

(19)



(11)

**EP 3 459 899 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

**18.12.2024 Bulletin 2024/51**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**B66C 13/06 (2006.01) B66C 23/90 (2006.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**B66C 13/063; B66C 23/90**

(21) Numéro de dépôt: **18194342.4**

(22) Date de dépôt: **13.09.2018**

(54) **OPTIMISATION DYNAMIQUE D'UNE COURBE DE CHARGE DE GRUE**

DYNAMISCHE OPTIMIERUNG DER LASTKURVE EINES KRANS

DYNAMIC OPTIMISATION OF A CRANE LOAD CURVE

(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**

(30) Priorité: **21.09.2017 FR 1758745**

(43) Date de publication de la demande:  
**27.03.2019 Bulletin 2019/13**

(73) Titulaire: **Manitowoc Crane Group France 69570 Dardilly (FR)**

(72) Inventeur: **CLAEYS, Xavier 69006 LYON (FI)**

(74) Mandataire: **Germain Maureau 12, rue Boileau 69006 Lyon (FR)**

(56) Documents cités:  
**DE-A1- 102015 100 669 US-A1- 2008 275 610 US-B2- 9 120 650**

**EP 3 459 899 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention se rapporte au domaine des grues, et plus spécifiquement des grues à tour, et en particulier à la surveillance de la charge maximale déplacée.

**[0002]** Selon une configuration usuelle, une grue à tour comprend un mât vertical, une flèche sensiblement horizontale portée par le mât et orientable en azimut autour du mât selon un mouvement dit d'orientation, ainsi qu'un chariot qui est monté mobile en translation radiale le long de ladite flèche réalisant ainsi un mouvement dit de distribution. Le chariot porte une charge, suspendue au chariot par un câble dont la longueur est modifiable au moyen d'un treuil qui commande ainsi le mouvement vertical de ladite charge, dit mouvement de levage.

**[0003]** Une caractéristique essentielle de la grue est la masse maximale de la charge suspendue que la grue peut déplacer, en fonction d'un point de fonctionnement défini par la distance de ladite charge à l'axe passant par le mât - appelée position de distribution - et par la masse de la charge.

**[0004]** La limite maximale est typiquement décrite au moyen d'une courbe de charge, sur un graphique représentant, sur un premier axe (conventionnellement en abscisses), la position de distribution et, sur un deuxième axe (conventionnellement en ordonnées), la masse de la charge.

**[0005]** De façon conventionnelle, une grue à tour dispose d'un système de surveillance et de contrôle configuré de sorte à limiter la vitesse de levage de la charge, lorsque le point de fonctionnement s'approche de la courbe de charge.

**[0006]** Lorsque le point de fonctionnement atteint la courbe de charge, le système de surveillance et de contrôle stoppe les mouvements de la grue, afin d'éviter tout dépassement véritablement dangereux pour la stabilité ou la structure de la grue.

**[0007]** Par exemple, il est déjà connu des documents US 9120650 et US 2008/275610, de mettre en oeuvre des moyens de contrôle garantissant que l'accélération de la charge suspendue ne dépasse pas une accélération maximale autorisée, définie en fonction de caractéristiques structurelles de la grue ou de l'efficacité de ses moyens d'actionnement (moteurs ou autres), afin de ne pas compromettre le bon fonctionnement ou l'intégrité structurelle de la grue. Le document US 9120650 divulgue le préambule de la revendication 1.

**[0008]** La courbe de charge est généralement établie, au regard de l'agencement mécanique de la grue, d'une part à partir d'une première limite dite « statique » qui prend pour hypothèse que la grue est dans un état mécanique statique ou dans un régime permanent assimilable à un régime quasi-statique (notamment avec une vitesse de levage sensiblement constante, ou nulle), et d'autre part en prévoyant en outre, par rapport à cette première limite statique, une marge dynamique, qui correspond à un dépassement maximal toléré par rapport à cette limite statique, appelé facteur de charge  $\Psi$ .

**[0009]** Ledit facteur de charge  $\Psi$  permet de prendre en compte les suppléments de contrainte qui s'exercent sur la flèche, et plus globalement sur la grue, lorsque la charge suspendue est soumise à des phénomènes transitoires, par exemple au début d'un mouvement de levage, lorsque l'inertie de la charge suspendue s'ajoute au poids de ladite charge suspendue.

**[0010]** Les normes de sécurité, par exemple la norme européenne EN 13001, exigent que le facteur de charge  $\Psi$  reste inférieur à 30%.

**[0011]** En pratique, plus le facteur de charge  $\Psi$  est important, c'est-à-dire plus la marge de sécurité imposée est grande, plus la limite maximale de la charge que la grue peut déplacer est basse.

**[0012]** C'est pourquoi il est souhaitable, pour améliorer les performances de la grue, de réduire le facteur de charge  $\Psi$ , sans toutefois remettre en cause la sécurité de fonctionnement de la grue.

**[0013]** Il est ainsi connu, par exemple du document de brevet EP-0 849 213, de mettre en oeuvre des moyens de contrôle, utilisant une première courbe de charge relativement restrictive au vu des capacités potentielles de la grue, et une seconde courbe de charge étendue. Toutefois, la seconde courbe de charge ne peut être utilisée que pour une plage réduite prédéterminée de vitesse/accélération de déplacement, lorsque les conditions pour un tel dépassement sont réunies. Il est en particulier prévu l'usage d'un commutateur pour sélectionner, selon les circonstances, la courbe de charge adaptée. L'opérateur peut ainsi forcer manuellement les moyens de contrôle à opérer la grue en utilisant la deuxième courbe de charge étendue. Cette solution repose donc sur l'utilisation de deux courbes de charge prédéfinies et ne permet que partiellement d'optimiser le compromis entre performances dynamiques d'utilisation de la grue et capacité de charge, en fonction des capacités instantanées réelles de la grue.

**[0014]** C'est pourquoi il existe encore un besoin pour des moyens améliorés et automatisés, pour grue à tour, de surveillance et de contrôle de mouvements en fonction d'une courbe de charge, proposant un compromis optimisé entre capacité de levage de charges, et performances dynamiques d'utilisation.

**[0015]** Un des objets de l'invention est de permettre la prise en compte, par les moyens améliorés de surveillance et de contrôle, de la capacité à un instant donné d'une grue, notamment d'une grue à tour, à réduire l'influence des facteurs dynamiques et incertitudes à un niveau déterminé.

**[0016]** Un autre objet de l'invention est de fournir des moyens aptes à prendre en compte, pour déterminer le facteur de charge, les capacités et les performances d'une grue à appliquer et contrôler des consignes de vitesse et d'accélération du

moteur de levage.

**[0017]** Un autre objet de l'invention est de fournir des moyens améliorés de surveillance et de contrôle pour grue aptes à limiter les mouvements de levage de la charge utile, en vitesse et en accélération, au moyen de règles de calculs dynamiques fonction de la charge mécanique courante, de la portée, de la vitesse de levage et optionnellement d'autres grandeurs caractéristiques de ladite grue.

**[0018]** Un des objets de l'invention est d'augmenter la capacité de levage d'une grue, tout en garantissant un niveau de sécurité élevé.

**[0019]** Un des objets de l'invention est d'augmenter les performances dynamiques d'utilisation d'une grue, tout en garantissant un niveau de sécurité élevé.

**[0020]** Un des objets de l'invention est de fournir des moyens améliorés de surveillance et de contrôle pour grue, lesquels ne requièrent lors de leur utilisation aucune action du grutier visant à sélectionner parmi plusieurs courbes de charge celle adaptée au contexte pour contrôler les mouvements de levage de la charge.

**[0021]** Un des objets de l'invention est de fournir des moyens améliorés de surveillance et de contrôle pour grue, utilisant une unique courbe de charge pour adapter de manière continue la vitesse et l'accélération demandée par le grutier pour respecter les contraintes dynamiques que la grue peut supporter.

**[0022]** Un des objets de l'invention est de fournir des moyens améliorés de surveillance et de contrôle pour grue adaptés à être utilisés conjointement avec les dispositifs de sécurité et de coupure habituellement déployés dans une grue.

**[0023]** Un ou plusieurs de ces objets sont remplis par le dispositif selon la revendication indépendante. Les revendications dépendantes fournissent en outre des solutions à ces objets et/ou d'autres avantages.

**[0024]** Plus particulièrement, selon un premier aspect, l'invention se rapporte à un procédé de contrôle de commande de levage d'une charge suspendue à une flèche et ayant une masse, portée par un mât d'une grue, notamment d'une grue à tour. L'invention peut aussi s'appliquer à d'autres familles de grues - grue à flèche relevable, etc - en transposant les calculs réalisés selon le modèle de l'invention à la géométrie desdites grues.

