



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
28.09.2011 Bulletin 2011/39

(51) Int Cl.:
E01C 21/00 ^(2006.01) **E02D 3/00** ^(2006.01)
E02F 9/28 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11159295.2**

(22) Date de dépôt: **22.03.2011**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

(72) Inventeur: **Medinger, Jean-Claude**
92340, Bourg la Reine (FR)

(74) Mandataire: **Chaillot, Geneviève et al**
Cabinet Chaillot
16-20 Avenue de l'Agent Sarre
B.P. 74
92703 Colombes Cedex (FR)

(30) Priorité: **23.03.2010 FR 1001152**

(71) Demandeur: **SC Medinger R&D**
92340 Bourg La Reine (FR)

(54) **Procédé de compactage des sols, applications de ce procédé, et dispositifs pour sa mise en oeuvre**

(57) L'invention concerne les procédés qui permettent de compacter les sols, et les dispositifs pour la mise en oeuvre de ces procédés.

Elle consiste à insérer dans le sol à une profondeur déterminée (h) sous laquelle le compactage par le niveau supérieur du sol devient inefficace, un dispositif de compactage souterrain. En faisant avancer ce dispositif on peut compacter le sol (104) en dessous de cette profondeur déterminée.

Elle permet de compacter des couches plus épaisses et d'améliorer les systèmes de réfection des voies de chemin de fer.

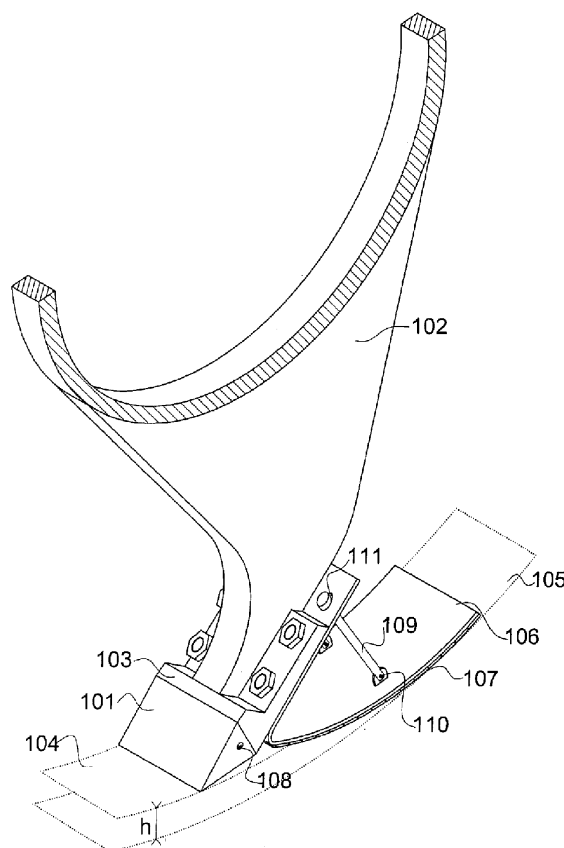


Fig.1

Description

[0001] La présente invention se rapporte aux procédés qui permettent de compacter les sols. Elle a pour but d'augmenter la masse volumique des matériaux en profondeur, de manière à améliorer les caractéristiques géotechniques de la couche considérée. Elle concerne aussi bien les travaux neufs tels que la construction de couches de fondation pour aussi bien des ouvrages routiers, aéroportuaires, ferroviaires etc, que les travaux d'entretien et de réfection exécutés en dessous d'une voie ferrée sans avoir à procéder à la dépose des rails et des traverses.

[0002] On sait que le compactage des sols ou des matériaux granulaires répandus en couche est, de manière usuelle, effectué au moyen de compacteurs circulant sur la partie supérieure de la couche. Les compacteurs appliquent alors à la partie supérieure de la couche un effort qui va induire une pression au sein du matériau et engendrer les déformations irréversibles de compactage. Les contraintes induites au sein du matériau diminuent avec la profondeur et par suite la masse volumique obtenue par compactage n'est pas homogène sur toute l'épaisseur de la couche. De ce fait la distribution de la masse volumique au sein du matériau compacté décroît également avec la profondeur.

[0003] On sait, en l'état de la technique, choisir les compacteurs et définir leurs modalités de fonctionnement pour les divers cas de sols et matériaux et d'épaisseur de couche pour obtenir une masse volumique de fond de couche satisfaisante, à condition que l'épaisseur de la couche ne soit pas trop importante.

[0004] Donc pour des sols argileux ou limoneux traités par un liant hydraulique (limons, sables fins plus ou moins argileux notamment) l'épaisseur maximale de la couche compactée est en pratique limitée à 30 ou à 35 centimètres, car le recours aux engins vibrants les plus lourds provoquerait un feuilletage de surface préjudiciable à la tenue à long terme de la structure.

[0005] Les méthodes d'étude et de calcul des structures en sol traité prennent en compte - bien entendu - l'état actuel de la technologie. Ainsi, il est notoirement admis que la masse volumique du fond de couche à exiger doit être de 96 % de la masse volumique proctor normale (référence utilisée en géotechnique routière). Il faut savoir que si l'on pouvait garantir une masse volumique du fond de couche égale à 100 % de l'optimum proctor normal, le dimensionnement de la couche, à durée de vie identique, pourrait être diminuée de l'ordre de 20 %.

[0006] On sait aussi que si l'on pouvait augmenter l'épaisseur d'une couche de fondation en sol traité de 5 centimètres, avec une masse volumique du fond de couche égale à 100 % de l'optimum proctor, sa durée de vie serait multipliée au moins par 10

[0007] D'autre part, les difficultés de contrôle de ce paramètre fondamental de la compacité du fond de couche réalisée, notamment sa résistance à la fatigue, con-

duit à prendre en compte des coefficients de sécurité élevés.

[0008] Il apparaît donc que la possibilité de compactage de la partie inférieure de la couche, et, d'une manière plus générale, le compactage au-delà des limites physiques imposées par le compactage à partir de la surface, constituerait un intérêt essentiel. Il serait alors possible d'obtenir des compacités élevées en fond de couche et de réaliser des couches de chaussée plus épaisses en nombre réduit.

[0009] On sait aussi qu'il n'est pas possible de compacter le sol sous un ouvrage existant.

[0010] Ainsi dans le cas des voies ferrées posées sur une couche de répartition en ballast, les travaux d'entretien, sans avoir à déposer les voies permettent le reconditionnement ou la substitution de la couche de ballast, mais sans pouvoir régler et compacter son assise.

[0011] Le ballast est donc mis en oeuvre sur un support déformé, de faible portance où l'eau de pluie stagne et accélère les dégradations. Après deux ou trois interventions de ce type, il est nécessaire de reconstruire ou de construire une couche de fondation sous la couche de ballast. Ces travaux nécessitent la dépose des voies et l'interruption du trafic sur une longue période.

[0012] Il est connu de la demande de brevet français N° 2 882 377, déposée le 22 février 2005 au nom de FIBAC SA, inventeur JOLY Claude, de traiter en profondeur des sols secs en enfouissant dans le sol un liquide de traitement plus ou moins chargé en chaux. Pour cela, on enfonce dans le sol, à une profondeur adéquate, des dents triangulaires creuses fixées sur des supports et réparties en quinconce. Ces supports sont fixés sur un châssis, lui-même tracté par un véhicule. Ceci permet d'injecter à cette profondeur, par l'arrière des dents, le liquide qui est ainsi réparti sur toute la largeur de ce dispositif.

[0013] Toutefois ce dispositif ne permet pas de compacter le sol sous les dents, puisque celles-ci sont en principe horizontales, et même, si l'on se réfère à la Figure 3, légèrement inclinées de bas en haut en allant d'avant vers l'arrière, l'effort de traction ne pouvant que faire augmenter cette inclinaison.

[0014] Pour résoudre ces problèmes, l'invention propose un procédé et des dispositifs qui permettent de compacter le sol, dans son épaisseur, en dessous d'un recouvrement ou en dessous d'un ouvrage existant comme une voie ferrée.

[0015] Pour cela, dans un premier temps on insère dans le sol, à une profondeur déterminée (H), un dispositif de traitement des sols, et dans un deuxième temps on fait avancer ce dispositif en le maintenant à la profondeur déterminée ; ledit dispositif de traitement étant principalement caractérisé en ce qu'il est aménagé pour compacter en continu le sol situé sous lui, ce qui permet de compacter en continu les sols à une profondeur où les procédés de compactage par le dessus du sol deviennent inefficaces.

[0016] Selon une autre caractéristique, un dispositif

pour la mise en oeuvre de l'invention comprend une dent en forme de coin dont le bord d'attaque est dirigé vers l'avant pour décoller les couches supérieures du sol; cette dent étant fixée sur un bâti à l'aide d'une pièce intermédiaire servant de support commun à la dent et à une lame qui est également fixée à l'arrière de la dent et qui présente une forme courbe dont la concavité est dirigée vers le haut, dont l'avant est au niveau inférieur du sol décollé et dont la partie la plus basse est au niveau de compactage voulu pour une seule passe du dispositif.

[0017] Selon une autre caractéristique, la lame est suffisamment épaisse pour ne pas plier sous les efforts de compactage et son profil présente une forme incurvée, correspondant à l'excentricité moyenne voulue.

[0018] Selon une autre caractéristique, la lame ou bien fait ressort par elle-même, ou bien est fixée à son extrémité avant par une articulation transversale et est maintenue en compression par un ressort.

[0019] Selon une autre caractéristique, le dispositif comprend une dent en forme de coin dont le bord d'attaque est dirigé vers l'avant pour décoller les couches supérieures du sol et dont la partie inférieure est inclinée vers le bas pour effectuer un premier compactage à un niveau intermédiaire; cette dent est fixée sur un bâti à l'aide d'une pièce intermédiaire qui supporte également à l'arrière de la dent un rouleau de compactage permettant d'effectuer un deuxième compactage pour obtenir le niveau voulu, ce rouleau étant ou lisse, ou strié, ou supportant des pieds de mouton.

[0020] Selon une autre caractéristique, le dispositif comprend une simple lame d'usure inclinée d'avant en arrière pour décoller les couches supérieures du sol; cette lame est fixée sur un bâti par une pièce intermédiaire servant de support commun à la lame et à un ensemble de rouleaux fixés sur une deuxième pièce intermédiaire elle-même fixée à la première pièce; ces rouleaux sont disposés sensiblement l'un à côté de l'autre parallèlement à la surface du sol et perpendiculairement à l'axe d'avancement du dispositif; le premier de ces rouleaux est en outre disposé légèrement plus bas que le bec d'attaque de la lame d'usure, et les autres rouleaux sont légèrement décalés en profondeur pour que le dernier soit au niveau souhaité pour la profondeur de compactage h.

[0021] Selon une autre caractéristique, le dispositif comprend une pièce intermédiaire comportant un support connu, lequel comporte un trou longitudinal pour recevoir des outils de décompactage d'un sol, tels qu'un burin ou une dent, et ledit support est complété sur sa partie inférieure par une pièce plate fixée sur l'extrémité inférieure dudit support; ladite pièce plate comporte à sa partie inférieure une première ailette verticale munie d'un trou à l'avant et sur son arrière de trois trous échelonnés en hauteur, cet ensemble formant ladite pièce intermédiaire; et le dispositif comprend aussi une pièce de compactage qui comporte quant à elle une lame de forme courbe dont la concavité est dirigée vers le haut, cette lame reproduisant la courbe de tassement sous

l'effet répété des passages d'un compacteur agissant à partir de la surface; ladite lame comprend une deuxième ailette verticale fixée sur la partie supérieure la lame et elle est elle-même munie d'un trou à l'avant et sur son arrière de trois trous échelonnés en hauteur; ces deux ailettes sont positionnées l'une contre l'autre en faisant coïncider les deux trous avant et en enfonçant dans ces deux trous des moyens de fixation qui permettent de faire tourner la deuxième ailette sur la surface de la première ailette; les trous arrière sur chacune de ces ailettes sont échelonnés de telle manière que, lorsque l'on fait tourner la deuxième ailette sur la première, un seul des trous arrière de celle-ci correspond à un seul trou arrière de la première ailette; ce qui permet ainsi d'obtenir trois positions des ailettes l'une par rapport à l'autre et donc trois excentricités différentes pour ladite lame.

[0022] Selon une autre caractéristique, on utilise un véhicule tracteur pour entraîner un cadre rigide muni de moyens pour maintenir, à une profondeur H déterminée et réglable sous le niveau du sol, un ensemble de dispositifs selon l'invention tels que définis précédemment.

[0023] Selon une autre caractéristique, on soumet ledit cadre à un mouvement vibratoire, on découple, au point de vue des vibrations, le cadre du véhicule tracteur par une fixation élastique.

[0024] Selon une autre caractéristique, on utilise un rotor muni d'au moins une étoile comportant un ensemble de rayons, on fixe à l'extrémité d'au moins l'un de ces rayons un dispositif selon l'invention; ce rotor est mis en rotation et est disposé sous une cloche de protection; et l'ensemble est animé d'un mouvement de translation horizontal et perpendiculaire à l'axe du rotor pour compacter une bande de terrain d'une largeur légèrement moins large que la largeur de la cloche.

[0025] Selon une autre caractéristique, le sens de rotation du rotor est le même que le sens d'avancement de l'ensemble.

[0026] Selon une autre caractéristique, l'ensemble rotor/cloche est fixé sur un véhicule porteur, soit à l'avant, soit au milieu, soit à l'arrière dudit véhicule.

