

(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 53068 A1** (51) Cl. internationale : **G01B 7/004; G01M 7/00**

(43) Date de publication :
31.10.2022

(21) N° Dépôt :
53068

(22) Date de Dépôt :
23.04.2021

(71) Demandeur(s) :
Université Mohammed V - Rabat, Avenue des Nations Unies, Agdal, bp 8007 NU, Rabat, 10000 (MA)

(72) Inventeur(s) :
JBARI ATMAN ; EL BIKRI Khalid ; MERRIMI El bekkaye

(74) Mandataire :
Kartit Zaid

(54) Titre : **Banc d'essai dynamique des structures minces**

(57) Abrégé : Le banc d'essai proposé dans ce brevet est une invention dans la recherche expérimentale de la dynamique des structures minces. Le dispositif intégré, par ses composants électriques et mécaniques, permet d'étudier le comportement non linéaire et les phénomènes vibratoires en grandes amplitudes et leurs effets sur les déformations par une mesure sans contact du déplacement de chaque point le long de la poutre. Les charges d'essai mécaniques, de type périodique ou selon un profil spécifique, sont générées par un module d'excitation sans contact. L'intérêt principal de cette étude expérimentale des structures minces est qu'elle implique une approche différente des problèmes de modélisation analytique ou numérique, et donc une vision nouvelle et plus réelle, du comportement de la structure et des origines des phénomènes régissant. Les corrections empiriques apportées sur le modèle contribuent à l'amélioration des performances mécaniques et à l'adaptation d'utilisation industrielle de structures expérimentées.

Abrégé

Le banc d'essai proposé dans ce brevet est une invention dans la recherche expérimentale de la dynamique des structures minces. Le dispositif intégré, par ses composants électriques et mécaniques, permet d'étudier le comportement non linéaire et les phénomènes vibratoires en grandes amplitudes et leurs effets sur les déformations par une mesure sans contact du déplacement de chaque point le long de la poutre. Les charges d'essai mécaniques, de type périodique ou selon un profil spécifique, sont générées par un module d'excitation sans contact. L'intérêt principal de cette étude expérimentale des structures minces est qu'elle implique une approche différente des problèmes de modélisation analytique ou numérique, et donc une vision nouvelle et plus réelle, du comportement de la structure et des origines des phénomènes régissant. Les corrections empiriques apportées sur le modèle contribuent à l'amélioration des performances mécaniques et à l'adaptation d'utilisation industrielle de structures expérimentées.

Titre de l'invention : Banc d'essai dynamique des structures minces**DOMAINE DE L'INVENTION**

La présente invention se situe dans le domaine de la dynamique des structures, elle concerne l'observation expérimentale du comportement vibratoire non linéaire des structures minces en grandes amplitudes, soumises sous charges périodiques ou impulsionnelles.

Elle vise la mise en place d'un mode opératoire d'excitation et d'analyse de la réponse forcée des poutres bi-encastées, géométriquement non linéaires, et l'étude des effets des différents facteurs matériels, géométriques et environnementaux, ainsi que la validation et la comparaison des méthodes d'approximation proposées dans la modélisation analytique et numérique.

ART ANTERIEUR

La vibration est le mouvement de va-et-vient périodique des particules d'un corps ou d'un milieu élastique, qui se produit généralement lorsque presque n'importe quel système physique est déplacé de son état d'équilibre et autorisé à répondre aux forces qui tendent à rétablir l'équilibre. Les vibrations peuvent être classées en deux catégories : libres et forcées. Des vibrations libres se produisent lorsque le système est momentanément perturbé puis autorisé à se déplacer sans contrainte. Une vibration forcée se produit si un système est continuellement entraîné par une force externe appliquée. Il existe dans l'industrie des dispositifs des essais vibratoires forcés des systèmes mécaniques ou électromécaniques en fonctionnement en basse amplitude de déplacement, ces tests concernent l'influence des vibrations n'atteignant généralement pas la non linéarité géométrique, sur les contraintes dynamiques conduisant à l'endommagement. Nous citons les deux produits suivants :