**[0025]** Le procédé comporte comportant au moins une étape de détermination, à partir de consignes de vitesse de levage, de consignes de vitesse de levage optimisées destinées à être exécutées par un dispositif moteur pour déplacer selon un mouvement de levage la charge suspendue de telle sorte que l'accélération relative au mouvement de levage reste, en valeur absolue, inférieure ou égale à une accélération de levage maximale autorisée, et il est remarquable en ce qu'il comprend les étapes préliminaires suivantes :

- une première étape de détermination, en fonction de la masse de la charge suspendue, d'un facteur de charge spécifié quantifiant un dépassement acceptable par rapport à une charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue ; et
- une deuxième étape de détermination de l'accélération de levage maximale autorisée, en fonction de la masse de la charge suspendue, du facteur de charge spécifié et de la position en distribution de la charge suspendue sur la flèche par rapport au mât.

**[0026]** Le procédé de commande selon l'invention permet notamment d'adapter le contrôle de la grue en fonction de la dynamique réelle de la charge.

**[0027]** Le procédé permet donc de contrôler la grue en prenant en compte des effets de la charge lorsque cette dernière est dans un état mécanique statique ou quasi statique, mais également dans un état transitoire au cours duquel les effets inertiels liés aux accélérations/décélérations de la charge sont observés.

**[0028]** En effet lors des régimes transitoires, notamment en début de levage lorsque le treuil fait accélérer la charge, une contrainte supérieure à la stricte masse de la charge suspendue est exercée sur la flèche de la grue : cette dernière subit en conséquence l'équivalent d'une charge plus lourde que celle effectivement suspendue au treuil, et réagit donc par une déformation en tangage supérieure à la déformation observée en régime quasi statique.

**[0029]** L'invention permet ainsi d'optimiser dynamiquement le contrôle de la grue vis-à-vis de la charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue, en limitant l'accélération de levage, en fonction de paramètres courants mesurables, telle que la masse de la charge suspendue, et la position en distribution de la charge suspendue.

**[0030]** L'optimisation ne nécessite en outre aucune intervention de l'opérateur.

**[0031]** Tout en maintenant le même niveau de sécurité, il résulte de l'invention une amélioration du compromis capacité de levage / performances dynamiques d'utilisation, comparativement aux approches conventionnelles dans lesquelles seule la charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue aurait été prise en compte, ou encore aux approches reposant sur l'utilisation de deux courbes statiques de charge maximale admissible.

**[0032]** Le procédé est en outre aisément paramétrable pour s'adapter à divers besoins, notamment quant au choix de la charge maximale admissible prédéterminée.

**[0033]** L'accélération de levage maximale autorisée peut être déterminée au moyen de l'expression mathématique suivante :

$$\frac{gJ_z}{x_c^2 M + J_z} \psi_0^*$$

5 dans laquelle :

$x_c$  correspond à la position en distribution de la charge suspendue ;

$M$  correspond à la masse de la charge suspendue ;

$J_z$  correspond à un modèle de raideur et d'inertie du premier ordre relative à la structure de la grue ;

10  $\Psi_0^*$  est le facteur de charge spécifié.

**[0034]** Ainsi, le procédé selon l'invention permet en particulier d'optimiser le contrôle de la grue, en limitant de façon dynamique l'accélération, ainsi que la vitesse, de la charge suspendue, au moyen d'une formule mathématique préétablie.

15 **[0035]** Le facteur de charge spécifié est par exemple déterminé au moyen d'une courbe de charge maximale admissible, correspondant à un facteur de charge limite et à une charge statique maximale.

**[0036]** Ainsi, une unique courbe de charge maximale admissible peut être utilisée, adaptée dynamiquement aux conditions réelles courant au moyen d'une formule mathématique permettant de prendre en compte les conditions réelles actuelles, telles que la masse de la charge suspendue ou encore la position en distribution de la charge suspendue.

20 **[0037]** Il est ainsi possible d'éviter tout dépassement de la charge maximale admissible prédéterminée pour la grue, tout en s'approchant, en toute sécurité, au plus près de ladite charge maximale admissible.

**[0038]** Le facteur de charge limite peut être déterminé à partir d'un premier seuil théorique fonction des capacités théoriques de charge supportée par la grue et d'un deuxième seuil fonction d'incertitudes de mesures relatives à la masse de la charge suspendue et/ou au mouvement de levage de la charge suspendue.

25 **[0039]** Le facteur de charge spécifié peut être obtenu en multipliant le facteur de charge limite par le ratio entre la charge statique maximale correspondant à la courbe de charge maximale admissible et la masse de la charge suspendue.

**[0040]** Ainsi, grâce à une meilleure maîtrise des aspects dynamiques permise par l'invention, il est possible d'utiliser un facteur de charge limite se rapprochant des limites édictées par les normes.

30 **[0041]** Avantagusement, les consignes de vitesse de levage optimisées sont déterminées de sorte que leur exécution par le dispositif moteur pour déplacer selon le mouvement de levage la charge suspendue respecte la condition suivante:

◦ l'accélération de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure ou égale à l'accélération maximale autorisée (L"MAX) ; en l'espèce, ladite accélération maximale autorisée L"MAX correspond à une accélération théorique qui est calculée de manière à ne pas provoquer un dépassement du facteur dynamique considéré ;

35

ainsi qu'une ou plusieurs des conditions supplémentaires suivantes:

◦ la vitesse de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure à une vitesse de levage maximale autorisée, la vitesse de levage maximale autorisée étant déterminée en fonction des capacités de la grue à freiner les mouvements de la charge suspendue; et/ou,

40

◦ la vitesse de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure à une vitesse de levage maximale de sécurité, déterminée en fonction des capacités de la grue à supporter une pose au sol de la charge suspendue brutale et/ou un arrêt d'urgence; et/ou,

45

◦ l'accélération de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure à une accélération de levage maximale atteignable par le dispositif moteur; et/ou,

50 ◦ l'accélération de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste supérieure à une accélération de levage minimale de confort.

**[0042]** Il est donc possible d'optimiser à la fois la sécurité de la grue, tout en optimisant les performances d'utilisation ressenties par l'opérateur de la grue.

55 **[0043]** Les consignes de vitesse de levage optimisées peuvent être déterminées de sorte que la valeur absolue de la vitesse de levage de la charge suspendue croît, sur une période de temps prédéfinie, suivant une rampe dont la pente correspond à l'accélération de levage maximale autorisée. Il est alors possible de limiter les effets inertiels.

**[0044]** Selon un deuxième aspect non revendiqué, la description se rapporte à un programme d'ordinateur comportant

des instructions pour l'exécution des étapes du procédé selon le premier aspect, lorsque ledit programme est exécuté par un processeur.

[0045] Chacun de ces programmes peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable. En particulier, il est possible d'utiliser le langage C/C++, le langage<sup>™</sup> des langages de script, tels que notamment tel, javascript, python, perl qui permettent une génération de code « à la demande » et ne nécessitent pas de surcharge significative pour leur génération ou leur modification.

[0046] Selon un troisième aspect non revendiqué, la description se rapporte à un support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé selon le premier aspect.

[0047] Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou n'importe quel dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD-ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette ou un disque dur. D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé par un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau Internet ou Intranet. Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

[0048] Selon un quatrième aspect, l'invention se rapporte également à une grue, notamment une grue à tour, adaptée à mettre en oeuvre le procédé selon le premier aspect. La grue comporte un mât supportant une flèche sur laquelle est monté un chariot destiné à porter une charge suspendue ayant une masse, et des moyens de contrôle de commande de levage de la charge suspendue pourvus de moyens de détermination, à partir de consignes de vitesse de levage, de consignes de vitesse de levage optimisées destinées à être exécutées par un dispositif moteur pour déplacer selon un mouvement de levage la charge suspendue de telle sorte que l'accélération relative au mouvement de levage reste, en valeur absolue, inférieure ou égale à une accélération de levage maximale autorisée. Les moyens de contrôle de commande de levage de la charge suspendue, sont en outre pourvus:

- de moyens de détermination, en fonction de la masse de la charge suspendue, d'un facteur de charge spécifié quantifiant un dépassement acceptable par rapport à une charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue ;
- de moyens de détermination de l'accélération de levage maximale autorisée, en fonction de la masse de la charge suspendue, du facteur de charge spécifié et de la position en distribution de la charge suspendue sur la flèche par rapport au mât.

[0049] L'invention peut aussi s'appliquer à d'autres familles de grues - grue à flèche relevable, etc - en transposant les calculs réalisés selon le modèle de l'invention à la géométrie desdites grues.

[0050] D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront, dans la description ci-après de modes de réalisation, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'architecture d'un système de contrôle de levage d'une charge, selon un mode de réalisation;
- la figure 2 est un synoptique des étapes d'un procédé de contrôle de commande de levage d'une charge suspendue, selon un mode de réalisation;
- la figure 3 représente un schéma de principe du dispositif de surveillance et de contrôle, selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 4 représente, un schéma de principe utilisé pour décrire un modèle mécanique de type oscillateur, utilisé, selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention pour déterminer l'accélération de levage maximale autorisée ;
- la figure 5 représente un diagramme comportant un ensemble de courbes surfaciques décrivant l'accélération de levage maximale autorisée, en fonction de la masse M de la charge et de la position en distribution de la charge, chaque courbe surfacique correspondant à un facteur de charge spécifié.

