

(19)



(11)

**EP 4 093 584 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

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

**29.11.2023 Bulletin 2023/48**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**B26D 5/00 (2006.01) B26F 1/38 (2006.01)**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**B26D 5/00; B26F 1/382**

(21) Numéro de dépôt: **21716809.5**

(22) Date de dépôt: **23.03.2021**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2021/050499**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2021/198586 (07.10.2021 Gazette 2021/40)**

(54) **PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE COMPOSANTES D'UN TORSEUR D'ACTIONS  
MÉCANIQUES AU POINT DE GUIDAGE D'UNE LAME DE COUPE POUR MACHINE DE COUPE**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON KOMPONENTEN EINES MECHANISCHEN  
AKTIONSTORSORS AM FÜHRUNGSPUNKT EINER SCHNEIDKLINGE FÜR EINE  
SCHNEIDEMASCHINE

METHOD FOR DETERMINING COMPONENTS OF A MECHANICAL ACTION TORSOR AT THE  
GUIDING POINT OF A CUTTING BLADE FOR A CUTTING MACHINE

(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: **31.03.2020 FR 2003227**

(43) Date de publication de la demande:  
**30.11.2022 Bulletin 2022/48**

(73) Titulaires:

- **Lectra**  
**75016 Paris (FR)**
- **AMVALOR**  
**75013 Paris (FR)**
- **UNIVERSITE DE BORDEAUX**  
**33000 Bordeaux (FR)**
- **Institut Polytechnique de Bordeaux**  
**33400 Talence (FR)**
- **Centre national de la recherche scientifique**  
**75016 Paris (FR)**
- **Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM)**  
**75013 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

- **CHABIRAND-GARCONNET, Didier**  
**33610 CESTAS (FR)**
- **CAHUC, Olivier**  
**33610 CANEJAN (FR)**
- **COSSON-COCHE, Quentin**  
**33490 LE PIAN SUR GARONNE (FR)**
- **DARNIS, Philippe**  
**33125 LOUCHATS (FR)**
- **LAHEURTE, Raynald**  
**33175 GRADIGNAN (FR)**
- **TEISSANDIER, Denis**  
**33610 CANÉJAN (FR)**

(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**  
**158, rue de l'Université**  
**75340 Paris Cedex 07 (FR)**

(56) Documents cités:

**EP-A1- 3 593 749 IT-A1-201700 023 745**  
**US-A- 3 849 712**

**EP 4 093 584 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**

Domaine Technique

5 **[0001]** La présente invention se rapporte au domaine général de la découpe automatique par une lame vibrante d'une matière souple placée sur une table de coupe sous forme d'un pli unique ou d'un empilement de plis. Elle concerne plus précisément un procédé de détermination de composantes d'un torseur d'actions mécaniques au point de guidage d'une telle lame de coupe.

10 Technique antérieure

**[0002]** Un domaine d'application de l'invention est celui de la découpe automatique de pièces dans une matière souple textile ou non textile (comme le cuir), en particulier dans l'industrie de la confection, de l'ameublement ou de la sellerie automobile.

15 **[0003]** Un procédé connu pour la découpe automatique de pièces dans une matière souple consiste à amener la matière sur un support de coupe fixe ou mobile de la table de coupe, sous la forme d'un pli unique ou d'un empilement de plis formant un matelas, et à découper les pièces au moyen d'une tête de coupe se déplaçant au-dessus du support de coupe de la table. La tête de coupe porte notamment une lame vibrante en acier qui est mise en vibration verticalement selon le sens de son fil tranchant afin de découper la matière.

20 **[0004]** Au cours de cette mise en vibration verticale et lors de la découpe de la matière, la lame de coupe est soumise à des nombreux efforts qui affectent la qualité des bords découpés des pièces. En particulier, ces efforts ont un impact direct sur la qualité de coupe et sur la géométrie des pièces découpées sur toute la hauteur de la matière, notamment lorsque celle-ci est formée d'un empilement de plis.

**[0005]** Aussi, afin de pouvoir agir sur les paramètres de coupe et sur l'orientation de la lame, il est nécessaire de connaître au mieux les déformations subies par la lame de coupe.

**[0006]** A cet effet, il est connu de positionner un capteur de flexion au niveau du pied presseur de la tête de coupe. De la sorte, ce capteur permet de collecter des données relatives à la flexion latérale de la lame de coupe et ainsi d'agir sur les paramètres de coupe et d'orientation de la lame pour corriger celle-ci. On pourra par exemple se référer à la demande de brevet IT 102017000023745 au nom de Morgan Tecnica.

30 **[0007]** Cependant, ces données ne sont pas suffisantes et ne prennent pas en compte tous les efforts subis par la lame de coupe. Le document US3849712 A divulgue une machine outil à contrôle numérique adaptatif.

Exposé de l'invention

35 **[0008]** La présente invention a donc pour but principal de proposer un procédé permettant de déterminer l'ensemble des efforts subis par la lame de coupe afin de permettre un pilotage plus fin et plus autonome de la coupe.

**[0009]** Conformément à l'invention, ce but est atteint grâce à un procédé de détermination de composantes d'un torseur d'actions mécaniques au point de guidage d'une lame de coupe pour machine de coupe, la lame étant guidée dans un pied presseur d'une tête de coupe de la machine, le procédé comprenant :

- 40
- le positionnement d'un dynamomètre à 6 composantes sur le pied presseur, le dynamomètre comprenant une pluralité de capteurs aptes à déterminer un effort frontal, un effort latéral, un moment de roulis, un moment de tangage et un moment de lacet de la lame de coupe ;
  - l'établissement d'une matrice d'étalonnage du dynamomètre ; et
  - 45 - la détermination des efforts en trois dimensions subis par la lame de coupe à partir des mesures obtenues par les capteurs et de la matrice d'étalonnage.