[0027] Selon une autre caractéristique, l'invention est mise en oeuvre dans une stabilisatrice comprenant un rotor munis d'étoiles dont l'une au moins comporte l'un des dispositifs ci-dessus, et ladite étoile comporte au moins une dent épaisse qui s'use à la même vitesse que ledit dispositif.

[0028] Selon une autre caractéristique, l'invention est mise en oeuvre par un dispositif qui comporte au moins une lame ci-dessus; ce dispositif est fixé à l'extrémité de deux bras pouvant tourner sur un axe horizontal perpendiculaire à l'axe longitudinal dudit dispositif; et celui-ci comporte des moyens pour faire tourner les bras de manière à maintenir le dispositif sous le niveau du ballast d'une voie de chemin de fer; et il comprend également des moyens pour mettre en tension ladite lame de compactage.

[0029] Selon une autre caractéristique, ce dispositif comprend au moins deux autres dispositifs comportant

une lame ; ces deux lames sont réparties transversalement entre des nervures et entre des faces latérales, sur une ou plusieurs rangées à la même profondeur ou à des profondeurs différentes, pour former un cadre rigide, ce qui permet de compacter en une seule fois une couche de grande épaisseur pour constituer un soubassement compacté à la densité voulue.

[0030] Selon une autre caractéristique, les dites lames sont étagées en hauteur pour obtenir une couche compactée dont la hauteur est supérieure à celle pouvant être obtenue avec un passage unique.

[0031] Selon une autre caractéristique, le dispositif de compactage comprend, avant les moyens de compactage proprement dits, un arbre de petit diamètre muni de pics facilement échangeables, pour former une petite fraise qui permet de séparer le sol du ballast avant lesdits moyens de compactage afin de faciliter le réglage et le compactage de ladite couche; et l'entraînement du rotor s'effectue par un moto-réducteur, situé à l'intérieur des montants verticaux formant un caisson.

[0032] Selon une autre caractéristique, le dispositif est destiné au traitement des sols sous le ballast des voies de chemin de chemin de fer, et il comprend des moyens pour le terrassement préalable d'au moins une tranchée pour engager le moteur d'une fraise, des moyens pour assurer le réglage d'un liant, des moyens pour assurer le malaxage de ce liant et dudit sol, et des moyens pour assurer le compactage en couche épaisse de ce mélange ; et ces moyens de malaxage comprennent une fraise de grand diamètre ayant un axe horizontal et perpendiculaire au sens de l'avancement du wagon et sur lequel sont fixés des organes tels que des dents ; ce qui permet de malaxer la totalité du sol soumis au traitement avec ledit liant hydraulique.

[0033] Selon une autre caractéristique, ce dispositif comprend des sondes, des moyens pour traiter les signaux de ces sondes, et des moyens pour régler la profondeur de l'outil de compactage selon les résultats de ce traitement des signaux.

[0034] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante, présentée à titre d'exemple non limitatif en regard des figures annexées qui représentent :

- la fig. 1 : une vue en perspective cavalière d'un modèle de réalisation d'un outillage selon l'invention, limité à une dent de largeur relativement faible ;
- la fig. 2 : une vue de côté d'une variante de réalisation, comportant un gros rouleau au lieu d'une lame ;
- la fig. 3 : une vue de côté d'une variante de réalisation, comportant un alignement de rouleaux de petit diamètre ;
- la fig. 4 : une vue en coupe de la variante de la figure 3 ;
- la fig. 5 : une vue de côté d'un ensemble d'organes connus ;
- la fig. 6 : une vue de côté d'un autre mode de réalisation, utilisant des organes de la figure 5 ;

- la fig. 7 : une vue de côté d'un tracteur remorquant une première application d'un dispositif selon l'invention ;
- la fig. 8 : une vue de côté d'un rotor muni d'organes selon les figures 5 et 6 pour former une deuxième application d'un dispositif selon l'invention ;
- les fig. 9 à 11 : des vues de côté de trois véhicules porteurs munis d'un rotor tel que celui de la fig. 8 ;
- la fig. 12 : une vue de côté d'un wagon atelier pour mettre en oeuvre une troisième application de l'invention ;
- la fig. 13 : une vue de dessus d'un cadre rigide muni de moyens pour mettre en oeuvre une première variante de cette troisième application ;
- les fig. 14 et 15 : des vues de côté d'un wagon atelier muni dudit cadre rigide, en position respectivement de transport et de déplacement ;
- la fig. 16 : une vue partielle et en coupe de la fig. 15 ;
- la fig. 17 : une vue schématique d'un dispositif permettant de déplacer le cadre transversalement par rapport au wagon ; et
- les fig. 18 et 19 : des vues de côté et par-dessus d'un wagon atelier pour mettre en oeuvre une deuxième variante de la troisième application de l'invention.

[0035] Le principe de compactage des sols selon l'invention consiste en ce que dans un premier temps on insère dans le sol à une profondeur déterminée H un dispositif de compactage des sols, porté par un engin. Ce dispositif comporte au moins un outil, en forme de coin, qui présente une surface convexe, inclinée vers le bas, de l'avant vers l'arrière, de convexité tournée vers la profondeur du sol en position de travail de l'outil, à savoir en position enfoncée dans le sol, parallèlement au sol, entre un bord d'attaque et un talon se situant au-dessous de la surface engendrée par le bord d'attaque lors du déplacement de l'outil parallèlement au sol. Dans un deuxième temps on fait avancer ce dispositif en maintenant la profondeur déterminée en dessous de la surface, ce qui permet de déformer le sol d'une hauteur h égale à la différence de hauteur entre l'avant et l'arrière du coin. Cette différence, qui est le décalage entre les trajectoires décrites respectivement par le bord d'attaque et le talon, sera appelée aussi l'excentricité de l'outil.

[0036] La face inférieure convexe de cet outil fonctionne par compression, et de ce fait on peut compacter le sol sur une épaisseur plus importante que celle où les procédés de compactage par le dessus du sol deviennent inefficaces.

[0037] Le compactage est obtenu par l'empreinte de l'outil dans le sol, occasionnée par le déplacement de l'outil porté par un matériel. La profondeur de l'empreinte est égale à l'excentricité de l'outil, c'est-à-dire à la différence de hauteur entre le bord d'attaque et le talon de la semelle. Elle détermine la quantité de matériaux apporté dans le sol juste en dessous. Cette hauteur h doit être en relation avec l'apport que le sol peut accepter, sans

provoquer de rupture compte tenu de son état. L'épaisseur de la couche compactée correspond à la différence de niveau entre la partie supérieure (compactée) et la partie inférieure qui atteint le taux de compacité fond ce couche prescrit.

[0038] L'énergie utilisée pour le compactage par cette méthode n'est pas constante. Elle varie de manière importante en fonction des efforts nécessaires pour vaincre la réaction du sol qui subit la déformation imposée par l'outil. Celle-ci peut être faible dans le cas d'un sol très foisonné avec une faible excentricité de l'outil. Au contraire l'énergie peut être trop importante par rapport à ce que le sol peut accepter sans provoquer de rupture, dans le cas d'une excentricité trop grande.

[0039] L'efficacité du dispositif de compactage dépend donc du choix de l'excentricité de l'outil et du mode opératoire.

[0040] Pour permettre une certaine variation de manière à autoriser une certaine plage, la figure 6, qui sera décrite en détail plus loin, montre un dispositif avec un profil constant

[0041] De cela il résulte que, dans le cadre de l'invention, on peut utiliser de nombreuses formes d'outils, notamment des outils où l'excentricité h est constante, d'autres où l'excentricité peut varier par réglage, ou bien d'autres encore où l'excentricité peut varier par rotation de la semelle constituée par une lame souple ou une semelle rigide articulée avec ressort de compression, ou aussi des outils mixtes avec des rouleaux pour diminuer les forces de frottements.

[0042] Dans le cadre de l'invention on décrira aussi les applications à partir de dents de compactage montées sur un châssis avec un mouvement unique de translation, ainsi que de telles dents montées sur les étoiles d'un rotor.

[0043] Toujours dans le cadre de l'invention on décrira également les applications de l'invention, compte tenu des possibilités de compactage, sous les voies ferrées pour la mise en forme du support de la couche en ballast, permettant aussi de traiter « in situ » le sol situé en dessous du ballast de la voie de chemin de fer ainsi que pour l'exécution de couches de fondation.

[0044] L'outillage représenté sur la figure 1 correspond, pour la clarté de l'exposé, à un outil unique de largeur relativement faible d'un dispositif selon invention. Si cet outil peut être utilisé seul pour traiter un sol sur une faible largeur, on en utilisera plusieurs pour traiter ce sol sur la largeur nécessaire, correspondant par exemple à une voie de roulement d'une route. Cet ensemble de dents sera alors fixé sur un bâti, ou un rotor, non représentés sur la figure, avec les dents disposées soit en quinconce sur plusieurs rangées d'un même bâti, soit sur les étoiles (ou les branches) d'un rotor, à raison d'au moins un dispositif de compactage par étoile qui vient en remplacement d'une dent de malaxage.

[0045] Cet outillage est formé dans cet exemple d'une dent 101 proprement dite en forme de coin dont le bord d'attaque est dirigé vers l'avant, et qui est fixée à une

pièce intermédiaire 103, elle même soudée à un montant vertical 102 du bâti ou en extrémité de la branche d'une étoile de rotor. La platine de la pièce 103 sert d'embase commune à tous les types d'outils de compactage. La dent 101 coiffe la pièce intermédiaire 103, sur laquelle elle est fixée par une clavette 108 qui permet de la remplacer facilement et à faible coût lorsqu'elle est usée. Le bâti 102 permet d'enfoncer la dent 101 sous la surface du sol à une profondeur telle que la couche supérieure du sol ainsi dégagée puisse être traitée, à partir de la surface par des moyens conventionnels, à moins qu'il ne soit décidé de compacter une deuxième couche, au dessus de la première à une profondeur moindre, dans le cas de réalisation de couches très épaisses.

[0046] Cette couche supérieure, de hauteur H , non représentée sur la figure, est donc décollée de la surface virtuelle 104 qui sépare les deux couches, pour venir glisser sur la surface supérieure de la dent 101, se séparer en deux parties autour du bâti 102, et finalement retomber à l'arrière du dispositif sur la surface virtuelle 105 qui correspond à la surface virtuelle 104 qui a descendu d'une profondeur h sous l'effet du traitement de compactage. La face inférieure de la dent 101 est légèrement inclinée vers le haut d'avant en arrière pour dégager cette face de la surface 104 afin d'éviter des effets indésirables, dus par exemple au frottement de cette face sur la surface 104.

[0047] Le compactage, objet de l'invention, est réalisé, dans l'exemple de réalisation ici décrit, par une lame 106 présentant une forme courbe reproduisant la courbe de tassement sous l'effet répété des passages d'un compacteur agissant à partir de la surface, dont la concavité est dirigée vers le haut. Cette lame peut être mince et flexible, ou épaisse et rigide. Le profil de cette lame est réalisé de telle manière que sa partie avant soit située sensiblement au niveau de l'arrière de la dent 101 de manière que, dans le mouvement du dispositif vers l'avant, la surface inférieure de la lame 106 vienne progressivement tangenter la surface 104, qui n'est plus ici virtuelle puisqu'elle a été dégagée par la dent, puis appuyer progressivement sur cette surface pour compacter le sol de telle manière que la surface 104 vienne rejoindre la surface 105. La hauteur h , correspondant à la différence entre les surfaces 104 et 105, est déterminée pour que les couches inférieures en dessous de cette surface 106 soient compactées au niveau désiré.

[0048] Si toutefois une seule passe ne permet pas d'obtenir le degré de compactage désiré, on fera repasser l'outillage le nombre de fois nécessaire, en tenant compte de ce que peut encaisser le sol avant rupture. Pour éviter une usure prématurée de la lame 106, on pourra par exemple la recouvrir sur sa face de frottement par des lames d'usure 107 disposées les unes contre les autres perpendiculaires au sens d'avancement de dispositif. Ces lames d'usure seront fixées par tout moyen connu, tel que par exemple des points de soudure.

[0049] L'excentricité voulue est obtenue par le profil de la lame.

[0050] Dans un premier cas, où la lame est flexible, on pourra, pour limiter la flexion de la lame et de ce fait son excentricité, maintenir à l'aide de tiges 109 un état de compression permanent. Ces tiges seront maintenues en utilisant par exemple des oeillets 110 fixés perpendiculairement sur la face intérieure de cette lame 106, sensiblement au niveau le plus bas de cette lame et leur permettant de coulisser à l'autre extrémité en passant à travers des orifices oblongs 111 localisés en partie supérieure de la lame 106. Ainsi l'excentricité de la lame varie librement, entre deux valeurs, en fonction de la réaction du sol. L'excentricité est maximale quand la tête des tiges est en butée contre la face externe de la partie supérieure de la lame, et elle est minimale, voire égale à zéro, quand la lame fléchie est contenue en totalité à l'intérieur de la surface 104. Cela permet de compacter avec l'énergie maximale que le sol peut accepter avant rupture. La sélection de l'outil idoine est faite, préalablement, à partir d'essais de cisaillement réalisés en laboratoire.

[0051] Dans un deuxième cas, où la lame est rigide, on lui donnera une forme incurvée, correspondant à l'excentricité moyenne voulue, et on la fixera éventuellement en place avec des moyens semblables aux organes 109 - 111, mais bloqués fermement. On pourra aussi la fixer à son extrémité avant avec une articulation transversale et la maintenir avec un ressort en compression, non représentés sur la figure.

