

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
27 septembre 2018 (27.09.2018)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/172146 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G06K 9/00 (2006.01) G06K 9/46 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2018/056301

(22) Date de dépôt international :
13 mars 2018 (13.03.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1752271 20 mars 2017 (20.03.2017) FR

(71) Déposants : ECOLE POLYTECHNIQUE [FR/FR] ;
Route de Saclay, 91128 PALAISEAU (FR). CENTRE
NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

[FR/FR] ; 3 rue Michel Ange, 75794 PARIS CE-
DEX 16 (FR). INSTITUT NATIONAL DE LA RE-
CHERCHE AGRONOMIQUE (INRA) [FR/FR] ; 147,
rue de l'Université, 75007 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : DE LANGRE, Emmanuel ; 5, avenue des
Sources, 91470 LIMOURS (FR). HEMON, Pascal ; 79,
rue Victor Hugo B07, 94200 IVRY SUR SEINE (FR). PE-
NALVER, Olivier ; 382, rue de Navrin, 45160 OLIVET
(FR). FRACHISSE, Jean-Marie ; 21, rue Jean Lavan-
dier, 91470 LIMOURS (FR). MOULIA, Bruno ; Lassias
F, 63270 SALLEDES (FR).

(74) Mandataire : CABINET NONY ; 11 rue Saint-Georges,
75009 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,

(54) Title: PHENOTYPING DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF DE PHENOTYPAGE

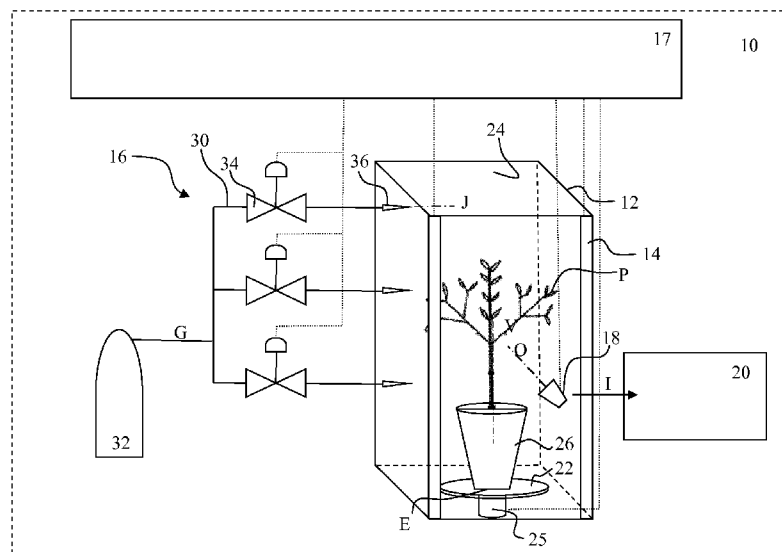


FIGURE 1

(57) Abstract: A device comprising: - an oscillator (16) suitable for setting in free oscillation the aerial part of a plant (P) arranged in a test location (E); - a camera (18) for acquiring a series of images of said plant; and - an analysis module (20) for analysing said images, configured to determine, for each of said images and by an analysis of all of the pixels of said image, a property of said image, then to evaluate a characteristic relating to the change over time of said property.

(57) Abrégé : Dispositif comportant : - un oscillateur (16) adapté pour mettre en oscillation libre la partie aérienne d'une plante (P) disposée à un emplacement de test (E); - une caméra (18) d'acquisition d'une série d'images de ladite plante; et - un module d'analyse (20) desdites images configuré pour déterminer, pour chacune desdites images, et par une analyse de l'ensemble des pixels de ladite

[Suite sur la page suivante]



WO 2018/172146 A1

AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

DISPOSITIF DE PHENOTYPAGE

Domaine technique

La présente invention concerne un dispositif et un procédé de phénotypage de plantes, et en particulier de la partie aérienne de plantes.

5 **Etat de la technique**

Le phénotypage des plantes consiste à évaluer des caractéristiques observables des plantes. La connaissance des caractères observables des plantes permet d'étudier leur corrélation avec des comportements desdites plantes, et finalement de rechercher les plantes les mieux adaptées à une situation déterminée.

- 10 Par ailleurs, le phénotypage permet de rechercher les corrélations avec les allèles des gènes caractérisés par la génomique et la génétique, et d'identifier ainsi leurs fonctions ainsi que des cibles de sélections variétales efficaces.

Il existe un besoin permanent pour de nouveaux dispositifs et procédés efficaces et permettant d'enrichir le phénotype d'une plante.

- 15 Un but de la présente invention est de répondre, au moins partiellement, à ce besoin.

