linéaire. Dans le même temps, les deux premières interfaces absorbent une quantité plus faible d'énergie et subissent donc moins de contraintes vue les mêmes conditions et la nature de l'impact.

Position de l'interface	Energie absorbée sur les interfaces [KJ]		Variation [KJ]	$\Delta$ %
	Structure pliable avec courbe de rigidité linéaire	Structure pliable avec courbe de rigidité présentant une concavité vers le bas		
1	1154	1120	-34	-2.9
2	1009	970	-39	-3.9
3	683	718	+35	+5.1
4	472	522	-50	-10.6
5	537	477	+60	+11.2
6	502	506	-4	+0.8
7	286	277	-9	-3.14

- Par rapport aux trains de l'art connu dans lesquels les structures repliables des interfaces ont une courbe de rigidité linéaire, dans la présente invention l'énergie de déformation non régénérable absorbée dans son ensemble par l'ensemble des interfaces 4 du train 1 s'avère être inférieure: la réduction de ladite énergie se traduit par une énergie élastique stockée plus élevée par les structures pendant la collision.

- La figure 6 montre un train de grande vitesse, dans lequel chaque interface 4a est sans les membres 9, mais elle a une barre de traction 10a qui ne se détache pas du corps 7 en cas de choc, mais comprend une structure pliable pas décrite en détail, conçue de façon à fournir une résistance à la compression sensiblement égale à celle de la courbe de rigidité définies par la conception. En d'autres termes, au moins un élément absorbeur est englobé dans la barre d'attelage 10, qui fonctionne par conséquent en tant que dispositif d'étirage et aussi en tant que dispositif de répulsion entre les corps 7.

- Les figures 7 et 8 montrent un train 1b souterrain, qui a seulement six wagons. Dans chaque interface 4b, les éléments 18b sont fixés le long de la barre de traction 10b, sensiblement à la même hauteur par rapport au sol. En ce qui concerne la courbe de rigidité, dans le cas d'une rame de métro, de préférence, nous avons: D = environ 400 mm;

B = environ 500 kN;

E = environ 1000 kN;

et une équation polynomiale de la courbe de rigidité est, par exemple, la suivante:

$$y(x) = -8720 \cdot x^4 + 11550 \cdot x^3 - 7227 \cdot x^2 + 2821 \cdot x + 5001$$

- 5 Dans ce cas également, des simulations effectuées, il ressort que la courbe de rigidité fixée par la conception avec une concavité vers le bas conduit à une répartition avantageuse de l'absorption d'énergie entre les différentes interfaces 4b du train 1b. Les conditions de simulation sont identiques à celles décrites ci-dessus pour le train 1, sauf pour les valeurs des coordonnées des points initial et final des courbes de rigidité et de
- 10 la vitesse d'impact, qui dans ce cas a été fixé à 25 kilomètres par heure .

Position de l'interface	Energie absorbée sur les interfaces [KJ]		Variation	Δ %
	Structure pliable avec courbe de rigidité linéaire	Structure pliable avec courbe de rigidité présentant une concavité vers le bas		
1	325	287	-38	-11.7
2	314	253	-61	-19.4
3	39	109	+70	+180.5
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

- 15 À partir d'une comparaison des résultats du tableau, dans ce cas aussi il est évident que, dans le cas du train 1b, les deux premières interfaces absorbent une énergie plus faible et sont donc soumises à moins de stress, étant donné les mêmes conditions et le type de l'impact, par rapport au cas de l'art connu, dans lequel la courbe de rigidité est linéaire dans le domaine plastique. La troisième interface, à la place, absorbe une quantité d'énergie qui est nettement plus grande. L'impact est à une vitesse de nature à ne pas affecter sensiblement les quatrième et cinquième interfaces.

- 20 Dans ce cas également, l'énergie de déformation non restituables absorbée dans son ensemble par l'ensemble des interfaces 4b du train 1b révèle être plus faible que dans le métro selon l'art connu, et la réduction de ladite énergie se traduit par une plus grande énergie élastique stockée dans les structures pendant une collision par rapport à rames de métro selon l'art connu.