[0051] On se réfère à la figure 1, sur laquelle est représenté un système 1 de contrôle de levage d'une charge suspendue 2.

[0052] Ce système est applicable à une grue 3, et notamment à une grue 3 à tour.

[0053] En référence à la figure 4, il est envisageable d'appliquer le système 1 à tout type de grue 3 comprenant une flèche 4 qui est orientable en lacet autour d'un axe vertical (ZZ'), selon un mouvement d'orientation, et qui est agencée de

## EP 3 459 899 B1

sorte que la charge suspendue 2 soit suspendue à ladite flèche 4 par un câble 5, et ce de telle manière que ladite grue 3 puisse modifier la distance radiale de ladite charge suspendue 2 par rapport à l'axe vertical, selon un mouvement de distribution, ainsi que la longueur du câble 5 qui relie la flèche 4 à la charge suspendue 2, selon un mouvement dit de levage, afin de pouvoir modifier l'altitude de la charge suspendue 2.

5 **[0054]** La grue 3 peut ainsi former par exemple une grue à flèche relevable (flèche basculante), une grue télescopique, ou, de façon particulièrement préférentielle, une grue à tour.

**[0055]** Dans l'exemple non limitatif suivant, la grue à tour comprend un mât 6 vertical, qui matérialise l'axe vertical (ZZ'), une flèche 4 sensiblement horizontale portée par le mât 6 et orientable en azimut (lacet) autour du mât 6, ainsi qu'un chariot 7 qui est monté mobile en translation radiale le long de ladite flèche.

10 **[0056]** Le chariot 7 porte la charge 2, suspendue au chariot par un câble 5 dont la longueur est modifiable au moyen d'un treuil.

**[0057]** Dans ce qui suit, on assimilera, par simple commodité de description, la grue 3 à une grue à tour, et l'axe vertical (ZZ') à un mât 6.

15 **[0058]** Le système 1 de contrôle de commande comporte en particulier un dispositif de pilotage 10, un dispositif de surveillance et de contrôle 20, un contrôleur 30, et un système d'exécution de commandes 40.

**[0059]** Le système d'exécution de commandes 40 comporte typiquement :

- un dispositif moteur 41 de levage couplé au treuil, apte à déplacer la charge 2 selon un mouvement de levage, en fonction de consignes reçues;
- 20 • un dispositif moteur 42 de distribution couplé au chariot 7, apte à déplacer ledit chariot 7 selon un mouvement de distribution, en fonction de consignes reçues;
- un dispositif moteur 43 d'orientation couplé à la flèche 4, apte à déplacer ladite flèche, et donc le chariot 7 et la charge suspendue 2 selon un mouvement d'orientation, en fonction des consignes reçues.

25 **[0060]** Le système d'exécution de commandes 40 comporte également un système de mesure 45 configuré pour délivrer un ensemble MES de mesures physiques et mécaniques, relatives aux dispositifs moteurs 41-42-43, à la charge, ainsi qu'à l'environnement de la grue 3.

**[0061]** Plus particulièrement, le système de mesure 45 comporte un ensemble de capteurs pour mesurer la masse de la charge.

30 **[0062]** Le système de mesure 45 comporte également un ensemble de capteurs pour déterminer, à chaque instant, la position, la vitesse et l'accélération des organes principaux du système d'exécution de commandes 40, notamment le chariot 7, la flèche 4, et les dispositifs couplés mécaniquement à la charge 2.

**[0063]** Le dispositif de pilotage 10 est configuré pour produire des consignes de vitesse de levage CMD en fonction d'interactions avec un opérateur de grue et pour transmettre lesdites consignes de vitesse de levage CMD au dispositif de surveillance et de contrôle 20. Les consignes de vitesse de levage CMD peuvent comporter notamment des consignes de positionnement, et/ou de vitesse, et/ou d'accélération, destinées en particulier à être transmises au dispositif moteur 41 de levage.

35 **[0064]** Le dispositif de pilotage 10 comprend généralement une interface utilisateur, par exemple du genre joystick, qui est destinée à être manipulée par un opérateur de grue pour produire les consignes de vitesse de levage CMD. Toutefois, les consignes de vitesse de levage CMD peuvent également être produites par d'autres moyens, tel un dispositif automatisé de pilotage.

**[0065]** Le dispositif de surveillance et de contrôle 20 est couplé au dispositif de pilotage 10 pour recevoir les consignes de vitesse de levage CMD et au système de mesure du système d'exécution de commandes 40 pour recevoir l'ensemble MES de mesures.

45 **[0066]** Le dispositif de surveillance et de contrôle 20 est configuré pour produire, en fonction des consignes de vitesse de levage CMD et de l'ensemble MES de mesures, des consignes de vitesse de levage optimisées CMD' destinées à être exécutées par le dispositif moteur 41 de levage pour déplacer selon un mouvement de levage la charge suspendue 2 de telle sorte que l'accélération relative au mouvement de levage reste, en valeur absolue, inférieure ou égale à une accélération maximale de levage autorisée  $L''_{MAX}$ .

50 **[0067]** Le contrôleur 30 est couplé au système d'exécution de commandes 40 et au dispositif de surveillance et de contrôle 20 pour recevoir les consignes optimisées de vitesse de levage optimisées CMD'.

**[0068]** Le contrôleur 30 est configuré pour contrôler le dispositif moteur 41 de levage appartenant au système d'exécution de commandes 40, en fonction des consignes optimisées de vitesse de levage optimisées CMD'.

55 **[0069]** Typiquement, le contrôleur 30 comporte des moyens automatisés de contrôle, par exemple en boucle fermée, afin de contrôler, en fonction des informations transmises par les capteurs du système de mesure et des informations comprises dans les consignes de vitesse de levage optimisées CMD', le positionnement, la vitesse et/ou l'accélération des organes mécaniques du système d'exécution de commandes 40.

**[0070]** On se réfère à la figure 2, sur laquelle est représenté un synoptique des étapes d'un procédé, selon l'invention, de

contrôle de commande de levage d'une charge 2 suspendue à une flèche 4, portée par un mât 6 d'une grue 3 (ici d'une grue à tour).

**[0071]** Le procédé est notamment apte à être mis en oeuvre par le système 1 de contrôle de commande, précédemment décrit, et plus particulièrement par le dispositif de surveillance et de contrôle 20.

**[0072]** Au cours d'une première étape 110, un facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$  est déterminé, en fonction de la masse M de la charge suspendue.

**[0073]** Le facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$  quantifie un dépassement acceptable par rapport à une charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue. Le facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$  peut être déterminé au moyen d'une courbe de charge maximale admissible, correspondant à un facteur de charge  $\Psi_0$  limite prédéterminé et à une charge statique maximale.

**[0074]** Dans un mode de réalisation, le facteur de charge  $\Psi_0$  limite est déterminé à partir d'un premier seuil théorique fonction des capacités théoriques de charge supportée par la grue et d'un deuxième seuil fonction d'incertitudes de mesures relatives à la masse de la charge suspendue et/ou au mouvement de levage de la charge suspendue. Le premier seuil théorique est typiquement défini d'après un modèle mécanique théorique d'une grue idéale.

**[0075]** Le facteur de charge  $\Psi_0$  limite est par exemple obtenue en additionnant le premier seuil théorique et le deuxième seuil. À titre d'exemple, si on considère un premier seuil théorique autorisant un dépassement de 10% de la charge maximale, et un deuxième seuil, un dépassement supplémentaire de 7,5% lié aux incertitudes de mesure, le facteur de charge  $\Psi_0$  limite est alors égal à  $10\% + 7,5\% = 17,5\%$ .

**[0076]** Le facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$  peut notamment être obtenu en multipliant le facteur de charge  $\Psi_0$  limite, prédéterminé, par le ratio entre d'une part la charge statique maximale qui correspond à la courbe de charge maximale admissible établie pour le facteur de charge limite  $\Psi_0$ , et d'autre part la masse M effective de la charge suspendue 2 manipulée par la grue 3 à l'instant considéré.

**[0077]** Ainsi, pour un facteur de charge limite  $\Psi_0$  donné, et donc pour une courbe de charge maximale de base donnée, plus la masse M de la charge suspendue 2 est faible, plus le facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$  sera élevé.

**[0078]** Le facteur de charge  $\Psi_0$  limite prédéterminé peut notamment être choisi en fonction de règles métier, et/ou varier selon le domaine d'utilisation de la grue.