**[0010]** Le procédé selon l'invention est remarquable en ce qu'il permet de déterminer les efforts subis par la lame dans les trois directions à partir d'un dynamomètre installé dans le pied presseur de la tête de coupe. En particulier, 50 cinq des six composantes du torseur d'actions mécaniques au point de guidage de la lame peuvent être déterminées, à savoir : effort frontal, effort latéral, moment de roulis, moment de tangage et moment de lacet (l'effort suivant l'axe principal de la lame étant exclu).

**[0011]** De la sorte, à partir de ces données, il est possible d'assurer un pilotage particulièrement précis et autonome des paramètres de la coupe afin d'en corriger les défauts.

55 **[0012]** De préférence, l'étape d'élaboration de la matrice d'étalonnage du dynamomètre comprend l'élaboration d'une matrice de calibration théorique des capteurs du dynamomètre à différentes sollicitations théoriques en fonction des 6 composantes du dynamomètre.

**[0013]** De préférence également, l'étape d'élaboration de la matrice d'étalonnage du dynamomètre comprend en

outre, à partir de la matrice de calibration théorique et de mesures réelles de réponse des capteurs du dynamomètre, le calcul d'une matrice de réponse des capteurs du dynamomètre à différentes sollicitations réelles en fonction des 6 composantes du dynamomètre.

**[0014]** La matrice de réponse des capteurs du dynamomètre peut être calculée par une méthode d'optimisation linéaire.

**[0015]** Dans un mode de réalisation, le dynamomètre comprend trois capteurs piézoélectriques triaxiaux qui sont montés dans le pied presseur en étant répartis autour d'un axe longitudinal de la lame.

**[0016]** Dans un deuxième mode de réalisation, le dynamomètre comprend au moins trois - et de préférence six - ponts de jauges de déformations couplés qui sont montés sur des branches du pied presseur régulièrement réparties autour d'un axe longitudinal de la lame afin de former au moins trois - et de préférence six - ponts complets.

**[0017]** Dans un troisième mode de réalisation, le dynamomètre comprend au moins cinq ponts complets de jauges de déformations découplés qui sont montés dans le pied presseur.

**[0018]** Quel que soit le mode de réalisation, la transmission des mesures des capteurs du dynamomètre peut être réalisée sans contact ou par voie filaire

Brève description des dessins

**[0019]**

[Fig. 1] La figure 1 est une vue schématique représentant un premier mode de réalisation de mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

[Fig. 2] La figure 2 représente une vue schématique représentant un deuxième mode de réalisation de mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

[Fig. 3] La figure 3 représente une vue schématique représentant un troisième mode de réalisation de mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Description des modes de réalisation

**[0020]** L'invention s'applique à la découpe automatisée de pièces dans une matière souple se présentant sous la forme d'un pli unique ou d'un empilement de plis.

**[0021]** Une telle opération de découpe est généralement réalisée au moyen d'une machine de coupe munie d'un support horizontal de coupe sur lequel est amenée la matière souple à découper.

**[0022]** Une tête de coupe portant une lame vibrante est montée sur un portique qui est amené à se déplacer le long du support de coupe tandis que la tête de coupe se déplace simultanément le long du portique de sorte à pouvoir suivre les différentes trajectoires de coupe calculées par un logiciel de coupe.

**[0023]** Typiquement, un pied presseur tel que celui représenté sur la figure 1 est monté sur la partie basse de la tête de coupe afin de plaquer suivant un effort contrôlé la matière souple sur son support de coupe pendant la coupe, la position de ce pied presseur étant adaptable en fonction de la hauteur de matière souple posée sur le support de coupe. Ainsi, le pied presseur permet de maintenir le guidage de la lame de coupe au plus près de la matière souple.

**[0024]** L'invention propose un procédé de détermination de composantes d'un torseur d'actions mécaniques au point de guidage de la lame vibrante d'une telle tête de coupe.

**[0025]** Plusieurs variantes d'implantation du procédé selon l'invention sont possibles.

**[0026]** Selon un mode de réalisation schématisé sur la figure 1, le procédé prévoit de positionner un dynamomètre piézoélectrique à cinq composantes sur le pied presseur P de la tête de coupe.

**[0027]** Plus précisément, le dynamomètre piézoélectrique comprend trois capteurs piézoélectriques triaxiaux 1 à 3 qui sont montés sur le pied presseur P en étant de préférence régulièrement répartis autour d'un axe longitudinal Z de la lame de coupe L.

**[0028]** Les capteurs piézoélectriques 1 à 3 sont avantageusement répartis à 120° en étant équidistants du centre du dynamomètre. Comme représenté sur la figure 1, leurs axes Z (respectivement  $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $Z_3$ ) sont dirigés vers le bas (c'est-à-dire vers le support de coupe), leurs axes Y (respectivement  $Y_1$ ,  $Y_2$  et  $Y_3$ ) sont dirigés vers l'extérieur du dynamomètre pour faciliter le passage des câbles, et leurs axes X (respectivement  $X_1$ ,  $X_2$  et  $X_3$ ) sont parallèles aux rayons du dynamomètre.

**[0029]** Cette disposition permet une bonne intégration des capteurs dans l'environnement du pied presseur tout en garantissant une bonne raideur de celui-ci.

**[0030]** Une plaque supérieure (non représentée sur la figure 1) vient fermer le dynamomètre intégré dans le pied presseur. Elle présente des orifices pour le passage de vis permettant de pré-charger les capteurs en les comprimant entre la plaque supérieure et le fond du pied presseur.

**[0031]** La première étape du procédé selon l'invention de détermination des efforts en 3D subis par la lame de coupe est de réaliser un étalonnage du dynamomètre piézoélectrique ainsi monté sur le pied presseur.

**[0032]** Cet étalonnage consiste à établir une matrice d'étalonnage qui permet d'interpréter les différentes tensions de mesure envoyées par les capteurs piézoélectriques 1 à 3 en efforts mécaniques.