- Le produit VTM4 de la société BALANCE SYSTEMS est un banc d'essai de mesure des vibrations de corps d'aspirateur électriques placé sur une table et un coffret de commande et d'alimentation électrique.
- Une série de bancs de vibrations sous le nom « Simulateur Premium, Simulateur Master, ... » proposé par la société TECHNIVIB pour

l'enseignement de l'analyse des défauts de roulement et de balourd, sur les machines tournantes. Les paramètres visés sont : défauts de roulements, déalignage, équilibrage, Paliers hydrodynamiques, Frottements rotor / stator, Réducteur-multiplicateur, Phénomènes électriques sur moteurs, Poulies, courroies.

Ces dispositifs présentent comme principaux inconvénients : le contact du système d'épreuve avec le dispositif d'excitation et avec le module d'acquisition, entraînant ainsi des perturbations pour avoir de la vibration pure. La présence de quelques éléments du système vibrant pouvant franchir la limite de linéarité, et pouvant générer des résultats aberrants.

La présente invention vise donc à remédier à ces inconvénients. Plus particulièrement, la présente invention vise à prévoir un dispositif permettant d'étudier le comportement non linéaire et les phénomènes vibratoires en grandes amplitudes et leurs effets sur les déformations, par des excitations sans contact et par des mesures à distance des déplacements de chaque point le long de la structure en mouvement périodique.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un banc d'essai dynamique, présenté sur la figure 1, permettant d'apporter les solutions suivantes :

- **L'étude de l'influence du matériau et de la géométrie de la structure dans son environnement.**

Différentes poutres sont mises en essai pour montrer l'influence des facteurs suivants sur la fréquence de résonance fondamentale et leurs aspects fréquentiels dans une plage programmable :

- Géométrie de la structure : les variations de la longueur et de l'épaisseur, la présence des fissures externes, ou des fondations élastiques.
- Propriétés du matériau isotropique ou orthotopique.
- Environnement de la poutre en mouvement, telle que la température et la pression.
- Amplitudes et déphasages observés pour des poutres dont les comportements et les réponses vibratoires sont nettement différents, et on analyse les écarts constatés.

- **L'étude de l'influence des intensités et des positions des excitations.**

L'amplitude et la pulsation de l'excitation harmoniques ou apériodiques sont les paramètres qui caractérisent le contrôle de la réponse forcée. On s'intéresse donc aux valeurs des déplacements dans la direction des forces d'excitation, le long de la poutre dans le but de conclure sur les premiers modes dont les allures sont montrées en figure 2.

- **L'évaluation et l'amélioration de la modélisation analytique et numérique des structures minces.**

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée. Pour la compréhension on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :

- La figure 1 présente le montage expérimental du banc d'essai dynamique
- La figure 2 présente les modes vibratoires d'ordre 1 et 2 d'une structure.
- La figure 3 présente la géométrie d'une structure étudiée.
- La figure 4 représente le synoptique du module d'excitation
- La figure 5 représente le synoptique du module d'acquisition.
- La figure 6 est le diagramme des packages du module de traitement.
- La figure 7 présente les phases d'un mode opératoire du banc d'essai dynamique.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Le banc d'essai dynamique est constitué par des modules mécaniques, électriques et informatiques pour l'expérimentation intégrée sur une structure mince. La liste des modules du banc et leurs fonctions sont décrites ci-dessous :

- Structure étudiée (figure 3)

La structure étudiée est une poutre droite bi-encastée (Figure 3), de différentes sections avec les rapports épaisseur/largeur et épaisseur/longueur très petits (théorie des poutres), qui conduisent à un comportement non

linéaire. Les caractéristiques du matériau sont différentes et leur choix est basé sur des valeurs de référence. La structure est excitée transversalement en flexion, et les points des excitations sont variés. La poutre subit une excitation sinusoïdale dont la pulsation et l'amplitude sont connues, les premiers modes sont visés en premier et l'amplitude doit être suffisante pour franchir les limitations de la linéarité géométrique de la poutre, et l'amener au régime non linéaire, caractérisé par un déplacement transversal dépassant de 2 à 3 fois son épaisseur.