- 25 De ce qui précède il ressort clairement que la courbe de rigidité particulière avec une concavité vers le bas prévue pour la conception des éléments de la structure repliable

dans les interfaces 4, 4a, 4b permet une répartition plus uniforme de la charge, c'est à dire, de l'absorption d'énergie, entre les divers wagons 2, dans la mesure où il permet de "foudre" du travail pour les interfaces à proximité de l'impact, de transférer une partie de l'absorption sur les interfaces qui sont plus loin. \Par conséquent, la première  
5 interface peut être dimensionnée de façon à absorber une quantité plus faible d'énergie et donc de supporter des charges plus faibles, sans compromettre l'efficacité globale de l'absorption de l'ensemble du train 1, 1a, 1b. Comme les interfaces sont les mêmes et leur conception est basée sur les exigences d'absorption à respecter par le premier d'entre eux, on obtient l'avantage d'être en mesure de réduire les dimensions et/ou le  
10 poids de toutes les structures démontables présentent également dans les interfaces intermédiaires, avec une économie considérable conséquente de poids total et les dimensions.

Enfin, à partir de ce qui précède, il apparaît clairement que des modifications et variations peuvent être apportées au train 1, 1a, 1b décrits ici, sans pour autant sortir du  
15 champ de la protection de la présente invention, tel que spécifier dans les revendications annexées.

En particulier, comme mentionné ci-dessus, les caractéristiques de construction des éléments absorbants de la structure pliable dans les interfaces pourraient être différentes de celles illustrées uniquement à titre d'exemple, et/ou lesdits éléments  
20 d'absorption pourraient être fixés dans différentes positions de et /ou être d'un nombre différent de ceux indiqués.

**REVENDEICATIONS**

1. Un train (1 : 1a) comprenant une pluralité de wagons (2) alignées le long d'une direction longitudinale (3) et couplées par l'intermédiaire d'interfaces (4), qui sont les mêmes et comprennent des structures repliables respectives (18) et chaque structure  
5 repliable étant déformable plastiquement jusqu'à une valeur de déformation maximale (C) lorsque l'interface (4) est soumise à une compression longitudinale supérieur à un seuil donné (B) et ayant des caractéristiques telles que pour offrir, lors de la déformation plastique, une compression force sensiblement égale à celle d'une courbe de raideur, qui est fixée par la conception et l'augmentation de façon monotone jusqu'à  
10 la valeur maximale de la déformation (C) en fonction de la déformation longitudinale;

Caractérisé en ce que ladite courbe de rigidité présente une concavité vers le bas, lors de la déformation plastique, au tous points de ladite courbe de rigidité à la valeur maximale de la déformation (C).

2. - Le train selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite courbe de rigidité est  
15 définie par la conception d'une équation polynomiale du quatrième degré.