**[0033]** Dans un premier temps, il convient de réaliser une matrice de calibration théorique ou globale sensible à l'orientation et à la géométrie des capteurs. Dans un second temps, il convient d'affiner cette matrice de calibration théorique vers une matrice de réponse correspondant à la matrice d'étalonnage réelle.

**[0034]** La réflexion concernant la matrice d'étalonnage théorique se situe dans un contexte où toutes les formes géométriques sont supposées parfaites sans défaut, selon un positionnement idéal des axes. Il convient de représenter dans l'espace (X,Y,Z) le positionnement des trois capteurs triaxiaux afin d'exprimer le torseur des actions mécaniques qui leur est rattaché.

**[0035]** A chaque capteur i est rattaché un repère orthonormé (xi, yi, zi) en son centre Oi. Le torseur des actions en Oi peut alors s'écrire :

[Math. 1]

$$\tau_{O_i} = \begin{pmatrix} F_{x_i} & 0 \\ F_{y_i} & 0 \\ F_{z_i} & 0 \end{pmatrix}_{(\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)}$$

**[0036]** En effectuant le transport des torseurs élémentaires de chaque capteur à l'origine du repère du dynamomètre O, il est possible de déterminer la contribution de chaque direction de mesure de chacun des capteurs dans la lecture des efforts globaux.

**[0037]** La matrice de calibration théorique ou globale est alors calculée à partir de ces différentes équations.

**[0038]** La position du centre Oi de chaque capteur est définie dans un système de coordonnées cylindriques par un rayon R correspondant à la distance OO<sub>i</sub> et un angle β<sub>i</sub>. Chaque capteur possède un repère propre direct (Oi, xi, yi, zi) et leurs axes xi sont colinéaires à la droite (OO<sub>i</sub>).

**[0039]** Le transport des torseurs de chaque capteur à l'origine et dans le repère du dynamomètre est donné par l'équation suivante ;

[Math. 2]

$$o_i\{\tau_i\}_{(\vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)} = \begin{cases} \vec{R}_i = F_{ix} \cdot \vec{x}_i + F_{iy} \cdot \vec{y}_i + F_{iz} \cdot \vec{z}_i \\ \vec{M}_{iO} = \vec{OO}_i \wedge \vec{R}_i \end{cases}$$

**[0040]** Les différents changements de repères sont les suivants :

[Math. 3]

$$\begin{bmatrix} \vec{x}_1 \\ \vec{y}_1 \\ \vec{z}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{X} \\ \vec{Y} \\ \vec{Z} \end{bmatrix}$$

[Math. 4]

$$\begin{bmatrix} \vec{x}_2 \\ \vec{y}_2 \\ \vec{z}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_2 & -\sin \beta_2 & 0 \\ -\sin \beta_2 & -\cos \beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{X} \\ \vec{Y} \\ \vec{Z} \end{bmatrix}.$$

[Math. 5]

$$\begin{bmatrix} \vec{x}_3 \\ \vec{y}_3 \\ \vec{z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \beta_3 & \cos \beta_3 & 0 \\ \cos \beta_3 & -\sin \beta_3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{X} \\ \vec{Y} \\ \vec{Z} \end{bmatrix}.$$

**[0041]** Après simplification, l'expression des torseurs de chaque capteur à l'origine et dans le repère du dynamomètre peut alors s'écrire :

[Math. 6]

$$M = \begin{pmatrix} 0 & KF_{1x_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ KF_{1y_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & -RK F_{1y_1} \\ 0 & 0 & KF_{1z_1} & -RK F_{1z_1} & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} KF_{2x_2} & -\frac{1}{2} KF_{2x_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} KF_{2y_2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} KF_{2y_2} & 0 & 0 & 0 & -RK F_{2y_2} \\ 0 & 0 & -KF_{2z_2} & \frac{R}{2} KF_{2z_2} & \frac{R\sqrt{3}}{2} KF_{2z_2} & 0 \\ \frac{1}{2} KF_{3x_3} & \frac{\sqrt{3}}{2} KF_{3x_3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} KF_{3y_3} & -\frac{1}{2} KF_{3y_3} & 0 & 0 & 0 & RK F_{3y_3} \\ 0 & 0 & -KF_{3z_3} & \frac{R}{2} KF_{3z_3} & -\frac{R}{2} KF_{3z_3} & 0 \end{pmatrix}$$

**[0042]** Cette matrice de calibration est théorique. Elle représente la contribution des différents axes des capteurs dans la mesure des efforts du dynamomètre. Ces mesures dépendent de la sensibilité K des capteurs piézoélectriques utilisés. Dans la réalité, aucun terme de la matrice n'est nul car, malgré le soin apporté à la réalisation et quels que soient les procédés de fabrication du dynamomètre, des défauts géométriques apparaissent. Cependant, les termes prépondérants doivent pouvoir être identifiés.

**[0043]** Une fois la matrice de calibration théorique écrite, l'étalonnage peut être effectué. Il consiste à faire corrélérer des chargements unitaires maîtrisés appliqués au dynamomètre avec les différents signaux électriques délivrés par les capteurs triaxiaux.

**[0044]** Il convient d'appliquer des chargements identifiés en des endroits stratégiques où la réponse théorique du

dynamomètre est connue. Par une optimisation linéaire, il est possible de faire corrélér les valeurs des capteurs aux valeurs attendues. Grâce à une campagne d'essais, la matrice d'étalonnage réelle est déterminée.