- Module d'excitation (figure 4)

Ce module d'excitation, représenté sur la figure 4, assure l'alimentation en courant de la bobine selon une onde sinusoïdale ou un profil spécifique. La bobine produit un champ magnétique qui exerce une force sur l'aimant permanent monté sur la poutre. Il en résulte ainsi un mouvement proportionnel au courant de la bobine. L'intensité de la force mécanique dépend de l'inductance et le courant de la bobine. Les variations non linéaires du courant en fonction de la fréquence d'excitation sont corrigées par action sur le gain de l'amplificateur après mesure continue du courant réel de la bobine. En effet, l'amplitude du champ magnétique et par conséquent du courant doit être constante dans la plage de fréquence d'excitation permettant ainsi d'étudier l'amplitude de vibration en relation seulement avec les propriétés intrinsèques de la poutre. Le tableau suivant donne les paramètres de commande et de mesure du module d'excitation :

Paramètres de commande	Mode	Data signal
	Sinusoïdal	Amplitude, fréquence, durée.
	Profil	Vecteur de données échantillons du profil.
Paramètres de mesure	Capteur de courant : amplitude du courant de la bobine	

- Module d'acquisition (figure 5)

La mesure du mouvement de la barre est effectuée par un ensemble de capteurs optiques placés de l'autre côté de la poutre. Le choix de ce type de capteurs repose sur les critères suivants : la mesure sans contact, la rapidité, la résolution par la

mesure de petits déplacement à partir de micromètre et la précision. La supériorité de notre solution de capteurs optiques sans contact par rapport aux jauges de contraintes, réside dans les avantages suivants :

- *Insensibilité aux déformations dans les autres directions de la barre.*
- *Réutilisation dans d'autres essais, au lieu de faire équiper chaque barre par des jauges de contraintes.*
- *Stabilité des mesures puisque leur montage de fixation est indépendant de la barre d'essai.*

L'alimentation et la réception du signal des capteurs sont réalisées par un conditionneur approprié qui délivre une tension analogique de mesure V_d du déplacement d . En effet, le déplacement de la poutre influence l'intensité de lumière reçue par la photodiode D_R après la réflexion de la lumière source produite par la Diode D_E . Ensuite, les tensions sont multiplexées, numérisées puis transmises vis le port USB à un ordinateur pour le traitement et l'affichage des résultats.

- Module de traitement (figure 6) :

Le module de traitement est un programme informatique qui comprend les packages suivantes :

- **Configuration** : spécifier les paramètres du mode opératoire : plage de fréquence, type d'excitation, courant d'excitation, durée d'excitation, excitation simple ou balayage de toute la plage de fréquence ; résolution fréquentielle.
- **Commande** : position de la bobine ; positions des capteurs.
- **Calcul** : filtrage du signal ; calcul de l'amplitude de la vibration ; calcul fréquence de résonance ; analyse spectrale.
- **Affichage** : affichage graphique de l'amplitude de vibration, tracé de la courbe de « amplitude vs fréquence » ; graphe des harmoniques ; amplitude de la vibration en fonction de la position de chaque capteur ; amplitude de la vibration en fonction de la position de la bobine.
- **Stockage** : stocker toutes les données affichées dans des fichiers.

Une expérience sur le banc d'essai suit le mode opératoire constitué par les phases de la figure 7. Chaque phase correspond à l'activation d'un module du banc.