Résumé de l'invention

A cet effet, l'invention propose un dispositif comportant :

- 20 - un oscillateur adapté pour mettre en oscillation libre la partie aérienne d'une plante disposée à un emplacement de test ;
- une caméra d'acquisition d'une série d'images de ladite plante ; et
- un module d'analyse desdites images configuré pour déterminer, pour chaque image (I) de ladite série, une ou plusieurs propriétés de ladite image, puis, pour au moins une dite propriété, évaluer une caractéristique relative à
- 25 l'évolution temporelle de ladite propriété.

De manière remarquable, ladite propriété de l'image est évaluée par une analyse de l'ensemble des pixels d'au moins une partie de ladite image, voire de ladite image dans sa totalité, c'est-à-dire sans chercher à identifier, sur la dite partie

d'image ou image, une région spécifique ou « traceur », par exemple correspondant à ladite plante ou à une marque disposée sur ladite plante.

Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, cette analyse globale de la partie d'image ou de l'image permet une évaluation extrêmement rapide de ladite propriété. La caractéristique relative à l'évolution temporelle de ladite propriété peut donc être évaluée rapidement. En outre, la propriété ainsi évaluée correspond à un caractère de la plante qui, jusqu'à la présente invention, n'était pas utilisé pour le phénotypage. Le phénotype en est avantageusement enrichi.

10 De préférence, un dispositif selon l'invention comporte encore une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :

- ladite propriété de ladite image est une fonction de la somme des produits des valeurs de pixel $V_{i,j} \times V'_{i,j}$ pour l'ensemble des pixels $P_{i,j}$ et $P'_{i,j}$ de la dite image (ou de ladite partie d'image) et d'une image de référence (ou d'une partie d'une image de référence respectivement), respectivement, i et j désignant les numéros de ligne et de colonne d'un pixel, respectivement ;
- le module d'analyse desdites images est configuré pour découper chaque image en un ensemble de zones, puis, pour chaque image de ladite série, et par une analyse de l'ensemble des pixels de chaque zone de ladite image, déterminer, au moins une propriété de ladite zone, puis à partir des propriétés desdites zones déterminées pour l'ensemble desdites images,
 - évaluer, pour chaque zone, une caractéristique relative à l'évolution temporelle de ladite propriété de ladite zone ;
 - évaluer, à partir desdites caractéristiques relatives à l'évolution temporelle desdites propriétés, au moins une propriété de ladite image ;
- chaque zone comporte plus de 1 000 pixels ;
- ladite caractéristique relative à l'évolution temporelle de ladite propriété est une fréquence fondamentale ou une fréquence fondamentale ou une fréquence supérieure de l'oscillation ou un amortissement associé à ladite fréquence fondamentale ou à ladite fréquence supérieure ;
- l'oscillateur est un injecteur de gaz ;

- l'oscillateur est configuré de manière à générer des impulsions de gaz qui durent moins de 1 seconde ;
- l'injecteur de gaz comporte plus de 2 buses d'injection, de préférence alignées verticalement ;
- 5 - la caméra est configurée pour acquérir plus de 30 images par seconde ;
- le dispositif comporte au moins une caméra orientée vers le bas, de préférence disposée sensiblement au-dessus de l'emplacement de test ;
- le dispositif comporte un fond de couleur uniforme, disposé de manière que la plante s'étende entre la caméra et ledit fond ;
- 10 - le dispositif comporte une source lumineuse comportant un ensemble de diodes électroluminescentes orientées de manière à éclairer ladite plante ;
- l'éclairage fourni par ladite source lumineuse est orienté vers ledit fond ;
- le dispositif comporte un plateau horizontal monté à rotation autour d'un axe vertical, et un moteur, de préférence électrique, commandé par un module de
- 15 commande configuré pour entraîner en rotation ledit plateau horizontal autour dudit axe vertical.

L'invention concerne aussi un procédé de phénotypage, dans lequel, pour chaque plante d'une pluralité de plantes, on évalue, au moyen d'un dispositif selon l'invention, une caractéristique relative à l'évolution temporelle d'une même dite

20 propriété, puis on compare ladite caractéristique à un caractère et/ou à un comportement de la plante afin de déterminer une corrélation entre ladite caractéristique et ledit caractère et/ou comportement.

Par exemple, le procédé permet de mesurer les fréquences fondamentales d'oscillation de différentes variétés de blés, sous l'effet d'une impulsion donnée

25 par l'oscillateur, puis de comparer les fréquences fondamentales ainsi obtenues à la capacité des blés à résister à la tempête sans se coucher.

Définitions

La « fréquence fondamentale » d'un signal est classiquement la fréquence du premier mode propre vibratoire.

- 30 Les « fréquences supérieures » sont classiquement les fréquences des modes propres vibratoires d'ordres supérieurs.

Sauf indication contraire, les verbes « comporter », « présenter » ou « comprendre » doivent être interprétés de manière non restrictive.

Brève description des figures

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre et l'examen du dessin annexé, dans lequel la figure 1 représente schématiquement un dispositif selon l'invention.