[0052] Sur la variante de réalisation de la figure 2, on retrouve un coin 201, semblable au coin 101, fixé sur un montant vertical, ou une branche de rotor, 202 à l'aide d'une pièce intermédiaire 203 dont on rappelle qu'elle sert d'embase à tous les outils. La couche supérieure, là aussi non représentée sur la figure, est décollée par le coin 201 de la surface virtuelle 204 et subit le même traitement que dans l'exemple précédent. Toutefois, dans ce cas le coin 201 est incliné vers le bas de manière que sa face inférieure 211 vienne appuyer sur la surface 204 pour effectuer un premier compactage qui donne une surface réelle 214. La pièce 206, fixée par des boulons 220 à la platine de l'embase 203, est constituée à l'avant par une semelle de faible longueur 215 et à l'arrière par un gros cylindre qui peut être lisse ou denté, ou encore comporter des pieds de mouton 210. Ce cylindre est tangent au prolongement du profil de la semelle. Le cylindre tourne librement autour d'un l'axe 216 maintenu par les joues de la pièce 206. Au contact avec le sol, le cylindre roule et compacte le sol avec un minimum de résistance. Le niveau de la surface réelle 214 est abaissé au niveau voulu 205. Comme dans la première réalisation, la surface 205 est recouverte à l'arrière de ces deuxièmes moyens de compactage par les déblais provenant du décapage de la couche supérieure par le coin 201, et qui sont traités comme vu plus haut.

[0053] Dans un troisième variante, représentée sur les figures 3 et 4, l'organe de décapage est réduit à une simple plaque d'usure 301 particulièrement résistante, en carbure de tungstène par exemple, fixée sur une pièce

intermédiaire 303 par soudure ou éventuellement par des moyens démontables. Cette pièce intermédiaire sert, comme ci-dessus, de support commun à la lame 301 et aux organes décrits ci-après. La couche supérieure du sol, non représentée, est traitée comme dans les deux modes de réalisation précédents. Le compactage de la surface virtuelle 304, permettant de ramener cette surface 304 au niveau voulu de la surface 305 par compactage d'une hauteur h, est obtenu ici par un ensemble de petits rouleaux 309 de petit diamètre. Ces rouleaux sont disposés sensiblement l'un à côté de l'autre, parallèlement à la surface du sol et perpendiculairement à l'axe d'avancement du dispositif. Ils sont fixés sur une autre pièce intermédiaire 313 qui a ici vers le bas, la forme sensiblement d'un U comportant deux ailes verticales situées sur les côtés et délimitant les deux faces latérales du dispositif. Leur position en hauteur est définie de telle manière que le plus haut est légèrement plus bas que le bec d'attaque de la lame 301, que le second est légèrement plus bas que le premier, et ainsi de suite. De cette manière, le dernier rouleau sera au niveau de la surface 305 et terminera le compactage voulu de la couche inférieure du sol.

[0054] On a représenté sur la figure 5 des organes connus pouvant être utilisés dans un quatrième mode de réalisation.

[0055] Ces organes comprennent une pièce intermédiaire 503 qui peut être montée sur un support quelconque, tel que par exemple une branche d'une étoile 522, par l'intermédiaire d'un trou transversal 502 et d'un boulon non représenté. Elle comporte en outre un trou longitudinal, non visible sur la figure, pour recevoir des outils de fraisage d'un sol, tels qu'un pic 511 ou une dent 501/531, qui sont maintenus par une clavette 504. On remarquera que le pic 511 et la dent 531 sont particulièrement renforcés par rapport à la dent standard 501.

[0056] Un quatrième mode de réalisation, représenté selon un premier exemple sur la figure 6, comprend une pièce intermédiaire comme décrit ci-dessus, complétée par une pièce plate 513 fixée, par soudure par exemple, sur l'extrémité inférieure de la pièce 503 pour obtenir une pièce intermédiaire au sens de l'invention

[0057] Cette pièce intermédiaire est fixée, par son trou 502, à un montant vertical 522 d'un bâti, ou à l'extrémité d'une branche d'une étoile. Elle est munie par exemple d'un pic 511 ou d'une dent 531 de même genre que la dent 501 ci-dessus, mais particulièrement renforcée par rapport aux dents utilisées dans l'art. Cette pièce intermédiaire comporte une partie centrale verticale 514 constituée par un premier profilé en U tourné vers le bas, ou de deux joues de relativement faible largeur. Ce profilé est muni d'un trou 515 à l'avant pour l'engagement d'un axe et sur son arrière de trois trous 516 échelonnés en hauteur.

[0058] La pièce de compactage 518 comprend quant à elle une lame 519 de forme courbe dont la concavité est dirigée vers le haut, cette lame reproduisant la courbe de tassement sous l'effet répété des passages d'un com-

pacteur agissant à partir de la surface, et de deux montants, ou parois, verticaux 520 formant un deuxième profilé U orienté vers le haut, s'emboîtant par l'extérieur ou par l'intérieur ou à cheval, dans la pièce 514. Celle-ci est munie elle aussi d'un trou 515 à l'avant, et sur son arrière de trois trous 521 échelonnés en hauteur.

[0059] Pour fixer cette pièce de compactage sur la pièce intermédiaire, on présente la pièce 520 qui s'emboîte dans la pièce 514, en faisant coïncider les trous 515. On maintient alors les pièces ensemble en utilisant un boulon ou un axe traversant ces deux trous et serré moyennement pour pouvoir faire tourner librement et sans frottement la pièce 520 relativement à la pièce 514. Les trous 516 et 521 sur chacune des pièces sont échelonnés de telle manière que lorsque l'on fait tourner la pièce 518, un seul des trous 521 soit en face d'un seul des trous 516 de l'autre pièce 520, comme représenté en 521. Ceci procure trois positions des pièces l'une par rapport à l'autre. De cette manière on obtient trois possibilités de réglage en hauteur de la lame 519 par rapport à la pièce 513 et au coin 501. Ces trois réglages correspondent à trois hauteurs de compactage et à trois valeurs de h.

[0060] Une première application, représentée sur la figure 7, consiste à monter, sur un tracteur à chaînes 712 par exemple, un dispositif 711 selon invention. Ce dispositif sera de préférence fixé sur l'arrière du tracteur pour des questions de stabilité de l'ensemble. Cette fixation se fait ici à l'aide de deux bras longitudinaux 713 et 714 et d'une pièce verticale 715 formant un parallélogramme déformable qui permettra, à l'aide d'un vérin 716 fixé entre l'arrière du tracteur et le bras 714, de fixer l'enfoncement du dispositif dans le sol.

[0061] L'ensemble est représenté sur la figure 7 lors d'une deuxième passe du dispositif. La première passe a permis de compacter en profondeur le sol pour obtenir une première couche 701 compactée sur une hauteur h. Pour la deuxième passe, le dispositif est remonté à l'aide du vérin 716 de la hauteur H2 pour compacter une deuxième couche 702 reposant sur la première couche 701. Cette couche 702 sera elle-même compactée sur une hauteur h. La différence $H2 - h$ est égale à la différence entre le bord d'attaque de la dent et la partie inférieure des deux outils 717 et 718 décrits ci-dessous.

[0062] Le dispositif est composé de deux rangées d'outils 717 et 718 selon l'invention, tels que ceux décrits plus haut. Ils sont disposés de préférence en quinconce et supportés par des supports 719 et 720. Ces supports sont eux-mêmes fixés à un cadre rigide 721 qui est lui-même fixé directement à la pièce verticale 715. La fixation des supports 719 et 720 au cadre 721 est elle-même réglable pas à pas à l'aide des trous 723, pour compléter l'action du vérin 716.

[0063] A titre de variante, l'ensemble outils/supports/cadre peut être animé d'un mouvement vibratoire représenté par la flèche 723 et obtenu à l'aide d'un mécanisme connu et non représenté. Dans ce cas seulement des moyens élastique 722 du type « silentbloc » sont utiles pour éviter la transmission des vibrations au tracteur. Ce-

ci permet de réduire dans une certaine mesure l'effort de traction et d'augmenter l'efficacité du compactage dans le cas de certains sols.

[0064] Selon une autre variante, les supports 719 et 720, ainsi que les dents de compactage 717 et 718, peuvent être creux de manière à permettre le passage de liants pulvérulents sous pression et leur dispersion au-dessus de la couche compactée. Une dispersion sommaire du liant avec ce sol du dessus est réalisée à l'aide d'un petit rotor de diamètre sensiblement égal à H2, non représenté sur la figure. Ceci permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la couche supérieure avant que celle-ci ne soit compactée avec les mêmes moyens.

[0065] Une deuxième application, représentée sur la figure 8, consiste à monter des outils selon l'invention sur les branches d'un rotor 801 muni d'étoiles 802. Sur cet exemple, une seule étoile est représentée, et elle comprend quatre bras. Deux de ces bras diamétralement opposés supportent des organes connus 804 et 814 tels que ceux représentés sur la figure 5, et les deux autres bras diamétralement opposés des organes 803 selon l'invention, tels que ceux représentés sur la figure 6. On remarquera l'usure de la dent 804 et la bonne tenue de la dent 814, cette dernière ayant été renforcée selon l'invention. Il conviendra donc de remplacer la dent usée 804 par une dent renforcée du type de la dent 814.

[0066] Cette application concerne en particulier l'appareil connu sous le nom de « stabilisatrice ». Elle nécessite alors le remplacement sur chaque étoile d'au moins une dent (de préférence deux) par un outil de compactage selon l'invention, pour permettre le compactage d'une bande. Elle nécessite aussi le changement des autres dents par des dents effectuant le même travail, mais renforcées selon l'invention, par exemple par épaissement ou par une pastille en carbure de tungstène, pour avoir une usure identique à celles des outils de compactage.

[0067] Ceci permet de compacter le sol support et de mélanger la couche en même temps. Dans cette deuxième application, il est utile de placer ce rotor à l'intérieur d'une cloche de protection solide et épaisse, qui donne à la fois une protection contre les projections et constitue une chambre pour le malaxage. L'ensemble rotor/cloche est fixé à un engin porteur, soit à l'avant, soit au milieu, soit à l'arrière de celui-ci, comme représenté respectivement sur les figures 9 à 10. Dans ces exemples de réalisation, les engins porteurs sont munis de pneus de grand diamètre.

[0068] Dans l'exemple de la figure 9, où la cloche 920 et le rotor 921 sont fixés à l'avant d'un engin 922, les moyens pour entraîner le rotor en rotation sont connus et non représentés, ici et comme sur toutes les autres figures, pour faciliter la lecture de celles-ci.

[0069] Cette deuxième application permet de compacter la couche traitée du bas vers le haut par des passages successifs de l'engin de compactage.

[0070] C'est le cas sur la figure 9, dans laquelle la clo-

che 920 et le rotor 921 forment un matériel dédié à cette application. Dans cet exemple de réalisation, le rotor tourne dans le sens d'avancement. Ceci permet que le sol 923 en fond de couche vienne en butée contre un sol 924 déjà compacté. Si le rotor tournait dans l'autre sens, le sol compacté serait repoussé en avant vers un sol non compacté en butée contre un sol 924 déjà compacté. En procédant ainsi, il est possible d'obtenir un taux de compacité supérieur avec un risque réduit de fissuration. Si le rotor tournait dans l'autre sens, le sol compacté serait repoussé en avant vers un sol non compacté, ce qui limiterait le taux de compactage et entraînerait un risque de fissuration.

[0071] La cloche munie de son rotor peut donc être fixée, soit à l'avant comme représenté sur la figure 9, de manière analogue à un compacteur « à bille vibrante », ou au centre comme sur la figure 10 de manière analogue à une stabilisatrice, ou encore à l'arrière d'un tracteur agricole puissant, comme sur la figure 11. On remarque sur la figure 9 que la cloche a été munie d'un écran 926 en matériaux tel que de la tôle, pour éviter les projections de gravats et surtout de poussières.

[0072] L'intérêt de bénéficier d'un équipement spécifique cloche/rotor monté par exemple à l'arrière d'un tracteur agricole, ou d'un engin porteur créé à cet effet, est de permettre de réduire les coûts de construction et de fonctionnement en ne retenant que les spécifications nécessaires au compactage.

[0073] Dans ce cas, le rotor peut être fixé par rapport à la cloche avec des carters de protection à l'avant et à l'arrière tels que les organes 926. Ces carters peuvent être abaissés par rotation par exemple. Le diamètre du rotor peut être alors plus petit. De plus ce matériel peut disposer de toutes les fonctions pour automatiser la production.

[0074] Par ailleurs, il est possible d'adjoindre au matériel une citerne à eau et une rampe d'arrosage située dans la cloche, pour apporter aux matériaux à compacter un complément d'eau à l'intérieur même de la cloche, si nécessaire.

[0075] Une troisième application, relativement plus complexe, consiste à appliquer le procédé selon l'invention à la réfection des voies de chemin de fer, comme représenté sur la figure 12.

[0076] On rappelle que le ballast joue un rôle de ressort et d'amortisseur pour transmettre au sol les efforts dus au passage des trains et éviter que les traverses ne s'enfoncent petit à petit dans le sol.

[0077] Toutefois, au fur et à mesure du passage des trains, les cailloux qui composent le ballast se fragmentent par attrition, ce qui entraîne un tassement du ballast et donc une dégradation de ses performances.

[0078] Pour réparer cela, on utilise un train spécialisé comportant des wagons munis d'un châssis 1501 et de bogies 1502, qui permettent de soulever la voie, de cribler le ballast, de le renforcer avec des cailloux neufs de bonnes dimensions, et de procéder au calage de la voie.