**[0079]** Au cours d'une deuxième étape 120, une accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$  est déterminée, en fonction de la masse M de la charge suspendue, du facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$ , de la position en distribution  $X_c$  de la charge suspendue 2 par rapport au mât 6.

**[0080]** De préférence, l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$  est déterminée également en fonction en fonction de composantes d'inertie  $J_z$  propres à la structure de la grue 3.

**[0081]** À titre d'exemple, la figure 5 représente un diagramme comportant un ensemble de courbes surfaciques décrivant l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$ , exprimée en g (1g correspondant à l'accélération de pesanteur), en fonction de la masse M de la charge suspendue 2, exprimée en kilogrammes, et de la position en distribution  $X_c$  de ladite charge suspendue, exprimée en mètres.

**[0082]** Chaque courbe surfacique correspond à un facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié distinct.

**[0083]** Pour rappel, le facteur de charge  $\Psi_0$  limite utilisé pour déterminer le facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié peut être librement choisi par la personne chargée de configurer la grue.

**[0084]** Dans l'exemple de la figure 5, l'ensemble comporte trois courbes surfaciques correspondant à un facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié égal, respectivement, à 0.15, 0.175, 0.2.

**[0085]** Il est bien sûr possible d'employer un ensemble comportant un nombre plus élevé de courbes surfaciques, de sorte à couvrir plus finement et/ou sur une plage plus importante différentes valeurs pour le facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié.

**[0086]** Ainsi, au cours de la deuxième étape 120, l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$  peut être déterminée, à tout moment, en fonction de la masse M et de la position en distribution  $X_c$ , en déterminant au moyen de la courbe surfacique correspondant au facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié.

**[0087]** Au cours d'une troisième étape 130, des consignes CMD' de vitesse de levage optimisées sont déterminées, à partir de consignes de vitesse de levage CMD.

**[0088]** Les consignes CMD' de vitesse de levage optimisées sont destinées à être exécutées par le dispositif moteur 41 de levage pour déplacer selon un mouvement de levage la charge suspendue 2 de telle sorte que l'accélération propre au mouvement de levage reste, en valeur absolue, inférieure ou égale à l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$ .

**[0089]** Il est à noter que l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$  est variable, en fonction du facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié.

**[0090]** L'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$  est ainsi utilisée comme valeur limitant les variations de vitesse de la charge suspendues, imparties par le dispositif moteur 41 à l'origine du mouvement de levage.

**[0091]** Les consignes de vitesse de levage optimisées CMD' peuvent en outre être déterminées, en fonction des consignes de vitesse de levage CMD reçues du dispositif de pilotage 10, de sorte que leur mise en oeuvre par le système d'exécution de commandes 40 respecte également une ou plusieurs des contraintes de la liste non exhaustive suivante :

## EP 3 459 899 B1

- une vitesse de levage  $V_{MAX\ BRK}$  maximale autorisée, déterminée en fonction des capacités de la grue à freiner les mouvements de la charge 2 suspendue notamment pour garantir la sécurité du freinage de la charge à tout moment;
- une vitesse de levage  $V_{MAX\ SEC}$  maximale de sécurité, déterminée en fonction des capacités de la grue 3 à supporter une pose au sol de la charge 2 suspendue brutale ou un arrêt d'urgence, de manière à s'assurer que la dynamique résultante reste dans une enveloppe acceptable pour la structure - ladite enveloppe étant différente de la courbe de charge nominale ;
- une accélération de levage maximale  $L''_{SEC}$  atteignable aux moyens du dispositif moteur 41 de levage;
- une accélération de levage minimale  $L''_{MIN}$ , dite « accélération minimale de confort », qui est prédéterminée de sorte à fixer une valeur d'accélération de levage qui est suffisamment élevée pour assurer un certain confort du levage, mais dont la valeur est suffisamment basse (en valeur absolue) pour ne jamais mettre en danger la grue ; en pratique, cette accélération minimale de confort peut être utilisée en lieu et place de l'accélération maximale  $L''_{MAX}$  pour ne pas immobiliser inutilement la grue.

**[0092]** On se réfère à présent à la figure 4, sur laquelle est représenté un schéma de principe utilisé pour décrire un modèle mécanique de type oscillateur, utilisé, selon un mode de réalisation de l'invention, au cours de la deuxième étape 120, pour déterminer l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$ .

**[0093]** Le modèle mécanique présenté ci-après permet d'établir une inégalité entre l'accélération de levage maximale autorisée  $L''_{MAX}$  et le facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié. Tant que cette inégalité est respectée, le facteur de charge  $\Psi$  instantané effectif - correspondant aux conditions de transport de la charge à l'instant considéré - reste inférieur au facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié. Ainsi, la charge statique et dynamique subie à l'instant considérée par la grue n'excède jamais le dépassement maximal admissible fixé par la courbe de charge maximale admissible.

**[0094]** Le modèle mécanique peut ainsi être décrit au moyen des expressions mathématiques suivantes:

$$J_z \ddot{\theta} = -K\theta + x_c F_z$$

$$J_z \ddot{\theta}_0 = -K\theta_0 + x_c F_{z0}$$

$$M \ddot{L} = (F_z - Mg)$$

$$M \ddot{L}_0 = (F_{z0} - Mg)$$

dans lesquelles

- $\theta$  représente l'angle de fléchissement en tangage de la flèche 4 (c'est-à-dire l'angle formé en tangage par la déformée de la flèche 4 par rapport à la position de ladite flèche à vide, du fait de la déformation par flexion en basculement de ladite flèche 4 sous l'effet de la charge) ;
- $\Delta F_z = F_z - Mg$  correspond à la variation d'effort vertical lié à la charge,  $F_z$  étant la charge verticale à l'instant considéré ;
- $J_z$ ,  $K$  correspond à un modèle de raideur et d'inertie du premier ordre relative à la structure de la grue ; plus particulièrement,  $K$  correspond à la raideur de la flèche 4 en flexion de tangage, et  $J_z$  l'inertie de la flèche 4 par rapport à son point d'intersection avec le mât 6 ;
- $M$  correspond à la masse de la charge;
- $\tilde{\theta} = \theta - \theta_0$  correspond à la variation de l'angle horizontal de la flèche ;
- $\tilde{L} = L - L_0$  correspond à la variation de hauteur de charge directement proportionnelle à la longueur de câble enroulée / déroulée au niveau du treuil de levage, ou grandeur directement liée ;

on en déduit :

$$J_z \ddot{\tilde{\theta}} = -K\tilde{\theta} + x_c \Delta F_z$$

$$M \ddot{\tilde{L}} = \Delta F_z$$

**[0095]** On notera que l'on néglige l'effet de raideur d'amortissement, du fait que celui-ci n'amplifie pas les effets dynamiques de la flèche lorsque le facteur dynamique est important - (comme cela est le cas en phase de levée charge ou variation importante).

[0096] On peut poser :

$$-K\tilde{\theta} + x_c\Delta F_z \leq x_c\Delta F_z$$

5 [0097] Puisque

$$M\ddot{L} = \Delta F_z$$

10 et que par conséquent :

$$x_c\Delta F_z = x_c M\ddot{L}$$

15 on obtient ainsi l'expression mathématique suivante :

$$J_z\ddot{\theta} = -K\tilde{\theta} + x_c\Delta F_z \leq Mx_c\ddot{L}$$

20 [0098] Le facteur de charge  $\Psi$  instantané effectif correspond au quotient de la somme de l'accélération verticale de la charge suspendue - c'est-à-dire de l'accélération d'enroulement ou de déroulement du câble - et de l'accélération liée au fléchissement en tangage de la flèche de la grue, au numérateur, par l'accélération de pesanteur  $g$ , au dénominateur, c'est-à-dire correspond à la somme, rapportée à l'accélération de pesanteur, de l'accélération verticale de la charge et de l'accélération liée au fléchissement de la flèche 4. Ainsi, le facteur de charge  $\Psi$  instantané effectif peut être décrit par l'expression mathématique suivante :

25

$$\Psi = \frac{\ddot{L}}{g} + \frac{x_c\ddot{\theta}}{g}$$

30 Ainsi, on obtient l'inégalité suivante:

$$\Psi = \frac{\ddot{L}}{g} + \frac{x_c\ddot{\theta}}{g} \leq \frac{x_c^2 M + J_z}{gJ_z} \ddot{L}$$

35

[0099] Par conséquent, si l'on choisit de limiter l'accélération de levage  $\ddot{L}$  de telle sorte que l'on respecte :

40

$$\ddot{L} < \frac{gJ_z}{(x_c^2 M + J_z)} \Psi_0^*$$

[0100] Alors on aura nécessairement :

45

$$\Psi \leq \frac{x_c^2 M + J_z}{gJ_z} \ddot{L} < \frac{x_c^2 M + J_z}{gJ_z} \frac{gJ_z}{(x_c^2 M + J_z)} \Psi_0^*$$

[0101] Soit :

50

$$\Psi < \Psi_0^*$$

[0102] Ainsi, le facteur de charge  $\Psi$  instantané effectif sera toujours inférieur au facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié.