Description détaillée

La figure 1 représente un dispositif 10 de phénotypage d'une plante P selon l'invention.

10 Le dispositif 10 comporte une cabine 12 dans laquelle la plante P est disposée, une source lumineuse 14, un oscillateur 16, une caméra 18 et un module d'analyse 20.

La cabine 12 comporte un plateau horizontal 22 et un fond 24 s'étendant sensiblement perpendiculairement à l'axe optique O de la caméra 18. De
15 préférence, le plateau horizontal 22 est mobile en rotation autour d'un axe vertical V. De préférence, il est entraîné en rotation par un moteur 25.

Les racines de la plante P poussent dans un substrat, par exemple de la terre, contenu dans un pot 26 posé sur le plateau horizontal 22. La plante P est placée à un emplacement de test E, de manière à s'étendre entre la caméra 18 et le fond
20 24. Le fond 24 est de préférence d'une couleur uniforme, par exemple noir.

La source lumineuse 14 est agencée de manière à éclairer la plante P. De préférence, la source lumineuse est constituée de diodes électroluminescentes (LED). Avantagement, l'éclairage est continu, ce qui permet d'utiliser une
25 caméra 18 à grande vitesse, sans que la qualité des images soit perturbée par une variation de l'intensité de l'éclairage. De préférence encore, la source lumineuse 14 est constituée d'une ou plusieurs barrettes de LED, éclairant la plante P vers le fond 24.

L'oscillateur 16 est de préférence un injecteur de gaz G, de préférence d'air, agencé de manière que des jets de gaz soient injectés dans la cabine en

direction de la plante P. Les jets de gaz produits, ou « impulsions de gaz », sont fugaces et durent de préférence moins de 3 s, de préférence moins de 2 s, de préférence moins d'une seconde, de préférence moins de 0,5 s.

Avantageusement, la mise en oscillation de la plante autour de sa position de repos est ainsi possible sans contact avec la plante P, ce qui évite de l'abîmer. En outre, l'utilisation d'impulsions d'air est techniquement simple à réaliser et à contrôler.

De préférence encore, l'oscillateur 16 comporte un circuit d'injection 30 comportant, de l'amont vers l'aval, une source de gaz sous pression 32, une vanne 34 et une buse 36 apte à injecter ledit gaz suivant un axe d'injection J. De préférence, le dispositif comporte plusieurs circuits d'injection 30, de préférence plus de deux, plus de trois circuits d'injection. Dans le mode de réalisation représenté, le dispositif comporte quatre circuits d'injection, les buses 36 de ces circuits étant alignées verticalement et orientées de manière que leurs axes d'injection J soit sensiblement horizontaux. De préférence, les différents circuits d'injection 30 sont alimentés par une source de gaz 32 commune, par exemple une bouteille sous pression.

Les caractéristiques de l'oscillateur 16 sont adaptées en fonction de l'oscillation que l'on souhaite imposer à la plante P. En particulier, le débit, la vitesse et la direction d'injection du gaz injecté peuvent être modifiés.

Dans un mode de réalisation, la pression de la source de gaz est comprise entre 3 et 7 bar et/ou le diamètre de la buse d'injection est compris entre 2 et 10 mm.

La caméra 18 est de préférence configurée pour acquérir plus de 30, de préférence plus de 50 images par seconde.

La caméra 18 comporte un ensemble de capteurs élémentaires, classiquement sous la forme d'une matrice rectangulaire. A un instant d'acquisition d'une image, chaque capteur élémentaire mesure une caractéristique de la lumière qu'il reçoit, en particulier la luminosité. Toujours classiquement, la caméra transforme les signaux élémentaires en une valeur pour un pixel de l'image, ou « valeur de pixel ».

Dans le mode de réalisation préféré, chaque image est ainsi constituée d'un ensemble de pixels dont la valeur est déterminée en fonction des caractéristiques de la lumière reçue par un capteur élémentaire correspondant.

De préférence, le dispositif comporte encore un module de commande 17 des vannes 34, par exemple sous la forme d'un automate. Sur la figure, les lignes de commande sont représentées en traits pointillés.

De préférence, le module de commande 17 commande

- la caméra 18 afin de synchroniser son fonctionnement avec celui de l'oscillateur, et en particulier pour qu'elle ne commence à acquérir des images qu'après la mise en oscillation de la plante P, et/ou
- le module d'analyse 20 afin de synchroniser son fonctionnement avec celui de la caméra 18, et/ou
- la source lumineuse 14, de préférence en fonction du fonctionnement de la caméra 18, et/ou
- le moteur 25, de préférence de manière à orienter la plante autour de l'axe V, conformément à une consigne fournie par l'opérateur.

Dans un mode de réalisation préféré, le module de commande 17 comporte un ou plusieurs programmes déterminant les propriétés des impulsions de gaz, et en particulier les instants et les durées d'ouverture des vannes 34, ainsi que la chronologie de fonctionnement de la caméra 18, voire des sources lumineuses 14.