[0079] L'invention propose d'utiliser le procédé décrit

plus haut, sans avoir à déposer la voie, pour permettre de réaliser des travaux tels que le réglage et le compactage de la forme sous le ballast, la construction d'une couche de fondation par traitement en place, ou encore la construction d'une couche de fondation avec apport de matériaux, graves, graves ciments etc, après avoir procédé aux terrassements nécessaires à la mise en coffre. Ces travaux sont alors réalisés "in situ" sous le ballast, sans avoir à déposer les rails et avant les opérations de traitement du ballast et de réglage des voies

[0080] Pour cela, on utilise un dispositif qui permet de mettre en oeuvre le procédé selon l'invention. Ce dispositif pourra être par exemple l'un ceux décrits plus haut, ou tout autre dispositif répondant à la définition de l'invention. Dans le cas illustré sur la figure 12, qui représente un wagon atelier comprenant un châssis 1501 et des bogies 1502, ce wagon est muni d'un tel dispositif 1520 selon l'invention. Celui-ci comporte une lame 1528 dont le bord tranchant est dirigé vers le sens d'avancement du wagon, c'est-à-dire vers la gauche sur la figure. Cette lame est inclinée vers le bas d'avant en arrière pour pouvoir compacter le sol selon l'invention. La lame est la plus mince possible pour limiter le tassement du ballast contre les traverses et son relèvement entre ces traverses. La partie supérieure de la lame est horizontale, voire légèrement inclinée pour limiter les forces de frottements au contact du ballast.

[0081] La lame est fixée, d'une manière décrite plus loin, aux extrémités basses de deux bras 1521. Ces deux bras sont prolongés vers le haut et reliés à leurs extrémités hautes par un vérin transversal non représenté. Les parties inférieures de ces deux bras, auxquelles est fixée la lame 1528 selon l'invention, sont constituées par deux lames pleines minces étroites et effilées capables de faire leur trace dans le ballast qui déborde de chaque coté de la voie au delà des traverses.

[0082] Le cas échéant il pourrait être utile de fixer à l'avant du wagon deux trancheuses à chaîne connues en elles-mêmes, non représentées sur cette figure mais présentes sur la figure 18. Elles permettent de réaliser deux tranchées latérales en limite du ballast pour laisser passer les extrémités inférieures des bras afin d'obtenir le positionnement de ceux-ci dans le sol à la hauteur correspondant à la couche à traiter. Ces tranchées permettent en outre, si nécessaire, d'améliorer le drainage de la voie de chemin de fer.

[0083] Le vérin transversal quant à lui, tire sur les extrémités supérieures des deux bras 1521, de sorte que, quand la lame 1528 est active, il exerce une traction pour mettre en tension cette lame de manière à réduire les contraintes en compression et « in fine » de réduire son épaisseur.

[0084] On ne voit sur la figure que celui du côté gauche par rapport à l'avancement, car il masque celui du côté droit. Il en est de même pour tout le mécanisme de fixation et de réglage de position du dispositif de compactage.

[0085] Ces bras sont fixés en rotation aux extrémités d'un arbre 1523. Un vérin longitudinal 1522 permet d'ef-

fectuer cette rotation.

[0086] Cet arbre est lui-même fixé au bâti 1501 par des bras triangulés 1524 qui maintiennent l'arbre au-dessus des rails, parallèlement aux axes des roues et sensiblement à la même hauteur que ceux-ci par rapport au niveau des rails. Cet axe 1523 déborde des deux côtés du wagon pour maintenir les bras 1521 au niveau où s'arrête en largeur le ballast. On peut ainsi maintenir le dispositif de compactage 1520 sous le ballast à l'interface entre celui-ci et le sol.

[0087] Le maintien à la profondeur souhaitée se fait en agissant sur un vérin, par exemple à l'aide d'un servomécanisme.

[0088] L'ensemble bras 1521, vérins 1522 et dispositif de compactage 1520 est dimensionné de manière telle que ce dispositif soit positionné avec un angle correct pour que la lame 1528 exerce bien son effet de compactage sur le sol situé sous le ballast, pour des dimensions moyennes de l'épaisseur de l'ensemble ballast/traverses/rail.

[0089] En dehors de cette position moyenne, le réglage par pivotement autour de l'axe 1512 entraîne une certaine variation de l'angle de positionnement de la lame 1528. Pour pallier cette variation, qui joue beaucoup sur l'effet de tassement, on utilise dans cet exemple de réalisation, par exemple deux petits vérins 1526 et 1527 qui permettent de modifier légèrement l'orientation de la partie inférieure du bras 1521 et donc du dispositif 1520.

[0090] On pourra le cas échéant utiliser un servomécanisme pour maintenir à la bonne hauteur et avec la bonne inclinaison le dispositif de compactage 1520 en agissant sur les vérins 1522 et 1526/1527.

[0091] Les forces s'exerçant sur le dispositif de compactage 1520 tendent à le faire remonter, ainsi que tout le reste du wagon, de manière assez importante. On sera donc amené à disposer sur le châssis du wagon des lests 1529, dont le nombre et le poids seront déterminés expérimentalement.

[0092] Il est clair que l'ensemble ainsi représenté est en position de fonctionnement. Pour débiter le travail il sera nécessaire d'effectuer des travaux de terrassement pour mettre en place le dispositif de compactage 1520.

[0093] Pour cela la lame 1528 est désolidarisée des montants 1521. L'assemblage est réalisé lors de l'avancement du wagon en approche par l'engagement de têtes des montants 1521, non représentés ici, dans des logements solidaires de la lame. Des verrous non représentés bloquent le tout. Cette opération d'assemblage et de désassemblage est à refaire de temps en temps pour changer la lame 1528, lorsque le degré d'usure de la lame sera trop avancé et entre chaque interruption journalière de chantier. La lame reste alors en place.

[0094] Selon une autre variante de l'invention, utile par exemple pour compacter une couche plus épaisse, on peut utiliser un cadre rigide 1610 tel que celui représenté seul sur la figure 13, et fixé sur un wagon représenté sur les figures 14 et 15. La figure 16 représente quant à elle une vue partielle et agrandie de la figure 15, limitée à la

partie active du cadre 1610. Enfin, la figure 17 représente de manière schématique un dispositif permettant de déplacer transversalement le cadre par rapport au wagon.

[0095] Sur la figure 14, le cadre 1610 est en position relevée, pour par exemple déplacer le wagon entre deux positions de travail.

[0096] Sur la figure 15, ce cadre est abaissé en position de travail pour pouvoir compacter l'épaisseur du sol 1607 située sous la couche de ballast 1606.

[0097] Le déplacement du cadre entre ces deux positions se fait par coulissement le long de quatre poteaux verticaux fixés au wagon de manière à correspondre aux quatre coins du cadre. Celui-ci est bloqué sur les poteaux par des moyens connus, des boulons par exemple.

[0098] Pour permettre un déplacement transversal du cadre, chaque poteau est dans cet exemple fixé à deux barreaux cylindriques 1631 placés respectivement au dessus et au dessous du châssis 1501. Ces barreaux peuvent coulisser dans des cylindres creux 1632 fixés, par soudure par exemple, sur le dessus et sur le dessous du châssis. On peut ainsi décentrer le cadre à droite comme à gauche, selon les nécessités du chantier. On peut aussi utiliser des cadres plus ou moins larges, en fonction du matériel disponible par exemple.

[0099] Ce cadre comporte par exemple deux plaques latérales 1611 qui sont fixées entre elles à leur partie inférieure par deux lames selon l'invention 1619. Des raidisseurs 1614, au nombre de deux sur la figure, permettent de rigidifier l'ensemble, pour former un cadre rigide qui supporte sans se déformer les forces qui lui seront appliquées lors du compactage.

[0100] Selon une autre variante, les lames sont moins longues et leur longueur est égale à la distance entre une plaque latérale 1611 et le raidisseur 1614 le plus proche de celle-ci. Les entre-axes de ces plaques latérales entre chacune et le raidisseur le plus proche, ainsi que l'entre-axe entre les raidisseurs sont les mêmes, de façon à pouvoir disposer ces lames en quinconce.

[0101] Dans cet exemple de réalisation, on a fixé sur les plaques latérales, à l'extérieur et à une petite distance de celles-ci, deux autres plaques 1621 qui présentent à l'avant un profil en lame de charrue, de manière à repousser latéralement le ballast et à réduire les efforts de traction.

[0102] Dans le cas illustré sur les figures 13 à 16, ce cadre supporte deux lames 1619 dont le bord tranchant est dirigé vers le sens d'avancement du wagon, c'est-à-dire vers la gauche sur les figures. Ces lames sont inclinées vers le bas d'avant en arrière pour pouvoir compacter le sol selon l'invention. Le nombre de lames est ici fixé pour pouvoir traiter en une seule passe la totalité de la couche.

[0103] Elles peuvent aussi être disposées en retrait en hauteur et en arrière, à la manière des marches d'un escalier, à des profondeurs différentes, de manière à compacter en un seul passage une couche plus épaisse. L'inclinaison des lames est différente. Elle correspond à l'épaisseur et à la masse volumique de la couche com-

pactée pour obtenir une même densité.

[0104] La hauteur de fixation et le nombre des différentes lames sont fixés par rapport à l'épaisseur de la couche 1607 et à la hauteur de la fraction de cette couche qui peut être compactée par chacune des lames.

[0105] L'invention propose en outre, pour favoriser la pénétration des lames 1619, de placer en avant desdites lames un mini rotor, ou petite fraise, 1616.

[0106] Cette fraise est formée, dans cet exemple de réalisation, par un arbre de petit diamètre 1656 supportant un ensemble d'outils 1666, tels que des pics par exemple, fixés régulièrement sur cet arbre. Chaque pic est disposé dans un logement cylindrique ou légèrement conique où il est maintenu par une bague. Chaque logement est prolongé par un trou cylindrique de petit diamètre débouchant diamétralement de l'autre côté du logement. Ces trous permettent de chasser les pics lorsqu'ils sont usés.

[0107] L'arbre est fixé aux plaques latérales et aux nervures 1614 par des paliers. Il est entraîné en rotation relativement rapide par rapport à l'avancement du wagon par des moyens connus tels que des moto-réducteurs hydrauliques 1617, fixés dans cet exemple à l'intérieur des caissons formés par l'espace entre les plaques 1611 et 1621, ce qui les protège contre les frottements des terres ou du ballast des sillons et contre les projections de toute sortes provenant du traitement du sol.

[0108] L'intérêt de cette disposition réside dans le fait que la fraise désagrége l'interface ballast/sol pour les séparer plus facilement, afin de traiter le ballast d'une part et de compacter le sol d'autre part

[0109] Le fait de disposer de plusieurs lames pour le compactage permet de renforcer la structure de l'outil de compactage, qui est soumis à des forces de déformation importantes, en lui conférant une plus grande rigidité. Il permet aussi de compacter en un seul passage une épaisseur plus grande. En procédant de cette manière, la plateforme support est de meilleure qualité et les rendements sont augmentés.

[0110] Le ballast 1606 est quant à lui traité par des moyens connus, non représentés, qui permettent de trier les cailloux devenus trop petits et de les remplacer par des cailloux de grosseur normale, ce qui entraîne l'épaississement de la couche 1627 de ballast à l'arrière des organes de traitement du sol. On remarque bien sûr les figures 15 et 16, que la surface supérieure du sol 1607 ainsi compacté est plus basse que la surface supérieure du sol 1627, ce qui correspond bien à l'augmentation d'épaisseur de cette couche de ballast, due au traitement de celui-ci.

[0111] On remarquera aussi les deux veines 1627 du sol compacté, qui s'étendent en dessous du ballast ainsi traité 1626.

[0112] Une deuxième variante de l'application précédente, représentée de côté sur la figure 18, et par-dessus sur la figure 19 permet de réaliser le traitement en place des sols.

[0113] Pour cela, on utilise un wagon très semblable

à celui des figures 14 et 15, et pour la clarté des figures, on n'a référencé que les organes différents entre ces deux groupes de figures.

[0114] Le wagon est donc muni d'un cadre 610 qui comporte des dispositifs (ici trois lames) 619 selon l'invention pour compacter et traiter simultanément une couche 507 du sol située sous le ballast 606, lequel est traité en même temps par l'une des méthodes décrites ci-dessus, pour donner une couche de ballast rénové 521.

[0115] Le sol est initialement séparé du ballast par une lame mince et résistante 615 placée à l'avant du cadre.

[0116] Ce sol ainsi mis à nu est trituré et foisonné sur l'épaisseur voulue par un gros rotor, ou fraise, 616. Celui-ci est formé, de manière connue, par un arbre muni d'organes tels que des pics, des burins, etc.

[0117] Durant cette opération, on déverse sur le sol, par des moyens connus non représentés, des produits destinés à améliorer ses caractéristiques physiques, par exemple un liant hydraulique. La nature et le volume de ces produits sont déterminés à l'avance par une analyse du sol.

[0118] Les produits ainsi répandus sont mélangés intimement avec le sol par l'action de la fraise.

[0119] Le mélange ainsi obtenu peut alors être compacté par les dispositifs 619 pour obtenir un sol 527 aux caractéristiques améliorées à la fois par traitement et compactage.

[0120] La fraise 615 est entraînée par des moteurs 617 qui débordent de chaque côté du cadre. Pour leur laisser le passage, l'invention propose de ménager de chaque côté du wagon une tranchée de taille suffisante. Pour cela, on utilisera des trancheuses 601 de type connu.

[0121] Le dispositif selon l'invention permet aussi de réaliser un asservissement entre les paramètres machines et le taux de compacité à obtenir, afin de fournir une aide à la conduite ainsi qu'à la surveillance et au contrôle en continu du compactage.