55

[0103] Dans un mode de réalisation, au cours de la troisième étape 130, la limitation des variations de vitesse de levage, c'est-à-dire la limitation de l'accélération de levage, au regard du facteur de charge spécifié  $\Psi_0^*$ , limitation qui permet d'imposer l'inégalité ci-dessus, est de préférence obtenue par l'application d'une fonction LIM de type limiteur à rampe, plus communément désigné par l'expression anglo-saxonne « ramp limiter ». La fonction LIM de type limiteur à rampe permet de s'assurer que la variation de vitesse demandée en entrée ne dépasse jamais un seuil maximal d'accélération.

Ainsi, la consigne de vitesse en sortie de la fonction LIM respecte l'objectif fixé par le concepteur.

**[0104]** Dans un mode de réalisation, la fonction LIM décrit une rampe dont la pente correspond à l'accélération maximale autorisée  $L''_{MAX}$ .

**[0105]** Aussi, à titre d'exemple, en réponse à un échelon de commandes de vitesse comprises dans les instructions CMD, demandé par le grutier, les consignes optimisées CMD' comprendront des consignes de vitesse à appliquer, dont la valeur croît progressivement, pour une période de temps prédéfinie, suivant la rampe décrite par la fonction LIM, dont la pente correspond à l'accélération maximale autorisée  $L''_{MAX}$ . De la sorte, les effets inertiels sont limités.

**[0106]** On se réfère à présent à la figure 3, sur laquelle est représenté un schéma de principe du dispositif de surveillance et de contrôle 20, selon un mode de réalisation de l'invention. Dans ce mode de réalisation, le dispositif de surveillance et de contrôle 20 est configuré pour mettre en oeuvre le procédé de contrôle de commande de levage, précédemment décrit, au moyen du modèle mathématique tel que décrit précédemment, en regard de la figure 4.

**[0107]** Plus particulièrement, le dispositif de surveillance et de contrôle 20 comporte un module limiteur de vitesse 210, un module limiteur d'accélération 220, et un module de freinage et de coupure 230 (noté SD&CUTF pour « SlowDown & CUToFF »).

**[0108]** Le module limiteur de vitesse 210 est configuré pour produire, à destination du module limiteur d'accélération 220, une consigne cible de vitesse de levage CV supérieure, en fonction des consignes de vitesse de levage CMD, envoyées par le dispositif de pilotage 10. La consigne cible de vitesse de levage CV supérieure est déterminée par calcul du résultat d'une fonction LIMV limiteur pour la valeur correspondant au minimum entre :

- la vitesse  $V_{MAX\ BRK}$  maximale autorisée, fonction des capacités de la grue à freiner les mouvements de la charge suspendue ; et,
- la vitesse de levage  $V_{MAX\ SEC}$  maximale de sécurité, déterminée en fonction des capacités de la grue à supporter une pose au sol de la charge suspendue brutale et/ou un arrêt d'urgence (freinage et arrêt du mouvement de levage), de sorte à éviter des à-coups dans des situations d'urgence.

**[0109]** Le module limiteur d'accélération 220 comporte un module de calcul 240 de l'accélération maximale  $L''_{MAX}$ , en fonction du facteur de charge  $\Psi_0^*$  spécifié, de la position de distribution  $X_c$  et de la masse M.

**[0110]** Le module de calcul 240, peut comporter des moyens de lecture dans une mémoire préconfigurée d'un abaque/d'une cartographie correspondant à un ensemble de courbes surfaciques comme représenté sur la figure 5.

**[0111]** Alternativement, le module de calcul 240 peut comporter des moyens de calcul utilisant une description mathématique explicite, telle que décrite précédemment en regard de la figure 4, pour déterminer l'accélération maximale  $L''_{MAX}$ .

**[0112]** Le module limiteur d'accélération 220 est configuré pour déterminer la valeur de consigne de vitesse applicable au moteur de levage 41, et amener progressivement ladite consigne de vitesse à la valeur de vitesse de levage supérieure CV, en appliquant comme taux de variation (pente  $V_{L''}$  de la rampe accélération), une valeur  $V_{L''}$  qui correspond au maximum entre :

◦ d'une part la valeur minimale entre:

- l'accélération de levage maximale  $L''_{MAX}$  déterminée par le module de calcul 240 ; et,
- l'accélération de levage maximale  $L''_{SEC}$  atteignable par le dispositif moteur 41 de levage (de manière à ce que la consigne d'accélération ne puisse pas excéder les capacités matérielles du moteur de levage 41) ; la valeur ainsi retenue à l'instant considéré correspond donc avantageusement à l'exigence de sécurité de fonctionnement la plus contraignante, et par conséquent à la condition de fonctionnement la plus défavorable ;

◦ et d'autre part une accélération de levage minimale  $L''_{MIN}$ , dite « accélération de levage de confort ».

**[0113]** L'accélération de levage minimale  $L''_{MIN}$  correspond à une accélération minimale de confort pour le pilotage de la grue par le grutier. Comme indiqué plus haut, cette accélération minimale de confort est choisie suffisamment basse pour ne pas mettre en péril la grue, tout en étant suffisamment élevée pour ne pas immobiliser inutilement la grue, en particulier lorsque l'accélération de levage maximale  $L''_{MAX}$  calculée est, de manière ponctuelle, exceptionnellement basse ou anormalement basse.

**[0114]** La valeur d'accélération de levage retenue, applicable à l'instant considéré, et donc la pente  $V_{L''}$  de la rampe d'accélération correspondante, reflète ainsi le meilleur compromis possible, en tenant compte des exigences de sûreté de fonctionnement.

**[0115]** Avantagusement, le module limiteur d'accélération 220 comporte des moyens pour limiter, au cours du temps, l'accélération de levage correspondant aux consignes cible de vitesse de levage CV reçues, par l'application de la fonction LIM de type limiteur à rampe, décrivant une rampe dont la pente correspond à la valeur  $V_{L''}$ . La fonction LIM de type limiteur

à rampe permet de brider la variation de vitesse demandée en entrée de telle sorte que l'accélération de levage observée en valeur absolue reste inférieure à la valeur  $V_L$ .

**[0116]** De préférence, le module de freinage et de coupure 230 est configuré pour s'assurer que les consignes optimisées CMD' produites en fonction des consignes d'accélération CA, n'entraînent pas le déplacement de la charge selon le mouvement de distribution au-delà d'une position limite  $X_{C \text{ MAX}}$ . Le cas échéant, le module de coupure 230 modifie les consignes optimisées CMD' de sorte que la charge ne dépasse pas la position limite  $X_{C \text{ MAX}}$  après la mise en oeuvre des instructions optimisées CMD'. On notera, plus globalement, que l'invention vient de préférence avantageusement en superposition des dispositifs conventionnels de sécurité permettant de stopper les mouvements de la grue en cas d'apparition d'une situation dangereuse.

**[0117]** Ainsi, les instructions optimisées CMD' pourront typiquement être transmises auxdits dispositifs de sécurité et de coupure traditionnels de la grue, qui pourront donc rester actifs de manière à assurer leur mission usuelle.

**[0118]** Plus particulièrement, le module de freinage et de coupure 230 peut ainsi ralentir le moteur de levage 41 voire le stopper lorsque la charge approche, voire atteint, la position limite prédéfinie  $X_{C \text{ MAX}}$ .

## Revendications

1. Procédé de contrôle de commande de levage d'une charge suspendue à une flèche et ayant une masse (M), portée par un mât d'une grue, comportant au moins une étape de détermination, à partir de consignes de vitesse de levage (CMD), de consignes de vitesse de levage optimisées (CMD') destinées à être exécutées par un dispositif moteur (41) pour déplacer selon un mouvement de levage la charge suspendue de telle sorte que l'accélération relative au mouvement de levage reste, en valeur absolue, inférieure ou égale à une accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{\text{MAX}}$ ), ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes préliminaires suivantes :

- une première étape (110) de détermination, en fonction de la masse (M) de la charge suspendue, d'un facteur de charge spécifié ( $\Psi_0^*$ ) quantifiant un dépassement acceptable par rapport à une charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue ; et
- une deuxième étape (120) de détermination de l'accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{\text{MAX}}$ ), en fonction de la masse (M) de la charge suspendue, du facteur de charge spécifié ( $\Psi_0^*$ ) et de la position en distribution ( $X_C$ ) de la charge suspendue sur la flèche par rapport au mât.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{\text{MAX}}$ ) est déterminée au moyen de l'expression mathématique suivante :

$$\frac{gJ_z}{x_c^2 M + J_z} \psi_0^*$$

dans laquelle :