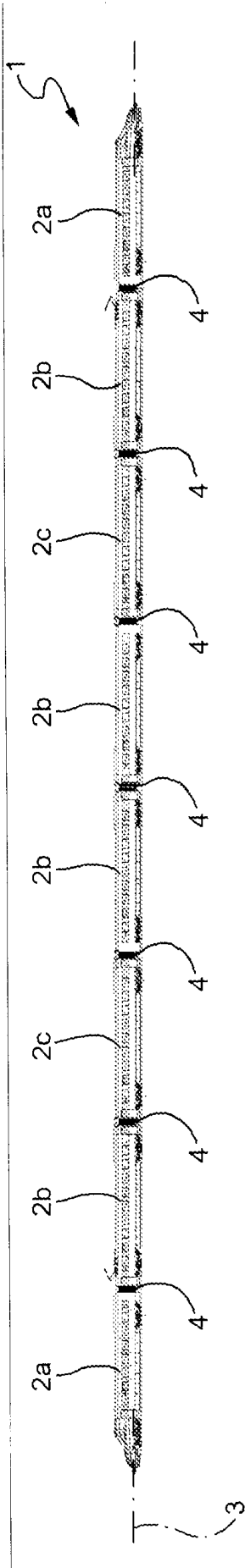


FIG. 1

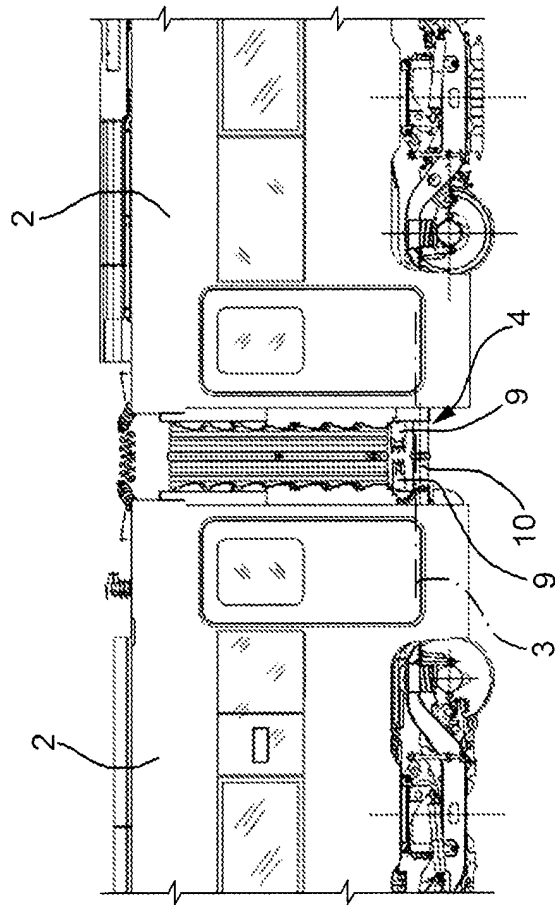


FIG. 2