**[0045]** Les résultats de l'optimisation linéaire donnent la matrice d'étalonnage réelle suivante :

[Math. 7]

$$M = \begin{Bmatrix} 29.9 & 211.82 & 51 & 2.064 & 0.92 & -1.24 \\ 239.16 & -31.5 & 7.46 & -2.89 & -2.09 & -10.89 \\ -14.09 & 20.76 & 218.68 & 27.03 & 7.38 & -1.3 \\ 153.75 & -105.99 & -92.16 & -9.75 & -4.54 & 0.22 \\ -115.35 & -197.9 & 22.5 & -10.08 & -1.98 & -8.064 \\ 12.18 & -25.82 & 609.9 & -31.03 & -37.23 & -0.48 \\ 176.30 & 126.33 & -11.7 & 7.78 & -1.42 & -0.44 \\ 111.90 & -200 & 19.18 & -1.6 & -9.83 & 10.31 \\ -19.43 & -1.13 & 651.04 & 17.58 & -15.51 & 3.41 \end{Bmatrix}$$

**[0046]** La figure 2 représente un deuxième mode de réalisation de mise en oeuvre de l'invention dans lequel le procédé prévoit de positionner un dynamomètre à jauges couplées.

**[0047]** Plus précisément, le dynamomètre comprend au moins trois et de préférence six ponts de jauges de déformations couplés qui sont montés sur des branches du pied presseur P' répartis autour d'un axe longitudinal Z de la lame L afin de former au moins trois et de préférence six ponts complets.

**[0048]** Afin de garantir une bonne lecture des efforts, le dynamomètre a été construit autour de l'axe de la lame avec des branches espacées de 120°. Les trois jauges J1 à J3 formant les six ponts de jauge sont collées de préférence à équidistance de l'axe de la lame et sur des pans inclinés dont le prolongement se rejoint au point d'application des efforts.

**[0049]** Des doubles jauges de déformations longitudinales/transverses J1 à J3 sont utilisées et disposées sur chaque face de chacune des branches de sorte que chaque demi-pont soit en opposition. Un total d'au moins trois ponts complets est nécessaire à l'instrumentation de ce dynamomètre.

**[0050]** L'étalonnage consiste à faire correspondre un torseur d'action connu à une valeur de déformation mesurée par les ponts de jauges.

**[0051]** En considérant que les ponts de jauges sont idéalement centrés sur les branches du corps d'épreuve, les centres respectifs des ponts O<sub>i</sub> (i=1:6) placés sur chaque branche sont confondus. Ils sont ensuite distants du centre du capteur O d'une valeur r et orientés par un angle α. Enfin, le point d'application des efforts sur la lame est déplacé de -h suivant l'axe Z au point Q.

**[0052]** Le torseur d'action connu [T] suivant est appliqué au point Q :

[Math. 8]

$$[T] = \begin{bmatrix} F_x & M_x \\ F_y & M_y \\ F_z & M_z \end{bmatrix}$$

**[0053]** Le déplacement de ce torseur [T] à chaque point de mesure des ponts de jauge permet de connaître la contribution de chacun des axes des ponts dans la lecture des efforts.

**[0054]** Pour mesurer le moment de torsion M<sub>z</sub>, un effort est appliqué suivant l'axe Y, au niveau point Q avec un bras de levier de distance l.

**[0055]** Par soucis de clarté, les repères groupés sont renommés comme suivant :

[Math. 9]

$$(O_1-O_2, X_1-X_2, Y_1-Y_2, Z_1-Z_2) = R_1$$

$$(O_3-O_4, X_3-X_4, Y_3-Y_4, Z_3-Z_4) = R_2$$

$$(O_5-O_6, X_5-X_6, Y_5-Y_6, Z_5-Z_6) = R_3$$

[0056] Ces transports donnent alors :

[Math. 10]

$$[F_x] = \begin{bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & -h.F_x \\ 0 & r.F_x \end{bmatrix}_{(R_1)} \quad \begin{bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & -h.F_x \\ 0 & -r.\sin\alpha.F_x \end{bmatrix}_{(R_2)} \quad \begin{bmatrix} F_x & 0 \\ 0 & -h.F_x \\ 0 & -r.\sin\alpha.F_x \end{bmatrix}_{(R_3)}$$

$$[F_y] = \begin{bmatrix} 0 & h.F_y \\ F_y & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}_{(R_1)} \quad \begin{bmatrix} 0 & h.F_y \\ F_y & 0 \\ 0 & -r.\cos\alpha.F_y \end{bmatrix}_{(R_2)} \quad \begin{bmatrix} 0 & h.F_y \\ F_y & 0 \\ 0 & r.\cos\alpha.F_y \end{bmatrix}_{(R_3)}$$

$$[F_z] = \begin{bmatrix} 0 & r.F_z \\ 0 & 0 \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_1)} \quad \begin{bmatrix} 0 & r.\sin\alpha.F_z \\ 0 & r.\cos\alpha.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_2)} \quad \begin{bmatrix} 0 & r.\sin\alpha.F_z \\ 0 & -r.\cos\alpha.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_3)}$$

$$[M_x] = \begin{bmatrix} 0 & -l.F_z - r.F_z \\ 0 & 0 \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_1)} \quad \begin{bmatrix} 0 & -l.F_z + r.\sin\alpha.F_z \\ 0 & r.\cos\alpha.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_2)} \quad \begin{bmatrix} 0 & -l.F_z + r.\sin\alpha.F_z \\ 0 & -r.\cos\alpha.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_3)}$$

$$[M_y] = \begin{bmatrix} 0 & -r.F_z \\ 0 & -l.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_1)} \quad \begin{bmatrix} 0 & r.\sin\alpha.F_z \\ 0 & -l.F_z + r.\cos\alpha.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_2)} \quad \begin{bmatrix} 0 & r.\sin\alpha.F_z \\ 0 & -l.F_z - r.\cos\alpha.F_z \\ F_z & 0 \end{bmatrix}_{(R_3)}$$

$$[M_z] = \begin{bmatrix} 0 & h.F_y \\ F_y & 0 \\ 0 & l.F_y \end{bmatrix}_{(R_1)} \quad \begin{bmatrix} 0 & h.F_y \\ F_y & 0 \\ 0 & l.F_y - r.\cos\alpha.F_y \end{bmatrix}_{(R_2)} \quad \begin{bmatrix} 0 & h.F_y \\ F_y & 0 \\ 0 & l.F_y + r.\cos\alpha.F_y \end{bmatrix}_{(R_3)}$$