- $x_c$  correspond à la position en distribution de la charge suspendue ;
- $M$  correspond à la masse de la charge suspendue ;
- $J_z$  correspond à un modèle de raideur et d'inertie du premier ordre relative à la structure de la grue.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le facteur de charge spécifié ( $\Psi_0^*$ ) est déterminé au moyen d'une courbe de charge maximale admissible, correspondant à un facteur de charge limite ( $\Psi_0$ ) et à une charge statique maximale.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le facteur de charge limite ( $\Psi_0$ ) est déterminé à partir d'un premier seuil théorique fonction des capacités théoriques de charge supportée par la grue et d'un deuxième seuil fonction d'incertitudes de mesures relatives à la masse de la charge suspendue et/ou au mouvement de levage de la charge suspendue.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 4, dans lequel le facteur de charge ( $\Psi_0^*$ ) spécifié est obtenu en multipliant le facteur de charge limite ( $\Psi_0$ ) par le ratio entre la charge statique maximale correspondant à la courbe de charge maximale admissible et la masse (M) de la charge suspendue.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les consignes de vitesse de levage optimisées (CMD') sont déterminées de sorte que leur exécution par le dispositif moteur (41) pour déplacer selon le mouvement de levage de la charge suspendue vérifie la condition suivante:

- 5           ◦ l'accélération de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure ou égale à l'accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{MAX}$ );

ainsi qu'une ou plusieurs des conditions supplémentaires suivantes:

- 10           ◦ la vitesse de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure à une vitesse de levage ( $V_{MAX\ BRK}$ ) maximale autorisée, la vitesse de levage ( $V_{MAX\ BRK}$ ) maximale autorisée étant déterminée en fonction des capacités de la grue à freiner les mouvements de la charge suspendue; et/ou,  
 ◦ la vitesse de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure à une vitesse de levage ( $V_{MAX\ SEC}$ ) maximale de sécurité, déterminée en fonction des capacités de la grue à supporter une pose au sol de la charge suspendue brutale et/ou un arrêt d'urgence; et/ou,  
 15           ◦ l'accélération de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste inférieure à une accélération de levage maximale ( $L''_{SEC}$ ) atteignable par le dispositif moteur (41); et/ou,  
 ◦ l'accélération de levage de la charge suspendue, en valeur absolue, reste supérieure à une accélération de levage minimale ( $L''_{MIN}$ ).

20           7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les consignes de vitesse de levage optimisées sont déterminées de sorte que la valeur absolue de la vitesse de levage de la charge suspendue croît, sur une période de temps prédéfinie, suivant une rampe dont la pente correspond à l'accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{MAX}$ ).

25           8. Grue, de préférence grue à tour, comportant un mât supportant une flèche sur laquelle est monté un chariot destiné à porter une charge suspendue ayant une masse (M), et des moyens (20) de contrôle de commande de levage de la charge suspendue pourvus de moyens de détermination, à partir de consignes de vitesse de levage (CMD), de consignes de vitesse de levage optimisées (CMD') destinées à être exécutées par un dispositif moteur (41) pour déplacer selon un mouvement de levage la charge suspendue de telle sorte que l'accélération relative au mouvement de levage reste, en valeur absolue, inférieure ou égale à une accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{MAX}$ ), ladite grue étant **caractérisée en ce que** les moyens (20) de contrôle de commande de levage de la charge suspendue sont en outre pourvus:

- 35           • de moyens de détermination, en fonction de la masse (M) de la charge suspendue, d'un facteur de charge spécifié ( $\Psi_0^*$ ) quantifiant un dépassement acceptable par rapport à une charge maximale admissible prédéterminée pour ladite grue ;  
 • de moyens de détermination de l'accélération de levage maximale autorisée ( $L''_{MAX}$ ), en fonction de la masse (M) de la charge suspendue, du facteur de charge spécifié ( $\Psi_0^*$ ) et de la position en distribution ( $X_C$ ) de la charge suspendue sur la flèche par rapport au mât.

## Patentansprüche

45           1. Verfahren zum Kontrollieren der Steuerung zum Heben einer an einem Ausleger hängenden Last, die eine Masse (M) aufweist und von einem Mast eines Krans getragen wird, umfassend mindestens einen Schritt des Bestimmens, anhand von Hebegeschwindigkeitssollwerten (CMD), von optimierten Hebegeschwindigkeitssollwerten (CMD'), die dazu bestimmt sind, von einer Motorvorrichtung (41) ausgeführt zu werden, um die hängende Last entsprechend einer Hebebewegung derart zu bewegen, dass die Beschleunigung im Verhältnis zur Hebebewegung im Absolutwert kleiner oder gleich einer maximal zulässigen Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ ) bleibt, wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es die folgenden vorausgehenden Schritte umfasst:

- 50           • einen ersten Schritt (110) des Bestimmens, in Abhängigkeit von der Masse (M) der hängenden Last, eines spezifizierten Lastfaktors ( $\Psi_0^*$ ), der eine akzeptable Überschreitung in Bezug auf eine vorbestimmte maximal zulässige Last für den Kran quantifiziert; und  
 55           • einen zweiten Schritt (120) des Bestimmens der maximal zulässigen Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ ), in Abhängigkeit von der Masse (M) der hängenden Last, des spezifizierten Lastfaktors ( $\Psi_0^*$ ) und der Verteilungsposition ( $X_C$ ) der am Ausleger hängenden Last in Bezug auf den Mast.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die maximal zulässige Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ ) mit Hilfe des folgenden mathematischen Ausdrucks bestimmt wird:

$$\frac{gJ_z}{x_c^2 M + J_z} \psi_0^*$$

wobei:

$X_c$  der Verteilungsposition der hängenden Last entspricht;  
 $M$  der Masse der hängenden Last entspricht;  
 $J_z$  einem Modell der Steifigkeit und Trägheit erster Ordnung im Verhältnis zur Struktur des Krans entspricht.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der spezifizierte Lastfaktor ( $\Psi_0^*$ ) mit Hilfe einer maximal zulässigen Lastkurve bestimmt wird, die einem Grenzlastfaktor ( $\Psi_0$ ) und einer maximalen statischen Last entspricht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Grenzlastfaktor ( $\Psi_0$ ) anhand eines ersten theoretischen Schwellenwerts, der von den theoretischen Lastkapazitäten, die der Kran tragen kann, abhängt, und eines zweiten Schwellenwerts bestimmt wird, der von Messungenauigkeiten im Verhältnis zur Masse der hängenden Last und/oder zur Hebebewegung der hängenden Last abhängt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4, wobei der spezifizierte Lastfaktor ( $\Psi_0^*$ ) erhalten wird, indem der Grenzlastfaktor ( $\Psi_0$ ) mit dem Verhältnis zwischen der maximalen statischen Last, die der maximal zulässigen Lastkurve entspricht, und der Masse ( $M$ ) der hängenden Last multipliziert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optimierten Hebegeschwindigkeitssollwerte (CMD') derart bestimmt werden, dass deren Ausführung durch die Motorvorrichtung (41), um die hängende Last entsprechend der Hebebewegung zu bewegen, die folgende Bedingung erfüllt:

◦ die Hebebeschleunigung der hängenden Last bleibt im Absolutwert kleiner oder gleich der maximal zulässigen Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ );

sowie eine oder mehrere der folgenden zusätzlichen Bedingungen:

- die Hebegeschwindigkeit der hängenden Last bleibt im Absolutwert kleiner als eine maximal zulässige Hebegeschwindigkeit ( $V_{MAX BRK}$ ), wobei die maximal zulässige Hebegeschwindigkeit ( $V_{MAX BRK}$ ) in Abhängigkeit von den Kapazitäten des Krans bestimmt wird, die Bewegungen der hängenden Last abzubremsen; und/oder
- die Hebegeschwindigkeit der hängenden Last bleibt im Absolutwert kleiner als eine maximale sichere Hebegeschwindigkeit ( $V_{MAX SEC}$ ), die in Abhängigkeit von den Kapazitäten des Krans bestimmt wird, einem plötzlichen Absetzen der hängenden Last auf den Boden und/oder einer Notabschaltung standzuhalten; und/oder
- die Hebebeschleunigung der hängenden Last bleibt im Absolutwert kleiner als eine maximale Hebebeschleunigung ( $L''_{SEC}$ ), die mit der Motorvorrichtung (41) erreicht werden kann; und/oder
- die Hebebeschleunigung der hängenden Last bleibt im Absolutwert größer als eine minimale Hebebeschleunigung ( $L''_{MIN}$ ).