[0122] On rappelle que le dispositif selon l'invention compacte une couche de faible épaisseur. Cette épaisseur est en relation avec la déformation, imposée par le profil de la semelle, au taux de compacité requis avec un passage unique du matériel.

[0123] Dans ces conditions les forces de frottement de la semelle au contact du sol et la pression exercée par le matériel doivent à tout instant être identiques. Pour connaître ces valeurs, en fonction de l'application, on mesure, lors d'une planche d'essai, à l'aide de capteurs ou de sondes par exemple, des paramètres judicieusement choisis, corrélés avec les forces de frottement et la pression exercée. Ensuite, en cours de compactage, il suffit d'ajuster en permanence la profondeur de l'outil de compactage pour faire correspondre les valeurs des paramètres mesurées en cours du compactage, avec les valeurs de référence définies lors de l'essai. L'ajustement permanent de la profondeur peut être automatisé. Si ceux-ci sont trop faibles, l'épaisseur de la couche doit être réduite.

[0124] Dans le cas contraire, si les paramètres mesu-

rés sont supérieurs aux valeurs de référence, pour satisfaire aux conditions du compactage l'épaisseur de la couche doit être augmentée.

[0125] En procédant de la même manière, couche par couche, en remontant progressivement la semelle de l'outil, on obtient l'épaisseur totale demandée avec un taux de compacité régulier, sensiblement constant et indépendant de la profondeur.

[0126] Selon une autre modalité de l'invention, en adjoignant au dispositif précédant un système de guidage et de positionnement en x,y,z, avec enregistrement, on peut obtenir un compactage continu et contrôlé.

[0127] Dans le cas de l'invention chaque passage permet d'obtenir le taux de compacité voulu sur une épaisseur de couche réduite à condition d'ajuster en permanence l'épaisseur de la couche, puisque l'outil est porté. Pour cela, à partir de la réponse du couple sol/matériel, il suffit de procéder aux ajustements nécessaires. Le compactage d'une couche plus importante demandera plusieurs passages dans les mêmes conditions après avoir relevé chaque fois l'outil de l'épaisseur de la couche précédemment compactée. Au final, cela permet obtenir une couche compactée de l'épaisseur voulue, avec un taux de compacité régulier et élevé sur toute son épaisseur.

[0128] Dans le cas d'un compactage avec des moyens usuels, le compacteur multiplie le nombre des passages, tant que la rigidité de la plate-forme mesurée sera suffisante. Ce mode opératoire ne permet pas pour autant d'avoir la certitude d'obtenir le taux de compacité voulu en fond de couche, le gradient de compacité étant décroissant.

[0129] La méthode d'asservissement proposée consiste à utiliser les informations des capteurs pour mesurer les efforts de traction et de masse dans le cas du compactage par déplacement, et en plus d'utiliser des capteurs pour la mesure des vibrations ou des accélérations dans le cas du compactage par déplacement et rotation des outils, pour corrélérer ces mesures avec les courbes de compacité obtenues par ailleurs, pour déterminer les conditions optimales de fonctionnement.

[0130] Dans ces conditions, il est possible de faire varier par asservissement la profondeur de l'outil pour que la « réponse » corresponde en permanence à la référence déterminée à partir de la réalisation d'une planche d'essai.

[0131] En associant de préférence un dispositif de positionnement et de mesure de la profondeur de l'outil, avec enregistrement, le matériel reçoit les informations nécessaires pour procéder à un nouveau passage, et cela jusqu'à obtention la couche correspondant à l'épaisseur projetée au taux de compacité prescrit sur toute hauteur.

Revendications

1. - Procédé de compactage des sols, dans lequel dans

un premier temps on insère dans le sol (104, 105), à une profondeur déterminée (H) un dispositif (101-103 ; 107-109) de compactage des sols, et dans un deuxième temps on fait avancer ce dispositif en le maintenant à la profondeur déterminée, ce qui permet de compacter en continu les sols à une profondeur où les procédés de compactage par le dessus du sol deviennent inefficaces.

2. - Dispositif de compactage des sols, comportant au moins un outil en forme de coin qui présente une surface convexe, inclinée vers le bas, de l'avant vers l'arrière, de convexité tournée vers la profondeur du sol en position de travail de l'outil, à savoir en position enfoncée dans le sol, parallèlement au sol, entre un bord d'attaque et un talon se situant au-dessous de la surface engendrée par le bord d'attaque lors du déplacement de l'outil parallèlement au sol.

3. - Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le ou chaque outil en forme de coin (101) est une dent dont le bord d'attaque est dirigé vers l'avant pour décoller les couches supérieures du sol, cette dent étant fixée sur un bâti (102) à l'aide d'une pièce intermédiaire (103) servant de support commun à la dent et à une lame (106) qui est également fixée à l'arrière de la dent et qui présente une forme courbe dont la concavité est dirigée vers le haut, dont l'avant est au niveau inférieur (104) du sol décollé et dont la partie la plus basse est au niveau de compactage voulu pour une seule passe du dispositif.

4. - Dispositif selon la revendication 3, dans lequel la lame (106) ou bien fait ressort par elle-même, ou bien est fixée à son extrémité avant par une articulation transversale et est maintenue en compression par un ressort.

5. - Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le ou chaque outil en forme de coin (201) est une dent dont le bord d'attaque est dirigé vers l'avant pour décoller les couches supérieures du sol et dont la partie inférieure (211) est inclinée vers le bas pour effectuer un premier compactage à un niveau intermédiaire (214); cette dent étant fixée sur un bâti (202) à l'aide d'une pièce intermédiaire (203) qui supporte également à l'arrière de la dent un rouleau de compactage (209) permettant d'effectuer un deuxième compactage pour obtenir le niveau voulu (205), ce rouleau étant ou lisse, ou strié, ou supportant des pieds de mouton (210).

6. - Dispositif selon la revendication 2, comprenant une simple lame d'usure (301) inclinée d'avant en arrière pour décoller les couches supérieures du sol ; cette lame étant fixée sur un bâti (302) par une pièce intermédiaire (303) servant de support commun à la lame (301) et à un ensemble de rouleaux (309) fixés

sur une deuxième pièce intermédiaire (313) elle-même fixée à la première pièce; ces rouleaux étant disposés sensiblement l'un à côté de l'autre parallèlement à la surface du sol et perpendiculairement à l'axe d'avancement du dispositif; le premier de ces rouleaux étant en outre disposé légèrement plus bas que le bec d'attaque de la lame d'usure (301), et les autres rouleaux étant légèrement décalés en profondeur pour que le dernier soit au niveau souhaité pour la profondeur de compactage (h).

7. - Dispositif selon la revendication 2, comprenant une pièce intermédiaire comportant un support connu (503), lequel comporte un trou longitudinal (502) pour recevoir des outils de décompactage d'un sol, tels qu'un burin (511) ou une dent (501), dans lequel ledit support (503) est complété sur sa partie inférieure par une pièce plate (513) fixée sur l'extrémité inférieure dudit support (503); ladite pièce plate comportant à sa partie inférieure une première ailette verticale munie d'un trou (515) à l'avant et sur son arrière de trois trous (516) échelonnés en hauteur, cet ensemble (503, 513, 514) formant ladite pièce intermédiaire; et dans lequel le dispositif comprend aussi une pièce de compactage (518) comportant quant à elle une lame (519) de forme courbe dont la concavité est dirigée vers le haut, cette lame reproduisant la courbe de tassement sous l'effet répété des passages d'un compacteur agissant à partir de la surface; ladite lame (519) comprenant une deuxième ailette verticale (520) fixée sur la partie supérieure la lame (519) et étant elle-même munie d'un trou (515) à l'avant et sur son arrière de trois trous échelonnés en hauteur; ces deux ailettes étant positionnées l'une contre l'autre en faisant coïncider les deux trous avant (515) et en enfonçant dans ces deux trous des moyens de fixation qui permettent de faire tourner la deuxième ailette (520) sur la surface de la première ailette (514), les trous arrière (516, 521) sur chacune de ces ailettes étant échelonnés de telle manière que, lorsque l'on fait tourner la deuxième ailette (520) sur la première, un seul des trous arrière de celle-ci corresponde à un seul trou arrière de la première ailette (519); ce qui permet ainsi d'obtenir trois positions des ailettes l'une par rapport à l'autre et donc trois excentricités différentes pour ladite lame (519).
8. - Dispositif selon la revendication 2, comprenant un véhicule tracteur (712) pour entraîner un cadre rigide (721) muni de moyens (713-720) pour maintenir, à une profondeur déterminée (H) et réglable sous le niveau du sol, une pluralité desdits outils (717, 718) en forme de coin.
9. - Dispositif selon la revendication 8, comprenant des moyens pour soumettre ledit cadre à un mouvement vibratoire (724), et une fixation élastique (722) pour

découpler, du point de vue des vibrations, le cadre (721) du véhicule tracteur.

10. - Dispositif selon la revendication 2, comprenant un rotor (801) muni d'au moins une étoile comportant un ensemble de rayons (802), un outil en forme de coin étant fixé à l'extrémité d'au moins l'un de ces rayons, le rotor étant mis en rotation et étant disposé sous une cloche de protection (920), l'ensemble étant animé d'un mouvement de translation horizontal et perpendiculaire à l'axe du rotor pour compacter une bande de terrain (924) d'une largeur inférieure à la largeur de la cloche.
11. - Dispositif selon la revendication 10, dans lequel le sens de rotation du rotor (920) est le même que le sens d'avancement de l'ensemble.
12. - Dispositif selon la revendication 10, dans lequel l'ensemble rotor/cloche (920, 921) est fixé sur un véhicule porteur (922), soit à l'avant, soit au milieu, soit à l'arrière dudit véhicule.
13. - Dispositif selon la revendication 12, dans lequel le véhicule porteur est une stabilisatrice comprenant un rotor (921) munis d'étoiles dont l'une au moins comporte un outil en forme de coin (803), et ladite étoile comportant au moins une dent épaisse (814) qui s'use à la même vitesse que ledit outil en forme de coin.
14. - Dispositif selon la revendication 3, fixé à l'extrémité de deux bras (1520) pouvant tourner sur un axe horizontal (1523) perpendiculaire à l'axe longitudinal dudit dispositif; celui-ci comportant des moyens (1522; 1526, 1527) pour faire tourner les bras de manière à maintenir le dispositif sous le niveau du ballast (1526) d'une voie de chemin de fer; et dans lequel il comprend également des moyens pour mettre en tension ladite lame (106).
15. - Dispositif selon la revendication 2, comprenant au moins deux outils en forme de coin (1619), lesdites lames de ces deux outils en forme de coin étant réparties transversalement entre des nervures (1614) et entre des faces latérales (1611), sur une ou plusieurs rangées à la même profondeur ou à des profondeurs différentes, pour former un cadre rigide (1610), ce qui permet de compacter en une seule fois une couche de grande épaisseur pour constituer un soubassement compacté à la densité voulue.
16. - Dispositif selon la revendication 15, dans lequel lesdites lames (1619) sont étagées en hauteur pour obtenir une couche compactée (1627) dont la hauteur est supérieure à celle pouvant être obtenue avec un passage unique.

17. - Dispositif selon la revendication 15, comprenant avant lesdites lames (1619) un arbre de petit diamètre (1616) muni de pics facilement échangeables, pour former une petite fraise qui permet de séparer le sol du ballast avant lesdites lames (1619) afin de faciliter le réglage et le compactage de ladite couche, l'entraînement du rotor s'effectuant par un moto-réducteur, situé à l'intérieur desdites faces latérales (1611) formant ledit cadre rigide (1610). 5 10
18. - Dispositif selon la revendication 15, pour un traitement des sols sous le ballast des voies de chemin de chemin de fer, comprenant des moyens de terrassement (601) préalable d'au moins une tranchée pour engager le moteur d'une fraise, des moyens pour assurer le réglage d'un liant, des moyens pour assurer le malaxage (616) de ce liant et dudit sol, et des outils en forme de coin (619) pour assurer le compactage en couche épaisse de ce mélange. 15 20
19. - Dispositif selon la revendication 18, dans lequel les moyens de malaxage (616) comprennent une fraise de grand diamètre ayant un axe horizontal et perpendiculaire au sens de l'avancement du wagon et sur lequel sont fixés des organes tels que des dents, ce qui permet de malaxer la totalité du sol soumis au traitement avec ledit liant hydraulique. 25 30
20. - Dispositif selon la revendication 19, comprenant des sondes, des moyens pour traiter les signaux de ces sondes, et des moyens pour régler la profondeur de l'outil de compactage selon les résultats de ce traitement des signaux. 35 40 45 50 55