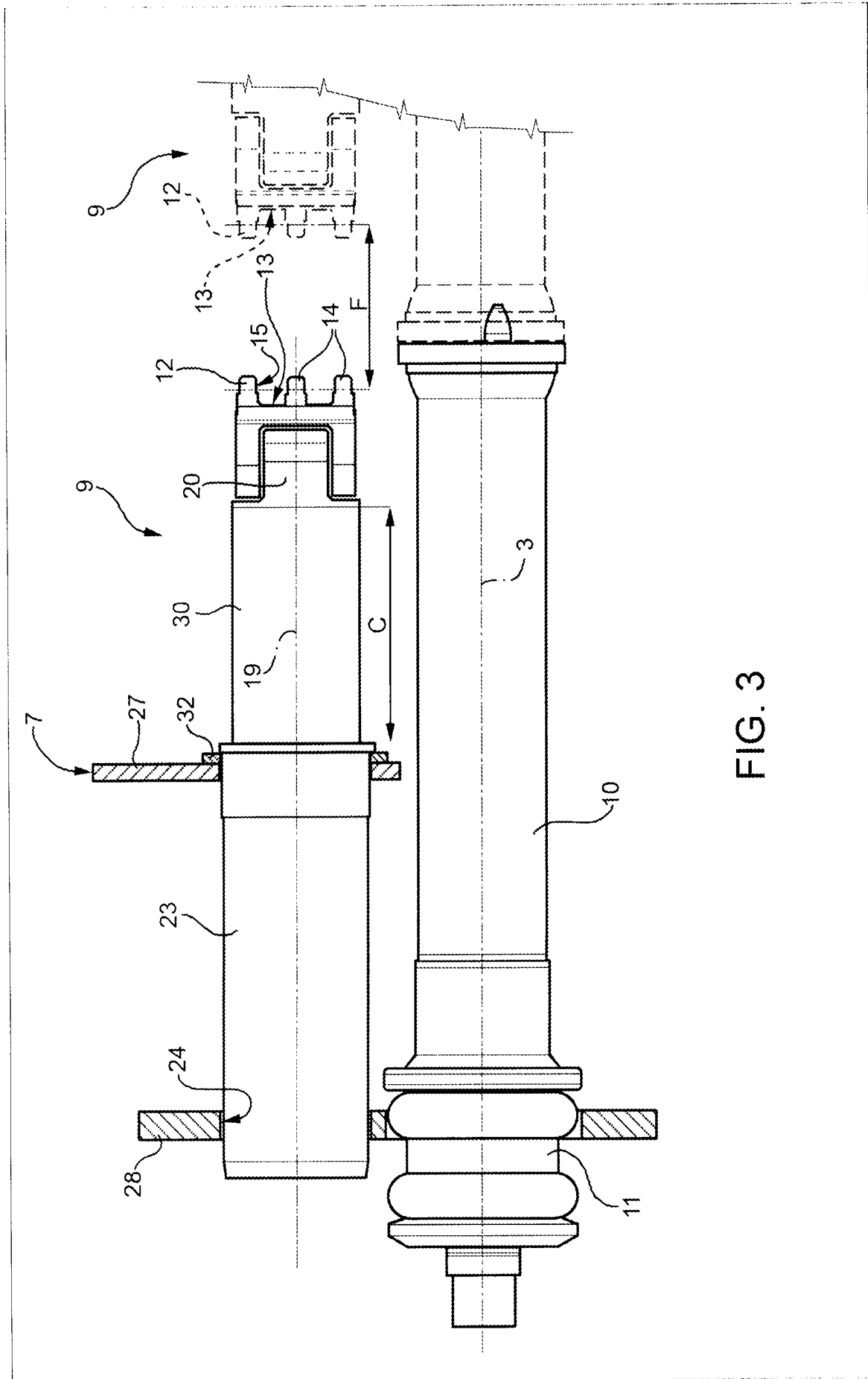


FIG. 3

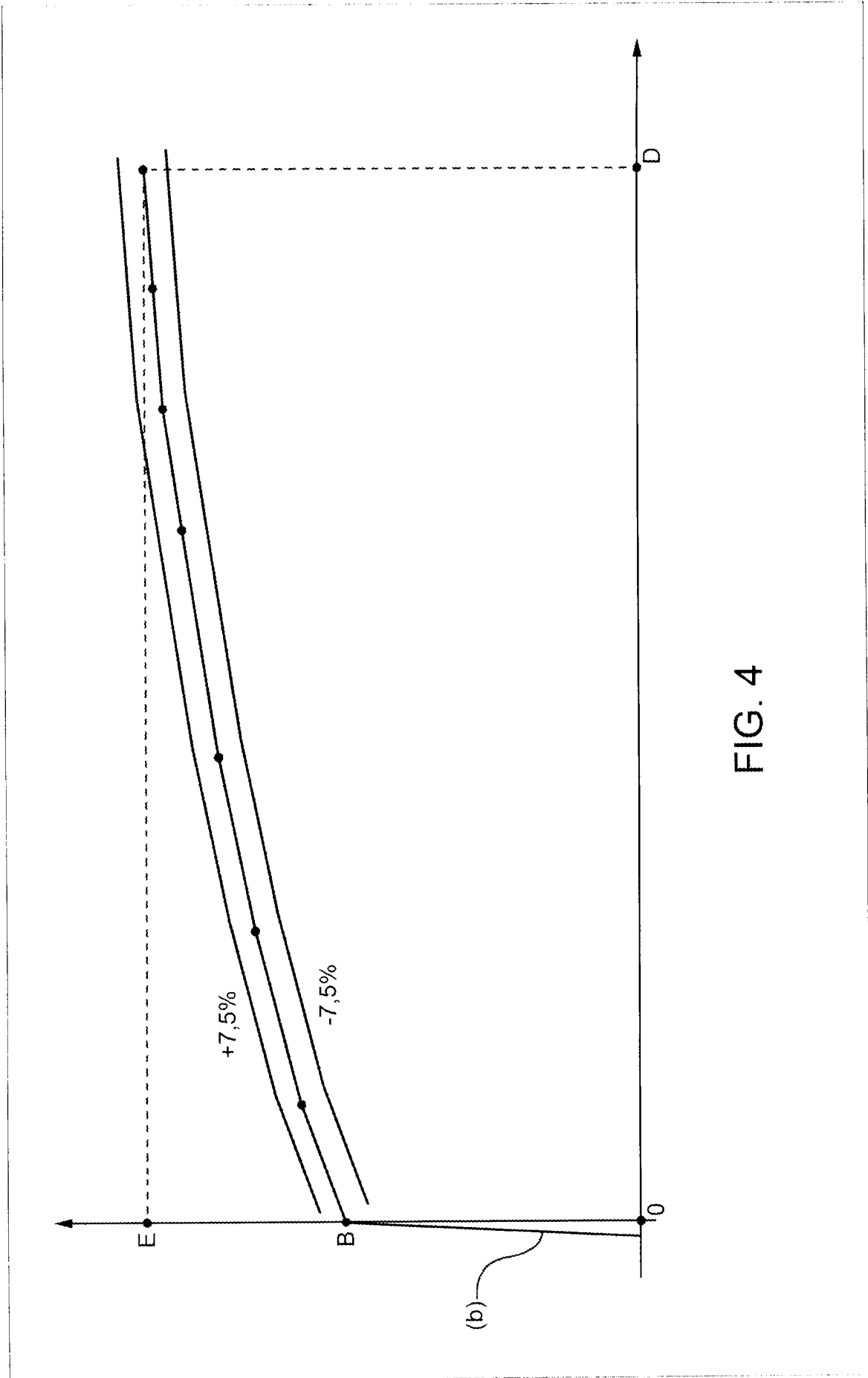


FIG. 4

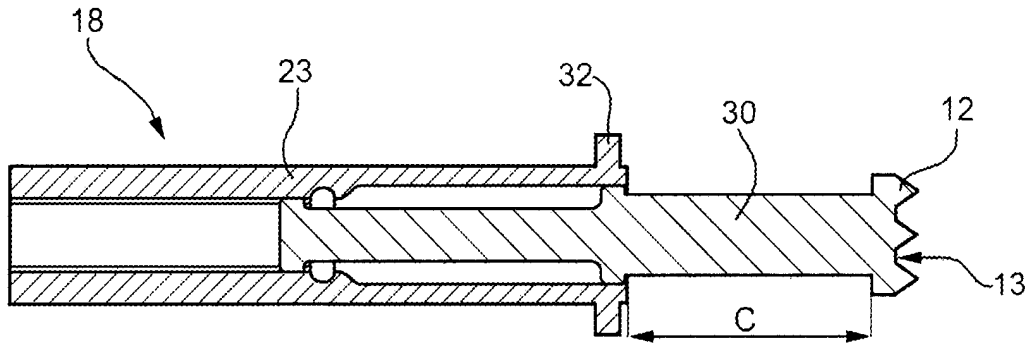