[0057] Ces valeurs donnent les composants de la matrice d'étalonnage théorique. Maintenant, en prenant en compte le fait que les jauges de déformations ne réagissent que suivant leur axe Z, il est possible de simplifier la matrice. Elle s'écrit alors :

[Math. 11]

$$[M_{Tn}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & K.F_1 & R.K.F_1 & 0 & 0 \\ K.F_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R.K.F_2 \\ 0 & 0 & K.F_3 & -\frac{R}{2}.K.F_3 & -\frac{R.\sqrt{3}}{2}.K.F_3 & 0 \\ -\frac{1}{2}.K.F_4 & -\frac{\sqrt{3}}{2}.K.F_4 & 0 & 0 & 0 & -R.K.F_4 \\ 0 & 0 & K.F_5 & -\frac{R}{2}.K.F_5 & \frac{R}{2}.K.F_5 & 0 \\ -\frac{1}{2}.K.F_6 & \frac{\sqrt{3}}{2}.K.F_6 & 0 & 0 & 0 & -R.K.F_6 \end{bmatrix}_{(O,XYZ)}$$

**[0058]** Avec K désignant la sensibilité de chaque pont de jauges (ici supposée commune), et  $F_i$  la déformation mesurée par le point de jauge i.

**[0059]** L'étape suivante d'élaboration de la matrice d'étalonnage réelle consiste à appliquer des efforts connus suivant des axes bien définis et d'enregistrer la réaction de chaque demi pont.

**[0060]** Cette méthode d'étalonnage offre un nombre de données très important ce qui impose une certaine optimisation. Les relations signaux/chargements étant supposés linéaires, une méthode directe basée sur la méthode des moindres carrés est appliquée.

**[0061]** L'approche vise à minimiser les moindres carrés des écarts entre les valeurs imposées et les valeurs mesurées selon un modèle de réponse linéaire. A cet effet, nous cherchons à exprimer  $[A_{ij}]$ , la matrice d'étalonnage, à l'aide de n mesures  $[m_i]$  délivrant n torseurs différents  $[T_j]$ . L'équation peut s'écrire de cette façon :

[Math. 12]

$$[T_j] = [A_{ij}] \times [m_i]$$

**[0062]** La mise en forme suivante permet le calcul des termes  $a_{ij}$  de la matrice  $[A]$  solution par la méthode d'optimisation linéaire, identique à la solution de l'équation normale de l'équation précédente.

[Math. 13]

$$[T_j]^t = [m_i]^t \times [A_{ij}]^t,$$

$$[m_i] \times [m_i]^t \times [A_{ij}]^t = [m_i] \times [T_j]^t,$$

$$[A_{ij}]^t = [[m_i] \times [m_i]^t]^{-1} \times [m_i] \times [T_j]^t.$$

**[0063]** A titre d'illustration, la matrice ainsi obtenue pour chaque capteur est ainsi donnée :



[Math. 14]

$$[A_{ij}]_{c1} = \begin{bmatrix} 0.22743549 & 0.02364623 & -0.13343276 & -0.0068998 & -0.00087995 & -0.00130383 \\ 0.68420348 & 0.15332142 & 0.03105618 & 0.00189647 & -0.00466481 & -0.00561201 \\ -0.1076689 & -0.12158194 & -0.14872792 & 0.0026323 & 0.00625291 & -0.00187975 \\ -0.46440179 & -0.61847475 & 0.02114317 & -0.00536206 & 0.00280904 & -0.00811313 \\ 0.1368964 & 0.09598388 & -0.13872592 & 0.00413322 & -0.00556786 & -0.00241526 \\ -0.11003649 & 0.54635391 & 0.0378909 & 0.00408779 & 0.00172092 & -0.01026037 \end{bmatrix}$$

$$[A_{ij}]_{c2} = \begin{bmatrix} 0.28085142 & -0.01953047 & -0.13864593 & -0.00647811 & -0.00211027 & -0.00173131 \\ 0.77073137 & 0.2172864 & 0.03597984 & 0.00414099 & -0.00554774 & -0.01009237 \\ -0.1351971 & -0.133147 & -0.14704929 & 0.00216863 & 0.00632671 & -0.00071048 \\ -0.56057634 & -0.5967342 & 0.03491581 & -0.00588278 & 0.0036103 & -0.00579446 \\ 0.0178842 & 0.05183176 & -0.14780865 & 0.00307678 & -0.00576331 & -0.00131784 \\ -0.18893259 & 0.44978418 & 0.02836511 & 0.00192248 & 0.0018153 & -0.00829667 \end{bmatrix}$$

$$[A_{ij}]_{c3} = \begin{bmatrix} 0.31053699 & -0.02206733 & -0.13963957 & -0.00646137 & -0.00181698 & -0.00022063 \\ 0.69569874 & 0.31291328 & 0.0099921 & 0.00234984 & -0.00486212 & -0.01067891 \\ -0.14114808 & -0.16467566 & -0.1430152 & 0.00293031 & 0.00641895 & -0.00096274 \\ -0.67494056 & -0.65437313 & 0.05252109 & -0.00309514 & 0.00386065 & -0.0086002 \\ 0.07045973 & -0.00230579 & -0.1414674 & 0.0031475 & -0.00633642 & -0.00048254 \\ -0.04925843 & 0.46419488 & 0.03133913 & 0.00144251 & 0.0015364 & -0.00759894 \end{bmatrix}$$

**[0064]** Les capteurs étant tous différents selon les variabilités inhérentes à l'usinage et au collage des jauges, il est impossible d'obtenir une matrice identique. Cependant la réaction de chaque capteur à chaque matrice est bonne. Il est possible d'obtenir une matrice lissant le comportement de chaque capteur, cette matrice appelé matrice fusionnée prend en considération l'ensemble des mesures d'étalonnage des trois capteurs (voir l'exemple ci-dessous)