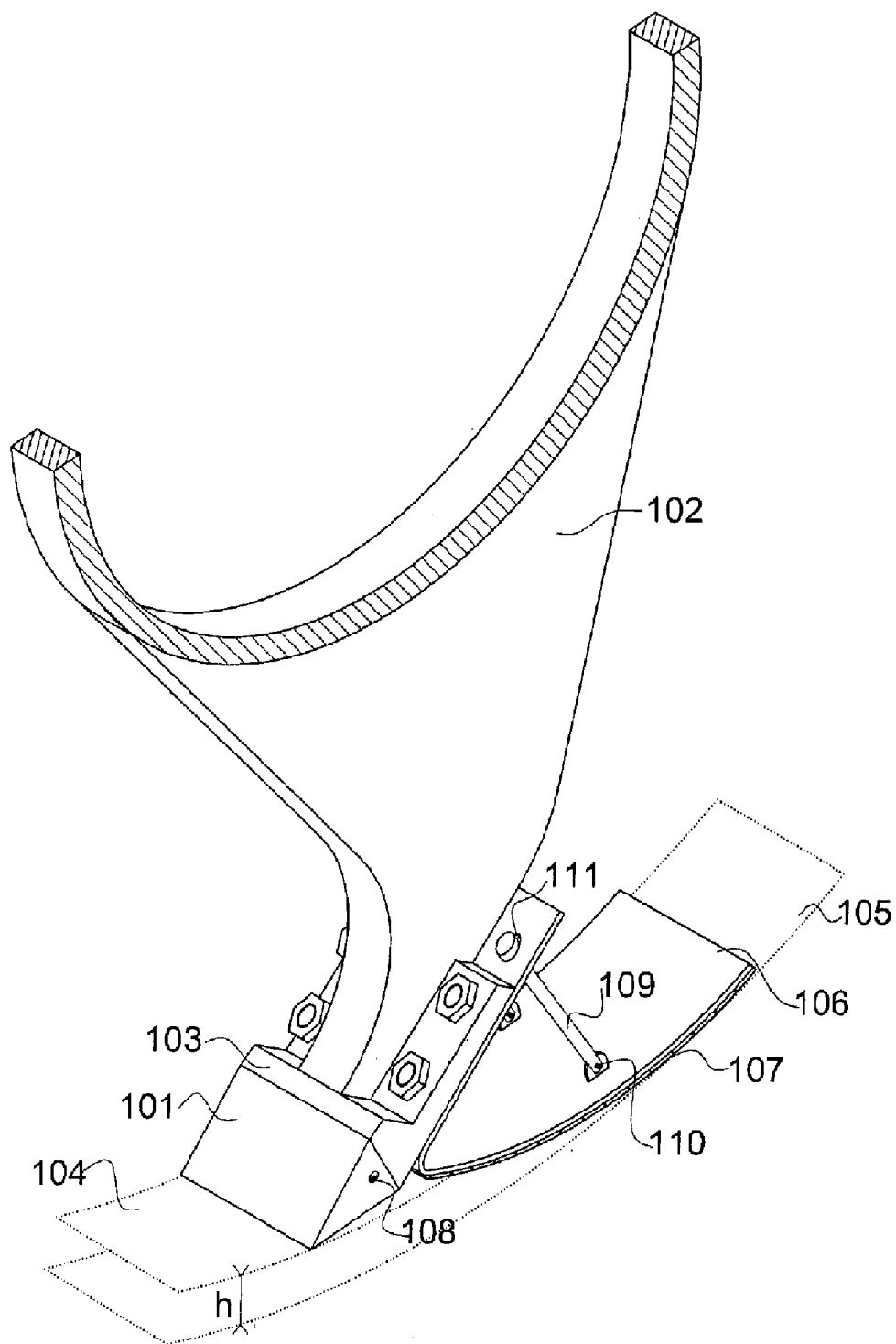


Fig.1

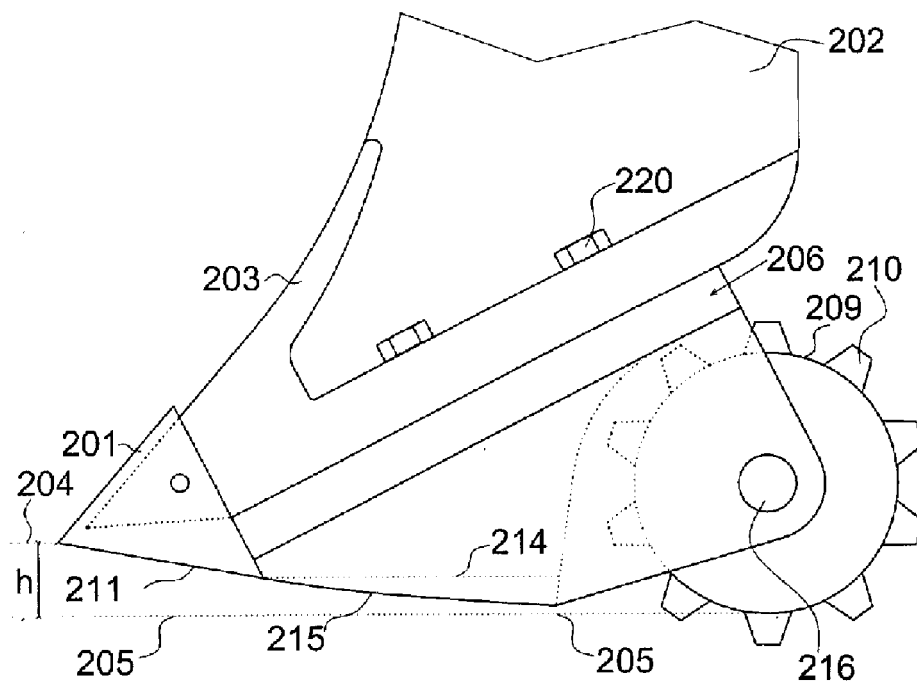


Fig. 2

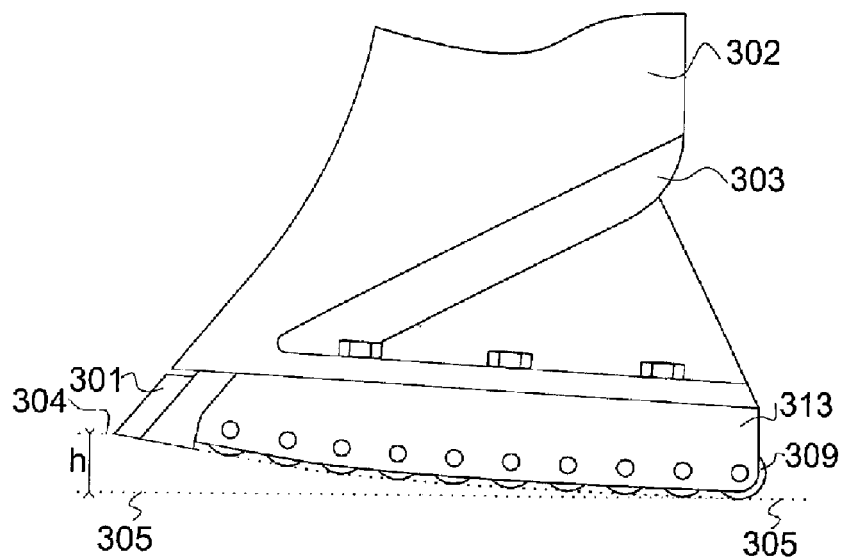


Fig.3

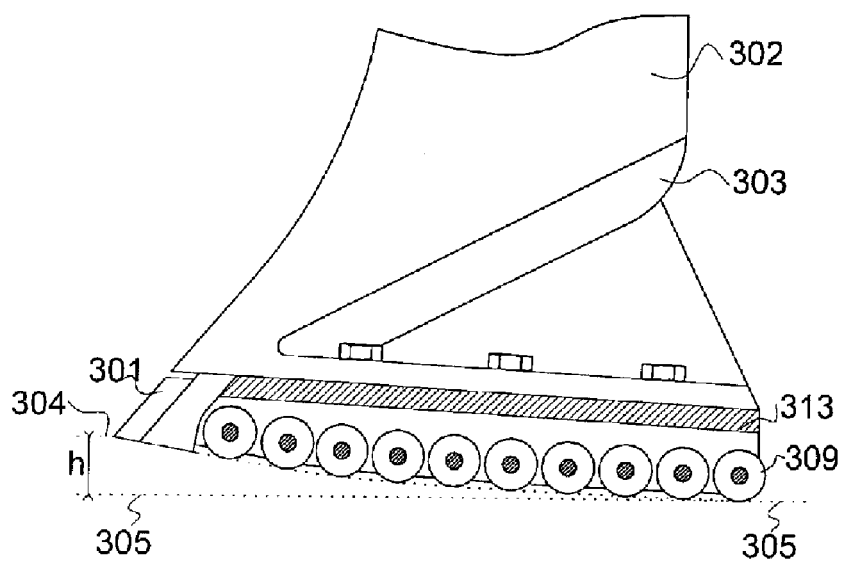


Fig.4

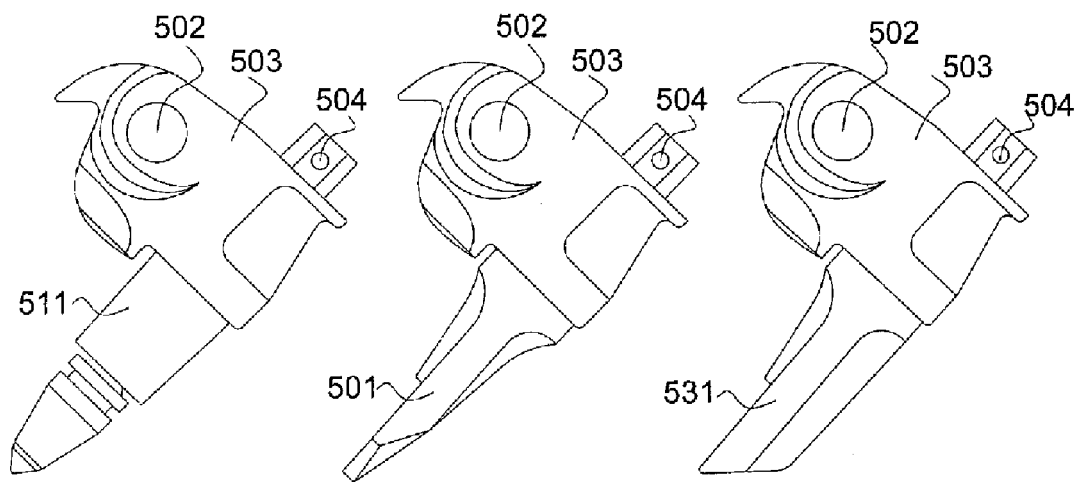