Par exemple, le module de commande 17 peut être programmé de manière à commander les vannes 34 afin qu'elles injectent des impulsions de gaz vers la plante P, de préférence suivant un cycle préprogrammé, par exemple toutes les 10 s pendant 1 minute.

La plante P ne présentant pas une géométrie de révolution autour de l'axe vertical V, et sa masse n'étant pas distribuée de manière homogène autour de cet axe, son comportement oscillatoire dépend de son orientation par rapport à l'oscillateur. Dans un mode de réalisation, le module de commande 17 est programmé de manière à commander le moteur 25 afin qu'il oriente la plante P suivant une orientation prédéfinie.

Le module d'analyse 20 reçoit les images I acquises par la caméra 18. Plus précisément, pour chaque image acquise, il reçoit l'ensemble des valeurs de la lumière reçue par les capteurs élémentaires.

Dans un mode de réalisation, chaque capteur élémentaire mesure une valeur de la lumière reçue correspondant à une seule couleur (image monochrome). Les valeurs de pixel des pixels de l'image sont alors égales aux valeurs de la lumière reçue par les capteurs élémentaires correspondant.

Dans un mode de réalisation préféré, chaque capteur élémentaire mesure trois valeurs de la lumière reçue correspondant à trois couleurs, classiquement rouge, vert et bleu. Le module d'analyse 20 ne reçoit alors pas les valeurs de pixel, mais transforme les trois valeurs de la lumière reçue en une valeur de pixel unique, appelée « niveau de gris », classiquement en effectuant leur somme.

Selon l'invention, le module d'analyse 20 effectue une opération globale, sur l'ensemble des pixels d'une image ou d'une partie d'image pour déterminer une ou plusieurs propriétés de l'image. Le traitement d'un pixel lors de cette opération ne dépend pas de la nature de l'objet représenté par ledit pixel. En particulier, le module d'analyse ne cherche pas à identifier des pixels particuliers de l'image ou de la partie d'image, qui correspondraient par exemple à la plante P ou à une marque qui aurait été appliquée sur la plante P. Autrement dit, le module d'analyse 20 effectue une analyse « en aveugle », indépendamment de l'objet de l'image.

Dans un premier mode de réalisation principal, le module d'analyse 20 effectue une opération globale, sur l'ensemble des pixels d'une image :

On note $V_{i,j}$ la valeur de pixel du pixel $P_{i,j}$ sur l'image I traitée par le module d'analyse 20, et $V'_{i,j}$ la valeur de pixel du pixel $P'_{i,j}$ sur une image de référence I', i et j correspondant aux coordonnées du pixel de l'image considérée (numéros de ligne et de colonne du pixel). L'image de référence I' est de préférence l'image de la plante dans la position de repos, c'est-à-dire alors qu'elle est immobile, avant d'être mise en oscillation.

De préférence, le module d'analyse 20 effectue la somme $S(I)$ des produits des valeurs $V_{i,j} \times V'_{i,j}$ pour l'ensemble des pixels $P_{i,j}$ et $P'_{i,j}$. Cette somme est maximale

($S_{\max}$) lorsque l'image analysée I est l'image de référence I' . Elle fournit donc une indication sur la corrélation entre l'image analysée et l'image de référence.

De préférence encore, ladite somme est normée, c'est-à-dire divisée par la somme $S_{\max}$ des produits des valeurs $V_{i,j}$ x $V'_{i,j}$ pour l'ensemble des pixels $P_{i,j}$ et $P'_{i,j}$. La somme normée $S^*(I)$ (égale à $S(I)/S_{\max}$) constitue ainsi une propriété de l'image I comprise entre 0 (décorrélation totale) et 1 (corrélation totale).

Le module d'analyse 20 détermine la propriété pour chacune des images I transmises successivement par la caméra. L'évolution temporelle de la propriété $S^*(I)$ présente des oscillations qui correspondent aux mouvements d'oscillation de la plante. L'analyse de la propriété permet ainsi de caractériser la façon dont la plante oscille en réponse à l'action de l'oscillateur.

De préférence, on analyse l'évolution temporelle de la propriété afin de déterminer la fréquence fondamentale et/ou une ou plusieurs fréquences supérieures de l'oscillation, et/ou un amortissement associé à ladite fréquence fondamentale ou à ladite ou aux dites fréquences supérieures.

Toutes les méthodes d'analyse connues sont applicables pour déterminer cette fréquence fondamentale. Il est également possible de mesurer la durée entre deux passages par 1 de la courbe représentant l'évolution temporelle de la propriété. La fréquence fondamentale d'oscillation peut alors être évaluée comme l'inverse de deux fois cette durée.