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die optimierten Hebegeschwindigkeitssollwerte derart bestimmt werden, dass der Absolutwert der Hebegeschwindigkeit der hängenden Last über einen vordefinierten Zeitraum entlang einer Rampe ansteigt, deren Steigung der maximal zulässigen Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ ) entspricht.
8. Kran, vorzugsweise Turmdrehkran, umfassend einen Mast, der einen Ausleger trägt, auf dem eine Laufkatze montiert ist, die dazu bestimmt ist, eine hängende Last, die eine Masse ( $M$ ) aufweist, zu tragen, und Mittel (20) zum Kontrollieren der Steuerung des Hebens der hängenden Last, die mit Mitteln zum Bestimmen, anhand von Hebegeschwindigkeitssollwerten (CMD), von optimierten Hebegeschwindigkeitssollwerten (CMD') versehen sind, die dazu bestimmt sind, von einer Motorvorrichtung (41) ausgeführt zu werden, um die hängende Last entsprechend

einer Hebebewegung derart zu bewegen, dass die Beschleunigung im Verhältnis zur Hebebewegung im Absolutwert kleiner oder gleich einer maximal zulässigen Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ ) bleibt, wobei der Kran **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die Mittel (20) zum Kontrollieren der Steuerung des Hebens der hängenden Last ferner mit Folgendem versehen sind:

- Mittel zum Bestimmen, in Abhängigkeit von der Masse (M) der hängenden Last, eines spezifizierten Lastfaktors ( $\Psi_0^*$ ), der eine akzeptable Überschreitung in Bezug auf eine vorbestimmte maximal zulässige Last für den Kran quantifiziert;
- Mittel zum Bestimmen der maximal zulässigen Hebebeschleunigung ( $L''_{MAX}$ ), in Abhängigkeit von der Masse (M) der hängenden Last, des spezifizierten Lastfaktors ( $\Psi_0^*$ ) und der Verteilungsposition ( $X_c$ ) der am Ausleger hängenden Last in Bezug auf den Mast.

**Claims**

1. A method for controlling the command of the lifting of a load suspended from a boom and having a mass (M), carried by a mast of a crane, comprising at least a step of determining, from lifting speed setpoints (CMD), optimized lifting speed setpoints (CMD') intended to be executed by a motor device (41) for displacing the suspended load according to a lifting movement so that the acceleration related to the lifting movement remains, in absolute value, less than or equal to a maximum permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ ), said method being **characterized in that** it includes the following preliminary steps:

- a first step (110) of determining, depending on the mass (M) of the suspended load, a specified load factor ( $\Psi_0^*$ ) quantifying an acceptable exceedance related to a predetermined maximum allowable load for said crane; and
- a second step (120) of determining the maximum permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ ), depending on the mass (M) of the suspended load, on the specified load factor ( $\Psi_0^*$ ) and on the distribution position ( $X_c$ ) of the load suspended on the boom with respect to the mast.

2. The method according to claim 1, wherein the maximum permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ ) is determined using the following mathematical expression:

$$\frac{gJ_z}{x_c^2 M + J_z} \psi_0^*$$

wherein:

- $x_c$  corresponds to the distribution position of the suspended load;
- $M$  corresponds to the mass of the suspended load;
- $J_z$  corresponds to a model of stiffness and inertia of the first order related to the structure of the crane;

3. The method according to any one of the preceding claims, wherein the specified load factor ( $\Psi_0^*$ ) is determined by means of a maximum allowable load curve, corresponding to a limit load factor ( $\Psi_0$ ) and to a maximum static load.

4. The method according to claim 3, wherein the limit load factor ( $\Psi_0$ ) is determined from a first theoretical threshold dependent on the theoretical load capacities handled by the crane and from a second threshold dependent on measurement uncertainties related to the mass of the suspended load and/or to the lifting movement of the suspended load.

5. The method according to any one of claims 3 to 4, wherein the specified load factor ( $\Psi_0^*$ ) is obtained by multiplying the limit load factor ( $\Psi_0$ ) by the ratio between the maximum static load corresponding to the maximum allowable load curve and the mass (M) of the suspended load.

6. The method according to any one of the preceding claims wherein the optimized lifting speed setpoints (CMD') are determined so that their execution by the motor device (41) for displacing the suspended load according to the lifting movement meets the following condition:

- the lifting acceleration of the suspended load, in absolute value, remains less than or equal to the maximum

permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ );

as well as one or more of the following additional conditions:

- 5           ◦ the lifting speed of the suspended load, in absolute value, remains lower than a maximum permitted lifting speed ( $V_{MAX\ BRK}$ ), the maximum permitted lifting speed ( $V_{MAX\ BRK}$ ) being determined depending on the capacities of the crane to slow down the movements of the suspended load; and/or,
- the lifting speed of the suspended load, in absolute value, remains lower than a maximum safety lifting speed ( $V_{MAX\ SEC}$ ), determined depending on the capacities of the crane to withstand a sudden lying of the suspended
- 10           load on the ground and/or an emergency stopping; and/or,
- the lifting acceleration of the suspended load, in absolute value, remains lower than a maximum lifting acceleration ( $L''_{SEC}$ ) achievable by the motor device (41); and/or,
- the lifting acceleration of the suspended load, in absolute value, remains greater than a minimal lifting acceleration ( $L''_{MIN}$ ).

15           7. The method according to any one of the preceding claims wherein the optimized lifting speed setpoints are determined so that the absolute value of the lifting speed of the suspended load increases, over a predefined period of time, along a ramp whose slope corresponds to the maximum permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ ).

20           8. A crane, preferably a tower crane, including a mast supporting a boom on which is mounted a carriage intended to carry a suspended load having a mass (M), and means (20) for controlling the command of the lifting of the suspended load provided with means for determining, from lifting speed setpoints (CMD), optimized lifting speed setpoints (CMD') intended to be executed by a motor device (41) for displacing the suspended load according to a lifting movement so that the acceleration related to the lifting movement remains, in absolute value, less than or equal to a maximum

25           permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ ),  
said crane being **characterized in that** the means (20) for controlling the command of the lifting of the suspended load are further provided with:

- 30           • means for determining, depending on the mass (M) of the suspended load, a specified load factor ( $\Psi_0^*$ ) quantifying an acceptable exceedance with respect to a predetermined maximum allowable load for said crane;
- means for determining the maximum permitted lifting acceleration ( $L''_{MAX}$ ), depending on the mass (M) of the suspended load, on the specified load factor ( $\Psi_0^*$ ) and on the distribution position ( $X_C$ ) of the load suspended on the boom with respect to the mast.