FIG. 5a

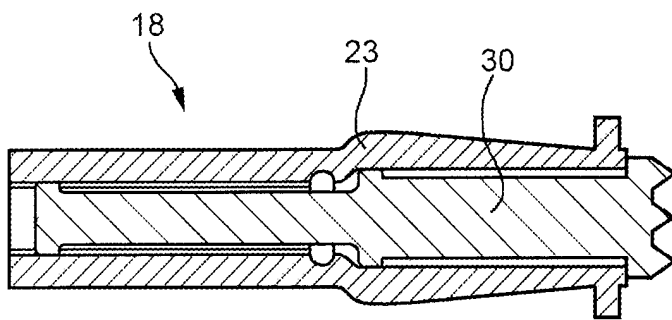


FIG. 5b

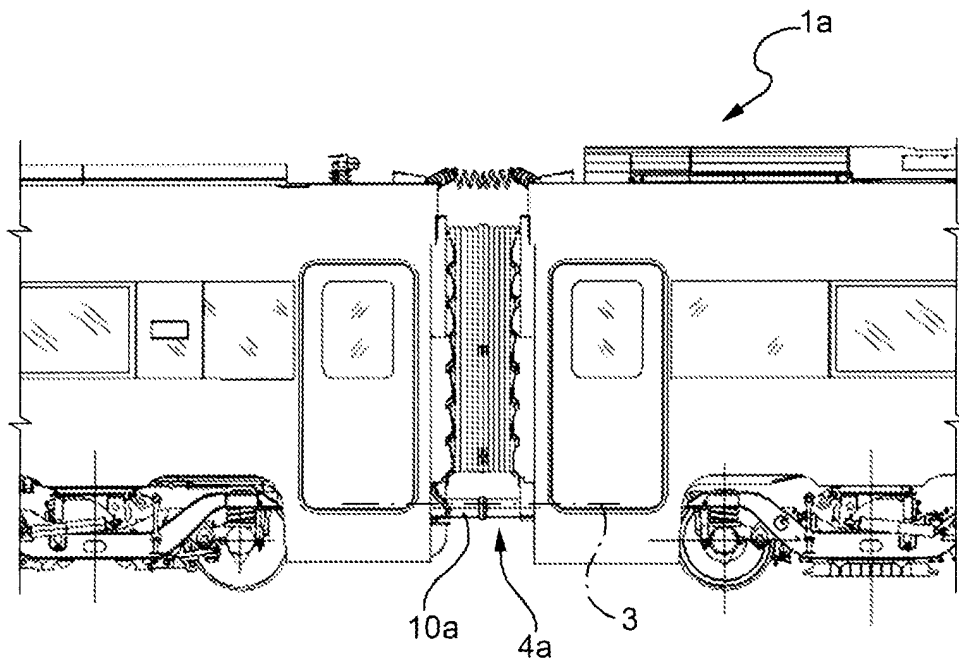