[Math. 15]

$$[A_{ij}]_f = \begin{bmatrix} 0.25775426 & -0.0169919 & -0.13482656 & -0.00603876 & -0.00140795 & -0.00169831 \\ 0.77567 & 0.18216929 & 0.03188821 & 0.00304868 & -0.00563973 & -0.00803284 \\ -0.12965247 & -0.13159113 & -0.14806411 & 0.00231931 & 0.00633665 & -0.00120715 \\ -0.53481395 & -0.65440946 & 0.02423596 & -0.00644915 & 0.00265166 & -0.0062482 \\ 0.01615932 & -0.09425864 & -0.14100178 & 0.00393699 & -0.00535424 & -0.0020892 \\ -0.16085048 & 0.55349909 & 0.03862418 & 0.00395377 & 0.00233197 & -0.01006808 \end{bmatrix}$$

**[0065]** Après vérifications, on constate que la réponse des trois capteurs à cette matrice est vraiment très proche et l'écart de mesure très faible.

**[0066]** La figure 3 représente un troisième mode de réalisation de mise en oeuvre de l'invention dans lequel le procédé prévoit de positionner un dynamomètre à jauges découplées.

**[0067]** Comme représenté sur cette figure 3, le dynamomètre comprend ainsi cinq ponts de jauges en ponts complets montés dans le pied presseur P". Les jauges utilisées sont des rosettes demi-ponts afin de garantir la lecture des efforts dans les deux sens de flexion possibles (pour des raisons de clarté, seuls les cinq ponts de jauges P1 à P5 sont représentés sur la figure 3).

**[0068]** La matrice d'étalonnage réelle est obtenue en mesurant les déformations aux positions des jauges de déformations et en faisant le calcul relatif au câblage des ponts. A titre d'exemple, un résultat est visible dans le tableau ci-dessous :

[Table 1]

	Fx (%)	Fy (%)	Mx (%)	My (%)	Mz (%)
Pont 1	-	0,03	0,27	5,61	0,2

(suite)

	Fx (%)	Fy (%)	Mx (%)	My (%)	Mz (%)
Pont 2	1,53	-	0,36	0,85	0,28
Pont 3	0	4,48	-	0,15	0,03
Pont 4	2,49	0,12	0,15	-	2,26
Pont 5	0,08	4,52	0,02	1,5	-

**[0069]** On constate que le couplage le plus important obtenu est de 5,61% de déformation lue par le pont 1 pendant l'application d'un moment My.

**[0070]** On constate également que ce mode de réalisation ne nécessite pas d'étape préalable d'élaboration d'une matrice de calibration théorique.

**[0071]** On notera que quel que soit le mode de réalisation, la transmission des mesures des capteurs de déformation du dynamomètre est réalisée sans contact ou par voie filaire.

**[0072]** On notera encore que quel que soit le mode de réalisation, il est prévu un ensemble de cartes électroniques entre les capteurs piézoélectriques ou les ponts de jauges de contraintes et la station informatique exploitant les informations reçues. Ces cartes électroniques réalisent les fonctions suivantes : alimentation et conditionnement des signaux issus des capteurs (en fonction de la typologie de ces capteurs), filtrage et amplification des signaux en adéquation avec la plage d'entrée du convertisseur analogique-numérique, conversion analogique numérique, et sérialisation et transmission des données vers la station informatique.

## Revendications

1. Procédé de détermination de composantes d'un torseur d'actions mécaniques au point de guidage d'une lame de coupe (L) pour machine de coupe, la lame étant guidée dans un pied presseur (P ; P' ; P'') d'une tête de coupe de la machine, le procédé comprenant :

- le positionnement d'un dynamomètre à six composantes sur le pied presseur, le dynamomètre comprenant une pluralité de capteurs aptes à déterminer un effort frontal, un effort latéral, un moment de roulis, un moment de tangage et un moment de lacet de la lame de coupe ;
- l'établissement d'une matrice d'étalonnage du dynamomètre ; et
- la détermination des efforts en trois dimensions subis par la lame de coupe à partir des mesures obtenues par les capteurs et de la matrice d'étalonnage.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape d'élaboration de la matrice d'étalonnage du dynamomètre comprend l'élaboration d'une matrice de calibration théorique des capteurs du dynamomètre à différentes sollicitations théoriques en fonction des 6 composantes du dynamomètre.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'étape d'élaboration de la matrice d'étalonnage du dynamomètre comprend en outre, à partir de la matrice de calibration théorique et de mesures réelles de réponse des capteurs du dynamomètre, le calcul d'une matrice de réponse des capteurs du dynamomètre à différentes sollicitations réelles en fonction des 6 composantes du dynamomètre.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel la matrice de réponse des capteurs du dynamomètre est calculée par une méthode d'optimisation linéaire.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le dynamomètre comprend trois capteurs piézoélectriques triaxiaux (1, 2, 3) qui sont montés dans le pied presseur (P) en étant répartis autour d'un axe longitudinal (Z) de la lame.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le dynamomètre comprend au moins trois ponts de jauges de déformations (J1 à J3) couplés qui sont montés sur des branches du pied presseur (P') régulièrement réparties autour d'un axe longitudinal (Z) de la lame afin de former au moins trois ponts complets.