La propriété n'est pas limitée à $S(I)$ ou $S^*(I)$. Par exemple, elle peut être issue d'une décomposition biorthogonale ou d'une décomposition en mode dynamique, en anglais « *Dynamic mode decomposition* », appliquées sur la matrice des valeurs de pixel $V_{i,j}$. Ces décompositions sont bien connues de l'homme du métier. Dans un deuxième mode de réalisation principal, le module d'analyse 20 effectue une opération sur l'ensemble des pixels d'au moins une partie de l'image :

De préférence, chaque image est découpée, de la même façon, en une pluralité de parties d'images, ou « zones ». Les zones d'une image peuvent être de formes identiques ou différentes. Les zones d'une image peuvent être de tailles identiques ou différentes. De préférence, l'image est découpée en une pluralité de zones rectangulaires, de préférence de même taille.

Le nombre de zones d'une image est de préférence supérieur ou égale à 4, 8, 12, 16 ou 24 et/ou inférieur à 1024. De préférence, chaque zone comporte plus de 1 000, plus de 10 000, de préférence plus de 50 000, de préférence plus de 100 000 pixels.

- 5 Le module d'analyse 20 peut effectuer une analyse pour une ou plusieurs zones, de préférence pour chaque zone. L'analyse est de préférence similaire à celle décrite ci-dessus pour l'image complète.

L'analyse d'une zone permet ainsi de déterminer une propriété d'image et d'évaluer une caractéristique relative à l'évolution temporelle de cette propriété, en
10 ne tenant compte que d'une partie des pixels de l'image.

Lorsque plusieurs zones sont analysées, plusieurs caractéristiques relatives à l'évolution temporelle de la propriété sont obtenues. De préférence, le module d'analyse 20 évalue la pertinence relative des différentes caractéristiques. Par exemple, si une fréquence fondamentale est évaluée pour chaque zone, le
15 module d'analyse 20 peut évaluer la fiabilité de cette évaluation et considérer que la fréquence fondamentale à retenir pour l'image est la fréquence fondamentale dont l'évaluation est la plus fiable.

Le module d'analyse 20 peut également fournir plusieurs caractéristiques. Par exemple, il peut, à partir de deux zones, évaluer deux fréquences fondamentales
20 correspondantes et considérer que ces deux fréquences fondamentales sont pertinentes. Par exemple, la première fréquence fondamentale peut correspondre à l'oscillation de la tige de la plante et la deuxième fréquence fondamentale peut correspondre à l'oscillation d'une grande feuille.

De préférence, l'image I est découpée en K zones « k » rectangulaires
25 adjacentes, réparties en N colonnes (selon la direction horizontale) et M lignes (selon la direction verticale). Par exemple, K = 24, avec N = 4 et M = 6.

Si l'image contient par exemple 3 millions de pixels, chaque zone comprendra 125 000 pixels.

Lorsqu'elle concerne une zone k de l'image I , la propriété $S^*(I)$ est notée $S^*(I,k)$. Comme $S^*(I)$, $S^*(I,k)$ est compris entre 0 (décorrélation totale) et 1 (corrélation totale).

De préférence, les K propriétés $S^*(I,k)$ sont transformées en K quantités $V(I,p)$ au moyen de l'algorithme de décomposition bi-orthogonale décrit dans [1] Py, C., De Langre, E., Moulia, B., & Hémon, P. (2005). Measurement of wind-induced motion of crop canopies from digital video images. *Agricultural and forest meteorology*, 130(3-4), 223-236, en prenant pour fonction U la fonction S^* , pour variable t l'indice I , et pour variable M l'indice k . Les quantités $V(I,p)$ sont alors les chronos $\mu_k(t)$ définis par l'équation (8) de [1] en prenant pour variable t (de [1]) l'indice I et pour variable k (de [1]) l'indice p .

Les K quantités $V(I,p)$ correspondent aux évolutions des différents modes de vibration de la plante présents dans le mouvement observé.

Chaque quantité $V(I,p)$ est alors traitée comme décrit ci-dessus pour la propriété $S^*(I)$, pour obtenir K caractéristiques f_p d'oscillation de la plante.

De préférence, on retient alors, selon l'application considérée, soit la première caractéristique, $p=1$, qui est la principale fréquence caractéristique de la plante, soit un sous-ensemble tel que la somme des énergies associées telles que définies dans [1] représente un pourcentage fixé de l'énergie totale, par exemple 90%, soit un sous-ensemble formé d'un nombre n_p fixé de fréquences, n_p étant plus petit que p , dans un ordre décroissant d'énergie associée telle que définie dans [1]. Les fréquences en question sont alors les fréquences des différents modes propres caractéristiques de la plante qui ont été présents de façon notable dans le mouvement filmé par la caméra.