FIG. 6



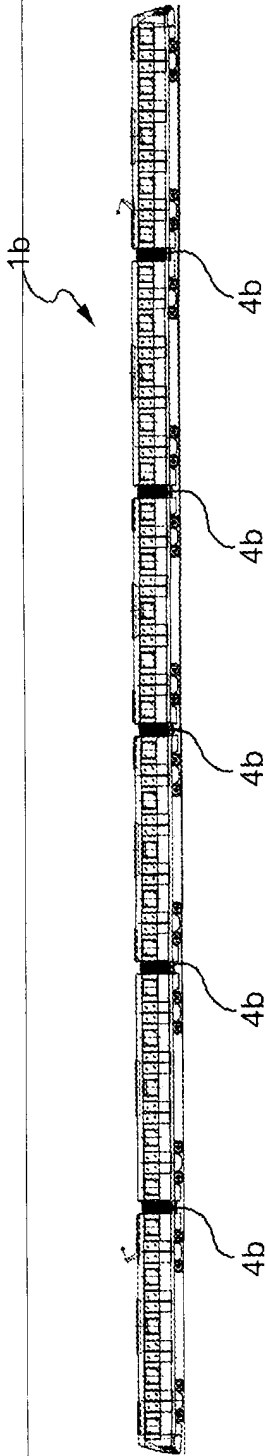


FIG. 7

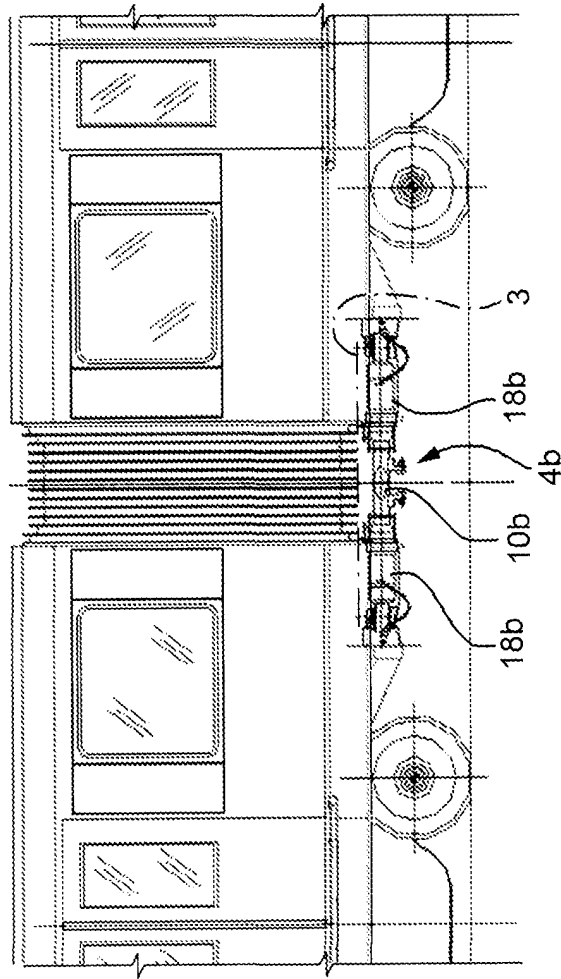


FIG. 8