REVENDEICATIONS

1. Un système d'essai dynamique sur les structures minces dans une plage programmable de fréquence et d'excitations périodiques ou apériodiques composé de :
 - Une structure mince bi-encastree de section quelconque, présentant dans son environnement, des variations de matériau, de géométrie, ou des imperfections structurelles telles que des fissures et des pores,
 - Un premier module d'excitation sans contact, positionnée automatiquement sur un point quelconque le long de ladite structure mince, produisant un essai harmonique ou selon un profil spécifique dans une plage programmable en fréquence et en amplitude,
 - Un second module d'acquisition des mesures faites par un ensemble de capteurs sans contact positionnés automatiquement sur un point quelconque le long de la structure,
 - Une application informatique de traitement et d'affichage de résultats.
2. Le système selon la revendication 1 caractérisé, en ce que les imperfections de non-linéarités dudit module d'excitation sont corrigées afin de maintenir un courant d'amplitude constante durant toute la plage de fréquence de l'onde d'excitation.
3. Le système Selon la revendication 3 caractérisé, en ce que ledit module d'acquisition comprend :
 - Un conditionneur électronique pour l'alimentation, l'amplification et l'adaptation de la tension de chaque capteur.
 - Une unité électronique de conversion Analogique-numérique et de transmission série du signal du capteur vers une unité de traitement.
4. Le système Selon la revendication 1 caractérisé, en ce que le module de traitement configure les modules du banc, reçoit les données des capteurs ; calcule et présente les mesures et les caractéristiques étudiées de la structure.

Dessins :