Par exemple une plante de blé (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) âgée de 160 jours et de 70 cm de hauteur est filmée par une caméra noir et blanc avec un objectif de 8 mm de distance focale. La caméra est placée à 50 cm de distance de la plante à une hauteur de 40 cm par rapport au sol. La résolution de chaque image est de 1024 par 2048 pixels et la durée d'enregistrement est de 8 secondes, avec 90 images acquises par seconde. Un fond noir mat est placé

derrière la plante. La plante est éclairée par environ 3 m de bandeau lumineux de LED à une puissance de 180 lumen/m, placés sur un cadre entourant la plante.

La plante est excitée par 4 jets d'air perpendiculaires à l'axe caméra/plane, créés par des buses situées à 30 cm de la plante et à 60 cm au-dessus du sol. Chaque
5 jet d'air est créé par une buse de 30 mm par 1 mm d'ouverture

Les jets d'air ont une durée de 400 ms et l'air comprimé arrive dans les buses avec une pression de 7 bar.

L'image est découpée en 256 zones, par découpage 16 x16.

Les 10 premières fréquences en ordre d'énergie décroissante ainsi calculées
10 alors sont, en Hz : 0,42/0,85/0,89/0,47/0,88/0,52/0,90/0,50/0,89/1,12.

De préférence, le module de commande 17 est programmé de manière à effectuer une série de tests sur la plante, en faisant varier des paramètres, et en particulier les circuits d'injection 30 sollicités et/ou l'ouverture des vannes 34 et/ou le nombre et la position des sources lumineuses éclairant la plante P et/ou l'orientation de la
15 plante autour de l'axe vertical V.

Dans un mode de réalisation préféré, la même plante est soumise à plusieurs tests qui ne diffèrent que par l'orientation de la plante autour de l'axe V. De préférence, à chaque test, le module de commande 17 commande le moteur 25 de manière à faire tourner le plateau horizontal 22 d'un angle prédéterminé. Le
20 traitement des résultats obtenus pour les différents tests permet avantageusement de s'affranchir du biais associé à l'orientation de la plante. Ce traitement peut consister, par exemple, à faire la moyenne des valeurs des caractéristiques relatives à l'évolution temporelle de la propriété mesurées grâce à ces tests.

Comme cela apparaît clairement à présent, l'invention fournit un moyen simple et
25 rapide pour caractériser une plante, et en particulier pour évaluer un comportement oscillatoire d'une plante. L'étude des corrélations entre ce comportement oscillatoire et un comportement de la plante dans un environnement particulier, par exemple sa résistance dans un environnement hostile, facilite avantageusement la recherche des plantes les plus performantes
30 dans cet environnement.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit et représenté, fourni à des fins illustratives seulement.

En particulier, dans un mode de réalisation, le dispositif comporte plusieurs caméras, par exemple deux caméras. De préférence, le dispositif comporte au moins une caméra orientée vers le bas, de préférence sensiblement
5 verticalement, de préférence encore disposée à une altitude supérieure à l'altitude du sommet de la plante. La caméra peut ainsi observer la plante « par le dessus ». Des essais ont montré que l'analyse des images ainsi acquises permet de caractériser l'évolution temporelle de la propriété avec une meilleure précision.

REVENDICATIONS

1. Dispositif comportant :
 - un oscillateur (16) adapté pour mettre en oscillation libre la partie aérienne
5 d'une plante (P) disposée à un emplacement de test (E) ;
 - une caméra (18) d'acquisition d'une série d'images de ladite plante ; et
 - un module d'analyse (20) desdites images configuré pour déterminer, pour
chaque image (I) de ladite série, et par une analyse de l'ensemble des
pixels d'au moins une partie de ladite image (I), au moins une propriété
10 ($S^*(I)$) de ladite image, puis évaluer une caractéristique relative à l'évolution
temporelle de ladite propriété.
2. Dispositif selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel ladite
propriété de ladite au moins une partie d'image (I) est une fonction de la
somme (S) des produits des valeurs de pixel $V_{i,j} \times V'_{i,j}$ pour l'ensemble des
15 pixels $P_{i,j}$ et $P'_{i,j}$ de ladite au moins une partie d'image (I) et d'au moins une
partie d'une image de référence (I'), respectivement, i et j désignant les
numéros de ligne et de colonne d'un pixel, respectivement.
3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
ladite caractéristique relative à l'évolution temporelle de ladite propriété est
20 une fréquence fondamentale ou une fréquence supérieure de l'oscillation ou
un amortissement associé à ladite fréquence fondamentale ou à ladite
fréquence supérieure.
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
le module d'analyse (20) desdites images est configuré pour
25
 - découper chaque image (I) en un ensemble de zones, puis,
pour chaque image (I) de ladite série, et par une analyse de l'ensemble
des pixels de chaque zone de ladite image (I),
 - déterminer, au moins une propriété ($S^*(I,k)$) de ladite zone, puis