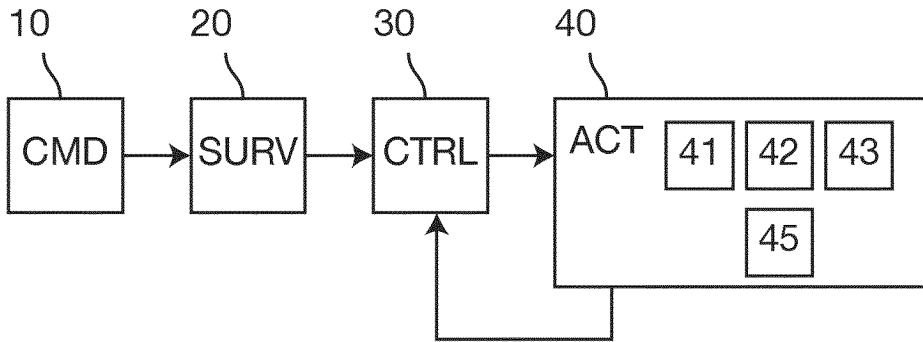
35

40

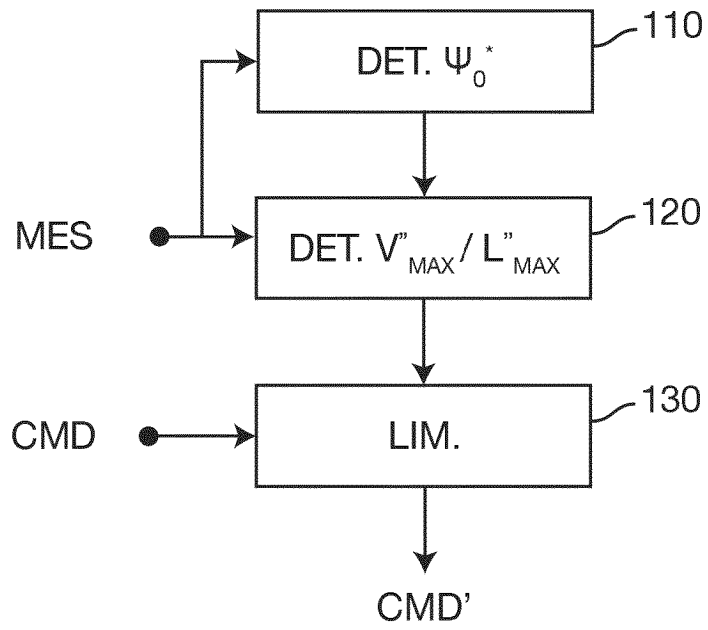
45

50

55



**Fig. 1**



**Fig. 2**

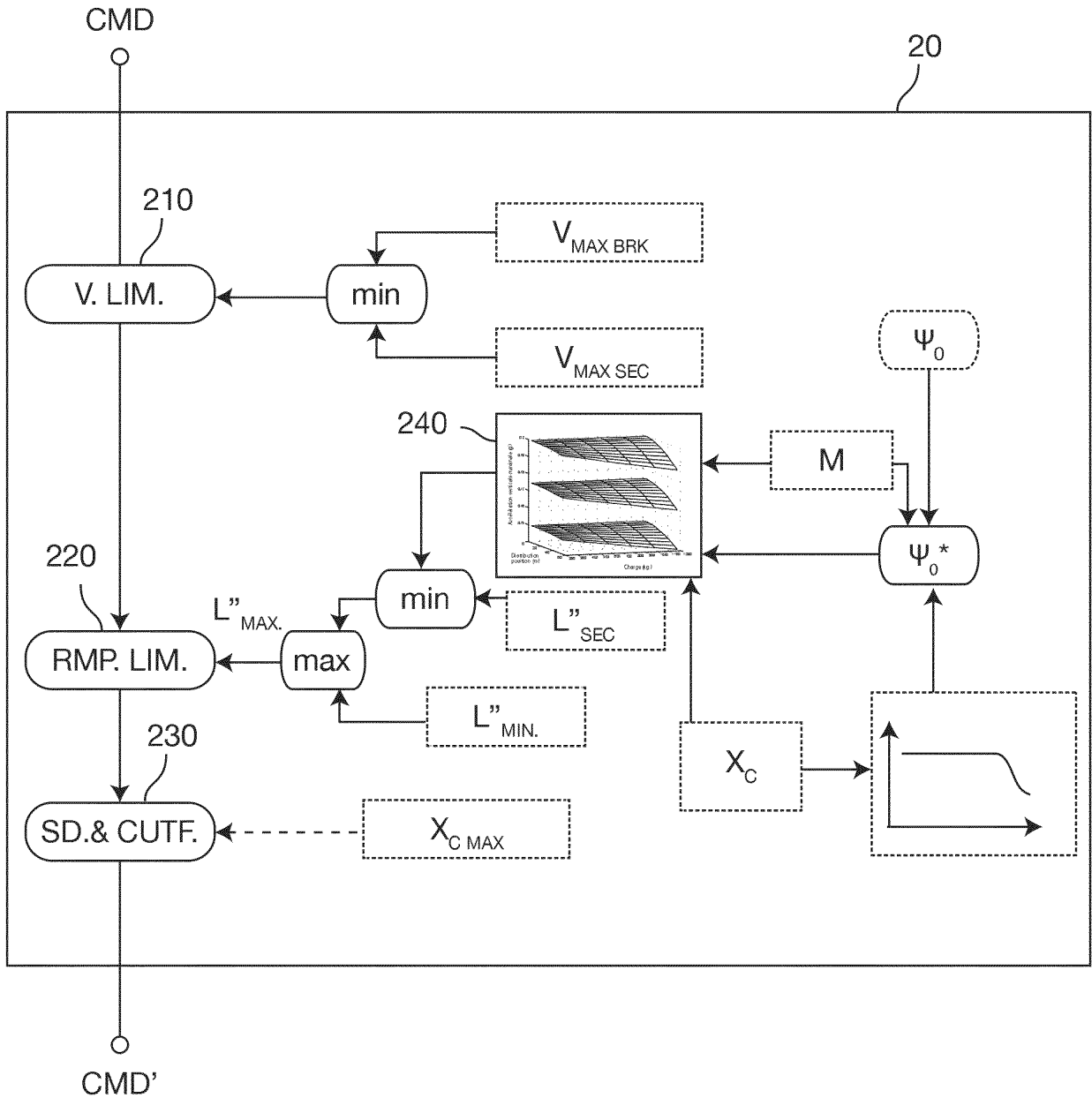
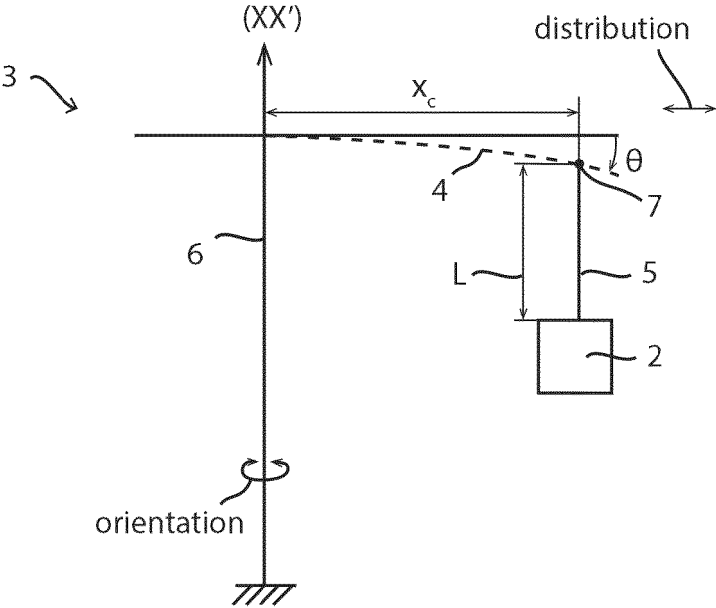
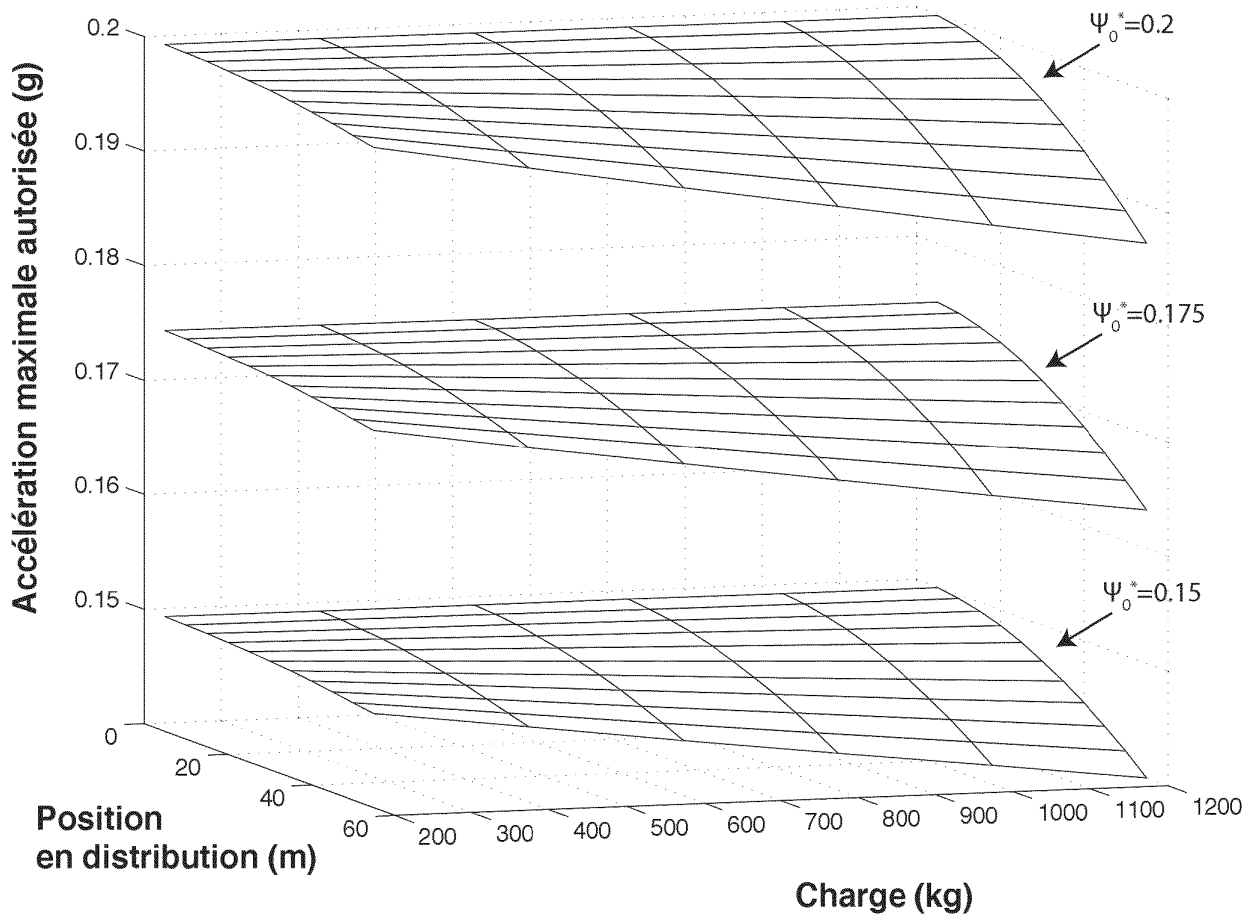


Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**

**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**

- US 9120650 B [0007]
- US 2008275610 A [0007]
- EP 0849213 A [0013]