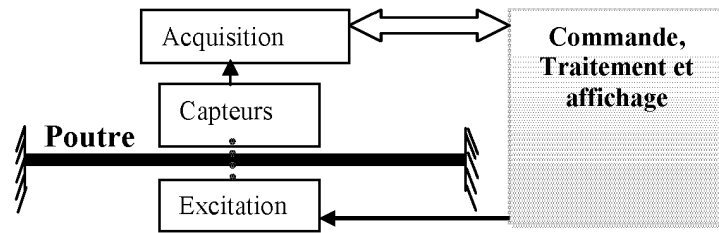


Figure 1

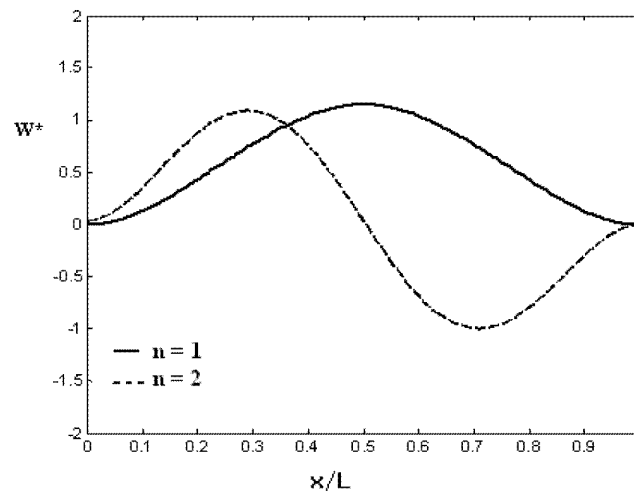


Figure 2

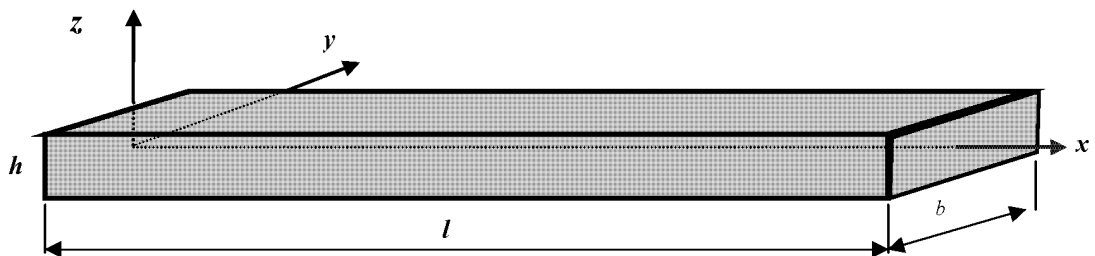


Figure 3

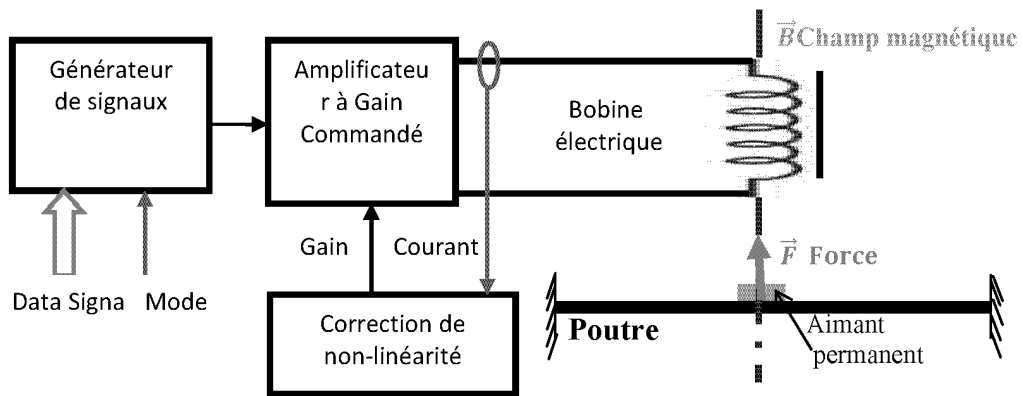


Figure 4

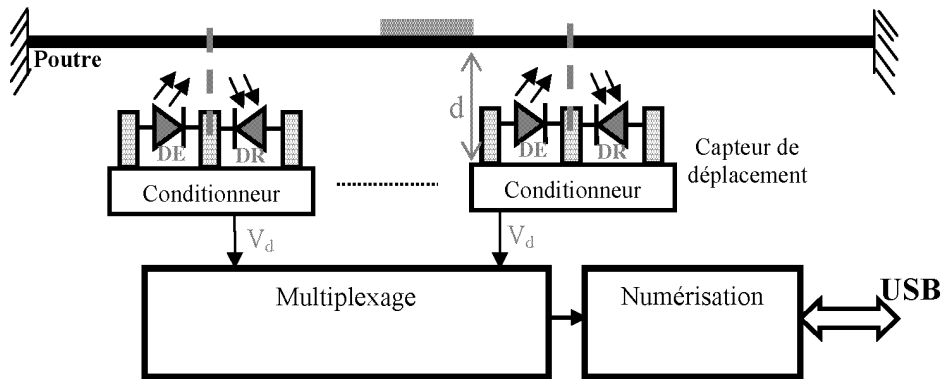


Figure 5

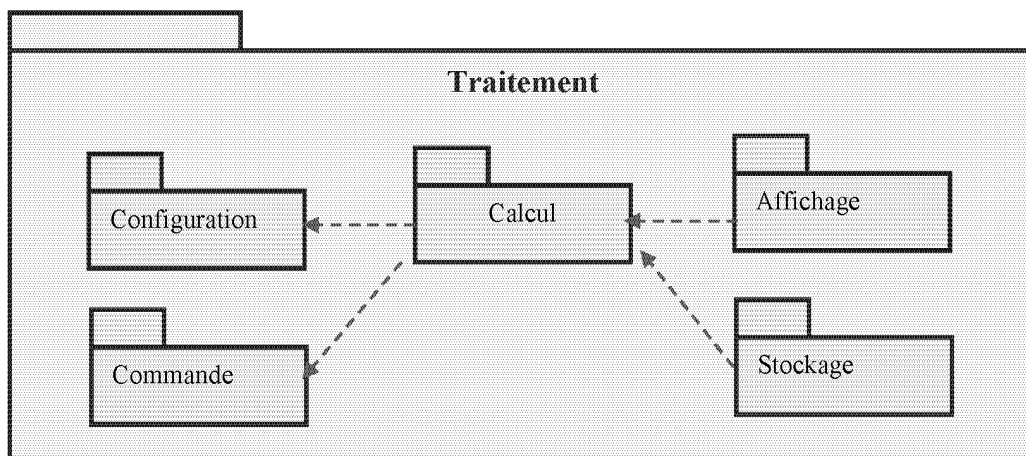


Figure 6

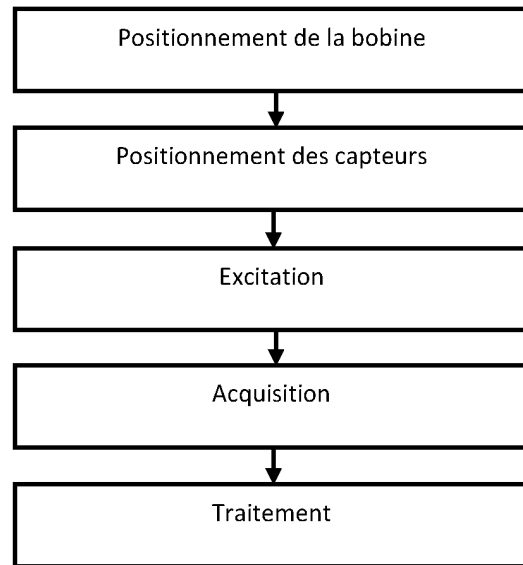


Figure 7

**RAPPORT DE RECHERCHE
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée
par la loi 23-13)

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 53068	Date de dépôt : 23/04/2021
Déposant : Université Mohammed V - Rabat	
Intitulé de l'invention : Banc d'essai dynamique des structures minces	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site http://worldwide.espacenet.com , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Ilham OUBIYI	Date d'établissement du rapport : 12/04/2022
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	



Partie 1 : Considérations générales**Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description
5 Pages
- Revendications
4
- Planches de dessin
3 Pages

Partie 2 : Rapport de recherche

Classement de l'objet de la demande :

CIB : G01M7/00, G01B7/004

CPC : G01M5/0091

Plateformes et bases de données électroniques de recherche :

EPOQUENET, WPI, ScienceDirect, IEEE, ORBIT

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
Y	CN105910780A ; UNIV CHONGQING ; 31-08-2016 ; Tout le document	1-4
Y	« Nonlinear Response of Cantilever Beams Due to Large Geometric Deformations: Experimental Validation »; Claudia Aide González-Cruz, Juan Carlos Jauregui-Correa, Gilberto Herrera-Ruiz; 02-06-2018 ; https://doi.org/10.5545/sv-jme.2015.2964 ; Tout le document	1-4
A	WO2020191704A1 ; UNIV NORTHEASTERN [CN]; 01-10-2020 ; Tout le document	1-4

***Catégories spéciales de documents cités :**

-« 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
-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs
-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité**Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté****- Remarques de forme**

- La forme de la revendication 3 ne respecte pas les dispositions de l'article 10 du décret n°2-14-316 d'application de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

En effet, toute revendication qui comprend les caractéristiques d'une ou de plusieurs autres revendications de la même catégorie (produit, procédé, dispositif ou utilisation) doit, au début, renvoyer à cette autre revendication ou, selon le cas, à ces autres revendications par indication de leurs numéros.

La revendication 3 est écrite comme étant une revendication dépendante d'elle-même tandis qu'elle est dépendante de la revendication 1, vu l'objet de son préambule.