- à partir des propriétés ($S^*(l,k)$) desdites zones déterminées pour l'ensemble desdites images,
- évaluer, pour chaque zone, une caractéristique relative à l'évolution temporelle de ladite propriété ($S^*(l,k)$);
 - 5 - évaluer, à partir desdites caractéristiques relatives à l'évolution temporelle desdites propriétés ($S^*(l,k)$), au moins une propriété de ladite image.
5. Dispositif selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel chaque zone comporte plus de 1 000 pixels.
- 10 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'oscillateur est un injecteur de gaz.
7. Dispositif selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel l'oscillateur est configuré de manière à générer des impulsions de gaz durant moins de 1 seconde.
- 15 8. Dispositif selon l'une quelconque des deux revendications immédiatement précédentes, dans lequel l'injecteur de gaz comporte plus de 2 buses d'injection (36) alignées verticalement.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la caméra est configurée pour acquérir plus de 30 images par seconde.
- 20 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant au moins une caméra orientée vers le bas, de préférence disposée sensiblement au-dessus de l'emplacement de test.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un fond (24) de couleur uniforme, disposé de manière que la plante s'étende
- 25 entre la caméra et ledit fond.
12. Dispositif selon la revendication immédiatement précédente, comportant une source lumineuse (14) comportant un ensemble de diodes

électroluminescentes orientées de manière à éclairer ladite plante (P), l'éclairage étant orienté vers ledit fond (24).

- 5 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un plateau horizontal (22) monté à rotation autour d'un axe vertical (V), et un moteur (25) commandé par un module de commande (17) configuré pour entraîner en rotation ledit plateau horizontal autour dudit axe vertical.
- 10 14. Procédé de phénotypage, dans lequel, pour chaque plante d'une pluralité de plantes, on évalue, au moyen d'un dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, une caractéristique relative à l'évolution temporelle d'une même dite propriété, puis on compare ladite caractéristique à un caractère de la plante afin de déterminer une corrélation entre ladite caractéristique et ledit caractère.