Fig.5

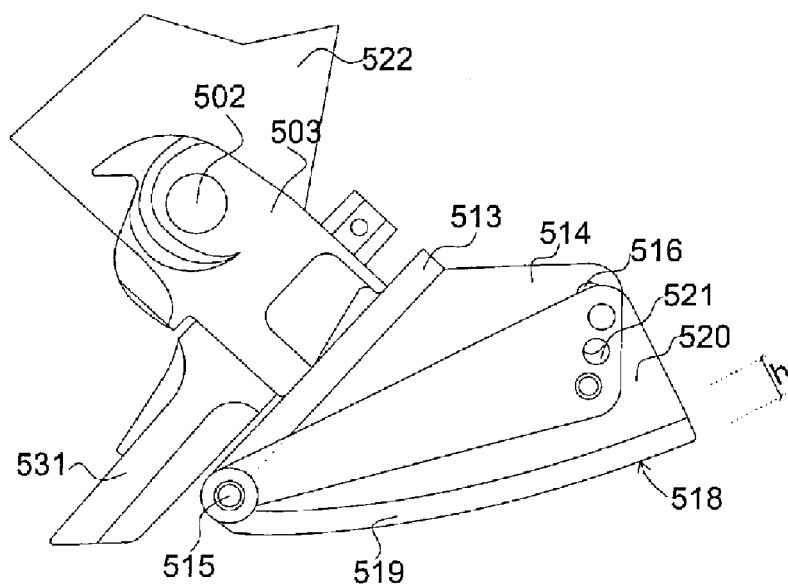


Fig.6

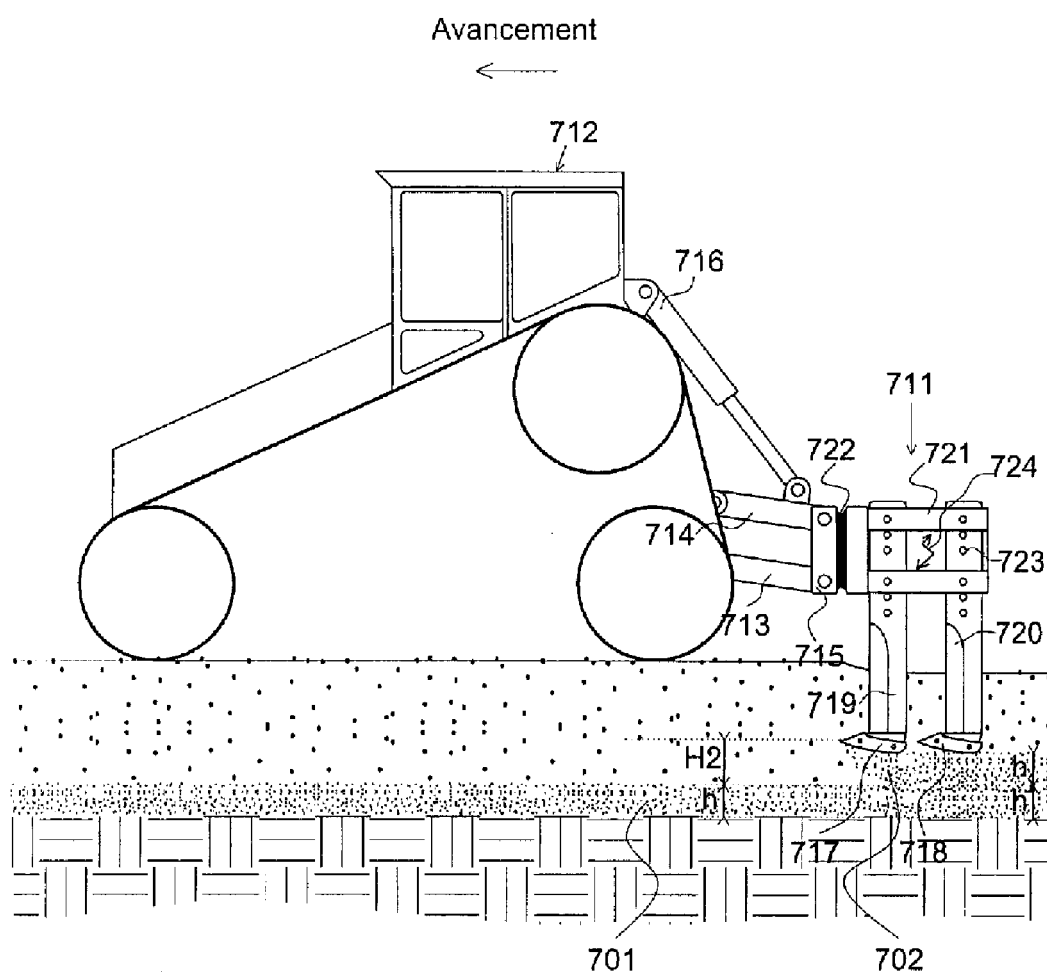


Fig.7

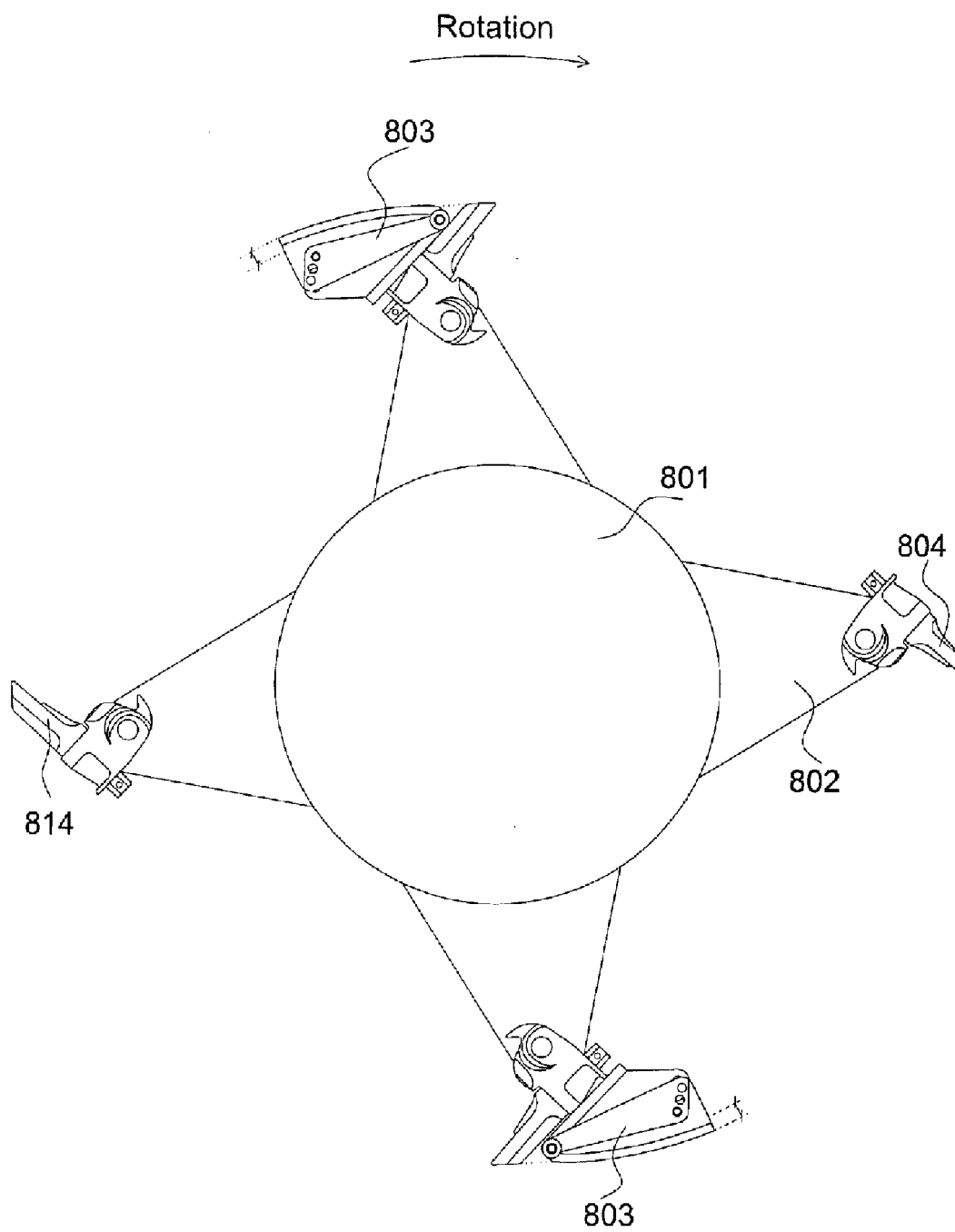


Fig.8

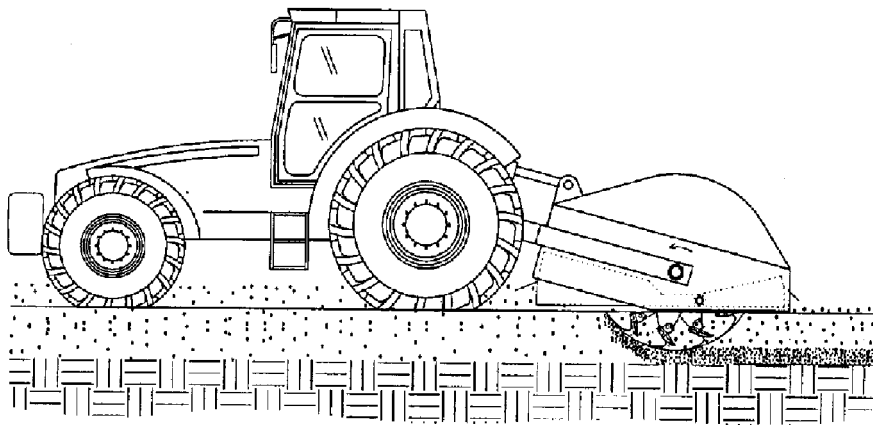
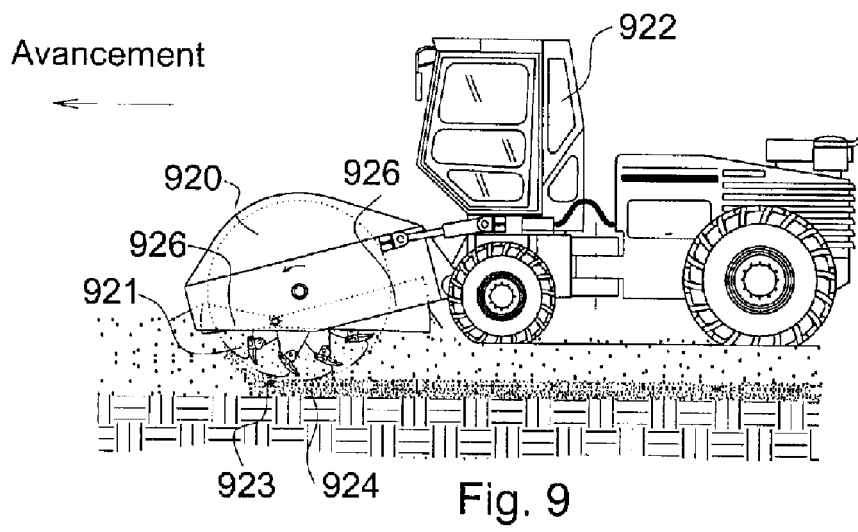