- Remarques de clarté

Les revendications 1 et 2 ne satisfont pas à l'exigence de clarté, conformément à l'article 35 de la même loi, pour les raisons suivantes :

- Le terme « automatiquement » utilisé dans la revendication 1 n'est pas clair. Il conviendrait d'expliquer d'où vient l'aspect automatique du positionnement, sachant que l'emplacement des deux modules d'excitation et d'acquisition semble être choisi lors de la conception du système.

- La revendication 2 tente de définir l'objet revendiqué par le résultat recherché, ce qui revient simplement à énoncer le problème sous-jacent, sans indiquer les caractéristiques techniques nécessaires pour parvenir à ce résultat. Dans ce cas, Il conviendrait de décrire les composants techniques du correcteur de non-linéarité.

Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

Nouveauté	Revendications 1-4	Oui
	Revendications aucune	Non
Activité inventive	Revendications aucune	Oui
	Revendications 1-4	Non
Application Industrielle	Revendications 1-4	Oui
	Revendications aucune	Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure.

D1 : CN105910780A

D2 : <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2015.2964>

1. Nouveauté

Aucun des documents cités ci-dessus, pris isolément, ne divulgue l'ensemble des caractéristiques techniques de la revendication indépendante 1. D'où l'objet de ladite revendication est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent, les revendications dépendantes 2 à 4 sont aussi nouvelles.

2. Activité inventive

Le document D1 (les références entre parenthèses s'appliquant à ce document), qui est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1, divulgue un système d'essai dynamique sur les structures minces dans une plage programmable de fréquences et d'excitations périodiques, comprenant :

- Une structure mince (44) encastrée-libre de section quelconque (Fig. 14), présentant dans son environnement, des variations de matériau, de géométrie, ou des imperfections structurelles (Description, Paragraphe [2]).
- Un module d'excitation (7) sans contact, positionné sur un point quelconque de ladite structure mince (Revendication 1, Paragraphe [5]), produisant un essai selon un profil spécifique, dans une plage programmable en fréquence et en amplitude (Description, Paragraphe [26], Numéro 3).
- Un module d'acquisition des mesures faites par un capteur (8) sans contact (Description, Paragraphe [26], Numéro 4) positionnés sur un point quelconque le long de la structure (Revendication 1, Paragraphe [5]).
- Une application informatique de traitement et d'affichage de résultats (Description, Paragraphe [26], Numéro 5).

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de D1 par :

- Une structure mince bi-encastrée au lieu d'une structure mince encastrée-libre.

L'effet technique apporté par cette différence réside dans le fait que la structure bi-encastrée est excitée transversalement en flexion.

Le problème technique objectif que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme : Comment choisir la géométrie d'une structure mince de test, susceptible de subir des excitations pouvant la conduire à franchir les limitations de la linéarité

géométrique.

La solution proposée dans la revendication 1 de la présente demande ne peut pas être considérée comme impliquant une activité inventive, pour les raisons suivantes :

La caractéristique technique distinctive réside dans l'excitation transversale en flexion de la structure bi-encastree qui peut ainsi conduire à un comportement non-linéaire de ladite structure, caractérisé par un déplacement transversal dépassant de 2 à 3 fois son épaisseur.

Le Document D2 divulgue qu'une structure mince de type encastree-libre peut avoir un comportement non-linéaire quand elle subit des excitations à des fréquences spécifiques. De ce fait, le choix d'une structures mince bi-encastree peut-être remplacé par une structure mince encastree-libre, et vis-versa.

Par conséquent, l'homme du métier aurait facilement adapté les enseignements de D2, en les combinant avec les caractéristiques techniques divulguées dans D1 afin de parvenir à l'objet de la revendication 1 sans faire preuve d'activité inventive. D'où, l'objet de la revendication 1 n'implique pas une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Nonobstant le manque de clarté de la revendication 2, ladite revendication ainsi que les revendications 3 et 4 ne contiennent aucune caractéristique technique qui, en combinaison avec l'une quelconque des revendications auxquelles elles dépendent, impliquent une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

3. Application industrielle

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.