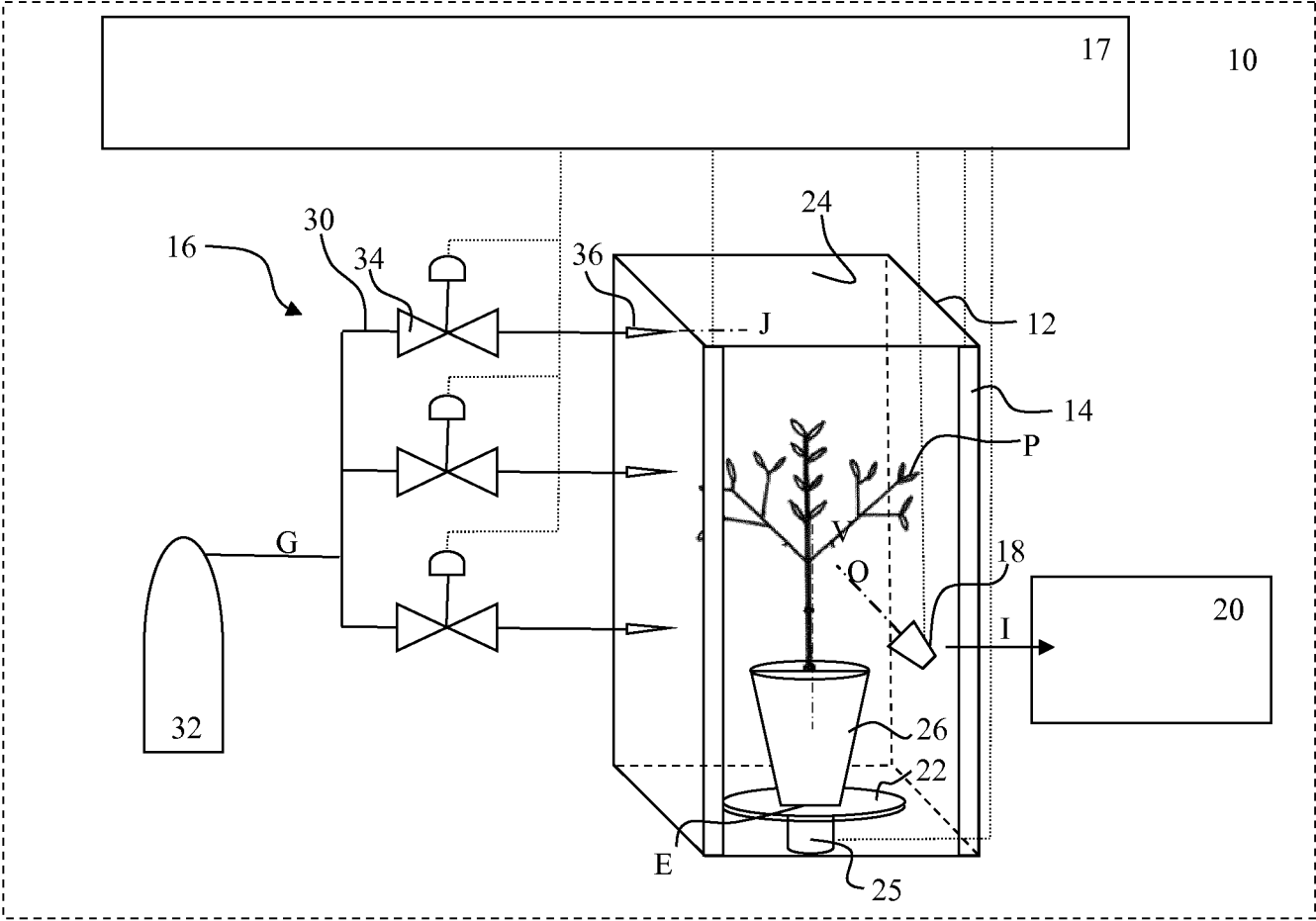


FIGURE 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/056301

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G06K9/00 G06K9/46
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G06T G06K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015/140820 A1 (BHATTACHARYA DEB RANJAN [IN]; BHATTACHARYA TULIKA [IN]) 24 September 2015 (2015-09-24) paragraphs [0018] - [0024], [0036], [0037]; figure 1	1-14
X	----- DER LOUGHIAN CHRISTELLE ET AL: "Measuring local and global vibration modes in model plants", COMPTES RENDUS - MECANIQUE, ELSEVIER, PARIS, FR, vol. 342, no. 1, 8 December 2013 (2013-12-08), pages 1-7, XP028820472, ISSN: 1631-0721, DOI: 10.1016/J.CRME.2013.10.010 sect.2; figure 1 ----- -/--	1-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 June 2018

Date of mailing of the international search report

20/06/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Darolti, Cristina

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/056301

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EMMANUEL DE LANGRE: "Effects of Wind on Plants", ANNUAL REVIEW OF FLUID MECHANICS., vol. 40, no. 1, 1 January 2008 (2008-01-01), pages 141-168, XP055428229, US ISSN: 0066-4189, DOI: 10.1146/annurev.fluid.40.111406.102135 sect.4.3, 4.4 -----	1-14
A	T FARQUHAR ET AL: "Effect of aeroelasticity on the aerodynamics of wheat", MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING C., vol. 7, no. 2, 1 December 1999 (1999-12-01), pages 111-117, XP055428239, CH ISSN: 0928-4931, DOI: 10.1016/S0928-4931(99)00130-7 sect.2; figure 2 -----	1-14
A	BARRY GARDINER ET AL: "Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage", PLANT SCIENCE, vol. 245, 1 April 2016 (2016-04-01), pages 94-118, XP055428374, IE ISSN: 0168-9452, DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.01.006 sect.4.3 -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/056301

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015140820 A1	24-09-2015	AU 2015234277 A1	10-11-2016
		CA 2943332 A1	24-09-2015
		WO 2015140820 A1	24-09-2015

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2018/056301

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G06K9/00 G06K9/46 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G06T G06K		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2015/140820 A1 (BHATTACHARYA DEB RANJAN [IN]; BHATTACHARYA TULIKA [IN]) 24 septembre 2015 (2015-09-24) alinéas [0018] - [0024], [0036], [0037]; figure 1	1-14
X	----- DER LOUGHIAN CHRISTELLE ET AL: "Measuring local and global vibration modes in model plants", COMPTES RENDUS - MECANIQUE, ELSEVIER, PARIS, FR, vol. 342, no. 1, 8 décembre 2013 (2013-12-08), pages 1-7, XP028820472, ISSN: 1631-0721, DOI: 10.1016/J.CRME.2013.10.010 sect.2; figure 1 ----- -/--	1-14
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 12 juin 2018		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 20/06/2018
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Darolti, Cristina

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EMMANUEL DE LANGRE: "Effects of Wind on Plants", ANNUAL REVIEW OF FLUID MECHANICS., vol. 40, no. 1, 1 janvier 2008 (2008-01-01), pages 141-168, XP055428229, US ISSN: 0066-4189, DOI: 10.1146/annurev.fluid.40.111406.102135 sect.4.3, 4.4 -----	1-14
A	T FARQUHAR ET AL: "Effect of aeroelasticity on the aerodynamics of wheat", MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING C., vol. 7, no. 2, 1 décembre 1999 (1999-12-01), pages 111-117, XP055428239, CH ISSN: 0928-4931, DOI: 10.1016/S0928-4931(99)00130-7 sect.2; figure 2 -----	1-14
A	BARRY GARDINER ET AL: "Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage", PLANT SCIENCE, vol. 245, 1 avril 2016 (2016-04-01), pages 94-118, XP055428374, IE ISSN: 0168-9452, DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.01.006 sect.4.3 -----	1-14

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/EP2018/056301

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)