Fig. 10

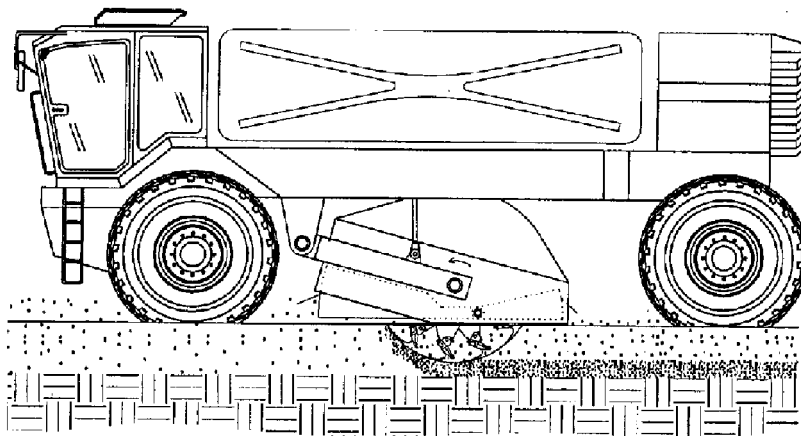


Fig. 11

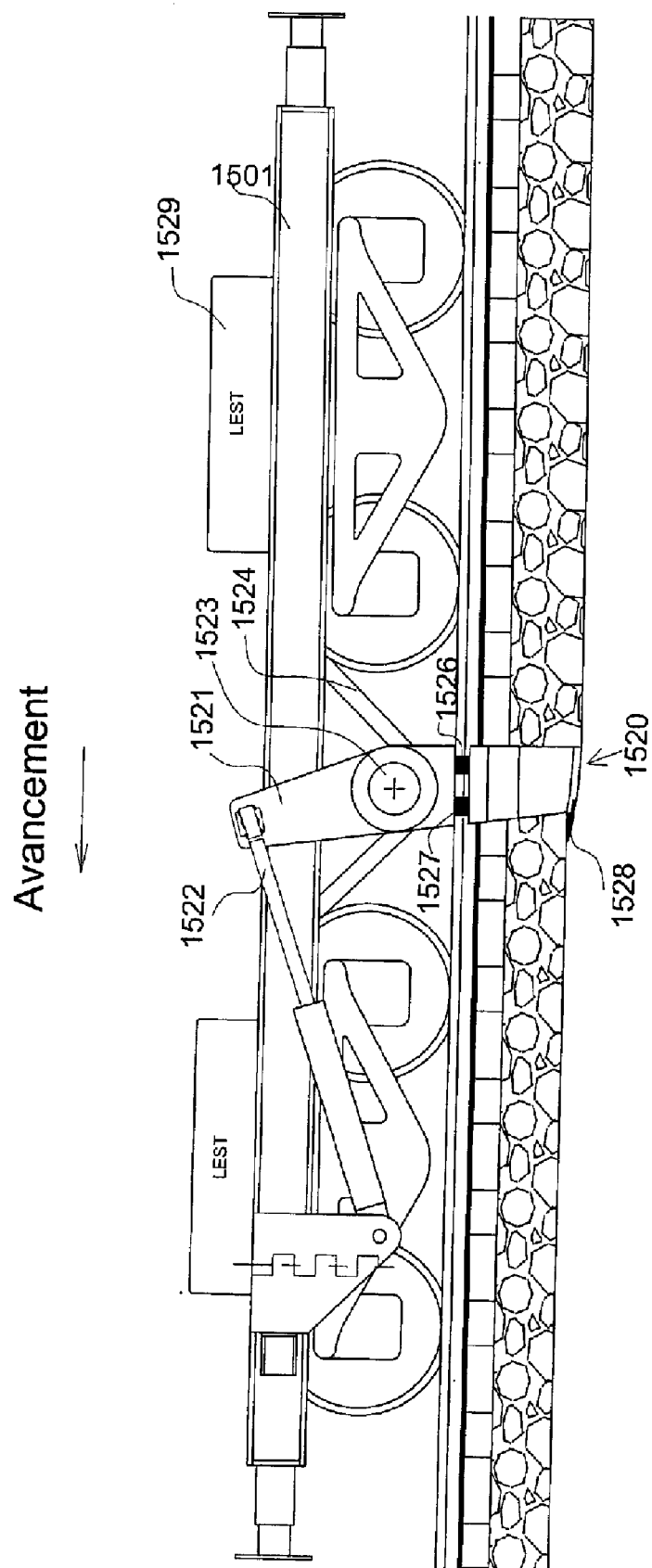


Fig.12

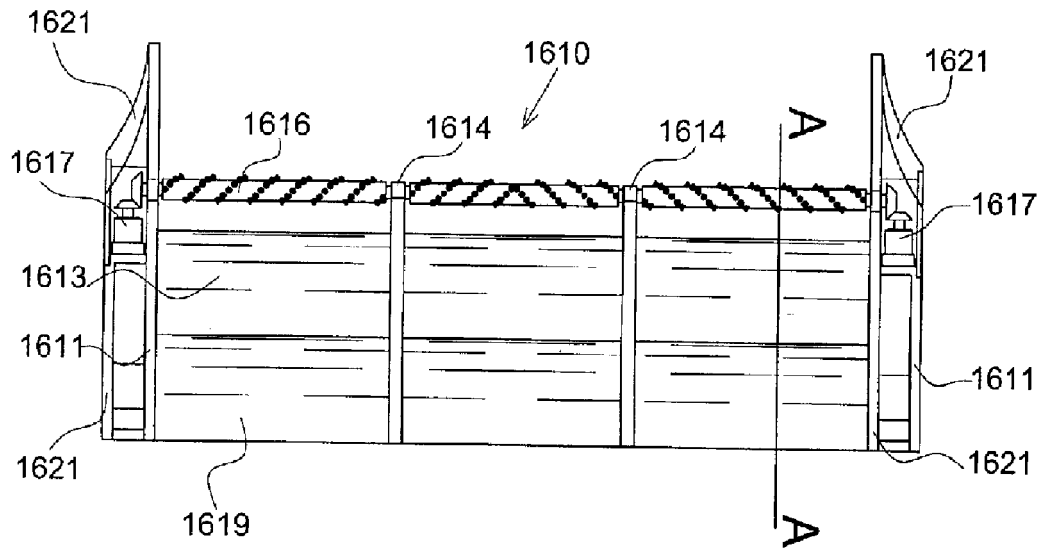
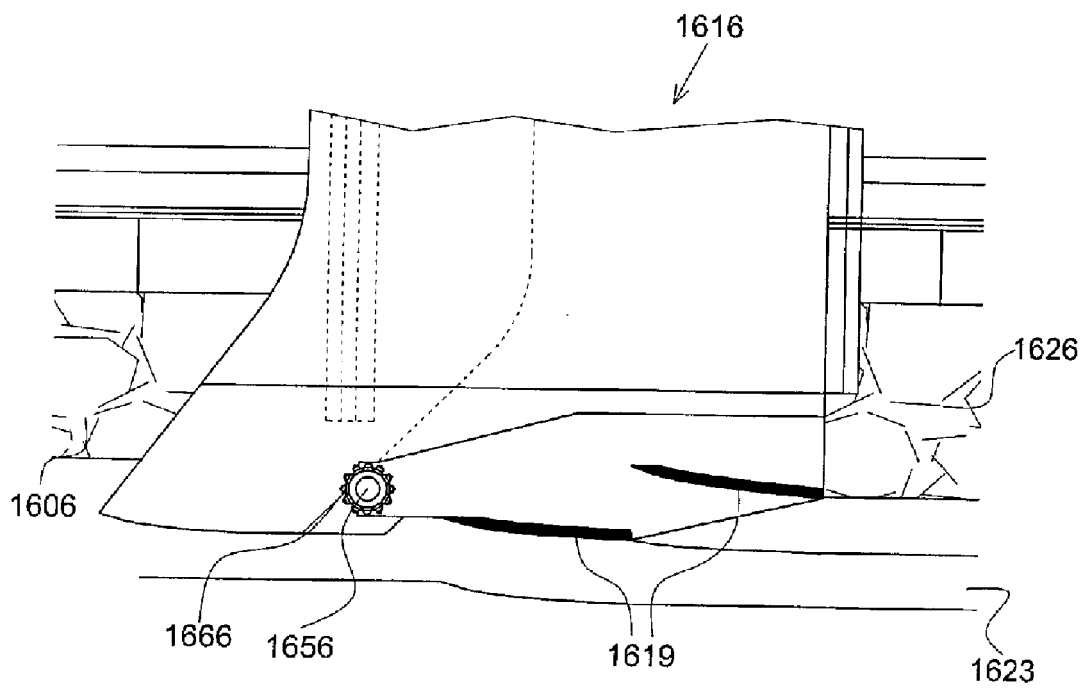


Fig. 13



Coupe AA

Fig. 16

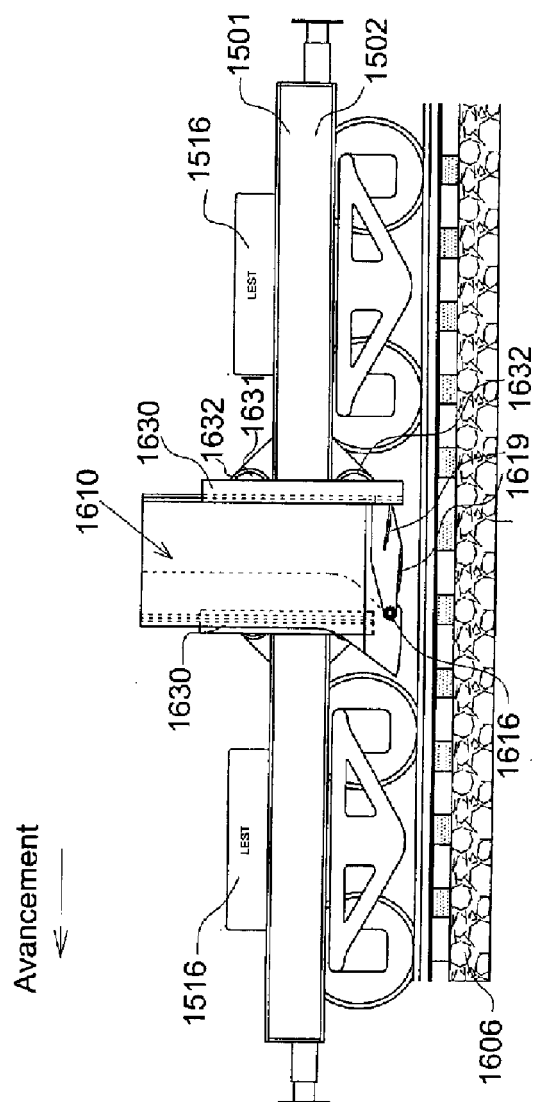


Fig. 14

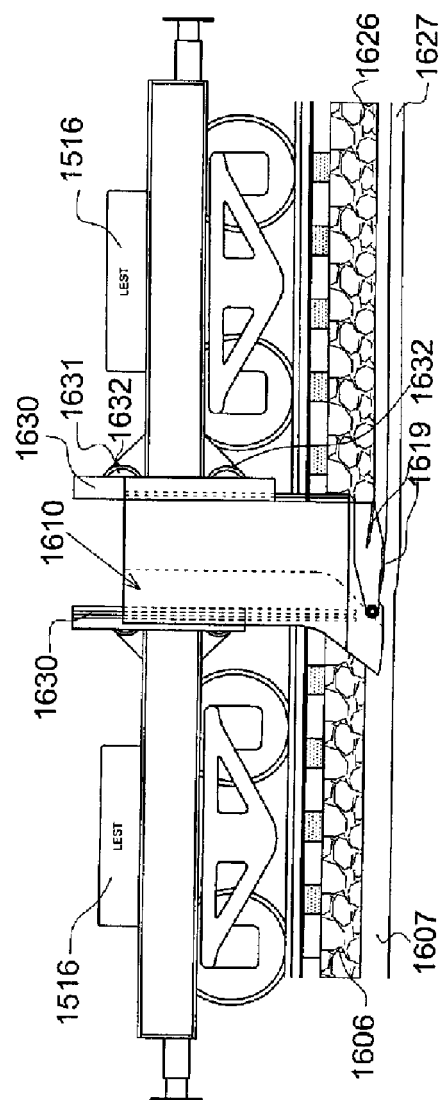


Fig. 15

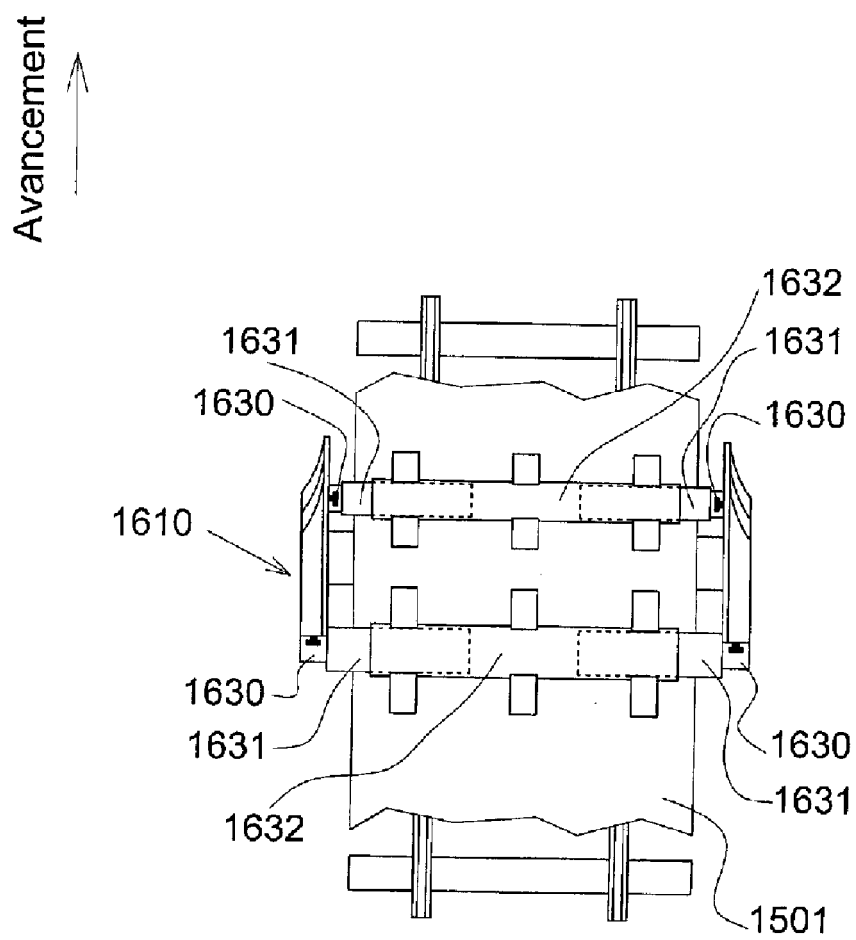


Fig. 17

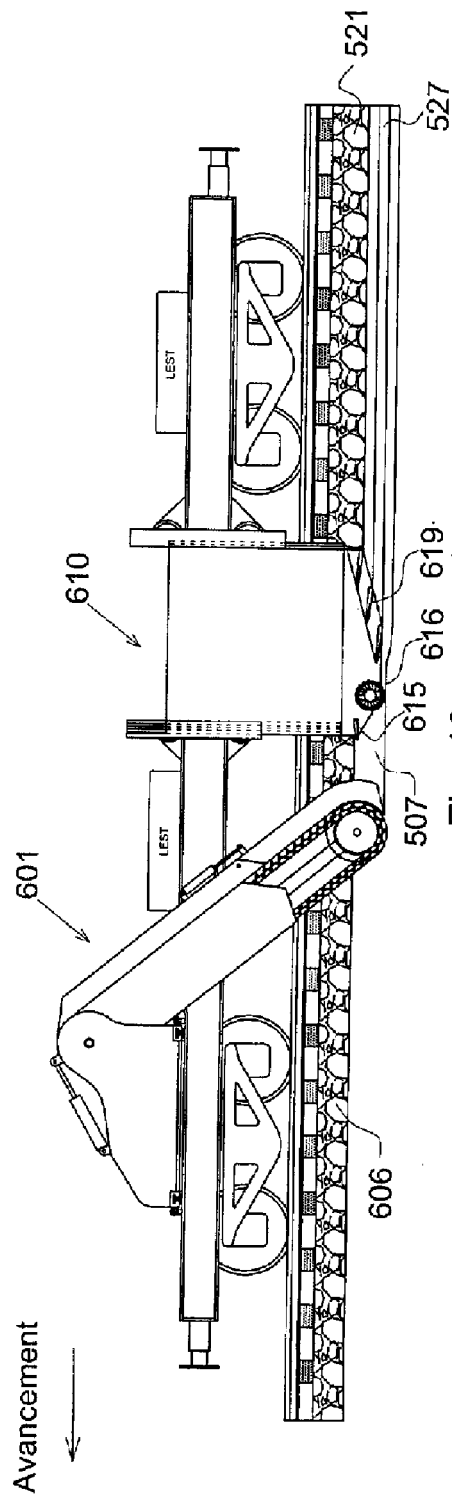


Fig. 18

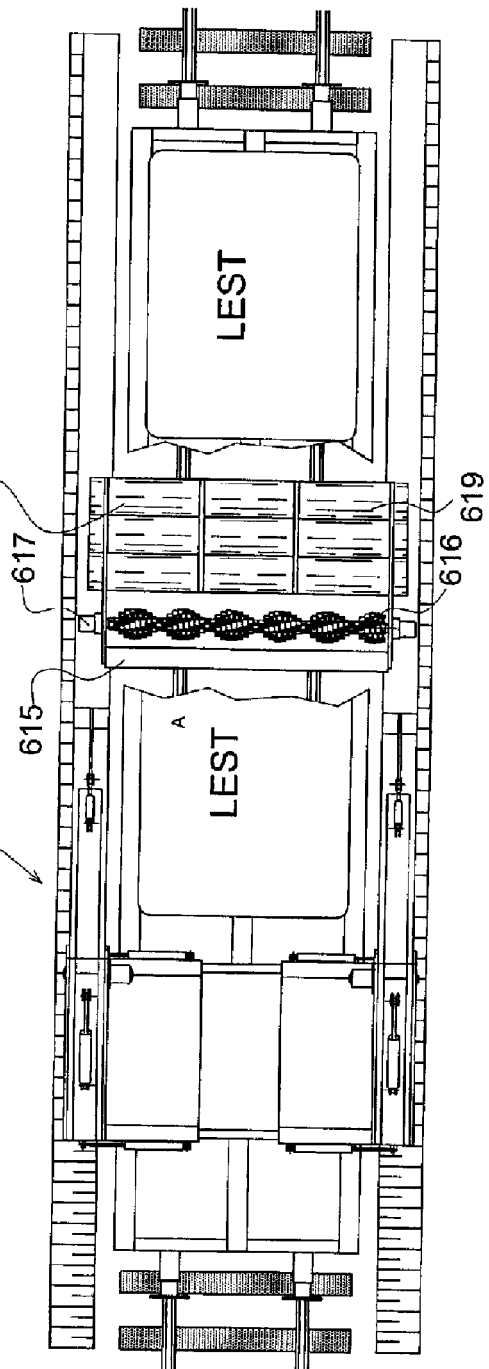


Fig. 19

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2882377 [0012]