7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel le dynamomètre comprend six ponts de jauges de déformations

régulièrement réparties autour de l'axe longitudinal (Z) de la lame afin de former six ponts complets.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le dynamomètre comprend au moins cinq ponts de jauges de déformations (P1 à P5) découplés qui sont montées sur le pied presseur (P").
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel la transmission des mesures des capteurs du dynamomètre est réalisée sans contact ou par voie filaire.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Komponenten eines mechanisch wirkenden Drallgebers am Führungspunkt eines Schneidmessers (L) für eine Schneidmaschine, wobei das Messer in einem Drückerfuß (P; P'; P'') eines Schneidkopfes der Maschine geführt wird, wobei das Verfahren umfasst:
  - Positionieren eines Sechs-Komponenten-Dynamometers an dem Drückerfuß, wobei das Dynamometer mehrere Sensoren umfasst, die in der Lage sind, eine Frontalkraft, eine Seitenkraft, ein Rollmoment, ein Nickmoment und ein Giermoment des Schneidmessers zu bestimmen,
  - Erstellen einer Kalibrierungsmatrix des Dynamometers, und
  - Bestimmen der dreidimensionalen Kräfte, denen das Schneidmesser ausgesetzt ist, anhand der Messungen, die von den Sensoren erhalten werden, und der Kalibrierungsmatrix.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Erstellens der Kalibrierungsmatrix des Dynamometers das Erstellen einer theoretischen Kalibrierungsmatrix der Sensoren des Dynamometers bei verschiedenen theoretischen Belastungen in Abhängigkeit der 6 Komponenten des Dynamometers umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schritt des Erstellens der Kalibrierungsmatrix des Dynamometers ferner aus der theoretischen Kalibrierungsmatrix und tatsächlichen Antwortmessungen der Sensoren des Dynamometers das Berechnen einer Antwortmatrix der Sensoren des Dynamometers bei verschiedenen realen Belastungen in Abhängigkeit der 6 Komponenten des Dynamometers umfasst.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Antwortmatrix der Sensoren des Dynamometers durch einen linearen Optimierungsvorgang berechnet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Dynamometer drei dreiaxige piezoelektrische Sensoren (1, 2, 3) umfasst, die in dem Drückerfuß (P) montiert und um eine Längsachse (Z) des Messers herum verteilt sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Dynamometer mindestens drei Brücken aus gekoppelten Dehnungsmessstreifen (J1 bis J3) umfasst, die auf Ästen des Drückerfußes (P') montiert und regelmäßig um eine Längsachse (Z) des Messers herum verteilt sind, um mindestens drei vollständige Brücken zu bilden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Dynamometer sechs Brücken aus Dehnungsmessstreifen umfasst, die regelmäßig um die Längsachse (Z) des Messers herum verteilt sind, um sechs vollständige Brücken zu bilden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Dynamometer mindestens fünf entkoppelte Brücken aus Dehnungsmessstreifen (P1 bis P5) umfasst, die an dem Drückerfuß (P'') montiert sind.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Übertragung der Messwerte der Sensoren des Dynamometers kontaktlos oder drahtgebunden umgesetzt wird.

## Claims

1. Method for determining components of a mechanical action torsor at the guiding point of a cutting blade (L) for a cutting machine, the blade being guided in a presser foot (P; P'; P'') of a cutting head of the machine, the method comprising:
  - positioning a six-component dynamometer on the presser foot, the dynamometer comprising a plurality of

sensors capable of determining a frontal force, a lateral force, a rolling moment, a pitching moment and a yawing moment of the cutting blade;

- establishing a calibration matrix of the dynamometer; and

- determining the forces in three dimensions to which the cutting blade is subjected, on the basis of measurements obtained by the sensors and the calibration matrix.

2. Method according to claim 1, wherein the step of developing the calibration matrix of the dynamometer comprises developing a theoretical calibration matrix of the sensors of the dynamometer at various theoretical stresses as a function of the 6 components of the dynamometer.

3. Method according to claim 2, wherein the step of developing the calibration matrix of the dynamometer further comprises, on the basis of the theoretical calibration matrix and actual response measurements of the sensors of the dynamometer, calculating a response matrix of the sensors of the dynamometer at various actual stresses as a function of the 6 components of the dynamometer.

4. Method according to claim 3, wherein the response matrix of the sensors of the dynamometer is calculated by a linear optimisation method.

5. Method according to any one of claims 1 to 4, wherein the dynamometer comprises three triaxial piezoelectric sensors (1, 2, 3) which are mounted in the presser foot (P) being distributed around a longitudinal axis (Z) of the blade.

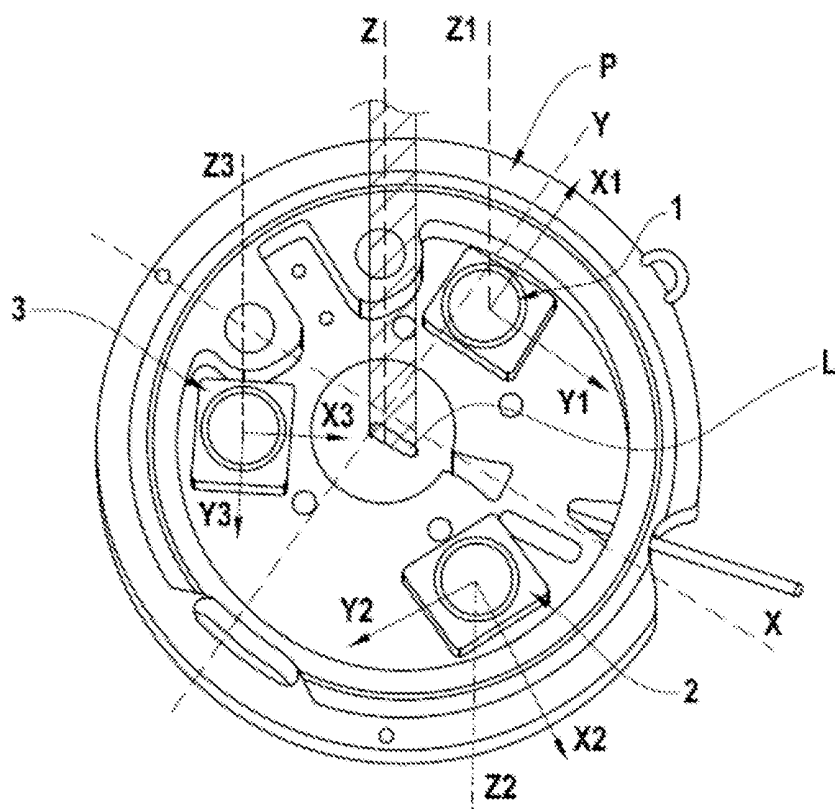
6. Method according to any one of claims 1 to 4, wherein the dynamometer comprises at least three coupled strain gauge bridges (J1 to J3) which are mounted on arms of the presser foot (P') regularly distributed around a longitudinal axis (Z) of the blade in order to form at least three full bridges.

7. Method according to claim 6, wherein the dynamometer comprises six strain gauge bridges regularly distributed around the longitudinal axis (Z) of the blade in order to form six full bridges.

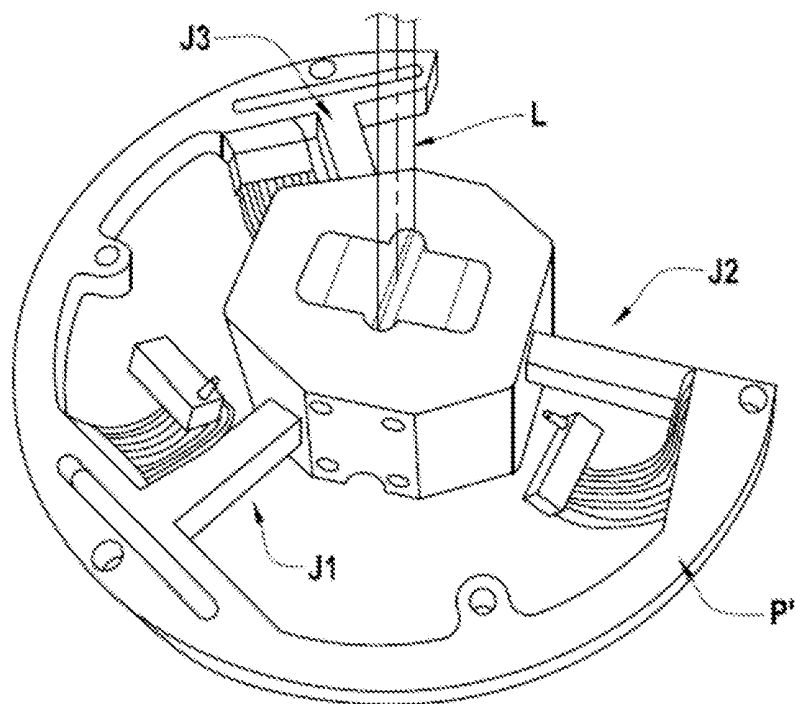
8. Method according to any one of claims 1 to 4, wherein the dynamometer comprises at least five decoupled strain gauge bridges (P1 to P5) which are mounted on the presser foot (P").

9. Method according to any one of claims 1 to 8, wherein the transmission of the measurements of the sensors of the dynamometer is performed contact free or by wire.

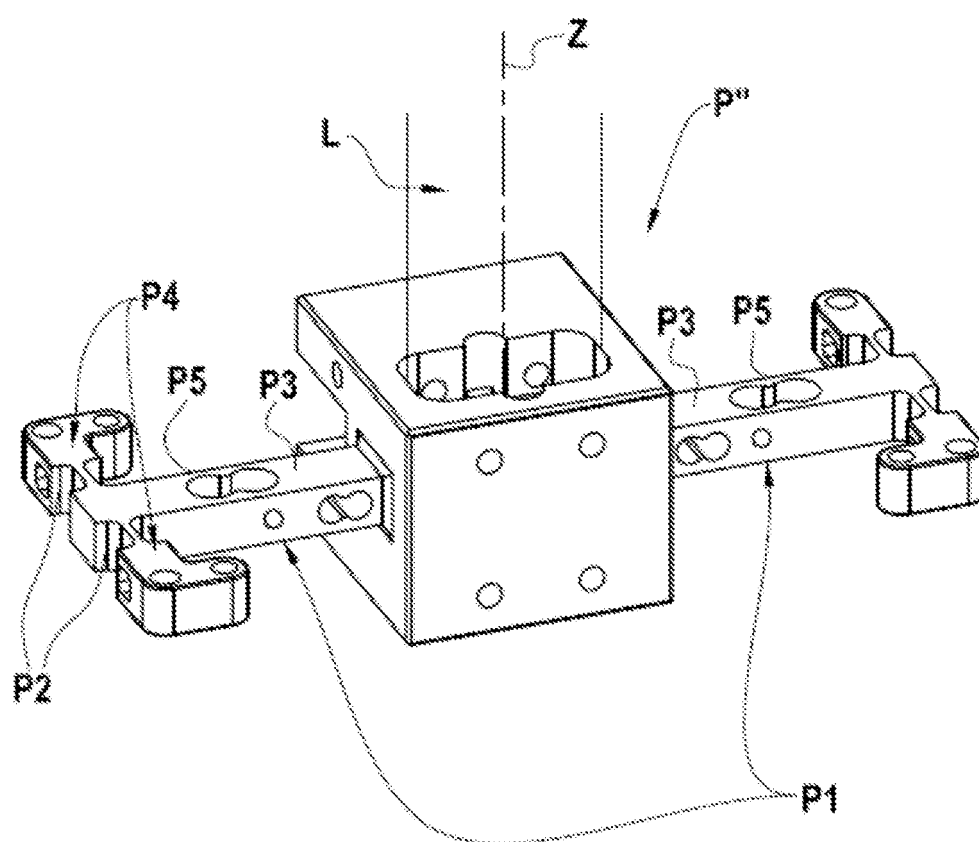
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



**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**

- IT 102017000023745 [0006]
- US 3849712 A [0007]